



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΥΣΗΣ  
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ  
SUPER PRO DESIGNER**

**-ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ-**

**ΖΗΚΟΣ ΠΑΡ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΕΠΙΤΡΟΠΗ  
ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ Ε. (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)  
ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ Ε.  
ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ Μ.**

**ΧΑΝΙΑ 2005**





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	VIII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	IX
ABSTRACT.....	XI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	XII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	XIV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	XVII
1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	1
1.1. ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ .....	9
1.2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΤΗΡΕΣ.....	11
1.2.1. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ.....	11
1.3. ΠΑΥΣΗ ΧΩΡΩΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΣΑ.....	13
1.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ.....	14
2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ.....	18
2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ ΑΣΑ.....	18
2.1. ΧΩΡΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ .....	19
2.2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΚΑΥΣΗΣ ΑΣΑ .....	20
2.2.1. ΚΑΥΣΗ ΜΑΖΑΣ.....	20
2.2.2. ΚΑΥΣΗ RDF( REFUSE DERIVED FUEL-ΚΑΥΣΙΜΟ ΑΠΟ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ).....	20
2.2.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ RDF ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ.....	21
2.3. ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	24
2.3.1. ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ – ΑΠΟΤΕΦΡΩΤΗΡΩΝ (10-100ΤΝ/ΗΜΕΡΑ) .....	25
2.3.2. ΜΕΓΑΛΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ (300 -3000 ΤΝ/ΗΜΕΡΑ).....	29
2.3.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΣΧΑΡΩΝ-ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	32
2.3.2.2. ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΙ-ΕΣΤΙΕΣ.....	40
2.3.3. ΜΟΝΑΔΕΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ .....	48
2.3.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΓΙΑ RDF.....	51
2.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ RDF.....	54
2.4.1. ΚΑΥΣΗ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΜΙ-ΑΝΑΣΤΟΛΗΣ .....	55
2.4.2. ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙΣ ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ.....	56
2.4.3. ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΚΑΙΒΑΝΟΙ.....	56
2.4.3.1. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙΒΑΝΟΥ (M. ROVAGLIO, D.MANCA & G. BIARDI,1998).....	59
2.4.4. ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ .....	85
3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	86
3. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	86

<b>4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ.....</b>	<b>90</b>
<b>4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΥΣΕΙΣ ΑΣΑ.....</b>	<b>90</b>
<b>4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ .....</b>	<b>90</b>
<b>4.2. ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>92</b>
<b>4.3. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>92</b>
<b>4.3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....</b>	<b>92</b>
<b>4.4. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΥΣΗ-ΓΕΝΕΣΗ ΡΥΠΩΝ.....</b>	<b>93</b>
<b>4.4.1. Η ΦΥΣΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....</b>	<b>93</b>
<b>4.4.3. ΈΛΕΓΧΟΙ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ PCDD/PCDF .....</b>	<b>94</b>
<b>4.4.4. ΈΛΕΓΧΟΙ ΚΑΥΣΗΣ, ΔΙΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ .....</b>	<b>97</b>
<b>4.5. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΚΑΥΣΗ.....</b>	<b>99</b>
<b>4.6.1. ΚΥΚΛΩΝΕΣ.....</b>	<b>102</b>
<b>4.6.2. ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ .....</b>	<b>103</b>
<b>4.6.3. ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ.....</b>	<b>106</b>
<b>4.6.3.1. ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ ΜΕ ΡΕΥΜΑ ΑΕΡΑ ΑΝΤΙΘΕΤΟΥ ΡΟΗΣ .....</b>	<b>106</b>
<b>4.6.3.2. ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΟΝΗΣΗ.....</b>	<b>107</b>
<b>4.6.3.3. ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ ΔΟΝΗΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΑ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ.....</b>	<b>108</b>
<b>4.6.4. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....</b>	<b>111</b>
<b>4.6.4.1. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΜΕ ΘΑΛΑΜΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ .....</b>	<b>111</b>
<b>4.6.4.2. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΜΕ ΚΥΚΛΩΝΑ.....</b>	<b>112</b>
<b>4.6.4.3. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΜΕ ΣΤΟΜΙΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΣΕ ΥΓΡΟ .....</b>	<b>113</b>
<b>4.6.4.4. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ VENTURI ΚΑΙ VENTURI ΔΕΣΜΗΣ .....</b>	<b>113</b>
<b>4.6.4.5. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΠΛΥΝΤΡΙΔΩΝ.....</b>	<b>115</b>
<b>4.6.4.6. ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ ΥΓΡΗΣ ΠΛΥΣΗΣ .....</b>	<b>116</b>
<b>4.6.4.7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>117</b>
<b>4.6.5. ΞΗΡΕΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΓΙΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΑΕΡΙΩΝ .....</b>	<b>118</b>
<b>4.6.5.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΣΕ ΞΗΡΗ ΠΛΥΣΗ .....</b>	<b>118</b>
<b>ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ HCL /HF .....</b>	<b>118</b>
<b>4.6.5.2. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΕ ΞΗΡΕΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ .....</b>	<b>119</b>
<b>4.6.6. ΥΓΡΕΣ-ΞΗΡΕΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΓΙΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΑΠΑΕΡΙΩΝ .....</b>	<b>120</b>
<b>4.7. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΝ.....</b>	<b>121</b>
<b>4.8. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΞΗΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>121</b>
<b>4.9. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ( C. DAVID COOPER &amp; F.C. ALLEY, 2002) .....</b>	<b>121</b>
<b>4.10. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ( C. DAVID COOPER &amp; F.C. ALLEY, 2002) .....</b>	<b>126</b>
<b>4.11. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ-ΦΙΛΤΡΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....</b>	<b>134</b>
<b>5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΑΧΤΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>138</b>
<b>5. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΥΣΗΣ.....</b>	<b>138</b>
<b>5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>138</b>
<b>5.1.1. ΣΗΜΕΙΑ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ .....</b>	<b>140</b>
<b>5.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΑΧΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΥΤΗΣ. ....</b>	<b>141</b>
<b>5.2.1.1. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ .....</b>	<b>142</b>
<b>5.2.1.1.1. ΚΛΑΣΜΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ.....</b>	<b>142</b>

5.2.1.1.2.	ΟΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ .....	143
5.2.1.1.3.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ.....	143
5.2.1.1.4.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΣΙΑΗΡΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ .....	143
5.2.1.1.5.	ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΛΕΞΗ .....	143
5.2.1.1.6.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ .....	144
5.2.1.1.7.	ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	144
5.2.1.1.8.	ΕΙΔΙΚΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑ .....	145
5.2.1.1.9.	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ .....	145
5.2.1.1.10.	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ.....	145
5.2.1.1.11.	ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ.....	145
5.2.1.1.12.	ΠΟΣΟΣΤΟ ΛΕΠΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	146
5.2.1.2.	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ .....	146
5.2.1.2.1.	ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ .....	146
5.2.1.2.2.	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΤΡΙΒΗ .....	146
5.2.1.3.	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	147
5.2.1.3.1.	ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ .....	147
5.2.1.3.2.	ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΠΕΔΙΟΥ .....	147
5.2.1.3.3.	ΛΟΓΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (CBR) .....	147
5.2.1.3.4.	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ .....	148
5.2.1.4.	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΑΧΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	148
5.2.1.5.	ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΙΑ-ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ.....	149
5.2.1.6.	ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ.....	150
5.2.1.7.	ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	150
5.2.1.8.	ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	153
5.2.1.8.1.	ΔΙΟΞΙΝΕΣ ΚΑΙ ΦΟΥΡΑΝΙΑ.....	153
5.2.1.8.2.	ΧΛΩΡΙΩΜΕΝΑ ΒΕΝΖΕΝΙΑ ΚΑΙ ΧΛΩΡΙΩΜΕΝΕΣ ΦΑΙΝΟΛΕΣ .....	153
5.2.1.8.3.	ΧΛΩΡΙΩΜΕΝΑ ΒΙΦΑΙΝΥΛΙΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ .....	153
5.3.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ .....	154
5.3.1.	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	154
5.3.1.1.	ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ .....	155
5.3.1.2.	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΑΧΤΗΣ ΛΕΒΗΤΑ .....	155
5.3.1.3.	ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	156
5.3.1.4.	ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ.....	156
5.3.1.5.	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	156
5.3.1.6.	ΠΤΗΤΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΑ .....	157
5.3.1.7.	ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	157
5.3.2.	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ .....	158
5.3.2.1.	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΞΗΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	160
5.3.2.2.	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΗΜΙ-ΞΗΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	160
5.3.2.3.	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΥΓΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	160
5.3.3.	ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ .....	160
5.3.3.1.	ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ.....	160
5.3.3.2.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	161
5.3.3.3.	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	161
5.3.3.4.	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	161
5.3.4.	ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΝΕΡΟ .....	162
5.3.5.	ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΛΕΞΗ.....	162
5.3.6.	ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	163
5.3.6.1.	ΡΗ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΞΙΝΗΣ ΟΥΔΕΤΕΡΟΤΗΤΑΣ .....	163

5.3.6.2.	ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	163
5.3.6.3.	ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	165
5.3.6.4.	ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΑΗΤΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΛΑΥΝΤΡΙΑΩΝ.....	166
5.3.7.	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ.....	169
60	ΚΕΦΑΛΑΙΟ :.....	177
	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	177
6.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	177
6.1.	ΠΑΡΟΧΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	177
6.2.	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ.....	178
6.3.	ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ.....	180
6.4.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ.....	188
6.5.	ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ.....	189
6.6.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ.....	190
6.7.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	191
6.8.	1ο ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ-ΥΓΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	195
6.8.1.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	198
6.8.2.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΞΙΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ.....	201
6.8.3.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	208
6.9.	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ 1ου ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	210
6.10.	2ο ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ-ΞΗΡΗ/ΥΓΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	210
6.11.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	212
6.12.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΞΙΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ.....	217
6.12.1.	ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ HCL ΚΑΙ ΤΟΥ HF.....	218
6.12.2.	ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ SO <sub>2</sub> .....	221
6.12.3.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	225
6.13.	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ 2ου ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	227
7.	ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	228
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	231
9.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	234
9.1.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΣΤΗ ΓΕΡΜΑΝΙΑ.....	234
9.1.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	234
9.1.2.	ΛΥΣΗ 1.....	234
9.1.3.	ΛΥΣΗ 2.....	237
9.1.4.	ΛΥΣΗ 3.....	239
9.1.5.	ΛΥΣΗ 4.....	241
9.1.6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	242
10.	ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ 2000/76 ΕΚ.....	242
10.1.	ΤΙΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	243
10.2.	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ.....	244
10.3.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	247
10.4.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΞΙΚΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ TCDD/PCDD.....	247



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτον από όλους τον κύριο Ευάγγελο Γιδαράκο. Με την διαρκή καθοδήγησή του και τις καίριες παρεμβάσεις του ολοκληρώσαμε ένα θέμα ,που αφενός το επιλέξαμε από κοινού και αφετέρου αποτελεί μία από τις βέλτιστες λύσεις διαχείρισης των απορριμμάτων στην σύγχρονη εποχή που διανύουμε.

Ευχαριστώ τον κ. Ευάγγελο Διαμαντόπουλο για τα άρθρα που μου παραχώρησε σχετικά με την διαχείριση παγκοσμίως των αστικών στερεών αποβλήτων και τον κ. Ηλία Μαυροειδή για τις υποδείξεις σχετικά με τον έλεγχο αέριας ρύπανσης.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ.Κάλλυ Μπαλτά για την εμπειριστατωμένη βοήθεια της στην ολοκλήρωση και τον σχεδιασμό της μονάδας στο πρόγραμμα του SUPERPRO καθώς και την κ. Βέτα Κουκουράκη για τις πληροφορίες που μου χορήγησε σχετικά με τις τιμές των αντιδραστηρίων .

Ακολούθως οφείλω να τιμήσω τους φίλους και μελλοντικούς μου συναδέλφους κ. Παναγιώτη Ντζαμίλη και κ.Αρτίν Κασαπιάν για την παροχή νέων στοιχείων σχετικά με την περιφέρεια της Κρήτης και τον εγχώριο σχεδιασμό των ΧΥΤΑ αντίστοιχα.

Τέλος πρέπει να ευχαριστήσω τους κ. Γιάννη Γκιούλη (ENVITEC AE) , κ. Δημήτριο Νταή ( ENVITEC AE) , κ. Ηλία Αργυράκη (LHS AE) ,κ. Κρεμάλη (ΚΡΕΜΑΛΗΣ & ΣΙΑ ΟΕ) για την ευχάριστη επικοινωνία που είχαμε προκειμένου να συζητήσουμε γενικότερα την επικρατούσα κατάσταση στην διαχείριση των απορριμμάτων στην Ελλάδα αλλά και τα προβλήματα σε υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ιατρικών αποβλήτων, μηχανικής διαλογής ,ανακύκλωσης, κομποστοποίησης και παραγωγής RDF.



## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το σύγχρονο πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων απαιτεί δραστήριες λύσεις οι οποίες οφείλουν να ικανοποιούν στοιχειώδη πρότυπα επεξεργασίας , προκειμένου να επιτυγχάνονται υψηλά ποσοστά απόδοσης. Αυτά τα πρότυπα περιλαμβάνουν ελάττωση του όγκου και της μάζας των απορριμμάτων, ανακύκλωση υλικών, ανάκτηση ενέργειας ,παραγωγή παραπροϊόντων προς πώληση και ελαχιστοποίηση στερεών , υγρών και αερίων αποβλήτων.

Μια μονάδα καύσης αστικών στερεών απορριμμάτων όταν συνοδεύεται από τις επιμέρους εγκαταστάσεις ελέγχου αποβλήτων και ανάκτησης ενέργειας αποτελεί μία ολοκληρωμένη λύση στην διαχείριση των απορριμμάτων και την προστασία του περιβάλλοντος.

Στην παρούσα εργασία αναλύσαμε αρχικά την δομή ενός εργοστασίου καύσης αστικών αποβλήτων με όλες τις διαθέσιμες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλον τον κόσμο. Περιγράψαμε τα συστήματα τροφοδοσίας και καύσης ( εσχάρες, περιστρεφόμενοι κλίβανοι, ρευστοποιημένες κλίνες κ.α. ) και αναφέραμε τις μεθοδολογίες στις ζώνες των θερμοκρασιών ( αεριοποίηση, πυρόλυση, ξήρανση, καύση).

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση των σταδίων ανάκτησης της ενέργειας στα επιμέρους συστήματά και περιγραφή των συνηθισμένων συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης που χρησιμοποιούνται σε μονάδες καύσεις. Προτείναμε ενδεχόμενες λύσεις (υγρή μέθοδος, ξηρή μέθοδος, υγρή /ξηρή μέθοδος) που σχεδιάζονται για κάθε τύπο εγκαταστάσεων.

Ακολούθως αναλύσαμε την διαχείριση όλων των υπολειμμάτων (τέφρα, ιζήματα, άλατα και υγρά απόβλητα) που παράγονται στις μονάδες καύσης και παραθέσαμε τυπικές διατάξεις ανάκτησης ορισμένων παραπροϊόντων όπως  $\text{HCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ .

Στην τελευταία ενότητα έγινε εφαρμογή δύο επιλεγμένων εγκαταστάσεων στην Περιφέρεια Κρήτης .Αφού εξάγαμε την στοιχειακή σύνθεση της μάζας των καύσιμων υλικών των απορριμμάτων (  $\text{C}$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , τέφρα) και γνωρίζοντας την σχεδιαστική παροχή του εργοστασίου (300 tn/day) εισάγαμε τα δεδομένα στο λογισμικό της Intelligen Inc.(SUPERPRO).

Ακολούθησε σχεδιασμός δύο μονάδων καύσης :

- Καύση - σακόφιλτρο - πύργοι απορρόφησης όξινων αερίων-φίλτρα ενεργού άνθρακα

- Καύση - ηλεκτροστατικό φίλτρο – ξήρανση ψεκασμού - υγρό ηλεκτροστατικό φίλτρο - πύργοι απορρόφησης όξινων αερίων-φίλτρα ενεργού άνθρακα

Στα δύο αυτά σενάρια έγινε προσέγγιση και διαστασιολόγηση στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μιας μονάδας καύσης .

## **ABSTRACT**

The current situation of solid waste management demands strenuous solutions, which have to satisfy basic standards in order to be achieved high efficiency rates. These standards consists of size reduction of waste, material recycling, energy recovery, byproducts production ready to sell and minimization of all sorts of waste ( liquid, solid, air emissions).

When a solid waste incineration plant is accompanied by allocated control waste and energy recovery systems represents an integrated solution both to the solid waste management and the environmental protection.

In the present research and in the first four chapters we analyze the structure of a solid waste incineration plant with the available technologies that are globally utilized. We started describing the feed and burn systems (grates, rotary kilns, fluidized beds etc) and we mentioned the methodologies that developed at the temperature zones (gasification , pyrolysis, drying, burning). Next we moved on the energy recovery stage and we finished with the air pollution control systems.

In the fifth chapter we analyzed the management of the residues (ash, sediments, salts, liquid waste) that are produced in burning facilities and we indicated typical byproducts recovery devices that can produce substances such us HCl, NaCl, CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>.

At the last chapter we pass through the theory to reality and design two approaches for Cretan territory. As we derived from wastes combustible material elemental composition (C,H,O,S,Cl,F,N,H<sub>2</sub>O,ash) and knowing the feeding supply for the plant (300 tn/day) we introduced the data to the Intelligen Inc.(SUPERPRO) software. During that we designed two solutions:

- Incineration-Baghouse filtration-Absorption of gaseous acid pollutants – Adsorption with activated carbon
- Incineration-Electrostatic precipitation-Spray Drying-Wet Electrostatic precipitation - Absorption of gaseous acid pollutants – Adsorption with activated carbon

In these two scenarios we tried to approach the incineration plant real operating conditions so we observed the systems efficiencies and dimensioned the devices with the minimum requirements.

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1- 1 : Σύνολο κατασκευασμένων ΧΥΤΑ στην Ελληνική επικράτεια.....	3
Πίνακας 1- 2:Υποθετική χρονική και ποσοτική εξέλιξη του κομπόστ και του RDF στην Ελλάδα4	
Πίνακας 1- 3:Αποτεφρωμένα αστικά απορρίμματα παγκοσμίως (εκφρασμένα σε kg/άτομο/έτος) .....	6
Πίνακας 1- 4:Συλλεχθέντα αστικά απορρίμματα παγκοσμίως (εκφρασμένα σε kg/άτομο/έτος) .	7
Πίνακας 1- 5: Σύγκριση ποσοστού αποτεφρωμένων αποβλήτων παγκοσμίως.....	8
Πίνακας 1- 6: Ποσοστιαία σύνθεση των απορριμμάτων και χωροχρονική σύγκριση των τιμών.	10
Πίνακας 2- 1:Θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων στον Ελληνικό χώρο το έτος 1991.....	21
Πίνακας 2- 2:Θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων στον Ελληνικό χώρο το έτος 1998.....	21
Πίνακας 2- 3:Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του RDF.....	23
Πίνακας 2- 4: Κατασκευαστές θαλάμων και εσχάρων .....	31
Πίνακας 2- 5:Πολυωνυμικοί συντελεστές για εκτίμηση εκπνευσιμότητας αερίων.....	71
Πίνακας 2- 6: Χαρακτηριστικά της μονάδας.....	78
Πίνακας 2- 7:Σύγκριση πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων στις τεχνολογίες καύσης ως προς το υλικό τροφοδοσίας .....	85
Πίνακας 4- 1: Σύγκριση μεθόδων επεξεργασίας απαερίων.....	100
Πίνακας 4- 2:Παράγοντες σχεδιασμού σακόφιλτρων.....	110
Πίνακας 5- 1:Κριτήρια αποδοχής ιπτάμενης τέφρας σε ΧΥΤΑ.....	140
Πίνακας 5- 2:Περιεκτικότητα στοιχείων στην λιθόσφαιρα, στο έδαφος και στην στάχτη του πυθμένα (ELSEVIER ,1997) .....	152
Πίνακας 5- 3:Κατηγοριοποίηση της στάχτης του λέβητα.....	156
Πίνακας 5- 4:Κατανομή μεγέθους της στάχτης.....	156
Πίνακας 5- 5:Τυπικές τιμές σε οργανικούς ρύπους στην ιπτάμενη τέφρα.....	158
Πίνακας 5- 6:Κατανομή μορφολογίας και εύρους σωματιδίων στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης.....	162
Πίνακας 5- 7:Συγκεντρώσεις των ανόργανων συστατικών στην ιπτάμενη τέφρα και στα υπολείμματα των υγρών συστημάτων.....	164
Πίνακας 5- 8: Συγκεντρώσεις των ανόργανων συστατικών στα υπολείμματα των ξηρών συστημάτων .....	165
Πίνακας 5- 9:Σύνθεση υγρών αποβλήτων πλυντρίδων.....	167
Πίνακας 5- 10:Αποδεκτά όρια παραμέτρων για παραγωγή NaCl .....	167
Πίνακας 5- 11: Αποδεκτά όρια παραμέτρων για παραγωγή Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> .....	168
Πίνακας 5- 12: Αποδεκτά όρια παραμέτρων για παραγωγή γύψου .....	168
Πίνακας 5- 13: Αποδεκτά όρια παραμέτρων για παραγωγή HCl.....	169
Πίνακας 6- 1:Συνολικές παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων στους νομούς Ηρακλείου, Λασιθίου και Ρεθύμνου .....	178

Πίνακας 6- 2:Ποιοτική σύνθεση πρώτης δειγματοληψίας .....	179
Πίνακας 6- 3: Ποιοτική σύνθεση δεύτερης δειγματοληψίας.....	180
Πίνακας 6- 4:Προέλευση βαρέων μετάλλων στα απορρίμματα.....	181
Πίνακας 6- 5:Στοιχειακή σύνθεση των διαφόρων υποκατηγοριών των απορριμμάτων.....	182
Πίνακας 6- 6: Στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ περιφ. Κρήτης (Α' Φάση- 15/09/03 έως 31/10/03).....	183
Πίνακας 6- 7: Στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ περιφ. Κρήτης (Β' Φάση - 17/11/2003 έως 23/01/2004).....	184
Πίνακας 6- 8:Στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ περιφ. Κρήτης (Γ' Φάση- 15/02/04 έως 14/05/04 ).....	185
Πίνακας 6- 9: Στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ περιφ. Κρήτης (Δ' Φάση - 14/6/04 έως 30-/07/04) .....	186
Πίνακας 6- 10:Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ Περιφέρειας Κρήτης.....	186
Πίνακας 6- 11:Τελική στοιχειακή σύνθεση RDF και μάζας απορριμμάτων .....	188
Πίνακας 6- 12:Ενεργειακή συμμετοχή των απορριμμάτων στην περιοχή μελέτης.....	189
Πίνακας 6- 13 :Συνολικά υπολείμματα στα συστήματα αλκαλικής πλύσης του 1 <sup>ου</sup> σεναρίου...207	
Πίνακας 6- 14:Συνολικά υπολείμματα στα συστήματα αλκαλικής πλύσης του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου....224	
Πίνακας 6- 15:Συγκεντρωτικός πίνακας σύγκρισης των δύο σεναρίων για την εφαρμογή στην Περιφέρεια Κρήτης .....	230



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1- 1: Μονάδα καύσης στο St. Quen της Γαλλίας (ISWM,2001) .....	15
Εικόνα 1- 2: Μονάδα καύσης στο Άμστερνταμ της Ολλανδίας (ISWM,2001) .....	16
Εικόνα 1- 3: Μονάδα καύσης στο Yame Seibu της Ιαπωνίας (ISWM,2001) .....	16
Εικόνα 2- 1: Μία τυπική μονάδα με τις επιμέρους λειτουργίες της (ELSEVIER ,1997) .....	19
Εικόνα 2- 2: Αντιδράσεις πυρόλυσης .....	28
Εικόνα 2- 3: Αντίδραση αεριοποίησης .....	28
Εικόνα 2- 4: Σχηματικό σύστημα μονάδας καύσης[ELSEVIER,1997] .....	32
Εικόνα 2- 5: Οριζόντιες εσχάρες αποτέφρωσης ( ISWM,2001) .....	34
Εικόνα 2- 6: Εσχάρες τροφοδοσίας (ELSEVIER ,1997) .....	36
Εικόνα 2- 7: Σχήμα κινούμενης εσχάρας(ELSEVIER ,1997) .....	37
Εικόνα 2- 8: Εσχάρα με παλινδρόμηση από την Martin(ELSEVIER ,1997) .....	38
Εικόνα 2- 9: Σχηματική διάταξη της ατέρμονης εσχάρας(ELSEVIER ,1997) .....	38
Εικόνα 2- 10: Σχηματική διάταξη της κυλινδρικής εσχάρας(ELSEVIER ,1997) .....	39
Εικόνα 2- 11: Τύποι παλινδρομικών εσχάρων(ELSEVIER ,1997) .....	40
Εικόνα 2- 12: Φλογοθάλαμος παράλληλης ροής(ELSEVIER ,1997) .....	42
Εικόνα 2- 13: Φλογοθάλαμος αντίθετης ροής(ELSEVIER ,1997) .....	43
Εικόνα 2- 14: Φλογοθάλαμος κεντρικής ροής(ELSEVIER ,1997) .....	44
Εικόνα 2- 15: Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας στον φλογοθάλαμο-Ζώνες καύσης .....	45
Εικόνα 2- 16: Τροποποιήσεις σε υφιστάμενη μονάδα καύσης στην πόλη Quebec του Καναδά με την άδεια της Environment Canada .....	47
Εικόνα 2- 17: Σχηματική διάταξη της ρευστοποιημένης κλίνης(ELSEVIER,1997) .....	54
Εικόνα 2- 18: Σχηματική διάταξη του συστήματος καύσης ημι-αναστολής(ELSEVIER,1997) ...	56
Εικόνα 2- 19: Διάταξη του συστήματος περιστρεφόμενου κλιβάνου της Volund .....	58
Εικόνα 2- 20: Σύστημα περιστρεφόμενου κλιβάνου της Westinghouse/O'Connor .....	59
Εικόνα 2- 21: Προετοιμασία αέρα σε τμήμα της διαδικασίας της καύσης .....	60
Εικόνα 2- 22: Στοιχειομετρική αντίδραση αποτέφρωσης .....	61
Εικόνα 2- 23: Περιοχή φλόγας σαν συνάρτηση των αποβλήτων και του μοριακού κλάσματος οξυγόνου .....	65
Εικόνα 2- 24: Αντιδράσεις αερίων .....	67
Εικόνα 2- 25: Απρόσβλητο και μονωμένο σχήμα διακριτοποίησης με κομβική σύνδεση .....	72
Εικόνα 2- 26: Σύστημα εναλλακτών θέρμανσης αερίων .....	74
Εικόνα 2- 27: Διακριτοποίηση θερμοκρασίας στους εναλλάκτες θερμότητας .....	76
Εικόνα 2- 28: -α) φόρτωμα αποβλήτων στον περιστρεφόμενο κλίβανο .....	80
Εικόνα 2- 29: Θερμοκρασία εξόδου από περιστρεφόμενο κλίβανο .....	81
Εικόνα 2- 30: Θερμοκρασία εξόδου από μετακαυστήρα .....	81
Εικόνα 2- 31: Προφίλ θερμοκρασιών-χρόνου στα επίπεδα του μονωτικού υλικού που υπάρχει .....	82
Εικόνα 2- 32: Διαρροή αέρα στον περιστρεφόμενο κλίβανο .....	83
Εικόνα 2- 33: Θερμοκρασία στον 1 <sup>ο</sup> εναλλάκτη θερμότητας .....	84
Εικόνα 2- 34: Θερμοκρασία στον 2 <sup>ο</sup> εναλλάκτη θερμότητας .....	84
Εικόνα 3- 1: Κατανομή θερμοκρασιών σε ένα τυπικό σύστημα ανάκτησης θερμότητας .....	88

Εικόνα 3- 2: Τύμπανο λέβητα.....	89
Εικόνα 4- 1:Σύστημα ελέγχου αερίων εκπομπών σε υφιστάμενη μονάδα καύσης απορριμμάτων .....	90
Εικόνα 4- 2:Μόρια α)διβενζο-παρα-διοξίνης και β)διβενζοφουρανίου(Mc Cay,2002) .....	94
Εικόνα 4- 3:Ενώσεις πολυχλωριωμένων διοξινών ,φουρανίων και βιφαινυλίων(Mc Cay,2002).....	95
Εικόνα 4- 4: Κατανομή σωματιδίων σε σχέση με την διάμετρο και την προέλευση τους .....	101
Εικόνα 4- 5: Τυπική διάταξη κυκλώνα .....	103
Εικόνα 4- 6: Γενική σχέση αποδόσεων συλλογής .....	103
Εικόνα 4- 7: Εγκατεστημένο ESP σε μονάδα καύσης άνθρακα ισχύος 364 MW .....	105
Εικόνα 4- 8:Όψη σε τομή ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου .....	106
Εικόνα 4- 9: Σακόφιλτρο με μηχανική δόνηση .....	108
Εικόνα 4- 10:Σακόφιλτρο με πεπιεσμένο αέρα .....	109
Εικόνα 4- 11:Θάλαμοι ψεκασμού .....	112
Εικόνα 4- 12:Πλυντρίδα ψεκασμού .....	113
Εικόνα 4- 13:Πλυντρίδα venturi .....	114
Εικόνα 4- 14:Αντιδράσεις οξειδίων του αζώτου .....	122
Εικόνα 4- 15:Αντιδράσεις αμμωνίας .....	122
Εικόνα 4- 16:Αντιδράσεις σχηματισμού αζώτου.....	123
Εικόνα 4- 17:Αντίδραση σχηματισμού νιτρικού οξέος.....	125
Εικόνα 4- 18:Σχηματική διάταξη πύργου απορρόφησης .....	127
Εικόνα 4- 19:Αντιδράσεις απορρόφησης διοξειδίου του θείου με ασβεστόλιθο .....	128
Εικόνα 4- 20:Αντιδράσεις απορρόφησης διοξειδίου του θείου με ασβέστη.....	129
Εικόνα 4- 21:Σχηματική παράσταση διαγράμματος ροής διεργασίας για σύστημα καθαρισμού SO <sub>2</sub> με .....	130
Εικόνα 5- 1:Κοκκομετρική διαβάθμιση των κλασμάτων τέφρας στις μονάδες καύσης .....	139
Εικόνα 5- 2:Συσκευές εκκένωσης τέφρας (ELSEVIER,1997).....	141
Εικόνα 5- 3:Μικρογραφίες της στάχτης του πυθμένα (ELSEVIER,1997) .....	149
Εικόνα 5- 4:Μέθοδοι τήξης της στάχτης.....	172
Εικόνα 5- 5:Διαδικασία ανάκτησης NaCl .....	173
Εικόνα 5- 6:Διαδικασία παραγωγής CaCl <sub>2</sub> .....	174
Εικόνα 5- 7:Διαδικασία παραγωγής γύψου και HCl.....	175
Εικόνα 5- 8:Διαδικασία ηλεκτροχημικής ανάκτησης χλωρίου .....	176
Εικόνα 6- 1:Παροχή τροφοδοσίας στην διεργασία της καύσης .....	191
Εικόνα 6- 2:Συνθήκες λειτουργίας του αποτεφρωτήρα πριν την καύση .....	192
Εικόνα 6- 3: :Συνθήκες λειτουργίας του αποτεφρωτήρα μετά την καύση.....	193
Εικόνα 6- 4:Ταυτοποίηση στοιχείων στα απαέρια .....	194
Εικόνα 6- 5:Περίσσεια θερμότητας από τα απορρίμματα.....	195
Εικόνα 6- 6:Σύνθεση των απαερίων .....	198
Εικόνα 6- 7:Σχεδιαστικές παράμετροι σακόφιλτρου .....	199
Εικόνα 6- 8:Απόδοση σακόφιλτρου.....	200

Εικόνα 6- 9:Ιδιότητες πληρωτικού υλικού στον πύργο απορρόφησης HCl/HF στο 1 <sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων .....	201
Εικόνα 6- 10:Παροχή διαλύματος στο πρώτο στάδιο της αλκαλικής πλύσης του 1 <sup>ου</sup> σεναρίου	202
Εικόνα 6- 11:Απόδοση πρώτου σταδίου αλκαλικής πλύσης στο 1 <sup>ο</sup> σενάριο.....	203
Εικόνα 6- 12:Υπολείμματα από το πρώτο στάδιο της αλκαλικής πλύσης στο 1 <sup>ο</sup> σενάριο.....	204
Εικόνα 6- 13:Παροχή διαλύματος στο δεύτερο στάδιο της αλκαλικής πλύσης.....	205
Εικόνα 6- 14: Ιδιότητες πληρωτικού υλικού στον πύργο απορρόφησης SO <sub>2</sub> στο 1 <sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων .....	206
Εικόνα 6- 15: Απόδοση δευτέρου σταδίου αλκαλικής πλύσης στο 1 <sup>ο</sup> σενάριο .....	206
Εικόνα 6- 16: Υπολείμματα από το δεύτερο στάδιο της αλκαλικής πλύσης στο 1 <sup>ο</sup> σενάριο .....	207
Εικόνα 6- 17:Συνθήκες λειτουργίας φίλτρων ενεργού άνθρακα .....	208
Εικόνα 6- 18:Σύνθεση καθαρών απαερίων .....	209
Εικόνα 6- 19:Διαστασιολόγηση 1 <sup>ου</sup> ESP στο 2 <sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων .....	213
Εικόνα 6- 20:Κατανάλωση ισχύος στο 1 <sup>ο</sup> ηλεκτροστατικό φίλτρο.....	214
Εικόνα 6- 21:Διαστασιολόγηση της συσκευής ξήρανσης.....	215
Εικόνα 6- 22:Συνθήκες λειτουργίας συσκευής ξήρανσης στο 2 <sup>ο</sup> σενάριο.....	216
Εικόνα 6- 23:Διαστασιολόγηση 2 <sup>ου</sup> υγρού ESP .....	217
Εικόνα 6- 24:Ιδιότητες πληρωτικού υλικού στον πύργο απορρόφησης HCl/HF στο 2 <sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων .....	218
Εικόνα 6- 25: Παροχή διαλύματος στο πρώτο στάδιο της αλκαλικής πλύσης του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου	219
Εικόνα 6- 26:Απόδοση πρώτου σταδίου του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	220
Εικόνα 6- 27:Υπολείμματα 1 <sup>ου</sup> σταδίου αλκαλικής πλύσης 2 <sup>ου</sup> σεναρίου.....	221
Εικόνα 6- 28:Παροχή διαλύματος στο 2 <sup>ο</sup> στάδιο της αλκαλικής πλύσης του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου .....	222
Εικόνα 6- 29:Ιδιότητες πληρωτικού υλικού 2 <sup>ου</sup> πύργου απορρόφησης.....	223
Εικόνα 6- 30:Υπολείμματα από το δεύτερο στάδιο της αλκαλικής πλύσης του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου ...	224
Εικόνα 6- 31:Απόδοση φίλτρων ενεργού άνθρακα στο 2 <sup>ο</sup> σενάριο .....	225
Εικόνα 6- 32:Σύνθεση καθαρών απαερίων στις εγκαταστάσεις του 2 <sup>ου</sup> σεναρίου.....	226

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 6- 1: Ποσοστιαία συγκριτική σύνθεση των απορριμμάτων στην πρώτη φάση δειγματοληψίας .....	179
Διάγραμμα 6- 2: Ποσοστιαία συγκριτική σύνθεση των απορριμμάτων στην δεύτερη φάση δειγματοληψίας .....	180
Σχήμα 6- 1: 1 <sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων-υγρή μέθοδος .....	197
Σχήμα 6- 2: 2 <sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων- υγρή/ξηρή μέθοδος .....	211

## **1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Η διαχείριση των στερεών απορριμμάτων στην Ελλάδα τα τελευταία πέντε χρόνια αναπτύσσεται με χαμηλούς ρυθμούς σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη . Ο περιφερειακός σχεδιασμός της χώρας έχει καθυστερήσει σημαντικά στην υλοποίηση των προγραμμάτων ανακύκλωσης και διαχείρισης των απορριμμάτων συμπεριλαμβανομένου όλων των ειδών αποβλήτων (τοξικών, αδρανών, ηλεκτρονικών κ.α). Τα ευρωπαϊκά πρότυπα διαχείρισης στερεών αποβλήτων προωθούν ολοένα και περισσότερες εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας όπως η αναερόβια χώνευση ή η κομποστοποίηση των οργανικών υπολειμμάτων, εγκαταστάσεις ανακύκλωσης υλικών ( χαρτί , μέταλλα , γυαλί, πλαστικό) και βέβαια εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας διαφόρων τεχνολογιών με αποτέλεσμα την ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων.

Η Ελλάδα είναι μία χώρα 11 εκατομμυρίων κατοίκων περίπου όπου σχεδόν το 50 % του πληθυσμού διαμένει στην Αθήνα και την Θεσσαλονίκη ενώ το υπόλοιπο ποσοστό του πληθυσμού κατοικεί στην υπόλοιπη χώρα που απαρτίζεται από πολυάριθμους δήμους και περίπου 100 νησιά από τα οποία το μεγαλύτερο είναι και η Κρήτη . Η ετήσια παραγωγή της Ελλάδας σε απορρίμματα ανέρχεται σε περίπου 4,10 εκ tn/year (Μαντρογύλος Α.–ISWM,2001).

Η προσπάθεια της ελληνικής πολιτείας για έναν περιφερειακό σχεδιασμό ξεκινά από το 1995 όπου από 4.850 χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (χωματερές) καταλήξαμε μέσα σε μια δεκαετία στα ακόλουθα :

- Κατασκευή 43 Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) σε πολλούς δήμους και περιφέρειες [πίνακας 1-1] οι οποίοι εξυπηρετούν ένα ποσοστό πληθυσμού γύρω στο 70 %.
- Ολοκλήρωση 3 εργοστασίων μηχανικής διαλογής ,ανακύκλωσης και κομποστοποίησης σε Αθήνα ,Θεσσαλονίκη και Χανιά δυναμικότητας 500,000 tn/yr , 240.000 tn/yr και 80.500 tn/yr αντίστοιχα.
- Σχεδιασμό και ολοκλήρωση μιας μονάδας μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης στην Καλαμάτα δυναμικότητας 20,000 tn /yr.



- Κατασκευή 18 μονάδων ανάκτησης υλικών σε όλο τον ελληνικό χώρο εκτός των μεγάλων μονάδων σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη με την προοπτική ανακύκλωσης 30 % του χαρτιού, 37 % του αλουμινίου και 28% του γυαλιού.
- Σχεδιασμό δικτύων συλλογής με σκοπό να εξυπηρετείται όσο το δυνατόν περισσότερος πληθυσμός (περίπου 90% με το 10 % να αντιπροσωπεύει μικρά χωριά και απομονωμένους οικισμούς) .
- Αποκατάσταση 6 χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης από τους οποίους οι 3 βρίσκονταν στην Αθήνα ,οι 2 στην Θεσσαλονίκη και ο ένας στην Κρήτη με ολικό κόστος 40εκ € .

Η παραγωγή απορριμμάτων για κάθε κάτοικο έχει αυξηθεί ( λόγω της απεριόριστης χρήσης των συσκευασιών και της χρήσης ολοένα και περισσότερο τυποποιημένης τροφής ) από 0,97 kg ανά κάτοικο ανά ημέρα σε 1,13 kg ανά κάτοικο ανά ημέρα

Παράλληλα η ευρωπαϊκή νομοθεσία έχει καθορίσει ορισμένους στόχους οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη στον περιφερειακό σχεδιασμό ο οποίος συνεχίζεται μέχρι και σήμερα και προβλέπεται να ολοκληρωθεί σύμφωνα με τους στόχους του ευρωπαϊκού μέσου όρου .

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΝΟΜΑΡΧΙΑ	ΧΥΤΑ	ΕΞΥΠΗ. ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΣΤΑΔΙΟ ΕΡΓΟΥ
<u>Αν. Μακεδονία &amp; Θράκη</u>	Ξάνθης	Ν.Ξάνθης	81.276	Λ
	Καβάλας	Δ.Καβάλας	63.774	Λ
	Ροδόπης	Δ.Κομοτηνής	111.038	Λ
		3	<b>256.088</b>	
<u>Κεντρική Μακεδονία</u>	Πιερίας	Δ.Λιτοχώρου	33.858	Κ
	Κιλκίς	Δ.Κιλκίς	25.134	Λ
	Θεσσαλονίκης	Ταγαράδων	753.645	Λ
	Πιερίας	Δ.Κατερίνης	76.660	Λ
	Πέλλης	Δ.Αριδαίας	29.290	Λ
	Σερρών	Δ.Σερρών	56.029	Λ
	Χαλκιδικής	Δ.Κασσάνδρας	16.126	Λ
		7	<b>990.742</b>	
<u>Ήπειρος</u>	Αρτας	Ν.Αρτας	94.623	Κ
	Θεσπρωτίας	Δ.Ηγουμενίτσας	26.826	Κ
		2	<b>121.449</b>	
<u>Θεσσαλία</u>	Μαγνησίας	Νοτ.Πηλίου	9.616	Κ
	Λάρισας	Δ.Λάρισας	292.728	Λ
	Μαγνησίας	Δ.Βόλου	166.965	Λ
		3	<b>469.309</b>	
<u>Ιόνια Νησιά</u>	Ζακύνθου	Ν.Ζακύνθου	38.680	Λ
	Κεφαλληνίας	Ν.Κεφαλληνίας	36.527	Λ

	Λευκάδας	Μεγανησίου	1.094	Λ
	Κέρκυρας	Κεντρ.Κέρκυρας	69.762	Λ
		4	<b>146.063</b>	
<u>Στερεά Ελλάδα</u>	Βοιωτίας	Δ.Λεβαδέων	28.361	Λ
	Φθιώτιδας	Δ.Δομοκού	14.591	Λ
	Φθιώτιδας	Δ.Λαμιέων	92.093	Λ
		3	<b>135.045</b>	
<u>Δυτική Ελλάδα</u>	Πάτρας	1	<b>300.000</b>	Λ
<u>Αττική</u>	Αττικής	1	<b>3.500.000</b>	Λ
<u>Πελοπόννησος</u>	Κορινθίας	Δ.Κιάτου		Λ
		1	<b>30.456</b>	
<u>Νότιο Αιγαίο</u>	Κυκλάδων	Κιμώλου	799	Κ
	Κυκλάδων	Ανάφης	272	Λ
	Δωδεκανήσου	Αγαθονήσιου	155	Λ
	Δωδεκανήσου	Μεγίστης	387	Λ
	Δωδεκανήσου	Τήλου	535	Λ
	Δωδεκανήσου	Λειψών	704	Κ
	Δωδεκανήσου	Βορ.ρόδου	93.471	Λ
		7	<b>96.323</b>	
<u>Κρήτη</u>	Ηρακλείου	Τεμένους-Καζα.	14.924	Λ
	Ηρακλείου	Χερσονήσου	17.050	Λ
	Ηρακλείου	Βιάννου	6.477	Κ
	Λασιθίου	Δ.Σητείας	14.431	Λ
	Λασιθίου	Δ.Αγ. Νικολάου	19.677	Λ
	Ρεθύμνης	Δ.Ρεθύμνης	38.000	Λ
	Ρεθύμνης	Δ.Αμαρίου	33.008	Λ
	Χανίων	Δ.Αρμένων	12.661	Λ
	Χανίων	Δ.Πελεκάνου	7.265	Λ
	Χανίων	Δ.Σφακίων	2.397	Λ
	Χανίων	Χανίων	98.962	Λ+Κ
		11	<b>264.852</b>	
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		43	6.310.327	

ΠΗΓΗ: ΑΡΤΙΝ ΚΑΣΑΠΙΑΝ & ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ , 2005

#### Πίνακας 1- 1 : Σύνολο κατασκευασμένων ΧΥΤΑ στην Ελληνική επικράτεια

- Μέχρι το τέλος του 2008 πρέπει να ανακτάται ενέργεια περίπου 60 % κατά βάρος από τις εγκαταστάσεις καύσης απορριμμάτων (Οδηγία 2004/12 ΕΚ).
- Μέχρι το τέλος του 2008 πρέπει να ανακυκλώνεται το 60 % κατά βάρος του χαρτιού και το γυαλιού ,το 50 % των μετάλλων , το 22,5 % των πλαστικών και το 15 % των ξύλων (Οδηγία 2004/12 ΕΚ) .

- Μέχρι το τέλος του 2007 το 50 % των οργανικών υπολειμμάτων πρέπει να επεξεργάζεται και να μην καταλήγει στους ΧΥΤΑ , ενώ το ποσοστό αυτό μέχρι το 2014 μειώνεται στο 35% (Οδηγία 1999/31 ΕΚ).

Δηλαδή ,από αυτούς τους καθοριστικούς στόχους καταλαβαίνουμε ότι θα πρέπει να επεξεργαζόμαστε περίπου 2,25 εκ tn /year ,πράγμα που σημαίνει ότι αν καταφέρουμε να επεξεργαστούμε όλη την μάζα των απορριμμάτων που παράγονται στην Αθήνα και Θεσσαλονίκη και σε όλους τους δήμους που πρόσκεινται σε αυτές τις περιφέρειες τότε θα έχουμε πετύχει αυτόν τον στόχο χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι υπόλοιπη περιφέρεια της χώρας πρέπει να εξαιρεθεί από τον εγχώριο σχεδιασμό.

Η εξέλιξη αυτή θα επιφέρει βέβαια τεράστιες ποσότητες δευτερογενών προϊόντων όπως π.χ. κομπόστ, ανακυκλώσιμα υλικά και RDF(καύσιμο υλικό απορριμμάτων) ,οι οποίες θα πρέπει να διατεθούν στην αγορά.

	<b>Compost</b>	<b>RDF</b>
	tn/yr	tn/yr
2005	140000	253000
2013	226000	412000
2020	284000	517000

**Πίνακας 1- 2:Υποθετική χρονική και ποσοτική εξέλιξη του κομπόστ και του RDF στην Ελλάδα**

Οι ποσότητες αυτές αναφέρονται στις υφιστάμενες μονάδες που θα λειτουργούν μέχρι εκείνη την περίοδο αναφοράς.

Επίσης τα προβλήματα διάθεσης των ανακυκλώσιμων υλικών στην αγορά ακόμα παραμένουν και δεν έχουν απομακρυνθεί. Η ελληνική νομοθεσία όσον αφορά το compost είναι πολύ αυστηρή με τις φυσικοχημικές του παραμέτρους όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην γεωργία .

Η διάθεση του RDF οφείλει να αναπτυχθεί σε ένα ισχυρό θεσμικό πλαίσιο τόσο από την μεριά των βιομηχανιών που θα το χρησιμοποιήσουν ( π.χ. τσιμεντοβιομηχανίες ) σαν καύσιμο υλικό όσο και από την σκοπιά των παραγωγών του (π.χ. εργοστάσια μηχανικής διαλογής).

Διακρίνουμε λοιπόν ότι με το να λύνουμε ένα πρόβλημα όπως είναι αυτό της διαχείρισης των απορριμμάτων προκύπτουν άλλα δευτερογενή προβλήματα τα οποία να μην επιδέχονται λύση αλλά πρέπει να υπάρξει μεγάλη πρόοδος στον τομέα της αγοράς.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι σε πολλά ευρωπαϊκά κράτη όπως στην Γερμανία την ώρα που εμείς χρηματοδοτούμε κατασκευές ΧΥΤΑ ύψους 40 εκ € , εκείνα έθεσαν σαν όριο στο εγχώριο περιφερειακό σχεδιασμό τους μέχρι το 2020 να έχουν κλείσει όλους τους χώρους διάθεσης απορριμμάτων ,και να επεκτείνουν την επεξεργασία των αποβλήτων με την παραγωγή ενέργειας.

Παρακάτω παραθέτουμε πρόσφατα στοιχεία από την EUROSTAT όσον αφορά την επικρατούσα τάση αυτή την στιγμή στην Ευρώπη.

Από τον πίνακα 1-3 αμέσως διακρίνουμε και μπορούμε να συγκρίνουμε ότι πλέον οι υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης έχουν κατανοήσει σε μεγάλο βαθμό την καύση σαν διεργασία και έχουν σημειώσει μεγάλη τεχνολογική πρόοδο όπως το ίδιο πράττουν και οι ΗΠΑ αλλά και η Ιαπωνία. Δυστυχώς η Ελλάδα, αν και όπως διακρίνουμε από τον πίνακα 1-4 παράγει ανά ισοδύναμο κάτοικο περίπου 428 kg / έτος που είναι βέβαια κάτω από τον μέσο όρο, εντούτοις δεν αποτεφρώνει ούτε ένα kg.

		1985	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ΕΥ (25 χώρες)	:	68	70	74	76	81	84	87	91	92	
ΕΥ (15 χώρες)	:	81	84	88	89	95	99	102	106	108	
Ευρωζώνη	:	84	87	94	94	100	104	107	111	113	
Βέλγιο	:	163	153	179	164	151	157	161	158	159	
Τσεχία	:	0	0	0	17	30	31	35	39	39	
Δανία	:	294	308	315	312	315	352	374	374	363	
Γερμανία	:	97 (e)	106	111	112	125	133	135	143	146	
Εσθονία	:	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
<b>Ελλάδα</b>	-	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	
Ισπανία	:	24 (e)	25 (e)	35 (e)	38 (e)	36 (e)	37(e)	37	38	40(e)	
Γαλλία	:	183	175	175	172	173	174	181	187	189(e)	
Ιρλανδία	:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ιταλία	:	24 (e)	27 (e)	30	34	37	40	44	47	49 (e)	
Κύπρος	:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Λετονία	:	0	0	0	0	0	0	12	23	10	
Λιθουανία	:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Λουξεμβούργο	:	312	306	300	288	311	284	275	284(e)	274(e)	
Ουγγαρία	:	32	32	32	35	34	34	35	28	24	
Μάλτα	:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ολλανδία	149.44	139	171	219	198	203	190	199	194	197	
Αυστρία	:	54	54	56	55	57	65	65	66	65	
Πολωνία	:	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Πορτογαλία	:	0	0	0	0	62	96	104	91	98	
Σλοβενία	:	0	0	0	0	0	0	0	2	3 (e)	
Σλοβακία	:	0	0	0	0	0	0	0	29	29 (e)	
Φινλανδία	:	0	0	22	28	38	52	41	39	41	
Σουηδία	167.81	149 (e)	147	150	165	163	164	169	188	212	
Ηνωμένο Βασίλειο	:	35	36	29	37	40	41	43	46	45	
Βουλγαρία	:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Κροατία	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
Ρουμανία	:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Τουρκία	:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ισλανδία	:	56	56	56	55	54	61	39	35	38	
Νορβηγία	53.07	84	81	83	85	92	90	99	109	120	
Ηνωμένες Πολιτείες	:	123.00	124.00	125.00	116.00	114.00	:	:	:	:	
Ιαπωνία	:	108.00	:	96.00	90.00	86.00	:	:	:	:	
e=εκτίμηση											
:=μηδιαθέσιμο											
ΠΗΓΗ : EUROSTAT,2005											

Πίνακας 1- 3:Αποτεφρωμένα αστικά απορρίμματα παγκοσμίως (εκφρασμένα σε kg/άτομο/έτος)



		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ΕΥ (25 χώρες)		457	470	485	487	513	520	520	531	534
ΕΥ (15 χώρες)		482	495	511	516	545	554	558	574	577
Ευρωζώνη		481	494	509	513	543	553	555	570	573
Βέλγιο		455	450	464	459	460	468	462	462	446
Τσεχία		302(e)	310	318	293	327	334	273	279	280
Δανία		567	619	588	593	627	665	677	668	675
Γερμανία		533	543	556	546	605	610	600	640	638
Εσθονία		357	383	406	383	394	440	372	406	418
<b>Ελλάδα</b>	<b>-</b>	<b>306</b>	<b>344</b>	<b>372</b>	<b>388</b>	<b>405</b>	<b>408</b>	<b>417</b>	<b>422</b>	<b>428</b>
Ισπανία		467(e)	492(e)	517(e)	530	576	595	595	588	609(e)
Γαλλία		489	500	511	522	523	532	545	557	561(e)
Ιρλανδία		514	524(e)	548(e)	557	580(e)	603	707	698	732(e)
Ιταλία		450	453	463	466	492	502	508	525	523(e)
Κύπρος		600	642	650	664	670	680	703	709	724
Λεττονία		263	263	254	247	244	270(e)	302	369	362
Λιθουανία		424	400	421	443	350	309	300	288	263
Λουξεμβούργο		592	589	607	629	650	657	650	653(e)	658(e)
Ουγγαρία		460	468	487	484	482	445	451	457	463(e)
Μάλτα		338(e)	350(e)	361(e)	385	473	483	550	474	549
Ολλανδία		549	563	590	593	599	616	612	615	599
Αυστρία		438	517	532	532	563	581	578	611	610
Πολωνία		285	301	315	306	319	316	287	272	260
Πορτογαλία		385	399	402	423	442	472	472	447	452
Σλοβενία		596	590(e)	589(e)	584	551(e)	513(e)	479	479	451
Σλοβακία		340	348	316	316	315	316	390	283	319(e)
Φινλανδία		414(e)	410(e)	448	466	485	503	466	457	450
Σουηδία		380(e)	397(e)	416	431	428	428	442	468	471
Ηνωμένο Βασίλειο		496	507	527	536	562	569	582	600	610
Βουλγαρία		693	616	577	495	503	516	505	500	499
Κροατία		:	:	:	:	:	:	:	:	:
Ρουμανία		342	326	325	277	314	355	336	383	364(e)
Τουρκία		472	501	530	533	536(e)	500(e)	474	479	474(e)
Ισλανδία		918	940	956	973	983	996	1006	1022	1040
Νορβηγία		626	632	619	647	596	615	635	677	696
Ηνωμ. Πολιτείες		733.00	720.00	746.00	753.00	771.00	749.00	:	:	:
Ιαπωνία		404.00	408.00	411.00	409.00	407.00	410.00	:	:	:
e=εκτίμηση :=μη διαθέσιμο										
							ΠΗΓΗ: EUROSTAT,2005			

Πίνακας 1- 4:Συλλεχθέντα αστικά απορρίμματα παγκοσμίως (εκφρασμένα σε kg/άτομο/έτος)

	Αποτεφρωμένα απορρίμματα επι της συνολικής ποσότητας των ΑΣΑ που παράγεται (%)	Καλλιεργήσιμη έκταση επι της συνολικής έκτασης (%)	Χωρητικότητα πληθυσμού (άνθρωποι/km <sup>2</sup> )
Ευρώπη	33	22	122
Αυστρία	20	43	98
Βέλγιο	55	45	312
Δανία	100	63	126
Φινλανδία	5	9	17
Γαλλία	63	55	107
Γερμανία	72	50	235
Ελλάδα	0	68	82
Ιρλανδία	0	64	54
Ιταλία	13	53	196
Λουξεμβούργο	47	NA	166
Ολλανδία	113*	58	466
Πορτογαλία	0	43	109
Ισπανία	9	62	79
Σουηδία	56	8	22
Ηνωμ.Βασίλειο	5	71	246
Ιαπωνία	75	13	336
ΗΠΑ	16	47	30
ΠΗΓΕΣ: Παγκόσμια τράπεζα(2002),ΕΡΑ (2002) & Ινστιτούτο παγκόσμιων πηγών(1998) *Στην Ολλανδία αποτεφρώνονται και άλλων ειδών απόβλητα			

**Πίνακας 1- 5: Σύγκριση ποσοστού αποτεφρωμένων αποβλήτων παγκοσμίως**

Στον πίνακα 1-5 που βλέπουμε και παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η Ελλάδα ,η Ιρλανδία και η Πορτογαλία έχουν μείνει πολύ πίσω στην παγκόσμια κατάταξη όσον αφορά το ποσοστό των αποτεφρωμένων απορριμμάτων τους ενώ ταυτόχρονα η Ελλάδα και η Ιρλανδία κατέχουν τα υψηλότερα ποσοστά 68 % και 64 % αντίστοιχα της έκτασής τους που αποτελεί καλλιεργήσιμη γη. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο έχει να κάνει με το γεγονός ότι η Ολλανδία, χώρα με την μεγαλύτερη χωρητικότητα πληθυσμού , έχει καταφέρει να δημιουργήσει μονάδες αποτέφρωσης οι οποίες αποτεφρώνουν συνολικά το 113 % των απορριμμάτων που παράγονται.

Την τελευταία δεκαετία η ποσοστιαία σύνθεση των οικιακών απορριμμάτων ολόένα και αλλάζει ανάλογα με τις εκάστοτε διατροφικές συνήθειες του πληθυσμού. Αυτό έχει σαν συνέπεια οι τρόποι διαχείρισης και επεξεργασίας των απορριμμάτων να πρέπει να ακολουθούν αυτές τις τάσεις ώστε να ικανοποιούνται οι αρχές που διέπουν όλη την διαδικασία παραγωγής , συλλογής, ,επεξεργασίας και αποθήκευσης απορριμμάτων και υπολειμμάτων αυτών.

Παράγοντες όπως το ανερχόμενο κόστος ,η έλλειψη χώρων εναπόθεσης στερεών αποβλήτων, η μεγέθυνση του ενδιαφέροντος της ανακύκλωσης και η ανάγκη για αξιοποίηση και παραγωγή ενέργειας έχουν αποδείξει και πιστοποιήσει την καύση των ΑΣΑ ως μία αποτελεσματική τεχνικά μέθοδος επεξεργασίας.

Ειδικότερα τα κυρίαρχα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης διεργασίας είναι :

- Μείωση του όγκου και του βάρους των αποβλήτων
- Καταστροφή μερικών αποβλήτων και αποτοξίνωση μερικών άλλων
- Καταστροφή των οργανικών στοιχείων των βιοδιασπώμενων αποβλήτων
- Ανάκτηση ενέργειας από τα οργανικά απορρίμματα
- Αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας

Οι ειδικοί προβλέπουν ότι πάνω από το 5 % της Ευρωπαϊκής ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να παραχθεί από την καύση των ΑΣΑ. Οι τεχνολογικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται διαχωρίζονται σε δύο κομμάτια: αυτές που είναι ευθείς όπως η καύση και η αεριοποίηση και αυτές που είναι έμμεσες όπως είναι η πυρόλυση που ακολουθείται από την καύση των πτητικών συστατικών για την παραγωγή ενέργειας.

Ωστόσο η μέθοδος της αποτέφρωσης παράγει αερίους ρύπους ,στερεά απόβλητα καθώς και υγρά απόβλητα τα οποία δεν δύναται να αποδεσμευτούν ανεπεξέργαστα στο περιβάλλον , διότι ελλοχεύουν μεγάλους κινδύνους για την δημόσια υγεία .

### **1.1. ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

Η σύνθεση των απορριμμάτων ποικίλει και εξαρτάται από έναν συνδυασμό παραμέτρων όπως είναι η γεωγραφική θέση της περιοχής που μελετάμε ,οι εποχιακές διακυμάνσεις ,η οικονομική και κοινωνική κατάσταση της κάθε περιοχής καθώς και μια πληθώρα άλλων έμμεσων παραγόντων.

Τα απορρίμματα διαχωρίζονται σε στερεό και υγρό (βιοαποδομήσιμο) κλάσμα ,ενώ ειδικότερα στις μελέτες που εκπονούνται η σύνθεση καθορίζεται πρωτίστως με εμπορεύσιμα και ανακυκλώσιμα προϊόντα όπως πλαστικό, χαρτί ,γυαλί, αλουμίνιο κ.α.. Σε δεύτερη φάση γίνεται λεπτομερής καταγραφή των χημικών στοιχείων και παραμέτρων των απορριμμάτων. Στον πίνακα 1-6 παραθέτουμε την σύνθεση των ΑΣΑ για την Ελλάδα, την Ιταλία και έναν Μ.Ο. για 12 Ευρωπαϊκές χώρες .

	ΕΛΛΑΔΑ*(1990)	ΕΛΛΑΔΑ*(1998)	ΙΤΑΛΙΑ(2003)	M.O 12 ΧΩΡΩΝ(1999)**	
	%w/w	%w/w	%w/w	%w/w	%w/w
Οργανικά ,πράσινα	48,90	40,00	33,98	33,00	42,00
Χαρτί,χαρτόνι	19,30	32,00	23,15	24,00	28,00
Γυαλί	7,10	2,50	5,70	8,00	9,00
Πλαστικά(PET,PP,PE,PVC)	9,70	13,00	10,76	7,00	7,00
Μέταλλα(Al,Fe)	6,00	3,50	3,25	4,00	5,00
Υφάσματα,ξύλα ,δέρματα		3,20	7,99	3,00	3,00
Αδρανή		2,50	1,26		
Υπόλοιπα	9,00	3,30	13,91	15,00	15,00
ΣΥΝΟΛΟ	100,00	100,00	100,00		

ΠΗΓΕΣ:ΕΣΔΚΝΑ,Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ,WORLD RESOURCES INSTITUTE

\*Για την Ελλάδα λήφθησαν οι μέσοι όροι τριών πόλεων (Αθήνας,Χανίων και Ρόδου)

\*\*Οι μέσοι όροι για 12 ευρωπαϊκές χώρες πλην της Ελλάδας αναφέρονται σε κατώτατα και ανώτατα όρια

#### Πίνακας 1- 6: Ποσοστιαία σύνθεση των απορριμμάτων και χωροχρονική σύγκριση των τιμών

Μία ειδικότερη χημική ανάλυση των στοιχείων που αποτελούν τα απορρίμματα έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

- Τα χαρτικά ,το χαρτόνι, το ξύλο ,τα υφάσματα ,τα οικιακά υπολείμματα δομούνται από κυτταρίνη ή λιγνίνη και αναλογούν σε ένα ποσοστό της τάξεως του 65 % στο σύνολο των ΑΣΑ .
- Τα πλαστικά ,οι συνθετικές ίνες ,τα δέρματα και τα λάστιχα απαρτίζονται από πολυαιθυλένιο(PE), πολυπροπυλένιο(PP), πολυστυρένιο(PS), πολυβινυλοχλωρίδιο(PVC), πολυαιθυλένιο τελεφθαλικού οξέος(PET) και αποτελούν το 15 % των ΑΣΑ
- Το υπόλοιπο 20 % καλύπτεται από ανόργανα υλικά όπως κεραμικά, σιδηρούχα και μη-σιδηρούχα μέταλλα ,καλώδια ,γυαλί, αδρανή, κλάσματα από οικοδομές, και άλλα διάφορα [ELSEVIER,1997].

Γενικά όπως είναι κατανοητό, τα τελευταία χρόνια η ζωή μας κυριαρχείται από τα πλαστικά ( γενικότερα τις συσκευασίες του πολυαιθυλενίου) με συνεχώς μειούμενη τάση του ποσοστού του οργανικού κλάσματος. Τα κλάσματα του χαρτιού και των μετάλλων έχουν παραμείνει σχεδόν στάσιμα την τελευταία δεκαετία.

## **1.2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΤΗΡΕΣ**

Οι αποτεφρωτήρες δημιουργούν δύο ειδών υπολείμματα στάχτης ,την ιπτάμενη τέφρα που κατακρατείται από τα συστήματα καθαρισμού και την στάχτη του πυθμένα που δημιουργείται σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό

Η σύνθεση από χημικές αναλύσεις δείχνει ότι η περιεκτικότητα στα στοιχεία που υπάρχουν στην στάχτη είναι περίπου ίδια με του γυαλιού. Η ομοιότητα στο γυαλί αγγίζει το 72% με πολλά ανόργανα και μεταλλικά στοιχεία να συμμετέχουν ενώ 18 % αποτελούν δομικά και προσροφημένα στοιχεία. Η υγρασία φθάνει το 9 % στα στερεά υπολείμματα της τέφρας. Περισσότερα από 29 μεταλλικά και ορυκτά στοιχεία ταυτοποιήθηκαν και στα δύο είδη τέφρας , όπου μεταξύ τους συγκαταλέγονται ο αιματίτης, ασβεστίτης, χαλαζίας ,γύψος ,ορυκτό διοξείδιο τιτανίου ,υδροχλώρια ασβεστίου , ανυδρίτες .Επίσης βρέθηκαν ψευδάργυρος , μόλυβδος, χαλκός, χλωρίδια καδμίου, θειικά ιόντα ψευδαργύρου και μόλυβδου, φωσφορικά ιόντα μόλυβδου και οξείδια κασσιτέρου.

### **1.2.1. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ**

Οι συνθήκες αυτές αναφέρονται στην οδηγία του ΕΚ 2000/76 που σκοπό έχει να διασφαλίσει την σωστή καύση των αποβλήτων , την έκλυση ελαχίστων αερίων εκπομπών κα την δημιουργία όσο το δυνατόν λιγότερο υγρών αποβλήτων.

- Οι μονάδες αποτέφρωσης οφείλουν να λειτουργούν κατά τρόπο που να διασφαλίζεται βαθμός αποτέφρωσης τέτοιος ώστε η περιεκτικότητα των σκωριών και της τέφρας πυθμένα σε ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) να είναι μικρότερη από 3 % ή οι απώλειες κατά την έναυση να είναι μικρότερες από 5 % του βάρους του υλικού επί ξηρού. Αν είναι απαραίτητο, χρησιμοποιούνται κατάλληλες τεχνικές προεπεξεργασίας των αποβλήτων.

- Όλες οι μονάδες αποτέφρωσης πρέπει να σχεδιάζονται, κατασκευάζονται, εξοπλίζονται, και λειτουργούν κατά τέτοιο τρόπον ώστε, μετά την τελευταία διοχέτευση αέρα καύσης, η θερμοκρασία των αερίων που εκλύονται κατά τη διεργασία να αυξάνεται, με ελεγχόμενο και ομοιογενή τρόπο ακόμη και υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες, στους 850 °C, μετρούμενη στο εσωτερικό τοίχωμα ή σε άλλο αντιπροσωπευτικό σημείο του θαλάμου καύσης, για δύο δευτερόλεπτα. Εάν αποτεφρώνονται επικίνδυνα απόβλητα που περιέχουν πάνω από 1 % αλογονούχες οργανικές ουσίες, εκφρασμένα σε χλώριο, η θερμοκρασία πρέπει να αυξάνεται στους 1100 °C επί δύο δευτερόλεπτα τουλάχιστον.
- Κάθε γραμμή της μονάδας αποτέφρωσης πρέπει να είναι εφοδιασμένη με έναν τουλάχιστον εφεδρικό καυστήρα, που πρέπει να τίθεται αυτόματα σε λειτουργία μόλις η θερμοκρασία των καυσαερίων, μετά την τελευταία διοχέτευση αέρα καύσης, κατέλθει κάτω από τους 850 °C ή τους 1100 °C κατά περίπτωση. Οι εν λόγω καυστήρες χρησιμοποιούνται επίσης στις φάσεις εκκίνησης και διακοπής των μηχανών για να εξασφαλίζεται η διατήρηση της ελάχιστης θερμοκρασίας των 850 °C ή των 1100 °C κατά περίπτωση σε όλη τη διάρκεια των ανωτέρω φάσεων και για όσο χρόνο υπάρχουν ακόμη στο θάλαμο καύσης άκαυστα απόβλητα.
- Κατά τις φάσεις εκκίνησης και διακοπής ή σε περίπτωση πτώσης της θερμοκρασίας των καυσαερίων κάτω από τους 850 °C ή τους 1100 °C κατά περίπτωση, ο εφεδρικός καυστήρας δεν τροφοδοτείται με καύσιμο που μπορεί να προκαλέσει υψηλότερα επίπεδα εκπομπών από εκείνα που συνεπάγεται η καύση πετρελαίου ντίζελ, όπως ορίζεται στο άρθρο 1 παράγραφος 1 της Οδηγίας 75/716/ΕΟΚ του Συμβουλίου, υγραερίου ή φυσικού αερίου.
- Όλες οι μονάδες συναποτέφρωσης (τσιμεντοκλίβανοι) συνήθως σχεδιάζονται, κατασκευάζονται, εξοπλίζονται και λειτουργούν κατά τρόπον ώστε η θερμοκρασία των αερίων που εκλύονται κατά τη συναποτέφρωση των αποβλήτων να αυξάνεται με ελεγχόμενο και ομοιογενή τρόπο και ακόμη και υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες στους 850 °C, για δύο δευτερόλεπτα. Εάν συναποτεφρώνονται επικίνδυνα απόβλητα

που περιέχουν πάνω από 1 % αλογονούχες οργανικές ουσίες, εκφρασμένα σε χλώριο, η θερμοκρασία πρέπει να ανέρχεται τουλάχιστον στους 1100 °C.

- Εννοείται ότι όλες οι μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης διαθέτουν και χρησιμοποιούν αυτόματο σύστημα που εμποδίζει την τροφοδότηση με απόβλητα: κατά τη φάση εκκίνησης, μέχρι να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία των 850 °C ή των 1100 °C κατά περίπτωση ή οποτεδήποτε δεν διατηρείται η απαιτούμενη θερμοκρασία των 850 °C ή των 1100 °C κατά περίπτωση, ή η θερμοκρασία που ορίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 4 του άρθρου 6 ή οποτεδήποτε διαπιστώνεται από τις συνεχείς μετρήσεις που επιβάλλει η εν λόγω οδηγία, υπέρβαση οποιασδήποτε οριακής τιμής εκπομπών, οφειλόμενης σε ελαττωματική λειτουργία ή βλάβη των συστημάτων καθαρισμού.
- Οι μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης σχεδιάζονται, εξοπλίζονται, κατασκευάζονται και λειτουργούν κατά τρόπον ώστε οι ατμοσφαιρικές εκπομπές τους να μην προκαλούν σημαντική ατμοσφαιρική ρύπανση στην επιφάνεια του εδάφους ειδικότερα, τα καυσαέρια απάγονται με ελεγχόμενο τρόπο και σύμφωνα με τα οικεία κοινοτικά πρότυπα για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα μέσω καπνοδόχου, της οποίας το ύψος υπολογίζεται με γνώμονα την προστασία της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος.
- Η θερμότητα που παράγεται κατά τη διεργασία αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης ανακτάται στο μέγιστο δυνατό βαθμό.
- Τα μολυσματικά κλινικά απόβλητα θα πρέπει να εισάγονται κατ' ευθείαν στον κλίβανο, χωρίς να αναμινγούνται πρώτα με άλλες κατηγορίες καυσίμων και χωρίς να υποβάλλονται σε άμεσους χειρισμούς.

---

### 1.3. ΠΑΥΣΗ ΧΩΡΩΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΣΑ

---



Σύμφωνα με την οδηγία 31/1999 ΕΚ του συμβουλίου πρέπει :

Όχι αργότερο από την 26<sup>η</sup> Απριλίου του 2007 τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για Χώρους Υγειονομικής Ταφής να μειωθούν σε ποσοστό 50 % της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί κατά το έτος 1995 ή για όποιο έτος πριν το 1995 υπάρχουν διαθέσιμα τυποποιημένα στοιχεία στην EUROSTAT. Το παραπάνω ποσοστό μειώνεται στο 35% την 26<sup>η</sup> Απριλίου του 2014.

Οι χώροι ταφής εκπέμπουν μεθάνιο, και πολλές άλλες οργανικές (ακετόνη, χλωροαιθάνια, στυρένια και ξυλένια) και ανόργανες ουσίες (αμμωνία, σουλφίδια) τα οποία απελευθερώνονται στο περιβάλλον και συμβάλλουν αρνητικά όχι μόνο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αλλά και στην ποιότητα της ατμόσφαιρας.

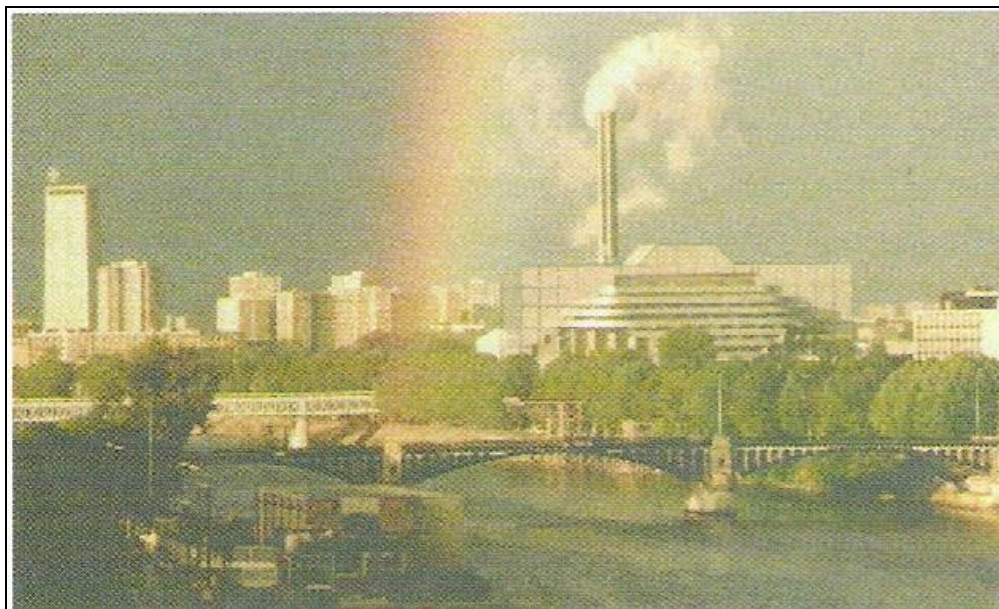
Το πρόβλημα των Χώρων Υγειονομικής Ταφής είναι η μη ανάκτηση υλικών ή / και ενέργειας , το οποίο έρχεται σε αντίθεση με την ισχύουσα κοινοτική νομοθεσία και τους στόχους που έχουν καθοριστεί.

#### **1.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ**

Σε πολλές χώρες συστήματα ενέργειας και διαχείρισης απορριμμάτων συνυπάρχουν όχι αρμονικά βέβαια με το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται αφού υφίσταται συνεχώς αλλαγές λόγω καινοτόμων τεχνολογιών ,αυστηρότερης νομοθεσίας, εξωγενών παραμέτρων σχεδιασμού (φορτία και χημική σύνθεση απορριμμάτων ,συνθήκες περιβάλλοντος) . Μέσα σε αυτές τις πιεστικές δυνάμεις έρχεται η μεγάλη πρόκληση του να αξιοποιήσουμε ενέργεια παραγόμενη από διαχείριση και επεξεργασία αποβλήτων ώστε να ελαττώσουμε την καύση ορυκτών καυσίμων και να μειώσουμε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου .Το συνεπαγόμενο συμπέρασμα από τα παραπάνω είναι η τελική απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας σε οποιαδήποτε μορφή είναι αυτή με αντίστοιχο πλεονέκτημα για τους καταναλωτές . Οι πολιτικές διαχείρισης απορριμμάτων και παραγωγής ενέργειας που αναπτύσσονται οφείλουν να συμβαδίζουν και δεν μπορούν να δρουν ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Γενικά η ιεραρχία στην διαχείριση των απορριμμάτων κατευθύνεται με φθίνουσα προτεραιότητα ως εξής:

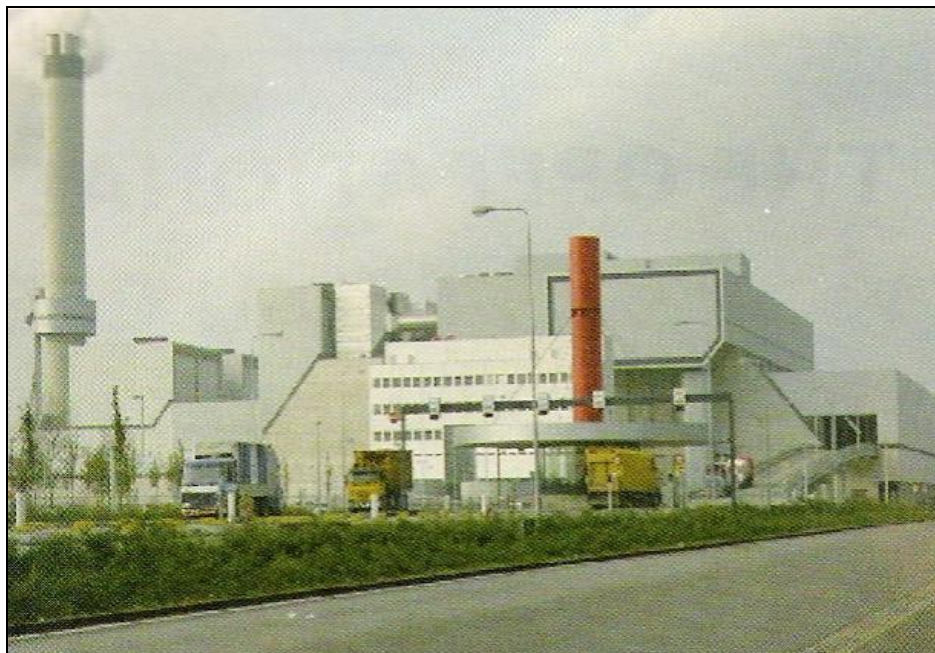
Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες ,η αποτέφρωση των απορριμμάτων αποτελεί την κυρίαρχη μέθοδο επεξεργασίας αποβλήτων ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με ανάκτηση ενέργειας σε μορφή

ηλεκτρικής ενέργειας είτε θερμότητας. Η αποτέφρωση ξεχωρίζει σαν μέθοδος διότι μέσα από σωστή λειτουργία και διαχείριση των συσκευών μπορούμε να επιτύχουμε καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών αλλά και οργανικών αποβλήτων τα οποία αποτελούν κίνδυνο για την δημόσια υγεία. Επίσης ,υπάρχει η δυνατότητα να μειώσουμε την μάζα των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων κατά 90% και το βάρος τους σε ποσοστό 60%.Τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού αυτών των μονάδων είναι η παροχή και η σύνθεση ( χημική & φυσική) των αποβλήτων τα οποία αποτελούν τους πρωτογενείς παράγοντες .Οι δευτερογενείς παράμετροι είναι τα συστήματα ελέγχου καύσης , αέριας ρύπανσης και διαχείρισης υπολειμμάτων. Παρακάτω παραθέτουμε μερικές μονάδες καύσης (Γαλλία , Ολλανδία και Ιαπωνία) οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες καύσης η μία από την άλλη .

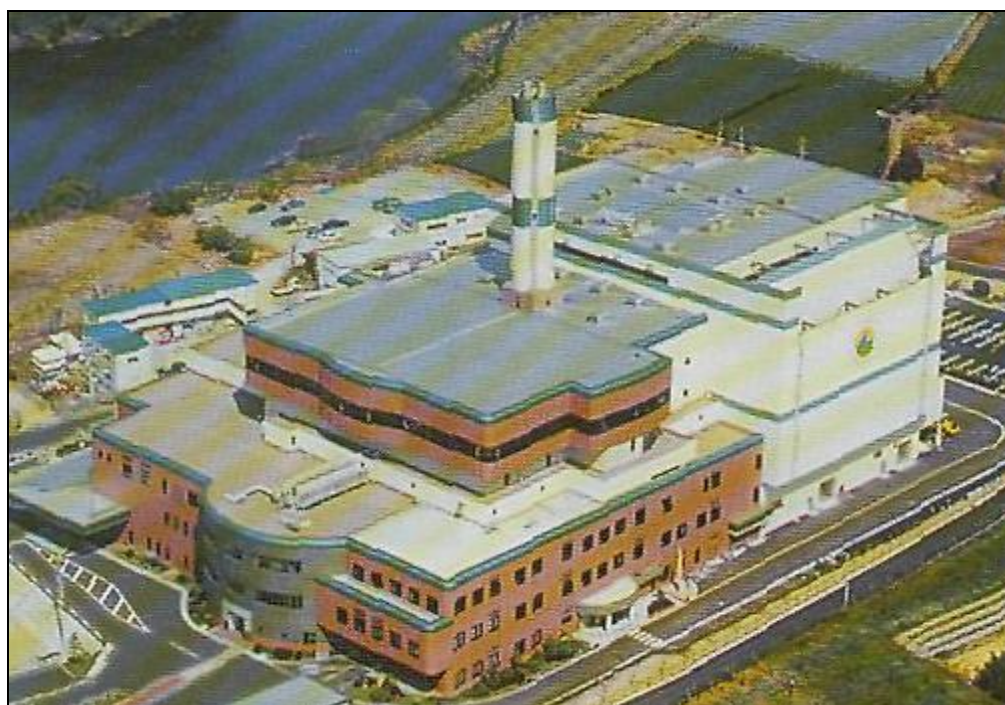


**Εικόνα 1- 1: Μονάδα καύσης στο St. Quen της Γαλλίας (ISWM,2001)**

Η μονάδα που διακρίνεται στην εικόνα 1-1 έχει χωροθετηθεί μέσα στον οικιστικό ιστό της πόλης St. Quen της Γαλλίας



**Εικόνα 1- 2: Μονάδα καύσης στο Άμστερνταμ της Ολλανδίας (ISWM,2001)**



**Εικόνα 1- 3: Μονάδα καύσης στο Yame Seibu της Ιαπωνίας (ISWM,2001)**

Η μονάδα που διακρίνεται στην εικόνα 1-3 βρίσκεται στην Ιαπωνία και χρησιμοποιεί τεχνολογία πυρολυτικών αντιδραστήρων. Η δυναμικότητα της μονάδας είναι 220 tn/ημέρα και χωρίζεται σε

δύο γραμμές τροφοδοσίας. Οι πυρολυτικοί αντιδραστήρες έχουν μήκος 25 m και διάμετρο 2,5 m.

Η μονάδα είναι εφοδιασμένη με σύστημα υαλοποίησης της στάχτης και με συστήματα monitoring για τις αέριες εκπομπές.

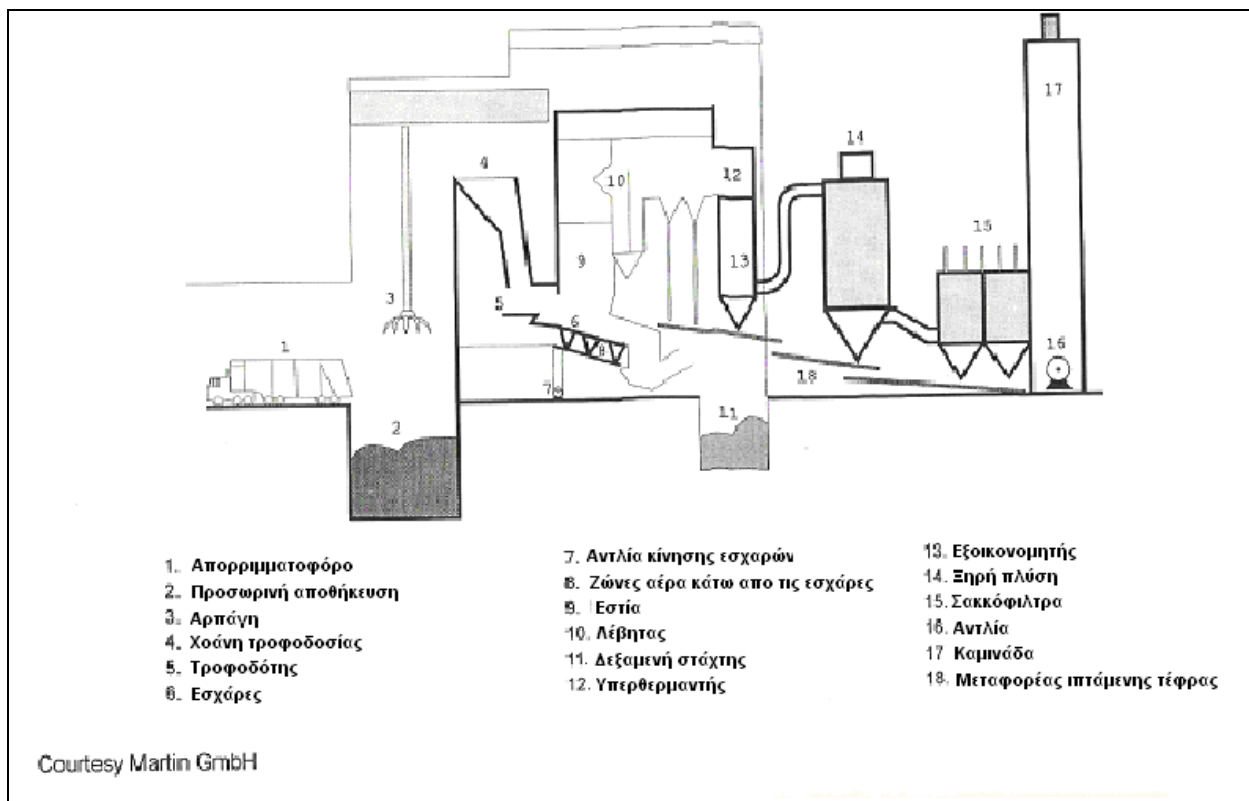


## **2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ**

### **2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ ΑΣΑ**

Οι τεχνολογίες αποτέφρωσης αναπτύχθηκαν περίπου μια 25ετία νωρίτερα και συνεχίζουν να αναπτύσσονται μέχρι και σήμερα για μια μεγάλη ποικιλία αποβλήτων. Μία τυπική μονάδα καύσης μπορεί να αποτελείται από τα επόμενα στάδια:

- Σύστημα υποδοχής και προσωρινής αποθήκευσης των αποβλήτων
- Σύστημα διαχωρισμού , προεπεξεργασίας και περαιτέρω επεξεργασίας των αποβλήτων (προαιρετική) αν θέλουμε να διαχωρίσουμε κάποια κλάσματα και να τα οδηγήσουμε είτε προς ανακύκλωση (κλάσματα μετάλλων και γυαλιού) είτε προς κομποστοποίηση (βιοαποδομήσιμα κλάσματα).
- Σύστημα τροφοδοσίας φόρτισης των αποβλήτων
- Σύστημα καύσης
- Συστήματα ανάκτησης θερμότητας και ενέργειας
- Συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης(Air Pollution Control)
- Συστήματα διαχείρισης της στάχτης (προαιρετικό)
- Συστήματα διαχείρισης οποιονδήποτε άλλων υπολειμμάτων θα προκύψουν είτε από την καύση είτε από τις συσκευές ελέγχου αερίων εκπομπών είτε από τις συσκευές επεξεργασίας της στάχτης (προαιρετικό)



Εικόνα 2- 1:Μία τυπική μονάδα με τις επιμέρους λειτουργίες της (ELSEVIER ,1997)

## 2.1. ΧΩΡΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Ο χώρος αποθήκευσης σχεδιάζεται ώστε να μπορεί να δεχθεί την χωρητικότητα των απορριμμάτων για 5 ημέρες έτσι ώστε το εργοστάσιο να αντεπεξέλθει στην δοσολογία που απαιτείται και κατά τα διαστήματα που δεν υπάρχει αρκετή συγκομιδή απορριμμάτων όπως σε περίπτωση των διακοπών όπου λείπει μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού. Η χοάνη υποδοχής πρέπει να έχει πλάτος ίσο με του θαλάμου καύσης και βάθος αναλόγως της ημερήσιας παροχής , σίγουρα όμως πρέπει να ξεπερνά τα 4 έως 5 μ. Ένα άλλο σημείο που πρέπει να προσεχθεί είναι η προεπεξεργασία του υλικού τροφοδοσίας .Δηλαδή τα ογκώδη αντικείμενα όπως μεγάλες συσκευές ή έπιπλα πρέπει να αποσύρονται και είτε να τεμαχίζονται ώστε να αποκτήσουν την επιτρεπόμενη ειδική επιφάνεια καύσης είτε να αποφεύγεται η καύση τους για περιβαλλοντικούς ή ενεργειακούς λόγους (π.χ μία τηλεόραση που βρίσκουμε στα απορρίμματα δεν μπορεί αφενός να καεί αφετέρου αν την τεμαχίσουμε και την οδηγήσουμε προς αποτέφρωση σίγουρα θα αυξηθούν οι εκπομπές βαρέων μετάλλων όπως είναι το κάδμιο , τις οποίες θα πρέπει να

επεξεργαστούμε με τα κατάλληλα μέτρα). Το άλλο βήμα που θα εξετάσουμε παρακάτω είναι το αν θα επιλέξουμε να έχουμε καύση μάζας ή επιλεγμένων υλικών (RDF - **Refuse Derived Fuel** ). Ένα προαιρετικό βήμα είναι το αν θα επιλέξουμε να ομογενοποιήσουμε τα απορρίμματα με προσθήκη στη χοάνη αλεστικού μηχανήματος για να επιτύχουμε την ανάμιξη των αποβλήτων που είναι επιθυμητό.

## **2.2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΚΑΥΣΗΣ ΑΣΑ**

### **2.2.1. ΚΑΥΣΗ ΜΑΖΑΣ**

Όταν καίγεται η μάζα τα απόβλητα τροφοδοτούνται στο σύστημα με μία μικρή προεπεξεργασία , στην οποία μπορεί να υπάρχει μία μικρή απομάκρυνση ορισμένων κλασμάτων και σίγουρα θα υπάρχει τεμαχισμός όχι μόνο των απορριμμάτων αλλά και των ογκωδών αντικειμένων που είναι ασύμβατα με την τροφοδοσία και τα συστήματα διαχείρισης της στάχτης. Αυτός είναι και ο κυρίαρχος τρόπος καύσης στην παρούσα φάση σε όλη την Ευρώπη και στον κόσμο γενικότερα. Ενώ μπορεί να υπάρχει και μία ανάκτηση υλικών όπως σιδηρούχων μετάλλων με μαγνητικό διαχωρισμό της στάχτης ή και πριν την διεργασία με μηχανικό διαχωρισμό των μετάλλων.

