

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΛΙΒΑΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ –  
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: 1) ΝΤΑΛΙΑΝΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ**

**2) ΔΑΜΟΚΑΣ ΒΑΣΙΛΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012**

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στη θεωρητική ανάλυση βιομηχανικών κλιβάνων υψηλής απόδοσης με χρήση της τεχνολογίας υψηλής θερμοκρασίας αέρα και αναλύονται τα πλεονεκτήματα χρήσης όσον αφορά οφέλη στο περιβάλλον, στα χρησιμοποιούμενα υλικά (φυσικοί πόροι και καύσιμα).

Ευχαριστούμε θερμά τους Επιβλέποντες Καθηγητές μας κ. Κωνσταντίνο Μαυρίδη, Καθ. του Τμήματος Μηχανολογίας και τον κ. Ιωάννη Γιαννάκη, Συνεργάτη Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν για την πραγματοποίηση της Εργασίας αυτής.

**ΔΑΜΟΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΝΤΑΛΙΑΝΗΣ ΣΠΥΡΟΣ**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στη διαδικασία σχεδιασμού κλιβάνων υψηλής απόδοσης βελτιώνοντας κατά τη διαδικασία σχεδιασμού τα σημεία που επιδέχονται βελτίωση με σκοπό την μείωση του μεγέθους των κλιβάνων, την βελτίωση της απόδοσης, την μείωση των δαπανώμενων υλικών και τη χρήση νέων τεχνολογικών λύσεων. Επίσης αναφορά γίνεται στη χρήση αέρα υψηλής θερμοκρασίας για την καύση σε κλιβάνους και τις εφαρμογές που μπορεί να έχει αυτή η λύση σε διάφορες εφαρμογές καύσης σε κλιβάνους.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε δύο κεφάλαια όπου αναπτύσσονται κατά το δυνατό τα παραπάνω αντικείμενα.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο βέλτιστο σχεδιασμό ενός κλιβάνου και ιδιαίτερα στο ύψος και μήκος του κλιβάνου και τα άλλα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά για την ανάπτυξη κλιβάνου υψηλής απόδοσης. Επίσης γίνεται αναφορά για την τεχνολογία ελέγχου καύσης μέσω της χρήσης αέρα καύσης υψηλής θερμοκρασίας, τον έλεγχο της μείωσης των καυσαερίων.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις εφαρμογές της τεχνικής χρήσης υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης και της επίδρασης που έχει αυτό στους σχεδιαζόμενους κλιβάνους και στις διάφορες απαιτήσεις καύσης.

# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΥΨΗΛΗΣ</u>	
<u>ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΛΙΒΑΝΩΝ</u>	5
1.1.1. Σχεδιαστική ιδέα για υψηλής απόδοσης βιομηχανικό κλίβανο	5
1.1.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΚΛΙΒΑΝΟΥ	5
1.1.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΛΛΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ	11
1.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ- ΕΚΤΙΜΗΣΗ	
ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	26
1.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	26
1.2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ	29
1.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΘΕΡΜΑΣΜΕΝΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ	
ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΜΕΤΑ ΑΠΟ	
ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	33
1.2.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΩΜΑ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ	
ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΨΥΞΗ ΝΕΡΟΥ	34
1.2.5 ΣΚΙΑΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	35
1.2.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	36
1.2.7 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΤΙΜΗΣ ΣΧΕΤΙΚΑ	
ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΤΩΝ ΦΟΥΡΝΩΝ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	36
1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΥΣΗΣ	45
1.3.1 ΒΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	47
1.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ	51
1.3.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	
ΚΑΥΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ	55
1.4.1 ΦΟΥΡΝΟΣ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	56
1.4.2 ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗ ΡΑΒΔΟΥ ΧΑΛΥΒΑ	66

1.4.3 ΦΟΥΡΝΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	69
1.4.4 ΦΟΥΡΝΟΣ ΤΗΞΗΣ	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : Εφαρμογές της Υψηλής Θερμοκρασίας Αέρα Τεχνολογίας	
Καύσης σε Άλλα Συστήματα	86
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	86
2.2 ΚΑΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	89
2.3 ΚΑΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΡΒΟΥΝΩΝ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΟΒΑΘΜΩΝ ΚΑΡΒΟΥΝΩΝ	95
2.4 ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ	95
2.5 ΤΗΞΗ ΤΕΦΡΑΣ	96
2.6 ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΛΕΒΗΤΕΣ	96
2.7 ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΚΑΥΣΗΣ, ΜΙΚΡΟΙ ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ, ΚΑΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	97
2.8 ΧΡΩΜΑΤΑ, ΛΙΠΑΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ, ΚΑΙ ΒΑΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	98
2.9 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΛΙΒΑΝΩΝ (ΦΟΥΡΝΩΝ)

## 1.1.1. Σχεδιαστική ιδέα για υψηλής απόδοσης βιομηχανικό κλίβανο (φούρνο)

Στη φάση σχεδίασης ενός πραγματικού βιομηχανικού φούρνου, οι βασικές προδιαγραφές καθορίζονται από την ενσωμάτωση των δεδομένων των δοκιμών, διορθωμένα στοιχεία από την αναβάθμιση του συστήματος, αποτελέσματα των υπολογισμών ανάλυσης μοντέλου σε σχέση με την μεταφορά θερμότητας, δυναμική ροής, και αντιδράσεις με στόχο την αξιολόγηση της επίδρασης των σχετικών μεταβολών από τις συνθήκες δοκιμής. Τότε οι λεπτομέρειες του σχεδιασμού τίθενται σε ανάλυση. Ο Πίνακας 1.1 δείχνει την συνολική εικόνα διαμόρφωσης των τεχνικών ρυθμίσεων και ο Πίνακας 1.2 τις απαιτήσεις του σχεδιασμού ενός υψηλής απόδοσης φούρνου ως παράδειγμα ενός βιομηχανικού φούρνου. Η βασική ιδέα της ροής σχεδιασμού είναι η ίδια όπως για ένα συμβατικό φούρνο. Ωστόσο, ο σχεδιασμός ενός υψηλής απόδοσης φούρνου κάνει χρήση των διάφορων βάσεων δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί ως αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων εξέλιξης, όπως: (1) στοιχεία σχετικά με το ύψος του φούρνου και (2) στοιχεία σχετικά με τον συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (συνολική απορροφητικότητα)  $\phi_{CG}$  και, (3) στοιχεία για την προθερμασμένη θερμοκρασία του αέρα. Επειδή αυτά τα στοιχεία είναι διαφορετικά από αυτά ενός συμβατικού φούρνου, η τελική εμφάνιση μιας νέας σχεδίασης φούρνου θα αλλάξει ανάλογα. Επίσης στη διαδικασία για τον καθορισμό του συστήματος ελέγχου, το ενσωματωμένο λογισμικό ελέγχου και ελέγχου συσκευών διαφέρουν από αυτών για ένα συμβατικό φούρνο αντικατοπτρίζοντας τα αποτελέσματα της ανάπτυξης με τη μορφή της θερμοκρασίας κλιβάνου (ή φούρνου) και των δεδομένων ελέγχου της πίεσής φούρνου.

## 1.1.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΚΛΙΒΑΝΟΥ

Στις περισσότερες περιπτώσεις το ύψος ενός φούρνου έχει καθοριστεί, όχι σε σχέση με τις συνθήκες μεταφοράς θερμότητας, αλλά από τους φυσικούς περιορισμούς του φούρνου όπως η δομή και οι διαστάσεις εγκατάστασης. Το βέλτιστο ύψος του φούρνου για τη υψηλότερη απόδοση της θέρμανσης που διατίθεται μπορεί να καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ πάχους του αερίου και την απώλεια θερμότητας. Όσο υψηλότερος ο φούρνος, τόσο πιο παχύ γίνεται το στρώμα αερίου. Ως αποτέλεσμα, το ποσοστό ακτινοβολίας του αερίου αυξάνεται καθώς η ποσότητα της απώλειας θερμότητας μέσω του τοιχώματος του φούρνου αυξάνεται. Εφόσον η αύξηση της αποδοτικότητας των συστημάτων θέρμανσης που προκύπτει από αύξηση του ποσοστού της ακτινοβολίας του αερίου παραμένει υψηλότερη από την αύξηση στην απώλεια θερμότητας μέσω του τοιχώματος του φούρνου, η απόδοση της θέρμανσης του φούρνου αυξάνεται με το ύψος του φούρνου. Στην περίπτωση του αναγεννητικού καυστήρα φούρνου που διαθέτει υψηλή ανάκτηση θερμότητας, επαρκής θερμότητα μπορεί να ανακτηθεί από τα καυσαέρια ακόμα και αν η εσωτερική θερμοκρασία στο φούρνο του αερίου αυξάνεται, όπου η απόδοση θέρμανσης δεν αλλάζει σημαντικά με το πάχος του στρώματος του φυσικού αερίου. Το βέλτιστο ύψος του φούρνου μπορεί να είναι μικρό. Η σχέση μεταξύ του ύψους του φούρνου και της μονάδας κατανάλωσης καυσίμου προσδιορίζεται από την ανάλυση μεταφοράς θερμότητας με χρήση ενός βασικού μοντέλου μεταφοράς θερμότητας με τον ίδιο τρόπο όπως και με την εξέταση με την χωρίς πρόγραμμα θέρμανση. Η απώλεια θερμότητας ορίστηκε σύμφωνα με την αναλογία χώρου με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται από ένα πραγματικό φούρνο. Υπολογισμοί έγιναν και για την ανώτερη περιοχή και για την κατώτερη περιοχή στο φούρνο.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: Συνολική διαμόρφωση των τεχνικών ρυθμίσεων για την ανάπτυξη υψηλής απόδοσης βιομηχανικού κλιβάνου**

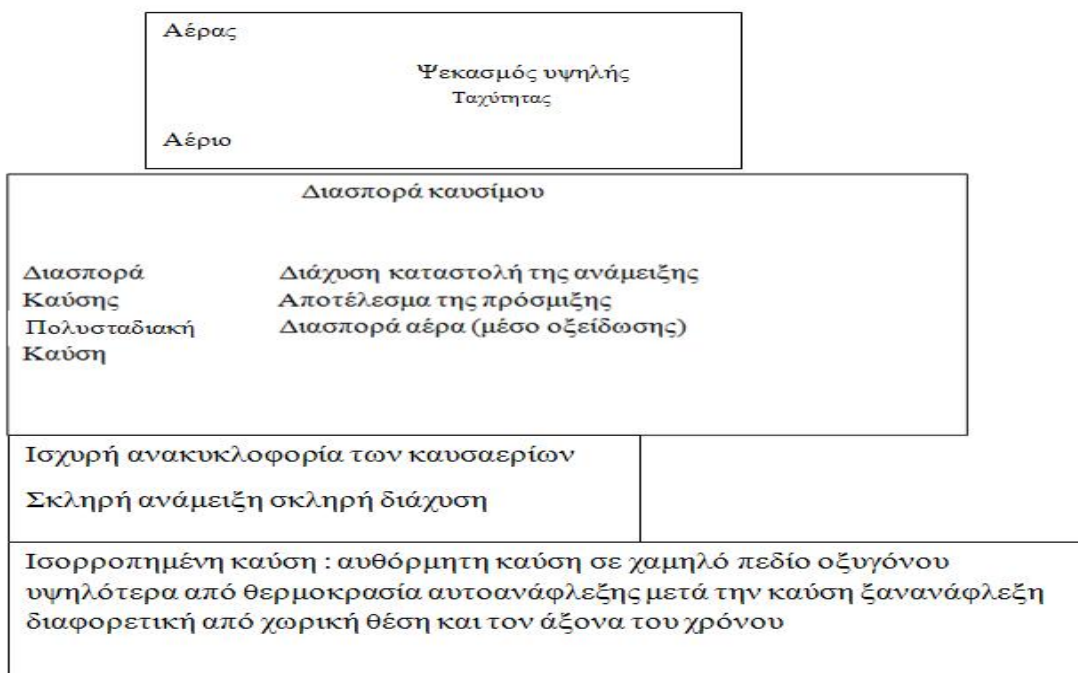
<b>A) Χαρακτηριστικά της φλόγας</b>
<p>1. Υψηλής χωρητικότητας φλόγα, φλόγα με χαμηλή συγκέντρωση και θερμοβαθμίδες                  2. Διάφανη φλόγα, φλόγα χωρίς ευδιάκριτη φωτεινή φλόγα                  3. ανωστική φλόγα, σταθερή φλόγα σε απόσταση από ακροφύσιο καυσίμου ή καθυστερημένη φλόγα καύσης</p> <p>Οι φλόγες δεν συμμορφώνονται πάντα με τα συμβατικά μοντέλα ταξινόμησης της τεχνολογίας καύσης, νέα φλόγα και νέα καύση.</p> <p>1. Σύνθετη φλόγα και σύνθετη καύση  <b>Καύση (Διάχυσης ή πρόμιξης) και Ροή (Τυρβώδης ή στρωτή)</b>                  Υπάρχει σαφώς και η τυρβώδης φλόγα διάχυσης με χαρακτηριστικά προμιγμένης φλόγας.</p> <p>2. Da: αριθμός Damkohler                  Da: ταχύτητα της αντίδρασης / ρυθμός μεταφοράς                  Χαμηλού αριθμού Damkohler καύση</p> <p>3. Καλά ανακατεμένος αντιδραστήρας, πλήρους μίγματος σύστημα φλόγας</p>
<b>B) Σχηματισμός ριζών</b>
<p>1. Δημιουργία πράσινης φλόγας του συστατικού CH των καυσίμων με C<sub>2</sub> ρίζα                  2. Κβαντισμός των C<sub>2</sub>, CH, OH ριζών                  3. Μετατροπή σε πολυπύρηνους αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH), πρόδρομος της αιθάλης με πυρόλυση καυσίμου</p>
<b>Γ) Χαρακτηριστικά καύσης σε υψηλή θερμοκρασία του αέρα</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αυτόματη ανάφλεξη</li> <li>• Μηχανισμός συγκράτησης φλόγας δεν απαιτείται.</li> <li>• Πρότυπα φλόγας διαφέρουν ουσιωδώς ανάλογα με τη μέθοδο της ανάμειξης του αέρα και του καυσίμου.</li> <li>• Στιγμαία θερμοκρασία κορυφής φλόγας είναι σε χαμηλά επίπεδα παρά τη χρήση υψηλής θερμοκρασίας προθερμασμένου αέρα.</li> <li>• Οι διακυμάνσεις της θερμότητας της φλόγας είναι πολύ μικρές .</li> <li>• Αραιωμένη καύση ή αποτελέσματα χαμηλού οξυγόνου καύσης από ανακυκλούμενο καιγόμενο αέριο.</li> <li>• Η ζώνη αντίδρασης γίνεται παχιά σε χαμηλή καύση οξυγόνου.</li> </ul>
<b>Δ) Κατάσταση υλικού</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θέση των ακροφυσίων του αέρα και αερίου, σωλήνωση αέρα και καυσίμου.</li> <li>• Γωνία των ακροφυσίων του αέρα και του αερίου.</li> <li>• Μορφή και αριθμός των ακροφυσίων αέρα και αερίου.</li> <li>• Ρυθμός εκκένωσης ροής αέρα και αερίου</li> <li>• Θέση και κλίση/ένταση των καυστήρων, απόξεση, επιφάνεια κυκλοφορίας του αερίου, θέση, σχήμα και δομή της διαμόρφωσης</li> </ul>

- Κάθετη θερμική ισορροπία
- Αποτελεσματική μέθοδος μεταφοράς θερμότητας αερίου
- Βελτίωση στο κάτω μέρος του φούρνου  $\Phi_{CG}$  και στη θωράκιση
- Ισορροπία πίεσης εντός του φούρνου και έλεγχος της πίεσης του φούρνου

### Ε) Κατάσταση λογισμικού

- $\Phi_{CG}$  και κατανομή θερμογόνου τιμής.
- Βέλτιστος τύπος φούρνου (μήκος φούρνου, πλάτος και ύψος).
- Κατάσταση ανάκτησης θερμικών αποβλήτων, ισορροπία θερμότητας.
- Προϋποθέσεις επανακυκλοφορίας καυσαερίων, χώρισμα, τύπος, δομή και διαμόρφωση ζεύξης.
- Περιοχές διαίρεσης.
- Έλεγχος καύσης: μοτίβο ελέγχου θερμότητας, ζώνες ελέγχου και ελέγχου εκκίνησης.
- Έλεγχος πίεσης φούρνου.

### ΣΤ)





## **ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2: Σχεδιασμός ροής υψηλής απόδοσης φούρνου**

1. Βάση δεδομένων
2. Κλιβάνου πλάτος- βάση δεδομένων
3. Σύνθεση του προϊόντος
4. Βάση δεδομένων (φορτίου- πλαισίου) φούρνου
5. Κλιβάνου ύψος- βάση δεδομένων
6.  $\Phi_{GG}$  και προθερμασμένες θερμοκρασίες του αέρα -βάση δεδομένων
7. Εξωτερικός τοίχος έκλυσης θερμότητας -βάση δεδομένων
8. Βάση δεδομένων-ισορροπία θερμότητας
9. Βάση δεδομένων- ελέγχου πίεσης, ελέγχου θερμοκρασίας
10. Βέλτιστο σχήμα του φούρνου
11. Πλάτος φούρνου
12. Διευθέτηση των δοκών στήριξης
13. Μήκος του φούρνου
14. Πραγματικό μήκος του φούρνου
15. Ύψος του φούρνου
16. Διαμόρφωση των πυρίμαχων υλικών στο σώμα του φούρνου
17. υπολογισμός μεταφοράς και θερμότητας εσωτερικά στον κλίβανο
18. Σχήμα, διαστάσεις και το υλικό της στήριξης των δοκών
19. Σχήμα και διαστάσεις της εισόδου και εξόδου
20. Θέση της εξόδου και κατεύθυνση των καυσαερίων
21. Κατάλληλος καυστήρας
22. υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας
23. Εκτίμηση της ροής του αερίου στο φούρνο και κατανομή θερμοκρασίας
24. Καθορισμός της χωρητικότητας και αριθμού των καυστήρων σε κάθε ζώνη
25. Ομαδοποίηση των καυστήρων σε κάθε ζώνη και ομαδοποίηση των σωληνώσεων
26. Επιλογή του βέλτιστου αναγεννητή
27. Σύστημα ελέγχου
28. Έλεγχος πίεσης φούρνου
29. Έλεγχος  $O_2$
30. Ροή ελέγχου του ρυθμού
31. Έλεγχος της θερμοκρασίας των καυσαερίων σε αναγεννητική έξοδο
32. Μέτρα προστασίας
33. Συσκευή ασφάλειας καύσης
34. Περιορισμοί
35. Ικανότητα θέρμανσης ton/ h
36. Σχήμα του αντικειμένου που πρέπει να θερμανθεί
37. Αύξηση και μείωση θερμοκρασίας
38. Συντηρισιμότητα
39. Θέσεις του φούρνου και εξοπλισμός τοποθετημένος μπροστά και πίσω από τον φούρνο
40. Μέθοδος επεξεργασίας της καύσης των καυσαερίων
41. Μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση ενέργειας του φούρνου και περιφερειακού εξοπλισμού
42. σύστημα μεταφοράς (υδραυλικό σύστημα, ηλεκτροκινητήριο σύστημα)

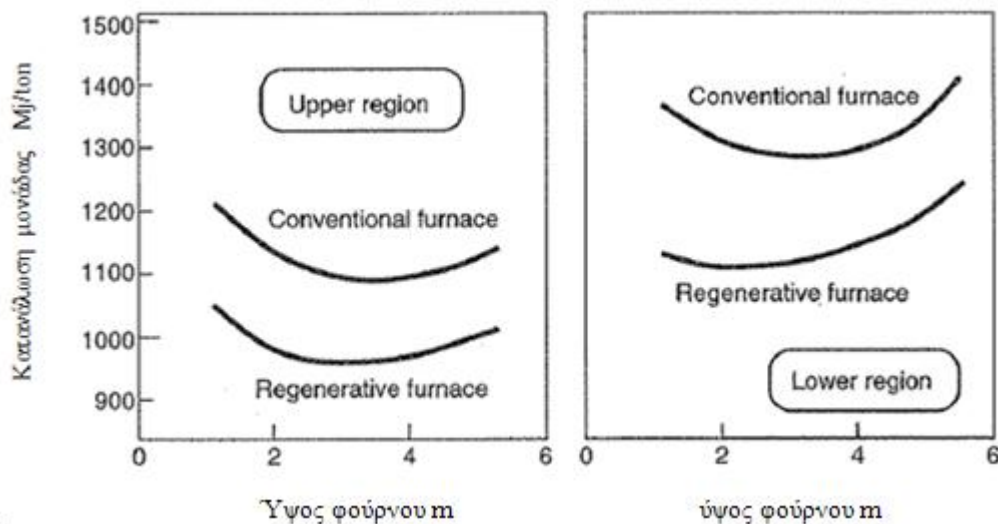
43. Θέση της εξόδου και κατεύθυνση των καυσαερίων
44. Τύπος του καυσίμου
45. Κατανομή της θερμοκρασίας στο φούρνο – κατεύθυνση πλάτους
46. Κανονισμοί NO<sub>x</sub>
47. Συστατικά καυσαερίων (CO/CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O )
48. Έλεγχος για επιβλαβείς ουσίες (CO, SO<sub>x</sub>, καπνού και αιθάλης)
49. Μέγιστο και ελάχιστο ποσοστό καύσης του καυστήρα και σχήμα της φλόγας
50. Επιλογή του επιπέδου έλεγχου της θερμοκρασίας
51. Όριο διείσδυσης αέρα
52. Πρότυπο ασφαλείας
53. Μέτρα έκτακτης ανάγκης
- 54. Βασικός σχεδιασμός**
55. Πλάνο πρώτου βασικού σχεδιασμού, τυποποιημένο υλικό και σύνθεση του προϊόντος ton/h
56. Προσδιορισμός του τύπου του φούρνου
57. Προσωρινός προσδιορισμός του φορτίου φούρνου
58. Προσωρινός προσδιορισμός του προτύπου θερμότητας
59. Εξέταση της εκπομπής του αντικειμένου που πρέπει να θερμανθεί
60. Προσδιορισμός του πραγματικού μήκους του φούρνου
61. Προσδιορισμός των διαστάσεων του φούρνου (μήκος, πάχος και ύψος )
62. Προσδιορισμός της ζώνης διαίρεσης
63. Προσδιορισμός τύπου και διάταξης των καυστήρων
64. Επιλογή του βέλτιστου αναγεννητή
65. Πλάνο 2 βασικού σχεδιασμού: ενσωμάτωση της ισορροπίας θερμότητας
66. Προσδιορισμός του τύπου, αριθμού ικανότητας των καυστήρων
67. Προσδιορισμός του ποσοστού καύσης σε κάθε ζώνη
68. Πλάνο 3 βασικού σχεδιασμού: προσδιορισμός ικανότητα φυσητήρα
69. Προσδιορισμός του ανεμιστήρα
70. Προσδιορισμός του σχεδίου του φουγάρου (διάμετρος, ύψος )
71. Προσδιορισμός κατανάλωσης καυσίμου ανά μονάδα
72. Προσδιορισμός ποσότητας νερού ψύξης
73. Σχέδιο οργάνων: προετοιμασία διαγράμματος ελέγχου (δύναμη, μεταφορά θερμότητας, έλεγχος θερμοκρασίας, έλεγχος ροής, έλεγχος πίεσης, σύστημα ασφάλειας)
74. Προετοιμασία της χρήσης διαγράμματος του συστήματος
75. Προετοιμασία σχεδίου λειτουργίας / χειρισμού
76. Υψηλής ποιότητας φούρνου

Ο πίνακας 1.3 δείχνει τη μορφή των σχετικών στοιχείων-συνθηκών για τον υπολογισμό κλιβάνου και η εικόνα 1.1 τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Το ύψος του φούρνου είναι στο βέλτιστο επίπεδό του.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3: Συνθήκες υπολογισμού**

Μήκος φούρνου	36 m
Χρόνος θέρμανσης	2.5 h
Καύσιμο	M gas
Θερμοκρασία θέρμανσης	20-1200 °C
Πλάτος πλάκας	220 mm

Το βέλτιστο ύψος μειώνεται κατά περίπου 1m τόσο για τις κάτω και άνω περιοχές της πλευράς του ύψους του φούρνου σε περίπτωση καύσης υψηλής θερμοκρασίας του αέρα σε σύγκριση με έναν συμβατικό φούρνο. Περαιτέρω, η κλίση στην περιοχή της κατώτατης τιμής της κατανάλωσης καυσίμου μονάδας είναι μικρή, υποδεικνύοντας ότι υψηλή θερμική αποδοτικότητα είναι διαθέσιμη σε ένα ευρύ φάσμα υψών των φούρνων. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι μόνο το ποσό της μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία λήφθηκε υπόψη στους υπολογισμούς. Μπορεί να εκτιμηθεί ότι το βέλτιστο ύψος του φούρνου θα είναι πολύ χαμηλότερο όταν η μεταφορά θερμότητας λόγω συναγωγής δεν μπορεί να αγνοηθεί. Όσο πιο χαμηλό είναι το ύψος του φούρνου, τόσο πιο υψηλή γίνεται η αποδοτικότητα των συστημάτων θέρμανσης. Συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί ότι το βέλτιστο ύψος του φούρνου που μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα των συστημάτων θέρμανσης βρίσκεται στην περιοχή του ύψους του φούρνου. Αυτό το αποτέλεσμα αντιπροσωπεύει ένα πολύ χαμηλότερο βέλτιστο ύψος φούρνου όπου τα αποτελέσματα φάνηκαν στην εικόνα 1.1, πιθανώς επειδή μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής/ διαβίβασης δεν θεωρήθηκε στην περίπτωση της εικόνας 1.1. Εν συντομία, χαμηλότερα ύψη φούρνων θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερες ποσότητες μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής/ διαβίβασης για το ίδιο ποσό της καύσης.

**Εικ. 1.1: Σχέση μεταξύ ύψους φούρνου και κατανάλωσης καυσίμου ανά μονάδα. Εκτίμηση βέλτιστο ύψος φούρνου**

### 1.1.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΛΛΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ

#### 1.1.3.1 Η Ικανότητα (χωρητικότητα) και η κλίση του Καυστήρα

Στον σχεδιασμό ενός υψηλής απόδοσης φούρνου, όχι μόνο οι διαστάσεις, αλλά και η ικανότητα και ο αριθμός των καυστήρων (κλίση καυστήρα, pitch) που έχει εγκατασταθεί είναι ζωτικής σημασίας. Η επίδραση αυτή στον καυστήρα σχετικά με την αποδοτικότητα θέρμανσης ελέγχθηκε χρησιμοποιώντας τέσσερα ζευγάρια καυστήρες εγκατεστημένους κατά μήκος της κατεύθυνσης του φούρνου. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2, η αποδοτικότητα της θέρμανσης και του φορτίου καύσης βρέθηκαν να έχουν αρνητική συσχέτιση. Πιθανώς αυτό είναι επειδή η περιοχή υψηλής θερμοκρασίας επεκτάθηκε στην κατεύθυνση του πλάτους του λέβητα, όπως το φορτίο καύσης των καυστήρων αυξήθηκε, τελικά να αυξήσει τη θερμοκρασία της ζώνης κοντά στον τοίχο από την άλλη πλευρά των καυστήρων. Έχει επίσης αποδειχτεί ότι υπάρχει μια βέλτιστη χωρητικότητα καυστήρα σε σχέση με ένα συγκεκριμένου πλάτους φούρνο, επειδή η αποδοτικότητα της θέρμανσης χαμήλωσε όταν το φορτίο καύσης ήταν πολύ μικρό και η εσωτερική θερμοκρασία στο κέντρο έγινε υψηλή. Η κατανομή της θερμοκρασίας στο φούρνο σε υψηλή θερμοκρασία του αέρα καύσης ισορρόπησε περισσότερο από ότι με τη συμβατική μέθοδο. Ωστόσο, είναι επίσης αλήθεια ότι ένα χάσμα στην θερμοκρασία δημιουργήθηκε μεταξύ του κεντρικού άξονα του καυστήρα και των καυστήρων. Οπότε είναι απαραίτητο για να έχουμε όσο το δυνατό σωστότερη μελέτη να καθοριστεί η ικανότητα του καυστήρα με αυτά τα ευρήματα που λήφθηκαν υπόψη μέσω μελετών από τη διεθνή σχετική βιβλιογραφία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών, η βέλτιστη κλίση καυστήρα μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι περίπου 18% του πλάτους του φούρνου.

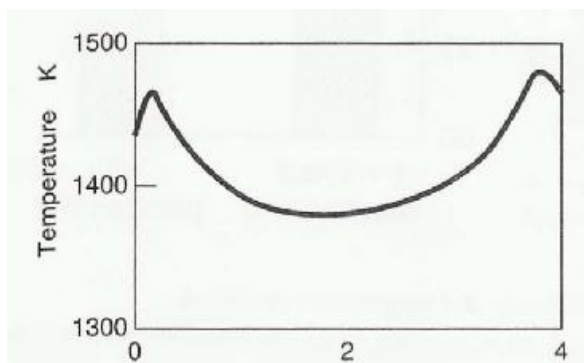
#### 1.1.3.2 Τοίχος διαχωρισμού

Η επίδραση των χωρισμάτων εξετάστηκε με την τοποθέτηση ενός διαμερίσματος ανάμεσα στην πρώτη ζώνη και την δεύτερη ζώνη καύσης. Με ένα διαχωριστικό τοίχο που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό της υψηλής ζώνης θερμοκρασίας από την χαμηλή ζώνη θερμοκρασίας και για να μπλοκάρει την μεταφορά του αερίου και της ακτινοβολίας της θερμότητας από αέριο μεταξύ των ζωνών, η θερμοκρασία της ζώνης υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με αντίστοιχες μειώσεις στη χαμηλή ζώνη θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι μια διακύμανση της θερμοκρασίας των 300°C προκλήθηκε μεταξύ της πρώτης ζώνης και της δεύτερης ζώνης και η αποδοτικότητα της θερμότητας αυξήθηκε κατά 4% όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3, με την απόκλιση της θερμοκρασίας της πλάκας προς την κατεύθυνση του πάχους αυξήθηκε από 65 σε 90°C. Για βιομηχανικές εφαρμογές θερμότητας, η ποιότητα των προϊόντων είναι πολύ σημαντική. Ως εκ τούτου, η ισορροπία μεταξύ αποδοτικότητας και κατάστασης ομοιόμορφης θέρμανσης πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό.

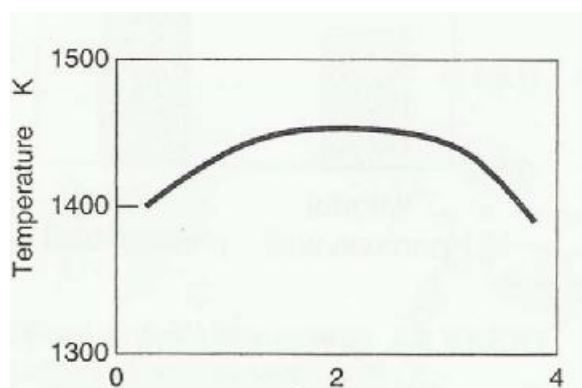
Πρώτη ζώνη  
Ποσοστό καύσης  
kW(Mcal/h)

Δεύτερη ζώνη  
Ποσοστό καύσης  
kW(Mcal/h)

Κατάσταση	No.1 ζεύγος	No.2 ζεύγος	No. 3 ζεύγος	No. 4 ζεύγος	Αποδοτικότητα Θερμότητας
Διπλή κλίση 1	0	1175(1010 )	0	1163(1000)	0.598
Διπλή κλίση 2	0	1420(1220)	0	1420(1220)	0.590
Συνήθης κλίση	698(600)	698(600)	698(600)	698(600)	0.652



(A) Διπλή κλίση 2 : Απόσταση στο φούρνο με κατεύθυνση, m



(B) Συνήθης κλίση: Απόσταση στο φούρνο με κατεύθυνση, m

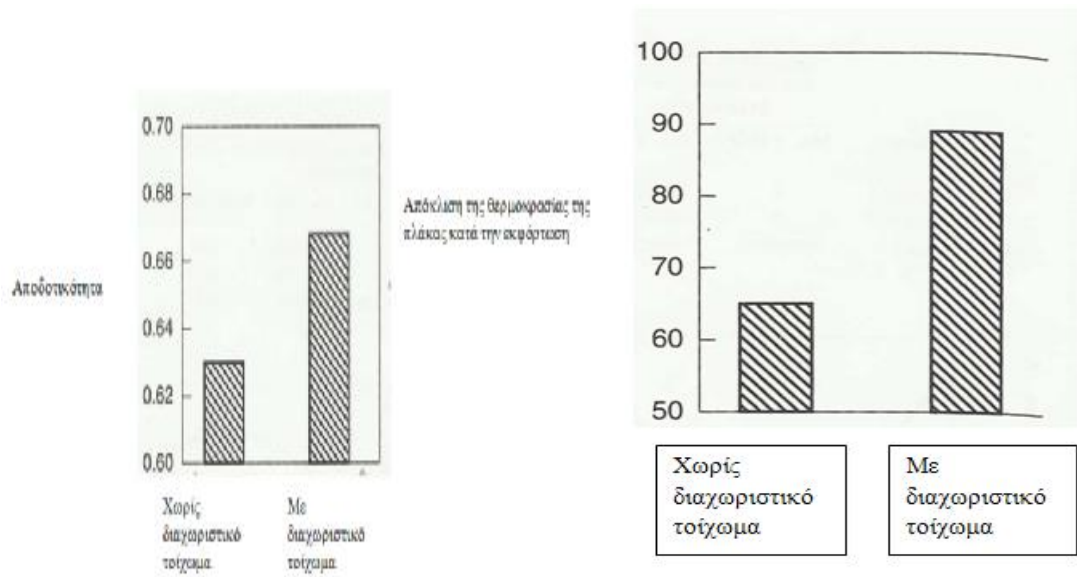
Εικ. 1.2: Αλλαγές των προφίλ της θερμοκρασίας αερίου με κλίσεις καυστήρα

### 1.1.3.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ

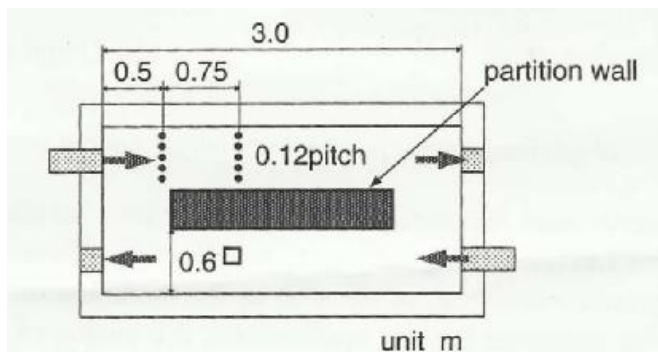
Για να προσδιοριστεί η επίδραση ενός διαχωριστικού τοιχώματος, έχουν γίνει μελέτες σχετικά με (1) τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιώντας αέρα σε κανονική θερμοκρασία, (2) ρευστομηχανική ανάλυση χρησιμοποιώντας αέρα σε κανονική θερμοκρασία, (3) μέτρηση της κατανομής της θερμοκρασίας που συνδέεται με την καύση, (4) ανάλυση θερμότητας ρευστού που συνδέεται με την καύση και (5) η βελτιστοποίηση του μήκους του ενδιάμεσου διαχωριστικού τοιχώματος.

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιώντας αέρα σε κανονική θερμοκρασία διεξήχθη χρησιμοποιώντας την εγκατάσταση δοκιμών που φαίνεται στην Εικόνα 1.4, και το μήκος του ενδιάμεσου τοιχώματος μεταβλήθηκε σε τέσσερα μήκη των 0, 1.3, 2.2, και 3 m (ή στα ποσοστά του αποτελεσματικού μήκους του φούρνου, 0, 43, 73, και 100%). Οι Ρευστομηχανικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας ένα συνολικό μοντέλο ανάλυσης των αναθερμασμένων φούρνων με το πλέγμα που έχει τον αριθμό των περίπου 38,000 κόμβων (περισσότεροι κόμβοι επιφέρουν καλύτερη σχετική ανάλυση αλλά βαραίνουν χρονικά και χωρικά). Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων και των αναλύσεων είναι παρόμοια (υπολογιστικά και πραγματικά δεδομένα).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόκλιση της θερμοκρασίας μέσα στο φούρνο μειώνεται από το ενδιάμεσο διαχωριστικό τοίχωμα. Ένα μεγαλύτερο διαχωριστικό τοίχωμα καθιστά τον μέσο όρο της θερμοκρασίας του φούρνου υψηλότερο. Ένα μεγαλύτερο διαχωριστικό τοίχωμα επίσης προκαλεί μια αύξηση στην απόκλιση κατανομής θερμοκρασίας του φούρνου, είναι ιδιαίτερα αισθητή όταν το τοίχωμα είναι μακρύτερο από 80%. Ένα μεγαλύτερο διαχωριστικό τοίχωμα επίσης οδηγεί σε μια μεγαλύτερη ροή θερμότητας στο υλικό που θερμαίνεται, και η ροή θερμότητας προς την κατεύθυνση του άξονα του καυστήρα αλλάζει από κοίλες καμπύλες κατανομής (καμπύλες λιγότερο από 60%) σε κυρτές καμπύλες, και για καμπύλες πάνω από 80%, η απόκλιση αυξάνεται. Σημαίνει επίσης ότι όσο μακρύτερο είναι το διαχωριστικό τοίχωμα, τόσο μικρότερη είναι η ροή θερμότητας με συναγωγή, και για καμπύλες πάνω από 80%, γίνεται μικρότερο περίπου γύρω στο 15%. Για να συνοψίσουμε, το βέλτιστο μήκος του διαχωριστικού τοιχώματος είναι  $70\% \pm 10\%$  του ωφέλιμου μήκους του φούρνου (προς την κατεύθυνση της μεγαλύτερης πλευράς του υλικού της θέρμανσης), και σε αυτή την περιοχή οι θερμοκρασίες του φούρνου είναι υψηλότερες και η απόκλισή τους είναι μικρότερη.



