

# Σύγχρονες τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης RDF

των  
Δ. Κολαίτη,  
υποψ. διδάκτορα,  
Μ. Φούντη,  
αναπλ. καθηγήτριας  
Α. Κανάραχου  
καθηγήτη,  
δρ. Ε. Κατετάνιου  
συνεργάτη  
Τμ. Μηχανολόγων  
Μηχανικών ΕΜΠ

## 1. Εισαγωγή.

Το RDF (Refuse Derived Fuel), είναι το καύσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, αποτελούμενο κυρίως από χαρτί, πλαστικά, ξύλο και ύφασμα. Ο διαχωρισμός του καυσίμου κλάσματος, γίνεται με επεξεργασία του συνολικού μίγματος των απορριμμάτων, με στόχο την αξιοποίησή του, για την παραγωγή ενέργειας [1].

Κατά την δεκαετία του '80, πολλές εγκαταστάσεις έκαναν διαχωρισμό του RDF, ύστερα από αερόβια ζύμωση του συνολικού μίγματος των Αστικών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) [2,3,4]. Εναλλακτικά, σήμερα, είναι δυνατόν να γίνει 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 (RDF),
- μέταλλα που ανακυκλώνονται,
- αδρανή που οδηγούνται σε ΧΥΤΑ.

Η αναλογία των συστατικών του RDF, εξαρτάται, κατά κύριο λόγο από την σύνθεση των ΑΣΑ, που οδηγούνται στην μηχανική διαλογή, καθώς και από τις διεργασίες της μηχανικής διαλογής. Η σύνθεση των ΑΣΑ, παρουσιάζει πολύ έντονες διακυμάνσεις από περιοχή σε περιοχή, από χώρα σε χώρα, αλλά και από πόλη σε πόλη. Εξ ίσου έντονες είναι οι διακυμάνσεις της σύνθεσης στην ίδια περιοχή, με την πάροδο του χρόνου. Τυπικό παράδειγμα αποτελούν τα απορρίμματα της μείζονος περιοχής της Πρωτεύουσας, όπου η άνοδος του βιοτικού επιπέδου και η μεταβολή των συνηθειών διατροφής και κατανάλωσης, είχαν ως συνέπεια σημαντικές αλλαγές στην σύνθεση των ΑΣΑ που συλλέγει ο Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ). Στον Πίνακα 1, παρουσιάζεται η κατά βάρος σύσταση των ΑΣΑ της περιοχής Αττικής, με βάση μετρήσεις, αναλύσεις και εκτιμήσεις του ΕΣΔΚΝΑ [6].

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ (κατά βάρος περιεκτικότητα)	1990 (Μετρήσεις)	2004 (Εκτιμήσεις)
Οργανικά	51.0	40
Χαρτί	22.3	32
Μέταλλα	4.2	3.5
Πλαστικά	10.0	13
Γυαλί	3.5	2.5
Υφάσματα, ξύλα, δέρματα, ελαστικά	3.5	3.2
Αδρανή	2.0	2.5
Διάφορα υπόλοιπα	3.5	3.3
ΣΥΝΟΛΟ	100	100

Πίνακας 1: Κατά βάρος (ποσοστιαία) σύνθεση απορριμμάτων περιοχής ΕΣΔΚΝΑ [6]

Η θερμογόνος δύναμη του RDF εξαρτάται από την σύνθεση των ΑΣΑ, από τα οποία προέρχεται και επηρεάζει τόσο την επιλογή μεθόδου θερμικής επεξεργασίας, όσο και την δυνατότητα αξιοποίησης της εκλυόμενης θερμικής ενέργειας. Ενδεικτικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων, του RDF και του καυσίμου από χαρτί (Paper Derived Fuel - PDF), κυμαίνονται στα ακόλουθα όρια:

ΥΛΙΚΟ	Υγρασία %	Θερμογόνος δύναμη kJ/kg
ΑΣΑ	30	περίπου 8 000
RDF	10 - 25	12 000 - 18 000
PDF	15 - 30	10 000 - 15 000

Το RDF περιέχει ποικιλία τοξικών ουσιών, σε αναλογίες που ποικίλλουν, ανάλογα με την προέλευσή τους και οι οποίες μετά την θερμική επεξεργασία, εμφανίζονται είτε στην τέφρα είτε στα απα-

έρια της επεξεργασίας. Μόνο με την λήψη ενδεδειγμένων μέτρων, είναι δυνατόν να αποφευχθούν περιβαλλοντικά προβλήματα. Σημειώνεται, πάντως, ότι η τεχνολογία επιτρέπει σήμερα την αντιμετώπιση των ρύπων αυτών με τρόπο ασφαλή, ώστε να μην υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Στον Πίνακα 2, δίδεται η συνήθης διακύμανση των κυριότερων τοξικών ουσιών, τόσο στα ΑΣΑ όσο και στο μηχανικά διαχωρισμένο RDF.

