



39



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
ΜΕ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η εργασία υποβάλλεται για την μερική κάλυψη των απαιτήσεων με στόχο
την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Εξειδίκευσης στην
«Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων»
από

το ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ και το ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δημήτριος Γιαννόπουλος
Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2002



00140618

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΣ.	40618
COMP.	24255 ή 22755
ΤΑΞΙΝ.	363.728 2 Γ1
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

Θερμές ευχαριστίες στην Καθηγήτρια του τμήματος
Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Μαρία Φούντη για τις
συμβουλές και την καθοδήγηση, στο φίλο και συνάδελφο
Μηχανολόγο – υποψήφιο Διδάκτορα Διονύση Κολαΐτη και τον
προϊστάμενό μου στο Τμήμα Μελετών της «Χ.&Β. Φυρογένης
Α.Β.Ε.» κ. Κώστα Σταμπόρη για τη βοήθεια και την κατανόηση
κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.....	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	12
ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ.....	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	13
ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	14
ΛΗΨΗ Η ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ;.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	18
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	18
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	20
<i>Γενικά.....</i>	20
<i>Ποιοτική σύνθεση δημοτικών στερεών αποβλήτων.....</i>	21
<i>Ημερήσια παραγωγή δημοτικών στερεών απορριμμάτων.....</i>	25
ΚΑΥΣΙΜΟ ΑΠΟ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ (ΚΑΠ).....	27
ΚΥΡΙΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	30
ΚΑΥΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	31

<i>Ποιότητα καύσης</i>	34
<i>Καύση σε εσχάρα</i>	35
<i>Καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη</i>	39
ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	51
<i>Γενικά</i>	51
<i>Αεριοποίηση</i>	53
<i>Πυρόλυση</i>	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	68
ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	68
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	68
ΌΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ^[5]	68
ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΕΣΧΑΡΑ ΚΑΙ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΝΗ.....	69
<i>Αέρια απόβλητα</i>	70
<i>Στερεά απόβλητα</i>	79
<i>Υγρά απόβλητα</i>	82
ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ - ΠΥΡΟΛΥΣΗ	82
<i>Αέρια απόβλητα</i>	82
<i>Στερεά απόβλητα</i>	86
<i>Υγρά απόβλητα</i>	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	88
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	88
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	88
ΜΕΘΟΔΟΣ SIR-SAW ^[2]	89

ΜΕΘΟΔΟΣ CRITIC ^[4]	95
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	100
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	100
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	100
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	100
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ - ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ	101
<i>Εμπειρία εφαρμογών</i>	102
<i>Περιβάλλον</i>	103
<i>Κοινωνική αποδοχή</i>	105
<i>Ασφάλεια – Ελαστικότητα</i>	106
<i>Οικονομικότητα</i>	106
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ	108
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ – ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	110
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	112
<i>Σενάριο Α</i>	112
<i>Σενάριο Β</i>	114
<i>Σενάριο C</i>	116
<i>Σενάριο D</i>	117
<i>Σενάριο “Critic”</i>	119
<i>Σενάριο «ίσων συντελεστών βαρύτητας»</i>	120
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΜΕΣΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ	122
<i>Σενάριο Α</i>	123
<i>Σενάριο Β</i>	124

<i>Σενάριο C</i>	125
<i>Σενάριο D</i>	126
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	127
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	129
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	131
ΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	135
<i>Κώδικας βασικής φόρμας (Σχήμα 18)</i>	<i>135</i>
<i>Κώδικας φόρμας εισαγωγής ιδιοτήτων κριτηρίου (Σχήμα 19)</i>	<i>144</i>

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

$U(A_i)$	Συνάρτηση χρησιμότητας (utility function) της εναλλακτικής A_i
A_i	Εναλλακτική λύση
w_j	Συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου g_j
I	Σύμβολο κατάστασης αδιαφορίας
Q	Σύμβολο κατάστασης ασθενούς προτίμησης
P	Σύμβολο κατάστασης ισχυρής προτίμησης
$g_j(A_i)$	Επίδοση εναλλακτικής A_i στο κριτήριο g_j
q_j	Κατώφλι αδιαφορίας κριτηρίου g_j
p_j	Κατώφλι προτίμησης κριτηρίου g_j

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

g_j	Κριτήριο g_j
m	Πλήθος εναλλακτικών λύσεων
n	Πλήθος κριτηρίων
D	Πίνακας επιδόσεων
$d (=g_j(A_k) - g_j(A_l))$	Διαφορά επιδόσεων των εναλλακτικών A_k και A_l
$f(d), P(A_k, A_l)$	«Γενικευμένο κριτήριο» ή «Ψευδοκριτήριο»
σ	Παράμετρος διασποράς εκθετικού ψευδοκριτηρίου
$S_j(A_i)$	Δείκτης υπεροχής εναλλακτικής A_i αναφορικά με το κριτήριο g_j
$I_j(A_i)$	Δείκτης υστέρησης εναλλακτικής A_i αναφορικά με το κριτήριο g_j
S	Πίνακας υπεροχής
I	Πίνακας υστέρησης
$\varphi^+(A_i)$	Ροή υπεροχής της εναλλακτικής A_i
$\varphi^-(A_i)$	Ροή υστέρησης της εναλλακτικής A_i
$V(S_j(A_i))$	Συνάρτηση σύνθεσης
$\varphi_n(A_i)$	Καθαρή ροή της εναλλακτικής A_i
$\varphi_r(A_i)$	Σχετική ροή της εναλλακτικής A_i
g_j	Βέλτιστη επίδοση για το κριτήριο g_j
g_j^*	Χείριστη επίδοση για το κριτήριο g_j
$x(i,j)$	Αδιαστατοποιημένος πίνακας επιδόσεων
r_{jk}	Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης
C_j	Μέτρο εσωτερικής πληροφορίας κριτηρίου g_j
σ_j	Τυπική απόκλιση κριτηρίου g_j (υπολογισμένη από τον πίνακα $x(i,j)$)

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΥΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	
	ΠΗΓΗ: [10]	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 2	ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	
	ΠΗΓΗ: [13]	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΠΗΓΗ: [7]	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 4	ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΗΜΟΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΠΗΓΗ: [7]	
	22	
ΠΙΝΑΚΑΣ 5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ	
	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΠΗΓΗ: [7]	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 6	ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΝΟΜΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗ: [5].....	24
ΠΙΝΑΚΑΣ 7	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΑΤΟΜΟ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	
	ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗ: [7].....	26
ΠΙΝΑΚΑΣ 8	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΑΤΟΜΟ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ	
	ΠΟΛΕΙΣ ΠΗΓΗ: [7]	26
ΠΙΝΑΚΑΣ 9	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΠ, ΠΗΓΗ: [14].....	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 10	ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΑΠ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ	
	ΤΟ ΕΤΟΣ 2004 ΠΗΓΗ: [5]	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 11	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΑΣΑ, ΚΑΠ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΠΟ ΧΑΡΤΙ (ΚΑΧ).	
	ΠΗΓΗ: [5].....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 12	ΣΥΝΘΕΙΣ ΤΙΜΕΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ, ΣΤΟ	
	ΚΑΠ ΚΑΙ ΣΤΟ ΚΑΧ ΠΗΓΗ: [14].....	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 13	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΣΧΑΡΕΣ. ΠΗΓΗ: [5].....	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 14	ΤΥΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΛΛΑΓΩΝ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ	
	ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΠΗΓΗ: [7].....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 15	ΌΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	
	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ, ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΕΣ	
	ΓΕΡΜΑΝΙΑΣ – ΟΛΛΑΝΔΙΑΣ ΠΗΓΗ: [5].....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 16	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΥΠΑΝΤΩΝ ΣΕ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΗΓΗ: [9]	
	78	
ΠΙΝΑΚΑΣ 17	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ	
	ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΠΗΓΗ: [8].....	80

ΠΙΝΑΚΑΣ 18	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΠΗΓΗ:[8].....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 19	ΤΥΠΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΠΗΓΗ:[7] 83	
ΠΙΝΑΚΑΣ 20	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΑ	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 21	ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ.....	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 23	ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΟΙ ΑΛΛΑΓΕΣ)	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 24	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ. 111	
ΠΙΝΑΚΑΣ 25	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΟΥΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ – “CRITIC”	119
ΠΙΝΑΚΑΣ 26	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΟΥΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ – ΙΣΩΝ ΒΑΡΩΝ.....	121

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1	ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΚΑΥΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [6]	31
ΣΧΗΜΑ 2	ΤΟΜΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΣΧΑΡΑ. ΠΗΓΗ: [11]	36
ΣΧΗΜΑ 3	ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΑΛΑΜΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΠΗΓΗ: [12]	40
ΣΧΗΜΑ 4	ΤΟΜΗ ΘΑΛΑΜΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΠΗΓΗ: [5]	41
ΣΧΗΜΑ 5	ΚΑΤΟΨΗ ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΑΔΡΙΤΗΣ (ΠΙΝΑΚΑΣ Π.2) ΠΗΓΗ: [5]	43
ΣΧΗΜΑ 6	ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ. ΠΗΓΗ: [6]	54
ΣΧΗΜΑ 7	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (IGCC) ΠΗΓΗ: [10]	56
ΣΧΗΜΑ 8	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΥΣΗΣ ΑΣΑ ΔΥΟ ΒΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ LURGI. ΠΗΓΗ: [18]	57
ΣΧΗΜΑ 9	ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗΣ ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ. ΠΗΓΗ: [7]	60
ΣΧΗΜΑ 10	ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗΣ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ. ΠΗΓΗ: [7]	60
ΣΧΗΜΑ 11	ΔΙΔΥΜΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΠΗΓΗ: [15].	62
ΣΧΗΜΑ 12	ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΠΗΓΗ: [6]	63
ΣΧΗΜΑ 13	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΥΣΗΣ ΑΣΑ ΔΥΟ ΒΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ SIEMENS . ΠΗΓΗ: [19]	64
ΣΧΗΜΑ 14	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΥΣΗΣ ΑΣΑ ΔΥΟ ΒΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ NOELL. ΠΗΓΗ: [20]	65
ΣΧΗΜΑ 15	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΥΣΗΣ ΑΣΑ ΔΥΟ ΒΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ THERMOSELECT. ΠΗΓΗ: [21]	65

ΣΧΗΜΑ 16	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ CO ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ ΑΕΡΑ. ΠΗΓΗ: [9].....	72
ΣΧΗΜΑ 17	ΤΥΠΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΑΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ. ΠΗΓΗ: [9]	75
ΣΧΗΜΑ 18	ΒΑΣΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.	98
ΣΧΗΜΑ 19	ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ	99
ΣΧΗΜΑ 20	ΘΘΟΝΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Α	112
ΣΧΗΜΑ 21	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ Α	113
ΣΧΗΜΑ 22	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Α.....	113
ΣΧΗΜΑ 23	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ Β	114
ΣΧΗΜΑ 24	ΣΥΝΟΛΙΚΗ (COMPLETE) ΚΑΙ ΜΕΡΙΚΗ (PARTIAL) ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Β.....	115
ΣΧΗΜΑ 25	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ C	116
ΣΧΗΜΑ 26	ΣΥΝΟΛΙΚΗ (COMPLETE) ΚΑΙ ΜΕΡΙΚΗ (PARTIAL) ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ C	117
ΣΧΗΜΑ 27	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ D	118
ΣΧΗΜΑ 28	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ D.....	118
ΣΧΗΜΑ 29	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ “CRITIC”	119
ΣΧΗΜΑ 30	ΣΥΝΟΛΙΚΗ (COMPLETE) ΚΑΙ ΜΕΡΙΚΗ (PARTIAL) ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ CRITIC	120
ΣΧΗΜΑ 31	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ «ΙΣΩΝ ΒΑΡΩΝ».....	121
ΣΧΗΜΑ 32	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΙΣΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	122
ΣΧΗΜΑ 33	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Α	123

ΣΧΗΜΑ 34	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Β	124
ΣΧΗΜΑ 35	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ C	125
ΣΧΗΜΑ 36	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ D	126

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση και αξιολόγηση των σύγχρονων τεχνολογιών καύσης και θερμικής αξιοποίησης των αστικών απορριμμάτων. Η μορφή των αστικών απορριμμάτων στην οποία δίνεται ιδιαίτερη έμφαση είναι αυτή του ΚΑΠ (Καυσίμου Από Απορρίμματα), το οποίο είναι προϊόν διαλογής, με βελτιωμένα θερμικά χαρακτηριστικά.

Σε αυτή τη μελέτη επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη μεθοδολογία πολυκριτηριακής ανάλυσης, καθώς η γενικευμένη αξιολόγηση των προτεινόμενων τεχνολογιών προϋποθέτει αναφορά σε αρκετούς επιμέρους παράγοντες. Το υπολογιστικό εργαλείο αναπτύχθηκε με σκοπό την υποβοήθηση της παρούσας εργασίας, καθώς όμως είναι δομημένο με δυναμικό τρόπο, έχει τη δυνατότητα να συμβάλλει σε οποιοδήποτε αντίστοιχο πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων.

Τα τρία πρώτα κεφάλαια της εργασίας παρουσιάζουν το θεωρητικό υπόβαθρο όπως επίσης και τη σημερινή κατάσταση σε θέματα διαχείρισης απορριμμάτων, τεχνολογιών καύσης και περιβαλλοντικής προστασίας. Αρχικά γίνεται αναφορά στη θεωρία της πολυκριτηριακής ανάλυσης και παρουσιάζονται τα κυριότερα σημεία της. Το επόμενο κεφάλαιο αφιερώνεται στις μεθόδους θερμικής αξιοποίησης των αστικών απορριμμάτων και στην παρουσίαση στατιστικών στοιχείων που αφορούν την παραγωγή απορριμμάτων στην Ελλάδα. Το 3^ο κεφάλαιο αναφέρεται στις κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας πιθανής εγκατάστασης και τις μεθόδους προστασίας.

Στη συνέχεια, το 4^ο κεφάλαιο αφιερώνεται το μαθηματικό μοντέλο που ακολουθήθηκε και σε μια σύντομη παρουσίαση του υπολογιστικού προγράμματος. Ο κορμός της εργασίας καταλήγει με την ανάλυση των αποτελεσμάτων και τα βασικά συμπεράσματα. Το κλείσιμο γίνεται με τη βιβλιογραφία και το παράρτημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Εισαγωγή

Ένα μεγάλο μέρος των αποφάσεων και επιλογών που θα πάρει ο καθένας στη ζωή του, λαμβάνονται βάσει της στάθμισης – αξιολόγησης εναλλακτικών λύσεων μέσω αντίστοιχων κριτηρίων. Είναι μια διαδικασία πολλές φορές μη αισθητή, έως και υποσυνείδητη, καθώς επιτελείται πολλές φορές γρήγορα, μα είναι σύμφυτη με τη λήψη οποιασδήποτε απόφασης. Σε προσωπικό επίπεδο, (π.χ. επιλογή αυτοκινήτου, θέσης εργασίας, κόμματος στις εκλογές, συζύγου), όπως και σε ευρύτερο κοινωνικό (χωροθέτηση εργοστασίων παραγωγής ηλ. ενέργειας, επιλογή προμηθευτών για εταιρία, αγορά νέων αρμάτων μάχης) είναι απαραίτητη η ανάλυση των επιλογών σε επιμέρους κριτήρια (σε διαφορετικό βάθος κατά περίπτωση) και η σύνθεσή τους, με σκοπό την τελική επιλογή.

Με τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι, έστω και με τρόπο άδηλο, η πολυκριτηριακή ανάλυση συνοδεύει τις περισσότερες περιπτώσεις κατά τις οποίες λαβαίνει χώρα μια διαδικασία λήψης απόφασης. Φυσικά, η ανάγκη της εφαρμογής της ενισχύεται με την πολυπλοκότητα του προβλήματος, όπως και με την ύπαρξη αλληλοσυγκρουόμενων κριτηρίων – στόχων. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί η ποιότητα ενός προϊόντος έναντι της μείωσης του κόστους. Η επιστημονική θεμελίωση της πολυκριτηριακής ανάλυσης και η ανάπτυξη αντίστοιχων ποσοτικών εργαλείων που να υποστηρίζουν αποφάσεις γεννήθηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Τα μεγέθη των προβλημάτων ήταν πρωτόγνωρα και οι αποφάσεις όφειλαν να είναι

γρήγορες και αποτελεσματικές. Π.χ. οι νηοπομπές προς την Ευρώπη έπρεπε να συνδυάζουν ικανό μεταφορικό όγκο και να συνοδεύονται από επίσης ικανό αριθμό πολεμικών πλοίων, χωρίς να είναι υπερβολικά ογκώδεις (έτσι ώστε να είναι σημαντικά πιο ευάλωτες).

Βασικά στοιχεία

Τα βασικά στοιχεία ενός προβλήματος λήψης απόφασης είναι:

- Ο αποφασίζων (Decision maker) (ένας ή περισσότεροι)
- Οι εναλλακτικές λύσεις (Alternatives)
- Ο στόχος της απόφασης.
- Τα κριτήρια σύγκρισης.

Τα κριτήρια αποτελούν τα μέσα μέτρησης των επιδιώξεων του αποφασίζοντα.

Η επιλογή τους είναι από τα σημαντικότερα και λεπτότερα σημεία της όλης διαδικασίας και ένας επιτυχημένος καθορισμός κριτηρίων χαρακτηρίζεται από:

- Πληρότητα

Είναι ανάγκη να καλύπτονται με επάρκεια τα προς σύγκριση βασικά χαρακτηριστικά

- Μη επικάλυψη
- Διαφάνεια

Να είναι, με άλλα λόγια, κατανοητές οι διαστάσεις αξιολόγησης και ο τρόπος μέτρησης των επιδόσεων στους αποφασίζοντες.

- Περιορισμένο αριθμό στοιχείων (για λόγους απλότητας και σαφήνειας)

Οι κατευθύνσεις βελτίωσης των κριτηρίων αναφέρονται σε μεγιστοποίηση (π.χ. οικονομικού ή περιβαλλοντικού οφέλους), ελαχιστοποίηση (π.χ. κοινωνική αντίδραση) ή και επίτευξη ενδιάμεσης τιμής (π.χ. θερμοκρασιακό επίπεδο εσωτερικού χώρου).

Ιδιαίτερη σημασία έχει ο καθορισμός των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται. Μέσω αυτής της διαδικασίας αποδίδεται σε κάθε κριτήριο το επίπεδο σημαντικότητάς του στη λήψη της απόφασης. Οι συντελεστές αντικατοπτρίζουν τις αξίες και τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα, οι οποίες με δυσκολία μπορούν να εκφραστούν με σαφήνεια. Γι' αυτό το λόγο πρόκειται για ένα πολύ λεπτό σημείο.

Οι τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζονται οι συντελεστές βαρύτητας χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- Άμεσες τεχνικές
 - Απόδοση μιας τιμής σε κάθε κριτήριο
 - Ιεραρχική κατάταξη του συνόλου των κριτηρίων
 - Δυαδική σύγκριση της σχετικής σημαντικότητας των κριτηρίων
- Έμμεσες
 - Χρήση ερωταποκρίσεων για τον προσδιορισμό της σχετικής αντιστάθμισης για κάθε ζεύγος κριτηρίων. Προσεκτικά διατυπωμένα ερωτηματολόγια αποστέλλονται (περισσότερες από μια φορές - επαναδιατυπωμένα) σε επιλεγμένους ειδήμονες. Η σύνθεση των απαντήσεων αποδίδει τους ζητούμενους συντελεστές βαρύτητας.
 - Ιεραρχική κατάταξη ενός ενδεικτικού συνόλου επιλογών από την οποία προκύπτει η βαρύτητα την οποία (ασυνείδητα) αποδίδει σε κάθε κριτήριο.

Κύριες κατηγορίες μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης

Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες:

- Μέθοδοι Σύνθεσης Κριτηρίων (aggregation approach)

Οι μέθοδοι αυτές αποτελούν μια μονοκριτηριακή προσέγγιση της μεγιστοποίησης της εκτιμώμενης χρησιμότητας της εναλλακτικής λύσης. Τα κριτήρια συντίθενται, με σκοπό τον υπολογισμό ενός δείκτη της «συνολικής χρησιμότητας – ποιότητας».

Αρχικά οι επιδόσεις των λύσεων στα διάφορα κριτήρια αδιαστατοποιούνται (κανονικοποιούνται) και αφού καθοριστούν οι βαθμοί συνεισφοράς των κριτηρίων (w_j) υπολογίζεται η συνολική χρησιμότητα κάθε λύσης $U(A_i)$.

$$U(a) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot [x_j(A_i)] \quad (1.1)$$

Όπου $x_j(a)$ οι αδιαστατοποιημένες επιδόσεις της λύσης A_i .

Πλέον το πρόβλημα έχει αναχθεί σε μονοδιάστατο και η πλήρης κατάταξη των λύσεων προκύπτει με την εφαρμογή ενός κλασσικού μοντέλου έκφρασης προτιμήσεων:

- Αδιαφορία: $A_k \sim A_i$ αν $U(A_k) = U(A_i)$
- Προτίμηση: $A_k P A_i$ αν $U(A_k) > U(A_i)$

Παραδείγματα μεθόδων σύνθεσης κριτηρίων αποτελούν η κλασσική στάθμιση επιδόσεων, η μέθοδος ιδανικού σημείου, η μέθοδος UTA, κ.α. ^[16]

• Μέθοδοι Ιεράρχησης Λύσεων

Αυτή η κατηγορία μεθόδων βασίζεται στην κατά ζεύγη σύγκριση των επιδόσεων των λύσεων. Υποθέτουν ότι στην πραγματικότητα ο αποφασίζων αντιπαραθέτει κάθε λύση έναντι των άλλων μια προς μια.

Επίσης, η διαδικασία σύγκρισης στηρίζεται στην παραδοχή ότι μικρές διαφορές στις επιδόσεις δεν προϋποθέτουν καταστάσεις «πλήρους» ή «καθολικής» προτίμησης. Τα πραγματικά κριτήρια αντικαθίστανται από «ψευδοκριτήρια» με τιμές από 0 έως 1.

- Τιμή ψευδοκριτηρίου 0 → Κατάσταση αδιαφορίας → $A_k I A_l$
και $[g_j(A_k) - g_j(A_l)] < q_j$
- Τιμή ψευδοκριτηρίου 0-1 → Κατάσταση ασθενούς προτίμησης
→ $A_k Q A_l$ και $g_j(A_l) + p_j \geq g_j(A_k) \geq g_j(A_l) + q_j$
- Τιμή ψευδοκριτηρίου 1 → Κατάσταση σαφούς προτίμησης →
 $A_k P A_l$ και $g_j(A_k) \geq g_j(A_l) + p_j$

, όπου $g_j(a)$ → οι επιδόσεις της εναλλακτικής a στο κριτήριο j

$A_{k,l}$ → οι εναλλακτικές λύσεις k και l

q_j → το κατώφλι αδιαφορίας του κριτηρίου j

Με άλλα λόγια, είναι η μέγιστη διαφορά μεταξύ των επιδόσεων για το συγκεκριμένο κριτήριο, η οποία θεωρείται ασήμαντη για τον αποφασίζοντα.

p_j → το κατώφλι προτίμησης του κριτηρίου j . Αντίστοιχα, είναι η ελάχιστη διαφορά η οποία συνεπάγεται πλήρη υπεροχή της μιας επίδοσης έναντι της άλλης.

Οι μέθοδοι ιεράρχησης λύσεων αποδίδουν (κατ' αρχήν) μια μερική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων, που κάνει αποδεκτές και καταστάσεις ασυγκρισσιμότητας.

Παραδείγματα είναι οι μέθοδοι PROMETHEE^[3] και ELECTRE^[17].

Μια παραλλαγή της μεθόδου PROMETHEE περιγράφεται αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο, όπου παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία. Επίσης, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα των μεθόδων ιεράρχησης λύσεων έναντι των σύνθεσης κριτηρίων και αιτιολογείται η επιλογή τους στην υπολογιστική μεθοδολογία.

Λήψη ή υποστήριξη αποφάσεων με μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης;

Είναι σαφές ότι τα μαθηματικά μοντέλα της πολυκριτηριακής ανάλυσης απέχουν από το να προσομοιώνουν τη διαδικασία λήψης απόφασης. Επίσης, δεν είναι δυνατόν τα υπολογιστικά τους αποτελέσματα να θεωρούνται απολύτως αντικειμενικά, μη επιδεχόμενα αμφισβήτηση και να υιοθετούνται τυφλά. Πρόκειται για εργαλεία που υποβοηθούν το έργο του αποφασίζοντα, ο οποίος έχει πάντα τον τελευταίο λόγο.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Μετά την παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου της πολυκριτηριακής ανάλυσης, το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται πρώτα σε στοιχεία για τη διαχείριση των απορριμμάτων στην Ελλάδα, έπειτα στον ορισμό και την ανάλυση του ΚΑΠ (Καυσίμου από Απορρίμματα) και στο μεγαλύτερο μέρος του στην παρουσίαση των τεχνολογιών προς αξιολόγηση.

Εισαγωγή

Η καύση των αστικών απορριμμάτων (ΑΣΑ) σε υπαίθριους σωρούς είναι μία διαδικασία που εξακολουθεί και σήμερα να εφαρμόζεται σε πολλά σημεία της χώρας μας. Πρόκειται για διεργασία καύσης που πολλές φορές είναι ανεξέλεγκτη και που άλλοτε ξεκινάει με αυτανάφλεξη λόγω των εξώθερμων ζυμώσεων, άλλοτε πάλι προκαλείται από τους υπαλλήλους των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ), με σκοπό την μείωση του όγκου των ΑΣΑ αλλά και την καταπολέμηση της δυσσομίας.

Η θερμική αξιοποίηση των αστικών απορριμμάτων με τη μέθοδο της καύσης σε ειδικούς κλιβάνους είναι μία μέθοδος που πρωτοεφαρμόστηκε στα τέλη του περασμένου αιώνα στην Γερμανία και την Μεγάλη Βρετανία^[7]. Οι εγκαταστάσεις θύμιζαν κατακόρυφα καμίνια, όπου η τροφοδοσία γινόταν από το επάνω μέρος, ενώ οι στάχτες αφαιρούνταν από θυρίδες στο κάτω μέρος του καμινιού. Σήμερα η καύση αποτελεί συνήθη πρακτική, ειδικά για την Ιαπωνία και τη βόρεια Ευρώπη (Πίνακας 1).

	%		%
Ελβετία	81	Γαλλία	36
Ιαπωνία	78	Νορβηγία	21
Ολλανδία	58	ΗΠΑ	20
Σουηδία	58	Αυστρία	14
Δανία	56	Μ. Βρετανία	10
Βέλγιο	56	Καναδάς	6
Γερμανία	44	Φινλανδία	6

Πίνακας 1 Ποσοστό καύσης αστικών απορριμμάτων μετά από ανακύκλωση Πηγή:[10]

Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη θερμική εκμετάλλευση των απορριμμάτων συναρτήσει της θερμοκρασίας. Η καύση γίνεται σε εστίες ανάλογες εκείνων που χρησιμοποιούνται για τα συμβατικά στερεά καύσιμα (ανθρακίτης, λιγνίτης). Η συνηθέστερη εφαρμογή είναι η καύση σε κεκλιμένες εσχάρες διαφόρων τύπων, που άρχισε να εφαρμόζεται ήδη από την δεκαετία του '20. Σήμερα λειτουργούν ανά τον κόσμο περισσότερες από 1.000 εγκαταστάσεις του είδους αυτού. Όταν η καύση γίνεται σε εσχάρα, τότε, κατά την διαδρομή των απορριμμάτων στην σχάρα, λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες που αναγράφονται σε σκούρο φόντο στον Πίνακα 2

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

Πίνακας 2 Διεργασίες κατά την θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων Πηγή: [13]

Τα τελευταία 25 χρόνια έχει προωθηθεί σημαντικά και η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη, που άρχισε να εφαρμόζεται από το 1970 περίπου σε διάφορες

χώρες, με πρωτοπόρο την Ιαπωνία. Ο αριθμός των μονάδων που εφαρμόζουν αυτή την τεχνολογία κυμαίνεται σήμερα πάνω από 500.

Από το 1980 περίπου, άρχισε η αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων για την θερμική επεξεργασία των κάθε είδους απορριμμάτων, οι οποίες συνίστανται στον διαχωρισμό των βασικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεργασία και που είναι πυρόλυση, αεριοποίηση, καύση, ώστε να εξελίσσονται σε χωριστές συσκευές. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός ο πλήρης διαχωρισμός της καύσης και των προϊόντων αεριοποίησης, που είναι δυνατόν να γίνεται σε τελείως διαφορετικό χώρο. Οι νέες τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης υπόσχονται βελτιωμένες περιβαλλοντικές επιδόσεις και ευνοϊκότερους βαθμούς ηλεκτρικής απόδοσης. Η κατασκευή εγκαταστάσεων της κατηγορίας αυτής άρχισε ουσιαστικά πριν 4-5 χρόνια και σήμερα λειτουργούν περίπου 10 εγκαταστάσεις στον κόσμο.

Στατιστικά στοιχεία διαχείρισης απορριμμάτων στην Ελλάδα

Γενικά

Από την πρωτόγονη ακόμα κοινωνία, ο άνθρωπος επιβαρύνει με απόβλητα τη φύση, μόνο που παλαιότερα τόσο η ποσότητα, όσο και η σύνθεση αυτών των αποβλήτων ήταν τέτοιες, που επέτρεπαν την αφομοίωσή τους μέσω φυσικών διεργασιών. Οι αγρότες ήταν οι πρώτοι, που εφάρμοσαν την ανακύκλωση, για ενεργειακή αξιοποίηση και λιπασματοποίηση. Η έλλειψη προϋποθέσεων, για την υγειονομική διάθεση των δημοτικών αποβλήτων στα πρώτα «αστικά» κέντρα, τις μεσαιωνικές πόλεις, οδήγησε σε τραγικές καταστάσεις. Η ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων οδήγησε σε φοβερές επιδημίες, που αποδεκάτισαν το μισό περίπου πληθυσμό της τότε Ευρώπης. Από τον 19ο αιώνα ξεκίνησε μια σοβαρή θεώρηση των μέτρων, για την προστασία της Δημόσιας Υγείας. Μεταξύ αυτών ήταν και η υπό

προϋποθέσεις διάθεση των απορριμμάτων, με στόχο τον έλεγχο των εξ αυτών προερχομένων επιδημιών.

Στις χώρες της Ε.Ε, η σχετική νομοθεσία ολοκληρώθηκε τη δεκαετία του 1970-1980 και αφορά τη διάθεση των επικίνδυνων αποβλήτων, τη συλλογή και μεταφορά των δημοτικών απορριμμάτων κλπ. Ήδη αυτό το θεσμικό πλαίσιο εκσυγχρονίζεται και εγκρίνονται μέτρα, για την ανακύκλωση, την προώθηση βιοαποδομήσιμων υλικών, τη συσκευασία κλπ.

Στη χώρα μας, η διαχείριση των στερεών δημοτικών απορριμμάτων γίνεται από τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης, που καλούνται να χειριστούν το πρόβλημα, ελαχιστοποιώντας τη ρύπανση του περιβάλλοντος και τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία.

Ποιοτική σύνθεση δημοτικών στερεών αποβλήτων

Η ποιοτική σύσταση των απορριμμάτων είναι παράμετρος δυναμική, τόσο τοπικά, όσο και χρονικά. Αυτό απλά σημαίνει ότι είναι συνάρτηση της περιοχής, της χώρας και της εποχής του έτους και επιπλέον παρουσιάζει διαχρονικές μεταβολές. Και τούτο γιατί υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες, που ξεκινούν από τις καταναλωτικές και διαιτολογικές συνήθειες των κατοίκων της περιοχής, τις προτιμώμενες συσκευασίες και το σύνολο των δραστηριοτήτων τους.

Για να προκύψει η σύσταση των απορριμμάτων μιας περιοχής, σ' ένα συγκεκριμένο χρόνο, απαιτούνται συστηματικές δειγματοληψίες, μετρήσεις και αναλύσεις, οι οποίες πρέπει να βασίζονται σε κάποιο αποδεκτό στατιστικά μοντέλο. Για να γίνει εκτίμηση (όχι μέτρηση) της σύστασης, πρέπει να υπάρχει μία μεγάλη βάση δεδομένων, η οποία θα έχει προέλθει από ανάλογες μετρήσεις και να γίνει προσαρμογή των δεδομένων αυτών, στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής που εξετάζεται.

Αυτή η βάση δεδομένων, για τον Ελληνικό χώρο, θα απαιτούσε στοιχεία από περιοχές αγροτικές, ημιαστικές, αστικές και τουριστικές, τα οποία να αναφέρονται σε πρόσφατες μετρήσεις και κατά το δυνατόν ταυτόσημες χρονικές περιόδους. Ακόμη στη βάση αυτή, πρέπει να αναφέρονται και οι εποχιακές διακυμάνσεις, οι οποίες ας σημειωθεί, ότι για τις τουριστικές περιοχές είναι πολύ σημαντικές.

Τα διαθέσιμα στοιχεία-αποτελέσματα, ερευνητικών προγραμμάτων μέτρησης της ποιοτικής σύστασης των δημοτικών απορριμμάτων, που αναφέρονται στο 1996, για τον Ελληνικό χώρο, φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Κωδικός	Περιοχή	Έτος	Χαρακτήρας	Πληθυσμός (κάτοικοι)
ΠΣ1	Αττική	1985	Αστική Περιοχή	3.500.000
ΠΣ2	Θεσσαλονίκη	1986	Αστική Περιοχή	1.000.000
ΠΣ3	Δήμος Ηρακλείου	1987	Ημιαστική Περιοχή	115.000
ΠΣ4	Δήμος Ρόδου	1988	Τουριστική Περιοχή	45.000
ΠΣ5	Δήμος Κω	1989	Τουριστική Περιοχή	15.000
ΠΣ6	Κοινότητες Νήσου Κω	1990	Τουριστική Περιοχή	12.000
ΠΣ7	Δήμος Χανίων	1990	Ημιαστική Περιοχή Αγροτική Περιοχή	50.000
ΠΣ8	Κοινότητες Βορείου Αξονα Ν. Χανίων	1991	Αγροτική Περιοχή	50.000
ΠΣ9	Δήμος Καλαμάτας	1992	Ημιαστική Περιοχή Αγροτική Περιοχή	60.000
ΠΣ10	Δήμος Νάξου	1994	Τουριστική Περιοχή	4.500

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά δειγματοληπτικών περιοχών Πηγή: [7]

Παράμετρος	Μονάδα	Αττική	Χανιά	Κως	Καλαμάτα
Υγρασία	%wt	37,50	40,80	31,40	37,50
Τέφρα	%wt	33,80	13,30	23,30	14,40
Οργανικός άνθρακας	%wt	30,77	20,50	21,00	21,20
Θείο	mg/kg	1.324	1.119	1.198	1.065
Χλώριο	mg/kg	1.297	879	976	950
Φθόριο	mg/kg	101	9,00	12,00	535
Ψευδάργυρος	mg/kg	103	32,00	43,00	37,00
Χαλκός	mg/kg	8,01	47,00	68,00	59,00
Νικέλιο	mg/kg	45,50	3,10	3,10	3,00
Κάδμιο	mg/kg	0,38	0,50	0,40	0,40
Μόλυβδος	mg/kg	221,00	8,20	7,30	3,60
Χρώμιο	mg/kg	61,15	10,70	17,60	12,20

Πίνακας 4 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά δημοτικών απορριμμάτων Πηγή: [7]

Κωδικός Περιοχής	ΠΣ1	ΠΣ2	ΠΣ3	ΠΣ4	ΠΣ5	ΠΣ6	ΠΣ7	ΠΣ8	ΠΣ9	ΠΣ10
%										
Ζυμώσιμα	56,0	51,7	52,5	41,6	37,3	39,8	55,2	54,8	47,0	48,3
Χαρτί	20,0	17,7	17,2	13,6	25,0	23,5	19,1	18,1	25,0	21,6
Χαρτί τυπωμένο					4,8	4,9	5,7	5,3	3,1	4,5
Χαρτόνι					2,9	2,0	2,5	3,1	8,7	3,7
Άλλα Χαρτιά					14,7	13,7	9,4	7,8	11,5	11,3
Χαρτί συσκευασίας (Tetrapak)					2,6	2,9	1,5	1,9	1,7	2,1
Πλαστικά	7,0	7,2	14,3	11,7	10,9	11,4	8,3	8,8	7,4	9,4
PE-Film					4,8	4,9	5,6	5,5	5,1	4,4
PET					1,2	1,2	0,2	0,4	0,3	1,5
PVC					1,4	2,0	0,1	0,2	0,1	0,6
Λαπά					3,5	3,3	2,4	2,7	1,9	2,9
Μέταλλα	3,0	5,9	2,8	10,5	5,4	5,2	3,7	3,9	3,5	3,3
Αλουμίνιο					2,0	2,0	0,9	1,1	0,6	1,1
Σίδηρ, μέταλλα					3,2	3,1	2,8	2,7	2,8	2,1
Μπαταρίες					0,2	0,1	-	0,1	0,1	0,1
Γυαλί	2,5	4,1	1,4	12,6	12,3	9,6	4,0	3,5	2,6	5,8
Λοιπά Υλικά	11,5	13,4	11,8	10,0	9,3	9,8	9,7	9,3	14,4	11,6
Υφασμα					1,9	2,1	1,7	1,6	2,1	1,8
Δέρμα-Λαστιχο	4,0	9,4	11,8	4,2	0,7	0,8	0,4	0,6	0,6	0,8
Ξύλο					2,0	2,0	1,7	1,9	3,7	2,0
Αδρανή	7,5	4,0		2,6	3,2	2,6	1,9	2,1	5,0	3,2
Λοιπά				3,2	1,5	2,3	4,0	3,1	3,0	3,8
Ειδικό Βάρος (kg/m ³)	167,2	131,0		119,8	113,0	113,1	137,9	108,7	80,7	121,9
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (kJ/kg)	7.395	4.392		4.852			7.063		7.327	7.678

Πίνακας 5 Αποτελέσματα μετρήσεων ποιοτικής και ποσοτικής σύστασης απορριμμάτων στον Ελληνικό χώρο Πηγή: [7]

Ειδικά για το νομό Αττικής, παρατίθεται ο πίνακας 6, ο οποίος προέρχεται από στοιχεία του Ενιαίου Συνδέσμου Δήμων Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ). Παρουσιάζεται και η πρόβλεψη για την αναμενόμενη σύσταση των αστικών απορριμμάτων το έτος 2004.

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	% κατά βάρος	
	1990	2004
Οργανικά	51,0	40
Χαρτί	22,3	32
Μέταλλα	4,2	3,5
Πλαστικά	10,0	13,0
Γυαλί	3,5	2,5
Υφάσματα, ξύλα, δέρματα, ελαστικά	3,5	3,2
Αδρανή	2,0	2,5
Διάφορα υπόλοιπα	3,5	3,3
Σύνολο	100	100

Πίνακας 6 Σύνθεση απορριμμάτων νομού Αττικής

Πηγή: [5]

Όπως φαίνεται, σε μία δεκαπενταετία αλλάζει ριζικά η σύνθεση των ΑΣΑ (Αστικών Απορριμμάτων). Έτσι, από τα συστατικά που κυρίως ενδιαφέρουν την παραγωγική διαδικασία της διαλογής:

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

Με βάση αυτό το δεδομένο, αλλά και τα στοιχεία που προέρχονται από άλλες χώρες, είναι φυσικό να αναμένεται ότι η σύνθεση των ΑΣΑ και, συνεπώς και του ΚΑΠΙ (Καύσιμο από απορρίμματα – βλ. επόμενη παράγραφο) που διαχωρίζεται από αυτά με μηχανική διαλογή, θα μεταβάλλεται συνεχώς, κυρίως επηρεαζόμενη από:

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

Ημερήσια παραγωγή δημοτικών στερεών απορριμμάτων.

Υπάρχει γενικά δυσκολία ανεύρεσης στοιχείων που αφορούν τις περισσότερες μικρές πόλεις της Ελλάδας. Τα πιο πολλά και αξιόπιστα δεδομένα αναφέρονται στα μεγάλα αστικά κέντρα. Όμως τα δεδομένα αυτά, αφορούν κυρίως την παραγωγή απορριμμάτων του αστικού πληθυσμού των μεγαλουπόλεων, με τα σύγχρονα πρότυπα κατανάλωσης, τρόπου ζωής, περιβαλλοντικής αντίληψης κλπ. και κατά συνέπεια δεν ισχύουν και δεν είναι δυνατόν να εφαρμόζονται σε μελέτες άλλων νομών της χώρας. Οι μελέτες αυτές, απαιτούν το επίπονο έργο της συγκέντρωσης στοιχείων της συγκεκριμένης περιοχής.

Το πιο σημαντικό στοιχείο, αναφορικά με την ανά κάτοικο ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων, είναι ότι υπάρχει σαφής αυξητική τάση^[7], οφειλόμενη στις μεταβολές του βιοτικού επιπέδου, στα καταναλωτικά πρότυπα και στην επικράτηση των συσκευασιών μιας χρήσης, που επιβεβαιώνεται από προγενέστερες εκτιμήσεις - μετρήσεις. Για την περιοχή της Αττικής, σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνει μελέτη της Agrad und Hydrotechnic, για το έτος 1971, η μέση ημερήσια παραγωγή ανά άτομο, έφτανε τα 0,801 kg, ενώ σύμφωνα με τα στοιχεία του ΕΣΔΚΝΑ, το 1990 έφτανε τα 0,964 kg/κατ.

Στοιχεία από μετρήσεις των Ερευνητικών Προγραμμάτων του Εργαστηρίου Ανόργανης - Αναλυτικής Χημείας του ΕΜΠ, καθώς επίσης και στοιχεία του ΕΣΔΚΝΑ, για την ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων, σε διαφορετικές από άποψη βιοτικού επιπέδου περιοχές, δίδονται στον επόμενο πίνακα.