**Εικ. 1.3:** Η επίδραση του διαχωριστικού τοιχώματος στην αποδοτικότητα της θερμότητας και της κατανομής της θερμοκρασίας



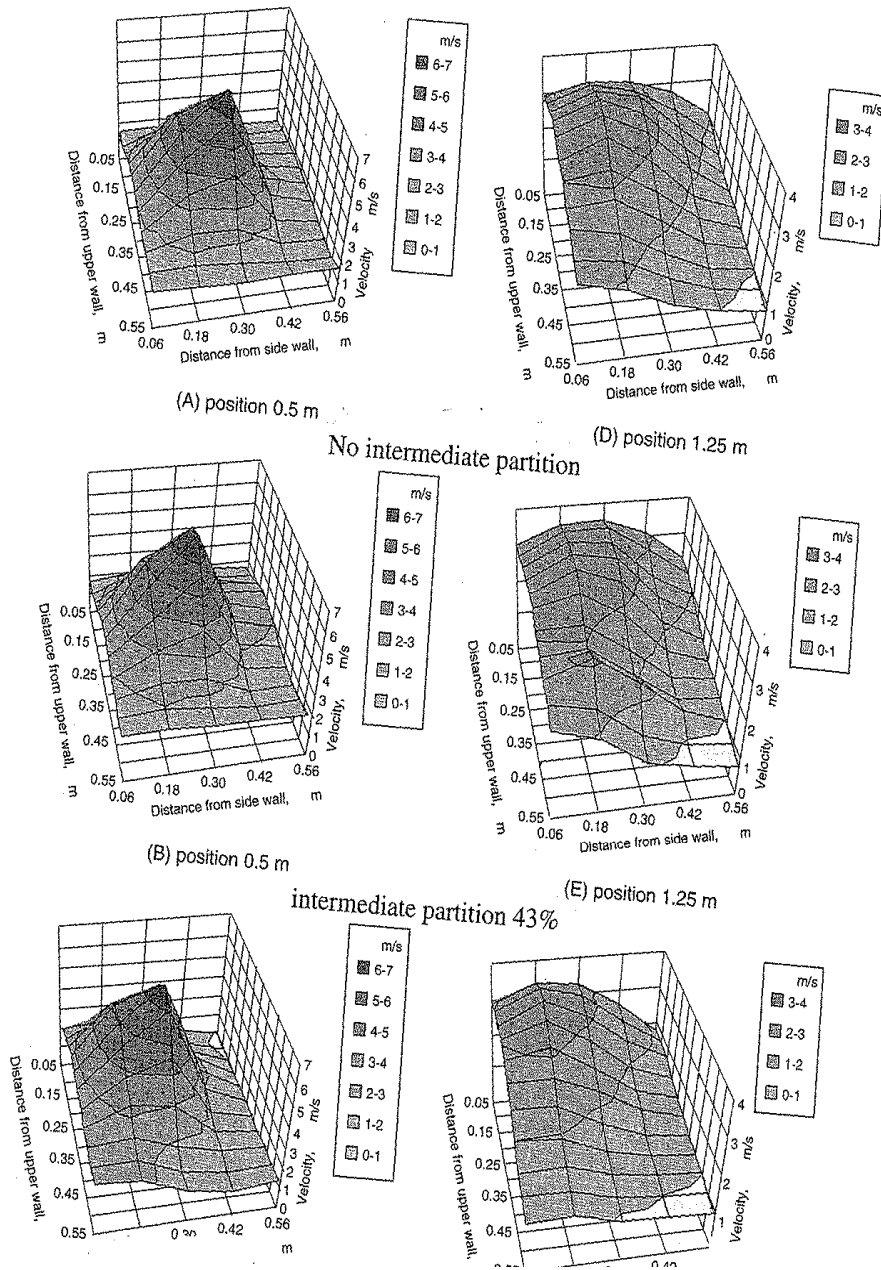
**Εικ. 1.4:** Θέσεις μέτρησης

#### 1.1.3.4 ΧΑΜΗΛΟΤΕΡΟ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ

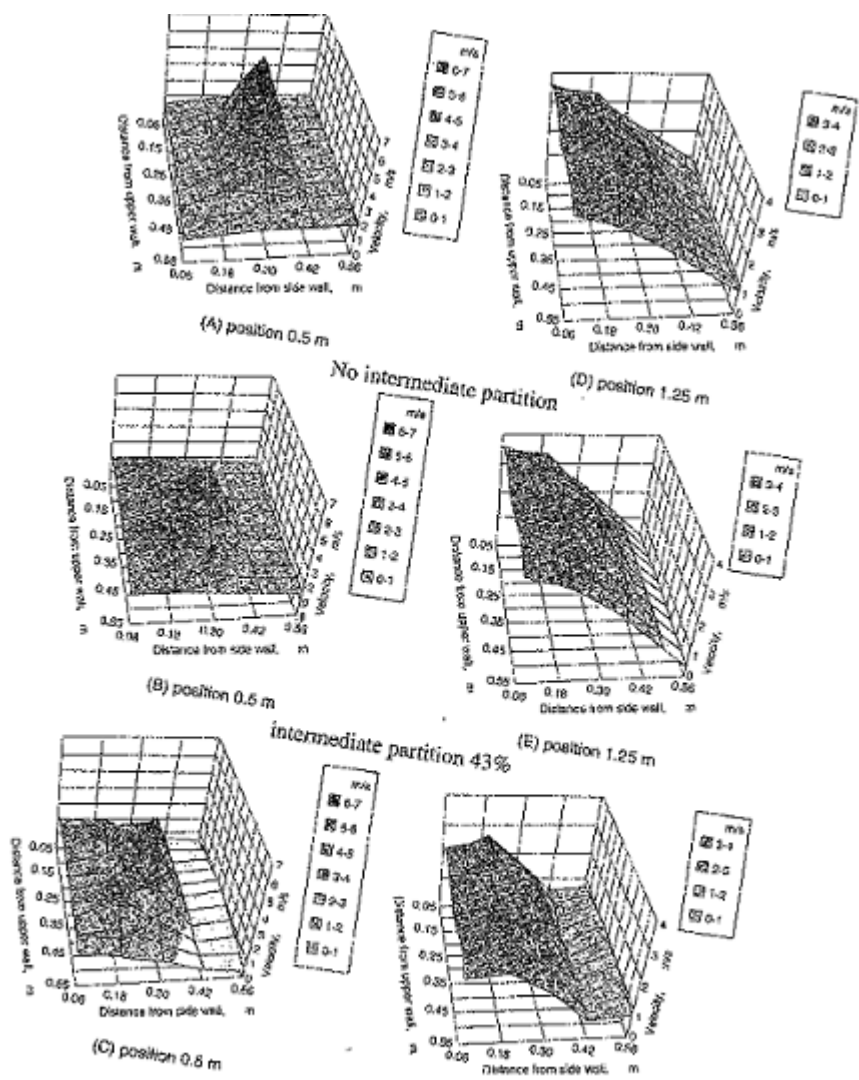
Ένας αριθμός δοκιμών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο του φούρνου (από διαφορετικούς ερευνητές) που φαίνεται παρακάτω και απέδωσε πολλά σημαντικά αποτελέσματα σχετικά με το σκοπό αυτής της πτυχιακής εργασίας. Σε ένα πείραμα όπου το πρότυπο θέρμανσης του φούρνου παρέμεινε σταθερό, η σύγκριση της κατανομής θερμοκρασίας του φούρνου έγινε μεταξύ καύσης με αέρα σε κανονική θερμοκρασία και καύση με αέρα σε υψηλή θερμοκρασία. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η κατανομή ήταν πιο ομοιόμορφη στη διάρκεια της καύσης με υψηλής θερμοκρασίας αέρα όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Όπου η θερμότητα εισόδου ήταν σταθερή στα 930kW, ο χρόνος που απαιτούνταν για την θερμοκρασία της επιφάνειας του χάλυβα στα πλάγια του καυστήρα να αυξηθεί από φυσιολογική θερμοκρασία σε 1100°C συγκρίθηκε με συνθήκες όπου η κανονική θερμοκρασία του αέρα χρησιμοποιούνταν. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η αύξηση θερμοκρασίας από καύση με υψηλή θερμοκρασία αέρα ήταν πιο γρήγορη όπως φαίνεται στην σχετική εικόνα παρακάτω.

Σε σύγκριση με τους 1200°C της θερμοκρασίας του φούρνου με 1.2 MW της καύσης, βρέθηκε ότι σε αυτή την περίπτωση της καύσης με υψηλής θερμοκρασίας αέρα, η θερμοκρασία του χάλυβα κοντά στα πέλματα ήταν υψηλότερη και η διαφορά των θερμοκρασιών μεταξύ του τμήματος του χάλυβα ακριβώς πάνω από τις δοκούς και του τμήματος γύρω στα μέσα του χάλυβα ήταν μικρότερη από ότι με κανονική καύση. Για το σκοπό της θέρμανσης του υλικού ομοιόμορφα, είναι πιθανό να εξαπλωθούν οι φλόγες με την υψηλής θερμοκρασία αέρα σε ολόκληρη την περιοχή μέσα στο φούρνο, αλλά την ίδια στιγμή θα αυξηθεί το ρίσκο της απελευθέρωσης άκαυστων συστατικών εξωτερικά του φούρνου. Τέλεια καύση στο εσωτερικό του φούρνου είναι απαραίτητη για τη μέθοδο που θα εφαρμοστεί σε φούρνους για τη βιομηχανική λειτουργία. Πολλές πειραματικές μελέτες έγιναν για να βελτιωθεί η ομοιομορφία της θερμοκρασίας χάλυβα που πληρούν την προϋπόθεση αυτή, μια μελέτη στην επίδραση στην ομοιόμορφη θέρμανση του χάλυβα αν οι φλόγες καίγονται στην μικρότερη κατεύθυνση του φούρνου για να αλλάξει τις θέσεις όπου σχηματίζονται οι φλόγες; Άλλη σχετικά με την επίδραση της μεταφοράς θερμότητας στα σημεία του χάλυβα κοντά στα πέλματα αν μια μέθοδος έχει υιοθετηθεί που τροφοδοτεί καύσιμο και αέρα με τέτοιο τρόπο ώστε να αραιωθούν κοντά στους καυστήρες από τα αέρια του φούρνου, αλλά κάτω από την συνθήκη της καύσης στην μακρύτερη κατεύθυνση του φούρνου; και, τέλος, στην επίδραση της μεταφοράς θερμότητας αν τα αέρια του φούρνου κοντά στα πέλματα εξωθούνται από κάποια εξωτερική δύναμη.

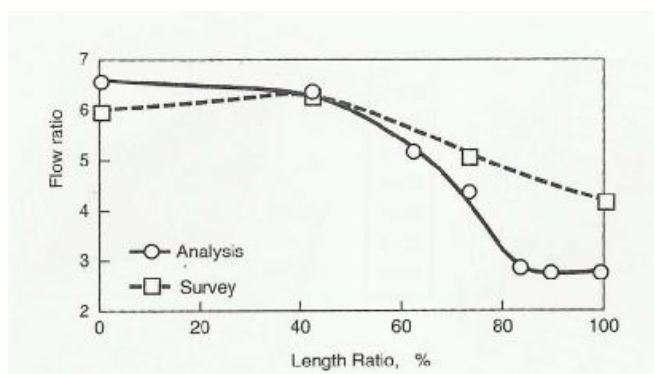




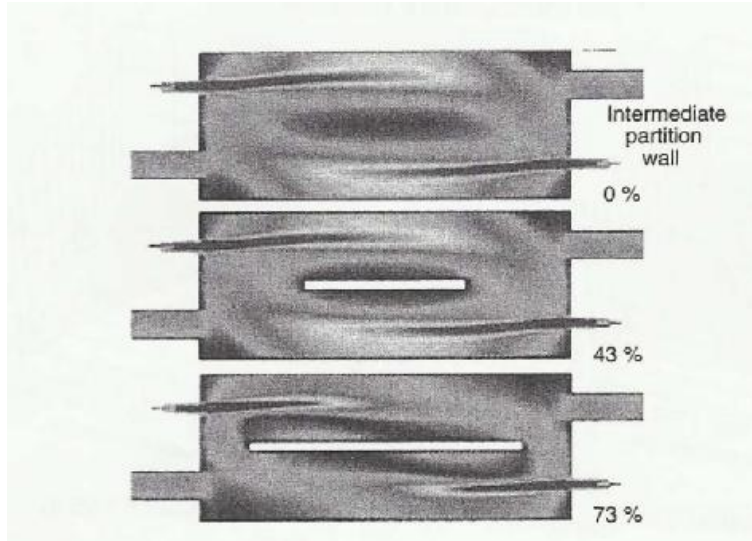
**Εικ. 1.5: Αποτελέσματα μέτρησης ταχύτητας του ανέμου**



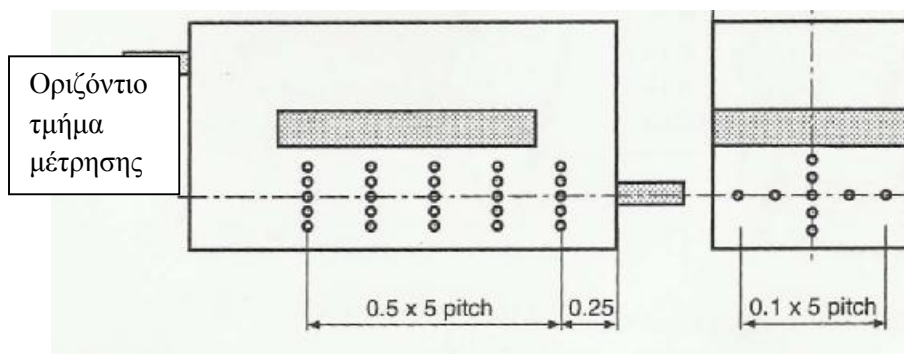
Εικ. 1.6: Αποτελέσματα μέτρησης ταχύτητας του ανέμου όταν δεν υπάρχει καύση.



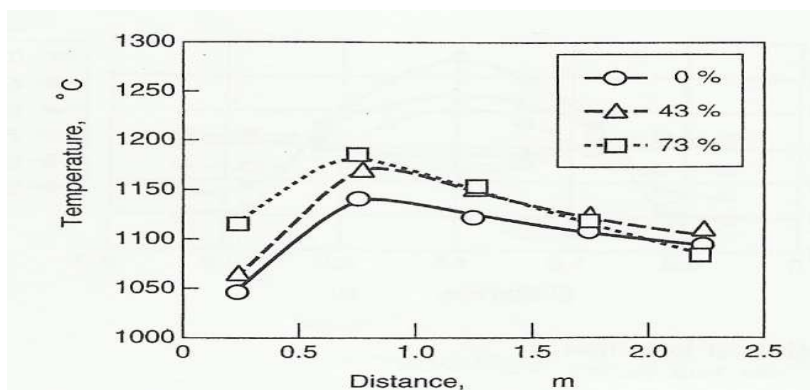
Εικ. 1.7: Αναλογία ανακυκλοφορίας και τα μήκη του ενδιάμεσου διαμερίσματος



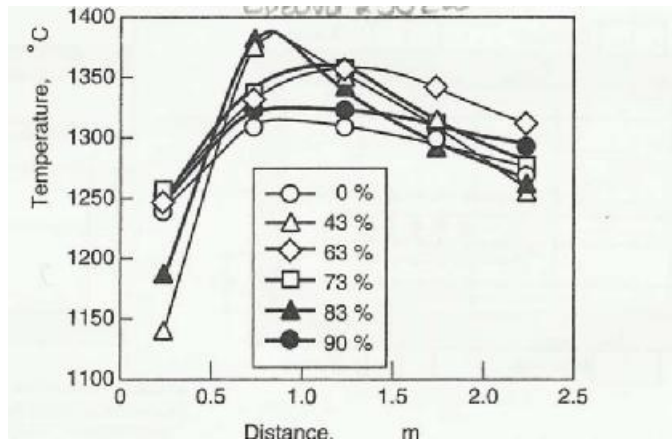
Εικ. 1.8: Επίδραση των μηκών ενός ενδιάμεσου διαμερίσματος σχετικά με την κατανομή της ταχύτητας



Εικ. 1.9: Περιοχές μέτρησης

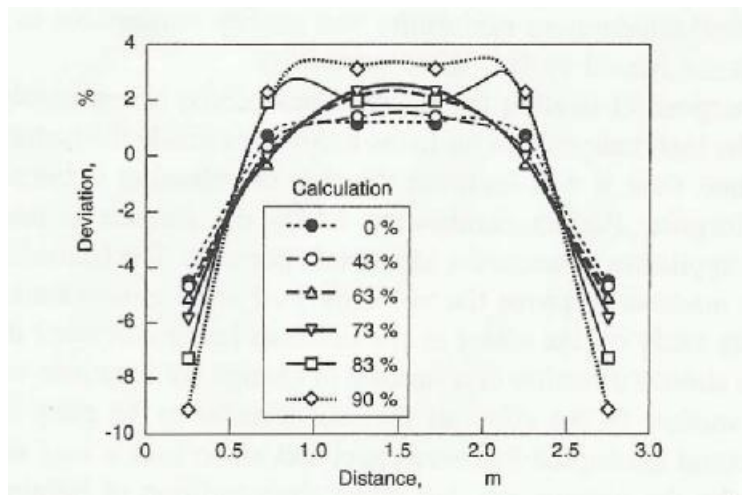


(A) έρευνα 230 kW

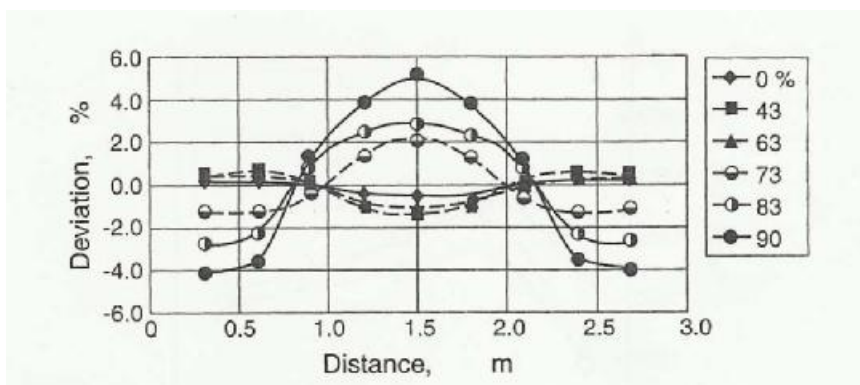


(β) ανάλυση 230kW

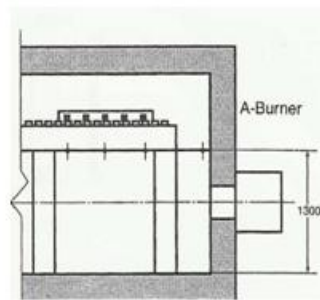
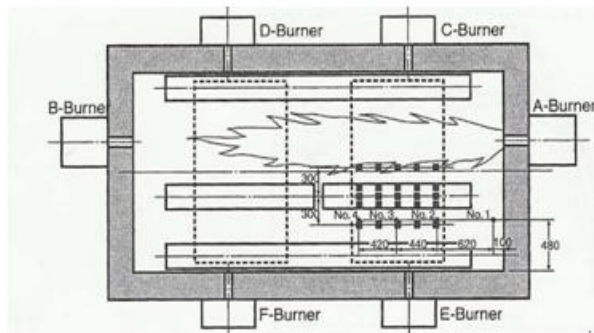
Εικ. 1.10 : Κατανομή της θερμοκρασίας του φούρνου



Εικ. 1.11: Κατανομή της θερμοκρασίας του φούρνου έπειτα από πρόσθετη θεραπεία

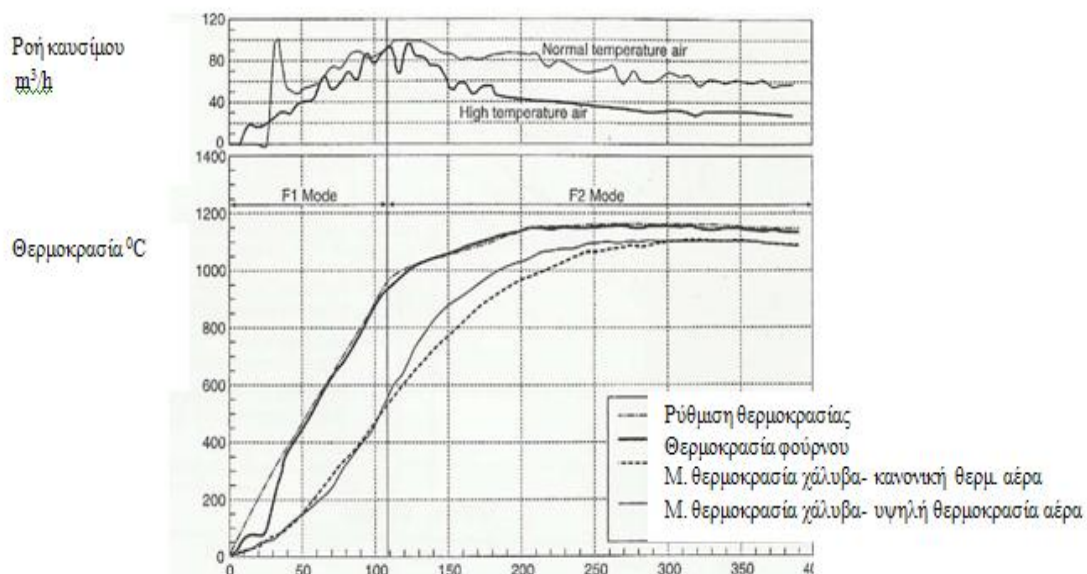


Εικ. 1.12: Απόκλιση της ροής θερμότητας

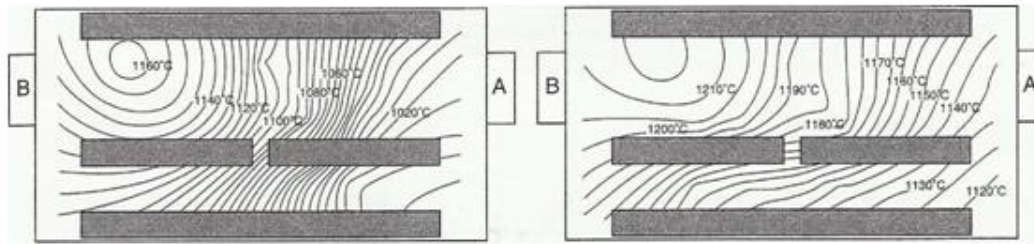


- Θέσεις των ανιχνευτών ιόντων εισαγωγής
- Θέσεις μέτρησης της θερμοκρασίας χάλυβα για σύγκριση

**Εικ. 1.13:** Το κατώτερο τμήμα της δομής θέρμανσης του φούρνου για τη δοκιμή μοντέλου και οι θέσεις των τοποθετημένων ανιχνευτών ιόντων και η μέτρηση της θερμοκρασίας του χάλυβα για τη σύγκριση

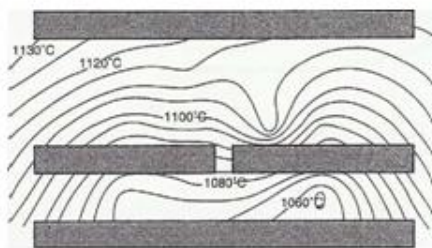


**Εικ. 1.14:** Αλλαγή της θερμοκρασίας του φούρνου και της μέσης θερμοκρασίας του χάλυβα κατά τη διάρκεια της θέρμανσης.

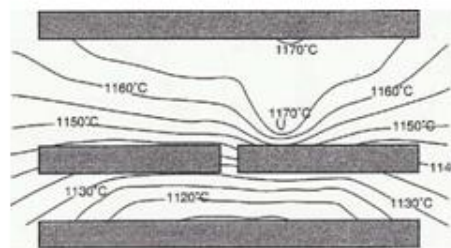


Συμβατική λειτουργία καύσης  
Time= 180min

Συμβατική λειτουργία καύσης  
Time= 330 min

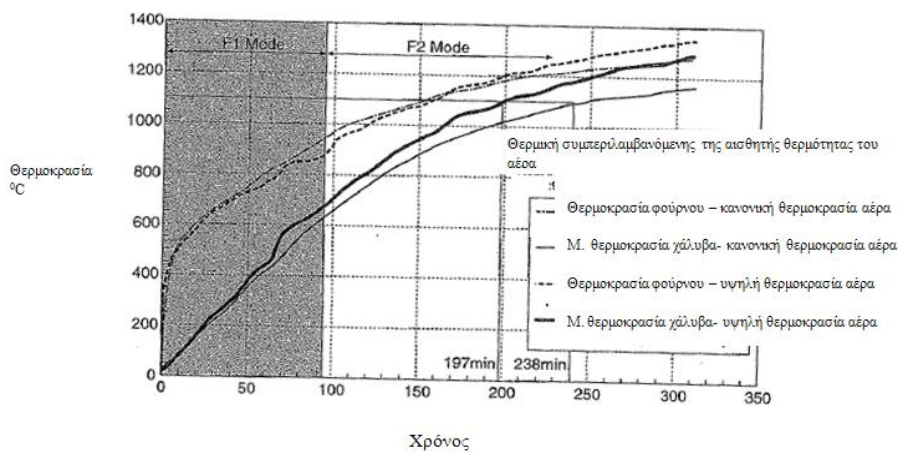


HRS λειτουργία καύσης  
Time = 180min

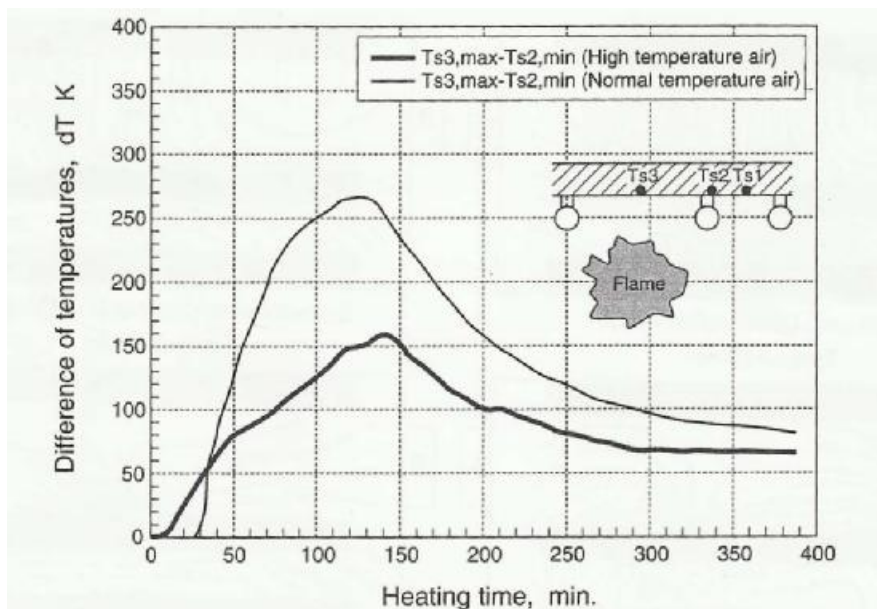


HRS λειτουργία καύσης  
Time = 330min

**Εικ. 1.15: Κατανομή των θερμοκρασιών της ατμόσφαιρας του φούρνου στην διατομή κάτω από τα πέλματα**



**Εικ. 1.16: Σύγκριση του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από σταθερή θερμότητα εισόδου των 930 KW**



Εικ. 1.17: Αλλαγή της θερμοκρασίας επιφάνειας του χάλυβα με το χρόνο

### 1. Επίδραση των θέσεων φλόγας

Για να αλλάξουμε τις θέσεις όπου οι φλόγες σχηματίστηκαν, καύση στην κατεύθυνση του πλάτους του φούρνου (καυστήρες C, D, E, και F) εγκαταστάθηκαν έτσι ώστε οι φλόγες να σχηματιστούν κάτω από τα πέδιλα του χάλυβα. Ως αποτέλεσμα, η θερμοκρασία του χάλυβα κοντά στα πέλματα αυξήθηκε ακόμα και υπό κανονικές καύσεις, και το ρεύμα ιόντων που δείχνει την ύπαρξη των φλογών επίσης αυξημένη, αλλά το  $\Delta T$  ήταν μεγαλύτερο σε σύγκριση με εκείνο της καύσης με υψηλής θερμοκρασία αέρα. Για να ενισχυθεί η αραιώση του τζετ αέρα από το αέριο των υψικαμίνων, χρησιμοποιήθηκε ένα ορθογώνιο ακροφύσιο, και μειώνοντας την απόσταση από το σημείο που ενώνονται το καύσιμο και ο αέρας, η ανάμειξή τους κοντά στον καυστήρα βελτιώθηκε. Αυτό έγινε επειδή η θερμοκρασία του χάλυβα κοντά στα πέλματα και της τρέχουσας τιμής των ιόντων ήταν σχεδόν η ίδια όπως ήταν όταν χρησιμοποιήθηκαν καυστήρες με αρχικό σχήμα. Όταν μια συσκευή για να κυκλοφορήσει το καυσαέριο με δύναμη χρησιμοποιήθηκε κάτω και κοντά στα πέλματα, η θερμοκρασία του χάλυβα όπου ήταν σε άμεση επαφή με τα πέλματα αυξήθηκε τόσο για τις περιπτώσεις καύσης με κανονικό αέρα και με θερμό αέρα, και η διαφορά θερμοκρασίας έγινε μικρότερη. Παρατηρήθηκε επίσης ότι υπήρχε μια ελαφρά αύξηση των ιόντων κοντά στα πέλματα στην περίπτωση της καύσης με υψηλή θερμοκρασία αέρα.

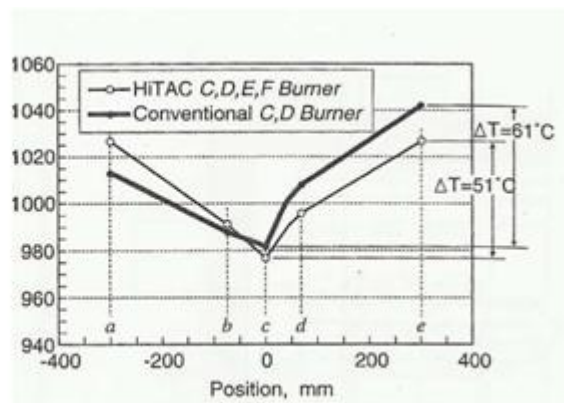
### 2. Διαφορά θερμοκρασίας κοντά στα πέλματα

Όταν φλόγες καύσης με κανονικό αέρα σχηματίστηκαν κοντά στα υγρόψυκτα πέλματα, η θερμοκρασία του χάλυβα στη θέση σε άμεση επαφή με τα πέλματα αυξήθηκαν από ό,τι στην περίπτωση της κανονικής καύσης, όπου οι φλόγες δεν διαμορφώθηκαν κοντά τους. Αλλά η θερμοκρασία του χάλυβα στη θέση μακριά από τα πέλματα αυξήθηκε επίσης, και σαν αποτέλεσμα, η μείωση του  $\Delta T$  του χάλυβα ήταν μικρή. Αυτό ίσως εξηγείται από τις φλόγες σε τοπικό επίπεδο που υπάρχουν κοντά στα πέλματα, όπως προκύπτει από το ρεύμα ιόντων.

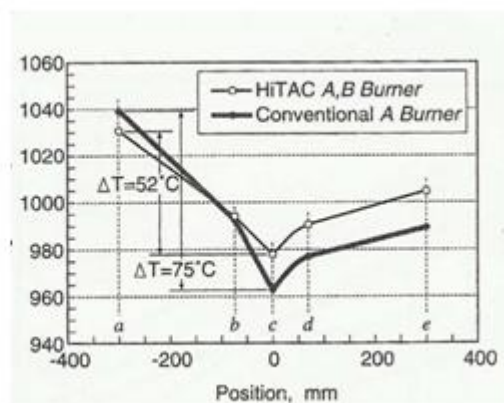
### 3. Βελτίωση στην θέρμανση του χάλυβα

Δοκιμές θέρμανσης του χάλυβα χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο φούρνου δοκιμών του κατώτερου σημείου της δομής του φούρνου απέδειξε αρκετά σημεία. Ήταν δυνατόν να επιτευχθεί μια ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας του φούρνου ακόμη και σε ένα χώρο όπου η θερμότητα απορρόφησης, υδρόψυκτων στηριγμάτων υφίσταται, εάν εγκρίνεται η καύση με υψηλή θερμοκρασία αέρα. Ο χρόνος θέρμανσης μπορεί να μειωθεί με την βελτίωση της απόκλισης της θερμοκρασίας του χάλυβα που κατέστη δυνατή από την καύση σε υψηλή θερμοκρασία του αέρα. Η θερμοκρασία του χάλυβα στην θέση κοντά σε υδρόψυκτα πέλματα θα μπορούσε να τεθεί από τον αυξημένο όγκο της φλόγας από την καύση σε υψηλή θερμοκρασία, και το μεμονωμένο πρόβλημα θέρμανσης που προκαλείται από τα πέλματα θα μπορούσε να βελτιωθεί. Η τοπικά ψυχρή θερμοκρασία του χάλυβα θα μπορούσε να αυξηθεί με τη δημιουργία κανονικής φλόγας κοντά στους δοκούς, αλλά η καύση με υψηλή θερμοκρασία αέρα ήταν καλύτερη από την άποψη της απόκτησης μιας ενιαίας θέρμανσης ολόκληρου του χάλυβα. Προτείνεται από πολλές μελέτες η εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας καύσης, ακόμα και με ένα ενισχυμένο μίγμα καυσίμου/ αέρα κοντά στον καυστήρα με τον έλεγχο του τρόπου παροχής μίγματος αέρα-καυσίμου. Η ελευθερία του ελέγχου θέρμανσης αυξήθηκε όταν μια αναγκαστική ανακυκλοφορία του αερίου του φούρνου προστέθηκε.