## 2. Μέθοδοι θερμικής αξιοποίησης του RDF.

Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων αποβλέπει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της απόθεσης και αποθήκευσης των εκατομμυρίων τόνων οικιακών απορριμμάτων, που παράγονται κάθε μέρα. Η αύξηση του ενδιαφέροντος για εναλλακτικούς τρόπους αξιο-

Ρύπος (ppm)	Συνολικά απορρίμματα	RDF	PDF
Χλώριο (Cl)	400 - 1300	330 - 1050	110
Φθόριο (F)	4 - 13	1.3 - 2.5	3
Θείο (S)	70 - 600	60 - 100	103
Σίδηρος (Fe)	2150 - 6450	100 - 600	240
Χρώμιο (Cr)	9 - 40	2.5 - 6	2
Νικέλιο (Ni)	4 - 17	1 - 3.5	1
Χαλκός (Cu)	40 - 170	8 - 60	8
Ψευδάργυρος (Zn)	80 - 300	20 - 50	24
Μόλυβδος (Pb)	65 - 215	8 - 15	8
Κάδμιο (Cd)	0.8 - 3.5	0.15 - 0.5	0.075
Υδράργυρος (Hg)	0.6 - 0.15	0.03 - 0.16	0.015

Πίνακας 2: Τοξικές ουσίες στα απορρίμματα, το RDF και το καύσιμο από χαρτί (PDF)[5].

ποίησης των οικιακών απορριμμάτων, συνδέεται με περιορισμούς που επιβάλλονται από Κοινοτικές οδηγίες (π.χ. σταδιακή μείωση του ποσοστού των οργανικών συστατικών στα απορρίμματα, που επιτρέπεται να οδηγηθούν σε υγειονομική ταφή) και την τάση επιβολής υψηλών φόρων «ταφής απορριμμάτων». Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης, προβλέπεται έως το 2005 να απαγορευθεί η ταφή απορριμμάτων με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη του 3% (καύσιμο κλάσμα).

Το RDF αξιοποιείται ως καύσιμο, υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων ή και σε συνδυασμό με αυτά, είτε για παραγωγή ενέργειας, είτε στην παραγωγή τοιμέντου. Επειδή προέρχεται από αξιοποίηση απορριμμάτων, θεωρείται ότι ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ότι η χρήση του, αντί των συμβατικών καυσίμων, δεν συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Οι κυριώτεροι στόχοι της θερμικής αξιοποίησης είναι:

- Η ελαχιστοποίηση του τελικού προς διάθεση όγκου.
- Η πλήρης αδρανοποίηση όλων των καυσίμων 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 και ειδικότερα, η αποφυγή δημιουργίας και εκπομπής οργανικών ενώσεων της κατηγορίας των διοξινών (PCDD).

Στον Πίνακα 3, παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά μερικών ενδεικτικών εγκαταστάσεων θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ και RDF.

Στην συνέχεια, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των πιο διαδεδομένων τεχνολογιών θερμικής αξιοποίησης RDF, καθώς και των πλέον υποσχόμενων.

### 2.1 Καύση σε Σχάρες.

Η καύση σε σχάρα είναι η παλαιότερη και κατά παράδοση ευρύτερα εφαρμοζόμενη μέθοδος, για την θερμική επεξεργασία των κάθε είδους απορριμμάτων. Τα απορρίμματα (ΑΣΑ ή RDF),

Περιοχή Εγκατάστασης	SITOMAT (Γαλλία)	SALZGITTER (Γερμανία)	KARLSRUHE (Γερμανία)	GREVE IN CHIANTI (Ιταλία)
Τεχνολογία	Καύση σε σχάρα	Πυρόλυση - Καύση	Αεριοποίηση Υψηλής Θερμοκρασίας	Αεριοποίηση RDF σε ρευστοποιημένη κλίση και καύση
Εταιρεία	CNIM	Noell	Thermoselect	Aerimpianti - Ansaldo
Ετήσια δυναμικότητα	280 000 tn/yr	32 000 tn/yr	225 000 tn/yr	542 000 tn/yr
Αριθμός "γραμμών"	3 - 12 tn/hr		3 - 10 tn/hr	2 - 4.2 tn/hr
Ολική ηλεκτρική ισχύς	12 MWeI		12.5 MWeI	3.35 MWeI
Διαθέσιμη ηλεκτρική ισχύς	10.5 MWeI	3 MWeI		
Θερμική ισχύς			50 MWth	
Χαρακτηριστικά ατμού		43 bar - 425°C		41 bar - 380°C
Καύσιμο	ΑΣΑ	ΑΣΑ	ΑΣΑ - αέριο σύνθεσης	RDF
Θερμότητα		29 117 kJ/Nm <sup>3</sup>	12 MJ/kg	6500-9000 kJ/Nm <sup>3</sup>
Θερμοκρασία λειτουργίας		> 1200°C (Θ.Κ.) 750°C (κλιβανός)	1200-2000°C (αεριοποιητής)	875°C (αεριοποιητής) - 1200°C (Θ.Κ.)
Αντιρριπαντικές συσκευές	Ημι-υγρές πλυντρίδες, Ηλεκτροστατικά φίλτρα	SNCR, Ξηρές πλυντρίδες, Σακκόφιλτρα	Επεξεργασία νερού	Πλυντρίδα τύπου Venturi, Σακκόφιλτρα

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων καύσης ΑΣΑ.