ΟΜΑΔΑ (ταξινόμηση ανάλογα με βιοτικό επίπεδο)	ΔΗΜΟΙ	Μ.Η.Π.Α. (kg/άτομο.ημέρα)	
		1985	1990
I	Ν. Λιοσίων	0,635	0,743
	Καματερού	0,590	0,607
	Ζεφυρίου	0,479	0,542
II	Αθήνας	0,923	1,078
III	Εκάλης	1,364	1,590
	Κηφισιάς	1,074	1,482
	Π. Ψυχικού	0,823	1,262

Πίνακας 7 Μέση ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων κατά άτομο για περιοχές της Αττικής
Πηγή: [7]

Περιοχή	Μ.Η.Π.Α. (kg/άτομο.ημέρα)
Αττική	0,95
Θεσσαλονίκη	0,82
Ρόδος	0,78
Χανιά	0,98
Κως	1,12
Καλαμάτα	1,00

Πίνακας 8 Μέση ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων κατά άτομο για διάφορες πόλεις
Πηγή: [7]

Συγκεκριμένα τα στοιχεία των παραπάνω πινάκων, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι για τις πόλεις της Ελληνικής περιφέρειας με κατοίκους άνω των 100.000, η ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων, ανέρχεται σήμερα σε περίπου 1,1 κιλά / κάτοικο. Για πόλεις κάτω των 100.000 κατοίκων και μέχρι κομπόλεις των 2.000 κατοίκων, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων κυμαίνεται από 1,1 έως 0,8 κιλά περίπου / κάτοικο.

Για τους οικισμούς κάτω των 2.000 κατοίκων, η ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων, ανά κάτοικο, πρέπει να κυμαίνεται από 0,6 έως 0,8 κιλά περίπου.

Καύσιμο από απορρίμματα (ΚΑΠ)

Το ΚΑΠ είναι το Καύσιμο κλάσμα των Αστικών Απορριμμάτων. Η αγγλική του ονομασία είναι RDF, από τα αρχικά του όρου Refuse Derived Fuel. Όπως λέει και το όνομά του, το ΚΑΠ έχει ως κύρια συστατικά τα συστατικά των αστικών απορριμμάτων (ΑΣΑ), που έχουν χαρακτηριστεί ως καύσιμα και είναι κατά κύριο λόγο χαρτί, πλαστικά, ξύλο και ύφασμα. Ο διαχωρισμός των καυσίμων αυτών συστατικών γίνεται με επεξεργασία του συνολικού μίγματος των απορριμμάτων και η αξιοποίησή τους γίνεται με την παραγωγή ενέργειας.

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

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

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

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

- αδρανή που οδηγούνται σε ΧΥΤΑ.

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

Το ΚΑΠ, όπως εξέρχεται από την εγκατάσταση της μηχανικής διαλογής, είναι χύμα και ασυμπίεστο, (fluff), με συνέπεια να έχει πολύ χαμηλό ειδικό βάρος, συνήθως κάτω των 100 kg/m^3 . Η υγρασία του είναι της τάξης του 30%. Κάτω από τις συνθήκες αυτές, είναι πολύ δύσκολη η αποθήκευση και διακίνησή του, καθώς και η τροφοδοσία του προς οποιαδήποτε επεξεργασία. Για τον λόγο αυτό το ΚΑΠ διακινείται συνήθως σε συμπιεσμένη μορφή.

Τα χαρακτηριστικά του ΚΑΠ στις διάφορες μορφές του είναι:

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

Πίνακας 9 Χαρακτηριστικά ΚΑΠ.

Πηγή: [14]

Η σύνθεση του ΚΑΠ μεταβάλλεται σε άμεση αντιστοιχία με τα ΑΣΑ από τα οποία προήλθε. Όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η σύνθεση των αστικών απορριμμάτων ποικίλει τόσο τοπικά όσο και χρονικά. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η εκτίμηση της σύνθεσης του ΚΑΠ που θα προέλθει από το νομό Αττικής για το έτος 2004

	Ποσοστό μάζας (%)
Οργανικά	0,6
Χαρτί	70
Πλαστικό	21,7
Μέταλλα	0,08
Γυαλί	0,16
Υφάσματα, λάστιχα, δερμάτινα, ξύλα	4,2
Αδρανή	0,02
Διάφορα	3,1

Πίνακας 10 Σύνθεση και χαρακτηριστικά του ΚΑΠ, με βάση τις προβλέψεις για το έτος 2004
Πηγή: [5]

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται τυπικές τιμές του ποσοστού υγρασίας και της θερμογόνου δύναμης των ακατέργαστων αστικών απορριμμάτων, των καυσίμων από απορρίμματα και του καυσίμου από χαρτί.

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

Πίνακας 11 Θερμογόνος δύναμη ΑΣΑ, ΚΑΠ και καυσίμου από χαρτί (ΚΑΧ).
Πηγή: [5]

Τα ΑΣΑ, καθώς και το από αυτά παραγόμενο ΚΑΠ, περιέχουν ρύπους σε αναλογίες που ποικίλλουν, ανάλογα με την προέλευσή τους. Οι ρύποι αυτοί, μετά την καύση, εμφανίζονται είτε στην τέφρα είτε στα απαέρια της επεξεργασίας και, αν δεν ληφθούν τα ενδεδειγμένα μέτρα, είναι δυνατόν να δημιουργήσουν περιβαλλοντικά προβλήματα. Σημειώνεται, πάντως, ότι η τεχνολογία επιτρέπει σήμερα την αντιμετώπιση των ρύπων αυτών με τρόπο ασφαλή, ώστε να μην υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Στον επόμενο πίνακα, δίνεται η συνήθης διακύμανση των κυριότερων ρύπων

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

Πίνακας 12 Συνήθειες τιμές κυριότερων ρύπων στα αστικά απορρίμματα, στο ΚΑΠ και στο ΚΑΧ
Πηγή: [14]

Κύριοι στόχοι θερμικής επεξεργασίας

Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων αποβλέπει στην εξουδετέρωση ενός προβλήματος που έχει ήδη λάβει ανησυχητικές διαστάσεις, λόγω των εκατομμυρίων τόνων απορριμμάτων που παράγονται κάθε μέρα.

Οι κυριότεροι στόχοι είναι:

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

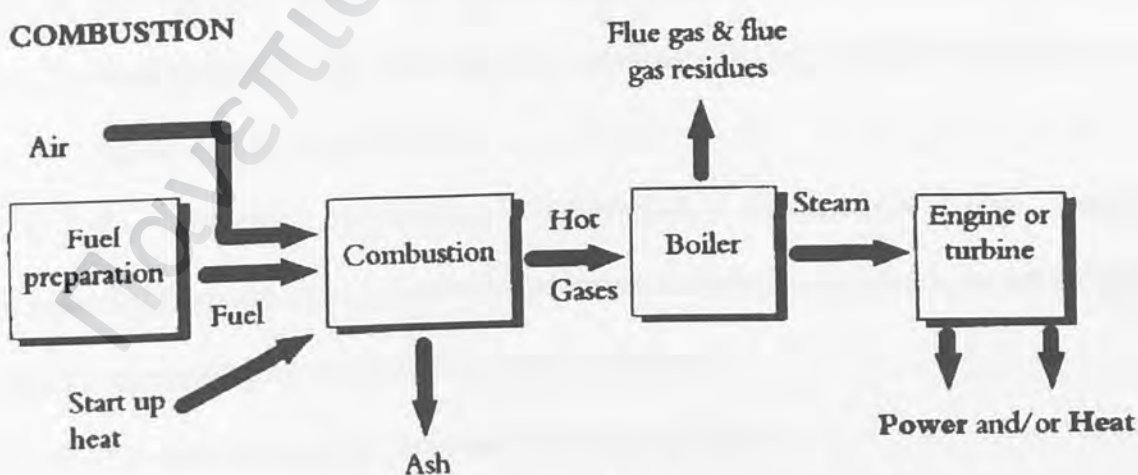
Επί πλέον ο τύπος εγκατάστασης που θα επιλεγεί πρέπει να εξασφαλίζει:

- Σταθερές συνθήκες λειτουργίας

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

Καύση αστικών απορριμμάτων

Το κύριο μέρος της ενέργειας που περιέχεται στα ΑΣΑ μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο μετά τη μετατροπή του δεδομένου καυσίμου μέσω συστημάτων καύσης. Η τεχνολογία καύσης και οι σχετικές τεχνολογίες είναι ως εκ τούτου ο σημαντικότερος παράγοντας στην απόδοση του ενεργειακού συστήματος. Είναι ουσιαστικό, ότι μέσω της επιλεγόμενης τεχνολογίας καύσης, το καύσιμο αξιοποιείται σε διαφορετικό βαθμό και ότι διαφοροποιούνται πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



Σχήμα 1

Σχηματικό διάγραμμα διαδικασιών καύσης

Πηγή: [6]

Οι κύριοι λόγοι, που οδήγησαν στην συνολική ανάπτυξη νέων τεχνολογιών καύσης, είναι:

- Η αυξανόμενη ανησυχία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Η επιβεβλημένη ανάγκη για την επίλυση του προβλήματος των αστικών απορριμμάτων.

Οι βασικές αρχές, για την επιλογή και το σχεδιασμό ενός σταθμού, που στηρίζεται στην απ' ευθείας καύση αστικών απορριμμάτων, συνοψίζονται στα εξής:

- Η ενέργεια του καύσιμου πρέπει να αξιοποιείται στο μέγιστο βαθμό και η παραγωγή ενέργειας να είναι σταθερή
- Η πορεία της καύσης πρέπει να ελέγχεται πλήρως και μάλιστα αυτόματα, να επιτυγχάνονται χαμηλές τιμές εκπομπών για CO και TOC (Total Organic Content), καθώς επίσης και χαμηλά επίπεδα σκόνης στα καυσαέρια.
- Η καύση του καύσιμου υλικού, πρέπει να πραγματοποιείται έτσι ώστε, να επιτυγχάνεται η πλέον αποτελεσματική καύση των εκλυόμενων αερίων, των σωματιδίων με τη μικρότερη δυνατή παραγωγή τέφρας.
- Ο σταθμός πρέπει να εξασφαλίζει υψηλούς και σταθερούς χρόνους διαθεσιμότητας της παραγόμενης ενέργειας, να έχει εύκολη λειτουργία και χαμηλό κόστος συντήρησης.

Οι σταθμοί ενεργειακής αξιοποίησης βιοκαυσίμων (στα οποία συμπεριλαμβάνονται με την ευρεία έννοια και τα αστικά απορρίμματα), με απ' ευθείας καύση, περιλαμβάνουν τα παρακάτω κύρια συστήματα :

- Σύστημα μεταφοράς και τροφοδοσίας βιοκαυσίμου.
- Σύστημα εστίας καύσης - λέβητα.
- Σύστημα καθαρισμού καυσαερίων-καμινάδα.
- Σύστημα απομάκρυνσης / μεταφοράς τέφρας.

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

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

Τα τελευταία χρόνια, ένας σημαντικός αριθμός σταθμών συμπαραγωγής με βιοκαύσιμο έχουν εγκατασταθεί, σε χώρες της Ε.Ε., με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω ατμοστρόβιλου, και αξιοποίησης της επιπλέον διαθέσιμης θερμότητας σε δίκτυα τηλεθέρμανσης. Επειδή θεωρείται ότι το οικονομικό όφελος από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο όφελος από την πώληση της θερμότητας σε δίκτυα τηλεθέρμανσης, ο στόχος είναι η παραγωγή μεγαλύτερων κατά το δυνατό ποσοστών ηλεκτρικής ενέργειας.

Η καύσιμη ύλη με την οποία τροφοδοτείται η μονάδα, πρέπει να τηρεί συγκεκριμένες προδιαγραφές όσον αφορά φυσικά (υγρασία, μέγεθος, πυκνότητα) και θερμικά (θερμογόνος δύναμη) χαρακτηριστικά, προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα κατά τη λειτουργία του συστήματος. Η θερμογόνος δύναμη, δηλ. το ενεργειακό περιεχόμενο της καύσιμης ύλης ανά μονάδα μάζας, εξαρτάται άμεσα από την περιεκτικότητα σε υγρασία.

Σε κάθε σύστημα παραγωγής θερμότητας, υπάρχει μια τιμή μέγιστης επιτρεπόμενης περιεκτικότητας της καύσιμης ύλης σε υγρασία, καθώς απαράδεκτα υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά την αποθήκευση και την καύση, μείωση της ισχύος και του βαθμού απόδοσης του συστήματος, καθώς και να αυξήσει το κόστος διαχείρισης των απορριμμάτων. Αυτό σημαίνει ότι, με τελικό στόχο τη βέλτιστη ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων και παράλληλα την κατά το δυνατόν μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ο ατμολέβητας πρέπει να παράγει ατμό σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, όπου το ωφέλιμο αποτέλεσμα για τον ατμοστρόβιλο είναι μεγαλύτερο.

Τα αστικά απορρίμματα κατά την καύση απελευθερώνουν χημικές ενώσεις, που προκαλούν διάβρωση στους αλούς του ατμολέβητα. Η διάβρωση αυτή εξαρτάται άμεσα από τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες στα μέταλλα των αλών, και αυτό θέτει πρακτικά όρια στα επίπεδα θερμοκρασίας, που μπορούν να αναπτυχθούν, ιδιαίτερα όταν ο χρόνος ζωής των τμημάτων υπερθέρμανσης πρέπει να είναι ικανοποιητικός.

Συνήθως, οι θερμοκρασίες που επιλέγονται, για τον ατμό στους σύγχρονους σταθμούς συμπαραγωγής, κυμαίνονται από 380-450°C. Πάντως είναι δυνατό κι έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορους σταθμούς συμπαραγωγής, η επιπλέον υπερθέρμανση του ατμού, με χρήση φυσικού αερίου με σκοπό την αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, αποφεύγοντας με τον τρόπο αυτό αυξημένα προβλήματα διάβρωσης.

Ποιότητα καύσης

Προκειμένου να επιτευχθεί καλή ποιότητα καύσης, υψηλός βαθμός απόδοσης και ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις στο σχεδιασμό του χώρου καύσης. Η θερμοκρασία στην εστία καύσης, ο

στροβιλισμός και ο χρόνος παραμονής του καυσίμου στην εστία καύσης, είναι τα κυριότερα μεγέθη, που επηρεάζουν την ποιότητα της καύσης.

Η θερμοκρασία στην εστία καύσης πρέπει να είναι ικανοποιητικά υψηλή (800°-900°C), ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ξήρανση, αεριοποίηση και καύση του καυσίμου. Ο στροβιλισμός πρέπει να είναι αρκετά ισχυρός, ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική ανάμιξη του αέρα και των αερίων της καύσης, με κατάλληλη κατανομή του αέρα. Η εστία καύσης πρέπει να έχει διαστασιολογηθεί σωστά, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ο απαραίτητος χώρος και χρόνος, που θα επιτρέψει την πλήρη καύση.

Προκειμένου να εξασφαλιστούν οι απαιτούμενες υψηλές θερμοκρασίες, ανεξαρτήτως του ποσοστού της εμπεριεχόμενης υγρασίας, ο θάλαμος καύσης φέρει ειδική επένδυση από δύστηκτα μέταλλα. Ο σχεδιασμός της επένδυσης της εστίας καύσης είναι πολύ σημαντικός, για την ποιότητα της καύσης.

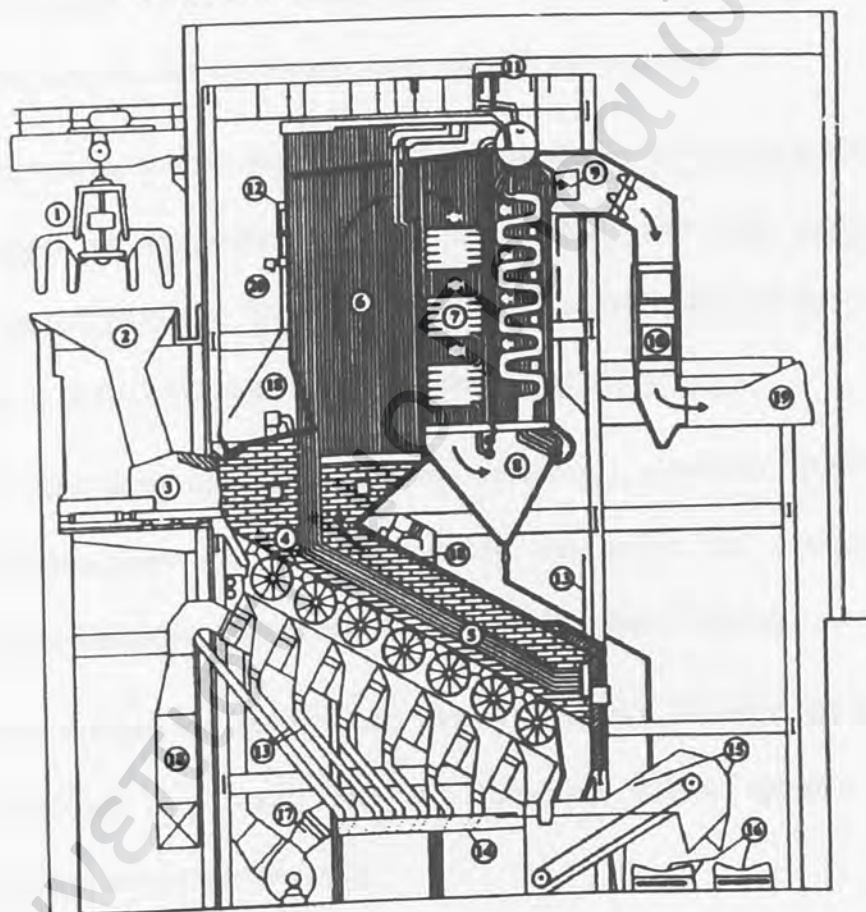
Καύση σε εσχάρα

Γενικά

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

Τα απορρίμματα, οδηγούνται σε μία κεκλιμένη σχάρα, όπου συντελούνται οι διαδικασίες που οδηγούν στην πλήρη αποτέφρωση, όπως δείχνει το Σχήμα 2. Στο σχήμα αυτό φαίνεται καθαρά η αλληλουχία των διαδικασιών, από την ξήρανση ως την τελική σύντηξη της τέφρας, που μπορούν να ελεγχθούν με κατάλληλη προσαρμογή της ροής του πρωτεύοντος αέρα. Ο δευτερεύων αέρας εισάγεται πάνω από την περιοχή της καύσης, πριν τα καυσαέρια διοχετευθούν προς διάθεση ή αξιοποίηση.

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



- | | |
|--------------------------|---|
| 1 Bunker refuse grab | 11 Superheater outlet |
| 2 Refuse hopper | 12 Downcomer tubes |
| 3 Refuse feeder | 13 Dust clutes |
| 4 Incineration grate | 14 Dust conveyor |
| 5 Combustion chamber | 15 Residual quenching tank |
| 6 Radiation shaft | 16 Residual conveyors |
| 7 Superheater | 17 Secondary air fan and ducting |
| 8 Boiler bank (entrance) | 18 Forced draught fan discharge to grate |
| 9 Economizer gas bypass | 19 Flue gas to precipitator and induced draught fan |
| 10 Economizer | 20 Sootblowers |

Σχήμα 2

Τομή εγκατάστασης καύσης απορριμμάτων σε εσχάρα.

Πηγή: [11]

Μία τυπική εγκατάσταση θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ παρουσιάζεται στο Σχήμα 2 και επίσης, στο πίνακα Π.1 του παραρτήματος απεικονίζονται βασικά χαρακτηριστικά τεσσάρων εγκαταστάσεων καύσης οικιακών απορριμμάτων σε εσχάρες

Διαδικασία καύσης

Η διαδικασία καύσης ακολουθεί τις ακόλουθες φάσεις:

1. Στο σημείο εισόδου το υλικό θερμαίνεται επιφανειακά και ξηραίνεται από την επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας του χώρου της εστίας.
2. Στην επόμενη φάση παράγονται αέρια, προερχόμενα είτε από πυρόλυση, αν δεν μπορεί να εισχωρήσει στην μάζα οξυγόνο, είτε από αεριοποίηση, αν διοχετεύεται αέρας. Τα παραγόμενα αέρια καίγονται στην συνέχεια στην αέρια φάση, όταν βρεθούν σε περιοχή πλούσια σε οξυγόνο.
3. Η τρίτη φάση, που απαιτεί και την μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου, δηλαδή ατμοσφαιρικού αέρα, είναι η καύση της μάζας του υλικού, όπου και απελευθερώνεται η κύρια ποσότητα της θερμότητας δύναμης.
4. Στην τέταρτη και τελική φάση γίνεται η θερμική σύντηξη των στερεών που απομένουν στην τέφρα, που, στο τέλος της σχάρας πέφτουν στην ειδική υποδοχή και απομακρύνονται

Οι συνθήκες καύσης απορριμμάτων απεικονίζονται στον επόμενο πίνακα

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

Πίνακας 13 Συνθήκες καύσης απορριμμάτων σε εσχάρες.

Πηγή: [5]

Εστία καύσης

Η καύση λαμβάνει χώρα στην εστία καύσης, όπου το καύσιμο υλικό τροφοδοτείται συνεχώς, για την ανάφλεξη και καύση, με ταυτόχρονη παροχή του απαιτούμενου αέρα καύσης. Η ενέργεια από τα θερμά καυσαέρια αξιοποιείται στον λέβητα και η τέφρα απομακρύνεται από την εστία καύσης. Η ανάγκη για συνεχή και αποτελεσματική καύση των βιοκαυσίμων, δημιουργεί υψηλές απαιτήσεις στο σχεδιασμό της εστίας καύσης.

Η τροφοδοσία της καύσιμης ύλης, η παροχή αέρα καύσης και τα επίπεδα θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης είναι οι πλέον αποφασιστικοί παράμετροι, για την ποιότητα της καύσης, όσον αφορά την αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας, καθώς επίσης τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τύποι εσχάρων

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

Οι βασικές κατηγορίες εσχάρων είναι:

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

Δεν αναφέρονται ουσιαστικές διαφορές, σχετικά με την αποδοτικότητα των διαφόρων τύπων εσχάρων.

Λέβητες

Από τον θάλαμο καύσης, τα καυσαέρια οδηγούνται στο τμήμα μετατροπής του λέβητα, όπου η θερμότητα μεταφέρεται στο νερό / ατμό κυκλοφορίας του λέβητα. Το τμήμα μετατροπής πρέπει να είναι ανεξάρτητο και διαχωρισμένο από τον θάλαμο καύσης, προκειμένου να αποφεύγεται το φαινόμενο ψύξης της διεργασίας καύσης, λόγω των υδρόψυκτων επιφανειών, καθώς αυτά θα εμπόδιζε την κατάλληλη καύση των αερίων. Στις περισσότερες περιπτώσεις το τμήμα μετατροπής τοποθετείται πάνω από την εσχάρα. Λέβητες εξοπλισμένοι με μετακινούμενη εσχάρα με αλυσίδα ή με κλιμακωτή εσχάρα, φέρουν επίσης επένδυση από δύστηκτα μέταλλα, προκειμένου να διατηρήσουν τις υψηλές θερμοκρασίες.

Καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη

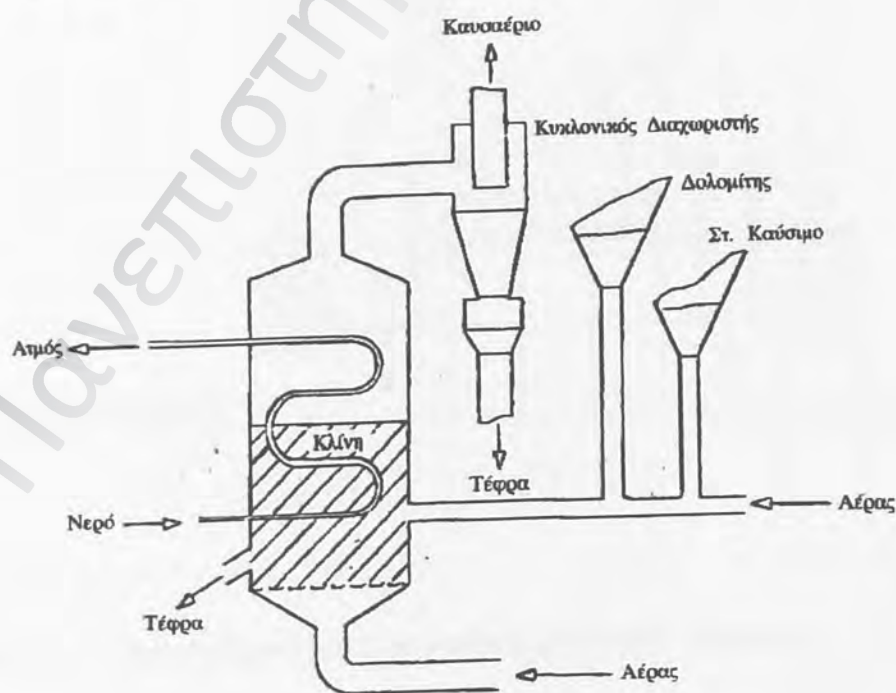
Γενικά

Η μέθοδος είναι αρκετά νεότερη από την καύση σε εσχάρες, αλλά βρίσκεται ήδη σε εφαρμογή επί 25 περίπου χρόνια. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την

καύση βιολογικής ύλης, αλλά γρήγορα άρχισε να εφαρμόζεται και στα απορρίμματα. Την ευρύτερη διάδοση έχει η μέθοδος στην Ιαπωνία, αλλά υπάρχουν αρκετές εγκαταστάσεις και στην Ευρώπη (όπου λειτουργούν μονάδες θερμικής επεξεργασίας ΚΑΠ σε εμπορική κλίμακα, στην Μαδρίτη και στην Βερόνα – πίνακας Π.2). Η καύση αστικών απορριμμάτων σε ρευστοποιημένη κλίνη θεωρείται πιο αποτελεσματική μέθοδος από την καύση σε συμβατική εστία με εσχάρες.

Διαδικασία καύσης

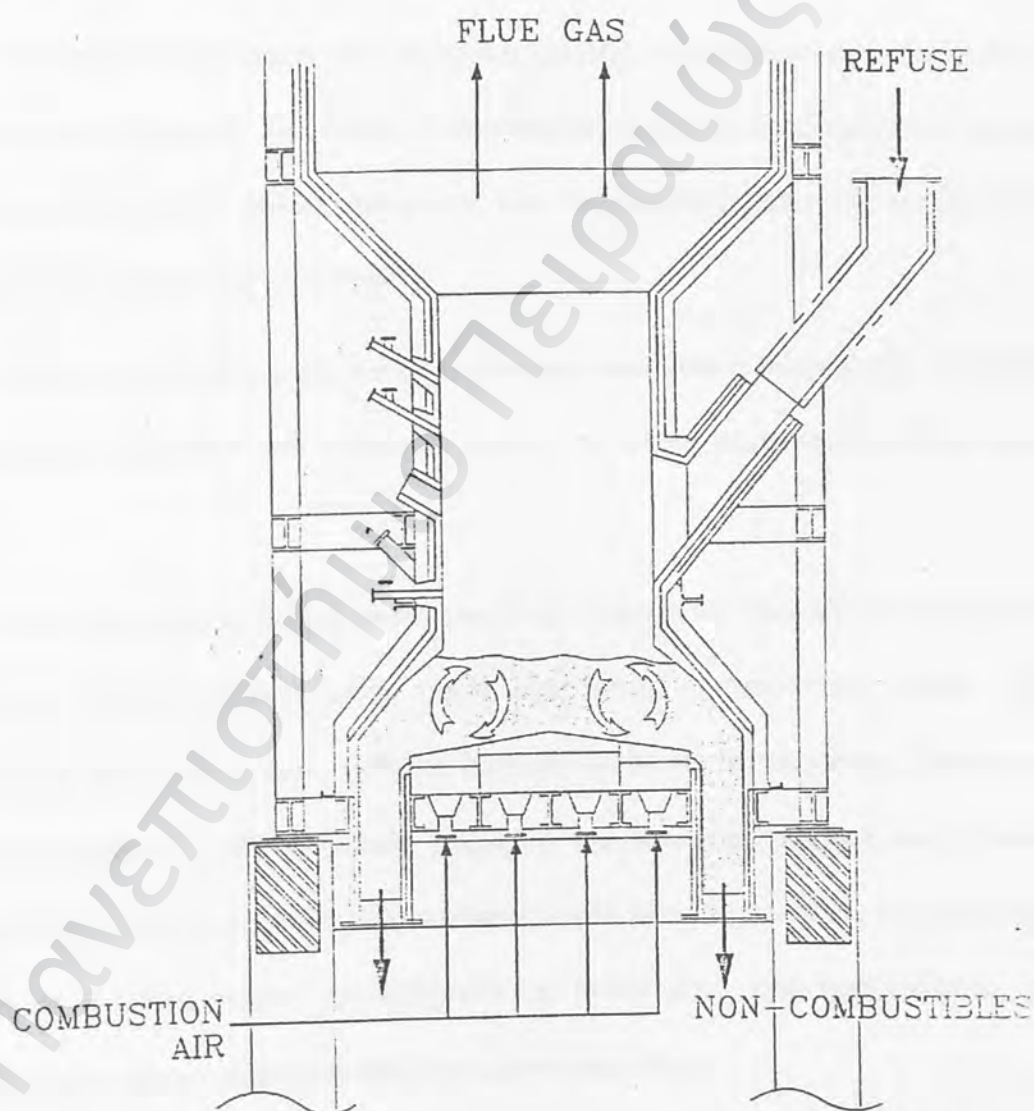
Η διαδικασία της καύσης με την μέθοδο αυτή είναι τελείως διαφορετική από την καύση σε εσχάρες. Στην περίπτωση της κλίνης (Σχήμα 3) το καύσιμο τροφοδοτείται σε μία μάζα υλικού (συνήθως πυριτικής άμμου) η οποία βρίσκεται σε μία θερμοκρασία περί τους 850 °C, και στην οποία διοχετεύεται η απαιτούμενη για την καύση ποσότητα αέρα, με τρόπο τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται ρευστοποίηση του καυσίμου και του αδρανούς υλικού.



Σχήμα 3
κλίνης

Σχηματική παράσταση της αρχής λειτουργίας θαλάμου καύσης ρευστοποιημένης
Πηγή: [12]

Η ρευστοποίηση, που επιτυγχάνεται με την κατάλληλη εισαγωγή του αέρα καύσης, επιβάλλει περιορισμούς στο μέγεθος των τεμαχίων υλικού που μπορούν να επεξεργασθούν αποτελεσματικά. Έτσι αν πρόκειται για ΑΣΑ, απαιτείται προηγούμενη άλεση σε τεμάχια. Το μέγιστο μέγεθος των τεμαχίων ποικίλλει κατά περίπτωση από 60 έως 200-300 mm.



Σχήμα 4 Τομή θαλάμου καύσης ρευστοποιημένης κλίνης Πηγή: [5]

Στις εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης, η εστία έχει συνήθως τετραγωνική ή κυκλική διατομή και ο πυθμένας είναι διαμορφωμένος ως δάπεδο διανομής του

(πρωτεύοντος) αέρα καύσης (Σχήμα 4). Είναι σημαντικό να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή της παροχής του αέρα καύσης, όπως και να διατηρηθεί μια ελάχιστη ταχύτητα που να εξασφαλίζει την αιώρηση του υλικού της κλίνης. Εντός της κλίνης υπάρχει το αδρανές υλικό (συνήθως πυριτική άμμος) ελεγχόμενης κοκκομετρίας, το οποίο βρίσκεται σε αιώρηση, λόγω της προσαγωγής του αέρα από το κάτω μέρος της εστίας.

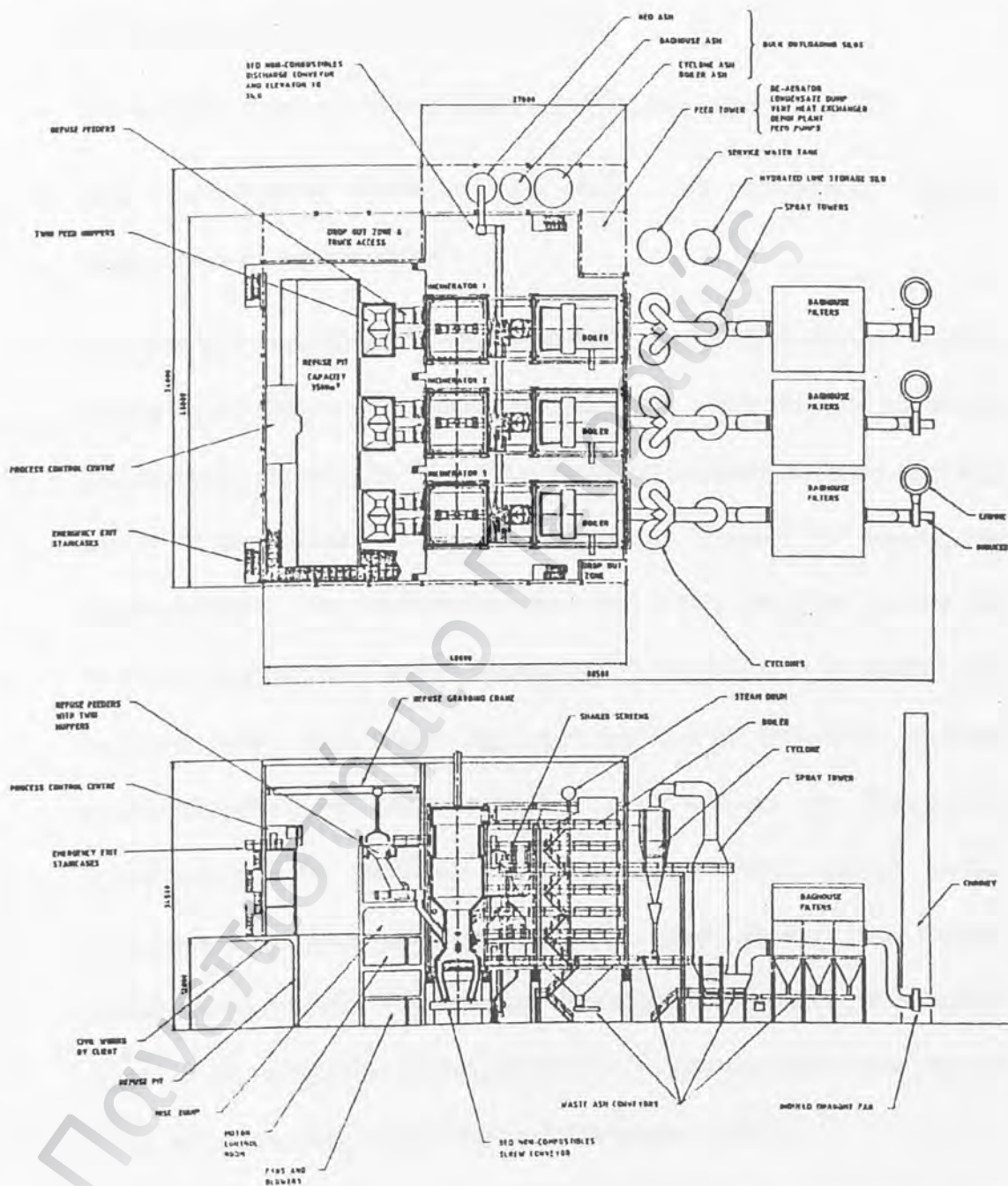
Το καύσιμο προσάγεται στην κλίνη και καίγεται ευρισκόμενο σε ανάμιξη με το αδρανές υλικό (Σχήμα 4). Σε μερικές εγκαταστάσεις, η καύση ολοκληρώνεται «μετά» την κλίνη (την περιοχή δηλαδή αιώρησης των σωματιδίων) μέσω της προσαγωγής ποσοτήτων δευτερογενούς αέρα καύσης.

Στο άνω μέρος της εστίας υπάρχει συνήθως κυκλωνικός διαχωριστής, ο οποίος διαχωρίζει τα σωματίδια του αδρανούς υλικού, τα οποία ανατροφοδοτούνται στην κλίνη.

Στην συνέχεια, τα θερμά καυσαέρια διοχετεύονται σε έναν λέβητα ανάκτησης θερμότητας (ατμογεννήτρια), στον οποίο παράγεται ο υπέρθερμος ατμός που εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο (κύκλος Rankine) με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 5). Κάθε σωματίδιο καυσίμου, περιβάλλεται πρακτικά από αδρανές υλικό και καίγεται σε σχεδόν ιδανικές συνθήκες, αφού λόγω του τυρβώδους χαρακτήρα της κλίνης, η συγκέντρωση του οξυγόνου σε αυτήν είναι πρακτικά σταθερή, με αποτέλεσμα, οι παραγόμενοι ρυπαντές να ελαχιστοποιούνται.

Το αδρανές υλικό, λόγω της μεγάλης ειδικής θερμοχωρητικότητας του, διασφαλίζει τη σταθερότητα της καύσης. Λειτουργεί σαν ένας «θερμικός συσσωρευτής», διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία σε ολόκληρη την κλίνη,

εξισορροπώντας τις διαφοροποιήσεις στην ποιότητα του καυσίμου και στην περιεχόμενη σε αυτό υγρασία.



Σχήμα 5 Κάτοψη και πλάγια όψη της εγκατάστασης καύσης αστικών απορριμμάτων της Μαδρίτης (Πίνακας Π.2) Πηγή: [5]

Στην περίπτωση της κλίνης δεν παρατηρείται η σειρά των φυσικοχημικών διεργασιών - ξήρανση, πυρόλυση, αποτέφρωση, σύντηξη - όπως επάνω στην εσχάρα, δεδομένου ότι όλες αυτές οι φάσεις εξελίσσονται συγχρόνως. Η θερμοκρασία

λειτουργίας είναι μεταξύ 800 και 950°C. Ο περιορισμός της μέγιστης θερμοκρασίας της κλίνης ορίζεται από:

- Το σχηματισμό NO_x σε υψηλές θερμοκρασίες
- Την αποφυγή τήξης του υλικού κλίνης (συνήθης θερμοκρασία 920 °C)
- Την ικανοποιητική δέσμευση του θείου (σε περιπτώσεις υψηλών περιεκτικοτήτων του καυσίμου)
- Την αποφυγή δημιουργίας συσσωματωμάτων λόγω «υαλοποίησης». Υπάρχει περίπτωση να χαθεί η δυνατότητα ρευστοποίησης, λόγω σύντηξης της κλίνης (υαλοποίηση), και αποτελεί ένα αρκετά σύνηθες φαινόμενο, το οποίο εξαρτάται από τα θερμικά χαρακτηριστικά της παραγόμενης τέφρας^[7]. Οι ενώσεις των αλκαλιμετάλλων, που προέρχονται από την τέφρα (συνήθως καλίου και νατρίου), σχηματίζουν χαμηλού σημείου τήξης ευτηκτικά με το πυρίτιο, που περιέχεται στην άμμο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα δημιουργία μεγάλων συσσωματωμάτων, τα οποία συντελούν στην απώλεια της δυνατότητας ρευστοποίησης. Το πρόβλημα είναι εντονότερο όταν, στερεά αστικά απορρίμματα, χρησιμοποιηθούν σαν βιομάζα, χωρίς να έχει γίνει διαλογή γυαλιών προηγουμένως. Τότε όπως και στην περίπτωση βιομάζας, που παράγει στάχτη με αρκετή ποσότητα αλκαλιμετάλλων, να χρησιμοποιηθεί σαν αδρανές πληρωτικό υλικό, αλούμινα ή ακόμα καλύτερα άμμο χρωμίτη.

Αντίστοιχα, το κάτω όριο της θερμοκρασίας λειτουργίας ανυψώνεται από την απαίτηση για υψηλό βαθμό απόδοσης της καύσης.

Λόγω της πολύ καλής ανάμιξης του καυσίμου με το αδρανές υλικό της κλίνης και την έντονη τυρβώδη κίνηση των σωματιδίων, η ποιότητα του καυσίμου δεν είναι παράγοντας αποφασιστικής σημασίας για την ποιότητα της καύσης, με αποτέλεσμα η

μέθοδος αυτή να κρίνεται ως «ιδανική» για καύση αστικών απορριμμάτων, τα οποία έχουν πολύ ετερογενή σύσταση.

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

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

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

Γενικά οι φυσικο-χημικές διεργασίες στην ρευστοποιημένη κλίνη είναι ανάλογες με εκείνες της καύσης σε σχάρα – παρόλο που δεν υπάρχει αντίστοιχη σειρά εξέλιξης – με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται αξιόλογες διαφοροποιήσεις των επί μέρους συστατικών της τέφρας.

Τύποι συστημάτων ρευστοποιημένης κλίνης

Υπάρχουν δύο κύριες τεχνολογίες καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη (FBC – Fluidized Bed Combustion):

- Η καύση σε "αναβράζουσα" ρευστοποιημένη κλίνη (Bubbling Fluidized Bed Combustion, BFBC)
- Η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (Circulating Fluidized Bed Combustion, CFBC).

Οι τεχνολογίες BFBC και CFBC εμφανίζουν αρκετές ομοιότητες, αλλά και διαφορές τόσο στο σχεδιασμό, όσο και στα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Παρακάτω δίδεται βασική τεχνική περιγραφή, για κάθε μία από αυτές.

Ένας άλλος διαχωρισμός που γίνεται αφορά το αν ο θάλαμος καύσης βρίσκεται υπό πίεση ή όχι. Έτσι, απαντάται και η καύση υπό πίεση σε ρευστοποιημένη κλίνη (PFBC – Pressurized Fluidized Bed Combustion), που έχει το πλεονέκτημα ότι επιτυγχάνεται η ίδια δυναμικότητα σε μικρότερη μονάδα. Αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης του όγκου του αερίου, σαν αποτέλεσμα της αυξημένης πίεσης στο σύστημα. Το κυριότερο μειονέκτημα της τεχνολογίας PFBC είναι ότι απαιτείται περισσότερο πολύπλοκος εξοπλισμός, με άμεση συνέπεια την αύξηση του κόστους κατασκευής. Τα συστήματα "υπό πίεση" δεν έχουν φθάσει ακόμα σε εμπορική κλίμακα, αν και υπάρχει έντονη σχετική έρευνα και ανάπτυξη. Η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη, υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες, είναι συνηθισμένη και εμπορικά ανεπτυγμένη τεχνολογία.