Τμήμα μέσης  
θερμοκρασίας

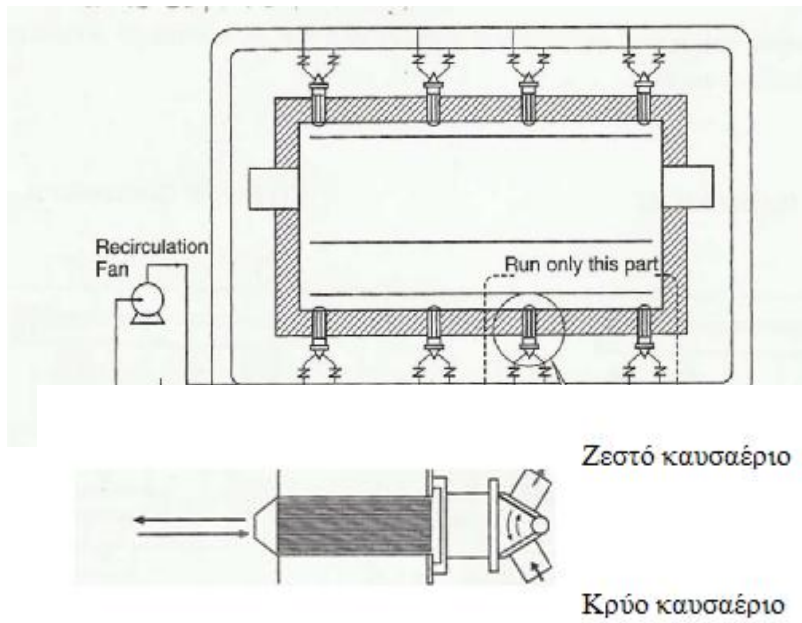


Τμήμα μέσης  
θερμοκρασίας



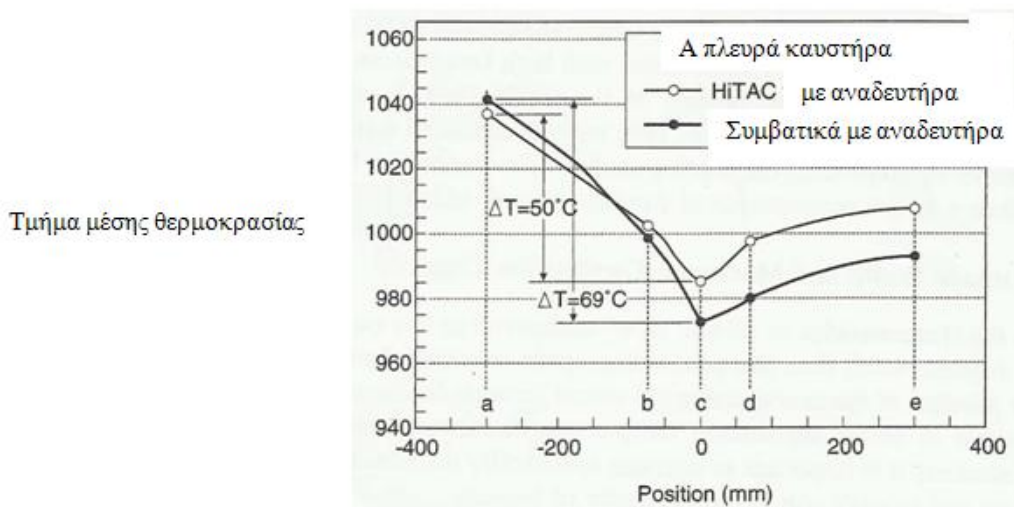
Εικ. 1.18: Σύγκριση των θερμοκρασιών στην επιφάνεια του χάλυβα στις θέσεις και στις 2 πλευρές των κεντρικών πελμάτων. (Συνθήκες: ικανότητα του φούρνου = 40 ton/ch καύσιμο A- τύπος βαρύ πετρελαίου)



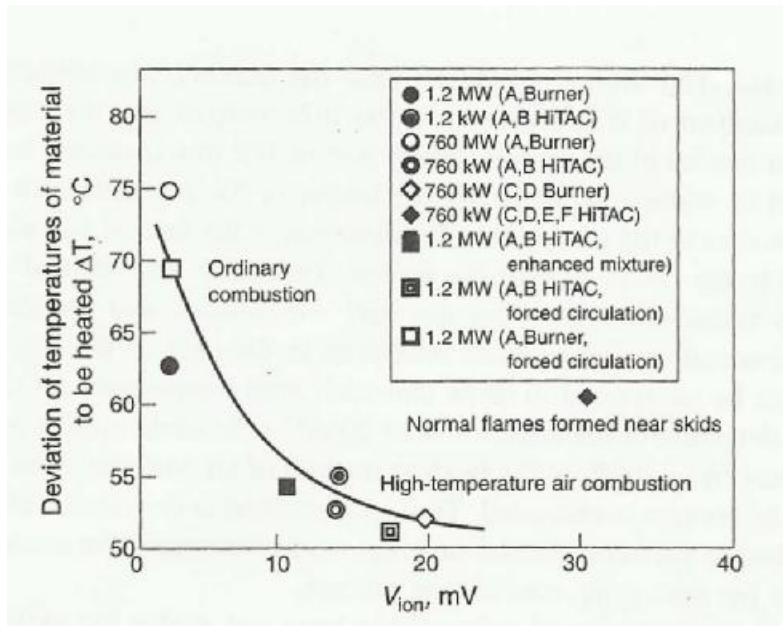


*Συσκευή για να αναγκάζονται να κυκλοφορούν τα καυσαέρια*

**Εικ.1.19:** Συσκευή για την αναγκαστική κυκλοφορία του φυσικού αερίου στο φούρνο



**Εικ. 1.20:** Σύγκριση των θερμοκρασιών στην επιφάνεια του χάλυβα κοντά σε δοκούς όταν η εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αερίου του φούρνου προστίθεται

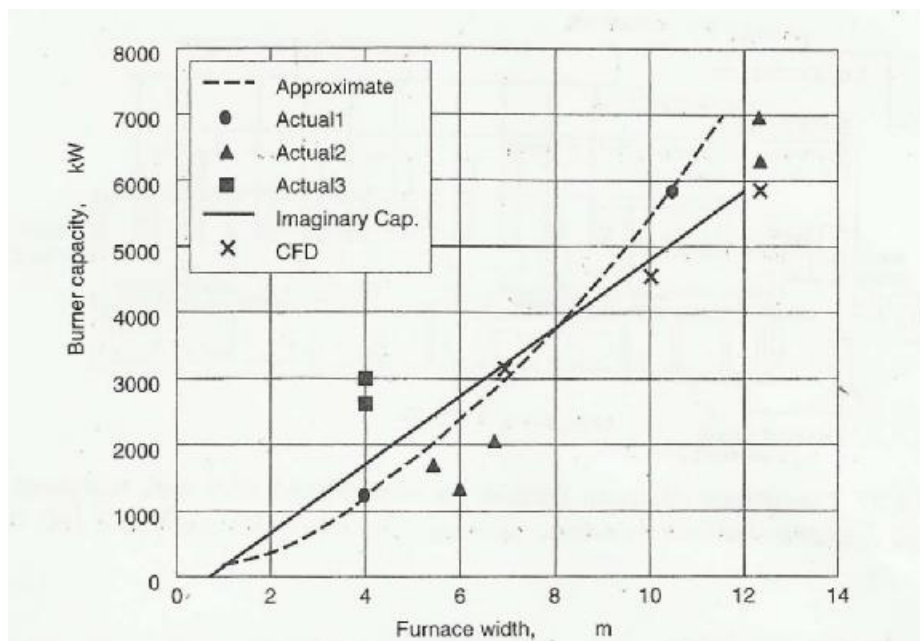


**Εικ. 1.21:** Σύγκριση των αποδόσεων της ομοιόμορφης θέρμανσης των υλικών του χάλυβα από την αλλαγή της κατάστασης του μίγματος κοντά στον καυστήρα και την αναγκαστική κυκλοφορία του φυσικού αερίου του φούρνου

### 1.1.3.5 Πλάτος του φούρνου και Μέγιστη Ικανότητα Καύσης

Η καύση με υψηλής θερμοκρασίας αέρα έχει τα χαρακτηριστικά αραιωμένης αργής καύσης σε συνθήκες χαμηλού οξυγόνου και, με ένα στενότερο πλάτος φούρνου από το χώρο καύσης που απαιτείται για την ολοκλήρωση της καύσης, το πρόβλημα της εκτίναξης των άκαυτων ουσιών μέσω εκκένωσης του καυστήρα ανακύπτει. Είναι αδύνατο να επιτευχθεί η επιθυμητή κατανομή θερμοκρασίας και ποσότητας μεταφοράς θερμότητας. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί ειδικά η σχέση μεταξύ του πλάτους του φούρνου και της κατάλληλης ικανότητας καύσης των καυστήρων.

Η Εικόνα 1.22, με τα πραγματικά αποτελέσματα και τα αποτελέσματα της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD), δείχνουν την σχέση μεταξύ του πλάτους του φούρνου και της μέγιστης ικανότητας καύσης των καυστήρων που πρέπει να εκτιμηθεί για την πλήρη καύση σε ένα βιομηχανικό φούρνο. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ποιοτικός δείκτης για να ελεγχθεί η ικανότητα του καυστήρα που προέρχεται από το μοντέλο του θερμικού ισοζυγίου. Περαιτέρω, κατά την επιλογή μεγαλύτερης ικανότητας καυστήρων από αυτό το δείκτη σε ένα συγκεκριμένου πλάτους φούρνο όπως το σημείο Actual3 στην Εικόνα 1.22, μπορούν να ληφθούν αντίμετρα για να αποφευχθεί το πρόβλημα όπως της αρχικής σχεδιαστικής ιδέας του καυστήρα που έχει αλλάξει.



Εικ. 1.22: Η σχέση μεταξύ πλάτους του φούρνου και μέγιστης ικανότητας καύσης

## 1.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 1.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Πρόσφατα, πολλοί βιομηχανικοί φούρνοι υψηλής επίδοσης (αναγεννητικοί φούρνοι) που χρησιμοποιούν αναγεννητικούς εναλλάκτες θέρμανσης έχουν εξελιχθεί. Αυτοί οι φούρνοι αντικαθιστούν συμβατικούς φούρνους αναθέρμανσης που χρησιμοποιούν ανακτητές (συμβατικοί φούρνοι). Η σύγκριση μεταξύ των βιομηχανικών φούρνων υψηλής επίδοσης και των συμβατικών φούρνων στην περίπτωση της συνεχούς αναθέρμανσης φούρνου για ημιτελή χάλυβα (πρίσματα, πλάκες, κλπ.) δείχνει μια μεγάλη διαφορά όχι μόνο στον αέρα καύσης και στην ροή των καυσαερίων, αλλά επίσης στα πρότυπα της θερμότητας και στις καμπύλες θερμοκρασίας του ημιτελούς χάλυβα. Μπορεί επίσης να υπάρχει μια διαφορά στα χαρακτηριστικά της θερμικής αποδοτικότητας και έτσι οι μελλοντικοί σχεδιασμοί για εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να λάβουν πολλά δεδομένα σαν τα παραπάνω υπόψιν πριν τη δημιουργία βελτιωμένων επιδόσεων βιομηχανικών καυστήρων με περιβαλλοντικά φιλική λειτουργία.

Για αυτό τον σκοπό, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί μια συγκριτική αξιολόγηση του φούρνου υψηλής απόδοσης, με αναγεννητικούς εναλλάκτες θέρμανσης και του συμβατικού φούρνου με ανακτητές. Τότε καθίσταται απαραίτητη η ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ των παραγόντων συμπεριλαμβανομένων της κατανάλωσης των καυσίμων και των ποσοστών ανάκτησης θερμότητας, εκφόρτιση θερμοκρασίας, ικανότητα επεξεργασίας της μάζας (ton/h), μεγέθους των χαλύβων που επαναθερμαίνονται, και θερμοκρασιών

φόρτισης. Ως εκ τούτου, διαδικασίες προσομοίωσης αναπτύσσονται για να αξιολογήσουν την απόδοση των δύο τύπων φούρνων αναθέρμανσης: αυτών με αναγεννητικούς εναλλάκτες θέρμανσης και ανακτητές. Αυτό θα μπορούσε να είναι επίσης χρήσιμο κατά την εκπόνηση των βασικών σχεδίων για τους φούρνους.

Για τις βασικές λειτουργίες του προσομοιωτή, ο προσομοιωτής είναι ένας διαδικαστικός προσομοιωτής για την μελέτη τέτοιων χαρακτηριστικών ενός φούρνου αναθέρμανσης όπως η κατανάλωση καυσίμου και το μήκος του φούρνου. Τότε ήταν απαραίτητο να επιτευχθεί η θερμοκρασία του χάλυβα στο φούρνο και να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα των διαφόρων άλλων παραμέτρων. Για την μέθοδο υπολογισμού και την εισαγωγή δεδομένων, ο προσομοιωτής είναι ένα απλουστευμένο μοντέλο και τα βασικά δεδομένα είναι είσοδος για την εκτέλεση των υπολογισμών. Το μέγεθος του φούρνου, το μήκος τα ζώνης, το ύψος του φούρνου, και το πλάτος του φούρνου χρησιμεύει ως ένας παράγοντας. Ο προσομοιωτής υπολογίζει την θερμική ισορροπία και τα ακόλουθα είναι είσοδος ως συνθήκες λειτουργίας που απαιτούνται για τον υπολογισμό:

1.  $\Phi_{CG}$

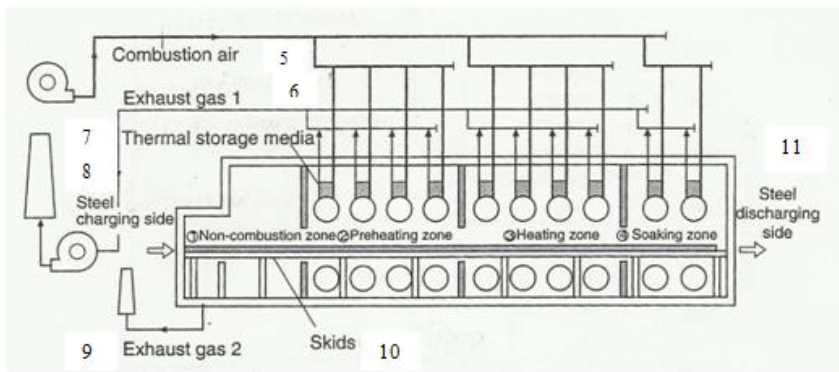
2. Οι θερμοκρασίες που καθορίζονται για κάθε ζώνη και καύση

3. Η απώλεια θερμικής ακτινοβολίας από τον φούρνο και ο γενικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για την απώλεια από το νερό ψύξης

4. Συνθήκες καύσης (σύνθεση του αερίου καυσίμου, αναλογία αέρα, και ατμοσφαιρική θερμοκρασία)

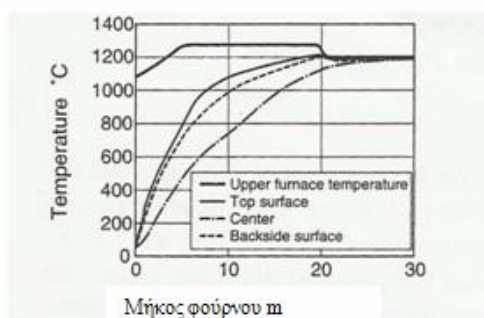
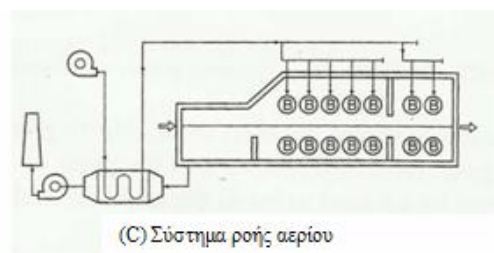
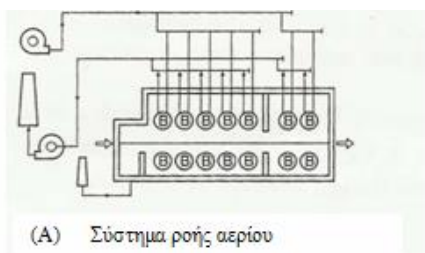
Αυτός ο προσομοιωτής ισχύει για ημιτελή χάλυβα σε μορφή πλακών, κυκλικά πρίσματα, και πρίσματα και απαιτεί την εισαγωγή δεδομένων των 22 θερμικών ιδιοτήτων διαφόρων τύπων του χάλυβα:

1. Τύπος υλικού χάλυβα
2. Εκφόρτιση θερμοκρασίας και η διαφορά της θερμοκρασίας
3. Μέγεθος του χάλυβα, πάχος, πλάτος και μήκος και διαστήματα φόρτισης
4. Θερμοκρασία εκφόρτισης και ορισθείς τύπος χάλυβα

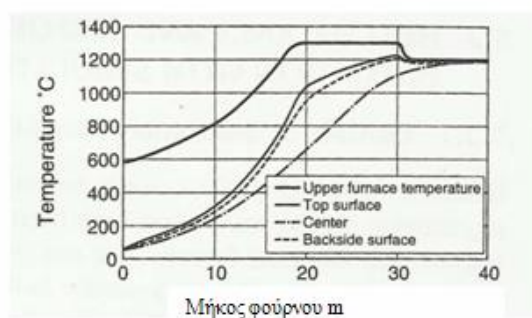


- 1: χωρίς καύση ζώνης 2:ζώνη προθέρμανσης 3:ζώνη θέρμανσης 4:ζώνη μουλιάσματος  
 5:αέρας καύσης 6:Καυσαέριο 1 7:θερμικά μέσα αποθήκευσης 8: πλευρά φόρτισης χάλυβα  
 9: καυσαέριο 2 10: πέλματα 11: πλευρά εκφόρτισης χάλυβα

**Εικ. 1.23: Φούρνος Συνεχούς αναθέρμανσης για ημιτελή χάλυβα με αναγεννητικούς εναλλάκτες θερμότητας**

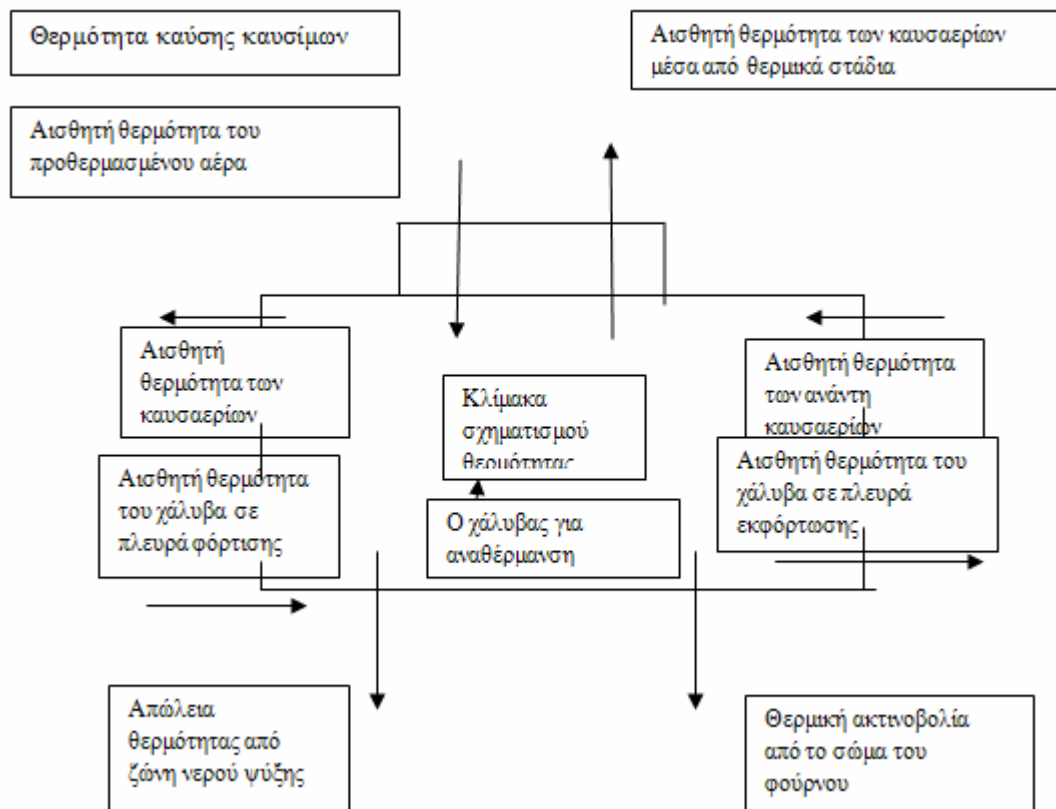


(B) διανομή της θερμοκρασίας του χάλυβα



(D) διανομή της θερμοκρασίας του χάλυβα

**Εικ. 1.24: Κατανομές της θερμοκρασίας του χάλυβα, σε ένα συμβατικό φούρνο (C,D) και σε ένα φούρνο υψηλής απόδοσης (A,B) , με συστήματα ροής αέρα/αερίου**



Εικ. 1.25: θερμική ισορροπία σε μια ζώνη

## 1.2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ

Ένα μοντέλο του θερμικού ισοζυγίου του βασικού φούρνου αναθέρμανσης κατασκευάστηκε. Οι βασικές λειτουργίες του φούρνου αναθέρμανσης που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη εξηγούνται χρησιμοποιώντας το παράδειγμα ενός συνεχούς αναθέρμανσης φούρνου με αναγεννητικούς εναλλάκτες θερμότητας. Ο συνεχής φούρνος αναθέρμανσης διαιρείται σε 4 ζώνες: (1) μη καύσης ζώνη, (2) ζώνη προθέρμανσης, (3) ζώνη θέρμανσης, και (4) ζώνη εμποτισμού. Σε κάθε ζώνη, η ισορροπία θερμότητας μεταξύ της εισόδου και εξόδου θερμότητας λαμβάνεται χρησιμοποιώντας μοντέλα υπολογισμού. Αυτά είναι μοντέλα της θερμοκρασίας εσωτερικά του χάλυβα, της καύσης που βασίζεται στην σύνθεση των καυσίμων, της θερμοκρασίας προθερμασμένου αέρα που βασίζεται σε μια δεδομένη θερμική απόδοση, και στην θερμική ακτινοβολία από το σώμα του φούρνου. Αυτό το τελευταίο μοντέλο χρησιμοποιεί την θερμοκρασία του φούρνου και την επιφάνεια θέρμανσης, συν την απώλεια θερμότητας από νερό ψύξης.

Ο απαιτούμενος όγκος θερμότητας και θερμοκρασίας του χάλυβα υπολογίζονται με βάση την θερμική ισορροπία που αποκτήθηκε από τον συνδυασμό των παραπάνω, την θερμότητα καύσης, και την αισθητή θερμότητα των καυσαερίων. Η διαφορά μεταξύ του μοντέλου του φούρνου συνεχούς αναθέρμανσης με αναγεννητικούς εναλλάκτες θέρμανσης από το συμβατικό μοντέλο φούρνου συνεχούς αναθέρμανσης είναι η διαφορά ανάλογα με το αν ο αέρας καύσης που πρέπει να θερμαίνεται περνά μέσα από τους αναγεννητικούς εναλλάκτες

θερμότητας ή ανακτητές. Επιπλέον, σχετικά με το μοντέλο υψηλής απόδοσης, το πρόγραμμα εφαρμόζεται και σε ζώνη μη καύσης στην ουρά (στο τελείωμα) του φούρνου.

### **1.2.2.1 Μέθοδος Εκτίμησης του όγκου Ροής Καυσίμων και Θερμοκρασίες Καυσαερίων χρησιμοποιώντας Θερμική Ισορροπία**

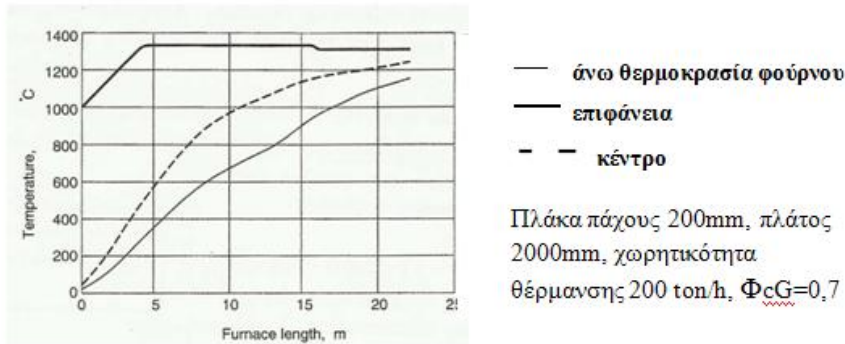
Η μέθοδος για να υπολογιστεί ο όγκος της ροής καυσίμου και της θερμοκρασίας καυσαερίων για την απόκτηση της θερμικής ισορροπίας σε κάθε χωριστή ζώνη φαίνεται στην Εικόνα 1.25. Οι εισροές που σχετίζονται με την καύση αερίου είναι η αισθητή θερμότητα του ημιτελούς χάλυβα που εισέρχεται στην ζώνη από την πλευρά της φόρτισης του χάλυβα, καθώς και η αισθητή θερμότητα του αέρα αναθέρμανσης και καυσαερίων που εισέρχονται στην ζώνη από την πλευρά της εκφόρτισης. Κλίμακα που σχηματίζει θερμότητα και θερμότητα καύσης καυσίμων είναι επίσης εισροές θερμότητας, αν και η αισθητή θερμότητα του προθερμασμένου αέρα και της κλίμακας που σχηματίζει θερμότητα δεν υπάρχουν στην ζώνη μη καύσης. Παραγόμενη θερμότητα είναι η αισθητή θερμότητα ενός ημιτελούς χάλυβα που βγαίνει από την ζώνη της πλευράς εκφόρτισης και της ροής των καυσαερίων στην ζώνη της πλευράς φόρτισης του χάλυβα (κατάντη), καθώς και η αισθητή θερμότητα των καυσαερίων που θα αποσυρθούν από τους αναγεννητικούς εναλλάκτες θέρμανσης (μη εναλλάκτες θερμότητας σε ζώνη μη καύσης), απώλεια θέρμανσης από ζώνη ψύξης νερού, και απώλεια θερμικής ακτινοβολίας από το τοίχωμα του φούρνου.

Ο τρόπος να επιτευχθεί η ισορροπία θερμότητας μεταξύ των εν λόγω εισροών και εκροών θερμότητας είναι να υπολογιστεί η θερμοκρασία και το καύσιμο που χρειάζεται. Οι ζώνες χωρίζονται σε δυο ομάδες και ο υπολογισμός διενεργείται για κάθε ομάδα. Για την ζώνη μη καύσης, η ανωτέρω θερμότητα των τιμών εισόδου και εξόδου των αντικειμένων, ένας ημιτελής χάλυβας, καυσαέρια μέσα στην ζώνη, κλίμακα, απώλεια θερμότητας ψύξης νερού, και απώλεια θερμότητας λόγω ακτινοβολίας έχουν δοθεί (ή καθορίζονται υποθετικά) και η αισθητή θερμότητα των καυσαερίων από τις ζώνες στην πλευρά φόρτισης του χάλυβα (κατάντη) υπολογίζεται. Για την ζώνη προθέρμανσης, ζώνη θερμότητας, και ζώνη εμποτισμού, η ανωτέρω θερμότητα των τιμών εισόδου και εξόδου (οι οποίες είναι η αισθητή θερμότητα των καυσαερίων που ρέουν από τις ζώνες στην πλευρά φόρτισης του χάλυβα) δίδονται, εκτός από την περίπτωση του υπολογισμού για τη ζώνη μη καύσης. Χρησιμοποιώντας αυτή την εισαγωγή δεδομένων, η θερμότητα καύσης των καυσίμων και της ροής του αέρα υπολογίζονται. Και οι δύο μέθοδοι υπολογισμού υποθέτουν ότι η θερμοκρασία του ημιτελή χάλυβα και η είσοδος θερμότητας του είναι γνωστές, και ο υπολογισμός που χρειάζεται εδώ είναι μια σύγκλιση υπολογισμού που αφορούν την θερμική ισορροπία και τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του χάλυβα .

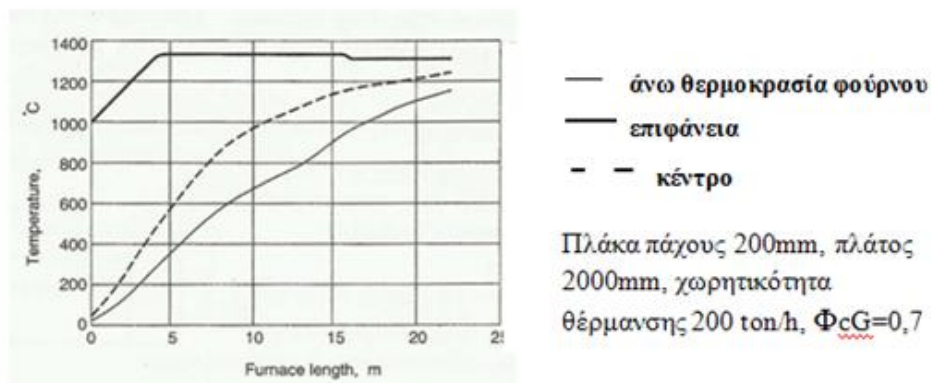
### **1.2.2.2 Μέθοδος Υπολογισμού της εσωτερικής Θερμοκρασίας του Ημιτελούς Χάλυβα**

Ο ημιτελής χάλυβας προσεγγίζεται με μια από τις τρεις ακόλουθες μορφές για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας. Οι μορφές είναι μονοδιάστατη άπειρη πλάκα (slabs=πλάκες), άπειρη στήλη (κυκλικοί ράβδοι), και δισδιάστατη άπειρη πλάκα (ράβδοι). Όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, η κλίση της καμπύλης θέρμανσης ποικίλει σημαντικά ανάλογα με τη μορφή του χάλυβα . Επομένως, όταν εισάγονται δεδομένα, η κατάλληλη μορφή επιλέγεται ως προσέγγιση, βάσει της οποίας γίνεται ο υπολογισμός. Οι θερμοκρασίες κατά μήκος του φούρνου προκύπτουν από τον υπολογισμό της θερμοκρασίας για κάθε θέση του χάλυβα, μετατρέποντας την θέση σε χρόνο.

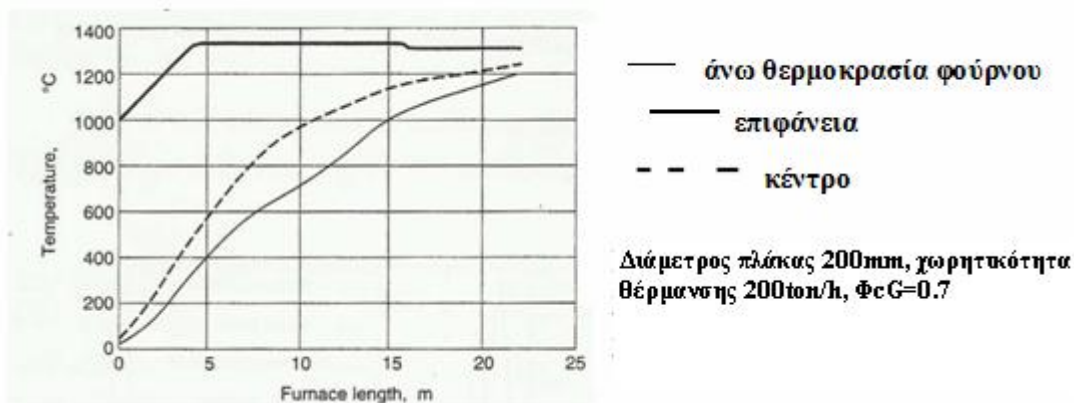
Η μεταφορά της θερμότητας εσωτερικά του χάλυβα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια μη - σταθερή πεπερασμένων διαφορών μέθοδο (θερμοκρασία-μετατρέπόμενη θερμοκρασία-μέθοδος διατήρησης θερμότητας).



Εικ. 1.26: Αύξηση της θερμοκρασίας της πλάκας με μήκος φούρνου



Εικ. 1.27: Αύξηση της θερμοκρασίας τετράγωνης σφυρήλατης πλάκας με μήκος φούρνου.



Εικ. 1.28: Αύξηση της θερμοκρασίας του κυκλικής πλάκας με μήκος φούρνου.



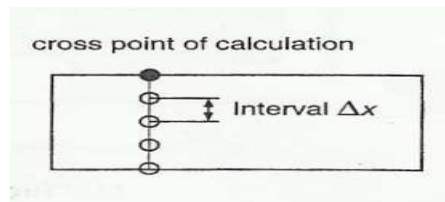
Στην περίπτωση της μονοδιάστατης ΜΔΕ μεταφοράς θερμότητας, η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών συνοψίζεται ως:

$$H(i)_{t+\Delta t} = H(i)_t + \frac{\lambda \Delta t}{\rho c_p \Delta x^2} \{ \varphi(i-1) - 2\varphi(i) - \varphi(i+1) \}$$

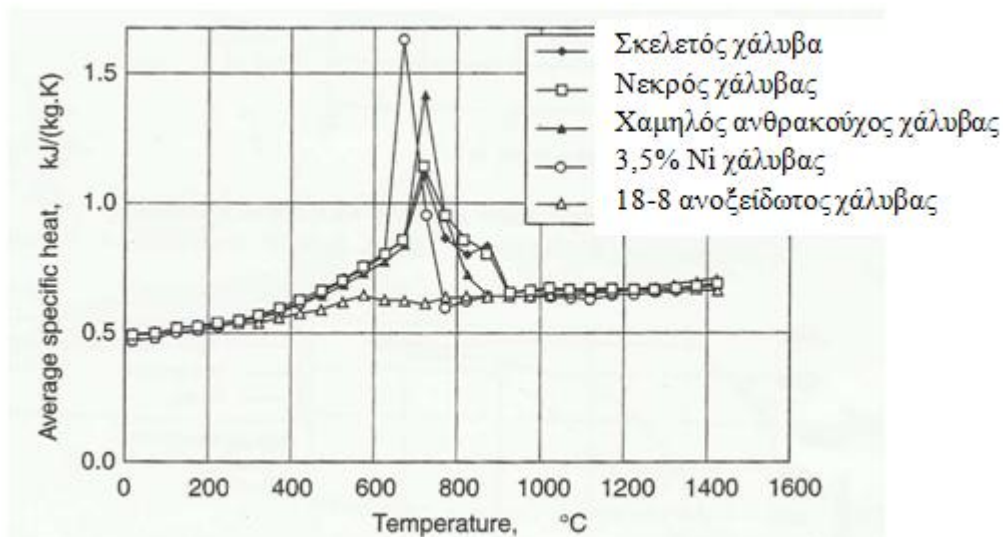
που χρησιμοποιείται, λαμβάνεται με γραμμική διαφοροποίηση:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)$$

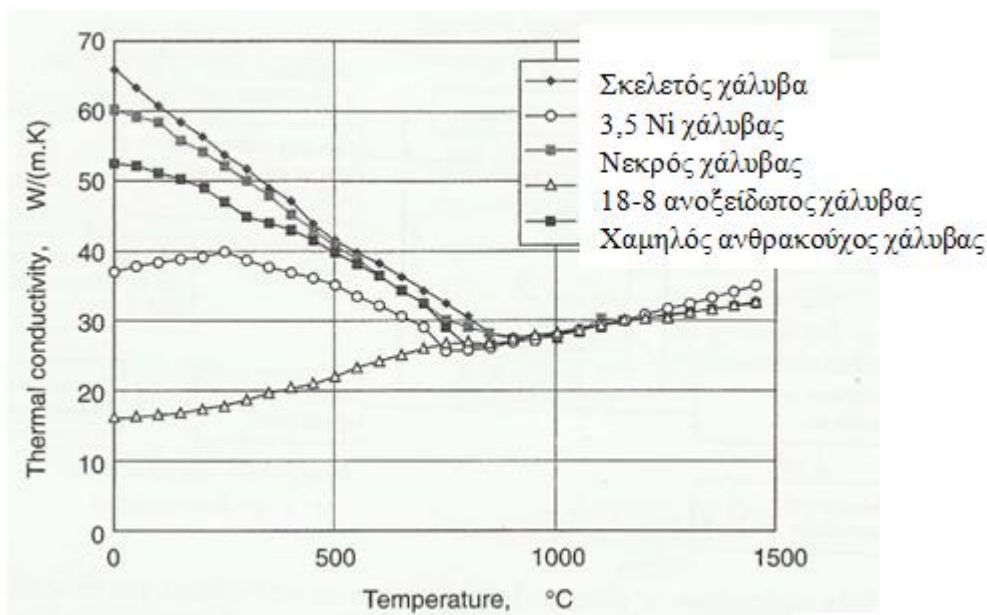
διατηρώντας τη θερμότητα στην μετατροπή της μεθόδου της θερμοκρασίας.



Εικόνα 1.29: Μονοδιάστατη μέθοδος υπολογισμού της αγωγής θερμότητας στο χάλυβα



Εικ. 1.30: Παραδείγματα της σχέσης μεταξύ της θερμοκρασίας του χάλυβα και της μέσης ειδικής θερμότητας



**Εικ. 1.31: Παραδείγματα της σχέσης μεταξύ της θερμοκρασίας του χάλυβα και της θερμικής αγωγιμότητας**

### 1.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΘΕΡΜΑΣΜΕΝΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο προσομοιωτής αναγεννητικού εναλλάκτη θερμότητας πραγματοποιεί μια μη-σταθερή σύγκλιση υπολογισμού που απαιτεί εκτεταμένο χρόνο υπολογισμού. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι οι φούρνοι αναθέρμανσης έχουν πολλαπλούς εναλλάκτες θερμότητας και είναι πολύ δύσκολο να γίνει ο υπολογισμός συνδυάζοντας όλους τους εναλλάκτες. Ως εκ τούτου ο παρών προσομοιωτής φούρνου αναθέρμανσης κάνει τον υπολογισμό χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισαγωγής τα ποσοστά ανάκτησης θερμότητας των εναλλακτών θερμότητας που λαμβάνονται από τον προσομοιωτή αναγεννητικού εναλλάκτη θερμότητας. Ο αέρας και η συγκεκριμένη θερμότητα των καυσαερίων είναι οι μη γραμμικές συναρτήσεις της θερμοκρασίας. Ως εκ τούτου, ένας απλός πολλαπλασιασμός της θερμοκρασίας των καυσαερίων από το ποσοστό ανάκτησης θερμότητας δεν δίνει την σωστή θερμοκρασία του προθερμασμένου αέρα .

Όπως δείχνει η Εικόνα 1.32, (α) η αισθητή θερμότητα των καυσαερίων λαμβάνεται από την θερμοκρασία των καυσαερίων, και (β) η αισθητή θερμότητα του προθερμασμένου αέρα λαμβάνεται από το ποσοστό ανάκτησης θερμότητας από αυτή την αισθητή θερμότητα των καυσαερίων. Στη συνέχεια, (γ) η θερμοκρασία προθερμασμένου αέρα λαμβάνεται από την αισθητή θερμότητα του προθερμασμένου αέρα όπου ένας υπολογισμός σύγκλισης πραγματοποιείται επίσης για την απόκτηση της ισορροπίας θερμότητας, λαμβάνοντας υπόψη την συνθήκη/ την κατάσταση ότι η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του προθερμασμένου αέρα. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται και στους αναγεννητικούς εναλλακτές θερμότητας και στους ανακτητές.