### **2.2.2. ΚΑΥΣΗ RDF( REFUSE DERIVED FUEL-ΚΑΥΣΙΜΟ ΑΠΟ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ)**

Το RDF περικλείει μία ευρεία συλλογή καυσίμων που προκύπτουν από τα απορρίμματα της διαδικασίας βελτίωσης ενός υλικού. Στην συγκεκριμένη διαδικασία διαχωρίζουμε τα κλάσματα που μπορούν να αλλοιώσουν τα θερμογόνα αποτελέσματα της καύσης και αυτά είναι σύμφωνα με τους πίνακες ( 2-1 & 2-2 ). Παρατηρούμε ότι ενώ πριν από μια δεκαπενταετία σχεδόν το χαρτί κατείχε το μεγαλύτερο μερίδιο στην ενέργεια με τα ζυμώσιμα να αποτελούν σχεδόν την μισή ποσότητα στην σύνθεση των απορριμμάτων και τα πλαστικά να κατέχουν την δεύτερη θέση ενεργειακής συμμετοχής, στον πίνακα 2-2 βλέπουμε ότι αντιστρέφονται οι ενεργειακές συμμετοχές των κλασμάτων .Συγκεκριμένα το κλάσμα του χαρτιού αυξάνεται στην ποσοστιαία σύνθεση και κατ' επέκταση στην ενεργειακή συμμετοχή ,από 32,39 % που ήταν ανέβηκε στο 41,59 %.Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε στα πλαστικά που ανέβασαν τα ποσοστά τους και στην σύνθεση και στην ενεργειακή συμμετοχή σε 13,0% και 32,85% αντίστοιχα. Αντίθετα το οργανικό κλάσμα σημείωσε πτώση μέσα σε μια επταετία περίπου 9 ποσοστιαίες μονάδες στην σύνθεση των απορριμμάτων αλλά και στην ενεργειακή συμμετοχή ο δείκτης έπεσε στο 14,44



%. Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο θα αναλύσουμε την μελετούμενη περίπτωση της Περιφέρειας Κρήτης με στοιχεία του 2004 ,μετρήσεις εργαστηρίου και συσχετίσή τους με τα δεδομένα των πινάκων 2-1 & 2-2. Από τα παραπάνω συμπεράσματα διεξάγουμε το συμπέρασμα ότι οι διατροφικές συνήθειες των καταναλωτών αλλάζουν με την πάροδο των ετών αλλά και οι εταιρείες παραγωγής τροφίμων αλλάζουν τις συσκευασίες. Με αυτούς τους δύο παράγοντες λογικό είναι το χαρτί και τα πλαστικά να πάρουν την ανιούσα στην στοιχειακή και στην ενεργειακή σύνθεση των απορριμμάτων .

ΥΛΙΚΑ	Σύνθεση απορριμμάτων (1991)	Κατώτερη θερμογόνος τιμή	Ενέργεια	Συμμετοχή στην ενέργεια
	%	Kcal/kg	Kcal	%
ΧΑΡΤΙ	20,00	3960	79200	32,39
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	8,50	7700	65450	26,77
ΖΥΜΩΣΙΜΑ	49,00	1100	53900	22,04
ΓΥΑΛΙ	4,50	33	149	0,06
ΜΕΤΑΛΛΑ	4,50	165	743	0,30
ΔΕΡΜΑ-ΞΥΛΟ-ΛΑΣΤΙΧΟ	3,00	4400	13200	5,40
ΑΔΡΑΝΗ	5,00	30	150	0,06
ΥΠΟΛΟΙΠΑ	5,50	5770	31735	12,98
ΣΥΝΟΛΟ	100,00	23158	244526	100,00
ΠΗΓΗ: ΣΚΟΡΔΙΛΗΣ ΑΔΑΜΑΝΤΙΟΣ -ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ RDF(1997)				

**Πίνακας 2- 1:Θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων στον Ελληνικό χώρο το έτος 1991**

ΥΛΙΚΑ	Σύνθεση απορριμμάτων (1998)	Κατώτερη θερμογόνος τιμή	Ενέργεια	Συμμετοχή στην ενέργεια
	%	Kcal/kg	Kcal	%
ΧΑΡΤΙ	32,00	3960	126720	41,59
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	13,00	7700	100100	32,85
ΖΥΜΩΣΙΜΑ	40,00	1100	44000	14,44
ΓΥΑΛΙ	2,50	33	83	0,03
ΜΕΤΑΛΛΑ	3,50	165	578	0,19
ΔΕΡΜΑ-ΞΥΛΟ-ΛΑΣΤΙΧΟ	3,20	4400	14080	4,62
ΑΔΡΑΝΗ	2,50	30	75	0,02
ΥΠΟΛΟΙΠΑ	3,30	5770	19041	6,25
ΣΥΝΟΛΟ	100,00	23158	304676	100,00
ΠΗΓΗ: ΕΣΔΚΝΑΕ.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ (1999)				

**Πίνακας 2- 2:Θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων στον Ελληνικό χώρο το έτος 1998**

### 2.2.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ RDF ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ

Το RDF παράγεται μέσω του διαχωρισμού της μάζας των αποβλήτων από τα οργανικά , τα σιδηρούχα μέταλλα ,το αλουμίνιο και αν είναι δυνατόν από το γυαλί .Δηλαδή η μάζα του περιέχει χαρτί, πλαστικό, υφάσματα ,δέρμα, ξύλα και λάστιχα.

Τα καύσιμα RDF μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις υποκατηγορίες [Issues in Medical Waste Management,1988].

Ο κάθε τύπος φαίνεται παρακάτω :

- Τραχύ RDF: παράγεται από τα απορρίμματα σε χοντροκομμένο μέγεθος με ή χωρίς διαχωρισμό σιδηρούχων μετάλλων έτσι ώστε το 95 % του βάρους περνάει από κόσκινο πλέγματος 38,71 cm<sup>2</sup>.
- Ελαφρό RDF: Τεμαχισμένο καύσιμο απορριμμάτων παραγόμενο από ΑΣΑ με απομάκρυνση μετάλλων ,γυαλιού και άλλων ανόργανων υλικών. Το μέγεθός του είναι τέτοιο ώστε το 95% του βάρους να περνάει από κόσκινο 12,9 cm<sup>2</sup>.
- Σκόνη RDF: Καύσιμο απόρριμμα που παράγεται κονιοποιημένο έτσι ώστε το 95% το βάρους να περνάει από κόσκινο 10-πλέγμα (0.226 cm<sup>2</sup>).
- Αυξημένης πυκνότητας RDF: Καύσιμο κλάσμα απορριμμάτων (πεπιεσμένο σε σφαίρες ,κύβους,μικρές μπάλες)

Η σπουδαιότητα του RDF εκφράζεται με τις ακόλουθες δύο ταχύτητες. Πρώτα από όλα δίνει βάση στην ανάκτηση υλών η οποία επιτυγχάνεται είτε με μηχανική διαλογή είτε με διαλογή στην πηγή όπου είναι δυνατόν και δεύτερον παράγει ένα υψηλής αξίας καύσιμο που είναι συμβατό με τις μονάδες καύσεις και λειτουργεί σαν υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων.

Γενικά η καύση RDF μπορεί να απαιτεί λιγότερη περίσσεια αέρα από ότι απαιτείται για την καύση ολόκληρης της μάζας απορριμμάτων, εξαιτίας της βελτιωμένης ομοιογένειας και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη απόδοση των ατμοπαραγωγών αλλά και μικρότερης δυναμικότητας συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης. Ωστόσο η ενεργειακή μετατροπή ίσως να μην αυξηθεί διότι καταναλώνουμε ενέργεια για να παράγουμε το RDF. Το πλεονεκτήματα του RDF είναι η καλύτερη μεταχείριση του, ωστόσο η αποθήκευση του αποτελεί αρνητικό οικονομικό παράγοντα.

Η παραγωγή RDF εμπλέκει φυσικές διεργασίες που διαχωρίζουν τα υλικά με μεγάλη θερμογόνο δύναμη από ανόργανα συστατικά που μειώνουν την αξία του καυσίμου. Αυτές οι διεργασίες βασίζονται στις διαφορές του σχήματος και του μεγέθους των υλικών και δεν μπορούν να έχουν 100% αποδοτικότητα.

Στον πίνακα 2-3 παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του RDF της πειραματικής μονάδας μηχανικής διαλογής του ΕΣΔΚΝΑ.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΤΙΜΗ
Τέφρα	%ξηρού	11,75
Ολικό άζωτο	%	1,67
Οργανικό άζωτο	ppm	50
Άνθρακας οργανικός	%	44,1
Φώσφορος	ppm	2100
Χλώριο	ppm	1400
Φθόριο	ppm	60
Θείο	%	0,25
Κάλιο	ppm	3700
Νάτριο	ppm	6400
Ασβέστιο	ppm	17600
Σίδηρος	ppm	1500
Μαγνήσιο	ppm	3100
Νικέλιο	ppm	40
Μαγγάνιο	ppm	100
Ψευδάργυρος	ppm	240
Μόλυβδος	ppm	15
pH		5,9
Αγωγιμότητα	μS	1030
Αλατότητα (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	480
Πτητικά	%ξηρού	88,25
Αν.Θερμογόνος τιμή	kcal/kg	4950
ΠΗΓΗ :ΕΣΔΚΝΑ,1997		

**Πίνακας 2- 3:Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του RDF**

Συνήθως το RDF αποτελείται από 65-85% κατά βάρος χαρτί και χαρτόνι, 10-13 % πλαστικά και 4-13 % διάφορα αδρανή . Η θερμογόνος τιμή του RDF είναι σαφώς μεγαλύτερη από αυτή των οικιακών απορριμμάτων σε βαθμό διπλάσιο και αγγίζει τα όρια από 12 MJ/kg-20MJ/kg. Η στοιχειακή ανάλυση του συγκεκριμένου καύσιμου υλικού δείχνει, όπως θα διαπιστώσουμε και στην περιοχή μελέτης αργότερα, ότι το χλώριο ,ο άνθρακας και το θείο βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από την μάζα των απορριμμάτων. Αλλά και στα μέταλλα η υπεροχή στο RDF είναι καθολική και αυτό διότι τα πλαστικά στην χημική τους σύνθεση διατηρούν μόρια καδμίου, μολύβδου , φθορίου και υδραργύρου.

Σαν συνέπεια , η παραγωγή RDF είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ ποσότητας και θερμικής αξίας. Οι πάμπολλες διαδικασίες παραγωγής RDF χαρακτηρίζουν διαφορετικά σημεία για αυτόν τον συμβιβασμό και οδηγούν στην παραγωγή πολλών καυσίμων RDF με διαφορετικές ιδιότητες .

Γενικά η εμπειρία δείχνει ότι προτιμάται η παραγωγή και η καύση του ελαφρού RDF που τροφοδοτείται και καίγεται εύκολα σε συμβατικούς καυστήρες που λειτουργούν με λειτουργία ημι-αιώρησης. Στα συστήματα καύσης με ημι-αιώρηση, ένα μηχάνημα τροφοδοσίας καυσίμου με ράβδο παίρνει το υλικό και το τοποθετεί στις εσχάρες. Σε κάποιο ποσοστό το καύσιμο καίγεται πάνω από τις εσχάρες, με τα μεγάλα τεμάχια να βρίσκονται για μεγάλο χρονικό διάστημα πάνω σε αυτές. Εναλλακτικά το λεπτό RDF μπορεί να καεί με κονιορτοποιημένο άνθρακα ή αέριο σε παραδοσιακό καυστήρα. Υπάρχουν και άλλες μηχανές καύσης για τα υψηλής πυκνότητας και κονιορτοποιημένα RDF.

Όπως ήδη αναφέραμε οι δυνατότητες του RDF, που αποτελούν σημαντική αναβάθμιση της θερμικής αξίας των απορριμμάτων, απαιτούν μεγάλη επιφάνεια τόσο για τα μηχανήματα που θα το παράγουν όσο και για τον εξοπλισμό διαχωρισμού των ανακυκλώσιμων υλικών. Η αποθήκευση του RDF είναι συνάρτηση της τελικής του διάθεσης.

Υπάρχει περίπτωση να πρέπει να το μεταφέρουμε το RDF σε μονάδες καύσης που βρίσκονται σε μακρινές αποστάσεις και αυτό επιτυγχάνεται μόνο όταν το RDF είναι υψηλής πυκνότητας. Δηλαδή η μεταφορά συμφέρει διότι η πυκνότητα στο ελαφρό RDF είναι της τάξης του 32,03-240,26 kg/m<sup>3</sup> ενώ στο υψηλής πυκνότητας αγγίζει τα 544,58 kg/m<sup>3</sup>.

Το εναλλακτικό σενάριο των τσιμεντοκλιβάνων είναι μία λογική λύση για την τελική διάθεση του RDF και αυτό διότι η αγορά πλέον έχει γίνει πολύ δύσκολη και ακριβή με τα ορυκτά καύσιμα ιδιαίτερα για τις τσιμεντοβιομηχανίες που είναι ενεργοβόρες βιομηχανίες και οι οποίες αναζητούν εναλλακτικές λύσεις καυσίμων. Η επιτυχία της λύσης αυτής έγκειται στο γεγονός ότι οι τσιμεντοκλίβανοι καίνε όλα τα είδη RDF που μπορούν να παραχθούν. Με ενδεδειγμένες μελέτες που έχουν διεξαχθεί παρατηρήθηκε ότι οι τσιμεντοκλίβανοι έχουν την δυνατότητα να κάψουν από 80.000-100.000 tn RDF/ετησίως. Ο βαθμός αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων που μπορεί να επιτευχθεί εξαρτάται από την ομογένεια του υποκατάστατου καυσίμου και το επίπεδο των ανόργανων ρύπων που μπορούν να εγκλειστούν στο τσιμέντο. Από εδώ και στο εξής πρέπει να υπάρχει ένας ενιαίος σχεδιασμός για τους τσιμεντοκλιβάνους ώστε να χρησιμοποιείται RDF μαζί με άλλα ειδικά απόβλητα όπως λάστιχα ή νοσοκομειακά απορρίμματα.

### **2.3. ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

Η επιλογή της βέλτιστης λύσης από τεχνολογικής πλευράς για ένα σύστημα καύσης απορριμμάτων εξαρτάται από το μέγεθος της δραστηριότητας.

Σε τελευταία ανάλυση αν η αποτέφρωση παραμείνει η μόνη λύση για την ολοκληρωτική διαχείριση των απορριμμάτων ίσως θα πρέπει να είναι καλύτερο να υπάρξουν μικρότερες μονάδες που να απαρτίζουν την όλη διαδικασία. Σε κάποιο βαθμό τα οικονομικά κριτήρια που σχετίζονται με την επιλογή εξαρτώνται από την νομοθεσία που θεσπίζεται και το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο.

Υπάρχουν δύο τάξεις μεγέθους στις μονάδες καύσης οι οποίες διαφέρουν στην φύση του αρχικού θαλάμου καύσης. Η πρώτη επιλογή αναφέρει ότι ο θάλαμος θα είναι κατασκευασμένος εντελώς από πυρίμαχο υλικό ενώ η δεύτερη επιλογή λέει να υπάρχει μία μεμβράνη / τοίχος με νερό όπως συμβαίνει στα boilers.

### **2.3.1. ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ – ΑΠΟΤΕΦΡΩΤΗΡΩΝ (10-100ΤΝ/ΗΜΕΡΑ)**

Η ανάπτυξη των μικρών αποτεφρωτήρων σχεδιάζονται για λειτουργία περίπου μίας φάσης χωρίς επεξεργασία και μείωση μεγέθους και λειτουργούν για παροχές περίπου 10 έως 100 tn/day . Ένας θάλαμος από δύστηκτο υλικό θα φορτίζεται περιοδικά κατά την διάρκεια της ημέρας με απόβλητα. Ο θάλαμος θα λειτουργεί κάτω από συνθήκες πυρόλυσης και αεριοποίησης τον περισσότερο χρόνο της ημέρας με ένα ορισμένο ποσό αέρα για να διατηρείται η θερμοκρασία μέσα στο θάλαμο. Τα προϊόντα πυρόλυσης και αεριοποίησης θα εισέρχονται σε ένα δεύτερο δύστηκτο θάλαμο ώστε να υπάρξει με περίσσεια αέρα τέλεια καύση των υδρογονανθράκων.

Κατά την διάρκεια της νύχτας θα υπάρχει περίοδος καύσης όπου δεν θα τροφοδοτείται νέο υλικό στην μονάδα ,παρά μόνο θα επιτρέπεται να εισέλθει αέρας. Κατά την διάρκεια της νύχτας το υπόλειμμα του άνθρακα που βρίσκεται στην μάζα της στάχτης βαθμιαία θα οξειδώνεται και η στάχτη θα απομακρύνεται το πρωί. Οι μονάδες χαρακτηρίζονται από σχεδιασμό διπλού θαλάμου από δύστηκτο υλικό με μορφή αρθρωτή.

Ειδικότερα υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας τέτοιων μονάδων :

#### **➤ Αποτεφρωτήρας STARVED-AIR**

Το μοντέλο αυτό δείχνει να προτιμάται σε πολλές περιπτώσεις και αυτό συμβαίνει λόγω των μικρών ποσοτήτων σωματιδίων που συγκεντρώνονται στα απαέρια. Ο αρχικός θάλαμος αυτού του αποτεφρωτήρα λειτουργεί χωρίς επάρκεια αέρα με αποτέλεσμα να ολοκληρώνεται η καύση

κάτω από τις στοιχειομετρικές απαιτήσεις . Τυπικά εδώ δουλεύουμε με ένα ποσοστό 30-80% στοιχειομετρικών απαιτήσεων ,οπότε στο πρώτο θάλαμο θα σχηματιστούν πυρολυτικά αέρια τα οποία θα οδηγηθούν στον θάλαμο μετάκαυσης όπου με περίσσεια αέρα θα υπάρξει πλήρης καύση. Η πυρόλυση που συμβαίνει στο πρώτο στάδιο θεωρητικά είναι μία διαδικασία με απουσία αέρα όμως στην πραγματικότητα η διαδικασία αυτή είναι air-starved. Η θερμότητα της διαδικασίας θα προκύψει από την μερική καύση των πυρολυτικών αερίων και την καύση του στοιχειακού άνθρακα. Τα επίπεδα του fixed carbon είναι υψηλότερα στην πυρόλυση παρά στην καύση. Η ικανότητα της μείωσης των αιωρούμενων σωματιδίων έχει να κάνει με:

- ελαχιστοποίηση της διαταραχής του καυσίμου μέσω του περιορισμού των εσχάρων.
- διατήρηση χαμηλού ρυθμού πτητικοποίησης ελαττώνοντας την ροή του αέρα μέσα στον θάλαμο καύσης
- κατανάλωση των ελεύθερων σωματιδίων στον θάλαμο μετάκαυσης

Τα περισσότερα συστήματα αποτεφρωτήρων αυτού του είδους λειτουργούν με λιγοστά σημεία έγχυσης αέρα εν αντιθέσει με τα συστήματα εσχάρων και τους αποτεφρωτήρες περίσσειας αέρα. Το πλεονέκτημα σε τέτοιες μονάδες είναι η εύκολη και γρήγορη απόκριση της παροχής του αέρα σε ανεβοκατεβάσματα της θερμοκρασίας κάτι που δεν γίνεται στις μεγάλες μονάδες καύσης μάζας.

Η περιορισμένη διαταραχή της κλίνης και τα χαμηλά επίπεδα αέρα λειτουργούν ώστε να έχουμε ως αποτέλεσμα φτωχές συνθήκες καύσης στο τέλος της διεργασίας και υψηλά ενεργειακά επίπεδα στην τέφρα από ότι στις άλλες τεχνολογίες.

#### ➤ Αποτεφρωτήρας EXCESS AIR

Σε αυτό το μοτίβο αποτέφρωσης εισάγουμε περίπου 60 έως 200 % περίσσεια αέρα καθ'όλη την διαδικασία με την οποία πετυχαίνουμε στον πρώτο θάλαμο πλήρης καύση ,περίπου 90-95%.Και στο δεύτερο θάλαμο όπου συνεχίζεται η καύση των αερίων εισάγουμε και σε εκείνο το σημείο αέρα αν χρειάζεται .Είναι κατανοητό ότι λόγω της περίσσειας αέρα θα υπάρχουν και αρκετά απαέρια τα οποία αυτόματα θα μεγεθύνουν τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης.

Γενικά οι μικρές μονάδες καύσης έχουν ως κύριο πλεονέκτημα το χαμηλό κόστος επένδυσης για έναν τόνο απορριμμάτων που αποτεφρώνουν καθημερινά σε σχέση με τις μονάδες καύσης μάζας

όμως έχουν και μικρή απόδοση ανάκτησης ενέργειας. Τυπικά σε μονάδες μικρού μεγέθους το ποσοστό ανάκτησης κυμαίνεται από 55 έως 60%, ενώ στις μονάδες καύσης μάζας το ποσοστό ανέρχεται από 65 έως 70 %.Επίσης λόγω της χαμηλής καύσης στην έξοδο (burnout) η ποιότητα της στάχτης είναι υψηλότερη σε αυτά τα συστήματα από ότι στα συστήματα εσχάρων. Τέλος πρέπει να σημειώσουμε το μικρό μέγεθος των συστημάτων APC λόγω της περιορισμένης ποσότητας αέρα που χρησιμοποιούμε [ELSEVIER,1997] .

Για τα υψηλής υγρασίας απορρίμματα ( > 60%), όπως είναι τα νοσοκομειακά απόβλητα στους θαλάμους που απαρτίζουν το παραπάνω σύστημα , τοποθετούνται καυστήρες για συμπλήρωση και διατήρηση της θερμοκρασίας που απαιτείται για καύση (> 870°C).

Η ιδέα του απλού μοντέλου αποτεφρωτή αναπτύχθηκε και για μεγαλύτερης χωρητικότητας μονάδες. Το συγκεκριμένο σχέδιο αφορά συνεχή τροφοδοσία ,συνεχές άδειασμα των θαλάμων από στάχτη και περίπλοκους μηχανισμούς εσχάρων ώστε να διασφαλισθούν : βελτίωση καύσης , βελτιωμένα σχήματα ελέγχου και 24ωρη λειτουργία .Επίσης στις μεγάλες μονάδες μπορεί να υπάρξει εξοπλισμός ανάκτησης ενέργειας και αντιρρυπαντική τεχνολογία όπως πλυντρίδες και φίλτρα.

Ένας μοντέρνος αποτεφρωτής περιγράφεται ακολούθως και απεικονίζει τα χαρακτηριστικά της καύσης ,τα οποία είναι κοινά με αυτά που βρίσκονται στις μονάδες με τοίχο-μεμβράνη.

Τα απόβλητα εισέρχονται στην μονάδα διαμέσου ενός εμβολοφόρου τροφοδότη και σχηματίζουν ένα στρώμα περίπου 15,24 - 45,72 cm στο βάθος σε μία σειρά εσχάρων οι οποίες κινούν τα απόβλητα από την ζώνη τροφοδοσίας στην ζώνη εκκένωσης που είναι η στάχτη. Οι εσχάρες κινούνται μπρος και πίσω για να παρέχουν ανακάτεμα του σωρού. Το ζήτημα του καυστήρα εξαρτάται από τον τύπο των απορριμμάτων αλλά και από το εάν οι αντιδράσεις είναι αυτογενείς.

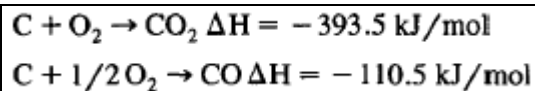
Η ξήρανση και μετέπειτα η πυρόλυση αποτελούν τα πρώτα στάδια της διεργασίας της καύσης. Είναι και οι δύο ενδόθερμες αντιδράσεις με θερμότητα που παρέχεται μέσω των ακόλουθων μηχανισμών :

- εκπομπή θερμότητας από το δύστηκτο υλικό στο θάλαμο καύσης
- άμεση εισροή από τον καυστήρα (εάν είναι απαραίτητο)



- μεταγωγική μεταφορά από τα θερμά αέρια της καύσης και της αεριοποίησης προς τις εσχάρες . Ο αέρας που εισέρχεται από τις τρύπες στις εσχάρες βοηθά στην ξήρανση και στην πυρόλυση με πολύ ήπια ταραχή.

Στην απουσία του αέρα το πυρολυτικό αέριο ,(μίγμα από υδρογονάνθρακες) αναμιγνύεται με άλλα αέρια στον αρχικό θάλαμο. Αυτό παράγει ένα υποστοιχειομετρικό μίγμα που περνά στον μετακαυστήρα. Η διαδικασία της πυρόλυσης αφήνει μία ανθρακική στάχτη που καίγεται στα τελικά έμβολα. Ο αέρας περνά διαμέσου αυτών των εμβόλων και παράγεται μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα με αντιδράσεις που είναι εξώθερμες και συντελούν στην αύξηση της θερμοκρασίας περίπου στους 1000°C.



Εικόνα 2- 2:Αντιδράσεις πυρόλυσης

Τέτοιες θερμοκρασίες είναι δυνατόν να προκαλέσουν μηχανικά προβλήματα και δυσλειτουργίες λόγω της τήξης της στάχτης. Έτσι πρέπει να υπάρχει έλεγχος της θερμοκρασίας και πρέπει να παρέχεται ατμός μαζί με τον αέρα κάτω από την ζώνη καύσης. Αυτό αεριοποιεί τον άνθρακα σε μεθάνιο σε μία ενδόθερμη αντίδραση η προωθεί την αέρια φάση με επίδραση ψύξης.



Εικόνα 2- 3:Αντίδραση αεριοποίησης

Οπότε η σειρά με την οποία γίνεται λαμβάνει χώρα η διαδικασία είναι ξήρανση, πυρόλυση, αεριοποίηση και τελικά πάμε σε καύση.

Σε μια μονάδα η οποία θα ήταν κατάλληλη για καθιερωμένες ρυθμίσεις για μικρές δυνατότητες ΑΣΑ υπάρχουν τρεις ξεχωριστοί τύποι εσχάρων οι οποίες επιτρέπουν την εισροή αέρα και/ή ατμού διαμέσου του σωρού. Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος, που προτείνεται από τους κατασκευαστές αναφέρεται στον τύπο της εσχάρας και στο σύστημα μεταφοράς σκόνης. Ένας τέτοιος σχεδιασμός, μαζί με την πρακτική λειτουργίας και διατήρησης επιδρά, στον βαθμό καύσης που απορρέει από την τελική στάχτη η οποία μπορεί να ποικίλει από μαύρη ανθρακική σε καθαρή γκρί .

Τα συστήματα εσχάρων πρέπει να υπηρετούν τρεις σκοπούς οι οποίοι είναι εξίσου ισοδύναμοι :

- ❖ να κινούν το ρεύμα των αποβλήτων και της στάχτης από την αρχή ως το τέλος χωρίς να μπλοκάρεται η ροή από βαριά υλικά ή να επικρατεί φράξιμο από σκωρίες στις ζώνες υψηλής θερμοκρασίας
- ❖ να παρέχουν επαρκής ταραχή στον σωρό των απορριμμάτων για να εντείνεται το ποσοστό ξήρανσης ,πυρόλυσης και καύσης.
- ❖ να διανέμεται ο αέρας κάτω από τις ζώνες της φλόγας που σχηματίζονται και αυτό να γίνεται ομοιόμορφα αλλά και αποδοτικά σε κάθε ζώνη χωρίς να δημιουργείται μεγάλο στρώμα σωματιδίων ή το σύστημα να είναι ευάλωτο σε φραξίματα .

Ταυτόχρονη επιτυχία αυτών των σκοπών είναι μία περίπλοκη πρόκληση η οποία συναντάται σε όλες τις σύγχρονες μονάδες. Το πρώτο μοντέλο του διπλού θαλάμου, με τον πρώτο θάλαμο να είναι και εστία και εσχάρα ταυτόχρονα, το διαδέχθηκε ο περιστρεφόμενος κλίβανος ο οποίος είναι καλύτερος σε απόδοση λόγω της ιδιότητας της περιστροφής αλλά με ταυτόχρονη παραγωγή πολλών αιωρούμενων σωματιδίων και ιπτάμενης τέφρας.

Στις σύγχρονες μονάδες και ύστερα από εκτενείς αναφορές προκύπτουν τα νέα δεδομένα των διοξινών και φουρανίων ( PCDDs και PCDFs) που βρίσκονται στον όγκο των απαερίων. Σε αντίθεση υπάρχουν αντιμαχόμενες θέσεις που αφορούν την εκπομπή υδραργύρου από παλιούς αποτεφρωτήρες αλλά και από νέες μονάδες οι οποίες με την τοποθέτηση φίλτρων ενεργού άνθρακα δεσμεύεται ένα πολύ μεγάλο ποσοστό .

### **2.3.2. ΜΕΓΑΛΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ (300 -3000 ΤΝ/ΗΜΕΡΑ)**

Τέτοιες δραστηριότητες τυπικά παράγουν θερμότητα αλλά δεν συμβαίνει πάντα έτσι διότι σε ορισμένες περιπτώσεις όταν οι τιμές παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος είναι μικρές ή υπάρχει μικρή απαίτηση για ατμό οι μονάδες δουλεύουν απλώς για να ελαχιστοποιήσουν την ποσότητα των αποβλήτων αλλά και να καταστρέψουν τις τυχόν επικίνδυνες ουσίες. Βέβαια η παραπάνω θεώρηση είναι η εξαίρεση και όχι ο κανόνας στις μονάδες καύσης μεγάλης παροχής. Ανάμεσα στους 300 tn/ημέρα ικανότητα μπορεί να είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε 3 ή 4 μικρές μονάδες αποτέφρωσης οπότε καταλαβαίνουμε ότι αμέσως πρέπει να κατασκευάσουμε μία μεγάλη μονάδα με ανάκτηση ενέργειας που είναι σίγουρα πιο οικονομική.

Ένα τυπικό σύστημα καύσης μάζας φαίνεται στην εικόνα 2-4 όπου τα απόβλητα αφού τροφοδοτηθούν από την χοάνη μετά απλώνονται πάνω στις εσχάρες και προχωρούν στην εστία καύσης κάτω από το πρίσμα των διαφορετικών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά το μήκος της διαδικασίας. Στο αρχικό τμήμα εισάγεται αέρας επιφανειακά των εσχάρων ώστε να υπάρξει μερική ξήρανση των απορριμμάτων. Έτσι τα απόβλητα αρχικά πυρολύονται και τελικά καίγονται, με την έκλυση αδιάσπαστων υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα. Όμως στο πάνω μέρος του θαλάμου εισάγονται εκνεφώματα αέρα τα οποία οδηγούν το μίγμα σε πλήρη καύση. Για να υπάρξει μεγάλη απόδοση καύσης σημαντικός είναι ο χρόνος παραμονής στο τελευταίο στάδιο όπου πρέπει να μειωθεί ο υπολειμματικός άνθρακας. Μεγαλύτερα ποσοστά τροφοδοσίας ή ανεπάρκεια αέρα μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένα επίπεδα άνθρακα στην στάχτη του πυθμένα.

Η διατήρηση ομοιόμορφων συνθηκών μειώνει την πιθανότητα για δυσλειτουργίες του συστήματος όπως διάβρωση και δημιουργία σκωριών στην ζώνη της καύσης. Οι κατασκευαστές ελέγχουν ιδιαίτερα τα παρακάτω σημεία :

- Κάλυψη της κλίνης ,διατηρώντας καλή ομοιομορφία στην διανομή των αποβλήτων στην ζώνη του αέρα που διοχετεύεται από τις εσχάρες
- Η ροή του αέρα που εισάγεται έχει μεγάλη δυναμική στο σύστημα και πρέπει να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά καύσης των στερεών
- Ο σχηματισμός του θαλάμου και η τοποθεσία των σημείων εισαγωγής αέρα τα οποία βοηθούν στην καλή ανάμιξη πάνω από την κλίνη και εμπλουτίζουν την αποδοτικότητα της καύσης.

Bruun & Sorensen	Deutsche Babcock	VKW

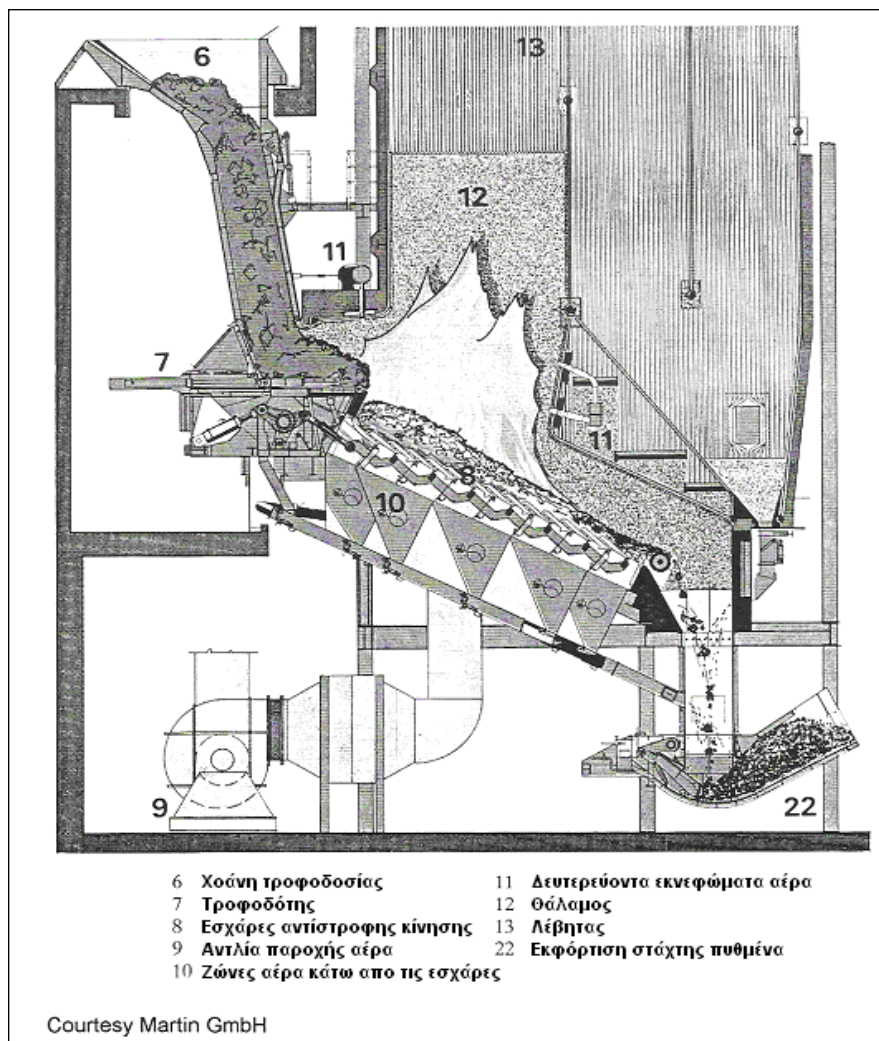
Μερικοί  
κύριους

Alberti	EVT	Volund
CEC	Heenan Nichol	Von Roll
De Bartolomeis	Martin Courtesy	Widmer & Ernst (ABB W+E Umwelttechnik AG)
Detroit Stoker	Steinmuller	

από τους

κατασκευαστές θαλάμων και εσχάρων παγκοσμίως είναι οι παρακάτω:

**Πίνακας 2- 4: Κατασκευαστές θαλάμων και εσχάρων**



Εικόνα 2- 4: Σχηματικό σύστημα μονάδας καύσης[ELSEVIER,1997]

### 2.3.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΣΧΑΡΩΝ-ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Σε κάθε περίπτωση οι εσχάρες εξυπηρετούν την ίδια λειτουργία όπως στις μικρές μονάδες καταμερίζοντας τον αέρα και κινώντας τον σωρό των αποβλήτων και της στάχτης. Απλούστατα σε αυτήν την περίπτωση πρόκειται για πιο πολύπλοκα κατασκευαστικά στοιχεία αφού χρησιμοποιούμε χυτοσίδηρο για να υπάρχει ψύξη καθώς ο αέρας διέρχεται διαμέσου των εσχάρων. Η δομή επιτρέπει περισσότερο μηχανικές κινήσεις όπως το “τράνταγμα” με πιο έντονο ανακάτεμα και καλύτερη καύση των καυσίμων υλικών. Επίσης αρκετά δύσκολος είναι ο έλεγχος της σκωρίας και το φράξιμο των οπών των εσχάρων . Για αυτό πρέπει να ελέγχεται το επίπεδο του οξυγόνου και η θερμοκρασία που επικρατεί στον

σωρό. Αυτές οι δυσλειτουργίες μπορούν να αποφευχθούν με κατάλληλο διαχωρισμό των μετάλλων από το αρχικό στάδιο εισροής της μάζας στην εστία της καύσης.

Η καθιζάμενη σκόνη έχει χαμηλότερη αλλοίωση, απαλότητα και θερμοκρασία ρευστοποίησης από την στάχτη του κάρβουνου. Επίσης υπάρχουν μέταλλα με χαμηλό σημείο τήξης όπως μόλυβδος με ( $MP = 328^{\circ}C$ ) και αλουμίνιο με ( $MP = 660^{\circ}C$ ). Αυτό συσχετιζόμενο με το γεγονός, ότι η θερμοκρασία που τήκεται η στάχτη αυξάνεται με μειωμένες συνθήκες, συντελεί στην άποψη ότι ο έλεγχος της θερμοκρασίας και του οξυγόνου είναι σημαντικός. Περίπου ένα ποσοστό 40 με 60% του ολικού αέρα που εισάγεται στο σύστημα προχωρεί προς τις εσχάρες. Η απόδοση των εσχάρων εξαρτάται από την ικανότητά τους να μεταδώσουν τον αέρα της καύσης στην μάζα των αποβλήτων σε συνδυασμό με την κίνηση αναταραχής και περιστροφής των απορριμμάτων. Η ιδανική περιοχή για τις καλύτερες αποδόσεις των εσχάρων είναι μεταξύ 1,8 -2,5 GJ/m<sup>2</sup>h. Κάτω από 1,8 GJ/m<sup>2</sup>h είναι αδύνατον να διατηρηθεί η θερμοκρασία στους 850°C με 900°C [Σκορδίλης, 1997]. Σε όλες τις μορφές εσχάρων, πάντα υπάρχει υλικό που εισχωρεί στις οπές και στα μηχανικά μέρη.

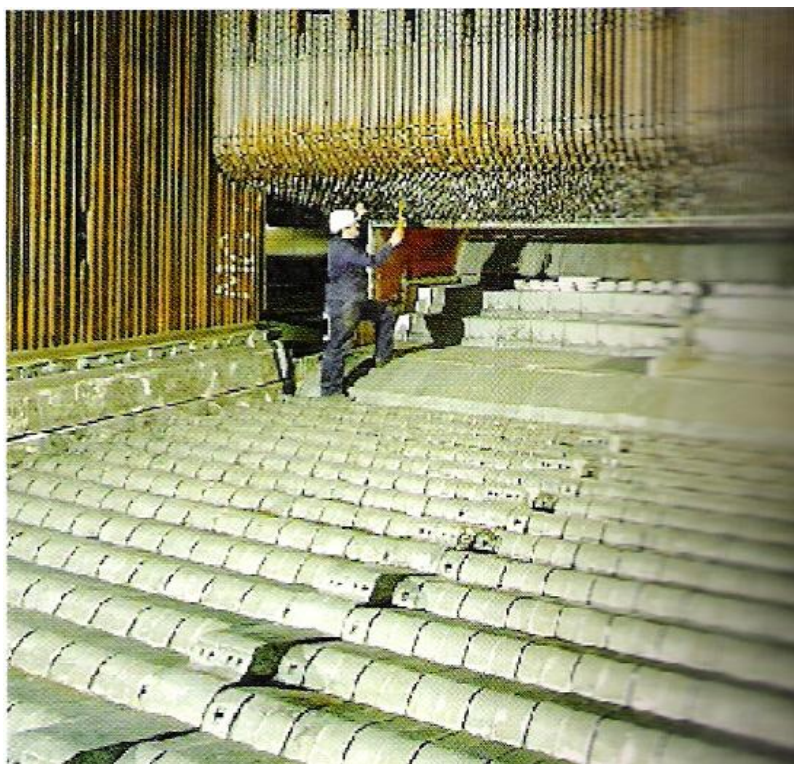
Οι εσχάρες που έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιούνται στις μονάδες καύσης είναι οι ακόλουθες :

- ◇ Εσχάρες κινούμενες – για παράδειγμα, τα συστήματα Esslingen και Heenan Nichols όπου σειρές από τριγωνικά στοιχεία, παλινδρομούν πάνω κάτω προάγοντας το υλικό προς τα μπροστά και δημιουργώντας ανακάτεμα του υλικού
- ◇ Εσχάρες με παλινδρόμηση -για παράδειγμα τα συστήματα Von Roll, Alberti and Martin, όπου επίπεδες εσχάρες κινούνται μπρος-πίσω με τέτοιο τρόπο ώστε οι μισές πλάκες να είναι σταθερές και οι άλλες μισές να κινούνται.
- ◇ Κυλινδρικά συστήματα –για παράδειγμα το σύστημα Bruun και Sorensen και το σύστημα VKW. Σε καθένα από αυτά τα συστήματα ο αέρας διανέμεται από τους περιστροφικούς κυλίνδρους. Στο σύστημα VKW ένας ικανός αριθμός από μεγάλους κυλίνδρους γυρίζει προς την ίδια κατεύθυνση. Στο σύστημα Bruun και Sorensen πάνω από 6 κύλινδροι σε καθέναν από τους τρεις τομείς γυρίζουν εναλλακτικά σύμφωνα με την φορά των δεικτών του ρολογιού και αντίστροφα με



μία κατασκευαστική κλίση που δίνεται στον σχεδιασμό για να επιφέρουν καλή μεταφορά.

- ◇ Ατέρμονες εσχάρες οι οποίες χρησιμοποιούν το στυλ της μεταφορικής ταινίας (μεταλλική ή διαφορετικά κομμάτια αλληλένδετα μεταξύ τους). Ο σχεδιασμός αυτός επιτυγχάνει την ανάμιξη των αποβλήτων και όχι απλά την ανατάραξη .



**Εικόνα 2- 5:Οριζόντιες εσχάρες αποτέφρωσης ( ISWM,2001)**

Άλλα συστήματα χρησιμοποιούν συνδυασμούς εσχάρων όπως το σύστημα CEC που συνδυάζει κινούμενη εσχάρα με στοιχεία ολίσθησης όπως επίσης και το σύστημα Volund , στο οποίο μία παλινδρομική εσχάρα προηγείται μίας ζώνης καύσης ενός περιστρεφόμενου κλίβανου.

Τα περισσότερα προηγμένα συστήματα καύσης χρησιμοποιούν εσχάρες παλινδρόμησης και το αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται στο burnout είναι καταπληκτικό.

Οι εσχάρες παλινδρόμησης Martin ( εικόνα 2-8 ) λειτουργούν με αντίθετη φορά από την ροή του υλικού με τα μισά βήματα κινούμενα και τα υπόλοιπα σταθερά .Τα βήματα που κινούνται δημιουργούν ένα ρεύμα ανάδευσης διασφαλίζοντας ότι το επίπεδο των άκαυστων



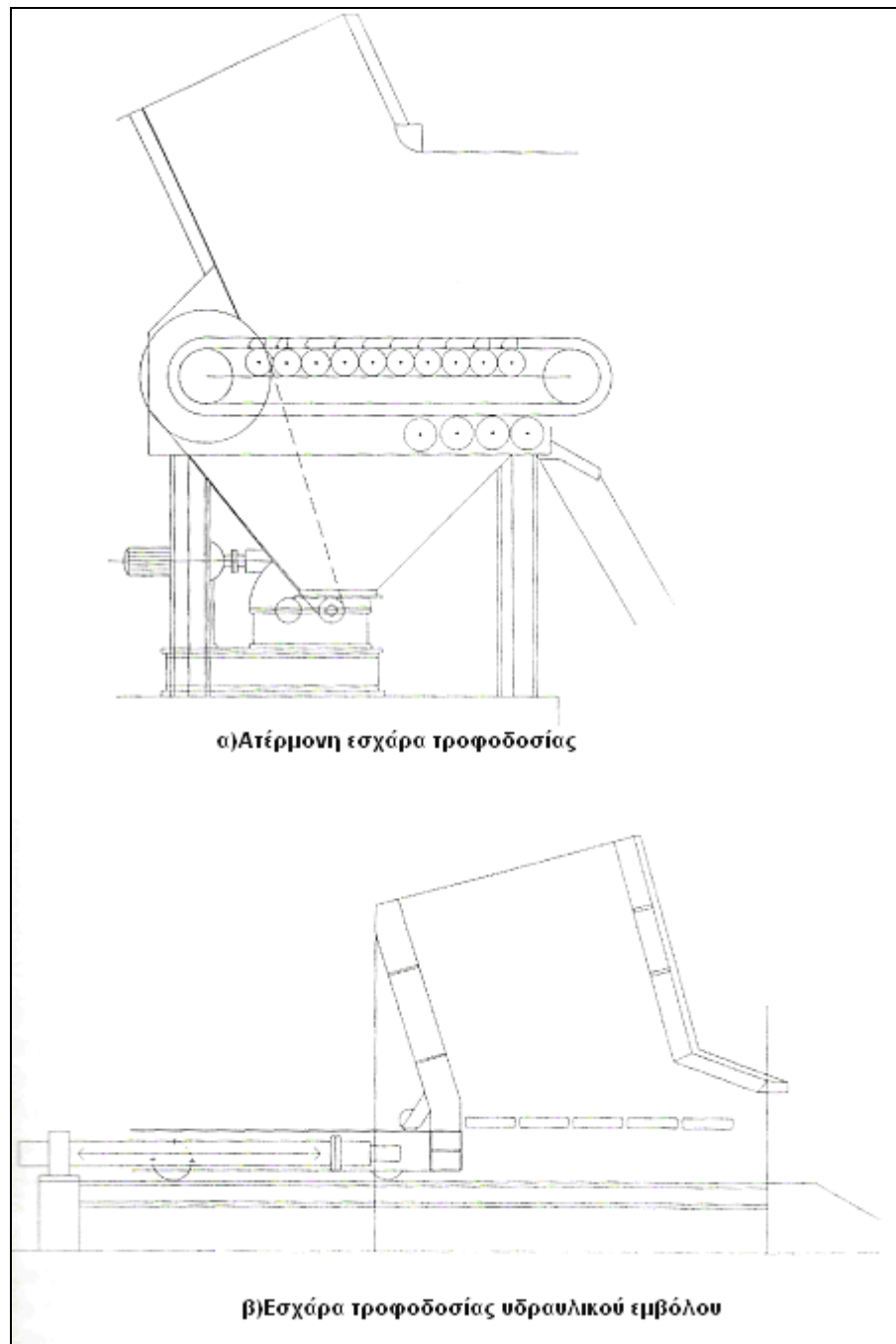
συνεχώς αναδεύεται και η θερμή μάζα κινείται προς τα πίσω δηλαδή στην τροφοδοσία της εσχάρας. Ο αέρας εισάγεται από τις οπές και τα κενά των πλακών. Τα κενά των πλακών λειτουργούν σαν μειωτές πίεσης κατά μήκος της εσχάρας.

Οι εσχάρες Von Roll (εικόνα 2-11) λειτουργούν με μία έντονη σχεδιαστική κλίση. Για τα απορρίμματα χαμηλής θερμικής αξίας το σύστημα μπορεί να τροποποιηθεί έτσι ώστε να διαχωρίζονται οι συμπαγείς μάζες. Η εσχάρα αυτού του είδους σχεδιάστηκε για να απαιτεί υψηλή πτώση πίεσης ώστε ο αέρας να διανέμεται σε όλο το βάθος της κλίνης.

Οι εσχάρες Widmer & Ernst (ABB W+E Umwelttechnik AG) (εικόνα 2-11) εγκαθίστανται οριζόντια και η μάζα των αποβλήτων μεταφέρεται μόνη κάτω από την ανατρεπτική εκδοχή των πλακών. Η διπλή κίνηση τείνει να δημιουργήσει φλεγόμενα σωματίδια τα οποία εκτρέπονται κάτω από τα άκαυστα απόβλητα στις στατικές πλάκες των εσχάρων. Και εδώ η ροή του αέρα ελέγχεται από υψηλή πτώση πίεσης.

Το σύστημα De Bartolomeis (εικόνα 2-11) είναι το μοναδικό που έχει την ιδιότητα να εγκαθίσταται είτε οριζόντια είτε με γωνία κλίσης  $21^{\circ}$  εξαρτώμενο από την φύση των αποβλήτων. Το σύστημα αποτελείται από τρία μέρη και περιλαμβάνει έναν τεμαχιστή που καθαρίζει την χαμηλότερη πλάκα και ελέγχει την ροή του αέρα.

Το σύστημα τροφοδοσίας που χρησιμοποιείται στις παραπάνω εσχάρες έχει να κάνει με δύο είδη που απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα 2-6 και το πρώτο σχήμα δείχνει μία ατέρμονη εσχάρα τροφοδοσίας ενώ το δεύτερο απεικονίζει ένα υδραυλικό έμβολο. Και στις δύο περιπτώσεις οι έλεγχοι του θαλάμου παρέχουν μία ομοιόμορφη τροφοδοσία του υλικού στις εσχάρες με δοσομετρική αναλογία που καταγράφεται. Οι εσχάρες τροφοδοσίας δεν είναι εφοδιασμένες με παροχή αέρα όπως οι εσχάρες μέσα στους θαλάμους.

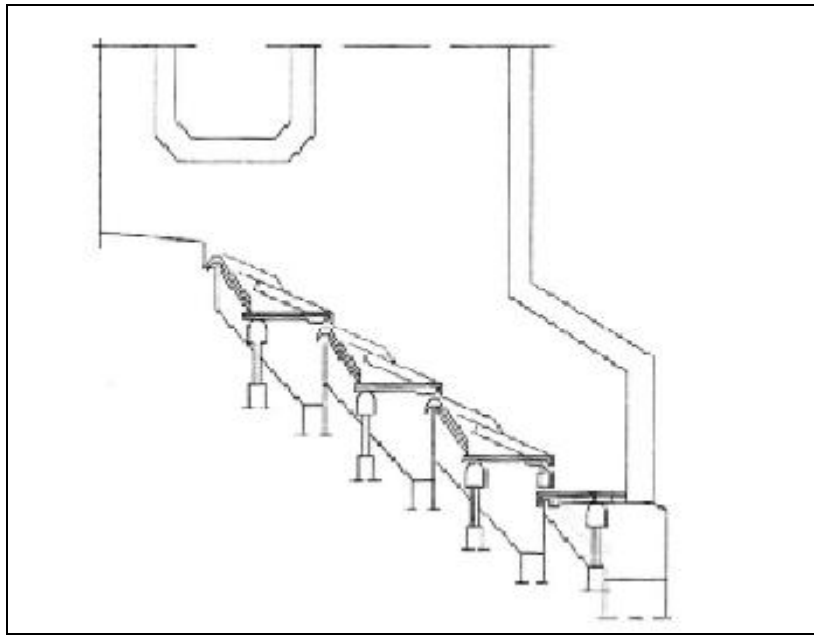


**Εικόνα 2- 6: Εσχάρες τροφοδοσίας (ELSEVIER ,1997)**

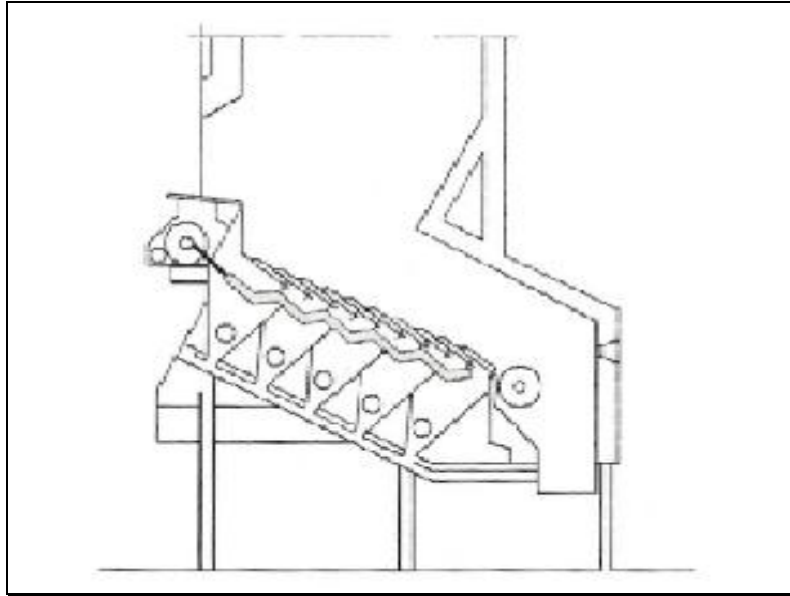
Όλα τα παραπάνω συστήματα διαθέτουν κάποια μορφή αυτονομίας για να ελέγχουν σχετικές ροές με βάση την θερμοκρασία σε έναν διαφορετικό αριθμό διαδικασιών όπως ξήρανση , πυρόλυση , ζώνες καύσης και μετάκαυσης .

Ειδικοί σχεδιασμοί εσχάρων παρέχοντας αποτελεσματική διαταραχή υλικού και διανομή αέρα μπορεί να επηρεάσουν όλη την απόδοση του συστήματος καύσης προωθώντας

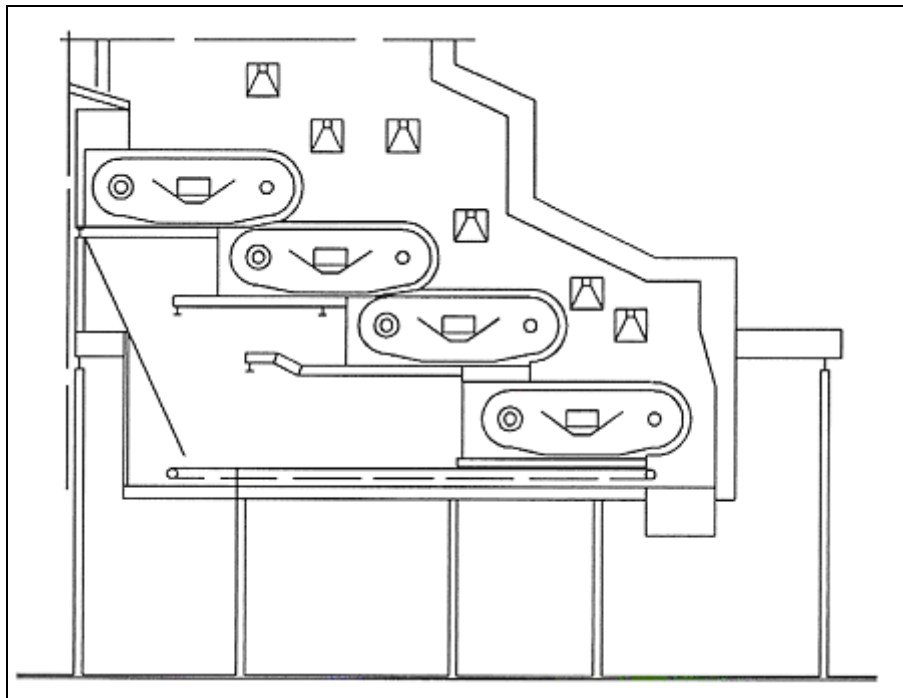
καλύτερη ή χειρότερη μετάκαυση άνθρακα. Επίσης επιδρούν στην ικανότητα να χειριστούμε με σιγουριά απόβλητα που δεν χρειάζονται υψηλή διατήρηση και επιτρέπουν ανάλογα υψηλή απόδοση συστημάτων για πολύ υγρά ή προβληματικούς τύπους αποβλήτων. Η καλή απόδοση εξασφαλίζεται επίσης με την ιδανική πτώση της πίεσης η οποία θα μας βοηθήσει να μην αλλάξει η ροή του αέρα εάν κατά την φόρτιση των αποβλήτων συμβεί κάτι τέτοιο.



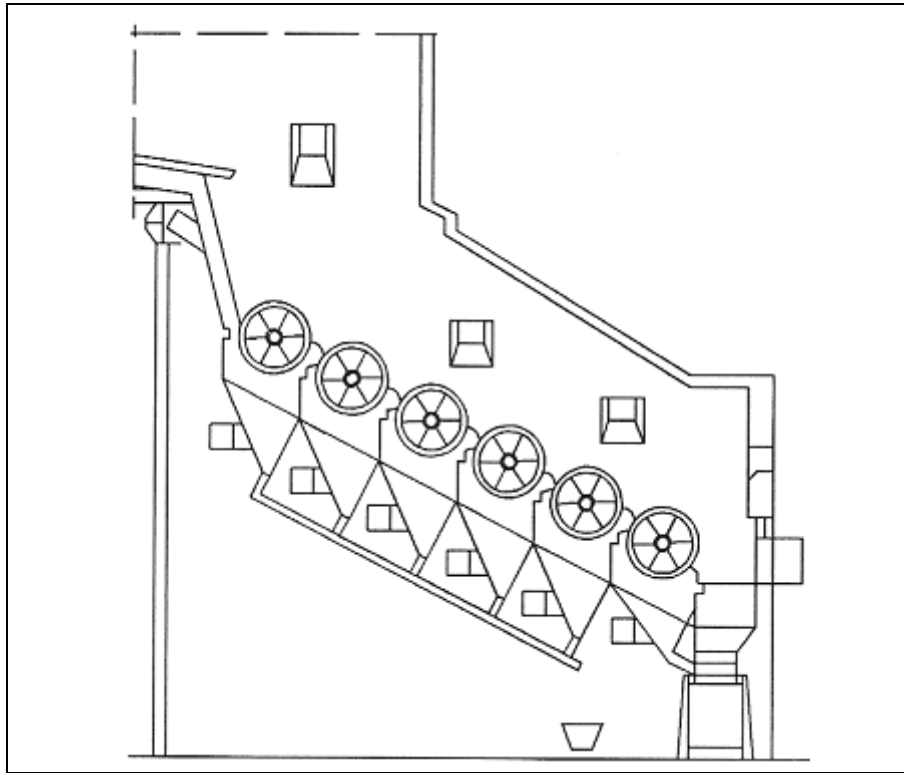
Εικόνα 2- 7: Σχήμα κινούμενης εσχάρας (ELSEVIER, 1997)



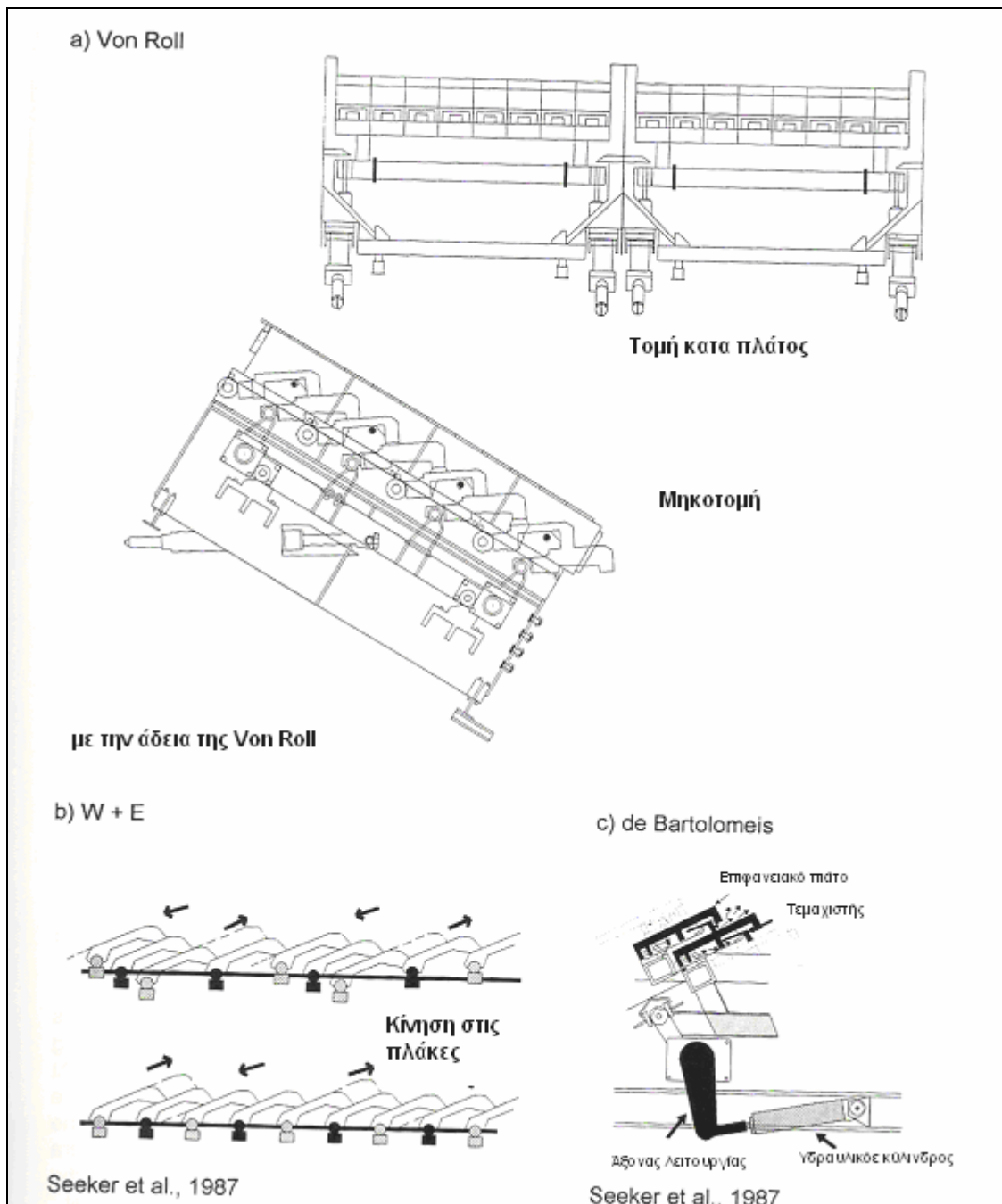
Εικόνα 2- 8:Εσχάρα με παλινδρόμηση από την Martin(ELSEVIER ,1997)



Εικόνα 2- 9: Σχηματική διάταξη της ατέρμονης εσχάρας(ELSEVIER ,1997)



Εικόνα 2- 10:Σχηματική διάταξη της κυλινδρικής εσχάρας(ELSEVIER ,1997)



Εικόνα 2- 11: Τύποι παλινδρομικών εσχάρων (ELSEVIER, 1997)

### 2.3.2.2. ΦΛΟΓΟΘΑΛΑΜΟΙ-ΕΣΤΙΕΣ

Γενικά όπως προαναφέραμε η διάταξη των εσχάρων ,και ο τύπος τους χαρακτηρίζουν την διαδικασία της αποτέφρωσης .Εξίσου σημαντικός είναι και ο ρόλος της σχεδίασης του



θαλάμου στον οποίο μπορούμε να ελέγξουμε την απόδοση της καύσης και την ποιότητα της στάχτης.

Στις μεγάλες μονάδες καύσης ο σχεδιασμός του θαλάμου διακρίνεται σε δύο είδη:

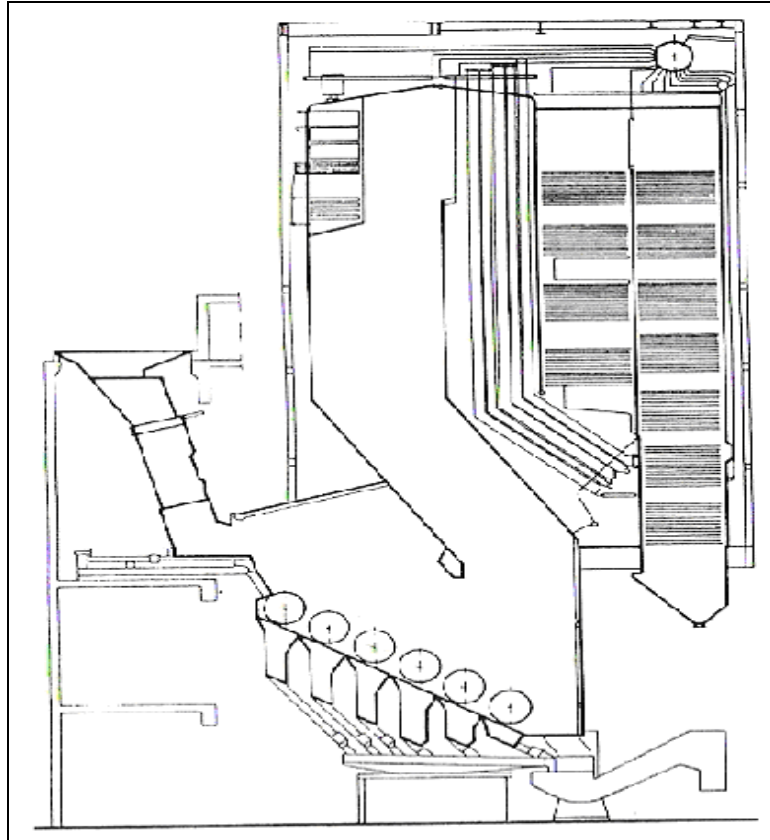
- ο Στον θάλαμο που κατασκευάζεται με δύστηκτο και πυρίμαχο υλικό όπου οι θερμοκρασίες ρυθμίζονται χρησιμοποιώντας περίσσεια αέρα περίπου 100 έως 200 %.
- ο Στον θάλαμο που περιέχει τοίχο με νερό ο οποίος έχει την ιδιότητα να σταθεροποιεί την θερμοκρασία με ανακυκλοφορία του νερού σε κλειστά κελιά που υπάρχουν μέσα στα τοιχεία του θαλάμου. Οι πιο πολλές εστίες με τους συγκεκριμένους θαλάμους λειτουργούν με χαμηλή περίσσεια αέρα δηλαδή περίπου 80%. Το μέγεθος του θαλάμου και τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης που αναφέρονται στον θάλαμο με νερό θα έχουν πιο μικρό μέγεθος από το πρώτο είδος θαλάμου.

Η γεωμετρία και το σχήμα του φλογοθαλάμου σχετίζονται στενά με τον λεγόμενο “ λαιμό” του θαλάμου που βρίσκεται πάνω από τις εσχάρες και καθορίζει την ροή των προϊόντων της καύσης .

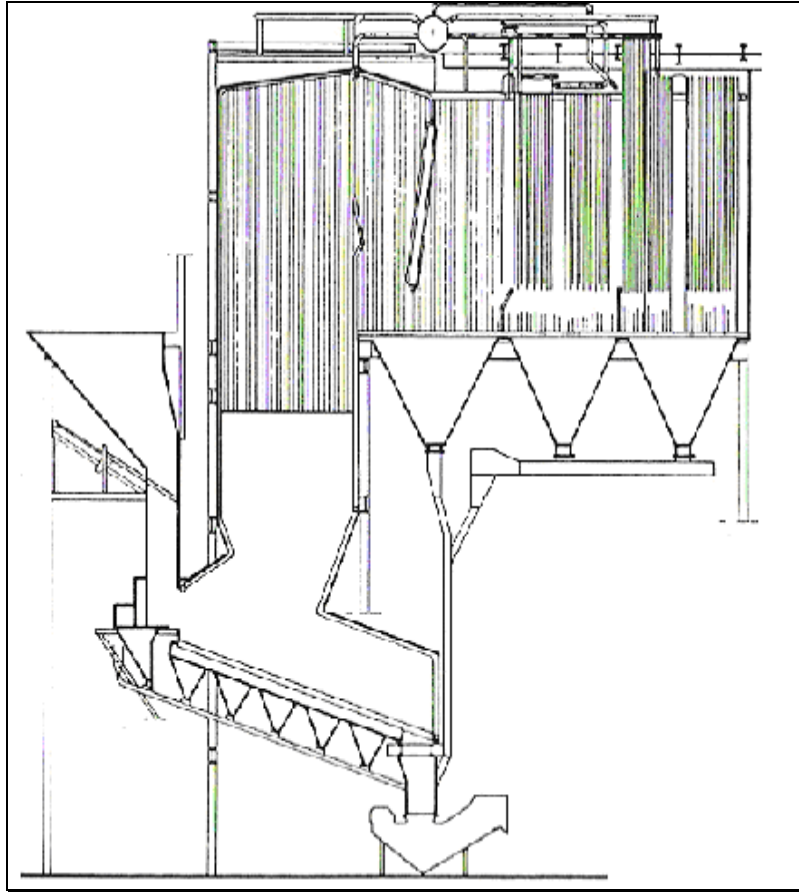
Τρεις διατάξεις γεωμετρικών φλογοθαλάμων διακρίνονται στις παρακάτω εικόνες :

- Παράλληλης ροής συστήματα όπου τα απαέρια προχωρούν σύμφωνα με τα απόβλητα με την παρουσία ενός τοξοειδούς περιβλήματος πάνω από την ξηρή ποσότητα των αποβλήτων. Αυτός ο σχεδιασμός εγκρίνεται για υψηλής πτητικότητας απόβλητα(RDF) (εικόνα 2-12).
- Αντίθετης ροής συστήματα στα οποία διέρχονται τα θερμά απαέρια πάνω από την ζώνη πτητικοποίησης και μειώνουν την περιεκτικότητα της υγρασίας στο υλικό. Η χωρητικότητα ξήρανσης αυτής της μεθόδου την κάνει κατάλληλη για υγρά απόβλητα ή απόβλητα που περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε στάχτη. Στο σύστημα μπορούμε να εισάγουμε θερμό αέρα ώστε να αυξήσουμε την ξήρανση ( εικόνα 2-13).

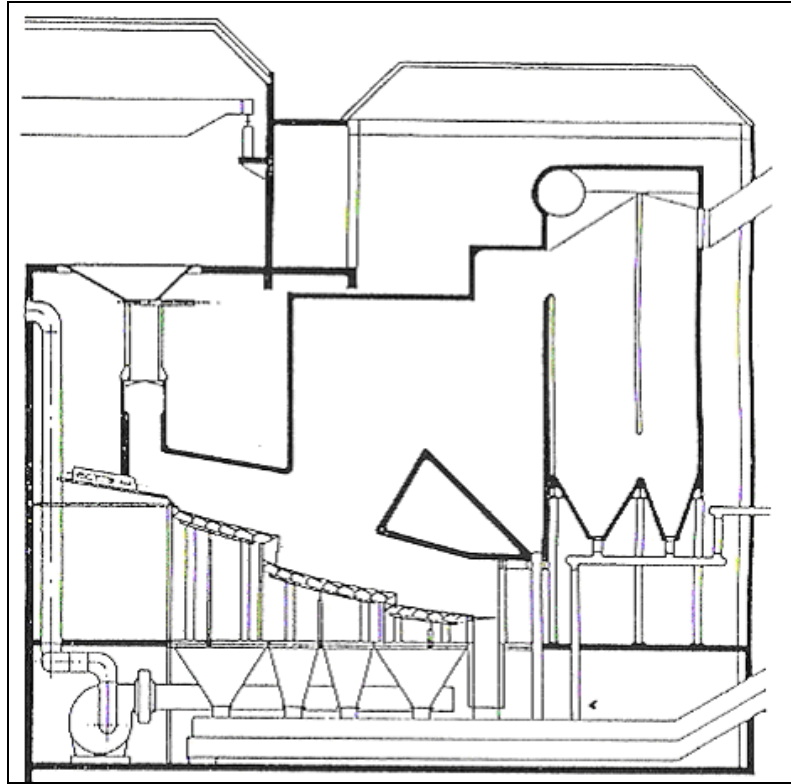
- Κεντρικής ροής συστήματα είναι τα πιο ευέλικτα συστήματα από τα άλλα δύο που έχουν τον “λαιμό” τοποθετημένο πάνω από ζώνη θερμικής αποσύνθεσης των πτητικών (εικόνα 2-14).



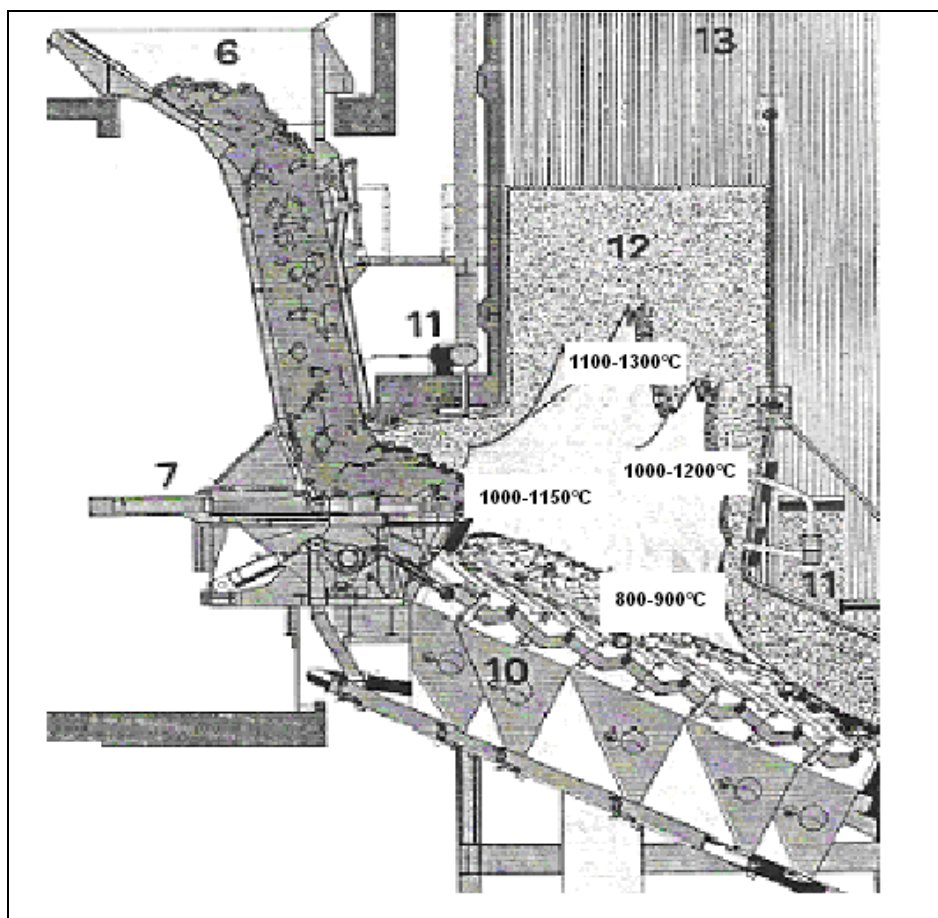
Εικόνα 2- 12:Φλογοθάλαμος παράλληλης ροής(ELSEVIER ,1997)



Εικόνα 2- 13:Φλογοθάλαμος αντίθετης ροής(ELSEVIER ,1997)



Εικόνα 2- 14:Φλογοθάλαμος κεντρικής ροής(ELSEVIER ,1997)



Εικόνα 2- 15: Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας στον φλογοθάλαμο-Ζώνες καύσης

Στην εικόνα 2-12 διακρίνουμε πως διαφοροποιούνται οι θερμοκρασίες μέσα στο φλογοθάλαμο με την μέγιστη τιμή να φθάνει τους 1300°C στη τελευταία ζώνη καύσης , ενώ η θερμοκρασία πάνω στις εσχάρες φθάνει περίπου στους 800-900°C .

Η τοποθέτηση και η λειτουργία των στομιών του δευτερογενούς αέρα απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή ειδικά όταν υπάρχει μεγάλη ποικιλία στην μάζα των αποβλήτων. Για αυτό το σκοπό έχουν αναπτυχθεί διάφορες τροποποιήσεις από τις κατασκευάστριες εταιρείες των συστημάτων καύσης.

- Η Von Roll για παράδειγμα παρακολουθεί την παραγωγή του ατμού και ελέγχει την χοάνη τροφοδοσίας καθώς και την συχνότητα του αέρα που τροφοδοτείται στην περιοχή των εσχάρων και στην περιοχή της πυρόλυσης. Επίσης η συγκεκριμένη εταιρία ελέγχει και τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον φλογοθάλαμο ώστε να καθορίσει τα ποσοστά

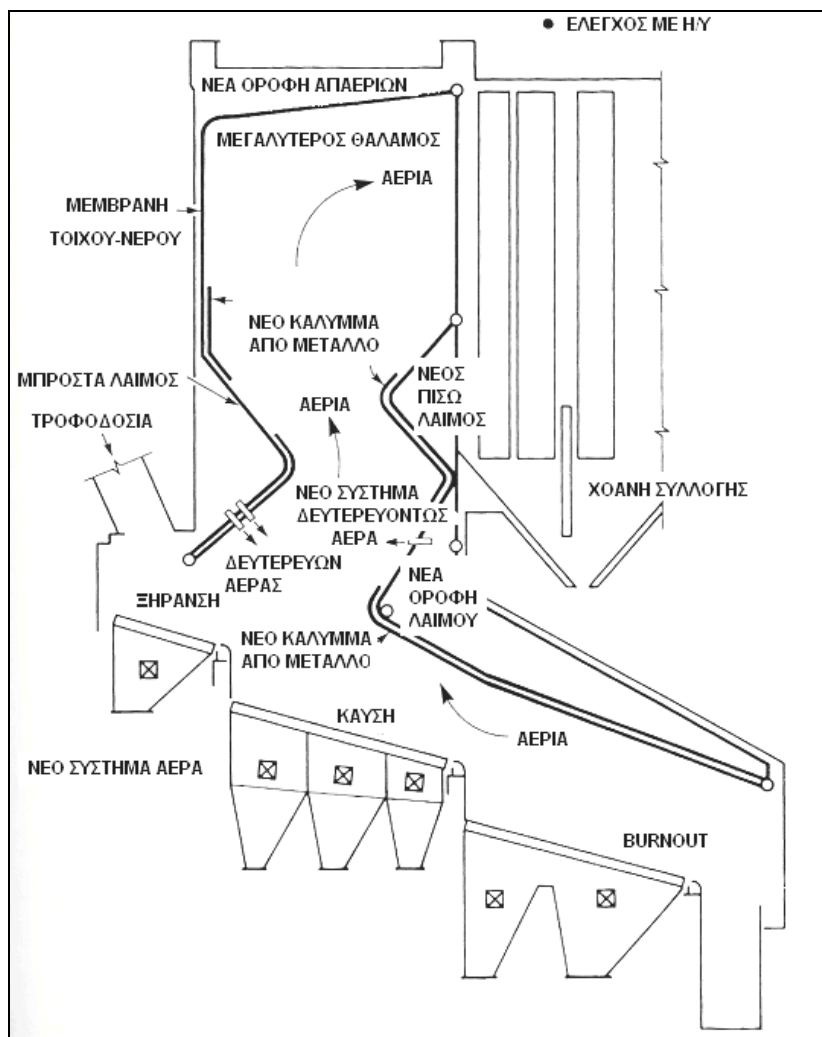
δευτερογενούς αέρα. Εάν η θερμοκρασία πέφτει τότε μειώνεται ο δευτερεύον αέρας για να επανέλθουν οι θερμοκρασίες στο σωστό επίπεδο.

- Η εταιρία Martin χρησιμοποιεί τα επίπεδα του οξυγόνου στα απαέρια για να ελέγξει την τροφοδοσία της χοάνης και την ταχύτητα των εσχάρων. Στους δευτερεύοντες ελέγχους έχει εγκατασταθεί monitoring για το ποσοστό του ατμού και τον έλεγχο του αέρα που εισάγεται κάτω από τις εσχάρες.

Βελτιστοποιώντας τις παραπάνω λειτουργίες μπορούμε να επηρεάσουμε τα ίχνη των βαρέων μετάλλων ανάμεσα στον φλογοθάλαμο και στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης.

Παρακάτω παραθέτουμε ένα παράδειγμα λειτουργιών-τροποποιήσεων που έγιναν στην μονάδα της πόλης Quebec στον Καναδά [ELSEVIER,1997] :





Εικόνα 2- 16: Τροποποιήσεις σε υφιστάμενη μονάδα καύσης στην πόλη Quebec του Καναδά με την άδεια της Environment Canada

Οι τροποποιήσεις έγιναν με σκοπό την αύξηση της ποιότητας της στάχτης. Όπως διακρίνουμε και στην εικόνα 2-16 χαμήλωσε η οροφή του θαλάμου με μία ελαφριά κλίση προς τα κάτω και τοποθετήθηκαν νέα μεταλλικά στοιχεία στον «λαιμό» του θαλάμου ώστε να βελτιωθεί η ροή των απαερίων αφενός και αφετέρου να αυξηθεί η ποιότητα της στάχτης μειώνοντας ταυτόχρονα την ανάκλαση θερμότητας στις εσχάρες. Από την άλλη με τις εν λόγω τροποποιήσεις παρατηρήθηκε καύση των πτητικών αερίων.

Με την προσθήκη περισσότερου αέρα βελτιώθηκε η διεργασία της καύσης αλλά επίσης ελαττώθηκε το πάχος της κλίνης στις εσχάρες του burnout. Μελέτες έδειξαν ότι κρίσιμο μέρος είναι η εισαγωγή πρωτογενούς αέρα με αποτέλεσμα χαμηλά επίπεδα CO και οι μικρές εκπομπές σωματιδίων.

Ένα άλλο πρόβλημα αποτελεί το βάθος της κλίνης. Αν υπάρξει για οποιονδήποτε λόγο αύξηση του βάθους της κλίνης αυτόματα μειώνεται ο πρωτογενής αέρας και ταυτόχρονα επέρχεται ατελή καύση με τελικό αποτέλεσμα την εισαγωγή άκαυστων υλικών στην στάχτη.

Οι αέριες εκπομπές επηρεάζονται σίγουρα εξαιτίας των εμπλοκών των τοπικών θερμοκρασιών και των διανομών τους στις ζώνες. Τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης (APCS – Air Pollution Control Systems) επηρεάζονται από τον καλό σχεδιασμό και την πρακτική λειτουργίας, καθώς και από το ολικό φάσμα των εκπομπών.

Ενώ ο διαχωρισμός των μετάλλων μεταξύ της ιπτάμενης τέφρας και της στάχτης του πυθμένα μπορεί να επηρεαστεί, αυτό μπορεί να μην είναι επαρκές για να μεταβάλλουμε το σύστημα APC. Μόνο ουσιώδη συστήματα έχουν την τάση να μεταβάλλουν εκπομπές αερίων ρύπων όπως για παράδειγμα τα συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης που μπορούν να μειώσουν τον σχηματισμό εκπομπών NO<sub>x</sub>.

Όπως προαναφέραμε το 40 με 60% του αέρα που εισάγεται στο σύστημα διαπερνάει τις εσχάρες από τις οποίες ανάλογα με τον εκάστοτε σχεδιασμό εσχάρας. Το υπόλοιπο τροφοδοτείται πιο πάνω από τις κύριες ζώνες καύσεις για να αναμιχθεί με το πτητικό μίγμα συντελώντας στην καύση στην έξοδο (burnout).

Όπως και με τις εσχάρες έτσι και εδώ υπάρχουν πολλές διαφορές στον σχεδιασμό των εστιών. Παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στον αριθμό, την τοποθέτηση και στην ορμή του πίδακα (jet) δευτερεύοντος αέρα αλλά και στην γεωμετρία και το μέγεθος της εστίας.

Το σύστημα εσχάρας και εστίας πρέπει να εξετάζεται ολικά στον σχεδιασμό διότι έτσι δεν θα υπάρξουν αστοχίες στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης.

Από την άλλη μεριά μπορούν να ρυθμισθούν οι διάφορες συνθήκες λειτουργίας ώστε να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση τόσο των φορτίων στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης όσο και της τοξικότητας των υπολειμμάτων από τον αποτεφρωτήρα. Τα τοξικά κατάλοιπα της καύσης αποτελούνται χουν να κάνουν κυρίως από βαρέα μέταλλα, διοξίνες και φουράνια.

### **2.3.3. ΜΟΝΑΔΕΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ**

Μία από τις σημαντικότερες αναπτύξεις συστημάτων στην καύση των αποβλήτων αποτελεί για το μέλλον και η μονάδα της ρευστοποιημένης κλίνης, η οποία αναπαριστά

ένα τμήμα μονάδας καύσης από έναν συμβατικό σχεδιασμό αποτεφρωτή μάζας. Σε μία τέτοια μονάδα τα απόβλητα καίγονται αιωρούμενα σε ένα 'στρώμα' από στάχτη και αδρανή σωματίδια που συμπεριφέρονται σαν υγρό. Τα πρώτα συστήματα καύσης ρευστοποιημένης κλίνης εμφανίσθηκαν το 1960 και τώρα αναπτύσσονται στο σημείο όπου κυριαρχούν την αγορά για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή ατμού από χαμηλής ποιότητας ή υψηλής περιεκτικότητας σε θείο στερεό καύσιμο.

Οι ρευστοποιημένες κλίνες προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μονάδων καύσης :

- Δραστήρια ανάμιξη των στερεών ΑΣΑ με το καύσιμο, ανομοιόμορφη θερμοκρασία και μεγάλοι χρόνοι παραμονής είναι παράγοντες οι οποίοι συνδυαζόμενοι δίνουν μεγάλη αποδοτικότητα στην διεργασία της καύσης. Η απόδοση ανέρχεται σε ένα ποσοστό της τάξεως του 99% σε σχέση με το 97% του συστήματος των εσχάρων. Εδώ συγκεκριμένα το πρόβλημα της ανθρακικής στάχτης εξαλείφεται. Επίσης η εξαγόμενη ιπτάμενη τέφρα επανεπιστρέφει στον θάλαμο καύσης σαν μέρος του συστήματος για να εμπλουτίσει την απόδοση της διαδικασίας.
- Η απόδοση του λέβητα ανέρχεται στο 81 % (η τιμή βασίζεται στην ανώτερη θερμογόνο δύναμη). Αυτή η τιμή συγκρίνεται με τις τιμές που προκύπτουν για συστήματα καύσης μάζας και συμβατικές καύσεις RDF (αιώρησης και ημ-αιώρησης) που είναι αντίστοιχα 70% και 75% περίπου. Η ανάκτηση ενέργειας είναι εμπλουτισμένη παρόλο που χρησιμοποιείται ενέργεια για τις αντλίες υψηλής πίεσης. Η βελτιωμένη ανάκτηση θερμότητας έγκειται στο γεγονός της καλύτερης απόδοσης της καύσης αλλά και της χαμηλής περισσειας αέρα. Η περίσσεια αέρα για μία μονάδα ρευστοποιημένης κλίνης με RDF θα ήταν περίπου 50% συγκρινόμενη με ένα σύστημα τεχνολογίας εσχάρων το οποίο θα χρειαζόταν 70-100 %. Ο μειωμένος συντελεστής περίσσειας αέρα θα μείωνε μέχρι κάποιο βαθμό το μέγεθος του συστήματος ελέγχου αέριας ρύπανσης (APC).
- Οι λέβητες της ρευστοποιημένης κλίνης για RDF λειτουργούν σε θερμοκρασιακό εύρος 830-913°C. Οι χαμηλές ανομοιόμορφες θερμοκρασίες μειώνουν τα προβλήματα σκωρίας που τυχόν εμφανίζονται στην εστία καύσης και στα τοιχώματα μεταγωγής θερμότητας. Επίσης μειώνουν την υψηλής θερμοκρασίας διάβρωση από το χλώριο στις επιφάνειες του υπερθερμαντήρα ελαττώνοντας την

θερμοκρασία στα πλαϊνά τοιχώματα της εστίας καύσης . Η εναλλαγή του αέρα είναι ένα σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού του θαλάμου καύσης, συνδυαζόμενη με χαμηλή θερμοκρασία και χαμηλή περίσσεια αέρα στην λειτουργία δίνει σημαντική εξάλειψη του σχηματισμού οξειδίων του αζώτου. Χωρίς την χρησιμοποίηση της μεθόδου SNCR (Selective Non Catalytic Reduction) με έκχυση αμμωνίας ή άλλων προσθετικών μείωσης NOx , οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου βρίσκονται στο εύρος 150 με 200 ppmv (σε 7% O<sub>2</sub>) .