Οι μονάδες BFBC υπό συνθήκες πίεσης, έχουν κλίνες με μεγαλύτερο βάθος και χρησιμοποιούν χαμηλότερες ταχύτητες για τη ρευστοποίηση, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερους χρόνους παραμονής. Οι παραπάνω παράγοντες αυξάνουν το συνολικό βαθμό απόδοσης. Τέλος, τα καυσαέρια, από μονάδες FBC υπό πίεση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αεριοστρόβιλο πριν το στάδιο παραγωγής ατμού, αυξάνοντας το συνολικό βαθμό απόδοσης του κύκλου.

Καύση σε αναβράζουσα ρευστοποιημένη κλίνη (Bubbling fluidized bed combustion, BFBC)

Οι μονάδες τεχνολογίας BFBC, ήταν οι πρώτες που αναπτύχθηκαν, για εμπορικές εφαρμογές.

Κάτω από συνθήκες πλήρους ρευστοποίησης, η κλίνη εμφανίζεται έντονα "αναβράζουσα", ομοιάζοντας με νερό που κοχλάζει, απ' όπου η τεχνολογία πήρε και το όνομά της ("bubbling"). Τα σωματίδια της κλίνης αιωρούνται έντονα αλλά παραμένουν στην κλίνη.

Οι ταχύτητες του αέρα είναι αρκετά χαμηλές και κυμαίνονται γενικά από 1-4 m/s. Οι μονάδες αυτές χαρακτηρίζονται από σαφώς καθορισμένη κλίνη σε σχήμα και βάθος. Το μέγεθος του υλικού κλίνης κυμαίνεται από 0,5 mm έως 3 mm. Η θερμοκρασία καύσης κυμαίνεται γενικά από 800°C έως 950°C.

Θερμότητα ανακτάται στο χώρο του θαλάμου, συνήθως μέσω τοιχωμάτων περιβρεχόμενων από νερό. Επίσης, σε αρκετές μονάδες BFBC αυλοί είναι "βυθισμένοι" στην κλίνη, απάγοντας θερμότητα και διατηρώντας τη θερμοκρασία της κλίνης στα επιθυμητά επίπεδα.

Η πρώτη γενιά μονάδων FBC, ήταν αντιδραστήρες "αναβράζουσας" κλίνης χαμηλών ταχυτήτων. Τα στερεά, που συμπαρασύρονταν από τα καυσαέρια, κατακρατούντο σε κυκλώνες ή σακόφιλτρα και απομακρύνονταν. Στις απομακρυνόμενες ποσότητες στερεών, υπήρχε σημαντικό ποσοστό άκαυστου καυσίμου, καθώς και υλικό κλίνης, που δεν είχε αντιδράσει (στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης μη αδρανούς υλικού κλίνης).

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, στο σχεδιασμό των επόμενων μονάδων, να αναπτυχθεί η διαδικασία της ανακυκλοφορίας των στερεών σωματιδίων.

Καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία

Η τεχνολογία της CFBC είναι η δεύτερη χρονικά τεχνολογία καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη που αναπτύχθηκε. Οι ταχύτητες του αέρα είναι υψηλότερες και κυμαίνονται γενικά από 4-6 m/s. Έτσι, μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων απομακρύνονται από το θάλαμο, συμπαρασυρόμενα από το έντονο ανοδικά ρεύμα αέρα. Τα σωματίδια αυτά κατακρατούνται σε ειδική διάταξη και επανατροφοδοτούνται στο θάλαμο καύσης. Το μέγεθος των σωματιδίων του υλικού κλίνης κυμαίνεται από 0,1 mm έως 0,8 mm. Η θερμοκρασία καύσης κυμαίνεται και εδώ από 800°C έως 950°C.

Λόγω των υψηλών ταχυτήτων στο θάλαμο, δεν διαμορφώνεται σαφώς καθορισμένη κλίνη με καθορισμένη μορφή και ορισμένο βάθος, όπως στην τεχνολογία BFBC. Επίσης, προκαλείται έντονος στροβιλισμός λόγω του οποίου, το καύσιμο αναμιγνύεται με το υλικό της κλίνης γρήγορα και ομοιόμορφα.

Μέσω της συλλογής και η διοχέτευσης των στερεών σωματιδίων ξανά στο θάλαμο καύσης επιτυγχάνεται αύξηση του βαθμού απόδοσης της καύσης, αλλά και της δέσμευσης του θείου (λόγω της ανακυκλοφορίας του μη αδρανούς υλικού κλίνης). Ο ρυθμός ανακυκλοφορίας είναι γενικά ρυθμιζόμενος, με την απομάκρυνση της επιθυμητής κάθε φορά περίσσειας υλικού.

Το υλικό που ανακυκλοφορεί, γενικά κατανέμεται πάνω απ' την κλίνη βαρυτικά ή τροφοδοτείται στο θάλαμο κάτω από την κλίνη, ανάλογα με τον κατασκευαστή. Η τροφοδοσία κάτω από την κλίνη απαιτεί σύστημα υπό πίεση, ανάλογο με το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου κάτω από την κλίνη.

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα καύσης με ρευστοποιημένη κλίνη

Συγκριτικά με την καθιερωμένη μέθοδο καύσης σε εσχάρες, η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Λιτότητα σχεδιασμού εγκατάστασης και μικρότερες απαιτήσεις χώρου για την κλίνη, συγκριτικά με τις εστίες με εσχάρες.
- Δυνατότητα καύσης ετερογενών καυσίμων υψηλών ποσοστών υγρασίας, με πολύ καλό βαθμό θερμικής απόδοσης. Με τον έντονο στροβιλισμό, προκαλείται πολύ καλή ανάμιξη του καυσίμου, του αέρα και του αδρανούς υλικού της κλίνης, με αποτέλεσμα την βελτιστοποίηση των συνθηκών «επαφής» του καυσίμου με το, απαραίτητο για την καύση, οξυγόνο.
- Είναι δυνατόν να καεί μια μεγάλη ποικιλία καυσίμων διαφορετικού σχήματος, μεγέθους, θερμογόνου δύναμης και περιεκτικότητας σε υγρασία.
- Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, λόγω της ανυπαρξίας κινούμενων μερών εντός της κλίνης.
- Πολύ καλή κάλυψη των περιβαλλοντολογικών οδηγιών-περιορισμών. Μερική εξουδετέρωση των οξειδωτικών ουσιών επιτυγχάνεται στην κλίνη με την προσθήκη ανθρακικών ή δολομιτικών ενώσεων. Με την προσθήκη αλκαλικών ενώσεων, δεσμεύονται οι όξινες ενώσεις (HF , SO_2).
- Η λειτουργία της κλίνης σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 900°C , περιορίζει τη δημιουργία θερμικών οξειδίων του αζώτου (NO_x), ενώ σημαντικά μειωμένες είναι και οι επικαθίσεις τηγμένης τέφρας στις επιφάνειες συναλλαγής, αφού οι θερμοκρασίες τήξης της τέφρας είναι συνήθως μεγαλύτερες των 900°C .
- Υψηλός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας, λόγω της συνεχούς επαφής του αδρανούς υλικού με το καύσιμο. Η μεταφορά θερμότητας γίνεται ταχύτατα, επειδή η

διαθέσιμη επιφάνεια των κόκκων της άμμου ανέρχεται σε χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα

- «Γρήγορος» ρυθμός καύσης σε σύγκριση με τα συστήματα καύσης σε εσχάρες. Ελέγχονται και βελτιστοποιούνται αποτελεσματικότερα οι συνθήκες καύσεις, έτσι ώστε να μειώνεται σημαντικά ο σχηματισμός ανεπιθύμητων παραπροϊόντων.
- Η μεγάλη θερμική αδράνεια του συστήματος, επιτρέπει διακοπές στην λειτουργία (shutdowns) της κλίνης για μερικές ώρες ή ακόμα και 1 έως 2 ημέρες και επανεκκίνηση με δυνατότητα παροχής ατμού σε συνθήκες πλήρους φορτίου εντός 1 ώρας, χωρίς απαιτήσεις καύσης βοηθητικών καυσίμων για την εκκίνηση.
- Υπάρχει η δυνατότητα καύσης συμπληρωματικών καυσίμων (βιομάζα), σε περίπτωση που η σύσταση ή η παροχή του βασικού καυσίμου (ΚΑΠ) μεταβληθεί.

Τα πιθανά μειονεκτήματα της μεθόδου, είναι συνοπτικά τα εξής :

- Οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης είναι προς το παρόν μικρής ισχύος συγκρινόμενη με τις αντίστοιχες που διαθέτουν εσχάρες (Πίνακες Π.1 και Π.2 του παραρτήματος). Για την αύξηση της ισχύος (αύξηση ειδικής φόρτισης διατομής της κλίνης) απαιτείται η αύξηση της ταχύτητας ρευστοποίησης (ταχύτητα ρεύματος πρωτογενούς αέρα καύσης), με αποτέλεσμα να προκύπτει η ανάγκη χρήσης κλάδου εξωτερικής ανακυκλοφορίας, για την επαναφορά των σωματιδίων αδρανούς υλικού και άκαυστου καυσίμου στην κλίνη.
- Υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας λόγω της ανάγκης ρευστοποίησης.
- Αυξημένες απαιτήσεις προστασίας των επιφανειών συναλλαγής από μηχανική διάβρωση, αφού, λόγω της μεγάλης φόρτισης της ροής σε σωματίδια, οι επιφάνειες συναλλαγής βρίσκονται σε συνθήκες συνεχούς «αμμοβολής» και υφίστανται σημαντική μηχανική φθορά-διάβρωση.

- Προβλήματα με την χρήση, διακίνηση και εναπόθεση της τέφρας και του αδρανούς υλικού.

Προηγμένες τεχνικές θερμικής αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων

Γενικά

Τα τελευταία 20 χρόνια έχει προχωρήσει η αναζήτηση νέων μεθόδων ενεργειακής αξιοποίησης των αστικών απορριμμάτων. Η έρευνα επικεντρώθηκε στο διαχωρισμό των επιμέρους φάσεων που λαβαίνουν χώρα κατά την «παραδοσιακή» διεργασία της καύσης σε εσχάρες. Έτσι, αναπτύχθηκαν (σαν γενικές κατευθύνσεις) η αεριοποίηση και η πυρόλυση των ΑΣΑ.

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

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

- Δυνατότητα λειτουργίας σε συνθήκες υψηλής θερμικής φόρτισης (MW/m^2)
- Υψηλός βαθμός απόδοσης μετατροπής της ενέργειας. Αν και προς το παρόν οι αισιόδοξες εκτιμήσεις του 30 – 35 % (ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης) δεν έχουν

πραγματοποιηθεί, γενικά θεωρείται ότι είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης από τις εγκαταστάσεις καύσης.

- Στερεά κατάλοιπα πλήρως σταθεροποιημένα και αδρανοποιημένα (λόγω των υψηλών θερμοκρασιών). Τα στερεά υπολείμματα, είναι δυνατόν είτε να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές (οδικά έργα κ.α.) είτε να θαφτούν με ασφαλή τρόπο.
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης μίγματος διαφορετικών καυσίμων, όπως βιομάζα
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης του, χαμηλής θερμογόνου δύναμης παραγόμενου αερίου καυσίμου, ως εναλλακτικό του άνθρακα και του μεθανίου στη βιομηχανία
- Οι εκπομπές ρύπων υπολογίζεται ότι πρόκειται να καλύπτουν τα όρια περιβαλλοντικών εκπομπών που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. (94/67/ΕΕ) σχετικά με τις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας οικιακών απορριμμάτων. Σημειώνεται ότι η εφαρμογή συστήματος καθαρισμού του παραγόμενου αερίου, πριν αυτό οδηγηθεί σε εγκατάσταση καύσης, έχει το πλεονέκτημα της επεξεργασίας μικρότερου όγκου αερίων, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κτήσης, εγκατάστασης και λειτουργίας του σχετικού εξοπλισμού ^[6].
- Οι εξελιγμένες αυτές τεχνολογίες θερμικής μετατροπής είναι συμβατές με προγράμματα ανακύκλωσης, αφού είναι οι πλέον κατάλληλες για την καύση των ομοιογενών καυσίμων (όπως το RDF) που παράγονται από εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας – ανακύκλωσης – διαχωρισμού των οικιακών απορριμμάτων.

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

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

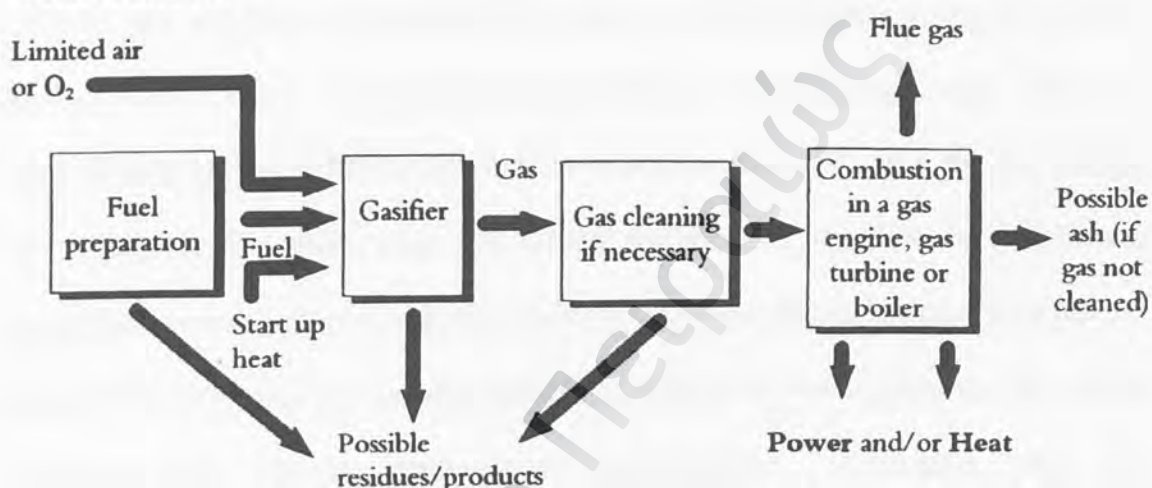
Αεριοποίηση

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

Ορισμός – αρχές διεργασίας

Σαν θερμοχημική αεριοποίηση ορίζεται η μετατροπή ενός στερεού καυσίμου σε αέριο φορέα ενέργειας (αέριο καύσιμο). Τεχνικά η διεργασία αυτή (Σχήμα 6), βρίσκεται ανάμεσα στην πυρόλυση (θέρμανση απουσία οξυγόνου), που παράγει αέριο,

GASIFICATION



Σχήμα 6 Σχηματικό διάγραμμα επεξεργασίας απορριμμάτων με εφαρμογή αεριοποίησης Πηγή: [6]

ανθρακούχο υπόλειμμα (char) και πίσσα (tar), και την καύση, που καταλήγει με ολοκληρωτική οξείδωση του καυσίμου σε διοξείδιο του άνθρακα και νερά. Στην αεριοποίηση, προστίθεται μόνο ένα μικρό ποσό αέρα η οξυγόνου (περίπου 30-50%) του στοιχειομετρικά απαιτούμενου αέρα / οξυγόνου για την πλήρη καύση. Η μικρή ποσότητα οξυγόνου, αντιδρά με τον άνθρακα και το υδρογόνο, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ενέργειας, η οποία ανυψώνει τη θερμοκρασία στην περιοχή των 700-1000°C.

Η αεριοποίηση επιτελείται μέσω των ακόλουθων σταδίων:

- Ξήρανση, για την εξάτμιση της υγρασίας.
- Πυρόλυση, για την παραγωγή αερίου, ατμών πισσωδών ή ελαιωδών ουσιών και στερεού ανθρακούχου υπολείμματος.

- Μερική οξείδωση, των στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων, πυρολυτικών πρισμών και αερίων.

Όταν ένα στερεά καύσιμο θερμαίνεται στους 300° - 500°C , απουσία ενός οξειδωτικού μέσου, πυρολύεται προς ανθρακούχο στερεά υπόλειμμα, υδρογονάνθρακες η πίσσες προς συμπύκνωση και αέρια. Η σχετική παραγωγή αερίων, υγρών και ανθρακούχων στερεών, εξαρτάται κυρίως από το ρυθμό θέρμανσης και την τελική θερμοκρασία. Γενικά το στάδιο της πυρόλυσης, είναι ταχύτερο από αυτό της αεριοποίησης (μερικής οξείδωσης), έτσι το τελευταίο στάδιο είναι αυτό, που ελέγχει την αντίδραση. Τα αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα του σταδίου της πυρόλυσης αντιδρούν στη συνέχεια με το οξειδωτικά μέσο, (συνήθως αέρας) και παράγουν μόνιμα αέρια (CO , CO_2 , H_2) και μικρές ποσότητες αερίων υδρογονανθράκων. Η μερική οξείδωση των στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων, προέρχεται από την αλληλεπίδραση του συνδυασμού πολλών, αερίου-στερεού και αερίου-αερίου, αντιδράσεων, κατά τις οποίες η στερεά ανθρακούχα ένωση, οξειδώνεται προς CO , CO_2 , ενώ H_2 παράγεται μέσω της "water-gas shift" αντίδρασης. Οι αντιδράσεις αερίου - στερεού, κατά τη διάρκεια της οξείδωσης των στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων, είναι οι πιο αργές και αυτές ελέγχουν την ολική αντίδραση της μερικής οξείδωσης (αεριοποίησης).

Ενώ οι φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα ποικίλουν σημαντικά, το αέριο σχηματίζεται κατά κύριο λόγο σε θερμοκρασίες άνω των 750°C . Για οργανικά τροφοδοτικά (καύσιμα), όπως είναι τα περισσότερα αστικά απορρίμματα, το τελικό αέριο είναι κυρίως μείγμα αποτελούμενο από μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, μεθάνιο, νερό, και μικρές ποσότητες υψηλών υδρογονανθράκων. Το άζωτο των οργανικών ενώσεων μετατρέπεται κυρίως σε αμμωνία, ενώ το θείο σε υδρόθειο. Τα αλογόνα παρουσιάζονται είτε ως ενώσεις με υδρογόνο (οξέα) στα αέρια, είτε ως τα

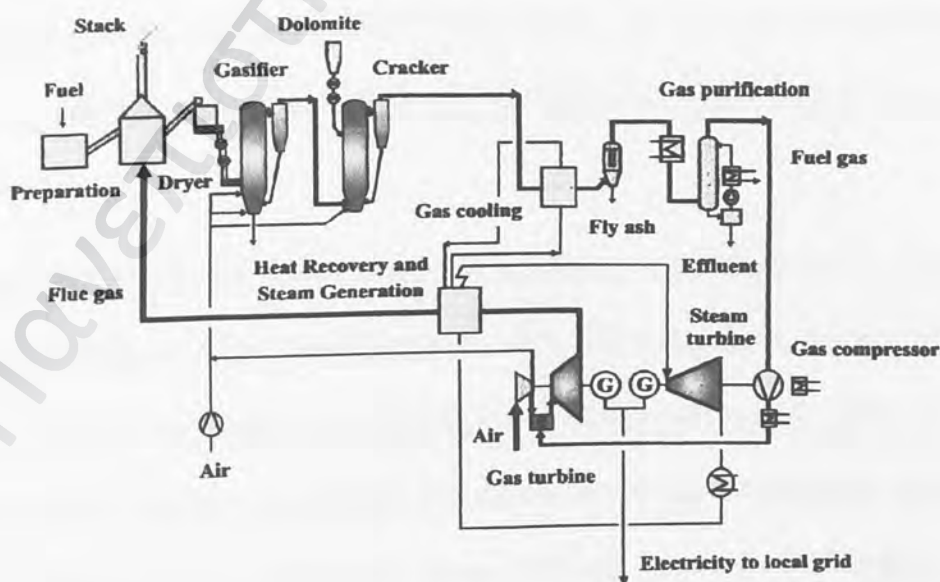
αντίστοιχα άλατα, στα στερεά κατάλοιπα. Η τελική σύνθεση είναι συνάρτηση της πρώτης ύλης, των συνθηκών αεριοποίησης και της θερμοκρασίας. Μέσω αυτών των διεργασιών τα άχρηστα απόβλητα μετατρέπονται σε «εν δυνάμει» χρήσιμα προϊόντα, όπως επίσης ελαττώνεται σημαντικά η επεξεργασία και το κόστος απόθεσής τους.

Εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της ανάπτυξης της τεχνολογίας αεριοποίησης είναι η σουηδική TPS (Σχήμα 7) και η γερμανική Lurgi (Σχήμα 8)

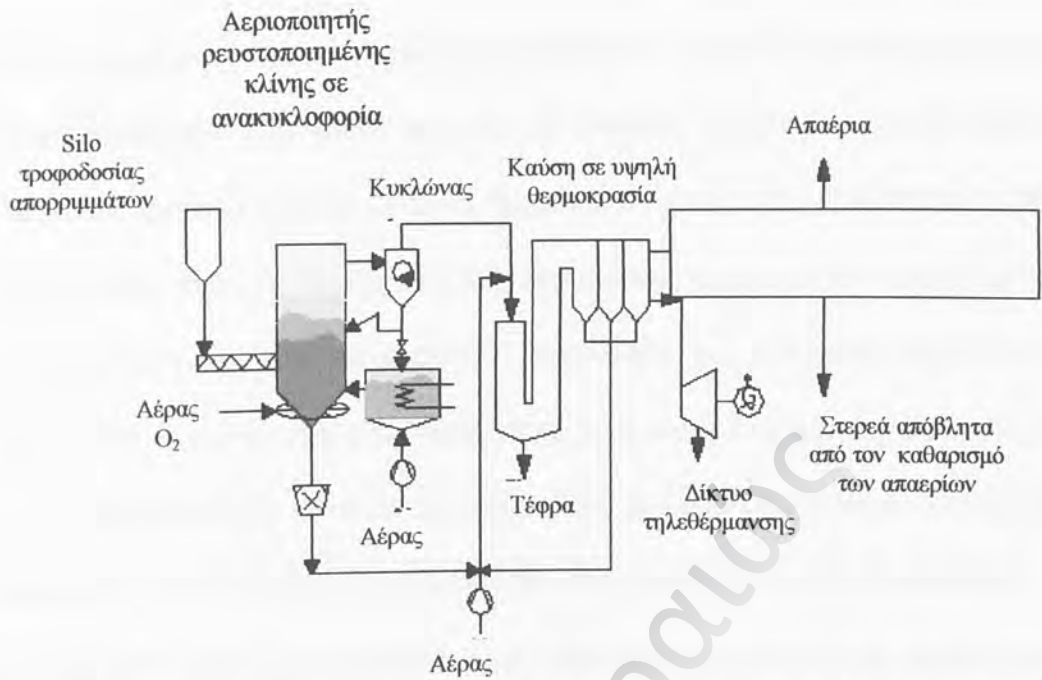
Τρόποι αξιοποίησης παραγόμενου αερίου

Το παραγόμενο αέριο μπορεί να αξιοποιηθεί κατά διάφορους τρόπους^[5], όπως:

- Καύση για παραγωγή ατμού. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζεται, έναντι της συμβατικής καύσης, είναι ότι τα αέρια καθαρίζονται πριν την καύση, δίνοντας έτσι την δυνατότητα λειτουργίας του ατμολέβητα σε υψηλότερες πιέσεις και του υπερθερμαντήρα του ατμού σε υψηλότερες θερμοκρασίες, ώστε να επιτυγχάνονται βελτιωμένες αποδόσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, της τάξης του 30%



Σχήμα 7 Διάγραμμα λειτουργίας σύγχρονου σταθμού αεριοποίησης συνδυασμένου κύκλου (IGCC)
Πηγή: [10]



Σχήμα 8 Τεχνολογία καύσης ΑΣΑ δύο βημάτων της Lurgi. Πηγή: [18]

- Τροφοδοσία μηχανής εσωτερικής καύσης που κινεί ηλεκτρογεννήτρια. Η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ξεπεράσει το 40%, αλλά προϋποθέτει πολύ καλό καθαρισμό των αερίων πριν την τροφοδοσία της μηχανής.
- Κίνηση αεριοστροβίλου και ατμοπαραγωγή σε συνδυασμένο κύκλο (Σχήμα 7). Και η μέθοδος αυτή, που προϋποθέτει επίσης πολύ καλό καθαρισμό των αερίων πριν την τροφοδοσία, μπορεί να οδηγήσει σε αποδόσεις της τάξης του 40% σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Διοχέτευση στο δίκτυο αερίου πόλης. Απαραίτητη προϋπόθεση ο καλός καθαρισμός και η σταθερή ποιότητα. Ανάλογα με το είδος του αεριοποιητή και των συνθηκών αντίδρασης, είναι δυνατόν να παραχθούν αέρια καύσιμα χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμογόνου δύναμης. Αν η χρήση του παραγόμενου αερίου καυσίμου είναι άμεση και επιτόπια, τότε η παραγωγή αερίου χαμηλής θερμογόνου δύναμης (4 - 7 MJ/Nm³) είναι η πιο ενδιαφέρουσα λύση, λόγω της σχετικής απλότητας της διεργασίας.

Αν το παραγόμενο αέριο πρόκειται να μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση ή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη, για την σύνθεση χημικών (αμμωνία, μεθανάλη κλπ.), τότε απαιτείται αέριο με μέση θερμογόνο δύναμη (15 - 25 MJ/Nm³). Τέλος είναι δυνατόν να παραχθεί αέριο υψηλής θερμογόνου δύναμης (30 - 40 MJ/Nm³), για αντικατάσταση του φυσικού αερίου. Η τεχνολογία, για παραγωγή αερίου υψηλής θερμογόνου δύναμης, έχει αναπτυχθεί πολύ πρόσφατα, έτσι η διεργασία αυτή είναι οικονομικά αποδεκτή, μόνο σε περιοχές, όπου η χρήση του φυσικού αερίου είναι επιθυμητή, αλλά σπανίζει, η δε διανομή του είναι δύσκολη και πολύ δαπανηρή.

- Παροχή του αερίου σε βιομηχανία, όπως τσιμεντοβιομηχανία για απ' ευθείας καύση σε εστία. Στην περίπτωση αυτή μειώνονται σημαντικά οι απαιτήσεις καθαρισμού.
- Παροχή του αερίου σε βιομηχανία όπου χρησιμοποιείται για ατμοπαραγωγή.

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

Υπάρχουν επίσης δοκιμαστικές μονάδες που παράγουν υγρούς υδρογονάνθρακες από την επεξεργασία οργανικών καταλοίπων σε αναγωγικό περιβάλλον (CO+H₂), με στόχο την παραγωγή υγρών καυσίμων.

Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών στην αξιοποίηση των ΑΣΑ και του ΚΑΠ υπόσχεται να έχει αξιολογικά αποτελέσματα, τόσο από άποψη ενεργειακής απόδοσης, όσο και από άποψη καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας. Ωστόσο, προς το παρόν πρέπει να τονιστεί ότι δεν έχουν ωριμάσει οι μέθοδοι ώστε να τις συστήσει κανείς χωρίς επιφυλάξεις.

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

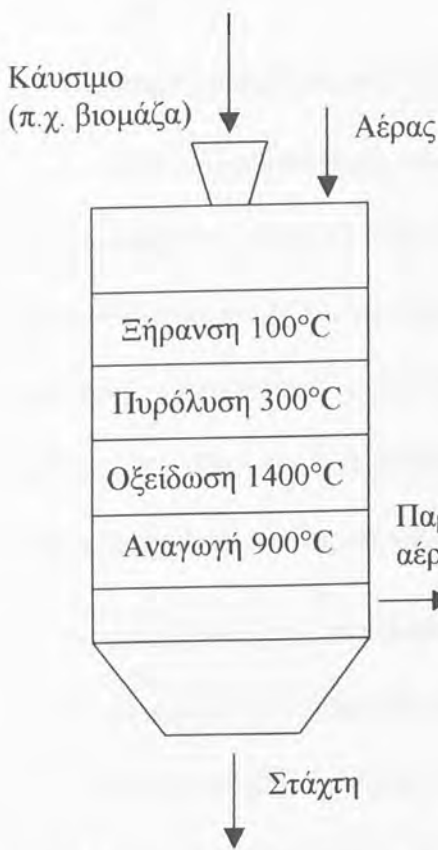
Αντιδραστήρες αεριοποίησης

Οι πιο συνήθεις τύποι αντιδραστήρων, που χρησιμοποιούνται για αεριοποίηση, σε συνδυασμό με αεριοστροβίλους, μηχανές εσωτερικής καύσεως ή συνδυασμένου κύκλου είναι:

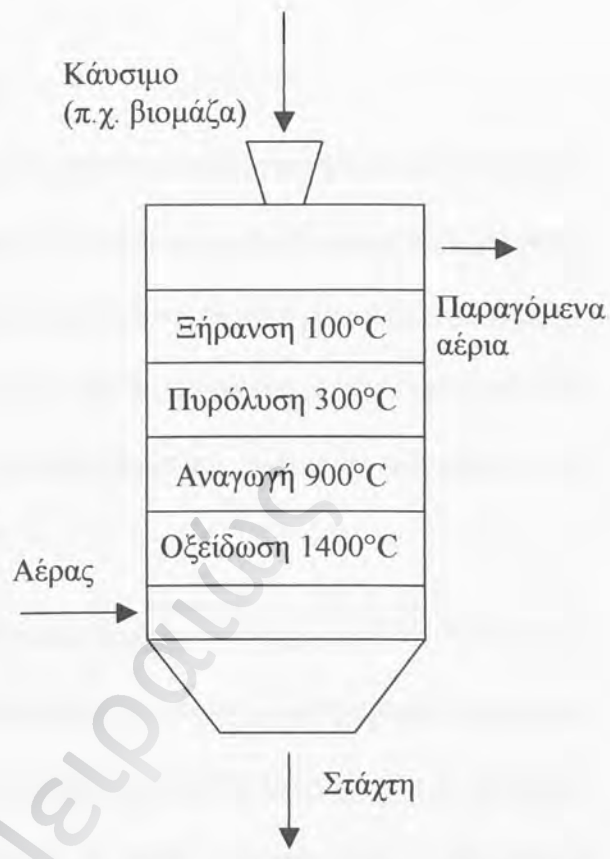
Αντιδραστήρες πυκνής μορφής (Dense-phase) ή αντιδραστήρες σταθερής κλίνης

Οι αντιδραστήρες πυκνής μορφής, έχουν σαν πιο αντιπροσωπευτικά είδος, τον αντιδραστήρα σταθερής κλίνης. Αποτελούν τους πρώτους εμπορικά διαθέσιμους αεριοποιητές και χαρακτηρίζονται από την απλότητα τους, στο σχεδιασμό και στη λειτουργία. Το κύριο χαρακτηριστικό των αεριοποιητών πυκνής μορφής αποτελεί το γεγονός, ότι η καύσιμη ύλη καλύπτει σχεδόν όλο το χώρο του αεριοποιητή, σε αντίθεση με τους αντιδραστήρες αραιάς μορφής, όπου μικρή ποσότητα βιομάζας καταλαμβάνει ένα μικρό μέρος του χώρου του αντιδραστήρα. Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι αεριοποιητών πυκνής μορφής είναι:

- αεριοποιητής κατερχόμενης ροής με ροή προς τα κάτω (ΑΡΙΠΚ) (downdraft)
(Σχήμα 9)
- αεριοποιητής ανερχόμενης ροής ή με ροή προς τα άνω (ΑΡΙΠΑ) (updraft)
(Σχήμα 10)



Σχήμα 9 Αεριοποιητής κατερχόμενης ροής
Πηγή: [7]



Σχήμα 10 Αεριοποιητής ανερχόμενης ροής
Πηγή: [7]

Οι αντιδραστήρες πυκνής μορφής, έχουν σαν πιο αντιπροσωπευτικά είδος, τον αντιδραστήρα σταθερής κλίνης. Αποτελούν τους πρώτους εμπορικά διαθέσιμους αεριοποιητές και χαρακτηρίζονται από την απλότητα τους, στο σχεδιασμό και στη λειτουργία. Το κύριο χαρακτηριστικό των αεριοποιητών πυκνής μορφής αποτελεί το γεγονός ότι η βιομάζα καλύπτει σχεδόν όλο το χώρο του αεριοποιητή, σε αντίθεση με τους αντιδραστήρες αραιάς μορφής, όπου μικρή ποσότητα βιομάζας καταλαμβάνει ένα μικρό μέρος του χώρου του αντιδραστήρα.

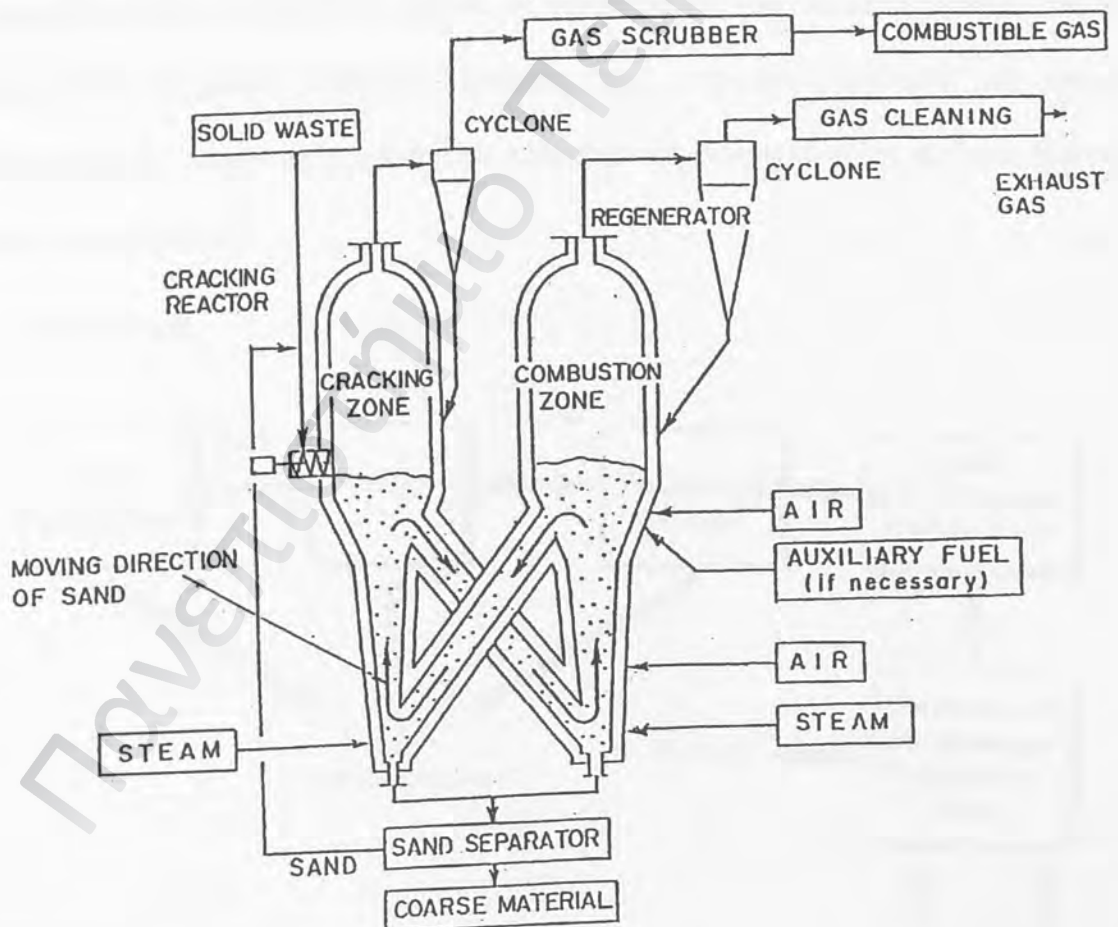
Η σχεδίαση και λειτουργία αυτών των αντιδραστήρων σταθερής κλίνης, είναι σχετικά απλή και είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται πιο πολύ εμπορικά σε μικρές κλίμακες. Τα μειονεκτήματα αυτών των αντιδραστήρων είναι ότι απαιτούν σχετικά μεγάλες διαστάσεις, καθώς και συμπυκνωμένα σταθερών διαστάσεων και σταθερής υγρασίας καύσιμα.

Αντιδραστήρες αραιής μορφής (Lean-phase)

Στους αντιδραστήρες αραιής μορφής κατατάσσονται αυτοί που λειτουργούν με ρευστοποιημένη κλίνη. Η αρχή λειτουργίας της ρευστοποιημένης κλίνης περιγράφεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο της καύσης. Ισχύουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που ήδη αναφέρθηκαν, όπως και οι άνω και κάτω περιορισμοί της θερμοκρασίας λειτουργίας. Τα κύρια συστήματα που απαντώνται (όπως και στην εφαρμογή της ρευστοποιημένης κλίνης για καύση είναι:

- Αντιδραστήρας ατμοσφαιρικής ρευστοποιημένης κλίνης (AAPK). Μετά την εισαγωγή του καύσιμου στον αντιδραστήρα, ο οποίος περιέχει ρευστοποιημένα θερμά στερεά και αέριο, ένα πρώτο στάδιο της αντίδρασης (μετά την ξήρανση που είναι ταχύτερη) είναι η πυρόλυση, η οποία παράγει αέρια, ανθρακούχο υπόλειμμα (char) και πίσσες (tar). Όταν αυτά τα προϊόντα ρέουν προς τα πάνω, στον αντιδραστήρα λαμβάνει χώρα η αντίδραση του δεύτερου σταδίου, η οποία μπορεί να διαχωριστεί στις : ετερογενείς αντιδράσεις (παραγόμενα CO , CH_4 , CO_2 , C και C_xH_y) και σε ομοιογενείς, με προϊόντα (H_2 , CO , CO_2 , C_x , $\text{C}_x\text{H}_{2y+2}$). Το παραγόμενο αέριο, εισέρχεται σε ένα θερμό κυκλώνα και εξέρχεται από το σύστημα με χαμηλές ποσότητες λεπτόκοκκου σκόνης.
- Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης με επανακυκλοφορία (APKE). Η διαφορά με τον AAPK είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος των στερεών του συστήματος, διαχωρίζονται στον κυκλώνα και επιστρέφουν στο χαμηλότερο τμήμα του αεριοποιητή αντιδραστήρα. Αυτά τα στερεά περιέχουν κάρβουνο, το οποίο καίγεται με τον ρευστοποιημένο αέρα. Αυτή η διεργασία καύσης, που επιτελείται στο κατώτερο τμήμα του αντιδραστήρα, παράγει την απαιτούμενη θερμότητα, για την πραγματοποίηση των αντιδράσεων αεριοποίησης, και κατά συνέπεια ένα αυτόθερμο σύστημα.

- Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης με επανακυκλοφορία υπό πίεση (ΑΡΚΕΠ).
- Δίδυμοι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης (Σχήμα 10). Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αερίου υψηλής θερμογόνου δύναμης, με χρήση αέρα σαν οξειδωτικού μέσου. Ο πρώτος ΑΑΡΚ χρησιμοποιείται σαν αντιδραστήρας πυρόλυσης, θερμαινόμενος μέσω θερμής άμμου σαν αδρανές υλικό, από τον δεύτερο ΑΑΡΚ, οποίος θερμαίνεται μέσω της καύσης του ανθρακικού υπολείμματος, που προέρχεται από τον πρώτο ΑΡΚ, με αέρα πριν από την επανακυκλοφορία στον πρώτο ΑΑΡΚ.