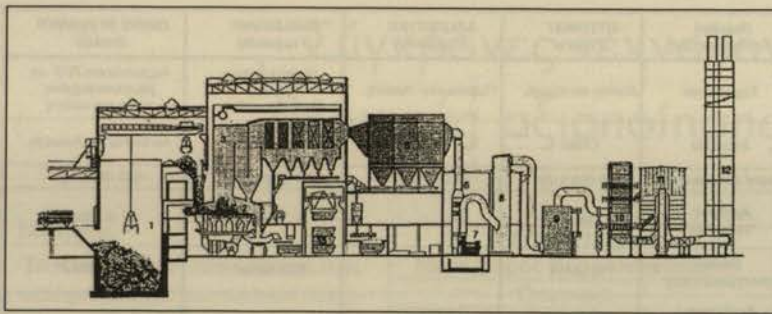
οδηγούνται σε μία κεκλιμένη σχάρα, όπου μέσω μιας αλληλουχίας διαδικασιών (από την ξήρανση ως την τελική σύντηξη της τέφρας), αποτεφρώνονται πλήρως. Ο ευρύτερα εφαρμοζόμενος τρόπος αξιοποίησης της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση, είναι η παραγωγή ατμού. Ο ατμός, συνήθως, υπέρθετος, σε θερμοκρασία 450-500°C και πίεση 40-50 bar, διοχετεύεται σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. 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.

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

Περιοχή Εγκατάστασης	SELCHP (Βρετανία)	ALKMAAR (Ολλανδία)	POWERGEN (Βρετανία)
Εταιρεία κατασκευής	CNIM, Onyx Aurora	Von Roll - Schelde	Von Roll - Lurgi
Ετήσια δυναμικότητα	420 000 tn/yr	385 000 tn/yr	1 200 000 tn/yr
Αριθμός "γραμμών" - Δυναμικότητα	2 - 29 tn/hr	3 - 18.5 tn/hr	4
Ολική ηλεκτρική ισχύς	32 MWeI	42 MWeI	144 MWeI
Διαθέσιμη ηλεκτρική ισχύς	28.5 MWeI	35 MWeI	130 MWeI
Θερμική ισχύς	50 MWth	56.5 MWth	
Χαρακτηριστικά ατμού	46 bar - 395°C	40 bar - 400°C	45 bar - 450°C
Παροχή ατμού	144 tn/hr	190 tn/hr	
Καύσιμο	ΑΣΑ	ΑΣΑ	ΑΣΑ
Θερμότητα	8 500 kJ/kg	10 000 kJ/kg	
Θερμοκρασία λειτουργίας		850-1100 °C	850-1100 °C
Αντιρριπαντικές συσκευές	Ημι-υγρές πλυντρίδες διαλύματος άβεστου, Σακκόφιλτρα	Ηλεκτροστατικά φίλτρα, Υγρή πλυντρίδα, Σακκόφιλτρα, Επιλεκτική αναγωγή με καταλύτη	Απορροφητής όξινων αερίων, Σακκόφιλτρα, Επιλεκτική αναγωγή με καταλύτη

Πίνακας 4: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εγκαταστάσεων Καύσης σε Σχάρες Οικιακών Απορριμμάτων.



- |                               |                                                |
|-------------------------------|------------------------------------------------|
| 1: Αποθήκη Καυσίμου           | 8: Πλυντηρίδα                                  |
| 2: Εστία με Σχάρα             | 9: Υγρό Ηλεκτροστατικό Φίλτρο                  |
| 3: Θάλαμος Μετάκαυσης         | 10: Μείωση NOx (επλεκτική αναγωγή με καταλύτη) |
| 4: Ατιολέβητας                | 11: Συγκράτηση Διοξεινών                       |
| 5: Ξηρό Ηλεκτροστατικό Φίλτρο | 12: Καυνοδόχος                                 |
| 6: Εξοικονομητής Θερμότητας   | 13: Αποκομδή Τέφρας                            |
| 7: Απορροφητήρας              |                                                |

**Σχήμα 2.1: Τυπική διάταξη εγκατάστασης θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ με καύση σε σχάρα.**

διοχέυευσή του σε γειτονικές βιομηχανικές μονάδες, είτε με την χρησιμοποίησή του για τηλεθέρμανση αστικών κέντρων, όπου οι τοπικές συνθήκες είναι ευνοϊκές. Μία τυπική εγκατάσταση θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1. Ανάλογη είναι η διάταξη και στην περίπτωση που το καύσιμο δεν είναι ΑΣΑ αλλά RDF ή άλλο αντίστοιχο υλικό.

Στον Πίνακα 4, παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά μερικών ενδεικτι-

κών εγκαταστάσεων θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ, με την χρήση της μεθόδου καύσης σε σχάρες.

## 2.2 Καύση σε Ρευστοποιημένη Κλίνη.

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 ιλύος, αλλά γρήγορα άρχισε να εφαρμόζεται και στα απορρίμματα. Την ευρύτερη

διάδοση έχει η μέθοδος στην Ιαπωνία [1], αλλά υπάρχουν αρκετές εγκαταστάσεις και στην Ευρώπη (όπου λειτουργούν μονάδες θερμικής επεξεργασίας RDF σε εμπορική κλίμακα, όπως στην Μαδρίτη και την Βερόνα).