- Ένα ενδεχόμενο πρόβλημα με τις μονάδες ρευστοποιημένης κλίνης είναι τα υψηλά επίπεδα νιτρώδους οξέος που εκλύονται (N<sub>2</sub>O). Το νιτρώδες οξύ είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου (200 φορές πιο αποτελεσματικό από το CO<sub>2</sub> σαν απορροφητής υπέρυθρης ακτινοβολίας σε μοριακή βάση). Τα υψηλά αυτά επίπεδα είναι αποτέλεσμα των χαμηλών θερμοκρασιών καύσης. Για την καύση των πετρελαιοειδών κωκ τα επίπεδα νιτρώδους οξέος μετρήθηκαν και βρέθηκαν στο ίδιο επίπεδο με τα άλλα οξείδια του αζώτου (NO και NO<sub>2</sub>) [Brereton et al., 1991]. Γενικά επισημαίνεται από τους κατασκευαστές ,ότι οι θερμοκρασίες στις οποίες πρέπει να λειτουργούν οι μονάδες ρευστοποιημένης κλίνης οφείλουν να είναι στο θερμοκρασιακό εύρος των 900 μέχρι 920°C έτσι ούτως ώστε να διασφαλίζονται τα πρότυπα των κανονισμών. Άλλες στρατηγικές υπάρχουν αλλά θα υπάρξει υπέρβαση στο συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Το νιτρώδες οξύ αναφέρεται ότι μειώνεται με συστήματα SCR (Selective-Catalytic-Reduction) σε θερμοκρασίες κάτω από 400°C αλλά μπορεί να αυξηθεί σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Ένας τελικό κριτήριο επιλογής των μονάδων ρευστοποιημένης κλίνης είναι ότι προσφέρουν σταθερό περιβάλλον καύσης και καλή απόκριση στις διάφορες αμφισβητούμενες στην ποιότητα του καυσίμου. Ανομοιομορφίες στην σύνθεση της τροφοδοσίας των απορριμμάτων αντισταθμίζονται από την συνολική μάζα των αδρανών στερεών στον λέβητα. Ένας από τους λόγους που προωθείται συνήθως η χρήση των ρευστοποιημένων κλινών είναι η ικανότητα τους να «αιχμαλωτίζουν» τα όξινα αέρια επιτόπου χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους απορροφητικά υλικά όπως ασβεστόλιθος και δολομίτης.

#### **2.3.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΓΙΑ RDF**

Τα συστήματα αυτά όπως και οι περιστροφικοί κλίβανοι κατασκευάζονται για να καταστρέφουν μια μεγάλη ποικιλία αποβλήτων όπως λυματολάσπη ,απόβλητα πετρελαιοβιομηχανίας και βιομηχανίας χαρτιού. Οι μονάδες αυτού του τύπου αναπτύσσονται κυρίως στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία. Ο αντιδραστήρας αποτελείται συνήθως από ένα κάθετο πυρίμαχο ευθυγραμμισμένο χαλύβδινο δοχείο που περιέχει κλίνη κοκκώδους υλικού όπως άμμος πυριτίου, ασβεστόλιθο, αλουμίνα ή άλλο κεραμικό υλικό. Το υλικό της κλίνης υποστηρίζεται από ένα πυρίμαχο ευθυγραμμισμένο πλέγμα. Ο αέρας διαπερνά το πλέγμα και εξαπλώνεται στην κλίνη σε ένα ποσοστό από 80 έως 100 %,και έτσι προκαλείται ρευστοποίηση. Τα απόβλητα μπορούν να εισέλθουν στην μονάδα με την δύναμη της βαρύτητας ή με την χρήση μηχανικών μέσων. Η κινητήριος δύναμη της ρευστοποιημένης κλίνης προκαλεί γρήγορη ανομοιόμορφη ανάμιξη της κλίνης των αποβλήτων με αποτέλεσμα τις καλές συνθήκες καύσης και κατ' επέκταση υψηλότερα ποσοστά μεταφοράς θερμότητας. Επιπλέον η διαρκής κίνηση στην κλίνη και η μεγάλη θερμοχωρητικότητα αυξάνουν το burnout του υλικού και ελαχιστοποιούν την παραγωγή στάχτης.

Μία τυπική συσκευή ρευστοποιημένης κλίνης που φαίνεται στην εικόνα 2-17 έχει συνήθως λόγο ύψος προς διάμετρο 1,25/1 με την επέκταση της κλίνης να απασχολεί το 20% του ύψους.

Το υλικό λειτουργεί σαν «νεροχύτης» θερμοχωρητικότητας ικανός να απορροφήσει τα μεγάλα ποσά θερμότητας που παράγονται κατά τη διάρκεια της διεργασίας της καύσης. Οι θερμοκρασίες της κλίνης τυπικά κυμαίνονται σε χαμηλότερα όρια από άλλα συστήματα ( από 760°C έως 870°C) .

Στα συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης ίσως χρειαστεί να προστεθούν καυστήρες για να διατηρήσουν την θερμοκρασία της κλίνης, ωστόσο άλλες επιλογές είναι διαθέσιμες προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η απόδοση. Ο αντιδραστήρας μπορεί να λειτουργήσει είτε ως κρύος θάλαμος αέρος στον οποίο ο αέρας που θα προέλθει από την ρευστοποίηση εγχέεται άμεσα, είτε ως καυτός θάλαμος αέρος στον οποίο ο αέρας προθερμαίνεται σε μια προγενέστερη μονάδα εναλλακτών θερμότητας. Ανάλογα με τη φύση των αποβλήτων δημιουργείται η ανάγκη να παρασχεθεί πρόσθετη θερμότητα.

Τα συστήματα της ρευστοποιημένης κλίνης έχουν χαμηλό κόστος επένδυσης , μεγάλη χρονική διάρκεια παροχής υπηρεσιών και χαμηλά κόστη λειτουργίας. Επιπρόσθετα τέτοιες μονάδες μπορούν να σχεδιαστούν για μεγάλες διακυμάνσεις στη σύνθεση αποβλήτων και στο ποσοστό τροφοδοσίας ,λόγω της υψηλής θερμικής αδράνειας της ρευστοποιημένης κλίνης, χαρακτηριστική της τάξεως των 596.000 kJ/m<sup>3</sup>.

Στα προβλήματα της ρευστοποιημένης κλίνης περιλαμβάνονται η συγκέντρωση και η αφαίρεση του υπολειμματικού υλικού από την κλίνη , ο σχηματισμός των εύτηκτων μιγμάτων στην εστία και η αποκλιμάκωση της κλίνης.

Αν και υπάρχουν ισχυρισμοί από τους κατασκευαστές ρευστοποιημένης κλίνης, ότι τα αλογόνα (χλώριο ,βρώμιο ,ιώδιο) μπορούν να απομακρυνθούν στην ίδια μορφή όπως π.χ σε χλωριούχο ασβέστιο [ELSEVIER,1997] ,υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι η απορρόφηση του χλωρίου δεν μπορεί να εμφανιστεί στις θερμοκρασίες και στην σύνθεση των αερίων στην ρευστοποιημένη κλίνη από την στιγμή που το υδροχλώριο (HCl) έχει σημαντική μερική πίεση πάνω από το χλωριούχο ασβέστιο[Liang et al., 1991].

Για τα υψηλής πτητικότητας καύσιμα η προσθήκη ασβεστολίθου στην ρευστοποιημένη κλίνη καταλύει τον σχηματισμό NO<sub>x</sub> από το άζωτο του καυσίμου στο πτητικό κλάσμα.

Γενικά διαφαίνεται ότι για την καύση ΑΣΑ στις ρευστοποιημένες κλίνες, τα πλεονεκτήματα από την απορρόφηση όξινων αερίων δεν θα τα συνειδητοποιήσουμε. Ο ασβεστόλιθος ο οποίος προστίθεται θα απορροφήσει το υδροχλώριο , όμως μόλις τα σωματίδια που θα σχηματιστούν έρθουν σε επαφή με τον «πλακούντα» των σακκόφιλτρων θα αδρανοποιηθούν.

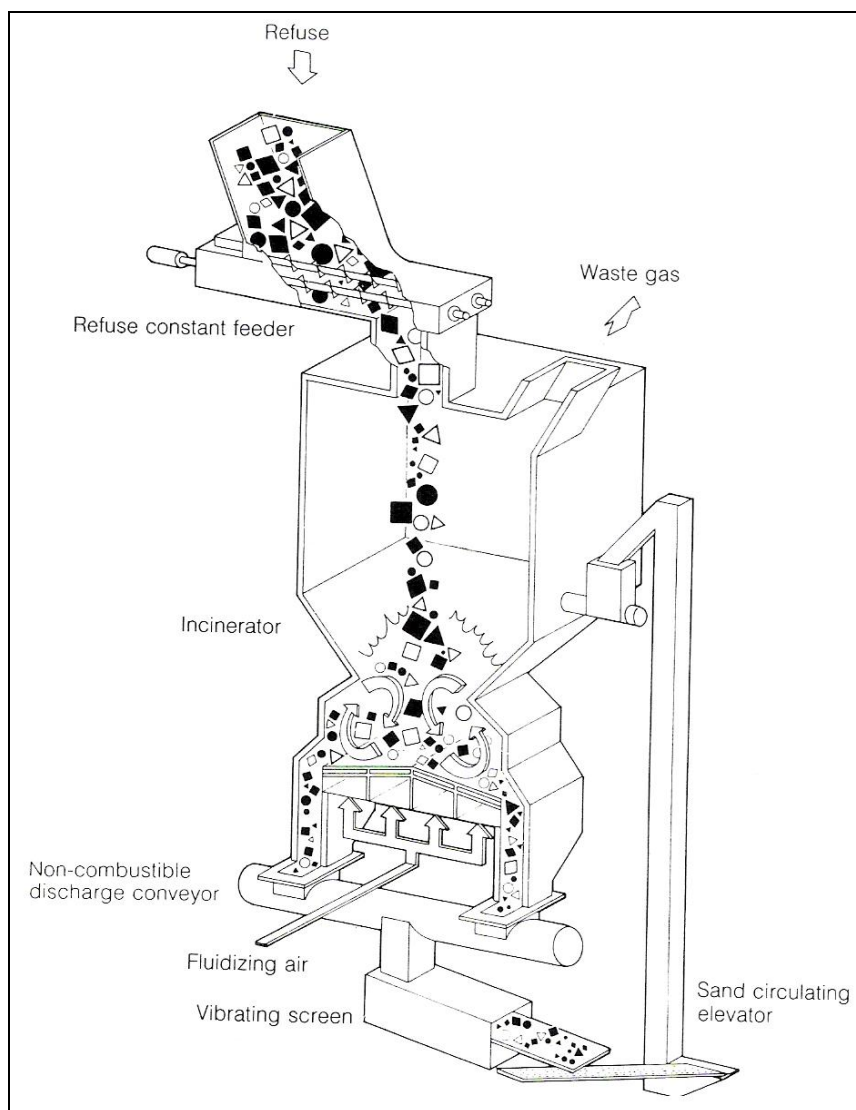
Τα συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης δεν είναι κατάλληλα να αποτεφρώνουν τελείως αταξινόμητα απόβλητα. Μερική προετοιμασία των αποβλήτων είναι απαραίτητη, ούτως ώστε τα ογκώδη αντικείμενα να μην απορευστοποιήσουν την μονάδα. Στις περισσότερες μονάδες καύσης RDF χρησιμοποιείται τεμαχισμός μέχρι 98% σε σωματίδια μεγέθους λιγότερο από 8,89 cm. Κατά την προετοιμασία του RDF είναι δυνατόν να υπάρχει ανάκτηση κάποιων υλικών.

Ένα κύριο στοιχείο στον σχεδιασμό της ρευστοποιημένης κλίνης με RDF είναι ο διανομέας αέρα και η εκκένωση της στάχτης. Τα συγκεκριμένα συστήματα πρέπει να συμφωνούν με την μεγάλη δίνη του υλικού η οποία δεν πρέπει να συσσωρεύεται εντός του στρώματος.



Υπάρχουν πολλοί τρόποι να επιτευχθεί αυτό ,όπως για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί ένας άμεσος διανομέας υλικού ο οποίος θα τοποθετεί το υλικό σε μία μεμβράνη-εσχάρα ελαφριάς κλίσης. Για τις μικρές μονάδες το πρόβλημα της διανομής υλικού και της εκφόρτισης της στάχτης μπορεί να λυθεί με μία πιο δυνατή προσέγγιση κυκλοφορίας .Αυτό είναι γνωστό σαν περιστροφική κλίνη, όπου μεγάλη καθαρή κυκλοφορία από αδρανή άμμο επηρεάζεται χρησιμοποιώντας μία υψηλής ταχύτητας ζώνη ,μία χαμηλής ταχύτητας ζώνη και μία άμεση σύγχυση. Η τεχνολογία της περιστροφικής κλίνης αναπτύχθηκε από την εταιρεία Ebara Corporation στην Ιαπωνία που έχει κατασκευάσει 40 τέτοιες μονάδες παγκοσμίως .Ωστόσο οι μονάδες αυτές είναι απαγορευτικές για παροχές περίπου στους 100 tn/day. Σε αυτές τις παροχές η τεχνολογία της ρευστοποιημένης κλίνης είναι εφαρμόσιμη, αλλά πιο ακριβή από ένα σύστημα εσχάρων.

Είναι σαφές ότι όσο πιο περίπλοκο σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης επιλέξουμε, τόσο πιο ακριβό κεφάλαιο επένδυσης θα χρειαστούμε .Εάν χρησιμοποιήσουμε ανάκτηση υλικών θα έχουμε μικρότερη κατασκευή συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης και η αυξημένη παραγωγή ατμού / ηλεκτρικού ρεύματος θα διαφέρει κατά περιπτώσεις .



Εικόνα 2- 17:Σχηματική διάταξη της ρευστοποιημένης κλίνης(ELSEVIER,1997)

Πληθώρα τεχνολογιών καύσης μάζας είναι σε περιορισμένη χρήση σε όλο τον κόσμο. Μεταξύ αυτών έχουν αναπτυχθεί και οι τεχνολογίες του περιστροφικού κλιβάνου. Οι περιστροφικοί κλίβανοι έχουν την δυνατότητα να είναι κατασκευασμένοι είτε με τοίχο από νερό είτε με πυρίμαχα τοιχώματα και μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν και εσχάρες ανάφλεξης.

#### 2.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ RDF

Αντίθετα από τα συστήματα καύσης μάζας, τα συστήματα RDF αποτεφρώνουν απόβλητα που έχουν αλλάξει τα φυσικά χαρακτηριστικά τους. Το πρώτο βήμα σε αυτά τα συστήματα

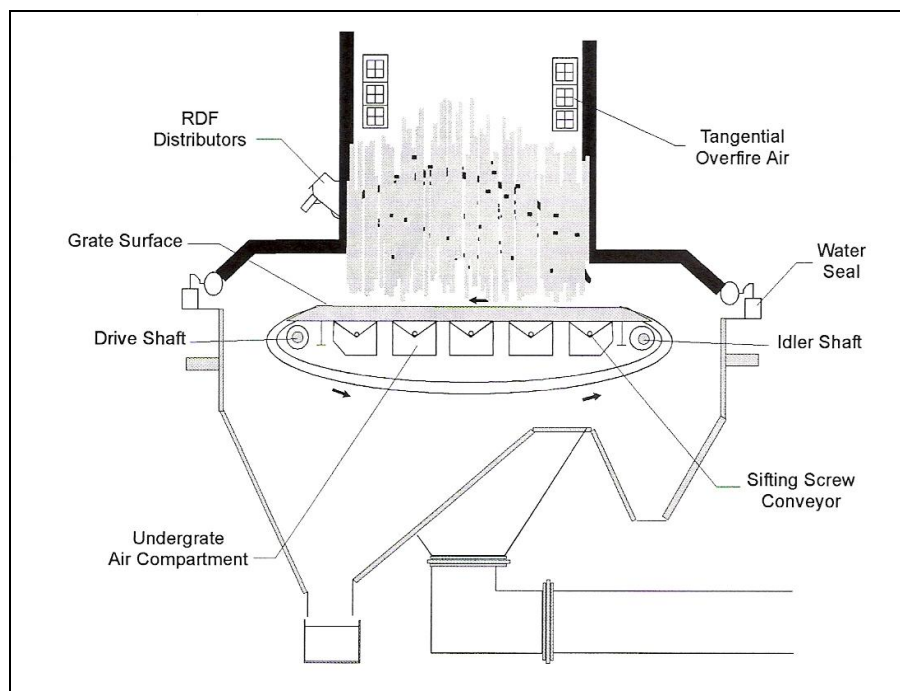
είναι η μείωση του όγκου των αποβλήτων και η αφαίρεση των μη καυσίμων υλικών. Ένα πρόσθετο βήμα είναι και παραγωγή πυκνότερου υλικού. Οι μονάδες που θα χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή RDF θα περιλαμβάνουν τεμαχισμό, την ανάκτηση των σιδηρούχων μετάλλων, τη διαλογή ή την ταξινόμηση με αεροδιαχωρισμό, καθώς και την δευτεροβάθμια ταξινόμηση και την αποθήκευση. Η βελτιωμένη ποιότητα της στάχτης που είναι το αποτέλεσμα της καύσης RDF επιτυγχάνεται λόγω της αφαίρεσης των μη-καυσίμων απορριμμάτων από την μάζα των αποβλήτων. Τα συστήματα παραγωγής RDF έχουν χαμηλό κόστος επένδυσης όμως απαιτούν υψηλά έξοδα λειτουργίας. Σε αυτό συμβάλλει και το εξής πρόβλημα : η απρόβλεπτη διακίνηση του υλικού RDF στην αγορά , η πώληση του σαν προϊόν αλλά και η δυσβάσταχτη οικονομικά αποθήκευση του.

Το RDF υψηλής πυκνότητας ή οι πελλέτες μπορούν να αντικαταστήσουν τον άνθρακα στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά παρόλα αυτά δημιουργούνται προβλήματα που αφορούν την τέφρα αλλά και τις αέριες εκπομπές. Η τέφρα φράζει τους λέβητες και δεν μπορεί να υπάρξει σωστή μεταφορά ενέργειας.

Το καύσιμο RDF γενικά μπορεί να μεταχειριστεί αποδεδειγμένα σε αποτεφρωτήρες ημι-αναστολής, αποτεφρωτήρες ανατροφοδοσίας ή σε μονάδες ρευστοποιημένης κλίνης.

#### **2.4.1. ΚΑΥΣΗ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΜΙ-ΑΝΑΣΤΟΛΗΣ**

Τυπικά τα συστήματα αυτά απαιτούν ελάττωση μεγέθους και απομάκρυνση των μη-καυσίμων υλικών από τα απόβλητα πριν εισέλθουν στην διεργασία της καύσης. Το καύσιμο RDF εγχέεται μέσα στον θάλαμο διαμέσου εισόδων που βρίσκονται στον τοίχο. Φθάνοντας στην εσχάρα αναφλέγεται και ταυτόχρονα καίγεται. Αυτές οι εστίες είναι εξοπλισμένες με διακινούμενο σύστημα εσχάρων-κόσκινων. Το κύριο μέλημα των σχεδιαστών με αυτά τα συστήματα είναι να διασφαλιστεί ο σχηματισμός κλίνης πέρα από την εσχάρα ,παρόμοιος με τον επιθυμητό σχηματισμό ανομοιόμορφης κλίνης στα συστήματα καύσης μάζας. Για να επιτευχθεί αυτό , οι σχεδιαστές εξασφαλίζουν στην λειτουργία, την μακρύτερη πορεία των βαρύτερων υλικών στην εσχάρα. Ταυτόχρονα δίνουν μεγαλύτερο ποσοστό εξάπλωσης στον ρυθμό έγχυσης του υλικού στην επιφάνεια της εσχάρας. Στην εικόνα 2-18 διακρίνεται μία τυπική μονάδα ημι-αναστολής .



Εικόνα 2- 18: Σχηματική διάταξη του συστήματος καύσης ημι-αναστολής (ELSEVIER, 1997)

#### 2.4.2. ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙΣ ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ

Τα συστήματα καύσης αυτού του είδους δεν χρησιμοποιούνται ευρέως για την καύση αποβλήτων παρά μόνο στην βιομηχανία. Το εν λόγω σύστημα αποτελείται από μία διακινούμενη εσχάρα στην οποία εισάγεται φρέσκο υλικό καύσης μέσω ενός συστήματος αέρα υψηλής πίεσης. Η διανομή του υλικού στην εσχάρα ελέγχεται από ένα σύστημα ψεκασμού σταγονιδίων αέρα. Αντίθετα με τα συστήματα ημι-αναστολής, στα συστήματα ανατροφοδοσίας ο εισαγόμενος αέρας διανέμεται από πολλά διαφορετικά μέρη και ειδικότερα ο αέρας πάνω από την ζώνη καύσης ολοκληρώνεται μέσω ενός εφαπτόμενου συστήματος εισόδων.

#### 2.4.3. ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΚΑΙΒΑΝΟΙ

Η αποτέφρωση γενικότερα χρησιμοποιείται από παλιά για την καταστροφή οργανικών επικίνδυνων αποβλήτων, παρόλα αυτά εξαιτίας της ποικιλίας της σύνθεσης των αποβλήτων και των πρακτικών ζητημάτων που αφορούν την λειτουργία και την διαχείριση μιας τέτοιας μονάδας μπορούν να υπεισέλθουν μεγάλοι και σοβαροί περιορισμοί στην απόδοση του συστήματος. Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να υπερκεραστούν με συστηματική σχεδίαση, έρευνα, λειτουργία και πρακτική.

Τα πλεονεκτήματα που προαναφέραμε σχετικά με την διεργασία της καύσης : μείωση του όγκου των απορριμμάτων , αποτοξικοποίηση διαφόρων αποβλήτων καθώς και τόσα άλλα δικαιολογούν την ανάπτυξη πολλών τεχνολογιών συστημάτων αποτέφρωσης τα οποία επιδεικνύουν περιπλοκότητα στην αποδοχή τους. Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές επεξεργασίας είναι οι επεξεργασίες μη αέριας φάσης ,υγρής έκχυσης ,και οι περιστρεφόμενοι κλίβανοι. Αν και σε όλη την Ευρώπη καθώς και τις Ηνωμένες Πολιτείες οι τεχνικές επεξεργασίας της υγρής έκχυσης και της μη αέριας φάσης είναι διαδεδομένες, οι μονάδες με περιστρεφόμενο κλίβανο κερδίζουν συνεχώς έδαφος λόγω της ευελιξίας τους στην καταστροφή επικίνδυνων και τοξικών αποβλήτων (χλωριωμένες ενώσεις και PCBs)με την υψηλή θερμοκρασία που επιτυγχάνουν. Πολλαπλές εστίες ,ρευστοποιημένη κλίνη , και άλλες τεχνολογίες η μέθοδος της τήξης βρίσκονται σε πρώιμα στάδια καθώς πρέπει να αποδειχθούν επιστημονικά ότι είναι συμφερότερες σε όλους τους τομείς.

Στην πρακτική πολλοί αποτεφρωτήρες χρησιμοποιούνται για πληθώρα αποβλήτων χωρίς να γίνεται διαχωρισμός .Τα απόβλητα μπορούν να διαφέρουν ως προς την φύση τους, παραδείγματος χάριν άλλα είναι σε στερεή, άλλα σε υγρή και άλλα σε ρευστή μορφή. Η χημική σύνθεση και οι θερμοδυναμικές ιδιότητες είναι παράμετροι που συχνά πρέπει να λαμβάνονται σαν περιορισμοί λειτουργίας σε τέτοιες μονάδες λόγω των πάμπολλων δυσκολιών που ενδέχεται να προκύψουν.

Οι υπεύθυνοι του έργου έχουν σαν στόχο την επιτήρηση όλων αυτών των μεταβλητών καθώς και την παρακολούθηση της τροφοδοσίας των αποβλήτων ,την τροφοδοσία του καυσίμου ,την παρουσία του αέρα όπως επίσης και την μεγιστοποίηση της ροής εισόδου των αποβλήτων αλλά και την ελαχιστοποίηση της ανάγκης για χρήση ενισχυτικού καυσίμου.(Behmanesh *et al.*, 1990).

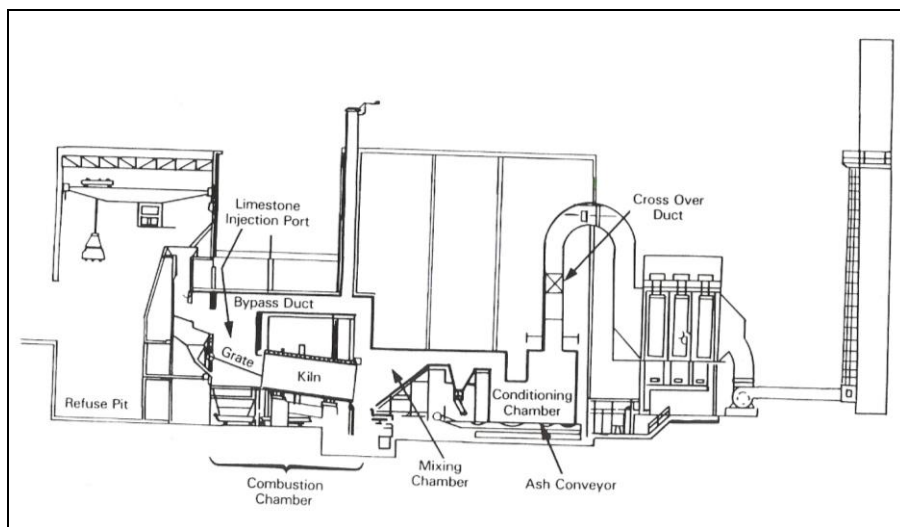
Οι τροφοδοσία των πρώτων υλών στους αποτεφρωτήρες μπορεί να έχει διαρκή ή διακοπτόμενη λειτουργία πράγμα που σημαίνει ότι ο χρόνος εξέλιξης στην πρόοδο της διαδικασίας μπορεί να αποδειχθεί σημαντικός παράγοντας στην εφικτότητα και την αξιοπιστία των λειτουργιών.

Τέτοια συστήματα περιστροφικού κλιβάνου φαίνονται στις παρακάτω φωτογραφίες.

Εδώ παραθέτουμε δύο συστήματα της Volund και της Westinghouse/O'Connor.

- Το σύστημα της Volund

Το σύστημα αυτό υιοθετεί έναν πυρίμαχο σχεδιασμό θαλάμου και χρησιμοποιεί εσχάρες ανάφλεξης που είναι τοποθετημένοι στα ανάντη του κλιβάνου. Το συγκεκριμένο σχεδιαστικό ζήτημα μπορεί να αντιστρέφεται σε ορισμένες περιπτώσεις. Ο αρχικός αέρας καύσης εισάγεται στην είσοδο της μονάδας, ενώ ο δευτεροβάθμιος αέρας εγχέεται στην έξοδο του κλιβάνου. Αυτή η τεχνολογία αναπτύχθηκε για να βελτιώσει την καύση των υλικών με υψηλά επίπεδα υγρασίας στο τέλος(burnout). Η διεργασία ολοκληρώνεται κατά ένα μεγάλο μέρος μέσω του αυξανόμενου χρόνου παραμονής των αποβλήτων στο περιστρεφόμενο τμήμα του καυστήρα.

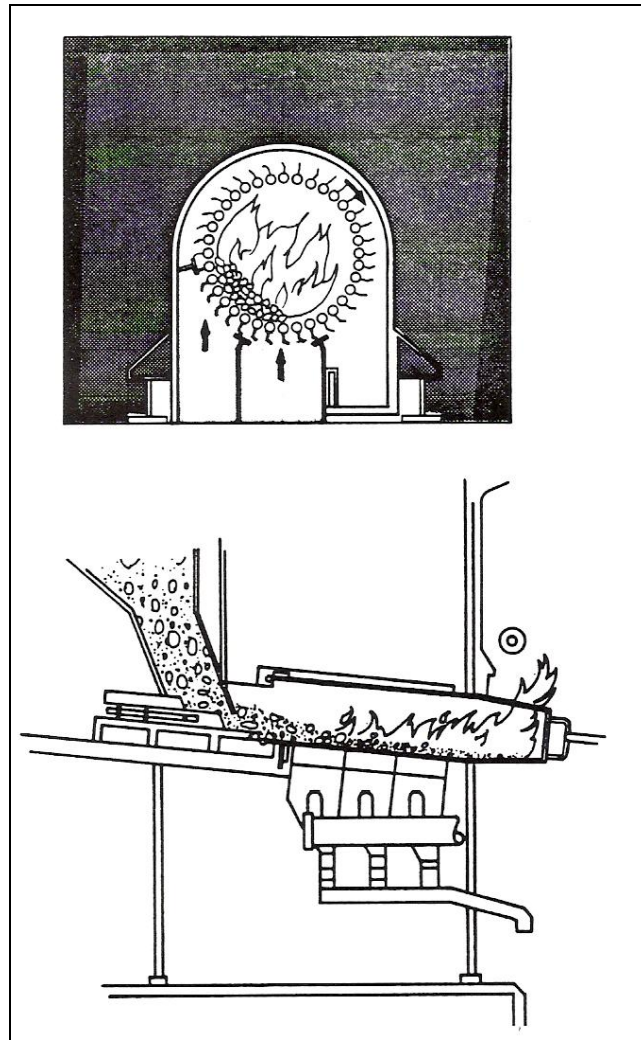


**Εικόνα 2- 19: Διάταξη του συστήματος περιστρεφόμενου κλιβάνου της Volund**

- Το σύστημα της Westinghouse/O'Connor

Στον σχεδιασμό της συγκεκριμένης εταιρείας χρησιμοποιήθηκε τοίχος με νερό. Με αυτόν τον σχεδιασμό ο περιστροφικός κλίβανος έχει μια κυλινδρική σχάρα με οπές καρφίτσας που τοποθετείται πέρα από τους σωλήνες ύδατος. Κατά την διάρκεια της λειτουργίας τα απορρίμματα οδεύουν προς τα κάτω και καίγονται. Ο απαιτούμενος αέρας της καύσης εισάγεται ολικά κατά μήκος της εσχάρας μεταξύ των σωλήνων του λέβητα. Η μονάδα

λειτουργεί με σημαντικά μειωμένα επίπεδα περίσσειας αέρα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα καύσης .

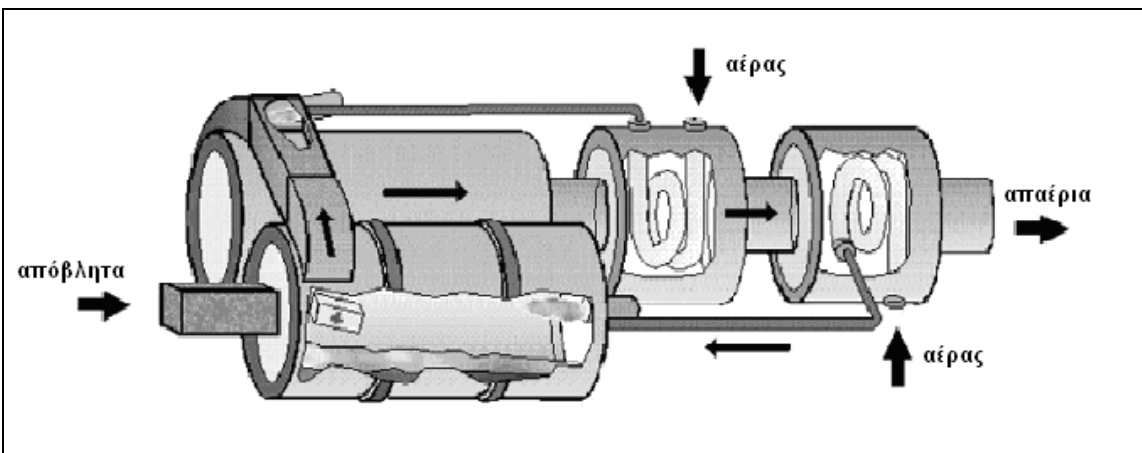


Εικόνα 2- 20: Σύστημα περιστρεφόμενου κλιβάνου της Westinghouse/O'Connor

#### 2.4.3.1. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ (M. ROVAGLIO, D.MANCA & G. BIARDI,1998)

Η βασική δομή του μοντέλου ήταν η εξής : ένας περιστρεφόμενος κλίβανος με την ακολουθία ενός συστήματος μετάκαυσης και ενός συστήματος με προθερμαντήρες αέρα που επιτρέπουν την ετερογενή καύση και την μείωση του βοηθητικού καυσίμου. Η γεωμετρία του συγκεκριμένου τμήματος φαίνεται στην εικόνα 2-21.





Εικόνα 2- 21: Προετοιμασία αέρα σε τμήμα της διαδικασίας της καύσης

Το στερεό απόβλητο τροφοδοτείται στον περιστρεφόμενο κλίβανο όπου κινείται στο αντίθετο ρεύμα από την ροή του αέρα. Τα προϊόντα της πρώτης καύσης διοχετεύονται στον κυκλωνικό μετακαυστήρα όπου πραγματοποιείται πλήρης καταστροφή των ρύπων. Στο τέλος δύο ελικοειδείς εναλλάκτες θερμότητας βρίσκονται για την προθέρμανση του αέρα της καύσης.

Οι περιστρεφόμενοι κλίβανοι διαθέτουν πληθώρα συνδυασμών διαδικασιών όπως μερική ανάμιξη ,αέρια-στερεή ή στερεή φάση αντίδρασης με έντονη μεταφορά θερμότητας και μάζας.

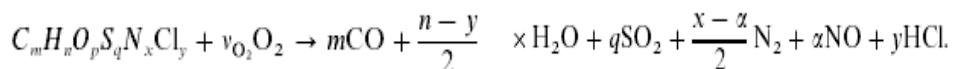
Το μοντέλο χρησιμοποιεί ημι-συνεχής τροφοδοσία και διαρκής εκφόρτιση τέφρας με μεγάλη δράση στα ρεύματα εσόδου και εξόδου. Το κενό πάνω από τους χώρους καύσης χρησιμεύει στην μεταφορά των θερμών απαερίων αλλά και των άλλων αέριων προϊόντων καύσης.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το σύστημα διαθέτει θάλαμο μετάκαυσης ο οποίος καταστρέφει ολοκληρωτικά τα απόβλητα. Και αυτό συμβαίνει διότι ο πρώτος θάλαμος λειτουργεί σαν εξατμιστής και μερικώς ή ολικώς οξειδωτής των καύσιμων υλικών των αποβλήτων .Καθώς η αδρανής τέφρα απομακρύνεται από τα κατώτερα στρώματα του κλιβάνου ,τα πτητικοποιημένα καύσιμα έρχονται στον μετακαυστήρα με παρουσία οξυγόνου και/ή παρουσία ενισχυτικού καυσίμου όπου και καίγονται πλήρως.

Για να σχεδιαστεί ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να εφαρμοστούν τα επόμενα πέντε βήματα :

- Χαρακτηρισμός πρώτων υλών αποβλήτων και στοιχειομετρία καύσης

Τα καύσιμα απόβλητα αποτελούνται από ένα ξηρό στερεό κλάσμα ( $1-\omega_{H_2O}$ ) και ένα υγρό κλάσμα ( $\omega_{H_2O}$ ). Το ξηρό-στερεό κλάσμα μπορεί να διακριθεί σε καύσιμο ή καιόμενο κλάσμα  $\omega_{BF}$  το οποίο δημιουργεί αέρια προϊόντα και στάχτη. Μια τυπική στοιχειομετρία είναι μία σύνδεση του καύσιμου κλάσματος των στερεών αποβλήτων με την ετερογενή καύση.



Εικόνα 2- 22: Στοιχειομετρική αντίδραση αποτέφρωσης

Το CO εμφανίζεται λόγω της ετερογενούς καύσης και επειδή υποθέσαμε ότι είναι το κύριο οξειδωτικό προϊόν του άνθρακα. Το τελικό στάδιο όπου υπάρχει μετατροπή σε CO<sub>2</sub> λαμβάνει χώρα στην αέρια φάση.

Το περιεχόμενο άζωτο στα απόβλητα μετατρέπεται σε στοιχειακό άζωτο ή οξειδία του αζώτου.

- Ισορροπία μάζας στα στερεά απόβλητα

Τα στερεά απορρίμματα κάτω από την επήρεια της ετερογενούς καύσης προχωρούν στον περιστρεφόμενο κλίβανο με έναν ικανό χρόνο επαφής, ενώ η μηχανική ταραχή που προκαλείται από την περιστροφή δημιουργεί ανανέωση πάνω στην επιφάνεια των αποβλήτων που έρχονται σε επαφή με τα θερμά αέρια.

Σε αυτήν την περιοχή λαμβάνουν χώρα η εξάτμιση και η αποτέφρωση όπου επικρατεί κυρίως η παρουσία οξυγόνου. Όταν η θερμοκρασία φθάσει σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα η σημαντικότητα της κινητικής των χημικών αντιδράσεων μειώνεται. Στο μοντέλο το ποσοστό της καταστροφής των καυσίμων αποβλήτων υπολογίστηκε σύμφωνα με την μεταφορά μάζας οξυγόνου από την ολική αέρια φάση στην επιφάνεια της φλόγας.

Η κίνηση του κυρίως σώματος των αποβλήτων δεν διαφέρει στην φύση από άλλες παρόμοιες μονάδες.

Ο χρόνος παραμονής μπορεί να υπολογιστεί από τον ακόλουθο εμπειρικό τύπο:

$$\theta = \frac{1.77\sqrt{\beta FL}}{SDN}$$

όπου β:γωνία κλίσης υλικού

F: παράγοντας ανάλογα με τον κλίβανο (1 ή >1)

L:εσωτερικό μήκος θαλάμου καύσης (m)

S:κλίση κλιβάνου(από την οριζόντιο)

D:εσωτερική διάμετρος θαλάμου καύσης (m)

N:ταχύτητα περιστροφής (rps)

#### Τύπος 1

Από όπου το εξερχόμενο ρεύμα στερεών αποβλήτων  $W_{out}^s$  μπορεί να ορισθεί συνδέοντας τον προαναφερθέντα χρόνο παραμονής με την στιγμιαία μάζα αποβλήτων που βρίσκεται στον αποτεφρωτή

$$W_{out}^s = \frac{M_{solid}}{\theta} = M_{solid} \frac{SDN}{1.77\sqrt{\beta FL}}$$

όπου Msolid:σταθερή μάζα στον κλίβανο(kg/s)

$W_{out}^s$ :εξερχόμενη μάζα υλικών, τέφρας ,άκαυστων (kg)

#### Τύπος 2

Με άλλα λόγια οι προσωρινές συνθήκες συσχετιζόμενες με τις ροές αερίων και στερεών υποτίθεται ότι οδηγούν σε ένα δυναμικό μοντέλο ενέργειας και μάζας. Οπότε καταλήγουμε στο εξής ισοζύγιο:

$$\frac{dM_{solid}}{dt} = W_{waste} (1 - \omega_{H_2O}) - R_{dr} - W_{out}^s$$

όπου Wwaste: ροή αποβλήτων σε (kg/s)

$\omega_{H_2O}$ :ποσοστό υγρασίας

$R_{dr}$ :ποσοστό καταστροφής αποβλήτων (kg/s)

### Τύπος 3

Ιδιαίτερη εκτίμηση οφείλουμε να δώσουμε στο καιγόμενο κλάσμα των στερεών αποβλήτων που χαρακτηρίζεται στο ισοζύγιο σαν  **$R_{dr}$** .

Αυτός ο όρος συνδέεται άμεσα με τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και ενέργειας που είναι ενεργά στην επιφάνεια των στερεών αποβλήτων. Αυτή είναι η καλύτερη περιοχή για να σημειωθούν υψηλά ποσοστά επαγωγής θερμότητας και ακτινοβολίας τόσο καλά όπως η μάζα μεταφέρεται στο ρεύμα του αέρα.

Ο όρος  **$R_{dr}$**  μπορεί να απεικονιστεί όπως παρακάτω:

$$R_{dr} = \frac{K_x (X_{O_2}^{bulk} - X_{O_2}^{in}) P M_{O_2} C_{tot}}{\mu_{O_2}} A.$$

όπου  $K_x$ : συντελεστής μεταφοράς μάζας σε (m/s)

$X_{O_2-bulk}$ :ποσοστό οξυγόνου στην τροφοδοσία

$X_{O_2-in}$ :ποσοστό οξυγόνου στην επιφάνεια της καύσης

$P M_{O_2}$ : μοριακό βάρος οξυγόνου (32)

$C_{tot}$ : ολική συγκέντρωση στη αέρια φάση (kmol/m<sup>3</sup>)

$\mu_{O_2}$ : στοιχειομετρικός συντελεστής καύσης

$A$ :επιφάνεια φλόγας (m<sup>2</sup>)

### Τύπος 4

Η εκτίμηση του  $A$  που είναι η περιοχή δράσης της επαφής στερεού-οξυγόνου είναι συνάρτηση της γεωμετρίας του κλιβάνου και των συνθηκών λειτουργίας. Η μέγιστη ικανή περιοχή θα μπορούσε να εξαρτηθεί από την διάμετρο των σωματιδίων . Εάν κάποιος μπορούσε να εκτιμήσει τον μέσο όρο της επαναληπτικής ταχύτητας επιφανείας [ $A_r$ (m<sup>2</sup>/s)] τότε ο παρακάτω τύπος θα ήταν αντιπροσωπευτικός .

$$A = A_r \theta.$$

### Τύπος 5

Ωστόσο , θα ήταν πιο αξιόπιστο και πρακτικό να μεταχειριστούμε το μέγεθος [A] σαν μια προσαρμόσιμη παράμετρος ,βασισμένη στην παρεμβολή σε έναν πίνακα δεδομένων για σταθερής κατάστασης προσομοιώσεις σε γνωστούς περιστρεφόμενους κλιβάνους .

Στην πραγματικότητα μια δεδομένη μονάδα μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας με ικανοποιητικά αποτελέσματα με σεβασμό στον χρόνο παραμονής , στην απόδοση της καύσης, και στην κοινή επιφάνεια.

Από το ισοζύγιο μάζας της στερεής φάσης έχουμε:

$$W_{\text{waste}}(1 - \omega_{\text{H}_2\text{O}}) - R_{\text{dr}} - W_{\text{out}}^S = 0.$$

Τύπος 6

μετά υποθέτοντας ολοκληρωτική καταστροφή των αποβλήτων

$$W_{\text{out}}^S = W_{\text{waste}}(1 - \omega_{\text{H}_2\text{O}})(1 - \omega_{BF})$$

όπου  $\omega_{BF}$ :κλάσμα μάζας καύσης

Τύπος 7

εξάγουμε το ***R<sub>dr</sub>***

$$R_{\text{dr}} = W_{\text{waste}}(1 - \omega_{\text{H}_2\text{O}})\omega_{BF} = W_{\text{out}}^S \frac{\omega_{BF}}{1 - \omega_{BF}}$$

$$= \frac{M_{\text{solid}}}{\theta} \frac{\omega_{BF}}{1 - \omega_{BF}}$$

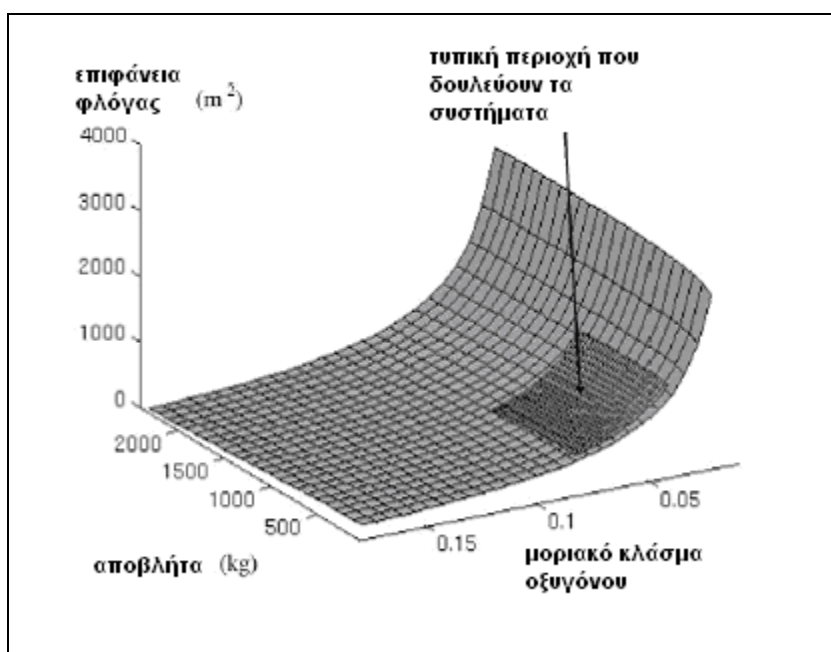
Τύπος 8

και τελικά θα έχουμε:

$$A = \frac{\mu_{\text{O}_2}}{K_x C_{\text{tot}} P M_{\text{O}_2}} \frac{\omega_{BF}}{1 - \omega_{BF}} = \frac{1}{\theta} \frac{M_{\text{solid}}}{\Delta x_{\text{O}_2}}$$

Τύπος 9

Το παρακάτω γράφημα (εικόνα 2-23) δείχνει πως αν η συνολική μάζα των αποβλήτων που καθυστερεί μέσα στον κλίβανο αυξηθεί, τότε η επιφάνεια της φλόγας επιτυγχάνει μεγαλύτερη τιμή σε αντιστοιχία με την περιεκτικότητα του οξυγόνου. Ένα μικρό κομμάτι οξυγόνου στην αέρια φάση θα απαιτήσει προφανώς μεγαλύτερη επιφάνεια φλόγας για να επιτευχθεί ολοκληρωτική καύση (συνθήκες αργής καύσης), ενώ στην αντίθετη πλευρά υπερβολική παρουσία οξυγόνου πρακτικά θα αναζητήσει μεγαλύτερη επιφάνεια.



Εικόνα 2- 23: Περιοχή φλόγας σαν συνάρτηση των αποβλήτων και του μοριακού κλάσματος οξυγόνου

- Ισορροπίες στις αέριες φάσεις

Λαμβάνοντας υπόψη την χρήση του ενισχυτικού καυσίμου αν χρειαστεί το ισοζύγιο μάζας στον κλίβανο γίνεται :

$$\frac{dM_{\text{gas}}}{dt} = W_{\text{air}}^{\text{in}} w_{\text{N}_2}^{\text{air}} + W_{\text{air}}^{\text{in}} w_{\text{O}_2}^{\text{air}} + (1 - \mu_{\text{O}_2}) R_{dr} \\ + W_{\text{CH}_4} - W_{\text{out}}^g + W_{\text{waste}} w_{\text{H}_2\text{O}}$$

όπου  $W_{\text{in-air}}$ :ροή αέρα εισόδου (kg/s)

$W_{\text{air-αζώτου}}$ :ροή αζώτου (kmol/s)

$W_{\text{air-οξυγόνου}}$ :ροή οξυγόνου (kmol/s)

$W_{\text{CH}_4}$ :ροή ενισχυτικού καυσίμου (kg/s)

$W_{\text{g-out}}$ :εκροή αερίων εκπομπών (kg/s)

#### Τύπος 10

Ενώ για κάθε στοιχείο το ισοζύγιο μετατρέπεται:

$$\frac{dM_i}{dt} = W_i^{\text{in}} - \frac{W_{\text{out}}^g}{\sum_i PM_i y_i} y_i + R_i V_{\text{tot}}$$

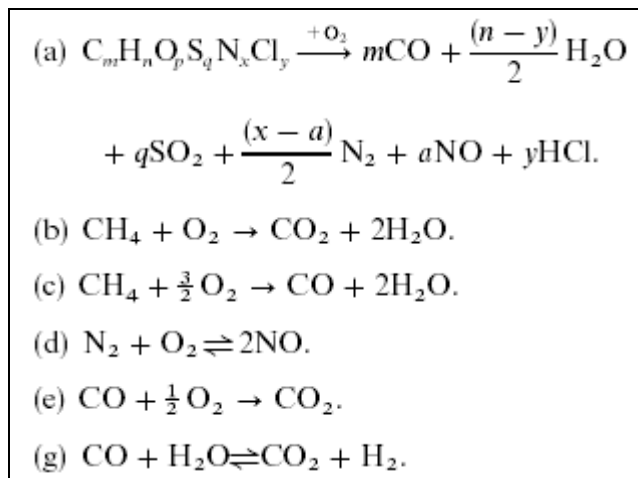
#### Τύπος 11

όπου το  $i = \text{CO}, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{SO}_2, \text{N}_2, \text{HCl}, \text{NO}, \text{O}_2$  και

$y_i = M_i / \sum_i M_i$  είναι το γραμμομοριακό κλάσμα των παραπάνω συστατικών

Οι ροές όλων των ειδών  $[i]$  και αυτών που σχηματίζουν το  $W_i^{\text{in}}$  αλλά και τους ρυθμούς αντίδρασης  $R_i$  μπορούν να απλοποιηθούν με τις κάτωθι αντιδράσεις :





**Εικόνα 2- 24: Αντιδράσεις αερίων**

Όπου η αντίδραση (α) αναπαριστά την ολοκληρωτική καταστροφή των αποβλήτων που προαναφέραμε σαν ετερογενή καύση και παράγει CO, το CO θα μετατραπεί σε CO<sub>2</sub> ενώ για να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη αντίδραση (ε) θα πρέπει να υπάρχει αρκετό οξυγόνο ειδάλλως σε αντίθετη περίπτωση όπου το ποσοστό του οξυγόνου είναι μικρό ακολουθείται η αντίδραση (f).

Το άζωτο των αποβλήτων μετατρέπεται σε N<sub>2</sub> (στοιχειακό άζωτο) και NO μονοξείδιο του αζώτου. Τα αντίστοιχα κλάσματα ορίζονται από μία σχέση που αναφέρεται από τον Bowman (1975) σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας του κλιβάνου και της περίσσειας οξυγόνου. Οι συνθήκες ισορροπίας που αναφέρονται με την αντίδραση (d) αναφέρονται στο σύστημα μετάκαυσης (ομογενής καύση) όπου ίσως χρειάζεται βοηθητικό καύσιμο για την διατήρηση της θερμοκρασίας. Οι αντιδράσεις όπου το μεθάνιο καίγεται προκύπτουν από το γεγονός της διαθεσιμότητας του οξυγόνου.

Οι αντιδράσεις (a),(c) και (e) είναι πολύ γρήγορες και μπορούν να θεωρηθούν ότι καταλήγουν σε ισορροπία (τελείως εκτοπισμένες ανάμεσα στο CO και CO<sub>2</sub> με τις θερμοκρασίες να αγγίζουν το άνω φράγμα των 1200°C και το κάτω φράγμα των 900°C. Μόνο οι αντιδράσεις (d) και (g) θεωρήθηκαν σαν κινητικό σύστημα ενώ οι αντίστοιχοι ρυθμοί έκφρασης κατέληξαν συμπερασματικά από αναλύσεις που αναφέρονται από τον. Συγκεκριμένα, θεωρώντας του διαφορετικούς χρόνους παραμονής που σημειώνονται στις περιοχές του κλιβάνου, είναι πιθανό να εκτιμηθούν, τουλάχιστον ποιοτικά, οι ποσότητες των παραγόμενων NO αναφορικά με τα διαφορετικά μέρη του εργοστασίου.

Τελικά η ροή των αερίων της καύσης που αναφέρεται στον τύπο 11 μπορεί να ορισθεί μέσω της θεωρίας της δυναμικής ρευστών.

- Ισορροπίες ενέργειας

Στο εσωτερικό των αποτεφρωτήρων η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση μεταφέρεται κυρίως στα τοιχώματα ή στην πάνω επιφάνεια του στρώματος των αποβλήτων (μεταγωγή θερμότητας) και στα χαμηλά στρώματα από την αναγεννητική δράση των περιστρεφόμενων κλιβάνων. Η ενέργεια των αερίων εκπέμπεται κατά κύματα και βρίσκεται στον ελεύθερο όγκο του κλιβάνου όπως επίσης και στα όρια αυτού. Άρα εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας, τα στερεά και οι εκτεθειμένοι τοίχοι λαμβάνουν αρχικά θερμότητα κατά κύματα από τον όγκο των αερίων ενώ ο ρόλος της μεταγωγής και της αναγέννησης της ροής των αερίων παίζει έναν ελάχιστο ρόλο σε όλη την διαδικασία θερμότητας.

Στηριζόμενοι στις ακόλουθες υποθέσεις :

- ο συνθήκες τέλει ανάμιξης
- ο συνθήκες ισορροπίας ανάμεσα σε αέρια και στερεά φάση(εάν υπάρχει)
- ο ολοκληρωτική καύση(για απόβλητα και καύσιμο)

βγάζουμε ένα μηδενικής διάστασης μοντέλο που περιγράφει την ποικιλία της ροής της θερμοκρασίας όπως περιγράφεται ακόλουθα:

$$\frac{dU_{tot}}{dt} = W_{air}^{in} H_{air}^{in} + W_{waste} Q_{waste} + W_{CH_4} Q_{CH_4} - W_{out}^g H_{out} - s \overline{GS} (T_g^4 - T_{w,in}^4) - h_{in} p D L (T_g - T_{w,in}) - W_{out}^s \bar{C}_{ps} (T_g - T_{ref})$$

όπου  $U_{tot}$ :ολική εσωτερική ενέργεια (J)

$H_{in-air}$ :ενθαλπία αέρα εισόδου (J/kg)

$Q$ :θερμότητα καύσης (J/kg)

$H_{out}$ :ενθαλπία εξόδου (J/kg)

$GS$ :περιοχή ανάμεσα στο αέριο και στα τοιχώματα( $m^2$ )

$C_{ps}$ : χωρητικότητα θερμότητα (J/kg K)

$h_{in}$ :συντελεστής μεταγωγής ( $W/m^2 K$ )

$T_g$ : θερμοκρασία αερίων (K)

$T_{w,in}$ :θερμοκρασία εισόδου (K)

$T_{w,out}$ :θερμοκρασία εξόδου (K)

$T_{ref}$ : θερμοκρασία αναφοράς (K)

**Τύπος 12**

Όπου :

$$U_{tot} = M_{solid} C_{ps} (T_g - T_{ref}) + M_{gas} \sum_i \frac{M_i}{\sum_i M_i} \int_{T_{ref}}^{T_g} C_{pi}(T) dT$$

**Τύπος 13**

$$H_{air}^{in} = \int_{T_{ref}}^{T_{air}^{in}} C_{p_{air}}(T) dT$$

**Τύπος 14**

$$H_{out} = \sum_i \frac{M_i}{\sum_i M_i} \int_{T_{ref}}^{T_s} C_{p,i}(T) dT.$$

Τύπος 15

Η συνάρτηση του τύπου 12 υποδηλώνει ότι τα απόβλητα και το βοηθητικό καύσιμο τροφοδοτούνται σε θερμοκρασία αναφοράς.

Η εκτίμηση της εκμπεπτικότητας των αερίων  $e_G$  αναφέρεται στο διάγραμμα των Hottel και Sarofim το οποίο θεωρεί ότι οι αέριες εκπομπές συνδέονται μόνο με τα προϊόντα της καύσης νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Η ικανότητα εκπομπής τέτοιων στοιχείων μπορεί να υπολογιστεί με πολυωνυμική παλινδρόμηση των πειραματικών στοιχείων σαν συνάρτηση του αθροίσματος των μερικών πιέσεων:

$$(P_{CW} = P_{CO_2} + P_{H_2O})$$

Τύπος 16

και των μηκών των δεσμών εκπομπής:

$$\log_{10}(T_{eG}) = \sum_{n=1}^{11} C_n x^{n-1}$$

Τύπος 17

όπου

$$x = \log_{10}(L_W P_{CW}).$$

Οι συντελεστές  $C_n$  εξάγονται παρεμβάλλοντας τα διαγράμματα από τους Hottel and Sarofim (1968) με τα αποτελέσματα να φαίνονται στον πίνακα 2-5.

$$\begin{aligned}
 C_{11} &= 9.695 \times 10^{-3} \\
 C_{10} &= 5.407 \times 10^{-2} \\
 C_9 &= 1.349 \times 10^{-1} \\
 C_8 &= 2.068 \times 10^{-1} \\
 C_7 &= 1.496 \times 10^{-1} \\
 C_6 &= -1.049 \times 10^{-1} \\
 C_5 &= -2.239 \times 10^{-1} \\
 C_4 &= 3.061 \times 10^{-2} \\
 C_3 &= 7.615 \times 10^{-2} \\
 C_2 &= 4.062 \times 10^{-1} \\
 C_1 &= 2.44956
 \end{aligned}$$

**Πίνακας 2- 5: Πολυωνυμικοί συντελεστές για εκτίμηση εκπεμπτικότητας αερίων**

Ο συντελεστής της μεταγωγικής μεταφοράς θερμότητας υπολογίστηκε από της σχέση Dittus–Boelter :

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3}, \quad Nu = \frac{hD}{k}$$

**Τύπος 18**

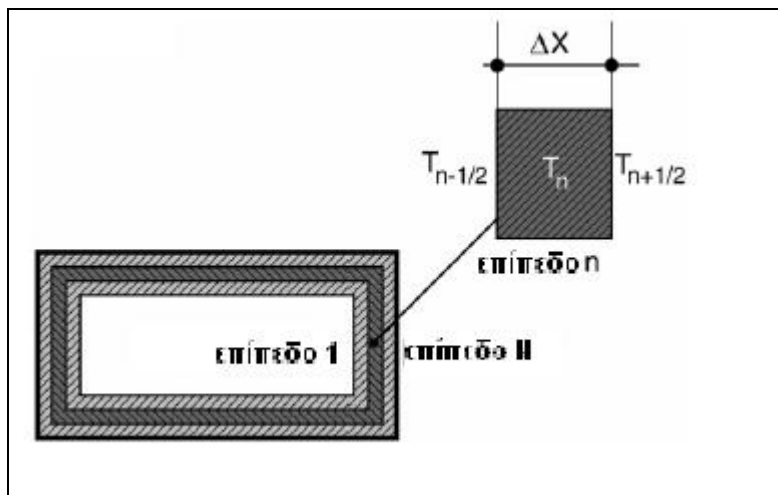
Και διορθώθηκε για να λάβει υπόψη πιθανές επιπτώσεις στην είσοδο :

$$h_{in} = h \left( 1 + 1.4 \frac{D}{L} \right)$$

**Τύπος 19**

Για τη μεταβατική επαγωγή θερμότητας στα τοιχώματα του θαλάμου ,το πρόβλημα μπορεί εύκολα να μοντελοποιηθεί μέσω κλασσικών συναρτήσεων (όπως διάχυσης θερμότητας) και να λυθεί για παρακείμενα επίπεδα διαφορετικών υλικών και φυσικά με οριακές συνθήκες οι οποίες να ενθαρρύνουν την συνεχότητα της φλόγας θερμότητας .

Το πραγματικό πρόβλημα έγκειται στην μέθοδο της διακριτοποίησης που θα υιοθετήσουμε και με ποιόν αλγόριθμο θα την χρησιμοποιήσουμε.



Εικόνα 2- 25: Απρόσβλητο και μονωμένο σχήμα διακριτοποίησης με κομβική σύνδεση

Τα παραπάνω σχήμα δείχνει την περίπτωση όπου ο τοίχος του θαλάμου χωρίζεται σε διάφορα κελιά ή επίπεδα από πυρίμαχα και μονωτικά υλικά. Ο κομβικός διακανονισμός διακρίνεται ανάμεσα σε ογκομετρικές μέσες θερμοκρασίες που ο δείκτης τους είναι ακέραιος και σε επιφανειακές μέσες θερμοκρασίες που ο δείκτης τους αυθαίρετα τέθηκε σαν ακέραιος συν/πλην μισή μονάδα.

Η τελική ανάλυση των φάσεων στερεού –αερίου καταλήγει στο ότι η ίδια θερμοκρασία χρησιμοποιείται και για τις δύο φάσεις στην θερμοκρασία εξόδου με την υπόθεση του CSTR σχήματος για το παράδειγμα μας. Ο λόγος για την συγκεκριμένη επιλογή μπορεί να συσχετισθεί με τα αποτελέσματα των Owens *et al.* (1991) όπου δείχνεται ότι η εξελισσόμενη θερμοκρασία στο στρώμα είναι αρκετά γρήγορη και μπορεί να περιγραφεί με σχετική αξία αποβλήτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία

- Σχέσεις δυναμικής ρευστών

$$\begin{aligned} Q_{\text{leak}} &= \gamma_1 \sqrt{P_{\text{ext}} - P_{\text{kiln}}} \\ P_{\text{kiln}} &= P_{\text{post}} + \gamma_2 \rho \frac{v_{\text{out,kiln}}^2}{2} \\ P_{\text{post}} &= P_{\text{1stspiral}} + \gamma_3 \rho \frac{v_{\text{out,post}}^2}{2} \\ P_{\text{1stspiral}} &= P_t + \gamma_4 \rho \frac{v_{\text{out,spiral}}^2}{2} \end{aligned}$$

### Τύπος 20

Οι παραπάνω εξισώσεις τονίζουν το επίπεδο της απλοποίησης της δυναμικής των ρευστών που χρησιμοποιείται στο μοντέλο. Η πρώτη εξίσωση από τις τέσσερις επιτρέπει την εκτίμηση της διαρροής του αερίου χάρις στις συνθήκες πίεσης που σχηματίζονται που διατηρούνται μέσα στον κλίβανο και όταν είναι δυνατό αυτός ο όρος μπορεί να περιέλθει στις ισορροπίες μάζας και ενέργειας.

Οι άλλες τρεις εξισώσεις ορίζουν την πίεση που ασκείται στον κλίβανο ( $P_{\text{kiln}}$ ), στον θάλαμο μετάκαυσης ( $P_{\text{post}}$ ) και στον ελικοειδή εναλλάκτη θερμότητας ( $P_{\text{spiral}}$ ) σαν συνάρτηση της ροή των αερίων, της γεωμετρίας και του επιπέδου πίεσης μαζί με την τελική πίεση στην έξοδο.

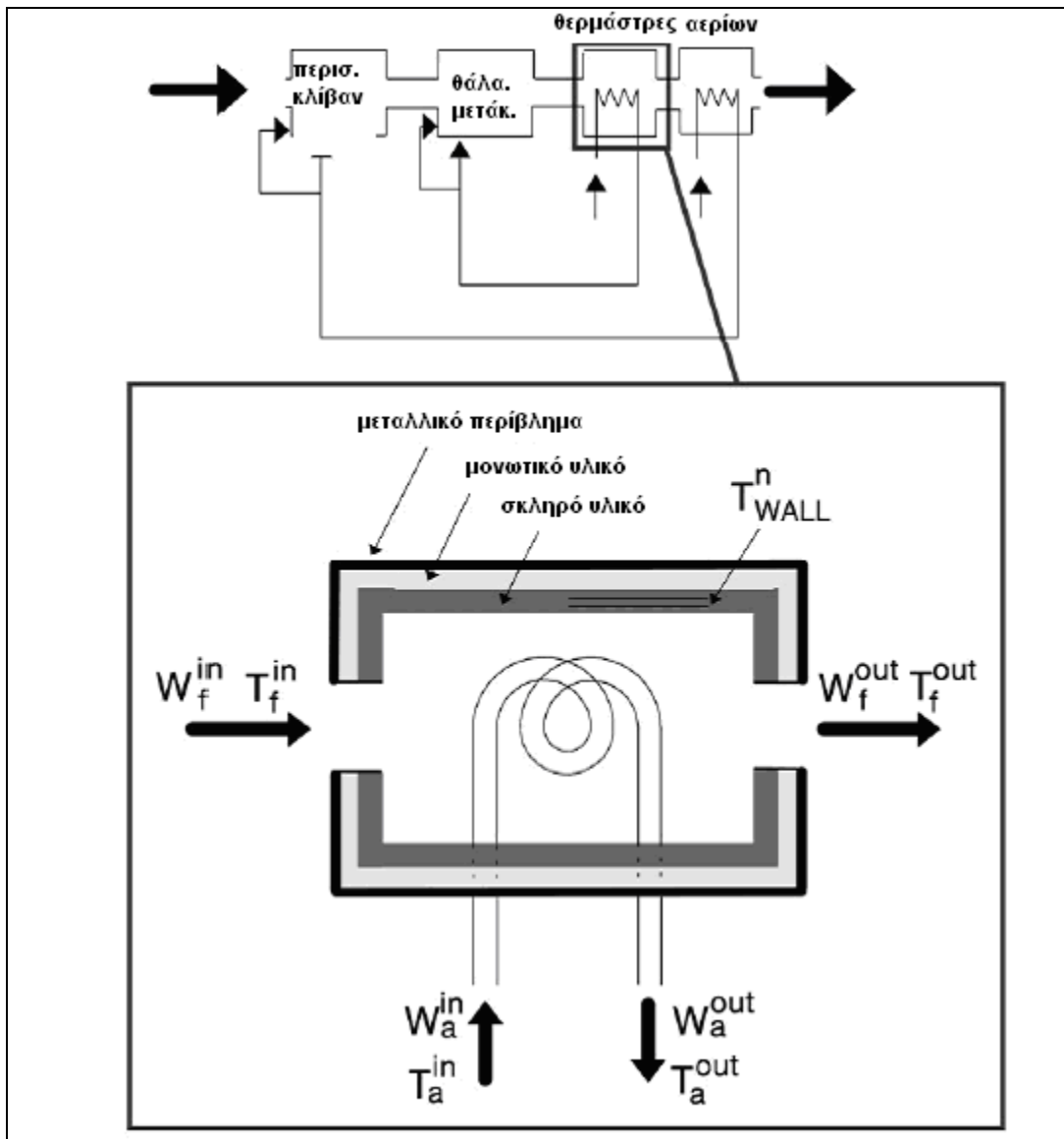
Τιμές για την τιμή του  $\gamma_i$  υπολογίζονται από συσχετίσεις που βρίσκονται στην βιβλιογραφία ιδιαίτερα στους Ronaglio *et al.* (1990), και Douglas *et al.* (1980).

Το σύστημα των εναλλακτών θερμότητας που βρίσκονται μετά τον θάλαμο καύσης έχει διπλή λειτουργία:

- Μία προθέρμανση των αερίων για την καύση ώστε να βελτιωθεί το όριο του θαλάμου
- Ψύξη αερίων για την ελάττωση της κατανάλωσης νερού στις πλυντρίδες

Αυτές οι συσκευές αποτελούνται από ένα μεταλλικό περίβλημα το οποίο καλύπτει έναν κύλινδρο από σκληρό και μονωτικό υλικό όπου μέσα εκεί υπάρχει ένα πηνίο από κράμα μετάλλων. Ο ψυχρός αέρας ρέει διαμέσου της έλικας ενώ ο θερμός αέρας περνάει από τον θάλαμο. Μία γραφική απεικόνιση του συστήματος φαίνεται στην εικόνα 2-26.





Εικόνα 2- 26: Σύστημα εναλλακτών θέρμανσης αερίων

Τώρα χρειαζονται καινούριες συνθήκες για να λύσουμε το πρόβλημα. Μέσα στους εναλλάκτες θερμότητας η θερμοκρασία των αερίων μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφη και ότι το σχήμα είναι CSTR σαν συνέπεια της μεγάλης στροβιλότητας εξαιτίας της ταχύτητας των απαερίων και της παρουσίας των ελικοειδών εξαρτημάτων.

$$\frac{dU_{\text{tot}}}{dt} = W_f H_{\text{in}} - W_f H_{\text{out}} - Q_{\text{losses}} - Q_{\text{ex}}$$

Τύπος 21

Όπου τα  $H_{\text{in}}$  και  $H_{\text{out}}$  μπορούν να υπολογιστούν από τους τύπους 15 & 16 ενώ το  $W_f$  αναπαριστά την ροή του θερμού αερίου που υποτίθεται ότι είναι ίδια για τις εισροές και εκροές.

Η απώλεια ενέργειας στα τοιχώματα των κλιβάνων που αποτελεί σημαντική παράμετρος για την λειτουργία τους μπορεί να οριστεί από συσχετίσεις των Hottel και Sarofim (1968):

$$Q_{\text{losses}} = \left[ \overline{GS}_{\text{wall}} \left( \frac{1 - k^3}{1 - k^4} \right) + A_{\text{wall},n} \frac{h_{\text{in}}}{4\sigma T_f^3} \right] \times \sigma (T_f^4 - T_{\text{wall},n}^4)$$

$$k = \frac{T_{\text{wall}}}{T_f}$$

Τύπος 22

Στον συγκεκριμένο τύπο ο όρος μέσα στις αγκύλες αναφέρεται στον παράγοντα της μεταφοράς της παγκόσμιας θέρμανσης που λαμβάνει υπόψη τις δύο έννοιες της μεταγωγής και εκπομπής κατά κύματα. Με παρόμοιο τρόπο η θερμότητα που ανταλλάσσεται ανάμεσα στα απαέρια και στις σπείρες με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{ex}} = \sum_{n=1}^{N_s} \sigma \overline{GS}_{\text{coils}} (T_f^4 - T_{\text{wall},n}^4) + h_e A_n (T_f - T_{\text{wall},n})$$

Τύπος 23

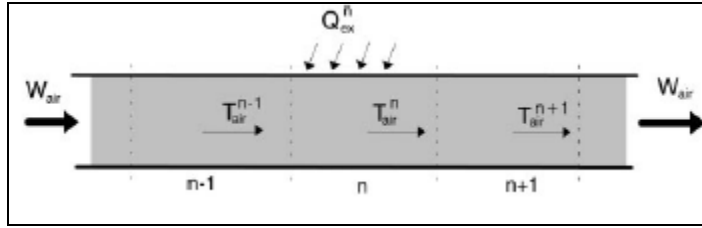
Όπου ο μεταγωγικός παράγοντας  $h_e$  μπορεί να εκτιμηθεί διαμέσου του αριθμού  $Nu$  που δίνεται ως εξής :

$$Nu = 0.110 Re^{0.675} Pr^{1/3}$$

Τύπος 24

Που αναφέρεται σε σύστημα γεωμετρίας εφαιπτομενικής ροής (βλέπε Incropera and DeWitt, 1988).

Σε όλους τους προηγούμενους συσχετισμούς οι μεταβλητές που αναφέρονταν σε πηνία δείχνονταν με τον δείκτη  $n$  υποδηλώνοντας μία διακριτή περιγραφή όπως διακρίνεται στην εικόνα 2-27.



Εικόνα 2- 27: Διακριτοποίηση θερμοκρασίας στους εναλλάκτες θερμότητας

Αυτό σημαίνει ότι η ανάπτυξη της θερμοκρασία γύρω από τα πηνία υπολογίζεται από ένα σύστημα  $N_s$  εξισώσεις:

$$\begin{aligned} W_{air} H_{air,n-1} - W_{air} H_{air,n} + Q_{ex,n} &= 0 \\ \text{with } n &= 1, \dots, N_s \end{aligned}$$

Τύπος 25

Όπου η ενέργεια που κατακρατείται σε κάθε στοιχείο θεωρείται μηδαμινή από την στιγμή που η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να θεωρηθεί ακαριαία κάτω από συνθήκες σταθερής κατάστασης.

Τελικά η θερμοκρασία του μεταλλικού έλικα μπορεί να οριστεί με την βάση της συνταύτισης της ροής της θερμότητας στα τοιχώματα ώστε για κάθε στοιχείο στα τοιχώματα θα έχουμε :

$$\begin{aligned} \overline{\sigma G S_{coils,n}} (T_f^4 - T_{wall,n}^4) + h_e A_n (T_f - T_{wall,n}) \\ = h_{in} A_n (T_{wall,n} - T_{air,n}) \quad \text{with } n = 1, \dots, N_s \end{aligned}$$

Τύπος 26

Όπου ο εσωτερικός παράγοντας μεταφοράς θερμότητας  $h_{in}$  υπολογίζεται από την συμβατική σχέση Dittus–Boelter.

Όλο το μοντέλο καταμερίζεται σε  $2(Nc+N+2)+1$  διαφορετικές σχέσεις που έχουν ως εξής :

- Μία ισορροπία μάζας
- Μία ολική ισορροπία μάζας για την αέρια φάση
- $Nc-1$  εξισώσεις ισορροπίας για  $Nc-1$  στοιχεία του μίγματος
- Μία ισορροπία ενέργειας για την αέρια φάση
- $N$  ισορροπίες ενέργειας για τα επίπεδα μόνωσης και πυραντοχής
- Μία ισορροπία ενέργειας για την θερμή αέρια φάση μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας

Επιπροσθέτως  $2Ns+8$  αλγεβρικές εξισώσεις που μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως:

- Τέσσερις σχέσεις δυναμικής ρευστών
- Τέσσερις οριακές συνθήκες
- $Ns$  ισορροπίες θερμού αέρα μέσα στα πηνία
- $Ns$  ισότητες με ροές θερμότητας

Συγκεκριμένα ο αριθμός  $N$ , που αποτελεί τον αριθμό των επιπέδων μόνωσης και σκληρότητας μπορεί να εκτιμηθεί βάση του ελαχίστου φάσματος με τις χρονικές σταθερές του παγκόσμιου συστήματος, Με μαθηματικούς όρους αυτό σημαίνει :

$$\frac{M_{gas}}{W_{out}} \cong \frac{\rho_w c_{p_w} (T_n^w - T_{rit})}{\frac{k_1^w}{\Delta x/2} A_{ln,1/2} (T_{1/2} - T_l)}.$$

Τύπος 27

Πρακτικά στην περίπτωση που εξετάζουμε εδώ το ,  $N$  ορίστηκε μεταξύ του 8–10.

Όπως διαπιστώσαμε το ολικό σύστημα των εξισώσεων για να επιλυθεί στο μεγάλο φάσμα των χαρακτηριστικών του χρειάζεται μία μέθοδο όπου να μπορούν να γίνουν παραδοχές.

.Η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά της δομής του μοντέλου περιγράφοντα στον πίνακα 2-6.

	Περιστρεφόμενος Κλίβανος	Θάλαμος μετάκαυσης
εσωτερικό μήκος (m)	4.43	3.664
εσωτερική διάμετρος (m)	1.515	1.722
πάχος δύστηκτου (m)	0.100	0.110
αγωγιμότητα δύστηκτου (W/m K)	1.696	1.348
θερμική ικαν.δύστηκτου (J/kg K)	700.0	600.0
χωρητικότητα δύστηκτου(kg/m <sup>3</sup> )	2550.0	2000.0
πάχος μόνωσης (m)	0.120	0.125
αγωγιμότητα μόνωσης (W/m K)	0.29	0.198
θερμική ικαν. μόνωσης (J/kg K)	500.0	400.0
χωρητικότητα μόνωσης (kg/m <sup>3</sup> )	890.0	475.0

Πίνακας 2- 6: Χαρακτηριστικά της μονάδας

Η εγκυρότητα του εν λόγω μοντέλου δυστυχώς βασίζεται σε περιορισμένο αριθμό μεταβλητών μετρούμενων και διαθέσιμων από την μονάδα. ,όπως :

- Θερμοκρασία εξόδου αερίων από τον περιστρεφόμενο κλίβανο
- Θερμοκρασία εξόδου αερίων από τον μετακαυστήρα
- Εξωτερική θερμοκρασία κελύφους του περιστρεφόμενου κλίβανου
- Εξωτερική θερμοκρασία κελύφους του μετακαυστήρα
- Γραμμομοριακό κλάσμα οξυγόνου στην έξοδο απαερίων
- Θερμοκρασίες αέρα από του εναλλάκτες θερμότητας

Ωστόσο η σύγκριση ολοκληρώνεται με την γνώση ορισμένων μεταβλητών εισόδου όπως :

- Παροχή ροής αποβλήτων στον περιστρεφόμενο κλίβανο
- Ροή καυσίμου στον κλίβανο και τον μετακαυστήρα
- Ροή αέρα στους ελικοειδείς εναλλάκτες θερμότητας

- Διαδικασία εκκίνησης

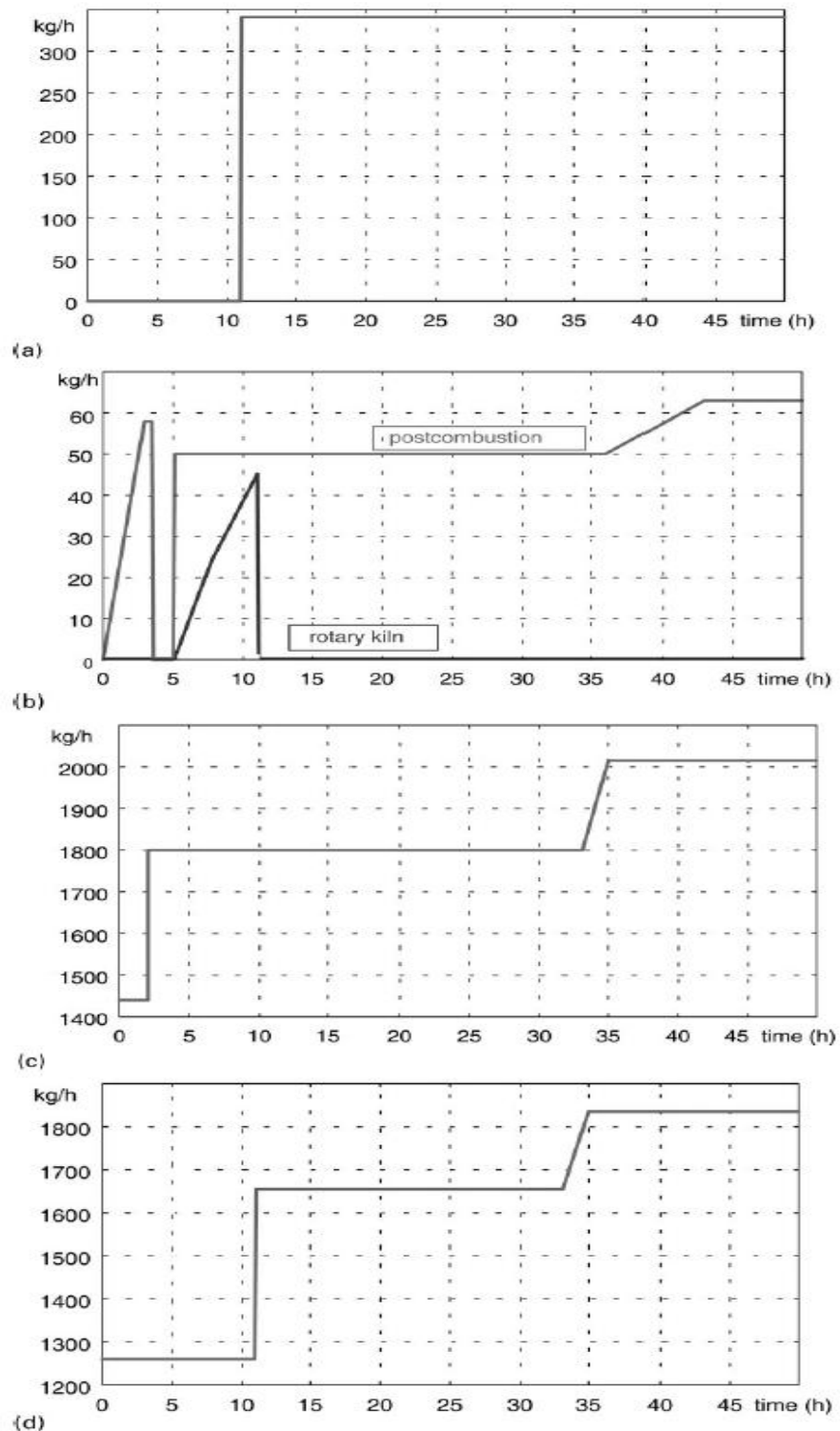
Η διαδικασία εκκίνησης είναι μία χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί, για να επέλθουν οι σωστές θερμοκρασίες (1200°C) περίπου μία μέρα (για το σύστημα μετάκαυσης). Μία αργή προθέρμανση είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφευχθούν ξαφνικές διαστολές οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την αξιοπιστία των δύστηκτων και μονωτικών υλικών.

Ωστόσο οι αποτεφρωτήρες όταν λειτουργούν στον ρυθμό ελέγχου έρχονται στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους μετά από μία περίοδο 3-4 ωρών.

Μόνο όταν επιτευχθεί η σωστή θερμοκρασία τα, απόβλητα μπορούν να φορτωθούν ,για να έχουμε υψηλή απόδοση και ταυτόχρονα ολοκληρωτική καύση.

Στις εικόνες 2-29 & 2-30 όπου υπάρχει σύγκριση του μοντέλου και της πραγματικότητας διακρίνουμε πως ειδικότερα στον μετακαυστήρα δεν υπάρχουν διαφορές στις μετρήσεις.

Οι εικόνες μας δείχνουν πως από τα διαγράμματα μπορούμε να πάρουμε χρήσιμες πληροφορίες για τον σχεδιασμό των κλιβάνων.



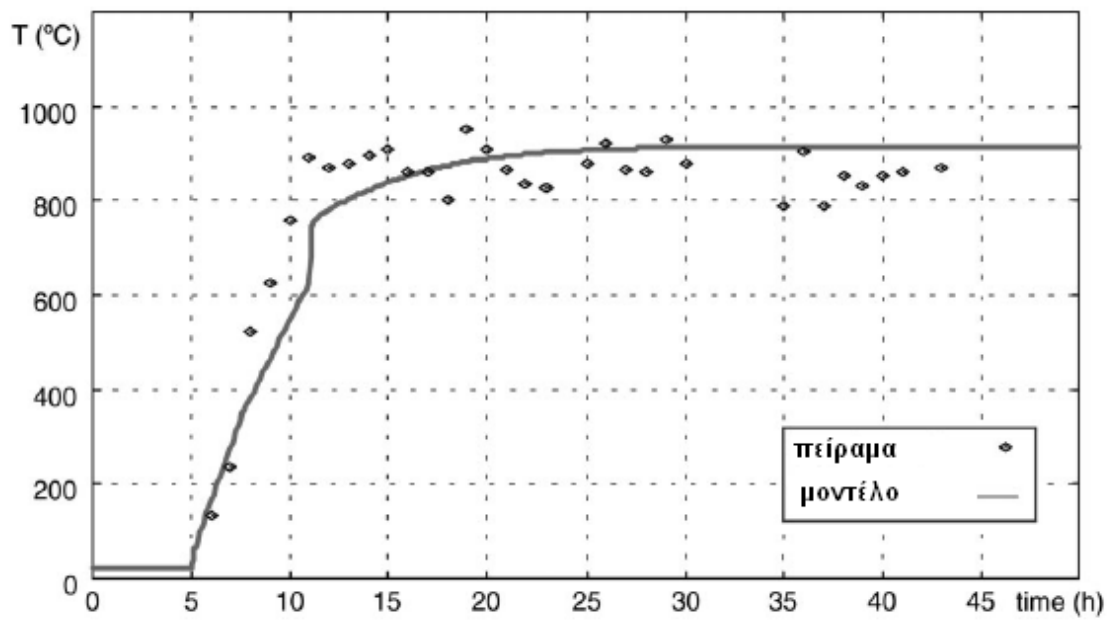
Εικόνα 2- 28: -a) φόρτωμα αποβλήτων στον περιστρεφόμενο κλίβανο

-b) εισαγωγή καυσίμου και στον κλίβανο και στον μετακαυστήρα

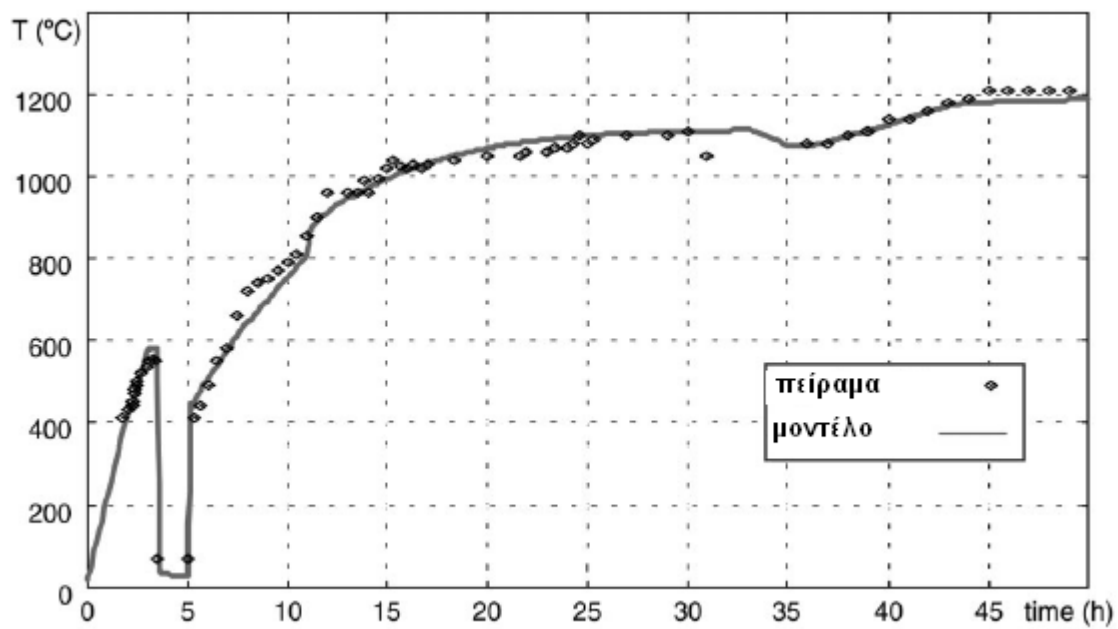
-c) ροή αέρα στον πρώτο ελικοειδή εναλλάκτη θερμότητας

-d) ροή αέρα στον δεύτερο ελικοειδή εναλλάκτη θερμότητας

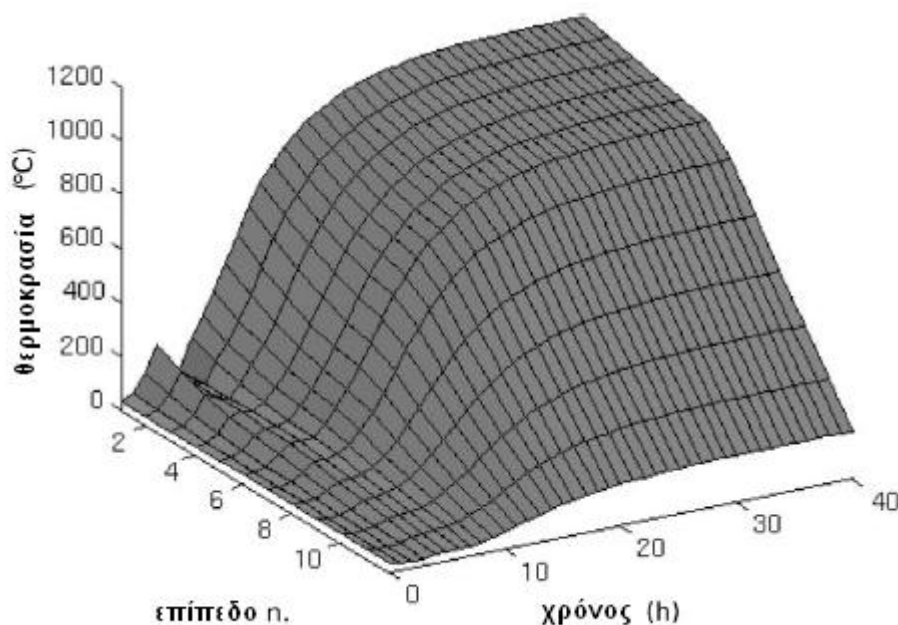




Εικόνα 2- 29:Θερμοκρασία εξόδου από περιστρεφόμενο κλίβανο



Εικόνα 2- 30:Θερμοκρασία εξόδου από μετακαυστήρα



**Εικόνα 2- 31: Προφίλ θερμοκρασιών-χρόνου στα επίπεδα του μονωτικού υλικού που υπάρχει**

- Συνθήκες τροφοδοσίας

Ο χαρακτηρισμός των αποβλήτων είναι ο κύριος παράγοντας για την σχεδίαση και την προσομοίωση μίας διαδικασίας αποτέφρωσης μέσω ενός ντετερμινιστικού μοντέλου. Για τον χαρακτηρισμό των αποβλήτων χρησιμοποιούνται αναλυτικές μέθοδοι είτε με χημικές αναλύσεις ή με ομογενή υλικά .

Στην προσομοίωση δεχθήκαμε τις παρακάτω τιμές για την ανάλυση των αποβλήτων καθώς την σύσταση τους και την θερμογόνο δύναμη.

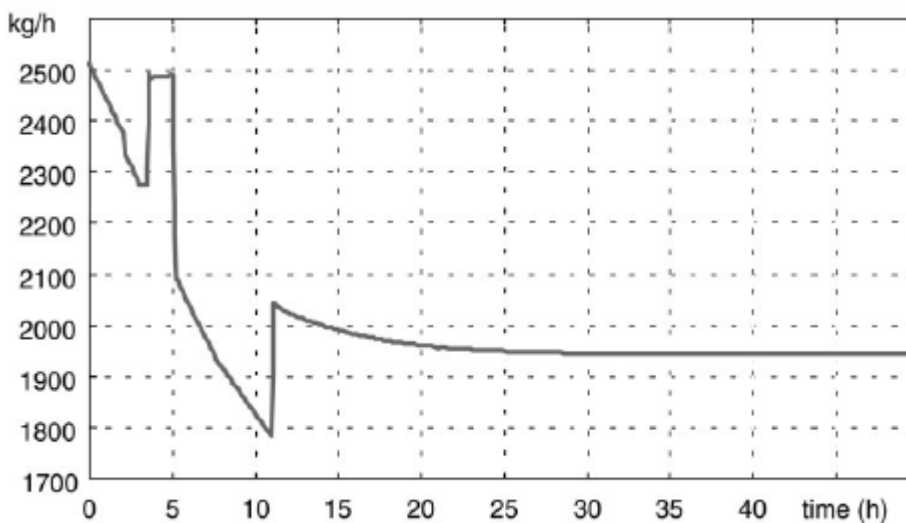
Με αναφορά στην μονάδα που περιγράφεται, η διαδικασία ξεκινά 11 ώρες αργότερα από την αρχική εκκίνηση όταν η θερμοκρασία του περιστρεφόμενου κλιβάνου είχε φθάσει τους 850°C και ο θάλαμος του μετακαυστήρα βρισκόταν στους 950°C. Την στιγμή που ο καυστήρας του κλιβάνου έσβηνε ,αυτόματα ο μετακαυστήρας λειτουργούσε στον στόχο των 1200°C..