## 1.2.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΩΜΑ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΨΥΞΗ ΝΕΡΟΥ

Η θερμική ακτινοβολία από το σώμα του φούρνου αυτής της ζώνης υπολογίζεται από την εξίσωση 1.1. Ο προσομοιωτής θερμοκρασίας έχει προγραμματιστεί με τη μορφή ενός κουτιού για να απλουστεύσει τις εισόδους του και το πρόγραμμα. Ως εκ τούτου, όπου ο ισοδύναμος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λαμβάνεται υπόψη, είναι απαραίτητο να εισάγουμε τιμές που αντανακλούν την περιοχή και τις αδιαβατικές συνθήκες.

$$Q_{\text{rad}} = h_{\text{rad}} A_w (T_{\text{fw}} - T_{\text{at}}) \quad (1.1)$$

όπου:

$Q_{\text{rad}}$  = θερμική ακτινοβολία του σώματος φούρνου, kW

$h_{\text{rad}}$  = ισοδύναμος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

$L$  = μήκος ζώνης, m

$\alpha$  = επιφάνεια τοιχώματος φούρνου ανά μονάδα μήκους, m

$A_w$  = περιοχή τοιχώματος φούρνου,  $m^2 = L\alpha$

$T_{\text{fw}}$  = θερμοκρασία φούρνου, K

$T_{\text{at}}$  = ατμοσφαιρική θερμοκρασία, K

Η απώλεια θερμότητας από ψύξη νερού αυτής της ζώνης υπολογίζεται από την εξίσωση 1.2. Η Εξίσωση 1.2 επίσης απλοποιείται και ένας γραμμικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που περιέχει τα κάθετα τοιχώματα πρέπει να εισαχθεί. Για να αποκτήσουμε τις τιμές που απαιτούνται για τις Εξισώσεις 5.1 και 5.2, εργαλεία υποστήριξης που φαίνονται στον Πίνακα 1.4 έχουν προγραμματιστεί και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό.

$$Q_{\text{loss}} = h_{\text{rad}} L n (T_{\text{fw}} - T_{\text{wat}}) \quad (1.2)$$

$Q_{\text{loss}}$  = απώλεια θερμότητας με ψύξη νερού, kW

$n$  = αριθμός πελμάτων

$T_{\text{fw}}$  = θερμοκρασία φούρνου, K

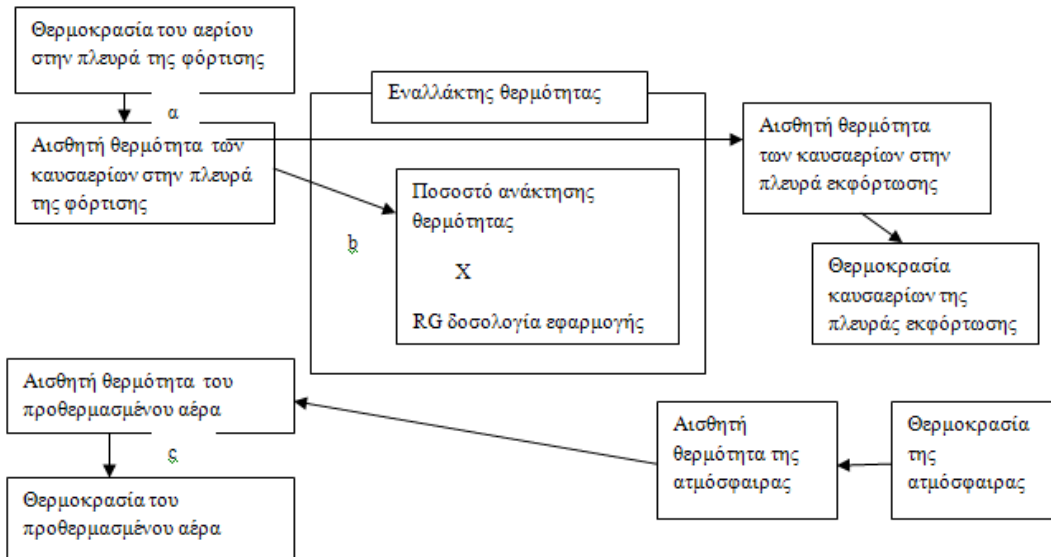
$T_{\text{wat}}$  = θερμοκρασία νερού, K

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4: ΒΑΣΙΚΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΟΥΡΝΩΝ

- Υποστηρικτικά προγράμματα
- Η περιοχή του ανοίγματος/ υπολογισμός της θερμικής ακτινοβολίας (η θερμική ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση την περιοχή ανοίγματος)
- Πρόγραμμα υπολογισμού της περιοχής του φούρνου που ακτινοβολεί θερμότητα (η περιοχή της θερμικής ακτινοβολίας υπολογίζεται βάσει του σχήματος του φούρνου)
- Πρόγραμμα υπολογισμού του όγκου μεταφοράς θερμότητας μέσω του τοιχώματος του φούρνου (η μεταφορά θερμότητας μέσω του τοιχώματος του φούρνου υπολογίζεται από τον υπολογισμό της μονοδιάστατης μεταφοράς θερμότητας)
- Το πρόγραμμα υπολογισμού της σταθερής μεταφοράς θερμότητας σε κύλινδρο (ο

υπολογισμός του όγκου μεταφοράς θερμότητας των πελμάτων)

- Πρόγραμμα υπολογισμού του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας των σωλήνων νερού (ο υπολογισμός του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από την πλευρά του νερού των πελμάτων).



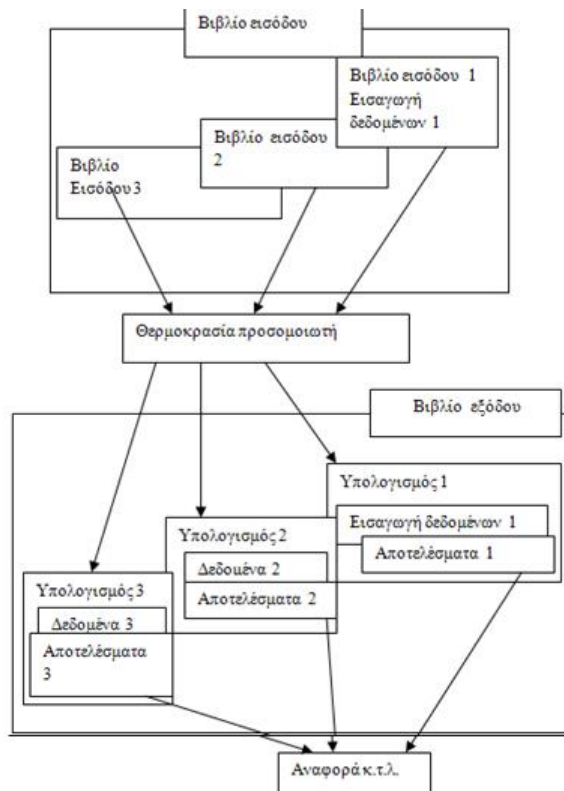
Εικ. 1.32: Υπολογισμός των θερμοκρασιών προθερμασμένου αέρα και θερμοκρασιών καυσαερίων

### 1.2.5 ΣΚΙΑΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Για τα δεδομένα της εισόδου και τα αποτελέσματα των υπολογισμών του προσομοιωτή, χρησιμοποιούνται εφαρμογές λογιστικών φύλλων των υπολογιστών. Ως εκ τούτου, είναι εύκολο να επαναχρησιμοποιηθούν τα υπολογισμένα αποτελέσματα. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η διαδικασία που ακολουθείται σχετικά με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου από τους υπολογισμούς. Αυτό το πρόγραμμα προσομοίωσης εφαρμόζεται σε φούρνους υψηλής απόδοσης καθώς και σε συμβατικούς φούρνους. Ο υπολογισμός του δείγματος έγινε σύμφωνα με τους όρους που φαίνονται στον Πίνακα 1.5, τα αποτελέσματά του φαίνονται επίσης γραφικά στον Πίνακα 1.6. Εξάλλου, οι επιπτώσεις στην κατανάλωση των καυσίμων από διαφορετικές παραμέτρους μπορούν να υπολογιστούν με την εφαρμογή δύο διαφορετικών παραμέτρων σε σχέση με τα ποσοστά ανάκτησης θερμότητας και το μήκος φούρνου, όπως φαίνεται στην σχετική παρακάτω εικόνα.

## 1.2.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Χρησιμοποιώντας τον προγραμματισμένο προσομοιωτή, έγιναν οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματά τους συγκρίθηκαν με πραγματικές μετρήσεις. Οι Πίνακες 1.8 και 1.9 δείχνουν τα αποτελέσματα της σύγκρισης; αποδεικνύεται ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αντιστοιχούν στενά με τα στοιχεία που έχουν πράγματι μετρηθεί.



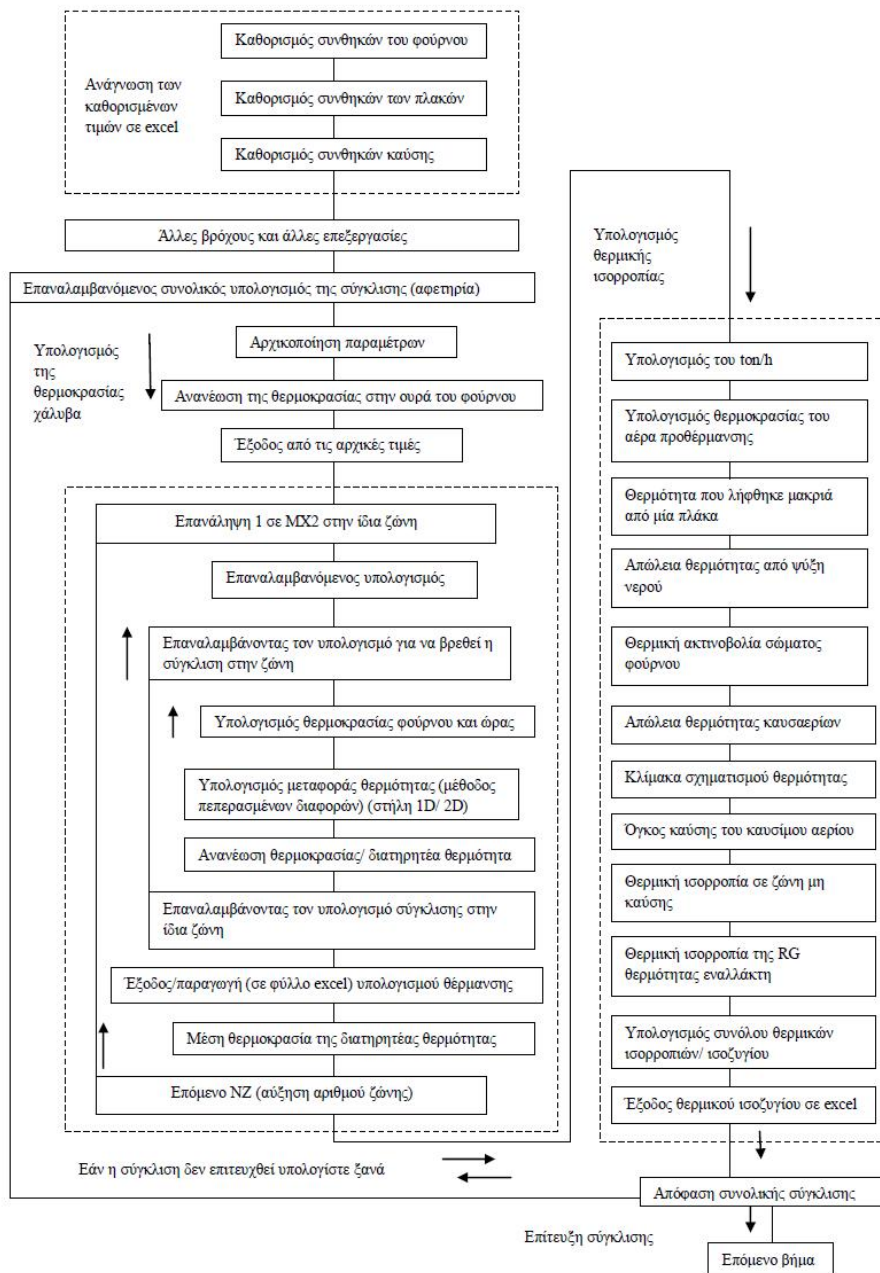
Εικ. 1.33: Ροή δεδομένων εισόδου και εξόδου.

## 1.2.7 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΤΙΜΗΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΤΩΝ ΦΟΥΡΝΩΝ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Το Αναμειγμένο Αέριο που παράγεται με την ανάμειξη του αερίου οπτανθρακοποίησης (COG) και αερίου υψικαμίνου (BFG) έχει χαμηλή θερμογόνο αξία και δημιουργεί περισσότερα καυσαέρια, με αποτέλεσμα το χαμηλό ποσοστό ανάκτησης θερμότητας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο μελετήθηκε η επίδραση της θερμογόνου δύναμης των καυσίμων για τα ποσοστά ανάκτησης θερμότητας των αναγεννητικών εναλλακτών θέρμανσης. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο η θερμογόνο αξία των καυσίμων επηρέασε την κατανάλωση καυσίμου του φούρνου συνεχούς αναθέρμανσης. Σε συνδυασμό με τις θερμογόνες αξίες, εξετάστηκαν επίσης οι επιδράσεις διαφόρων παραγόντων. Αυτές ήταν η επίδραση των ποσοστών ανάκτησης θερμότητας, των θερμοκρασιών εκφόρτισης, της ταχύτητας επεξεργασίας σε

ton/h, και από το πάχος των πλακών. Έγινε σύγκριση της επίδρασης της θερμοκρασίας φόρτισης. Άλλοι παράγοντες ήταν η επίδραση των ποσοστών ανάκτησης θερμότητας στην περίπτωση της θερμοκρασίας φόρτισης των 300 και 600°C. Τα είδη των καυσίμων αερίων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν LPG, LNG, COG, και MixGas. Το MixGas έχει τρεις θερμογόνες τιμές των 11.7, 8.4, και 7.3 MJ/m<sub>N</sub><sup>3</sup> (m<sub>N</sub><sup>3</sup> υποδηλώνει τους όγκους σε κανονική κατάσταση), που παίρνονται από την ανάμειξη COG και BFG. Να σημειωθεί ότι το ποσοστό ανάκτησης θερμότητας διαφέρει ανάλογα με την θερμογόνο αξία, και για αυτό τον λόγο τα ποσοστά ανάκτησης θερμότητας ενός εναλλάκτη θερμότητας για κάθε είδος καυσίμου αερίου είναι διαφορετικά και λαμβάνονται από σχετικούς πίνακες. Πολλά από αυτά τα στοιχεία παρουσιάζονται σε πίνακες ή εικόνες παρακάτω.

Μέσα από σχετικές μελέτες, η τάση για την κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται με μια μείωση της θερμογόνου τιμής. Η αναλογία αέρα έχει επίσης μια μεγάλη επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου και οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι: η επίδραση της αναλογίας αέρα, το μήκος του φούρνου, ποσοστά ανάκτησης θερμότητας, θερμοκρασίες φόρτισης και εκφόρτισης, ικανότητα επεξεργασίας, ton/h, και το πάχος των πλακών.



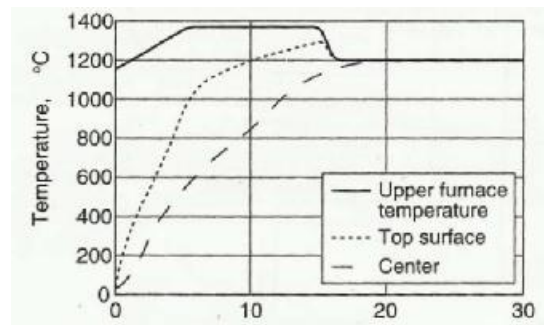
**Εικόνα 1.34: Διαδικασία ροής του υπολογισμού της θερμοκρασίας χάλυβα και το μοντέλο θερμικής ισορροπίας.**

**Πίνακας 1.5: Εφαρμόσιμες μορφές θέρμανσης**

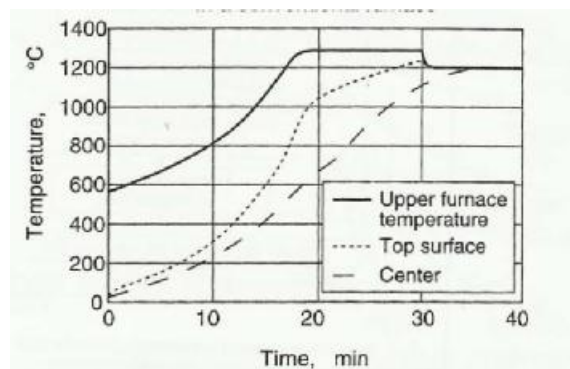
Περιγραφή	Παράδειγμα 1	Παράδειγμα 2	Παράδειγμα 3	Παράδειγμα 4
Τύπος φούρνου	Πλήρης RG καύση	Συμβατικός φούρνος	Μη καύση + RG καύση	Μη καύση + RG καύση
Στοχευόμενη θερμοκρασία εκφόρτισης	Υπάρχει	Υπάρχει	Υπάρχει	Υπάρχει
Μορφή του ημιτελούς χάλυβα	Πλάκα	Πλάκα	Πλάκα	Κυκλική ράβδος

**RG= Αναγεννητικός**

**Πίνακας 1.6: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΥΞΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ**

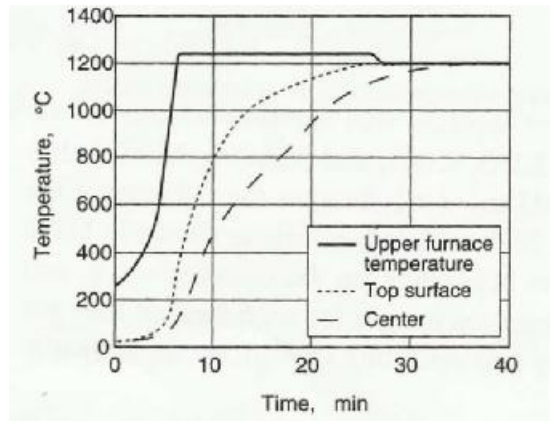


**Π.1 : καμπύλες αύξησης της θερμότητας πλάκας σε φούρνο υψηλής απόδοσης**

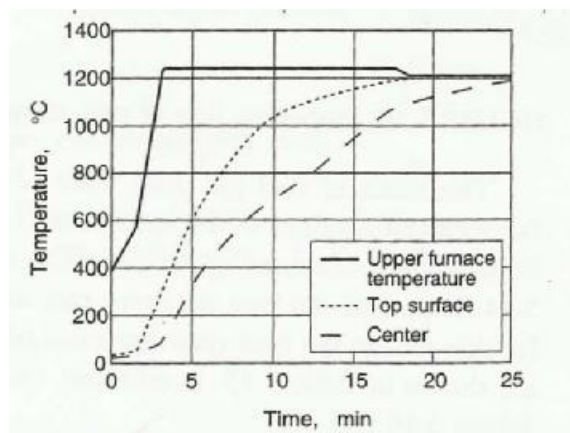


**Π.2: καμπύλες αύξησης της θερμότητας πλάκας σε συμβατικό φούρνο**





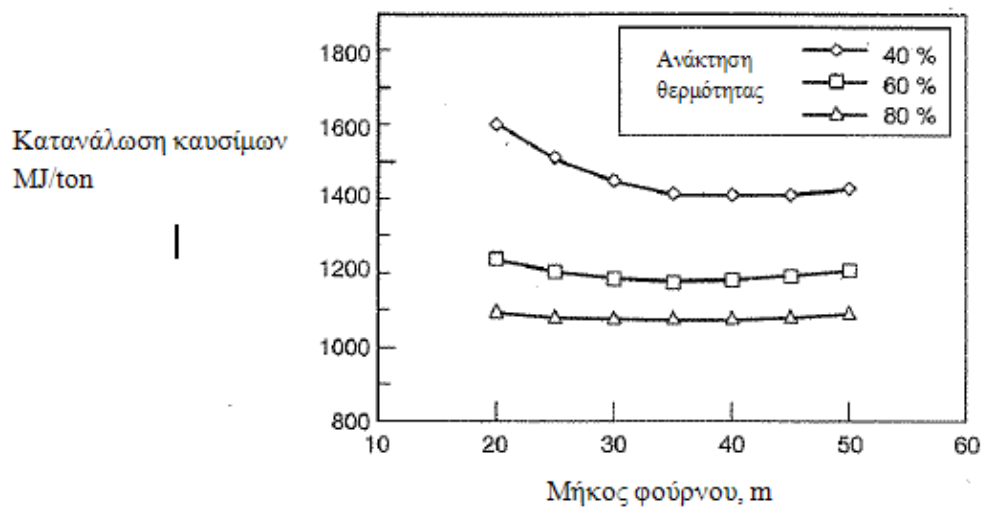
**Π.3: Καμπύλες αύξησης της θερμοότητας πλάκας σε φούρνο υψηλής απόδοσης με ζώνη μη καύσης**



**Π.4 : Καμπύλες αύξησης θερμοότητας των κυκλικών ράβδων σε υψηλής απόδοσης φούρνο με ζώνη μη καύσης**

Επεξεργασία όγκου 200 ton/h			Κατανάλωση καυσίμου 11.01x 10 <sup>2</sup> kJ/ton	Αποδοτικότητα φούρνου 72.7%	
Σύνολο θερμικής ισορροπίας					
Όγκος θερμότητας	8.9 x 10 <sup>4</sup>	kW		18.63 x 10 <sup>2</sup>	kJ/ton MJ/ton
Αναλογία της θερμότητας εισόδου	%	MJ/ton	Αναλογία θερμότητας εξόδου	%	
Αισθητή θερμότητα του φορτισμένου χάλυβα	1.1	16.87	Αισθητή θερμότητα του εκφορτισμένου χάλυβα	51.0	816.62
Θερμότητα καύσης καυσίμων	68.7	1100.24	Απώλεια θερμότητας από ψύξη αέρα	6.3	100.68
Αισθητή θερμότητα του αέρα καυσίμου	30.03	485.01	Θερμική ακτινοβολία από το σώμα του φούρνου	1.3	20.13
Κλίμακα διαμόρφωσης θερμότητας	1.0 100.0	16.33 1602.43	Απώλεια θερμότητας από καυσαέρια	41.5 100.0	664.68 1602.43
Αισθητή θερμότητα δρoσερού αέρα	0.6	9.56	Αισθητή θερμότητα από καυσαέρια	11.8	189.22

Πίνακας 1.7: Πίνακας θερμικής ισορροπίας



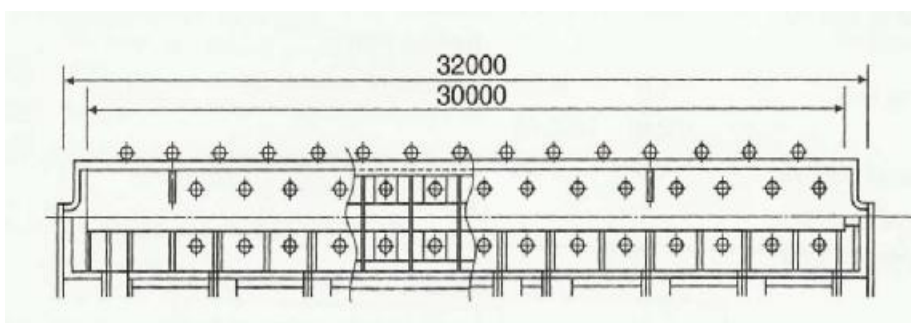
Εικ. 1.35: Σχέση μεταξύ του μήκους του φούρνου και της κατανάλωσης καυσίμου.

Εταιρεία			
	A	B	C
Μήκος φούρνου, m	36.00	19.00	24.65
Πλάτος φούρνου, m	10.10	8.30	5.60
Χωρητικότητα Αναθέρμανσης, ton/h	200	100	100
Θερμοκρασία εκφόρτισης, °C	1200	1050	1150
Πάχος χάλυβα, mm	250	130Φ	120
Πλάτος χάλυβα, mm	1950	-	120
Μήκος χάλυβα, mm	9600	7700	5300

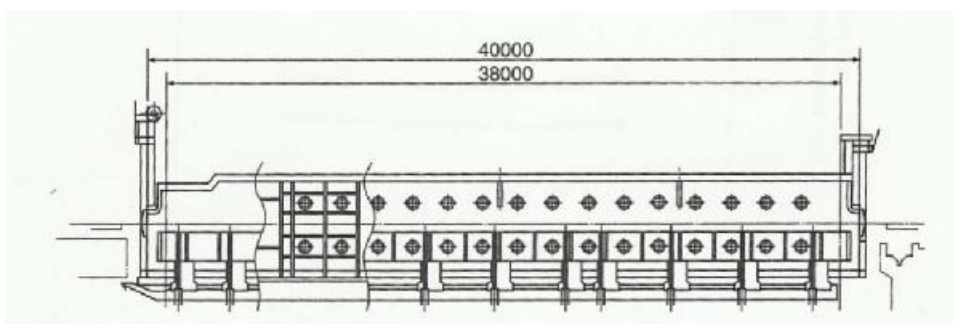
**Πίνακας 1.8: Παραδοχές του Υπολογισμού**

**Πίνακας 1.9: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

	Εταιρεία		
	A	B	C
Πραγματική κατανάλωση καυσίμου, Mcal/ton	250-259	225	242
Υπολογιζόμενα αποτελέσματα, Mcal/ton	259	224	238



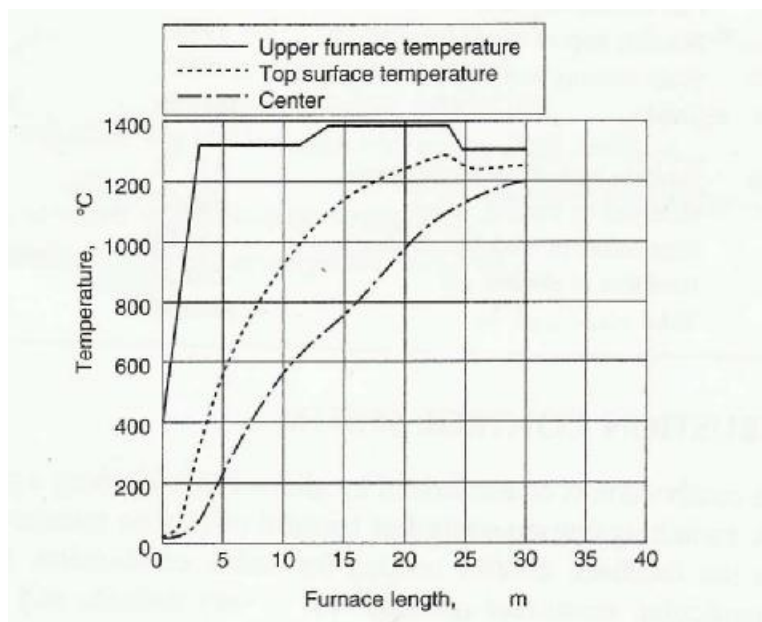
**Εικ. 1.36: Υψηλής απόδοσης φούρνος αναθέρμανσης για πλάκες των 285 ton/h**



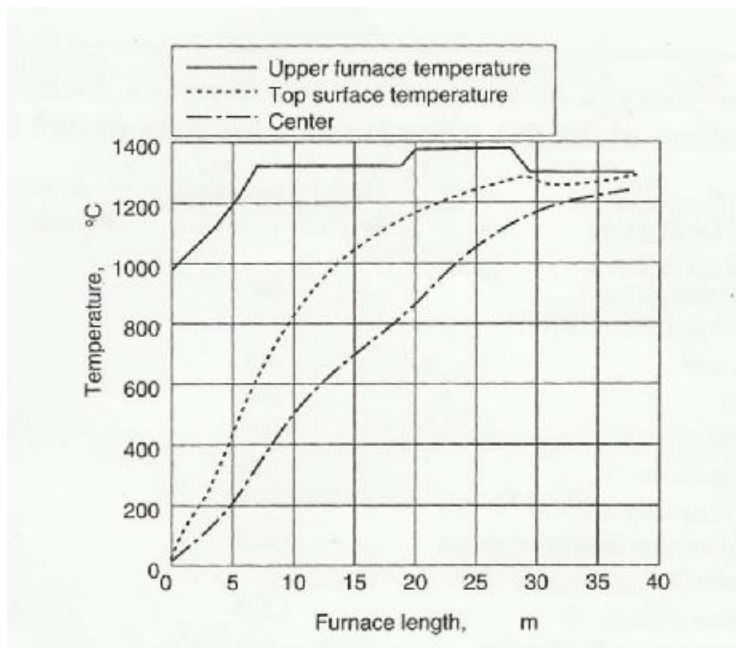
**Εικ. 1.37: Συμβατικός φούρνος αναθέρμανσης για πλάκες των 285 ton/h**

**Πίνακας 1.10: ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΠΛΑΚΕΣ ΤΩΝ 285 ton/h**

Περιγραφή	Υψηλής απόδοσης φούρνος αναθέρμανσης	Συμβατικός φούρνος αναθέρμανσης
1. Απόδοση θέρμανσης, ton/h	285	285
2. Μέγεθος πλάκας : Πάχος ,mm Πλάτος, mm Μήκος ,mm	255 960 9.016	255 960 9.016
3. θερμοκρασία φόρτισης	20	20
4. Θερμοκρασία εκφόρτισης : Πάχος κατεύθυνσης μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας, °C  Μέσος όρος διατομής , °C	1.200  1.220	1.200  1.225
5. Κύρια στοιχεία σχετικά με το μέγεθος φούρνου: Αποτελεσματικό μήκος φούρνου, mm Εσωτερικό πλάτος φούρνου, mm Ύψος φούρνου στην άνω ζώνη, mm Κάτω ζώνη, mm Φορτίο στον πυθμένα του φούρνου kg/m <sup>2</sup> /h	30.000 10.000 1.800 2.000 1.054	38.000 10.000 2.400 2.200 832
6. αριθμός των ελεγχόμενων ζωνών καύσης	6	6
7. Σχεδιασμένη θερμοκρασία φούρνου: Ζώνη προθέρμανσης, °C Ζώνη θέρμανσης , °C Ζώνη κορεσμού , °C	1.300 1.380 1.330	1.300 1.380 1.330
8. Χρόνος θέρμανσης, h	1.8	2.3



**Εικ. 1.38: Θερμοκρασία πλάκας ως συνάρτηση του μήκους φούρνου σε φούρνο υψηλής απόδοσης**



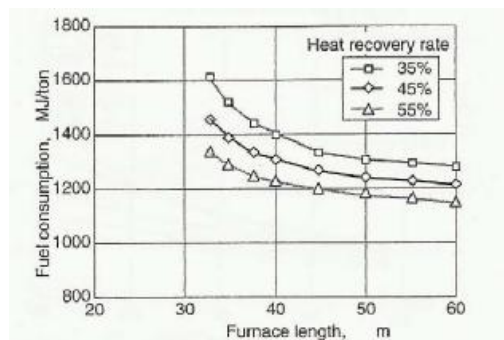
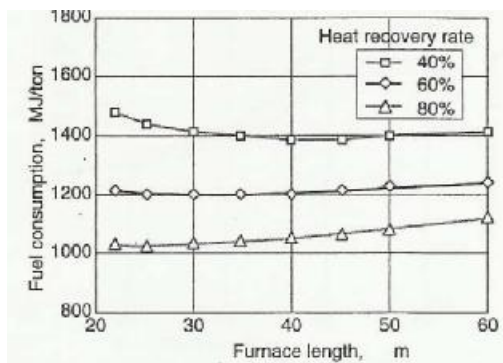
Εικ. 1.39: Θερμοκρασία πλάκας ενός συμβατικού φούρνου

	Περιγραφή	Φούρνος υψηλής απόδοσης, MJ/ton	Συμβατικός φούρνος, MJ/ton
Εισαγωγή θερμότητας	Αισθητή θερμότητα	9.38	9.38
	Θερμότητα καύσης καυσίμου	1002.66	1445.85
	Αισθητή θερμότητα του αέρα καύσης	490.31	264.34
	Θερμότητα σχηματισμού κλίμακας χάλυβα	38.51	38.51
	<b>Σύνολο</b>	<b>1540.86</b>	<b>1758.07</b>
Εξαγωγή θερμότητας	Αισθητή θερμότητα του εκφορτισμένου χάλυβα	829.71	852.81
	Απώλεια θερμότητας από νερό ψύξης	68.67	113.81
	Θερμική ακτινοβολία από σώμα φούρνου	51.14	67.03
	Απώλεια θερμότητας από καυσαέρια	591.34	724.43
	<b>Σύνολο</b>	<b>1540.86</b>	<b>1758.07</b>

Πίνακας 1.11: Πίνακας θερμικής ισορροπίας των 285 ton/h πλάκας φούρνου

### 1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΥΣΗΣ

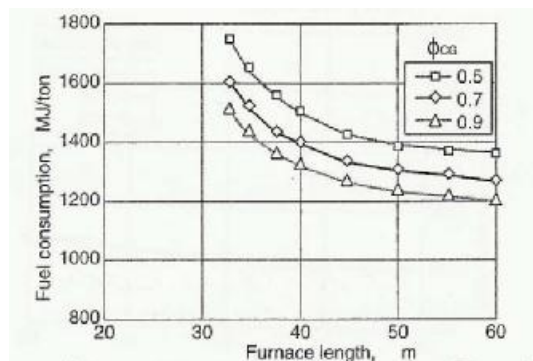
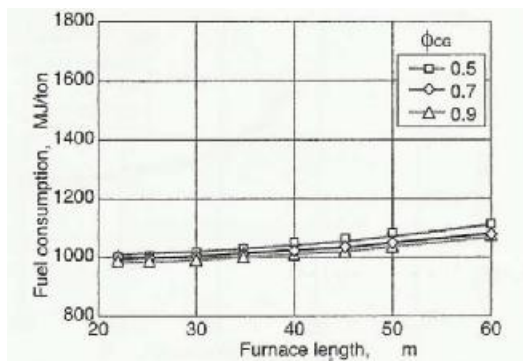
Η αναγεννητική καύση χαρακτηρίζεται από την εναλλάξ μεταγωγή ενός ζευγαριού καυστήρων. Αυτή η περιοδική εναλλαγή έχει κατά συνέπεια επιβλαβείς επιδράσεις για τα συστήματα μέτρησης και διαταράσσει τον έλεγχο ανάδρασης που απαιτείται για την σταθερή καύση. Στα συστήματα καύσης ιδίως, η αναλογία ελέγχου αέρα-καυσίμου είναι πολύ λεπτή και δύσκολη. Ως αποτέλεσμα, η εσωτερική πίεση στο φούρνο ποικίλλει ουσιαδώς, κάνοντας την μέτρηση των μόνων μέσων τιμών αδύνατη. Είναι απαραίτητο να αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά αυτών των μετρηθέντων σημάτων ούτως ώστε να μπορεί να γίνεται σωστή επεξεργασία για να πληροί τις απαιτήσεις των συμβατικών συνεχών ελέγχων.