Στις εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης, η εστία έχει, συνήθως, τετραγωνική ή κυκλική διατομή και ο πυθμένας είναι διαμορφωμένος ως δάπεδο διανομής του (πρωτεύοντος) αέρα καύσης. Εντός της κλίνης υπάρχει το αδρανές υλικό (συνήθως πυριτική άμμος) ελεγχόμενης κοκκομετρίας, το οποίο βρίσκεται σε αώρηση, λόγω της προσαγωγής του αέρα από το κάτω μέρος της εστίας και σε θερμοκρασία περί τους 850°C. Το καύσιμο (διάφορες μορφές RDF και ιλύος), προσάγεται στην κλίνη και καίγεται ευρισκόμενο σε ανάμιξη με το αδρανές υλικό. Σε μερικές εγκαταστάσεις, η καύση ολοκληρώνεται «μετά» την κλίνη (την περιοχή δηλαδή αώρησης 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 (ατιογεννήτρια), στον οποίο παράγεται ο υπέρθερμος ατμός που εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο (κύκλος Rankine) με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ρευστοποίηση, επιβάλλει περιορισμούς στο μέγεθος των τεμαχίων καυσίμου που μπορούν να επεξεργασθούν αποτελεσματικά. Έτσι, αν πρόκειται για ΑΣΑ, απαιτείται προηγούμενη άλεση σε τεμάχια μικρότερα των 300mm έως (το μέγιστο) 500mm. 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 θερμοχωρητικότητάς του, διασφαλίζει την σταθερότητα της καύσης. Λειτουργεί σαν ένας «θερμικός συσσωρευτής», διατηρώντας σταθερή την θερμοκρασία σε ολόκληρη την κλί-

Περιοχή Εγκατάστασης	ΜΑΔΡΙΤΗ	ΒΕΡΟΝΑ	ΤΑΥΛΑΝΔΗ
Τεχνολογία	ROWITEC-TIF	2 βαθμίδων	Με ανακυκλοφορία
Εταιρεία	Holter ABT (Γερμανία)	THYSSEN (Γερμανία) - ANSALDO (Ιταλία)	Kvaerner Enviropower (Σουηδία)
Ημερήσια Δυναμικότητα	600 tn/day	500 tn/day	480 tn/day
Εγκατάσταση προ-επεξεργασίας	4 γραμμές - 25 tn/hr		Για ογκώδη και μέταλλα
<b>Εγκατάσταση καύσης</b>			
Αριθμός "γραμμών"	3	2	1
Ετήσια λειτουργία	7440 hr/yr	4000 hr/yr	8000 hr/yr
Ωριαία δυναμικότητα ανά «γραμμή»	8.5 tn/hr	8-13 tn/hr	20 tn/hr
Καύσιμο	RDF 300x300 mm		30% RDF-70% λιγνίτης
Θερμολόγος δύναμη (MJ/kg)	14.7	8.4 - 12.6	
Θερμοκρασία λειτουργίας	950 °C	850 °C	860 °C
Χαρακτηριστικό σημείο	47 bar - 425 °C	46 bar - 390 °C	43 bar - 450 °C
Παροχή ατμού		86 tn/hr	98.2 tn/hr
Ηλεκτρική ισχύς (ολική)	23 MWeI	21.8 MWeI	20 MWeI
<b>Εγκατάσταση καθαρισμού αερίων</b>			
Ημι-υγρή πλυντηρίδα (απομάκρυνση SO <sub>2</sub> , HCl, HF)	Ψεκάζεται μείγμα αέρα-υδραεστέου σε σταγόνες των 50 μm (140 °C)	Ψεκάζεται μείγμα νερού-υδραεστέου	Ψεκασμός υδραεστέου (HCl, HF, SO <sub>2</sub> ) και ενεργού άνθρακα (PCDD/F)
Σακκόφιλτρα	2	2 (Είσοδος: 130 °C)	
Κυκλώνες	Στην έξοδο των λέβητων για την ιπτάμενη τέφρα		2 "θερμοί" για ανάκτηση του αδρανούς
Ολικός βαθμός απόδοσης	22.6 %		

**Πίνακας 5: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εγκαταστάσεων Καύσης Οικιακών Απορριμμάτων σε Ρευστοποιημένη Κλίνη.**

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

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

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

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

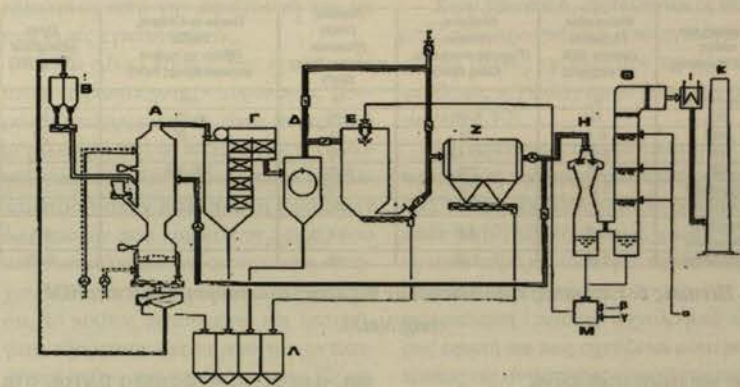
Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία [11, 12], η μέθοδος έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, συγκρινόμενη με την καύση σε εσχάρες :

- Λιτότητα σχεδιασμού εγκατάστασης και μικρότερες απαιτήσεις χώρου για την κλίνη, συγκριτικά με τις εστές με εσχάρες.

- Δυνατότητα καύσης μεγάλης ποικιλίας ετερογενών καυσίμων, διαφορετικής κοκκομετρίας, θερμογόνου δύναμης και περιεκτικότητας σε υγρασία, με πολύ καλό βαθμό θερμικής απόδοσης. Με τον έντονο στρωβιλισμό, προκαλείται πολύ καλή ανάμειξη 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.

- Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, λόγω της ανυπαρξίας καινούμενων μερών εντός της κλίνης.