Σχήμα 11

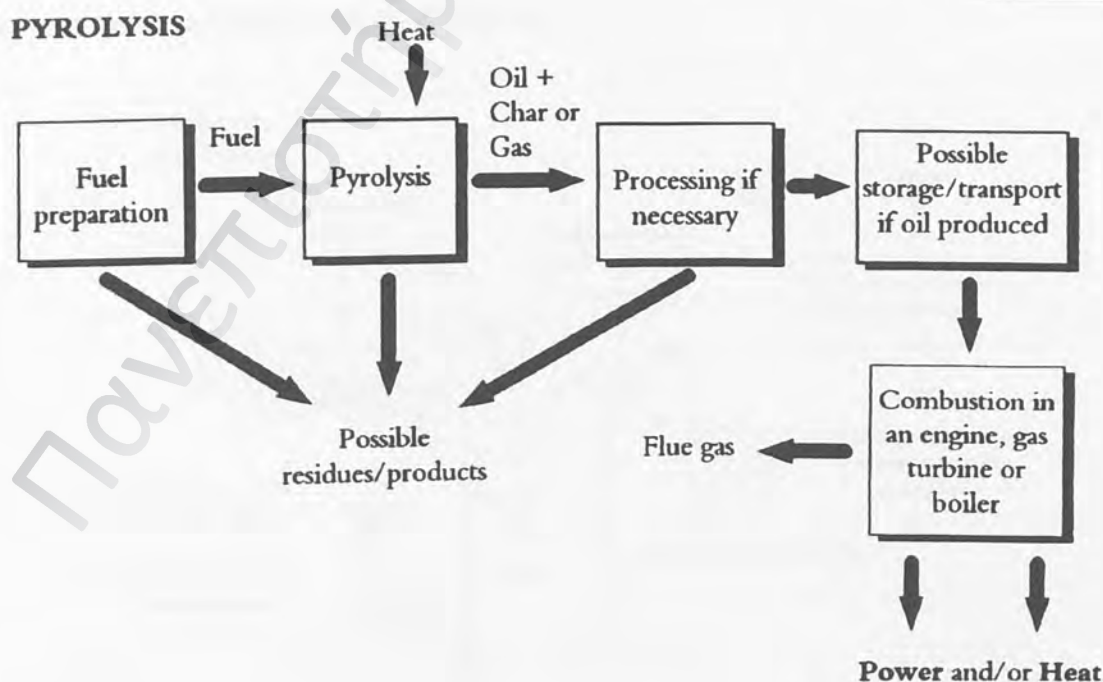
Δίδυμοι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης

Πηγή: [15]

Πυρόλυση

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

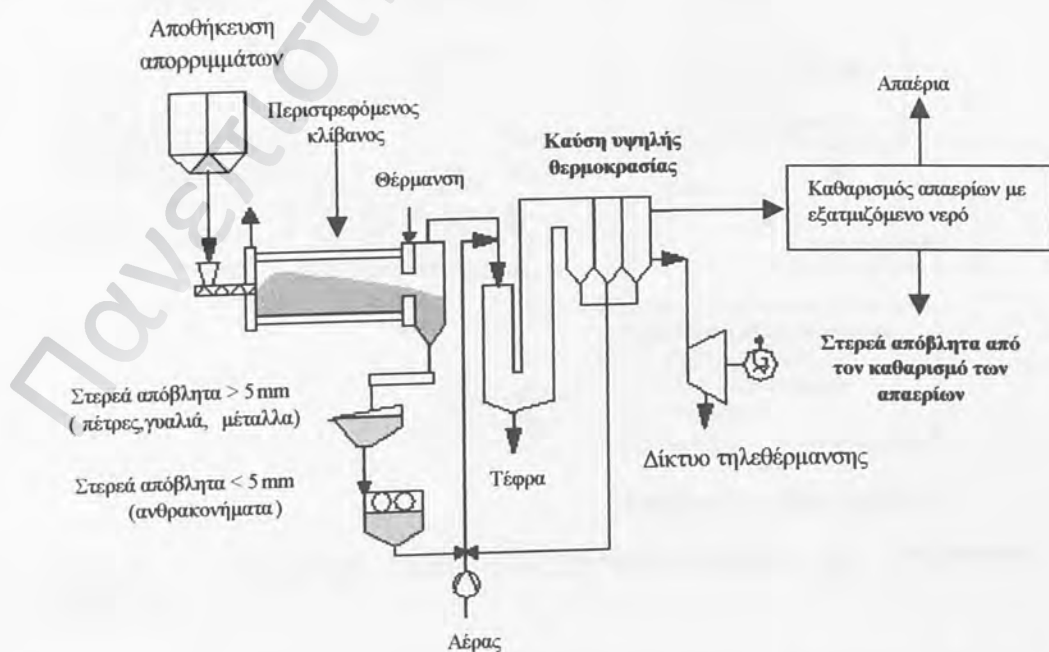
Συνήθως η διεργασία της πυρόλυσης (Σχήμα 11) λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες 400-800°C και η δράση της διασπά τα πολύπλοκα μόρια σε απλούστερα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αερίου, υγρού και πίσσας. Αυτά τα προϊόντα μπορούν να έχουν πολλαπλές χρήσεις, η ακριβής φύση των οποίων εξαρτάται από τη φύση του (αρχικού) καυσίμου. Ωστόσο, για καύσιμα βασισμένα σε αστικά απορρίμματα, η πιο συχνή χρήση του παραγόμενου αερίου είναι ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας.



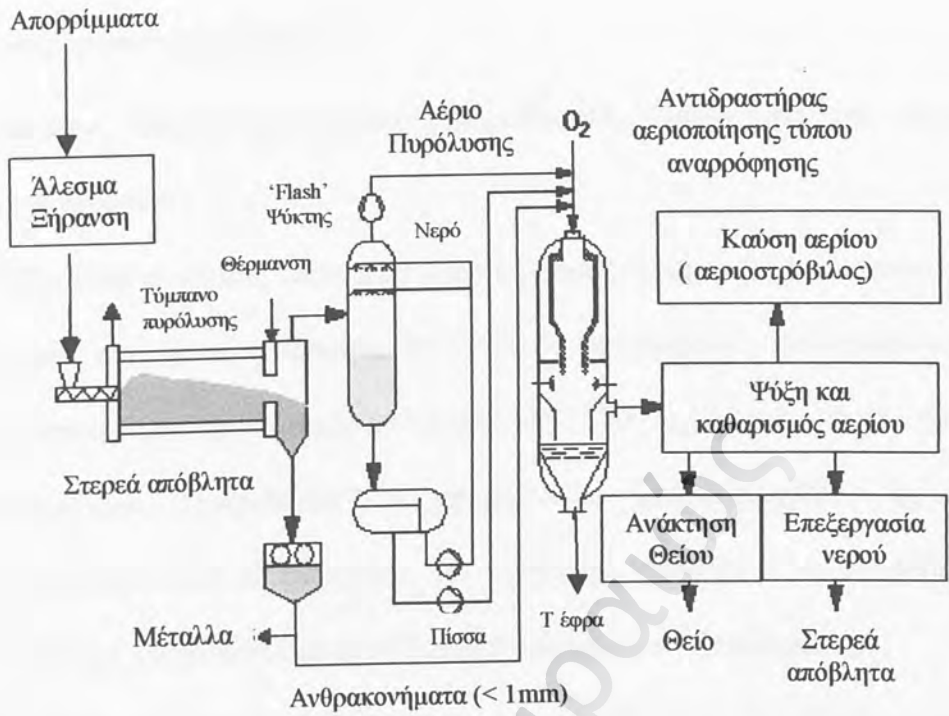
Σχήμα 12 Σχηματικό διάγραμμα επεξεργασίας απορριμμάτων με εφαρμογή πυρόλυσης
Πηγή: [6]

Οι σχετικές αναλογίες παραγόμενου αερίου – υγρού – στερεού, εξαρτώνται από την θερμοκρασία στην οποία το υλικό υποβάλλεται, τον χρόνο που εκτίθεται σ' αυτή τη θερμοκρασία και στη φύση του ίδιου του υλικού. Διαρκής έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες μεγιστοποιούν την παραγωγή πίσσας. Η διαφορά της πυρόλυσης από την αεριοποίηση, είναι ότι εδώ το αέριο παράγεται με θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων, απουσία αέρα. Εφ' όσον πρόκειται για ΑΣΑ γίνεται σε πρώτη φάση άλεση του υλικού και διαχωρισμός των ανόργανων με κόσκίνισμα και στην πυρόλυση οδηγείται το κλάσμα με διαστάσεις κάτω των 200 mm. Εάν το καύσιμο είναι ΚΑΠ, αυτή η διαδικασία δεν χρειάζεται, δεδομένου ότι έχει ήδη προηγηθεί η άλεση και ο καθαρισμός.

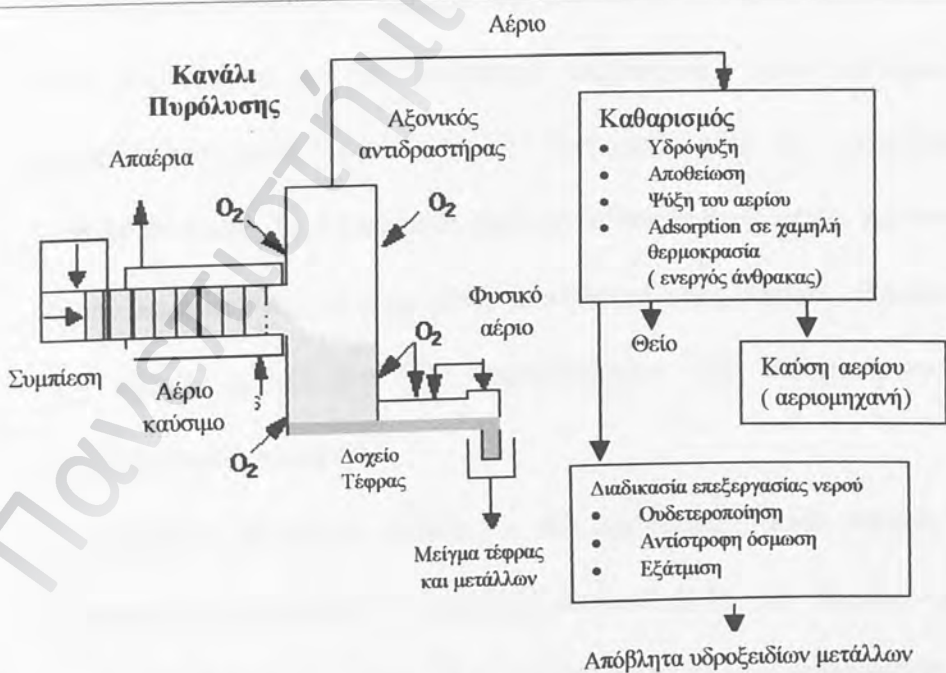
Οι κυριότερες προτάσεις για την εφαρμογή της πυρόλυσης για τη θερμική αξιοποίηση αστικών απορριμμάτων υπάρχουν από τις εταιρίες Siemens, Noell και Thermoselect (Σχήματα 13, 14, 15). Σε αυτές η πυρόλυση επιτυγχάνεται είτε εντός περιστρεφόμενου κλιβάνου είτε σε κανάλι.



Σχήμα 13 Τεχνολογία καύσης ΑΣΑ δύο βημάτων της Siemens. Πηγή: [19]



Σχήμα 14 Τεχνολογία καύσης ΑΣΑ πολλαπλών βημάτων της Noell .
 Πηγή: [20]



Σχήμα 15 Τεχνολογία καύσης ΑΣΑ πολλαπλών βημάτων της Thermoselect.
 Πηγή: [21]

Παραλλαγές τρόπων πυρόλυσης

Διάφορες παραλλαγές έχουν χρησιμοποιηθεί, κυρίως για την πυρόλυση βιομάζας. Αυτές είναι:

- Η βραδεία πυρόλυση (slow pyrolysis) ή ανθρακοποίηση (carbonisation) απαιτεί μικρές ταχύτητες αντίδρασης σε χαμηλές θερμοκρασίες και αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση των στερεών προϊόντων. Τα υγρά και αέρια προϊόντα θεωρούνται υποπροϊόντα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φορείς θερμότητας κατά τη διεργασία, για παραγωγή χημικών ή να θεωρηθούν ως απόβλητα, καταστρεφόμενα με θερμική αποτέφρωση (incineration).
- Η συμβατική πυρόλυση (conventional pyrolysis) δίδει περίπου ίση ποσότητα στερεών, υγρών και αερίων προϊόντων. Είναι μια λιγότερο δημοφιλής τεχνολογία, λόγω της δυσκολίας χειρισμού και της ανάγκης εισαγωγής στην αγορά τριών προϊόντων, της χαμηλής απόδοσης σε αέρια και των προβλημάτων, που σχετίζονται με τη μεταφορά θερμότητας στον αντιδραστήρα. Τα προβλήματα αυτά έχουν μερικώς αντιμετωπισθεί σε συστήματα διπλών αντιδραστήρων. Τα συστήματα αυτά προσδίδουν θερμότητα, για την πυρόλυση ή την αεριοποίηση, με ατμό μέσω ανακυκλοφορίας θερμών αδρανών στερεών, π.χ. άμμος, μεταξύ των δύο αντιδραστήρων. (βλ. δίδυμους αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης)
- Η ακαριαία πυρόλυση (Flash or fast pyrolysis). Πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς θερμότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες και ταχεία, άμεση ψύξη (quenching) προϊόντων, επιτρέπουν τη συμπύκνωση των ενδιάμεσων προϊόντων της πυρόλυσης πριν τη διάσπασή τους σε χαμηλού μοριακού βάρους, μη - συμπυκνούμενα αέρια. Σε σχετικά υψηλότερες θερμοκρασίες τα κύρια προϊόντα

είναι αέρια. Τα πυρολυτικά υγρά αποτελούν, ένα ενδιαφέρον προϊόν που ήδη χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές ενεργειακής αξιοποίησής του.

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται τα τυπικά χαρακτηριστικά των διαφόρων παραλλαγών

Παραλλαγή πυρόλυσης	Χρόνος παραμονής αερίων	Ταχύτητα μεταφοράς θερμότητας	Περιβάλλον αντίδρασης	Πίεση (bar)	Θερμοκρασία °C	Κύριο προϊόν
Ανθρακοποίηση	Ώρες - μέρες	Πολύ μικρή	Προϊόντα καύσης	1	400	Στερεά
Συμβατική	10 s – 10 min	Μικρή - μεσαία	Πρωτοταγή & δευτεροταγή προϊόντα	1	<600	Στερεά, υγρά & αέρια
Αστραπιαία	< 1s	Υψηλή	Πρωτοταγή προϊόντα	1	<600	Υγρά
Αστραπιαία	< 1s	Υψηλή	Πρωτοταγή προϊόντα	1	>700	Αέρια
Υδροπυρόλυση	< 10s	Υψηλή	H ₂ & πρωτοταγή προϊόντα	20	<500	Υγρά
Μεθανοπυρόλυση	0,5 – 1,5 s	Υψηλή	CH ₄ & πρωτοταγή προϊόντα	30	1050	Βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο & ολεφίνες

Πίνακας 14 Τυπικά χαρακτηριστικά των διάφορων παραλλαγών πυρόλυσης βιομάζας
Πηγή:[7]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις από τη λειτουργία μονάδων καύσης, αεριοποίησης και πυρόλυσης αστικών απορριμμάτων. Μεγαλύτερη έμφαση έχει δοθεί στους αέριους ρυπαντές, καθώς θεωρείται ότι προκαλούν τη σημαντικότερη επιβάρυνση. Ποσοτικά δεδομένα για διάφορες μονάδες καύσης παρατίθενται στο παράρτημα.

Όρια εκπομπών ^[5]

Η Κοινοτική Οδηγία 94/67/ΕΕ, που αφορά αποκλειστικά τις εκπομπές από καύση απορριμμάτων και που ισχύει και στην Ελλάδα, περιέχει τις αυστηρότερες προδιαγραφές εκπομπών που ισχύουν για τις κάθε είδους χημικοτεχνικές διεργασίες, όλων των κατηγοριών βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Όπως δείχνει ο Πίνακας 15, οι προδιαγραφές αυτές έγιναν πολλαπλάσια αυστηρότερες από ότι ήταν στην αντίστοιχη παλαιότερη Οδηγία 89/369/ΕΟΚ, με σκοπό να υπάρξει πλήρης εξασφάλιση, αλλά και να αντιμετωπισθούν τα (πολύ συχνά υπερβολικά και εξεζητημένα) επιχειρήματα των πολέμιων της μεθόδου.

Στην προτελευταία στήλη παρατίθενται οι τελευταίοι περιορισμοί, που ετέθησαν σε εφαρμογή στην Γερμανία. Όπως φαίνεται, είναι όμοιοι σε όλα με την Κοινοτική

Οδηγία (94/67/ΕΕ), περιέχουν μόνο επιπρόσθετο όριο για τα οξείδια του αζώτου. Επίσης παρουσιάζονται οι αυστηρότεροι περιορισμοί που ισχύουν για εγκαταστάσεις καύσης απορριμμάτων στην Ολλανδία.

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

Πίνακας 15 Όρια εκπομπών από μονάδες θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες και τις νομοθεσίες Γερμανίας – Ολλανδίας Πηγή:[5]

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

Η Ε.Ε. δεν έχει θέσει ως σήμερα περιορισμό ως προς τα οξείδια του αζώτου, διότι η μείωσή τους δεν είναι αναγκαία σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ επιβαρύνει πολύ σημαντικά την λειτουργία της εγκατάστασης. Αναμένεται πάντως ότι στην αναθεώρηση της ισχύουσας οδηγίας, που αναμένεται να εγκριθεί σύντομα, οι προδιαγραφές των καθαρισμένων αερίων θα περιλαμβάνουν και των περιορισμό των NO_x.

Καύση σε εσχάρα και ρευστοποιημένη κλίνη

Η καύση των αστικών απορριμμάτων αποδίδει στο περιβάλλον αέρια και στερεά απόβλητα και – ίσως (ανάλογα με τη μεθοδολογία καθαρισμού που ακολουθείται) – υγρά.

Αέρια απόβλητα

Οι αέριοι ρυπαντές που εκπέμπονται από την καύση διαχωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες:

- Εσωτερικοί ρυπαντές (intrinsic pollutants). Πρόκειται για ουσίες που απελευθερώνονται κατά τη διαδικασία της καύσης.
- «Πυροχημικοί» ρυπαντές. Σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης και η ποσότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες καύσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα προϊόντα της ατελούς καύσης (NO_x , CO , H_xC_y). Οι βέλτιστες συνθήκες προϋποθέτουν μεγιστοποίηση της θερμότητας που ανακτάται και ελαχιστοποίηση του σχηματισμού αυτών των ενώσεων.
- Ρυπαντές που εξαρτώνται από την καύση και το καύσιμο. Πρόκειται για ουσίες που σχηματίζονται από άλλες ενώσεις «προπομπούς» (precursors) κατά τη διάρκεια της καύσης.

Παρακάτω αναλύονται κατά περίπτωση τα επικινδυνότερα συστατικά των απαερίων της καύσης και τρόποι δέσμευσής τους.

Σωματίδια

Προέρχονται από τις εξής κύριες πηγές:

- Πλήρως οξειδωμένα συστατικά της τέφρας που απελευθερώνονται κατά την μετατροπή σε CO_2 και H_2O .
- Υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα (NaCl , Na_2SO_4), αφού ξηρανθούν, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ατμοποιούνται και παρασύρονται από τα καυσαέρια. Όταν περάσουν σε ψυχρότερες περιοχές συμπυκνώνονται σε αεροζόλ με διάμετρο μικρότερη από $1\mu\text{m}$.

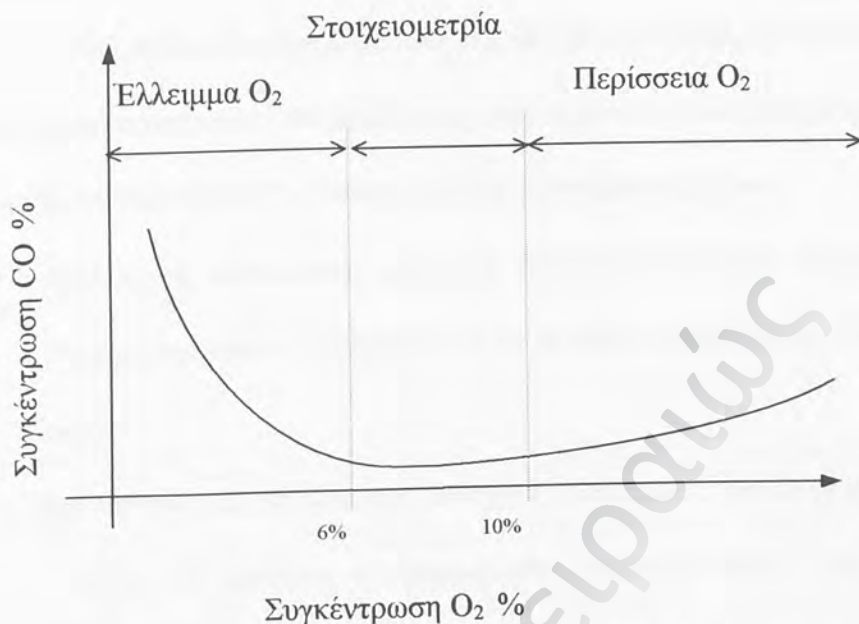
- Προϊόντα οξείδωσης διάφορων πτητικών είναι υγρά ή στερεά αεροζόλ. Π.χ. ο φώσφορος αποδίδει στερεό αεροζόλ P_2O_5 .
- Οξειδία τιτανίου, σιδήρου, χρωμίου που προέρχονται από χρώματα και παραμένουν ανεπηρέαστα από την καύση

Αντιμετωπίζονται σε πρώτο στάδιο με φυγοκεντρικό διαχωρισμό (κυκλώνες). Η φυγοκέντριση των καυσαερίων αποδίδει σε ικανοποιητικό βαθμό μόνο για τα σχετικά μεγαλύτερα σωματίδια. Σε δεύτερο στάδιο, για την κατακράτηση των μικρότερων σωματιδίων ($<10\mu m$) χρησιμοποιούνται σακκόφιλτρα και αν κριθεί αναγκαίο, ηλεκτροστατικά φίλτρα, τα οποία αποτελούν οριστική λύση, αν και με μεγάλο κόστος κτήσης, δέσμευσης χώρου και ενέργειας. Επίσης, απαντάται η χρήση υγρής πλυντηρίδας (wet scrubber) που αποδίδει υγρά απόβλητα.

Μονοξείδιο άνθρακα (CO)

Πρόκειται για τον πιο κοινό αέριο ρυπαντή κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας καύσης. Είναι προϊόν ατελούς καύσης, συνεπώς η περιεκτικότητα σε CO των καυσαερίων μπορεί να μειωθεί με:

- Καύσιμο απαλλαγμένο από υγρασία
- Ομοιόμορφη απολαβή θερμότητας
- Ομοιόμορφη κατανομή καυσίμου και οξειδωτικού εντός του θαλάμου καύσης. Κατά την καύση των απορριμμάτων, ενισχύεται η ανομοιομορφία της καύσιμης ύλης και αυτό συνεισφέρει σε αυξημένες εκπομπές CO. Η επίδραση αυτή μετριάζεται κατά την καύση RDF (ΚΑΠ). Το Σχήμα 16 απεικονίζει τη μεταβολή του σχηματιζόμενου CO συναρτήσει της περίσσειας αέρα. Η περιοχή γύρω από τη στοιχειομετρική αναλογία καυσίμου – αέρα αποτελεί το βέλτιστο σημείο λειτουργίας όσον αφορά τις εκπομπές CO.



Σχήμα 16 Μεταβολή της συγκέντρωσης του CO με την περίσσεια αέρα. Πηγή:[9]

Οξείδια αζώτου (NO_x)

Ως NO_x ορίζεται το σύνολο του μονοξειδίου και διοξειδίου του αζώτου (NO , NO_2). Κατά τη διαδικασία της καύσης αρχικά παράγεται μονοξείδιο με τους παρακάτω τρόπους:

- Την αντίδραση του ατμοσφαιρικού αζώτου με το οξυγόνο σε υψηλές θερμοκρασίες – γνωστό και ως θερμικό NO (thermal NO). Το θερμοκρασιακό όριο είναι η θερμοκρασία της φλόγας να μην υπερβαίνει τους $1540\text{ }^\circ\text{C}$. Συνεπώς, στην περίπτωση καύσης απορριμμάτων, όπου δεν απαντώνται τόσο υψηλές θερμοκρασίες, το θερμικό NO είναι μειωμένο.
- Την οξείδωση του περιεχόμενου αζώτου στο καύσιμο – γνωστό ως NO καυσίμου (fuel NO)

- Την αντίδραση των νιτρικών ριζών που προήλθαν από το καύσιμο – επίσης χαρακτηρίζεται ως «fuel NO».

Το NO τελικά μετατρέπεται στο σύνολό του σε διοξείδιο, λόγω οξείδωσης από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Αν κριθεί αναγκαία η εγκατάσταση δέσμευσης του NO_x των καυσαερίων (“end of pipe”). Τυπικές μέθοδοι απονίτρωσης είναι:

- Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective Catalytic Reduction – SCR). Ανυδρη αμμωνία μετατρέπει με τη βοήθεια καταλύτη τα NO_x σε μοριακό άζωτο.
- Επιλεκτική μη-καταλυτική αναγωγή (Selective Non-Catalytic Reduction – SNCR). Η αμμωνία εισέρχεται στο ανώτερο μέρος του λέβητα και η μετατροπή σε άζωτο επιτυγχάνεται με τις υψηλές θερμοκρασίες στο σημείο αυτό.
- Μη-Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (Non-Selective Catalytic Reduction – NSCR). Αέριο καύσιμο εγχύεται περιμετρικά του λέβητα για να δεσμεύσει το πλεονάζον O₂ και να εμποδίσει τον σχηματισμό NO_x και SO₂.
- Εφαρμογή ξηρών ή υγρών πλυντηρίδων.

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Προέρχεται από την οξείδωση του στοιχειακού θείου που περιέχεται στο καύσιμο. Οι εκπομπές του στην ατμόσφαιρα μέσω των καυσαερίων μπορεί να μειωθούν με:

- Φυσική, χημική ή μικροβιολογική προεπεξεργασία του καυσίμου για δέσμευση του θείου. (Μη εφαρμόσιμη μέθοδος κατά την καύση απορριμμάτων)

- Απορρόφηση του SO_2 από κάποιο πρόσθετο (δολομίτης – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, ασβεστόλιθος – CaCO_3) είτε κατά τη διάρκεια της καύσης είτε σε επόμενο στάδιο (σε πλυντηρίδα ξηράς ή υγρής μορφής) .
- Δέσμευση του SO_2 από τα καυσαέρια ακολουθώντας κάποια διεργασία αποθείωσης.

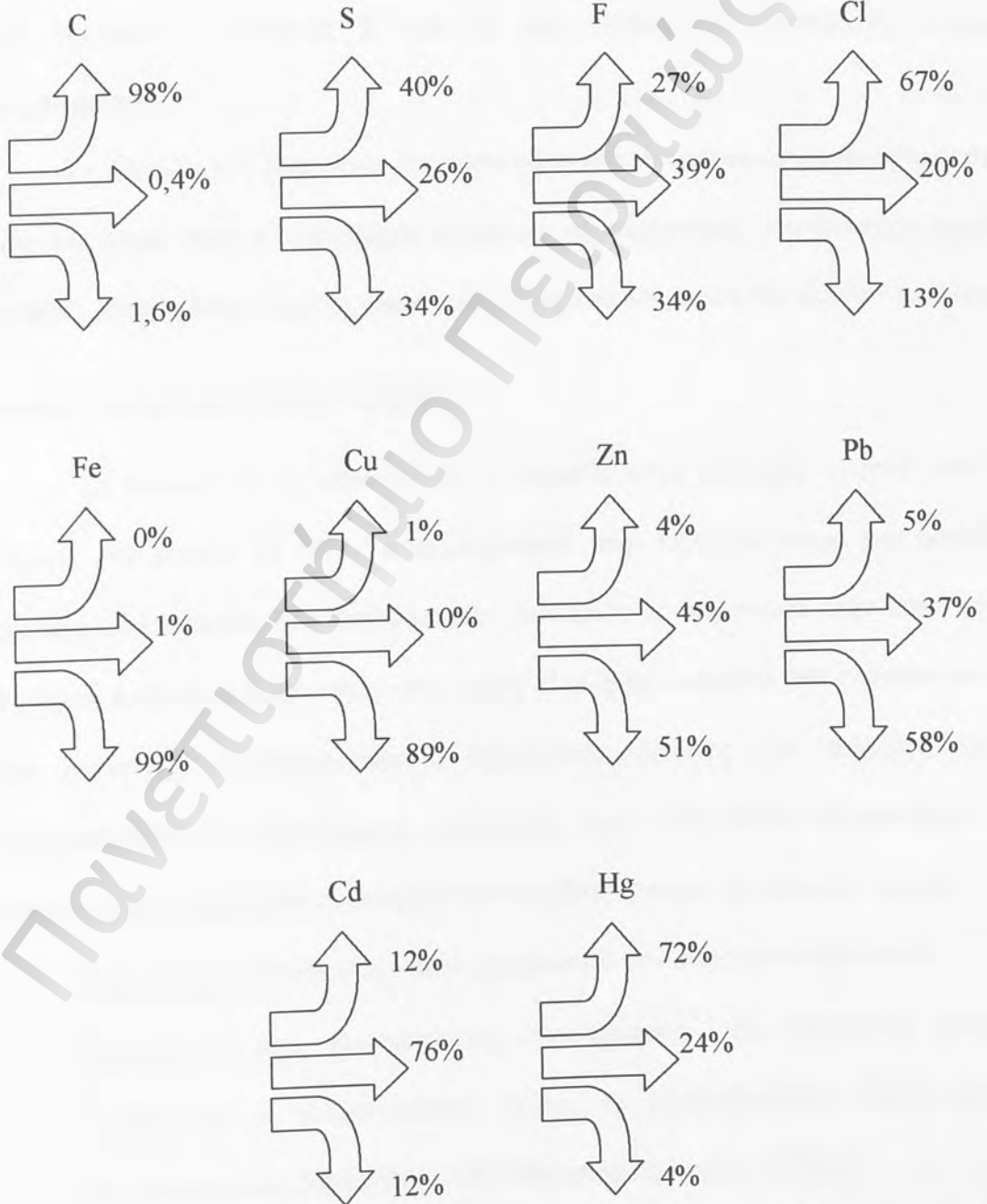
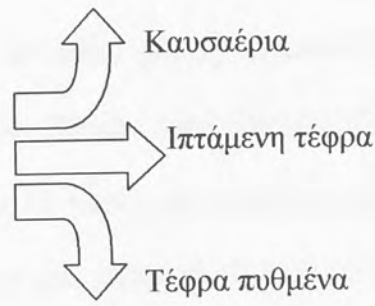
Υδροαλογόνα (HCl, HF)

Παράγονται μέσω αντιδράσεων με το στοιχειακό χλώριο ή φθόριο που περιέχεται στην καύσιμη ύλη. Επίσης, μπορεί να δημιουργηθούν ως παραπροϊόντα της καύσης χλωριωμένων ή φθοριωμένων υδρογονανθράκων (που προέρχονται από πλαστικά απορρίμματα). Με δεδομένο ότι η σχετική ποσότητα των πλαστικών στα απορρίμματα πρόκειται να αυξηθεί στο μέλλον, αυτοί οι ρύποι θα ενισχύσουν τη σημαντικότητά τους.

Δεσμεύονται με τρόπο αντίστοιχο του SO_2 , σε υγρή ή ξηρά πλυντηρίδα.

Βαρέα μέταλλα

Μια πληθώρα μετάλλων βρίσκονται στα αστικά απορρίμματα ως «εσωτερικοί ρυπαντές», όπως μόλυβδος, κάδμιο, χρώμιο, ψευδάργυρος, υδράργυρος, χαλκός, αντιμόνιο, νικέλιο, βανάδιο, αρσενικό, κ.α. Η προέλευσή τους μπορεί να είναι είτε από χαρτιά (εφημερίδες, περιοδικά - Zn) είτε από δέρμα ή λάστιχα (Cr). Η σημαντικότερη ποσότητα Hg θα προέλθει από αλκαλικές μπαταρίες. Κάποια βαρέα μέταλλα, λόγω χαμηλού σημείου ζέσεως θα εγκαταλείψουν το θάλαμο καύσης στην αέρια τους μορφή. Επίσης, ένα μεγάλο μέρος θα παρασυρθεί στα καυσαέρια μέσω της ιπτάμενης τέφρας και το υπόλοιπο θα ενσωματωθεί με την τέφρα του πυθμένα του θαλάμου καύσης. Στο σχήμα 17 απεικονίζεται η κατανομή της μάζας των πιο συνηθισμένων μετάλλων και αμετάλλων στις τρεις αυτές κατευθύνσεις.



Σχήμα 17 Τυπική κατανομή επιλεγμένων μετάλλων και αμετάλλων κατά της αποτέφρωση αστικών απορριμμάτων
 Πηγή:[9]

Όπως παρατηρείται, σε αέρια μορφή αναμένονται (όσον αφορά τα μέταλλα) κατά κύριο λόγο ίχνη Zn και Pb και κατά δεύτερο Cd και Hg. Παρότι σε σχετικό επίπεδο ο υδράργυρος είναι 14 φορές πιο πτητικός από το μόλυβδο (αντίστοιχα το κάδμιο 2,5 φορές), υπάρχει μια διαφορά 2 ή 3 τάξεων μεγέθους στην απόλυτη περιεκτικότητά τους στα αστικά απορρίμματα (ανάλογα με το αν αναφερόμαστε σε ΑΣΑ ή ΚΑΠ – Πίνακες 5 και 12 κεφ. «Θερμική Αξιοποίηση Αστικών Απορριμμάτων»).

Τα μέταλλα που βρίσκονται σε αέρια φάση αναμένεται να στερεοποιηθούν στην ιπτάμενη τέφρα όταν τα καυσαέρια περάσουν σε ψυχρότερες του θαλάμου καύσης περιοχές. Έτσι, η δέσμευση της τέφρας αντιστοιχεί σε δέσμευση των βαρέων μετάλλων.

Διοξίνες – φουράνια (PCDDs – PCDFs)

Οι ενώσεις αυτές, των οποίων η σημασία έγινε ευρύτερα γνωστή μετά το ατύχημα στο Seveso, το 1977, ανακαλύφθηκαν στην ιπτάμενη τέφρα των μονάδων θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων συντελώντας σημαντικά στην κακή φήμη που έχουν αποκτήσει οι εγκαταστάσεις αυτές. Η πλήρης ονομασία των ενώσεων αυτών είναι αντίστοιχα: πολυχλωριωμένες διβενζο-παρα-διοξίνες και πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια. Η τοξικότητα, η προέλευση και ο μηχανισμός σχηματισμού των ενώσεων αυτών αποτελούν αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας τα τελευταία χρόνια.

Οι πιο δημοφιλείς θεωρίες για το σχηματισμό των ενώσεων αυτών είναι:

- Σχηματισμός από χλωριωμένους «προπομπούς». Ως «ύποπτες» ενώσεις αναφέρονται οι χλωροφαινόλες (CPs), τα χλωροβενζόλια (CBs) και οι πολυχλωριωμένες διφαινόλες (polychlorinated biphenols – PCBs)

- Σχηματισμός από οργανικές ενώσεις και δότες χλωρίου. Τα εργαστηριακά αποτελέσματα καταδεικνύουν τη συνεργασία πολυβυνιλοχλωριδίου (PVC) με NaCl, HCl, Cl₂.
- Διοξίνες σχηματίζονται κατά την καύση, αλλά η μεγαλύτερη ποσότητα δημιουργείται μετά από αυτήν, κατά την ψύξη των αερίων στο πίσω μέρος του ατμολέβητα, σε θερμοκρασία 200-450 °C .
- Επιτάχυνση του σχηματισμού διοξινών – φουρανίων από την ιπτάμενη τέφρα

Εστιάζονται σε:

- Διατήρηση θερμοκρασίας θαλάμου καύσης πάνω από 850°C και χρόνου παραμονής τουλάχιστον 2 s.
 - Περιεκτικότητα O₂ τουλάχιστον 6%
 - Ικανοποιητική ανάμιξη του καυσίμου εντός του θαλάμου καύσης
- Σύγχρονη μέθοδος κατακράτησης των διοξινών – φουρανίων είναι η προσρόφιση από ενεργό άνθρακα.

Υπόλοιπες οργανικές ενώσεις

Οι οργανικές εκπομπές περιλαμβάνουν ένα σύνολο 235 καταγεγραμμένων ενώσεων, οι οποίες ομαδοποιούνται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

- Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs)
- Πολυχλωριωμένες διφαινόλες (PCBs)
- Χλωροβενζόλια (CBs)
- Χλωροφαινόλες (CPs)

Κατά τρόπο αντίστοιχο με τις διοξίνες, η έρευνα πάνω στο σχηματισμό και την τοξικότητα αυτών των ενώσεων βρίσκεται σε εξέλιξη. Η βιβλιογραφία αναφέρει ως τεχνολογία κατακράτησης τη χρήση ξηρών πλυντηρίδων.

Τοξικότητα

Τα επιβαρυντικά αποτελέσματα της έκθεσης ανθρώπων, ζώων και φυτών στους παραπάνω ρυπαντές απεικονίζεται στον επόμενο πίνακα. Πρόκειται για επιπτώσεις που εμφανίζονται μετά από έκθεση είτε σε υπερβολικά μεγάλη ποσότητα είτε για μεγάλο χρονικό διάστημα.

ΡΥΠΑΝΤΕΣ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
Σωματίδια	• Ασθένειες αναπνευστικού συστήματος	• Διάβρωση
CO	• Δηλητηρίαση αιμοσφαιρίων ερυθρών	• Φαινόμενο θερμοκηπίου
SO ₂	• Εμφύσημα • Βρογχίτιδα • Ενόχληση στα μάτια	• Οξίνιση ατμόσφαιρας • Φαινόμενο θερμοκηπίου • Smog • Διαβρώσεις
NO _x	• Ενόχληση (irritant) • "Oxygen starvation"	• Φαινόμενο θερμοκηπίου • Smog
HCl	• Ενόχληση στα μάτια και τους πνεύμονες	• Οξίνιση ατμόσφαιρας • Φαινόμενο θερμοκηπίου
Pb, As, Zc, Cd	• Δηλητήρια με αθροιστική δράση	• Τοξικά για πανίδα και χλωρίδα
Cr	• Ασθένειες αναπνευστικού συστήματος • Καρκινογόνο	
Hg	• Τύφλωση • Βλάβες στους μύες • Γεννητικές ανωμαλίες	• Τοξικό για πανίδα και χλωρίδα
PCBs	• Καρκινογόνο • Βλάβες στο συκώτι	• Τοξικό για πανίδα και χλωρίδα
PCDDs και PCDFs	• Ασθένειες δέρματος • Βλάβες στο συκώτι • Πιθανότατα καρκινογόνο	• Τοξικά για πανίδα και χλωρίδα

Πίνακας 16

Επιπτώσεις ρυπαντών σε ανθρώπινη υγεία και περιβάλλον

Πηγή:[9]

Υπάρχει μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας που αφορά τις διοξίνες. Επίσης, τα βαρέα μέταλλα και το HCl αξίζουν ιδιαίτερης προσοχής, λόγω της ιδιότητας να συσσωρεύονται σε ιστούς έμβιων όντων, αποκτώντας αθροιστική και μακρόπνοη δράση.

Στερεά απόβλητα

Τα στερεά κατάλοιπα της καύσης προέρχονται από:

- Τέφρα πυθμένα θαλάμου καύσης. Πρόκειται για το κύριο μέρος της τέφρας, ειδικά στις εγκαταστάσεις με καύση σε εσχάρα.
- Ιπτάμενη τέφρα. Το χοντρόκοκκο μέρος της κατακρατείται στους κυκλώνες και το πιο λεπτόκοκκο στα σακκόφιλτρα ή στα ηλεκτροστατικά φίλτρα.

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

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

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, η συμπεριφορά των διαφόρων μετάλλων κατά την καύση και η συγκεντρώσεις τους στα στερεά κατάλοιπα, διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ανάλογα με την πτητικότητα των ιδίων και των ενώσεών τους και ανάλογα με την τάση τους να προσροφώνται στην τέφρα.

Επικινδυνότητα - χρησιμότητα στερεών αποβλήτων

Οι πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουν τα στερεά κατάλοιπα διαφόρων σημερινών τεχνολογιών καύσης ή θερμικής αξιοποίησης. Η περίπτωση της καύσης σε εσχάρα και σε ρευστοποιημένη κλίνη βρίσκονται στις τελευταίες γραμμές των πινάκων.

		Επικίνδυνο απόβλητο
		ναι / όχι
Τεχνικές τήξης τέφρας		
Pyrolysis / dust flow combustion	Κοκκώδες τήγμα τέφρας	όχι
	Αδρανές κλάσμα	όχι
Pyrolysis / dust flow gasification	Κοκκώδες τήγμα τέφρας	όχι
Pyrolysis / fixed bed gasification	Κοκκώδες τήγμα τέφρας	όχι
Fluidized bed gasification	Κοκκώδες τήγμα τέφρας	όχι
	Αδρανές κλάσμα	όχι
Τεχνικές ρευστοποιημένης κλίνης		
Circulating fluidized bed	Τέφρα πυθμένα	όχι
	Τέφρα από κυκλώνα	όχι
	Τέφρα από σακκόφιλτρα	ναι
Rotating fluidized bed	Τέφρα πυθμένα	όχι
	Τέφρα από κυκλώνα	όχι
	Τέφρα από σακκόφιλτρα	ναι
Τυπική εγκατάσταση		
Καύση σε εσχάρα	Τέφρα πυθμένα	όχι
	Ιπτάμενη τέφρα	ναι
Κανονικά: γνωστά στοιχεία Πλαγιαστά: δεν υπάρχουν στοιχεία, εκτίμηση		

Πίνακας 17 Επικινδυνότητα στερεών αποβλήτων τεχνολογιών καύσης και θερμικής αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων Πηγή:[8]

Η τέφρα του πυθμένα του θαλάμου καύσης δεν αποτελεί επικίνδυνο απόβλητο, σε αντίθεση με την ιπτάμενη τέφρα, όπου παρουσιάζει υψηλό βαθμό επικινδυνότητας. Αυτός ο χαρακτηρισμός οφείλεται στην αυξημένη πιθανότητα έκλυσης βαρέων μετάλλων από την τέφρα.