**Φούρνος υψηλής απόδοσης**

**Συμβατικός φούρνος**

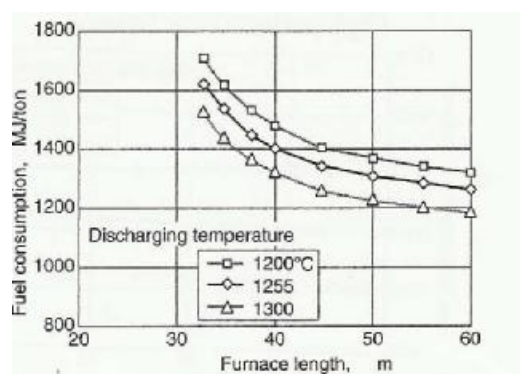
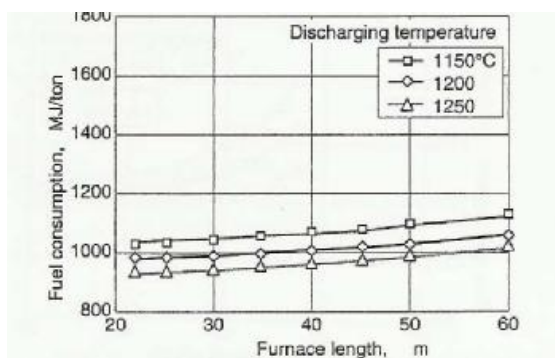
**Επίδραση ποσοστού ανάκτησης θερμότητας με φόρτιση στον 20 °C**



**Φούρνος υψηλής απόδοσης**

**Συμβατικός φούρνος**

**Επίδραση της παραμέτρου της ακτινοβολίας  $\Phi_{CG}$**

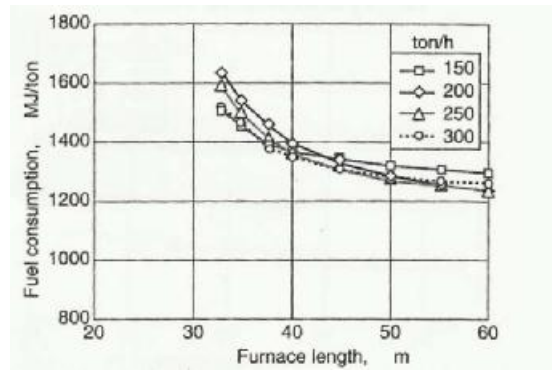
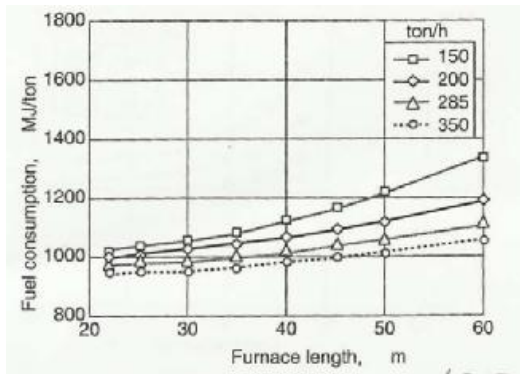


**Φούρνος υψηλής απόδοσης**

**Συμβατικός φούρνος**

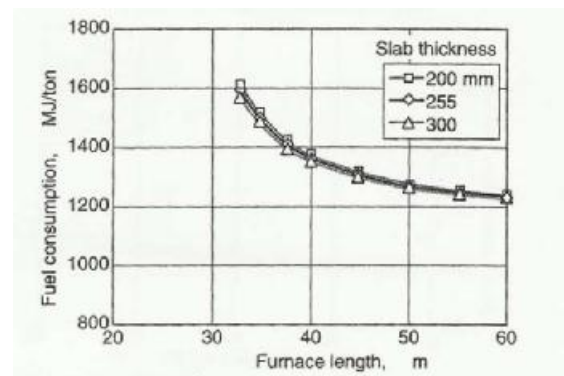
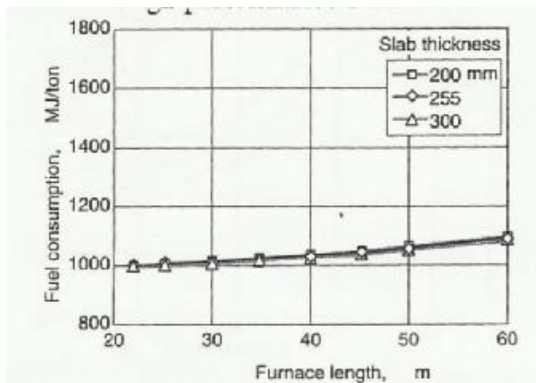
**Επίδραση της θερμοκρασίας εκφόρτισης**

Εικ. 1.40: Συνέπειες της ανάκτησης θερμότητας,  $\Phi_{CG}$ , θερμοκρασίας εκφόρτισης συναρτήσει του ρυθμού κατανάλωσης καυσίμου σε φούρνο υψηλής απόδοσης και συμβατικό φούρνο



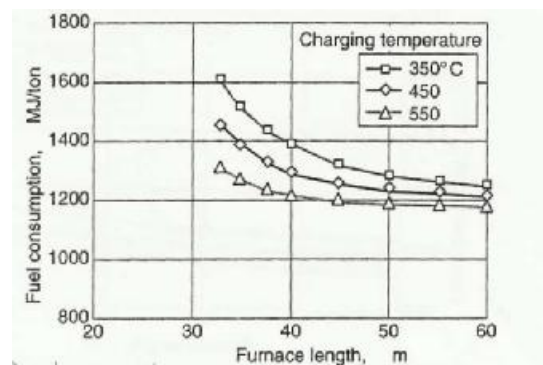
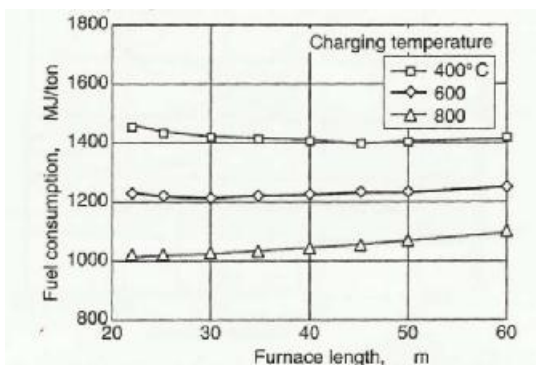
Φούρνος υψηλής απόδοσης  
Επίδραση του ρυθμού παραγωγής

Συμβατικός φούρνος



Φούρνος υψηλής απόδοσης  
Επίδραση πάχους πλάκας

Συμβατικός φούρνος



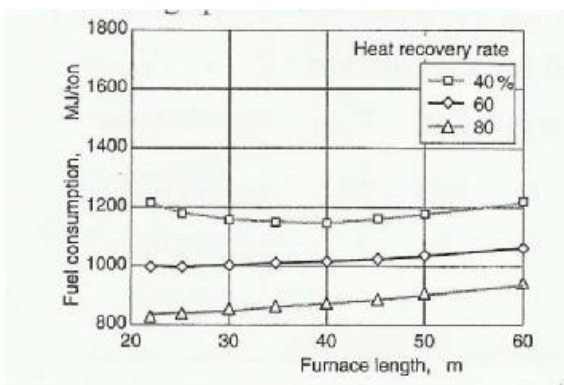
Φούρνος υψηλής απόδοσης  
Επίδραση της θερμοκρασίας φόρτισης

Συμβατικός φούρνος

Εικ. 1.41: Επιδράσεις του ρυθμού παραγωγής, πάχους πλάκας και θερμοκρασίας φόρτισης στην κατανάλωση καυσίμου σε φούρνο υψηλής απόδοσης και σε συμβατικό

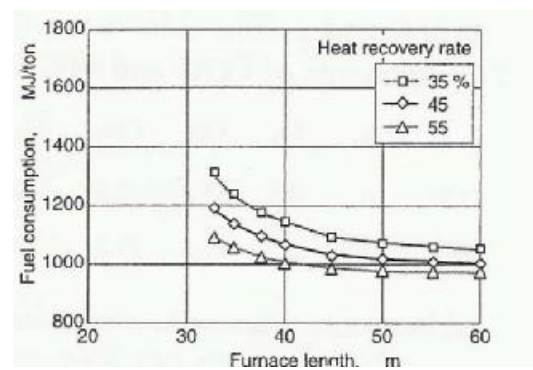
### 1.3.1 ΒΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Για αναγεννητική καύση στην οποία καύση και κατάσβεση αλλάζουν κατ' επανάληψη μέσα σε λίγα λεπτά, είναι πολύ σημαντικό να δημιουργηθούν ακολουθίες λειτουργίας των βαλβίδων μετάβασης και ρυθμιστικές βαλβίδες που επιτρέπουν τη σταθερή ροή λειτουργίας καύσης. Για αυτό το λόγο, πρέπει να ικανοποιηθούν δυο απαιτήσεις. Η πρώτη είναι να προληφθεί η ασταθής κατάσταση του ελέγχου ροής των καυσαερίων και του αέρα που προκύπτει από τον ρυθμό ροής φθάνοντας το μηδενικό επίπεδο κατά την στιγμή της μετάβασης/ αλλαγής. Η δεύτερη είναι να προληφθεί η υπερβολική διακύμανση στην ροή του αέρα και των καυσαερίων κατά την στιγμή της μετάβασης/ αλλαγής ώστε η πίεση στο φούρνο δεν θα αλλάξει σημαντικά και ο πιλοτικός φούρνος θα είναι σε θέση να συνεχίσει την σταθερή καύση. Η βασική ιδέα πίσω από αυτές τις προϋποθέσεις είναι να *συνειδητοποιήσουμε το χρονοδιάγραμμα βελτιστοποιημένου διαφράγματος ελέγχου ροής των βαλβίδων ρύθμισης κατά την στιγμή αλλαγής του καυστήρα.*

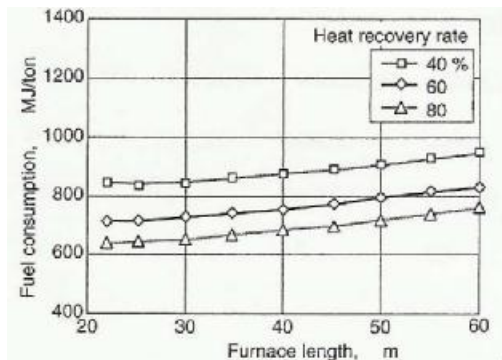


**Φούρνος υψηλής απόδοσης**

**Επίδραση του ποσοστού ανάκτησης θερμότητας με φόρτιση 300 °C**

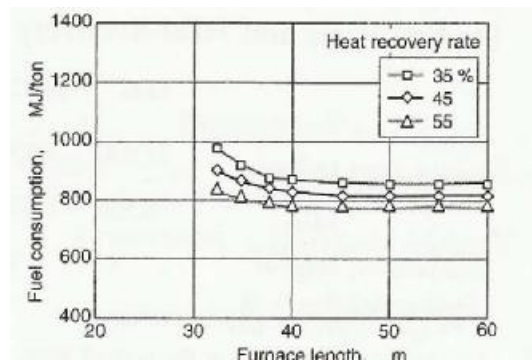


**Συμβατικός φούρνος**



**Φούρνος υψηλής απόδοσης**

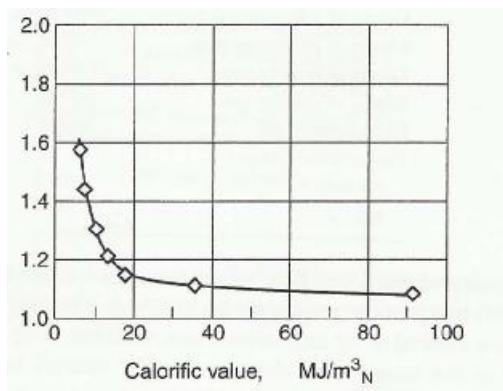
**Επίδραση του ποσοστού ανάκτησης θερμότητας με φόρτιση 600 °C**



**συμβατικός φούρνος**

**Εικόνα 1.42: Επιδράσεις της ανάκτησης θερμότητας με φόρτιση στους 300 και στους 600°C συναρτήσεως της κατανάλωσης καυσίμου σε υψηλής απόδοσης φούρνο και συμβατικό**





Εικ. 1.43: Σχέση μεταξύ θερμογόνων τιμών και καυσαερίων

Πίνακας 1.12: συστατικά των COG και BFG για τους υπολογισμούς

	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Θερμογόνος τιμή
<b>COG</b>	6	0.6	7.4	2.9	54.1	0	25.4	2.3	18.167 kJ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
<b>BFG</b>	54.5	0.2	21.5	21.2	2.6	0	0	0	3.324 kJ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>

m<sup>3</sup><sub>N</sub>: υποδηλώνει τον όγκο σε κανονική κατάσταση

Πίν. 1.13 Μελετημένα καύσιμα και ποσοστά ανάκτησης θερμότητας

	LPG	LNG	COG	MG2800	MG2000	MG1750
Τιμή θέρμανσης (kcal/ m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )	21.620	8.556	4.316	2.804	2.012	1.760
(kj/ m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )	90.519	35.822	18.070	11.740	8.424	7.369
Ποσοστά ανάκτησης θερμότητας από εναλλάκτες θερμότητας %	83	82	80	74	67	62

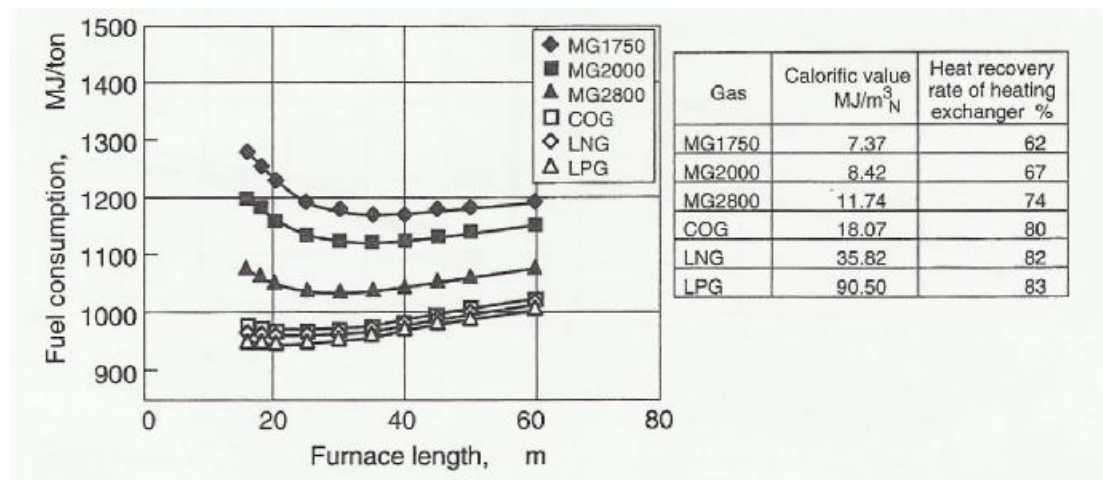
m<sup>3</sup><sub>N</sub>: υποδηλώνει τον όγκο σε κανονική κατάσταση

Πίν. 1.14: Συνθήκες εγκατάστασης

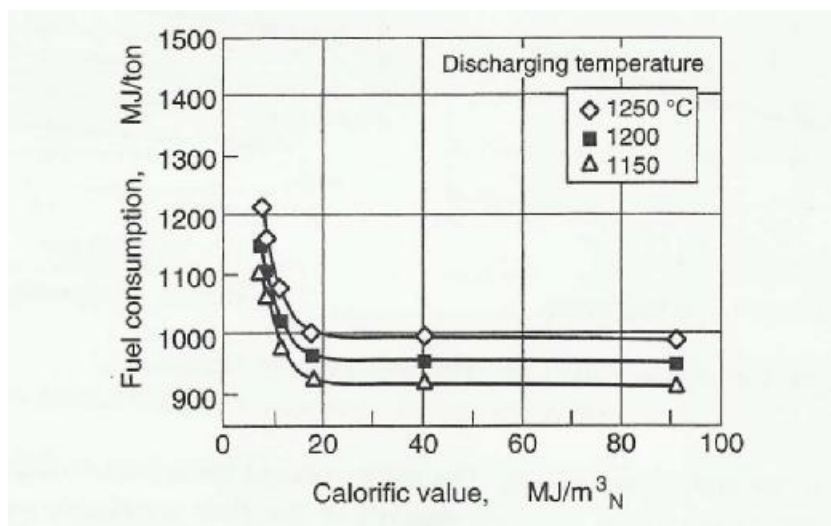
Μήκος ζώνης μη καύσης	0-14 m
Μήκος ζώνης προθέρμανσης	5.00m
Μήκος ζώνης θέρμανσης	15.00m
Μήκος ζώνης κορεσμού	5.00m
Ποσοστό ανάκτησης θερμότητας	80.0%
Καύσιμο	
Αναλογία αέρα	1.10
Φ <sub>CG</sub>	0.70

**Πίνακας 1.15: Συνθήκες Λειτουργίας**

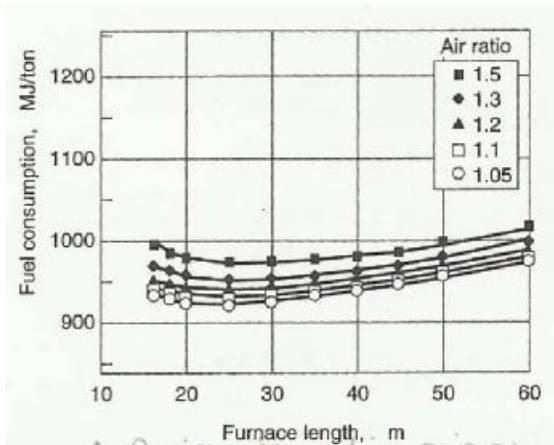
Χωρητικότητα αναθέρμανσης	250 ton/h
Θερμοκρασία εκφόρτισης	1150 °C
Διαφορά θερμοκρασίας κατά την εκφόρτωση	30 °C
Πάχος χάλυβα	250mm
Πλάτος χάλυβα	2000 mm
Μήκος χάλυβα	9000 mm
Διαστήματα μεταξύ των χαλύβων	100 mm
Θερμοκρασία του χάλυβα στη φόρτιση	20-600 °C



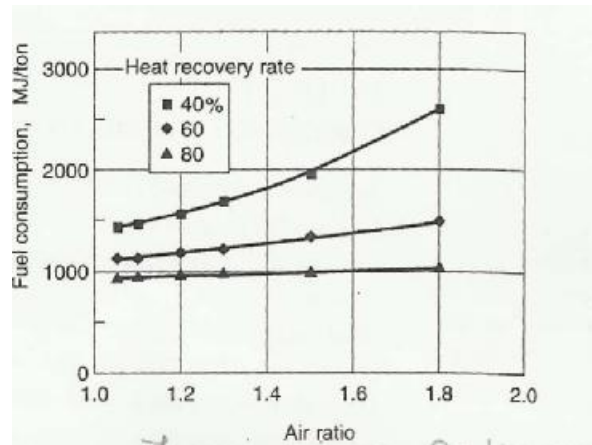
**Εικ. 1.44: Επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου διαφορετικών θερμογόνων τιμών και μηκών φούρνου**



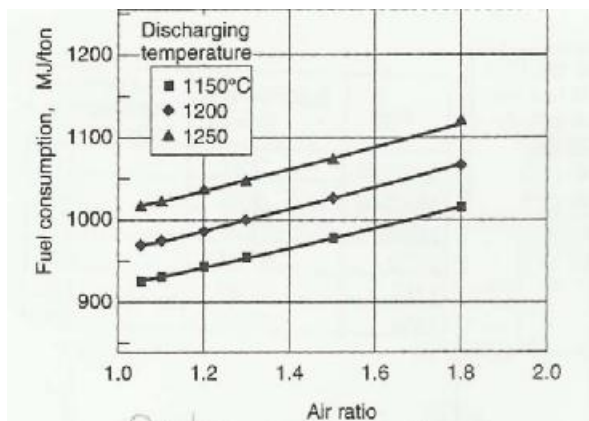
**Εικ.1.45:Θερμογόνες τιμές και κατανάλωση καυσίμου**



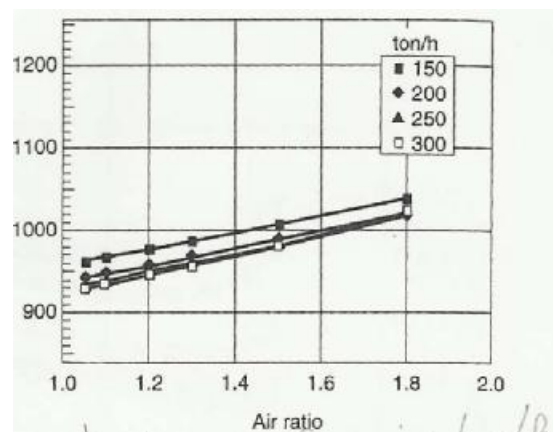
**Αναλογίες αέρα και μήκη φούρνου**



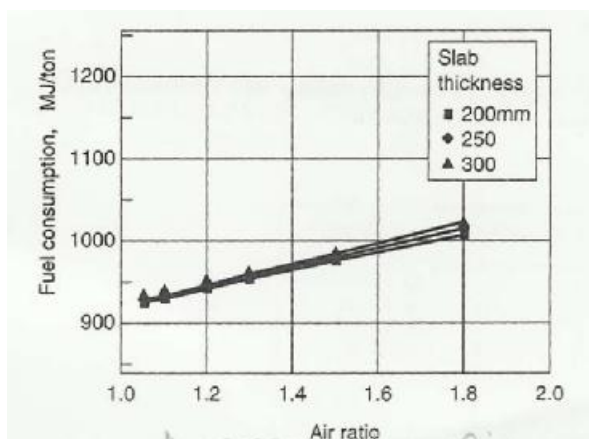
**Ποσοστά ανάκτησης θερμότητας**



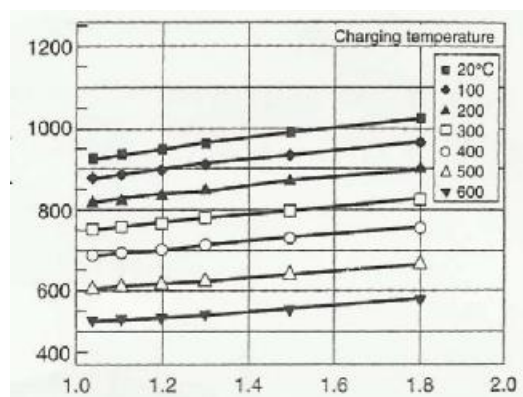
**Θερμοκρασίες εκφόρτισης**



**Ικανότητα επεξεργασίας, ton/h**

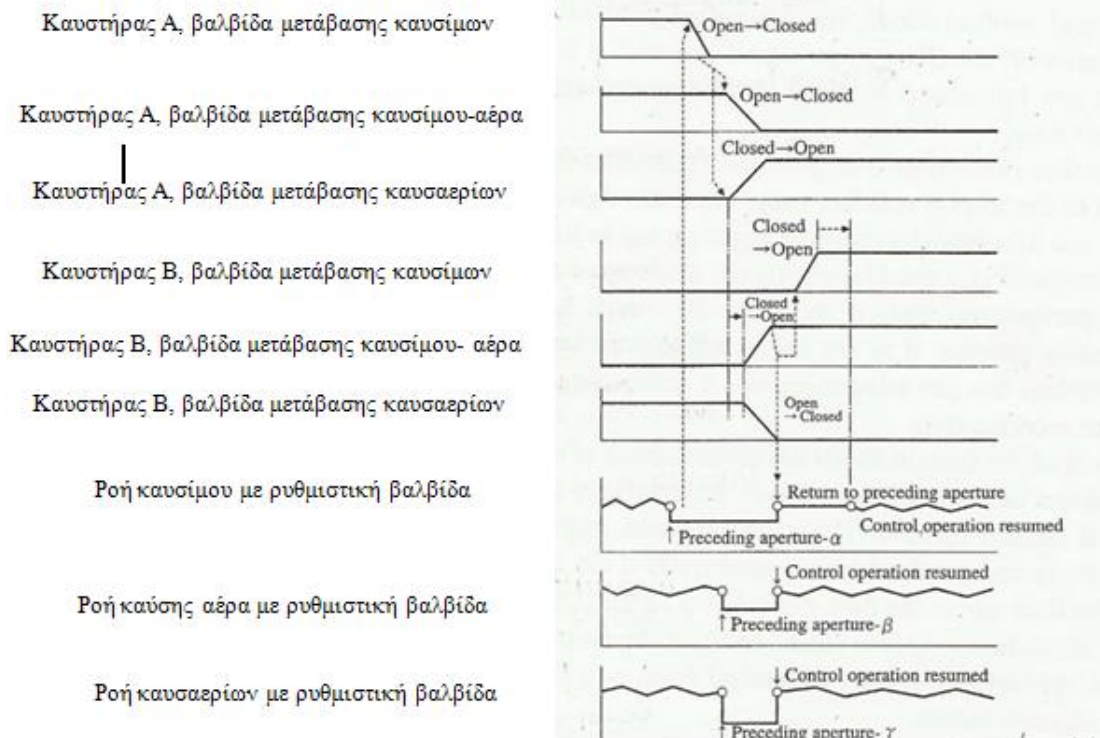


**Διαφορετικό πάχος πλάκας**



**Θερμοκρασίες φόρτισης**

**Εικ. 1.46: Ποικίλες επιδράσεις στο ποσοστό κατανάλωσης καυσίμου στους φούρνους.**



**Εικ. 1.47: Σχέδιο για ακολουθίες λειτουργίας των βαλβίδων μετάβασης και ρυθμιστικών βαλβίδων ροής**

### 1.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

Σε μια συμβατική μέθοδο συνεχούς ελέγχου, ο έλεγχος ανάδρασης απασχολείται με μετρημένα σήματα. Ωστόσο, για αναγεννητική καύση, πρέπει να γίνουν τροποποιήσεις στην μέθοδο επεξεργασίας σήματος. Οι ακόλουθες τρεις μέθοδοι επεξεργασίας είναι διαθέσιμες:

1. Οι ελεγχόμενες μεταβλητές, όπως καύσιμα/ ροή αέρα, θερμοκρασία προθερμασμένου αέρα, και ούτω καθεξής, έχουν καθοριστεί μέχρι ο ρυθμός ροής ή πίεσης γίνεται σταθερά από τη στιγμή αποκοπής του καυσίμου.
2. Διαλείπων έλεγχος εκτελείται με έναν κύκλο εκτός από τον χρόνο αποκοπής καυσίμου.
3. Σήματα μέτρησης αντισταθμίζονται με τις επιπτώσεις της μεταβατικής απόκρισης και χρησιμοποιούνται για συνεχή έλεγχο.

Η πρώτη μέθοδος εφαρμόζεται σε μια σειρά ανάφλεξης για παράδειγμα και είναι η πιο χαρακτηριστική μέθοδος ελέγχου υπό αυτές τις συνθήκες. Παρέχει σταθερές αποδόσεις με μια υψηλή ελεγκσιμότητα σε συνθήκη όπου ρύθμιση για συγκεκριμένη περίοδο και πρόσκρουση στην αρχή του ελέγχου παρακολουθούνται προσεκτικά. Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η ανταπόκριση δεν μπορεί να αυξηθεί όταν η έξοδος είναι σταθερή για

μεγάλο χρονικό διάστημα ανάλογα με τον κύκλο μετάβασης ή διάρκειας αποκοπής καυσίμου. Στην περίπτωση της δεύτερης μεθόδου παραπάνω, η διαδικασία ελέγχου μπορεί να χειριστεί ως μια συνεχόμενη λειτουργία με το σήμα αλλαγής/ μετάβασης να αγνοείται. Είναι κατάλληλο για μια μέτρια διαδικασία, δεδομένου ότι δεν επηρεάζεται από τις τοπικές διαφοροποιήσεις και μπορεί να χειριστεί παραλλαγές με μεγάλο χρόνο απόκλισης.

Η τελευταία μέθοδος επίσης χειρίζεται την ελεγχόμενη διαδικασία ως μια συνεχή λειτουργία παρόμοια με τη δεύτερη μέθοδο, εκτός του ότι τα σήματα εμφανίζονται συνεχώς από την χρήση ενός μοντέλου προτύπου, αντί να αγνοεί την επίδραση των διαταραχών. Στην αναγεννητική καύση, μια σύντομης διαδικασίας παρτίδα που αποτελείται από καύση και αποκοπή επαναλαμβάνεται. Εάν τα στοιχεία πριν και μετά την άσκηση της αποκοπής μπορεί να προβλέπονται έτσι ώστε να αποτελούν μια συνεχή διαδικασία, δεν είναι απαραίτητο να περιμένουμε μέχρι η ροή να γίνει σταθερή. Αυτή η μέθοδος έχει ένα πλεονέκτημα, π.χ., μια συμβατική μέθοδος ελέγχου μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς τροποποίηση.

Καθεμιά από τις τρεις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι κατάλληλη για χρήση με διαφορετικούς τύπους εγκαταστάσεων ή μεθόδων καύσης. Κάθε τύπος φούρνου πρέπει να χρησιμοποιεί την κατάλληλη βέλτιστη μέθοδο ελέγχου. Η κυματομορφή και η απόκριση της τελικής λειτουργίας στη μετάβαση και η τρίτη μέθοδος εξετάζονται στα παρακάτω.

Ο ρυθμός ροής της ροής του μπλοκ προς τα κάτω κατά τη στιγμή της αποκοπής που πραγματοποιήθηκε κατά την προηγούμενη τιμή αμέσως πριν την αποκοπή επειδή η απόκριση δεν μπορεί να προβλεφθεί. Εφαρμόζεται διόρθωση καθ' όλη την περίοδο από την ενέργεια της αποκοπής έως την σύγκλιση του μοντέλου βηματικής απόκρισης.

Η εξίσωση διόρθωσης εκφράζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$f(t) = \text{σήμα μέτρησης}$$

$$g(t) = \text{σήμα διόρθωσης}$$

$$k(t) = \text{μοντέλο (πρώτης τάξης απόκριση βηματικής υστέρησης κέρδους 1)}$$

Υποθέτοντας ότι  $t = 0$ , όταν η λαβή απελευθερώνεται (βαλβίδα αποκοπής: ANOIXTH),  $g(0) =$  τιμή συγκράτησης, και  $f(0) =$  κατώτερο όριο.

$$g(t) = f(t) + (g(0) - f(0)) (1 - k(t))$$

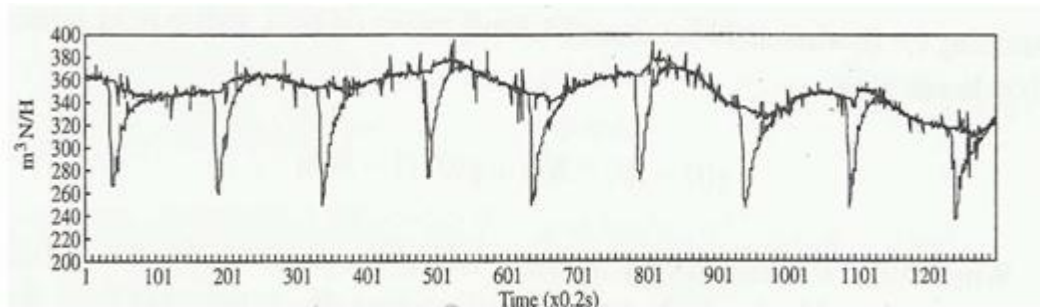
Η σταθερά χρόνου του μοντέλου βήματος απάντησης είναι η ρύθμιση των παραμέτρων. Η λειτουργία της πρώτης τάξης υστέρησης είναι συνήθως ενσωματωμένη στους περισσότερους ελεγκτές, και μπορούν εύκολα να γίνουν με μια διαφορετική εξίσωση. Η Εικόνα 1.48 δείχνει την ροή δεδομένων COG. Τα δεδομένα φαίνεται να είναι κάπως υπέρ-αποκρινόμενα επειδή τα αυθεντικά δεδομένα ελέγχονται με επεξεργασία κράτησης μόνο. Ο ελεγκτής άλλαξε την έξοδο για μηδενική απόκριση στην επεξεργασία κράτησης, όπως προκύπτει σαφώς από το διάγραμμα. Αυτό υποδεικνύει ότι η ελεγκτικότητα βελτιώθηκε με την αύξηση της ποσότητας των πληροφοριών που υπερβαίνει εκείνη που κατέχει στην επεξεργασία τύπου όταν η ταχύτητα της ροής είναι σε χαμηλά επίπεδα, βελτιώνοντας έτσι την δυνατότητα ελέγχου.

Τα ακόλουθα προβλήματα αντιμετωπίζονται με online επεξεργασία σε σήματα πίεσης εσωτερικά στο φούρνο:

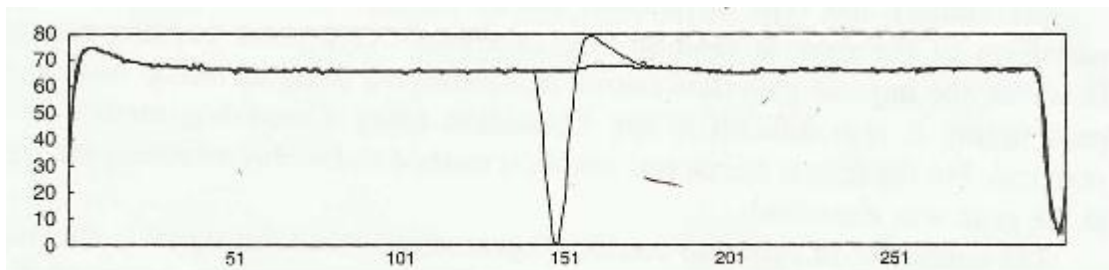
1. Διόρθωση της πτώσης της πίεσης στη μετάβαση
2. Έλεγχος της πίεσης της αιχμής στην ανάφλεξη
3. Διόρθωση του σφάλματος δεδομένου καυστήρα

Όσον αφορά το σημείο 1, η αμέσως προηγούμενη τιμή πρέπει να κρατηθεί (γίνει δεκτή), δεδομένου ότι δεν μπορεί να ελεγχθεί με την ροή. Το στοιχείο 2 παραπάνω είναι επίσης δύσκολο να ελεγχθεί όπως στην περίπτωση του σημείου 1. Δεδομένου ότι υπάρχει μια προφανής σχέση μεταξύ του μέγιστου επιπέδου και της τιμής σύγκλισης, η ελεγκσιμότητα μπορεί να βελτιωθεί αντικατοπτρίζοντας την τιμή από τη σχέση με την τιμή της διόρθωσης. Για το σημείο 3 παραπάνω, μερικά σφάλματα με μια πολλαπλότητα των καυστήρων που χρησιμοποιούνται μπορεί να αγνοηθεί και αλλιώς στην περίπτωση ενός ζευγαριού καυστήρων μπορεί να διορθωθεί με την διαφοροποίηση του ποσού καύσης.

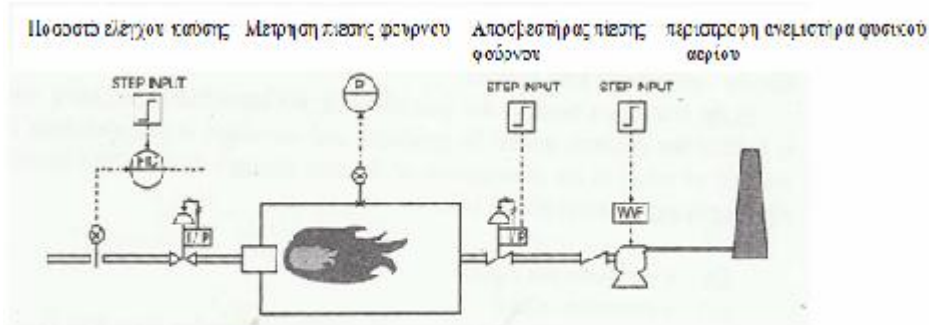
Η εσωτερική πίεση στο φούρνο ελέγχεται με την αλλαγή του ανοίγματος του διαφράγματος και την ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα του αερίου. Τα χαρακτηριστικά με σεβασμό προς το βαθμό ενεργοποίησης και της συνακόλουθης πίεσης του φούρνου μπορούν να προσδιοριστούν στη βάση των αποκρίσεων των σταδιακών παραλλαγών σε αυτές τις συσκευές.



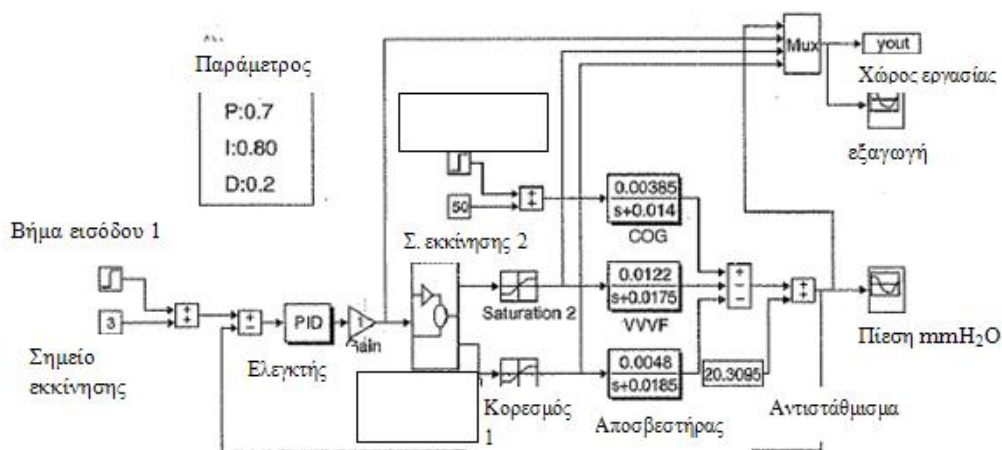
**Εικόνα 1.48: Σήμα διόρθωσης ρυθμού ροής COG (σε 100% καύση)**



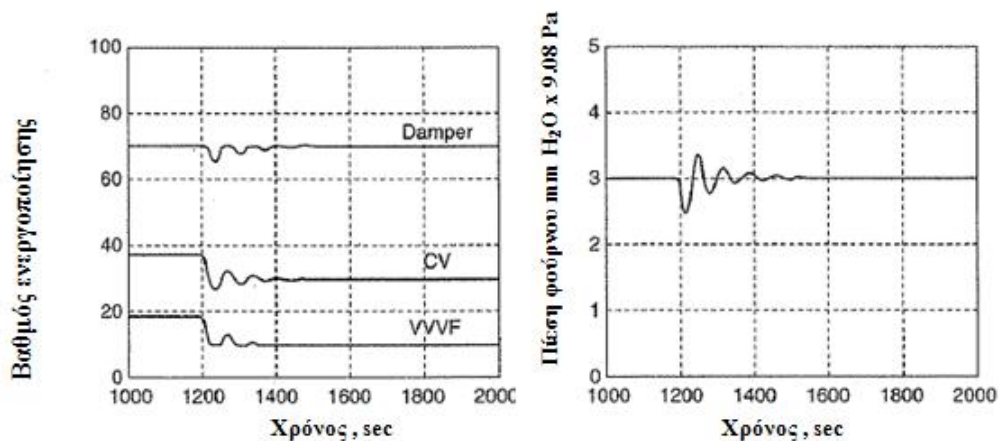
**Εικόνα 1.49: Ελεγχόμενος ρυθμός ροής COG**



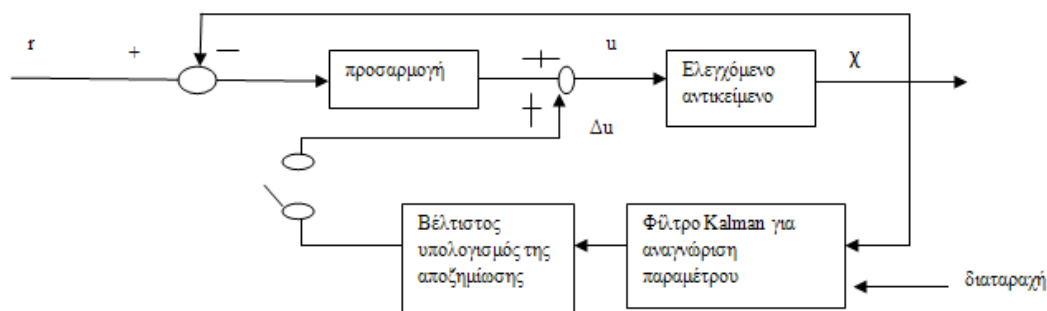
Εικόνα 1.50: Σχηματικό διάγραμμα για μέτρηση πίεσης



Εικ. 1.51: Προσομοιωτής αλλαγής ποσού καύσης



Εικ. 1.52: Αποτελέσματα της προσομοίωσης

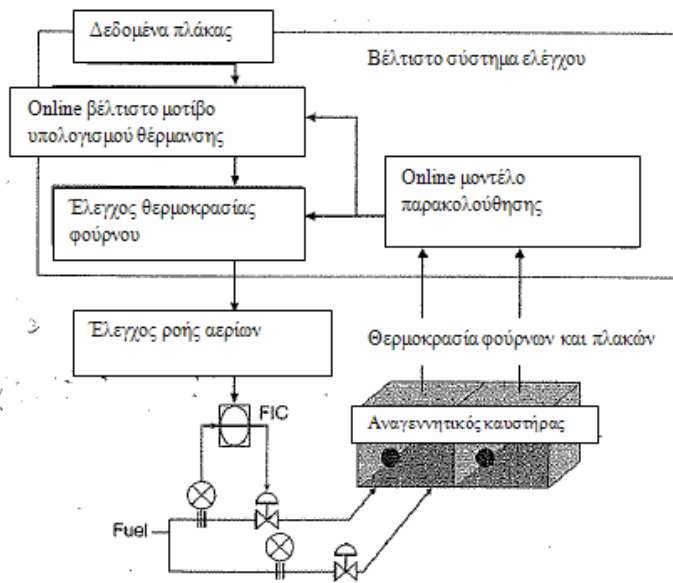


**Εικ. 1.53: Αντιστάθμιση χρησιμοποιώντας φίλτρο Kalman για έλεγχο διαταραχής**

### 1.3.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ

Νέες έννοιες και μέθοδοι από την άποψη τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού για την υψηλή απόδοση σταθερών συστημάτων καύσης ενσωματώνοντας χαρακτηριστικά μη σταθερής διασποράς φλόγας του μικρού διαστήματος μετάβασης αναγεννητικού τύπου καύσης αναμένεται να εισαχθούν στο εγγύς μέλλον. Σήμερα, η μέτρηση της θερμοκρασίας εξαρτάται από την χρήση των θερμοζευγών για την μέθοδο μέτρησης της θερμοκρασίας και της μεθόδου επεξεργασίας σήματος. Ο προσδιορισμός των θέσεων και ο αριθμός των σημείων μέτρησης είναι ζωτικής σημασίας. Η σύντηξη των μετρημένων θερμοκρασιών και των θεωρητικών θερμοκρασιών (αναλυμένες θερμοκρασίες) και η καταλληλότητά τους σε σχέση με τον έλεγχο της θερμοκρασίας (θερμοκρασία που προβλέπεται για τον σκοπό του ελέγχου) όλα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Περαιτέρω, η ίδια η φλόγα αναμένεται να μετρηθεί. Επιπλέον, η ευθεία μέτρηση της ροής και των πεδίων αντίδρασης θεωρήθηκε να καταστεί δυνατή η μικρομέτρηση και ανάλυση, συμπεριλαμβανομένων των LIF, CARS, κλπ της ανακυκλοφορούσας ροής και της καύσης οριακής ροής σε πρακτικές εφαρμογές. Ποσοτικοποίηση των μετρήσεων των ριζικών συστατικών και η πρακτική εφαρμογή της τεχνικής επίσης χρησιμοποιείται και έχει ευρεία εφαρμογή.