Στην εικόνα 2-31 απεικονίζεται η εξέλιξη του κλάσματος του οξυγόνου σε συνάρτηση με τον χρόνο στην έξοδο του συστήματος μετάκαυσης. Οι μετρήσεις του μοντέλου και του

πεδίου συμπίπτουν ενώ η διαφορά που προκύπτει στην διαδικασία της εκκίνησης δείχνει αποτυχία του αισθητήρα οξυγόνου.

Στην πραγματικότητα όταν είναι γνωστή η κατανάλωση καυσίμου ένα απλό ισοζύγιο μάζας δείχνει ότι ο ολικός αέρας που χρειάζεται για να ικανοποιηθεί το πειραματικό οξυγόνο είναι 3-4 φορές μεγαλύτερος από την πραγματική μέγιστη χωρητικότητα της μονάδας.

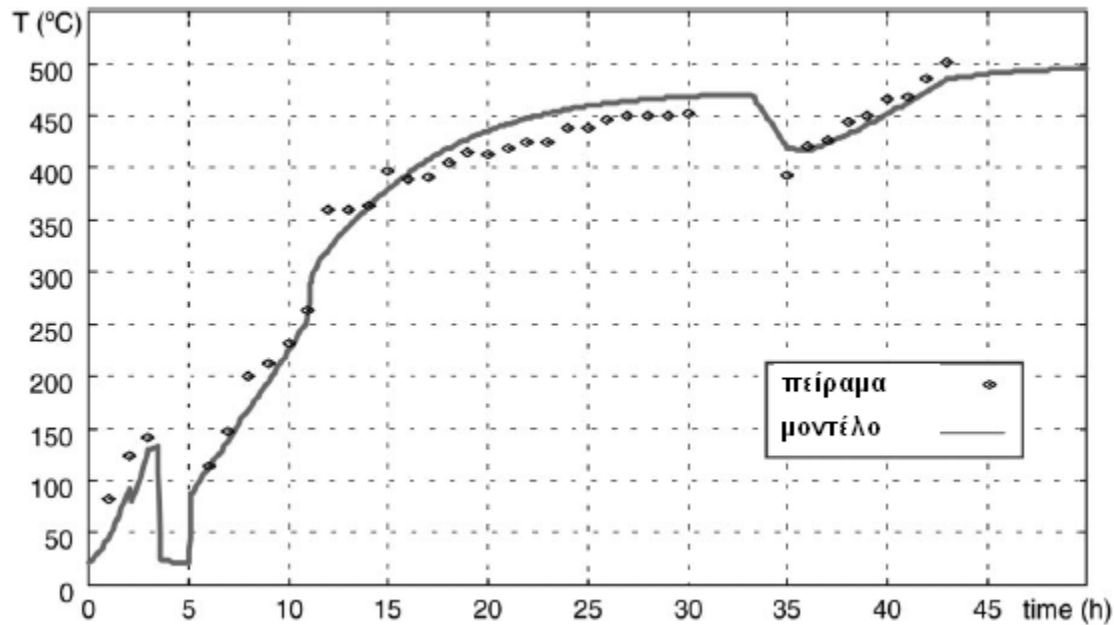
Όταν το μοντέλο είναι δοκιμασμένο σε διαφορετικές λειτουργίες είμαστε σε θέση να λάβουμε χρήσιμες πληροφορίες για μη μετρούμενα μεγέθη ,όπως στην παρακάτω εικόνα όπου φαίνεται η διαρροή αέρα μέσα στον περιστρεφόμενο κλίβανο διαμέσου της μεταβατικής περιόδου . Η γνώση του μεγέθους και η ελάττωση της τιμής στο κατώτατο όριο αέρα ,μπορούν να βελτιώσουν την κατανάλωση βοηθητικού καύσιμου .



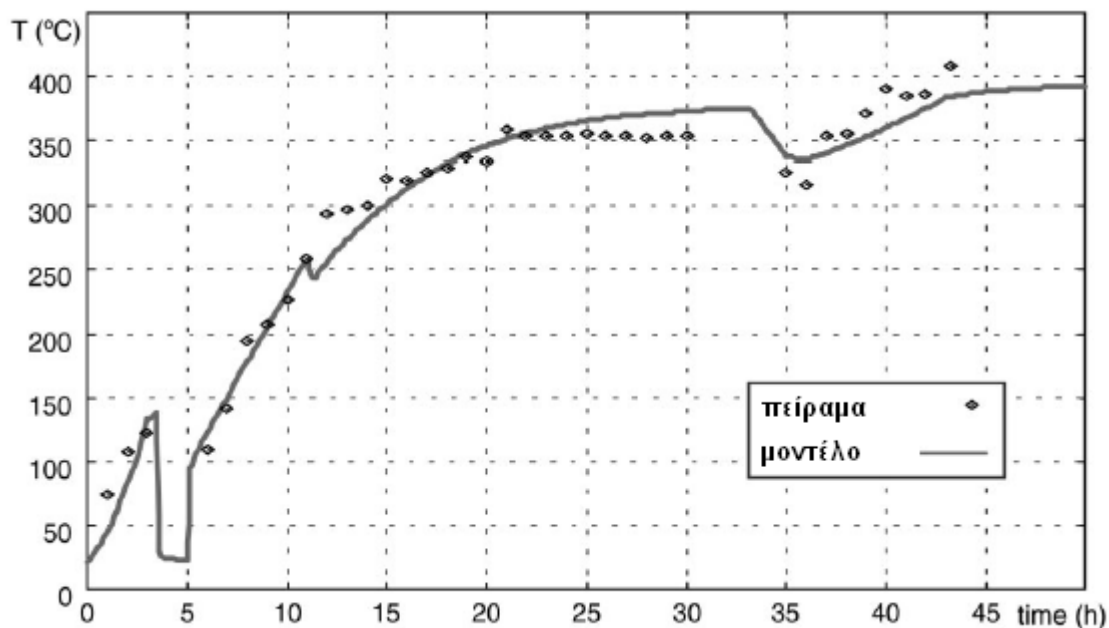
Εικόνα 2- 32:Διαρροή αέρα στον περιστρεφόμενο κλίβανο

- *Ανάκτηση θερμότητας*

Οι εικόνες 2-33 & 2-34 απεικονίζουν τις μεταβολές των θερμοκρασιών στους εναλλάκτες θερμότητας .



Εικόνα 2- 33: Θερμοκρασία στον 1<sup>ο</sup> εναλλάκτη θερμότητας



Εικόνα 2- 34: Θερμοκρασία στον 2<sup>ο</sup> εναλλάκτη θερμότητας

Ένα γενικοποιημένο μοντέλο για την δυναμική προσομοίωση της αποτέφρωσης σε περιστρεφόμενο κλίβανο αναπτύχθηκε για να ελεγχθούν ορισμένες μεταβλητές στο εργοστάσιο. Και αν κρίνουμε από τα γραφήματα το μοντέλο προσέγγισε πολύ καλά το πεδίο οπότε και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μηχανικούς σκοπούς.

#### 2.4.4. ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ

Η αποτέφρωση μπορεί να θεωρηθεί πλέον μία ώριμη μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων για τις υπόλοιπες χώρες, η οποία πρέπει να μεταλαμπαδευθεί και στην Ελλάδα. Οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί και υφίστανται αυτή την στιγμή σε πραγματική κλίμακα μπορούν να εφαρμοστούν για την επεξεργασία των ελληνικών απορριμμάτων χωρίς ενδοιασμούς.

Αν υπάρξει συγκριτική αξιολόγηση των δύο τεχνολογιών ΑΣΑ, δηλαδή καύση μάζας και αποτέφρωση καύσιμων υλικών (RDF), τότε, όπως και διακρίνουμε από τον παρακάτω πίνακα, η καύση RDF προκρίνεται στην τελική επιλογή. Η μέθοδος αυτή προκρίνεται εξαιτίας της καλύτερης απόδοσης στην ανάκτηση ενέργειας, στην ανάκτηση υλικών όμως αναπόφευκτα το κόστος της έκτασης και των εγκαταστάσεων είναι μεγαλύτερο από αυτό της καύσης μάζας. Βέβαια η υπέρβαση αυτή καλύπτεται από τις πωλήσεις των ανακτηθέντων υλικών, του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος ή της παραγόμενης θερμότητας όπως επίσης και από το κόστος της τελικής διάθεσης σε ΧΥΤΑ.

	Ανάκτηση υλικών	Διαχωρισμός υλικών	Απόδοση καύσης	Ανάκτηση ενέργειας	Έκταση εγκαταστάσεων	Αρχικό κεφάλαιο επένδυσης
Καύση RDF	+	+	+	+	-	-
Καύση μάζας	-	-	-	-	+	+

**Πίνακας 2- 7: Σύγκριση πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων στις τεχνολογίες καύσης ως προς το υλικό τροφοδοσίας**

### **3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

#### **3. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Στις σύγχρονες μονάδες καύσης απορριμμάτων χρησιμοποιούνται τα πλεονεκτήματα της ανάκτησης ενέργειας μέσω της μείωσης των θερμοκρασιών των απαερίων. Οι λέβητες που τοποθετούνται προς τα κατάντη του θαλάμου καύσης χρησιμεύουν στην μεταφορά θερμότητας από τα απαέρια στο νερό και μετέπειτα ο ατμός ή το ζεστό νερό που παράγεται χρησιμοποιούνται είτε για μεταφορά θερμότητας σε διάφορες χρήσεις ή για περαιτέρω παραγωγή ενέργειας μέσω τουρμπινών.

Το πιο σύνηθες πρόβλημα στις μονάδες ανάκτησης ενέργειας είναι τα πτητικά συστατικά των υλικών καύσης που εισχωρούν, καθώς καίγονται διαμέσου της μάζας των απαερίων, στους αυλούς του λέβητα και συμπυκνώνονται πριν τα απαέρια να ψυχθούν, δηλαδή εγκλωβίζονται μέσα στα συστήματα ανάκτησης θερμότητας.

Ένα δευτερογενές πρόβλημα το οποίο όμως δεν επηρεάζει την απόδοση των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας είναι ο σχηματισμός των διοξινών και φουρανίων στην συσκευή του economizer όπου το θερμοκρασιακό εύρος κυμαίνεται από 400°C έως 220°C.

Διάφορες λειτουργικές πτυχές των συστημάτων διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας επηρεάζουν τη φύση των υπολειμμάτων που συλλέγονται στα τμήματα διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας των εγκαταστάσεων.

Ένα τυπικό σύστημα ανάκτησης ενέργειας αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- Ένα τμήμα ακτινοβολίας, όπου η θερμότητα ανακτάται από την ζώνη της φλόγας στον θάλαμο μέσω της μεταφοράς θερμικής ακτινοβολίας. Ο μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας δεν βασίζεται σε αυτό το σημείο στην μεταγωγή. Γενικά αυτή η θερμότητα απομακρύνεται μέσω των τοιχωμάτων που περιέχουν νερό στις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης μάζας.
- Το τμήμα της μεταγωγής όπου οι σωλήνες του λέβητα είναι κάθετοι στην διεύθυνση ροής. Αυτό το τμήμα ανακτά την πλειονότητα της διαθέσιμης θερμότητας και παράγει κορεσμένο ατμό.

- Το τμήμα του εξοικονομιστή (economiser) που τοποθετείται μετά από το τμήμα μεταγωγής και είναι παρόμοιο στην κατασκευή με το τμήμα μεταγωγής. Αυτό το σύστημα λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και γενικά χρησιμοποιείται για την θέρμανση του νερού της τροφοδοσίας του λέβητα.
- Το τμήμα του υπερθερμαντή το οποίο χρησιμοποιείται για να προσφέρει πρόσθετη θερμότητα στον ατμό που παράγεται στο τμήμα της μεταγωγής στον θάλαμο καύσης. Το σύστημα αυτό μπορεί να τοποθετηθεί είτε πριν το σύστημα μεταγωγής ή πριν το σύστημα του economiser . Η επιλογή της τοποθέτησης είναι συνάρτηση της ροής της μάζας των αποβλήτων και του ποσοστού ανάκτησης που θέλουμε να πετύχουμε από τα απαέρια.

Στις περισσότερες νέες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται χοάνες συλλογής των σωματιδίων από τα συστήματα ανάκτησης. Οι χοάνες είναι εξοπλισμένες με διπλές βαλβίδες ώστε να επιτρέψουν στο υλικό να απομακρυνθεί χωρίς την εισαγωγή αέρα στον λέβητα κατά την διάρκεια της λειτουργίας της μονάδας.

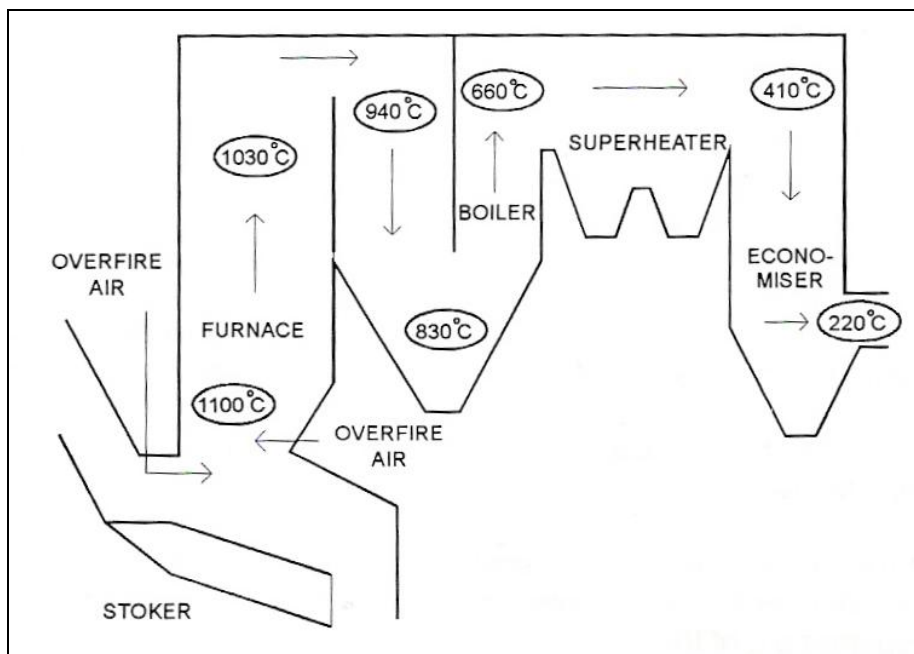
Τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας λειτουργούν για να μεγιστοποιήσουν την ανάκτηση ενέργειας και να ελαχιστοποιήσουν τα προβλήματα λειτουργίας. Το πιο σύνηθες πρόβλημα είναι το φράξιμο των σωλήνων του λέβητα που προκαλείται από την υψηλή θερμοκρασία των εισερχόμενων απαερίων. Στις υψηλές θερμοκρασίες τα πτητικά μέταλλα στην μάζα των απαερίων συμπυκνώνονται στην επιφάνεια των σωλήνων σχηματίζοντας ένα σκληρό «κατακάθι» που αντιστέκεται στην απομάκρυνση. Οι θερμοκρασίες εισαγωγής των αερίων όταν παίρνουν τιμή κάτω από 900°C μειώνουν τον βαθμό φραξίματος των σωλήνων.

Οι αντιδράσεις συμπύκνωσης δεν είναι η μόνη διαδικασία που εμφανίζεται στο λέβητα . Η ενσφηνωση , η καθίζηση και άλλες διαδικασίες απόθεσης, απομακρύνουν υλικά από το ρεύμα των αερίων μέσω ενός συνδυασμού αλλαγών ταχύτητας και ορμής. Μερικά από τα υλικά εναποτίθενται στον πυθμένα του λέβητα .Το ενσφηνωμένο υλικό δεν συμπυκνώνεται στους σωλήνες και μπορεί να απομακρυνθεί με μηχανικό καθαρισμό μέσω εισαγωγής ατμού ή αέρα υψηλής πίεσης . Αυτό το αφαιρούμενο υλικό αποθηκεύεται στις χοάνες και απομακρύνεται κατά την διάρκεια της λειτουργίας των συστημάτων .

Η φύση του υπολείμματος του λέβητα εξαρτάται από την θερμοκρασία στους διάφορους τομείς καθώς και από την διεργασία της συμπύκνωσης .Οι τυπικές θερμοκρασίες στον



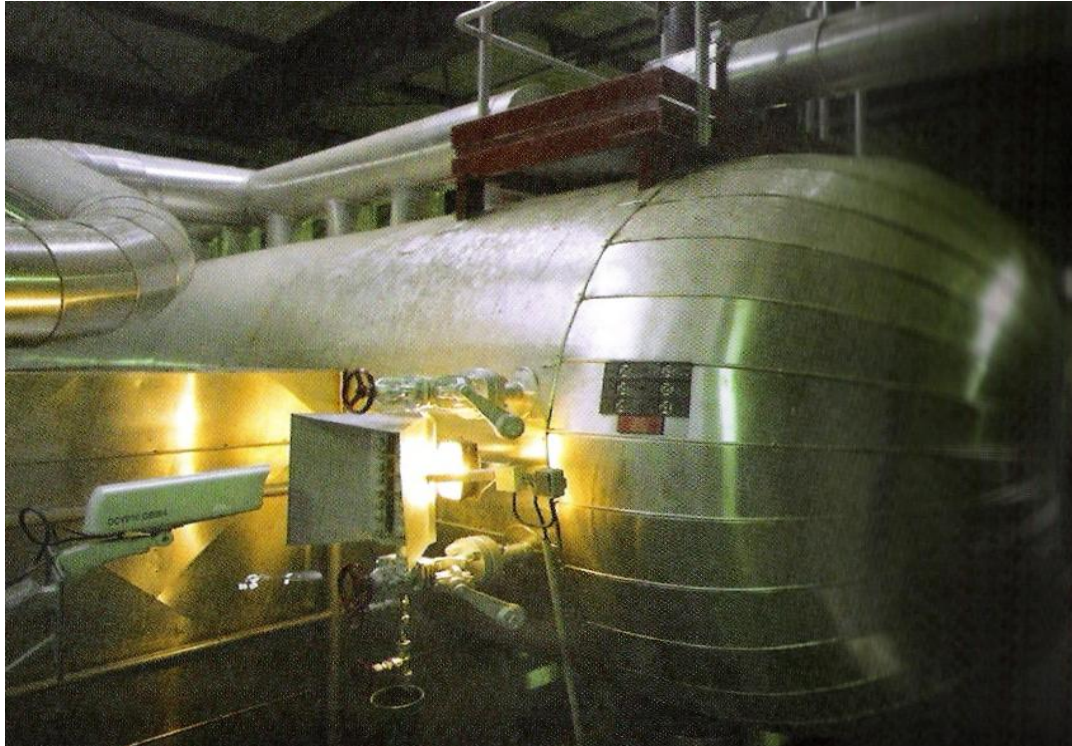
λέβητα ξεκινούν από την εισαγωγή των αερίων με θερμοκρασίες  $900^{\circ}\text{C}$  και φθάνουν στο τέλος του economiser στην περιοχή των  $200^{\circ}\text{C}$  (εικόνα 3-1) .



Εικόνα 3- 1:Κατανομή θερμοκρασιών σε ένα τυπικό σύστημα ανάκτησης θερμότητας

Η διαδικασία ανάκτησης θερμότητας ξεκινάει από το σύστημα καύσης όπου τα απαέρια διοχετεύονται στο boiler σε ένα φάσμα θερμοκρασιών από τους  $1100^{\circ}\text{C}$  έως τους  $830^{\circ}\text{C}$ . Στην έξοδο του λέβητα η θερμοκρασία των απαερίων αγγίζει τους  $660^{\circ}\text{C}$ .

Ο υπερθερμαντήρας που χρησιμοποιείται μετά το boiler χρειάζεται μία θερμοκρασία  $250^{\circ}\text{C}$  για να λειτουργήσει. Έτσι φθάνουμε στο τελευταίο στάδιο της ανάκτησης ενέργειας που είναι ο economizer με την θερμοκρασία από τους  $410^{\circ}\text{C}$  που βρίσκεται να καταλήγει στους  $220^{\circ}\text{C}$ . Το στάδιο του economizer είναι πάρα πολύ σημαντικό αφού όπως θα αναφερθούμε και παρακάτω σε αυτό το εύρος των θερμοκρασιών σχηματίζονται οι τοξικοί ρύποι των διοξινών και των φουρανίων.



**Εικόνα 3- 2: Τύμπανο λέβητα**

## **4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ**

### **4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΥΣΕΙΣ ΑΣΑ**

#### **4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ**

Τα απαέρια που έχουν προκύψει από τις διεργασίες καύσης απορριμμάτων και την μετέπειτα συσκευή ανάκτησης ενέργειας δε μπορούν να αποδεσμευτούν ελεύθερα στο περιβάλλον χωρίς επεξεργασία. Η σύνθεση των αερίων μπορεί να αλλάξει με δυναμική ανακύκλωση υλικών πριν την εισαγωγή των απορριμμάτων για καύση.



**Εικόνα 4- 1: Σύστημα ελέγχου αερίων εκπομπών σε υφιστάμενη μονάδα καύσης απορριμμάτων**

Το ρεύμα των απαερίων θα περιέχει ή δύναται να περιέχει τις ακόλουθες τάξεις ρύπων:

- Αιωρούμενα σωματίδια ιπτάμενης τέφρας (με μέγεθος σωματιδίων που ποικίλει από 100 μικρά έως και 0,1 μικρό)

- Όξινα αέρια όπως διοξείδιο του θείου(SO<sub>2</sub>) , υδροχλωρικό οξύ (HCl) , υδροφθόριο (HF) και οξειδία του αζώτου (NO και NO<sub>2</sub>)
- Κύρια αέρια προϊόντα από ατελή καύση όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και ολικούς υδρογονάνθρακες( THC) όπως μεθάνιο
- Βαρέα μέταλλα ,τα οποία μπορεί να βρίσκονται σε διάφορες μορφές(οξειδία),όπως :
  - Μόλυβδο ( Pb )
  - Κάδμιο ( Cd )
  - Τιτάνιο ( Ti )
  - Αρσενικό ( As)
  - Κοβάλτιο ( Co)
  - Νικέλιο ( Ni )
  - Σελήνιο ( Se )
  - Τελλούριο ( Te )
  - Αντιμόνιο ( Sb)
  - Χρώμιο ( Cr )
  - Χαλκός ( Cu )
  - Μαγγάνιο ( Mn )
  - Βανάδιο ( V )
- Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs)
- Πολυχλωριωμένα βιφαινύλια (PCBs)
- Πολυχλωριωμένες διβενζοδιοξίνες και πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια (PCDDs και PCDFs)

Τα θεσπισμένα όρια-προδιαγραφές που καθορίζονται από την κοινοτική νομοθεσία (Παράρτημα) καθορίζουν το μέγεθος ,την επιλογή ,την περιπλοκότητα και το κόστος του εκάστοτε συστήματος τεχνολογιών ελέγχου αερίων εκπομπών.

Πρώτα πρέπει να διεξαχθεί μία διερεύνηση του σχηματισμού αυτών των ρύπων: κάτω από ποιες προϋποθέσεις σχηματίζονται , ποιες παράμετροι παίζουν λειτουργικό ρόλο και ποιες είναι οι συνθήκες καύσης που επιτρέπουν αυτούς τους σχηματισμούς. Ιδιαίτερη βαρύτητα πρέπει να δοθεί από εδώ και στο εξής στις διοξίνες, στα φουράνια και στα βαρέα μέταλλα τα οποία κατανέμονται σε κλάσματα στην ιπτάμενη τέφρα και στην στάχτη που καθιζάνει. Οι διαφορετικές τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια ρυθμίζουν τα



επίπεδα στα οποία μπορούμε να καταφέρουμε να απομακρύνουμε τους ρύπους αυτούς με το ελάχιστο κόστος.

#### **4.2. ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

Όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο το πρώτο στάδιο ελέγχου έγκειται στο γεγονός της επιλεκτικής τροφοδοσίας αποβλήτων το οποίο θα μας επιτρέψει να μην υπερκοστολογήσουμε τον σχεδιασμό της αέριας ρύπανσης . Σε πολλές υφιστάμενες μονάδες λόγω ελλείψεως θεωρητικού υποβάθρου, υπήρχε δυσανασχέτηση σχετικά με τον σχηματισμό του κάθε ρύπου από τα κλάσματα των απορριμμάτων .

#### **4.3. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

##### **4.3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ**

Οι έλεγχοι στην καύση επιδρούν κυρίως στα εκπεμπόμενα κλάσματα των οργανικών ,του CO και των NOx. Σε δεύτερη φάση επηρεάζουν την ιπτάμενη τέφρα ,την στάχτη που κατακρατείται καθώς και την συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα διάφορα κλάσματα. Ο έλεγχος του φλογοθαλάμου επιτυγχάνεται μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού και της ομαλής λειτουργίας. Ένας καλορυθμισμένος φλογοθάλαμος πρόκειται να χρησιμεύσει στις αναγκαίες εξειδικεύσεις των ρύπων CO και THC (ολικοί υδρογονάνθρακες όπως μεθάνιο) με την χρησιμοποίηση των κατάλληλων παραμέτρων. Τέτοιοι είναι ο χρόνος καύσης, η θερμοκρασία που θα αναπτυχθεί και η δίνη που θα δημιουργηθεί .Οι παράγοντες σχεδιασμού εσχάρων, αν χρησιμοποιούνται εσχάρες και του δευτερεύοντος αέρα με την μορφή του ψεκασμού είναι εξίσου σημαντικοί . Έχει μεγάλη σημασία να κατανοήσουμε ,πως τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης δεν κατασκευάζονται για να διορθώνουν ατέλειες του συστήματος καύσης.

Πριν αποφασίσουμε να σχεδιάσουμε τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης πρέπει να εξετάσουμε, αν μπορούμε να παρέμβουμε στο στάδιο της καύσης όπου και γίνεται η γένεση των ρύπων ούτως ώστε να μην υπερδιαστασιολογήσουμε τις μονάδες ελέγχου αερίων εκπομπών που θα επιλέξουμε για την επεξεργασία των απαερίων.

#### 4.4. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΥΣΗ-ΓΕΝΕΣΗ ΡΥΠΩΝ

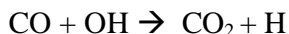
##### 4.4.1. Η ΦΥΣΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όπως γνωρίζουμε τα απορρίμματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια, με το κάθε συστατικό που λαμβάνει μέρος (χαρτί, πλαστικό κ.α) να διαθέτει το δικό του ενεργειακό περιεχόμενο και να απαιτεί το δικό του ποσοστό οξυγόνου για να εξασφαλιστεί η καύση. Ο τρόπος διαχείρισης αυτού του ποσοστού αέρα και της εισαγωγής του στον θάλαμο καύσης είναι το πιο κρίσιμο σημείο του ελέγχου των εκπομπών των οργανικών στοιχείων.

##### 4.4.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΡΥΘΜΩΝ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ

Η θερμική καταστροφή των οργανικών ενώσεων δεν αποτελεί απλή διαδικασία όπως όλοι νομίζουν. Πολλά ενδιάμεσα στάδια πρέπει να ολοκληρωθούν, προκειμένου να καταλήξουμε στα τελικά προϊόντα (CO<sub>2</sub> και νερό) κατά την διάρκεια της οξείδωσης των υλικών. Η αντίδραση που εμφανίζεται αρχικά στην κλίνη του αποτεφρωτήρα είναι αυτή της αεριοποίησης όπου τα απορρίμματα εκτίθενται σε περίσσεια αέρα. Με την εισαγωγή του αέρα και την αναταραχή του υλικού ελέγχεται η παραγωγή του αερίου, το οποίο εγκαταλείποντας το πρώτο στάδιο είναι πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και πολλούς άκαυστους υδρογονάνθρακες. Όταν παρέχεται επιπλέον αέρας πάνω από την ζώνη της φλόγας, όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενες παραγράφους, τα αέρια της αεριοποίησης πυρολύονται ακαριαία. Το ποσό του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται καθορίζει την έκταση της ολοκληρωμένης καύσης και αναφέρεται σαν επίπεδο απόδοσης καύσης. Ωστόσο 100% απόδοση δεν μπορεί να επιτευχθεί σε κανένα σύστημα καύσης.

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι πιο ανθεκτικό είδος στην οξειδωτική αλυσίδα από το διοξείδιο του άνθρακα. Η οξείδωση του CO σε CO<sub>2</sub> ολοκληρώνεται πολύ γρηγορότερα παρουσία του υδρογόνου. Η αντίδραση σχηματισμού διοξειδίου του άνθρακα διακρίνεται παρακάτω:



Η συγκέντρωση των υδροξυλίων είναι πολύ βασική στην αντίδραση, ωστόσο η αντίδραση μεταξύ των υδροξυλίων και των υδρογονανθράκων είναι πολύ πιο γρήγορη από αυτή του CO και των υδροξυλίων.

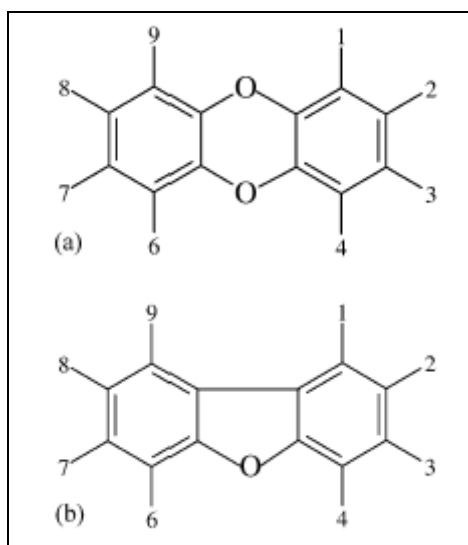
Εάν επικρατεί περίσσεια αέρα , η θερμοκρασία της καύσης και η συγκέντρωση των υδροξυλίων μειώνεται. Στη συνέχεια τα οργανικά μόρια αντιδρούν με το υδροξύλιο και η οξείδωση του CO δεν εμφανίζεται.

Τα ίχνη μετάλλων ούτε δημιουργούνται αλλά ούτε και καταστρέφονται κατά την διεργασία της καύσης. Ο σχηματισμός τους μπορεί να αλλάξει από την αντίδραση τους με άλλα στοιχεία (συνήθως οξειδωτικά) και έτσι ο ενδεχόμενος καταμερισμός τους στον αποτεφρωτήρα μπορεί να επηρεαστεί. Η τέλεια καύση και οι υψηλότερες θερμοκρασίες συνιστούν την είσοδο των μετάλλων στα ρεύματα των υπολειμμάτων APC.

Εάν οι θερμοκρασίες των αερίων δεν μειωθούν στα συστήματα APC , τα πτητικά μεταλλικά είδη είναι σε θέση να απελευθερωθούν από την καμινάδα στο περιβάλλον.

#### 4.4.3. ΈΛΕΓΧΟΙ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ PCDD/PCDF

Στην δεύτερη κατηγορία εκπομπών, οι οποία ελέγχεται σε κάποιο βαθμό από το σύστημα καύσης, ανήκουν οι διοξίνες και τα φουράνια μαζί με τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες.



Εικόνα 4- 2:Μόρια α)διβενζο-παρα-διοξίνης και β)διβενζοφουρανίου(Mc Cay,2002)



Homologue (abbreviation)	Number of congeners		
	PCBs	PCDDs	PCDFs
Monochloro (M)	3	2	4
Dichloro (D)	12	10	16
Trichloro (Tr)	24	14	28
Tetrachloro (T)	42	22	38
Pentachloro (Pe)	46	14	28
Hexachloro (Hx)	42	10	16
Heptachloro (Hp)	24	2	4
Octachloro (O)	12	1	1
Nonachloro	3		
Decachloro	1		
Total	209	75	135

Εικόνα 4- 3:Ενώσεις πολυχλωριωμένων διοξινών ,φουρανίων και βιφαίνυλίων(Mc Cay,2002)

Οι καθαρές εκπομπές διοξινών και φουρανίων από τις εστίες και η σχέση τους με τις συνθήκες λειτουργίας είναι ένα θέμα αμφισβήτησης. Ενώ είναι γενικά αποδεκτό ότι αυτά τα μόρια μπορούν να απομακρυνθούν σε μεγάλη έκταση από τα απαέρια με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, η ελαχιστοποίηση του σχηματισμού τους είναι πιο αμφισβητήσιμη. Ο Hasselriis [Hasselriis, F., 1988] αναφέρει ότι οι ίδιες συνθήκες που οδηγούν σε καλή απόδοση καύσης και που αντιστοιχούν σε ελαχιστοποίηση των εκπομπών CO , αυτές οι συνθήκες ταυτόχρονα ελαχιστοποιούν την παραγωγή διοξινών και φουρανίων. Καταλήγει στο συμπέρασμα ,ότι το οξυγόνο θα πρέπει να διατηρείται στο 8% στα απαέρια και η θερμοκρασία θα πρέπει να κυμαίνεται περίπου 900°C . Επίσης θα πρέπει να υπάρχει καλή ανάμιξη και ο δευτερεύων αέρας θα πρέπει να εισέρχεται σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών. Τα συμπεράσματα του Hasselriis βασίστηκαν σε συσχέτιση αποτελεσμάτων από μια πληθώρα αποτεφρωτήρων. Γενικά ήταν δύσκολο να διαπιστωθούν συμπεράσματα από μηχανιστική άποψη και τυποποιώντας οδηγίες των εξοπλισμών. Κάποιες μελέτες έδειξαν ότι υπάρχουν μηχανισμοί [Altwicker E., 1992, Choudry G.G. and Huntzinger O., 1982.] με τους οποίους τα περίπλοκα μόρια PCDD και PCDF μπορούν να εμφανιστούν από αντιδράσεις όπως η πυρόλυση αερίων που πηγάζουν από την αποσύνθεση του PVC. Αυτές οι μελέτες προτείνουν έναν σημαντικό καταλυτικό ρόλο για τα μέταλλα στην ιπτάμενη τέφρα. Ωστόσο ενώ οι μελέτες στηρίζουν την ιδέα ότι ένα ποσοστό από διοξίνες και φουράνια μπορεί να αποκομιστεί από το κύριο σύστημα καύσης, πιο πρόσφατες έρευνες δείχνουν το αντίθετο. Το 1985 ο Commoner [Commoner, B. et al., 1985.] πρώτος πρότεινε ότι οι διοξίνες μπορεί να μην δημιουργούνται στην ζώνη καύσης

,αλλά να σχηματίζονται από ετερογενή κατάλυση στα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας στην ψυχρή ζώνη των λεβήτων ( σύστημα economizer). Η θεωρία αυτή ονομάζεται «σύνθεση εξ αρχής» .

Για παράδειγμα οι Loeffler [Loeffler, H., 1987] και Nottrodt et al. [Nottrodt, A. et al., 1987] μαζί βρήκαν ότι αν και οι συγκεντρώσεις PCDD/PCDF στις εστίες με θερμοκρασία 800°C ήταν πολύ χαμηλές σε ένα ESP (  $T < 300^{\circ}\text{C}$ ) οι συγκεντρώσεις είχαν αυξηθεί 100 φορές παραπάνω συγκρινόμενες με την τιμή στην έξοδο της εστίας. Από μία άλλη έρευνα στην Ιταλία [Magnani, A. and Boschi, G., 1988] όπου ένας κανονισμός του 1986 όρισε θερμοκρασία καύσης τους 950°C και 2sec χρόνο παραμονής σε έναν θάλαμο καύσης, διαπιστώθηκε σε όλους του αποτεφρωτήρες ΑΣΑ ότι ήταν αναποτελεσματικό σε αυτό το μέτρο. Δεν υπήρχε στατιστική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων TCDD στους αποτεφρωτήρες με ή χωρίς μετάκαυση . Ωστόσο υπήρχε μία σημαντική διαφορά ανάμεσα σε παλιές και νέες μονάδες καύσης. Τα ESPs που ταιριάζουν σε νέες μονάδες χρησιμεύουν στην απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων και των οποίων οι χαμηλές εκπομπές δίνουν μειωμένες εκπομπές διοξινών.

Οι Hagenmaier et al. [Hagenmaier, H. et al., 1988] προτείνουν ότι τα φορτία των διοξινών στην ιπτάμενη τέφρα είναι αποτέλεσμα καταλυτικού σχηματισμού και αντιδράσεων καταστροφής. Το ενδεχόμενο του σχηματισμού τείνει να συσχετίζεται με το ποσοστό του άκαυστου άνθρακα στην ιπτάμενη τέφρα ,της περιεκτικότητας του χλωρίου ,της περιεκτικότητας των βαρέων μετάλλων και της επιφανειακής δραστηριότητας / μορφολογίας της στάχτης. Ο κάθε παράγοντας ξεχωριστά επηρεάζεται καθαρά από τον σχεδιασμό και την λειτουργία της εστίας έτσι ώστε μέχρι αυτό το σημείο με την πρακτική των καλών λειτουργιών (χρόνου, θερμοκρασίας και στροβιλισμού) θα ελαχιστοποιηθεί ο σχηματισμός διοξινών καταστρέφοντας τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες στην ιπτάμενη τέφρα [Vogg, H. et al., 1988]. Σε υψηλές θερμοκρασίες είναι κατανοητό ότι οι αντιδράσεις καταστροφής στην ιπτάμενη τέφρα υπερβαίνουν την ισχύ των αντιδράσεων σχηματισμού ,ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες και τα δύο είδη ρυθμών είναι χαμηλά. Η παραπάνω θεωρία παρέχει ένα παράθυρο θερμοκρασίας περίπου 200 έως 400°C όπου η «σύνθεση εξ αρχής» που αναφέραμε εμφανίζεται στην ιπτάμενη τέφρα. Αυτό το θερμοκρασιακό παράθυρο παρουσιάζεται σε πολλά συστήματα ανάκτησης θερμότητας όπου η ιπτάμενη τέφρα μεταφέρεται από τα μεταγωγικά σώματα.

Ένας βελτιωμένος καθαρισμός σκόνης σαν σταθερά επαναλαμβανόμενο γεγονός για τον λέβητα είναι ένα παράδειγμα τροποποίησης λειτουργίας που μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξινών [Vogg, H. et al., 1988]. Μία δεύτερη επιλογή θα ήταν η πρόωρη καταστολή της θερμοκρασίας χωρίς να μεταβάλλουμε στην αποδοτικότητα του λέβητα. Άλλη εναλλακτική λύση θα μπορούσε να είναι η εισαγωγή αμμωνίας στο ρεύμα των αερίων ρύπων η οποία θα μείωνε τον σχηματισμό των διοξινών με έναν παράγοντα του 5 , ή εναλλακτικά με έκχυση αμινών για να έχουμε περιορισμό με έναν παράγοντα του 25 [Chemical Engineering Magazine, 1991]. Και οι δύο τεχνικές όταν εφαρμοστούν δηλητηριάζουν τους ενεργούς καταλύτες μετάλλων που βρίσκονται ενωμένοι με αλογόνα. Οι ενεργοί αυτοί καταλύτες προωθούν τον ανασχηματισμό του μορίου της διοξίνης.

Δοθέντος των παραπάνω μετρίων λύσεων δεν μπορούμε να απαλείψουμε τελείως τον σχηματισμό των διοξινών ,είναι δε σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι ένα κατάλληλο σύστημα πλύσης μπορεί να απομακρύνει διοξίνες και φουράνια και να τα μεταφέρει στην ιπτάμενη τέφρα.

Εν συντομία , ενώ οι έλεγχοι καύσης είναι σημαντικοί για την ελαχιστοποίηση του CO και CH<sub>4</sub> και μπορεί να μειώσουν τις διοξίνες και τα φουράνια που απάγονται από την εστία, η «σύνθεση εξ' αρχής» των διοξινών στα ψυχρά σώματα ελέγχει άμεσα την φόρτιση στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης ( APCs). Τουλάχιστον αυτό είναι αλήθεια μέχρι το σημείο όπου η καύση και οι έλεγχοι λειτουργίας από μόνοι τους δεν αποδεικνύονται επαρκείς για να συγκριθούν αυστηρά με τα νέα όρια όπως την τιμή του 0,1 ng/dm<sup>3</sup> .

Η «σύνθεση εξ' αρχής» εμφανίζεται ανάμεσα στους 200 και 400 °C όπου οι έλεγχοι της καύσης δεν είναι αποτελεσματικοί. Για αυτό το λόγο σχεδιάζουμε ένα σύστημα ελέγχου αέριας ρύπανσης ,ώστε να παρέχουμε αρκετά ψυχρές θερμοκρασίες για συμπύκνωση αυτών των υλικών και αμέσως απορρόφηση στην ιπτάμενη τέφρα ή σε απορροφητικό υλικό με θερμοκρασία (<140°C). Ίσως να είναι απαραίτητο να προσθέσουμε αμμωνία ή αμίνες σαν μέρος της διαδικασίας .Επίσης πρέπει να μεγιστοποιήσουμε την απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων με τις οποίες απορροφημένες διοξίνες μεταφέρονται στο περιβάλλον.

#### **4.4.4. ΈΛΕΓΧΟΙ ΚΑΥΣΗΣ, ΔΙΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ**

Όπως οι διοξίνες και τα φουράνια ,έτσι και η εκπομπή των μετάλλων από τα συστήματα καύσης ελέγχεται δύσκολα. Ύστερα από διεξοδική μελέτη διαπιστώθηκε ότι ,ενώ οι έλεγχοι της καύσης, ο τύπος των αποβλήτων και η επιλογή του συστήματος αποτέφρωσης μπορούν να επηρεάσουν το ποσοστό των μετάλλων που μεταφέρεται στα απαέρια ,τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης πάλι θα διαδραματίσουν καταλυτικό ρόλο στην μείωση των επιπέδων σε ανεκτά όρια.

Τα μέταλλα μεταφέρονται στα απαέρια της καύσης σε πτητική μορφή ή δεσμευμένα σαν στερεά. Τις περισσότερες περιπτώσεις αφήνουν το στρώμα στάχτης στην πτητική μορφή τους και διαδοχικά συμπυκνώνονται σε ψυχρότερα τμήματα της εστίας είτε σαν νεοσχηματισμένοι καπνοί ή στην επιφάνεια προϋπαρχόντων σωματιδίων στάχτης. Υπάρχει αποδεδειγμένη τάση για μέταλλα και άλλα συμπυκνωμένα είδη, να εμπλουτίζονται στην επιφάνεια λεπτότερων σωματιδίων εξαιτίας της υψηλότερης ειδικής επιφάνειας στον λόγο του όγκου. Τα μέταλλα εισέρχονται στο ρεύμα τροφοδοσίας σε μία μεγάλη ποικιλία χημικών σχηματισμών. Το συγκεκριμένο φάσμα αποτελείται από μέταλλα στην φυσική τους μορφή ,οξειδία μετάλλων , μέταλλα ενωμένα με αλογόνα , ανόργανα συστατικά και οργανομεταλλικά είδη.

Υπάρχουν μερικές οδηγίες που έχουν εγκαθιδρύσει μία μελλοντική συμπεριφορά των μετάλλων [Dempsey, C. and Orpreit, T.E., 1993].Αυτές οι οδηγίες υποθέτουν ότι τα μέταλλα εισέρχονται στο ρεύμα των απαερίων σαν λεπτομερή αιωρούμενα σωματίδια .Από την άλλη υπάρχουν κάποιοι ενδογενείς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την συμπεριφορά των μετάλλων όπως είναι η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία και η περιεκτικότητα σε χλώριο που συνήθως βρίσκεται σε επίπεδα από 0,5 % έως 2,00 w/w στα ΑΣΑ .Μέταλλα όπως ο μόλυβδος ,το νικέλιο και ο άργυρος δημιουργούν πτητικά χλωρίδια που ο σχηματισμός τους είναι θερμοδυναμικά ευνοούμενος κάτω από συνθήκες, όπου υπάρχει σημαντική ποσότητα υδροχλωρίου στην ατμόσφαιρα του αποτεφρωτήρα. Αντίθετα υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθερών ειδών μετάλλων κάτω από συνθήκες υψηλά χλωριωμένων και μη χλωριωμένων απορριμμάτων. Η αντίθεση αυτή προκαλεί διαφορές στην πτητικότητα των μετάλλων οι οποίες διαφορές αντανακλώνται στην φύση της ιπτάμενης τέφρας και στα διηθήματα που τυχόν δημιουργηθούν.

Σε έναν πραγματικό αποτεφρωτήρα υπάρχουν κυρίως κινητικές υποθέσεις που υιοθετούνται ανάλογα με την ποσότητα του υλικού των απορριμμάτων και της ακριβούς

χημικής σύνθεσης. Μέταλλα όπως ο υδράργυρος και το αρσενικό που έχουν εξαιρετικά υψηλές πτητικότητες δεν θα συμπυκνωθούν τελείως στο ρεύμα των απαερίων εκτός εάν υπάρξουν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στα συστήματα APC.

Σε ξηρά συστήματα πλύσης ίσως χρειαστούμε προσρόφιση με ενεργό άνθρακα ο οποίος θα χρησιμεύσει στην υψηλή απομάκρυνση των ειδών των μετάλλων και συγκεκριμένα του υδραργύρου. Για να υπολογίσουμε τις καθαρές εκπομπές των μετάλλων το πτητικό κλάσμα στο ρεύμα απαερίων πρέπει να συνδυαστεί με εκτιμώμενες αποδόσεις σε διαφορετικά συστήματα APC για κάθε μέταλλο [Draft Final Report, August 1989].

#### 4.5. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΚΑΥΣΗ

Το στάδιο της μετάκαυσης μαζί με τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης θα απομακρύνουν σε σημαντικό βαθμό ίχνη μετάλλων και όξινα αέρια από το ρεύμα των απαερίων. Υπάρχουν τρεις παράμετροι οι οποίοι πρέπει να αναλυθούν σε αυτήν την διαδικασία :

- Μέσο-αντιδραστήριο που θα χρησιμοποιηθεί
- Έλεγχος της θερμοκρασίας
- Απόδοση απομάκρυνσης των σωματιδίων

Τα συστήματα APC βασίζονται σε φυσικές και χημικές διαδικασίες οι οποίες εμπλέκονται στην απομάκρυνση των ρύπων από το ρεύμα των απαερίων. Ο πίνακας 4-1 δείχνει ποια μέθοδος απαιτεί υψηλό κόστος λειτουργίας και ποια είναι καλύτερης απόδοσης.

ΜΕΘΟΔΟΣ			ΞΗΡΗ	ΥΓΡΗ-ΞΗΡΗ	ΥΓΡΗ
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ			χαμηλό	μέτριο	συνήθως υψηλό
ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ					
κατανάλωση ασβέστη			μέτριο	χαμηλό	χαμηλό
κατανάλωση σόδας			δεν υπάρχει	δεν υπάρχει	μέτριο
κατανάλωση ενέργειας			χαμηλό	μέτριο	μέτριο
απαιτήσεις συντήρησης			πολύ χαμηλό	χαμηλό	μέτριο
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ					

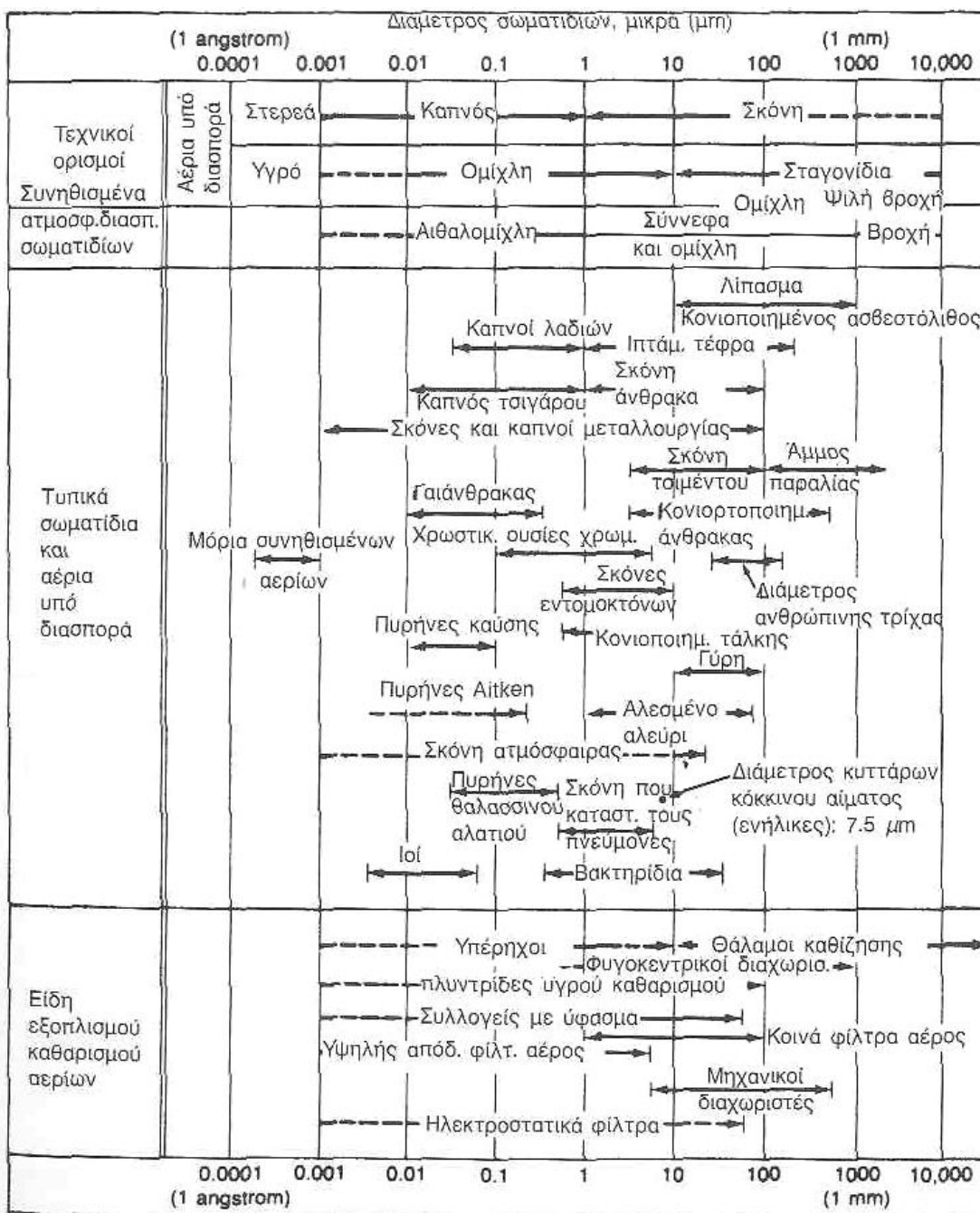
Σκόνη			πολύ υψηλή	πολύ υψηλή	υψηλή
HCl & HF			πολύ υψηλή	πολύ υψηλή	πολύ υψηλή
SO <sub>x</sub>			μέτρια	μέτρια	υψηλή
NO <sub>x</sub> *			χαμηλή	χαμηλή	δεν υπάρχει
Βαρέα μέταλλα			πολύ υψηλή	πολύ υψηλή	μέτρια
Υδρογονάνθρακες			πολύ υψηλή	πολύ υψηλή	μέτρια
<u>ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ</u>					
			υψηλή	μέτρια	πολύ υψηλή
*στα οξείδια του αζώτου δεν προσθέσαμε κανένα στάδιο όπως SCR ή SNCR					
ΠΗΓΗ: Flakt ,1991					

Πίνακας 4- 1: Σύγκριση μεθόδων επεξεργασίας απαερίων

#### 4.6. ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (C. DAVID COOPER & F.C. ALLEY,2002)

Τα απαέρια της καύσης όταν εξέλθουν από τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας περιέχουν κατά κύριο λόγο σκόνη / ιπτάμενη τέφρα με την μορφή των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και πτητικά όξινα αέρια όπως το υδροχλώριο (HCl) , το υδροφθόριο (HF), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και σε πολύ μικρότερες ποσότητες υδροϊώδιο (HI) και υδροβρώμιο (HBr) και οξείδια του φωσφόρου. Μια δεύτερη κατηγορία είναι οι λεγόμενοι τοξικοί ρύποι οι οποίοι θέλουν ιδιαίτερη μεταχείριση και αυτοί είναι οι σχηματισμοί των βαρέων μετάλλων αλλά και οι διοξίνες και τα φουράνια. Παρακάτω φαίνεται μία τυπική κατανομή εύρους σωματιδίων για διάφορες σκόνες .





Εικόνα 4- 4: Κατανομή σωματιδίων σε σχέση με την διάμετρο και την προέλευση τους

Όπως διαπιστώνουμε το εύρος των σωματιδίων που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε κυμαίνεται από τα 0.001 μm έως τα 1000 μm , δηλαδή 6 τάξεις μεγέθους διαφορά, πράγμα που σημαίνει ότι ο σχεδιασμός των συστημάτων οφείλει να πραγματοποιηθεί με ικανή απόδοση σε όλο αυτό το φάσμα.



#### 4.6.1. ΚΥΚΛΩΝΕΣ

Οι κυκλώνες λειτουργούν με της αρχή της φυγόκεντρου δυνάμεως και της αδράνειας των σωματιδίων που περιέχονται στα αέρια. Όταν τα σωματίδια εισέλθουν από την εφαπτομενική είσοδο, ρέουν προς τον πυθμένα του κυκλώνα ,προσκρούουν στις επιφάνειες και ανεβαίνουν προς την έξοδο, με σπειροειδή ροή λόγω του κατασκευαστικού τμήματος του κυκλώνα [εικόνα 4-5], η οποία αναγκάζει τα σωματίδια μεγέθους περίπου 5μm να ολισθήσουν προς το κάτω μέρος της συσκευής. Οι κυκλώνες από μόνοι τους δεν εξυπηρετούν την αυστηρή νομοθεσία σε αέριους ρύπους και κατ' επέκταση δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε μονάδες καύσης εκτός μόνο στην περίπτωση που χρειαστεί να ελαττωθεί το φορτίο στις τελικές συσκευές ελέγχου όπως τα σακόφιλτρα ή ηλεκτροστατικά φίλτρα. Ειδικότερα οι κατασκευαστές έχουν σημειώσει ότι για μεγέθη από 5 έως 10 μm μπορούν να υπάρξουν αποδόσεις συλλογής από 90 έως και 99% .

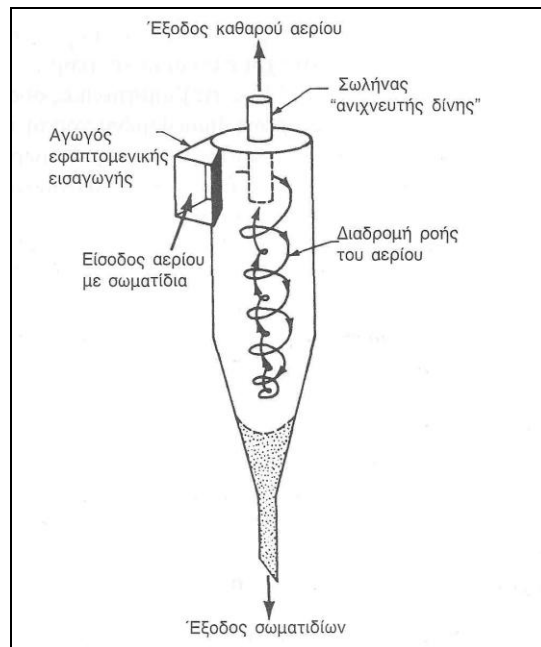
##### Πλεονεκτήματα των κυκλώνων

- Μικρό κόστος κεφαλαίου
- Δυνατότητα να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες
- Χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης εξαιτίας της απουσίας των κινούμενων μερών

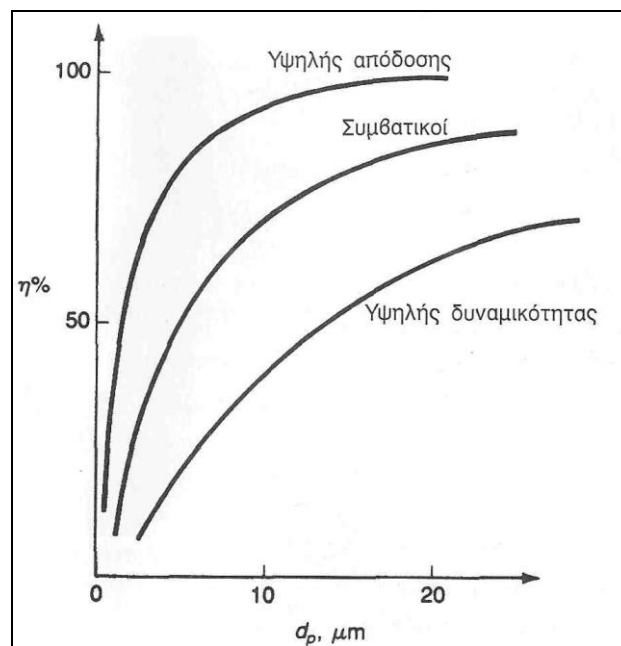
##### Μειονεκτήματα των κυκλώνων

- Χαμηλές αποδόσεις για τα μικρού μεγέθους σωματίδια
- Υψηλό κόστος λειτουργίας εξαιτίας της μεγάλης πτώσης πίεσης

Παρακάτω παραθέτουμε το διάγραμμα που δείχνει την απόδοση συλλογής έναντι του μεγέθους των σωματιδίων για τρεις κυκλώνες.



Εικόνα 4- 5: Τυπική διάταξη κυκλώνα



Εικόνα 4- 6: Γενική σχέση αποδόσεων συλλογής

#### 4.6.2. ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Το ηλεκτροστατικό φίλτρο περιλαμβάνει σαν διαδικασία τον ιονισμό των ρυπαντικών φορτίων που βρίσκονται στο ρεύμα του αέρα , την φόρτιση ,την μετακίνηση και την

συλλογή του ρυπαντικού φορτίου στις αντίθετα φορτισμένες πλάκες. Τέλος υπάρχει ο μηχανισμός απομάκρυνσης των υπολειμμάτων από τις πλάκες. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs) μπορούν να διαχειριστούν από ξηρές σκόνες μέχρι και σταγονίδια (aerosols). Η λειτουργία τους βασίζεται στο στεμματόμορφο αρνητικό πεδίο φόρτισης (corona) το οποίο χρησιμοποιείται για να ιονίσει τα μόρια του αερίου δημιουργώντας ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια συγκρούονται και προσκολλούνται στα ηλεκτροαρνητικά αέρια δημιουργώντας αρνητικά ιόντα. Κατά την φόρτιση τα ιόντα αυτά κατευθύνονται πάνω στα σωματίδια της σκόνης. Για σωματίδια 1μm αυτό το είδος φόρτισης είναι αποδεκτό ενώ για σωματίδια 0.2μm χρησιμοποιούμε φόρτιση διάχυσης.

Το σημαντικό σε αυτά τα συστήματα ελέγχου είναι ότι επεξεργάζονται την μάζα του ρύπου και όχι την μάζα των αερίων όπως οι άλλες συσκευές κάτι που σημαίνει χαμηλή πτώση πίεσης αέρα με μεγάλη απόδοση συλλογής. Οι αποδόσεις χαρακτηριστικά όπως παρουσιάζονται από τους κατασκευαστές αγγίζουν το 99.5 έως και το 99.9 % για σωματίδια μέχρι και 1 μm. Η θερμοκρασία εισαγωγής των αερίων μπορεί να ξεκινήσει από τους 200°C μέχρι και τους 375°C αλλά δεν μπορεί να πέσει κάτω από τους 200°C λόγω της επικινδυνότητας της διάβρωσης. Επιπρόσθετα στα ξηρά ESP πολλές φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν υγρά ESP αν υπάρχουν υγρά σωματίδια ή αν υπάρχει το ενδεχόμενο της έκρηξης. Το πρόβλημα στα ESP είναι τα ίχνη των οργανομεταλλικών τα οποία μπορούν να συμπυκνωθούν πάνω στις επιφάνειες του φίλτρου και τα σωματίδια τους να μην απομακρυνθούν.

#### Πλεονεκτήματα των ηλεκτροστατικών φίλτρων

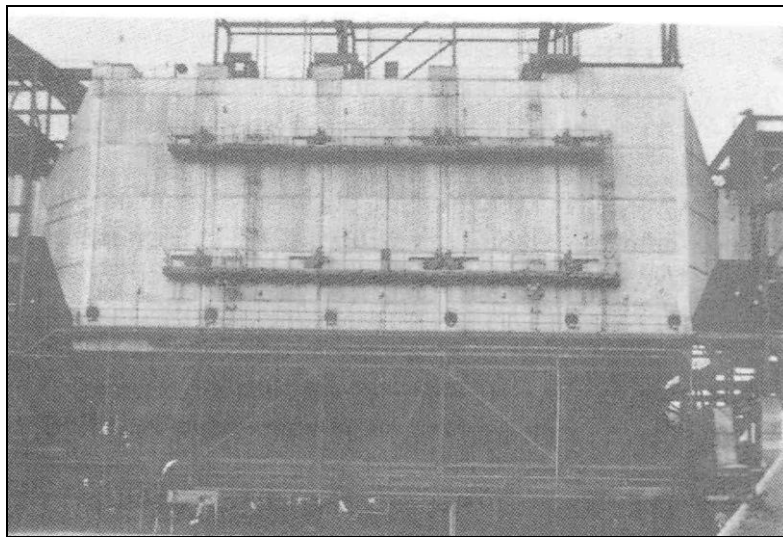
- Πολύ υψηλές αποδόσεις ακόμα και για πολύ μικρά σωματίδια
- Μπορούν να επεξεργάζονται μεγάλους όγκους αερίων με χαμηλή πτώση πίεσης
- Ξηρή συλλογή των πολύτιμων υλικών ή υγρή συλλογή για καπνούς και ομιχλώματα
- Μπορούν να σχεδιαστούν για μια εκτεταμένη περιοχή θερμοκρασιών
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας εκτός από τις πολύ υψηλές αποδόσεις

#### Μειονεκτήματα των ηλεκτροστατικών φίλτρων

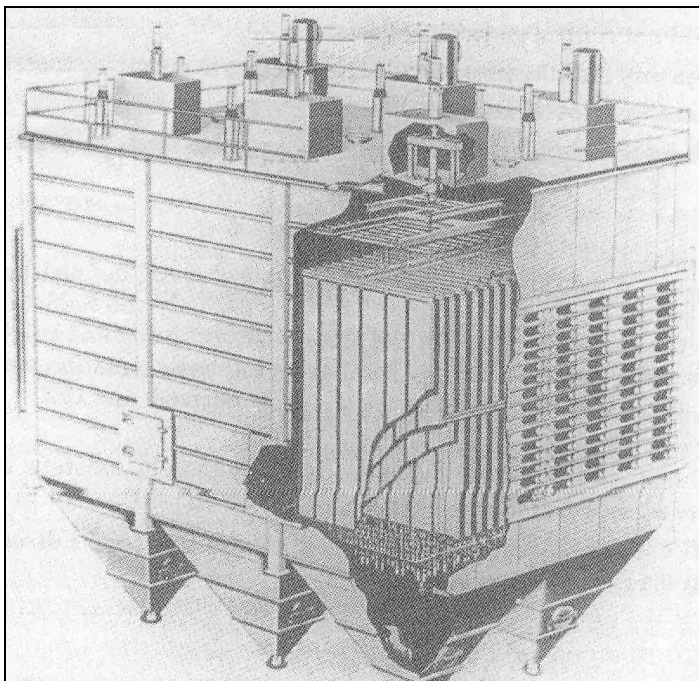
- Υψηλό κόστος επένδυσης
- Δεν ελέγχουν εκπομπές αερίων

- Δεν είναι πολύ ευέλικτα σε μεταβολές συνθηκών λειτουργίας από την στιγμή που θα εγκατασταθούν
- Καταλαμβάνουν πολύ χώρο
- Είναι πιθανό να μην λειτουργούν σε σωματίδια με πολύ υψηλή ηλεκτρική ειδική αντίσταση

Ένα χαρακτηριστικό ηλεκτροστατικό φίλτρο φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, το πρώτο σε υφιστάμενη μονάδα καύσης άνθρακα και το άλλο από μία κατασκευαστική εταιρεία.



**Εικόνα 4- 7: Εγκατεστημένο ESP σε μονάδα καύσης άνθρακα ισχύος 364 MW**



Εικόνα 4- 8: Όψη σε τομή ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου

#### 4.6.3. ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ

Τα σακόφιλτρα μπορούν να αντικαταστήσουν τα ηλεκτροστατικά φίλτρα σε περίπτωση που η θερμοκρασία των αερίων είναι χαμηλή και υπάρχει σοβαρός κίνδυνος διάβρωσης στα μεταλλικά μέρη του ESP . Η λειτουργία των σακόφιλτρων βασίζεται σε δύο μηχανισμούς , αρχικά τα σωματίδια διαπερνούν το σώμα των σάκων και η πλέξη του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένοι οι σάκοι τα συγκρατούν, στο επόμενο στάδιο τα επερχόμενα σωματίδια προσκρούουν πάνω στα ήδη υπάρχοντα εγκλωβισμένα σωματίδια στους σάκους με συνέπεια να αυξάνεται η πτώση πίεσης και κατά συνέπεια η απόδοση απομάκρυνσης. Οι σάκοι πρέπει να καθαρίζονται ανά τακτικά χρονικά διαστήματα ώστε να μην χρειαζόμαστε να καταναλώνουμε πολλή ενέργεια λόγω της αυξημένης πτώσης πίεσης. Τρεις είναι οι τύποι σακόφιλτρων ανάλογα με τον τρόπο καθαρισμού :

##### 4.6.3.1. ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ ΜΕ ΡΕΥΜΑ ΑΕΡΑ ΑΝΤΙΘΕΤΟΥ ΡΟΗΣ

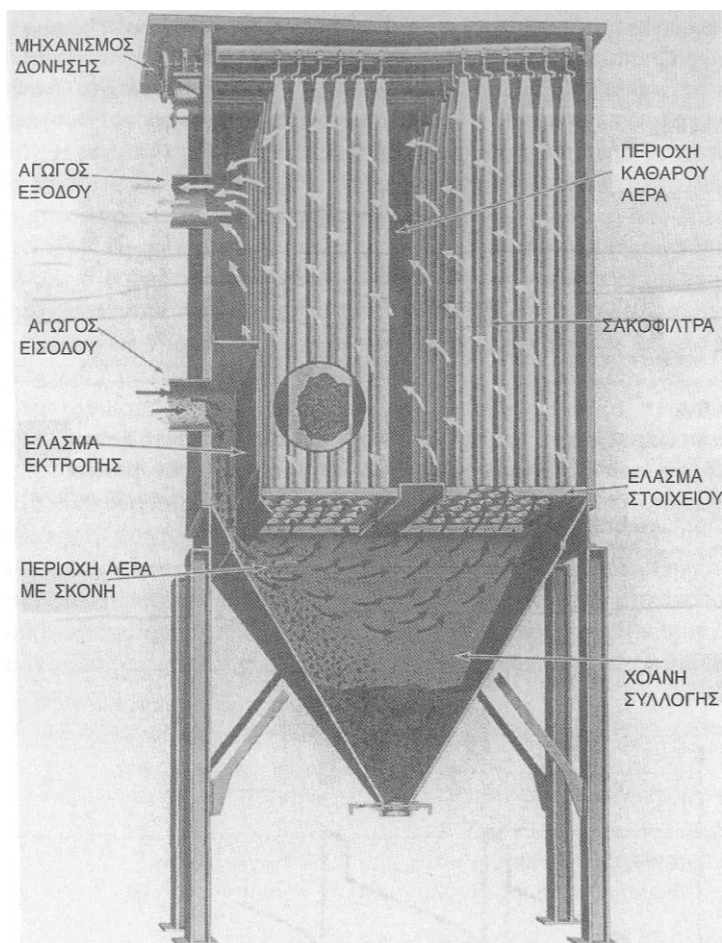
Οι τυπικές ταχύτητες που χρησιμοποιούνται στα σακόφιλτρα αυτού του είδους είναι περίπου 3-4 ft/min όμως η τιμή αυτή θα πρέπει να αυξομειώνεται εξαρτώμενη είτε από το φορτίο της σκόνης της μάζας των αερίων εκπομπών είτε από της διάμετρο που θέλουμε να επηρεάσουμε . Παραδείγματος χάριν αν θέλουμε να πέσουμε κάτω από τα 3  $\mu\text{m}$  τότε πρέπει

να μειώσουμε την συγκεκριμένη ταχύτητα κατά 20% ενώ αν θέλουμε να ξεπεράσουμε τα 50  $\mu\text{m}$  θα πρέπει αντίστοιχα να αυξήσουμε την ταχύτητα στο συγκεκριμένο ποσοστό. Τα σακόφιλτρα αυτού του είδους μαζί με τα σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση κατασκευάζονται με πολλά διαμερίσματα. Όταν είναι να καθαριστούν οι σάκοι απομονώνεται το συγκεκριμένο διαμέρισμα, εμφυσάται καθαρός αέρας αντίθετης ροής με αποτέλεσμα να αποσπάται η σκόνη. Ο καθαρισμός με ρεύμα αέρα αντιθέτου ροής είναι πιο ήπιος αλλά λιγότερο αποτελεσματικός. Τώρα τελευταία χρησιμοποιείται στις μεγάλες μονάδες καύσης άνθρακα και η βοήθεια των ηχητικών κυμάτων για μεγαλύτερη απόδοση.

#### 4.6.3.2. ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΟΝΗΣΗ

Η διαφορετική τους λειτουργία έγκειται στον καθαρισμό τους όπου οι σάκοι τινάζονται ώστε να συλλεχθεί η αποσπασθείσα σκόνη. Αυτή η μέθοδος μετά από κάποια περίοδο διαλύει τους σάκους οι οποίοι θα χρειάζονται αλλαγή πράγμα που αυξάνει το κόστος λειτουργίας. Η σκόνη που συλλέγεται στις χοάνες είτε επαναχρησιμοποιείται είτε διατίθεται.



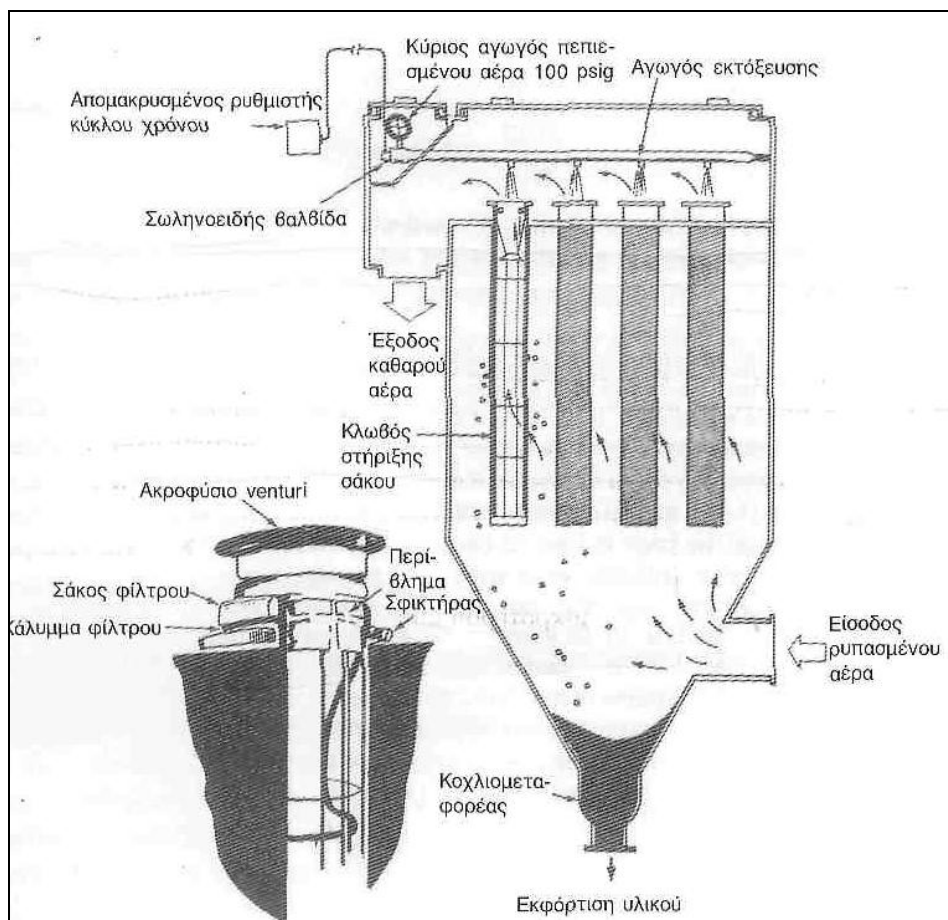


Εικόνα 4- 9: Σακόφιλτρο με μηχανική δόνηση

#### 4.6.3.3. ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ ΔΟΝΗΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΑ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Είναι τα σακόφιλτρα νέας γενιάς που χρησιμοποιούν ριπές αέρα με πίεση 90-100 psi για τον καθαρισμό των σάκων μέσα σε 30-100 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Το σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι δεν σταματά η ροή των αερίων καθώς έχει αρχίσει ο καθαρισμός των σάκων. Ο λόγος αέρα προς ύφασμα χρησιμοποιείται εδώ σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό από τις συμβατικές μεθόδους. Οι ταχύτητες διήθησης είναι μεγαλύτερες αλλά μειώνεται η καθαρή επιφάνεια υφάσματος και κατά συνέπεια το κόστος επένδυσης.





Εικόνα 4- 10:Σακόφιλτρο με πεπιεσμένο αέρα

#### Πλεονεκτήματα των σακόφιλτρων

- Πολύ υψηλές αποδόσεις ακόμα και για πολύ μικρά σωματίδια
- Μπορούν να λειτουργήσουν για μεγάλο εύρος σωματιδίων και ένα μεγάλο εύρος ογκομετρικών παροχών
- Αποτελούνται από διάφορα μηχανικά μέρη τα οποία μπορούν να προσυναρμολογηθούν στο εργοστάσιο κατασκευής
- Απαιτούν σχετικά χαμηλές πτώσεις πίεσης

#### Μειονεκτήματα των σακόφιλτρων

- Απαιτούν μεγάλες επιφάνειες δαπέδου έδρασης
- Τα υφάσματα μπορούν να πάθουν ζημιά από υψηλές θερμοκρασίες ή διαβρωτικά χημικά
- Δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε περιβάλλον υγρασίας ,τα υφάσματα θα γίνουν «τυφλά»

- Υπάρχει η πιθανότητα φωτιάς ή έκρηξης

Οι βασικοί παράγοντες σχεδιασμού είναι ο τύπος της μεθόδου καθαρισμού, ο τύπος του υφάσματος, η επιφάνεια του υφάσματος και η συνολική πτώση πίεσης. Συνήθως οι σάκοι από ίνες ύαλου έχουν χρόνο ζωής 1-2 χρόνια ενώ οι συνθετικής ύφανσης σάκοι 3-5 χρόνια. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τον σχεδιασμό των σακόφιλτρων.

Παράγοντας	Παρατηρήσεις
Θερμοκρασία και Υγρασία	Τα υφάσματα έχουν διαφορετικές μέγιστες επιτρεπόμενες θερμοκρασίες. Η λειτουργία πάνω από αυτές τις θερμοκρασίες μπορεί σύντομα να φθείρει τους σάκους. Οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν συμπίκνωση των οξέων και / ή τύφλωση του υφάσματος με υγρή σκόνη. Τα υγρά σωματίδια μπορούν να δημιουργήσουν γέφυρες στις χοάνες συλλογής. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνονται το ιξώδες και η ογκομετρική παροχή του αερίου. Και τα δύο τείνουν να αυξάνουν τις απαιτήσεις της πτώσης πίεσης.
Χημική Φύση του Αερίου	Τα διάφορα υφάσματα έχουν διαφορετικές αντιστάσεις στα οξέα και τα αλκάλια.
Φωτιά / Έκρηξη	Μερικά υφάσματα είναι εύφλεκτα· κάποιες σκόνες είναι εκρηκτικές.
Διάταξη σάκων	Είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη και η συντήρηση· η διάταξη των σάκων σε κάθετες σειρές είναι καλύτερη από την πυκνή τοποθέτηση. Η εξασφάλιση διαδρόμων κάθε μερικές σειρές θα ήταν μία καλή πρόβλεψη. Ο διαχωρισμός μερικών ιντσών μεταξύ των σάκων είναι ένα επαρκές διάκενο λειτουργίας.
Διακίνηση Σκόνης	Θα έπρεπε οπωσδήποτε να μελετώνται ο ρυθμός απομάκρυνσης (μάζας και όγκου) της σκόνης, το σύστημα μεταφοράς (πνευματικός αγωγός ή κοχλιομεταφορέας) και η κλίση της χοάνης συλλογής (η σκόνη πρέπει να απομακρύνεται με τη βαρύτητα).
Τοποθέτηση Ανεμιστήρα	Ένας ανεμιστήρας στην πλευρά του καθαρού αέρα (σακόφιλτρα “με βοήθεια ελκυσμού”) εξοικονομεί από τη δαπάνη συντήρησης του ανεμιστήρα και επιτρέπει τη χρήση ενός περισσότερο αποδοτικού ανεμιστήρα με πτερύγια με καμπύλη προς τα πίσω. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος απαιτεί μία αεροστεγή κατασκευή. Επιπροσθέτως, γενικά απαιτείται μία κατασκευή πιο σταθερή.

**Πίνακας 4- 2: Παράγοντες σχεδιασμού σακόφιλτρων**

Η φίλτρανση με σακόφιλτρα χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εφαρμογές ξηρής πλύσης για απαέρια αποτεφρωτήρων διότι μπορούν ταυτόχρονα να επεξεργαστούν και όξινα αέρια χωρίς πρόβλημα.

Οι τυπικοί λόγοι παροχής αέρα-σάκων έχουν αναλογία για τα σακόφιλτρα με αέρα υπό πίεση είναι περίπου 4:1 δηλαδή 4 m<sup>3</sup> αέρα φιλτράρονται κάθε λεπτό από 1m<sup>2</sup> σάκου ενώ οι λόγοι αυτοί για τα συμβατικά συστήματα αγγίζουν το 2:1 μέχρι και το 10:1.

#### **4.6.4. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

Όλα τα παραπάνω συστήματα που αναφέραμε λειτουργούν στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης σαν συσκευές απομάκρυνσης κυρίως των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας και όλων των αιωρούμενων σωματιδίων των στοιχείων που δεν ανήκουν στα παρακάτω στοιχεία ή αέρια:

- Όξινα αέρια όπως HCl, HF, NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub>
- Πτητικά στοιχεία είτε οργανικά είτε μεταλλικά

Για τους συγκεκριμένους ρύπους της καύσης ΑΣΑ πρέπει να τοποθετήσουμε ξεχωριστά συστήματα ελέγχου.

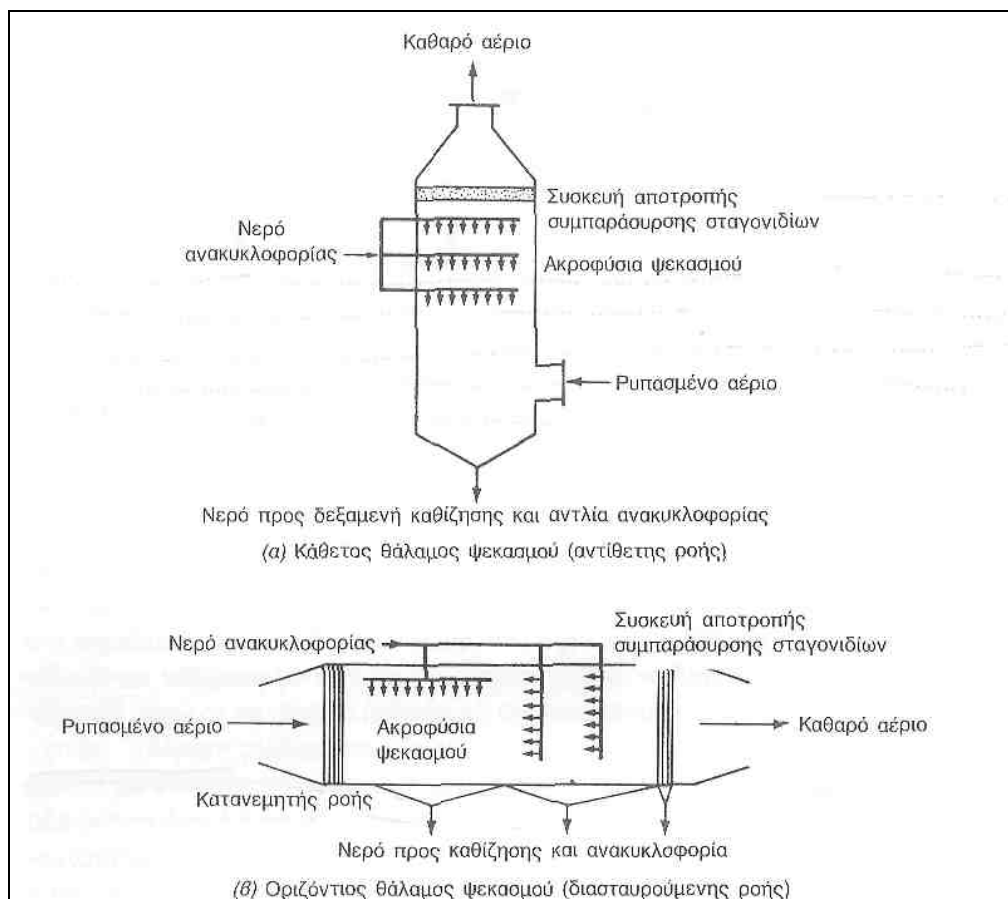
Τα αέρια των οξειδίων του αζώτου τα επεξεργαζόμαστε με αντιδραστήριο αμμωνίας ή ουρίας όπως θα δούμε παρακάτω.

Τα συστήματα που θα αναλύσουμε για την επεξεργασία των συγκεκριμένων ρύπων είναι :

- Τα υγρά συστήματα όπου τα απαέρια περνούν μέσα από υγρά διαλύματα
- Τα ξηρά συστήματα όπου το ρεύμα των απαερίων δεν φτάνει σε κορεσμό

##### **4.6.4.1. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΜΕ ΘΑΛΑΜΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ**

Στις πλυντρίδες αυτές ο φορτισμένος αέρας διέρχεται μέσω ενός κυκλικού ή ορθογωνικού θαλάμου και έρχεται σε επαφή με σταγονίδια υγρού που παράγονται από ακροφύσια ψεκασμού.

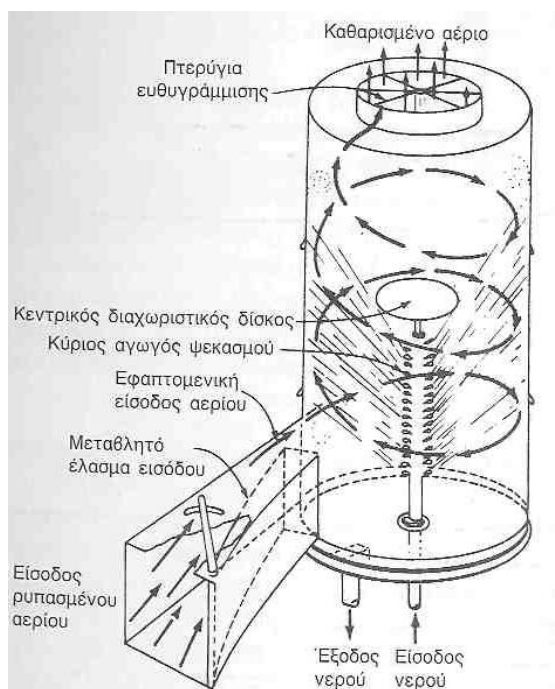


**Εικόνα 4- 11:Θάλαμοι ψεκασμού**

Οι απαιτήσεις σε υγρό συνήθως κυμαίνονται από 1,34L/m<sup>3</sup> έως 2,68 L/m<sup>3</sup> με την πίεση να μην ξεπερνάει τα 50 psi στα ακροφύσια ψεκασμού. Οι θάλαμοι ψεκασμού είναι ικανοί για βαθμούς απόδοσης περίπου 90% για σωματίδια μεγαλύτερα από 8 μm πράγμα που σημαίνει ότι δεν μπορούν να μας προστατεύσουν από τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας τόσο καλά όσο τα σακόφιλτρα ή τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Τυπικές τιμές πτώσης πίεσης αναφέρονται χαρακτηριστικά από 1 έως 4 ίντσες στήλης ύδατος.

#### **4.6.4.2. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΜΕ ΚΥΚΛΩΝΑ**

Οι πλυντρίδες ψεκασμού κατασκευάζονται με εφαπτομενική εισροή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα ώστε να επιτυγχάνονται μεγαλύτερες επιφανειακές ταχύτητες . Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν απόδοση 95 % για τα σωματίδια των 5 μm με τις τιμές των ταχυτήτων εισόδου να κυμαίνονται από 60 έως 45 m/s και τις επιφανειακές ταχύτητες να ανέρχονται στην τυπική τιμή των 3 m/s. Οι ρυθμοί ανακυκλοφορίας κυμαίνονται συνήθως κάτω από 1 L/m<sup>3</sup> και η πτώση πίεσης αναφέρεται από 4 έως 8 in ύδατος .



Εικόνα 4- 12: Πλυντρίδα ψεκασμού

#### 4.6.4.3. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΜΕ ΣΤΟΜΙΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΣΕ ΥΓΡΟ

Και στους δύο αυτούς σχεδιασμούς το μίγμα σταγονίδια – αέρα προσκρούει πάνω σε σταθερές επιφάνειες / διαφράγματα. Οι πλυντρίδες στομίου έχουν το πλεονέκτημα της χαμηλής ανακυκλοφορίας του νερού που μόλις μετά βίας φθάνει το  $0,1 \text{ L/m}^3$ . Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι για τις πλυντρίδες στομίου οι βαθμοί απόδοσης μπορούν να επιτύχουν απόδοση μέχρι και 90% για σωματίδια μέχρι και  $2 \mu\text{m}$  ενώ για τις πλυντρίδες πρόσκρουσης σε διαδοχικές πλάκες η απόδοση κυμαίνεται στο 97% για σωματίδια γύρω στα  $5 \mu\text{m}$ .

#### 4.6.4.4. ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ VENTURI ΚΑΙ VENTURI ΔΕΣΜΗΣ

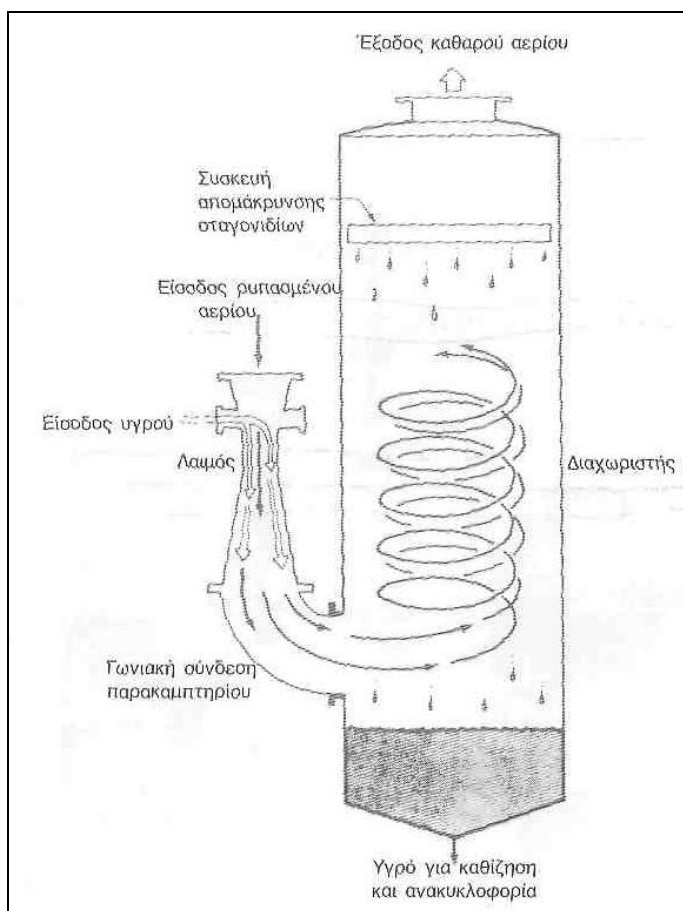
Η συλλογή των ρύπων σε μία πλυντρίδα venturi εμφανίζεται με δύο μηχανισμούς:

- Όξινα αέρια , υδροχλωρικό οξύ , διοξείδιο του θείου και υδροφθόριο απορροφούνται με ουδέτερη ή αλκαλική υδατική ομίχλη.
- Ιπτάμενη τέφρα και τα πτητικά βαρέα μέταλλα που συμπυκνώνονται σε καπνούς σε αδιαβατική θερμοκρασία κορεσμού, ή έχουν συμπυκνωθεί νωρίτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες στην εστία συλλέγονται με αδρανειακή πρόσκρουση.