		Τομέας κατασκευής δομικών έργων				Πρόσθετα σε	
		Κατά-σκευή επιπέδων	Θεμέλια	Sand bed	Αποχέτευση	Άσφαλτο	Τσιμέντο
Τεχνικές τήξης τέφρας							
Pyrolysis / dust flow combustion	Κοκκώδες τήγμα τέφρας	ναι	όχι	ναι	ναι	ναι	ναι
	Αδρανές κλάσμα	ναι	όχι	ναι / ?	ναι / ?	ναι	?
Pyrolysis / dust flow gasification	Κοκκώδες τήγμα τέφρας	ναι	όχι	ναι	ναι	ναι	ναι
Pyrolysis / fixed bed gasification	Κοκκώδες τήγμα τέφρας	ναι	όχι	ναι	ναι	ναι	ναι
Fluidized bed gasification	Κοκκώδες τήγμα τέφρας	ναι	όχι	ναι	ναι	ναι	ναι
	Αδρανές κλάσμα	?				όχι	όχι
Τεχνικές ρευστοποιημένης κλίνης							
Circulating fluidized bed	Τέφρα πυθμένα	ναι	όχι	ναι	ναι	όχι	όχι
	Τέφρα από κυκλώνα	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι
	Τέφρα από σακκό-φιλτρα	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι
Rotating fluidized bed	Τέφρα πυθμένα	ναι	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι
	Τέφρα από κυκλώνα	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι
	Τέφρα από σακκό-φιλτρα	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι
Τυπική εγκατάσταση							
Καύση σε εσχάρα	Τέφρα πυθμένα	ναι	ναι	όχι	όχι	ναι	ναι
	Ιπτάμενη τέφρα	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι
Κανονικά: γνωστά στοιχεία Πλαγιαστά: δεν υπάρχουν στοιχεία, εκτίμηση							

Πίνακας 18 Δυνατότητες χρήσης στερεών αποβλήτων τεχνολογιών καύσης και θερμικής αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων Πηγή:[8]

Στον πίνακα 18 απεικονίζονται οι πιθανές χρήσεις των στερεών υπολειμμάτων. Παρατηρείται ότι η ιπτάμενη τέφρα δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιείται ούτε και σε «ανώδυνες» εφαρμογές (όπου ήδη βρίσκει εφαρμογή – π.χ. στην κατασκευή επιπέδων για δρόμους)

Υγρά απόβλητα

Οι πηγές υγρών αποβλήτων μιας εγκατάστασης καύσης αστικών απορριμμάτων είναι ο στρατσωνισμός (blow-down) του λέβητα και – αν υπάρχει – υγρή πλυντηρίδα. Ο στρατσωνισμός αποτελεί απαραίτητη διαδικασία για κάθε ατμολέβητα, καθώς είναι αναγκαία η παροχέτευση κάποιας ποσότητας νερού για αφαίρεση των αλάτων που συσσωρεύονται στο τύμπανο του ατμολέβητα λόγω της συνεχούς ατμοποίησης. Τα υγρά απόβλητα δεν έχουν ιδιαίτερα προβλήματα διάθεσης.

Αεριοποίηση - Πυρόλυση

Πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των σχετικά νέων μεθόδων θερμικής αξιοποίησης είναι παρόμοιες με την καύση. Οι διαφορές σε αέρια, στερεά και υγρά απόβλητα εντοπίζονται παρακάτω. Ως γενικό σχόλιο μπορεί να γραφεί ότι οι περιβαλλοντικές επιδόσεις των σύγχρονων τεχνολογιών αεριοποίησης και πυρόλυσης υπερτερούν έναντι αυτών των «παραδοσιακών» τεχνολογιών καύσης.

Αέρια απόβλητα

Τα παραγόμενα αέρια, μεταφέρουν μερικούς ή όλους τους ρύπους, που αναφέρθηκαν στην περίπτωση της καύσης. Το επίπεδο μόλυνσης διαφέρει και εξαρτάται από το είδος της διεργασίας αεριοποίησης και το είδος του καυσίμου τροφοδοσίας. Επίσης, είναι κοινές και οι μεθοδολογίες καθαρισμού των καυσαερίων.

Φυσικά, στην περίπτωση αυτή το CO δεν θεωρείται ρύπος, αλλά καύσιμο. Πρέπει να επισημανθεί ότι εάν τα αέρια που παράγονται από την αεριοποίηση-πυρόλυση διοχετευθούν σε εστία καύσης, για αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας με παραγωγή ατμού, τότε τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι αντίστοιχα εκείνων της καύσης.

Το πλεονέκτημα των τεχνικών θερμικής αξιοποίησης έγκειται στο ότι υπάρχει η δυνατότητα καθαρισμού των απαερίων όχι σε τελικό στάδιο, άλλα του καύσιμου μίγματος αερίων σε ενδιάμεσο στάδιο (καθαρισμός του “fuel gas” και όχι του “flue gas”). Με αυτόν τον τρόπο, ο όγκος των αερίων που επεξεργάζονται είναι σημαντικά μικρότερος (η μισή παροχή ή και ακόμα λιγότερο όταν τα αέρια βρίσκονται υπό πίεση), κάτι που οδηγεί σε μικρότερες εγκαταστάσεις καθαρισμού και σε λιγότερα υπολείμματα. Στην εφαρμογή της πυρόλυσης η κατάσταση αυτή εντείνεται, καθώς υπάρχει μηδενική εισροή αέρα καύσης.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	ΤΙΜΗ
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (MJ/Nm ³)	4 – 6
Ελάχιστη περιεκτικότητα σε H ₂ (κ.ο. %)	10 – 20
Μέγιστη συγκέντρωση αλκαλιμετάλλων (ppm)	20 – 1000
Μέγιστη θερμοκρασία παροχής (°C)	450 – 600
Πισώδεις ενώσεις	Όλες σε αέρια φάση
Αμμωνία	Χωρίς όριο
Υδροχλώριο (ppm)	< 0,5
Υδρόθειο + Διοξείδιο θείου (ppm)	< 1
Άζωτο	Χωρίς όριο
Συνολικά μέταλλα (ppm)	< 1
Αλκαλιμέταλλα + θείο (ppm)	< 0,1
Μέγιστη φόρτιση σωματιδίων μεγέθους (ppmw)	< 0,1
> 20μm	
10 – 20 μm	< 1,0
4 – 10 μm	< 10,0

Πίνακας 19 Τυπικές προδιαγραφές καύσιμου αερίου αεριοστροβίλου

Πηγή:[7]

Η υψηλή θερμοκρασία των αερίων φυσικά επιβάλλει την εφαρμογή ειδικών κεραμικών φίλτρων, όπου μπορούν να ανταπεξέλθουν σε αέρια 500°C και 20 bar.

Άλλωστε, είναι απαραίτητη η διαδικασία αυτή πριν εισαχθεί το μίγμα αερίων σε αεριοστρόβιλο (Πίνακας 19) ή όταν απαιτείται από την εγκατάσταση η παροχή καύσιμου αερίου. Πρόβλημα αποτελούν οι πισσώδεις – ελαιώδεις ουσίες που παρασύρονται στο ρεύμα των απαερίων. Η σύσταση των παραγομένων ελαιωδών και πισσωδών ουσιών, εντός του αεριοποιητή, εξαρτάται κυρίως από τη διεργασία αεριοποίησης της βιομάζας. Η συγκέντρωση πίσσας είναι κυρίως συνάρτηση της θερμοκρασίας αεριοποίησης, μειώνεται δε με αύξηση της θερμοκρασίας. Η συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας και συγκέντρωσης πίσσας εξαρτάται από τον τύπο του αντιδραστήρα και τις συνθήκες της διεργασίας.

Γενικώς, οι εμμέσως θερμαινόμενοι αεριοποιητές, καθώς επίσης και οι αεριοποιητές σταθερής κλίνης, με ανερχόμενη ροή, παράγουν περισσότερη ποσότητα ελαφρών ελαιωδών ουσιών και μέτριες ποσότητες πισσωδών ουσιών, αντιθέτως, οι διεργασίες αεριοποίησης μέσω ρευστοποιημένης κλίνης με αέρα και ρευστοποιημένης κλίνης με επανακυκλοφορία, παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα πισσωδών και μικρότερη ποσότητα ελαιωδών ουσιών. Οι υψηλές θερμοκρασίες, που επικρατούν στο εσωτερικά των αντιδραστήρων αεριοποίησης, με αέρα ή και οξυγόνο σε ρευστοποιημένες κλίνες, διασπών θερμικά τις ελαφρά ελαιώδεις ουσίες, σε αέριες αρωματικές ή πολυαρωματικές σταθερές ενώσεις, σε καπνιά και άλλα αέρια. Τα επίπεδα συγκέντρωσης καθώς και τα χαρακτηριστικά της πίσσας εξαρτώνται επίσης και από το είδος του εισαγομένου καυσίμου.

Τρόποι καταστροφής των πισσών

- Με καταλυτική διάσπαση, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα δολομίτη ή νικέλιο
- Πειράματα σε πιλοτικές εγκαταστάσεις, στη Σουηδία και Φιλανδία πρώτα, και σε άλλες χώρες μετέπειτα, έχουν δείξει ότι η καταλυτική διάσπαση, μπορεί να είναι

πάρα πολύ αποδοτική. Αυτά τα πειράματα με δολομίτη και καταλύτες νικελίου, έχουν δώσει ποσοστά μετατροπής >99% σε θερμοκρασίες 800°-900°C.

Η απενεργοποίηση του καταλύτη, συνήθως δεν αποτελεί πρόβλημα, κυρίως με τη χρήση δολομίτη. Μια μικρής έκτασης αρχική απενεργοποίηση του καταλύτη, προέρχεται από την επικάθιση ανθρακούχων ενώσεων στους πόρους του καταλύτη, αλλά αυτές οι ενώσεις αεριοποιούνται στη συνέχεια, καθώς η θερμοκρασία εντός της κλίνης αυξάνεται και ο καταλύτης επανενεργοποιείται πλήρως.

Καταλύτες βασισμένοι σε μέταλλα, είναι πιο επιρρεπείς στις μολύνσεις των πάρων τους. Έτσι χαμηλές συγκεντρώσεις υδρογόνου, στο παραγόμενο αέριο, μπορεί να επιφέρουν μείωση της ενεργότητας αυτών των καταλυτών. Το χαμηλά ποσοστό του παραγομένου αερίου από βιομάζα σε θείο, μπορεί να ελαττώσει την δραστηριότητα των καταλυτών με μεταλλικά σουλφίδια, λόγω συνεργιστικών φαινομένων μέσω της εξαγωγής του θείου από τον καταλύτη, με αποτέλεσμα τη δηλητηρίαση του.

- Με θερμική διάσπαση, για παράδειγμα με θερμική οξείδωση ή με απευθείας θερμική επαφή.

Πειραματικά αποτελέσματα σε εγκαταστάσεις αεριοποίησης τύρφης σε ρευστοποιημένη κλίνη, έδειξαν ότι οι σχηματιζόμενες πίσσες μπορούν να διασπασθούν θερμικά και τα επίπεδα τους να είναι ανάλογα με αυτά που σχηματίζονται σε αντιδραστήρες ΑΡΠΚ, σε θερμοκρασίες 800°-1000°C. Οι πίσσες, που προέρχονται από βιομάζα, είναι σταθερότερες και δυσκολότερες στην θερμική διάσπαση.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η χρήση υψηλότερης θερμοκρασίας στην υπερκείμενη της κλίνης περιοχή σε ΡΚ μπορεί να καταστρέψει θερμικά τις πίσσες.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την θερμική καταστροφή των πισσών όπως:

- αυξάνοντας τον χρόνο παραμονής, μετά από την εκκίνηση του φαινομένου της αεριοποίησης εντός του αντιδραστήρα, όπως σε μια ΡΚ,

χρησιμοποιώντας τον υπερκείμενο της κλίνης χώρο (αποτελεί μόνο κατά το ήμισυ δραστική μέθοδο)

- με απευθείας επαφή, με μία ανεξάρτητη επιφάνεια, η οποία όμως απαιτεί μία αξιοσημείωτη παροχή ενέργειας, ελαττώνοντας έτσι τον ολικό βαθμό απόδοσης στο χώρο (αποτελεί μόνο κατά το ήμισυ δραστική μέθοδο)
- μέσω μερικής οξείδωσης με παροχή οξυγόνου ή παροχή περίσσειας αέρα, με αποτέλεσμα την αύξηση του CO₂, μειώνοντας έτσι την απόδοση και αυξάνοντας το κόστος, λόγω χρήσης του οξυγόνου. Μπορεί να είναι αρκετά αποδοτική σε υψηλές θερμοκρασίες, >1300°C, μέσω αεριοποίησης με οξυγόνο.

Η χρήση υγρής πλυντηρίδας, αποτελεί την πιο κοινή και πρακτικά χρησιμοποιούμενη φυσική μέθοδο, για την απομάκρυνση μικροσωματιδίων, πισσών και άλλων ρύπων. Δυστυχώς, έχουν αναφερθεί πολλά προβλήματα, ειδικότερα στο χαμηλό βαθμό απόδοσης, ως προς την απομάκρυνση των πισσών. Η χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων, αποτελεί μία δραστική, αλλά και υψηλού κοστολογίου τεχνική, για την απομάκρυνση των πισσών, αν και η εμπειρία, που υπάρχει από ανάλογα συστήματα αεριοποίησης με βιομάζα, είναι πολύ μικρή.

Στερεά απόβλητα

Οι τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μικρότερα ποσά τέφρας, τα στερεά τους υπολείμματα δεν θεωρούνται επικίνδυνα (hazardous) και μπορούν να αξιοποιηθούν – ίσως στο μέλλον να έχουν και κάποια αγοραστική αξία (Πίνακες 17 και 18). Ο κύριος λόγος είναι το στάδιο τήξης της τέφρας που περιλαμβάνεται στη επεξεργασία. Με αυτόν τον τρόπο, κατά την ψύξη,

σχηματίζεται μια υαλώδης ουσία που παρουσιάζει – συγκρινόμενη με την τέφρα από την καύση – μικρή ταχύτητα έκλουσης βαρέων μετάλλων.

Υγρά απόβλητα

Δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές με όσα ισχύουν για την καύση. Το σημείο που αξίζει προσοχής είναι τα υγρά προϊόντα της ατμοποίησης – πυρόλυσης, τα οποία συνήθως συνεισφέρουν σε επόμενο στάδιο καύσης, αφού έχουν θερμική αξία.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Εισαγωγή

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης που ακολουθήθηκε προκειμένου να αξιολογηθούν οι τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης απορριμμάτων. Όπως προαναφέρθηκε, προτιμήθηκε η εφαρμογή μιας μεθόδου ιεράρχησης λύσεων έναντι μιας αντίστοιχης σύνθεσης κριτηρίων.

Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτή την επιλογή είναι οι εξής:

- Η όχι πειστική υπόθεση ότι όλα τα κριτήρια μπορούν να συντεθούν σε μια τιμή και ότι ο αποφασίζων έχει την άνεση να στηριχθεί απόλυτα σε αυτήν. Η μονοπαραμετρική απλοποίηση μπορεί να είναι ευκολονόητη, άλλα «διαστρεβλώνει» τον πολυκριτηριακό χαρακτήρα του προβλήματος.
- Η επιλογή και η δόμηση της «συνάρτησης χρησιμότητας» $U(A_i)$ προσθέτει ένα ακόμα λεπτό και εύθραυστο σημείο στη διαδικασία λήψης απόφασης. Αντίθετα, η πληροφορία που καλείται να εισάγει ο αποφασίζων στις μεθόδους ιεράρχησης περιορίζεται σε μερικές παραμέτρους.
- Μια εξαιρετικά καλή ή κακή επίδοση μπορεί να «αποπροσανατολίσει» το δείκτη της χρησιμότητας σε αντίστοιχες υπέρμετρα καλές ή κακές τιμές. Η εισαγωγή των καταφλίων αδιαφορίας και προτίμησης στις

μεθόδους ιεράρχησης αποτελούν μια ασφαλιστική δικλείδα για αυτό το φαινόμενο.

- Οι μέθοδοι ιεράρχησης λύσεων είναι σε θέση να παρέχουν πιο λεπτομερή πληροφορία και να καταδείξουν πιθανές περιπτώσεις ασυγκρισιμότητας.

Επίσης, με σκοπό τον εμπλουτισμό και τη διεύρυνση της μεθόδου που ακολουθήθηκε, ενσωματώθηκε σε αυτή μια μέθοδος εκτίμησης των συντελεστών βαρύτητας.

Μέθοδος SIR-SAW^[2]

Η ονομασία της μεθόδου προέρχεται από τα αρχικά Superiority and Inferiority Ranking – Simple Additive Weighting. Πρόκειται για μια παραλλαγή – επέκταση της ευρύτατα χρησιμοποιημένης μεθόδου PROMETHEE^[3]. Όπως είναι εμφανές από τα αρχικά, γίνεται χρήση δυο ειδών πληροφορίας, υπεροχής και υστέρησης. Τα μεγέθη που κρίνουν την κατάταξη είναι αντίστοιχα οι ροές υπεροχής και υστέρησης (superiority - inferiority flow) και υπολογίζονται με τη μέθοδο του σταθμισμένου αθροίσματος.

Έστω A_1, A_2, \dots, A_m οι m εναλλακτικές λύσεις, g_1, g_2, \dots, g_n τα n κριτήρια και $g_i(A_i)$ η επίδοση της λύσης A_i στο κριτήριο g_i . Οι επιδόσεις αυτές συντάσσονται στον πίνακα επιδόσεων του προβλήματος:

$$D = \begin{pmatrix} g_1(A_1) & \dots & g_j(A_1) & \dots & g_n(A_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_1(A_i) & \dots & g_j(A_i) & \dots & g_n(A_i) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_1(A_m) & \dots & g_j(A_m) & \dots & g_n(A_m) \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Για να γίνουν οι συγκρίσεις μεταξύ των επιδόσεων των κριτηρίων (π.χ. A_k και A_l), ορίζεται η συνάρτηση

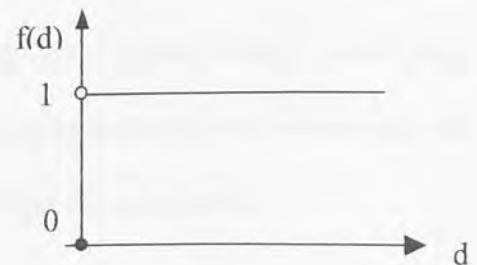
$$f(d) = f[g(A_k) - g(A_l)] = P(A_k, A_l) \quad (4.2)$$

Η $f(d)$ αποτελεί μία μη φθίνουσα συνάρτηση, με πεδίο ορισμού το \mathcal{R} και πεδίο τιμών το κλειστό διάστημα $[0,1]$ και αντιστοιχεί στην ένταση της υπεροχής του A επί του A' (όπως επίσης και στην ένταση της υστέρησης του A' επί του A). Καλείται και «γενικευμένο κριτήριο» ή «ψευδοκριτήριο» και η ερμηνεία των τιμών του γίνεται σε προηγούμενο κεφάλαιο σχετικό με τις μεθόδους ιεράρχησης λύσεων.

Τα είδη των «ψευδοκριτηρίων» που προτείνονται^{[2],[3]} παρουσιάζονται παρακάτω, χωρίς να σημαίνει ότι εξαντλούνται σε αυτά. Το κάθε ένα αντιμετωπίζει με διαφορετικό τρόπο την υπεροχή της μιας επίδοσης έναντι μιας άλλης. Το θέμα της επιλογής τους εξαρτάται από το είδος του κάθε κριτηρίου (αν π.χ. είναι ποιοτικό ή ποσοτικό) και το πώς θέλει να χειριστεί ο αποφασίζων την ένταση της προτίμησης:

1. Σύννηθες (usual) κριτήριο

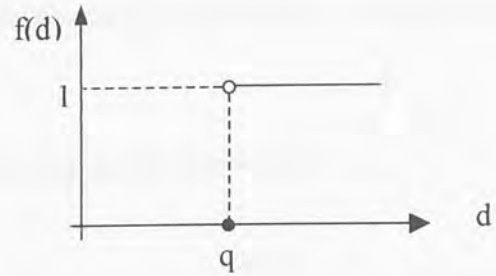
$$f(d) = \begin{cases} 1 & \text{αν } d > 0 \\ 0 & \text{αν } d \leq 0 \end{cases} \quad (4.3)$$



Η ελάχιστη διαφορά μεταξύ των επιδόσεων κρίνεται ικανή να αποδώσει κατάσταση πλήρους υπεροχής. Ο αποφασίζων δεν χρειάζεται να εισάγει καμία παράμετρο (κατώφλια υπεροχής ή αδιαφορίας)

2. Κριτήριο με κατώφλι αδιαφορίας

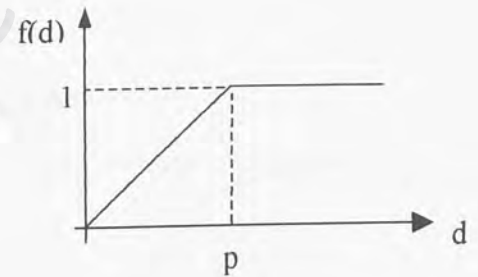
$$f(d) = \begin{cases} 1 & \text{αν } d > q \\ 0 & \text{αν } d \leq q \end{cases} \quad (4.4)$$



Θεωρείται ότι υπάρχει κατάσταση σαφούς υπεροχής αν η διαφορά των επιδόσεων υπερβεί το κατώφλι αδιαφορίας q . Συνεπώς, το q έχει την έννοια της μέγιστης διαφοράς για την οποία υπάρχει κατάσταση αδιαφορίας.

3. Κριτήριο με γραμμική προτίμηση

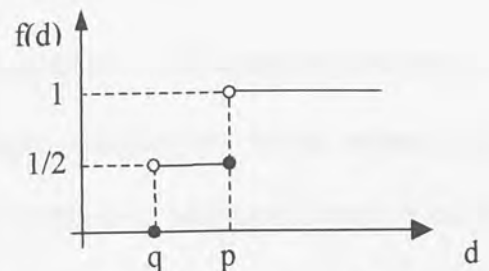
$$f(d) = \begin{cases} 1 & \text{αν } d > p \\ d/p & \text{αν } 0 < d < p \\ 0 & \text{αν } d \leq 0 \end{cases} \quad (4.5)$$



Το κριτήριο αυτό εμφανίζει μια γραμμική περιοχή (για διαφορές μικρότερες του p) εντός της οποίας αποδίδονται οι «ασθενείς» προτιμήσεις. Κατά αντιστοιχία με το κατώφλι αδιαφορίας, το p ονομάζεται κατώφλι υπεροχής και αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή η οποία καθορίζει κατάσταση σαφούς προτίμησης.

4. Κριτήριο επιπέδων (level)

$$f(d) = \begin{cases} 1 & \text{αν } d > p \\ 1/2 & \text{αν } q < d < p \\ 0 & \text{αν } d \leq q \end{cases} \quad (4.6)$$

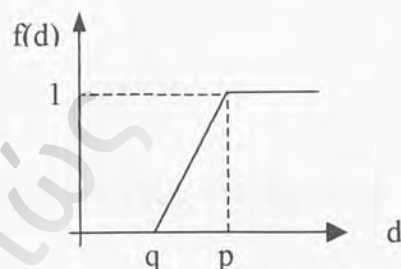


Η συνάρτηση $f(d)$ παίρνει 3 τιμές που αντιπροσωπεύουν καταστάσεις αδιαφορίας, μερικής προτίμησης και σαφούς προτίμησης. Εισάγονται και τα δύο κατώφλια,

που οριοθετούν τις τρεις περιοχές. Στη μεθοδολογία που ακολουθείται, υπάρχει η δυνατότητα να καθοριστεί η βαρύτητα της μέσης κατάστασης – αντί για $\frac{1}{2}$.

5. Κριτήριο με γραμμική προτίμηση και περιοχή αδιαφορίας

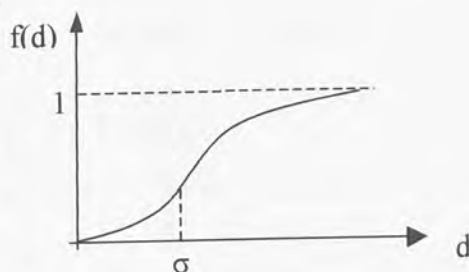
$$f(d) = \begin{cases} 1 & \text{αν } d > p \\ (d-p)/(p-q) & \text{αν } q < d < p \\ 0 & \text{αν } d \leq q \end{cases} \quad (4.7)$$



Μαζί με το εκθετικό κριτήριο αποτελούν τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ψευδοκριτήρια.

6. Εκθετικό κριτήριο

$$f(d) = \begin{cases} 1 - e^{-d^2/2\sigma^2} & \text{αν } d > 0 \\ 0 & \text{αν } d \leq 0 \end{cases} \quad (4.8)$$



Το εκθετικό κριτήριο απαιτεί μόνο την εισαγωγή της παραμέτρου σ . Από την κανονική κατανομή είναι γνωστό ότι ισούται με το $\frac{1}{3}$ του «ανοίγματος» του κάθε σκέλους. Κατά αντιστοιχία με το κριτήριο γραμμικής προτίμησης, ισχύει ότι

$$\sigma \cong p/3 \quad (4.9)$$

Όπως προαναφέρθηκε, τα πλέον χρησιμοποιούμενα ψευδοκριτήρια είναι τα υπ. αριθ. 5 και 6, καθώς αναπαριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τον τρόπο σκέψης και επιλογής μας, ο οποίος σπάνια είναι ασυνεχής και απόλυτος. Απόρροια αυτού είναι οι λύσεις που προκύπτουν χαρακτηρίζονται από σταθερότητα.

Για κάθε εναλλακτική λύση A_i ορίζεται ο δείκτης υπεροχής (superiority index) $S_j(A_i)$ και ο δείκτης υστέρησης (inferiority index) $I_j(A_i)$ αναφορικά με το κριτήριο j . Οι τύποι υπολογισμού είναι οι εξής:

$$S_j(A_i) = \sum_{k=1}^m P_j(A_i, A_k) = \sum_{k=1}^m f_i(g_j(A_i) - g_j(A_k)) \quad (4.10)$$

$$I_j(A_i) = \sum_{k=1}^m I_j(A_k, A_i) = \sum_{k=1}^m f_i(g_j(A_k) - g_j(A_i)) \quad (4.11)$$

Με αυτόν τον τρόπο, υπολογίζονται οι πίνακες υπεροχής και υστέρησης που έχουν τη μορφή:

$$S = \begin{pmatrix} S_1(A_1) & \dots & S_j(A_1) & \dots & S_n(A_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_1(A_i) & \dots & S_j(A_i) & \dots & S_n(A_i) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_1(A_m) & \dots & S_j(A_m) & \dots & S_n(A_m) \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

$$I = \begin{pmatrix} I_1(A_1) & \dots & I_j(A_1) & \dots & I_n(A_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_1(A_i) & \dots & I_j(A_i) & \dots & I_n(A_i) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_1(A_m) & \dots & I_j(A_m) & \dots & I_n(A_m) \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

Οι πίνακες αυτοί περιέχουν λεπτομερέστερη πληροφορία από τον αρχικό πίνακα (4.1). Επίσης, δεν είναι απαραίτητο να συμφωνούν απόλυτα, καθώς αφορούν διαφορετικούς τύπους συγκριτικών αποτελεσμάτων. Ο πίνακας S αναφέρεται στο κατά πόσο υπερτερεί η κάθε εναλλακτική έναντι των υπολοίπων, ενώ ο I στο αντίστοιχο φαινόμενο της έντασης της υστέρησης.

Στο τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας πολυκριτηριακής ανάλυσης γίνεται η σύνθεση της πληροφορίας που περιέχουν οι πίνακες S και I με τη μέθοδο του

σταθμισμένου αθροίσματος. Το αποτέλεσμα της σύνθεσης είναι οι ροές υπεροχής $\phi^>(A_i)$ και υστέρησης $\phi^<(A_i)$ (superiority and inferiority flows) που αντιπροσωπεύουν τη συνολική ένταση της υπεροχής ή της υστέρησης της εναλλακτικής A_i .

Έστω V μια συνάρτηση σύνθεσης (aggregation function) :

$$\phi^>(A_i) = V(S_1(A_i), \dots, S_j(A_i), \dots, S_n(A_i)) \quad (4.14)$$

$$\phi^<(A_i) = V(I_1(A_i), \dots, I_j(A_i), \dots, I_n(A_i)) \quad (4.15)$$

Η συνάρτηση που επιλέχθηκε αντιστοιχεί στο απλό μοντέλο του σταθμισμένου αθροίσματος. Οι ροές δίνονται από τις εξισώσεις:

$$\phi^>(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j S_j(A_i) \quad (4.16)$$

$$\phi^<(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j I_j(A_i) \quad (4.17)$$

, όπου w_j ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου j . Αποδεικνύεται^[2] ότι οι ροές που υπολογίζονται με αυτόν τον τρόπο είναι ίδιες με τις ροές «εισόδου» και «εξόδου» της μεθόδου PROMETHEE^[3].

Η εναλλακτική λύση που επιτυγχάνει μεγαλύτερη ροή υπεροχής και μικρότερη ροή υστέρησης είναι η επικρατούσα. Με αυτόν τον τρόπο παράγονται δυο διατεταγμένες σειρές των λύσεων, μια για κάθε ροή (S-ranking και I-ranking). Το αποτέλεσμα αυτό είναι η μερική ιεράρχηση (partial ranking) της μεθόδου.

Λόγω του γεγονότος ότι οι πίνακες S και I περιέχουν διαφορετικής υφής πληροφορία, δεν είναι απαραίτητο να συμφωνούν. Σε μια τέτοια περίπτωση ισχύει ότι

$$\phi^>(A) > \phi^>(A') \text{ και } \phi^<(A) > \phi^<(A') \quad (4.18)$$

και χαρακτηρίζεται ως «κατάσταση ασυγκρισιμότητας» μεταξύ των εναλλακτικών A και A' . Τέτοιου είδους καταστάσεις υποβοηθούνται από μεγάλες και αντίρροπες διαφορές στις επιδόσεις των εναλλακτικών.

Σε περίπτωση που απαιτείται κάποιου είδους ολική ιεράρχηση (complete ranking) οι δυο ροές είναι δυνατόν να συντεθούν με δύο τρόπους:

- «Καθαρή» ροή $\phi_n(A_i)$ (net flow)

$$\phi_n(A_i) = \phi^>(A_i) - \phi^<(A_i) \quad (4.19)$$

- «Σχετική» ροή $\phi_r(A_i)$ (relative flow)

$$\phi_r(A_i) = \frac{\phi^>(A_i)}{(\phi^<(A_i) + \phi^>(A_i))} \quad (4.20)$$

Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί ότι πρόκειται για μια σχετικά απλή και δοκιμασμένη μέθοδο σύγκρισης, καθώς πρόκειται για παραλλαγή της καθιερωμένης μεθόδου PROMETHEE. Επίσης, μπορεί εύκολα να δεχθεί προσθήκες (π.χ. μιας άλλης συνάρτησης υπολογισμού των ροών) και να παρέχει ακόμα περισσότερες επιλογές στον αποφασίζοντα. Η «αδυναμία» της να θεωρεί ίσους συντελεστές βάρους σε όλα τα κριτήρια αντιμετωπίζεται με τη μέθοδο CRITIC.

Μέθοδος CRITIC^[4]

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το λεπτό θέμα της επιλογής των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων και να εμπλουτιστεί – βελτιωθεί η υπολογιστική διαδικασία που προτείνεται από τη μέθοδο SIR-SAW, χρησιμοποιείται η μέθοδος CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation). Πρόκειται για ένα υπολογιστικό μοντέλο που αποσκοπεί στον αντικειμενικό καθορισμό των συντελεστών βάρους των κριτηρίων ενός προβλήματος πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η εκτίμηση των συντελεστών βασίζεται στην ποσοτικοποίηση της εγγενούς (intrinsic) πληροφορίας κάθε κριτηρίου. Αυτή εξαρτάται από δύο κύρια χαρακτηριστικά:

- Την ένταση της αντίθεσης (contrast intensity) των επιδόσεων του κριτηρίου.
- Την «ασυμφωνία» (conflict) που εισάγει κάθε κριτήριο στον πίνακα των επιδόσεων.

Σε πρώτο στάδιο αδιαστατοποιείται ο πίνακας επιδόσεων του προβλήματος (4.1) μέσω της εξίσωσης

$$x(i, j) = \frac{g_j(A_i) - g_j^*}{g_j - g_{j^*}} \quad (4.21)$$

,όπου $g_j^* \rightarrow$ η βέλτιστη επίδοση για το κριτήριο j (η μέγιστη τιμή αν το κριτήριο είναι προς μεγιστοποίηση, η ελάχιστη στην αντίθετη περίπτωση)

$g_{j^*} \rightarrow$ η χειρίστη επίδοση για το κριτήριο j

και $x(i, j) \rightarrow$ ο αδιαστατοποιημένος πίνακας επιδόσεων $(x(A_i, j) \in [0,1])$

Η τυπική απόκλιση σ_j κάθε μιας από τις j στήλες του αδιαστατοποιημένου πίνακα ποσοτικοποιεί την ένταση της αντίθεσης εντός του κριτηρίου. Αν υποθεθεί ότι η ένταση αυτή είναι ισχυρότερη στα κριτήρια εκείνα με τη μεγαλύτερη σημαντικότητα, η τυπική απόκλιση αποτελεί μέτρο του βάρους κάθε κριτηρίου στη διαδικασία λήψης της απόφασης. Αντίστοιχο ρόλο με την τυπική απόκλιση μπορεί να επιτελέσει και η εντροπία ^[1].

Μεταξύ του x_j και όλων των υπολοίπων υπολογίζεται ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r_{jk} . Όσο πιο «ασύμφωνες» είναι οι αντίστοιχες τιμές των κριτηρίων, τόσο μικρότερο είναι το r_{jk} . Συνεπώς η ποσοτικοποίηση του δεύτερου σημαντικού χαρακτηριστικού των κριτηρίων, της «ασυμφωνίας» που εισάγει κάθε κριτήριο στον πίνακα των επιδόσεων, γίνεται μέσω του αθροίσματος

$$\sum_{j=1}^n (1 - r_{jk}) \quad (4.22)$$

Όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος στηρίζεται στην ποσοτικοποίηση της εσωτερικής πληροφορίας που φέρει κάθε κριτήριο, η οποία αποτελεί σύνθεση των δυο κύριων χαρακτηριστικών. Συνεπώς, το μέτρο της πληροφορίας C_j παριστάνεται από τον τύπο

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{j=1}^n (1 - r_{jk}) \quad (4.23)$$

Τελικά, οι συντελεστές βάρους των κριτηρίων υπολογίζονται με κανονικοποίηση

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad (4.24)$$

Μπορεί να μην είναι καθολικά αποδεκτή η υπόθεση του καθορισμού της βαρύτητας από το πόσο διεσπαρμένα είναι τα στοιχεία ή πόσο μικρή συσχέτιση υπάρχει μεταξύ τους, αλλά η μέθοδος δεν αποσκοπεί σε τελεσίδικο προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων. Η αξία της έγκειται στο ότι παρέχει αξιοποιώντας στατιστικά μεγέθη, μια αντικειμενική εκτίμηση της σημαντικότητας των κριτηρίων και καλείται να παίξει υποβοηθητικό ρόλο στην όλη διαδικασία.

Περιγραφή υπολογιστικού προγράμματος

Στο παρόν υποκεφάλαιο περιγράφεται το εργαλείο που αναπτύχθηκε για την μοντελοποίηση των πιο πάνω εξισώσεων και τον υπολογισμό των απαιτούμενων μεγεθών. Πρόκειται για πρόγραμμα γραμμένο σε Visual Basic 6 –ο υπολογιστικός κώδικας παρατίθεται στο παράδειγμα. Έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει δυναμικά οποιοδήποτε πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης, χωρίς να περιορίζει τον αριθμό εναλλακτικών λύσεων ή κριτηρίων. Σε γενικές γραμμές αποτελεί ένα χρήσιμο βοήθημα

σε κάθε περίπτωση όπου ο αποφασίζων καλείται να ιεραρχήσει εναλλακτικές προτάσεις.

Αρχικά, ο χρήστης καλείται να επιλέξει το πλήθος των προς σύγκριση εναλλακτικών λύσεων και των κριτηρίων. Στη συνέχεια, εισάγονται στον πίνακα Α (Σχήμα 18) οι επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων για τα αντίστοιχα κριτήρια. Καθώς συνηθίζεται τα κριτήρια επιλογής να είναι περισσότερα σε αριθμό από τις εναλλακτικές

The screenshot shows the CRITIC software interface with the following tables:

Πίνακας Α

	Grate firing	FBC	Gasification	Pyrolysis
MSW Plants	10	9	5	5
RDF Plants	9	10	6	4
Development	10	10	8	6
Fl Gas Vol.	7	7	8	9
Fl Gas stabil.	8	10	9	8
Res. form	7	7	9	9
Res. quantity	7	7	9	9
Resid. use	6	6	8	10
Req. land	17500	17500	15000	10000
Social app.	6	7	8	8
Acc. danger	9	9	7	5
Complexity	9	9	7	6
Ease of inter.	7	9	8	5
Sensitivity	8	10	9	8
Control	8	10	7	6
n-el	22.5	23	28	25
Plant cost	670	653	700	775
Running cost	107	116	112	122

Πίνακας Β

	w	q	p	a	s	Units
MSW Plants	0,0114	Max	0	2	-	-
RDF Plants	0,0227	Max	0	2	-	-
Development	0,0159	Max	0	2	-	-
Fl Gas Vol.	0,0685	Max	0	2	-	-
Fl Gas stabil.	0,0609	Max	0	2	-	-
Res. form	0,0685	Max	0	2	-	-
Res. quantity	0,0609	Max	0	2	-	-
Resid. use	0,038	Max	0	2	-	-
Req. land	0,0533	Min	1000	5000	-	sq. m.
Social app.	0,2	Max	0	2	-	-
Acc. danger	0,0556	Max	0	2	-	-
Complexity	0,0444	Max	0	2	-	-
Ease of inter.	0,05	Max	0	2	-	-
Sensitivity	0,05	Max	0	2	-	-
Control	0,05	Max	0	2	-	-
n-el	0,05	Max	1	5	-	%
Plant cost	0,0444	Min	15	50	-	€/tn/y
Running cost	0,0556	Min	5	15	-	€/tn

Πίνακας Γ

	Grate firing	FBC	Gasification	Pyrolysis
f+	0.5719586	1.056691	1.267775	1.0352
f-	1.384825	0.8012775	0.6406229	1.10491
f	-0.8128562	0.2554139	0.6271519	6.971002E-03

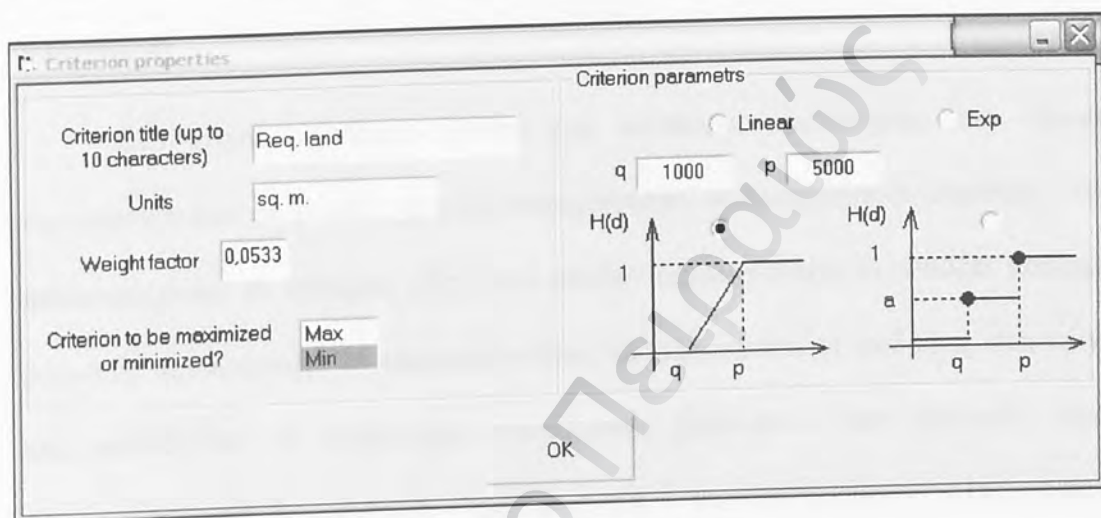
Σχήμα 18 Βασική εικόνα προγράμματος

προτάσεις, βρίσκονται σε στήλες – με τις εναλλακτικές να κατανέμονται σε στήλες. Παράλληλα, εισάγονται και οι ιδιότητες των κριτηρίων (τίτλος, προς μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση, είδος ψευδοκριτηρίου, κατώφλια προτίμησης και αδιαφορίας) (εικόνα 2) και καταχωρούνται στον πίνακα Β (Σχήμα 18) μέσω του πλήκτρου “update”.

Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ ίσων βαρών μεταξύ των κριτηρίων (equal weights), χρήση της μεθοδολογίας CRITIC και εισαγωγή των συντελεστών

βάρους από το χρήστη (manual). Ο υπολογισμός γίνεται με το πλήκτρο “calculate”, όπου εμφανίζεται ο πίνακας Γ (Σχήμα 18) με τις ροές υπεροχής, υστέρησης και την καθαρή ροή για κάθε εναλλακτικό σχέδιο.

Οποιαδήποτε αλλαγή στους πίνακες, για να επηρεάσει τα αποτελέσματα προϋποθέτει να έχει γίνει “click” στο πλήκτρο “calculate”



Σχήμα 19 Παράθυρο εισαγωγής ιδιοτήτων κριτηρίου

Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζονται οι δυο βασικές οθόνες του προγράμματος. Στο παράδειγμα του σχήματος 19 εισάγονται τα στοιχεία για το κριτήριο “Req. land”, που πρόκειται για την απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση κάθε μιας από τις τέσσερις εναλλακτικές προτάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια απόπειρα αξιολόγησης των τεσσάρων τεχνολογιών που σε γενικές γραμμές περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά παρουσιάζονται τα κριτήρια μέσω των οποίων αξιολογούνται οι μέθοδοι καύσης και θερμικής αξιοποίησης. Σε επόμενο στάδιο, αιτιολογούνται οι επιδόσεις στα κριτήρια και αποδίδονται οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας, που αφορούν σενάρια αξιολόγησης από διαφορετική – υποκειμενική – σκοπιά. Μέσω των διαφαινόμενων εξελίξεων, γίνεται η προσπάθεια πρόβλεψης της κατάστασης στο άμεσο μέλλον. Τέλος, παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.

Πρέπει να τονιστεί ότι τα όρια των τεχνολογιών αυτών δεν είναι σαφώς ορισμένα, καθώς στις μέχρι σήμερα εφαρμογές έχει γίνει προσπάθεια συνδυασμού τους. Η προσπάθεια αφορά την αξιολόγηση των επιμέρους βασικών χαρακτηριστικών τους.