Εκ. 1.54: βασική διαμόρφωση του βέλτιστου συστήματος ελέγχου

## 1.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΦΟΥΡΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

### 1.4.1 ΦΟΥΡΝΟΣ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Η απαίτηση σχεδιασμού είναι για ένα φούρνο πλάκας-αναθέρμανσης που ενσωματώνει πλήρως τα βασικά πλεονεκτήματα αυτού του είδους των κλιβάνων. Με αυτό το φούρνο, πραγματοποιείται εξοικονόμηση ενέργειας (πάνω από 30% μείωση του CO<sub>2</sub>). Περαιτέρω, η εγκατάσταση έχει μειωθεί σε μέγεθος πάνω από 20% σε σχέση με έναν αντίστοιχο συμβατικό κλίβανο, και πρέπει να έχει χαμηλή εκπομπή NO<sub>x</sub> έτσι ώστε να συμμορφώνεται λόγω καύσης με τα απαιτούμενα περιβαλλοντικά επίπεδα ρύθμισης.

Ο φούρνος ενσωματώνει ένα σύστημα αναγεννητικής καύσης του καυστήρα. Με αναγεννητικούς καυστήρες που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η απόδοση του φούρνου που περιγράφεται παραπάνω, το σύστημα καύσης του φούρνου κάνει χρήση του υψηλής απόδοσης προθερμασμένου αέρα σε μια θερμοκρασία υψηλότερη από ό,τι χρειάζεται για αυτανάφλεξη (περίπου 800°C). Το σώμα του φούρνου και ολόκληρο το σύστημα μειώνεται σε μέγεθος. Με τα αποτελέσματα από σχετικές δημοσιεύσεις και έρευνες, οι διαστάσεις του σώματος του φούρνου έχουν μειωθεί σε σύγκριση με τους συμβατικούς φούρνους, για να σχηματίσουν ένα μικρότερου μεγέθους, χαμηλής θέρμανσης φούρνο (μείωση του 20% στο πραγματικό (αποτελεσματικό) μήκος του φούρνου, μείωση περίπου 17% στο ύψος του φούρνου, και μείωση κατά 35% στον όγκο του φούρνου).

Περαιτέρω, δεδομένου ότι οι διάμετροι του φουγάρου καυσαερίων και η καύση των σωληνώσεων αέρα μπορεί να μειωθούν και ένας ανακτητής έχει καταργηθεί, όχι μόνο το ίδιο το σώμα του φούρνου, αλλά επίσης ολόκληρη η εγκατάσταση μπορεί να σχεδιαστεί να είναι μικρότερη. Το γενικό κόστος κατασκευής της εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένων και των θεμελίων και την οικοδόμηση μπορεί να μειωθεί αρκούντως από εκείνο που απαιτείται για

ένα συμβατικό φούρνο. Τα χαρακτηριστικά του φούρνου έχουν βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με τους συμβατικής τεχνολογίας. Αυτό περιλαμβάνει μέγιστη μεταφορά θερμότητας, με πεπλατυσμένο μέσο χρόνο κατανομής της θερμοκρασίας και αυξημένη αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας, η επίδραση της μεταφοράς θερμότητας όσον αφορά τα υλικά του χάλυβα μεγιστοποιείται. Επίσης, με ομοιόμορφη θέρμανση, με την θερμοκρασία του φούρνου να γίνεται ομοιόμορφη και την καύση αερίων στο φούρνο να αναδύεται καλά, η ομοιόμορφη θέρμανση των υλικών του χάλυβα και η μείωση των σημείων ολίσθησης πραγματοποιούνται με μεγαλύτερη βελτίωση σε σχέση με αυτή που επιτυγχάνεται με την συμβατική τεχνολογία . Και τελικά, με κρίσιμη θερμότητα που ανακτάται από τους αναγεννητικούς καυστήρες, ελαχιστοποιείται η απώλεια της θερμότητας από τον φούρνο.

Με την χρησιμοποίηση μεθόδων ελέγχου που βασισμένων στα χαρακτηριστικά των αναγεννητικών καυστήρων που εφαρμόζονται για τον έλεγχο της θέρμανσης, ο έλεγχος της πίεσης του φούρνου και ο έλεγχος του οξυγόνου, αμφοτέρως η σταθερή λειτουργία και η υψηλή ακρίβεια του χρονοδιαγράμματος της θέρμανσης πραγματοποιούνται. Χρησιμοποιούνται πυρίμαχα υλικά για να επιτευχθεί η υψηλή επίδραση εξοικονόμησης ενέργειας και η θερμότητα χαμηλής αδράνειας. Μια δομή επένδυσης από ίνες απασχολείται για την οροφή του φούρνου και των τοιχωμάτων και η θερμομόνωση του σωλήνα ολίσθησης έχει βελτιωθεί ώστε να πραγματοποιήσει μια υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας και χωρίς προγραμματισμό καύση (χαμηλής θερμικής αδράνειας).

#### **1.4.1.1 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

##### *1. Συνθήκες λειτουργίας*

Αντικείμενο που πρόκειται να θερμανθεί (πλάκα)

α . Κανονικές διαστάσεις πλάκας : 255 (πάχος) x 960 (πλάτος) x 9016 (μήκος) mm (Μέγιστο μήκος 9300 mm)

β . Τύπος του υλικού του χάλυβα : κανονικός ανθρακούχος χάλυβας

γ . Μέθοδος φόρτισης : φόρτιση μονής γραμμής ή φόρτιση διπλής γραμμής

Θερμοκρασία θέρμανσης :

α . Θερμοκρασία φόρτισης : 20°C

β. Θερμοκρασία αποφόρτισης: 1200°C (χαμηλότερη μέση θερμοκρασία στην κατεύθυνση του πάχους)

Ικανότητα θέρμανσης: 285 t/h όταν μια κανονική πλάκα θερμαίνεται συνεχώς στη θερμοκρασία θέρμανσης που αναφέρεται ανωτέρω.

##### **Δεδομένα :**

α . COG

1. Εφαρμογή: καύσιμο κύριου καυστήρα

2. Χαμηλή θερμογόνος δύναμη:  $4500 \text{ kcal}/m_N^3$  ( $18,840 \text{ kJ}/m_N^3$  )
3. Θεωρητικό ποσό αέρα: ( $A_0$ ):  $4.65 \text{ m}_N^3 / m_N^3$
4. Θεωρητικό ποσό καυσαερίων: ( $G_0$ ):  $4.98 \text{ m}_N^3 / m_N^3$
5. Πρόχειρη εκτίμηση της κατανάλωσης:  $15,500 \text{ m}_N^3 / \text{h}$

β. Νερό ψύξης

1. Εφαρμογή: για ψύξη
2. Παρεχόμενη πίεση:  $3.0 \text{ kg}/\text{m}^2$  ( $29.5 \text{ Pa}$ ) ή υψηλότερη
3. Παρεχόμενη θερμοκρασία:  $32^\circ\text{C}$  ή μικρότερη
4. Πρόχειρη εκτίμηση της κατανάλωσης:  $320 \text{ m}^3 / \text{h}$

Οι τιμές κατανάλωσης υπολογίζονται σύμφωνα με την εκτίμηση του θερμικού ισοζυγίου.

2. Τύπος φούρνου θέρμανσης

Φούρνος αναθέρμανσης έξι ζωνών με συνεχή παροχή ράβδων για επεξεργασία (Εικόνες 1.55-1.57).

3. Διαστάσεις του φούρνου

α . Πραγματικό (αποτελεσματικό) μήκος: 30,000 mm. Ένας υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας έγινε για να καθοριστεί το μήκος του φούρνου σχετικά με την υπόθεση ότι η μεταφορά θερμότητας στο υλικό του χάλυβα σε φούρνο υψηλής απόδοσης αναθέρμανσης είναι περίπου 1.1 φορές μεγαλύτερη από ένα συμβατικό φούρνο αναθέρμανσης. Οι λόγοι που το μήκος του φούρνου μπορεί να μειωθεί από αυτό ενός συμβατικού φούρνου αναθέρμανσης είναι ότι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στο υλικό του χάλυβα βελτιώνεται κατά 10%, και η μέση θερμοκρασία μπορεί να μειωθεί για την ίδια χαμηλότερη θερμοκρασία της αποφορτισμένης πλάκας που οφείλεται στην αποτελεσματικότητα της ενιαίας θέρμανσης.

β. Εσωτερικό πλάτος φούρνου: 10,000 mm. Το πλάτος προσδιορίζεται με αναφορά στο μέγιστο μήκος χάλυβα 9300 mm.

γ. Ύψος φούρνου: ανώτερη περιοχή, 1800 mm; Χαμηλότερη περιοχή, 2000 mm. Είναι γνωστό, θεωρητικά, από τα αποτελέσματα ειδικών μελετών ότι η ικανότητα θέρμανσης δεν θα επηρεαστεί ακόμα και αν το ύψος του φούρνου είναι χαμηλότερο από το επίπεδο των 1200 mm. Αυτό είναι αλήθεια και για την ανώτερη και την χαμηλότερη περιοχή.

Ωστόσο, ύψη των 1800 mm για την ανώτερη περιοχή και 2000 mm για την χαμηλότερη περιοχή συνήθως χρησιμοποιούνται λαμβάνοντας υπόψη τη παρεμβολή μεταξύ της φλόγας του καυστήρα και τις κλίμακες κλίνης φούρνου, προφίλ ρύθμισης των καυστήρων των άνω και κάτω περιοχών, και τον χώρο συντήρησης.

#### 4. Ζώνες ελέγχου καύσης

Πληροφορίες στο παρακάτω πίνακα 1.16

#### 5. Διάστημα αποφόρτισης τεμαχίου χάλυβα

218 s για ρυθμό λειτουργίας των 285 t/h

#### 6. Μονάδα κατανάλωσης καυσίμου

Η μονάδα κατανάλωσης καυσίμου όταν το τεμάχιο του χάλυβα θερμαίνεται συνεχώς κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες είναι  $240 \times 10^3$  kcal/t (1.00 GJ/t), αναγνωρίζοντας μια επίδραση εξοικονόμησης ενέργειας περίπου 30% σε σύγκριση με ένα συμβατικό φούρνο αναθέρμανσης.

α . Διαστάσεις τεμαχίου του χάλυβα: 255 x 960 x 9016 mm

β . Τύπος του χάλυβα: κανονικός ανθρακούχος χάλυβας

γ . Θερμοκρασία φόρτισης: 20°C

δ . Θερμοκρασία αποφόρτισης: 1200°C (χαμηλότερη μέση θερμοκρασία στην κατεύθυνση του πάχους)

ε . Αναλογία αέρα: 1.05

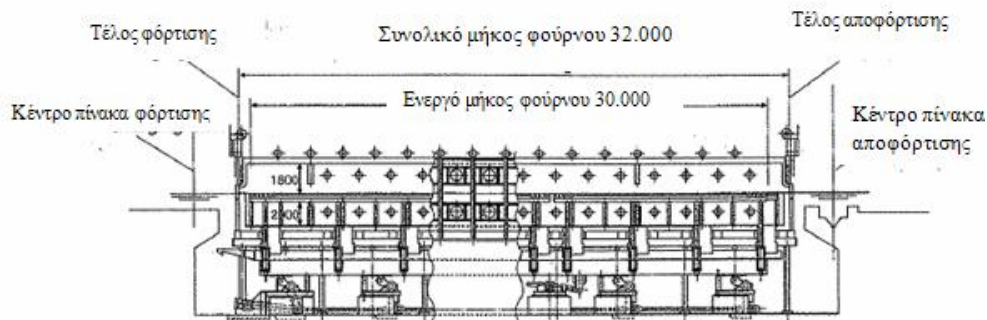
στ . Ποσό των καυσαερίων που περνά μέσω των αναγεννητικών καυστήρων: 90% των καυσαερίων

#### 7. Απόκλιση αποφόρτισης της θερμοκρασίας (σήμα ολίσθησης)

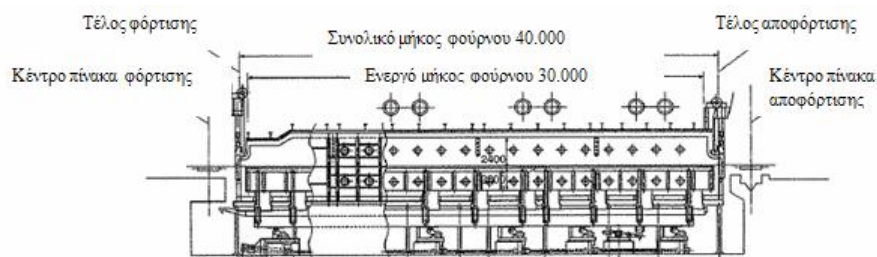
Το σήμα ολίσθησης που συμβαίνει όταν απόφορτίζεται το τεμάχιο του χάλυβα έξω από το φούρνο όταν το τεμάχιο του χάλυβα θερμαίνεται συνεχώς κάτω από τις ανωτέρω συνθήκες είναι 32°C, συνειδητοποιώντας μια μείωση στο σήμα ολίσθησης περίπου 50% από έναν συμβατικό φούρνο θέρμανσης.

#### 8. NOx επίπεδο εκπομπών

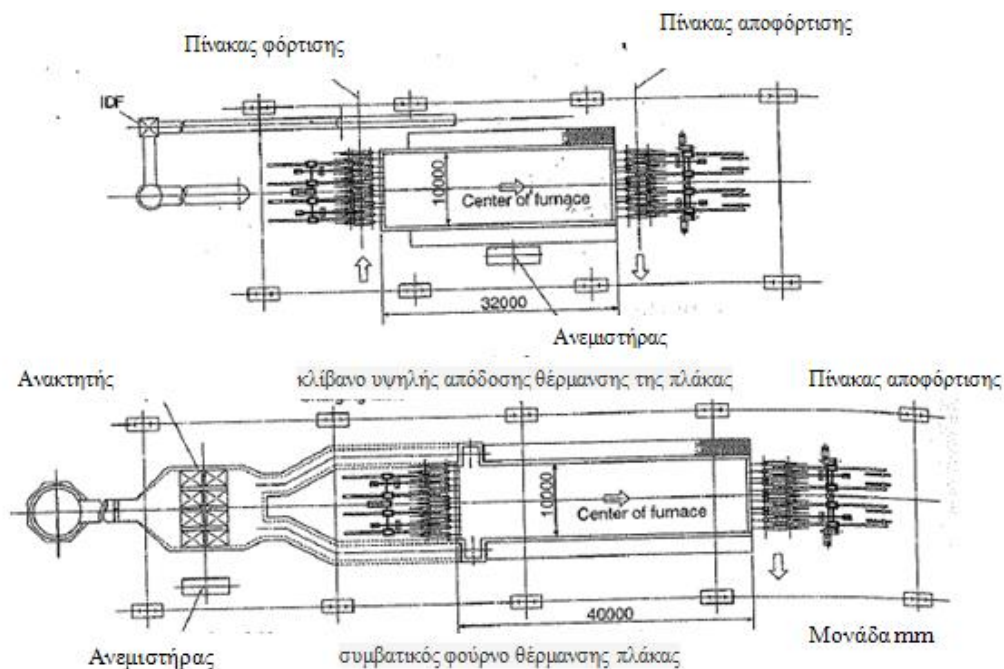
Η μέση τιμή εκπομπής του NOx σε διάρκεια 1 ώρας (μετατρέπεται σε 11% O<sub>2</sub>) είναι χαμηλότερη από τα αποδεκτά επίπεδο περιβαλλοντικής ρύθμισης.



Εκ. 1.55: Υψηλής απόδοσης φούρνος θέρμανσης για πλάκες



Εκ. 1.56: Συμβατικός φούρνος θέρμανσης για πλάκες



Εικ. 1.57: Συνολική όψη του υψηλής απόδοσης και συμβατικού φούρνου θέρμανσης για πλάκες

Νούμερο ζώνης	Περιοχή καύσης	Τύπος καυστήρα	Αριθμός καυστήρων
1	Ανώτερη περιοχή	Πλευρά καυστήρα	12 καυστήρες (6 ζεύγη)
	Χαμηλότερη περιοχή	Πλευρά καυστήρα	12 καυστήρες (6 ζεύγη)
2	Ανώτερη περιοχή	Πλευρά καυστήρα	8 καυστήρες (4 ζεύγη)
	Χαμηλότερη περιοχή	Πλευρά καυστήρα	8 καυστήρες (4 ζεύγη)
3	Ανώτερη περιοχή	Πλευρά καυστήρα	8 καυστήρες (4 ζεύγη)
	Χαμηλότερη περιοχή	Πλευρά καυστήρα	8 καυστήρες (4 ζεύγη)

Πίνακας 1.16: Ζώνες ελέγχου καύσης

#### 1.4.1.2 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

##### 1. Καυστήρας

α . Τύπος καυστήρα: αναγεννητικός καυστήρας (αναγεννητική μετάβαση καύσης καυστήρα)

β . Ικανότητα και αριθμός καυστήρων (Πίνακας 1.17)

γ . Εξαρτήματα

1. Αναγεννητικά μέσα
2. Βαλβίδα μετάβασης καύσης αέρα
3. Βαλβίδα μετάβασης καυσαερίων
4. Βαλβίδα μετάβασης καύσιμου αερίου

β .Ηλεκτρική ανάφλεξη του πιλοτικού καυστήρα

1. Ικανότητα και αριθμός πιλοτικών καυστήρων: 23.3 kW/ καυστήρας (20,000 kcal/h/ καυστήρας), 56 πιλοτικοί καυστήρες

2. Εξαρτήματα:

Αισθητήρας φλόγας

Βύσμα ανάφλεξης

2. Φυσητήρας αέρα καύσης

α . Αριθμός των φυσητήρων: 1

β. Ικανότητα αέρα:  $1450 \text{ m}_N^3 / \text{min}$

γ. Πίεση αποφόρτισης: 1100 mmH<sub>2</sub>O (10.8 kPa)

3. Φυσητήρας αέρα πιλότου (οδηγού)

α . Αριθμός φυσητήρων: 1

β. Ικανότητα αέρα:  $30 \text{ m}_N^3 / \text{min}$

γ. Πίεση αποφόρτισης: 700 mmH<sub>2</sub>O (6.86 kPa)

4. Ανεμιστήρας επαγωγής καυσαερίων

α . Αριθμός ανεμιστήρων: 1

β. Ικανότητα αέρα:  $2200 \text{ m}_N^3 / \text{min}$  (σε 150°C)

γ. Πίεση αποφόρτισης: 1100 mmH<sub>2</sub>O (10.8 kPa)

5. Σωληνώσεις αέρα καύσης

Η σωλήνωση είναι απαραίτητη μεταξύ του ανεμιστήρα και των αναγεννητικών καυστήρων για την παροχή αέρα καύσης στους καυστήρες. Αέρας θερμοκρασίας δωματίου ρέει μέσω αυτών των σωληνώσεων.

6. Σωληνώσεις καυσαερίων

Η σωλήνωση είναι απαραίτητη για τα καυσαέρια χαμηλής θερμοκρασίας από τους αναγεννητικούς φούρνους στην στοίβα καυσαερίων μέσω του ανεμιστήρα απαγωγής αερίων που προκαλούνται. Καυσαέρια καύσης στους 150 έως 200°C ρέουν μέσα σε αυτή τη σωλήνωση.

#### 7. Σωλήνωση καυσίμου

Η σωλήνωση από το COG σημείο εισαγωγής στους αντίστοιχους καυστήρες είναι επίσης απαραίτητο.

#### 8. Καπνοδόχος αερίου

Μια καπνοδόχος είναι απαραίτητη για τα καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας που αποφορτίζονται από το κάτω τμήμα της τελικής φόρτισης του φούρνου.

Νούμερο ζώνης	Περιοχή καύσης	Ικανότητα καύσης (kcal/h/καυστήρα) (MW)	Αριθμός καυστήρων (ζεύγη)
1	Ανώτερη περιοχή	$3,700 \times 10^3$ (4.30)	12 καυστήρες (6 ζεύγη)
	Κατώτερη περιοχή	$4,500 \times 10^3$ (5.23)	12 καυστήρες (6 ζεύγη)
2	Ανώτερη περιοχή	$2,200 \times 10^3$ (2.56)	8 καυστήρες (4 ζεύγη)
	Κατώτερη περιοχή	$2,600 \times 10^3$ (3.02)	8 καυστήρες (4 ζεύγη)
3	Ανώτερη περιοχή	$1,200 \times 10^3$ (1.40)	8 καυστήρες (4 ζεύγη)
	Κατώτερη περιοχή	$1,500 \times 10^3$ (1.74)	8 καυστήρες (4 ζεύγη)
Συνολικά	Ικανότητα καυστήρα	$158,400 \times 10^3$ (184.2)	56 καυστήρες (28 ζεύγη)
	Ποσό καύσης	$79,200 \times 10^3$ (92.1)	28 καυστήρες

**Πίνακας 1.17 : Ικανότητα και αριθμός καυστήρων**

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται επιπλέον στοιχεία σχετικά με τη μελέτη αξιοποίησης αυτών των αναγεννητικών κλιβάνων. Αυτά τα στοιχεία σχετίζονται με την νέα εγκατάσταση του φούρνου αναθέρμανσης χρησιμοποιώντας αναγεννητικούς καυστήρες. Η χαρακτηριστική περίπτωση της τροποποίησης μπορεί να περιλαμβάνει εγκατάσταση ενός αναγεννητικού καυστήρα σε μια ζώνη μη καύσης σε ένα στιγμιαίο λειτουργικό φούρνο αναθέρμανσης και την αντικατάσταση της ζώνης του καυστήρα προθέρμανσης με ένα αναγεννητικό καυστήρα για τον σκοπό της εξοικονόμησης ενέργειας και/ή τη βελτίωση της ικανότητας θέρμανσης.



A/A	Είδος	Υψηλής απόδοσης φούρνος αναθέρμανσης	Συμβατικός φούρνος αναθέρμανσης
1	Ικανότητα θέρμανσης , ton/h	285	285
2	Διαστάσεις πλάκας		
	Πάχος ,mm	255	255
	Πλάτος ,mm	960	960
	Μήκος ,mm	9,016	9,016
3	Θερμοκρασία φόρτισης , °C	20	20
4	Θερμοκρασία αποφόρτισης		
	Χαμηλότερη μέση θερμοκρασία στην κατεύθυνση του πάχους , °C	1,200	1,200
	Μέσος όρος διατομής	1,220	1,255
5	Διαστάσεις φούρνου		
	Αποτελεσματικό μήκος φούρνου,mm	30,000	38,000
	Πλάτος εντός του φούρνου,mm	10,000	10,000
	Ύψος φούρνου		
	Ανώτερη ζώνη,mm	1,800	2,400
	Κατώτερη ζώνη ,mm	2,000	2,200
	Φορτίο κλίνης φούρνου kg/m <sup>2</sup> /h	1,054	832
6	Ρύθμιση πυρίμαχων υλικών		
	Οροφή	Κεραμικές ίνες	Άμορφο πυρίμαχο,ίνες
	Τοιχώματος	Κεραμικές ίνες	Άμορφο πυρίμαχο, Τούβλο κ.α.
	Ολίσθηση	Πλαστικό πυρίμαχο	Πλαστικό πυρίμαχο
7	Αριθμός ζωνών ελέγχου καύσης	6	6
8	Θερμοκρασία εκκίνησης φούρνου		
	Ζώνη προθέρμανσης , °C	1,300	1,300
	Ζώνη θέρμανσης , °C	1,380	1,380
	Ζώνη κορεσμού, °C	1,330	1,330
9	Θερμοκρασία καύσης αέρα (πριν τους καυστήρες), °C	1,150-1,230 (Μ.Ο. καυστήρα = 1,175)	450
10	Αναλογία αέρα	1.05	1.2
11	Μονάδα κατανάλωσης καυσίμου x10 <sup>3</sup> Kcal/ton	240	345
	GJ/ton	1.00	1.44
12	Απόκλιση θερμοκρασίας αποφόρτισης, °C	32	65
13	Τιμή NOx	Κάτω από το επίπεδο ρύθμισης	Κάτω από το επίπεδο ρύθμισης
14	Χρόνος θέρμανσης,h	1.8	2.3

**Πίνακας 1.18: Σύγκριση της απόδοσης μεταξύ των φούρνων αναθέρμανσης**

A/A/	Είδος	Υψηλής απόδοσης φούρνος αναθέρμανσης		Συμβατικός φούρνος αναθέρμανσης	
		x 10 <sup>3</sup> kcal/ton	MJ/ton	x 10 <sup>3</sup> kcal/ton	MJ/ton
1	Θερμότητα καύσης των καυσίμων	240.0	1,004.8	345.0	1,444.4
2	Αισθητή θερμότητα των καυσίμων	0.4	1.7	0.5	2.1
3	Κλίμακα σχηματισμού θερμότητας	9.3	38.9	9.3	38.9
4	Αισθητή θερμότητα του αέρα καύσης	1.6	6.7	2.7	11.3
5	Εσωτερική θερμότητα της φορτισμένης πλάκας	2.1	8.8	2.1	8.8
6	Θερμότητα που ανακτάται από την καύση αέρα	100.7	421.6	58.9	246.6
	Συνολική είσοδος θερμότητας	354.1	1,482.5	418.5	1,752.2
7	Εξωτερική θερμότητα της αποφορτισμένης πλάκας	198.5	831.1	203.9	853.7
8	Απώλεια θερμότητας από καυσαέρια	127.3	533.0	172.1	720.5
9	Απώλεια θερμότητας από ψύξη νερού	16.8	70.3	27.5	115.1
10	Θερμική ακτινοβολία μέσω του σώματος του φούρνου	11.5	48.1	15.0	62.8
	Συνολική έξοδος της θερμότητας	354.1	1,482.5	418.8	1,753.4
	Θερμική απόδοση (7)/(1)%	82.7		59.1	
	Ποσοστό ανάκτησης θερμότητας αποβλήτων ((4)+(6))/(8)%	80.4		35.8	
	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας , %	30.4		Βάση	

**Πίνακας 1.19: Πίνακας ισολογισμού θερμικής ισορροπίας**

α/α	Είδος	Υψηλής απόδοσης φούρνος αναθέρμανσης	Συμβατικός φούρνος αναθέρμανσης
1	Καυστήρας		
	Αριθμός των καυστήρων	56	60
	Ικανότητα καύσης εγκατάστασης kcal/h MW	79,200X10 <sup>3</sup> 92.1	118,800x 10 <sup>3</sup> 137,2
2	Φυσητήρας καύσης		
	Αριθμός των φυσητήρων	1	1
	Ικανότητα αέρα m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /min	1,450	2,400
	Πίεση αποφόρτισης mmH <sub>2</sub> O	1,100	1,300
	Πίεση αποφόρτισης kPa	10.8	12,7
3	Ανεμιστήρας επαγωγής καυσαερίων		
	Αριθμός φυσητήρων	1	
	Ικανότητα αέρα m <sup>3</sup> /min (150 °C)	2,200	
	Πίεση αποφόρτισης mmH <sub>2</sub> O	1,100	
	Πίεση αποφόρτισης kPa	10,8	
4	Εναλλάκτης θερμότητας	(Μέσο Ανάκτησης)	Ανακτητής αέρα
	Θερμοκρασία αέρα, °C	1,150-1,230	500
	Αποδοτικότητα θερμοκρασίας %	92.0	61.5

**Πίνακας 1.20: Ικανότητα καύσης της εγκατάστασης**

#### 1.4.2 ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗ ΡΑΒΔΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Η ενότητα αφορά τη χρησιμότητα ενός φούρνου αναθέρμανσης ράβδων που είναι ένας εξάζωνος (έξι ζωνών) φούρνος συνεχούς ροής. Οι ράβδοι παραδίδονται σε σταθερές θέσεις στην πλευρά του φούρνου, τρέφονται από έναν κύλινδρο φόρτισης από την πλευρά του φούρνου μέσα στο φούρνο. Οι ράβδοι μέσα στο φούρνο προωθούνται ο ένας μετά τον άλλο από τις κοντινές ακτίνες που διατηρούν συνεχή ορθογώνια κίνηση. Οι ράβδοι που έχουν θερμανθεί και εμποτιστεί εσωτερικά του φούρνου στη συνέχεια μεταφέρονται σε έναν κύλινδρο αποφόρτισης για να αποφορτίζονται συνεχώς μέσω της πλευράς του φούρνου όπως απαιτείται από την κυλινδρική διαδικασία .

Αυτός είναι ένας φούρνος αναθέρμανσης που ενσωματώνει εξοικονόμηση ενέργειας (πάνω από 30% μείωση του CO<sub>2</sub>), μείωση εγκατάστασης σε μέγεθος πάνω από 20%, και χαμηλή NOx καύση σύμφωνα με το περιβαλλοντικό επίπεδο ρύθμισης.

Ο φούρνος έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά. Ο φούρνος ενσωματώνει ένα υψηλής ταχύτητας εκτόξευσης αέρα σύστημα καύσης αναγεννητικού καυστήρα . Με τους υψηλής ταχύτητας εκτόξευσης αέρα αναγεννητικούς καυστήρες που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η απόδοση του φούρνου που αναφέρθηκε παραπάνω, το σύστημα καύσης του φούρνου χρησιμοποιεί υψηλής θερμοκρασίας προθερμασμένο αέρα σε μια θερμοκρασία ψηλότερη από αυτή που χρειάζεται για αυτό ανάφλεξη (περίπου 800°C).

Το σώμα θέρμανσης του φούρνου μειώνεται σε μέγεθος. Οι διαστάσεις του σώματος του φούρνου έχουν μειωθεί σε σύγκριση με τους συμβατικούς φούρνους, για να σχηματίσουν ένα μικρό, χαμηλό φούρνο θέρμανσης. Ενώ ένας συμβατικός φούρνος αναθέρμανσης ράβδων έχει σχεδιαστεί για μεγάλα, φαρδιά αντικείμενα, καυστήρες θέρμανσης αξονικής ροής είναι αναγκαίοι για να εξασφαλισθεί η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας προς την

κατεύθυνση του πλάτους του φούρνου. Ωστόσο, με αυτό το σύστημα καύσης που αποτελείται από υψηλής ταχύτητας εκτόξευσης αέρα αναγεννητικούς καυστήρες, η ομοιομορφία της κατανομής της θερμοκρασίας προς την κατεύθυνση του πλάτους πραγματοποιείται μέσω μιας πλάγιας μεθόδου θέρμανσης. Η χρήση της πλάγιας μεθόδου θέρμανσης κατέστησε δυνατό για τον φούρνο να είναι σχεδιασμένος ως μια απλή μονάδα είδους κιβωτίου. Επιπλέον, δεν υπάρχει μύτερο τμήμα. Έτσι, το ύψος του φούρνου μειώνεται.

Ο φούρνος διαθέτει τις ακόλουθες βελτιώσεις:

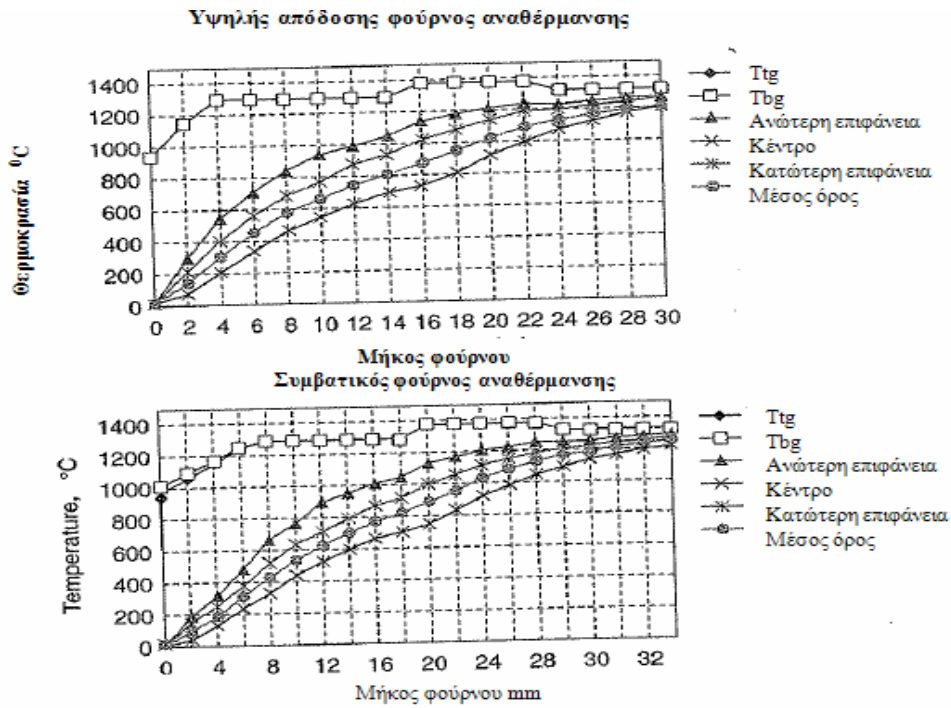
1. *Μεγιστοποιημένη μεταφορά θερμότητας:* Με πεπλατυσμένο χρονοδιάγραμμα κατανομής της θερμοκρασίας και αυξημένη αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας, η επίδραση της μεταφοράς θερμότητας ως προς τα υλικά του χάλυβα μεγιστοποιείται.
2. *Ομοιόμορφη θέρμανση:* Με την εν τω φούρνο καύση αερίων να ανακατεύεται πλήρως, η ομοιόμορφη θέρμανση των υλικών του χάλυβα πραγματοποιείται στον ίδιο βαθμό όπως επιτυγχάνεται με την συμβατική τεχνολογία.
3. *Μειωμένη απώλεια θερμότητας:* Με κρίσιμη θερμότητα που ανακτάται από τους αναγεννητικούς καυστήρες, μειώνεται η απώλεια θερμότητας.

Χρησιμοποιώντας μεθόδους ελέγχου με βάση τα χαρακτηριστικά των αναγεννητικών καυστήρων που εφαρμόζονται για έλεγχο της θερμότητας, έλεγχο της πίεσης του φούρνου, και έλεγχο του οξυγόνου, πραγματοποιείται σταθερή λειτουργία.

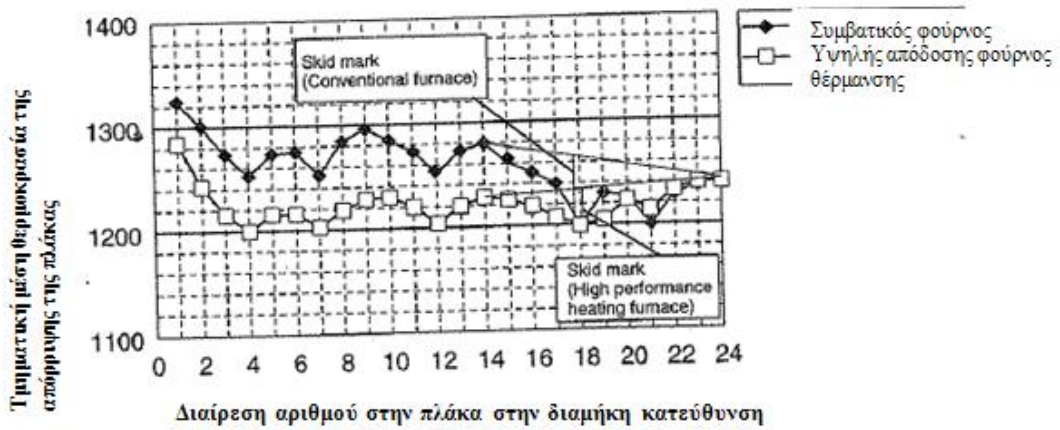
Πυρίμαχα υλικά και η δομή της επιφάνειας των ινών χρησιμοποιούνται για την οροφή του φούρνου και των τοιχωμάτων για να υλοποιήσουν υψηλές εξοικονομήσεις ενέργειας και χαμηλής αδράνειας θερμότητα. Εξάλλου, μια κεραμική εσωτερική επιφάνεια ινών χρησιμοποιείται για τον φούρνο για να βελτιωθεί η θερμική επίδραση της θερμομόνωσης.

Το κτήριο εγκαταστάσεων και θεμελίωσης μειώθηκε επίσης σε μέγεθος. Με την απασχόληση των αναγεννητικών καυστήρων, ο ανακτητής που χρησιμοποιούνταν σε ένα συμβατικό φούρνο μπορεί να παραλειφθεί. Όπως το μήκος και το ύψος του φούρνου μειώνονται, τα ύψη του κτηρίου εγκατάστασης και θεμελίωσης μπορούν επίσης να μειωθούν. Ως αποτέλεσμα, ο χώρος εγκατάστασης του φούρνου και ο άλλος εξοπλισμός γίνονται μικρότεροι από αυτών για ένα συμβατικό φούρνο.