Είναι σύνηθες σε μία μονάδα καύσης μία υγρή πλυντρίδα να συνδυάζεται με ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο, με το ESP να παρέχει τον έλεγχο όλου του όγκου των σωματιδίων και η χαμηλής πίεσης πλυντρίδα να παρέχει έλεγχο όξινου αερίου.

Οι υψηλές ταχύτητες που αναπτύσσονται σε αυτά τα συστήματα έχουν να κάνουν με την εκτόξευση του νερού σε χαμηλή πίεση στο λαιμό του venturi μέσω του οποίου διέρχεται αέρας με ταχύτητες 45 έως 150 m/s. Οι πλυντρίδες αυτού του τύπου μπορούν να επιτύχουν αποδόσεις συλλογής πάνω από 98 % για σωματίδια μεγαλύτερα από 0,5  $\mu\text{m}$ , όμως δυστυχώς απαιτεί μεγάλες πτώσεις πίεσης. Οι πλυντρίδες δέσμης venturi που αποτελούν τροποποίηση της πλυντρίδας venturi καταφέρνουν να επιτυγχάνουν αποδόσεις γύρω στο 92% για σωματίδια 1  $\mu\text{m}$ .



Εικόνα 4- 13: Πλυντρίδα venturi

#### **4.6.4.5. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΠΛΥΝΤΡΙΔΩΝ.**

Το νερό των πλυντρίδων λόγω της μεγάλης παροχής πρέπει να ανακυκλώνεται. Τα υγρά απόβλητα που προκύπτουν μετά την λειτουργία των συστημάτων οδηγούνται προς καθίζηση για να απομακρυνθούν τα στερεά σωματίδια. Το νερό μετά την επεξεργασία αποθηκεύεται προσωρινά σε θάλαμο στον πυθμένα του συστήματος των πλυντρίδων και επανέρχεται στην διαδικασία.

Ένα μικρό μέρος του νερού απαιτείται για να :

- Αντισταθμίσει τις απώλειες λόγω εξάτμισης
- Χρησιμοποιηθεί για να προστατέψει τα συστήματα από την δημιουργία αλάτων και μεγαλύτερων συσσωματωμάτων

Το επίπεδο κορεσμού του άλατος του χλωριούχου νατρίου είναι περίπου 400 g / l , ωστόσο η εμπειρία δείχνει ότι η λειτουργία σε μεγαλύτερα επίπεδα ολικών διαλυμένων στερεών TDS (total dissolved solids) μπορεί να προκαλέσει υπέρογκη παραγωγή συσσωματωμάτων ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες και στην ξήρανση ψεκασμού.

#### Πλεονεκτήματα των πλυντρίδων

- Μπορούν να χειριστούν εύφλεκτες και εκρηκτικές σκόνες με μικρό κίνδυνο
- Παρέχουν απορρόφηση αερίου με τους πύργους απορρόφησης όπως θα δούμε παρακάτω και συλλογή σκόνης σε μία και μόνο μονάδα
- Μπορούν να χειριστούν νεφελώματα σταγονιδίων
- Παρέχουν ψύξη θερμών αερίων
- Ο βαθμός απόδοσης συλλογής μπορεί να μεταβάλλεται
- Μπορούν να αδρανοποιηθούν διαβρωτικά αέρια και σκόνες

#### Μειονεκτήματα των πλυντρίδων

- Υψηλή πιθανότητα για προβλήματα διάβρωσης
- Η εκροή υγρών μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα ρύπανσης νερού
- Απαιτείται προστασία έναντι ψύξης ,τα εξερχόμενα αέρια ίσως απαιτούν επαναθέρμανση για αποφυγή ορατού πλουμίου
- Τα συλλεγόμενα σωματίδια πιθανόν να είναι ρυπασμένα και να μην μπορούν να ανακυκλωθούν



- Η διάθεση της λάσπης των αποβλήτων ίσως να είναι πολύ δαπανηρή

Ιδιαίτερα σε καύσεις αποβλήτων το ανθρακικό υλικό επειδή είναι υδρόφοβο συνήθως παγιδεύεται στην επιφάνεια του νερού. Στις πλυντρίδες venturi επιτυγχάνονται μεγάλες αποδόσεις λόγω της ισχυρής στροβιλότητας. Επειδή η συσκευή αυτή είναι αδρανειακός συλλεκτήρας, η απόδοση αυξάνεται με την ταχύτητα των αερίων και κατ' επέκταση θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε υψηλή πτώση πίεσης που μπορεί να αγγίξει και τις 60in ύδατος αν θέλουμε να πετύχουμε ένα όριο των 10 mg/m<sup>3</sup> ωστόσο οι 40in ύδατος είναι πιο τυπική τιμή για αποτέφρωση αποβλήτων.

Βέβαια οι πλυντρίδες όπως και οι προηγούμενες συσκευές δεν μπορούν να μας καλύψουν στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων, διοξινών και φουρανίων.

#### **4.6.4.6. ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ ΥΓΡΗΣ ΠΛΥΣΗΣ**

Υπάρχουν τρία αλκάλια που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στον υγρό καθαρισμό των όξινων αερίων και αυτά είναι :

- υδροξείδιο του νατρίου- καυστική σόδα (NaOH)
- όξινο ανθρακικό νάτριο – σκόνη σόδας (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)<sub>2</sub>).

Και τα τρία παραπάνω αλκάλια αντιδρούν σε στοιχειομετρική αναλογία. Η επιλογή τώρα του κατάλληλου υλικού βασίζεται σε τρεις παράγοντες : τον χειρισμό του διαλύματος, την διατήρηση της αντίδρασης και το λειτουργικό κόστος. Η σκόνη σόδας πωλείται σαν στερεό προϊόν και αποτελεί το πιο ακριβό μα το πιο εύχρηστο από τα αλκάλια. Το συγκεκριμένο αντιδραστήριο έχει μεγάλη διαλυτότητα στο νερό. Τα εν λόγω πλεονεκτήματα το καθιστούν προσιτό αλάλι σε μικρές τεχνολογικές δυνατότητες όπου οι χειριστές δεν είναι εξοικειωμένοι με τον χειρισμό καυστικών χημικών.

Το όξινο ανθρακικό νάτριο, το πιο ισχυρό από τα τρία αλκάλια μπορεί να αγοραστεί σε πελλέτες, διαλύεται εύκολα, είναι σε θέση να σχηματίζει ένα συγκεντρωμένο αλκάλι και μετράται εύκολα στον έλεγχο του pH του διαλύματος της πλυντρίδας. Το υδροξείδιο του ασβεστίου χρησιμοποιείται κατά κόρον για μεγάλες εφαρμογές και είναι πραγματικά φθηνότερο από τα δύο προαναφερθέντα αλκάλια σε μια μονάδα ουδετεροποίησης. Από την άλλη οι πλυντρίδες ασβεστίου χρησιμοποιούν διάλυμα παρά υγρό το οποίο αυξάνει της

απαιτήσεις της διατήρησης. Τα τελευταία χρόνια συνηθίζεται να εισάγεται στην πλύση των όξινων αερίων το διάλυμα τριμερκαπτοτρίαζίνης (TMT 15%) το οποίο χρησιμεύει στην καταβύθιση των βαρέων μετάλλων.

#### **4.6.4.7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ**

Μελετώντας οποιαδήποτε δυνατότητα επεξεργασίας των υπολειμμάτων , ο απώτερος σκοπός είναι πάντα να ελαχιστοποιείς το κόστος που συσχετίζεται με την διάθεση αυτών. Τα κατάλοιπα των πλυντρίδων περιέχουν διαλυτά στερεά και σωματίδια σε ποσοστό περίπου 3% του βάρους. Τα διαλυτά στερεά είναι κυρίως νάτριο και ασβέστιο ,και σουλφίδια από την ουδετεροποίηση των όξινων αερίων του υδροχλωρίου και του διοξειδίου του θείου. Όμως υπάρχουν και διαλυτά φθοριούχα ,βαρέα μέταλλα ,και ίχνη από διαλυτά οργανικά όπως οι διοξίνες και τα φουράνια . Μερικά από τα σωματίδια είναι ανθρακικά και μπορούν επίσης να περιέχουν απορροφημένες διοξίνες και βαρέα μέταλλα.

Επικρατούν τρεις επιλογές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων :

- Κατακρήμνιση υδροξειδίων για να καθιζάνουν τα υδροξείδια των βαρέων μετάλλων. Μετά από αυτήν την διαδικασία ακολουθείται φιλτράρισμα με ενεργό άνθρακα για να απομακρυνθούν τα οργανικά υπολείμματα. Ένας μικρός όγκος από λάσπη συγκεντρωμένων βαρέων μετάλλων και ενεργού άνθρακα πρέπει να διατίθεται σε ειδικές εγκαταστάσεις.
- Κατακρήμνιση σουλφιδίων και η οποία ακολουθεί την τακτική που περιγράψαμε παραπάνω.
- Ξήρανση ψεκασμού του υδατικού διαλύματος της διεργασίας των πλυντρίδων . Σε αυτή την περίπτωση όλα τα διαλυτά στερεά συμπεριλαμβανομένου του NaCl εξατμίζονται και παράγεται μία ξηρή σκόνη. Η θερμότητα από την εξάτμιση μπορεί να ανακτηθεί από τον αποτεφρωτήρα. Ένα μεγαλύτερο ποσοστό από ξηρό στερεό σχηματίζεται το οποίο και πάλι πρέπει να διατεθεί σε επιλεγμένους χώρους ή να επεξεργαστεί σε κατάλληλες μονάδες.

#### **4.6.5. ΞΗΡΕΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΓΙΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΑΕΡΙΩΝ**

##### **4.6.5.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΣΕ ΞΗΡΗ ΠΛΥΣΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ HCL /HF**

Οι πλυντρίδες ξηρού καθαρισμού είναι η δεύτερη κύρια επιλογή για έλεγχο εκπομπών από τους αποτεφρωτήρες ιατρικών αποβλήτων. Σε μία ξηρή πλυντρίδα το αλκαλικό αντιδραστήριο το οποίο χρησιμοποιείται για την απορρόφηση όξινων αερίων είναι στερεό συνήθως ξηρός ασβέστης αλλά περιστασιακά χρησιμοποιείται και δισανθρακικό νάτριο που έχει πιο βελτιωμένη λειτουργία στην δέσμευση SO<sub>2</sub>. Ο ασβέστης εισάγεται στο ρεύμα των απαερίων όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται από 140 έως 200°C και το επίπεδο υγρασίας είναι σταθερό. Το μείγμα των δύο φάσεων αέρια-στερεή διαπερνά σε σακκόφιλτρα όπου ο ασβέστης κατακάθεται στις επιφάνειες των σάκων έτσι και το ρεύμα φιλτράρεται περνώντας διαμέσου των σάκων. Οι σάκοι καθαρίζονται σε τακτικά χρονικά διαστήματα παράγοντας ένα μίγμα στάχτη - ασβέστη το οποίο οδηγείται προς διάθεση.

Οι ξηρές πλυντρίδες απομακρύνουν διαφορετικούς ρύπους με διάφορους μηχανισμούς :

- Τα όξινα αέρια απομακρύνονται με αντίδραση τους με τον ξηρό ασβέστη. Το υδροχλώριο αντιδρά και σχηματίζεται χλωριούχο ασβέστιο και το διοξείδιο του θείου σχηματίζει άλας θειικού ασβεστίου .
- Το υδροφθόριο αντιδρά και σχηματίζεται ένας αδιάλυτος τύπος φθοριούχου ασβεστίου.
- Η ιπτάμενη τέφρα και άλλα λεπτά σωματίδια φιλτράρονται από τα σακκόφιλτρα και τον πλακούντα του ξηρού ασβέστη.
- Τα μέταλλα συμπυκνώνονται στα καπναέρια και απομακρύνονται είτε με φιλτράρισμα, ή επιφανειακή απορρόφηση στην υψηλή ειδική επιφάνεια του ασβέστη.
- Οι διοξίνες ,τα φουράνια και τα βαριά οργανικά υπολείμματα απομακρύνονται με επιφανειακή απορρόφηση πάνω στον ασβέστη και στην ανθρακική ιπτάμενη τέφρα.

Διαμέσου αυτού του συνδυασμού των μηχανισμών ολόκληρο το φάσμα των ρύπων απομακρύνεται από την αέρια φάση και συγκεντρώνεται στην εκκένωση του εξαντλημένου ασβέστη από τα σακκόφιλτρα.

#### 4.6.5.2. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΕ ΞΗΡΕΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε το δεύτερο μισό του 1980 από την Environment Canada και είναι γνωστή σαν έρευνα NITEP (ELSEVIER ,1997) , (National Incinerator Testing and Emission Program) (Εθνικό Πρόγραμμα Ελέγχου και Δοκιμής Αποτεφρωτήρων) περιελάμβανε χαρακτηρισμό των εκπομπών των αποτεφρωτήρων και απόδοση των συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης.

Δεδομένου ότι με μία υγρή πλυντρίδα η κύρια παράμετρος που μπορεί να ποικίλει είναι η πτώση πίεσης , η συλλογή όλων των ρύπων αυξάνει με την αύξηση της πτώσης πίεσης. Υπάρχουν περίπλοκες επιδράσεις των μεγεθών της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε μία λειτουργία.

Μέρος του προγράμματος NITEP αποτελούσε και η μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας της ξηρής πλυντρίδας στην απόδοση .Μελετήθηκαν τέσσερα επίπεδα των 110, 125, 140 και 200°C .Σε κάθε επίπεδο θερμοκρασίας μελετήθηκαν επίσης τρεις κατηγορίες ρύπων που ήταν τα οργανικά ,τα μέταλλα και το υδροχλώριο.

Τα συμπεράσματα ήταν ενθαρρυντικά, υπήρχε σημαντική πτώση στην απόδοση της ξηρής πλυντρίδας καθώς η θερμοκρασία αυξανόταν από τους 140°C μέχρι και πάνω από τους 200°C. Τα στοιχεία τα οποία έδειξαν απώλειες στην απόδοση συλλογής ήταν το χλωροβενζένιο, τα PCBs, η χλωροφαινόλη , ο υδράργυρος και το υδροχλώριο.

Δεν διαπιστώθηκε καθόλου απομάκρυνση υδραργύρου στην ξηρή πλυντρίδα στην υψηλότερη θερμοκρασία .

Πρόσφατες έρευνες ξηρών πλυντρίδων έδειξαν ότι η απομάκρυνση υδραργύρου βελτιώνεται με φτωχότερη απόδοση καύσης δηλαδή περισσότερη ανθρακική ιπτάμενη τέφρα. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο υδράργυρος λόγω του χαμηλού σημείου ζέσεως ,περνάει διαμέσου των πλυντρίδων και δεν δεσμεύεται από τον ασβέστη. Ωστόσο φέρεται να δεσμεύεται από τον ενεργό άνθρακα ή απο άκαυστα υλικά στην ιπτάμενη τέφρα. Σαν συνέπεια όπως διαπιστώθηκε αργότερα οι διαχειριστές των ξηρών πλυντρίδων χρησιμοποιούν έκχυση ενεργού άνθρακα για να επιτύχουν πλήρη απομάκρυνση υδραργύρου. Άλλες μονάδες χρησιμοποιούν σουλφίδια του νατρίου στο ρεύμα των απαερίων.

Οι υγρές πλυντρίδες λόγω των συνθηκών κορεσμού που επικρατούν δεν είναι δυνατόν να παρέχουν αρκετή ψύξη στα απαέρια. Οι ξηρές πλυντρίδες είναι περισσότερο ευαίσθητες στην περιεκτικότητα της υγρασίας και απαιτούν ένα περίπλοκο σύστημα συνθηκών περιβάλλοντος. Μία τελική φόρμουλα ψεκασμού έχει ως στόχο να μειώσει την θερμοκρασία στους 140°C περίπου χωρίς να το διαποτίζει πριν να εισέλθει στα σακκόφιλτρα.. Ενώ είναι σημαντικό να διατηρείται μία μερική υψηλή πίεση του νερού για να εξασφαλιστεί καλή δέσμευση του SO<sub>2</sub> , είναι πολύ σημαντικό να μην κορεστεί το ρεύμα των απαερίων εισερχόμενο στην πλυντρίδα ή να μην υπερβεί την κρίσιμη τιμή[Rice, R.W. and Bond, G.A., 1990] .Ο Brereton [Brereton, C., 1990] εξηγεί το σύστημα νερού - CaCl<sub>2</sub> στις θερμοκρασίες των σακκόφιλτρων .Το χλωριούχο ασβέστιο υπάρχει στα συστήματα σαν αποτέλεσμα της ουδετεροποίησης του HCl από τον ξηρό ασβέστη.

Εάν η μερική πίεση του νερού στα σακκόφιλτρα είναι πάνω από μια κρίσιμη τιμή ,τότε το CaCl<sub>2</sub> θα υγροποιηθεί και μαζί με τον ασβέστη θα σχηματίσει ένα στερεό συμπαγές σαν το σκυρόδεμα το οποίο θα φράξει τους σάκους. Στην πρακτική ,καλός σχεδιασμός απαιτείται κάτω από την κρίσιμη τιμή αφού και μία ακαριαία αλλαγή στο επίπεδο της υγρασίας μπορεί να έχει εξίσου άσχημα αποτελέσματα.

Ειδική προσοχή πρέπει να δοθεί στα μπέκ ψεκασμού με ροή προς τα κάτω .Εάν το μέγεθος του ψεκαστήρα είναι μεγάλο ,είναι δυνατό για τις ατελείς εξατμισμένες σταγόνες νερού να σχηματιστεί λίμνη από υγρό ή διάλυμα στάχτης στην βάση του πύργου πλύσης. Αυτή η μάζα του υγρού καθυστερεί την απόκριση του συστήματος της θερμοκρασίας εισόδου στα σακκόφιλτρα η οποία ελέγχει το ποσοστό ψεκασμού νερού, και κάνει φτωχό έλεγχο της θερμοκρασίας των απαερίων και της περιεκτικότητας της υγρασίας.

#### **4.6.6. ΥΓΡΕΣ-ΞΗΡΕΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΓΙΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΑΠΑΕΡΙΩΝ**

Μία υγρή-ξηρή πλυντρίδα θεωρητικά είναι όμοια με μία ξηρή πλυντρίδα ,ωστόσο η τελική πλύση και η προσθήκη του ασβέστη επιτυγχάνονται ταυτόχρονα εισάγοντας ένα διάλυμα ασβέστη-νερού αντί του ξηρού ασβέστη. Το πλεονέκτημα είναι ότι το διάλυμα μπορεί να ψεκαστεί για την δέσμευση του SO<sub>2</sub>. Το συνολικό αποτέλεσμα δείχνει βελτιωμένη κατάσταση στον έλεγχο της ρύπανσης , όμως δύναται να υπάρξουν προβλήματα λειτουργίας όπως η διάβρωση του ακροφυσίου .

Οι υγρές πλυντρίδες χρησιμοποιώντας υγρά αντιδραστήρια επιτυγχάνουν 100% χρησιμοποίηση αλκαλίου. Τα αλκάλια είναι ευρέως διαθέσιμα, όμως τα ξηρά συστήματα

πλύσης όπου επικρατεί αντίδραση μεταξύ του αερίου και των σωματιδίων, υποφέρουν από περιορισμούς διάχυσης και «φράξιμο» της επιφάνειας από τα σωματίδια. Για αυτό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται μεγάλη ποσότητα αλκαλίου.

#### **4.7. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΝ**

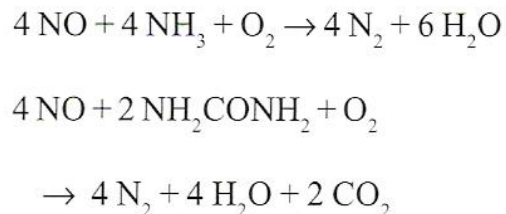
Βλέπουμε ότι η ξηρή πλύση αποκτά φήμη σε εγκαταστάσεις ΑΣΑ τα τελευταία χρόνια και η τεράστια ποικιλία που ήδη υπάρχει στις επιλογές πλύσης καθιερώνει την μέθοδο αυτή. Γενικά τα συστήματα υγρής πλύσης παρέχουν καλύτερο έλεγχο στα όξινα αέρια αλλά προσφέρουν μειωμένες αποδόσεις στην απομάκρυνση των σωματιδίων. Η μείωση των NOx από τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης είναι μια διεργασία που πρέπει να καθοριστεί αυστηρά όπως φαίνεται παρακάτω.

#### **4.8. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΞΗΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

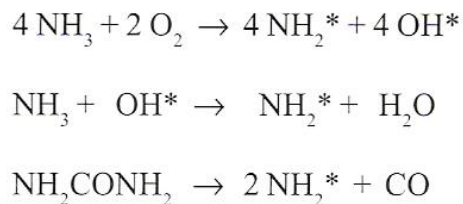
Τα πτητικά μέταλλα και οι οργανικές ουσίες καταδεικνύουν μια υψηλή συγγένεια για την προσρόφηση επιφάνειας, εισάγοντας κατά συνέπεια ένα λεπτά όξινο αντιδραστήριο αερίου στα απαέρια δημιουργούμε μια μεγάλη επιφανειακή περιοχή. Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται γενικά είναι και η ανακυκλοφορία των υπολειμμάτων σκόνης από τα σακόφιλτρα ή τα ESPs στην πλύση του SO<sub>2</sub> ούτως ώστε να μην χρησιμοποιούμε μεγάλες ποσότητες αντιδραστηρίων. Μερικές έρευνες δείχνουν ότι η διαδικασία της απομάκρυνσης του διοξειδίου του θείου απαιτεί περισσότερη υγρασία για να είναι αποτελεσματική και ο μερικώς χρησιμοποιημένος ροφητής περιέχει CaCl<sub>2</sub> που έχει μια υψηλή συγγένεια για την υγρασία.

#### **4.9. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ( C. DAVID COOPER & F.C. ALLEY, 2002)**

Διακρίνονται παρακάτω πως αναπτύσσονται σε μία μονάδα καύσης οι αντιδράσεις των οξειδίων του αζώτου και πως καταστέλλεται η δράση τους με έκχυση αμμωνίας.



**Εικόνα 4- 14:Αντιδράσεις οξειδίων του αζώτου**



**Εικόνα 4- 15:Αντιδράσεις αμμωνίας**

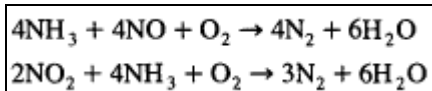
Οι εκπομπές των NO<sub>x</sub> από τους αποτεφρωτήρες ΑΣΑ συγκρινόμενες με αυτές που προκύπτουν από τα εργοστάσια καύσης ορυκτών καυσίμων όπως εργοστάσια παραγωγής ενέργειας από άνθρακα ή τσιμεντοβιομηχανίες είναι σαφώς μικρότερες αφού οι θερμοκρασίες της φλόγας είναι χαμηλότερες και χρησιμοποιείται λιγότερο καύσιμο άζωτο. Για τις εγκαταστάσεις καύσης άνθρακα οι αρχικές μέθοδοι μείωσης NO<sub>x</sub> εμπλέκουν την εγκατάσταση των πολλαπλών σταδίων καυστήρων και της ανακυκλοφορίας των απαερίων. Η ανακυκλοφορία των απαερίων είναι εφαρμόσιμη σε περιορισμένη έκταση στις δραστηριότητες των ΑΣΑ και επιπλέον ο δευτερεύων αέρας μπορεί να εισαχθεί σε διάφορα στάδια ώστε να δημιουργήσει ένα σταθερό περιβάλλον καύσης. Οι περισσότερες τεχνικές που αναπτύσσονται και αφορούν την μείωση των NO<sub>x</sub> είναι τεχνικές μετάκαυσης. Υπάρχουν τρεις βασικές λύσεις, η επιλογή των οποίων θα εξαρτηθεί από τις υπόλοιπες συσκευές στο σύστημα ελέγχου αερίων εκπομπών (APC) και τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών.

Αυτές οι επιλογές είναι :

- Μη-εκλεκτική , μη καταλυτική αναγωγή (SNCR)
- Εκλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR)
- Υγρή τεχνολογία



Οι ξηρές τεχνολογίες αναγωγής NO<sub>x</sub> , SCR και SNCR εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την έκχυση αμμωνίας .Η αμμωνία αντιδρά με τα οξείδια του νατρίου που βρίσκονται στην αέρια φάση και σχηματίζεται ενδιάμεσο το οποίο αποσυνθέτει τις παραπάνω ενώσεις σε άζωτο και νερό σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις :



Εικόνα 4- 16:Αντιδράσεις σχηματισμού αζώτου

Στην SCR μέθοδο ο καταλύτης μειώνει την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης επιτρέποντας στο άζωτο να εμφανιστεί στις χαμηλές θερμοκρασίες των απαερίων. Υπάρχει ένα λειτουργικό παράθυρο για την SCR ανάμεσα 250 και στους 500 °C που εξαρτάται από τον ειδικό καταλύτη που ενεργοποιείται. Για την SNCR ,υπάρχει ένα μικρότερο παράθυρο θερμοκρασιών που αφορά την έκχυση της αμμωνίας ανάμεσα στους 870 και στους 950°C. Πάνω από την θερμοκρασία αυτή ,η αμμωνία οξειδώνεται προς NO ενώ κάτω από το θερμοκρασιακό παράθυρο ,το ποσοστό της αναγωγής μειώνεται ακαριαία [McInnes et al., 1990].Αυτές οι διαφορές επιτρέπουν στην SCR να επιτύχει αναγωγή NO<sub>x</sub> με περίσσεια 90% ενώ στη SNCR το ποσοστό αυτό περιορίζεται 30% με 80%. Και οι δύο τεχνολογίες μπορούν να μετασκευαστούν στους θαλάμους καύσης, αλλά η SCR που είναι θεωρητικά και πιο ακριβή, επειδή απαιτεί ένα στρώμα καταλύτη, συχνά περιορίζεται από διαθέσιμο χώρο.

Τα επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής συστήματα έχουν εμπειρία σε θεωρητικά προβλήματα κατά τον χρόνο εφαρμογής τους. Εξαιτίας της απαιτούμενης θερμοκρασίας λειτουργίας τοποθετούνται μετά το ρεύμα ροής ,τους economizers και τους θερμαντήρες αέρα.. Από την άλλη μεριά οι καταλύτες έχουν την προδιάθεση να φράζουν ,να διαβρώνονται και να δηλητηριάζονται από μεταλλικά στοιχεία στα απαέρια.

Επίσης οι ενώσεις των SO<sub>2</sub> και SO<sub>3</sub> στα απαέρια θα αντιδράσουν με την αμμωνία και θα σχηματίσουν αμμωνιακά δισουλφίδια τα οποία θα επικαθίσουν πάνω στην επιφάνεια του καταλύτη. Αυτά τα προβλήματα συνεχώς ελαττώνονται με τις ανανεώσεις της τεχνολογίας των καταλυτών[McInnes et al., 1990]. Καλή αναγωγή μπορεί να επιτευχθεί με λιγότερο από 5 ppmv αμμωνίας στα απαέρια.

Οι νέες τεχνολογίες καταλύτες μπορούν να αποκτηθούν με δεδομένα χαρακτηριστικά όπως να έχουν αντίσταση στην επίθεση του HCl και στο φράξιμο.

Αναπτυξιακές δραστηριότητες στους καταλύτες SCR είναι συνεχείς και θα έχουν αποτέλεσμα σε βαθμιαία χαμηλότερα κόστη για αυτό το είδος της τεχνολογίας. Για παράδειγμα οι βαριές βιομηχανίες της MITSUBISHI έχουν αναπτύξει ένα σακκόφιλτρο από ίνες υάλου εμποτισμένο με πεντοξείδιο του βαναδίου το οποίο αντιδρά όπως ο καταλύτης SCR. Με αυτό τον τρόπο η συναρμολόγηση SCR αναπτύσσεται μέσα στο σύστημα της ξηρής πλύσης πράγμα το οποίο οδηγεί σε μείωση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας[Chemical Engineering Magazine, 1992].

Όπως σημειώθηκε νωρίτερα υπάρχουν αποδείξεις ότι η αμμωνία είναι ταυτόχρονα αποτελεσματική στην μείωση του σχηματισμού των διοξινών και εφαρμόζεται με κατάλληλους καταλύτες. Η BASF στην Γερμανία ανέπτυξε μία SCR μέθοδο που μπορούσε ταυτόχρονα να μειώσει τα NOx και τις διοξίνες κάτω από το όριο των 0,1ng/m<sup>3</sup> με έναν συνδυασμό καταλυτών[Chemical Engineering Magazine, 1993].

Γενικά η μέθοδος SCR είναι ενδιαφέρουσα παρόλο το υψηλό κόστος της. Η συγκεκριμένη μέθοδος αναπτύσσεται ως μία από τις περιορισμένες τεχνολογίες η οποία μπορεί να απομακρύνει τα οξείδια του αζώτου σε μεγάλη κλίμακα και μπορεί να βοηθήσει στην μείωση της ακριβής τεχνολογίας του ενεργού άνθρακα για τις διοξίνες και τα φουράνια.

Η επιλεκτική μη καταλυτική αναγωγή χρησιμοποιείται περισσότερο από την SCR εξαιτίας του χαμηλότερου κόστους επένδυσης και της τάσης στην νομοθεσία να επιβάλλει ανεκτά όρια στις εκπομπές των ρύπων αυτών.

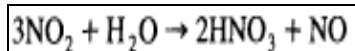
Τυπικά όπως δείχθηκε παραπάνω χρησιμοποιούμε αμμωνία ή διάλυμα αμμωνίας σαν αναγωγικό μέσο ωστόσο διάφορες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν ουρία επειδή είναι πιο εύκολη στην χρήση. Η επιτυχής εφαρμογή εξαρτάται στην καλή και γρήγορη ανάμιξη της αμμωνίας λόγω του μικρού θερμοκρασιακού παραθύρου που αναφέραμε ότι είναι διαθέσιμο για τις μη καταλυτικές αντιδράσεις. Τα προβλήματα με την SNCR είναι σε μεγάλο βαθμό τα ίδια με την SCR με την εξαίρεση του φραξίματος του καταλύτη.

Η δόση της αμμωνίας είναι υψηλότερη διότι για μη καταλυτικές συνθήκες χρειάζεται περίσσεια αμμωνίας, και έτσι τα ορατά πλούμια χλωριούχου αμμωνίου μπορεί να είναι προβληματικά. Με καλή λειτουργία η δόση της αμμωνίας μπορεί να περιοριστεί κάτω από τα 10 ppm και η οποία θα ελαχιστοποιήσει την επίδραση. Από την άλλη το φράξιμο

εξαιτίας των θειούχων αμμωνίων και των δισουλφιδίων στις χαμηλής θερμοκρασίας επιφάνειες αλλαγής θερμότητας μπορεί να είναι πρόβλημα στην απουσία καλού ελέγχου και βελτιστοποίησης του λόγου  $\text{NH}_3/\text{NO}$ . Υπάρχουν αποδείξεις από την καύση άνθρακα [Humphries, W. et al., 1991] ότι η αμμωνία επηρεάζει την μάζα της σκόνης κάνοντας την πιο συνεκτική και έτσι μειώνονται οι αέριες εκπομπές σωματιδίων ωστόσο για τις μονάδες καύσης ΑΣΑ δεν έχει αποδειχτεί κάτι τέτοιο

Τα  $\text{NO}_x$  παρόλο που είναι όξινα αέρια είναι αποδεδειγμένα πιο δύσκολα να τα απομακρύνεις από τα άλλα αέρια  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$  ή  $\text{HF}$ . Ο λόγος είναι ότι στις υψηλές θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται τα  $\text{NO}_x$  επικρατούν πάνω από 90% (όπως το  $\text{NO}$ ) και λιγότερο από 10% (όπως το  $\text{NO}_2$ ). Το οξείδιο του νατρίου  $\text{NO}$  έχει τρομερά χαμηλή επαναενεργοποίηση και διαλυτότητα στο νερό που το κάνουν μη αποδεκτό στα μέτρα ελέγχου όξινων αερίων όπως η υγρή ή ξηρή πλύση χρησιμοποιώντας συμβατικά αλκάλια. Οι υγρές προσεγγίσεις στην απομάκρυνση  $\text{NO}$  βασίζονται σε δύο μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω:

- Στην προσέγγιση οξείδωσης –απορρόφησης το  $\text{NO}$  οξειδώνεται σε  $\text{NO}_2$  μέσω ενός οξειδωτικού παράγοντα οποίος είναι ένα διάλυμα κυρίως χλωριούχο νάτριο σε pH 3 ή 4. Το  $\text{NO}_2$  που είναι πολύ διαλυτό μετά απορροφάται είτε στο διάλυμα που βρίσκεται στην πλυντρίδα ή σε άλλη πλυντρίδα σαν νιτρικό οξύ και με την αποδέσμευση πάλι ενός μορίου.



Εικόνα 4- 17:Αντίδραση σχηματισμού νιτρικού οξέος

Τέλος σε μία αντίθετης ροής πλυντρίδα το  $\text{NO}$  ξαναοξειδώνεται με αποδόσεις θεωρητικά μεγάλες. Αυτή η μέθοδος οξείδωσης –απορρόφησης εφαρμόζεται σε πολλές Γερμανικές μονάδες[Bma, T.G., 1988] .

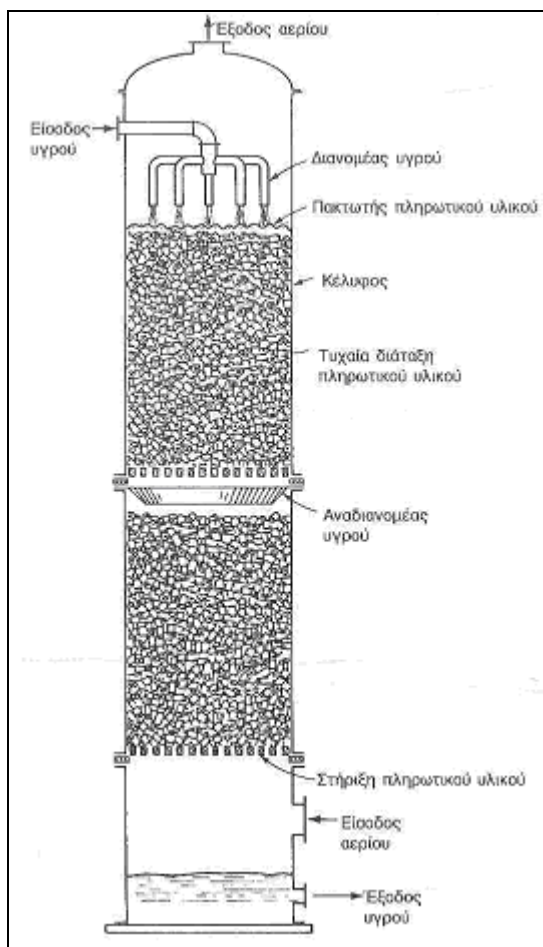
- Η εναλλακτική πρόταση στην οξείδωση –απορρόφηση είναι η απορρόφηση –αναγωγή. Σε αυτή την περίπτωση το  $\text{NO}$  απορροφάται σε διάλυμα που περιέχει σιδηρούχα ιόντα και EDTA ώστε να σχηματιστούν σύμπλοκα. Αυτά αντιδρούν με τα ιόντα  $\text{HSO}_3$  και  $\text{SO}_3^{2-}$ , από την απορρόφηση του  $\text{SO}_2$  και δίνουν άζωτο και  $\text{SO}_4^{2-}$ . Πάλι σύμφωνα με τον Brna [Bma, T.G., 1988], αυτό εφαρμόστηκε στην

Γερμανία με κόστος χημικών ανάμεσα στα 2,6€ και 6,5€ ανά τόνο καιγόμενου απορρίμματος.

Και οι δύο υγρές προσεγγίσεις θα μπορούσαν να εφαρμοστούν μαζί με υγρή πλύση όξινων αερίων  $\text{HCl}$  και  $\text{SO}_2$ , και πιθανόν των υπολειμματικών σωματιδίων. Εναλλακτικά ίσως να ήταν καλύτερο να απομακρύνουμε τα σωματίδια σε ένα σακκόφιλτρο υψηλής θερμοκρασίας ή ένα ESP έτσι ώστε να μειώσουμε τα φορτία των μετάλλων στο διάλυμα των πλυντρίδων.

Εν συντομία ,οι τεχνικές απομάκρυνσης  $\text{NO}_x$  είναι γενικά διαθέσιμες και μπορούν να επιτύχουν καλά αποτελέσματα σε σχέση με τα επιτρεπόμενα όρια. Ωστόσο η χρήση οποιασδήποτε τεχνικής διαφορετικής από την SNCR η οποία μπορεί να επιτύχει έναν παράγοντα μείωσης 2 εμπλέκει ένα σημαντικό κεφάλαιο επένδυσης. Και αυτό πρέπει να αντισταθμιστεί με το περιβαλλοντικό κόστος.

#### **4.10. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ( C. DAVID COOPER & F.C. ALLEY, 2002)**



**Εικόνα 4- 18:Σχηματική διάταξη πύργου απορρόφησης**

Για να απομακρύνουμε τα όξινα αέρια της καύσης χρησιμοποιούμε την ιδιότητα της απορρόφησης των αερίων που περιλαμβάνουν την διάχυση της ουσίας στην διεπιφάνεια αερίου-υγρού με τελική κατάληξη την διασπορά της στο υγρό.

Ο πύργος απορρόφησης που χρησιμοποιούμε εντάσσεται στα συστήματα πλύσης που αναφέραμε πιο πάνω και λειτουργεί με πληρωτικό υλικό οποιασδήποτε γεωμετρικής μορφής το οποίο έχει την ιδιότητα να προάγει την μέγιστη επαφή αερίου-υγρού με χαμηλή πτώση πίεσης. Για τα όξινα αέρια χρησιμοποιούμε αλκαλική πλύση σε πύργο απορρόφησης με την βοήθεια κάποιου χημικού στοιχείου επιπλέον.

Κατά την διάρκεια της καύσης παράγονται διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου λόγω της ποσότητας S που υπάρχει είτε στα απορρίμματα είτε και στο καύσιμο που τυχόν χρησιμοποιήσουμε.

Οι δύο βασικές μέθοδοι κατάταξης συστημάτων αποθείωσης (FGD) είναι :

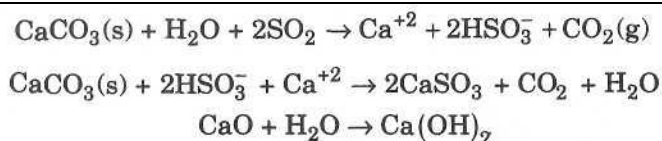
- απόρριψη ή αναγέννηση
- υγρή ή ξηρή

#### 4.10.1. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ

Οι υγρές διεργασίες απόρριψης που συζητήθηκαν εδώ περιλαμβάνουν συνήθη λάσπη ασβεστόλιθου (ή καθαρισμό με ασβεστόλιθο), καθαρισμό με ασβέστη, διπλό αλκάλι, εξαναγκασμένη οξείδωση (εξωτερικά) και παρεμποδισμένη οξείδωση.

Βασικά, όλα αυτά τα συστήματα FGD αναμένεται να είναι συστήματα καθαρισμού με ασβεστόλιθο (limestone-scrubbing systems), το παλαιότερο και το περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα FGD σε όλο τον κόσμο.

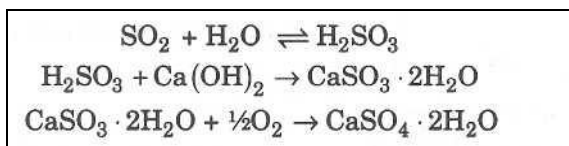
Στον καθαρισμό με ασβεστόλιθο (limestone scrubbing), αραιή λάσπη ασβεστόλιθου έρχεται σε επαφή με τα αέρια καύσης σε πύργο ψεκασμού (spray tower). Το διοξείδιο του θείου απορροφάται, εξουδετερώνεται και οξειδώνεται μερικά σε θειώδες ασβέστιο και θειικό ασβέστιο. Η στοιχειομετρία συνολικά μπορεί να παρουσιαστεί ως ακολούθως:



Εικόνα 4- 19:Αντιδράσεις απορρόφησης διοξειδίου του θείου με ασβεστόλιθο

Μια απλοποιημένη σχηματική παράσταση ενός συστήματος καθαρισμού με ασβεστόλιθο παρουσιάζεται στην εικόνα 4-21. Το κύριο πλεονέκτημα του καθαρισμού με ασβεστόλιθο είναι ότι το απορροφητικό υλικό είναι άφθονο και φθινό και έχει μεγάλο εύρος εμπορικής αποδοχής. Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν την επικάλυψη στο εσωτερικού του πύργου, το φράξιμο του εξοπλισμού και τη διάβρωση.

Καθαρισμός με άσβεστο (lime scrubbing), είναι παρόμοιος με τον εξοπλισμό και το διάγραμμα ροής του καθαρισμού με ασβεστόλιθο, εκτός του ότι ο ασβέστης είναι πολύ περισσότερο ενεργός από τον ασβεστόλιθο. Οι τελικές αντιδράσεις για τον καθαρισμό με ασβέστη είναι:

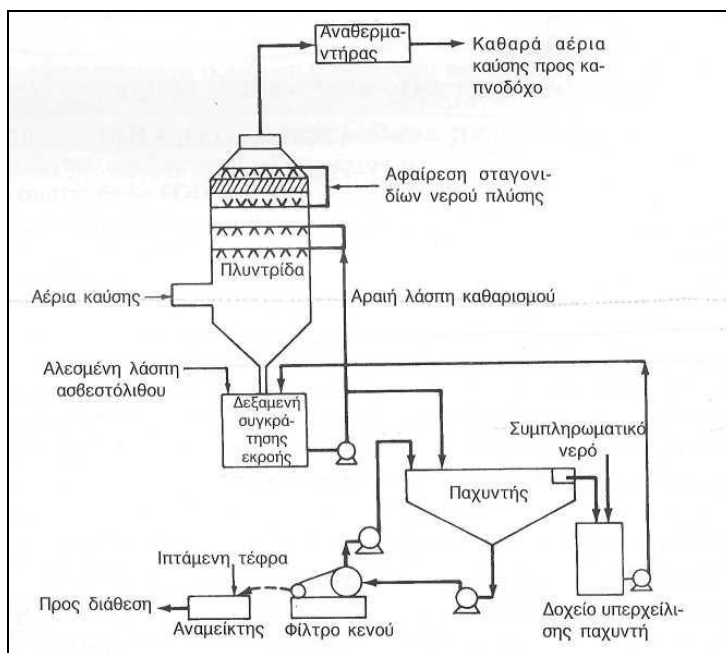


**Εικόνα 4- 20: Αντιδράσεις απορρόφησης διοξειδίου του θείου με ασβέστη**



Τα πλεονεκτήματα του καθαρισμού με άσβεστο συμπεριλαμβάνουν καλύτερη χρησιμοποίηση του αντιδραστήριου και περισσότερη ευελιξία στη λειτουργία. Το κύριο μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος της άσβεστου σε σχέση με τον ασβεστόλιθο. Με δεδομένο ότι τα συστήματα καθαρισμού με ασβεστόλιθο είναι ικανά για 90% απομάκρυνση του  $\text{SO}_2$ , τα συστήματα καθαρισμού με ασβέστη μπορούν συνήθως να επιτύχουν 95% απομάκρυνση του  $\text{SO}_2$ .

Το διπλό αλκαλικό σύστημα (dual alkali system) αναπτύχθηκε για την εξάλειψη των κυριότερων προβλημάτων που αναφέρθηκαν προηγούμενα σχετικά με τον καθαρισμό με άσβεστο και ασβεστόλιθο. Το διπλό αλκαλικό σύστημα χρησιμοποιεί δύο αντιδραστήρια ανακύκλωσης για την απομάκρυνση του  $\text{SO}_2$  όπως  $\text{CaSO}_3/\text{CaSO}_4$  λάσπη.



Εικόνα 4- 21:Σχηματική παράσταση διαγράμματος ροής διεργασίας για σύστημα καθαρισμού  $\text{SO}_2$  με ασβεστόλιθο

Ένα διάλυμα θειώδους νατρίου / υδροξείδιο νατρίου συμμετέχει στην απορρόφηση/ εξουδετέρωση του  $\text{SO}_2$  μέσα στον πύργο. Επειδή και τα δύο, θειώδες νάτριο και θειικό νάτριο, είναι ευδιάλυτα στο νερό, δεν πραγματοποιείται καθίζηση μέσα στην πλυντρίδα. Εντούτοις, η διάθεση μεγάλων όγκων διαλύματος θειώδους νατρίου / θειικού νατρίου θα δημιουργούσε πρόβλημα ρύπανσης υδάτων. Συνεπώς, σε χωριστό δοχείο, προστίθεται στην εκροή της πλυντρίδας ασβεστόλιθος ή άσβεστος μαζί με συμπλήρωμα υδροξειδίου του νατρίου ή σόδα \_\_\_\_\_

( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). (Συμπλήρωση με νάτριο απαιτείται επειδή το νερό που σχετίζεται με τη διάθεση της λάσπης περιέχει σημαντικά ποσά νατρίου). Η άσβεστος ή ο ασβεστόλιθος ταυτόχρονα καταβυθίζει τα θειώδη / θειικά ιόντα και αναγεννά το υδροξείδιο του νατρίου.

Ένα κύριο μειονέκτημα είναι ότι σε ορισμένες περιοχές, ήταν πιθανή η ανάγκη για ένα εξεζητημένο σύστημα επεξεργασίας και διάθεσης για τα ευδιάλυτα άλατα του νατρίου που διατίθενται μαζί με τη λάσπη. Επιπλέον, ένας προκαθαριστής άσβεστου απαιτείται για την απομάκρυνση του  $\text{HCl}$  και κάθε υπολείμματος ιπτάμενης τέφρας, τα οποία και τα δύο αυξάνουν πάρα πολύ την κατανάλωση νατρίου.

Σε ένα σύστημα εξαναγκασμένης οξείδωσης (εσωτερικά), το βήμα καθαρισμού επιτυγχάνεται με την ίδια μέθοδο όπως τυπικά γίνεται με τον ασβεστόλιθο. Η λάσπη  $\text{CaSO}_3/\text{SO}_4$  ως απόβλητο οξειδώνεται (μέσω επαφής με περίσσεια αέρα σε χωριστό δοχείο) σε γύψινη λάσπη (θειικό ασβέστιο). Το οξειδωμένο απόβλητο αφυδατώνεται ευκολότερα και είναι περισσότερο σταθερό στις λίμνες διάθεσης λάσπης. Εντούτοις, η διεργασία εξαναγκασμένης οξείδωσης έχει υψηλό κόστος λειτουργίας αντλιών και είναι επιρρεπής σε φράξιμο και διάβρωση.

Η παρεμποδισμένη οξείδωση είναι μια τροποποιημένη διεργασία που αναπτύχθηκε πρόσφατα και περιλαμβάνει τη χρήση θειοσουλφιδίου για να παρεμποδίσει την οξείδωση του  $\text{SO}_2$  σε θειικό άλας. Το θειοσουλφίδιο σχηματίζεται σε πλυντρίδα με υγρό προσθέτοντας λεπτό γαλάκτωμα νερού από στοιχειακό θείο. Η παρεμπόδιση της οξείδωσης δουλεύει υπερβολικά καλά στην πρόληψη της διάβρωσης. Επιπρόσθετα, αυτή η τροποποιημένη διεργασία απαιτεί για τη λειτουργία της λιγότερη ισχύ (δεν απαιτούνται ανεμιστήρες για να μεταφέρουν τον αέρα στο διάλυμα), απαιτεί λιγότερη συντήρηση και χρησιμοποιεί λιγότερη προσθήκη νερού απ' ό,τι στην εξαναγκασμένη οξείδωση (C. DAVID COOPER & F.C. ALLEY, 2002).

Ο ξηρός ψεκασμός άσβεστου θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως υγρή/ξηρή διεργασία. Στον ξηρό ψεκασμό με άσβεστο, αραιή λάσπη άσβεστου ψεκάζεται σε πύργο απορρόφησης και το  $\text{SO}_2$  απορροφάται από τη λάσπη σχηματίζοντας  $\text{CaSO}_3/\text{CaSO}_4$ . Εντούτοις, ο λόγος υγρού προς αέριο είναι τέτοιος που το νερό εξατμίζεται πριν οι σταγόνες φθάσουν στον πυθμένα του πύργου. Τα ξηρά στερεά σωματίδια μεταφέρονται έξω με το αέριο και συλλέγονται σε σακόφιλτρα μαζί με την ιπτάμενη τέφρα. Τα πλεονεκτήματα του ξηρού ψεκασμού με άσβεστο περιλαμβάνουν λίγα προβλήματα συντήρησης, χαμηλή χρήση ενέργειας και χαμηλό κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας. Τα πλεονεκτήματα του ξηρού καθαρισμού είναι το χαμηλό κόστος κεφαλαίου και οι χαμηλές απαιτήσεις σε συντήρηση. Τα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος

αντιδραστηρίου (συμπεριλαμβανομένου της μεταφοράς) και των πιθανών προβλημάτων διάθεσης των αποβλήτων (στραγγίσματα των ευδιάλυτων αλάτων νατρίου).

#### **4.10.2. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ**

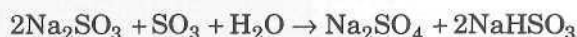
Γενικά, σήμερα, οι διεργασίες αναγέννησης έχουν υψηλότερο κόστος από τις διεργασίες απόρριψης. Εντούτοις, οι διεργασίες αναγέννησης θα μπορούσαν να επιλεγούν εάν υπήρχε περιορισμός χώρου, περιορισμένες επιλογές διάθεσης και/ή άμεσα διαθέσιμες αγορές για τα προϊόντα ανάκτησης θείου. Οι διεργασίες αναγέννησης παράγουν επαναχρησιμοποιήσιμο προϊόν θείου - υπό την αντίληψη ότι είναι περισσότερο ικανοποιητικό από την απόρριψη ενός πόρου όπως το θείο. Στην Ιαπωνία, όπου οι μονάδες FGD βρίσκονται υπό κυβερνητική εντολή, οι διεργασίες αναγέννησης χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά. Ως αποτέλεσμα, η Ιαπωνία παράγει αρκετό θειικό οξύ για εσωτερική βιομηχανική κατανάλωση και έχει και κάποιο περίσσειμα για εξαγωγή. Από την άλλη μεριά, στη Γερμανία, όπου με νόμο όλα τα συστήματα FGD πρέπει να παράγουν εμπορεύσιμο παραπροϊόν (τυπικά γύψος), η αγορά του γύψου έχει κορεστεί.

Η διεργασία Wellman-Lord (W-L) είναι η γνωστότερη διεργασία FGD με αναγέννηση. Τα τέσσερα στάδια της διεργασίας Wellman-Lord είναι : (1) προεπεξεργασία καπναερίου, (2) απορρόφηση  $\text{SO}_2$  από διάλυμα θειώδους νατρίου, (3) επεξεργασία καθαρισμού υγρού διαλύματος θειώδους νατρίου. Ένα τέταρτο στάδιο που συχνά περιλαμβάνεται αλλά δεν συνδέεται υποχρεωτικά με την διεργασία W-L διεργασία είναι η διεργασία του συμπυκνωμένου ρεύματος αερίου  $\text{SO}_2$  που παρήχθη μέσω της διεργασίας W-L σε εμπορεύσιμο προϊόν όπως το στοιχειακό θείο ή το θειικό οξύ.

Τα καπναέρια από το ESP διέρχονται για προκαθαρισμό μέσα από πλυντρίδα τύπου Venturi .

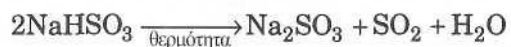


Μέρος από το θειώδες άλας οξειδώνεται σε θειικό από το οξυγόνο. Επίσης, κάθε θειικό τριοξείδιο που διέρχεται από τον προκαθαρισμό με πλυντρίδα μετατρέπεται σε διάλυμα θειικού άλατος. Οι αντιδράσεις είναι οι ακόλουθες :



Το θειικό νάτριο δεν συνεισφέρει σε επιπλέον απορρόφηση του  $\text{SO}_2$  και θα πρέπει να απομακρυνθεί. Υπερβολική συσσώρευση θεικών προλαμβάνεται από τη συνεχή εκκαθάριση του πυθμένα της μονάδας απορρόφησης. Εντούτοις, το ρεύμα από τον πυθμένα της μονάδας απορρόφησης είναι πλούσιο σε δισουλφίδιο, έτσι το περισσότερο από αυτό οδηγείται για πρόσθετη επεξεργασία.

Μέρος υπολειμμάτων από τους πυθμένες στέλνεται σε ψύκτη / κρυσταλοποιητή, όπου σχηματίζονται κρύσταλλοι θειικού νατρίου που είναι λιγότερο διαλυτοί. Από εκεί, η λάσπη υπόκειται σε φυγοκέντρωση και τα στερεά ξηραίνονται και απομακρύνονται για διάθεση. Αυτό που μένει από τη φυγοκέντρωση, το οποίο είναι πλούσιο σε δισουλφίδιο, επιστρέφεται στη διεργασία. Τα υπόλοιπα των πυθμένων στέλνονται σε θερμικό εξατμιστήρα/κρυσταλλοποιητή, όπου το  $\text{SO}_2$  απελευθερώνεται και αναγεννώνται κρύσταλλοι θειώδους νατρίου. Η αντίδραση είναι:

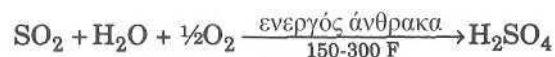


Ο ατμός του νερού συμπυκνώνεται και ανακτάται, παράγοντας ένα συμπυκνωμένο ρεύμα αερίου σε  $\text{SO}_2$  (αποτελούμενο περίπου από 85%  $\text{SO}_2$  και 15%  $\text{H}_2\text{O}$ ).

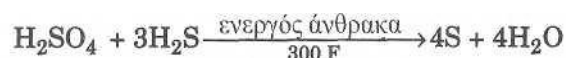
Αρκετά συστήματα ενεργού άνθρακα αναπτύχθηκαν για την απορρόφηση του  $\text{SO}_2$ . Ο άνθρακας καταλύει την αντίδραση του  $\text{SO}_2$  σε  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , προλαμβάνοντας έτσι την εκρόφιση του  $\text{SO}_2$ . Ο άνθρακας μπορεί να αναγεννηθεί με πλύση με νερό, παράγοντας ένα αραιό ρεύμα θειικού οξέος που συχνά εξουδετερώνεται και απορρίπτεται.

Ένα ξηρό σύστημα που αναπτύχθηκε από τον Westvaco το οποίο παράγει στοιχειακό θείο.

Η διεργασία Westvaco περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στάδια, τα οποία όλα πραγματοποιούνται σε πολυβάθμια ρευστοποιημένη κλίνη που λειτουργεί συνεχώς και με αντιρροή. Αρχικά, το SO<sub>2</sub> απορροφάται από τον άνθρακα:



Ο άνθρακας μεταφέρεται μέσω της ροής στο επόμενο δοχείο, όπου το θειικό οξύ αντιδρά με το υδροθείο, με αποτέλεσμα την απορρόφηση του στοιχειακού θείου.



Στην επόμενη κλίνη η θερμοκρασία αυξάνεται για να επιτευχθεί η εξάτμιση και η ανάκτηση του ενός τετάρτου του θείου. Αυτό που παραμένει αντιδρά με το υδρογόνο που έχει αγοραστεί για την παραγωγή H<sub>2</sub>S. Ο αναγεννημένος άνθρακας ανακυκλώνεται με την επιστροφή του πίσω στην αρχή. Η απορρόφηση του SO<sub>2</sub> από κλίνη οξειδίου του χαλκού αποτελεί μια άλλη ξηρά μέθοδο απομάκρυνσης του SO<sub>2</sub>. Τα NO<sub>x</sub> επίσης μπορεί να απομακρυνθεί ταυτόχρονα με την προσθήκη αμμωνίας στα αέρια καύσης. Η απορρόφηση με οξείδιο του χαλκού είναι μια από τις λίγες διεργασίες που μπορούν να ελέγξουν ταυτόχρονα το SO<sub>2</sub> και τα NO<sub>x</sub> και έτσι είναι διεργασία σημαντικού ενδιαφέροντος για τα εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν άνθρακα με υψηλά ποσά θείου. Η απορρόφηση των SO<sub>x</sub> και η αντίδραση πραγματοποιείται στους 750 °F για το σχηματισμό θειικού χαλκού. Η κλίνη αναγεννάται με αναγωγικό αέριο (H<sub>2</sub> ή H<sub>2</sub> + CO) για το σχηματισμό συμπυκνωμένου ρεύματος SO<sub>2</sub>. Κατά τη διάρκεια της αναγέννησης, η κλίνη μετατρέπεται σε χαλκό, αλλά αργότερα οξειδώνεται σε οξείδιο του χαλκού όταν βρίσκεται σε λειτουργία προσρόφησης.

#### 4.11. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ-ΦΙΛΤΡΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η προσρόφηση αερίων εκπομπών λειτουργεί με την χρησιμοποίηση προσροφητικού μέσου που συνήθως είναι ο ενεργός άνθρακας( αλλά τη θέση του μπορούν να καταλάβουν και η αλουμίνα ή το silica gel σε κλίνη) έτσι ούτως ώστε να έχουμε σύνδεση των μορίων του αερίου με τον

στερεό προσροφητή. Τα φαινόμενα που επικρατούν είναι η φυσική ρόφηση που είναι και αρκετά εξώθερμη διαδικασία είτε η χημειορόφηση που βέβαια στηρίζεται στην χημεία της αντίδρασης και δεν είναι εύκολα αντιστρεπτή διαδικασία .

Ο ενεργός άνθρακας είναι υλικό ανθρακούχο ,όπως ξύλο ,κάρβουνο ,λιγνίτης και κυρίως ασφαλούχος άνθρακας κ.α ο οποίος παράγεται αρχικά με αφυδάτωση της πρώτης ύλης και μετέπειτα απανθράκωση των ανθρακούχων υλικών Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει οξείδωση παρουσία οξειδωτικού αερίου (CO<sub>2</sub>) και θερμότητας. Το τελικό προϊόν διαθέτει μεγάλη εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια με τον ενεργό άνθρακα να έχει την μεγαλύτερη τιμή μέχρι και 1400 m<sup>2</sup>/gr καθώς και ένα αρκετά ικανό πορώδες.

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται πλέον σε σταθεροποιημένες κλίνες σε κοκκώδη μορφή ή σε πελλέτες με μέγεθος περίπου 0,13 cm. Η βέλτιστη ταχύτητα της κλίνης αυξάνει με το βάθος της κλίνης και πραγματοποιείται σε ταχύτητες 15 έως 30 m/min.

Τα φίλτρα ενεργού άνθρακα τοποθετούνται ως επί το πλείστον στο τέλος των συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης με αποδεδειγμένη απομάκρυνση του υδραργύρου και των διοξινών και φουρανίων . Ο υδράργυρος έχει μεγάλη πίεση ατμών και τα στοιχεία του μπορούν να παραμείνουν στην αέρια φάση σε θερμοκρασίες λιγότερο από 180°C.

Αρχικά οι μονάδες καύσης χρησιμοποιούσαν σουλφίδιο του νατρίου για τον έλεγχο του υδραργύρου όμως αυτό αντικαταστάθηκε από τον ενεργό άνθρακα. Οι αποδόσεις που μπορεί να επιτύχει το σύστημα ενεργού άνθρακα φθάνουν το 99%. Η δοσολογία του άνθρακα , ο χρόνος επαφής , η θερμοκρασία των αερίων και ο τύπος του άνθρακα παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση. Εάν η θερμοκρασία δεν πέσει κάτω από τους 200°C η διεργασία χάνει την αποδοτικότητα της .Οι διοξίνες και τα φουράνια απομακρύνονται σε ποσοστό 77 έως 80% από τα απαέρια.

Ο έλεγχος των διοξινών και των βαρέων μετάλλων διαμέσου του σχεδιασμού του συστήματος καύσης και των συστημάτων πλύσης συζητήθηκε νωρίτερα. Αυτές οι τεχνολογίες και ιδιαίτερα η ξηρή πλύση έχει επιδείξει το καλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης ( 0.1 ng TCDD ισοδύναμο/m<sup>3</sup> και στα μέταλλα 0.2 mg/m<sup>3</sup>) του αερίου.

Στην απλή του μορφή η εισαγωγή ενεργού άνθρακα είναι μια μικρή αλλαγή στην πρακτική λειτουργίας όπου αυτό γίνεται σε έναν αντιδραστήρα της ξηρής πλύσης σε ρεύμα ξεχωριστό από αυτό του ασβέστη. Ο άνθρακας αναμιγνύεται με τα αέρια και τα άλλα στερεά και απορροφά τον

υδράργυρο σε ένα στάδιο φιλτραρίσματος στα σακκόφιλτρα. Με προσθήκη περίπου 2 kg/h στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης ενός 250 tn/day αποτεφρωτήρα επιτυγχάνουμε 84% απόδοση απομάκρυνσης για τον υδράργυρο. Πριν την προσθήκη ενεργού άνθρακα η απομάκρυνση υδραργύρου ήταν φτωχή επειδή το 80 με 90% βρισκόταν στην αέρια φάση και δεν δεσμευόταν εύκολα από τον ασβέστη. Μία μέση τιμή συγκέντρωσης εκκένωσης 0.067 mg/m<sup>3</sup> επιτεύχθηκε με την προσθήκη ενεργού άνθρακα.

Τα προτερήματα κόστους από μία πιο αυστηρή νομοθεσία οφείλουν να ελεγχθούν με εγγύτητα εξαιτίας των μειώσεων του συγκεκριμένου φορτίου από το ρεύμα τροφοδοσίας και της αλλαγής στα βιομηχανικά προϊόντα. Εισαγωγή μέσω σωλήνα του ενεργού άνθρακα είναι σχετικά απλό σύστημα μετασκευής με χαμηλά λειτουργικά κόστη. Δύο τεχνολογίες που προχωρούν πιο πέρα παρατίθενται από τον Fouhy[Fouhy, K., 1992], και οι δύο εμπλέκουν υψηλή απόδοση επαφής με μεγαλύτερα ποσά άνθρακα:

- Ενεργειακοί απορροφητές ενεργού άνθρακα με συμπιεσμένη κλίνη τριών σταδίων που αναπτύχθηκε από την Hugo Petersen GmbH. Η εταιρεία υποστηρίζει ότι επιτυγχάνονται τα παρακάτω όρια μείωσης για διοξίνη 0.04 ngTE/m<sup>3</sup>, για Hg 0.007 mg/m<sup>3</sup>, και HF, HCl και SO<sub>2</sub> σε 0.5, 1 και 1 mg/m<sup>3</sup> αντίστοιχα. Επίσης τα φορτία σκόνης αγγίζουν το 1 mg/m<sup>3</sup>. Όμως αυτό επιτεύχθηκε με κατανάλωση άνθρακα περίπου 2.5 kg/τόνο απόβλητων φόρτισης(κόστους 2,40€/kg).
- Ένας απορροφητής ενεργού άνθρακα με ρευστοποιημένη κλίνη κυκλοφορίας που αναπτύχθηκε από την Lurgi. Με χαμηλή πτώση πίεσης σε σχέση με τα κινούμενα συστήματα συμπιεσμένης κλίνης ( περίπου 15 cf. 35 mbar) και μόνο 20% κατανάλωση του άνθρακα, υπάρχουν μερικά πλεονεκτήματα σε αυτή την μέθοδο. Ωστόσο η μεγάλη παροχή σκόνης από τα συστήματα CFB αναζητούν πρόσθετες απαιτήσεις φίλτρων.

Ενώ οι τεχνολογίες άνθρακα είναι αποτελεσματικές για απομάκρυνση μετάλλων , διοξινών , όξινων αερίων και σκόνης σε αρκετά υψηλά επίπεδα ,οι συγκεκριμένες τεχνολογίες παράγουν πρόσθετα απόβλητα που πρέπει να τα επεξεργαστούμε με τις κατάλληλες τεχνικές.

Μια εναλλακτική πρόταση στην απορρόφηση των διοξινών και των φουρανίων είναι η χρήση των καταλυτών μετάλλων οι οποίοι έχουν διπλή δράση στην μείωση και των NO<sub>x</sub> και των διοξινών [Chemical Engineering Magazine, 1993].



Σαφέστατα οι νέες τεχνολογίες έχουν χαμηλώσει τα επιτρεπόμενα όρια μέχρι και 100 φορές χαμηλότερα όμως το κόστος τους είναι συχνά απαγορευτικό .Μια πιο προσεχτική προσέγγιση, που πιθανώς βασίζεται σε μια αντικειμενική μελέτη διαχείρισης κινδύνου πρέπει να καταρτισθεί πριν καθορισθούν με νόμο οποιαδήποτε πρότυπα με βάση αυτές τις νέες τεχνολογίες.

## **5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΑΧΤΗΣ ΚΑΙ**

### **ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ**

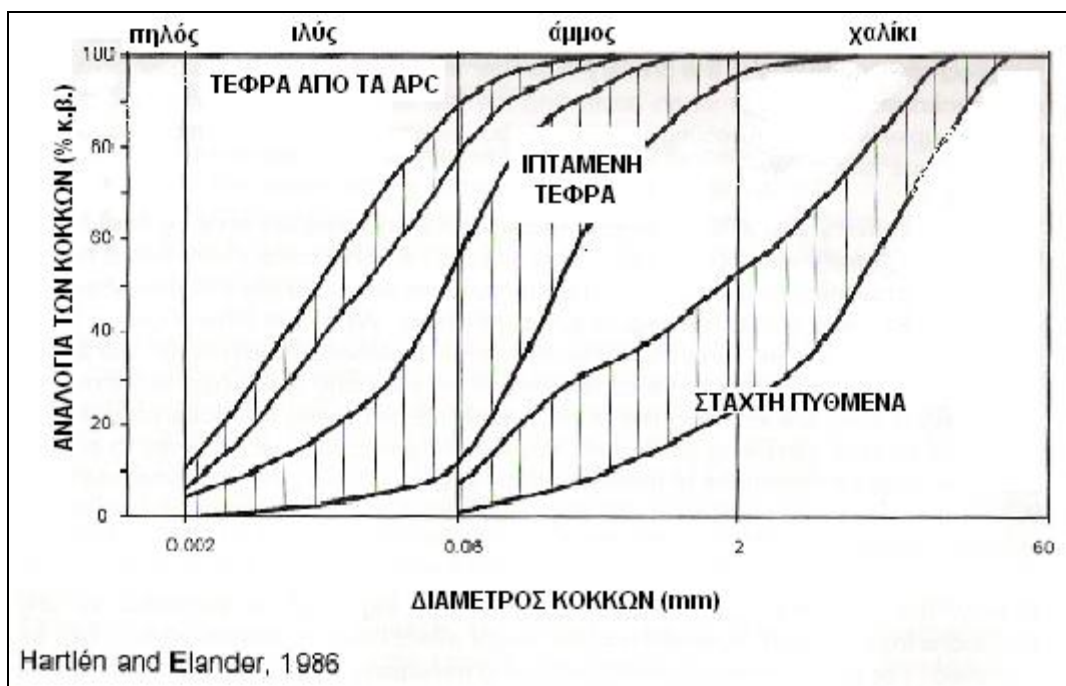
#### **5. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΥΣΗΣ**

##### **5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η διαχείριση της στάχτης είναι ένα κύριο δημόσιο και τεχνικό θέμα σε σχέση με την καύση .Η υπολειμματική τέφρα παράγεται κατά κύριο λόγο στις εσχάρες ή σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα καύσης έχουμε και οδηγείται σε ειδική δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης. Ταυτόχρονα όμως παράγονται και ποσοστά τέφρας στον λέβητα (περίπου 2 έως 12 kg / tn απορριμμάτων) τα οποία απαιτούν προσοχή στον έλεγχο της θερμοκρασίας ώστε να μην φράξουν τους εναλλάκτες θερμότητας. Τα συγκεκριμένα υπολείμματα τέφρας δεν πρέπει να μεταχειρίζονται όπως η στάχτη του πυθμένα και αυτό διότι όπως θα δούμε παρακάτω τα χαρακτηριστικά ταιριάζουν με αυτά της τέφρας που προκύπτει από τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης. Οι συσκευές που ελέγχουν τα απαέρια μπορούν να απομακρύνουν μέχρι και 40 kg/tn απορριμμάτων ιπτάμενης τέφρας. Το κόστος διάθεσης αυτού του υπολείμματος επιδρά σημαντικά στο ολικό κόστος της μονάδας αποτέφρωσης. Οι περισσότερες μονάδες που κατασκευάστηκαν παγκοσμίως περίπου μια δεκαετία πιο πριν και ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες είχαν ως τελικό αποδέκτη της τέφρας του πυθμένα ειδικούς ΧΥΤΑ. Μερικές μονάδες όπως παραδείγματος χάριν η Δανία , η Ολλανδία , δημιούργησαν μια μονάδα διαχωρισμού των σιδηρούχων μετάλλων με μαγνητικό διαχωρισμό και χρησιμοποίησαν την τέφρα ως δομικό υλικό στην κατασκευή των δρόμων.

Η Γαλλία ,η Γερμανία , η Σουηδία δημιούργησαν προϋποθέσεις και μάλιστα αυστηρές προκειμένου να απορροφήσουν τα τεράστια ποσά στάχτης σε ειδικούς ΧΥΤΑ τέφρας ειδικότερα η Γερμανία όρισε προδιαγραφές για τους ΧΥΤΑ τέφρας που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Η διάθεση σε ΧΥΤΑ ήταν το πρώτο προτέρημα των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ιαπωνίας .Όμως πλέον αυτή η μέθοδος τείνει να εγκαταλειφθεί καθότι οι χώροι πλέον είναι δύσκολο να εξασφαλιστούν από τις αρμόδιες αρχές. Επίσης καινούριες τεχνολογίες επεξεργασίας έχουν λάβει χώρα και μάλιστα με πολύ ευρεία εφαρμογή και πάνω από όλα καλή απόδοση.

Τα τελευταία χρόνια οι υφιστάμενες μονάδες καύσης κατασκευάζουν μονάδες επεξεργασίας της τέφρας του πυθμένα ώστε να χρησιμοποιηθεί είτε ως δομικό υλικό είτε σαν υλικό στην κατασκευή των δρόμων είτε εφαρμόζεται η μέθοδος της υαλοποίησης.



Εικόνα 5- 1:Κοκκομετρική διαβάθμιση των κλασμάτων τέφρας στις μονάδες καύσης

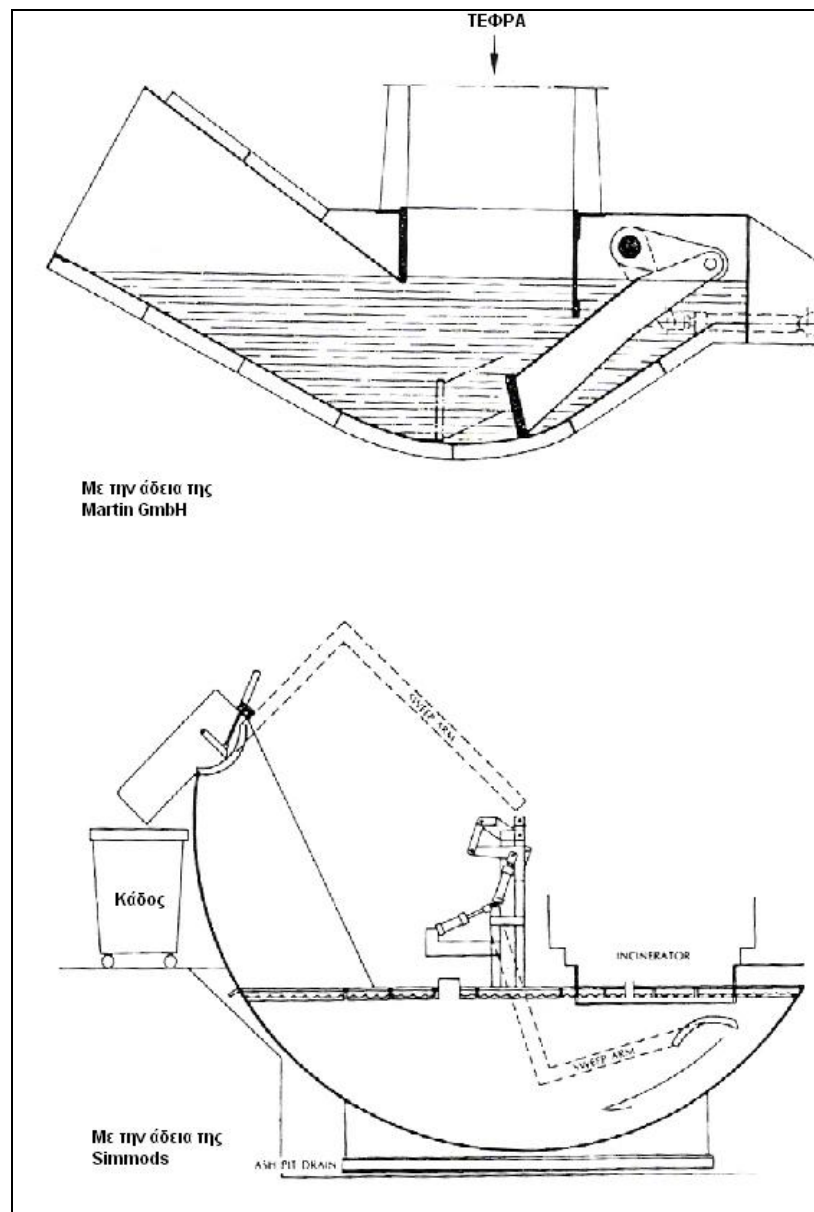
Η ιπτάμενη τέφρα λόγω του ότι κατά πρώτον αποτελείται από λεπτότερα σωματίδια και κατά δεύτερον προέρχεται από υψηλές θερμοκρασίες καύσης ( πάνω από 1000° C) είναι τοξική και χρειάζεται ειδική μεταχείριση. Πριν μία δεκαπενταετία η μέθοδος που εφαρμοζόταν ήταν η διάθεση σε ΧΥΤΑ τοξικών αποβλήτων με αδιαπέραστες μεμβράνες και φραγμούς έτσι ώστε να συγκρατούνται και τα στραγγίσματα. Την παρούσα φάση έχουν αναπτυχθεί μία σειρά από τεχνολογίες που προσβλέπουν στην χρησιμοποίηση της συγκεκριμένης τέφρας όπως είναι η σταθεροποίηση /στερεοποίηση ,τήξη και σταθεροποίηση, εκχύλιση με όξινα μέσα κ.α.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΧΥΤΑ ΤΕΦΡΑΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΤΙΜΗ
TOC	%	1
Απώλεια ανάφλεξης	%	3
pH		5,5-13
Αγωγιμότητα	uS/cm	10000
TOC	mg/l	20
Φαινόλες		0,2
Διαλυτότητα	%	3
<u>ΠΟΙΟΤΗΤΑ</u> <u>ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ</u>		
Αρσενικό	mg/l	0,2
Χαλκός	mg/l	1
Υδράργυρος	mg/l	0,005
Ψευδάργυρος	mg/l	2
Κάδμιο	mg/l	0,05
Χρώμιο	mg/l	0,05
Νικέλιο	mg/l	0,2
Φθόριο	mg/l	5
Μόλυβδος	mg/l	0,2
Αμμωνία	mg/l	4
Κυάνιο	mg/l	0,1
AOX	mg/l	0,3
ΠΗΓΗ: Siedlungsabfall, 1993		

**Πίνακας 5- 1:Κριτήρια αποδοχής ιπτάμενης τέφρας σε ΧΥΤΑ**

### 5.1.1. ΣΗΜΕΙΑ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ

Η στάχτη των αποτεφρωτήρων εκκενώνεται από πέντε σημεία ή περισσότερα σε μία τυπική αλυσίδα αποτεφρωτήρα. Οι πρακτικές χειρισμού και οι αναλογίες του κάθε ρεύματος θα ποικίλουν από μονάδα σε μονάδα π.χ για τύπους εσχάρων δεν θα υπάρχουν εναλλαγές ρευμάτων διότι όλο το υλικό συγκρατείται στην ζώνη καύσης. Οι υδροδυναμικοί παράγοντες θα επηρεάσουν τον βαθμό του ποσοστού της ιπτάμενης τέφρας . Επίσης διαφορετικές δικαιοδοσίες θα επιτρέψουν διαφορετικούς βαθμούς συνδυασμού των διάφορων ρευμάτων στάχτης. Σε μερικά εργοστάσια η ιπτάμενη τέφρα και η καθιζάμενη στάχτη ξεχωρίζονται. Σε άλλες εφαρμογές ακολουθείται η τακτική να συνδυάζονται τα δύο είδη στάχτης.



Εικόνα 5- 2:Συσκευές εκκένωσης τέφρας (ELSEVIER,1997)

## 5.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΑΧΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΥΤΗΣ.

Η στάχτη του πυθμένα προσδιορίζει στο σύνολο των ολικών υπολειμμάτων που παράγονται στην διαδικασία της καύσης ένα ποσοστό περίπου 80 με 90 %. Η στάχτη του πυθμένα περιέχει λιθοφιλικά στοιχεία σε κοκκώδη μορφή με χαμηλή πίεση ατμών που κυρίως μπορούν να μετατραπούν σε σκωρία. Η εργασία αυτή του προσδιορισμού των χαρακτηριστικών αναγνωρίζει τέσσερις τύπους υλικών :

- Τα μη –καύσιμα που περνούν χωρίς αλλαγή μέσα από τον αποτεφρωτήρα και είναι αναγνωρίσιμα στην τέφρα.
- Απορρίμματα μετάλλων κυρίως μόλυβδος και αλουμίνιο που τήκονται , στερεοποιούνται και σχηματίζουν σταγόνες στην στάχτη και στις εσχάρες .
- Μη καύσιμο ανθρακικό υλικό (μεταξύ 1 and 4% του βάρους της στάχτης για μία καλοδουλεμένη δραστηριότητα) .
- Στάχτη , η λεπτή ανόργανη ύλη που παραμένει μετά από την καύση. Εξαιτίας της οξειδωτικής ατμόσφαιρας και του σχετικά μικρού ποσοστού χλωρίου των ΑΣΑ το κλάσμα της στάχτης καριαρχείται από οξείδια. Τα οξείδια του ασβεστίου ,καλίου και νατρίου τυπικά δίνουν στην στάχτη μία αλκαλική χημεία.

Για να μπορέσουμε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της τέφρας του πυθμένα πρέπει να πραγματοποιήσουμε πολλές μετρήσεις που θα έχουν να κάνουν με τις φυσικοχημικές ιδιότητες της.

#### **5.2.1.1. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ**

##### **5.2.1.1.1. ΚΛΑΣΜΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ**

Το κλάσμα απόρριψης δίνεται από μία διεργασία που περιέχει περιστροφικά κόσκινα , μαγνητικό διαχωρισμό στην περίπτωση που έχουμε καύση μάζας και γενικά μηχανικούς διαχωρισμούς για ορισμένες διαμέτρους κόκκων. Για παράδειγμα στην Ευρώπη χρησιμοποιείται πάρα πολύ ένας διαχωρισμός των κόκκων μεγέθους 40 mm. Σίγουρα θα πρέπει στο τέλος της γραμμής καύσης να κατασκευάσουμε ένα διαχωρισμό για τα άκαυστα υλικά αλλά και τα μέταλλα που τυχόν θα υπάρχουν εάν δεν υπάρχει ανακύκλωση των αποβλήτων μετά την γραμμή τροφοδοσίας και αυτό είναι δεδομένο λόγω του ότι κανένα σύστημα και κανένας μηχανισμός δεν είναι τέλειος στην φύση. Γενικά από μελέτες άλλων εγκαταστάσεων στην Δανία και στις ΗΠΑ διακρίναμε μια περιοχή κλασμάτων μεταξύ των 20 έως 45 mm τα οποία υπάρχει η πιθανότητα να αποτελούν μέχρι και το 66 % τους ρεύματος ολικής τέφρας πυθμένα που παράγεται.

#### **5.2.1.1.2. ΟΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ**

Η μορφή της τέφρας μετά την καύση αν πρόκειται για καύση μάζας θα αποτελείται από ισόποσα ποσοστά σκωρίας, ορυκτών, γυαλιού και κεραμικών. Στην καύση RDF η σύνθεση της τέφρας δεν θα περιέχει μεγάλες ποσότητες σκωριών και μεταλλικών ενώσεων αλλά αντίθετα πολλά ανόργανα συστατικά τα οποία θα έχουν σχηματίσει μεταλλικές ενώσεις ορυκτών και οξειδία μετάλλων. Σίγουρα θα υπάρχει περισσότερη υαλώδη μορφή ενώσεων και κάποια οργανομεταλλικά μικροκλάσματα.

#### **5.2.1.1.3. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ**

Η περιεχόμενη υγρασία της στάχτης του πυθμένα είναι αποτέλεσμα της ψύξης που υφίσταται η τέφρα όταν φύγει από την ζώνη του burnout. Τα περισσότερα νέα συστήματα ψύξης χρησιμοποιούν ψεκασμό σταγονιδίων έναντι των παλαιών δοχείων ψύξης προκειμένου να υπάρξει όσο το δυνατόν μικρότερο ποσοστό υγρασίας στην μάζα της στάχτης. Το ποσοστό ποικίλει και εμφανίζει τιμή από 9,4% έως 58,4% (ELSEVIER, 1997). Η υγρασία είναι σημαντική παράμετρος αφότου η τέφρα αποθηκευθεί ή μεταφερθεί προς επεξεργασία ή προς διάθεση. Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας αυξάνουν λόγω βάρους το κόστος μεταφοράς για αυτό το ποσοστό νερού που θα υπάρχει ανάμεσα στο πορώδες της τέφρας θα πρέπει να είναι μέτριο, για να μην έχουμε κιόλας αντίθετα αποτελέσματα. Ένα ικανό ποσοστό περίπου 15% υγρασίας είναι αρκετό για να μπορέσουμε να αποθηκεύσουμε προσωρινά την στάχτη εξωτερικά των εγκαταστάσεων.

#### **5.2.1.1.4. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΣΙΔΗΡΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ**

Μπορεί με τους μαγνητικούς διαχωριστήρες να ανακτήσαμε κλάσματα μετάλλων όμως υπάρχουν μεγέθη κόκκων όπως κάτω των 19 mm τα οποία δεν μπορούν να συγκρατηθούν και περνάνε στην μάζα της στάχτης σε ποσοστά που ποικίλουν μέχρι και 43,5% με μέση τιμή βέβαια το 25,1% (ELSEVIER, 1997).

#### **5.2.1.1.5. ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΛΕΞΗ**

Η συγκεκριμένος όρος αναφέρεται στο κλάσμα του υλικού που καίγεται και χάνεται κατά την διάρκεια του burnout και αποτελεί μέτρο κριτηρίου για την συγκεκριμένη ζώνη. Οι συνθήκες που μετράται η συγκεκριμένη παράμετρος είναι 550°C σε χρόνο 2 ωρών. Περίπου το 60 % το



άνθρακα αποτελεί την απώλεια στην ανάφλεξη για τα στερεά απόβλητα. Οι τιμές που παίρνουμε για το μέγεθος αυτό έχουν να κάνουν με τον τύπο του αποτεφρωτήρα που επιλέξαμε, την τροφοδοσία των αποβλήτων, την περιεχόμενη υγρασία των αποβλήτων καθώς και όλες τις λειτουργίες καύσης που θα ρυθμίσουμε. Τυπικές τιμές για την απώλεια στην ανάφλεξη κυμαίνονται από 3,5 έως 29,2 % με την καλύτερη τιμή που σημαίνει και το καλύτερο burnout να σημειώνεται γύρω στο 3%. Γενικά τα συστήματα καύσης σε δύο στάδια όπως οι πυρολυτικοί αντιδραστήρες έχουν υψηλή τιμή περίπου 20 με 30 % αλλά μπορούν να επιτύχουν ένα ποσοστό της τάξεως του 10 % αν ρυθμιστεί καλά ο πρώτος θάλαμος ενώ τα συστήματα ενός σταδίου (καύση μάζας ή RDF ή ημιαναστολής) σημειώνουν τιμή της τάξεως του 2 έως 5%(ELSEVIER, 1997).

#### **5.2.1.1.6. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ**

Η τέφρα περιέχει διαλυτές ουσίες μετάλλων οι οποίες προσδιορίζονται με τέστ εκχύλισης καθότι η μεταλλειολογία της στάχτης είναι περίπλοκη. Οι Stampfli et al. [Stampfli, D., et al., 1990] την περιγράφουν σαν να είναι βασालτικός βράχος ωστόσο αυτό δεν υποδηλώνει ότι δεν υπάρχουν στοιχεία που δεν υπόκεινται σε διήθηση.

Σύμφωνα με τους Roethel [Roethel, F., 1991], Stegemann και Schneider [Steggemann, J.A. and Schneider, J., 1991], κάπου ανάμεσα στο 20 και στο 70% των μετάλλων στην στάχτη του πυθμένα θα διηθηθούν αν υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος και επαρκής χρόνος. Από τα μέταλλα αυτά ο μόλυβδος είναι η συνεχής ανησυχία, αν και μόνο περίπου 20% του μετάλλου αυτού είναι τυπικά σε διαλυτή μορφή. Οι στάχτες που θα προκύψουν από τα συστήματα δύο σταδίων περιέχουν στην σύνθεση τους το μικρότερο ποσοστό διαλυτών στερεών περίπου 2,5 έως 4,5%. Οι μονάδες καύσης μάζας σημειώνουν μεγαλύτερες τιμές γύρω στο 3,0 με 14,0% ενώ οι μονάδες καύσης RDF σημείωσαν ποσοστό 6,5 έως 7,5 %(ELSEVIER, 1997). Το καλύτερο burnout δηλαδή η μεγαλύτερη σε έκταση μεταλλοποίηση αυξάνει το διαλυτό μεταλλικό περιεχόμενο στην τέφρα.

#### **5.2.1.1.7. ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Οι βαρομετρικές ιδιότητες της στάχτης έχουν να κάνουν με τα γεωτεχνικά και δομικά χαρακτηριστικά που. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν μόνον όταν υπάρξει

δυνατότητα χρησιμοποίησης της τέφρας ως δομικό υλικό στην παραγωγή τσιμέντου ή ασφαλτομίγματος.

#### **5.2.1.1.8. ΕΙΔΙΚΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑ**

Συνήθως για να υπολογιστεί η ειδική βαρύτητα λαμβάνουμε τα διαχωρισμένα υλικά της τέφρας σε δυο ομάδες κλασμάτων τα λεπτά σωματίδια κάτω από τα 4,75 mm και τα υπόλοιπα πάνω από την συγκεκριμένη διάμετρο. Γενικά μια καλή συμφωνία είναι να υπολογίσουμε περίπου για το λεπτό κλάσμα τον λόγο περίπου στην τιμή του 1,80 και για το μεγαλύτερης διαμέτρου κλάσμα περίπου 2,20.

#### **5.2.1.1.9. ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ**

Η απορρόφηση του νερού είναι το μέγεθος που θα μας δείξει το κατά πόσο είναι δυνατόν να απορροφήσει η μάζα της στάχτης στο πορώδες της νερό. Το πορώδες της τέφρας του πυθμένα είναι αρκετά υψηλό οπότε καταλαβαίνουμε ότι θα υπάρξει μεγάλη διεισδυτικότητα του νερού. Για το λεπτό κλάσμα που περιγράψαμε προηγουμένως θα έχουμε μία μέση τιμή 14 % με το μέγιστο να φθάνει και το 27,9 %. Για το τραχύ κλάσμα η μέγιστη τιμή βρίσκεται στο 13,4 % ενώ η ελάχιστη μπορεί να κυμανθεί και στο 1,7% (ELSEVIER ,1997). Μία ένδειξη είναι ότι το λεπτό κλάσμα της τέφρας του πυθμένα μπορεί να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες νερού λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας προς τον όγκο του και ένα συμπέρασμα που μπορούμε να αναφέρουμε είναι ότι αναφορικά με άλλα αδρομερή υλικά οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες.

#### **5.2.1.1.10. ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ**

Το ειδικό βάρος από μετρήσεις που διεξήχθησαν στις ΗΠΑ και στον Καναδά βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ στις πιο πολλές μετρήσεις 955 kg/m<sup>3</sup> έως 1410kg/m<sup>3</sup>(ELSEVIER ,1997). Το εύρος τιμών δείχνει ότι η στάχτη του πυθμένα είναι ένα ελαφροβαρές συνοθύλευμα.