- Πολύ καλή κάλυψη των περιβαλλοντολογικών οδηγιών-περιορισμών. Μερική εξουδετέρωση των οξειδωτικών



- A: Εστία καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη και μετάκαυση
- B: Σιλό άμμου κλίνης και δολομίτη
- Γ: Αημιόλεβητας ανάκτησης θερμότητας
- Δ: Κυκλώνας συγκράτησης σωματιδίων
- Ε: Πύργος ψύξης-εξάτμισης υγρών πλύσης
- Z: Σακκόφιλτρο
- α: Προσθήκη νερού και αοβέστη
- β: Προσθήκη αοβέστη

- H: Πλυντηρίδα τύπου Venturi
- Θ: Πλυντηρίδα διοξειδίου του θείου
- I: Εναλλάκτης αναθέρμανσης αερίων
- K: Απαγωγός διάθεσης αερίων
- Λ: Σιλό στερεών καταλοίπων
- γ: Προσθήκη κροαδοπωτικού

Σχήμα 2.2: Τυπική διάταξη εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας RDF σε ρευστοποιημένη κλίνη.

ουσιών, επιτυγχάνεται στην κλίνη, με την προσθήκη ανθρακικών ή δολομιτικών ενώσεων. Με την προσθήκη αλκαλικών ενώσεων, δεσμεύονται οι όξινες ενώσεις (HF, SO<sub>2</sub>).

- Η λειτουργία της κλίνης σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 900°C, περιορίζει την δημιουργία θερμοκινητών οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), ενώ σημαντικά μειωμένες είναι και οι επικαθίσεις τηγμένης τέφρας, στις επιφάνειες συναλλαγής, αφού οι θερμοκρασίες τήξης της τέφρας, είναι συνήθως μεγαλύτερες των 900°C.

- Υψηλός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας, λόγω της συνεχούς επαφής του αδρανούς υλικού με το καύσιμο. Η μεταφορά θερμότητας γίνεται ταχύτατα, επειδή η διαθέσιμη επιφάνεια των κόκκων της άμμου, ανέρχεται σε χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα

- «Γρήγορος» ρυθμός καύσης, σε σύγκριση με τα συστήματα καύσης σε εσχάρες. Ελέγχονται και βελτιστοποιούνται αποτελεσματικότερα οι συνθήκες καύσης, έτσι ώστε, να μειώνεται σημαντικά ο σχηματισμός ανεπιθύμητων παραπροϊόντων.

- Η μεγάλη θερμική αδράνεια του συστήματος, επιτρέπει διακοπές στην

λειτουργία (shutdowns) της κλίνης για μερικές ώρες ή ακόμα και 1 έως 2 ημέρες και επανεκκίνηση, με δυνατότητα παροχής ατμού σε συνθήκες πλήρους φορτίου εντός 1 ώρας, χωρίς απαιτήσεις καύσης βοηθητικών καυσίμων για την εκκίνηση.

- Τα προκύπτοντα άκαυστα καθώς και η ιπτάμενη τέφρα, είναι εντελώς ξηρά και αδρανή, και έτσι, αποφεύγονται δευτερογενή προβλήματα, όπως η έκλυση (leaching).

- Υπάρχει η δυνατότητα καύσης συμπληρωματικών καυσίμων (βιομάζα), σε περίπτωση που η σύσταση ή η παροχή του βασικού καυσίμου (RDF) μεταβληθεί [32].

Τα πιθανά μειονεκτήματα της μεθόδου, είναι, συνοπτικά, τα εξής :

- Οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης είναι προς το παρόν, μικρής ισχύος (έως 250 MWth). Για την αύξηση της ισχύος (αύξηση ειδικής φόρτωσης 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 άκαυ-

ΠΥΡΡΟΣ 2002

Περιοχή και τύπος εγκατάστασης	Weisweiler, Γερμανία (καύση ΑΣΑ σε εσχάρα)	Μαδρίτη, Ισπανία (Ρευστο-ποιημένη Κλίνη RDF)	Βερόνα, Ιταλία (Ρευστο-ποιημένη Κλίνη RDF)	Greve-in-Chianti, Ιταλία (Μόνο το τμήμα αεριοποίησης RDF)	Όρια εκπομπών (94/67/ΕΕ)
Συμπατάδια	3	5	30	1-6	10
SO <sub>2</sub>	13	3.88	200	< 20	50
HCl	0.1	23	50	4 - 25	10
HF	0.04	<0.02	<3	-	1
NO <sub>x</sub>	72	200	<200	180-365	-
Οργανικά	0.28	18	<5	-	-
CO	3	50	100	50	50
Διοξίνες-Φουράνια	0.003	0.2	<4	-	0.1
Βασικά μέταλλα	0.03	0.02	<5	-	0.05

Πίνακας 6: Εκπομπές εγκαταστάσεων θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ και RDF (mg/Nm<sup>3</sup>).

στου 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.

Ο Πίνακας 5, παρουσιάζει συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων καύσης οικιακών απορριμμάτων σε ρευστοποιημένη κλίνη. Τυπική εγκατάσταση καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.