Η ποιότητα των προϊόντων και η απόδοση έχουν βελτιωθεί. Σαν αποτέλεσμα της βελτιωμένης ικανότητας η μεταφοράς θερμότητας στο φούρνο με την χρήση αναγεννητικών καυστήρων, ο χρόνος θέρμανσης που απαιτείται για τα τεμάχια του χάλυβα μειώνεται. Αυτό οδηγεί σε μια μείωση της κλίμακας σχηματισμού στην επιφάνεια των τεμαχίων του χάλυβα και επίσης μια μείωση της εξανθράκωσης.



Εικ. 1.58 : Καμπύλες αύξησης θερμοκρασίας



Εικ. 1.59: Κατανομή της θερμοκρασίας αποφόρτισης

### 1.4.3 ΦΟΥΡΝΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μια διατομή ενός ημισυνεχούς φούρνου θερμικής επεξεργασίας (STC φούρνος), που αποτελείται από τράπεζα φόρτισης, δωμάτιο θέρμανσης, και τράπεζα αποφόρτισης, φαίνεται στην Εικόνα 1.60 ως παράδειγμα φούρνου θερμικής επεξεργασίας παραγωγής. Υλικά για την θερμική επεξεργασία στον πίνακα φόρτισης μεταφέρονται μέσα στο φούρνο με κυλίνδρους οδήγησης, θερμική επεξεργασία και τέλος της διαδικασίας θερμικής επεξεργασίας με την μεταφορά τους στην τράπεζα αποφόρτισης. Ο φούρνος είναι γεμάτος με ατμοσφαιρικά αέρια για να αποτρέψει την οξείδωση, και την εξανθράκωση, και σωλήνες ακτινοβολίας εγκαθίστανται και στις ανώτερες και κατώτερες περιοχές των υλικών θερμικής επεξεργασίας καθώς και από κάτω τους. Ανεμιστήρες ανάδευσης εγκαθίστανται στην οροφή του δωματίου θέρμανσης για να βελτιωθεί η κατανομή της θερμοκρασίας.

#### 1.4.3.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ

Το μοντέλο  $\Phi_{CG}$ , το οποίο έχει έναν όρο εμβαδού επιφάνειας του αερίου, χρησιμοποιείται γενικά για την εκτίμηση της συνολικής απορροφητικότητας της θερμότητας. Με έναν έμμεσο φούρνο θέρμανσης, που χρησιμοποιεί ακτινοβόλους σωλήνες (Radiant Tubes), χρησιμοποιείται ένα μοντέλο μεταφοράς θερμότητας για υπολογισμό χωρίς εξέταση της ακτινοβολίας του αερίου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.61. Το μοντέλο  $\Phi_{CH}$  δεν έχει όρο της ακτινοβολίας αερίου σε αντίθεση με το μοντέλο  $\Phi_{CG}$  για φούρνο απευθείας θέρμανσης. Ο παρακάτω πίνακας συγκρίνει τα δύο μοντέλα. Όπως φαίνεται στα μοντέλα εξισώσεων, το μοντέλο  $\Phi_{CH}$  δεν περιλαμβάνει τους όρους της επιφάνειας του αερίου  $A_G$  και εκπομπής αερίων  $\epsilon_g$ , και αυτό καθορίζεται από την γεωμετρική σχέση των θέσεων του χώρου θέρμανσης και περιοχής θερμικής υποδοχής.

Το  $\Phi_{CH}$  μπορεί να υπολογιστεί με την Εξίσωση 1.3:

$$q = \sigma \Phi_{CH} (T_H^4 - T_C^4) \quad (1.3)$$

όπου  $q$  είναι η ροή θερμότητας ( $W/m^2$ ),  $T_C$  είναι η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας των τυλιγμάτων,  $T_H$  είναι η μέση θερμοκρασία των RT, και  $\sigma$  είναι η σταθερά Stefan-Boltzmann. Το  $\Phi_{CH}$  και  $\lambda$  στο υλικό τύπου πλάκας είναι παράγοντες που σχετίζονται με την ανύψωση της θερμοκρασίας του θερμού υλικού στο φούρνο θερμικής επεξεργασίας RT, όπως φαίνεται στην σχετική εικόνα. Η ροή θερμότητας στην επιφάνεια των υλικών που υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία μπορεί να υπολογιστεί αν  $\Phi_{CH}$  ορίζεται και, περαιτέρω, η διαδικασία ανύψωσης της θερμοκρασίας και στις σταθερές και μη σταθερές συνθήκες θέρμανσης μπορεί να υπολογιστεί αν η θερμική αγωγιμότητα  $\lambda$  ορίζεται. Το μοντέλο υπολογισμού του  $\Phi_{CH}$  φαίνεται στην Εξίσωση 1.4 με την εκπομπή της επιφάνειας του RT,  $\epsilon_H$ , και της επιφάνειας του πηνίου,  $\epsilon_C$ :

$$\frac{1}{f_{CH}} = \frac{1}{\bar{F}_{CH}^*} + \frac{A_C}{A_H} \left( \frac{1}{\epsilon_H} - 1 \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_C} - 1 \right) \quad (1.4)$$
$$\bar{F}_{CH}^* = F_{CH}^* + F_{RH}^* \left[ \frac{F_{RC}}{1 - F_{RR}^*} \right] = F_{CH} + F_{RH} \left[ \frac{F_{RC}}{1 - F_{RR}} \right] = F_{CH}$$

Ο υπολογισμός του παράγοντα του σχήματος  $F_{CH}$  μιας επιφάνειας θέρμανσης που προβλέπεται από την πλευρά της θερμικής επεξεργασίας των υλικών είναι ευκολότερος αν τα δεδομένα των γωνιών συνδέονται με τις συστοιχίες του σωλήνα διότι το RT είναι σε μορφή σωλήνα. Όταν η μεταφορά θερμότητας είναι σε μια διάσταση της κατεύθυνσης του πάχους της πλάκας, η κύρια εξίσωση (Εξίσωση 1.5) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπολογισμό της κατανομής της θερμοκρασίας στην πλάκα :

$$\frac{dT}{dt} = a \left( \frac{d^2T}{dx^2} \right) = \frac{l}{rc} \left( \frac{d^2T}{dx^2} \right) \quad (1.5)$$

όπου:

$c$  = ειδική θερμότητα του υλικού

$a$  = θερμική αγωγιμότητα =  $\lambda/rc$

$\rho$  = ειδικό βάρος

$\lambda$  = θερμική αγωγιμότητα του υλικού

Μπορεί να μην είναι εύκολο να λύσουμε αυτή τη διαφορική εξίσωση αναλυτικά όταν η οριακή συνθήκη είναι σύνθετη. Συνήθως, ο αριθμητικός υπολογισμός της δευτερεύουσας διαφορικής εξίσωσης εκτελείται μετά την δευτερεύουσα διαφορική εξίσωση μετατραπεί σε μια πεπερασμένη διαφορική εξίσωση από την διεύρυνση Taylor. Υποθέτοντας ότι η θερμοκρασία ενός συγκεκριμένου επιπέδου  $i$  στην κατεύθυνση βάθους της πλάκας είναι  $T_i$  και η θερμοκρασία του επιπέδου που προχωρά με την απόσταση του λεπτού του  $\Delta x$  μέσα στην εσωτερική κατεύθυνση της ροής θερμότητας είναι  $T_{i+1}$ , η απόσταση λεπτού του  $\Delta x$  της εξωτερικής κατεύθυνσης είναι  $T_{i-1}$ , όπως φαίνεται στην σχετική εικόνα. Η μεταβατική θερμική αγωγιμότητα που εκφράζεται με την Εξίσωση 1.5 μπορεί να μετατραπεί στην Εξίσωση 1.6:

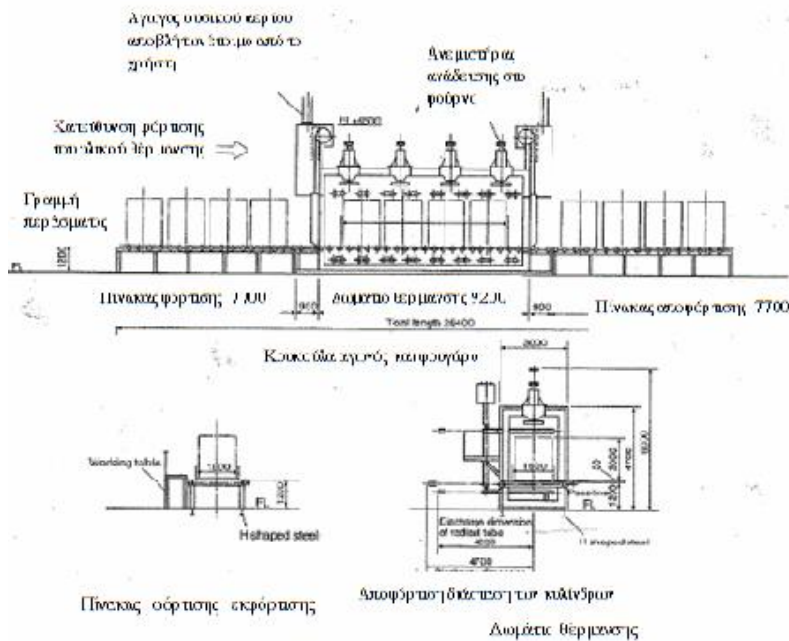
$$T_i^{(j+1)} = T_i^j + a \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} (T_{i-1} - 2T_i + T_{i+1}) \quad (1.6)$$

Σύμφωνα με τις οριακές συνθήκες στα άκρα της πλάκας, η ποικίλη κατανομή θερμοκρασίας στην πλάκα μπορεί να ληφθεί αριθμητικά με την επίλυση της Εξίσωσης 1.6.

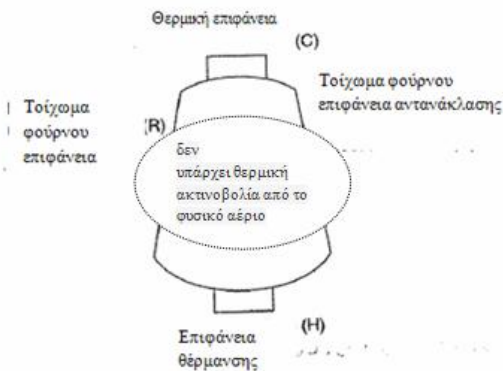
Για τον υπολογισμό του  $\Phi_{CH}$  και  $\lambda$ , το σπειροειδές καλώδιο είναι το ίδιο όπως η πλάκα, αν γνωρίζουμε το  $\Phi_{CH}$  της επιφάνειας του πηνίου και τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητάς του σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας του πηνίου. Συνεπώς, ενώ η θερμική αγωγιμότητα προς την κατεύθυνση του κύκλου του σπειροειδούς καλωδίου μπορεί να καθοριστεί από την στερεά θερμική αγωγιμότητα του πηνίου, η μεταφορά θερμότητας στην ακτινωτή κατεύθυνση αποφασίζεται από τρεις παράγοντες. Αυτά είναι η αγωγιμότητα της θερμότητας από την επαφή των καλωδίων, η συναγωγή της θερμότητας στο πλαίσιο της

εκκαθάρισης του αέρα μεταξύ των καλωδίων, και η θερμική ακτινοβολία μεταξύ των καλωδίων.

Συνήθως κάποια αποτελεσματικά μοντέλα θερμικής αγωγιμότητας στην κλίση δέσμης αναφέρονται στα εγχειρίδια της μηχανική μεταφοράς θερμότητας. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για σφαιρικά στερεά και ως εκ τούτου δεν υπάρχει μοντέλο που μπορεί να εφαρμοστεί για καλώδιο. Μπορούμε να υπολογίσουμε την πραγματική θερμική αγωγιμότητα των καλωδίων μέσω μιας μεθόδου του αντίστροφου υπολογισμού του  $\lambda$  μέσω της διαφορικής εξίσωσης της θερμικής αγωγιμότητας (κυλινδρική ένδειξη του άξονα) χρησιμοποιώντας μετρημένα δεδομένα κατανομής της θερμότητας σε σπειροειδή καλώδια.



Εκ. 1.60: Διατομή του φούρνου STC



Εκ. 1.61: Μεταφορά θερμότητας σε φούρνο στην περίπτωση της μη ακτινοβολίας του αερίου καύσης.



Πίνακας 1.21: Σύγκριση μοντέλων  $\Phi_{CH}$  και  $\Phi_{CG}$

$\Phi_{CH}$

$\Phi_{CG}$

Μοντέλο εξίσωσης:

$$\frac{1}{\phi_{CH}} = \frac{1}{F_{CH}^*} + \frac{A_c}{A_H} \left( \frac{1}{\varepsilon_H} - 1 \right) + \left( \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right)$$

$$\frac{1}{\phi_{CG}} = \frac{1}{F_{CG}^*} + \left( \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right)$$

$$\overline{F_{CH}^*} = F_{CH}^* + F_{RH}^* \left[ \frac{F_{RC}^*}{1 - F_{RR}^*} \right]$$

$$\overline{F_{CG}^*} = \varepsilon_g \left( \frac{A_g}{A_T} \right) \times$$

$$= F_{CH}^* + F_{RH}^* \left[ \frac{F_{RC}^*}{1 - F_{RR}^*} \right] \leftarrow \varepsilon_g = 0$$

$$= F_{CH}^*$$

$$\left[ 1 + \frac{A_R}{A_c} \frac{1}{1 + \left( \frac{A_T}{A_g} - \varepsilon_g \right) \frac{1}{F_{RC}^*}} \right]$$

$\Phi_{CG}$ = φούρνος που έχει ακτινοβολία καυσαερίων στο φούρνο, ως απευθείας θέρμανσης φούρνος.

$\Phi_{CH}$ =φούρνος που δεν έχει ακτινοβολία αερίων στον φούρνο, όπως ένας ακτινοβόλος σωλήνας θερμικής επεξεργασίας φούρνος, φούρνος, ηλεκτρικής θέρμανσης φούρνος κτλ.

$A_c$  = περιοχή επιφάνειας θέρμανσης

$A_H$  = περιοχή επιφάνειας θέρμανσης

$\varepsilon_c$  = εκπομπή της επιφάνειας θέρμανσης

$\varepsilon_H$  = εκπομπή της επιφάνειας θέρμανσης

$F_{ij}$  = παράγοντας σχήματος

$F_{ij}^*$  = παράγοντας σχήματος με εκτίμηση της ακτινοβολίας αερίου

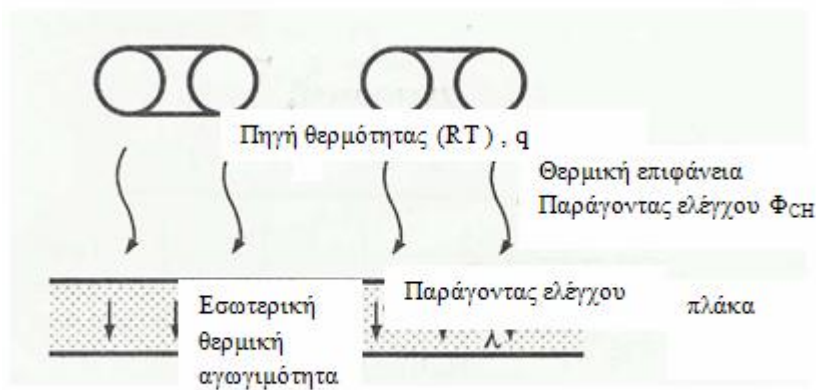
$\overline{F_{ij}^*}$  = παράγοντας σχήματος με εκτίμηση της ακτινοβολίας αερίου και της επιφάνειας αντανάκλασης

$A_T$  = συνολική επιφάνεια του τοιχώματος του φούρνου

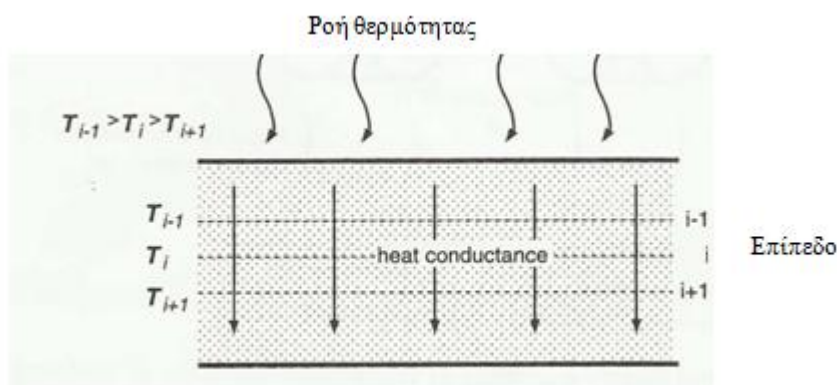
$A_g$  = περιοχή επιφάνειας του σώματος αερίου

$A_R$  = περιοχή της επιφάνειας αντανάκλασης

$\varepsilon_g$  = εκπομπή του αερίου



**Εκ. 1.62: Παράγοντες ελέγχου σύμφωνα με τη ανύψωση της θερμοκρασίας των θερμανόμενων υλικών.**



**Εκ.1.63: Κατανομή της θερμοκρασίας σε άπειρου μήκους πλάκα**

### 1.4.3.2 Υπό κλίμακα Φούρνος για εμπορική παραγωγή

Ενώ οι δοκιμές γενικά διεξάγονται σε πειραματικό φούρνο, η μέθοδος της υπό κλίμακα (μοντέλο) για εμπορική εφαρμογή με την εφαρμογή του κανόνα της ομοιότητας είναι σημαντικό να ληφθεί η υψηλή αποδοτικότητα σε ένα φούρνο παραγωγής. Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν εν συντομία οι συνθήκες να αντιληφθεί κανείς τον κανόνα της ομοιότητας μεταξύ του δοκιμαστικού φούρνου και του υψηλής αποδοτικότητας θερμικής επεξεργασίας φούρνου. Οι συνθήκες για να αντιληφθεί κανείς τον κανόνα της ομοιότητας μεταξύ του δοκιμαστικού φούρνου και του φούρνου υψηλής απόδοσης με την μέθοδο της θερμικής επεξεργασίας και η συνθήκη για να συνειδητοποιηθεί ο κανόνας της ομοιότητας των φαινομένων της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των δύο φούρνων που συγκρίνονται είναι οι εξής:

#### 1.Κατανόηση γεωμετρικής ομοιότητα

Η σχέση,  $D_1 / W_1 = D_2 / W_2$ , στην Εικόνα 1.64 πρέπει να γίνει αντιληπτή. Οι διαστάσεις του προαναφερθέντος πειραματικού φούρνου είναι  $D_1$  (μέση τιμή) = 1.37 m,  $W_1 = 2$  m, η σχέση,  $D_1 / W_1 = 1.37 / 2 = 0.685$ , μπορεί να ληφθεί. Αν  $D_2 / W_2 = 0.685$  σε άλλον φούρνο υψηλής

απόδοσης, τότε η συνοχή της γεωμετρικής ομοιότητας μεταξύ των δύο φούρνων μπορεί να κατανοηθεί.

## 2. Επίλυση των αδιάστατων εξισώσεων ελέγχου

Η σχέση των γεωμετρικών θέσεων του υλικού θερμικής επεξεργασίας και RT μόνο καθορίζει την διάρκεια της ακτινοβολίας, διότι το μοντέλο  $\Phi_{CH}$  που εφαρμόζεται στην ακτινοβολία του φούρνου RT δεν έχει κανένα όριο στην επιφάνεια του αερίου. Επειδή συνειδητοποιείται ο κανόνας της γεωμετρικής ομοιότητας μεταξύ του πειραματικού φούρνου και του υψηλής απόδοσης θερμικής επεξεργασίας φούρνου από την σχέση των περιγραφθέντων προηγουμένως ειδών σε αυτό το τμήμα, οι δύο φούρνοι έχουν την ίδια αξία του  $\Phi_{CH}$ . Ο κανόνας της ομοιότητας στη μεταφορά θερμότητας στο φούρνο μπορεί ως εκ τούτου να ληφθεί μόνο από τον όρο της συναγωγής.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο φούρνο αποτελείται από έξι παραμέτρους, όπως φαίνεται στην Εξίσωση 1.7:

$$\alpha = f(L, V, \rho, \mu, \lambda, C_p) \quad (1.7)$$

όπου:

L = πρότυπο μήκος

$\rho$  = πυκνότητα του ρευστού

$\lambda$  = θερμική αγωγιμότητα

V = μέση ταχύτητα ροής

$\mu$  = ιξώδες του ρευστού

$C_p$  = μέση ειδική θερμότητα του ρευστού

Η διαστατική ανάλυση της Εξίσωσης 1.7 από το θεώρημα του Buckingham παρέχει προβλέπει ότι οι παράμετροι είναι  $6-3 = 3$ . Συνεπώς η γνωστή αδιάστατη εξίσωση ελέγχου συναγωγής μεταφοράς θερμότητας μπορεί να ληφθεί ως η ακόλουθη έκφραση:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (1.8)$$

Η αδιάστατη εξίσωση ελέγχου για δύο φούρνους μπορεί να υποστηριχθεί ισοδύναμα με την εφαρμογή της Εξίσωσης 1.9:

$$Nu_x = 0.33Re^{1/2}Pr^{1/3} \quad (1.9)$$

### 3.Επίλυση των αδιάστατων οριακών συνθηκών

Από την Εξίσωση 1.8, οι αριθμοί Nusselt (Nu) μπορεί να διατηρηθούν ίσοι με το συνδυασμό των τιμών του αριθμού Reynolds Re και του αριθμού Prandtl Pr μεταξύ των δύο συστημάτων. Σε αυτό, οι Pr αυτών των συστημάτων μπορούν να διατηρηθούν ίσοι κάτω από το ίδιο είδος του αερίου, διότι όλοι οι παράμετροι καθορίζονται από το είδος του ατμοσφαιρικού αερίου. Αν οι τιμές του Re των δύο συστημάτων είναι οι ίδιες, τότε οι συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω για να συνειδητοποιηθεί ο κανόνας της ομοιότητας στην μεταφορά θερμότητας στους φούρνους πληρούνται.

Από την ακόλουθη σχέση, η μέση διάμετρος του πηνίου στον δοκιμαστικό φούρνο  $D=1.37\text{m}$  και η μέση ταχύτητα ροής γύρω από το πηνίο στο δοκιμαστικό φούρνο  $V=3.36\text{ m/s}$ , μπορούμε να λάβουμε την ακόλουθη σχέση:

$$Re_1 = \frac{rVD}{m} = 30.8 \times 10^4$$

$$\text{Όπου: } \rho=1.205\text{ Kg/m}^3 \text{ και } \mu=0.018 \times 10^{-3}\text{ Pa.s}$$

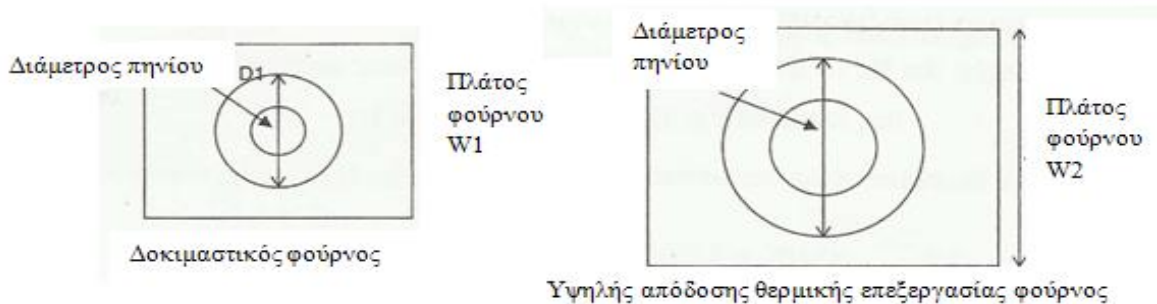
Αντίστοιχα, ο Re του φούρνου υψηλής απόδοσης θερμικής επεξεργασίας είναι:

$$Re_2 = 66944V \times 1.55 = 30.8 \times 10 \quad (1.10)$$

Αν η μέση διάμετρος του πηνίου θερμικής επεξεργασίας στον φούρνο υψηλής απόδοσης είναι  $1.55\text{ m}$ , τότε

$$D_2/W_2 = 1.55/W_2 = 0.685 \quad (1.11)$$

Συνεπώς, η επιλογή της ικανότητας του ανεμιστήρα μπορεί να προβλεφθεί ως  $V=2.97\text{ m/s}$  από την Εξίσωση 1.10 και μπορεί να σχεδιαστεί ένας φούρνος υψηλής απόδοσης θερμικής επεξεργασίας ο οποίος έχει τα ίδια χαρακτηριστικά της μεταφοράς θερμότητας όπως ο δοκιμαστικός φούρνος υιοθετώντας την διάσταση του φούρνου του  $W_2=2.26\text{ m}$  από την Εξίσωση 1.11.



Εικ. 1.64: Φούρνος δοκιμών και υψηλής απόδοσης θερμικής επεξεργασίας φούρνος

### 1.4. 3. 3 Σχέδιο Δοκιμής του Φούρνου Θερμικής Επεξεργασίας

Αυτό το τμήμα συζητάει τις διαστάσεις σχεδιασμού που είναι απαραίτητες για τον πραγματικό RT-τύπο φούρνο θερμικής επεξεργασίας και, συγκεκριμένα, τις διαστάσεις σχεδιασμού για γενική χρήση και για τους δύο διακεκομμένης λειτουργίας και συνεχούς λειτουργίας φούρνους, καθώς και η συνοπτική περιγραφή της θερμικής επεξεργασίας που εφαρμόζεται με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάπτυξη της υψηλής απόδοσης του φούρνου. Τα αποτελέσματα της θερμικής επεξεργασίας είναι μια μείωση του 30% σε CO<sub>2</sub>, και σε χαμηλό NO<sub>x</sub> επίπεδο, τα οποία πληρούν τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις.

Τα χαρακτηριστικά της ελάχιστης απώλειας των αποβλήτων αερίου και η ομοιομορφία της RT θερμοκρασίας πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας τον RT-τύπο αναγεννητικό καυστήρα. Η ελάχιστη απώλεια των αποβλήτων αερίου και της ομοιομορφίας της RT θερμοκρασίας πραγματοποιούνται με τον RT-τύπο αναγεννητικού καυστήρα, και ως αποτέλεσμα μέγιστη μεταφορά θερμότητας λαμβάνεται σε υλικά θέρμανσης, καθώς και βέλτιστη ανάδευση ανεμιστήρων στο φούρνο. Η ομοιομορφία της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή στα γύρω υλικά θέρμανσης πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ανακινητικούς ανεμιστήρες, οι οποίοι διατηρούν την ομοιόμορφη ροή του ατμοσφαιρικού αερίου στο φούρνο θερμικής επεξεργασίας. Η ομοιομορφία της θερμοκρασίας των δύο υλικών θέρμανσης του φούρνου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των προαναφερόμενων χαρακτηριστικών. Η σταθερή λειτουργία του φούρνου και η ομοιομορφία της RT θερμοκρασίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με την υιοθέτηση του συστήματος ελέγχου θέρμανσης κατάλληλη για RT-τύπο αναγεννητικού καυστήρα.

Η πραγματική μέθοδος σχεδιασμού περιγράφεται παρακάτω:

1. Η ροή του σχεδιασμού (Εικόνα 1.65)

2. Η μελέτη των προδιαγραφών του χρήστη

α . Πηγή θερμότητας: είδη των καυσίμων, θερμογόνες δυνάμεις, παροχή πίεσης κλπ.

β . Χρήση υλικών για την θερμική επεξεργασία: όνομα, ποιότητα, και σχήμα (μέγιστο μέγεθος, ελάχιστο μέγεθος, διαστάσεις, και βάρος συγκεκριμένων υλικών)

γ . Θερμοκρασία: κανονική θερμοκρασία, ελάχιστη θερμοκρασία ; αντικείμενα που φυλάσσονται εντός του απαιτούμενου εύρους θερμοκρασίας, αριθμός των σημείων μέτρησης και μεθόδων μέτρησης

δ . Ικανότητα επεξεργασίας: η προδιαγραφή της ικανότητας απαιτείται στα όρια του kg/h ή t/h στην περίπτωση των φούρνων συνεχούς λειτουργίας και kg/παρτίδα ή t/παρτίδα στην περίπτωση των φούρνων διακεκομμένης λειτουργίας; αν όχι, εναλλακτικά όρια (για παράδειγμα, μηνιαίο ποσό επεξεργασίας και χρόνος λειτουργίας) απαιτούνται

ε. Νερό ψύξης: η οποία πηγή νερού (βιομηχανικό νερό, καλό νερό, νερό πόλης, άλλα) είναι διαθέσιμη και η θερμοκρασία, ικανότητα, και πίεση της ύδρευσης πρέπει να επιβεβαιωθεί ; με το βιομηχανικό νερό, η ποιότητα του νερού πρέπει να ελεγχθεί, διότι ατυχήματα λόγω της διάβρωσης μπορεί να συμβούν

στ. Καμπύλη θερμοκρασίας: Η καμπύλη θερμοκρασίας πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά, λόγω των περιστασιακών λαθών κατά τη διάρκεια των επιθεωρήσεων

ζ. Άλλα: διακύμανση της τρέχουσας τάσης, μια επείγουσα παροχή ρεύματος, ατμόσφαιρα στο φούρνο, μονάδες ελέγχου της θερμοκρασίας, γερανοί, θέση, βοηθητικός εξοπλισμός, κλπ. πρέπει να επιβεβαιωθούν. Επίσης καθορίζονται άλλα θέματα, αν υπάρχουν.

Βάσει αυτών των λεπτομερειών, ένα σχέδιο και οι θεμελιώδεις λεπτομέρειες μπορούν να συνταχθούν.

3. Θεμελιώδες σχέδιο της μελέτης, το οποίο είναι βασισμένο στις ακόλουθες εκτιμήσεις:
  - α . Αντίμετρα για εξοικονόμηση ενέργειας: εγκατάσταση της ζώνης προθέρμανσης (ιδιαίτερα στην περίπτωση του συνεχούς φούρνου); ανάκτηση θερμότητας από δίσκους και υλικά θέρμανσης; μείωση της συσσωρευμένης θερμότητας στα τοιχώματα και της ακτινοβόλου θερμότητας από τα τοιχώματα με την επιλογή μονωτικών υλικών
  - β . Αντίμετρα για εξοικονόμηση εργασίας: εγκατάσταση αυτόματης φόρτισης των υλικών, αυτόματης τροφοδοσίας πετρελαίου, κλπ.
  - γ . Νομοθετική ρύθμιση: επιβεβαίωση του κανονισμού αξιών των NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, και ούτω καθεξής, που μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την τοποθεσία ; τιμές κανονισμού θορύβου: επιλεκτικοί καυστήρες και φυσητήρες με προδιαγραφές χαμηλού θορύβου
  - δ . Διαμόρφωση φούρνου: Υπάρχουν ποικίλες διαμορφώσεις ανάλογα με τον τύπο του συνεχούς φούρνου; για ένα φούρνο ημιδιακεκομμένης λειτουργίας θερμικής επεξεργασίας για σπειροειδές καλώδιο, και οι δύο θέρμανση και ψύξη διεξάγονται στον ίδιο θάλαμο
  - ε . Άλλα: εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους, αντίμετρα για την ρύθμιση της ευθύνης λόγω ελαττωματικών προϊόντων (PL), συντήρηση, κλπ.

#### 4 . Αποφασίζοντας θεμελιώδεις προδιαγραφές

α . Αποφασίζοντας το πλάτος του φούρνου: υιοθέτηση έγκριση του πλάτους των υλικών θέρμανσης

β . Αποφασίζοντας το ύψος του φούρνου:

1. Διάκενο μεταξύ της οροφής του φούρνου και του ανεμιστήρα
2. Διάσταση που προσδιορίζεται με αναφορά στην αλλαγή του μήκους του άξονα ανεμιστήρα λόγω της θερμότητας και της χαλαρότητας των πτερυγίων του ανεμιστήρα (περίπου 200 mm)

γ . Αποφασίζοντας το μήκος του φούρνου: (στην περίπτωση του συνεχούς φούρνου):

1. Μέγεθος του δίσκου (από τα μεγέθη των υλικών θέρμανσης)
2. Φόρτωση βάρους ανά δίσκο
3. Χρόνος κύκλου σύμφωνα με την ικανότητα επεξεργασίας (ταχύτητα μεταφοράς)
4. Μήκος φούρνου σχετικά με το χρόνο θέρμανσης, χρόνο εμποτισμού και χρόνο ψύξης.

δ . Απαραίτητη ικανότητα θέρμανσης στο φούρνο: γενικότερα, τα υλικά θέρμανσης σε ένα φούρνο θερμικής επεξεργασίας αντιμετωπίζονται από το μοτίβο θερμότητας. Η ικανότητα θερμότητας απαραίτητη για την διεξαγωγή του μοτίβου θερμότητας υπολογίζεται ως εξής:

1. Υλικά θερμότητας  $H_{CP}$

$$H_{CP} = M(C_F - C_{room})$$

$C_F$  = θερμικό περιεχόμενο σε θερμοκρασία θερμικής επεξεργασίας

$C_{room}$  = θερμικό περιεχόμενο σε θερμοκρασία δωματίου

$M$  = μάζα υλικών θέρμανσης

2. Μεταλλικά εξαρτήματα θέρμανσης στο φούρνο  $H_{MF}$

$$H_{MF} = M_{MF} (C_F - C_{exit})$$

$C_F$  = θερμικό περιεχόμενο σε θερμοκρασία θερμικής επεξεργασίας

$C_{exit}$  = θερμικό περιεχόμενο σε θερμοκρασίας σημείου αποφόρτισης

$M_{MF}$  = μάζα μεταλλικών εξαρτημάτων

3. Τοίχωμα φούρνου θέρμανσης  $H_{WL}$

$$H_{WL} = C_{INS}M_{INS}( T_F - T_{exit})$$

$T_F$  = μέση θερμοκρασία του τοιχώματος στην επεξεργασία

$T_{exit}$  = μέση θερμοκρασία του σημείου αποφόρτισης

$C_{INS}$  = ειδική θερμότητα του μονωτή

$M_{INS}$  = μάζα του μονωτή

4. Ικανότητα εκπομπής από το τοίχωμα του φούρνου  $H_{emis}$

$$H_{emis} = qA\Delta t$$

$q$  = μονάδα εκπομπής θερμότητας

$A$  = περιοχή επιφάνειας του φούρνου

$\Delta t$  = χρόνος θέρμανσης και εμποτισμού

5. Θέρμανση ατμοσφαιρικού αερίου  $H_{circ}$

$$H_{circ} = \sum n\Delta T_j \Delta t$$

$n$  = κατανάλωση μονάδας

$\Delta T_j$  = αύξηση μέσης θερμοκρασίας του  $j$  στοιχείου

$\Delta t$  = χρόνος λειτουργίας

6. Απώλεια θερμότητας από νερό ψύξης  $H_{loss}$

$$H_{loss} = n c_{water} \Delta t_{water} \Delta t$$

$n$  = κατανάλωση μονάδας

$c_{water}$  = ειδική θερμότητα νερού

$\Delta t_{water}$  = θερμοκρασιακή διαφορά του νερού

$\Delta t$  = χρόνος θέρμανσης και εμποτισμού

7. Άλλες απώλειες (6) x 10%

8. Ολική θερμοχωρητικότητα  $H_{total\ loss} = (6)+(7)$

$$H_{total\ loss} = 1.1 n c_{water} \Delta t_{water} \Delta t$$

9. Συνολικό ποσό θερμότητας καύσης  $Q_{comb}$

$$Q_{comb} = 1.1 \frac{n}{n_c} c_{water} \Delta T_{water} \Delta t$$

$n_c$  = απόδοση καύσης

10. Κατανάλωση μονάδας καυσίμου  $Q_{fuel\ consumption}$

$$Q_{fuel\ consumption} = H_{total\ loss} / M_{coils}$$

$M_{coils}$  = βάρος των πηνίων.

ε . Θέσεις των ανεμιστήρων στο φούρνο: Οι θέσεις των ανεμιστήρων στο φούρνο μπορούν να καθοριστούν από τον κανόνα της γεωμετρικής ομοιότητας με τον φούρνο δοκιμών.