Παρουσίαση κριτηρίων αξιολόγησης

Στην προσπάθεια να αξιολογηθούν οι τεχνολογίες πάνω στην ευρύτερη δυνατή βάση – για να αποτυπωθεί μια συνολική εικόνα για την κάθε μια – επιλέχθηκαν κριτήρια από πέντε βασικές κατευθύνσεις:

- **Εμπειρία εφαρμογών.** Αποτελεί «δείκτη» του κατά πόσο υπάρχει συσσωρευμένη εμπειρία αναφορικά με τη συγκεκριμένη τεχνολογία.
- **Περιβάλλον.** Περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιδόσεις κάθε εναλλακτικής λύσης
- **Κοινωνική αποδοχή.** Πρόκειται για σημαντικό παράγοντα που εκτιμά τον αντίκτυπο της πιθανής εγκατάστασης στο κοινωνικό σύνολο.
- **Ασφάλεια – ελαστικότητα εγκατάστασης.** Περιλαμβάνει υποκριτήρια που αφορούν το βαθμό επικινδυνότητας και την ευχέρεια στη λειτουργία της μονάδας.
- **Οικονομικότητα.** Αποτελεί ένδειξη της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης.

Πιο συγκεκριμένα, τα υποκριτήρια των παραπάνω βασικών κατευθύνσεων απεικονίζονται στον πίνακα 20. Οι αριθμοί (1-10) στη δεξιά στήλη εκφράζουν τη σημαντικότητα του υποκριτηρίου για τη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Π.χ. όσον αφορά την εμπειρία των εφαρμογών, είναι λογικό, αφού το ενδιαφέρον της εργασίας εστιάζεται στο RDF, οι μονάδες RDF να έχουν μεγαλύτερη σημαντικότητα από τις αντίστοιχες MSW.

Παρουσίαση - αιτιολόγηση επιδόσεων

Ο συγκεντρωτικός πίνακας των επιδόσεων ακολουθεί μετά την αιτιολόγηση των επιλογών

Εμπειρία εφαρμογών

Εμπορικές μονάδες MSW (ΑΣΑ)

Στις περισσότερες οικολογικά συνειδητοποιημένες χώρες της Ευρώπης, την Ιαπωνία και τις Η.Π.Α. η αποτέφρωση των αστικών απορριμμάτων – συνήθως χωρίς ανάκτηση θερμότητας – αποτελεί συνήθη τακτική (Πίνακας 1). Η τεχνολογία που έχει από χρόνια δοκιμαστεί και εκμεταλλευτεί είναι η καύση σε εσχάρα. Με λιγότερα χρόνια εξέλιξης και εφαρμογών, ακολουθεί η καύση σε ΡΚ.

ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	Εμπορικές μονάδες MSW	Η βαθμολογία αντιστοιχεί στο πλήθος των μονάδων που λειτουργούν με καύσιμο MSW	5
	Εμπορικές μονάδες RDF	Η βαθμολογία αντιστοιχεί στο πλήθος των μονάδων που λειτουργούν με καύσιμο RDF	10
	Επίπεδο ανάπτυξης	Εκφράζει το κατά πόσο η τεχνολογία θεωρείται δοκιμασμένη ή αναπτυσσόμενη	7
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Όγκος αερίων	-	9
	Σταθερότητα σύστασης αερίων	Αστάθεια στη σύνθεση επιβαρύνει τις εγκαταστάσεις καθαρισμού	8
	Μορφή - επικινδυνότητα στερεών αποβλήτων	-	9
	Ποσότητα στερεών αποβλήτων	-	8
	Πιθανότητες αξιοποίησης στερεών αποβλήτων	Εξετάζει αν τα στερεά απόβλητα, εκτός από μη ρυπογόνα, μπορεί να είναι και χρήσιμα	5
	Απαιτούμενη έκταση - οπτική όχληση	Δείκτης που αντιστοιχεί στον εκτιμώμενο χώρο που θα καταλάβει η μονάδα	7
ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ			
ΑΣΦΑΛΕΙΑ - ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	Επικινδυνότητα	Εκφράζει την πιθανότητα απυρήματος	10
	Πολυπλοκότητα	Εξαρτάται από τις απαιτούμενες διεργασίες	8
	Ευχέρεια διακοπών λειτουργίας	Αντιστοιχεί στο πόσο επιδρούν στη λειτουργία της εγκατάστασης τυχαίες (βλάβες) ή μη (συντήρηση - service) διακοπές	9
	Ευασθησία λειτουργίας	Δυνατότητα απορρόφησης διακυμάνσεων στην ποσότητα και ποιότητα των καυσίμων	9
	Ευχέρεια ρύθμισης - ελέγχου	Δυνατότητα ελέγχου - ρύθμισης στον θάλαμο καύσης. Διατήρηση σταθερών συνθηκών λειτουργίας.	9
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ	Ηλεκτρική απόδοση	Εκτιμώμενη ηλεκτρική απόδοση	9
	Έξοδα εγκατάστασης	Εκτιμώμενο κόστος αγοράς και εγκατάστασης	8
	Λειτουργικά έξοδα	Τρέχοντα έξοδα	10

Πίνακας 20 Ανάλυση των κατευθύνσεων αξιολόγησης σε υποκριτήρια

Αντίθετα, σε αναπτυσσόμενο στάδιο βρίσκονται οι άλλες δυο τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης, καθώς απόπειρες απαρίθμησης των μονάδων^[6], δεν συγκεντρώνουν συνολικά πάνω από 6-7 μονάδες, κυρίως πιλοτικές.

Εμπορικές μονάδες RDF (ΚΑΠ)

Αντίστοιχη εικόνα επικρατεί και στις μονάδες που καταναλώνουν επεξεργασμένο καύσιμο από απορρίμματα. Εδώ επικρατούσα τεχνολογία θεωρείται η ρευστοποιημένη κλίνη – και οι περισσότερες νέες μονάδες καύσης ΚΑΠ προς αυτή την κατεύθυνση κλίνουν –, καθώς το RDF θεωρείται πλέον καύσιμο και είναι μη αναγκαία η χρήση εσχάρας, που σχεδιάστηκε για καύση σχεδόν ακατέργαστων αστικών απορριμμάτων. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι είναι ανεπαρκής. Επίσης, η αεριοποίηση δείχνει να είναι πιο προχωρημένη από την πυρόλυση, αφού εμπορικές μονάδες άρχισαν πιο νωρίς την λειτουργία τους.

Επίπεδο ανάπτυξης

Με βάση τη συνολική εικόνα του επιπέδου ανάπτυξης οι τεχνολογίες βαθμολογούνται ως εξής: 0,1,2: εργαστηριακό – 3,4,5: πιλοτικό – 6,7,8: επίδειξης – 9,10: εμπορικό.

Περιβάλλον

Υπάρχει πληθώρα εγκαταστάσεων δέσμευσης ρύπων και όσο περισσότεροι χρηματικοί πόροι μπορούν να διατεθούν, τόσο βελτιώνεται η περιβαλλοντική επίδοση της εγκατάστασης. Συνεπώς, τα επίπεδα των ρύπων που δημοσιεύονται εξαρτώνται περισσότερο από τις εγκαταστάσεις καθαρισμού, παρά από τον πυρήνα της καύσης. Επίσης, σκοπός της εργασίας δεν είναι η αξιολόγηση των διαθέσιμων συστημάτων καθαρισμού, αλλά των διεργασιών καύσης – θερμικής αξιοποίησης.

Κατά συνέπεια, στον πίνακα επιδόσεων των τεχνολογιών δεν μπορούν να εισαχθούν συγκεντρώσεις ρύπων στα καυσαέρια, αλλά προτιμήθηκε η βαθμολόγηση από 1 έως 10 των γενικών συμπερασμάτων που ακολουθούν. Στις εγκαταστάσεις που μελετήθηκαν, υποτέθηκε κοινό σύστημα καθαρισμού των απαερίων, το οποίο εκπλήρωνε τις απαιτήσεις σε εκπομπές.

Όγκος απαερίων

Στη βιβλιογραφία^[8] αναφέρεται πως για μονάδες παρόμοιας δυναμικότητας (~400 ktn ΑΣΑ/yr) η καύση σε εσχάρα αποδίδει περί τα 7500 m³/tn ΑΣΑ (1 atm, 200°C), ενώ μια παραλλαγή της πυρόλυσης μόλις 90 m³/tn ΑΣΑ (25 bar, 250°C)!. Ακόμα και η αναγωγή σε Nm³, δείχνει ότι η πυρόλυση αποδίδει λιγότερο από το 30% του όγκου της συμβατικής καύσης. Η αεριοποίηση, καθώς εισάγεται ένα ποσοστό του στοιχειομετρικού αέρα καύσης, βρίσκεται ανάμεσα στις δύο ακραίες αυτές θέσεις. Φυσικά, αν το μίγμα των αερίων στην πορεία υποστεί καύση, δεν υπάρχει στα προϊόντα καμία διαφορά.

Σταθερότητα σύνθεσης απαερίων

Η σταθερότητα στη σύνθεση των απαερίων διευκολύνει τη διαδικασία καθαρισμού και μειώνει το κόστος κτήσης του συστήματος καθαρισμού, αφού αποφεύγονται αιχμές στη φόρτισή του. Σε αυτό το κριτήριο υπερτερεί η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη, που εμφανίζει τα πιο σταθερά χαρακτηριστικά καύσης, λόγω της μεγάλης θερμικής αδράνειας του υλικού κλίνης. Ένα μικρό προβάδισμα έχει δοθεί στην αεριοποίηση, καθώς υπάρχουν ήδη εγκατεστημένες μονάδες που χρησιμοποιούν ρευστοποιημένη κλίνη.

Μορφή – επικινδυνότητα στερεών αποβλήτων

Οι λόγοι για τους οποίους οι νέες τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης υπερτερούν περιγράφονται στην παράγραφο που αφορά τα στερεά απόβλητα στο κεφάλαιο «Εκπομπές στο περιβάλλον – Τρόποι προστασίας». Πρόκειται για ένα από τα ισχυρά πλεονεκτήματα των μεθόδων αυτών.

Ποσότητα στερεών αποβλήτων

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία^[6], οι τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης έχουν τη δυνατότητα να δώσουν μικρότερες ποσότητες τέφρας, κυρίως λόγω της θερμικής κατεργασίας – τήξη και σχηματισμός υαλώδους υπολείμματος – που υπόκειται.

Πιθανότητες αξιοποίησης στερεών αποβλήτων

Ισχύουν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τη μορφή – επικινδυνότητα των υπολειμμάτων.

Απαιτούμενη έκταση – οπτική όχληση

Εκτιμήσεις γύρω από τον απαιτούμενο χώρο που θα καταλάβουν οι μονάδες αναφέρονται^[5] σε 15-20000 m² για τις τεχνολογίες καύσης, 15000 m² για την αεριοποίηση και 10000 m² για την πυρόλυση. Οι κύριες διαφορές εντοπίζονται στο χώρο που καταλαμβάνει το σύστημα καθαρισμού των αερίων.

Κοινωνική αποδοχή

Γίνεται η υπόθεση ότι η καύση σε εσχάρα βρίσκεται στο δυσμενέστερο σημείο όσον αφορά τις κοινωνικές αντιδράσεις σε πιθανή εγκατάσταση μονάδας. Πιο ευνοϊκές θα πρέπει να εμφανίζονται οι αεριοποίηση – πυρόλυση, που μπορούν να παρουσιαστούν ως νέες και «πιο καθαρές» τεχνολογίες.

Ασφάλεια – Ελαστικότητα

Επικινδυνότητα

Η πυρόλυση κατά πρώτο λόγο και η αεριοποίηση κατά δεύτερο χαρακτηρίζονται ως «εν δυνάμει» επικινδυνότερες, καθώς επεξεργάζονται καύσιμο μίγμα αερίων, μπορεί και υπό πίεση. Η έλλειψη εμπειρίας εντείνει αυτή την εντύπωση.

Πολυπλοκότητα

Επίσης, η πολυπλοκότητα αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα των νέων τεχνολογιών θερμικής αξιοποίησης. Είναι πιθανό η επιστημονική έρευνα που διεξάγεται να απλοποιήσει στο μέλλον τις επιμέρους διεργασίες τους.

Ευχέρεια διακοπών λειτουργίας – Ευαισθησία λειτουργίας – Ευχέρεια ρύθμισης, ελέγχου

Οι μέθοδοι που διαθέτουν ρευστοποιημένη κλίση υπερτερούν έναντι των υπολοίπων, λόγω της θερμικής αδράνειας της κλίνης. Η πυρόλυση παρουσιάζεται να υστερεί ακόμα και έναντι της καύσης σε εσχάρα^[5].

Οικονομικότητα

Ηλεκτρική απόδοση

Η ηλεκτρική απόδοση του κύκλου Rankine που εφαρμόζουν οι τεχνολογίες καύσης περιορίζεται από τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ατμού που εισάγεται στον ατμοστρόβιλο. Με τυπική πίεση και θερμοκρασία της τάξης των 48 bar και 400°C, το σύστημα οδηγείται σε 21 – 22%, με δυνατότητα μικρής μελλοντικής αύξησης κάνοντας χρήση βελτιωμένων υλικών. Στον αντίποδα, οι τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης έχουν τη δυνατότητα εφαρμογής «συνδυασμένου κύκλου», όπου

ηλεκτρική απολαβή γίνεται και από αεριοστρόβιλο. Κατά συνέπεια, αποκτούν ένα – θεωρητικό – πλεονέκτημα, καθώς αναφέρονται αποδόσεις της τάξης του 35%.

Επίσης, οι εφαρμοσμένες μέχρι σήμερα τεχνικές που χρησιμοποιούν αεριοποίηση βρίσκονται αρκετά πιο μπροστά σε βαθμό απόδοσης από τις αντίστοιχες που χρησιμοποιούν πυρόλυση¹⁸¹. Και αυτό σε ασυμφωνία με το γεγονός ότι η πυρόλυση αποδίδει αέριο μίγμα υψηλότερης θερμογόνου δύναμης.

Συμβιβάζοντας τα παραπάνω, αποδίδονται οι εξής ηλεκτρικές αποδόσεις: Καύση σε εσχάρα: 22,5%, καύση σε ΡΚ: 23%, αεριοποίηση: 28%, πυρόλυση: 25%

		Καύση σε εσχάρα	Καύση σε ΡΚ	Αεριοποίηση	Πυρόλυση
ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	Εμπορικές μονάδες MSW	10	9	5	5
	Εμπορικές μονάδες RDF	9	10	6	4
	Επίπεδο ανάπτυξης	10	10	8	6
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Όγκος απαερίων	7	7	9	9
	Σταθερότητα σύστασης απαερίων	8	10	9	8
	Μορφή - επικινδυνότητα στερεών αποβλήτων	7	7	9	9
	Ποσότητα στερεών αποβλήτων	7	7	9	9
	Πιθανότητες αξιοποίησης στερεών αποβλήτων	6	6	8	10
	Απαιτούμενη έκταση - οπτική όχληση	17500	17500	15000	10000
ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ		6	7	8	8
ΑΣΦΑΛΕΙΑ - ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	Επικινδυνότητα	9	9	7	5
	Πολυπλοκότητα	9	9	7	6
	Ευχέρεια διακοπών λειτουργίας	7	9	8	5
	Ευασθησία λειτουργίας	8	10	9	8
	Ευχέρεια ρύθμισης - ελέγχου	8	10	7	6
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ	Ηλεκτρική απόδοση	22,5%	23,0%	28,0%	25,0%
	Έξοδα εγκατάστασης	670	653	700	775
	Λειτουργικά έξοδα	107	116	112	122

Πίνακας 21 Πίνακας επιδόσεων

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι επιδόσεις είναι αδιάστατες βαθμολογίες με άριστα το 10, εκτός από την απαιτούμενη έκταση (m²), την ηλεκτρική απόδοση (%), τα έξοδα εγκατάστασης (€/tn ΑΣΑ/year) και το λειτουργικό κόστος (€/tn ΑΣΑ).

Εκτίμηση μελλοντικής κατάστασης – επιδόσεων

Υπάρχει διεθνώς μια τάση αυξανόμενου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος, που αποτυπώνεται στη νομοθεσία με αυστηρότερα όρια. Η τάση αυτή επιδρά άμεσα στη διαχείριση των απορριμμάτων και στις εκπομπές από διεργασίες καύσης. Επίσης, πολλές ευρωπαϊκές χώρες κινούνται προς τη σταδιακή απαγόρευση της ταφής των απορριμμάτων (landfilling) (Πίνακας 22)

Country	Objectives
Austria	Proposes to ban landfill of waste containing more than 5% organics by 2004
Belgium	Aims to ban landfilling of combustible wastes
Denmark	Banning landfill of combustible wastes. Plans to increase recycling and waste combustion capacity
Finland	Plans to increase combustion capacity to reduce reliance on landfill
France	Banning the landfill of combustible wastes by 2002. Expects by then to increase combustion capacity to 57% and recycling to 23%. Landfill tax of £20/t currently applies
Germany	Aims to ban landfill of waste with carbon content greater than 3% by 2005
Netherlands	Landfill of combustibles, paper and cardboard banned. Landfill of MSW banned by 2000
Norway	Aims to ban landfilling of combustible waste
Sweden	Plans to further reduce reliance on landfill by increasing recycling and combustion capacities
Switzerland	Proposes to ban landfilling of combustible wastes by 2000
UK	Landfill tax of £7/t. Recycling target of 25% by 2002 and recovery target of 40% by 2005

Πίνακας 22 Στόχοι ευρωπαϊκών χωρών για διαχείριση απορριμμάτων Πηγή:[10]

Επίσης, αναμένεται στο προσεχές μέλλον να δείξουν τα «δείγματα γραφής» τους οι πρώτες εμπορικές μονάδες που χρησιμοποιούν τις νέες μεθόδους θερμικής αξιοποίησης. Συνεπώς στη διάρκεια της ωρίμανσης των τεχνολογιών αυτών, είναι

λογικό να υποτεθεί πως θα αυξηθεί η ηλεκτρική τους απόδοση και μέσω οικονομικών κλίμακας και γενικότερης βελτιστοποίησης θα μειωθούν τα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας.

Προκειμένου να εκτιμηθεί το αν παραμένει η παρούσα ιεράρχηση των εναλλακτικών και στο άμεσο μέλλον (σε χρονικό ορίζοντα 10 –15 ετών) αξιοποιούνται οι παραπάνω ενδείξεις για το προς τα πού θα κινηθεί η τεχνολογική εξέλιξη και η κοινωνική – περιβαλλοντική αποδοχή για να καταρτισθεί ένας νέος πίνακας επιδόσεων.

Οι αλλαγές του νέου πίνακα (23) αφορούν:

- Γενικότερη βελτίωση της βαθμολογίας στην εμπειρία των εφαρμογών
- Μείωση της επικινδυνότητας των νέων τεχνολογιών
- Αύξηση του βαθμού απόδοσης κατά 2% (απόλυτο)
- Μείωση κόστους εγκατάστασης κατά 10% (σχετικό)
- Μείωση λειτουργικού κόστους κατά 5% (σχετικό)

		Καύση σε εσχάρα	Καύση σε ΡΚ	Αεριοποίηση	Πυρόλυση
ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	Εμπορικές μονάδες MSW	10	9	8	8
	Εμπορικές μονάδες RDF	9	10	9	9
	Επίπεδο ανάπτυξης	10	10	9	9
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Όγκος αεαερίων	7	7	9	9
	Σταθερότητα σύστασης αεαερίων	8	10	9	8
	Μορφή - επικινδυνότητα στερεών αποβλήτων	7	7	9	9
	Ποσότητα στερεών αποβλήτων	7	7	9	9
	Πιθανότητες αξιοποίησης στερεών αποβλήτων	6	6	8	10
	Απαιτούμενη έκταση - οπτική όχληση	17500	17500	15000	10000
ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ		6	7	8	8
ΑΣΦΑΛΕΙΑ – ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	Επικινδυνότητα	9	9	8	7
	Πολυπλοκότητα	9	9	7	6
	Ευχέρεια διακοπών λειτουργίας	7	9	8	5
	Ευσαιθησία λειτουργίας	8	10	9	8

	Ευχέρεια ρύθμισης - ελέγχου	8	10	7	6
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ	Ηλεκτρική απόδοση	22,5%	23,0%	30,0%	27,0%
	Έξοδα εγκατάστασης	670	653	630	700
	Λειτουργικά έξοδα	107	116	106	110

Πίνακας 23 Πίνακας μελλοντικών επιδόσεων (με κόκκινο οι αλλαγές)

Απόδοση συντελεστών βαρύτητας – Σενάρια αξιολόγησης

Για την εφαρμογή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης που επιλέχθηκε, είναι αναγκαία η απόδοση συντελεστών βαρύτητας στα επιμέρους κριτήρια. Όπως έχει προαναφερθεί (κεφ. «Λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια»), πρόκειται για ένα ευαίσθητο στάδιο της μεθοδολογίας. Το υπολογιστικό πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα, εκτός από την απόδοση τιμών στους συντελεστές βάρους, να προτείνονται συντελεστές με βάση τη μέθοδο “Critic” και επίσης να τίθενται με αυτόματο τρόπο ίσα βάρη σε όλα τα κριτήρια.

Τα σενάρια αφορούν τέσσερις οπτικές πλευρές προσέγγισης του προβλήματος αξιολόγησης:

- Το «ακραίο οικολογικό» σενάριο (A)

Κύριο και αδιαπραγμάτευτο μέλημα είναι η προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, μεγάλη σημαντικότητα δίνεται στην αποφυγή ατυχημάτων και στις ευνοϊκές προϋποθέσεις κοινωνικής αποδοχής. Μοιραία, η οικονομική βιωσιμότητα και η εμπειρία των εφαρμογών περνά σε δεύτερη μοίρα.

- Το «ρεαλιστικό οικολογικό» σενάριο (B)

Το περιβάλλον παραμένει στην κορυφή των συντελεστών βαρύτητας, με την οικονομικότητα της μονάδας να καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση. Η κοινωνική αποδοχή υποβαθμίζεται και προωθείται αντίστοιχα η συσσωρευμένη εμπειρία της εγκατάστασης.

- Το σενάριο «βιομηχανικής ανάπτυξης» (C)

Πρόκειται για την πλέον συνηθισμένη οπτική σκοπιά με την οποία λαμβάνονται αποφάσεις αυτού του είδους και βρίσκεται κατά κάποιον τρόπο στον αντίποδα του σεναρίου «Α». Σημαντικότερη κατεύθυνση αξιολόγησης αναδεικνύεται η οικονομική βιωσιμότητα, με την εμπειρία εφαρμογών να ακολουθεί.

- Το «τεχνοκρατικό» σενάριο (D)

Εδώ οι χρηματικοί πόροι είναι εξασφαλισμένοι – αλλά όχι και ανεξάντλητοι, και αυτό που κυρίως ενδιαφέρει είναι η τεχνολογία που θα εγκατασταθεί να αποδώσει γρήγορα, με αξιοπιστία και ασφάλεια.

Πιο συγκεκριμένα, η κατανομή των συντελεστών βάρους είναι:

Σενάριο	A	B	C	D
Χαρακτηρισμός σεναρίου	Ακραίο οικολογικό	Ρεαλιστικό οικολογικό	Βιομηχανικής ανάπτυξης	Τεχνοκρατικό
	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ			
ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	5 %	15 %	25 %	35 %
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	35 %	35 %	20 %	15 %
ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ	20 %	5 %	5 %	5 %
ΑΣΦΑΛΕΙΑ - ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	25 %	20 %	15 %	25 %
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ	15 %	25 %	35 %	20 %

Πίνακας 24 Κατανομή συντελεστών βάρους στις κατευθύνσεις αξιολόγησης.

Για να υπολογιστούν οι συντελεστές βάρους των υποκριτηρίων συνδυάζεται ο παραπάνω πίνακας με τον πίνακα 20. Για παράδειγμα στο σενάριο A, ο συντελεστής βαρύτητας του υποκριτηρίου «όγκος απαερίων» θα είναι το γινόμενο της «σημαντικότητας» του υποκριτηρίου ($9/(9+8+9+8+5+7)$) (πίνακας 20) και του συντελεστή της κατεύθυνσης «περιβάλλον» (0,35) και θα ισούται με 6,85%.

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Το υπολογιστικό μοντέλο αναπτύσσεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Τα ψευδοκριτήρια που επιλέχθηκαν είναι του τύπου γραμμικής προσέγγισης με ή χωρίς κατώφλι αδιαφορίας. Τα κατώφλια q και p για κάθε ψευδοκριτήριο απεικονίζονται στον δεξιό πίνακα της εικόνας 1 και είναι φυσικά κοινοί για όλες τις περιπτώσεις.

Σενάριο Α

Ακολουθεί η οθόνη του υπολογιστικού προγράμματος που αντιστοιχεί στα παραπάνω δεδομένα, μαζί με την απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε ραβδόγραμμα και το διάγραμμα που αναπαριστά τις σχέσεις υπεροχής και υστέρησης μεταξύ των λύσεων.

	Grate firing	FBC	Gasification	Pyrolysis
MSW Plants	10	9	5	5
RDF Plants	9	10	6	4
Development	10	10	8	6
Fl Gas Vol.	7	7	8	9
Fl Gas stabil.	8	10	9	8
Res. form	7	7	9	9
Res. quantity	7	7	9	9
Resid use	6	6	8	10
Req. land	17500	17500	15000	10000
Social app.	6	7	8	8
Acc. danger	9	9	7	5
Complexity	9	9	7	6
Ease of inter.	7	9	8	5
Sensitivity	8	10	9	8
Control	8	10	7	6
η -rel	22.5	23	28	25
Plant cost	670	653	700	775
Running cost	107	116	112	122

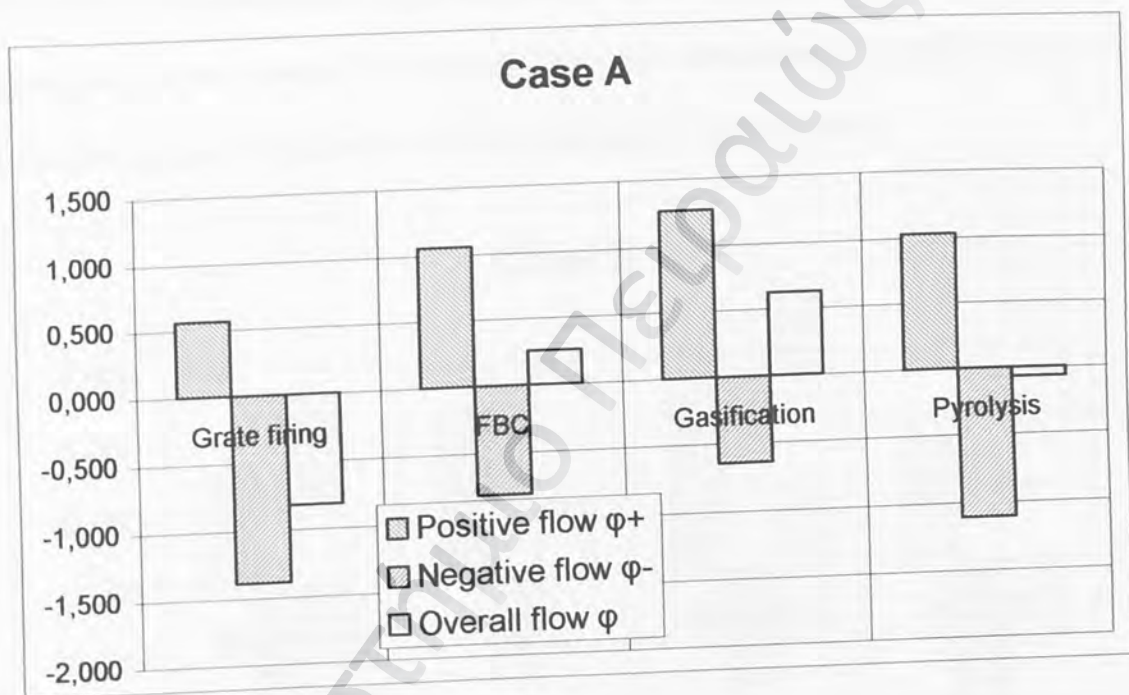
	w		q	p	a	s	Units
MSW Plants	0,0114	Max	0	2	-	-	-
RDF Plants	0,0227	Max	0	2	-	-	-
Development	0,0159	Max	0	2	-	-	-
Fl Gas Vol.	0,0685	Max	0	2	-	-	-
Fl Gas stabil.	0,0609	Max	0	2	-	-	-
Res. form	0,0685	Max	0	2	-	-	-
Res. quantity	0,0609	Max	0	2	-	-	-
Resid use	0,038	Max	0	2	-	-	-
Req. land	0,0533	Min	1000	5000	-	-	sq. m.
Social app.	0,2	Max	0	2	-	-	-
Acc. danger	0,0556	Max	0	2	-	-	-
Complexity	0,0444	Max	0	2	-	-	-
Ease of inter.	0,05	Max	0	2	-	-	-
Sensitivity	0,05	Max	0	2	-	-	-
Control	0,05	Max	0	2	-	-	-
η -rel	0,05	Max	1	5	-	-	%
Plant cost	0,0444	Min	15	50	-	-	€/tn/y
Running cost	0,0556	Min	5	15	-	-	€/tn

	Grate firing	FBC	Gasification	Pyrolysis
+	0.5719686	1.056691	1.267775	1.0352
-	1.384825	0.8012775	0.6406229	1.10491
f	-0.8128562	0.2554139	0.6271519	6.971002E-05

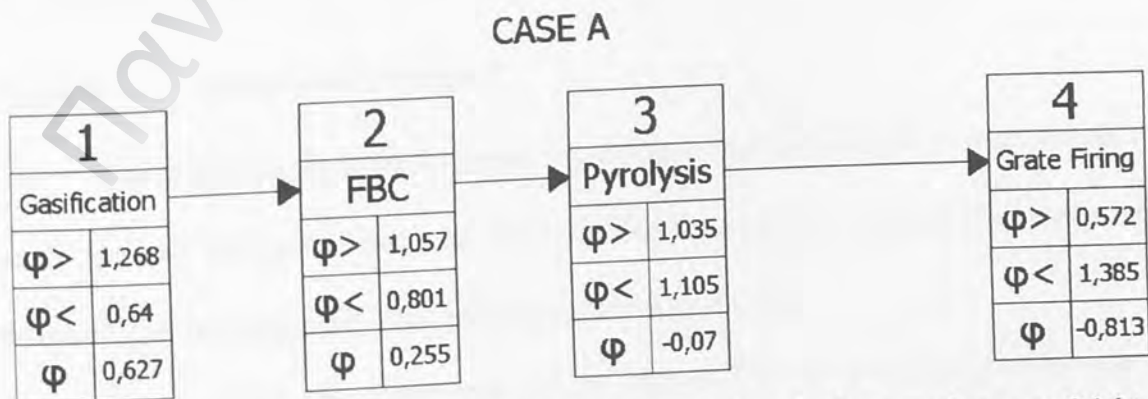
Σχήμα 20 Οθόνη υπολογιστικού προγράμματος για το σενάριο Α

Η σημαντικότητα που δίνεται στο περιβάλλον και την κοινωνική αποδοχή και αντίστοιχα η υποβάθμιση της εμπειρίας εφαρμογών συμβάλλουν στην ανάδειξη της

αεριοποίησης ως της επικρατέστερης τεχνολογίας. Η καύση σε PK υπολείπεται σε περιβαλλοντική επίδοση και κατατάσσεται 2^η, μπροστά από την πυρόλυση που υστερεί έναντι της κυρίως σε θέματα ασφάλειας και λειτουργικότητας. Η συσσωρευμένη εμπειρία εφαρμογών και τα χαμηλά κόστη έχουν μικρή συμβολή στον υπολογισμό των ροών, έτσι παρότι αποτελούν τα δυνατά σημεία της καύσης σε εσχάρα, δεν επαρκούν.



Σχήμα 21 Αποτελέσματα σεναρίου A

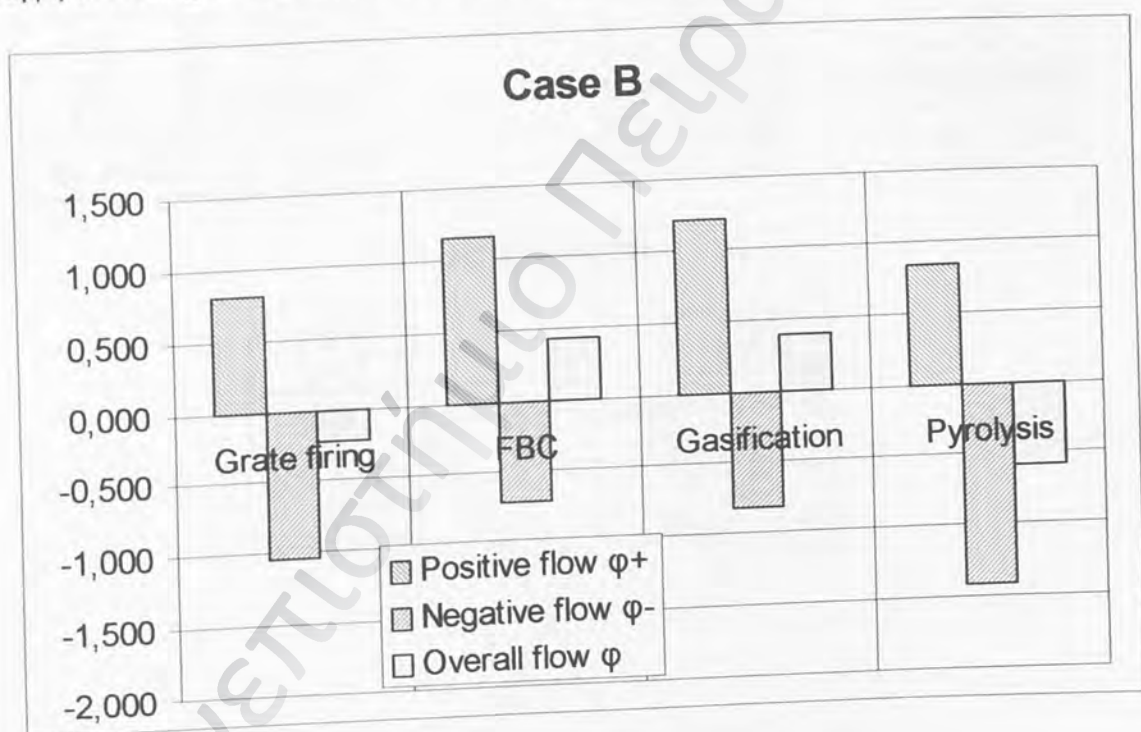


Σχήμα 22 Κατάταξη τεχνολογιών σύμφωνα με το σενάριο A. (Οι αποστάσεις των βελών υπερχής αποδίδουν υπό κλίμακα το πόσο απέχουν οι λύσεις)

Παρατηρείται ότι οι ιεραρχίες είναι σαφώς καθορισμένες – δεν υπάρχουν καταστάσεις ασυγκρισιμότητας, έτσι η μερική και η συνολική κατάταξη αποδίδουν κοινό αποτέλεσμα.

Σενάριο Β

Το σενάριο Β αποτελεί μια «προσγειωμένη» παραλλαγή του Α. Ίσως να πλησιάζει στον τρόπο με τον οποίο πλέον παίρνονται όλο και περισσότερες αντίστοιχες αποφάσεις, με την έννοια ότι η «περιβαλλοντική» αντιμετώπιση κερδίζει έδαφος στη λήψη αντίστοιχων αποφάσεων έναντι της κλασσικής τεχνοκρατικής



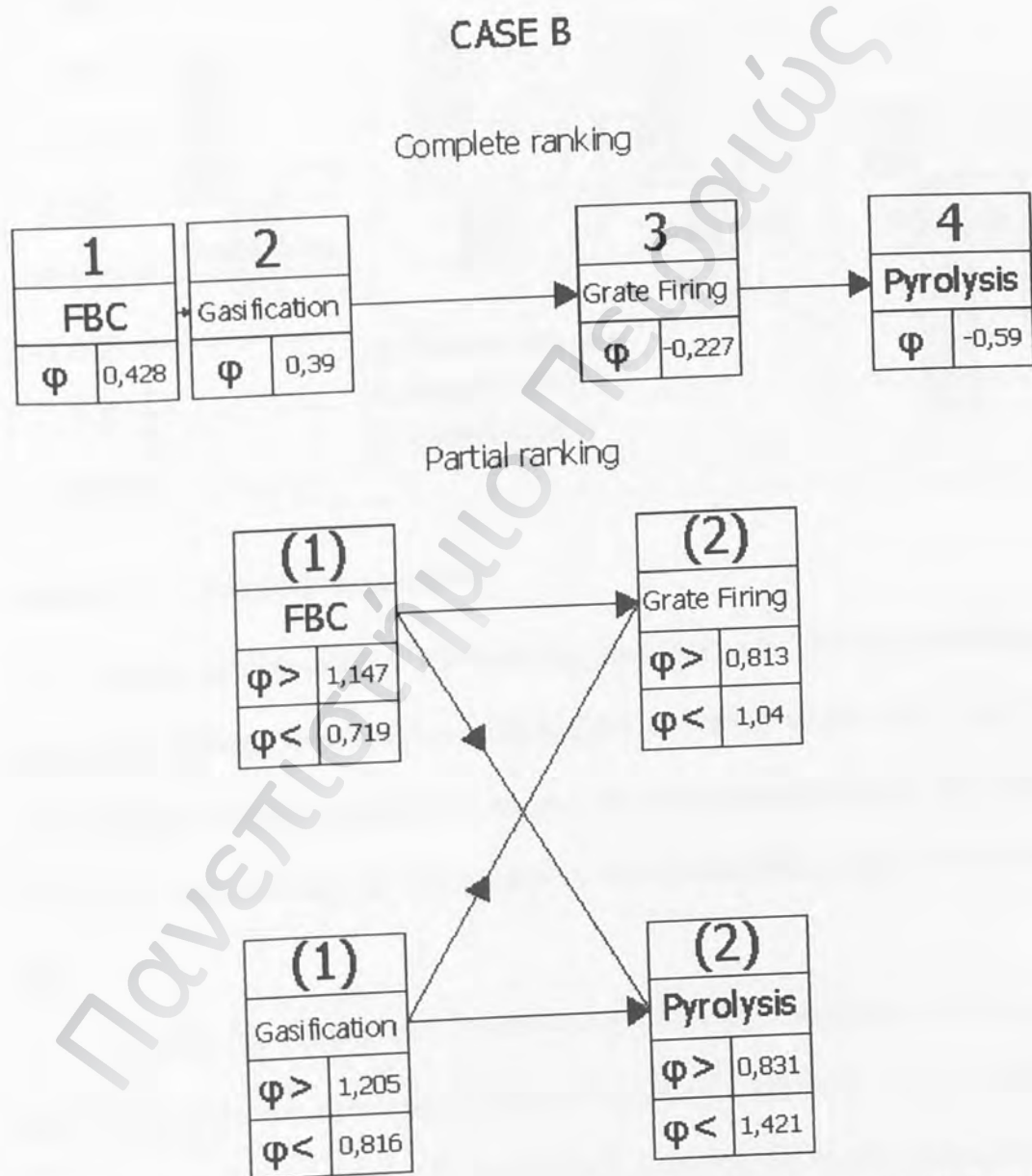
Σχήμα 23 Αποτελέσματα σεναρίου Β

Συγκριτικά με τα αποτελέσματα του «ακραιφνούς» περιβαλλοντικού σεναρίου είναι εμφανές ότι ενισχύονται οι δυο τεχνολογίες καύσης, εκμεταλλευόμενες την εμπειρία από τις εφαρμογές τους και τα χαμηλότερα κόστη.

Παρατηρείται (σε συνδυασμό με το σχήμα 20) ότι η καύση σε ΡΚ και η αεριοποίηση υπερέχουν έναντι των άλλων δυο μεθόδων. Παράλληλα, υπάρχει κατάσταση ασυγκρισιμότητας μεταξύ των δυο «πρώτων» και των δυο δεύτερων

εναλλακτικών. Είναι προφανές ότι τα σημεία στα οποία υπερέχει η μια λύση της άλλης αλληλοαναιρούνται με ισοδύναμες βαρύτητες, με αποτέλεσμα η μερική κατάταξη (partial ranking) να μην αποδίδει σαφή σειρά ιεραρχίας.

Η συνολική κατάταξη (complete ranking) φέρνει με βραχεία κεφαλή επικρατέστερη λύση την καύση σε PK, με χειρότερη την επιλογή της πυρόλυσης.

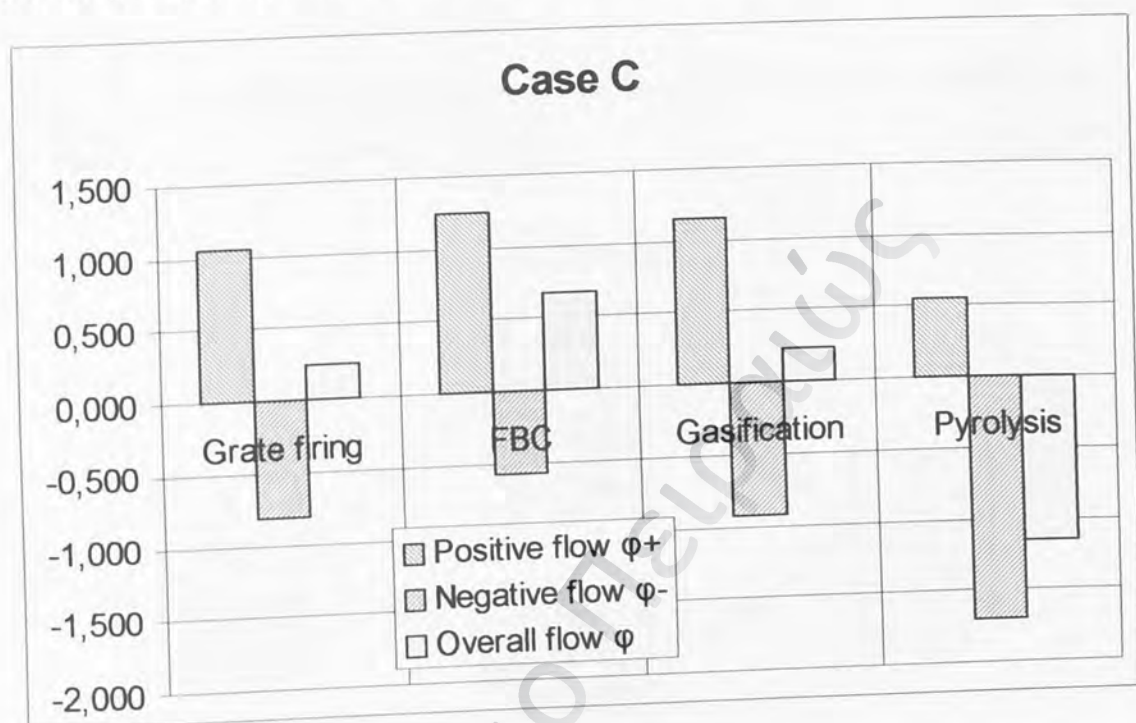


Σχήμα 24
το σενάριο B.