## 2.3 Αεριοποίηση - Πυρόλυση

### 2.3.1 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι η μετατροπή ενός στερεού ή υγρού τροφοδοτικού καυσίμου σε αέριο, μέσω θερμικής επεξεργασίας. Ουσιαστικά, το καύσιμο υποβάλλεται σε μερική οξειδωση (υποστοιχειομετρικές συνθήκες), η οποία επιτυγχάνεται, μέσω της ρύθμισης της παροχής του οξειδωτικού μέσου. Ενώ οι φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα, ποικίλουν σημαντικά, το αέριο σχηματίζεται, κατά κύριο λόγο, σε θερμοκρασίες άνω των 750°C. Για οργανικά τροφοδοτικά (καύσιμα), όπως είναι τα περισσότερα αστικά απορρίμματα, το τελικό αέριο είναι κυρίως μείγμα αποτελούμενο από μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, μεθάνιο, νερό, άζωτο και μικρές ποσότητες υψηλών υδρογονανθράκων. Το άζωτο των οργανικών ενώσεων, μετατρέπεται κυρίως, σε αμμωνία, ενώ το θείο σε υδρόθειο. Τα αλογόνα παρουσιάζονται είτε ως ενώσεις με υδρογόνο (οξέα), στα αέ-

ρια, είτε ως τα αντίστοιχα άλατα, στα στερεά κατάλοιπα. Η τελική σύνθεση του αερίου, είναι συνάρτηση της πρώτης ύλης, των συνθηκών αεριοποίησης και της θερμοκρασίας.

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

Ως οξειδωτικό μέσο, χρησιμοποιείται είτε ατμοσφαιρικός αέρας, είτε αέρας εμπλουτισμένος με οξυγόνο ή τέλος καθαρό οξυγόνο. Όταν δεν χρησιμοποιείται αέρας, το τελικά παραγόμενο αέριο, (αέριο σύνθεσης - synthesis gas), έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη (από 10 έως 15 MJ/Nm<sup>3</sup>), σε σύγκριση με αυτό που σχηματίζεται, χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικό αέρα.

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

### 2.3.2 Πυρόλυση

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

κής οξειδωσης.

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

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

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

Μέχρι σήμερα οι μέθοδοι θερμικής αξιοποίησης με αεριοποίηση-πυρόλυση, βρίσκουν σημαντική εφαρμογή στην θερμική αξιοποίηση παραπροϊόντων οργανικής προέλευσης (βιομάζα), που είναι ομοιογενή και παρουσιάζουν σταθερή σύνθεση, όπως π.χ. τα υλοειδή ξυλείας, όπου υπάρχουν παραδείγματα επιτυχών εφαρμογών. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών στην αξιοποίηση του RDF, υπόσχεται να έχει αξιολογικά αποτελέσματα, τόσο από άποψη ενεργειακής απόδοσης, όσο και από άποψη καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας [18, 19].

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<sup>2</sup>)

- Υψηλός βαθμός απόδοσης μετα-

τροπής της ενέργειας. Αν και τα δια-  
θέσιμα βιβλιογραφικά στοιχεία ποικί-  
λουν στις εκτιμήσεις τους (προβλέψεις  
με το παρόν τεχνολογικό επίπεδο: 18%-  
24% [30], θεωρητικά μέγιστη τιμή: 30%  
[35], εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύ-  
κλου: 35% [35]), γενικά θεωρείται ότι,  
είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλότε-  
ροι βαθμοί απόδοσης, από ότι στις εγκα-  
ταστάσεις καύσης.

- Στερεά κατάλοιπα πλήρως σταθε-  
ροποιημένα και αδρανοποιημένα (λόγω  
των υψηλών θερμοκρασιών). Τα στερεά  
υπολείμματα, είναι δυνατόν, είτε να χρη-  
σιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές  
(οδικά έργα κ.α.), είτε να ταφούν με  
ασφαλή τρόπο.

- Δυνατότητα χρησιμοποίησης μίγ-  
ματος διαφορετικών καυσίμων, όπως  
βιομάζα.

- Δυνατότητα χρησιμοποίησης, του,  
χαμηλής θερμογόνου δύναμης, παραγό-  
μενου αερίου καυσίμου, ως εναλλακτι-  
κού στην βιομηχανία του άνθρακα και  
του μεθανίου.

Οι εκπομπές ρύπων, υπολογίζεται  
ότι πρόκειται να καλύπτουν τα όρια πε-  
ριβαλλοντικών εκπομπών που έχει θε-  
σπίσει η Ε.Ε. (94/67/ΕΟΚ), σχετικά με  
τις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργα-  
σίας οικιακών απορριμμάτων. Σημειώνε-  
ται ότι, η εφαρμογή συστήματος καθαρι-  
σμού του παραγόμενου αερίου, πριν αυ-  
τό οδηγηθεί σε εγκατάσταση καύσης,  
έχει το πλεονέκτημα της επεξεργασίας  
μικρότερου όγκου αερίων, με αποτέλε-  
σμα την μείωση του κόστους κτήσης,  
εγκατάστασης και λειτουργίας, του σχε-  
τικού εξοπλισμού [35].