#### **5.2.1.1.11. ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ**

Η διαβάθμιση των κόκκων έχει να κάνει με την συμπίεστικότητα της τέφρας κατά την διαδικασία της προσωρινής αποθήκευσης στην δεξαμενή συλλογής. Το αποτελεσματικό μέγεθος προκύπτει όταν περάσει από τα κόσκινα το 10 % μιας ομάδας μεγέθους κόκκων. Επίσης μετράμε και τον

συντελεστή ομοιομορφίας ο οποίος αντιστοιχεί στο 60% των διαπερνώντων κόκκων του αποτελεσματικού μεγέθους. Τυπικές τιμές για το αποτελεσματικό μέγεθος μπορούν να είναι στο εύρος από 0,127 mm έως 0,508 mm με έναν συντελεστή ομοιομορφίας γύρω στο 21,6 (ELSEVIER ,1997) .Αυτές οι τιμές δείχνουν πως η τέφρα του πυθμένα «κατατάσσεται» στους καλά διαβαθμισμένους αμμοχάλικες.

#### **5.2.1.1.12. ΠΟΣΟΣΤΟ ΛΕΠΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

Το ποσοστό των λεπτών σωματιδίων που μπορούν να προκύψουν από την στάχτη του πυθμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μόνο του σαν αδρανές υλικό. Το πρόβλημα με αυτό το κλάσμα είναι ότι είναι υψηλά απορροφητικό μέσο του νερού και υπάρχουν αμφιβολίες με την διαθεσιμότητα του στο ποζολανικό τσιμέντο και στο ασφαλικό υλικό. Στην Ευρώπη για να προσδιορίσουμε το ποσοστό των λεπτών σωματιδίων της υπολειμματικής τέφρας του πυθμένα χρησιμοποιούμε κόσκινο πλέγματος 63  $\mu\text{m}$ . Οι τυπικές τιμές κυμαίνονται γύρω στο 1 με 10 % για τυπικές μονάδες σε όλο τον κόσμο. Το κλάσμα των λεπτών κόκκων σχηματίζεται μέσα από την ευθραυστότητα της στάχτης κατά την διαδικασία της καύσης μέχρι το τέλος. Επειδή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό για αυτό πρέπει να απομακρύνεται με κοσκίνιση.

#### **5.2.1.2. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ**

Η τέφρα που θα διατεθεί προς σταθεροποίηση / στερεοποίηση με δομικά υλικά οφείλει να αναπτύσσει μεγάλη ανθεκτικότητα που να είναι συγκρίσιμη με αυτή των φυσικών αδρανών υλικών.

##### **5.2.1.2.1. ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ**

Για τον προσδιορισμό της πληρότητας χρησιμοποιούμε το τεστ με θειώδες νάτριο ή μαγνήσιο. Όπως με την ρόφηση έτσι και εδώ το λεπτό κλάσμα είναι ευάλωτο σε εκτενείς κλασματοποιήσεις σε σχέση με το τραχύ κλάσμα της τέφρας. Τυπικές τιμές διακρίνουμε για το λεπτό κλάσμα περίπου 1,6 έως 11,91 ενώ για το τραχύ κλάσμα η τιμή είναι περίπου σταθερή γύρω στο 2,7(ELSEVIER ,1997).

##### **5.2.1.2.2. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΤΡΙΒΗ**

Το τέστ ( Los Angeles) της ανθεκτικότητας πραγματοποιείται σε δύο κλάσματα ένα λεπτό και ένα τραχύ για να διαπιστώσουμε κάτω από συνθήκες τριβής ποια θα είναι η συμπεριφορά του υλικού . Τυπικές τιμές για την αντίσταση στην τριβή υπολογίζονται περίπου στο 40 με 45% που είναι και τυπικά ποσοστά για πορώδη αδρανή ελαφροβαρή υλικά.

#### **5.2.1.3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

Η στάχτη του πυθμένα εάν συμπιεσθεί αποκτά μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και υψηλή αντοχή. Το ποσοστό υγρασίας που περιέχεται στο πορώδες πρέπει να εξετάζεται πάντα πριν την διαδικασία συμπίεσης.

##### **5.2.1.3.1. ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ**

Η συμπίεστικότητα του κοκκώδους υλικού εξετάζεται στο εργαστήριο. Τα δεδομένα παραβάλλονται σε ένα διάγραμμα με την βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία και την μέγιστη πυκνότητα ξήρανσης. Οι συμπίεστικότητες μπορούν να διαφέρουν και οι τιμές κυμαίνονται από 1530 με 1739 kg/m<sup>3</sup>(ELSEVIER ,1997). Με αυτές τις δεδομένες τιμές ,η υγρασία που αντιστοιχεί σαν βέλτιστη ποικίλει από το 9,6% μέχρι 20%. Το μέτρο ελαστικότητας προφανώς θα είναι υψηλό με αποτέλεσμα το συγκεκριμένο είδος στάχτης να αποτελεί ισχυρό αδρανές υλικό.

##### **5.2.1.3.2. ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΠΕΔΙΟΥ**

Η συμπίεστικότητα πεδίου είναι πιο επιθετική και ενεργητική διαδικασία .Οι πιο πολλές τέτοιες διαδικασίες παράγουν λεπτότερα σωματίδια τέφρας και αλλάζουν βέβαια και την κατανομή του μεγέθους των κόκκων.

##### **5.2.1.3.3. ΛΟΓΟΣ ΠΙΕΣΗΣ (CBR)**

Ο λόγος (California Bearing Ratio) είναι ο ορισμός της αντοχής και της σταθερότητας ενός συμπίεσμένου υλικού. Στην στάχτη του πυθμένα τιμές λόγων μεγαλύτερες του 100% είναι πολύ συχνό φαινόμενο , βέβαια όσο το μέγεθος των κόκκων της στάχτης ελαττώνεται τόσο μικρότερος είναι και ο λόγος . Ειδικότερα για μέγεθος 0,25 cm ο λόγος CBR κυμαίνεται από 51,8% έως 79,7%(ELSEVIER ,1997).

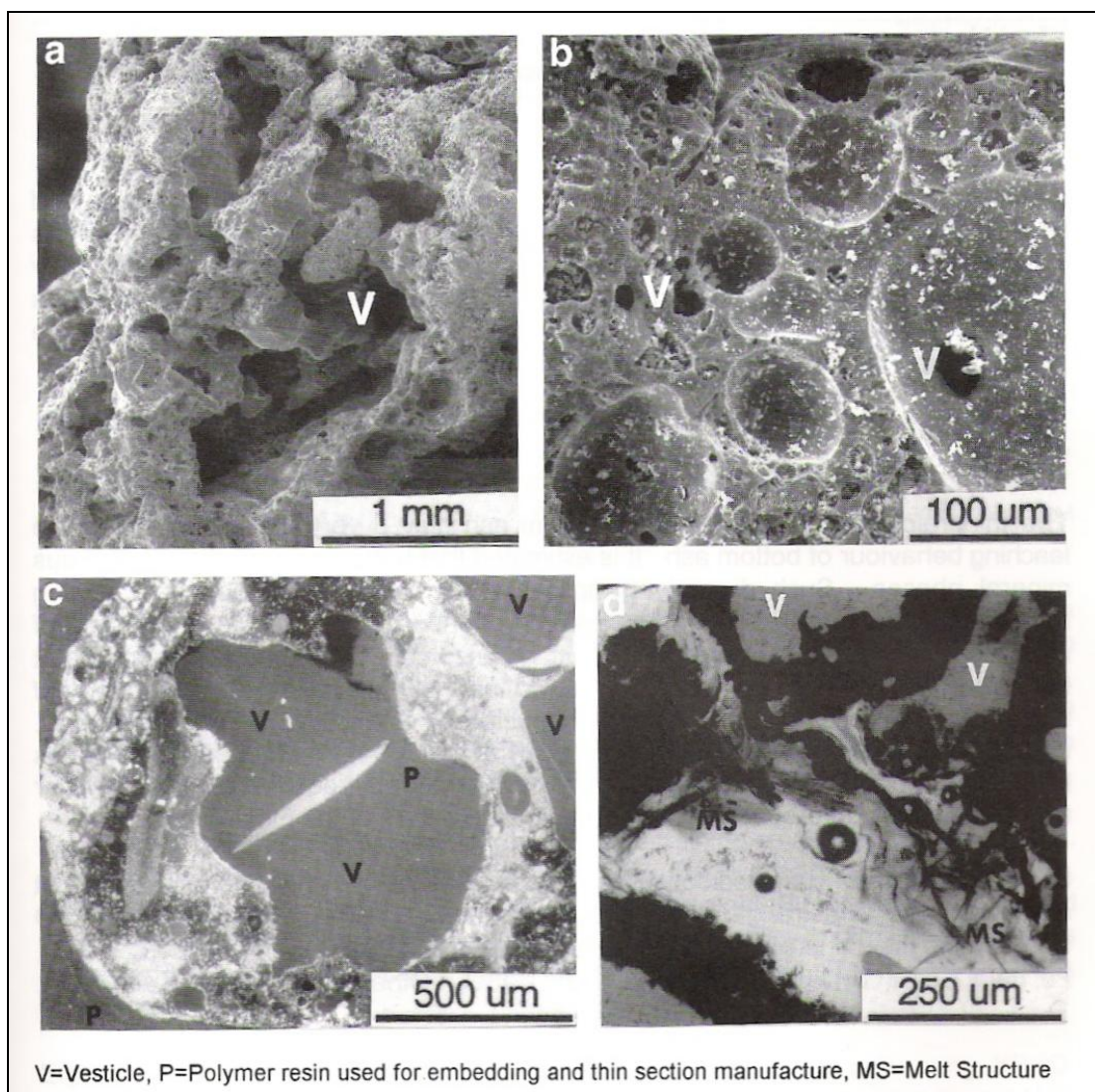
#### 5.2.1.3.4. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Όλα τα πορώδη υλικά έχουν την ιδιότητα να αφήνουν το νερό και άλλα υγρά ευδιάλυτα να διαπερνούν την μάζα τους μέσω διάχυσης. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται διαπερατότητα. Η τέφρα του πυθμένα έχοντας πολύ καλή διαβάθμιση κόκκων και πολύ υψηλή συμπίεση, φθάνει σε διαπερατότητες πολύ χαμηλές. Οι τιμές που ελήφθησαν από πειράματα κυμαίνονται στο εύρος του  $0,2$  έως  $10 \times 10^{-6}$  cm/sec. Τέτοιες διαπερατότητες δείχνουν ότι η μάζα της τέφρας χρήζει περαιτέρω διεργασίας διαβάθμισης/φίλτραρίσματος ώστε η τιμή να έρθει στα επιθυμητά επίπεδα που απαιτούνται για χρήση ως δομικό υλικό.

#### 5.2.1.4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΑΧΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ

Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε και από την φωτογραφία κάτω η στάχτη που πέφτει στον πυθμένα είναι γωνιώδες υλικό με περιεχόμενες φυσαλίδες σκωρίας οι οποίες αναπτύσσουν ένα ικανό πορώδες. Αυτό το εσωτερικό πορώδες δημιουργεί μεγάλη ειδική επιφάνεια η οποία με την σειρά της λειτουργεί θετικά στην διαδικασία παραγωγής διασταλλαγμάτων αν εμφανιστούν. Οι στάχτες έχουν ειδικές επιφάνειες περίπου  $3$  με  $46$  m<sup>2</sup>/g (ELSEVIER, 1997). Οι μετρήσεις του εσωτερικού πορώδους γίνονται με ισόθερμες προσρόφησης BET (άζωτου). Σε σύγκριση με άλλα αδρανή υλικά, η τέφρα έχει πολύ σκληροτράχηλη και γωνιακή υφή.





Εικόνα 5- 3:Μικρογραφίες της στάχτης του πυθμένα (ELSEVIER,1997)

#### 5.2.1.5. ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΙΑ-ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ

Στην περίπτωση που υπάρξουν στραγγίσματα /διηθήματα από την τέφρα του πυθμένα τον πρώτο ρόλο θα παίξουν τα οξείδια των μετάλλων που επικρατούν εκείνη την στιγμή στην χημική σύνθεση της στάχτης. Οι μέθοδοι προσδιορισμού που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως διαδικασίες διάθλασης με ακτίνες X. Τα κυριότερα οξείδια μετάλλων τα οποία ταυτοποιήθηκαν σε στάχτες ήταν το  $\text{SiO}_2$  (2,3%),  $\text{CaCO}_3$  (3,5%),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3.7%),  $\text{Fe}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_{7-6,5}$   $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$  και  $\text{CaSO}_4$  (ELSEVIER ,1997). Οι μονάδες καύσης των δύο σταδίων παράγουν λιγότερες διαλυτές μορφές ορυκτών από ότι τα συστήματα του ενός σταδίου.

#### 5.2.1.6. ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ

Η χωρητικότητα ουδετεροποίησης αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των χαρακτηριστικών της διήθησης της τέφρας. Η συγκεκριμένη ιδιότητα δείχνει πόσο ισοδύναμο νιτρικό οξύ χρειάζεται για να μειώσουμε το pH ενός γραμμαρίου από την δεδομένη τιμή που έχει σε μία που θέτουμε εμείς που συνήθως είναι το 7 (ουδέτερο). Για να γίνει πιο κατανοητό το συγκεκριμένο μέγεθος αρκεί να πούμε ότι για να κατεβάσουμε σε ένα γραμμάριο υπολειμματικής τέφρας το pH από 12 στο 7 θα χρειαστούμε περίπου 45λίτρα οξικής καταβύθισης. Το pH της στάχτης κυμαίνεται από 10,5 έως 12,2 εξαιτίας των υδροξειδίων του ασβεστίου που προέρχονται από την υδρόλυση του CaO (ELSEVIER ,1997). Συμπερασματικά αναφέρουμε ότι οι μονάδες των δύο σταδίων παράγουν τέφρα με χαμηλότερο pH από ότι οι υπόλοιπες μονάδες και αυτό πιστεύεται ότι συμβαίνει λόγω του μικρότερου βαθμού απόδοσης οξείδωσης το άνθρακα και κατ' επέκταση τα μειωμένα οξείδια μετάλλων.

#### 5.2.1.7. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η κατανομή των στοιχείων και δη των ανόργανων στην τέφρα είναι συνάρτηση του συστήματος καύσης που επιλέγεται ,της χημικής σύστασης της τροφοδοσίας, της πτητικότητας των στοιχείων και των παραμέτρων λειτουργίας που τίθενται σε εφαρμογή. Πάνω από 50 στοιχεία αναγνωρίζονται στην μάζα της στάχτης τα οποία κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες :

- Μέγιστης συγκέντρωσης (>10000 mg /kg)

Εδώ ανήκει το οξυγόνο , το πυρίτιο, ο σίδηρος, το ασβέστιο, το αλουμίνιο ,το νάτριο ,το κάλιο και ο ανόργανος άνθρακας. Τα στοιχεία αυτά έχουν χαμηλές πιέσεις ατμών και για αυτό δεν επηρεάζονται από την θερμοκρασία της καύσης. Βέβαια κάποια στοιχεία , όπως το αλουμίνιο επηρεάζεται η συγκέντρωση του στην στάχτη από την τροφοδοσία.

- Ελάχιστης συγκέντρωσης (10000>C>1000 mg /kg)

Το μαγνήσιο είναι το πιο διαδεδομένο συστατικό ελάχιστης συγκέντρωσης και ακολουθούν το τιτάνιο, το χλώριο ,το μαγγάνιο και το βάριο. Υπάρχουν ωστόσο και κάποια βαρέα μέταλλα όπως ο ψευδάργυρος ,ο χαλκός, ο μόλυβδος και το χρώμιο τα οποία ναι μεν κατατάσσονται σε



αυτή την κατηγορία θέλουν όμως πάρα πολλή προσοχή ιδιαίτερα στις συνθήκες λειτουργίας της καύσης.

- Ίχνη (<1000 mg/kg)

Τα ίχνη στοιχείων διακρίνονται σε έξι υποκατηγορίες :

- Οξυανικά στοιχεία στα οποία περιλαμβάνονται το αντιμόνιο, ο κασσίτερος ,το βανάδιο, το μολυβδαίνιο , το αρσενικό και το σελήνιο.
- Στοιχεία στα οποία περιλαμβάνονται το στρόντιο, το νικέλιο, το κοβάλτιο ,το κάδμιο ,ο άργυρος και ο υδράργυρος.
- Μία άλλη υποκατηγορία είναι το βόριο ,το βρώμιο το φθόριο και το ιώδιο.
- Στοιχεία που σχετίζονται με βιογεωχημικούς κύκλους όπως είναι ο άνθρακας ,το θείο , ο φώσφορος ,το άζωτο .
- Άλλα στοιχεία που εμφανίζονται στην στάχτη είναι τα εξωτικά στοιχεία ,οι λανθανίδες και οι ακτινίδες.
- Ισότοπα ραδιενεργών στοιχείων όπως το ρόδιο, το θόριο και το ραδόνιο.

Στο μέγεθος των σωματιδίων αυτό που έδειξε σημαντική μείωση μεγέθους ήταν ο ψευδάργυρος σε σχέση με τον χαλκό, το χρώμιο, το νικέλιο και τον μόλυβδο.

Γενικά ορισμένα στοιχεία όπως αυτά που προαναφέραμε μαζί με το αλουμίνιο εμφανίζουν μικρότερες συγκεντρώσεις σε μονάδες καύσης δύο σταδίων. Αντίθετα τα πτητικά στοιχεία εμφανίζονται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις στις μονάδες καύσης ενός σταδίου.

Τα στοιχεία που έχουν χαμηλά σημεία τήξης αναπτύσσουν διαφορετική συμπεριφορά μέσα στις εσχάρες.

Η ανάλυση ποσοτικοποίησης πραγματοποιείται κυρίως με σπεκτροφωτομετρική μέθοδο. Στον πίνακα 5-2 φαίνονται οι ποσότητες όλων των στοιχείων που περιέχονται στην λιθόσφαιρα ,στα εδάφη και την στάχτη.

Στοιχείο	Περιεκτικότητα στην λιθόσφαιρα	Εύρος στα εδάφη	Εύρος στην στάχτη πυθμένα
	ppm	ppm	ppm
Ag	0,007	0,001-5	0,29-36,9
Al	81000	10000-300000	21900-72,800
As	5	1-50	0,12-189

<b>Au</b>	-	-	<0,20
<b>B</b>	10	2-100	38-510
<b>Ba</b>	430	100-3000	400-3000
<b>Be</b>	2,8	0,1-40	-
<b>Br</b>	2,5	1-10	1,4-150,2
<b>C</b>	950		10000-60000
<b>Ca</b>	36000	7000-500000	370-123000
<b>Cd</b>	0,2	0,01-0,70	0,3-70,5
<b>Cl</b>	500	20-900	800-4190
<b>Co</b>	40	1-40	6-350
<b>Cr</b>	200	1-1000	23-3170
<b>Cs</b>	3,2	0,3-25	1-2
<b>Cu</b>	70	2-100	190-8240
<b>F</b>	625	10-4000	200-1100
<b>Fe</b>	51000	7000-550000	4120-150000
<b>Ga</b>	15	5-70	10
<b>Ge</b>	7	1-50	-
<b>Hg</b>	0,1	0,01-0,3	0,02-7,75
<b>I</b>	0,3	0,1-40	2-10
<b>K</b>	26000	400-30000	750-16000
<b>La</b>	18	1-5000	2-20
<b>Li</b>	65	5-200	-
<b>Mg</b>	21000	600-6000	400-26000
<b>Mn</b>	900	20-3000	83-2400
<b>Mo</b>	2,3	0,2-5	2,5-276
<b>N</b>	-	200-4000	110-900
<b>Na</b>	28000	750-7500	2870-42000
<b>Ni</b>	100	5-500	7-4280
<b>O</b>	465000	-	400000-500000
<b>P</b>	1200	200-5000	1400-6400
<b>Pb</b>	16	2-200	98-13700
<b>Rb</b>	280	50-500	40-50
<b>S</b>	600	30-10000	1000-5000
<b>Sc</b>	5	5-50	3-6
<b>Sb</b>	-	-	10-432
<b>Se</b>	0,09	0,1-2	0,05-10
<b>Si</b>	276000	230000-350000	91000-308000
<b>Sn</b>	40	2-200	2-380
<b>Sr</b>	150	50-1000	85-1000
<b>Ti</b>	6000	1000-10000	2600-9500
<b>V</b>	150	20-500	20-122
<b>Y</b>	-	25-250	10
<b>Zn</b>	80	10-300	613-7770
<b>Zr</b>	220	60-2000	200

Πίνακας 5- 2:Περιεκτικότητα στοιχείων στην λιθόσφαιρα, στο έδαφος και στην στάχτη του πυθμένα  
(ELSEVIER ,1997)

#### **5.2.1.8. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ**

Ο οργανικός άνθρακας που περιέχεται στην τέφρα ανέρχεται σε ένα ποσοστό της τάξεως του 2 με 4% σε καλής απόδοσης καύσης στάχτες. Τα οργανικά συστατικά που δημιουργούνται ιδιαίτερα με την βοήθεια του χλωρίου είναι οι διοξίνες (PCDDs) οι φουράνες (PCDFs) ,και οι προάγγελοι αυτών είναι τα χλωριωμένα βενζένια (CBs), οι χλωριωμένες φαινόλες (CPs) και τα χλωριωμένα βιφαινύλια (PCBs). Μία τελευταία συνομοταξία είναι και οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs).

##### **5.2.1.8.1. ΔΙΟΞΙΝΕΣ ΚΑΙ ΦΟΥΡΑΝΙΑ**

Τυπικές τιμές για διοξίνες είναι 0,03 με 0,04 ng/gr και προέρχονται από τις ομάδες των (επτά-) και (οκτώ-). Τυπικές τιμές και φουράνια είναι 0,05 με 0,1 ng/gr και προέρχονται από τις ομάδες των (τέσσερα-) και (πέντε-)(ELSEVIER ,1997).Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε μονάδες καύσης μάζας ενώ για τις μονάδες RDF οι τιμές είναι λίγο υψηλότερες.

##### **5.2.1.8.2. ΧΛΩΡΙΩΜΕΝΑ BENZENIA ΚΑΙ ΧΛΩΡΙΩΜΕΝΕΣ ΦΑΙΝΟΛΕΣ**

Τυπικές τιμές για τις χλωριωμένες φαινόλες είναι 9έως 164 ng/gr και για τα χλωριωμένα βενζένια από 4 έως 36 ng/gr(ELSEVIER ,1997).

##### **5.2.1.8.3. ΧΛΩΡΙΩΜΕΝΑ ΒΙΦΑΙΝΥΛΙΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ**

###### **ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ**

Τυπικές τιμές για τους πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες είναι στο εύρος από 13 έως 2190 ng/gr ενώ για τα χλωριωμένα βιφαινύλια κυμαίνονται 8 ng/gr (ELSEVIER ,1997). Η συγκέντρωση των PAHs μπορεί να αποτελέσει μέτρο καύσης στις μονάδες ,ενώ μία τυπική τιμή γύρω στα 100 ng/gr αντιπροσωπεύει καλή απόδοση καύσης.

Σύμφωνα με τον H.G. Rigo [Atwater, J. and Sims, D., 1993] η στάχτη που βρίσκεται στον πυθμένα δεν κατατάσσεται σαν ειδικό απόβλητο αν και τα διηθήματα αυτής είναι περιβαλλοντικά προβλήματα για της ασφαλή διάθεση της. Ταυτόχρονα μπορεί να υπάρξουν

δυνατότητες για την χρησιμοποίηση αυτού του υλικού σε δομικές εφαρμογές [47] οι οποίες θα ελαφρύνουν το κόστος επένδυσης σημαντικά.

Ο Atwater [Atwater, J. and Sims, D., 1993] επικεντρώνεται στις πιθανές χρήσεις της στάχτης του πυθμένα σε διάφορα πιθανά σενάρια :

- Παραγωγή τσιμέντου
- Υλικό πλήρωσης
- Μείγμα αδρανών για σκυροδέματα
- Επικάλυψη σε ΧΥΤΑ
- Ενσωμάτωση σε τούβλα
- Ενσωμάτωση σε θερμοπλαστικά

Μερικά από τα παραπάνω απαιτούν πρόσθετες διεργασίες όπως διαχωρισμό/ταξινόμηση κλασμάτων ανάλογα με το μέγεθος ,τα οποία κλάσματα ίσως να έχουν διαφορετική χημική σύσταση ή να χρειάζεται επιπλέον απομάκρυνση των μετάλλων

Οι παραπάνω τεχνικές δεν είναι οι μόνες που υιοθετούνται , για παράδειγμα οι Δανοί χρησιμοποιούν την τέφρα στην οδοποιία σαν ασφαλτόμιγμα. Από τις εν λόγω τεχνικές προκύπτει ότι η εφαρμογή τους έχει να κάνει με τους τοπικούς κανονισμούς και την νομοθεσία.

### **5.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ**

Ενώ η στάχτη που καθιζάνει στον πυθμένα δεν κατηγοριοποιείται σαν ειδικό απόβλητο η ιπτάμενη τέφρα τυπικά αποτελεί ειδικό απόβλητο. Αποτελεί ένα μικρότερο ποσοστό της του φορτίου των αποβλήτων αλλά είναι προβληματική στην διάθεση. Η φύση της χαρακτηρίζει κατά ένα βαθμό τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης

#### **5.3.1. ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Σε μακροσκοπική κλίμακα τα πυκνότερα σωματίδια που περνούν στην μάζα των απαερίων κατευθύνονται μέσα στο σύστημα του boiler και λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας αλλά και της μεταφοράς μάζας και θερμότητας ορισμένα συνήθως τα συμπυκνωμένα σωματίδια κατακρημνίζονται και συλλέγονται σε ειδικούς υποδοχείς. Τα υπόλοιπα λεπτά σωματίδια

προχωρούν προς τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης. Τα σωματίδια /συσσωματώματα που επικάθονται στις επιφάνειες του boiler έχουν διάμετρο περίπου μέχρι και 400 μm. Λόγω της παρουσίας της μεταφοράς θερμότητας το γνωστό σε όλους μας φράξιμο είναι ένας διαρκής κίνδυνος μη σωστής λειτουργίας του λέβητα, Τα φαινόμενα αυτά εκτός του ότι εμφανίζονται πολύ λίγες φορές αντιμετωπίζονται με σωστή λειτουργία του αποτεφρωτήρα. Η θερμική βαθμίδα ανάμεσα στα απαέρια και στην επιφάνεια ενός συστήματος καύσης δύο σταδίων είναι μεγαλύτερη (τα απαέρια εισέρχονται με θερμοκρασίες πάνω από 900°C) από αυτήν στα συστήματα ενός σταδίου (θερμοκρασίες κάτω από 800°C). Τα συστήματα δύο σταδίων χρειάζονται να διακόπτουν την λειτουργία τους κάθε 8 με 12 εβδομάδες για τον καθαρισμό του boiler ενώ τα υπόλοιπα συστήματα μπορούν άνετα να κρατήσουν μέχρι και ένα χρόνο μέχρι την συντήρηση του boiler.

#### 5.3.1.1. ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ

Η διαβάθμιση των σωματιδίων δείχνει πως τα σωματίδια που συλλέγονται στις χοάνες του λέβητα αποτελούνται κατά 90% από μεγέθη 40-200<sup>+</sup> μm. Σίγουρα αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας μπορούν να μεταβάλλουν την κατανομή των κλασμάτων για παράδειγμα αν αυξήσουμε τον αέρα κάτω από την ζώνη καύσης και μειώσουμε το βάθος της κλίνης μπορεί να αυξηθεί το ποσοστό των ευμεγεθών σωματιδίων. Σίγουρα αν η μάζα των αποβλήτων περιέχει σωματίδια σκόνης σε μεγάλο ποσοστό και είναι αυξημένη η στροβιλότητα μέσα στον θάλαμο καύσης τότε θα έχουμε μεγάλη ανάπτυξη λεπτών σωματιδίων.

#### 5.3.1.2. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΑΧΤΗΣ ΛΕΒΗΤΑ

Οι μορφές των σωματιδίων της στάχτης του λέβητα κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες με την πολυκρυσταλλίνη και της αδιαφανής μορφή να αποτελούν το 60 % με σωματίδια μεγέθους από 5-300 μm.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
σφαίρες από τήξη	σφαιροειδή σωματίδια διαφόρων χρωμάτων
κρύσταλλοι	ακανόνιστου σχήματος ,παρόμοια με τα σωματίδια ασβεστίτη
πολυκρυσταλλίνη	πυκνή συσσωμάτωση από ακανόνιστου σχήματος σωματίδια
αδιαφανής	μονά ,μεγάλα σωματίδια<300μm

απανθρακώματα	μαύρα ινώδη σωματίδια
---------------	-----------------------

ΠΗΓΗ:ELSEVIER,1997

**Πίνακας 5- 3:Κατηγοριοποίηση της στάχτης του λέβητα**

Μορφολογία	Ποσοστό συμμετοχής	Εύρος μεγέθους
	%	µm
σφαίρες από τήξη	15	2-100
κρύσταλλοι	10	5-140
πολυκρυσταλλίνη	30	5-200
αδιαφανής	30	5-300
απανθρακώματα	15	10-400

ΠΗΓΗ:ESLEVIER

**Πίνακας 5- 4:Κατανομή μεγέθους της στάχτης**

#### **5.3.1.3. ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Τα συστήματα δύο σταδίων παράγουν τέφρα σχεδόν ουδέτερου pH ενώ τα συστήματα ενός σταδίου παράγουν τέφρα στον λέβητα υψηλής αλκαλικότητας. Οι στάχτες του λέβητα και του economizer για τα συστήματα καύσης δύο σταδίων παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαλυτότητα από τις στάχτες των συστημάτων καύσης μάζας ή RDF.

#### **5.3.1.4. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ**

Η χημική σύνθεση της τέφρας του λέβητα εμπεριέχει μεγάλα ποσοστά CaO (26,7%), SiO<sub>2</sub>(28,1%) , Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(14%) ενώ στα ρεύματα ανόδου και καθόδου στον λέβητα υπάρχει πληθώρα SO<sub>3</sub>(22,1% και 26,9% αντίστοιχα) (ELSEVIER,1997).

#### **5.3.1.5. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ**

Η κατανομή του χρωμίου και του νικελίου στην καύση δείχνει ότι τα μέταλλα αυτά θα υπάρχουν στα απαέρια σαν στερεά σωματίδια. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων μπορούν να ελαττωθούν αν ο χρόνος παραμονής των απαερίων στην ζώνη καύσης ή μετάκαυσης αυξηθεί. Οι μικρότερες μετρήσεις που μετρήθηκαν ήταν 130 με 385 µg/g για το χρώμιο (ELSEVIER,1997). Οι τιμές αυτές μειώνονται σε μονάδες καύσης μάζας όπου οι στάχτες του boiler και του economizer

ενώνονται. Όπως είναι φυσικό στις μονάδες RDF μετρήθηκαν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις λόγω βέβαια της υψηλής φόρτισης τροφοδοσίας.

### 5.3.1.6. ΠΤΗΤΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα πτητικά βαρέα μέταλλα μόλυβδος, κάδμιο και ψευδάργυρος που εμπεριέχονται στην μάζα της στάχτης βρίσκονται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στα διπλά συστήματα. Όμως παρατηρείται κάτι αξιοσημείωτο, οι στάχτες του εξοικονομητή είναι πιο πλούσιες σε αυτά τα μέταλλα από τις στάχτες του λέβητα. Εδώ ο παράγοντας θερμοκρασία είναι το βαρόμετρο το οποίο καθορίζει τις συγκεντρώσεις αφού στο economizer η θερμοκρασία εξόδου είναι μικρότερη από του λέβητα.

### 5.3.1.7. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Οι στάχτες που συλλέχθηκαν και είχαν θερμοκρασία μεγαλύτερη των 400°C περιείχαν πολύ μικρές ποσότητες διοξινών (1,1 µg/kg) ενώ σε θερμοκρασίες κάτω των 400°C παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις περίπου 600 µg/kg (ELSEVIER,1997). Οι φτωχές συνθήκες λειτουργίας σίγουρα μπορούν να ενεργήσουν θετικά προς των σχηματισμό διοξινών και φουρανίων. Αν η περιοχή συλλογής της τέφρας στον λέβητα είναι στις θερμοκρασίες από 300 έως 450 °C τότε οι συγκεντρώσεις και των διοξινών /φουρανίων αλλά και των άλλων χλωριωμένων οργανικών παραγώγων θα είναι υψηλές. Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες που παράγονται σε ημι-πυρολυτικές ή πυρολυτικές διαδικασίες είναι ένδειξη απόδοσης καύσης ωστόσο αυτό δεν σημαίνει ότι δεν θα δώσουμε σημασία στην τιμή τους στην τέφρα.

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΤΥΠΟΣ	Ολικές διοξίνες	Ολικά φουράνια	Ολικά PAHs
		ng/gr	ng/gr	ng/gr
Δυο σταδίων	Boiler	60-150	6-20	110-780
	Economizer	30-170	10-40	12-160
Καύσης μάζας	Boiler / Economizer	0,09-183	0,03-120	21-70
Ημι-αιώρησης	Economizer	0,01-0,43	0,01-1,83	16-6,43



ΣΥΣΤΗΜΑ	ΤΥΠΟΣ	Ολικά χλωροβενζένια	Ολικές χλωροφαινόλες	Ολικά PCBs
		ng/gr	ng/gr	ng/gr
Δυο-σταδίων	Boiler	70-940	230-540	<0,1-50
	Economizer	50-240	<0,1-10	<0,1-50
Καύσης μάζας	Boiler / Economizer	259-1570	59-110	<0,1-24
Ημι-αιώρησης	Economizer	<0,1	<0,1-15	<0,1
ΠΗΓΗ:ELSEVIER,1997				

**Πίνακας 5- 5:Τυπικές τιμές σε οργανικούς ρύπους στην ιπτάμενη τέφρα**

### 5.3.2. ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Οι υγρές και ξηρές πλύσεις παρουσιάζουν πολλά διαφορετικά θέματα διάθεσης. Στην διαδικασία της αποτέφρωσης τα ατμοφιλικά μέταλλα όπως ο υδράργυρος ,το κάδμιο και ο μόλυβδος βρίσκονται μέχρι κάποια έκταση σε αέρια φάση και συμπυκνωμένα όπως οι καπνοί ή τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας.

Η έκταση των μετάλλων εξαρτάται ανάλογα με τον σχηματισμό που προκύπτει κατά την διαδικασία της καύσης και των παραμέτρων λειτουργίας του θαλάμου καύσης. Μέταλλα όπως ο μόλυβδος και το κάδμιο που υπάρχουν στις βαφικές ύλες και τους πλαστικοποιητές, πτητικοποιούνται καθαρά σε βαθμό που τα μέταλλα να είναι σε στοιχειώδη μορφή ,στις μπαταρίες λόγω χάρη η εξάτμιση των μετάλλων είναι λιγότερο βέβαιη. Οι αυξημένες θερμοκρασίες ευνοούν μεγαλύτερη πτητικοποίηση έτσι ώστε π.χ η ανακυκλοφορία των απαερίων που μειώνει την θερμοκρασία της φλόγας ,θα μειωθούν οι εκπομπές βαρέων μετάλλων.Διαμέσου της διαδικασίας της πτητικοποίησης και της συμπύκνωσης τα βαρέα μέταλλα συγκεντρώνονται στο ρεύμα της ιπτάμενης τέφρας. Σε υγρή πλύση η ιπτάμενη τέφρα πλένεται από ένα υδατικό αλκαλικό διάλυμα. και μετά η στάχτη απομακρύνεται σαν υγρό διάλυμα με καθίζηση και φίλτραυση. Η επεξεργασία νερού ίσως χρειαστεί να εφαρμοσθεί σαν διαδικασία εάν υπάρχει σημαντικό ποσοστό μετάλλων που είναι ευδιάλυτο. Η ξηρή πλύση αντιθέτως χρησιμοποιείται ευρύτατα στις μέρες μας. Στην συγκεκριμένη μέθοδο η ιπτάμενη τέφρα αναμιγνύεται με ασβέστη ,με χλωριούχο ασβέστιο, σουλφίδιο και άλας τα οποία έχουν σχηματιστεί από τις αντιδράσεις των όξινων αερίων και του ασβέστη.

Επιπρόσθετα τα ατμοφιλικά βαρέα μέταλλα που συγκεντρώνονται στην ιπτάμενη τέφρα , βρίσκονται σε μια μορφή που χημικά και φυσικά μπορεί να συντελεστεί αύξηση διαλυτότητας. Τα λεπτά σωματίδια δημιουργούν ακαριαία διάλυση των διαλυτών στοιχείων σχετιζομένων με την στάχτη του πυθμένα και τα μέταλλα πιθανόν να δεσμευτούν μέσα σε υαλώδες περίβλημα με έψηση στις ζώνες υψηλής θερμοκρασίας . Παρόλο που τα μέταλλα μειώνονται στην ξηρή πλύση με την χρήση αλκαλιού υπάρχουν αρκετοί σχηματισμοί χλωριδίων και σουλφιδίων μετάλλων που δημιουργούνται από αντιδράσεις με το HCl και το SO<sub>2</sub> .Τα παραπάνω χαρακτηρίζουν την ιπτάμενη τέφρα της αποτέφρωσης ΑΣΑ σαν ειδικό απόβλητο.

Υπάρχουν αρκετά σχόλια ότι η τοξικότητα (τουλάχιστον αυτή που προκύπτει για τα βαρέα μέταλλα) μπορεί να ελεγχθεί από την προσθήκη του ξηρού αλκαλιού. Η διαλυτότητα των μετάλλων ποικίλει σαν συνάρτηση του τελικού pH που θα προέλθει σε μία εκχύλιση TCLP. Αυτό δείχνει τον επαμφοτερίζοντα χαρακτήρα των οξειδίων των βαρέων μετάλλων. Το πρόβλημα της συγκέντρωσης των ατμοφιλικών μετάλλων στην ιπτάμενη τέφρα συνδέεται με την απομάκρυνση των PCDD και PCDFs με την ξηρή πλύση. Ο ξηρός ασβέστης τείνει να απορροφά τις διοξίνες και τα φουράνια που βρίσκονται στα απαέρια ενώ άλλα ανασχηματίζονται στην επιφάνεια της ιπτάμενης τέφρας. Οι Edwards et al. [Edwards, W.C., Cotton, T. and Tam, P., 1989] μελέτησαν τα δεδομένα από μια μονάδα του Καναδά το 1991 στο Burnaby. Οι συγκεντρώσεις στην ιπτάμενη τέφρα ήταν 10 με 100 φορές μεγαλύτερες από την στάχτη του πυθμένα και είχαν τοξική ισοδυναμία πάνω από 100 φορές . Στην Γερμανία υπήρχαν προβλήματα με την διάθεση της ιπτάμενης τέφρας εξαιτίας των συγκεντρώσεων των διοξινών και των φουρανίων. Επίσης υπάρχει ένα ενδιαφέρον παράδοξο ,τα χαμηλά όρια άνθρακα που είναι ένδειξη καλής καύσης στην έξοδο του αποτεφρωτήρα αυξάνουν την βιοδιαθεσιμότητα των μορίων των διοξινών και καθιστούν την στάχτη πιο τοξική. Στην πιο απίθανη περίπτωση οι εκπομπές PCDD και PCDF αποτελούν την μόνη ανησυχία όταν υπάρχει απόδειξη ότι η θερμότητα των 400°C σε αδρανή ατμόσφαιρα καταστρέφει αποτελεσματικά τις διοξίνες.

Ενώ η επικέντρωση στην στάχτη του πυθμένα αποφέρει την κατάλληλη χρησιμοποίηση της , η ιπτάμενη τέφρα φαίνεται να έχει ένα ελάχιστο κόστος επεξεργασίας που φέρνει την διηθητικότητα προς συμμόρφωση με τοπικές οδηγίες προς διάθεση.

#### **5.3.2.1. ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΞΗΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Στα ξηρά συστήματα που εισάγουμε σκόνη ασβέστη τα υπολείμματα είναι χλωριούχο ασβέστιο και ασβέστης ο οποίος δεν έχει αντιδράσει. Σε πολλές μονάδες εφαρμόζονται συστήματα ανακύκλωσης των υπολειμμάτων αυτών προκειμένου να μειωθεί η ποσότητα της πρώτης ύλης ασβέστη που εισάγεται.

#### **5.3.2.2. ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΗΜΙ-ΞΗΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Στην μέθοδο αυτή τα υπολείμματα είναι τα ίδια με την προηγούμενη περίπτωση αντί όμως ασβέστη σε σκόνη εισάγεται διάλυμα ασβέστη με νερό το οποίο εμφανίζει και καλύτερη στοιχειομετρία.

#### **5.3.2.3. Υπολείμματα από τα υγρά συστήματα**

Στα υγρά συστήματα πλύσης τα υπολείμματα περιέχουν ανόργανα άλατα όπως  $\text{CaCl}_2$  ή  $\text{NaCl}$ , οργανικά σουλφίδια όπως η τριμερτοκαπτοτρίαζίνη (TMT) και άλλα ίχνη μετάλλων η βαρέων μετάλλων. Για να μειώσουμε τις ποσότητες των μετάλλων οδηγούμε το υγρό μίγμα για καθίζηση ασβέστη και εξευγενισμό με TMT. Στην περίπτωση της απομάκρυνσης  $\text{SO}_x$  με τον ασβέστη που χρησιμοποιήσαμε είναι εφικτή η δυνατότητα παράγωγής γύψου χωρίς αυτό να σημαίνει ότι πρέπει να αναμιξούμε τα δύο ρεύματα πλύσης, το ουδέτερο με το όξινο. Σε όλα τα υπολείμματα που αναφέραμε η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να εμπεριέχεται αλλά μπορεί και να λείπει από την σύνθεση.

### **5.3.3. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

#### **5.3.3.1. ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ**

Στα ξηρά συστήματα η συλλεχθήσα τέφρα δεν περιέχει καθόλου νερό και το χρώμα ποικίλει από άσπρο μέχρι καφέ, γκρι και βαθύ μαύρο ανάλογα με τις συνθήκες καύσης. Εάν το  $\text{CaCl}_2$  είναι το κύριο συστατικό τότε υπάρχει περίπτωση λόγω υγροσκοπικών ιδιοτήτων του μορίου αυτού να απορροφήσει η στάχτη υγρασία από τον αέρα.

Τα υγρά συστήματα παράγουν μία σκούρα καφέ λάσπη με το περιεχόμενο νερό να ποικίλει ανάλογα με το είδος των φίλτρων που τοποθετούνται (φυγοκεντρικά κ.α) και να αγγίζει το ποσοστό του 65 με 75 % (ELSEVIER, 1997).

### 5.3.3.2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Οι ξηρές και οι ημιξηρές διαδικασίες παράγουν περισσότερα λεπτά σωματίδια. Τα κλάσματα που συναντάμε στις ξηρές πλυντρίδες έχουν εύρος από 40 μέχρι 200  $\mu\text{m}$  (88 % επι συνόλου μάζας) ενώ τα φίλτρα παρέχουν την δυνατότητα απομάκρυνσης σωματιδίων από 10 έως 40  $\mu\text{m}$  (42 % επι συνόλου μάζας) (ELSEVIER,1997). Ότι ισχύει για την υπολειμματική τέφρα των λεβήτων σε σχέση με τις συνθήκες λειτουργίας, τον τύπο καύσης και την τροφοδοσία συμβαίνει το ίδιο και εδώ.

### 5.3.3.3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι πυκνότητες της συμπιεσμένης στάχτης από τα ξηρά συστήματα ποικίλουν από 1,22-1,43  $\text{tn}/\text{m}^3$  με ποσοστό νερού γύρω στο 30 με 40 % (ELSEVIER,1997). Από τα δεδομένα που εξετάστηκαν οι επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με μειωμένη συμπίεση η αντοχή συμπίεσης μειώνεται και η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα αυξάνεται κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στον σχεδιασμό ΧΥΤΑ υπολειμμάτων από συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης. Μελέτες έδειξαν ότι η αντοχή συμπίεσης αυξάνει καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία κατά την διάρκεια των πρώτων 28 ημερών για θερμοκρασίες από  $-18^{\circ}\text{C}$  έως  $20^{\circ}\text{C}$ . Όσον αφορά φυσικοχημικές αντιδράσεις θεωρώντας την περιεκτικότητα των χλωριδίων στο 20 με 40 % κ.β οι ποζολανικές αντιδράσεις θα μειωθούν σημαντικά. Μερικές από τις συνεκτικές ιδιότητες μπορούν να εξηγηθούν από το υψηλό περιεχόμενο του χλωριούχου ασβεστίου και του ασβέστη. Αν προστεθεί παραπάνω νερό τότε το προϊόν της εξωθερμικής ενυδάτωσης ( $\text{CaCl}_2 - 4\text{H}_2\text{O}$ ) που θα σχηματιστεί το οποίο έχει σημείο τήξης τους  $29,9^{\circ}\text{C}$  θα κρυσταλλοποιηθεί και θα λιώσει (ELSEVIER,1997). Η συγκεκριμένη ένωση μόλις παγώσει θα έχει ήδη συμπληρώσει τους πόρους και θα στερεοποιηθεί δίνοντας στην τέφρα μία μηχανική αντοχή μεγαλύτερη από την προϋπάρχουσα.

### 5.3.3.4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Μορφολογία	Ποσοστό συμμετοχής Ξηρή πλύση	Ποσοστό συμμετοχής Φίλτρα	Εύρος μεγέθους Ξηρή πλύση	Εύρος μεγέθους Φίλτρα
	%	%	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$

σφαίρες από τήξη	15	5	5-150	5-60
κρύσταλλοι	10	<5	5-150	10-40
πολυκρυσταλλίνη	30	80	5-200	2-90
αδιαφανής	30	5	5-200	5-40
απανθρακώματα	15	<5	160-240	60-500

ΠΗΓΗ:ELSEVIER,1997

#### Πίνακας 5- 6:Κατανομή μορφολογίας και εύρους σωματιδίων στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης

Οι κατηγορίες είναι οι ίδιες που είχαμε συναντήσει και στην στάχτη από τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας όμως τα συστήματα ξηρής πλύσης εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά στο ποσοστό συμμετοχής με τις τιμές του λέβητα αλλάζουν όμως τα ποσοστά και οι διάμετροι των σωματιδίων όσον αφορά τα υπολείμματα των φίλτρων.

Οι διαλυτές φάσεις των μετάλλων που μετρήθηκαν με τέστ διήθησης είναι το  $K_2ZnCl_4$ ,  $NaCl$ ,  $CaClO_4$  και  $MgSO_4 \cdot 5H_2O$  (ELSEVIER,1997). Στα ημιξηρά συστήματα καθαρισμού οι ενώσεις του άλατος  $CaCl_2$  και του οξειδίου / υδροξειδίου του ασβεστίου σχηματίζονται σε διάφορα είδη.

#### 5.3.4. ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

Γενικά τα υπολείμματα από τα συστήματα APC περιέχουν συστατικά με μεγαλύτερη διαλυτότητα στο νερό από ότι στην στάχτη του πυθμένα και την ιπτάμενη τέφρα. Η ολική διαλυτότητα στα συστήματα APC πρέπει να καθοριστεί σε υψηλούς λόγους αερίου/υγρού και η τιμή της μπορεί να φθάσει τα 100 έως τα 200 l/kg. Για τα συστήματα καύσης μάζας οι τυπικές διαλυτότητες για την ιπτάμενη τέφρα αγγίζουν την τιμή 21 με 23 % για τα ESPs , 27 έως 38 % για τις ξηρές και ημιξηρές διαδικασίες και 14 % για τα υγρά συστήματα (ELSEVIER,1997).

#### 5.3.5. ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΛΕΞΗ

Τα πειράματα με αυτό το μέγεθος έχουν δείξει ότι σχετίζεται με τον καθαρισμό των όξινων αερίων. Όμως σε αυτήν την περίπτωση μετράμε την απώλεια του χημικώς απαιτούμενου νερού ,όπως στην αφυδάτωση του χλωριούχου ασβεστίου και πιθανώς την απώλεια του ανόργανου άνθρακα. Η περιεχόμενη απώλεια στην ανάφλεξη υπολογίστηκε γύρω στο 1,1 με 1,3 % για την τέφρα από τα ESPs ,2.8 έως 4.9 % για τα ξηρά συστήματα . Στην λάσπη από τα υγρά συστήματα παρατηρήθηκαν τιμές γύρω στο 11%. Στα συστήματα καύσης δύο σταδίων παρατηρήθηκαν τιμές μεταξύ του 5,9 και 10% ενώ στις μονάδες καύσης RDF βρέθηκαν αυτές οι τιμές από 4,1 έως 7,9 %(ELSEVIER,1997).

### 5.3.6. ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

#### 5.3.6.1. ΡΗ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΞΙΝΗΣ ΟΥΔΕΤΕΡΟΤΗΤΑΣ

Το pH αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον έλεγχο της διαλυτότητας κυρίως των βαρέων μετάλλων αλλά και των υπόλοιπων ανόργανων μετάλλων που υπάρχουν στην σύνθεση των υπολειμμάτων. Τα περισσότερα υπολείμματα των αερίων συστημάτων είναι υψηλής αλκαλικότητας με pH που κυμαίνεται από 11 έως 12,5. Για την ιπτάμενη τέφρα από τα ESPs το pH ανήκει στο εύρος από 7,0 έως 11,3 ενώ για τα υπολείμματα των ξηρών συστημάτων η τιμή φθάνει σε πολύ αλκαλικά επίπεδα μέχρι και 12,5 και για τα υγρά συστήματα το pH περίπου φθάνει το 10,5 (ELSEVIER,1997).Πρακτικά τα ξηρά συστήματα λόγω της περισσειας του ασβέστη φθάνουν σε τέτοια επίπεδα.

Η χωρητικότητα ουδετεροποίησης αναφέρεται για pH ίσο με 7 και για την ιπτάμενη τέφρα από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα η τιμή της είναι 2,5 έως 3,5 eqn/kg, για τα ξηρά συστήματα 5,6 έως 12 eqn/kg και τα υγρά συστήματα η τιμή αναφέρεται σε 4,5 eqn/kg.

#### 5.3.6.2. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

- Μέγιστης συγκέντρωσης (>10000 mg /kg)

Εδώ ανήκει το οξυγόνο ,το χλώριο , το πυρίτιο, ο σίδηρος, το ασβέστιο, το αλουμίνιο ,το νάτριο ,το κάλιο, το μαγνήσιο ,ο ψευδάργυρος, το θείο και ο μόλυβδος. Το χλώριο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε ανεπαίσθητες αλλαγές της θερμοκρασίας και κυρίως θέλει λίγο προσοχή στο θερμοκρασιακό εύρος από 220°C με 230°C. Αυτό που μας ανησυχεί σε αυτήν την υποκατηγορία είναι ότι λόγω του βασικού pH ,της υψηλής ιοντικής ισχύος και των υψηλών συγκεντρώσεων χλωρίου ο μόλυβδος κυρίως έχει κάνει την εμφάνιση του.

- Ίχνη (<1000 mg/kg)

Τα ίχνη στοιχείων περιέχουν τα εξής στοιχεία ,το βανάδιο, το μολυβδαίνιο , το αρσενικό ,το σελήνιο το νικέλιο, το κοβάλτιο ,το κάδμιο, το χρώμιο και ο υδράργυρος.

Στο μέγεθος των σωματιδίων αυτό που έδειξε σημαντική αύξηση μεγέθους ήταν το κάδμιο και ο μόλυβδος σαν πτητικά συστατικά ενώ το αντίθετο συνέβη για το αλουμίνιο ,το βάριο το μαγγάνιο, το νικέλιο και το κάλιο.

Τα μικρότερα σωματίδια με την συμπύκνωση περνάνε σε συσσωματώματα λόγω και της μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας των λεπτότερων σωματιδίων.

Παρακάτω παραθέτουμε τυπικά όρια για όλα σχεδόν τα στοιχεία που καταγράφηκαν σε 50 μονάδες παγκοσμίως.

Στοιχείο	Ιπτάμενη τέφρα	Υπολείμματα από ξηρά συστήματα	Υπολείμματα από υγρά συστήματα χωρίς ιπτάμενη τέφρα	Υπολείμματα από υγρά συστήματα με ιπτάμενη τέφρα
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>Ag</b>	2,3-100	0,9-60	-	53
<b>Al</b>	49000-90000	12000-83000	21000-39000	71000-81000
<b>As</b>	37-320	18-530	41-210	130-190
<b>Ba</b>	330-3100	51-14000	55-1600	330-1900
<b>Be</b>	-	0,5-0,9	-	1,5-1,9
<b>C</b>	-	-	-	-
<b>Ca</b>	74000-130000	110000-350000	87000-200000	93000-110000
<b>Cd</b>	50-450	140-300	150-1400	220-270
<b>Cl</b>	29000-210000	62000-380000	17000-51000	48000-71000
<b>Co</b>	13-87	4-300	0,5-20	14-22
<b>Cr</b>	140-1100	73-570	80-560	390-660
<b>Cu</b>	600-3200	16-1700	440-2400	1000-1400
<b>Fe</b>	12000-44000	2600-71000	20000-97000	15000-18000
<b>Hg</b>	0,7-30	0,1-51	2,2-2300	38-390
<b>K</b>	22000-62000	5900-40000	810-8600	35000-58000
<b>Mg</b>	11000-19000	5100-14000	19000-170000	18000-23000
<b>Mn</b>	800-1900	200-900	5000-12000	1400-2400
<b>Mo</b>	15-150	9,3-29	1,8-44	20-38
<b>N</b>	-	-	1600	-
<b>Na</b>	15000-57000	7600-29000	720-3400	28000-33000
<b>Ni</b>	60-260	19-710	20-310	67-110
<b>O</b>	-	-	-	-
<b>P</b>	4800-9600	1700-4600	-	6000-7400
<b>Pb</b>	5300-26000	2500-10000	3300-22000	5900-8300
<b>S</b>	11000-45000	1400-25000	2700-6000	11000-26000
<b>Sb</b>	260-1100	300-1100	80-200	-
<b>Se</b>	0,4-31	0,7-29	-	12
<b>Si</b>	95000-210000	36000-120000	78000	120000
<b>Sn</b>	550-2000	620-1400	340-450	1000
<b>Sr</b>	40-640	400-500	5-300	200
<b>Ti</b>	6800-14000	700-5700	1400-4300	5300-8400
<b>V</b>	29-150	8-62	25-86	62
<b>Zn</b>	9000-70000	7000-20000	8100-53000	20000-23000

ΠΗΓΗ:ELSEVIER,1997

**Πίνακας 5- 7:Συγκεντρώσεις των ανόργανων συστατικών στην ιπτάμενη τέφρα και στα υπολείμματα των υγρών συστημάτων**



Στοιχείο	Ξηρά συστήματα χωρίς ιπτάμενη τέφρα mg/kg	Υπολείμματα από ξηρά συστήματα APC mg/kg	Υπολείμματα από ξηρά συστήματα APC σε σύστημα καύσης 2 σταδίων mg/kg	Υπολείμματα από ξηρά συστήματα APC από συστήματα καύσης RDF mg/kg
Al	-	12000-83000	1000-17000	43000-53000
As	1,5-3	18-530	<0,3-140	6,3-7,6
Ba	44-48	51-14000	35-360	200-240
Cd	10-15	140-300	57-210	640-1200
Cl	-	62000-380000	100-820	75-160
Co	1	4-300	97000-280000	83000-120000
Cr	3-5	73-570	14-18	32-67
Cu	13-25	16-1700	21-190	240-420
Hg	9,5-24	0,1-51	130-630	620-760
Mn	-	200-900	0,3-54	34-84
Mo	6	9,3-29	110-370	890-1500
Ni	1	19-710	17-47	280-650
Pb	110-270	2500-10000	1900-13000	2800-5200
Sb	-	300-1100	150-1100	330-580
Se	-	0,7-29	<0,2-10	0,69-1,3
Zn	220-680	7000-20000	5100-47000	5000-8900

ΠΗΓΗ:ELSEVIER

Πίνακας 5- 8: Συγκεντρώσεις των ανόργανων συστατικών στα υπολείμματα των ξηρών συστημάτων

### 5.3.6.3. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Η τιμή του ολικού οργανικού άνθρακα στην ιπτάμενη τέφρα των ESP έφθασε τα 7,7 g/kg ενώ μια μέση τιμή για τα ξηρά συστήματα και τα υγρά συστήματα είναι 7 g/kg. Τα χλωριωμένα βενζένια παρουσίασαν συγκεντρώσεις 220-1900 ng/g ενώ οι χλωριωμένες φαινόλες είναι μεγαλύτερες κατά μία η δύο φορές από την τιμή που καταγράψαμε στην στάχτη του πυθμένα. Όσον αφορά τα πολυχλωριωμένα βιφαινύλια σε μονάδες καύσης RDF η συγκέντρωσή τους βρέθηκε ίση με 270 ng/g ενώ η ελάχιστη τιμή βρέθηκε σε σύστημα καύσης δύο σταδίων. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες που ανάλογα με την συγκέντρωση του καταλαβαίνουμε αν η καύση ήταν καλή ή όχι βρέθηκαν σε μία συγκέντρωση 65 έως 1050 ng/g. Οι διοξίνες βρέθηκαν σε συγκέντρωση 1-1040 ng/g και οι φουράνες καταγράφηκαν στην τιμή των 1,4 έως 280 ng/g. Οι συγκεντρώσεις ήταν υψηλότερες από αυτές της στάχτης του πυθμένα. Δύο ενώσεις οι δι-ν-βουτυλ-φθαλένιο και το δι-(2-αιθυλεξυλ)-φθαλένιο κατεγράφησαν με συγκεντρώσεις μικρότερες

από 500-2400 ng/g στην ιπτάμενη τέφρα και στις πλυντρίδες βρέθηκαν με εύρος συγκέντρωσης από 1600 έως 10000 ng/g (ELSEVIER,1997).

#### 5.3.6.4. ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΛΥΝΤΡΙΔΩΝ

Συνήθως όπως αναφέραμε χρησιμοποιούμε διπλό σύστημα αλκαλικής πλύσης το οποίο όμως παράγει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Τα ποσά που παράγονται κυμαίνονται περίπου στην πρώτη πλυντρίδα (οξική) σε 0,4 m<sup>3</sup> /τόνο απορρίμματος και η δεύτερη πλυντρίδα (ουδέτερη / αλκαλική) παράγει περίπου 0,1 m<sup>3</sup> /τόνο απορρίμματος (ELSEVIER,1997). Η διαδικασία επεξεργασίας των υπολειμμάτων αυτών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το pH της πρώτης πλυντρίδας κυμαίνεται γύρω στο 1,8 με τον περιεχόμενο ασβέστη και ακολουθείται από υδροξείδιο του ασβεστίου με pH 8.8 με την προσθήκη οργανικού σουλφιδίου (TMT) για να κατακρατήσουμε τα βαρέα μέταλλα. Η λάσπη που παράγεται αναμιγνύεται μαζί με την ιπτάμενη τέφρα και αποθηκεύεται σε ΧΥΤΑ. Το νερό πλύσης της στάχτης του πυθμένα αν υπάρχει αυτή η διαδικασία καλό θα ήταν πρώτα να σβήσει τον ασβέστη και μετά να ανακυκλωθεί και να χρησιμοποιηθεί ξανά στην ψύξη της στάχτης. Οι παράμετροι των υγρών αποβλήτων και των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων των πλυντρίδων φαίνονται παρακάτω.

	Όξινη πλυντρίδα	Ουδέτερη πλυντρίδα	Επεξεργασμένα απόβλητα και από τις δύο πλυντρίδες	
			εύρος	μέση τιμή
Θερμοκρασία(°C)	-		35-43	-
PH	0-1	7	6,9-10,2	-
Άλατα θειικά	-	-	620-1050	840
Χλώριο	-	-	7000-12000	9600
SS	-	-	15-110	53
Ag	0,12	0,037	<0,02	-
Cd	0,41	0,25	<0,001-0,020	0,008
Co	<0,004	<0,004	-	-
Cr	0,25	0,031	0,14-0,36	0,23
Cu	3,2	0,74	0,10-0,47	0,19
Hg	3,0	0,79	0,002-0,015	0,005
Ni	0,051	0,020	0,03-0,27	0,10
Pb	34	2,0	<0,02-0,68	0,18
Sn	2,6	0,46	<0,10-0,21	-
Zn	83	22	0,20-3,2	0,90

Κυανίδια	-	-	<0,01-0,11	0,05
Φαινόλες	-	-	<0,05-0,53	-

ΠΗΓΗ:ELSEVIER

**Πίνακας 5- 9:Σύνθεση υγρών αποβλήτων πλυντρίδων**

Τα προϊόντα που μπορούν να παραχθούν από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων διακρίνονται στους παρακάτω πίνακες .Τα όρια αναφέρονται στην εκπλήρωση των παραμέτρων που πρέπει να επιτυγχάνονται προκειμένου τα συγκεκριμένα προϊόντα να πληρούν τις προϋποθέσεις της νομοθεσίας.

Παραγωγή NaCl			
Παράμετρος	Όριο	Παράμετρος	Όριο
NaCl	95%	Cu	5
Ca	2%	Mo	1*
Mg	0,20%	V	1*
SO <sub>4</sub>	2%	Ti	10
K	1500	Zn	1
F	60	Cd	1*
Br	50	Hg	1
I	10	Si	***
Sr	20	Sn	1**
Ba	20	Pb	1**
Fe	10	As	0,5
Mn	1*	Al	1000
Ni	1*	N	20
Co	1*	TOC	****
Cr	1*		
<p>Οι τιμές που δεν είναι % έχουν μονάδα mg/g  ***=μη κρίσιμη τιμή  *=κρίσιμη τιμή  **=λιγότερο κρίσιμη τιμή  ****=να καθοριστεί</p>			

**Πίνακας 5- 10:Αποδεκτά όρια παραμέτρων για παραγωγή NaCl**

Παραγωγή Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
---	--

Παράμετρος	Όριο	Παράμετρος	Όριο
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	42%	Fe	50
Cl	1%	Zn	250
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,00%	Mn	2
pH	ουδέτερο	V	10
Αδιάλυτο κλάσμα	0,05%	Al	10
Υγρασία	60%	Sr	10
Χρώμα	άσπρο	Cr	10
COD	100 mgO <sub>2</sub> /l	Mg	25
		Ca	50
Οι τιμές των μετάλλων έχουν μονάδα mg/g			

**Πίνακας 5- 11: Αποδεκτά όρια παραμέτρων για παραγωγή Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>**

Παραγωγή γύψου			
Παράμετρος	Όριο	Παράμετρος	Όριο
Υγρασία	10%	CaSO <sub>3</sub> -1/2νερό	0,50%
CaSO <sub>4</sub> -νερό	>95%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30%
pH	5-9	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15%
Χρώμα	άσπρο(80%)	SiO <sub>2</sub>	2,50%
Οσμή	κανένα	CaCO <sub>3</sub> +MgCO <sub>3</sub>	1,50%
Μέγεθος κόκκων	32μm(60%)	NH <sub>3</sub> ,NO <sub>3</sub>	κανένα
παραπροϊόντα	5%	TOC	0,10%
διαλυτό MgO	0,10%	Ιχνη στοιχείων	μη τοξικά
διαλυτό Na <sub>2</sub> O	0,06%		
διαλυτό K <sub>2</sub> O	0,06%		
διαλυτό Cl	100μg/g		
διαλυτό SO <sub>2</sub>	0,25%		

**Πίνακας 5- 12: Αποδεκτά όρια παραμέτρων για παραγωγή γύψου**

Παραγωγή HCl
--------------

Παράμετρος	Όριο	Παράμετρος	Όριο
HCl	31%	HBr	25
SO <sub>4</sub>	20	HI	10
Βαρέα μέταλλα	1 ολικά	HF	10
Fe	10	NO <sub>3</sub>	10
Cd	0,1	NH <sub>4</sub>	1
Hg	0,1	TOC	5
As	0,1	AOX	1
TI	0,1	PCDD/PCDF	1ngl-TE/l
Cl <sub>2</sub>	10		

**Πίνακας 5- 13: Αποδεκτά όρια παραμέτρων για παραγωγή HCl**

### 5.3.7. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ

Παρακάτω παραθέτουμε γενικές μεθόδους χρησιμοποίησης της στάχτης:

- Ενσωμάτωση μέσα στην μάζα του ασφαλτομίγματος
- Ενσωμάτωση μέσα στην μάζα του σκυροδέματος
- Υαλοποίηση

Όπως με την στάχτη του πυθμένα το κόστος σίγουρα μειώνεται αν καταφέρουμε να το προσαρμόσουμε σε κάποιο υπάρχον προϊόν. Από την άλλη το μη-διηθούμενο υλικό που σχηματίζεται πρέπει να έχει εκείνες τις δομικές ιδιότητες που να το κάνουν κατάλληλο προς χρήση στον κατασκευαστικό κλάδο. Πρέπει να διεξαχθούν κάποια χημικά τεστ όπως το σειριακό χημικό τεστ εκχύλισης (SCE) ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του υλικού.

Τα σχόλια στις ειδικές διαδικασίες έχουν ως εξής :

- Η έγκλιση στην ασφαλτο είναι δυνατή μέθοδος για μερικές στάχτες .Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδος όταν υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα οργανικών που μπορούν να «δεθούν» μέσα στο ασφαλτόμιγμα αλλά δεν μπορούν να αναμιχθούν στο σκυρόδεμα. Εάν η στάχτη δεν μπορεί να αντικαταστήσει τα πρόσθετα στο ασφαλτόμιγμα επειδή η μέθοδος σταθεροποίησης είναι πολύ απρόβλεπτη εξαιτίας της βιοαποικοδόμησης που μπορεί να υπάρξει και του υψηλότερου κόστους από την σταθεροποίηση με ποζολανικό τσιμέντο[Sell, N., 1988].

- Η έγκλιση στο σκυρόδεμα είναι ίσως η πιο κοινή μέθοδος σταθεροποίησης της ιπτάμενης τέφρας .Τα σταθεροποιημένα απόβλητα μπορούν μετά να είναι κατάλληλα για πληρωτικό υλικό ή στην χειρότερη περίπτωση να είναι κατάλληλα για κανονική ταφή. Μερικές λεπτές πυριτικές ιπτάμενες τέφρες είναι σε επάρκεια ποζολανικές και όταν αναμιχθούν με νερό και αδρανή σχηματίζουν ένα είδος σκληρού σκυροδέματος. Αυτό είναι δυνατό σίγουρα σε μονάδες καύσης άνθρακα, δεν δείχνει να είναι όμως και σε μονάδες καύσης ΑΣΑ.

Για τέφρα που προκύπτει από μονάδες ΑΣΑ ( που μπορεί να περιέχει ασβέστη από την ξηρή πλύση σε περίσσεια ) ένα την αναμιξουμε με τσιμέντο Portland , άμμο, νερό και διάφορα πρόσθετα . Ένα τυπικό μίγμα περιέχει 0.3 kg τύπου 50 τσιμέντο Portland, 0.35 kg άμμου and 1.1 kg νερού για κάθε kg στάχτης. Το υψηλό pH προκαλεί τα διάφορα βαρέα μέταλλα να καταβυθιστούν σαν υδροξείδια μετάλλων τα οποία προφανώς εγκλωβίζονται στην μάζα του σκυροδέματος. Όταν υπάρχουν υψηλά επίπεδα οργανικών που δεν είναι συνήθως η περίπτωση της καύσης των ΑΣΑ ,πρόσθετα όπως ο βερμικουλίτης ή το πυριτικό νάτριο μπορούν να εισαχθούν στο μίγμα ώστε να αποφευχθούν επιζήμιες αλληλεπιδράσεις[Sell, N., 1988].

Όταν τα μέταλλα ακόμα τείνουν να διηθούν διάφορα πρόσμικτα όπως η λιγνοκυτταρίνη , μπορούν να προσθέσουμε συγκολλητικές ουσίες για να μειώσουμε την διηθητικότητα των μετάλλων.

- Μια πρόσφατη τεχνολογική πρόοδος της σταθεροποίησης εισέρχεται ενεργητικά στο παιχνίδι της σταθεροποίησης και είναι η υαλοποίηση .Η υαλοποίηση χρησιμοποιεί ακραία υψηλές τιμές θερμοκρασίας οι οποίες παράγονται με τεχνικές πλάσματος και μετατρέπουν την στάχτη σε μη-διηθούμενο γυαλί. Ενώ τα κεφάλαια επένδυσης είναι υψηλά ωστόσο τα κόστη διάθεσης μειώνονται εξαιτίας της μηδαμινής διηθητικότητας και της διατήρησης του βάρους αφού δεν προστίθενται πρόσμικτα όπως στο τσιμέντο Portland .

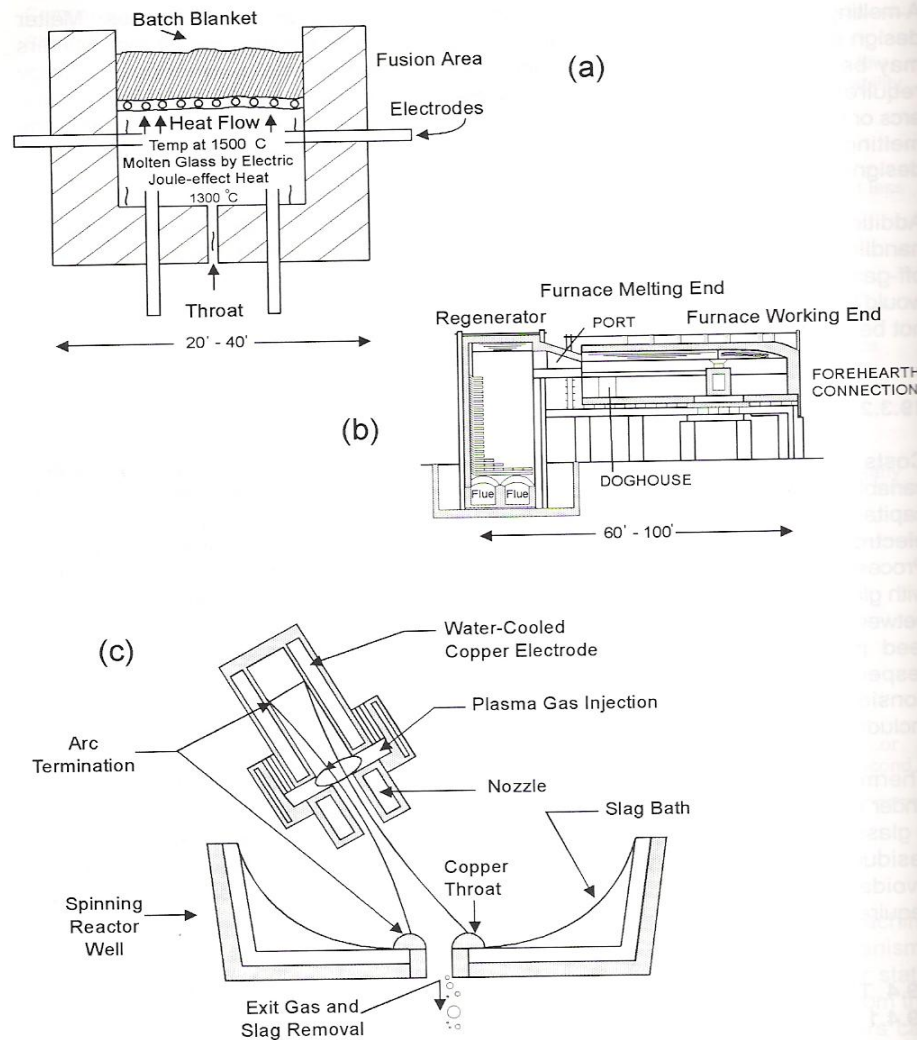
Ο Steinmuller δημιούργησε μια πιλοτική μονάδα υαλοποίησης στην Γερμανία [Chemical Engineering Magazine, 1992] η οποία επεξεργάζεται 0,9 tn/hr ιπτάμενης τέφρας προς υαλοποίηση και η οποία άρχισε να λειτουργεί το 1996. Συγχρόνως η σταθεροποιημένη υαλώδης στάχτη προορίζεται για χρήση σαν υλικό, όμως υπάρχει ελπίδα ότι μπορεί να παραχθεί υαλώδης

μόνωση μπορεί να αναπτυχθεί. Τα κόστη επεξεργασίας είναι περίπου 156€/τόνο που είναι ανταγωνιστικό με την υγειονομική ταφή της σταθεροποιημένης με σκυρόδεμα στάχτης και η οποία διπλασιάζει το βάρος του υπολείμματος και θα μπορούσε να κοστίσει 85€/τόνο στον χώρο διάθεσης. Σαν αναδυόμενη τεχνολογία ,είναι πιθανόν το κόστος της τεχνικής του πλάσματος να μειώνεται με τον χρόνο και μπορεί να μετατρέψει αυτή την τεχνολογία σε ανταγωνιστική.

Εν συντομία , η ιπτάμενη τέφρα και η στάχτη του πυθμένα παρουσιάζουν ενδιαφέροντα και διαφορετικά προβλήματα διάθεσης.

Ακόμα αυτά τα προβλήματα βρίσκονται στο στάδιο ανάλυσης .Μέχρι κάποιο βαθμό τα προβλήματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν από προγράμματα επεξεργασίας ,ωστόσο μερικά προβλήματα πιθανότατα να παραμείνουν. Το μονοπάτι για την επίλυση των ζητημάτων των υπολειμμάτων και το κατά πόσο αυτά θα μπορούν να μεταχειριστούν και να δώσουν χρήσιμα προϊόντα, θα εξαρτηθεί από το συνολικό κόστος των μονάδων αποτέφρωσης ΑΣΑ.

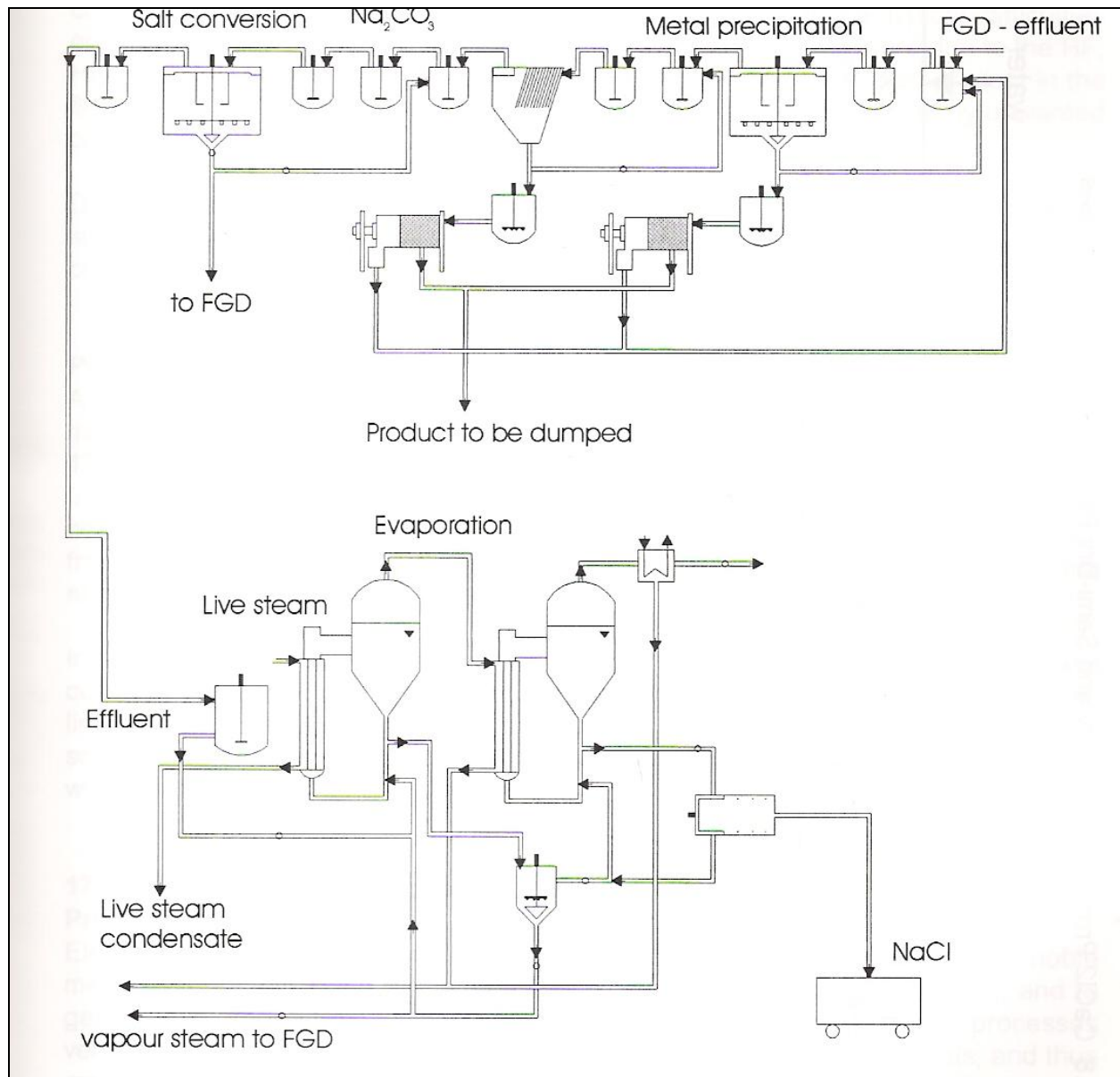




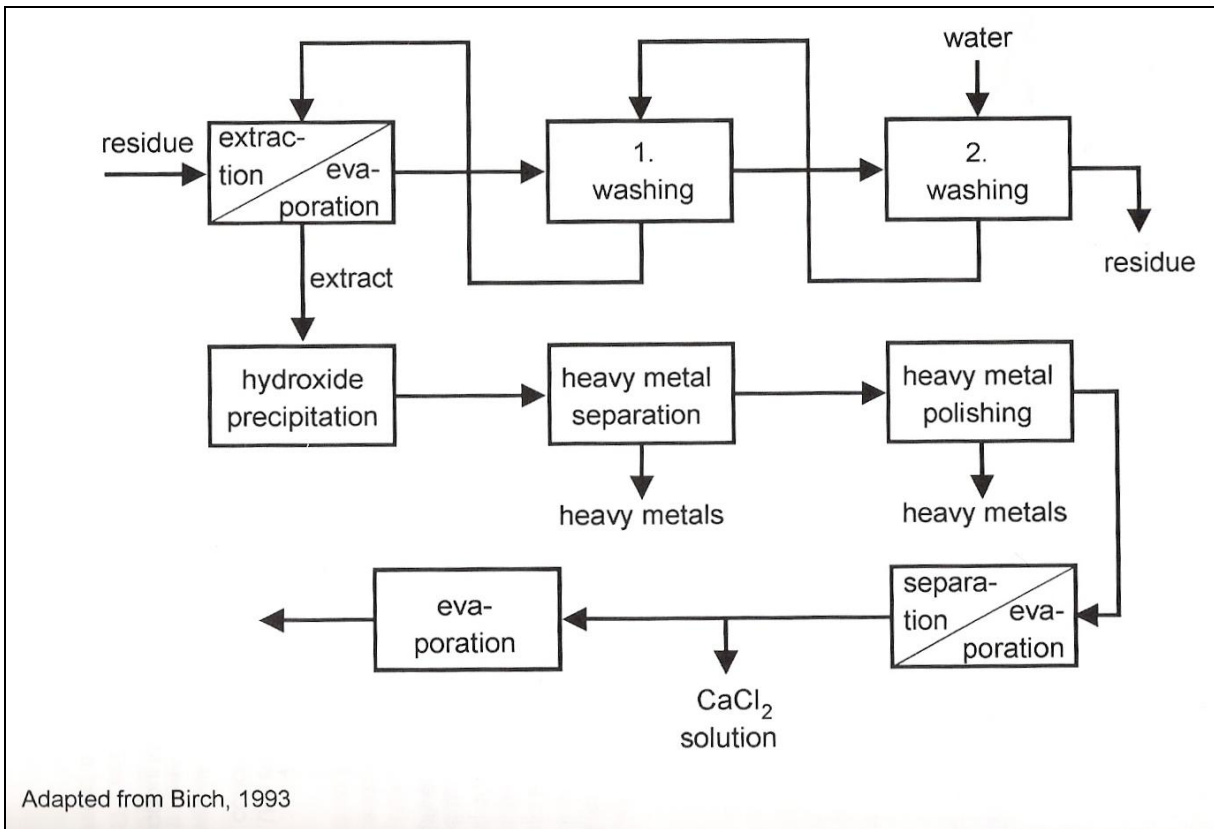
Eschenbach et al., 1989

Εικόνα 5- 4:Μέθοδοι τήξης της στάχτης

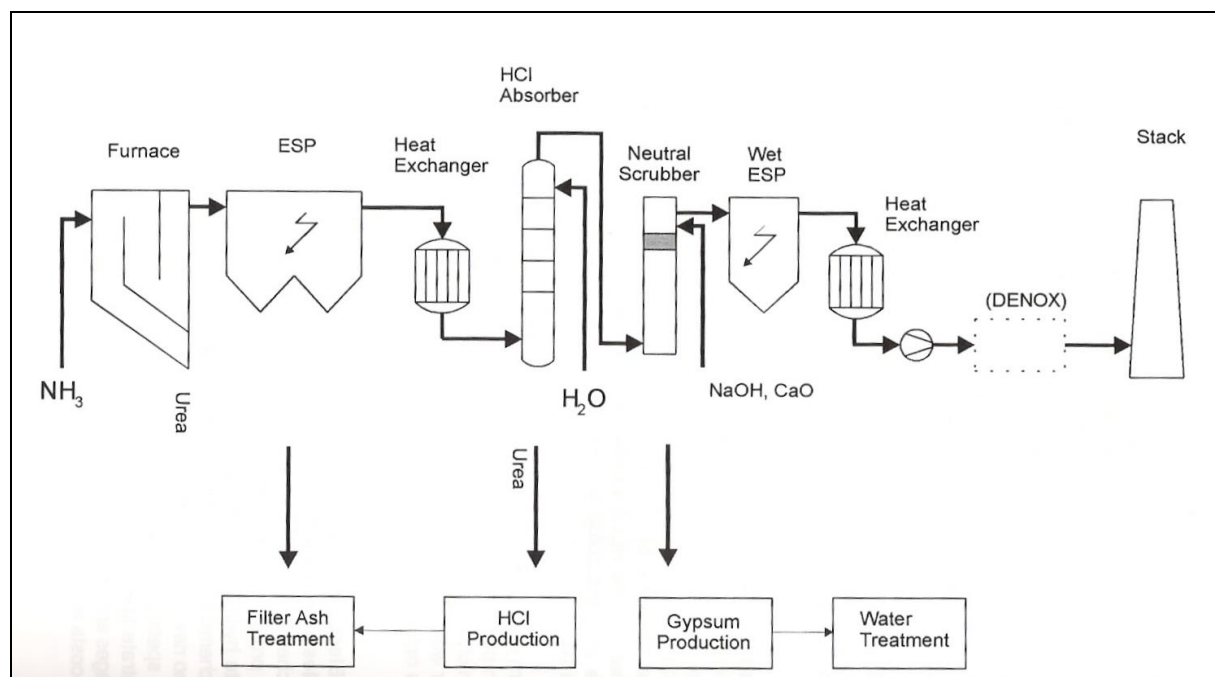
Παρακάτω παραθέτουμε ορισμένες τυπικές διατάξεις ανάκτησης αντιδραστηρίων:



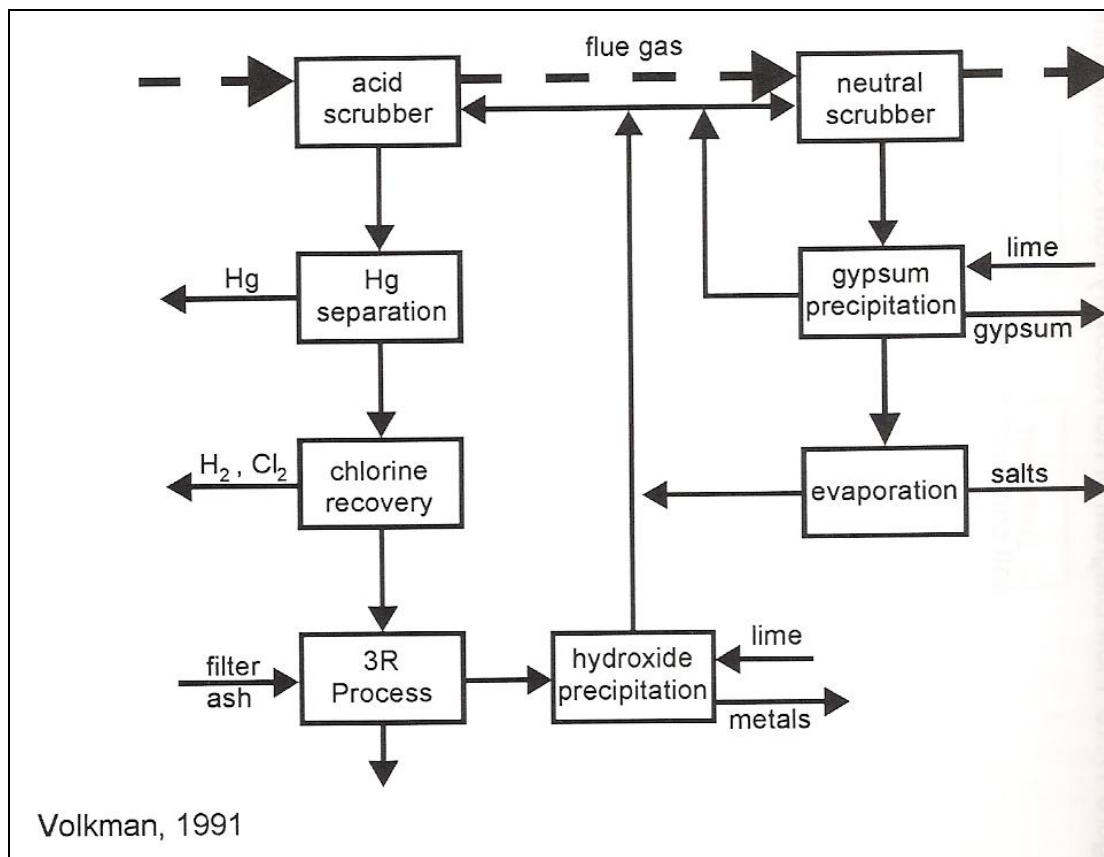
Εικόνα 5- 5: Διαδικασία ανάκτησης NaCl



Εικόνα 5- 6: Διαδικασία παραγωγής  $\text{CaCl}_2$



Εικόνα 5- 7: Διαδικασία παραγωγής γύψου και HCl



Εικόνα 5- 8: Διαδικασία ηλεκτροχημικής ανάκτησης χλωρίου

## **6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ :**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ**

#### **6. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια σχετικά με τον σχεδιασμό μιας μονάδας καύσης και τους παράγοντες που επηρεάζουν ένα τέτοιο πολύπλοκο και πολυσύνθετο σύστημα, θα παρουσιάσουμε τώρα την εφαρμογή που μελετήσαμε για την Περιφέρεια Κρήτης δηλαδή τους νομούς Ηρακλείου, Λασιθίου και Ρεθύμνου.

Το πρώτο βήμα σε όλη την διαδικασία είναι να προσεγγίσουμε σωστά τις παροχές τροφοδοσίας, την ημερήσια ,την εποχιακή σύνθεση και την στοιχειακή σύνθεση των απορριμμάτων.

Το δεύτερο στοιχείο που πρέπει να εξετάσουμε έχει να κάνει με το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων κατά πρώτον στο σύνολο τους, και κατ' επέκταση αφαιρώντας τα επιμέρους κλάσματα με ανακύκλωση .

Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των στοιχείων στο πρόγραμμα των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας και η κατάλληλη επιλογή των μονάδων καύσης αλλά και των συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης.

#### **6.1. ΠΑΡΟΧΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ**

Για να εκτιμήσουμε τις παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων χωρίσαμε τις ποσότητες των στερεών αποβλήτων σε δύο ομάδες .Η μία ομάδα περιλαμβάνει τα απορρίμματα που παράγονται κατά κύριο λόγο από τους δήμους και από όλες τις ασχολίες που πραγματοποιούνται σε αυτούς ενώ η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τον εξωγενή παράγοντα του τουρισμού. Έτσι χρησιμοποιήσαμε τις εξής θεωρήσεις (Gidarakos et al. ,2004) :

- Για τους πληθυσμούς των δήμων χρησιμοποιήσαμε στοιχεία από την πρόσφατη απογραφή (2001) με τους κατάλληλους συντελεστές προσαύξησης .
- Για τον τουριστικό πληθυσμό λάβαμε τα στοιχεία από τον ΕΟΤ και υπολογίστηκε με βάση τους μέσους όρους των πληροτήτων κάθε καταλύματος η παραγόμενη ποσότητα.
- Για τους δήμους Αγίου Νικολάου, Ιεράπετρας και Ρεθύμνου λάβαμε την παραδοχή της παραγόμενης ποσότητας του 1 kg/κάτοικο/ημέρα.

- Για τον δήμο Ηρακλείου η παραγόμενη ποσότητα λήφθηκε υπόψη με 1,2 kg/κάτοικο/ημέρα.
- Για τον τουριστικό πληθυσμό η παραγόμενη ποσότητα λήφθηκε 1,2 kg/τουρίστα /ημέρα.