Συνολική (complete) και μερική (partial) κατάταξη των τεχνολογιών για

Σενάριο C

Η προσέγγιση του σεναρίου C αποτελεί την «πεπατημένη» αντιμετώπιση αντίστοιχων προβλημάτων κατάταξης εναλλακτικών λύσεων.



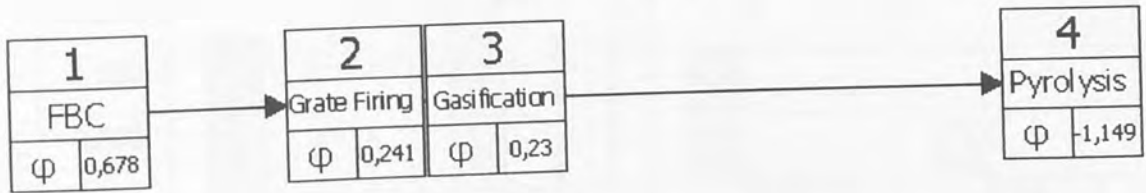
Σχήμα 25 Αποτελέσματα σεναρίου C

Καθώς ενισχύονται τα κριτήρια της εμπειρίας και της οικονομικότητας, οι τεχνολογίες καύσης φαίνεται να αναβαθμίζουν περισσότερο τη θέση τους. Σαφώς επικρατέστερη επιλογή αποτελεί η καύσης σε ΡΚ, ακολουθούμενη από καύση σε εσχάρα και αεριοποίηση, με την πυρόλυση να καταλαμβάνει καθαρά την τελευταία θέση.

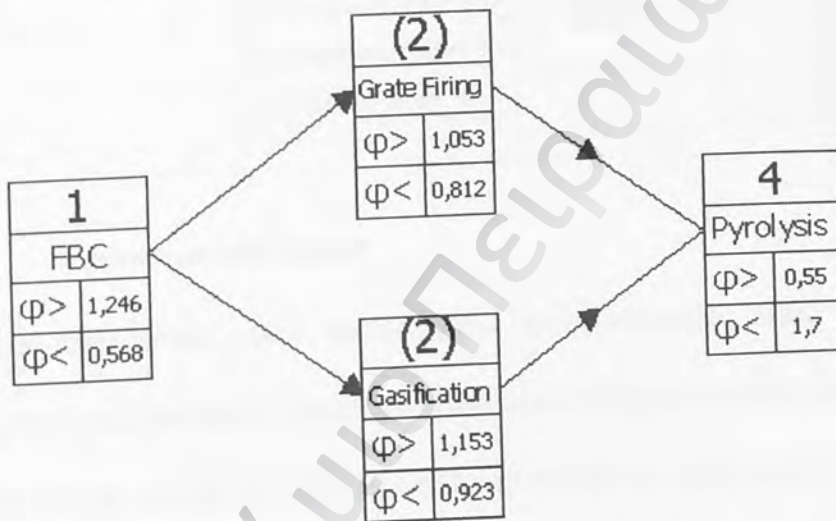
Υπάρχει μια ασάφεια στον καθορισμό της δεύτερης καλύτερης επιλογής, καθώς καύση σε εσχάρα και αεριοποίηση φαίνεται να αποτελούν ισοδύναμες μεν λύσεις, με αρκετά διαφορετικές επιδόσεις δε. Η συνολική κατάταξη φέρνει την καύση σε εσχάρα με ελάχιστη διαφορά μπροστά.

CASE C

Complete ranking



Partial ranking

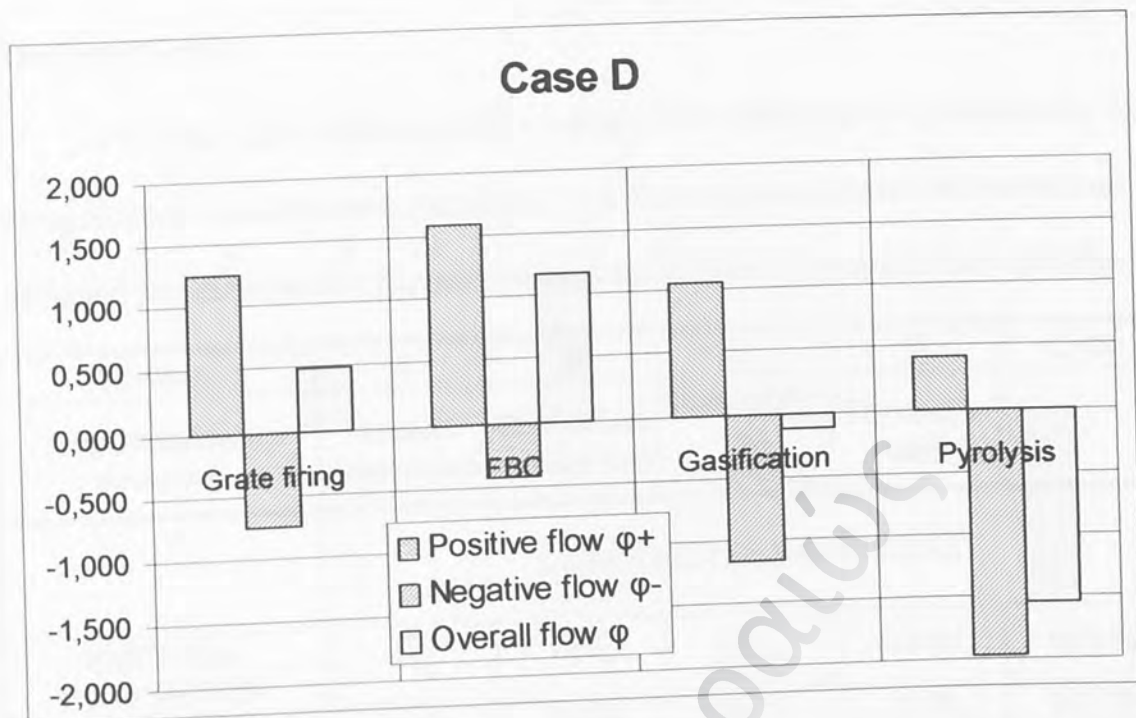


Σχήμα 26
σενάριο C.

Συνολική (complete) και μερική (partial) κατάταξη των τεχνολογιών για το

Σενάριο D

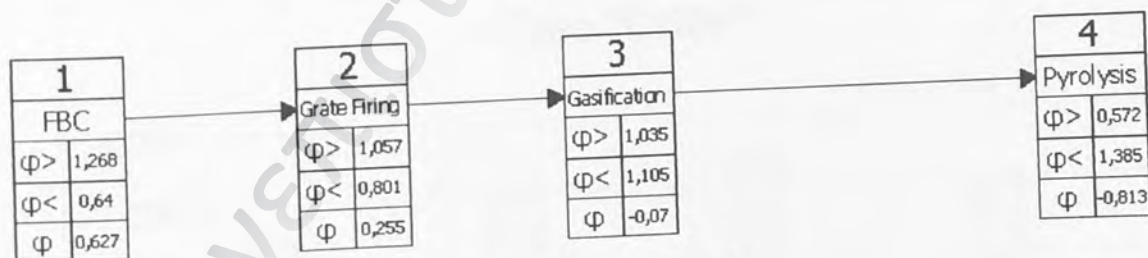
Η εμπειρία αποτελεί το κύριο ζητούμενο για την αντιμετώπιση του σεναρίου αυτού και με δεδομένο ότι πρόκειται για το κριτήριο όπου σαφώς υπερέχουν οι δοκιμασμένες και καθιερωμένες τεχνολογίες καύσης, το αποτέλεσμα είναι εύκολο να προβλεφθεί. Πρώτη κατατάσσεται η καύση σε PK με δεύτερη την καύση σε εσχάρα και ακολουθούν αεριοποίηση και πυρόλυση, με σαφείς διαφορές.



Σχήμα 27 Αποτελέσματα σεναρίου D

Όπως αναφέρθηκε, ήταν αναμενόμενο το αποτέλεσμα, όπως και η σαφής ιεράρχηση των εναλλακτικών λύσεων. Με σημαντικές διαφορές μεταξύ των λύσεων, οι τεχνολογίες καύσης επιβεβαιώνουν τον τίτλο των «έτοιμων τεχνολογιών»

CASE D



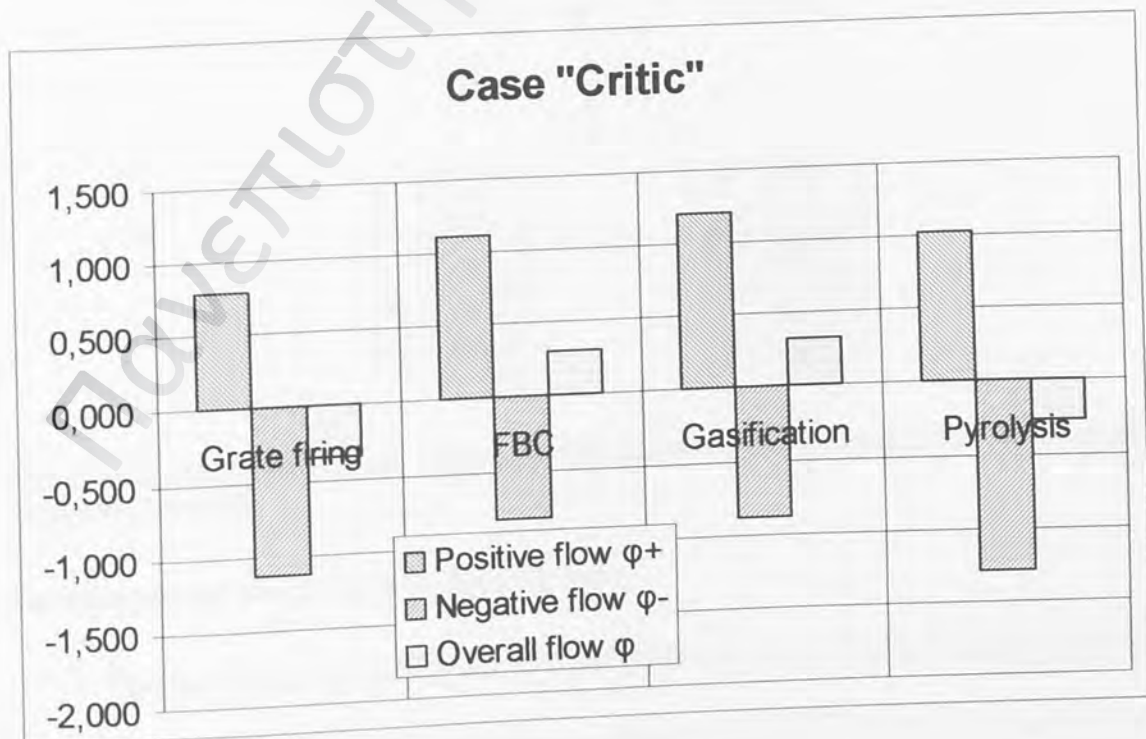
Σχήμα 28 Κατάταξη των τεχνολογιών για το σενάριο D

Σενάριο "Critic"

Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή του Critic και η μεθοδολογία του περιγράφησαν στο αντίστοιχο κεφάλαιο (4^ο). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η σύγκριση των συντελεστών βάρους που αποδίδει το "Critic" με αυτούς των σεναρίων.

Σενάριο	A	B	C	D	Critic
Χαρακτηρισμός σεναρίου	Ακραίο οικολογικό	Ρεαλιστικό οικολογικό	Βιομηχανικής ανάπτυξης	Τεχνοκρατικό	-
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ					
ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	5 %	15 %	25 %	35 %	15,8 %
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	35 %	35 %	20 %	15 %	40,7 %
ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ	20 %	5 %	5 %	5 %	6 %
ΑΣΦΑΛΕΙΑ - ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	25 %	20 %	15 %	25 %	23,11 %
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ	15 %	25 %	35 %	20 %	14,4 %

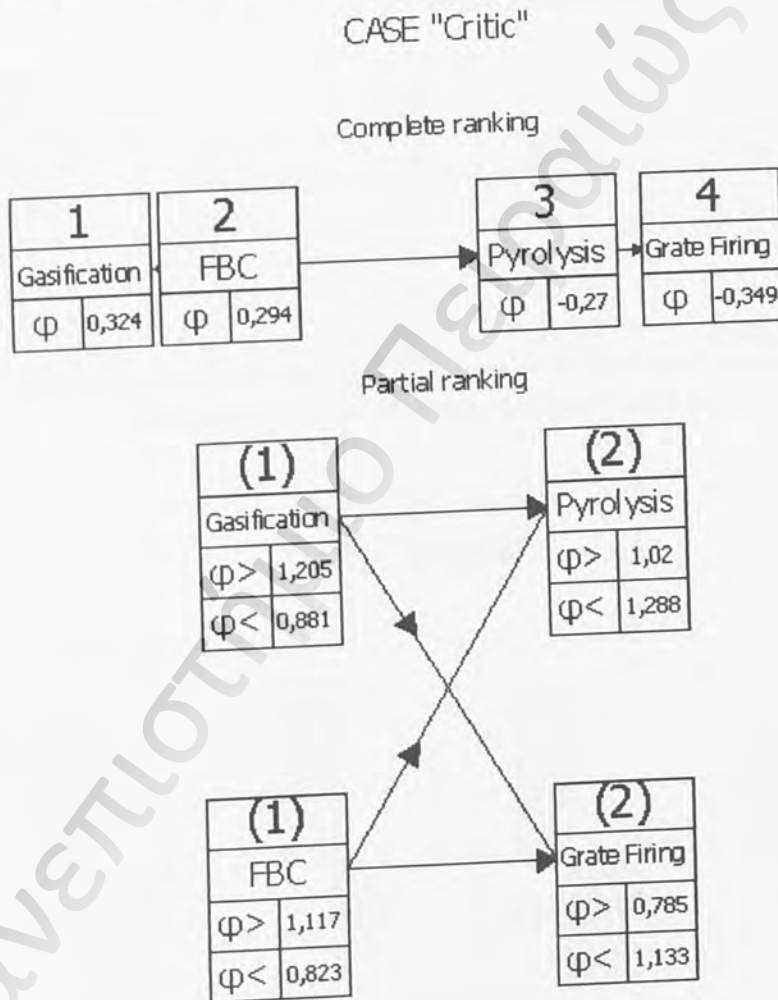
Πίνακας 25 Σύγκριση συντελεστών βάρους σεναρίων – "Critic"



Σχήμα 29

Αποτελέσματα "Critic"

Φαίνεται ότι το πλήθος των περιβαλλοντικών υποκριτηρίων και οι έντονες αποκλίσεις που υπήρχαν σε αυτά, ώθησαν να αποδοθεί μεγάλη σημαντικότητα ειδικά στο περιβάλλον. Κατά συνέπεια, παρατηρείται μια κατάταξη αντίστοιχη με αυτή του «ρεαλιστικού οικολογικού» σεναρίου Β. Τα σχόλια που αναφέρθηκαν για τις ασυγκρισιμότητες στο σενάριο Β ισχύουν και εδώ.



Σχήμα 30 Συνολική (complete) και μερική (partial) κατάταξη των τεχνολογιών για την περίπτωση εφαρμογής του Critic

Σενάριο «ίσων συντελεστών βαρύτητας»

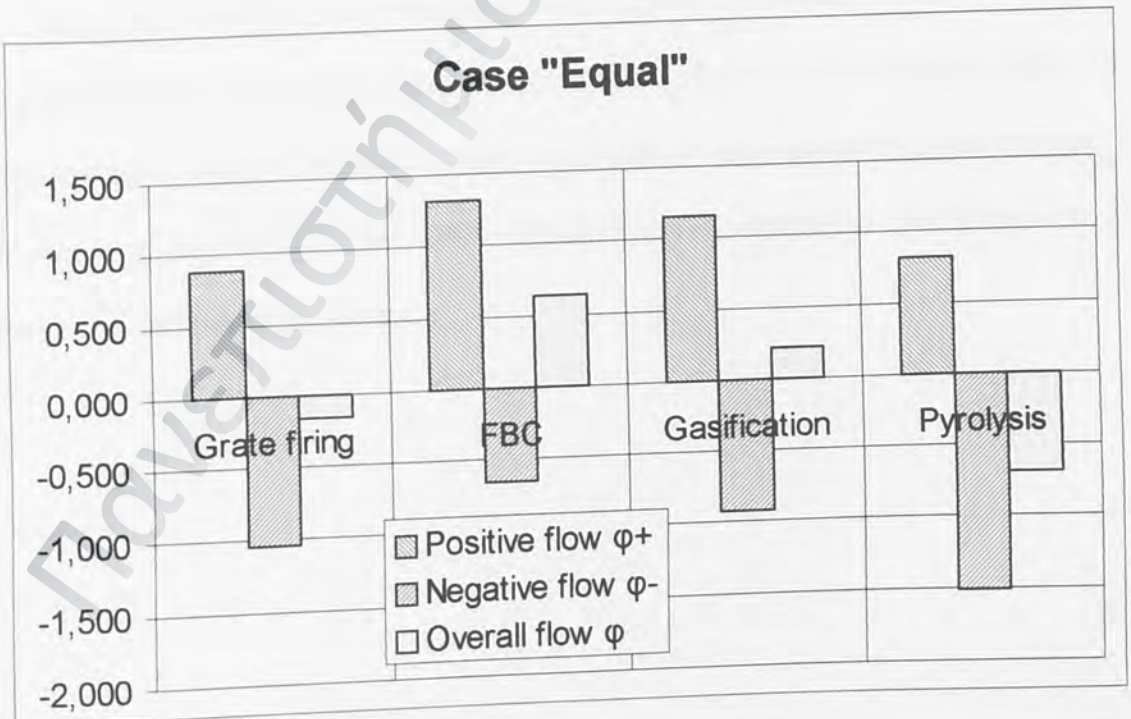
Πρόκειται για την μέθοδο καθορισμού βαρών που προτείνεται από τον ερευνητή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης που ακολουθήθηκε^[2]. Είναι όμως εμφανές ότι δεν είναι δυνατόν να στηριχθεί η αξιολόγηση πάνω σε ένα τόσο απλοϊκό μοντέλο,

καθώς ο συντελεστής βάρους ουσιαστικά πολλαπλασιάζεται με το πλήθος των υποκριτηρίων κάθε κατεύθυνσης!

Σενάριο	A	B	C	D	Ίσα βάρη
Χαρακτηρισμός σεναρίου	Ακραίο οικολογικό	Ρεαλιστικό οικολογικό	Βιομηχανικής ανάπτυξης	Τεχνοκρατικό	-
	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ				
ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	5 %	15 %	25 %	35 %	16,7 %
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	35 %	35 %	20 %	15 %	38,8 %
ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ	20 %	5 %	5 %	5 %	5,6 %
ΑΣΦΑΛΕΙΑ - ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	25 %	20 %	15 %	25 %	22,2 %
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ	15 %	25 %	35 %	20 %	17,6 %

Πίνακας 26

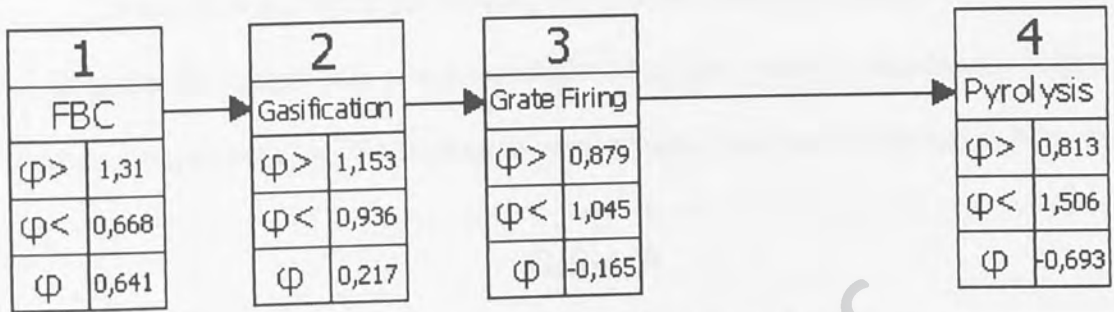
Σύγκριση συντελεστών βάρους σεναρίων – ίσων βαρών



Σχήμα 31

Αποτελέσματα σεναρίου «ίσων βαρών»

CASE Equal



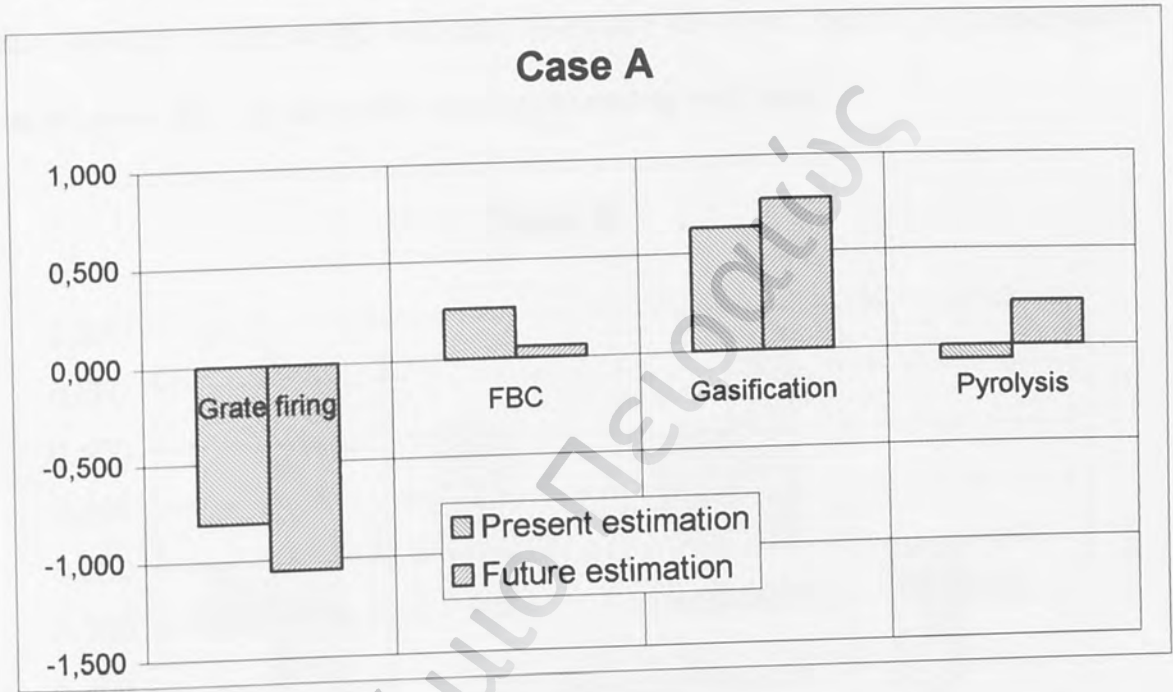
Σχήμα 32 Κατάταξη για την περίπτωση ίσων συντελεστών βάρους

Αποτελέσματα εκτίμησης κατάστασης άμεσου μέλλοντος

Με βάση τον πίνακα 23 με την εκτίμηση των μελλοντικών επιδόσεων και τους συντελεστές βάρους που χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο σκέλος, υπολογίστηκαν οι νέες ροές υπεροχής και υστέρησης. Για λόγους οικονομίας και σαφήνειας δεν παρουσιάζονται συγκριτικά αποτελέσματα παρά μόνο για τις συνολικές ροές των εναλλακτικών λύσεων. Άλλωστε η γενική σύγκριση με την παρούσα κατάσταση ήταν ο σκοπός της παραγράφου. Με μπλε απεικονίζεται η σύγχρονη κατάσταση και με κόκκινο η μελλοντική εκτίμηση.

Σενάριο A

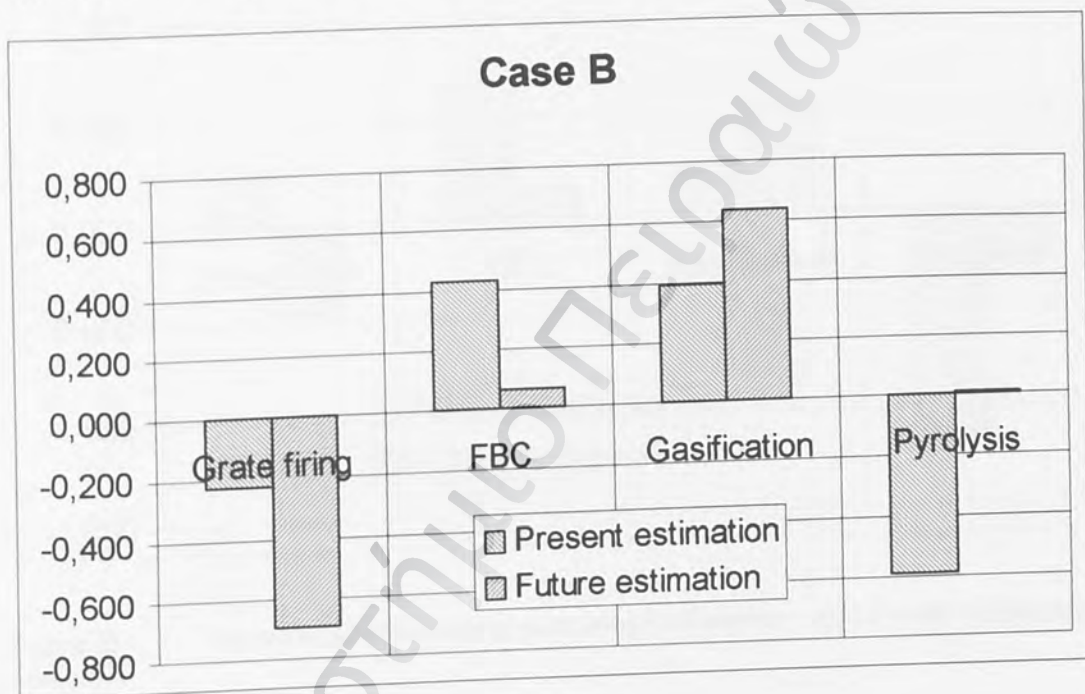
Οι ευνοϊκές εξελίξεις για τις νέες τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης αναμένεται να επηρεάσουν ακόμα και τον «φανατικό» οικολόγο, όπου η πυρόλυση δείχνει να υπερτερεί της καύσης σε ΡΚ. Φυσικά, η αεριοποίηση ενισχύει την κυρίαρχη θέση της.



Σχήμα 33 Αποτελέσματα σύγκρισης παρούσας κατάστασης – μελλοντικής εκτίμησης για το σενάριο A

Σενάριο Β

Η «ομιχλώδης» κατάσταση του «ρεαλιστικά οικολογικού» σεναρίου Β για την παρούσα κατάσταση αποσαφηνίζεται, δίνοντας στην εφαρμογή της αεριοποίησης την θέση της επικρατέστερης λύσης. Η πυρόλυση δείχνει να αντιμετωπίζει πλέον «σαν ίσος προς ίσο» την καύση σε ΡΚ, ενώ όπως φαίνεται η καύση σε εσχάρα – ως ξεπερασμένη τεχνολογία – δεν έχει τα εφόδια να ανταγωνιστεί τις υπόλοιπες.

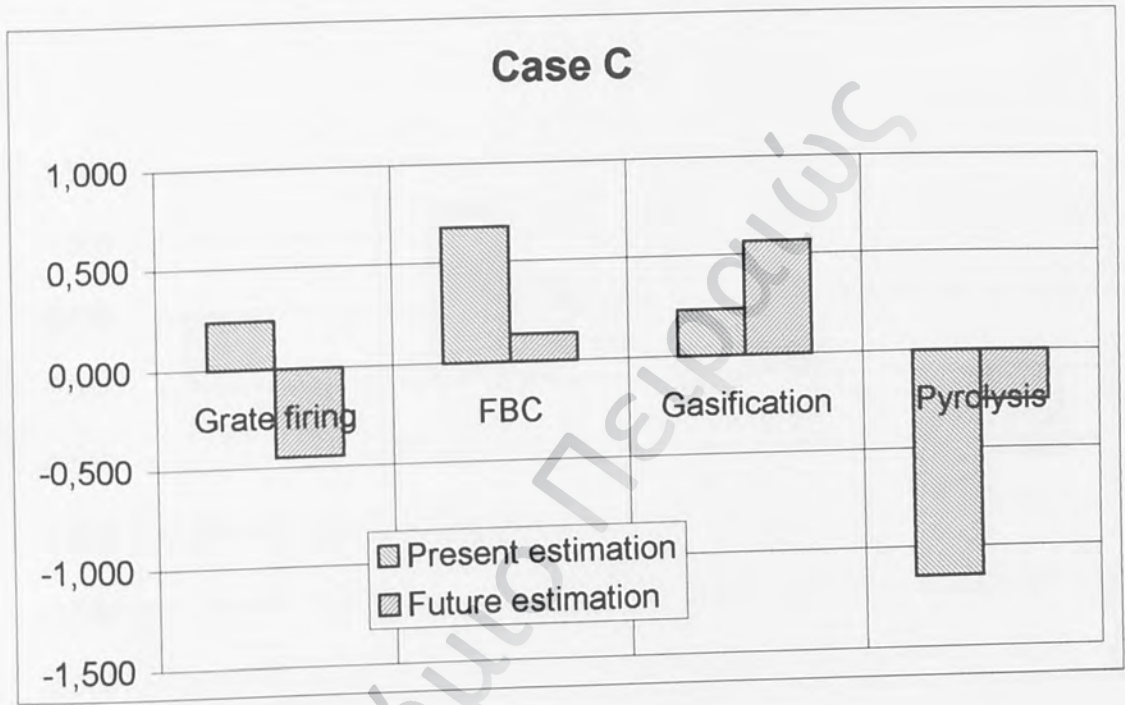


Σχήμα 34
σενάριο Β

Αποτελέσματα σύγκρισης παρούσας κατάστασης – μελλοντικής εκτίμησης για το

Σενάριο C

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με δεδομένες τις ευνοϊκές εξελίξεις που προεξοφλήθηκαν, δεν θα είναι απαραίτητο να θεωρεί κανείς εαυτόν οικολόγο για να επιλέξει συνειδητά την αεριοποίηση έναντι της καύσης σε ΡΚ.

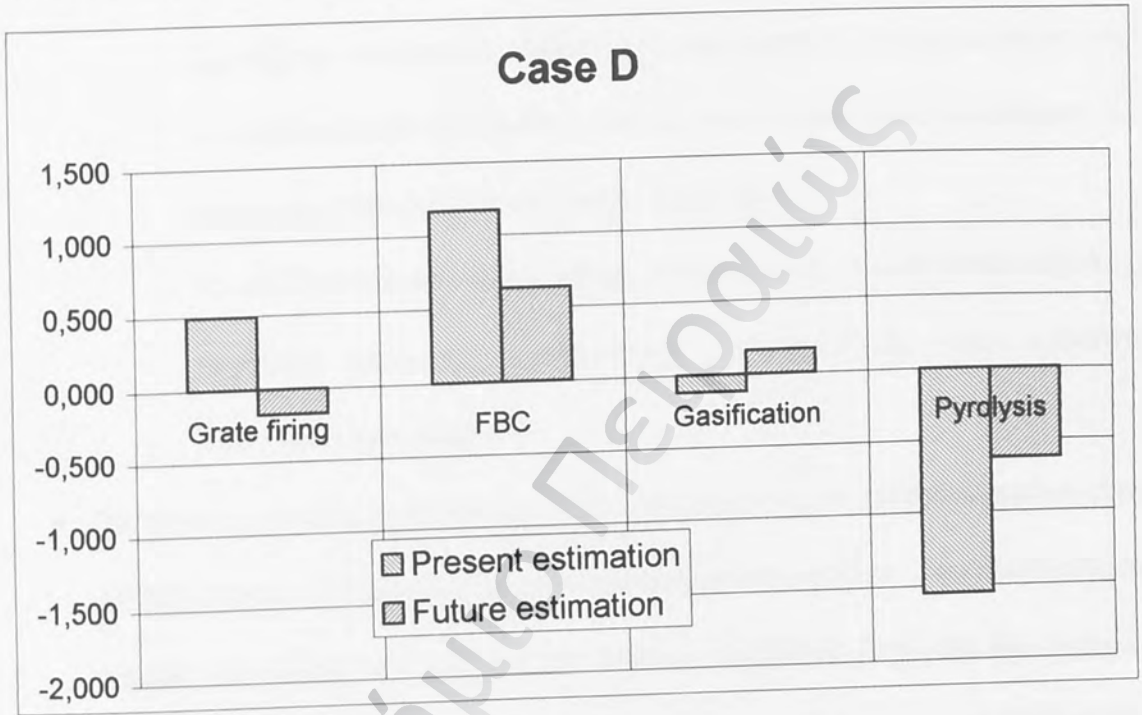


Σχήμα 35
σενάριο C

Αποτελέσματα σύγκρισης παρούσας κατάστασης – μελλοντικής εκτίμησης για το

Σενάριο D

Η μοναδική περίπτωση όπου οι τεχνολογίες καύσης δείχνουν να μη χάνουν τα πρωτεία είναι το «τεχνοκρατικό» σενάριο. Εδώ εκμεταλλεύονται την ελαφρά – πλέον – υπεροχή σε εμπειρία και ασφάλεια.



Σχήμα 36
σενάριο D

Αποτελέσματα σύγκρισης παρούσας κατάστασης – μελλοντικής εκτίμησης για το

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορούν να εφαρμοστούν με αποτελεσματικότητα προκειμένου να αξιολογηθούν τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης και αποδόσεις ενεργειακών συστημάτων.
 - Χρειάζεται αναλυτική μελέτη και κατανόηση των χαρακτηριστικών λειτουργίας κάθε συστήματος προκειμένου να γίνει σωστή στάθμιση των κριτηρίων μέσω των συντελεστών βαρύτητας
 - Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε είναι σε θέση να αποτελέσει αξιόλογο εργαλείο εκτίμησης μελλοντικής συμπεριφοράς και αποδοχής ενεργειακών συστημάτων
- Σε γενικές γραμμές, η καύση αστικών απορριμμάτων σε ρευστοποιημένη κλίνη (FBC) δείχνει να είναι προς το παρόν η επικρατέστερη λύση. Υπό προϋποθέσεις μπορεί να επιλεγεί και η καύση σε εσχάρα, αρχίζει να θεωρείται παρωχημένη λύση. Οι νέες τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης (αεριοποίηση – πυρόλυση) δεν πείθουν ότι αποτελούν επαναστατικές – ριζικές λύσεις στο πρόβλημα, όμως υπάρχουν ενδείξεις ότι βρισκόμαστε στο μεταβατικό στάδιο προς την ανάδειξή τους. Προς το παρόν, για να επιλεγθούν για κάποια καθαρά εμπορική εγκατάσταση, πρέπει ο αποφασίζων να έχει «υψηλή περιβαλλοντική ευαισθησία».
 - Ισχυρά σημεία τεχνολογιών καύσης:
 - Εμπειρία εφαρμογών
 - Αξιοπιστία
 - Ασφάλεια
 - Απλότητα διεργασιών

- Χαμηλά κόστη λειτουργίας και εγκατάστασης
- Επιπλέον αν η εγκατάσταση περιλαμβάνει ρευστοποιημένη κλίνη:
 - Ελαστικότητα λειτουργίας
 - Απορρόφηση ανωμαλιών καυσίμου
 - Σταθερότητα συνθηκών καύσης
- Ισχυρά σημεία νέων τεχνολογιών θερμικής αξιοποίησης:
 - Περιβαλλοντική επίδοση
 - Κοινωνική αποδοχή
 - Ανώτερη ηλεκτρική απόδοση (σε θεωρητικό στάδιο ακόμα)
- Η χρήση ίσων συντελεστών βαρύτητας, όπως προτείνεται από τη βιβλιογραφία της πολυκριτηριακής ανάλυσης^[2], κρίνεται ως μη κατάλληλη να εφαρμοστεί σε αντίστοιχες αξιολογήσεις. Αφ' ενός αποτελεί μια απλούστευση που δεν ανταποκρίνεται σε πραγματικές καταστάσεις αντίστοιχων προβλημάτων και αφ' ετέρου – στη συγκεκριμένη μελέτη – το πλήθος των υποκριτηρίων πολλαπλασίαζε τη βαρύτητα του κριτηρίου. Η μέθοδος CRITIC προσεγγίζει το θέμα της απόδοσης των συντελεστών βαρύτητας μέσω στατιστικής ανάλυσης των επιδόσεων και της εσωτερικής πληροφορίας που εμπεριέχεται σε κάθε κριτήριο. Δεν αποσκοπεί σε τελεσίδικο προσδιορισμό των συντελεστών, αλλά αποτελεί μια αντικειμενική εκτίμηση της σημαντικότητας των κριτηρίων. Ο ρόλος της είναι λοιπόν να υποβοηθήσει τον αποφασίζοντα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Zeleny M., "Multiple Criteria Making", *McGraw-Hill*, New York (1982)
2. Xu, X., "The SIR method: A superiority and inferiority ranking method for multiple criteria decision making", *European Journal of Operational Research* **131**, 587-602 (2001)
3. Brans, J.P., Vincke, Ph. and Mareschal, P., "How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method", *European Journal of Operational Research* **24**, 228-238 (1986)
4. Diakoulaki, D., Mavrotas, G., Papayannakis, L., "Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method", *Computers Operational Research* **22**, 763 -770 (1995)
5. Κολαΐτης Δ., Κώνστας Σ., Φούντη Μ., Κανάραχος Α., "Προμελέτη για την κατασκευή μονάδας θερμικής αξιοποίησης του παραγόμενου RDF από τα απορρίμματα των δυο εργοστασίων μηχανικής ανακύκλωσης του ΕΣΔΚΝΑ", ΕΜΠ, Ιανουάριος 2000
6. IEA Bioenergy & IEA CADDET, "Advanced Thermal Conversion Technologies for Energy from Solid Waste", 1998
7. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), "Διερεύνηση δυνατοτήτων αξιοποίησης βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ", Δεκέμβριος 1996
8. NOVEM, Thermal treatment of household waste. An evaluation of five techniques, 1995.
9. ECOTEC Research and Consulting Ltd. "Review of Pollution Control Technology for Waste Combustion", February 1990
10. Morris, M (TPS Termiska Processer AB), "Electricity Production from Solid Waste Fuels using Advanced Gasification Technology", *ISWA World Congress*, 26-29 October 1998, Charlotte, North Carolina, USA
11. Eastop, T.D, Croft, D.R., "Energy Efficiency", *Longman Publications*, Great Britain, 1990
12. Παπαγεωργίου Ν., «Ατμοπαραγωγοί Ι (Βασικές Αρχές)», Εκδόσεις «Συμεών», Ιούνιος 1991
13. Vehlow, J., «Thermische Verfahren im Vergleich», Graz, 1998.