Τα βασικότερα μειονεκτήματα των  
εγκαταστάσεων αεριοποίησης-πυρόλυ-  
σης, είναι επigramματικά τα εξής :

- Γενικά, τα στοιχεία που αναφέρο-  
νται στην βιβλιογραφία και αφορούν τον  
βαθμό απόδοσης της ενεργειακής μετα-  
τροπής, τις εκπομπές ρύπων, τις οικονο-  
μικές παραμέτρους κ.α., έχουν προκύ-  
ψει από θεωρητικές αναλύσεις. Οι εγκα-  
ταστάσεις που ήδη λειτουργούν, βρίσκο-  
νται σε πειραματικό-πilotικό στάδιο  
εφαρμογής και τα «πραγματικά» λει-  
τουργικά τους χαρακτηριστικά, απέ-  
χουν αρκετά από τις θεωρητικά μέγιστες  
προβλεπόμενες τιμές. Συνοπτικά, η αε-  
ριοποίηση-πυρόλυση των αστικών  
απορριμμάτων, δεν θεωρείται μια «ώρι-  
μη» τεχνολογία, αφού υπάρχει έλλειψη

εμπειρίας από την εφαρμογή της σε  
εμπορικές εγκαταστάσεις.

- Το ειδικό κόστος των εγκαταστά-  
σεων αεριοποίησης - πυρόλυσης (Ευ-  
ρώ/tn απορριμμάτων), είναι συγκριτικά  
μεγαλύτερο από το κόστος των τεχνολο-  
γιών καύσης. Το γεγονός αυτό οφείλε-  
ται, τόσο στην πολύπλοκη φύση των  
διεργασιών που λαμβάνουν χώρα, όσο  
και στον πλοτικό χαρακτήρα των υπαρ-  
χουσών εγκαταστάσεων. Σημειώνεται  
ότι, το κόστος κατασκευής και λειτουρ-  
γίας, εξαρτάται άμεσα από τον αντικει-  
μενικό στόχο της εγκατάστασης. Σε πε-  
ρίπτωση που ο σκοπός της κατασκευής  
είναι η μείωση του κόστους απόθεσης  
των απορριμμάτων εντός των ισχυόντων  
νομοθετικών ορίων περιβαλλοντικών εκ-  
πομπών, το συνολικό κόστος είναι μι-  
κρότερο από την περίπτωση της κατα-  
σκευής, με γνώμονα την ελαχιστοποίηση  
των περιβαλλοντικών επιδράσεων.

### 3. Τα Προϊόντα της Θερμικής Αξιοποίησης.

Όλες οι οργανικές ενώσεις που βρί-  
σκονται στο RDF, καίγονται ουσιαστι-  
κά πλήρως και τα κύρια τελικά προϊό-  
ντα είναι νερό και διοξείδιο του άνθρα-  
κα. Προκύπτουν επίσης, σε πολύ μικρές  
ποσότητες, ορισμένα προϊόντα ατελούς  
καύσης, από τα οποία βρίσκονται στην  
αέρια φάση το μονοξείδιο του άνθρακα  
καθώς και οργανικές ενώσεις, μεταξύ  
των οποίων οι πολυχλωριωμένες διοξι-  
νες και τα διβενζο-φουράνια [13].

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

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

Το θείο εμφανίζεται με την μορφή  
διοξειδίου του θείου, το οποίο καταλήγει  
είτε στην τέφρα, υπό μορφή θειικών  
αλάτων, είτε στα αερία. Μπορεί ακό-  
μη να δημιουργηθεί διοξείδιο του θείου  
από την θερμική διάσπαση θειικών αλά-  
των, αν αναπτυχθούν ιδιαίτερα υψηλές  
θερμοκρασίες στον χώρο της καύσης.

Άλλο παραπροϊόν της θερμικής επε-  
ξεργασίας, είναι τα οξείδια του αζώτου,  
που παρουσιάζονται σε κάθε είδους  
εγκατάσταση καύσης, κάθε είδους υλι-  
κού.

Στον Πίνακα 6, εξετάζονται οι εκπο-  
μπές που προκύπτουν από εγκαταστά-  
σεις οι οποίες εφαρμόζουν τις προανα-  
φερθείσες τεχνολογίες, με βάση την οδη-  
γία 94/67/ΕΕ.

Η διερεύνηση των δυνατοτήτων για  
την μείωση της περιβαλλοντικής ρύπαν-  
σης, ακόμα και κάτω από τα όρια εκπο-  
μπών 94/67/ΕΕ, έδειξε πως η μείωση αυ-  
τή είναι σήμερα, τόσο για την καύση σε  
ρευστοποιημένη κλίνη, όσο και για την  
αεριοποίηση / καύση, τεχνολογικά πλή-  
ρως εφικτή και πως σχετίζεται μόνο με το  
κόστος της αντίστοιχης εγκατάστασης.

Με βάση την σύγχρονη διαθέσιμη  
τεχνολογία πρόληψης και περιορισμού  
της ρύπανσης (ιδίως όσον αφορά τις αέ-  
ριες εκπομπές), η αντίληψη ότι η καύση  
συνεπάγεται ρύπανση, δεν ευσταθεί τε-  
χνολογικά. Τιμές εκπομπών από υπάρχ-  
ουσες στην Ευρώπη εγκαταστάσεις  
θερμικής αξιοποίησης του RDF, δεν  
αποτελούν τεχνολογικά όρια, αλλά συ-  
γκεκριμένες επιλογές: Έτσι παρατηρεί-  
ται ότι, οι τιμές των σημαντικότερων ρύ-  
πων, όπως αυτές μετρήθηκαν κατά την  
διάρκεια περιόδων δοκιμαστικής λει-  
τουργίας, στην μονάδα θερμικής αξιο-  
ποίησης του RDF στην Μαδρίτη (1991),  
είναι αυστηρότερες από αυτές της νεώ-  
τερης εγκατάστασης στην Βερόνα  
(1997). Ενδεικτικά, παρουσιάζονται και  
οι εκπομπές ρύπων εργοστασίου καύσης  
ΑΣΑ σε εσχάρες, στο Weisweiler της  
Γερμανίας. Η μονάδα διαθέτει εξελιγμέ-  
νο σύστημα περιορισμού αερίων ρύπων  
και υπερκαλύπτει τα όρια της 94/67/ΕΕ.