Η μέση τιμή που παίρνουμε συνήθως στην Ελλάδα αντιστοιχεί περίπου στην μέση τιμή των 1,14 kg/κάτοικο/ημέρα

Με βάση τις παραπάνω θεωρήσεις καταλήξαμε στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα:

ΝΟΜΟΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜ.	ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜ.	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜ. ΛΟΓΩ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ	ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜ. ΛΟΓΩ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜ.	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜ.
		kg/ημέρα	tn/έτος	kg/ημέρα	tn/έτος	kg/ημέρα	tn/έτος
ΡΕΘΥΜΝΗΣ	81976	71378	26053	24113	5064	105040	34228
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	292489	289522	105676	52936	11117	376704	128471
ΛΑΣΙΘΙΟΥ	76319	66301	24200	16670	3501	91268	30471
ΣΥΝΟΛΑ	450784	427201	155929	93719	19682	573012	<b>193170</b>

Πίνακας 6- 1:Συνολικές παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων στους νομούς Ηρακλείου, Λασιθίου και Ρεθύμνου  
Αρα οι παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων ανέρχονται σε **193.170 tn/έτος**.

## 6.2. ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Ακολουθώντας παραθέτουμε την ποσοστιαία ποιοτική σύνθεση των απορριμμάτων σε δύο φάσεις (1<sup>η</sup> φάση δειγματοληψίας → Σεπτέμβριος –Οκτώβριος 2003) και (2<sup>η</sup> φάση δειγματοληψίας →Νοέμβριος 2003-Ιανουάριος 2004).

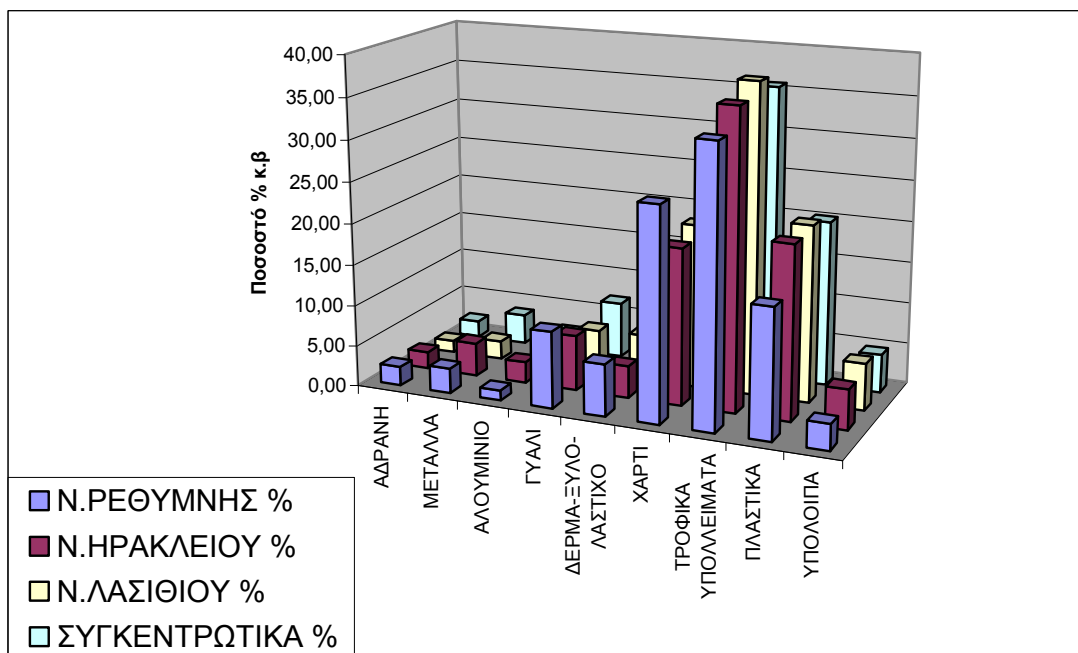
1η δειγματοληψία				
ΚΛΑΣΜΑ	Ν.ΡΕΘΥΜΝΗΣ	Ν.ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	Ν.ΛΑΣΙΘΙΟΥ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ
	%	%	%	%
ΑΔΡΑΝΗ	2,34	2,06	1,44	<b>2,02</b>
ΜΕΤΑΛΛΑ	3,01	4,05	2,25	<b>3,66</b>
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	1,23	2,58	0,90	<b>2,15</b>
ΓΥΑΛΙ	9,31	6,73	5,36	<b>6,87</b>
ΔΕΡΜΑ-ΞΥΛΟ-ΛΑΣΤΙΧΟ	6,29	3,88	5,54	<b>4,52</b>
ΧΑΡΤΙ	25,68	18,96	19,91	<b>20,37</b>
ΤΡΟΦΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	33,40	35,95	37,50	<b>35,65</b>
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	15,60	20,92	21,39	<b>20,11</b>



ΥΠΟΛΟΙΠΑ	3,14	4,87	5,71	<b>4,65</b>
ΣΥΝΟΛΑ	100,00	100,00	100,00	100,00
ΠΗΓΗ:ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠ. ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ,2004				

**Πίνακας 6- 2:Ποιοτική σύνθεση πρώτης δειγματοληψίας**

Από την 1<sup>η</sup> δειγματοληψία διακρίνουμε ότι στο σύνολο των αποτελεσμάτων τα πλαστικά έχουν την ίδια ακριβώς συμμετοχή με το χαρτί πράγμα που δείχνει πως γενικά η παραγωγή πλαστικών έχει σημειώσει αυξητική τάση τα τελευταία χρόνια. Από την άλλη μεριά το οργανικό κλάσμα δεν φτάνει ούτε το 40 %. Επίσης μπορούμε να διακρίνουμε ότι ο νομός Ρεθύμνου καταναλώνει περισσότερο χαρτί από ότι πλαστικό σε σχέση με τους άλλους δύο νομούς.



**Διάγραμμα 6- 1:Ποσοστιαία συγκριτική σύνθεση των απορριμμάτων στην πρώτη φάση δειγματοληψίας**

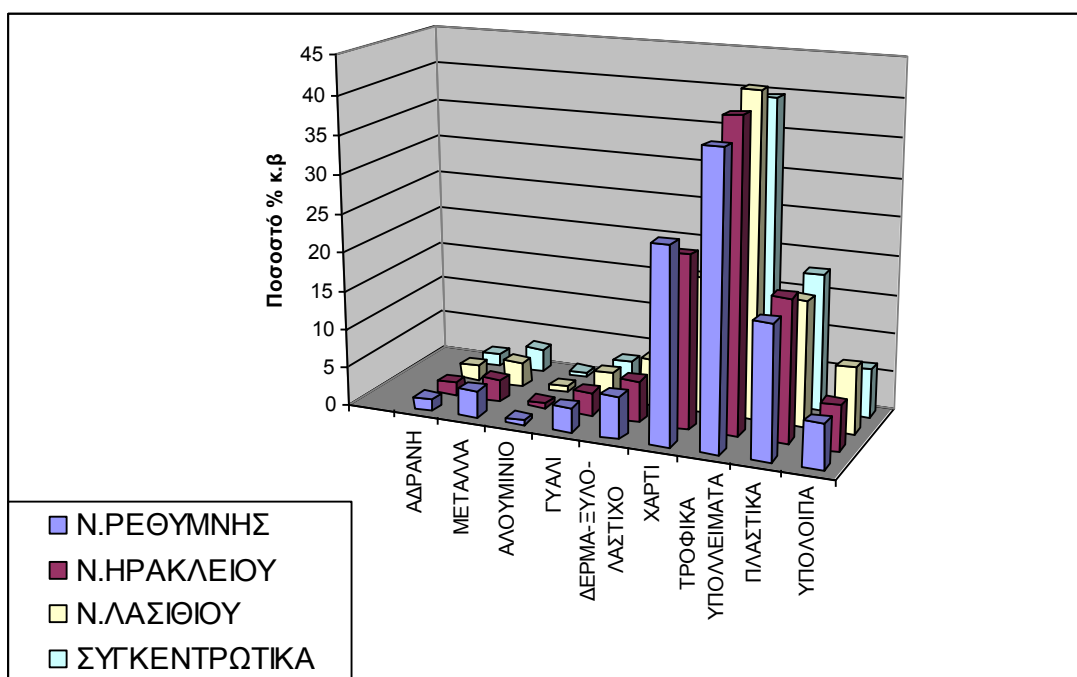
2η δειγματοληψία				
ΚΛΑΣΜΑ	N.ΡΕΘΥΜΝΗΣ	N.ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	N.ΛΑΣΙΘΙΟΥ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ
ΑΔΡΑΝΗ	1,51	1,61	2,00	<b>1,65</b>
ΜΕΤΑΛΛΑ	3,51	2,91	3,21	<b>3,08</b>
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	0,59	0,69	0,81	<b>0,69</b>
ΓΥΑΛΙ	3,19	2,99	3,55	<b>3,12</b>
ΔΕΡΜΑ-ΞΥΛΟ-ΛΑΣΤΙΧΟ	5,50	5,34	6,07	<b>5,49</b>
ΧΑΡΤΙ	25,21	22,30	17,72	<b>22,21</b>

ΤΡΟΦΙΚΑ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ	37,42	39,83	41,71	<b>39,61</b>
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	17,22	18,39	16,35	<b>17,83</b>
ΥΠΟΛΟΙΠΑ	5,84	5,93	8,59	<b>6,32</b>
ΣΥΝΟΛΑ	99,99	99,99	100,01	100
ΠΗΓΗ:ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠ. ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ,2004				

**Πίνακας 6- 3: Ποιοτική σύνθεση δεύτερης δειγματοληψίας**

Στην δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε τον χειμώνα διαπιστώσαμε ότι το οργανικό κλάσμα κυμάνθηκε σε ένα ποσοστό του 40 % και το χαρτί σημείωσε αύξηση περίπου 22,21 % ενώ το πλαστικό μειώθηκε στο 17,83 %.

Το αλουμίνιο από το 2,15 % βρέθηκε στο 0,69 % ενώ τα υπόλοιπα σιδηρούχα μέταλλα παρέμειναν περίπου στο ίδιο ποσοστό.



**Διάγραμμα 6- 2: Ποσοστιαία συγκριτική σύνθεση των απορριμμάτων στην δεύτερη φάση δειγματοληψίας**

### 6.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Η στοιχειακή σύνθεση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθότι πρέπει να καθορίσουμε την μάζα των αποβλήτων στο πρόγραμμα με παραμέτρους τα στοιχεία που αποτελούν τα απορρίμματα . Μία τυπική σύνθεση περιλαμβάνει : την υγρασία ,την τέφρα ,την πτητική ύλη ,τα στοιχεία άνθρακα , οξυγόνο ,άζωτο ,θείο και χλώριο (Gidakos et al ,2005). Για μια ολοκληρωμένη

στοιχειομετρική ανάλυση θα πρέπει να συμπεριλάβουμε προφανώς και ίχνη μετάλλων ( Μόλυβδος, Κάδμιο, Υδράργυρος κ.α) καθώς και ορισμένα άλλα ανόργανα στοιχεία (Φώσφορος ,Νάτριο ,άλλα αλογόνα κ.α) που υπάρχουν στα απορρίμματα βέβαια σε μικρές ποσότητες.

Το χαρτί και το χαρτόνι αποτελούν πηγή του φθορίου αλλά και του θείου σε ποσοστά 50% και 24% αντίστοιχα.

Τα πλαστικά και τα προϊόντα αυτών αποτελούν την κύρια πηγή για το χλώριο ,το κάδμιο ,το θείο ,τον μόλυβδο ,το φθόριο και τον υδράργυρο .

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΟΥΣΙΑ	ΠΡΟΙΟΝ
Κάδμιο	εστέρας βενζοϊκού οξέος με κάδμιο	σταθεροποιητής πλαστικού
	σουλφίδιο του καδμίου	κίτρινη βαφική ύλη για πλαστικό
Χρώμιο	διάφορες ενώσεις που χρωμίου	κίτρινες,κόκκινες και πράσινες βαφικές ύλες/βυρσοδεψία
Χαλκός	εστέρας αρσενικού οξέος με χαλκό	διατηρητικό ξύλου
	φθαλοκυανίνη χαλκού	μπλέ βαφική ύλη πλαστικών
Μόλυβδος	χρωμιούχος μόλυβδος	κίτρινη βαφική ύλη για πλαστικό
	θειούχος μόλυβδος	λευκή βαφική ύλη για πλαστικό
	οξείδιο του μολύβδου	κρύσταλλος μολύβδου
Ψευδάργυρος	χρωμιούχος ψευδάργυρος	κίτρινη βαφική ύλη για πλαστικό
	οξείδιο του ψευδαργύρου	λευκαντικό χαρτιού,βαφές,προϊόντα ελαστικών
	σουλφίδιο του ψευδαργύρου	πλαστικά,μεμβράνες ,φωτεινά υλικά,φώτα φθορίου

**Πίνακας 6- 4:Προέλευση βαρέων μετάλλων στα απορρίμματα**

Βαρέα μέταλλα περιέχονται και στην κατηγορία των ζυμώσιμων αλλά και των φυτικών υπολειμμάτων κυρίως χαλκός ,μόλυβδος, ψευδάργυρος, κάδμιο και υδράργυρος.

Στον πίνακα που ακολουθεί διακρίνουμε την στοιχειακή ανάλυση ως προς τις βασικές παραμέτρους που περιέχονται στις επιμέρους κατηγορίες των αποβλήτων.

ΥΛΙΚΑ	C	H	O	N	Cl	S	H <sub>2</sub> O	Στάχτη	ΣΥΝΟΛΟ
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Εφημερίδες	36,62	4,66	31,79	0,11	0,11	0,19	25	1,55	100,03
Βιβλία περιοδικά	32,93	4,64	32,85	0,11	0,13	0,21	16	13,13	100
Υπόλοιπα χαρτιά	32,41	4,51	29,91	0,31	0,61	0,19	23	9,06	100
Πλαστικά	56,43	7,79	8,05	0,85	3	0,29	15	8,59	100
Ελαστικά Δέρμα-Ξύλο	43,09	5,37	11,57	1,34	4,97	1,17	10	22,49	100
Ξύλο	41,2	5,03	34,55	0,24	0,09	0,07	16	2,82	100
Υφάσματα	37,23	5,02	27,11	3,11	0,27	0,28	25	1,98	100
Υπολείμματα κήπων	23,29	2,93	17,54	0,89	0,13	0,15	45	10,07	100
Υπολείμματα κουζίνας	17,93	2,55	12,85	1,13	0,38	0,06	60	5,1	100
Μέταλλα	4,31	0,6	3,94	0,05	0,07	0,01	5	85,97	99,95
Γυαλί κεραμικά	0,5	0,07	0,35	0,03	0,01	0	2	97,04	100
ΠΗΓΗ: Thome-Kozmiesky, 1985									

**Πίνακας 6- 5:Στοιχειακή σύνθεση των διαφόρων υποκατηγοριών των απορριμμάτων**

Και εδώ αναφέρουμε την στοιχειακή ανάλυση των ΑΣΑ στην Περιφέρεια Κρήτης η οποία βρίσκεται ολοκληρωμένη σε 4 φάσεις δειγματοληψίας [ Ντζαμίλης Π.,2004 & προσωπική επικοινωνία]. Οι παράμετροι που επιλέχτηκαν ήταν η υγρασία ,η τέφρα ,η πτητική ύλη ,ο παράγοντας fixed carbon η σύνθεση σε C,H,N και φυσικά η θερμογόνο δύναμη των υλικών που απαρτίζουν την μάζα τροφοδοσίας. Οι τιμές μετρήθηκαν και στο σύνολο των απορριμμάτων αλλά και στην περίπτωση που δημιουργήσουμε RDF .

Παράμετρος	Στατιστική ποσότητα	Οργανικά	Δ.Ξ.Υ.Λ.	Πλαστικά	Χαρτί	Σύνολο	RDF
% Υγρασία	Μέση τιμή	70,43	23,00	2,53	14,57		
	Όρια εμπιστοσύνης	3,25	6,59	0,72	4,18	39,56	10,79
	Τυπ.απόκλιση	3,71	7,52	0,82	4,77		
% Τέφρα	Μέση τιμή	9,33	10,45	1,93	5,03		
	Όρια εμπιστοσύνης	3,25	3,30	0,42	1,61	6,81	4,46
	Τυπ.απόκλιση	3,71	3,76	0,48	1,84		
% Πτητική Ύλη	Μέση τιμή	79,20	83,79	95,08	84,12		
	Όρια εμπιστοσύνης	2,82	2,82	1,86	1,32	84,00	88,47
	Τυπ.απόκλιση	3,22	3,21	2,13	1,51		
fixed carbon %	Μέση τιμή	11,48	5,76	2,99	10,85	9,19	7,07
	Όρια εμπιστοσύνης	4,18	3,82	1,88	2,78		

	Τυπ.απόκλιση	4,77	4,36	2,14	3,17		
<b>C (%)</b>	Μέση τιμή	46,20	44,21	77,87	45,13		
	Όρια εμπιστοσύνης	3,23	4,12	3,72	1,29	52,38	58,14
	Τυπ.απόκλιση	3,68	4,70	4,24	1,47		
<b>H (%)</b>	Μέση τιμή	6,32	5,57	10,42	6,66		
	Όρια εμπιστοσύνης	0,61	0,90	1,94	0,37	7,21	8,03
	Τυπ.απόκλιση	0,70	1,03	2,22	0,43		
<b>N (%)</b>	Μέση τιμή	2,26	0,65	0,39	0,50		
	Όρια εμπιστοσύνης	0,90	0,23	0,07	0,09	1,34	0,47
	Τυπ.απόκλιση	1,03	0,26	0,08	0,10		
<b>ΑΘΔφ KJ/Kg</b>	Μέση τιμή	5.671	13.731	39.106	14.479		
	Όρια εμπιστοσύνης	606	1.803	5.405	1.869	15.295	24.259
	Τυπ.απόκλιση	691	2.057	6.166	2.132		
<b>ΚΘΔφ KJ/kg</b>	Μέση τιμή	3.888	12.472	36.753	12.976		
	Όρια εμπιστοσύνης	1.090	1.858	5.008	1.848	13.496	22.445
	Τυπ.απόκλιση	1.243	2.120	5.714	2.108		

Πίνακας 6- 6: Στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ περιφ. Κρήτης (Α' Φάση-15/09/03 έως 31/10/03)

Παράμετρος	Στατιστική ποσότητα	Οργανικά	Δ.Ξ.Υ.Λ.	Πλαστικά	Χαρτί	Σύνολο	RDF
<b>% Υγρασία</b>	Μέση τιμή	63,55	19,81	3,33	19,65		
	Όρια εμπιστοσύνης	1,53	3,75	0,72	3,76	37,44	13,13
	Τυπ.απόκλιση	1,75	4,28	0,82	4,29		
<b>% Τέφρα</b>	Μέση τιμή	10,10	7,26	2,85	9,11		
	Όρια εμπιστοσύνης	3,01	2,58	0,86	1,25	8,17	6,37
	Τυπ.απόκλιση	3,44	2,94	0,98	1,43		
<b>% Πτητική Ύλη</b>	Μέση τιμή	74,18	83,95	94,81	84,06		
	Όρια εμπιστοσύνης	2,62	2,78	1,74	1,78	81,52	88,36
	Τυπ.απόκλιση	2,99	3,17	1,99	2,03		
<b>Fixed carbon %</b>	Μέση τιμή	15,72	8,78	2,34	6,83	10,31	5,27
	Όρια εμπιστοσύνης	3,83	1,77	1,29	2,15		

	Τυπ.απόκλιση	4,37	2,02	1,47	2,45		
<b>C (%)</b>	Μέση τιμή	44,91	45,76	81,18	43,84		
	Όρια εμπιστοσύνης	2,41	4,93	1,28	1,19	52,23	59,05
	Τυπ.απόκλιση	2,74	5,62	1,47	1,36		
<b>H (%)</b>	Μέση τιμή	6,16	6,45	10,86	6,49		
	Όρια εμπιστοσύνης	0,65	1,11	1,93	0,75	7,24	8,24
	Τυπ.απόκλιση	0,75	1,27	2,20	0,85		
<b>N (%)</b>	Μέση τιμή	2,31	0,44	0,53	0,64		
	Όρια εμπιστοσύνης	0,50	0,14	0,04	0,03	1,41	0,57
	Τυπ.απόκλιση	0,58	0,16	0,05	0,03		
<b>ΑΘΔφ KJ/Kg</b>	Μέση τιμή	6.629	14.526	38.155	13.733		
	Όρια εμπιστοσύνης	235	1.049	4.729	2.325	15.427	23.623
	Τυπ.απόκλιση	268	1.197	5.396	2.653		
<b>ΚΘΔφ KJ/kg</b>	Μέση τιμή	5.237	13.069	35.702	12.267		
	Όρια εμπιστοσύνης	359	1.185	4.509	2.295	13.793	21.762
	Τυπ.απόκλιση	410	1.351	5.144	2.618		

Πίνακας 6- 7: Στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ περιφ. Κρήτης (Β' Φάση -17/11/2003 έως 23/01/2004)

Παράμετρος	Στατιστική ποσότητα	Οργανικά	Δ.Ξ.Υ.Λ.	Πλαστικά	Χαρτί	Σύνολο	RDF
<b>% Υγρασία</b>	Μέση τιμή	81,72	19,39	8,20	15,37		
	Όρια εμπιστοσύνης	5,70	5,01	4,38	2,09	46,14	13,00
	Τυπ.απόκλιση	6,50	5,72	4,99	2,39		
<b>% Τέφρα</b>	Μέση τιμή	9,41	5,55	3,04	7,39		
	Όρια εμπιστοσύνης	1,83	3,02	1,75	1,19	7,34	5,42
	Τυπ.απόκλιση	2,09	3,45	2,00	1,35		
<b>% Πτητική Ύλη</b>	Μέση τιμή	76,30	83,64	93,30	81,57		
	Όρια εμπιστοσύνης	2,72	1,64	3,92	6,35	81,59	86,53
	Τυπ.απόκλιση	3,10	1,87	4,48	7,25		
<b>Fixed carbon</b>	Μέση τιμή	14,30	10,81	3,67	11,04	11,06	8,05

<b>%</b>	Όρια εμπιστοσύνης	2,29	2,94	2,67	5,79		
	Τυπ.απόκλιση	2,61	3,36	3,05	6,60		
<b>C (%)</b>	Μέση τιμή	44,14	46,78	80,59	37,34	50,21	55,85
	Όρια εμπιστοσύνης	1,58	3,10	1,94	2,56		
	Τυπ.απόκλιση	1,80	3,54	2,22	2,92		
<b>H (%)</b>	Μέση τιμή	6,04	6,24	12,29	5,29	7,17	8,22
	Όρια εμπιστοσύνης	0,31	0,22	1,04	0,45		
	Τυπ.απόκλιση	0,35	0,26	1,19	0,52		
<b>N (%)</b>	Μέση τιμή	1,81	2,12	0,30	0,23	1,13	0,50
	Όρια εμπιστοσύνης	0,31	1,23	0,09	0,04		
	Τυπ.απόκλιση	0,36	1,40	0,10	0,04		
<b>AΘΔφ KJ/Kg</b>	Μέση τιμή	3.336	15.144	36.443	12.946	13.331	22.640
	Όρια εμπιστοσύνης	991	1.871	1.710	2.281		
	Τυπ.απόκλιση	1.131	2.134	1.951	2.602		
<b>KΘΔφ KJ/kg</b>	Μέση τιμή	1.972	13.734	33.667	11.751	11.712	20.784
	Όρια εμπιστοσύνης	946	1.920	1.832	2.182		
	Τυπ.απόκλιση	1.080	2.190	2.090	2.489		

Πίνακας 6- 8:Στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ περιφ. Κρήτης (Γ' Φάση-15/02/04 έως 14/05/04 )

Παράμετρος	Στατιστική ποσότητα	Οργανικά	Δ.Ξ.Υ.Α.	Πλαστικά	Χαρτί	Σύνολο	RDF
<b>% Υγρασία</b>	Μέση τιμή	74,71	18,44	2,50	12,72	40,87	9,34
	Όρια εμπιστοσύνης	2,58	9,70	0,95	4,05		
	Τυπ.απόκλιση	2,94	11,07	1,09	4,62		
<b>% Τέφρα</b>	Μέση τιμή	9,89	5,13	1,72	6,51	7,06	4,42
	Όρια εμπιστοσύνης	1,34	1,86	0,76	0,66		
	Τυπ.απόκλιση	1,52	2,13	0,87	0,76		
<b>% Πτητική Ύλη</b>	Μέση τιμή	80,49	90,94	95,74	80,55	84,35	87,94
	Όρια εμπιστοσύνης	3,74	2,33	1,24	5,22		
	Τυπ.απόκλιση	4,27	2,66	1,41	5,96		



<b>Fixed carbon %</b>	Μέση τιμή	9,62	3,94	2,54	12,94		
	Όρια εμπιστοσύνης	4,16	2,46	1,63	5,65	8,60	7,65
	Τυπ.απόκλιση	4,75	2,80	1,86	6,45		
<b>C (%)</b>	Μέση τιμή	46,14	48,05	77,06	38,30		
	Όρια εμπιστοσύνης	0,88	1,81	7,62	1,95	50,75	55,05
	Τυπ.απόκλιση	1,01	2,07	8,69	2,22		
<b>H (%)</b>	Μέση τιμή	6,50	6,20	8,31	4,78		
	Όρια εμπιστοσύνης	0,24	0,31	4,25	1,33	6,44	6,38
	Τυπ.απόκλιση	0,27	0,35	4,85	1,52		
<b>N (%)</b>	Μέση τιμή	1,64	2,63	0,39	0,34		
	Όρια εμπιστοσύνης	0,18	1,82	0,27	0,37	1,13	0,65
	Τυπ.απόκλιση	0,21	2,08	0,31	0,42		
<b>ΑΘΔφ KJ/Kg</b>	Μέση τιμή	4.780	15.997	34.545	13.254		
	Όρια εμπιστοσύνης	392	2.799	2.980	1.154	13.764	22.132
	Τυπ.απόκλιση	447	3.193	3.400	1.316		
<b>ΚΘΔφ KJ/kg</b>	Μέση τιμή	3.313	14.596	32.668	12.174		
	Όρια εμπιστοσύνης	381	2.771	2.985	1.252	12.311	20.692
	Τυπ.απόκλιση	434	3.161	3.406	1.428		

Πίνακας 6- 9: Στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ περιφ. Κρήτης (Δ' Φάση - 14/6/04 έως 30-/07/04)

	Τροφικά			ΔΞΥΛ			Πλαστικό			Χαρτί			Σύνολο			RDF		
	από	έως	Μέση τιμή	από	έως	Μέση τιμή	από	έως	Μέση τιμή	από	έως	Μέση τιμή	από	έως	Μέση τιμή	από	έως	Μέση τιμή
Υγρασία %	63,55	81,72	72,60	18,44	23,00	20,16	2,50	8,20	4,14	12,72	19,65	15,58	37,44	46,14	41,00	9,34	13,13	11,56
Τέφρα %	9,33	10,10	9,68	5,13	10,45	7,10	1,72	3,04	2,38	5,03	9,11	7,01	6,81	8,17	7,34	4,42	6,37	5,17
Πτητική ύλη %	74,18	80,49	77,54	0,42	1,75	0,95	93,30	95,74	94,73	80,55	84,12	82,57	81,52	84,35	82,87	86,53	88,47	87,82
Fixed Carbon %	9,62	15,72	12,78	83,64	90,94	85,58	2,34	3,67	2,88	6,83	12,94	10,42	8,60	11,06	9,79	5,27	8,05	7,01
C %	44,14	46,20	45,35	44,21	48,05	46,20	77,06	81,18	79,17	37,34	45,13	41,15	50,21	52,38	51,39	55,05	59,05	57,02
H %	6,04	6,50	6,26	5,57	6,45	6,12	8,31	12,29	10,47	4,78	6,66	5,81	6,44	7,24	7,01	6,38	8,24	7,72
N %	1,64	2,31	2,01	0,44	2,63	1,46	0,30	0,53	0,40	0,23	0,64	0,43	1,13	1,41	1,25	0,47	0,65	0,55
C/N	19,44	28,10	23,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΑΘΔφ KJ/Kg	3.336	6.629	5.104	13.731	15.997	14.849	34.545	39.106	37.062	12.946	14.479	13.603	13.331	15.427	14.454	22.132	24.259	23.163
ΚΘΔφ kJ/kg	1.972	5.237	3.602	12.472	14.596	13.468	32.668	36.753	34.698	11.751	12.976	12.292	11.712	13.793	12.828	20.692	22.445	21.421

Πίνακας 6- 10: Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία εργαστηριακών μετρήσεων ΑΣΑ Περιφέρειας Κρήτης  
( Gidaracos et al, 2005)

Στην καύση οι δύο παράγοντες οι οποίοι κατά κύριο σχεδιαστικό λόγο θα παίζουν σημαντικό ρόλο είναι η περιεκτικότητα σε άνθρακα στα απορρίμματα και η περιεχόμενη υγρασία . Σύμφωνα με τον πίνακα 6-10 διαπιστώνουμε ότι το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων αποτελείται από 45,35 % C ενώ τα πλαστικά περιέχουν στην σύνθεσή τους 79,17% άνθρακα. Το κλάσμα του χαρτιού και το κλάσμα του δέρματος μαζί με το ξύλο και τα ελαστικά δεν ξεπερνούν το 50 % σε άνθρακα. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως μπορούμε να οδηγήσουμε τα πλαστικά μόνα τους για καύση και δεν χρειάζεται να τα συνοδεύσουμε με άλλο υλικό καθότι και η περιεχόμενη υγρασία ανέρχεται στο 4,14%. Τα οργανικά υπολείμματα όμως περιέχουν αρκετά μεγάλο ποσοστό υγρασίας που προσεγγίζει το 79,60 % και φυσικά είναι απαγορευτικό για μονάδες καύσης.

Αν συγκρίνουμε την μάζα των απορριμμάτων με το παραγόμενο RDF θα μπορέσουμε εύκολα να διακρίνουμε ότι το σύνολο των απορριμμάτων περιέχει σχεδόν 40 % υγρασία που επηρεάζει άμεσα την θερμογόνο ικανότητα των αποβλήτων ,η οποία για τιμές υγρασίας (25-50%) μειώνεται, σε σχέση με αυτή του RDF που φθάνει το 11,56 %. Η τέφρα που δημιουργείται στην καύση του συνόλου των αποβλήτων διαφέρει κατά 2 ποσοστιαίες μονάδες από την ποσότητα που δημιουργείται στην καύση RDF. Και βέβαια η διαφορά στην θερμογόνο δύναμη είναι κάτι παραπάνω από φανερό με σχεδόν διπλάσια ποσότητα να εκλύεται κατά την καύση του RDF.

Η μεθοδολογία που αναπτύξαμε προκειμένου να διαμορφώσουμε την τελική στοιχειακή σύνθεση των απορριμμάτων βασίστηκε στον πίνακα [6-5], στον πίνακα [6-10] και στην αναλυτική σύνθεση των επιμέρους κλασμάτων. Στον πίνακα [6-11] με πράσινο δηλώσαμε τα στοιχεία που προέκυψαν από την λεπτομερή ανάλυση που προηγήθηκε ,και τα υπόλοιπα στοιχεία προσετέθησαν μέσα στα απαιτούμενα όρια.

		C	H	O	N	Cl	S	H <sub>2</sub> O	Στάχτη	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΛΑΣΜΑΤΑ	ΣΥΝΟΛΟ	%	%	%	%	%	%	%	%	%
ΑΔΡΑΝΗ	1,84	0,50	0,07	0,35	0,03	0,01	0,00	2,00	97,04	100,00
ΜΕΤΑΛΛΑ	3,37	4,31	0,60	3,94	0,05	0,07	0,01	5,00	85,97	99,95
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	1,42	4,31	0,60	3,94	0,05	0,07	0,01	5,00	85,97	99,95
ΓΥΑΛΙ	5,00	0,50	0,07	0,35	0,03	0,01	0,00	2,00	97,04	100,00
ΔΕΡΜΑ-ΞΥΛΟ-ΛΑΣΤΙΧΟ	5,01	46,20	6,12	10,00	1,46	4,97	1,17	7,59	22,49	100,00
ΧΑΡΤΙ	21,29	41,15	5,81	30,00	0,43	0,28	0,20	14,22	7,91	100,00
ΤΡΟΦΙΚΑ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ	37,63	45,35	6,26	8,00	2,01	0,25	0,11	30,44	7,58	100,00
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	18,97	77,06	8,31	7,35	0,30	2,47	0,29	2,50	1,72	100,00
ΥΠΟΛΟΙΠΑ	5,49	27,42	3,48	7,99	0,55	1,02	0,22	8,59	50,72	99,99
ΣΥΝΟΛΑ	100,00									
	RDF	56,76	6,89	18,30	0,49	1,72	0,35	8,58	6,93	100,00
	MAZA	44,51	5,70	11,94	1,01	0,93	0,21	16,18	19,53	100,02

Πίνακας 6- 11:Τελική στοιχειακή σύνθεση RDF και μάζας απορριμμάτων

Οπότε πλέον καταλήξαμε σε μία στοιχειομετρική σύνθεση για δύο κατηγορίες αποβλήτων : μία για την συνολική μάζα των αποβλήτων και μία για την μάζα του RDF. Στην συνολική μάζα των αποβλήτων λάβαμε υπόψη μας όλα τα κλάσματα ενώ το προϊόν RDF υποθέσαμε ότι σχηματίζεται από τα καύσιμα υλικά δηλαδή τα πλαστικά ,το χαρτί και τα δέρματα ,το ξύλο και τα λάστιχα .Η θερμική συμμετοχή των απορριμμάτων στο σύνολο της εκλυόμενης ενέργειας αποτελεί μία αναπόφευκτη παράμετρος στην κατασκευή μιας μονάδας καύσης.

#### 6.4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ

Με όσα ήδη έχουν αναφερθεί διαπιστώνουμε ότι στην ενεργειακή συμμετοχή το μεγαλύτερο μερίδιο θα φέρουν τα πλαστικά και ακολούθως τα χαρτικά .Ακολουθούν τα ζυμώσιμα και τα κλάσματα του ξύλου-δέρματος & λάστιχου. Παρατηρούμε ότι παρόλο που τα πλαστικά δεν αποτελούν ούτε το 20% της σύνθεσης των απορριμμάτων εντούτοις συμμετέχουν κατά το ήμισυ

στην ενεργειακή συμμετοχή ,και αυτό είναι πολύ σημαντικό για μελλοντικές εφαρμογές στην επιλογή καύσιμου υλικού σε μονάδες καύσης.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ				
ΥΛΙΚΑ	Σύνθεση απορριμμάτων (2004)	Κατώτερη θερμογόνος τιμή	Ενέργεια	Συμμετοχή στην ενέργεια
	%	Kcal/kg	Kcal	%
ΧΑΡΤΙ	21,29	2940	62593	19,88
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	18,97	8301	157470	50,02
ΖΥΜΩΣΙΜΑ	37,63	1221	45946	14,59
ΓΥΑΛΙ	5,00	33	165	0,05
ΜΕΤΑΛΛΑ	4,79	165	790	0,25
ΔΕΡΜΑ-ΞΥΛΟ- ΛΑΣΤΙΧΟ	5,01	3222	16142	5,13
ΑΔΡΑΝΗ	1,84	30	55	0,02
ΥΠΟΛΟΙΠΑ	5,49	5770	31677	10,06
ΣΥΝΟΛΟ	100,02	21682	314839	100,00

Πίνακας 6- 12:Ενεργειακή συμμετοχή των απορριμμάτων στην περιοχή μελέτης

## 6.5. ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η αυτοδυναμία στην καύση επιτυγχάνεται με κατώτερη θερμογόνο τιμή 1435,4 kcal/k<sub>waste</sub>. Το πρόβλημα δεν είναι να επιτυγχάνεται η αυτοδυναμία της καύσης. Αυτό στις πιο πολλές περιπτώσεις υποβοηθάται με την χρήση ενισχυτικού καυσίμου. Το ζήτημα είναι όπως αναφέραμε και στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο η ανάκτηση θερμότητας και μάλιστα όσο το δυνατόν σε υψηλότερο ποσοστό. Ακολουθούν διάφορες αλλαγές της τροφοδοσίας με προγράμματα ανακύκλωσης και επερχόμενες μεταβολές στην θερμογόνο ικανότητα :

- Απομάκρυνση 80 % του χαρτιού –μείωση κατά 18,3% στην θερμογόνο δύναμη
- Ανακύκλωση χαρτιού και γυαλιού (Χαρτί 75 % και Γυαλί 80% -δηλαδή 20% της συνολικής ποσότητας των απορριμμάτων) – αλλαγή στην θερμογόνο τιμή +2%
- Ανακύκλωση χαρτιού ,γυαλιού ,μετάλλων και πλαστικών (Χαρτί 75 % και Γυαλί 80%,Μέταλλα 50% και Πλαστικά 40%-δηλαδή 25% της συνολικής ποσότητας των απορριμμάτων) – αλλαγή στην θερμογόνο τιμή -4%
- Ανακύκλωση ζυμώσιμων ,χαρτιού και γυαλιού (Χαρτί 50 % , Γυαλί 50% και Ζυμώσιμα 94% )- αλλαγή στην θερμογόνο τιμή + 14%

- Ανακύκλωση ζυμώσιμων ,χαρτιού , γυαλιού, μετάλλων και πλαστικών (Χαρτί 75 % , Γυαλί 80% , Ζυμώσιμα 94%, Μέταλλα 50% και Πλαστικά 40%-δηλαδή 60% της συνολικής ποσότητας των απορριμμάτων )- αλλαγή στην θερμογόνο τιμή + 10%.

## 6.6. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Τώρα έχοντας γνώση του σχετικού θεωρητικού υποβάθρου που προηγήθηκε όσον αφορά τα συστήματα καύσης ,τα συστήματα ελέγχου αερίων εκπομπών ,τα συστήματα διαχείρισης της τέφρας και των υπολειμμάτων θα σχεδιάσουμε 2 σενάρια περιβαλλοντικής λύσης για μονάδα καύσης . Η υποθετική βέλτιστη λύση για την παροχή των 200.000 tn/έτος στην περιοχή μελέτης (Περιφέρεια Κρήτης εκτός νομού Χανίων) προκύπτει από την κατασκευή των παρακάτω εγκαταστάσεων :

- Μια μονάδα μηχανικής διαλογής η οποία θα παράγει RDF , σιδηρούχα μέταλλα, αλουμινούχα μέταλλα, καθώς και μικρές ποσότητες χαρτιού.
- Μία μονάδα υγρού διαχωρισμού για την άμμο και τα αδρανή που περιέχονται στην μάζα των ΑΣΑ.
- Μία μονάδα αναερόβιας χώνευσης για το οργανικό κλάσμα η οποία θα παράγει βιοαέριο καύσιμο το οποίο θα αποδίδει ενέργεια και χωνεμένο υλικό ή εναλλακτικά μία μονάδα κομποστοποίησης που θα παράγει κομπόστ.
- Μία μονάδα αποτέφρωσης των καύσιμων υλικών η οποία θα παράγει ενέργεια και πληθώρα υπολειμμάτων.
- Μία μονάδα ελέγχου αερίων εκπομπών και διαχείρισης στάχτης και υπολειμμάτων.
- Τέλος μια μονάδα παραγωγής ενέργειας ή θερμότητας από την καύση του βιοαερίου και των καύσιμων υλικών.

Το κόστος μιας τέτοιας σειράς εγκαταστάσεων είναι σχετικά υψηλό και μπορεί να κυμανθεί από 80 εκ € μέχρι και 150 εκ € ,λύνουμε όμως κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό το πρόβλημα των απορριμμάτων για έναν εξυπηρετούμενο πληθυσμό περίπου 455.000 κατοίκων και 80.000 τουριστών. Ακολουθεί η ανάλυση των σταδίων της καύσης και της επεξεργασίας των αερίων εκπομπών .

## 6.7. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Στην διαδικασία της καύσης λόγω της μεγάλης παροχής καύσιμων υλικών περίπου 300 tn/ημέρα, η οποία σημειωτέον είναι ήδη αρκετά προσανξημένη σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα, επιλέξαμε να δημιουργήσουμε δύο γραμμές λειτουργίας της μονάδας όπου η κάθε γραμμή τροφοδοσίας θα έχει σχεδιαστική παροχή 10 tn/h , θα λειτουργεί 330 ημέρες τον χρόνο και για 15 ώρες κάθε ημέρα. Οι διεργασίες όλες υπολογίστηκαν σαν συνεχείς με συνολικό χρόνο 24 ώρες.

Καταρχήν εισάγουμε τα δεδομένα :

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (ton/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	Ash	<input checked="" type="checkbox"/>	0,61149	6,115	0,06168	100,0
2	Carb. Dioxide	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00000	0,000	0,00000	100,0
3	Carbon	<input checked="" type="checkbox"/>	5,67191	56,720	0,57209	100,0
4	Chlorine	<input checked="" type="checkbox"/>	0,17200	1,720	0,01735	100,0
5	Fluorine	<input checked="" type="checkbox"/>	0,03318	0,332	0,00335	100,0
6	H Fluoride	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00000	0,000	0,00000	100,0
7	HCl	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00000	0,000	0,00000	100,0
8	Hydrogen	<input checked="" type="checkbox"/>	0,68899	6,890	0,06949	100,0
9	Nitrogen	<input checked="" type="checkbox"/>	0,04900	0,490	0,00494	100,0
10	Oxygen	<input checked="" type="checkbox"/>	1,82997	18,300	0,18458	100,0
11	P Pentoxide	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00000	0,000	0,00000	100,0

☐ Ingredient Flows
 ☒ Mass Composition

Total Flowrates: ☐ Set Mass Flow: 10,000 ton/h
 ☐ Set Vol. Flow: 8994199,378 L/h

Temperature: 25,00 °C  
 Pressure: 1,013 bar  
 Activity: 0,00 U/mL

Units: Mass in: ton | Volume in: L | Composition in: % | Conc. in: g/L

Time Ref. for Flows: ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Operation Cycle ☒ Time Average: h

Εικόνα 6- 1:Παροχή τροφοδοσίας στην διεργασία της καύσης

Την σύνθεση που είχαμε υπολογίσει παραπάνω με τους συντελεστές βαρύτητας την εισάγουμε στο πρόγραμμα , προσθέτοντας και τις ποσότητες φθορίου και φωσφόρου που αναλογούν στα απορρίμματα. Επιλέξαμε ογκομετρική παροχή 10 tn/ώρα και κανονικές συνθήκες

περιβάλλοντος. Δηλώσαμε με μηδενική ροή στο σύνολο της μάζας , τους αερίους ρύπους που θα σχηματιστούν.

**INCINERATE-1 (Incineration)**

Oper. Cond's | Elem. Comp | Components | Labor, etc. | Description

☒ Adjust Fuel Flow for Complete Combustion of Waste Fuel Use: Combustion

Excess Oxygen  % Air: Combustion

Ash To Flue Gas  %

Flue Gas Temperature (after energy recovery)  °C

Excess Heat  kcal/kg of Waste

Fuel for Complete Combustion  kg/kg of Waste

Relative Humidity of Entering Air  %

**Εικόνα 6- 2:Συνθήκες λειτουργίας του αποτεφρωτήρα πριν την καύση**

Το πρώτο στάδιο είναι να επιλέξουμε το ποσοστό της περίσσειας οξυγόνου, το ποσοστό της ιπτάμενης τέφρας στα απαέρια και τέλος της θερμοκρασίας που θέλουμε να έχουν τα απαέρια μετά την ανάκτηση θερμότητας . Έγινε επιλογή περίσσειας οξυγόνου 11 % (καθότι μεγαλύτερες τιμές αλλά δεν επέφεραν ουσιαστική αλλαγή στην τιμή της θερμογόνου δυνάμεως) που αποτελεί μία από τις χαμηλότερες τιμές στις πρακτικές εφαρμογές .Επίσης θεωρήσαμε ότι το ποσοστό της ιπτάμενης τέφρας που περιλαμβάνεται στα απαέρια είναι γύρω στο 25 % και τέλος οριοθετήσαμε τελική θερμοκρασία στο τέλος του economizer δηλαδή μετά την ανάκτηση της ενέργειας την τιμή των 220°C ,η οποία αποτελεί τιμή σχεδιασμού συνήθως για όλα τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας..



Εικόνα 6- 3: :Συνθήκες λειτουργίας του αποτεφρωτήρα μετά την καύση

Το πρόγραμμα έχει καθοριστεί σύμφωνα με τους νόμους των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας .  
Οπότε σε αυτήν την διαδικασία έχει την ιδιότητα να μετατρέπει :

- Όλη την μάζα του άνθρακα που είναι η πρώτη ύλη καύσης σε διοξείδιο του άνθρακα
- Όλα τα υδρογόνα σε νερό και αν υπάρχουν μόρια χλωρίου ή φθορίου θα χρησιμοποιηθούν στοιχειομετρικά ποσά υδρογόνου για να σχηματίσουν τα όξινα αέρια υδροχλώριο και υδροφθόριο.
- Όλα τα μόρια του αζώτου που υπάρχουν στα καύσιμα υλικά σε αέριο άζωτο.
- Όλα τα μόρια βρωμίου ή ιωδίου σαν αέριο βρώμιο ή ιώδιο αντίστοιχα .
- Όλα τα μόρια του θείου σε διοξείδιο του θείου
- Όλος ο φώσφορος σε πεντοξείδιο του φωσφόρου
- Η στάχτη που θα ορίσει ο χρήστης θα απελευθερωθεί σαν στάχτη

Αναγκαία προϋπόθεση όμως για τις παραπάνω μετατροπές είναι ο χρήστης να δηλώσει την στοιχειομετρική αναλογία όλων των ενώσεων και στοιχείων που έχει εισάγει στο πρόγραμμα

(ανάλυση των απορριμμάτων) σε σχέση με τα στοιχεία που επεξεργάζεται το πρόγραμμα που είναι ο άνθρακας , το οξυγόνο ,το άζωτο, το χλώριο ,το θείο, η υγρασία ,η στάχτη .

Components in Flue Gas	Local Name	Components in Flue Gas	Local Name
Carbon Dioxide	Carb. Dioxide	Bromine	(none)
Water	Water	Iodine	
Nitrogen	Nitrogen	Sulfur Dioxide	Sulfur Dioxide
Oxygen	Oxygen	Phosphorus Pentoxide	P Pentoxide
Hydrogen Chloride	HCl	Ash	Ash
Hydrogen Fluoride	H Fluoride		

**Εικόνα 6- 4:Ταυτοποίηση στοιχείων στα απαέρια**

Το επόμενο βήμα ,όπως βλέπουμε στην εικόνα 6-4 ,είναι η ταυτοποίηση των στοιχείων .

Το τελευταίο στάδιο απαιτεί του συστήματος με τις εξισώσεις των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας.

Για το σύστημα καύσης έχουμε επιλέξει τροφοδοσία : 20 % οξυγόνο και 80 % αέρα (ο αέρας περιέχει άζωτο και το άζωτο στον θάλαμο καύσης θα μετατραπεί σε οξείδια του αζώτου) .Σε περίπτωση που δεν γίνει χρήση οξυγόνου για οικονομικούς λόγους καλό θα ήταν να χρησιμοποιηθεί φίλτρο ενεργού άνθρακα προκειμένου να διαχωριστούν τα στοιχεία άζωτο και οξυγόνο.

Εικόνα 6- 5:Περίσσεια θερμότητας από τα απορρίμματα

Η θερμότητα που παράγεται με την καύση ενός kg απορρίμματος ανέρχεται σε 4143,91 kcal.Οπότε εύκολα υπολογίζεται η δυναμικότητα της μονάδας και η ηλεκτρική ενέργεια που θα είναι σε θέση να παράγει.

Από την αντιστοιχία μονάδων προκύπτει ότι 1 kcal ισούται με 0.001163 kWh ή  $4,18 \cdot 10^{-3}$  MJ. Άρα υπολογίσαμε ότι η μονάδα καύσης θα μπορεί να αποδίδει 4.81 kWh /kg απορρίμματος ή 17,32 MJ/ kg απορρίμματος δηλαδή 44.8 MW .Οπότε η συνολική ονομαστική ισχύς της μονάδας θα φθάνει τα 134,4 MW.

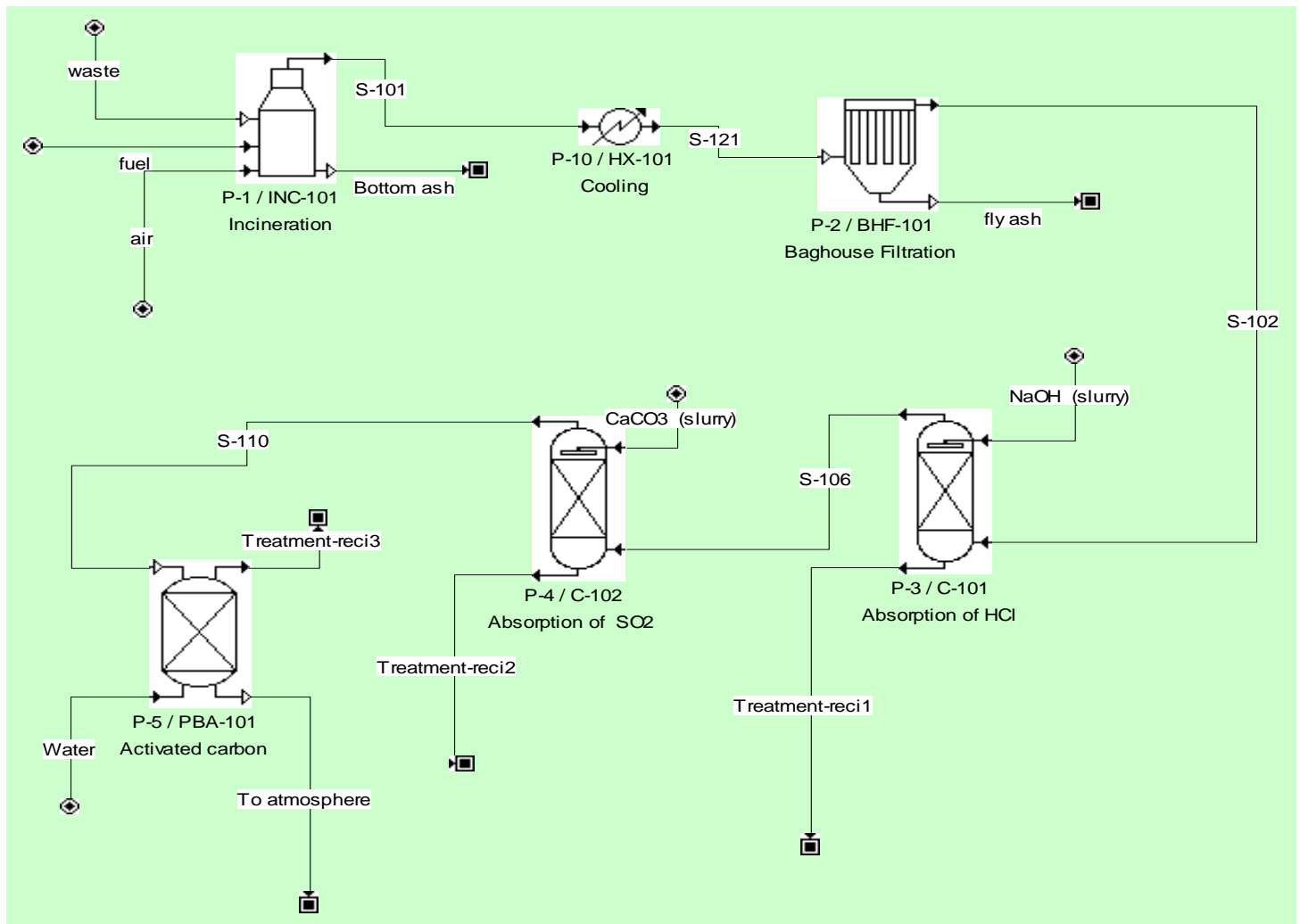
Στην συγκεκριμένη μονάδα καύσης η τέφρα του πυθμένα υπολογίστηκε σε περίπου 414 kg/h ή (83,7 m<sup>3</sup>) άρα ανά τόνο απορρίμματος θα παράγονται 41,4 kg τέφρα πυθμένα.

## 6.8. 1<sup>ο</sup> ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ-ΥΓΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Το πρώτο σενάριο κατασκευής των εγκαταστάσεων φαίνεται στο σχήμα 6-1 και αποτελείται από δύο συστήματα: το σύστημα της καύσης στο οποίο το πρόγραμμα έχει ενσωματωμένο το σύστημα ανάκτησης ενέργειας (default) , ακολουθούμενο από ένα σύστημα σακκόφιλτρων. Η επεξεργασία των όξινων αερίων πραγματοποιείται στο διπλό σύστημα αλκαλικής πλύσης με τους πύργους απορρόφησης. Τέλος τοποθετούμε φίλτρα ενεργού άνθρακα σαν το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας.

Και για τα δύο συστήματα που σχεδιάσαμε έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές :

- Κατά την καύση των αποβλήτων και στο πάνω μέρος του θαλάμου θεωρούμε ότι εισάγουμε αμμωνία σε ένα εύρος θερμοκρασιών γύρω στους 1000°C προκειμένου να ελέγξουμε τα NOx . Μέσω των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, το NO μετατρέπεται σε αέριο άζωτο, οπότε δεχόμαστε ότι τα όρια εκπομπών είναι σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.
- Επίσης από την όλη διαδικασία εξαιρέθηκε το σύνολο των ρύπων των βαρέων μετάλλων και των διοξινών και φουρανίων. Αυτό διότι το πρόγραμμα δεν υπολογίζει την ολοκληρωτική μεταβολή των στοιχείων που περιέχονται στα απορρίμματα ούτε λαμβάνει υπόψη τον πολύπλοκο σχηματισμό των διοξινών/φουρανίων . Παρόλα αυτά μέσω των φίλτρων ενεργού άνθρακα που τοποθετήθηκαν και υπολογίστηκε η απόδοση τους καθώς και με την βοήθεια άλλων αντιδραστηρίων, θεωρήσαμε ότι θα προσροφηθούν οι ρύποι αυτοί.
- Επίσης θεωρήσαμε ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε σακόφιλτρα θα έχουμε ένα injection ασβέστη (με ψεκασμό διασκορπισμού) ο οποίος θα φροντίσει την απομάκρυνση αφενός των σωματιδίων των όξινων αερίων και αφετέρου θα συμβάλλει στην αλκαλική πλύση των αερίων. Για το σκοπό αυτό θα εισάγουμε περίπου 0,02 kg/tn απορ. διάλυμα τριμερκαπτοτριαζίνης (TMT 15%) προκειμένου να καταβυθιστούν τα μέταλλα.



Σχήμα 6- 1:1<sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων-υγρή μέθοδος

### 6.8.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Για να ξεκινήσει η διαδικασία καθαρισμού των απαερίων οφείλουμε πρώτα από όλα να μειώσουμε την θερμοκρασία των απαερίων διότι οι 220°C θα καταστρέψουν τα σακόφιλτρα μέσω της διάβρωσης από τα χημικά αέρια (HCl /HF/SO<sub>2</sub>) . Για τον σκοπό αυτό προβλέπεται η τοποθέτηση ενός πύργου ψύξης ή μιας συσκευής ψύξης. Χρησιμοποιήσαμε μια συσκευή ψύξης και μειώσαμε την θερμοκρασία στους 170 °C . Ακολουθεί η μεταφορά του όγκου των απαερίων προς τις μονάδες επεξεργασίας.

**Stream S-121 ( P-10 --> P-2 )**

Composition, etc. | Density | Env.Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (g/L)	E <sub>v</sub>
1	Ash	137,77868	2378,9725	0,001965	
2	Carb. Dioxide	18897,49191	326295,8676	0,269583	
3	H Fluoride	31,60144	545,6501	0,000451	
4	HCl	160,71684	2775,0371	0,002293	
5	Nitrogen	30253,32007	522372,6707	0,431580	
6	Oxygen	1884,44377	32537,9801	0,026883	
7	P Pentoxide	136,34675	2354,2479	0,001945	
8	Sulfur Dioxide	63,50293	1096,4811	0,000906	
9	Water	6350,00215	109643,0928	0,090586	

**Total Flowrates**

Mass Flow **57915,205** kg/h  
Volumetric Flow **70099,045** m<sup>3</sup>/h

Temperature **170,00** °C  
Pressure **1,013** bar  
Activity **0,00** U/mL

Units Mass in **kg** Volume in **m<sup>3</sup>** Composition in **ppm** Conc. in **g/L**

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Steady Cycle ☐ Oscillation Cycle ☒ Time Average **h**

Εικόνα 6- 6:Σύνθεση των απαερίων

Διακρίνουμε λοιπόν πως πρέπει να επεξεργαστούμε έναν όγκο απαερίων γύρω στα 70.000 m<sup>3</sup>/hr στην κάθε γραμμή λειτουργίας. Αξιοσημείωτο είναι πως αν στο μίγμα αέρα –οξυγόνου (80%-20%) δεν είχαμε καθόλου οξυγόνο και μόνο αέρα τότε η παροχή των αερίων θα ήταν περίπου διπλάσια : 120.000 m<sup>3</sup>/hr.

Από την σύνθεση των απαιριών (εικόνα 6-6) διακρίνουμε ότι η ωριαία παραγωγή ιπτάμενης τέφρας ανέρχεται στα 137,7 kg τα οποία μπορούμε να απομακρύνουμε με την χρήση σακοφίλτρων.

Οπότε σχεδιάζουμε ένα σακόφιλτρο με τις ακόλουθες παραμέτρους :

- Αριθμό διαμερισμάτων ίσο με 1 διότι επιλέξαμε μηχανισμό με πεπιεσμένο αέρα
- Αριθμό σάκων ίσο με 450
- Διάμετρο σάκων ίσο με 20 cm και μήκος σάκων ίσο με 1,5 m
- Καθαρή επιφάνεια υφάσματος (το υλικό των σάκων προτείνεται να είναι πολυπροπυλένιο ή Teflon ή Orlon ) ίση με 424,11 m<sup>2</sup>
- Μηχανισμό καθαρισμού με πεπιεσμένο αέρα πίεσης 6,2 bar και απόδοση αντλίας 70%.

The screenshot shows the 'BHF-101 (Baghouse Filter)' window with the following settings:

- Selection:** BHF-101 (selected), Request New (unselected), Name (empty).
- Description:** Name: BHF-101, Type: Baghouse Filter, Number of Units: 1.
- Max No Compartments:** 15, **No Compartments:** 1, **Max No Bags / Compartment:** 450.
- Bag Diameter:** 20,000 cm, **Bag Length:** 1,500 m, **Net Cloth Area:** 424,115 m<sup>2</sup>.
- Cleaning Type:** Shaking (unselected), Reverse-Air Flow (unselected), Pulse-Jet Air (selected).
  - Clean Air Ratio:** 0,010
  - Clean Air Press.:** 6,200 bar
  - Compressor Eff.:** 70,00 %
- Fan Location:** Before (Pressure-Type) (selected), After (Suction-Type) (unselected).
- Size:** Calculated (Design Mode) (unselected), Set by User (Rating Mode) (selected).
- Insulated:** Checked (indicated by an 'X' in a box).

Εικόνα 6- 7:Σχεδιαστικές παράμετροι σακόφίλτρου

Έτσι υπολογίσαμε τις ζητούμενες παραμέτρους σχεδιασμού προκειμένου να διαπιστώσουμε αν εκπληρούνται τα νομοθετικά και κατασκευαστικά όρια.



Component	Removal %
Ash	99,50
Butane	0,00
Ca Hydroxide	0,00
CaCO <sub>3</sub>	0,00
Carb. Dioxide	0,00
Carbon	0,00
Chlorine	0,00
Dibenzofuran	0,00
Fluorine	0,00

**Filtration and Cleaning Time**  
 Cleaning Time Per Compartment: 1,00 min  
☒ Set Filtration Time: 20,00 min  
☐ Set Max Pressure Drop: 1,212 kPa  
 Linear Velocity: 2,755 m/min  
 Fan Efficiency: 80,00 %  
 Run Time: 20,00 min  
 Max Areal Dust Density: 0,000 kg/m<sup>2</sup>  
 Power: 44,97 kW

**Εικόνα 6- 8:Απόδοση σακόφιλτρου**

Έτσι υπολογίσαμε ότι για το σακόφιλτρο με απόδοση 99,5 % ο χρόνος φιλτραρίσματος ανέρχεται σε 20 λεπτά ,με πτώση πίεσης γύρω στα 1,2 kPa και με γραμμική ταχύτητα 2,755 m/min. Για ένα τέτοιου μεγέθους σακόφιλτρο θα χρησιμοποιηθεί ένας συμπιεστής (απόδοσης 80 %) ισχύος περίπου 45 kW.

Σαν υπόλειμμα από το σακόφιλτρο όταν υφίσταται ο καθαρισμός με την εισαγωγή πεπιεσμένου αέρα, λαμβάνουμε 137 kg ιπτάμενης τέφρας που πρέπει να διατεθεί ή να επεξεργασθεί σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία και τις διαθέσιμες ανεπτυγμένες τεχνολογίες ( σταθεροποίηση / στερεοποίηση, υαλοποίηση).

Στον συνολικό σχεδιασμό των μονάδων υποθέσαμε ότι τα υπόλοιπα στοιχεία των απαερίων δεν υφίσταται καμία μεταβολή μέσα στο σύστημα του σακόφιλτρου πράγμα που σίγουρα στην πραγματικότητα δεν ισχύει. Τα ποσοστά όμως των στοιχείων που συγκρατούνται ποικίλουν από εγκατάσταση σε εγκατάσταση και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες για αυτό και επιλέξαμε να εξετάσουμε μόνο την απομάκρυνση της ιπτάμενης τέφρας.

Συνολικά θα χρησιμοποιηθούν δύο (2) σακόφιλτρα όμοια μεταξύ τους που το καθένα θα εξυπηρετεί την κάθε γραμμή τροφοδοσίας αποβλήτων. Οπότε στην πάνω έξοδο του σακόφιλτρου συνεχίζει το ρεύμα των απαερίων χωρίς καμία μεταβολή στην ογκομετρική παροχή.

Η κάθε γραμμή περιβαλλοντικού ελέγχου περιλαμβάνει αλκαλική πλύση των αερίων για τον έλεγχο του HCl και HF , καθαρισμό με ασβέστη για την απομάκρυνση του SO<sub>2</sub> και φίλτρα ενεργού άνθρακα για τον γενικό έλεγχο των όξινων αερίων, των διοξινών και των φουρανίων όπως επίσης και των βαρέων μετάλλων. Η παροχή τροφοδοσίας των αερίων υπολογίζεται σε 70.000 m<sup>3</sup>/hr .

### 6.8.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΞΙΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Για την απορρόφηση των όξινων αερίων χρησιμοποιήθηκαν πύργοι ψεκασμού με πληρωτικό υλικό. Η θεωρία που αναπτύσσεται στους πύργους πλύσης ανάγεται στην διαχυτότητα των αερίων στην υγρή επιφάνεια με τελική κατάληξη την διασπορά στο υγρό. Ο σχεδιασμός έγκειται στην θεωρία του διπλού υμένα (laminar film) όπου η όλη αντίσταση στην μεταφορά μάζας είναι αποτέλεσμα των στρωτών υμένων (του υγρού και του αερίου). Απαραίτητη προϋπόθεση για αυτήν την διαδικασία είναι τόσο η σωστή επιλογή του υλικού πλήρωσης όσο και η προσθήκη αντιδραστηρίων για τον καθαρισμό.

#### 6.8.2.1. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ HCl ΚΑΙ ΤΟΥ HF

Για την απομάκρυνση του αερίου υδροχλωρίου και του υδροφθορίου, χρησιμοποιήσαμε ένα πύργο απορρόφησης με διαστάσεις 2m διάμετρο και 2m ύψος . Επιλέξαμε πληρωτικό υλικό με τις παρακάτω ιδιότητες :

- Ειδική επιφάνεια : 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- Ονομαστική διάμετρο : 0,025 m
- Σταθερά πλήρωσης :150
- Κρίσιμη επιφανειακή τάση : 20 dyn/cm

ABSORB-1 (Absorption)	
Oper.Cond's	Packing
Cf (packing constant)	150,000
Total Specific Area	200,000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Nominal Diameter	0,025 m
Critical Surface Tension	20,000 dyn/cm

Εικόνα 6- 9:Ιδιότητες πληρωτικού υλικού στον πύργο απορρόφησης HCl/HF στο 1<sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων

Ύστερα προχωρήσαμε στην επιλογή του διαλύματος με το οποίο θα αντιδράσουν το υδροχλώριο και το υδροφθόριο . Από την αγορά συγκρίναμε τις τιμές των προϊόντων ( $\text{CaOH}_2$  και  $\text{NaOH}$ ) και επιλέξαμε το υδροξείδιο του νατρίου .Το διάλυμα αυτό θα εισρεύσει μέσα στον πύργο απορρόφησης μέσω σταγονιδίων με ψεκασμό σε θερμοκρασία γύρω στους  $25\text{ }^\circ\text{C}$  και με πίεση 1 bar για καλύτερη απόδοση .

Υπολογίσαμε ότι περίπου θα χρειαστούμε για την κάθε γραμμή 3500kg/hr ύδατος αναμεμιγμένο με 1 kg /hr υδροξειδίου του νατρίου(1M).

The screenshot shows the 'Composition' window of the SUPERPRO DESIGNER software. It contains a table with two ingredients: NaOH (1 M) and Water. The 'Water' row is selected, showing a flow rate of 3500,00000 kg/h and a concentration of 994,43336 g/L. Below the table, there are controls for 'Total Flowrates' (Set Mass Flow: 3501,000 kg/h, Set Vol. Flow: 3,520 m3/h) and 'Temperature' (25,00 °C). The 'Units' section shows Mass in kg, Volume in m3, Composition in %, and Conc. in g/L. The 'Time Ref. for Flows' section has radio buttons for Batch, Steady Cycle, Operation Cycle, and Time Average (selected).

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	NaOH (1 M)	<input type="checkbox"/>	1,00000	0,029	0,28412	100,0
2	Water	<input checked="" type="checkbox"/>	3500,00000	99,971	994,43336	100,0

Total Flowrates: Auto-Adjust ☐  
 Set Mass Flow: 3501,000 kg/h  
 Set Vol. Flow: 3,520 m3/h  
 Temperature: 25,00 °C  
 Pressure: 1,013 bar  
 Activity: 0,00 U/mL  
 Units: Mass in kg, Volume in m3, Composition in %, Conc. in g/L  
 Time Ref. for Flows: ☐ Batch ☐ Steady Cycle ☐ Operation Cycle ☒ Time Average h

Εικόνα 6- 10:Παροχή διαλύματος στο πρώτο στάδιο της αλκαλικής πλύσης του 1<sup>ου</sup> σεναρίου

Έτσι έχοντας εισάγει όλα μας τα δεδομένα και γνωρίζοντας ότι τα ποσό του  $\text{HCl}$  και  $\text{HF}$  που εισάγονται με το ρεύμα των αερίων είναι **161 kg/hr** και **32 kg/hr** αντίστοιχα ,υπολογίζεται η απόδοση του συστήματος και οι ροές των υγρών υπολειμμάτων.

**ABSORB-1 (Absorption)**

Oper. Cond's | Packing | Labor, etc. | Description

**% Absorbed From Gas**

Component	% Removed
H Fluoride	32,000
HCl	78,245
Hydrogen	0,000
Nitrogen	0,000
Oxygen	96,589
P Pentoxide	0,000
Phosphorus	0,000
Sodium Hydroxid	0,000

HTU 1,310 m  
NTU 1,527

**Design Component**

Component HCl

**Diffusivity**

In Gas Phase ( $\times 10^{**3}$ ) 179,0000 cm<sup>2</sup>/s  
In Liquid Phase ( $\times 10^{**6}$ ) 21,1000 cm<sup>2</sup>/s

☒ Removal Efficiency Calculated

Liquid Surface Tension 70,000 dyn/cm  
Liquid Phase Viscosity 1,300 cp  
Gaseous Phase Viscosity 0,021 cp  
Pressure Drop 4400,000 Pa  
Pressure Drop/Length 2200,000 Pa/m

**Εικόνα 6- 11:Απόδοση πρώτου σταδίου αλκαλικής πλύσης στο 1<sup>ο</sup> σενάριο**

Η απόδοση του συστήματος ανέρχεται σε 78,25 % απομάκρυνση του HCl και 32 % του HF. Το HTU (Height Transfer Unit) υπολογίστηκε σε 1,310 m ενώ το NTU (Number of Transfer Units) σε 1,527 .

Η πτώση πίεσης υπολογίστηκε σε 2200 Pa /m και στο συνολικό ύψος της στήλης σε 4400 Pa (περίπου ίσο με 17,7 in H<sub>2</sub>O).

Stream Treatment-reci1 ( P-3 --> OUTPUT )

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	H Fluoride	10,11231	0,1849	0,001159	100,00
2	HCl	125,74973	2,2988	0,014413	100,00
3	Oxygen	1820,10587	33,2732	0,208608	100,00
4	Sodium Hydroxid	0,03840	0,0007	0,000004	100,00
5	Sulfur Dioxide	13,22479	0,2418	0,001516	100,00
6	Water	3500,96160	64,0007	0,401255	100,00

Total Flowrates

Mass Flow 5470,193 kg/h

Volumetric Flow 8725,022 m3/h

Temperature 143,22 °C

Pressure 1,013 bar

Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in m3 Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Steady Cycle ☐ Oxidation Cycle ☒ Time Average h

Εικόνα 6- 12:Υπολείμματα από το πρώτο στάδιο της αλκαλικής πλύσης στο 1<sup>ο</sup> σενάριο

Οπότε τελικά στα υγρά απόβλητα (τα οποία βρίσκονται σε αέρια κατάσταση λόγω της μεγάλης μεταφοράς θερμότητας 143,22°C) εκτός από υδατμούς θα έχουμε απομακρύνει :125,74 kg HCl , 10,11 kg HF και 13,22 kg SO<sub>2</sub>.Φυσικά τα αέρια αυτά τα οδηγούμε προς υγροποίηση και τα υγρά διαλύματα που σχηματίζονται μπορούμε πλέον να τα χρησιμοποιήσουμε για ανακυκλοφορία στις διαδικασίες πλύσης των απαερίων καύσης. Κάτι τέτοιο οδηγεί στην μείωση των υψηλών κοστών λειτουργίας της μονάδας και ιδιαίτερα του νερού . Βέβαια η ανακυκλοφορία των υγρών πλύσης δεν μπορεί να πραγματοποιείται για πολλούς κύκλους .Κάποια στιγμή θα επέλθει κορεσμός στα διαλύματα των αλάτων ( NaCl, και NaF και σε Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>).Αυτά τα απόβλητα μπορούμε να τα διαθέσουμε είτε να τα χρησιμοποιήσουμε σε άλλες διαδικασίες είτε ακόμα και να τα επεξεργαστούμε ώστε να παράγουμε χημικά προϊόντα διαθέσιμα στην αγορά.

#### 6.8.2.2. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ SO<sub>2</sub>

Ο όγκος των απαερίων προχωρά προς το δεύτερο στάδιο καθαρισμού που περιλαμβάνει την χρήση ασβέστη και την απορρόφηση του διοξειδίου του θείου.

Τα απαέρια αρχικά περιέχουν 63,5 kg SO<sub>2</sub> από τα οποία τα 13,5 kg απομακρύνονται στο πρώτο στάδιο της αλκαλικής πλύσης. Μετά το πρώτο στάδιο τα απαέρια έχουν θερμοκρασία 143,22 °C, πίεση 1 bar και περιέχουν 900 ppm ( **50 kg**) SO<sub>2</sub>.

Οι διαστάσεις αυτού του πύργου απορρόφησης υπολογίσθηκαν σε 3m διάμετρο και 3m ύψος.

The screenshot shows the 'Composition' window of the SUPERPRO DESIGNER software. The window has a title bar '( INPUT --> P-4 )' and tabs for 'Env. Properties' and 'Comments'. The 'Composition' tab is active, displaying a table with the following data:

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	CaCO <sub>3</sub>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00000	0,029	0,25723	100,0
2	Water	<input checked="" type="checkbox"/>	3500,00000	99,971	900,28976	100,0

Below the table are buttons for 'Delete', 'Set', and radio buttons for 'Ingredient Flows' (selected) and 'Mass Composition'. Further down, there are input fields for 'Total Flowrates' (Set Mass Flow: 3501,000 kg/h, Set Vol. Flow: 3,888 m<sup>3</sup>/h), 'Temperature' (25,00 °C), 'Pressure' (1,000 bar), and 'Activity' (0,00 U/mL). At the bottom, there are dropdown menus for 'Units' (Mass in kg, Volume in m<sup>3</sup>, Composition in %, Conc. in g/L) and 'Time Ref. for Flows' (Batch, Source Cycle, Destination Cycle, Time Average h).

Εικόνα 6- 13:Παροχή διαλύματος στο δεύτερο στάδιο της αλκαλικής πλύσης

Γίνεται χρήση διαλύματος ασβέστη (1 kg/hr) και νερού ( 3500 kg/hr ) το οποίο έχει την δυνατότητα αφού αντιδρά με το διοξείδιο του θείου να ανακυκλοφορήσει στον πύργο μέχρι να κορεστεί σε CaSO<sub>4</sub> (γύψος). Σαν διαδικασία ξεχωριστή μπορούμε να δημιουργήσουμε μία μονάδα παραγωγής γύψου με αρχικό προϊόν τα υγρά υπολείμματα από τον καθαρισμό του διοξειδίου του θείου.

Οι παράμετροι του πληρωτικού υλικού που επιλέξαμε διαφέρουν σε κάποια σημεία από τον πρώτο πύργο απορρόφησης.

- Ειδική επιφάνεια :250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- Ονομαστική διάμετρο :0,025 m
- Σταθερά πλήρωσης :155
- Κρίσιμη επιφανειακή τάση :20 dyn/cm

**ABSORB-1 (Absorption)**

Oper.Cond's | **Packing** | Labor, etc. | Description

Cf (packing constant)

Total Specific Area  m2/m3

Nominal Diameter  m

Critical Surface Tension  dyn/cm

Εικόνα 6- 14: Ιδιότητες πληρωτικού υλικού στον πύργο απορρόφησης SO<sub>2</sub> στο 1<sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων

Προχωρήσαμε στην ισορροπία των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας και υπολογίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

**ABSORB-1 (Absorption)**

Oper.Cond's | **Packing** | Labor, etc. | Description

**% Absorbed From Gas**

Component	% Removed
Nitrogen	0,000
Oxygen	99,721
P Pentoxide	0,000
Phosphorus	0,000
Sodium Hydroxid	0,000
Sulfur	0,000
Sulfur Dioxide	69,990
Water	0,000

HTU  m

NTU

**Design Component**

Component

**Diffusivity**

In Gas Phase (x10<sup>-3</sup>)  cm2/s

In Liquid Phase (x10<sup>-6</sup>)  cm2/s

☒ Removal Efficiency Calculated

Liquid Surface Tension  dyn/cm

Liquid Phase Viscosity  cp

Gaseous Phase Viscosity  cp

Pressure Drop  Pa

Pressure Drop/Length  Pa/m

Εικόνα 6- 15: Απόδοση δευτέρου σταδίου αλκαλικής πλύσης στο 1<sup>ο</sup> σενάριο

Η απόδοση του συστήματος υπολογίστηκε σε απομάκρυνση 69,99 % του SO<sub>2</sub> ,85 % του HF και 92 % του HCl . Αυτό βέβαια συνέβη επειδή όπως είπαμε βασικό ρόλο στον σχεδιασμό και στην απόδοση τέτοιων συστημάτων παίζει η τιμή της διαχυτότητας.

Το HTU (Height Transfer Unit) υπολογίστηκε σε 2,473 m ενώ το NTU (Number of Transfer Units) σε 1.213 .

Η πτώση πίεσης υπολογίστηκε στα 2200 Pa /m και στο συνολικό ύψος της στήλης σε 6600 Pa που ισοδυναμούν με 26 in H<sub>2</sub>O.



Stream Treatment-reci2 ( P-4 --> OUTPUT )

Composition, etc. | Density | Env.Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	CaCO <sub>3</sub>	1,00000	0,0274	0,000154	100,00
2	H Fluoride	18,42430	0,5043	0,002832	100,00
3	HCl	34,42112	0,9422	0,005292	100,00
4	Oxygen	64,10410	1,7548	0,009855	100,00
5	Sulfur Dioxide	35,18846	0,9632	0,005410	100,00
6	Water	3500,00000	95,8080	0,538055	100,00

Total Flowrates

Mass Flow 3653,138 kg/h

Volumetric Flow 6504,917 m<sup>3</sup>/h

Temperature 120,70 °C

Pressure 1,000 bar

Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in m<sup>3</sup> Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Steady Cycle ☐ Oxidation Cycle ☒ Time Average h

Εικόνα 6- 16: Υπολείμματα από το δεύτερο στάδιο της αλκαλικής πλύσης στο 1<sup>ο</sup> σενάριο

Από τον δεύτερο πύργο απορρόφησης απομακρύνουμε 18.42 kg/hr HF, 34.42 kg/hr HCl και 35,18 kg/hr SO<sub>2</sub>.

Οπότε τελικά θα έχουμε απομακρύνει σε χρονικό διάστημα μιας ώρας και από τα δύο συστήματα πύργων συνολικά 28,53 kg HF ,160,17 kg HCl και 48,40 kg SO<sub>2</sub> :

Ρύπος	1ο στάδιο πλύσης	2 <sup>ο</sup> στάδιο πλύσης	ΑΡΧΙΚΑ	ΤΕΛΙΚΑ
HF	10.11 kg	18.42 kg	32 kg	28.53 kg
HCl	125.74 kg	34.43 kg	161 kg	160.17 kg
SO <sub>2</sub>	13.22 kg	35.18 kg	63,50 kg	48.40 kg

Πίνακας 6- 13 :Συνολικά υπολείμματα στα συστήματα αλκαλικής πλύσης του 1<sup>ου</sup> σεναρίου

Οι αποδόσεις των πύργων αποτελούν τις ελάχιστες που μπορούν να διαπιστωθούν σε τέτοια συστήματα. Διακρίνουμε ότι η αλκαλική πλύση αναπτύσσει μεγάλη απόδοση στην απομάκρυνση του υδροχλωρίου.

Στη συνέχεια οφείλουμε να ολοκληρώσουμε τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό της μονάδας με την συμπλήρωση φίλτρων ενεργού άνθρακα με την βοήθεια των οποίων θα δεσμευτούν ολοκληρωτικά τα πτητικά αέρια .Επίσης ένα ισχυρό κίνητρο για την εγκατάσταση τέτοιων φίλτρων είναι η απόδοση που έχουν δείξει σε ρύπους βαρέων μετάλλων καθώς και στις διοξίνες με τα φουράνια με το ποσοστό απομάκρυνσης από 85 έως 90 %.

### 6.8.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο όγκος των απαερίων έχει μειωθεί σε περίπου 60.000 m<sup>3</sup>/hr εξαιτίας της πτώσης της θερμοκρασίας (από τους 170°C που ήταν η θερμοκρασία εισόδου των απαερίων στο σύστημα της διπλής πλύσης έφθασε στους 120°C στην έξοδο). Τοποθετήθηκαν δύο φίλτρα στην κάθε μία γραμμή αλκαλικής πλύσης από τις συνολικά δύο που υπάρχουν για ολόκληρη την μονάδα . Έτσι επιλέξαμε συνολικά 4 φίλτρα ενεργού άνθρακα διαστάσεων 1,5 m διαμέτρου και 1,5 m ύψους .Το κάθε ένα από αυτά τα οποία το κάθε ένα έχει την δυνατότητα να επεξεργάζεται 30.000 m<sup>3</sup>/hr αερίων.

Component	Adsorbed?	Binding%
H Fluoride	<input checked="" type="checkbox"/>	99,95
HCl	<input checked="" type="checkbox"/>	99,95
Hydrogen	<input type="checkbox"/>	0,00
Nitrogen	<input type="checkbox"/>	0,00
Oxygen	<input type="checkbox"/>	0,00
P Pentoxide	<input checked="" type="checkbox"/>	99,95
Phosphorus	<input type="checkbox"/>	0,00
Sodium Hydroxid	<input type="checkbox"/>	0,00
Sulfur	<input type="checkbox"/>	0,00
Sulfur Dioxide	<input checked="" type="checkbox"/>	99,95

Εικόνα 6- 17:Συνθήκες λειτουργίας φίλτρων ενεργού άνθρακα

Έτσι αφού καθορίσαμε και τις συνθήκες μέγιστης πτώσης πίεσης στο 1 kPa και τροφοδοσίας διαλύτη νερού στα 6,5 m<sup>3</sup> /hr υπολογίσαμε ότι η απόδοση του ενεργού άνθρακα θα κυμαίνεται

στο 99,95 % .Η γραμμική ταχύτητα βρέθηκε ίση με 11,041 m/min και η κατανάλωση ενέργειας υπολογίστηκε (με συμπιεστή απόδοσης 50%) στα 38,45 kW.

Πλέον τα καθαρά απαέρια έχουν μία σύνθεση περίπου όπως φαίνεται στη εικόνα 6-18.

**Stream To atmosphere ( P-5 --> OUTPUT )**

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (g/L)	Extra-Cell
1	Ash	0,00034	0,0070	0,000000	100,00
2	Carb. Dioxide	18896,94619	384452,9034	0,387353	100,00
3	H Fluoride	0,00153	0,0312	0,000000	100,00
4	HCl	0,00027	0,0055	0,000000	100,00
5	Nitrogen	30252,44642	615477,2704	0,620120	100,00
6	Oxygen	0,17938	3,6495	0,000004	100,00
7	P Pentoxide	0,06817	1,3869	0,000001	100,00
8	Sulfur Dioxide	0,00754	0,1535	0,000000	100,00
9	Water	3,17491	64,5926	0,000065	100,00

**Total Flowrates**

Mass Flow 49152,825 kg/h  
Volumetric Flow 48784,861 m3/h

Temperature 120,70 °C  
Pressure 1,013 bar  
Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in m3 Composition in ppm Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Steady Cycle ☐ Oscillation Cycle ☒ Time Average h

**Εικόνα 6- 18:Σύνθεση καθαρών απαερίων**

Διακρίνουμε ότι τα όξινα απαέρια κυμαίνονται κάτω από το όριο του 1 ppm το οποίο ορίζει η ευρωπαϊκή νομοθεσία σχετικά με τους ρύπους που προκύπτουν από εγκαταστάσεις καύσης.

Συγκεκριμένα η μονάδα εκλύει από την καμινάδα :

- 0,03 ppm υδροφθορίου
- 0.005 ppm υδροχλωρίου
- 0,007 ppm ιπτάμενης τέφρας που προφανώς θα περιέχει μέταλλα
- 0,15 ppm διοξειδίου του θείου
- Υδρατμούς, άζωτο, οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα στοιχεία του διοξειδίου του άνθρακα και του αζώτου, αυτά δεν λήφθηκαν καθόλου υπόψη στα ισοζύγια απομάκρυνσης από τα συστήματα ελέγχου αέριας

ρύπανσης οπότε οι τιμές που εμφανίζονται στην τελική σύνθεση σίγουρα θα αποκλίνουν από τις πραγματικές.

### **6.9. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ 1<sup>ου</sup> ΣΕΝΑΡΙΟΥ**

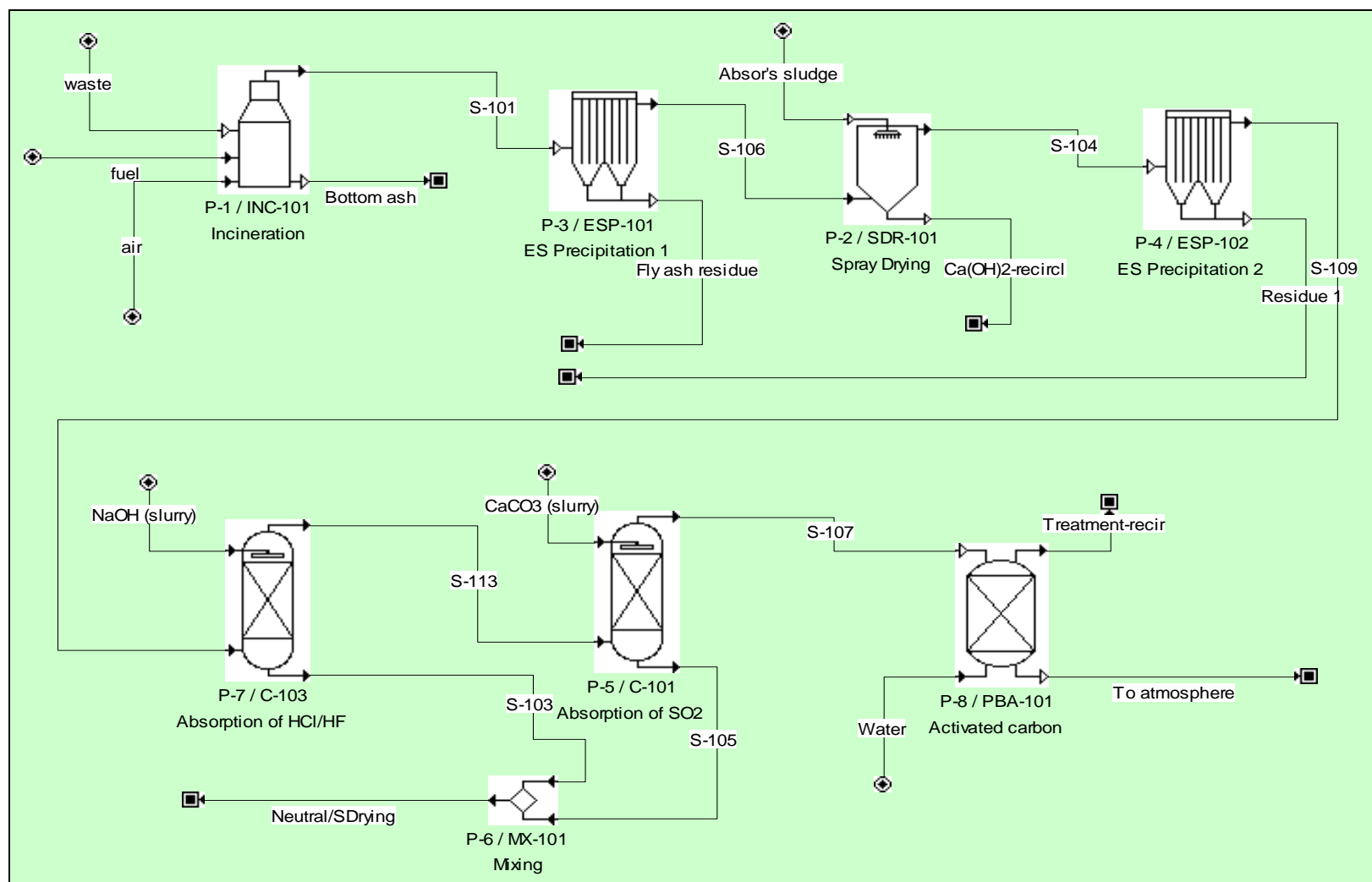
Το πρώτο σενάριο σχεδιασμού της μονάδας καύσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα :

- Δύο γραμμές τροφοδοσίας καύσιμων υλικών με δυναμικότητα 10 tn/hr με 15 hr λειτουργίας η κάθε μία με συνολική ημερήσια παροχή 300 τόνοι καύσιμων υλικών.
- Δύο σακόφιλτρα με λειτουργία πεπιεσμένου αέρα , συνολικής καθαρής επιφάνειας υφάσματος 424,11 m<sup>2</sup>, απόδοσης 99,5 % και συνολικής ισχύος 135 kW. Τα σακόφιλτρα τοποθετούνται το κάθε ένα ανά γραμμή τροφοδοσίας
- Τέσσερις συνολικά πύργοι απορρόφησης όξινων αερίων ,δύο για την απορρόφηση του HCl και του HF με διαστάσεις (ύψος x διάμετρος) 2x2m και άλλοι δύο για την απορρόφηση του διοξειδίου του θείου με διαστάσεις (ύψος x διάμετρος) 3x3m. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται συνολικά και στις δύο γραμμές είναι υδροξείδιο του νατρίου (30 kg/ημέρα) και ανθρακικό ασβέστιο (30 kg/ημέρα).
- Τέλος η μονάδα ολοκληρώνεται με τέσσερα φίλτρα ενεργού άνθρακα διαστάσεων 1,50 x 1.50 m το κάθε ένα και συνολικής ισχύος 153,8 kW.

### **6.10. 2<sup>ο</sup> ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ-ΞΗΡΗ/ΥΓΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ**

Το δεύτερο σενάριο κατασκευής των εγκαταστάσεων προκύπτει από το σχήμα 6-2 και αποτελείται από το ίδιο σύστημα καύσης του πρώτου σεναρίου. Για τα αιωρούμενα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας αλλά και των υπόλοιπων σωματιδίων που δημιουργούνται από την διεργασία της ξήρανσης χρησιμοποιούμε δύο ηλεκτροστατικά φίλτρα . Τον ξηραντή ψεκασμού τον τοποθετούμε ανάμεσα στα δύο ηλεκτροστατικά φίλτρα με σκοπό να ξηραίνει το ρεύμα των απαερίων και να δημιουργεί σωματίδια τα οποία θα μπορούν ευκολότερα να απομακρυνθούν από τις μετέπειτα διεργασίες καθαρισμού (πύργοι απορρόφησης). Η επεξεργασία των όξινων αερίων πραγματοποιείται με διπλό σύστημα αλκαλικής πλύσης με τους πύργους απορρόφησης και η διαδικασία ολοκληρώνεται με τα συστήματα του ενεργού άνθρακα.