14. Σκορδίλη Αδ., «Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων και RDF», ΚΟΣΜΟΣ ΕΠΕ, Αθήνα 1997
15. Rensfeld, E. (TPS Termiska Processer AB), Oestman, A. (Kemiinformation AB), "Gasification of Waste – Summary and conclusions of 25 years of development" IEA Biomass Agreement, 1996
16. Διακουλάκη Δ., «Λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια», Σημειώσεις μαθήματος «Μέθοδοι Διαχείρισης και Λήψης Αποφάσεων» του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Οργάνωση & Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων» - ειδίκευση «Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος»
17. Roy, B., «ELECTRE III: Un algorithme de classement fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples ». *Cahiers Centre Etudes Recherche Opérationnelle* **20 (1)**, 3-24. 1978
18. Lurgi Energie und Umwelt GmbH, Brochure No. 950031B: Das Lurgi-WIKONEX Verfahren, Frankfurt, June 1995.
19. Anton F., Das KWU-Schwelbrennverfahren, VDI Verlag Duesseldorf, 1995.
20. Carl J., Fritz P., NOELL-Konversionsverfahren zur Verwertung und Entsorgung von Abfaellen, EF Verlag, Berlin 1994.
21. Schweitzer, F. : Thermoselect-Verfahren zur Ent- und Vergasung von Abfaellen, EF-Verlag fuer Energie- und Umwelttechnik, Berlin 1994.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

	SELCHP	SPSA	ALKMAAR	POWERGEN
Εταιρεία	CNIM, Onyx Aurora		Von Roll - Schelde	Von Roll - Lurgi
Ετήσια δυναμικότητα	420.000 tn/yr	547.500 tn/yr	385.000 tn/yr	1.200.000 tn/yr
Αιθίος "γαμμών" - δυναμικότητα	2- 29 tn/hr	3 - 20 tn/hr	3 - 18,5 tn/hr	4
Ηλεκτρική ισχύς (ολική) - MWeI	32	40	42	144
Ηλεκτρική ισχύς (διαθέσιμη) - MWeI	28,5		35	130
Θερμική ισχύς - MWth	50	93	56,5	
Χαρακτηριστικά ατμού	46 bar - 395°C	48 bar - 400°C	40 bar - 400°C	45 bar - 450°C
Παροχή ατμού	144 tn/hr	227 tn/hr	190 tn/hr	
Καύσιμο	MSW	RDF	MSW	MSW
Hu	8.500 kJ/kg		10.000 kJ/kg	
Θερμοκρασία λειτουργίας		980°C	850-1100°C	850-1100°C
Αντιρρυπαντικές συσκευές	Ημι-υγρές διαλύματος Σακκόφιλτρα	Πλυντηριδές διαλύματος αερίστου, Σακκόφιλτρα	Ηλεκτροστατικά φίλτρα, Υγρή πλυντηριδία, Σακκόφιλτρα, SCR	Απορροφητής οξίνων, Σακκόφιλτρα, SCR
Κόστος εγκατάστασης	85.000.000 UKL		835.000.000 NLG	
Κόστος εγκατάστασης (δισ. όρχ.)	43,35		125,25	
Εκπομπές (mg/Nm³)				
Σωματίδια	1,4		3	10
HCl	13,7		5	10
HF	< 0,01		0,5	1
SO ₂	10,8		30	50
NO _x	385		70	200
Πτητικά Οργανικά	< 3		5	0,05
CO	9		25	50
PCDD (ng/Nm ³)	0,02		0,05	0,1
Βαρέα Μέταλλα	0,062		0,25	0,5

Πίνακας Π. 1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εγκαταστάσεων Καύσης σε Εσχάρες Οικιακών Απορριμμάτων

Πηγή: [5]

	ΜΑΑΡΙΤΗ	ΒΕΡΟΝΑ	ΤΑΪΑΝΑΝΗ	ΒΙΑΒΕΡΓΕΤ
Τεχνολογία	ROWITEC-TIF (Revolving FBC)	Two-stage	Circulating FBC	Circulating FBC
Εταιρεία	Holter ABT (Γερμανία)	THYSSSEN (Γερμανία) - ANSALDO (Ιταλία)	Kvaerner Enviropower (Σουηδία)	Kvaerner Enviropower (Σουηδία)
Ημερήσια Δυναμικότητα	600 tn/day	500 tn/day	480 tn/day	132 tn/day
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	4 γραμμές - 25 tn/hr		Για ογκώδη και μέταλλα	1 γραμμή - 45.000 tn/yr
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΥΣΗΣ				
• Αριθμός "γραμμών"	3	2	1	1
• Ετήσια λειτούργεια	7440 hr/yr	4000 hr/yr	8000 hr/yr	
• Ωριαία δυναμικότητα ανά «γραμμή»	8,5 tn/hr	8-13 tn/hr	20 tn/hr	5,5 tn/hr
• Καύσιμο	RDF 300x300 mm		30% RDF-70% λυγνίτης	RDF
• Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	14,7	8,4-12,6		8-14
• Θερμοκρασία λειτούργειας	950 °C	850 °C	860 °C	
Χαρακτηριστικά ατμού	47 bar - 425 °C	46 bar - 390 °C	43 bar - 450 °C	33 bar - 2850C
Παροχή ατμού		86 tn/hr	98,2 tn/hr	28 tn/hr
Ηλεκτρική ισχύς (ολική)		21,8 MweI	20 MWeI	
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΑΙΔΑΕΡΙΩΝ				
• Ημι-υγρή πλυντηριδία (απομάκρυνση SO _x , HCl, HF)	Ψεκάζεται μετρίμα αέρα - υδρασβέστου σε σταγόνες των 50 μm (140 °C)	Ψεκάζεται μετρίμα νερού-υδρασβέστου	Ψεκασμός υδρασβέστου (HCl, HF, SOx) και ενεργού άνθρακα (PCDD/F)	

• Σακκόφλητρα	2	2 (Είσοδος: 130 °C)	
• Κυκλώνες	Στην έξοδο των boilers για την υττάμενη τέφρα.	-	2 "θερμοί" για ανάκτηση του αδρανούς
Κόστος εγκατάστασης	83.660.000 ECU	43.370.000 ITL	69.000.000 USD
Κόστος εγκατάστασης (δίσ. ΔΡΧ.)	27,6	7,4(*)	21,39
Ολικός βαθμός απόδοσης	22,6 %		

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

ΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Κώδικας βασικής φόρμας (Σχήμα 18)

```
Option Base 1
Private Sub Command1_Click()
Dim intObjects As Integer
Dim intAttrib As Integer
Dim intk As Integer
Dim intm As Integer
Dim sumw As Single

intObjects = InputBox("No of objects?") ' ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ
intAttrib = InputBox("No of attributes?") ' ΑΡΙΘΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Dim DM() As Single ' ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ
Dim w() As Single ' ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΩΝ
Dim Q1() As Single
Dim posd() As Single
Dim negd() As Single
Dim fplus() As Single
Dim fminus() As Single
Dim s() As Single
Dim I() As Single
Dim max() As Boolean
Dim q() As Single
Dim p() As Single
Dim a() As Single
Dim s_exp() As Single
Dim s_flow() As Single
Dim i_flow() As Single

ReDim DM(intAttrib, intObjects)
ReDim posd(intAttrib, intObjects)
ReDim negd(intAttrib, intObjects)
ReDim fplus(intAttrib, intObjects)
ReDim fminus(intAttrib, intObjects)
ReDim s(intAttrib, intObjects)
ReDim I(intAttrib, intObjects)
ReDim w(intAttrib)
ReDim Q1(intObjects)
ReDim max(intAttrib)
ReDim q(intAttrib)
ReDim p(intAttrib)
ReDim a(intAttrib)
ReDim s_exp(intAttrib)
ReDim s_flow(intObjects)
ReDim i_flow(intObjects)

MSFlexGrid1.Cols = intObjects + 1
MSFlexGrid1.Rows = intAttrib + 1
MSFlexGrid1.Visible = True

MSFlexGrid2.Row = 0
MSFlexGrid2.Col = 0
MSFlexGrid2.RowSel = intAttrib
MSFlexGrid2.ColSel = 7

MSFlexGrid3.Row = 0
MSFlexGrid3.Col = 0
MSFlexGrid3.RowSel = 3
MSFlexGrid3.ColSel = intObjects

MSFlexGrid2.FillStyle = flexFillRepeat
MSFlexGrid2.CellAlignment = flexAlignCenterCenter
MSFlexGrid3.FillStyle = flexFillRepeat
MSFlexGrid3.CellAlignment = flexAlignCenterCenter
```



```

For intm = 1 To intObjects
    MSFlexGrid1.TextMatrix(0, intm) = "Object " & intm 'ΤΙΤΑΟΙ ΜΕ ΑΥΞΟΝΤΑ ΑΡΙΘΜΟ
    MSFlexGrid3.TextMatrix(0, intm) = "Object " & intm
Next intm

For intk = 1 To intAttrib
    MSFlexGrid1.TextMatrix(intk, 0) = "Attrib " & intk
    MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 0) = "Attrib " & intk
Next intk

For intm = 0 To intObjects
    MSFlexGrid1.ColWidth(intm) = 1000 'ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΟΥΤΙΩΝ FLEXGRID
    MSFlexGrid3.ColWidth(intm) = 1000
Next intm

For intk = 0 To intAttrib
    MSFlexGrid1.RowHeight(intk) = 288
    MSFlexGrid2.RowHeight(intk) = 288
Next intk

    MSFlexGrid2.ColWidth(0) = 1000

    MSFlexGrid2.ColWidth(1) = 1100
    MSFlexGrid2.ColWidth(2) = 400
For intk = 3 To 6
    MSFlexGrid2.ColWidth(intk) = 530
Next intk

    MSFlexGrid2.ColWidth(7) = 610

For intm = 0 To 3
    MSFlexGrid3.RowHeight(intm) = 288
Next intm

End Sub
Private Sub Command2_Click() 'QUIT
End
End Sub

Private Sub Command3_Click()
MSFlexGrid3.Visible = True
MSFlexGrid3.TextMatrix(1, 0) = "f+"
MSFlexGrid3.TextMatrix(2, 0) = "f-"
MSFlexGrid3.TextMatrix(3, 0) = "f"

Dim intObjects As Integer 'ΑΦΕΥΘΩ ΙΑΘΑΑΕΦΩΪ
Dim intAttrib As Integer
Dim intk As Integer
Dim intm As Integer
Dim sumw As Single
Dim paron_w

intObjects = MSFlexGrid1.Cols - 1 'ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΑΥΞΕΩΝ
intAttrib = MSFlexGrid1.Rows - 1 ' ΑΡΙΘΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Dim DM() As Single
Dim w() As Single
Dim Q1() As Single
Dim posd() As Single
Dim negd() As Single
Dim fplus() As Single
Dim fminus() As Single
Dim s() As Single
Dim I() As Single
Dim max() As Boolean
Dim q() As Single
Dim p() As Single
Dim a() As Single
Dim s_exp() As Single
Dim s_flow() As Single
Dim i_flow() As Single

```

```

Dim DM_plus() As Single
Dim DM_minus() As Single
Dim DM01() As Single
Dim meanDM01() As Single
Dim sumDM01() As Single
Dim sum2DM01() As Single
Dim stdevDM01() As Single
Dim COV() As Single
Dim r() As Single
Dim C() As Single

```

```

ReDim DM(intAttrib, intObjects)
ReDim posd(intAttrib, intObjects)
ReDim negd(intAttrib, intObjects)
ReDim fplus(intAttrib, intObjects)
ReDim fminus(intAttrib, intObjects)
ReDim s(intAttrib, intObjects)
ReDim I(intAttrib, intObjects)
ReDim w(intAttrib)
ReDim Q1(intObjects)
ReDim max(intAttrib)
ReDim q(intAttrib)
ReDim p(intAttrib)
ReDim a(intAttrib)
ReDim s_exp(intAttrib)
ReDim s_flow(intObjects)
ReDim i_flow(intObjects)

```

```

ReDim DM_plus(intAttrib)
ReDim DM_minus(intAttrib)
ReDim DM01(intAttrib, intObjects)
ReDim meanDM01(intAttrib)
ReDim sumDM01(intAttrib)
ReDim sum2DM01(intAttrib)
ReDim stdevDM01(intAttrib)
ReDim COV(intAttrib, intAttrib)
ReDim r(intAttrib, intAttrib)
ReDim C(intAttrib)

```

```

For intk = 1 To intAttrib ' ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΙΜΩΝ FLEXGRID ΣΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ DM
  For intm = 1 To intObjects

```

```

    DM(intk, intm) = MSFlexGrid1.TextMatrix(intk, intm)

```

```

  Next intm
Next intk

```

```

For intk = 1 To intAttrib ' ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΙΜΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ q
  If MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 3) <> "-" Then
    q(intk) = MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 3)
  End If
Next intk

```

```

For intk = 1 To intAttrib ' ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ p
  If MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 4) <> "-" Then
    p(intk) = MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 4)
  End If
Next intk

```

```

For intk = 1 To intAttrib ' ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΙΜΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ a
  If MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 5) <> "-" Then
    a(intk) = MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 5)
  End If
Next intk

```

```

For intk = 1 To intAttrib ' ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΙΜΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ s
  If MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 6) <> "-" Then
    s_exp(intk) = MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 6)
  End If
Next intk

```

```

For intk = 1 To intAttrib ' ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΠΡΟΣ MAX Ή MIN?
  If MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 2) = "Max" Then
    max(intk) = True
  ElseIf MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 2) = "Min" Then

```

```

max(intk) = False
End If
Next intk

MSFlexGrid3.Cols = MSFlexGrid1.Cols

For intm = 1 To intObjects
  For intk = 1 To intAttrib
    For m = 1 To intObjects

      If (DM(intk, m) - DM(intk, intm)) >= 0 Then
        posd(intk, m) = DM(intk, m) - DM(intk, intm)
        negd(intk, m) = 0
      Else
        posd(intk, m) = 0
        negd(intk, m) = Abs(DM(intk, m) - DM(intk, intm))
      End If

      If MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 6) = "-" Then

        If p(intk) = 0 Then
          If q(intk) = 0 Then
            If posd(intk, m) > 0 Then
              fplus(intk, m) = 1
            Else
              fplus(intk, m) = 0
            End If

            If negd(intk, m) > 0 Then
              fminus(intk, m) = 1
            Else
              fminus(intk, m) = 0
            End If
          End If
          If q(intk) > 0 Then
            If posd(intk, m) > q(intk) Then
              fplus(intk, m) = 1
            Else
              fplus(intk, m) = 0
            End If

            If negd(intk, m) > q(intk) Then
              fminus(intk, m) = 1
            Else
              fminus(intk, m) = 0
            End If
          End If
        ElseIf p(intk) > 0 Then
          If q(intk) = 0 Then
            If posd(intk, m) < 0 Then
              fplus(intk, m) = 0
            ElseIf posd(intk, m) < p(intk) Then
              fplus(intk, m) = posd(intk, m) / p(intk)
            Else
              fplus(intk, m) = 1
            End If
            If negd(intk, m) < 0 Then
              fminus(intk, m) = 0
            ElseIf negd(intk, m) < p(intk) Then
              fminus(intk, m) = negd(intk, m) / p(intk)
            Else
              fminus(intk, m) = 1
            End If
          End If
          If q(intk) > 0 Then
            If MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 5) = "-" Then
              If posd(intk, m) < q(intk) Then
                fplus(intk, m) = 0
              ElseIf posd(intk, m) < p(intk) Then
                fplus(intk, m) = (posd(intk, m) - q(intk)) / (p(intk) -
q(intk))
              Else
                fplus(intk, m) = 1
              End If
              If negd(intk, m) < q(intk) Then
                fminus(intk, m) = 0

```



```

q(intk))
ElseIf negd(intk, m) < p(intk) Then
    fminus(intk, m) = (negd(intk, m) - q(intk)) / (p(intk) -
Else
    fminus(intk, m) = 1
End If
Else
    If posd(intk, m) < q(intk) Then
        fplus(intk, m) = 0
    ElseIf posd(intk, m) < p(intk) Then
        fplus(intk, m) = a(intk)
    Else
        fplus(intk, m) = 1
    End If
    If negd(intk, m) < q(intk) Then
        fminus(intk, m) = 0
    ElseIf negd(intk, m) < p(intk) Then
        fminus(intk, m) = a(intk)
    Else
        fminus(intk, m) = 1
    End If
End If
End If
Else
    If posd(intk, m) > 0 Then
        fplus(intk, m) = 1 - Exp(-posd(intk, m) ^ 2 / (2 * s_exp(intk) ^ 2))
    Else
        fplus(intk, m) = 0
    End If
    If negd(intk, m) > 0 Then
        fminus(intk, m) = 1 - Exp(-negd(intk, m) ^ 2 / (2 * s_exp(intk) ^ 2))
    Else
        fminus(intk, m) = 0
    End If
End If
    If max(intk) = False Then
        s(intk, intm) = s(intk, intm) + fplus(intk, m)
        I(intk, intm) = I(intk, intm) + fminus(intk, m)
    Else
        s(intk, intm) = s(intk, intm) + fminus(intk, m)
        I(intk, intm) = I(intk, intm) + fplus(intk, m)
    End If
Next m
Next intk
Next intm

If Optional.Value = True Then
    For intk = 1 To intAttrib
        DM_plus(intk) = DM(intk, 1)
        DM_minus(intk) = DM(intk, 1)
        For intm = 2 To intObjects
            If DM_plus(intk) < DM(intk, intm) Then
                DM_plus(intk) = DM(intk, intm)
            End If
            If DM_minus(intk) > DM(intk, intm) Then
                DM_minus(intk) = DM(intk, intm)
            End If
        Next intm
    Next intk

    For intk = 1 To intAttrib
        For intm = 1 To intObjects
            If max(intk) = True Then

```

```

        DM01(intk, intm) = (DM(intk, intm) - DM_minus(intk)) / (DM_plus(intk) -
DM_minus(intk))
    Else
        DM01(intk, intm) = (DM(intk, intm) - DM_plus(intk)) / (DM_minus(intk) -
DM_plus(intk))
    End If

    sumDM01(intk) = sumDM01(intk) + DM01(intk, intm)
    sum2DM01(intk) = sum2DM01(intk) + (DM01(intk, intm)) ^ 2
    meanDM01(intk) = sumDM01(intk) / intObjects

    Next intm
    stdevDM01(intk) = ((intObjects * sum2DM01(intk) - (sumDM01(intk)) ^ 2) / (intObjects
* (intObjects - 1))) ^ (1 / 2)

Next intk

For intk = 1 To intAttrib
    For k = 1 To intAttrib
        For m = 1 To intObjects

            COV(k, intk) = COV(k, intk) + ((DM01(k, m) - meanDM01(k)) * (DM01(intk, m) -
meanDM01(intk)))
            r(k, intk) = COV(k, intk) / ((intObjects - 1) * stdevDM01(k) *
stdevDM01(intk))

            Next m
            C(intk) = C(intk) + (1 - r(k, intk))

        Next k

        paron_w = paron_w + stdevDM01(intk) * C(intk)

    Next intk

    For intk = 1 To intAttrib
        w(intk) = (stdevDM01(intk) * C(intk)) / paron_w
        MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 1) = w(intk)
    Next intk

End If

If Option2.Value = True Then
    For intk = 1 To intAttrib
        w(intk) = MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 1)
    Next intk
End If

If Option3.Value = True Then
    For intk = 1 To intAttrib
        w(intk) = 1 / intAttrib
        MSFlexGrid2.TextMatrix(intk, 1) = w(intk)
    Next intk
End If

For intm = 1 To intObjects
    For intk = 1 To intAttrib
        s_flow(intm) = s_flow(intm) + w(intk) * s(intk, intm) ' ΡΟΗ ΥΠΕΡΟΧΗΣ Φ>
        i_flow(intm) = i_flow(intm) + w(intk) * I(intk, intm) ' ΡΟΗ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ Φ<

    Next intk
    MSFlexGrid3.TextMatrix(1, intm) = s_flow(intm)
    MSFlexGrid3.TextMatrix(2, intm) = i_flow(intm)
    MSFlexGrid3.TextMatrix(3, intm) = s_flow(intm) - i_flow(intm)
Next intm

For intm = 1 To intObjects
    For intk = 1 To intAttrib
        Q1(intm) = Q1(intm) + DM(intk, intm) * w(intk)
    Next intk

Next intm

End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()

MSFlexGrid2.Rows = MSFlexGrid1.Rows
MSFlexGrid2.Visible = True
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 1) = "w" ' ΠΡΩΤΗ ΣΤΗΛΗ FLEXGRID2
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 3) = "q"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 4) = "p"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 6) = "s"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 5) = "a"
MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 7) = "Units"

MSFlexGrid1.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 0) = Form2.Text1 'ΑΝΑΝΕΩΣΗ ΣΤΗΛΩΝ FLEXGRID2
KAI TITΛΩN FLEXGRID
MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel,0)= MSFlexGrid1.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel,
0)
MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 1) = Form2.Text2
MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 2) = Form2.List1
MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 7) = Form2.Text3
MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 4) = Form2.Text4
MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 3) = Form2.Text5
MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 6) = Form2.Text6
MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 5) = Form2.Text7

Command5.Caption = MSFlexGrid1.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 0) ' ΑΝΑΝΕΩΣΗ TITΛΩN
Command6.Caption = MSFlexGrid1.TextMatrix(0, MSFlexGrid1.ColSel)

End Sub

Private Sub Command5_Click() ' ΑΝΑΔΕΙΞΗ 2ΗΣ ΦΟΡΜΑΣ

Text2.Visible = False
Form2.Show
End Sub

Private Sub Command6_Click() 'TITΛOI ENALLAKTIKΩN

Text1.Visible = True
Text1.Left = MSFlexGrid1.Left + (MSFlexGrid1.ColSel - MSFlexGrid1.LeftCol + 1) * 995
+ 45
Text1.Top = MSFlexGrid1.Top + 40

Text2.Visible = False
Command5.Visible = False
End Sub

Private Sub Form_click() ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ KINOYMENOY KOYTIΟΥ KAI COMMAND BOXES
Text2.Visible = False
Command5.Visible = False
Command6.Visible = False
Text1.Visible = False

End Sub

Private Sub MSFlexGrid1_EnterCell() 'TO KINOYMENO TEXTBOX ΠΑΙΡΝΕΙ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΟΥΤΙ ΤΟΥ
FLEXGRID ΑΠΟ ΚΑΤΩ ΤΟΥ
Text2.Text = MSFlexGrid1.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, MSFlexGrid1.ColSel)

End Sub

Private Sub msflexgrid1_keydown(keycode As Integer, Shift As Integer)
If keycode = 13 Then ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ KINOYMENOY KOYTIΟΥ KAI COMMAND BOXES
Text2.Visible = False
Command5.Visible = False
Command6.Visible = False
End If
End Sub

Private Sub msflexgrid1_click()
Text2.Visible = False
Command5.Visible = False
Command6.Visible = False

```



```

Text2.Left = MSFlexGrid1.Left + (MSFlexGrid1.ColSel - MSFlexGrid1.LeftCol + 1) * 995
+ 45
Text2.Top = MSFlexGrid1.Top + (MSFlexGrid1.RowSel - MSFlexGrid1.TopRow + 1) * 288 +
40

If Text2.Left > MSFlexGrid1.Left + 5 * 1000 + 45 Or Text2.Top > MSFlexGrid1.Top + 20
* 288 + 40 Then
Text2.Visible = False 'TO KINOYMENO TEXTBOX ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ FLEXGRID1
Else
Text2.Visible = True
End If

Command5.Left = MSFlexGrid1.Left + 45
Command5.Top = MSFlexGrid1.Top + (MSFlexGrid1.RowSel - MSFlexGrid1.TopRow + 1) * 288
+ 40
Command6.Left = MSFlexGrid1.Left + (MSFlexGrid1.ColSel - MSFlexGrid1.LeftCol + 1) *
995 + 45
Command6.Top = MSFlexGrid1.Top + 40

If Command5.Top > MSFlexGrid1.Top + 20 * 288 + 40 Then
Command5.Visible = False 'TO KINOYMENO TEXTBOX ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ
FLEXGRID1
Else
Command5.Visible = True
End If

If Command6.Left > MSFlexGrid1.Left + 5 * 995 + 45 Then
Command6.Visible = False 'TO KINOYMENO TEXTBOX ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ
FLEXGRID1
Else
Command6.Visible = True
End If

Text1.Visible = False
Text1.Left = MSFlexGrid1.Left + (MSFlexGrid1.ColSel - MSFlexGrid1.LeftCol + 1) * 995
+ 45
Text1.Top = MSFlexGrid1.Top + 40

Command5.Caption = MSFlexGrid1.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 0)
Command5.FontBold = True
Command6.Caption = MSFlexGrid1.TextMatrix(0, MSFlexGrid1.ColSel)
Command6.FontBold = True

Text3.Text = MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 0)
Text4.Text = MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 1)
Text5.Text = MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 2)
Text6.Text = MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 3)
Text7.Text = MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 4)
Text8.Text = MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 6)
Text9.Text = MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 7)
Text10.Text = MSFlexGrid2.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, 5)
End Sub

Private Sub MSFlexGrid2_scroll()
MSFlexGrid1.TopRow = MSFlexGrid2.TopRow
End Sub
Private Sub MSFlexGrid1_scroll()
MSFlexGrid2.TopRow = MSFlexGrid1.TopRow
MSFlexGrid3.LeftCol = MSFlexGrid1.LeftCol
End Sub
Private Sub MSFlexGrid3_scroll()
MSFlexGrid1.LeftCol = MSFlexGrid3.LeftCol
End Sub

Private Sub Text1_Change() 'ALTERNATIVE SOLUTIONS TITLES
MSFlexGrid1.TextMatrix(0, MSFlexGrid1.ColSel) = Text1.Text
Command6.Caption = Text1.Text
MSFlexGrid3.TextMatrix(0, MSFlexGrid1.ColSel) = Text1.Text
End Sub

Private Sub text1_keydown(keycode As Integer, Shift As Integer)
If keycode = 13 Then
Text1.Visible = False

End If

```

End Sub

```
Private Sub Text2_Change()  
    MSFlexGrid1.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, MSFlexGrid1.ColSel) = Text2.Text
```

End Sub

```
Private Sub text2_keydown(keycode As Integer, Shift As Integer)  
    If keycode = 13 Then  
        MSFlexGrid1.TextMatrix(MSFlexGrid1.RowSel, MSFlexGrid1.ColSel) = Text2.Text  
        If MSFlexGrid1.RowSel < MSFlexGrid1.Rows - 1 Then  
            MSFlexGrid1.RowSel = MSFlexGrid1.RowSel + 1  
            Text2.Top = Text2.Top + 288  
        End If  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub Text3_Change()  
    Form2.Text1 = Text3.Text
```

End Sub

```
Private Sub Text4_Change()  
  
    Form2.Text2 = Text4.Text  
End Sub
```

```
Private Sub Text5_Change()  
  
    Form2.List1 = Text5.Text  
End Sub
```

```
Private Sub Text6_Change()  
  
    Form2.Text5 = Text6.Text  
End Sub
```

```
Private Sub Text7_Change()  
  
    Form2.Text4 = Text7.Text  
End Sub
```

```
Private Sub Text8_Change()  
  
    Form2.Text6 = Text8.Text  
End Sub
```

```
Private Sub Text9_Change()  
  
    Form2.Text3 = Text9.Text  
End Sub
```

```
Private Sub Text10_Change()  
    Form2.Text7 = Text10.Text  
End Sub
```

Κώδικας φόρμας εισαγωγής ιδιοτήτων κριτηρίου (Σχήμα 19)

```
Private Sub Command2_Click() 'Eksodos
    Form2.Hide
End Sub

Private Sub Form_Activate()
    If Form1.Option2 = True Then
        Text2.Enabled = True
        Text2.BackColor = &H80000005
    Else
        Text2.Enabled = False
        Text2.BackColor = &H8000000A
    End If
End Sub

Private Sub Form_Load()

    Label9.Visible = False
    Line2.Visible = False
    Line4.Visible = False
    Line5.Visible = False
    Line18.Visible = False
    Line51.Visible = False
    Label25.Visible = False

End Sub
Private Sub Option1_Click()

    Line26.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΕΚΘΕΤΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΕΣ
    Line9.Visible = False
    Line34.Visible = False
    Line12.Visible = False
    Line13.Visible = False
    Line33.Visible = False
    Line14.Visible = False
    Line17.Visible = False
    Line25.Visible = False
    Label12.Visible = False

    Line18.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΞΟΝΩΝ
    Line19.Visible = True
    Line20.Visible = True
    Line21.Visible = True
    Line22.Visible = True
    Line23.Visible = True
    Line24.Visible = True
    Label5.Visible = True
    Label14.Visible = True
    Label15.Visible = True
    Label16.Visible = True

    Text6.Text = "-" ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΕΚΘΕΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
    Text4.Visible = True
    Label5.Visible = True
    Text5.Visible = True
    Label6.Visible = True
    Text6.Visible = False
    Label7.Visible = False

    Option3.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
    Label18.Visible = False
    Label19.Visible = False
    Line27.Visible = False
    Line28.Visible = False
    Line29.Visible = False
    Line30.Visible = False
    Line31.Visible = False
    Line32.Visible = False
    Line35.Visible = False
```



```

Line36.Visible = False
Line37.Visible = False
Line38.Visible = False

Option4.Visible = False ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ «ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ»
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Line39.Visible = False
Line40.Visible = False
Line41.Visible = False
Line42.Visible = False
Line43.Visible = False
Line44.Visible = False
Line45.Visible = False
Line46.Visible = False
Line47.Visible = False
Line48.Visible = False
Line49.Visible = False
Line50.Visible = False
Shape5.Visible = False
Shape6.Visible = False

Label23.Visible = False
Label22.Visible = False
Label13.Visible = False
Label17.Visible = False
Label24.Visible = False
Line51.Visible = False

Label25.Visible = False
Text7.Visible = False
Text7.Text = "-"

End Sub
Private Sub Option2_click()

Line18.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΞΟΝΩΝ
Line19.Visible = True
Line20.Visible = True
Line21.Visible = True
Line22.Visible = True
Line23.Visible = True
Line24.Visible = True
Label5.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True

Label10.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

Line26.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΕΚΘΕΤΙΚΟΥ
Line9.Visible = True
Line34.Visible = True
Line12.Visible = True
Line13.Visible = True
Line33.Visible = True
Line14.Visible = True
Line17.Visible = True
Line25.Visible = True
Label12.Visible = True
Label16.Visible = True

Text4.Text = "-" 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΕΚΘΕΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
Text5.Text = "-"
Text4.Visible = False
Label5.Visible = False
Text5.Visible = False
Label6.Visible = False
Text6.Visible = True
Label7.Visible = True

```

```

Line3.Visible = False
Shape1.Visible = False
Shape2.Visible = False

Line15.Visible = False
Line16.Visible = False
Line10.Visible = False
Shape4.Visible = False
Shape3.Visible = False
Label8.Visible = False

Label9.Visible = False
Line2.Visible = False
Line4.Visible = False
Line5.Visible = False

Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

Option3.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Line27.Visible = False
Line28.Visible = False
Line29.Visible = False
Line30.Visible = False
Line31.Visible = False
Line32.Visible = False
Line35.Visible = False
Line36.Visible = False
Line37.Visible = False
Line38.Visible = False

Option4.Visible = False ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ «ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ»
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Line39.Visible = False
Line40.Visible = False
Line41.Visible = False
Line42.Visible = False
Line43.Visible = False
Line44.Visible = False
Line45.Visible = False
Line46.Visible = False
Line47.Visible = False
Line48.Visible = False
Line49.Visible = False
Line50.Visible = False
Shape5.Visible = False
Shape6.Visible = False

Label23.Visible = False
Label22.Visible = False
Label13.Visible = False
Label17.Visible = False

Label24.Visible = False
Line51.Visible = False

Label25.Visible = False
Text7.Visible = False
Text7.Text = "-"

End Sub

Private Sub Option3_Click()

    If Option4.Value = False Then
        Label25.Visible = False
    
```

```

Text7.Visible = False
Text7.Text = "-"
End If

End Sub
Private Sub Option4_Click()

If Option4.Value = True Then
Label25.Visible = True
Text7.Visible = True
End If

End Sub

Private Sub Text4_Change()

If Text5.Text = "0" And Text4.Text = "0" Then
Line18.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΕΟΝΩΝ
Line19.Visible = True
Line20.Visible = True
Line21.Visible = True
Line22.Visible = True
Line23.Visible = True
Line24.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True
Label16.Visible = True

Line3.Visible = True
Shape1.Visible = True
Shape2.Visible = True

Line15.Visible = False
Line16.Visible = False
Line10.Visible = False
Shape4.Visible = False
Shape3.Visible = False
Label8.Visible = False

Label9.Visible = False
Line2.Visible = False
Line4.Visible = False
Line5.Visible = False

Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

Option3.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Line27.Visible = False
Line28.Visible = False
Line29.Visible = False
Line30.Visible = False
Line31.Visible = False
Line32.Visible = False
Line35.Visible = False
Line36.Visible = False
Line37.Visible = False
Line38.Visible = False

Option4.Visible = False ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Line39.Visible = False
Line40.Visible = False
Line41.Visible = False
Line42.Visible = False
Line43.Visible = False
Line44.Visible = False

```



```

Line45.Visible = False
Line46.Visible = False
Line47.Visible = False
Line48.Visible = False
Line49.Visible = False
Line50.Visible = False
Shape5.Visible = False
Shape6.Visible = False

Label23.Visible = False
Label22.Visible = False
Label13.Visible = False
Label17.Visible = False

Label25.Visible = False
Line51.Visible = False

End If

If Text5.Text = "0" And Text4.Text > "0" Then
Line18.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΞΟΝΩΝ
Line19.Visible = True
Line20.Visible = True
Line21.Visible = True
Line22.Visible = True
Line23.Visible = True
Line24.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True
Label16.Visible = True

Line3.Visible = False
Shape1.Visible = False
Shape2.Visible = False

Line15.Visible = False
Line16.Visible = False
Line10.Visible = False
Shape4.Visible = False
Shape3.Visible = False
Label8.Visible = False

Label9.Visible = True
Line2.Visible = True
Line4.Visible = True
Line5.Visible = True

Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

Option3.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Line27.Visible = False
Line28.Visible = False
Line29.Visible = False
Line30.Visible = False
Line31.Visible = False
Line32.Visible = False
Line35.Visible = False
Line36.Visible = False
Line37.Visible = False
Line38.Visible = False

Option4.Visible = False ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ «ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ»
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Line39.Visible = False
Line40.Visible = False
Line41.Visible = False
Line42.Visible = False
Line43.Visible = False

```

```
Line44.Visible = False
Line45.Visible = False
Line46.Visible = False
Line47.Visible = False
Line48.Visible = False
Line49.Visible = False
Line50.Visible = False
Shape5.Visible = False
Shape6.Visible = False

Label23.Visible = False
Label22.Visible = False
Label13.Visible = False
Label17.Visible = False

Label25.Visible = False
Line51.Visible = False

End If

If Text5.Text > "0" And Text4.Text = "0" Then
Line18.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΕΟΝΩΝ
Line19.Visible = True
Line20.Visible = True
Line21.Visible = True
Line22.Visible = True
Line23.Visible = True
Line24.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True
Label16.Visible = True

Line3.Visible = False
Shape1.Visible = False
Shape2.Visible = False

Line15.Visible = True
Line16.Visible = True
Line10.Visible = True
Shape4.Visible = True
Shape3.Visible = True
Label8.Visible = True

Label19.Visible = False
Line2.Visible = False
Line4.Visible = False
Line5.Visible = False

Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

Option3.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Line27.Visible = False
Line28.Visible = False
Line29.Visible = False
Line30.Visible = False
Line31.Visible = False
Line32.Visible = False
Line35.Visible = False
Line36.Visible = False
Line37.Visible = False
Line38.Visible = False

Option4.Visible = False ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ «ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ»
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Line39.Visible = False
Line40.Visible = False
Line41.Visible = False
Line42.Visible = False
```

```

Line43.Visible = False
Line44.Visible = False
Line45.Visible = False
Line46.Visible = False
Line47.Visible = False
Line48.Visible = False
Line49.Visible = False
Line50.Visible = False
Shape5.Visible = False
Shape6.Visible = False

Label23.Visible = False
Label22.Visible = False
Label13.Visible = False
Label17.Visible = False

Label25.Visible = False
Line51.Visible = False

End If

If Text4.Text > "0" And Text5.Text > "0" Then
Option3.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = True
Label19.Visible = True
Line27.Visible = True
Line28.Visible = True
Line29.Visible = True
Line30.Visible = True
Line31.Visible = True
Line32.Visible = True
Line35.Visible = True
Line36.Visible = True
Line37.Visible = True
Line38.Visible = True

Option4.Visible = True ' ΕΜΦΑΝΙΣΗ «ΕΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ»
Label20.Visible = True
Label21.Visible = True
Line39.Visible = True
Line40.Visible = True
Line41.Visible = True
Line42.Visible = True
Line43.Visible = True
Line44.Visible = True
Line45.Visible = True
Line46.Visible = True
Line47.Visible = True
Line48.Visible = True
Line49.Visible = True
Line50.Visible = True
Shape5.Visible = True
Shape6.Visible = True

Label23.Visible = True
Label22.Visible = True
Label13.Visible = True
Label17.Visible = True

Label24.Visible = True
Line51.Visible = True

Line18.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΑΞΟΝΩΝ
Line19.Visible = False
Line20.Visible = False
Line21.Visible = False
Line22.Visible = False
Line23.Visible = False
Line24.Visible = False
Label14.Visible = False
Label15.Visible = False
Label16.Visible = False

Line3.Visible = False
Shape1.Visible = False
Shape2.Visible = False

```



```

Line15.Visible = False
Line16.Visible = False
Line10.Visible = False
Shape4.Visible = False
Shape3.Visible = False
Label8.Visible = False

Label9.Visible = False
Line2.Visible = False
Line4.Visible = False
Line5.Visible = False

Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

End If

End Sub
Private Sub Text5_Change()

If Text5.Text = "0" And Text4.Text = "0" Then
Line18.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΞΟΝΩΝ
Line19.Visible = True
Line20.Visible = True
Line21.Visible = True
Line22.Visible = True
Line23.Visible = True
Line24.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True
Label16.Visible = True

Line3.Visible = True
Shape1.Visible = True
Shape2.Visible = True

Line15.Visible = False
Line16.Visible = False
Line10.Visible = False
Shape4.Visible = False
Shape3.Visible = False
Label8.Visible = False

Label9.Visible = False
Line2.Visible = False
Line4.Visible = False
Line5.Visible = False

Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

Option3.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Line27.Visible = False
Line28.Visible = False
Line29.Visible = False
Line30.Visible = False
Line31.Visible = False
Line32.Visible = False
Line35.Visible = False
Line36.Visible = False
Line37.Visible = False
Line38.Visible = False

Option4.Visible = False ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ «ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ»
Label20.Visible = False

```

```

Label21.Visible = False
Line39.Visible = False
Line40.Visible = False
Line41.Visible = False
Line42.Visible = False
Line43.Visible = False
Line44.Visible = False
Line45.Visible = False
Line46.Visible = False
Line47.Visible = False
Line48.Visible = False
Line49.Visible = False
Line50.Visible = False
Shape5.Visible = False
Shape6.Visible = False

Label23.Visible = False
Label22.Visible = False
Label113.Visible = False
Label117.Visible = False

Label25.Visible = False
Line51.Visible = False

End If

If Text5.Text = "0" And Text4.Text > "0" Then
Line18.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΕΟΝΩΝ
Line19.Visible = True
Line20.Visible = True
Line21.Visible = True
Line22.Visible = True
Line23.Visible = True
Line24.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True
Label16.Visible = True

Line3.Visible = False
Shape1.Visible = False
Shape2.Visible = False

Line15.Visible = False
Line16.Visible = False
Line10.Visible = False
Shape4.Visible = False
Shape3.Visible = False
Label8.Visible = False

Label9.Visible = True
Line2.Visible = True
Line4.Visible = True
Line5.Visible = True

Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

Option3.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Line27.Visible = False
Line28.Visible = False
Line29.Visible = False
Line30.Visible = False
Line31.Visible = False
Line32.Visible = False
Line35.Visible = False
Line36.Visible = False
Line37.Visible = False
Line38.Visible = False

Option4.Visible = False ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΕΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ

```

```

Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Line39.Visible = False
Line40.Visible = False
Line41.Visible = False
Line42.Visible = False
Line43.Visible = False
Line44.Visible = False
Line45.Visible = False
Line46.Visible = False
Line47.Visible = False
Line48.Visible = False
Line49.Visible = False
Line50.Visible = False
Shape5.Visible = False
Shape6.Visible = False

Label23.Visible = False
Label22.Visible = False
Label13.Visible = False
Label17.Visible = False

Label25.Visible = False
Line51.Visible = False

End If

If Text5.Text > "0" And Text4.Text = "0" Then
Line18.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΕΟΝΩΝ
Line19.Visible = True
Line20.Visible = True
Line21.Visible = True
Line22.Visible = True
Line23.Visible = True
Line24.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True
Label16.Visible = True

Line3.Visible = False
Shape1.Visible = False
Shape2.Visible = False

Line15.Visible = True
Line16.Visible = True
Line10.Visible = True
Shape4.Visible = True
Shape3.Visible = True
Label8.Visible = True

Label19.Visible = False
Line2.Visible = False
Line4.Visible = False
Line5.Visible = False

Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Line1.Visible = False
Line6.Visible = False
Line7.Visible = False
Line8.Visible = False
Line11.Visible = False

Option3.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Line27.Visible = False
Line28.Visible = False
Line29.Visible = False
Line30.Visible = False
Line31.Visible = False
Line32.Visible = False
Line35.Visible = False
Line36.Visible = False
Line37.Visible = False
Line38.Visible = False

```



```

Option4.Visible = False ' ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Line39.Visible = False
Line40.Visible = False
Line41.Visible = False
Line42.Visible = False
Line43.Visible = False
Line44.Visible = False
Line45.Visible = False
Line46.Visible = False
Line47.Visible = False
Line48.Visible = False
Line49.Visible = False
Line50.Visible = False
Shape5.Visible = False
Shape6.Visible = False

Label23.Visible = False
Label22.Visible = False
Label13.Visible = False
Label17.Visible = False

Label24.Visible = False
Line51.Visible = False

End If

If Text4.Text > "0" And Text5.Text > "0" Then
Option3.Visible = True 'ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
Label18.Visible = True
Label19.Visible = True
Line27.Visible = True
Line28.Visible = True
Line29.Visible = True
Line30.Visible = True
Line31.Visible = True
Line32.Visible = True
Line35.Visible = True
Line36.Visible = True
Line37.Visible = True
Line38.Visible = True

Option4.Visible = True ' ΕΜΦΑΝΙΣΗ «ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ»
Label20.Visible = True
Label21.Visible = True
Line39.Visible = True
Line40.Visible = True
Line41.Visible = True
Line42.Visible = True
Line43.Visible = True
Line44.Visible = True
Line45.Visible = True
Line46.Visible = True
Line47.Visible = True
Line48.Visible = True
Line49.Visible = True
Line50.Visible = True
Shape5.Visible = True
Shape6.Visible = True

Label23.Visible = True
Label22.Visible = True
Label13.Visible = True
Label17.Visible = True

Label24.Visible = True
Line51.Visible = True

Line18.Visible = False 'ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΑΞΟΝΩΝ
Line19.Visible = False
Line20.Visible = False
Line21.Visible = False
Line22.Visible = False
Line23.Visible = False
Line24.Visible = False

```

```
Label14.Visible = False  
Label15.Visible = False  
Label16.Visible = False
```

```
Line3.Visible = False  
Shape1.Visible = False  
Shape2.Visible = False
```

```
Line15.Visible = False  
Line16.Visible = False  
Line10.Visible = False  
Shape4.Visible = False  
Shape3.Visible = False  
Label8.Visible = False
```

```
Label9.Visible = False  
Line2.Visible = False  
Line4.Visible = False  
Line5.Visible = False
```

```
Label10.Visible = False  
Label11.Visible = False  
Line1.Visible = False  
Line6.Visible = False  
Line7.Visible = False  
Line8.Visible = False  
Line11.Visible = False
```

```
End If  
End Sub
```

Πανεπιστήμιο Πειραιώς