### Βιβλιογραφία.

1. Thome-Kozmiensky, Gewinnung und  
Verwertung von Brennstoff aus  
Muell, Recycling International, EF-  
Verlag, Berlin 1984.
2. ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΩΝΣΤΑΣ ΕΠΕ, Αξιολό-  
γηση του δυναμικού των απορριμμα-  
των στην Ελλάδα, Αθήνα 1987.
3. Thome-Kozmiensky, Kompostierung  
und Brennstoffgewinnung, E.FRE-  
ITAG, Berlin 1983.
4. Municipal SW Management, UNEP  
Environmental Technology Center,  
1999.
5. Αδ. Σκορδάη, Η θερμική επεξεργασία  
των απορριμμάτων και RDF,  
ΚΟΣΜΟΣ ΕΠΕ, Αθήνα 1997.
6. Μετρήσεις ΕΣΔΚΝΑ, 1990.
7. MSW Factbook, Ver.4.0 USEPA,  
Washington DC, 1997.

8. *Αδ. Σκορδίλη*, Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων και RDF, ΚΟΣΜΟΣ ΕΠΕ, Αθήνα, 1997.
9. *Vehlow*, Thermische Verfahren im Vergleich, Graz, 1998.
10. *K.Thome-Kozmiensky*, Verbrennung von Abfaellen, EF-Verlag, Berlin 1985.
11. *Nuphaus, G. Dehoust*, Comparison of different technologies for the incineration of solid wastes, THERMIE, European Workshop, Athens 1993.
12. *Buckle, HOLTER.ABT*, Fluidised bed combustion, a key role in sustainable waste management strategy.
13. *Jensen, Dioxins*, Danish Environmental Protection Agency, 1997.
14. *Seifert, J. Vehlow*, Kostenguenstige Dioxinminderungsstrategien, Wastec, Tokyo, 1998.
15. *Municipal SW Management*, UNEP Environmental Technology Center, 1999.
16. *Koeser*, Dioxine, eine Aufgabe fuer die Umwelttechnik, Chemie Ingenieur Technik 12/98, σελ. 1517.
17. *Vehlow*, Waste management in industrialized and developing countries, ENREN '98, 1998.
18. *Buekens, A. Bridgewater, G-L Ferrero, K. Maniatis*, Commercial and marketing aspects of gasifiers, Commission of European Communities, 1990.
19. *Schwager*, Will gasification and pyrolysis displace incineration for waste disposal? WME, 1998, σελ.8.
20. *Vehlow*, Schadstoffsenke Thermische Abfallbehandlung FDBR-Konferenz, Duesseldorf 1995.
21. *Dumbleton*, Powerful waste, WME April 1998, σελ.20.
22. *Calaminus, R. Stahlberg*, Thermal waste treatment, a better approach, ChemTech Oct. 1998, σελ.40.
23. *NOVEM*, Thermal treatment of household waste., An evaluation of five techniques, 1995.
24. *Pyrolyse gekoppelt*, UmweltMagazin Juni 1999, σελ.38.
25. *Integrated recycling plant* 1.200MT daily capacity and energy recovery in Madrid.
26. *Vincent*, Valorisation by incineration of urban refuse, Πρόγραμμα THERMIE.
27. *Southeastern Public Service Authority*, 1999.
28. *Energy Fact Sheet*, Ontario, 1993.
29. *Thermal waste treatment*, a better approach, CHEMTECH, October 1998, σελ. 40.
30. *Novem*, Thermal treatment of MSW, an evaluation of five techniques, 1995.
31. *VIT ENERGY Φινλανδία*, C.A.R.M.E.N. Γερμανία, Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Βιέννης. LIOR e.e.i.g. 1999, Brussels, Belgium.
32. *KVAERNER PULPING - Power Division: Circulating Fluidized Bed Boilers - Reference List*
33. *Erik Rensfelt, TPS - IEA Biomass Agreement, Sub-task 6 : Gasification of Waste.*
34. *Thermoselect High-temperature recycling*, Leaflet.
35. *IEA Bioenergy*, Advanced Thermal Conversion Technologies for Energy from Solid Wastes, 1998.
36. *Reimert Rainer*, Gasification of Waste - an old Art Applied to a new Feedstock, 20th World Gas Conference, Kobenhavn 1997.
37. *Schweitzer, F.:* Thermoselect-Verfahren zur Ent- und Vergasung von Abfaellen, EF-Verlag fuer Energie- und Umwelttechnik, Berlin 1994.
38. *Carl J., Fritz P.*, NOELL-Konversionsverfahren zur Verwertung und Entsorgung von Abfaellen, EF Verlag, Berlin 1994.
39. *Anton F.*, Das KWU-Schwebbrennverfahren, VDI Verlag Duesseldorf, 1995.
40. *Lurgi Energie und Umwelt GmbH*, Brochure No. 950031B: Das Lurgi-WIKONEX Verfahren, Frankfurt, June 1995.