Οι παραδοχές που αναφέραμε στο προηγούμενο σενάριο ισχύουν και σε αυτό το σενάριο.



Σχήμα 6- 2:2° σενάριο εγκαταστάσεων- υγρή/ξηρή μέθοδος

#### **6.11. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

Το ρεύμα των αερίων που έχει προκύψει από την αποτέφρωση των καύσιμων υλικών των απορριμμάτων περιέχει στην σύνθεσή του ιπτάμενη τέφρα η οποία και πρέπει να απομακρυνθεί. Για αυτό το λόγο τοποθετούμε αρχικά ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο το οποίο έχει την δυνατότητα να απομακρύνει 135 kg/hr ιπτάμενη τέφρα με απόδοση 98 %. Οι διαστάσεις του πρώτου ηλεκτροστατικού φίλτρου υπολογίστηκαν :

- Μήκος πλάκας : 3,97 m
- Ύψος πλάκας : 12,22 m
- Αριθμός καναλιών : 4
- Λόγος (L/H) : 1,3 > 1,0
- Αριθμός τομέων : 4
- Αριθμός πλακών : 14
- Συλλεγόμενη επιφάνεια : 1208 m<sup>2</sup>
- Συνολικό μήκος : 15,89 m
- Συνολικό πλάτος : 1,14 m

**ESP-101 (Electrostatic Precipitator)**

Equipment	Purchase Cost	Adjustments	Scheduling	Throughput	Comments	Allocation
<div style="background-color: #d3d3d3; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>Selection</b></div> <div> <input checked="" type="radio"/> Select <input style="width: 100px;" type="text" value="ESP-101"/> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <input type="radio"/> Request New         </div> <div style="margin-top: 10px;">           Name <input style="width: 100px;" type="text"/> </div>	<div style="background-color: #d3d3d3; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>Description</b></div> <div>           Name <input style="width: 150px;" type="text" value="ESP-101"/> </div> <div>           Type <input style="width: 150px;" type="text" value="Electrostatic Precipitator"/> </div> <div>           Number of Units <input style="width: 50px;" type="text" value="1"/> </div> <div style="margin-top: 10px;">           Max Plate Length <input style="width: 50px;" type="text" value="4,00"/> m         </div> <div>           Max Plate Height <input style="width: 50px;" type="text" value="15,00"/> m         </div> <div>           Plate Length <input style="width: 50px;" type="text" value="3,97"/> m         </div> <div>           Plate Height <input style="width: 50px;" type="text" value="12,22"/> m         </div> <div>           Plate Separation <input style="width: 50px;" type="text" value="0,28"/> cm         </div> <div>           Number of Ducts <input style="width: 50px;" type="text" value="4"/> </div> <div>           Aspect Ratio (Duct L / Plate H) <input style="width: 50px;" type="text" value="1,300"/> </div> <div>           Number of Sections <input style="width: 50px;" type="text" value="4"/> </div> <div>           Number of Plates <input style="width: 50px;" type="text" value="14"/> </div> <div>           Overall Collection Area <input style="width: 80px;" type="text" value="1208,436"/> m<sup>2</sup> </div> <div>           Total Length <input style="width: 50px;" type="text" value="15,89"/> m         </div> <div>           Total Width <input style="width: 50px;" type="text" value="1,14"/> m         </div> <div>           Insulated <input checked="" type="checkbox"/> </div>					
<div style="background-color: #d3d3d3; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>Size</b></div> <div> <input checked="" type="radio"/> Calculated (Design Mode)         </div> <div> <input type="radio"/> Set by User (Rating Mode)         </div>						

**Εικόνα 6- 19: Διαστασιολόγηση 1<sup>ου</sup> ESP στο 2<sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων**

Το συγκεκριμένο ηλεκτροστατικό φίλτρο σχεδιάστηκε για την απομάκρυνση κυρίως των σωματιδίων του 1  $\mu\text{m}$  από το ρεύμα των αερίων. Η ταχύτητα πλαγιολίσθησης υπολογίστηκε περίπου στα 4,21 m/min. Η ισχύς της κορόνας τέθηκε ίση με 10 Watt/m<sup>3</sup>/min και η εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς του ηλεκτροστατικού φίλτρου υπολογίστηκε στα 18,43 kW.



**FILTER-1 (Electrostatic Precipitation)**

Comp. Removal | Particle Data | **Power** | Labor, etc. | Description

**Corona Power Estimation**

☒ Corona Power Ratio 10,000 W/m³/min

☐ Corona Current Ratio 0,400 mA/m²

☐ Estimate as We\*A/k, k 1,019 m² (m/s) / Watt

Pressure Drop 0,200 kPa

Fan Efficiency 80,00 %

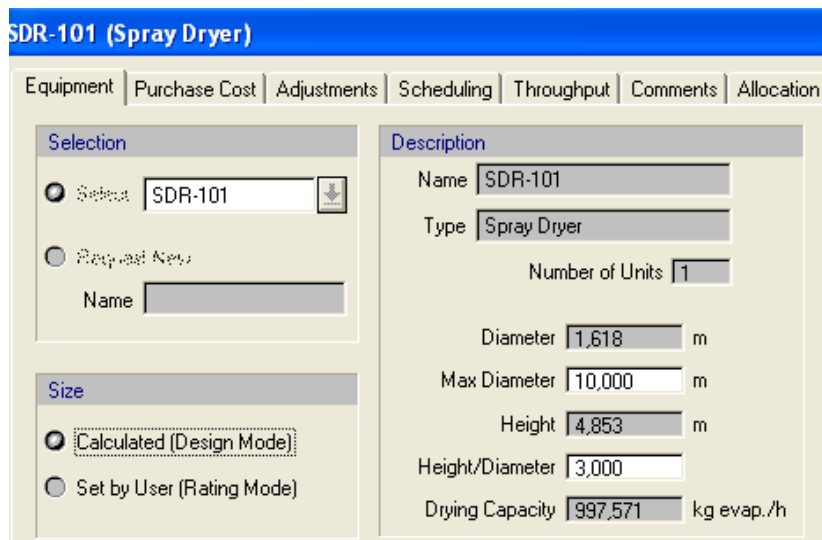
Power 18,427 kW

**Εικόνα 6- 20: Κατανάλωση ισχύος στο 1<sup>ο</sup> ηλεκτροστατικό φίλτρο**

Τα αερία εγκαταλείπουν το ηλεκτροστατικό φίλτρο και συνεχίζουν προς την διεργασία της θερμικής ξήρανσης ψεκασμού. Ο όγκος των αερίων (80.000 m³/hr) και η θερμοκρασία τους (220 °C) είναι οι δύο μεταβλητές του συστήματος ξήρανσης. Ο ξηραντήρας ψεκασμού έχει τις παρακάτω διαστάσεις :

- Διάμετρο : 1.6 m
- Ύψος : 4,85 m
- Χωρητικότητα ξήρανσης : 997,5 kg /hr

Το σύστημα ξήρανσης θα δέχεται την λάσπη που έχει δημιουργηθεί από τα συστήματα απορρόφησης των όξινων αερίων .Αυτή η λάσπη θα έχει ουδετεροποιηθεί πρωτίστως και αφού αναμιχθεί με διάλυμα ασβέστη σε νερό (με αναλογία 1 kg ασβέστη ανα 1 m³ νερού) οδηγείται στον ξηραντήρα .



SDR-101 (Spray Dryer)	
Equipment	Purchase Cost
Adjustments	Scheduling
Throughput	Comments
Allocation	
<b>Selection</b>	
<input checked="" type="radio"/> Select	SDR-101
<input type="radio"/> Request New	
Name	
<b>Size</b>	
<input checked="" type="radio"/> Calculated (Design Mode)	
<input type="radio"/> Set by User (Rating Mode)	
<b>Description</b>	
Name	SDR-101
Type	Spray Dryer
Number of Units	1
Diameter	1.618 m
Max Diameter	10,000 m
Height	4.853 m
Height/Diameter	3,000
Drying Capacity	997,571 kg evap./h

Εικόνα 6- 21:Διαστασιολόγηση της συσκευής ξήρανσης

Ο ξηραντήρας αφού τροφοδοτηθεί με το υγρό / λάσπη της ουδετεροποίησης ψεκάζει περιστροφικά σε μορφή σταγονιδίων τα απαέρια .Η ταχύτητα περιστροφής της πλάκας του ψεκασμού κυμαίνεται από τα 300 έως τις 1000 rpm εξαρτώμενη από το μέγεθος της συσκευής ξήρανσης. Η διεργασία απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω της μεγάλης απώλειας θερμότητας που υφίστανται τα απαέρια (από τους 220°C η θερμοκρασία πέφτει στους 80°C) Επίσης μεγάλη προσοχή χρειάζεται στην επιλογή της ταχύτητας περιστροφής του μπέκ ψεκασμού ώστε να μην φθάνουν τα σωματίδια στα μεταλλικά τοιχώματα του ξηραντήρα και έτσι μειώνεται η απόδοση της διεργασίας .

**DRY-1 (Spray Drying)**

Oper. Cond's | Utility Data | Labor, etc. | Description

**Volatile Component Evaporation**

☒ Calculated Based on Final LOD  
☐ Set by User

Component	Volatile?	Removal%
CaCO <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/>	0,00
Carb. Dioxide	<input checked="" type="checkbox"/>	99,96
Carbon	<input type="checkbox"/>	0,00
Chlorine	<input type="checkbox"/>	0,00
Fluorine	<input type="checkbox"/>	0,00
H Fluoride	<input checked="" type="checkbox"/>	99,96
HCl	<input checked="" type="checkbox"/>	99,96

Initial LOD  %  
Final LOD  %

Evap. Rate  kg evap./m<sup>3</sup>-h  
Final Solids Temp.  °C  
Drying Gas Requirement  kg drying gas per kg evaporated

Εικόνα 6- 22:Συνθήκες λειτουργίας συσκευής ξήρανσης στο 2<sup>ο</sup> σενάριο

Υπολογίζοντας την εξάτμιση βρίσκουμε ότι ο ρυθμός εξάτμισης κυμαίνεται στα 100 kg/m<sup>3</sup>-hr . Η απαίτηση σε απαέρια είναι 58 kg απαερίων για κάθε kg που εξατμίζεται.

Η συσκευή ξήρανσης καταναλώνει περίπου 20 kW για την επεξεργασία του ρεύματος των απαερίων με την χρησιμοποίηση 1 m<sup>3</sup> διαλύματος ουδετεροποίησης.

Ο όγκος των απαερίων μειώνεται λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας στα 45.700 m<sup>3</sup>/hr. Μέσω αυτών των διαδικασιών οδηγούμαστε στο δεύτερο υγρό ηλεκτροστατικό φίλτρο με τις εξής διαστάσεις:

- Μήκος πλάκας : 1,56m
- Ύψος πλάκας : 4,79 m
- Αριθμός καναλιών : 4
- Λόγος (L/H) : 1,3 > 1,0
- Αριθμός τομέων : 4
- Αριθμός πλακών : 15
- Συλλεγόμενη επιφάνεια : 197,67 m<sup>2</sup>
- Συνολικό μήκος : 6,23 m

- Συνολικό πλάτος : 1,60 m

Εικόνα 6- 23:Διαστασιολόγηση 2<sup>ου</sup> υγρού ESP

Για το δεύτερο ηλεκτροστατικό φίλτρο επιλέξαμε την απόδοση απομάκρυνσης στο 99,00 % για την ιπτάμενη τέφρα και 40,00 % για τα σωματίδια του υδροχλωρίου ,του υδροφθορίου και του διοξειδίου του θείου. Η ταχύτητα πλαγιολίσθησης υπολογίστηκε περίπου στα 3,06 m/min. Η ισχύς της κορόνας τέθηκε ίση με 10 Watt/m<sup>3</sup>/min και η εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς του ηλεκτροστατικού φίλτρου υπολογίστηκε στα 10,79 kW.

Οι γραμμικές ταχύτητες και στα δύο ηλεκτροστατικά φίλτρα τέθηκαν ίσες με 2 m/min.

Από το δεύτερο ηλεκτροστατικό φίλτρο λαμβάνουμε σαν στερεό υπόλειμμα 216 kg/hr σκόνη, από την οποία τα 2 kg/hr είναι ιπτάμενη τέφρα.

## 6.12. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΞΙΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Για την απορρόφηση των όξινων αερίων χρησιμοποιήθηκαν πύργοι ψεκασμού με πληρωτικό υλικό. Η θεωρία που αναπτύσσεται στους πύργους πλύσης ανάγεται στην διαχυτότητα των αερίων στην υγρή επιφάνεια με τελική κατάληξη την διασπορά στο υγρό. Ο σχεδιασμός είναι παρόμοιος με τον σχεδιασμό του πρώτου σεναρίου.

### 6.12.1. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ HCl ΚΑΙ ΤΟΥ HF

Για την απομάκρυνση του αέριου υδροχλωρίου και του υδροφθορίου, χρησιμοποιήσαμε ένα πύργο απορρόφησης με διαστάσεις 2m διάμετρο και 2m ύψος . Επιλέξαμε πληρωτικό υλικό με τις παρακάτω ιδιότητες :

- Ειδική επιφάνεια :200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- Ονομαστική διάμετρο : 0,025 m
- Σταθερά πλήρωσης : 150
- Κρίσιμη επιφανειακή τάση : 20 dyn/cm

The screenshot shows the 'ABSORB-1 (Absorption)' software window. It has a blue title bar and a tabbed interface with four tabs: 'Oper.Cond's', 'Packing', 'Labor, etc.', and 'Description'. The 'Packing' tab is selected. Inside this tab, there are four input fields with their respective units: 'Cf (packing constant)' with a value of 150,000, 'Total Specific Area' with a value of 200,000 and unit m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 'Nominal Diameter' with a value of 0,025 and unit m, and 'Critical Surface Tension' with a value of 20,000 and unit dyn/cm.

Parameter	Value	Unit
Cf (packing constant)	150,000	
Total Specific Area	200,000	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Nominal Diameter	0,025	m
Critical Surface Tension	20,000	dyn/cm

Εικόνα 6- 24:Ιδιότητες πληρωτικού υλικού στον πύργο απορρόφησης HCl/HF στο 2<sup>ο</sup> σενάριο εγκαταστάσεων

Κατόπιν προχωρήσαμε στην επιλογή του διαλύματος με το οποίο θα αντιδράσουν το υδροχλώριο και το υδροφθόριο. Επιλέξαμε ξανά το υδροξείδιο του νατρίου και το οποίο το διαλύσαμε σε νερό .Το διάλυμα αυτό θα εισρεύσει μέσα στον πύργο απορρόφησης μέσω σταγονιδίων με ψεκασμό σε θερμοκρασία γύρω στους 25 °C και με πίεση 1 bar ώστε να εξασφαλίσουμε καλή απόδοση .

Υπολογίσαμε ότι περίπου θα χρειαστούμε για την κάθε γραμμή 2500kg/hr ύδατος αναμεμιγμένο με 1 kg /hr υδροξειδίου του νατρίου(1M).

( INPUT --> P-7 )

ty | Env.Properties | Comments

Composition

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	NaOH (1 M)	<input type="checkbox"/>	1,00000	0,040	0,39773	100,0
2	Water	<input checked="" type="checkbox"/>	2500,00000	99,960	994,32501	100,0

>>>

Delete Set ☒ Ingredient Flows ☐ Mass Composition ...

Total Flowrates Auto-Adjust ☒

☒ Set Mass Flow 2501,000 kg/h ☐ Set Vol. Flow 2,514 m3/h

Temperature 25,00 °C  
Pressure 1,013 bar  
Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in m3 Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

Εικόνα 6- 25: Παροχή διαλύματος στο πρώτο στάδιο της αλκαλικής πλύσης του 2<sup>ου</sup> σεναρίου

Έτσι έχοντας εισάγει όλα μας τα δεδομένα και γνωρίζοντας ότι τα ποσά του HCl και HF που εισάγονται με το ρεύμα των αερίων είναι **112 kg/hr** και **25 kg/hr** αντίστοιχα υπολογίζεται η απόδοση του συστήματος και οι ροές των υγρών υπολειμμάτων.

**ABSORB-1 (Absorption)**

Oper. Cond's | Packing | Labor, etc. | Description

% Absorbed From Gas	
Component	% Removed
Chlorine	0,000
Fluorine	0,000
H Fluoride	31,777
HCl	77,694
Hydrogen	0,000
Nitrogen	0,000
Oxygen	96,256
P Pentoxide	0,000

HTU 1,331 m  
NTU 1,503

**Design Component**  
Component: HCl

**Diffusivity**  
In Gas Phase (x10\*\*3) 179,0000 cm<sup>2</sup>/s  
In Liquid Phase (x10\*\*6) 21,1000 cm<sup>2</sup>/s

☒ Removal Efficiency Calculated

Liquid Surface Tension 50,000 dyn/cm  
Liquid Phase Viscosity 1,300 cp  
Gaseous Phase Viscosity 0,021 cp  
Pressure Drop 4400,000 Pa  
Pressure Drop/Length 2200,000 Pa/m

**Εικόνα 6- 26:Απόδοση πρώτου σταδίου του 2<sup>ου</sup> σεναρίου**

Η απόδοση του συστήματος είναι 77,69 % απομάκρυνση HCl και 31,7 % HF. Το HTU (Height Transfer Unit) υπολογίστηκε σε 1,331 m ενώ το NTU (Number of Transfer Units) σε 1,503 .

Η πτώση πίεσης υπολογίστηκε σε 2200 Pa /m και στο συνολικό ύψος της στήλης σε 4400 Pa που ισοδυναμούν με 17,7 in H<sub>2</sub>O.



Stream S-103 ( P-7 --> P-6 )

Composition, etc. | Density | Env.Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	H Fluoride	8,05032	0,1822	0,004753	100,00
2	HCl	87,52662	1,9812	0,051682	100,00
3	Oxygen	1816,35947	41,1148	1,072510	100,00
4	Sodium Hydroxid	0,03840	0,0009	0,000023	100,00
5	Sulfur Dioxide	4,83380	0,1094	0,002854	100,00
6	Water	2500,96160	56,6114	1,476748	100,00

Total Flowrates

Mass Flow 4417,770 kg/h

Volumetric Flow 1693,560 m3/h

Temperature 72,32 °C

Pressure 1,013 bar

Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in m3 Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

Εικόνα 6- 27:Υπολείμματα 1<sup>ου</sup> σταδίου αλκαλικής πλύσης 2<sup>ου</sup> σεναρίου

Οπότε τελικά στα υγρά απόβλητα εκτός από νερό θα έχουμε απομακρύνει 87,52 kg HCl μαζί με 8,05 kg HF και 4,83 kg SO<sub>2</sub> .

### 6.12.2. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ SO<sub>2</sub>

Ο όγκος των αερίων προχωρά προς το δεύτερο στάδιο καθαρισμού που περιλαμβάνει την χρήση ασβέστη και την απορρόφηση του διοξειδίου του θείου.

Τα αερία μετά το πρώτο στάδιο έχουν θερμοκρασία 72,32 °C πίεση 1 bar και περιέχουν 587 ppm ( **33,3 kg** ) SO<sub>2</sub>.

Οι διαστάσεις αυτού του πύργου απορρόφησης υπολογίσθηκαν σε 3m διάμετρο και 3m ύψος.

( INPUT --> P-5 )

Env. Properties | Comments

Composition

	Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	CaCO <sub>3</sub>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00000	0,018	0,18084	100,0
2	Water	<input checked="" type="checkbox"/>	5500,00000	99,982	994,64008	100,0

>>>

Delete Set ☒ Ingredient Flows ☐ Mass Composition ...

Total Flowrates Auto-Adjust ☒

☒ Set Mass Flow 5501,000 kg/h ☐ Set Vol. Flow 5,530 m<sup>3</sup>/h

Temperature 25,00 °C  
Pressure 1,013 bar  
Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in m<sup>3</sup> Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

**Εικόνα 6- 28: Παροχή διαλύματος στο 2<sup>ο</sup> στάδιο της αλκαλικής πλύσης του 2<sup>ου</sup> σεναρίου**

Χρησιμοποιούμε διάλυμα ασβέστη (1 kg /hr) και νερό (5500 kg/hr) το οποίο έχει την δυνατότητα αφού αντιδρά με το διοξείδιο του θείου να ανακυκλοφορήσει στον πύργο μέχρι να κορεστεί σε CaSO<sub>4</sub> (γύψος). Σαν διαδικασία ξεχωριστή μπορούμε να δημιουργήσουμε μία μονάδα παραγωγής γύψου όπως και στο πρώτο σενάριο με αρχικό προϊόν τα υγρά υπολείμματα από τον καθαρισμό του διοξειδίου του θείου.

Οι παράμετροι του πληρωτικού υλικού που επιλέξαμε διαφέρουν σε κάποια σημεία από τον πρώτο πύργο απορρόφησης.

- Ειδική επιφάνεια : 250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- Ονομαστική διάμετρο : 0,025 m
- Σταθερά πλήρωσης : 155
- Κρίσιμη επιφανειακή τάση : 20 dyn/cm

Εικόνα 6- 29:Ιδιότητες πληρωτικού υλικού 2<sup>ου</sup> πύργου απορρόφησης

Προχωρήσαμε στην ισορροπία των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας και υπολογίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

Η απόδοση λοιπόν του συστήματος είναι : 65,14 % απομάκρυνση του SO<sub>2</sub> , 85 % HF και 92 % HCl.

Το HTU (Height Transfer Unit) υπολογίστηκε σε 2,824 m ενώ το NTU (Number of Transfer Units) σε 1.062 .

Η πτώση πίεσης υπολογίστηκε στα 2037 Pa /m και στο συνολικό ύψος της στήλης σε 6112 Pa που ισοδυναμούν με 24 in H<sub>2</sub>O.

**Stream S-105 ( P-5 --> P-6 )**

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell %
1	CaCO <sub>3</sub>	1,00000	0,0178	0,008889	100,00
2	H Fluoride	15,52638	0,2757	0,138014	100,00
3	HCl	23,92766	0,4249	0,212693	100,00
4	Oxygen	68,59393	1,2182	0,609731	100,00
5	Sulfur Dioxide	21,70414	0,3855	0,192928	100,00
6	Water	5500,00000	97,6779	48,889448	100,00

Total Flowrates

Mass Flow 5630,752 kg/h

Volumetric Flow 112,499 m<sup>3</sup>/h

Temperature 59,59 °C

Pressure 1,013 bar

Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in m<sup>3</sup> Composition in % Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Operation Cycle ☒ Time Average h

Εικόνα 6- 30:Υπολείμματα από το δεύτερο στάδιο της αλκαλικής πλύσης του 2<sup>ου</sup> σεναρίου

Από τον δεύτερο πύργο απορρόφησης απομακρύνουμε : 29.9 kg/hr HF, 159.72 kg/hr HCl και 51.94 kg/hr SO<sub>2</sub>.

Η συνολική απομάκρυνση των HF , HCl και SO<sub>2</sub> προκύπτει από τον πίνακα 6-14:

Ρύπος	Ηλεκτρ.φίλτρο	1 <sup>ο</sup> στάδιο πλύσης	2 <sup>ο</sup> στάδιο πλύσης	ΣΥΝΟΛΟ
HF	6,33 kg	8.05 kg	15.52 kg	29.9 kg
HCl	48,28 kg	87.52 kg	23,92 kg	159.72 kg
SO <sub>2</sub>	25,41 kg	4.83 kg	21.70 kg	51.94 kg

Πίνακας 6- 14:Συνολικά υπολείμματα στα συστήματα αλκαλικής πλύσης του 2<sup>ου</sup> σεναρίου

Στη συνέχεια ολοκληρώνεται ο περιβαλλοντικός σχεδιασμός της μονάδας με την συμπλήρωση φίλτρων ενεργού άνθρακα για την δέσμευση των πτητικών αερίων και ενός μεγάλου μέρους των διοξινών ,των φουρανίων και ορισμένων μετάλλων.

### 6.12.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο όγκος των απαερίων έχει μειωθεί σε περίπου 42.000 m<sup>3</sup>/hr εξαιτίας της πτώσης της θερμοκρασίας (από 220°C που ήταν η θερμοκρασία εισόδου των απαερίων στο σύστημα της διπλής πλύσης στους 59,59°C). Και σε αυτό το σενάριο έχουν τοποθετηθεί δύο φίλτρα στην κάθε μία γραμμή αλκαλικής πλύσης και καθαρισμού .

Έτσι επιλέξαμε συνολικά 4 φίλτρα ενεργού άνθρακα διαστάσεων 1,125 m διαμέτρου και 3,00 m ύψους τα οποία το κάθε ένα έχει την δυνατότητα να επεξεργάζεται 21.000 m<sup>3</sup>/hr αερίων.

**ADSORB-1 (Packed-Bed Adsorption)**

Oper. Cond's | Press. Drop | Ads. Capacity | Cost Data | Labor, etc. | Description

Comp. Binding % ☒ Calculated ☐ Set by User

Component	Adsorbed?	Binding%
Chlorine	<input type="checkbox"/>	0,00
Fluorine	<input type="checkbox"/>	0,00
H Fluoride	<input checked="" type="checkbox"/>	99,95
HCl	<input checked="" type="checkbox"/>	99,95
Hydrogen	<input type="checkbox"/>	0,00
Nitrogen	<input type="checkbox"/>	0,00
Oxygen	<input type="checkbox"/>	0,00
P Pentoxide	<input type="checkbox"/>	0,00
Phosphorus	<input type="checkbox"/>	0,00
Sodium Chloride	<input type="checkbox"/>	0,00

Overall Binding Efficiency 99,95 %

**Breakthrough / Regeneration Times**

Breakthrough 2,000 h

Regeneration 1,000 h

**Regeneration Solvent Requirements**

☐ Per Bed Volume 4944,00 kg / L bed

☒ Per Mass Adsorbate 1,00 kg / kg ads.

Edit Composition

**Power**

Fan/Pump Effic. 50,00 %

Power 29,82 kW

Linear Velocity 11,041 m/min

Number of Units in Simultaneous Operation 1

Εικόνα 6- 31:Απόδοση φίλτρων ενεργού άνθρακα στο 2<sup>ο</sup> σενάριο

Έτσι αφού καθορίσαμε και τις συνθήκες μέγιστης πτώσης πίεσης στο 1 kPa και τροφοδοσίας διαλύτη νερού στα 7 m<sup>3</sup> /hr υπολογίσαμε ότι η απόδοση του ενεργού άνθρακα θα κυμαίνεται περίπου στο 99,95 % ,η γραμμική ταχύτητα βρέθηκε ίση με 11,041 m/min και η κατανάλωση ενέργειας υπολογίστηκε (με συμπιεστή απόδοσης 50%) στα 29,82 kW.

Πλέον τα καθαρά απαέρια έχουν μία σύνθεση περίπου όπως φαίνεται στη εικόνα 6-32.

**Stream To atmosphere ( P-8 --> OUTPUT )**

Composition, etc. | Density | Env. Properties | Comments

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/h)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (g/L)	Extra-C
1	Ash	0,00001	0,0003	0,000000	100,
2	Carb. Dioxide	18923,26448	384413,0904	0,458519	100,
3	H Fluoride	0,00088	0,0178	0,000000	100,
4	HCl	0,00060	0,0122	0,000000	100,
5	Nitrogen	30294,63292	615414,6118	0,734052	100,
6	Oxygen	2,06370	41,9227	0,000050	100,
7	P Pentoxide	2,73248	55,5084	0,000066	100,
8	Sulfur Dioxide	0,00581	0,1180	0,000000	100,
9	Water	3,67811	74,7183	0,000089	100,

Total Flowrates

Mass Flow 49226,379 kg/h

Volumetric Flow 41270,446 m3/h

Temperature 59,59 °C

Pressure 1,013 bar

Activity 0,00 U/mL

Units Mass in kg Volume in m3 Composition in ppm Conc. in g/L

Time Ref. for Flows ☐ Batch ☐ Source Cycle ☐ Destination Cycle ☒ Time Average h

Εικόνα 6- 32:Σύνθεση καθαρών απαερίων στις εγκαταστάσεις του 2<sup>ου</sup> σεναρίου

Διακρίνουμε ότι τα όξινα απαέρια βρίσκονται κάτω από το καθορισμένο από την Ε.Ε. όριο του 1 ppm το οποίο ισχύει για ρύπους που προκύπτουν από εγκαταστάσεις καύσης.

Συγκεκριμένα η μονάδα καύσης εκλύει από την καμινάδα :

- 0,01 ppm υδροφθορίου
- 0.01 ppm υδροχλωρίου
- 0,0003 ppm ιπτάμενης τέφρας που προφανώς θα περιέχει μέταλλα
- 0,11 ppm διοξειδίου του θείου
- Υδρατμούς, άζωτο, οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα στοιχεία του διοξειδίου του άνθρακα και του αζώτου, αυτά δεν λήφθηκαν καθόλου υπόψη στα ισοζύγια απομάκρυνσης από τα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης οπότε οι τιμές που εμφανίζονται στην τελική σύνθεση σίγουρα θα αποκλίνουν από τις πραγματικές.

### 6.13. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ 2<sup>ο</sup> ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Το δεύτερο σενάριο σχεδιασμού της μονάδας καύσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα :

- Δύο γραμμές τροφοδοσίας καύσιμων υλικών με δυναμικότητα 10 tn/hr με 15 hr λειτουργίας η κάθε μία με συνολική ημερήσια παροχή 300 τόνοι καύσιμων υλικών.
- Δύο ξηρά ηλεκτροστατικά φίλτρα, συνολικής συλλεγόμενης επιφάνειας το κάθε ένα 1208 m<sup>2</sup>, απόδοσης 98 % και συνολικής ισχύος 36,86 kW.
- Δύο συσκευές ξήρανσης ισχύος 40 kW συνολικά οι οποίες έχουν απόδοση πάνω από 99 %.
- Δύο υγρά ηλεκτροστατικά φίλτρα συνολικής συλλεγόμενης επιφάνειας το κάθε ένα 197,6 m<sup>2</sup>, απόδοσης 99 % και συνολικής ισχύος 21,58 kW.
- Τέσσερις συνολικά πύργοι απορρόφησης όξινων αερίων ,δύο για την απορρόφηση του HCl και του HF με διαστάσεις (ύψος x διάμετρος) 2x2m και άλλοι δύο για την απορρόφηση του διοξειδίου του θείου με διαστάσεις (ύψος x διάμετρος) 3x3m. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται συνολικά και στις δύο γραμμές είναι υδροξείδιο του νατρίου (30 kg/ημέρα) και ανθρακικό ασβέστιο (30 kg/ημέρα).
- Τέλος η μονάδα ολοκληρώνεται με τέσσερα φίλτρα ενεργού άνθρακα διαστάσεων 1,125 x 3,00 m το κάθε ένα και συνολικής ισχύος 119,28 kW.



## 7. ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική εργασία και έχοντας αναλύσει και αιτιολογήσει πλήρως όλες τις τεχνολογίες και τις διεργασίες καύσης, ελέγχου αερίων εκπομπών και διαχείρισης τέφρας και υπολειμμάτων για την διαχείριση των απορριμμάτων της Περιφέρειας Κρήτης προτείνουμε δύο εναλλακτικά σενάρια :

- ❖ 1<sup>ο</sup> σενάριο→Καύση RDF – σακόφιλτρο - διπλή αλκαλική πλύση - φίλτρα ενεργού άνθρακα
- ❖ 2<sup>ο</sup> σενάριο→Καύση RDF – ηλεκτροστατικό φίλτρο - ξήρανση ψεκασμού - υγρό ηλεκτροστατικό φίλτρο-αλκαλική πλύση

Ακολουθεί σύγκριση μεταξύ των δύο σεναρίων ως προς την μέθοδο ελέγχου αερίων εκπομπών μιας και η μονάδα καύσης είναι ίδια και για τα δύο σενάρια.

- Η μονάδα καύσης θα σχεδιαστεί με την διαθέσιμη και τεχνικοοικονομικά βέλτιστη τεχνολογία που υπάρχει (όχι απαραίτητα μονάδα ρευστοποιημένης κλίνης)έτσι ώστε να δέχεται καύσιμα υλικά ( RDF). Η συγκεκριμένη μονάδα καύσης RDF θα είναι σε θέση να προσφέρει υψηλή ανάκτηση ενέργειας (4143,91 kcal/kg απορρίμματος) σχεδόν 1100 kcal/kg απορρίμματος πιο πάνω από την καύση μάζας (3130,10 kcal/kg απορρίμματος) . Οι ποσότητες της στάχτης που θα δημιουργηθούν με την καύση RDF θα είναι σημαντικά μικρότερες από την καύση μάζας.
- Από τα σενάρια που σχεδιάσαμε (μία συνοπτική σύγκριση προκύπτει επίσης από τον πίνακα 6-15 που ακολουθεί) διαπιστώσαμε πως το 2<sup>ο</sup> σενάριο έχει καλύτερη απόδοση απομάκρυνσης (ιπτάμενη τέφρα + σκόνες, HF,SO<sub>2</sub>) .Επίσης δημιουργεί προϋποθέσεις διαχείρισης των υγρών αποβλήτων και καταναλώνει λιγότερη ισχύ από το 1<sup>ο</sup> σενάριο , όμως απαιτεί σημαντικά υψηλότερο κόστος κατασκευής( 2 ηλεκτροστατικά φίλτρα, 2 συσκευές ξήρανσης και μεγαλύτερων διαστάσεων φίλτρα ενεργού άνθρακα, μία συσκευή ουδετεροποίησης ). Για το κόστος λειτουργίας δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ακριβώς ποιο από τα δύο σενάρια θα υπερισχύσει λόγω ανεπάρκειας στοιχείων. Το δεύτερο δε σενάριο έχει το μεγάλο μειονέκτημα της ενεργειακής απώλειας στην συσκευή ξήρανσης.

- Το 1<sup>ο</sup> σενάριο απομακρύνει το HCl καλύτερα, διαθέτει στην δομή του μόνο δύο σακόφιλτρα τα οποία έχουν την δυνατότητα να επεξεργαστούν μόνο την ιπτάμενη τέφρα. Βέβαια απαιτεί λιγότερη πρώτη ύλη ύδατος και κόκκων ενεργού άνθρακα ( τα φίλτρα είναι σχεδόν στο μισό μέγεθος από του 2<sup>ου</sup> σεναρίου) και καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από το 2<sup>ο</sup> σενάριο (243,8 kW έναντι 217,72 kW). Επίσης δεν προσφέρεται η δυνατότητα ανάκτησης πρώτης ύλης (όπως π.χ σκόνη ασβέστη στην συσκευή ξήρανσης του 2<sup>ου</sup> σεναρίου) .
- Για να επιλέξουμε το κατάλληλο σενάριο θα πρέπει να ολοκληρώσουμε την μελέτη μας με μία ανάλυση κύκλου ζωής όπου θα εισαχθούν οικονομικά στοιχεία των δύο μεθόδων και θα διαπιστωθεί ποιο από τα δύο θα προκριθεί στην τελική επιλογή. Με όσα γνωρίζουμε προς το παρόν τα δύο σενάρια φαίνονται ισοδύναμα. Στην οικονομική ανάλυση που θα πρέπει να διεξαχθεί ,είναι χρήσιμο να συμπεριληφθούν : κόστη λειτουργίας (πρώτες ύλες ,ενέργεια) έξοδα διάθεσης και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, κατασκευαστικά κόστη των εγκαταστάσεων, έσοδα από την πώληση της ενέργειας κ.α
- Όσον αφορά την υπολειμματική τέφρα που καθιζάνει είναι απαραίτητο να διεξαχθούν ορισμένα τεστ (εκχύλισης , συμπίεσης) ώστε να διαπιστωθεί αν η τέφρα πληρεί τις προδιαγραφές των δομικών υλικών (π.χ για την κατασκευή δρόμων ή για ενσωμάτωση στην μάζα του σκυροδέματος). Η εναλλακτική λύση της υαλοποίησης είναι αρκετά ακριβή και χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις πυρολυτικών αντιδραστήρων.
- Η ιπτάμενη τέφρα θα πρέπει να οδηγηθεί σε ειδικό ΧΥΤΑ τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων χωρίς να αναμιχθεί με την τέφρα του πυθμένα.
- Οποιοσδήποτε άλλες εγκαταστάσεις ανάκτησης υλών και υλικών πέρα από αυτές που απαιτούνται αυξάνουν αναμφισβήτητα το κόστος κατασκευής .

	1ο σενάριο-υγρή μέθοδος	2ο σενάριο-ξηρή/υγρή μέθοδος
<u>Τροφοδοσία</u>	300 tn/ημέρα -2x 150 tn/day	300 tn/ημέρα -2x 150 tn/day
<u>Σύστημα καύσης</u>	Εσχάρες-καύση RDF	Εσχάρες-καύση RDF
<u>Ενέργεια</u>	4143,91 kcal/kg απορρίμματος	4143,91 kcal/kg απορρίμματος
<u>Επεξεργασία απαερίων</u>	Σακόφιλτρο με αέρα υπο πίεση, διπλό σύστημα αλκαλικής πλύσης φίλτρα ενεργού άνθρακα	Δύο ηλεκτροστατικά φίλτρα, μία συσσκευή ξήρανσης ,διπλό σύστημα αλκαλικής πλύσης φίλτρα ενεργού άνθρακα
<u>Πρώτες ύλες</u>		
Νερό <sup>^</sup>	13,5 m <sup>3</sup> /hr	16 m <sup>3</sup> /hr
NaOH	30kg/day	30kg/day
CaCO <sub>3</sub>	30kg/day	30kg/day
<u>Υπολείμματα</u>		
Τέφρα πυθμένα	12,38 tn/day	12,38 tn/day
Ιπτάμενη τέφρα+σκόνες	4,11 tn/day	10,59 tn/day
HCl <sup>**</sup>	4805,1 kg/day	4791,6 kg/day
HF <sup>**</sup>	855,9 kg/day	897 kg/day
SO <sub>2</sub> <sup>**</sup>	1452 kg/day	1558,2 kg/day
<u>Ισχύς συσκευών*</u>	243,8 kW	217,72 kW
<u>Δυνατότητα ανακυκλοφορίας νερού</u>	Μέτρια στο διπλό σύστημα αλκαλικής πλύσης	Υψηλή μέσω της ουδετεροποίησης
<u>Δυνατότητα ανακυκλοφορίας άλλων υλών</u>	ΌΧΙ	ΝΑΙ (Ασβέστη από την διαδικασία της ξήρανσης)
*η συνολική ισχύς αναφέρεται χωρίς τον υπόλοιπο εξοπλισμό(αντλίες κ.α)	** οι τιμές των υπολειμμάτων αναφέρονται στα απόβλητα της αλκαλικής πλύσης	<sup>^</sup> οι ποσότητες είναι θεωρητικές χωρίς υπολογισμούς ανακυκλοφορίας

Πίνακας 6- 15:Συγκεντρωτικός πίνακας σύγκρισης των δύο σεναρίων για την εφαρμογή στην Περιφέρεια Κρήτης

## **8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. C.David Cooper & F.C. Alley,2002 ,Έλεγχος αέριας ρύπανσης – Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα
2. Παναγιώτης Ντζαμίλης και Γεώργιος Χάβας,2004 ,Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση αστικών απορριμμάτων Περιφέρειας Κρήτης, Μεταπτυχιακή διατριβή
3. A.J.Chandler, T.T. Eighmy et al , 1997 , Municipal Solid Waste Incinerator Residues, ELSEVIER
4. International Directory of Solid Waste Management ,ISWM,2000/2001
5. McCabe, Smith & Harriot, 2003, Βασικές Φυσικές Διεργασίες Μηχανικής ,Εκδόσεις Τζιόλα
6. Αδαμάντιος Σκορδίλης, 1997, Η θερμική επεξεργασία απορριμμάτων και RDF , Εκδόσεις ‘Κόσμος ΕΠΕ’
7. Gidakos et al , 2005 ,Σημειώσεις εργαστηρίου τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος ,Πολυτεχνείο Κρήτης
8. Gidakos et al , 2004 ,Σημειώσεις εργαστηρίου τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος ,Πολυτεχνείο Κρήτης
9. N.B. Varyaftik,Y.K. Vinogradov and V.S. Yargin,1998, Physical and thermochemical properties of fluids and gases-Handbook
10. M. Rovaglio,\* D. Manca and G. Biardi, 1996, Dynamic modeling of waste incineration plants with rotary kilns: Comparisons between experimental and simulation data,
11. Perry’s chemical engineers Handbook,2003,7<sup>th</sup> edition,The McGraw-Hill Companies, Inc.
12. Richards et al., 1990, Waste-to-Energy Commercial Facilities Profiles - Technical, Operational and Economic Perspectives. Noyes Data Corporation, NJ.
13. Brereton et al., 1991, Environmental Aspects, Control and Scale-up of Circulating Fluidized Bed Combustion for Application in Western Canada. Report for EMR Canada under contract 55SS 23440-8-9243, December 1991.

14. Liang et al., 1991, Halogen Capture by Limestone During Fluidized Bed Combustion. Proceedings of the 11th International Conference on Fluidized Bed Combustion, Vol. 2, pp. 917-922, ASME.
15. Hasselriis, F., 1988, Optimization of combustion conditions to minimize dioxin emissions. In: Incineration of Municipal Waste. Academic Press, San Diego, CA.
16. Altwicker, E., 1992, Fundamental Aspects of Dioxin and Furan Formation from Combustion. Report prepared for The New York State Energy Research and Development Authority and Niagra Mohawk Power Corporation, Report No. ERE-MW-87, July 1992.
17. Choudry, G.G. and Huntzinger, O., 1982, Mechanistic aspects of the thermal formation of halogenated organic compounds including polychlorinated dibenzo-p-dioxins. Toxicol. Environ. Chem. 5.
18. Commoner, B. et al., 1985, The origins and methods of controlling polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran emissions from MSW Incinerators. 78th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Detroit, USA.
19. Loeffler, H., 1987, Messungen von Dioxin und Dibenzofuranemissionen an tier Mullverbrennungsanlage Flotzersteig - Emissionen und Bilanzen. In: Thom-Kozmiensky, K.J. (Ed.), Messen und Analyserieren an Abfallverbrennungsanlagen, EF-Verlag, Berlin.
20. Nottrodt, A. et al., 1987. Ursachen und Mindernng von PCDD/PCDF Emissionen bei Mullverbrennungsanlagen - Neue Untersuchungsergebnisse, Dioxin Kolloquium des VDI, Mai 1987, Mannheim, VDI-Berichte Nr. 634, pp. 595-634.
21. Mcinnes et al., 1990. Cleaning up NOx Emissions. Chemical Engineering Magazine, September 1990.
22. Chemical Engineering Magazine, 1992. A De-It-All Bag Filter that Removes Even NOx. October 1992, p. 17.
23. Chemical Engineering Magazine, 1993. A deNOx-Catalyst that Cracks Down on Fluegas Dioxin. January 1993, p. 19.
24. Humphries, W. et al., 1991. Effect of ammonia injection on fabric filter pressure drop. J. Air Waste Manage. Assoc., 41(11).

25. Fouhy, K., 1992. Legislation Scrubs Fluegas Emissions, Chemical Engineering Magazine, June 1992.
26. Dempsey, C. and Oppelt, T.E., 1993. Incineration of hazardous waste: A critical review update. Air and Waste, 43.
27. Guidance on Metals and Hydrogen Chloride Controls for Hazardous Waste Incinerators, Volume IV of the Hazardous Waste Incineration Guidance Series, Draft Final Report, August 1989.
28. Brereton, C., 1990. Phase Equilibria in the  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  System, UBC Dept. of Chemical Engineering Internal Report, Vancouver.
29. Rice, R.W. and Bond, G.A., 1990. Flue gas desulfurization by in-duct dry scrubbing using calcium hydroxide. AIChE J., 36(3).
30. Stampfli, D., et al., 1990. Reactions of Bottom Ashes from Municipal Solid Waste Incinerators and Construction Waste Samples with Water, Dubendorf, Switzerland. Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control, Final Report, February 1990.
31. Roethel, F., 1991. Leaching of MWC Residues in the Laboratory. In Proceedings of the Fourth International Conference on Municipal Waste Combustor Ash Utilization, Arlington, VA, 12-13 November 1991.
32. Steggemann, J.A. and Schneider, J., 1991. Leaching potential of municipal waste incinerator bottom ash as a function of particle size. In: Goumans et al. (Eds.), Waste Materials in Construction. Elsevier, Amsterdam.
33. Gordon McKay ,2002,Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review, Chemical Journal Engineering ,2002
34. U. Arena., M.L. Mastellone, F. Perugini,2003, The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study, Chemical Journal Engineering ,2003
35. O. Eriksson ,M. Carlsson Reich, B. Frostell , A. Bjorklund, G. Assefa, J.-O. Sundqvist, J. Granath, A. Baky, L. Thyselius,2005, Municipal solid waste management from a systems perspective,Journal of cleaner production,2005
36. European directive 2000/76 of the European council

## **9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

### **9.1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΣΤΗ ΓΕΡΜΑΝΙΑ**

#### **9.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Για τις μονάδες αποτέφρωσης ένα μεγάλο συγκριτικό μειονέκτημα το οποίο τις καθιστά επισφαλείς είναι τα απόβλητα που παράγονται από τις διαδικασίες όπως είναι η στάχτη και η σκωρία σε στερεή μορφή, οι αέριες εκπομπές που περιέχουν θειώδεις ενώσεις, υδροχλωρικό οξύ, αιωρούμενα σωματίδια και διάφορους οργανικούς μικρορύπους (διοξίνες, φουράνια, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες). Υγρά απόβλητα δεν παράγονται κατ'ευθείαν από τον πυρήνα της καύσης αλλά από την διαδικασία του περιβαλλοντικού σχεδιασμού της μονάδας. Παρακάτω παραθέτουμε τέσσερα συστήματα τα οποία μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν σε Γερμανικές μονάδες αποτέφρωσης.

#### **9.1.2. ΛΥΣΗ 1**

Το πρώτο βήμα στον καθαρισμό των απαερίων επιτυγχάνεται με σακκόφιλτρα για τον καθαρισμό των απαερίων από τα αιωρούμενα σωματίδια και ταυτόχρονα στην δεύτερη φάση ακολουθείται από μία πλυντρίδα υδροχλωρίου (HCl) και μία πλυντρίδα διοξειδίου του θείου(SO<sub>2</sub>). Επίσης στην παραπάνω διάταξη μπορούμε να προσθέσουμε για λόγους περιβαλλοντικής υγιεινής το στάδιο κατακράτησης διοξινών, φουρανίων (PCDD,PCDF) καθώς και υδραργύρου. Η κατακράτηση αυτή πραγματοποιείται μέσω φίλτρων ενεργού/ κονιορτοποιημένου άνθρακα. Όσο για τον διαχωρισμό του HCl, SO<sub>2</sub> χρησιμοποιούνται όξινα υγρά υδατοδιαλυτά διαλύματα με pH 1 για την απορρόφηση του HCl και ουδέτερα υγρά διαλύματα NaOH για την απομάκρυνση του SO<sub>2</sub>. Τα διαλύματα από το σύστημα των πλυντρίδων εξατμίζονται δημιουργώντας στερεό υπόλειμμα. Για την απομάκρυνση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub> εγκαθιστούμε ένα σύστημα SNCR (Selective-Non-Catalytic-Reduction) όπου η αμμωνία που θα χορηγήσουμε θα ανάγει το NO σε στοιχειακό άζωτο.

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής της εν προκειμένω εγκατάστασης και από την έρευνα που διεξήχθη μελετήθηκε το ποσό του χλωρίου, του θείου και του υδραργύρου που απομακρύνονται, που κατακρατούνται στις συσκευές ελέγχου και που τελικά διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τον υπολογισμό του μοντέλου 5890 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων χλωρίου διαπερνούν το σύστημα



SNCR (Selective-Non-Catalytic-Reduction) , ύστερα 720 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων απομακρύνονται από το σακκόφιλτρο με τον κύριο όγκο των σωματιδίων να προσροφάται στην πρώτη πλυντρίδα (4587 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων ) και την δεύτερη να απομακρύνει 569 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων από το ρεύμα των απαερίων. Οπότε στην ατμόσφαιρα εκλύονται 14,1 gr/tn απ. απορ χλωρίου. Για το SO<sub>2</sub> ξεκινάμε την προσομοίωση με 1265 gr/tn απ. απορ σωματιδίων θείου από τα οποία 560 gr/tn απ. απορ και 70 gr/tn απ. απορ απομακρύνονται από το σακκόφιλτρο και την πρώτη πλυντρίδα αντίστοιχα. Τα τελικά αέρια που εκλύονται από την καμινάδα θα περιέχουν 14,1 gr/tn απ. απορ θείου .Ο υδράργυρος στις μονάδες καύσης περνάει στα απαέρια σαν χλωριούχος υδράργυρος HgCl<sub>2</sub> και απομακρύνεται σε ποσοστό 90 % από άνθρακα που εισάγεται στο ρεύμα του σακκόφιλτρου. Η ισορροπία μάζας και ενέργειας μας δείχνει ότι από το 1,65 gr/tn απ. απορ που παράγεται από την διαδικασία καταλήγουν στην ατμόσφαιρα περίπου 0,019 gr/tn απ. απορ με το περισσότερο ποσοστό να δεσμεύεται από φίλτρο του άνθρακα.

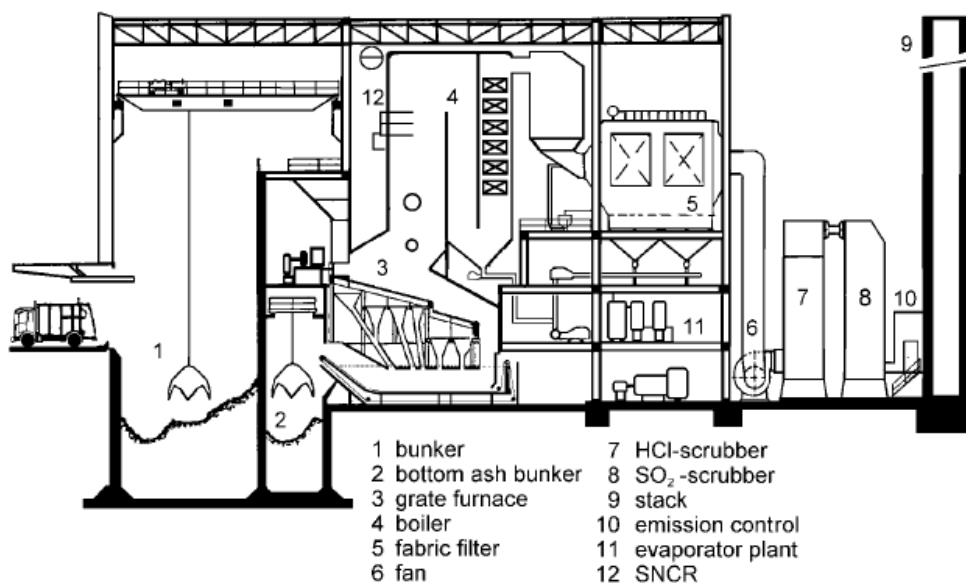


Fig. 1. Scheme of a Municipal solid waste incinerator with flue gas cleaning.

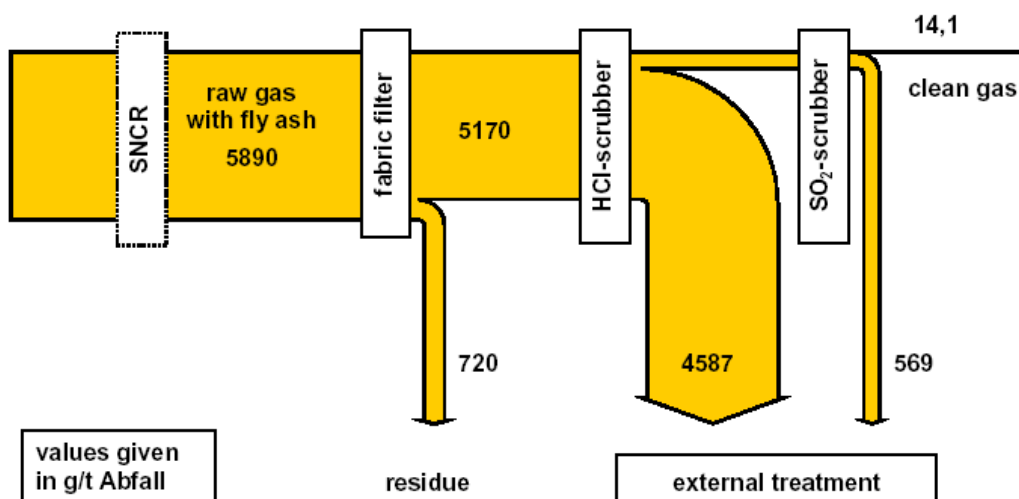


Fig. 2. Chlorine balance of plant A.

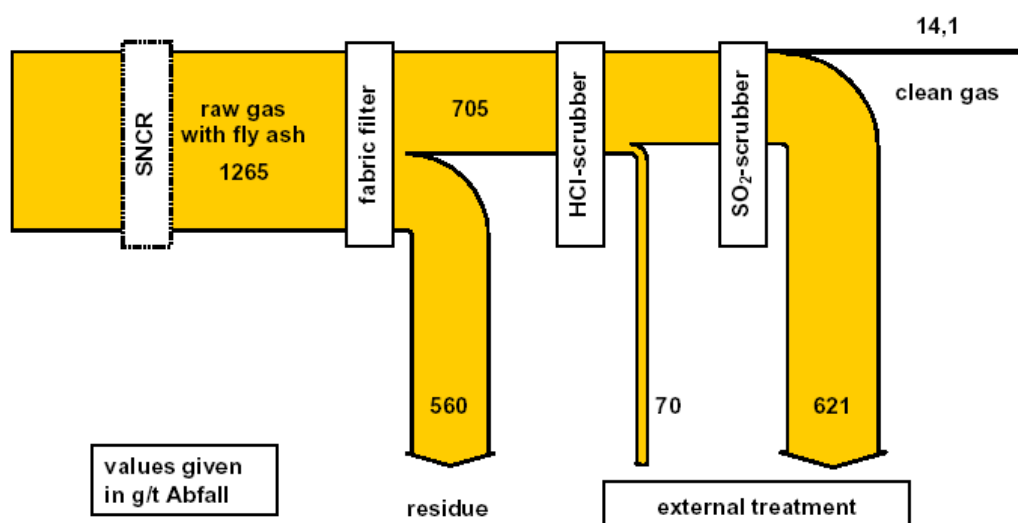


Fig. 3. Sulfur balance of plant A.

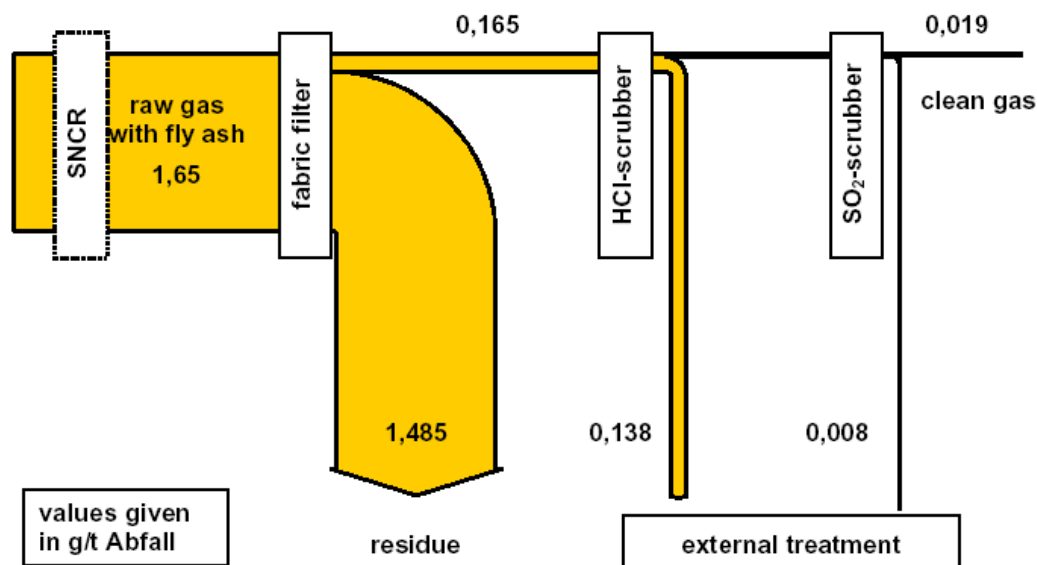


Fig. 4. Mercury balance of plant A.

### 9.1.3. ΛΥΣΗ 2

Ο εξοπλισμός της δεύτερης λύσης είναι περίπλοκος , ακολουθεί και αυτός υγρό καθαρισμό των αερίων και αποτελείται από δύο ηλεκτροστατικά φίλτρα ,έναν ξηραντή ,δύο πλυντρίδες και έναν προσροφητή ενεργού άνθρακα .Το πρώτο ηλεκτροστατικό φίλτρο ξεχωρίζει την σκόνη από το ρεύμα των αερίων ,ενώ το θερμικό περιεχόμενο των αερίων χρησιμοποιείται για να εξατμιστούν τα ουδετεροποιημένα εκρέοντα από το σύστημα των πλυντρίδων .Το υπολειμματικό αλάς κατακρημνίζεται στο δεύτερο ηλεκτροστατικό φίλτρο .Τα όξινα απαέρια κατακρατούνται στο σύστημα των πλυντρίδων και τα απόβλητα των πλυντρίδων οδηγούνται στον ξηραντήρα ψεκασμού. Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας και αφού χρησιμοποιήσουμε και την μέθοδο της καταλυτικής οξείδωσης SCR (Selective-Catalytic-Reduction) τα απαέρια διέρχονται από προσροφητή ενεργού άνθρακα και καταλήγουν στην ατμόσφαιρα .

Σύμφωνα με τον υπολογισμό του μοντέλου πάλι θα χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες τιμές όσον αφορά τις αρχικές τιμές δηλαδή 5890 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων χλωρίου διαπερνούν το πρώτο ηλεκτροστατικό φίλτρο το οποίο έχει την ίδια δυναμική με το σακκόφίλτρο της πρώτης λύσης, ύστερα 720 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων σαν ιπτάμενη τέφρα απομακρύνονται από το ESP 1 ενώ 5156 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων απομακρύνονται από το σύστημα των δύο σταδίων πλυντρίδων και με την βοήθεια του ESP 2 . Οπότε στην ατμόσφαιρα εκλύονται 7 gr/tn απ. απορ χλωρίου ύστερα και από την επεξεργασία με το φίλτρο του άνθρακα . Για το SO<sub>2</sub> ξεκινάμε την προσομοίωση πάλι με 1265 gr/tn απ. απορ σωματιδίων θείου από τα οποία 70 gr/tn απ. απορ απομακρύνονται από την πρώτη

πλυντρίδα και άλλα 621 gr/tn <sub>απ. απορ</sub> από την δεύτερη . Τα τελικά αέρια που εκλύονται από την καμινάδα θα περιέχουν 5 gr/tn <sub>απ. απορ</sub> θείου αφού πρώτα θα έχουν κατακρατηθεί περίπου 9 gr/tn <sub>απ. απορ</sub> στον προσροφητή άνθρακα. Από τα 1,65 gr/tn <sub>απ. απορ</sub> υδραργύρου στο ESP 1 κατακρατούνται 0,06 gr/tn <sub>απ. απορ</sub> τα οποία περιέχονται στην τέφρα και το μεγαλύτερο ποσοστό 1,413 gr/tn <sub>απ. απορ</sub> βγαίνει από την διαδικασία μέσω του συστήματος ξηραντή - 1<sup>ης</sup> πλυντρίδας – ESP 2 .Έτσι καταλήγουν στην ατμόσφαιρα περίπου 0,019 gr/tn <sub>απ. απορ</sub> με 0,158 gr/tn <sub>απ. απορ</sub> να δεσμεύονται από το φίλτρο του άνθρακα.

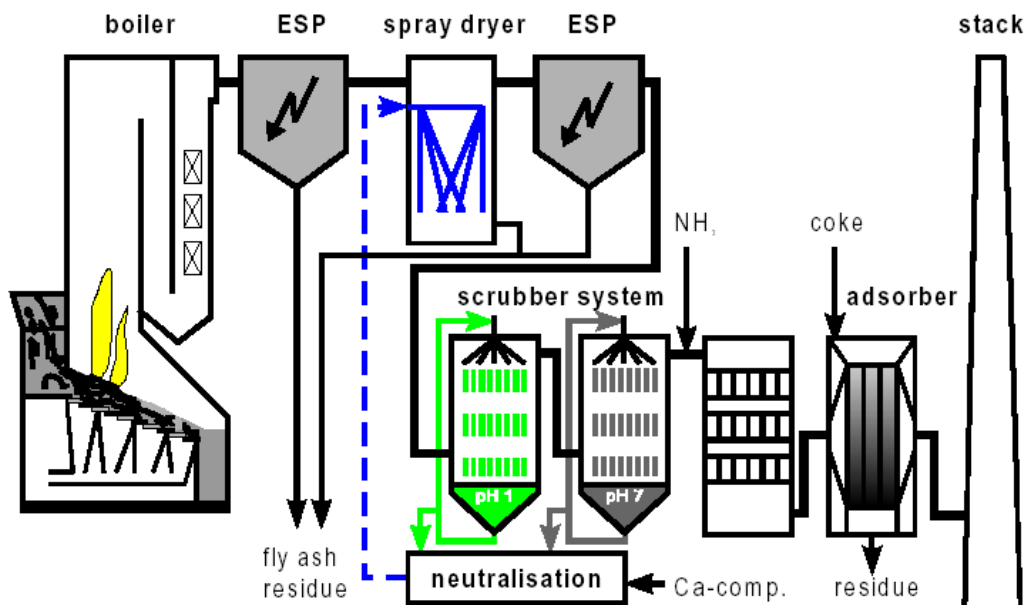


Fig. 5. Flue gas cleaning system of plant B.

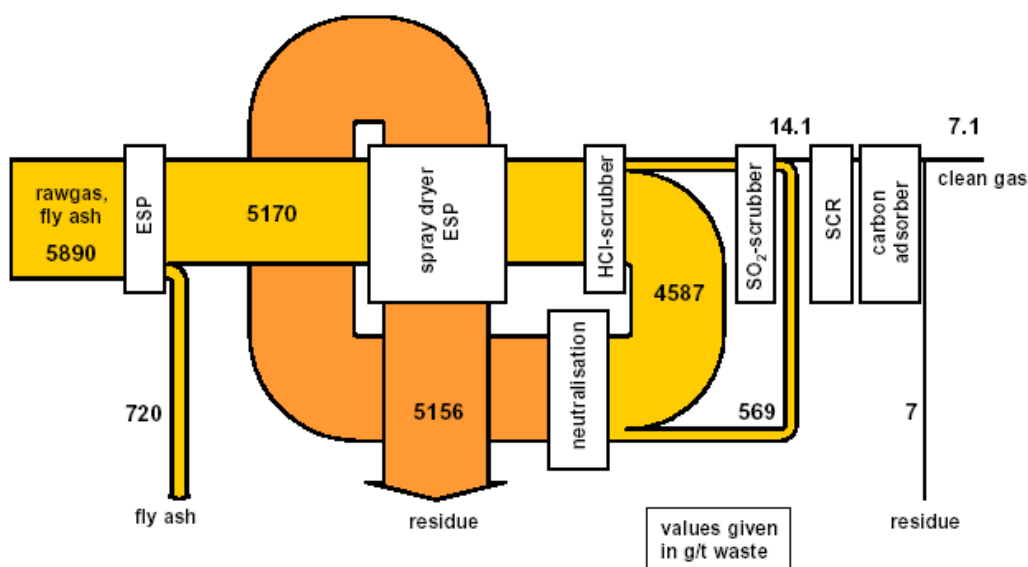


Fig. 6. Chlorine balance of plant B.

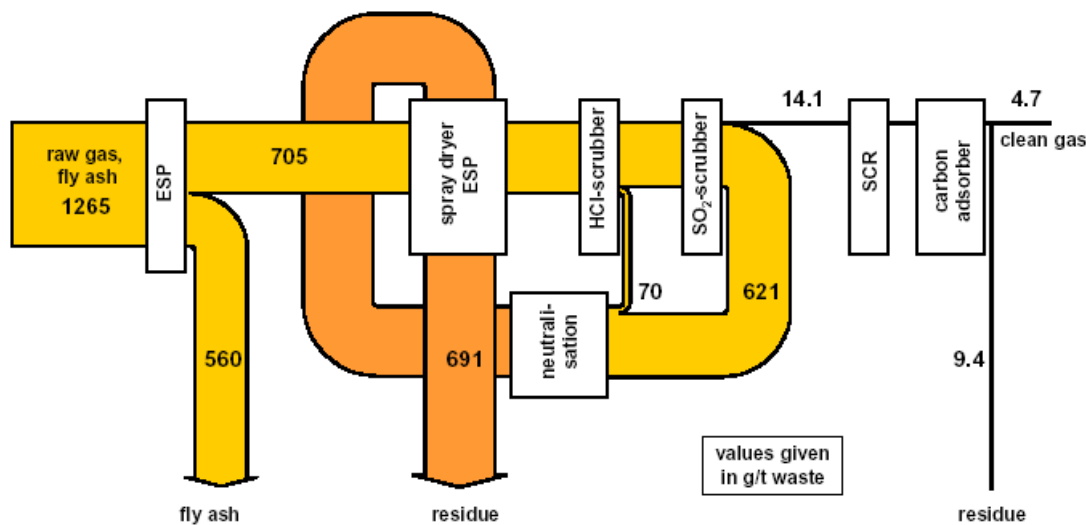


Fig. 7. Sulfur balance of plant B.

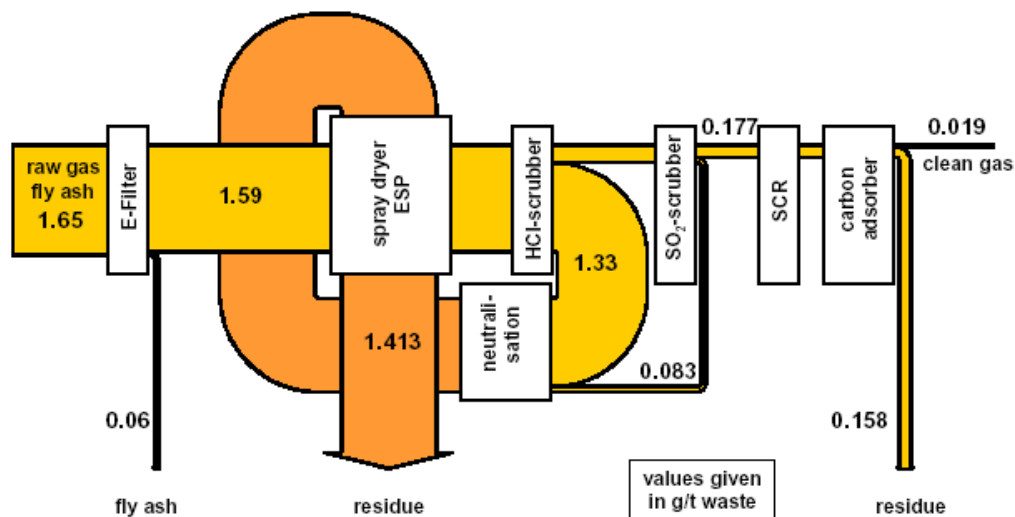


Fig. 8. Mercury balance of plant B.

### 9.1.4. ΛΥΣΗ 3

Η επόμενη προτεινόμενη λύση έχει να κάνει με μία ημι-υγρή μέθοδος διαχωρισμού αερίων εκπομπών με διαφορετική φιλοσοφία στον σχεδιασμό από τις προηγούμενες. Σε αυτήν την μέθοδο χρησιμοποιήθηκε το σύστημα SNCR (Selective-Non-Catalytic-Reduction), ένας προσροφητής αερίου και ένα σακκόφιλτρο. Στον προσροφητή εισαγάγαμε διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου

όπου το νερό εξατμίζεται και το υδροξείδιο αντιδρά με τους ρυπαντές. Και στο βιομηχανικό φίλτρο επιλέξαμε άνθρακα ώστε να υπάρξει κατακράτηση βαρέων μετάλλων, διοξινών και φουρανίων. Οι αρχικές τιμές που επιλέγονται στα ισοζύγια μαζας και ενέργειας είναι τα ίδια δεν αλλάζουν, οπότε ξεκινάμε με 5890 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων χλωρίου και 1265 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων θείου από τα οποία ένα μεγάλο ποσοστό του χλωρίου αντιδρά με το ασβέστιο ενώ το θείο καταιονίζεται με τα αντίστοιχα ποσοστά έκλυσης στην ατμόσφαιρα να έχουν την ίδια τιμή 23,5 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων. Όσο για τον υδράργυρο αυτός αντιδρά με τον άνθρακα και η τελική εκπεμπόμενη τιμή στην ατμόσφαιρα παραμένει στα 0,019 gr/tn αποτεφρωμένων απορριμμάτων.

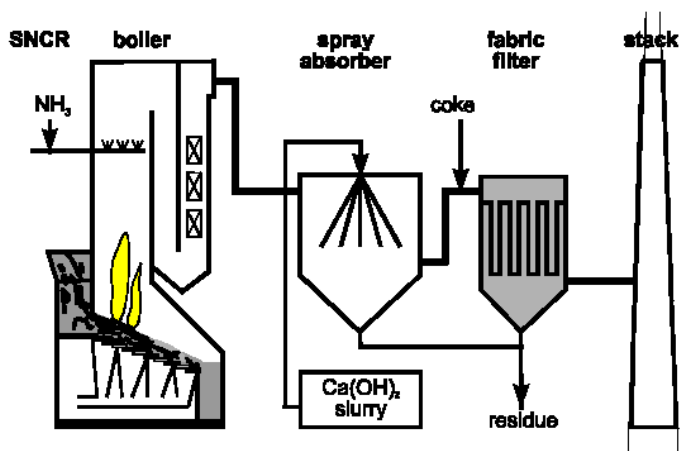


Fig. 9. Flue gas cleaning system of plant C.

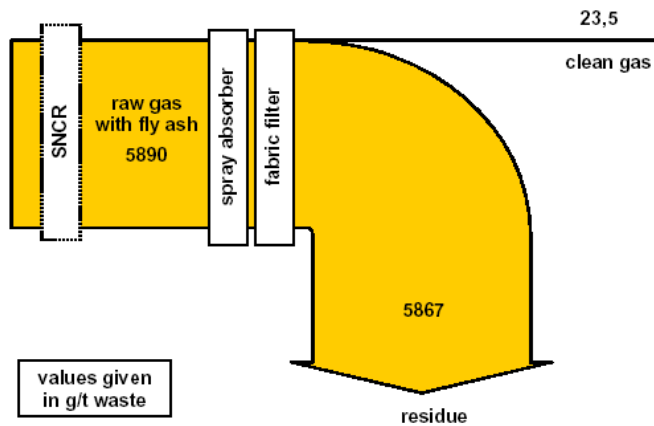


Fig. 10. Chlorine balance of plant C.

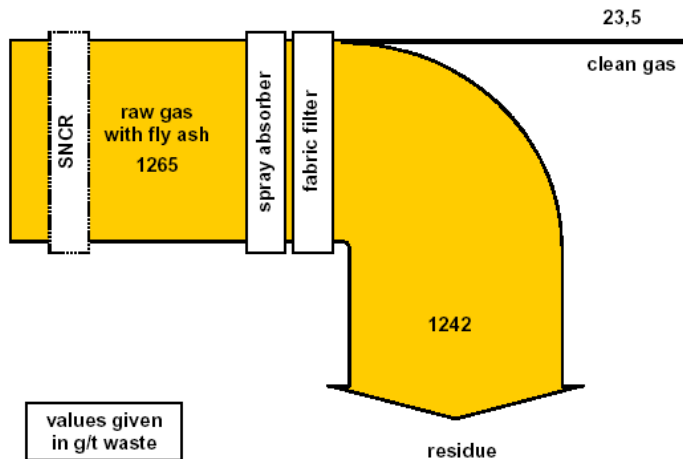


Fig. 11. Sulfur balance of plant C.

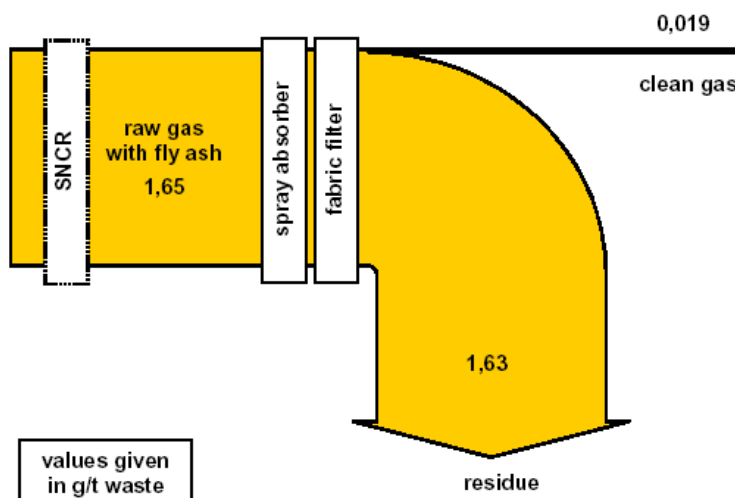


Fig. 12. Mercury balance of plant C.

#### 9.1.5. ΛΥΣΗ 4

Η διαδικασία του σχεδιασμού και της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας της λύσης αυτής είναι ίδια με την προηγούμενη μόνο που η μέθοδος είναι ημι-ξηρή και να αποτελείται από ένα σύστημα SNCR (Selective-Non-Catalytic-Reduction) ,έναν προσροφητή αερίου, έναν ψύκτη και ένα σακκόφιλτρο.

Στο σύστημα SNCR τα οξείδια του αζώτου απομακρύνονται ,ενώ ταυτόχρονα στον ψύκτη ψύχονται τα αερίδια για την απόκτηση βέλτιστων συνθηκών κατά την διαδικασία διαχωρισμού των ρύπων .Στο επόμενο βήμα συμπληρώνουμε με δύο στοιχεία , τον άνθρακα και το ασβέστιο σε μορφή ξηρής σκόνης στο ψυχρό αέριο .Οι αέριοι ρύποι αντιδρούν με το ασβέστιο και προσροφούνται στον άνθρακα .Τέλος τα στερεά υπολείμματα διαχωρίζονται στο φίλτρο. Τα ποσοστά που εκλύονται στην



ατμόσφαιρα είναι τα ίδια με την μέθοδο της ημι-υγρής διαδικασίας απλώς στον ημι-ξηρό έλεγχο της αέριας ρύπανσης χρησιμοποιήθηκαν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες στοιχείων ουδετεροποίησης.

#### 9.1.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι υγρές μέθοδοι καθαρισμού των αερίων καύσεως είχαν την καλύτερη απόδοση όσον αφορά την κατακράτηση των αερίων ρύπων. Αντίστοιχα οι άλλες δύο μέθοδοι καθαρισμού η ημι-ξηρή και η ημι-υγρή έδειξαν εκπομπές μεγαλύτερες και αυτό συνέβη λόγω του στοιχειομετρικού λόγου που καθορίσθηκαν στο στάδιο της έρευνας. Επίσης αξίζει να αναφέρουμε ότι οι εκπομπές δεν ξεπέρασαν τα θεσπισμένα από την νομοθεσία όρια Όσον αφορά τα κόστη επένδυσης οι λύσεις 3 & 4 είναι λίγο πιο χαμηλές με πολύ μικρές διαφορές να τις χωρίζουν, αλλά και πολύ ρυπογόνες αφού παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές υπολειμμάτων όπως φαίνεται και στον πίνακα. Τέλος καταλήγουμε ότι η βέλτιστη λύση από πλευράς απόδοσης σχεδιασμού, ποσοστού υπολειμμάτων, κόστους επένδυσης, κόστους λειτουργίας και τήρηση των ορίων εκπομπών είναι η λύση 1 με το βιομηχανικό φίλτρο, τις δύο πλυντρίδες HCl και SO<sub>2</sub> αντίστοιχα, την τοποθέτηση φίλτρου ενεργού άνθρακα και του συστήματος SNCR (Selective-Non-Catalytic-Reduction) για την κατακράτηση των οξειδίων του αζώτου. Μιά τέτοια κατασκευή περιβαλλοντικής προστασίας σαν κόστος επένδυσης μπορεί να ανέλθει μεμονωμένα ως συσκευές (π.χ πλυντρίδα) από 0,6 εκ € έως 3,6 εκ € ενώ σε μεγαλύτερη κλίμακα δηλαδή κατασκευή όλης της υγρής μονάδας καθαρισμού από 8,4 εκ € έως 18 εκ €. Οι τιμές υπολογίσθηκαν με βάση ετήσια παροχή απορριμμάτων 200,000 tn με την σύνθεση των απορριμμάτων της τοπικής περιοχής.

TABLE II  
Total Amounts of Residues in all Model Plants

plant	residue from neutralisation [kg/t <sub>w</sub> ]	fly ash [kg/t <sub>w</sub> ]	lime/coke or coke [kg/t <sub>w</sub> ]	TMT-15 kg/t <sub>w</sub>	residue from external evaporation [kg/t <sub>w</sub> ]	in total [kg/t <sub>w</sub> ]
A	external	16	1		12.6	29.7
B	12.6	16	1	0.019		29.7
C	22.4	16	1.5	-	-	39.9
D	24.5	16	2.2	-	-	42.7

TMT-15<sup>TM</sup>: 15% solution of trimercaptotriazine

#### 10. ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ 2000/76 ΕΚ

## 10.1. ΤΙΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Θριακές τιμές εκπομπών για τις απορρίψεις λυμάτων προερχόμενων από τον καθαρισμό των καυσαερίων

Ρυπαντικές ουσίες	Θριακές τιμές εκπομπών εκφρασμένες ως συγκεντρώσεις κατά μόζα για αδιθίητα δείγματα	
	95 % 30 mg/l	100 % 45 mg/l
1. Ολικά αιωρούμενα στερεά, όπως ορίζονται στην οδηγία 91/271/ΕΟΚ		
2. Υδράργυρος και οι ενώσεις του, ως υδράργυρος (Hg)	0,03 mg/l	
3. Κάδμιο και οι ενώσεις του, ως κάδμιο (Cd)	0,05 mg/l	
4. Θάλλιο και οι ενώσεις του, ως θάλλιο (Pb)	0,05 mg/l	
5. Αρσενικό και οι ενώσεις του, ως αρσενικό (As)	0,15 mg/l	
6. Μόλυβδος και οι ενώσεις του, ως μόλυβδος (Pb)	0,2 mg/l	
7. Χρώμιο και οι ενώσεις του, ως χρώμιο (Cr)	0,5 mg/l	
8. Χαλκός και οι ενώσεις του, ως χαλκός (Cu)	0,5 mg/l	
9. Νικέλιο και οι ενώσεις του, ως νικέλιο (Ni)	0,5 mg/l	
10. Ψευδάργυρος και οι ενώσεις του, ως ψευδάργυρος (Zn)	1,5 mg/l	
11. Διοξίνες και φουράνια, οριζόμενα ως το άθροισμα των επί μέρους διοξινών και φουρανίων αποτιμώμενων σύμφωνα με το παράρτημα I	0,3 ng/l	

Μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2008, μπορούν να επιτραπούν από την αρμόδια αρχή εξαρέσεις για ολικά αιωρούμενα στερεά για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης, υπό τον όρο ότι η άδεια προβλέπει ότι το 80 % των μετρούμενων τιμών δεν υπερβαίνει το 30 mg/l και καμιά από αυτές δεν υπερβαίνει το 45 mg/l.

## 10.2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ

α) Ημερήσιες μέσες τιμές

Ολικός κονιορτός	10 mg/m <sup>3</sup>
Οργανικές ουσίες υπό μορφή αερίων και ατμών, υπολογιζόμενες ως ολικός οργανικός άνθρακας	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροχλώριο (HCl)	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροφθόριο (HF)	1 mg/m <sup>3</sup>
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	50 mg/m <sup>3</sup>
Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας άνω των τριών τόνων ή νέες μονάδες αποτέφρωσης	200 mg/m <sup>3</sup> (*)
Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας τριών τόνων ή μικρότερης	400 mg/m <sup>3</sup> (*)

(\*) Μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2007 και με την επιφύλαξη της κοινοτικής νομοθεσίας, η οριακή τιμή εκπομπών για τα NO<sub>x</sub> δεν ισχύει για τις μονάδες που αποτεφρώνουν επικίνδυνα απόβλητα μόνο.

Οι αρμόδιες αρχές δύνανται να επιτρέψουν εξαιρέσεις όσον αφορά τα NO<sub>x</sub> για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης

- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μικρότερης ή ίσης των 6 τόνων, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 500 mg/m<sup>3</sup> και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2008,
- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μεγαλύτερης των 6 τόνων, αλλά μικρότερης ή ίσης των 16 τόνων, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 400 mg/m<sup>3</sup> και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2010,
- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μεγαλύτερης των 16 τόνων, αλλά κατώτερης των 25 τόνων η οποία δεν παράγει απορρίψεις στα ύδατα, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 300 mg/m<sup>3</sup> και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2008.

Μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2008, οι αρμόδιες αρχές δύνανται να επιτρέψουν εξαιρέσεις για τον κονιορτό για υφιστάμενες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης, ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μικρότερης των 16 τόνων, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 20 mg/m<sup>3</sup>.

β) Μέσες τιμές ημώρου

	(100 %) A	(97 %) B
Ολικός κονιορτός	30 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Οργανικές ουσίες υπό μορφή αερίων και ατμών, υπολογιζόμενες ως ολικός οργανικός άνθρακας	20 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροχλώριο (HCl)	60 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροφθόριο (HF)	4 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	200 mg/m <sup>3</sup>	50 mg/m <sup>3</sup>
Μονοξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας άνω των τριών τόνων ή νέες μονάδες αποτέφρωσης	400 mg/m <sup>3</sup> (*)	200 mg/m <sup>3</sup> (*)

(\*) Μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2007 και με την επιφύλαξη της σχετικής κοινοτικής νομοθεσίας, η οριακή τιμή εκπομπών για τα NO<sub>x</sub> δεν ισχύει για τις μονάδες που αποτεφρώνουν επικίνδυνα απόβλητα μόνο.

γ) Όλες οι μέσες τιμές περιόδου δειγματοληψίας ελάχιστης διάρκειας 30 λεπτών και μέγιστης διάρκειας 8 ωρών

Κάδμιο και ενώσεις του, ως κάδμιο (Cd)	σύνολο 0,05 mg/m <sup>3</sup>	σύνολο 0,01 mg/m <sup>3</sup> (*)
Θάλλιο και ενώσεις του, ως θάλλιο (Tl)		
Υδράργυρος και ενώσας του, ως υδράργυρος (Hg)	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,1 mg/m <sup>3</sup> (*)
Αντιμόνιο και ενώσεις του, ως αντιμόνιο (Sb)	σύνολο 0,5 mg/m <sup>3</sup>	σύνολο 1 mg/m <sup>3</sup> (*)
Αρσενικό και ενώσεις του, ως αρσενικό (As)		
Μόλυβδος και ενώσας του, ως μόλυβδος (Pb)		
Χρώμιο και ενώσας του, ως χρώμιο (Cr)		
Κοβάλτιο και ενώσεις του, ως κοβάλτιο (Co)		
Χαλκός και ενώσας του, ως χαλκός (Cu)		
Μαγγάνιο και ενώσεις του, ως μαγγάνιο (Mn)		
Νικέλιο και ενώσεις του, ως νικέλιο (Ni)		
Βανάδιο και ενώσας του, ως βανάδιο (V)		

(\*) Μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2007, μέσες τιμές για υφιστάμενες μονάδες που έχουν λάβει άδεια λειτουργίας πριν από την 31η Δεκεμβρίου 1996 και οι οποίες αποσπερμώνουν μόνο επικένδυντα απόβλητα.

Αυτές οι μέσες τιμές καλύπτουν επίσης τις εκπομπές των σχετικών βαρέων μετάλλων και των ενώσεών τους υπό μορφή αερίων και ατμών.

δ) Οι μέσες τιμές μετρούνται σε περίοδο δειγματοληψίας ελάχιστης διάρκειας 6 ωρών και μέγιστης διάρκειας 8 ωρών. Η οριακή τιμή εκπομπών αναφέρεται στη συνολική συγκέντρωση διοξινών και φουρανίων, υπολογιζόμενη βάσει της αρχής των ισοδυνάμων τοξικότητας σύμφωνα με το παράρτημα I.

Διοξίνες και φουράνια	0,1 ng/m <sup>3</sup>
-----------------------	-----------------------

ε) Η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα καυσαέρια (εξαιρουμένων των φάσεων εκκίνησης και διακοπής) δεν υπερβαίνει τις κατωτέρω οριακές τιμές εκπομπών:

- 50 mg/m<sup>3</sup> καυσαερίων ως ημερήσια μέση τιμή,
- 150 mg/m<sup>3</sup> καυσαερίων τουλάχιστον στο 95 % όλων των μετρήσεων, ως μέσες τιμές δεκαλέπτου, ή 100 mg/m<sup>3</sup> καυσαερίων στο σύνολο των μετρήσεων, ως μέσες τιμές ημώρου, λαμβανόμενες κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε 24ώρου.

Η αρμόδια αρχή δύναται να εγκρίνει εξαιρέσεις προκειμένου για μονάδες στις οποίες χρησιμοποιείται τεχνολογία ρευστοστερεάς κλίνης, με την προϋπόθεση ότι στη σχετική άδεια προβλέπεται οριακή τιμή εκπομπών για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) 100 mg/m<sup>3</sup> κατ' ανώτατο όριο, ως ωριαία μέση τιμή.

### 10.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΡΥΠΩΝ

Τύπος υπολογισμού της συγκέντρωσης των εκπομπών στην τυπική εκατοσπιαία συγκέντρωση οξυγόνου

$$E_s = \frac{21 - O_s}{21 - O_M} \times E_M$$

$E_s$  = υπολογιζόμενη συγκέντρωση εκπομπών στην τυπική εκατοσπιαία συγκέντρωση οξυγόνου.

$E_M$  = μετρούμενη συγκέντρωση εκπομπής

$O_s$  = τυπική συγκέντρωση οξυγόνου

$O_M$  = μετρούμενη συγκέντρωση οξυγόνου

### 10.4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΞΙΚΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ TCDD/PCDD

Συντελεστές ισοδυναμίας για τις διβενζο-*p*-διοξίνες και τα διβενζοφουράνια

Για τον προσδιορισμό της συνολικής συγκέντρωσης (TE) διοξινών και φουρανίων, οι κατά μάζα συγκεντρώσεις των ακόλουθων διβενζο-*p*-διοξινών και διβενζοφουρανίων πολλαπλασιάζονται επί τους ακόλουθους συντελεστές ισοδυναμίας πριν από την άθροισή τους:

		Συντελεστής τοξικής ισοδυναμίας
2,3,7,8	— Τετραχλωροδιβενζοδιοξίνη (TCDD)	1
1,2,3,7,8	— Πενταχλωροδιβενζοδιοξίνη (PeCDD)	0,5
1,2,3,4,7,8	— Εξαχλωροδιβενζοδιοξίνη (HxCDD)	0,1
1,2,3,6,7,8	— Εξαχλωροδιβενζοδιοξίνη (HxCDD)	0,1
1,2,3,7,8,9	— Εξαχλωροδιβενζοδιοξίνη (HxCDD)	0,1
1,2,3,4,6,7,8	— Επταχλωροδιβενζοδιοξίνη (HxCDD)	0,01
	— Οκταχλωροδιβενζοδιοξίνη (OCDD)	0,001
2,3,7,8	— Τετραχλωροδιβενζοφουράνιο (TCDF)	0,1
2,3,4,7,8	— Πενταχλωροδιβενζοφουράνιο (PeCDF)	0,5
1,2,3,7,8	— Πενταχλωροδιβενζοφουράνιο (PeCDF)	0,05
1,2,3,4,7,8	— Εξαχλωροδιβενζοφουράνιο (HxCDF)	0,1
1,2,3,6,7,8	— Εξαχλωροδιβενζοφουράνιο (HxCDF)	0,1
1,2,3,7,8,9	— Εξαχλωροδιβενζοφουράνιο (HxCDF)	0,1
2,3,4,6,7,8	— Εξαχλωροδιβενζοφουράνιο (HxCDF)	0,1
1,2,3,4,6,7,8	— Επταχλωροδιβενζοφουράνιο (HxCDF)	0,01
1,2,3,4,7,8,9	— Επταχλωροδιβενζοφουράνιο (HxCDF)	0,01
	— Οκταχλωροδιβενζοφουράνιο (OCDF)	0,001