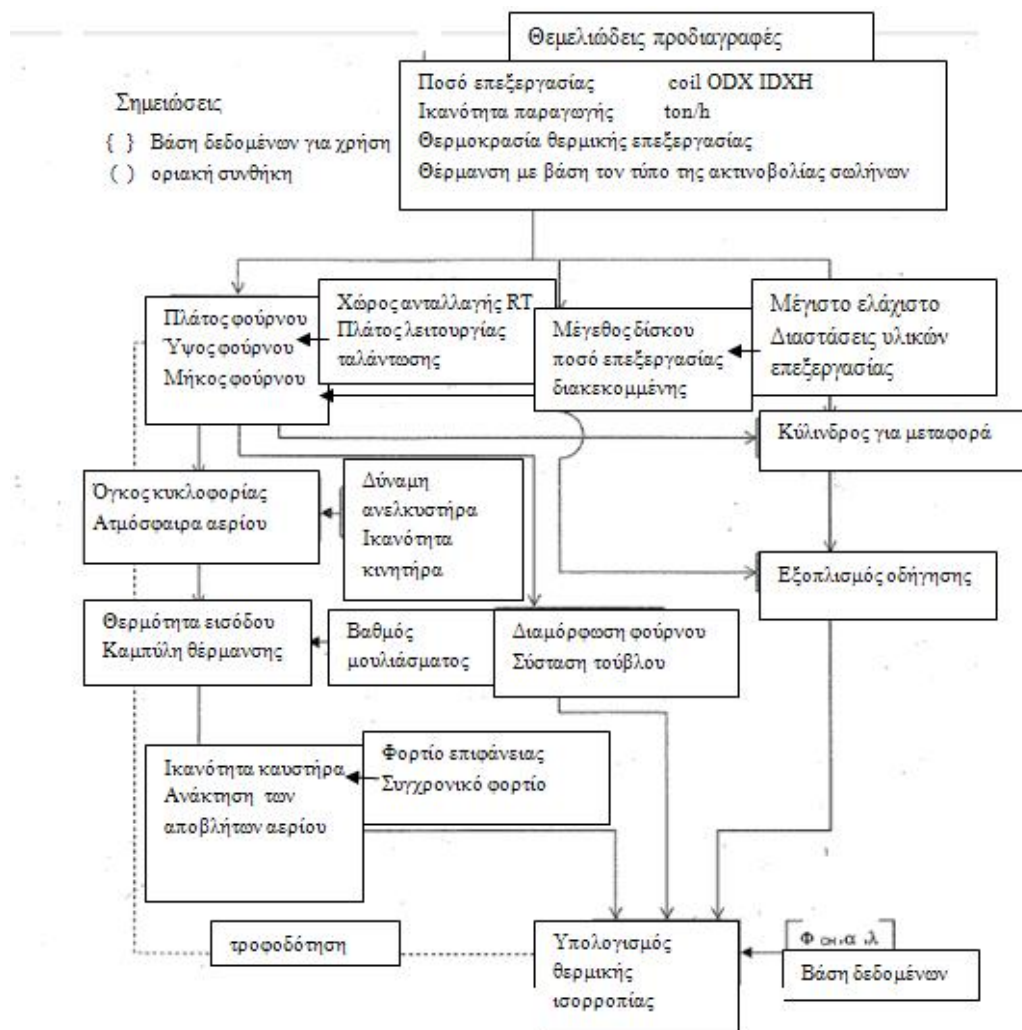
ζ . Ικανότητα του ανεμιστήρα: Η ικανότητα του ανεμιστήρα μπορεί να αποφασιστεί από την υπόθεση ότι μισός από τον συνολικό όγκο του ανέμου που δημιουργείται από τον ανεμιστήρα εκβάλλει /ρέει μέσα στην περιοχή. Η ικανότητα του ανεμιστήρα  $Q$  m<sup>3</sup>/min μπορεί να εκφραστεί με την Εξίσωση 1.12:

$$Q = AV_{av}60 \quad (1.12)$$



Όπου:  $A[m^2]$  είναι η σκιασμένη περιοχή στην Εικόνα 1.70, και  $V_{av} [m/s]$  είναι η μέση τιμή ανέμου γύρω από το πηνίο ίση με εκείνη του φούρνου δοκιμών.

η . Υπολογισμός της θέρμανσης και της ψύξης: Ο υπολογισμός της θέρμανσης και της ψύξης μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας το  $\Phi_{CH}$  της επιφάνειας των πηνίων και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των εσωτερικών πηνίων. Σε αυτή την περίπτωση, ο υπολογισμός της διακριτοποίησης των διαφορικών εξισώσεων της θερμικής αγωγιμότητας μπορεί να γίνει σε ένα προσωπικό κομπιούτερ.

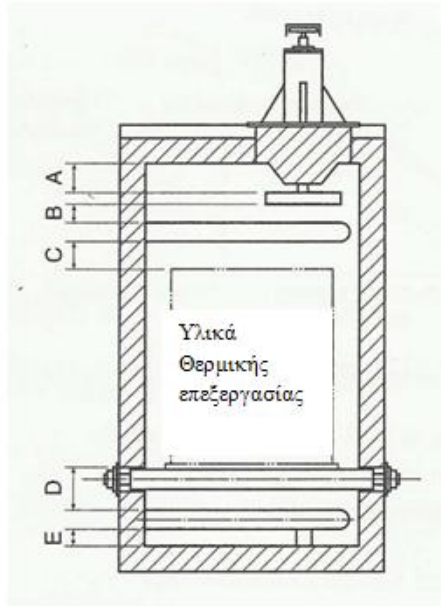


**Εικ. 1.65: Διάγραμμα ροής για τον σχεδιασμό του φούρνου θερμικής επεξεργασίας του τύπου σωλήνα με ακτινοβολία**

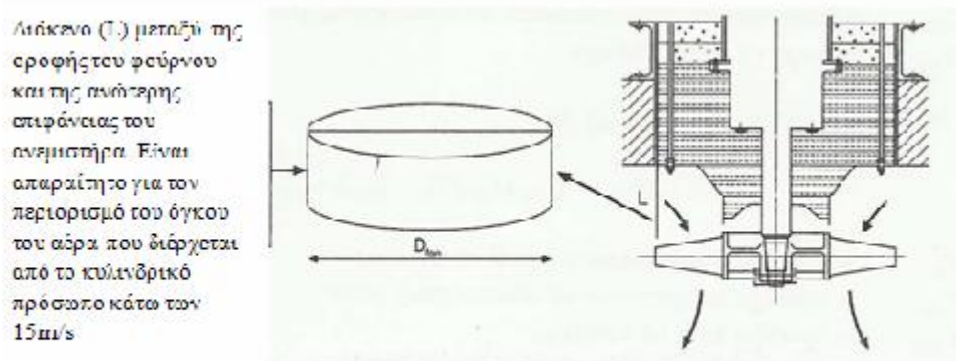
Ετήσιος χρόνος λειτουργίας = 12 μήνες x 25 μέρες x 8 ώρες x χρόνο λειτουργίας 70% = 3360 h

Ετήσιος ρυθμός παραγωγής= 600,000 κομμάτια ανά χρόνο x ατομικό βάρος 50 kg / κομμάτι / ετήσιο χρόνο λειτουργίας 3360 ώρες = 892.86 kg/h

Ικανότητα = 900 kg/h

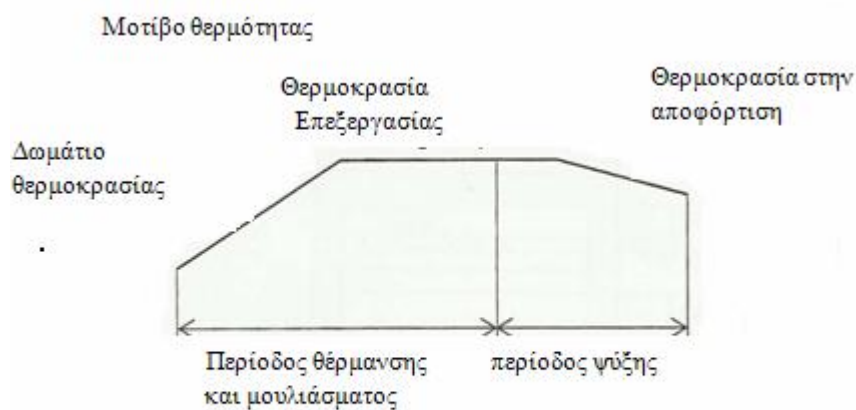


**Εικ. 1.66: Διάσταση του ύψους φούρνου**

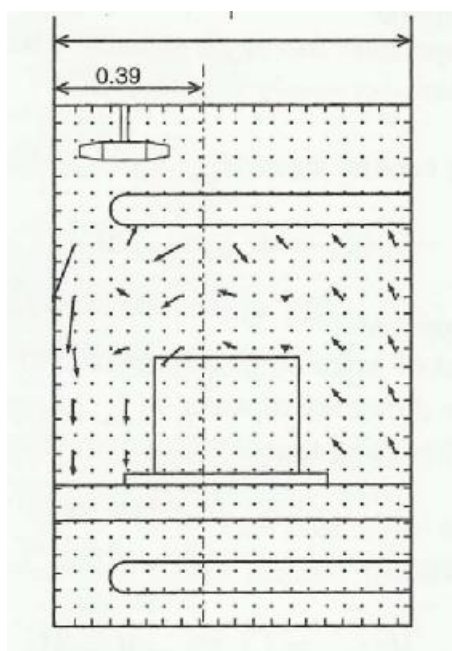


Διάκενο (Γ) μεταξύ της σροφής του φούρνου και της ανώτερης επιφάνειας του ανεμιστήρα. Είναι απαραίτητο για τον περιορισμό του όγκου του αέρα που διέρχεται από το κυλινδρικό πρόσωπο κάτω των 15 m/s

**Εικ. 1.67: Διάκενο μεταξύ της οροφής του φούρνου και του ανεμιστήρα**



**Εικ. 1.68 Μοτίβο θερμότητας του φούρνου θερμικής επεξεργασίας**



**Εικ. 1.69:Κατανομή του ρυθμού ανέμου από τον ανεμιστήρα**

## 1.4.4 ΦΟΥΡΝΟΣ ΤΗΞΗΣ

### 1.4.4.1 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Απαιτείται το καύσιμο που χρησιμοποιείται για φούρνους τήξεως αλουμινίου να είναι αποδοτικό, και συχνά χρησιμοποιείται πετρέλαιο όπως βαρύ πετρέλαιο Τύπου Α. Οι φούρνοι τήξεως αλουμινίου λειτουργούν με παρτίδες πρωτογενούς υλικού, και η θερμοκρασία εσωτερικά του φούρνου αυξάνεται από τους 700°C στους περίπου 1150°C, όταν αρχίζει η τήξη του αλουμινίου. Ως μέσο για την ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας, μεταλλικοί εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις, αλλά πρόσφατοι αναγεννητικοί καυστήρες που χρησιμοποιούν μπάλες ή κηρήθρες έχουν καταστεί διαθέσιμοι, κάνοντάς το δυνατό να δημιουργηθούν υψηλότερης απόδοσης φούρνοι τήξεως αλουμινίου.

Ο Πίνακας 1.22 δείχνει τη σύγκριση της αποδοτικότητας της ενέργειας ενός συμβατικού φούρνου τήξεως αλουμινίου και ενός φούρνου υψηλής απόδοσης των 40 t/ch (χωρητικότητα ανά φόρτιση) ο καθένας.

Σχετικά με την μείωση του NO<sub>x</sub> (μετατρέπεται σε 12% O<sub>2</sub>), αναγεννητικοί καυστήρες καύσης πετρελαίου που χρησιμοποιούνται για φούρνους τήξεως αλουμινίου πρέπει να συμμορφώνονται με τιμές NO<sub>x</sub> που ρυθμίζονται όχι μόνο παγκόσμια (180ppm, μετατρέπονται σε 12% O<sub>2</sub>) αλλά και στην κάθε χώρα ξεχωριστά. Δύο τύποι καυστήρων μπορούν να ικανοποιήσουν αυτούς τους κανονισμούς. Ο ένας είναι μια συμπυκνωμένη σύγκρουσης φλόγας καυστήρας πετρελαίου (F1). Αυτός ο τύπος καυστήρα μειώνει το NO<sub>x</sub> μειώνοντας την θερμοκρασία της φλόγας. Το κάνει αυτό με την εκτόξευση δέσμης των καυσίμων από το κέντρο του καυστήρα και αποβάλλοντας στην ατμόσφαιρα του φούρνου από όλο τον αέρα καύσης. Αυτός ο τύπος καυστήρα έχει καλή αποδοτικότητα καύσης, αλλά η

τιμή του NOx είναι ελαφρώς υψηλότερη. Ο δεύτερος τύπος είναι οι καυστήρες κατανεμόμενης σύγκρουσης φλόγας (F2). Ο αέρας καύσης βγαίνει από το κέντρο του καυστήρα και το καύσιμο βγαίνει γύρω από το κέντρο, το οποίο έχει αποτέλεσμα κατανεμημένες φλόγες, μειώνοντας έτσι τόσο την θερμοκρασία της φλόγας όσο και τα NOx. Με αυτό τον τύπο καυστήρα, η τιμή του NOx είναι χαμηλότερη αλλά η αποδοτικότητα της καύσης στην χαμηλή θερμοκρασία της ζώνης του φούρνου είναι κάπως κατώτερη. Τα αποτελέσματα της δοκιμής ενός τέτοιου καυστήρα καύσης κηροζίνης 2093 MJ/h φαίνονται στον Πίνακα 1.23.

Σχετικά με τη μείωση του CO<sub>2</sub> η εφαρμογή των αναγεννητικών καυστήρων σε φούρνο τήξεως αλουμινίου θα οδηγήσει σε μια μείωση της ενέργειας κατά 30%. Η πηγή θέρμανσης ενός φούρνου τήξεως αλουμινίου είναι κυρίως τα ορυκτά καύσιμα, και ο ακόλουθος είναι ο σχετικός υπολογισμός υποθέτοντας μια μείωση του CO<sub>2</sub> που έγινε εφικτή με την μείωση αυτή της κατανάλωσης του καυσίμου σε ευρωπαϊκές απαιτήσεις.

Υποθέσεις/ Παραδοχές για τον υπολογισμό:

1. Ζήτηση αλουμινίου:  $M_{Al}^* = 3 \text{ million.t / yr}$
2. Κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα ενός συμβατικού φούρνου:  $Q_{fuel} = 2930 \text{ MJ/t}$
3. Αναλογία των φούρνων τήξεως στην ευρώπη με αναγεννητικούς καυστήρες:  $r =$  θεωρείται/ υποτίθεται ως 50%
4. Θερμότητα Καύσης του καυσίμου μαζούτ:  $H_f = 42.2 \text{ MJ/kg}$
5. Όγκος των καυσαερίων που παράγονται:  $V_c 13.5 m^3 / kg$  καυσίμου
6. Ποσοστό του CO<sub>2</sub> στο αέριο της καύσης:  $F_{CO_2} = 11\%$ .

Σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές, η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου πετρελαίου (μαζούτ) εκφράζεται ως εξής:

$$R_{fuel} = 0.3rM_{Al}^*Q_{fuel} / H_f = 31,200t / yr$$

και η ελάττωση του αερίου CO<sub>2</sub> είναι:

$$R_{CO_2} = 1000R_{fuel}V_cF_{CO_2}M_{CO_2} / 22.4$$

όπου  $M_{CO_2}$  = μοριακό βάρος του CO<sub>2</sub> = 44.

**Πίνακας 1.22: Σύγκριση της αποδοτικότητας της ενέργειας**

	Εναλλάκτης θερμότητας	Μέση θερμοκρασία του αέρα καύσης	Απόδοση φούρνου	Ποσοστό ανάκτησης θερμότητας αποβλήτων	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας
<b>Συμβατικός Φούρνος</b>	Μεταλλικός Ανακτητής	200 °C	40 °C	17%	30%
<b>Υψηλής απόδοσης φούρνος</b>	Αναγεννητικός Καυστήρας	720 °C	60 °C	63%	

\* Και οι δυο ικανότητες είναι το ίδιο, 40 ton/ch ( τόνοι ανά επιβάρυνση)

**Πίνακας 1.23: Αποτελέσματα του καυστήρα κηροζίνης**

	Τιμή NOx (μετατρέπεται 12% O <sub>2</sub> ) ppm	Θερμοκρασία αέρα, °C	Θερμοκρασία φούρνου, °C
Καυστήρας πετρελαίου τύπου συμπυκνωμένης σύγκρουσης φλόγας (F1)	40-90	800	1060
Καυστήρας πετρελαίου που η φλόγα σύγκρουσης κατανέμεται (F2)	20-40		

#### 1.4.4.2 Μέθοδος Βελτίωσης της Αποδοτικότητας της Μεταφοράς Θερμότητας εσωτερικά του Φούρνου

Με την βελτίωση της αποδοτικότητας της μεταφοράς θερμότητας και με την μείωση του μεγέθους του φούρνου, οικονομικά οφέλη από την άποψη του αρχικού κόστους και του κόστους των καυσίμων μπορεί να προβλεφθεί. Αυτό είναι λόγω της μειωμένης απώλειας θερμότητας από το τοίχωμα του φούρνου. Παρακάτω είναι μερικές γενικά αποδεκτές προσεγγίσεις για την βελτίωση της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας:

- Βελτιστοποίηση της απόστασης μεταξύ των καυστήρων και του υλικού: Ο βέλτιστος σχεδιασμός είναι να ρυθμιστεί η απόσταση μεταξύ καυστήρων και υλικού ίσο με το μήκος της φλόγας που αναμένεται όταν οι καυστήρες είναι σε 100% καύση. Το μήκος της φλόγας εξαρτάται από την ικανότητα του καυστήρα και τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Ωστόσο, η απόσταση μεταξύ των καυστήρων και του υλικού αυξάνεται όσο βελτιώνεται η τήξη. Αυτός είναι ο λόγος μια μέση απόσταση θα πρέπει να θεσπιστεί. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα να μην γίνει η απόσταση πολύ μικρή, αλλιώς θα υπάρχει ατελής καύση.

- Υιοθέτηση των καυστήρων με μια φλόγα υψηλής ορμής: Το υλικό του αλουμινίου θα λάβει θερμότητα μεταφερόμενη με συναγωγή από τις φλόγες του καυστήρα και ακτινοβολία θερμότητας μεταφερόμενη από το τοίχωμα του φούρνου και το στρώμα του αερίου. Στην περίπτωση των φούρνων τήξεως αλουμινίου, η θερμοκρασία του φούρνου είναι στην μεσαία κατηγορία, και είναι κατανοητό ότι η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή είναι πιο αποτελεσματική από την μεταφορά ακτινοβόλου θερμότητας όσον αφορά τα ποσοστά μεταφοράς θερμότητας, που είναι ο λόγος που είναι απαραίτητο να διαλέξουμε καυστήρες υψηλής ορμής των οποίων η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη ( ταχύτητα ροής από 100 σε 120 m/s).

- Βελτιστοποίηση της ροής του καυσίμου εσωτερικά του φούρνου: Το αέριο μέσα στο φούρνο ρέει ως επί το πλείστον μέσω των αναγεννητικών καυστήρων, και είναι απαραίτητο να διαλέξουμε την τοποθεσία τους και την γωνία ούτως ώστε η βέλτιστη εναλλαγή θερμότητας με το υλικό να είναι εξασφαλισμένη. Θα πρέπει να αποσκοπούν στην πρόληψη των συντομεύσεων καύσης του αερίου και ροών προς την είσοδο του καυστήρα πριν φτάσει στο υλικό.

- Κλίση των ίδιων των καυστήρων: Αυτό περιλαμβάνει την αλλαγή σε μια ορισμένη συχνότητα ο τόπος όπου οι φλόγες φτάνουν στο υλικό με μηχανική ταλάντευση των ίδιων των καυστήρων. Από μελέτες προέκυψε ότι η φλόγα ταχύτητας 3.3 m/min στην επιφάνεια του υλικού παρήγαγε τα καλύτερα αποτελέσματα και έδειξε βελτίωση κατά 5% τόσο από πλευράς χρόνου τήξεως και κατανάλωσης καυσίμου σε σύγκριση με την περίπτωση χωρίς κλίση. Επίσης, οποιαδήποτε γρηγορότερη ταχύτητα θα προκαλούσε αναταράξεις στο σχηματισμό φλόγας και, ως εκ τούτου, χαμηλότερη απόδοση. Οποιαδήποτε χαμηλότερη ταχύτητα θα παρήγαγε επίσης κατώτερα αποτελέσματα .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: Εφαρμογές της Υψηλής Θερμοκρασίας Αέρα Τεχνολογίας Καύσης σε Άλλα Συστήματα

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είδαμε σε διάφορα σημεία του 1<sup>ου</sup> κεφαλαίου την ιδιαίτερη έμφαση που έχει ο υψηλής θερμοκρασίας αέρας καύσης σε διάφορα είδη φούρνων και καυστήρων για βιομηχανικές εφαρμογές. Σε όλες τις περιπτώσεις σημαντικές επιπτώσεις επιτεύχθηκαν από την άποψη της σημαντικής εξοικονόμησης ενέργειας (πάνω από περίπου 60%), μειώθηκαν οι ρύποι στο περιβάλλον συμπεριλαμβανομένου του CO<sub>2</sub>, και μικρότερο (συμπαγές μέγεθος) του εξοπλισμού. Είναι επίσης σαφές ότι έχουμε αρχίσει να σκεφτόμαστε τον κλασικό ορισμό της φλόγας ως αυτό που δίνει θερμότητα και φως. Πράγματι, για την περίπτωση της υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης μπορεί κανείς να έχει μια φλόγα, οπτικά μη ορατή δεδομένου ότι η φλόγα μπορεί να είναι άχρωμη. Για ένα μεγάλο μέρος του 20<sup>ου</sup> αιώνα οι τεχνολογικές εξελίξεις σχετικά με την καύση των καυσίμων δεν ήταν στο επίπεδο εκείνων της βιομηχανίας π.χ. ηλεκτρονικών ειδών ( βλέπε Πίνακα 2.1).

Αυτό το κεφάλαιο εξηγεί σύντομα την εφαρμογή της τεχνολογίας υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης σε άλλα συστήματα. Η τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης, κατ' αρχήν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σχεδόν όλα τα είδη της καύσης, ισχύος, συστημάτων πρόωσης, εκτός από την αποδεδειγμένη χρήση της σε βιομηχανικούς φούρνους. Πολλές εφαρμογές βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη για να εφαρμοστούν οι αρχές της HiTAC (High Temperature Air Combustion Technology) τεχνολογίας για χρήση σε λέβητες καύσης του άνθρακα, βαρύ μαζούτ, απόβλητα και χημικά, και υγρά απόβλητα. Μερικές από τις τρέχουσες προσπάθειες ανάπτυξης που χρησιμοποιούν τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης δίνονται στον Πίνακα 2.2.

Σχέδια σχετικά με τις ευρύτερες εφαρμογές της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα καύσης, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που ήδη αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται επί του παρόντος, δίνονται στην Εικόνα 2.1. Οι βραχυπρόθεσμες μελλοντικές εξελίξεις και οι εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής συνοψίζονται παρακάτω:

1. Στατικού αεροστροβίλου καύση που χρησιμοποιεί ισοθερμική καύση. Περιλαμβάνονται: συνδυασμένου κύκλου με αυξημένη θερμοκρασία ατμού, συμπαραγωγή με αυξημένη θερμοκρασία ατμού, μικρο-στροβίλους αερίου και ανεξάρτητη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και ενσωματωμένο σύστημα αεροστροβίλου/ σταθερού λέβητα .
2. Ατμός μετασχηματισμένου καυσίμου και υψηλής θερμοκρασίας αέρας καύσης
3. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από απόβλητα και χαμηλής ποιότητας καύσιμα .
4. Καύση καυσίμων χαμηλής θερμοδικής αξίας.
5. Κυβέλες καυσίμου.
6. Οικιακές θερμικές συσκευές. Περιλαμβάνονται εδώ φούρνοι ακτινοβόλου σωλήνα παρέχοντας θερμό αέρα από ένα φυσητήρα και από θερμοσίφωνες.
7. Μηχανές για ισχύ και πρόωση.
8. Τέφρα υαλοποίησης.

Η τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας καύσης αέρα αναπτύχθηκε αρχικά για διαφορετικά είδη λειτουργιών θέρμανσης. Τώρα το HiTAC έχει σχεδιαστεί για χρήση σε θερμική καταστροφή (αποδόμηση) των στερεών αποβλήτων και υψηλής έντασης τύρβης HiTAC τεχνολογίας

(υπερφόρτισης HiTAC) για χρήση σε αεριοστρόβιλους. Οι παραπάνω διαδικασίες συνοψίζονται στην Εικόνα 2.2.

Η υψηλή θερμοκρασία αέρα έχει χρησιμοποιηθεί για την μετατροπή διαφόρων ειδών των αστικών και βιομηχανικών στερεών αποβλήτων σε χρήσιμα αέρια ενέργειας χρησιμοποιώντας υψηλής θερμοκρασίας αέρα και ατμό. Κάποιες άλλες πιθανές εφαρμογές που περιλαμβάνουν θερμική καταστροφή επικίνδυνων χημικών αποβλήτων και αποβλήτων στρατού, μετασχηματισμό καυσίμου, υγρά λύματα, τέφρα υαλοποίησης, μηχανές (όπως ο σταθερός αεριοστρόβιλος και ο μικρο-αεριοστρόβιλος εσωτερικής καύσης), και συστήματα συμπαγούς μεγέθους καύσης όπως η μικρο-καυστήρες. Τα χημικά απόβλητα περιλαμβάνουν απόβλητα που παράγονται από τις βιομηχανίες πετροχημικών, χρώματα, έλαια, και κατάλοιπα. Η τεχνολογία είναι ιδιαίτερα ελκυστική στα συστήματα που απαιτούν πτωχό καύσιμο καύσης. Αναμένεται ότι πολλές νέες εφαρμογές και καινοτομίες θα συμβαδίσουν με περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη επικεντρωμένες σε αυτή την καινοτόμο τεχνολογία καύσης.

Περιγράφουμε παρακάτω την εφαρμογή την τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης για την θερμική καταστροφή και της ενεργειακής αξιοποίησης του αρνητικού κόστους αποβλήτων καυσίμων.

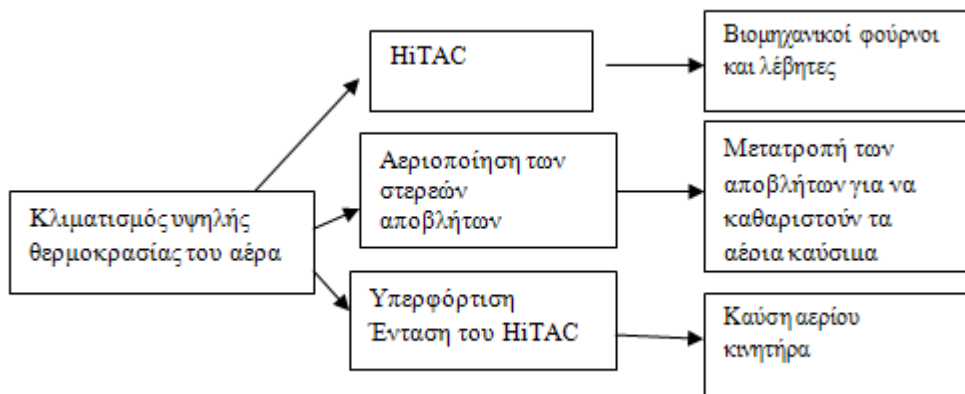
**Πίνακας 2.1: Σημαντικές πρόοδοι στον τομέα της ηλεκτρονικής και της ενέργειας κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20<sup>ου</sup> αιώνα**

<b>Δεκαετία</b>	<b>Βιομηχανία Ηλεκτρονικών</b>	<b>Βιομηχανία ενέργειας</b>
1950	Λυχνίες	Υψηλή ενεργειακή μετατροπή
1960	Τρανζίστορ	Μονάδες μεγάλης κλίμακας
1970	Ολοκληρωμένα κυκλώματα	Μόλυνση περιβάλλοντος
1980	Τυπωμένα κυκλώματα και μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση	Υψηλή αποδοτικότητα
1990	Ενσωμάτωση πολύ μεγάλης κλίμακας	Υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλή ρύπανση
2000	Σούπερ μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση, συμπαγή και συστήματα υψηλής πυκνότητας	Διατήρηση περιβάλλοντος και ενέργειας και επιπτώσεις στην υγεία από την καύση των καυσίμων

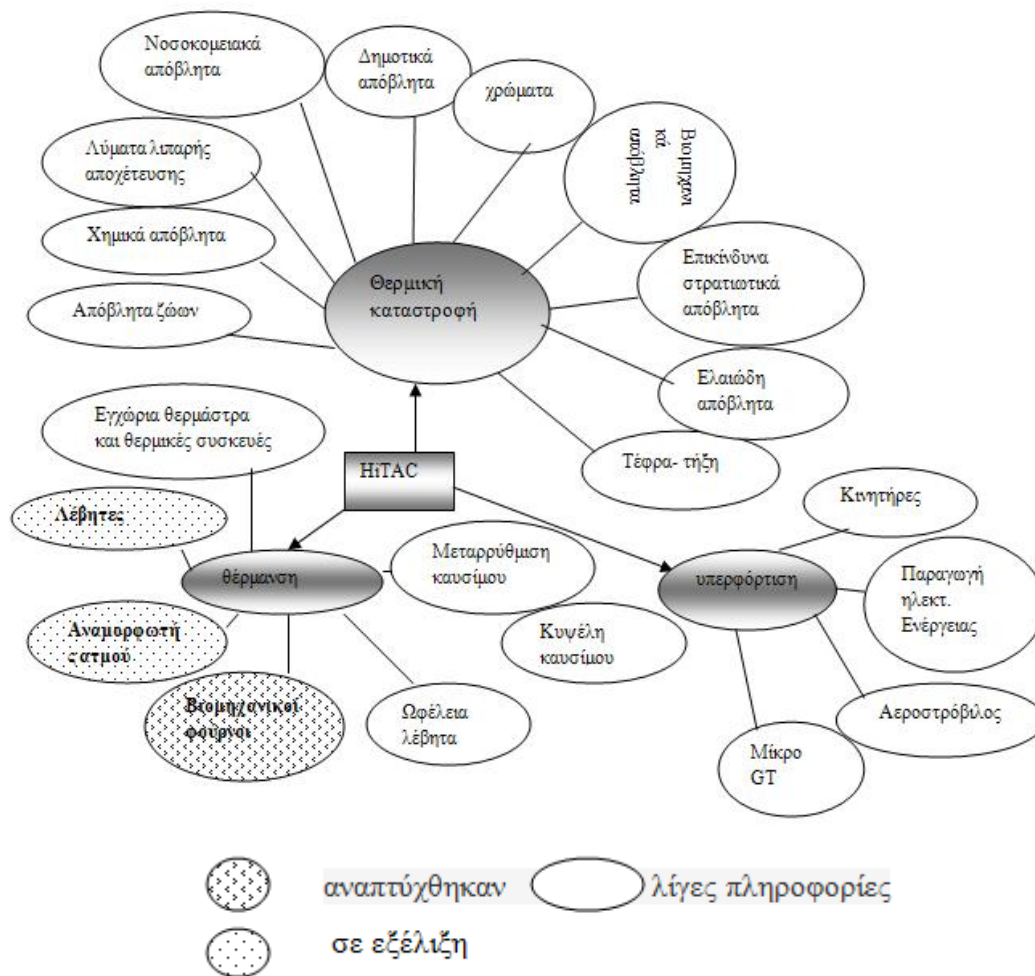


**Πίνακας 2.2: Τρέχουσες αναπτυξιακές προσπάθειες για την εφαρμογή καύσης υψηλής θερμοκρασίας του αέρα και σε άλλες τεχνολογίες**

Εφαρμογή	Θέματα με τον αρχικό τύπο καυσίμου/ υλικού	Τελική κατάσταση των καυσίμων ή προϊόντων
Υλικά απόβλητα (καύσιμο)	Δύσκολο ή ανεπιθύμητο καύσιμο	Μετατροπή σε αέριο καύσιμο ομοιόμορφης σύνθεσης από τις οποίες η θερμική ενέργεια μπορεί να ανακτηθεί
Καύσιμα προερχόμενα από απορρίμματα (RDF), καύσιμα απόβλητα, όπως η βιομάζα, δημοτικά, νοσοκομείου, αγροτικά, βιομηχανικά απόβλητα και χημικά απόβλητα	Δύσκολο να καεί, η αποτέφρωση δεν είναι λύση	Μετατροπή σε καύσιμο αέριο. Η καύση αερίων καυσίμων οδηγεί σε πολύ υψηλή απόδοση καύσης
Πτητικές οργανικές ενώσεις και οσμές (VOC)	Ένας ρύπος για το περιβάλλον	Ολοσχερής καταστροφή των VOC's και των οσμών χωρίς να αποτελούν επικίνδυνους ρύπους



**Εικ. 2.1: Εφαρμογές καύσης υψηλής θερμοκρασίας αέρα στους φούρνους και στους λέβητες, θερμική καταστροφή και στερεά απόβλητα και κινητήρες.**



Εικ. 2.2: Πιθανές εφαρμογές της καύσης υψηλής θερμοκρασίας αέρα, συμπεριλαμβανομένων των ήδη ανεπτυγμένων εφαρμογών ή που αναπτύσσονται.

## 2.2 ΚΑΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Καύση οποιασδήποτε οργανικών υλικών που περιέχουν υγρασία παρουσιάζει τα ακόλουθα τέσσερα στάδια: ξήρανσης, πυρόλυσης, αεριοποίησης, και οξείδωσης των πτητικών ουσιών. Στην παραδοσιακή περίπτωση ο αέρας καύσης που χρησιμοποιείται για καύσιμα στερεών αποβλήτων (αστικά και βιομηχανικά απόβλητα και χαμηλού βαθμού κάρβουνα) είναι χαρακτηριστικά προθερμασμένος περίπου στους 300°C. Η αντίδραση της καύσης ουσιαστικά περιλαμβάνει δύο συνιστώσες: απόβλητα καυσίμων και οξυγόνο. Μια απλουστευμένη αντίδραση καύσης μπορεί να εκπροσωπείται ως εξής:

**Καύσιμο υδρογονανθράκων (απόβλητα)+Οξειδωτής→Προϊόντα+θερμότητα + Μόλυνση**

Όλες οι βιομηχανικές χώρες παγκοσμίως έχουν εμπλακεί ενεργά στην συζήτηση των αυξανόμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η όξινη βροχή, και η καταστροφή της στιβάδας του όζοντος. Πολλοί από τους ρύπους είναι επίσης γνωστό ότι προκαλούν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Πράγματι, μερικές από τις καύσεις που δημιουργούνται από τους ρύπους είναι καρκινογόνες και μεταλλαξιογόνες.

Πρέπει να δοθεί προσοχή στην μόλυνση του περιβάλλοντος εκτός από την διατήρηση των φυσικών πόρων. Πρόσφατα, αρκετή προσοχή δόθηκε στην ανακύκλωση, και δευτεροβάθμια ή τριτοβάθμια χρήση των αποβλήτων και ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα. Η εκπομπή διοξινών και φουρανίων από την θερμική καταστροφή αποτελεί επίσης ένα σημαντικό ζήτημα από το πλαστικό που περιέχουν τα απόβλητα. Οι αρχές της τεχνολογίας υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης είναι επίσης δυνητικά ελκυστικές για την χρήση της θερμικής καταστροφής του πλαστικού που περιέχουν τα απόβλητα. Η ενεργειακή τεχνολογία ανάκτησης πόρων εφαρμόζεται στα απόβλητα υλικών είναι ένα τέτοιο συστατικό της υψηλής τεχνολογίας της θερμοκρασίας του αέρα. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την μετατροπή του οργανικού μέρους των υλικών που υπάρχουν στα ελκυστικά απόβλητα περιλαμβάνουν επίσης απορρίμματα που προέρχονται από αποβλητέα καύσιμα (RDF).

Οι Ηνωμένες Πολιτείες παράγουν περίπου 2kg/ανά άτομο/ανά ημέρα των στερεών αποβλήτων. Στο Ηνωμένο Βασίλειο τα απόβλητα που παράγονται είναι περίπου 1.5 kg ανά άτομο την ημέρα . Στην Ιαπωνία το ποσό των γενικών αποβλήτων που διατίθενται ανά άτομο την ημέρα είναι κατά προσέγγιση περίπου 1kg. Στην Ελλάδα μέχρι και πρόσφατα κάθε άτομο παρήγαγε κατά μέσο όρο 1.2 Kg/ημέρα όμως λόγω της οικονομικής κρίσης έχει μειωθεί το ποσό αυτό τα τελευταία 2 χρόνια. Η γενική διάθεση αυτών των μεγάλων ποσοτήτων των αποβλήτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία γίνεται με τις ακόλουθες τεχνικές: αποτέφρωση, μετατροπή σε πόρους, και θαμμένα σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η επιλογή της υγειονομικής ταφής του παρελθόντος για την τελική διάθεση των αποβλήτων γίνεται ολοένα και πιο μικρή παντού στον κόσμο δεδομένου ότι είναι δύσκολο να εξασφαλίσει γη για την διάθεση των αποβλήτων. Η μελλοντική τάση για την διάθεση στερεών αποβλήτων φαίνεται να είναι η περαιτέρω μείωση στην παραγόμενη ποσότητα των αποβλήτων, την ανακύκλωση και τη συνετή χρήση και τη μείωση χρήσης των ήδη προβληματικών φυσικών πόρων.

Εξάλλου, σημαντικές προσπάθειες εξακολουθούν να γίνονται για την μετατροπή των αποβλήτων σε καύσιμα. Στα ακόλουθα περιγράψουμε πως μερικά από τα σημαντικά χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για την μετατροπή αποβλήτων σε χρήσιμη ενέργεια .

Τοπικές κυβερνήσεις και επιχειρήσεις, οι οποίες διαθέτουν τεράστιες ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων, έχουν αρχίσει να εξετάζουν πρακτικές μεθόδους για να μειώσουν τα απόβλητα και να μετατρέψουν τα απόβλητα σε ενέργεια με την εφαρμογή της τεχνολογίας θερμικής ανακύκλωσης. Αυτά τα συστήματα είναι ήδη σε λειτουργία σε ορισμένα μέρη. Η ηλεκτρική παραγωγή που χρησιμοποιεί απόβλητα ως καύσιμο (ένας τύπος τεχνολογίας θερμικής ανακύκλωσης) θεωρείται πλέον ως μια νέα διαδικασία παραγωγής ενέργειας

Υψηλής θερμοκρασίας αέρα, προθερμασμένος στους 1000°C και ψηλότερα, έχει σπάνια χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές πρακτικές για την επεξεργασία των αποβλήτων και την ανάκτηση ενέργειας. Σε τέτοιες υψηλές θερμοκρασίες τα περισσότερα ορυκτά καύσιμα αυτοαναφλέγονται. Αν η θερμότητα που ανακτάται από τα καυσαέρια χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα καύσης, και των αποβλήτων (οργανικό μέρος των αστικών, βιομηχανικών, αγροτικών, και νοσοκομειακών στερεών αποβλήτων) καίγεται με αυτό τον προθερμασμένο αέρα, τότε η ενθαλπία των καυσαερίων λέγεται ότι χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για να αυξήσει την θερμοκρασία στην περιοχή της καύσης. Πρόσφατες μελέτες αποκαλύπτουν πολλά οφέλη από την χρήση της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα για την θερμική αποσύνθεση των διαφόρων ειδών αποβλήτων και κάρβουνων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, με μερικές κατάλληλες μετρήσεις της θερμικής ανάκτησης, η πρόληψη του

σχηματισμού διοξινών και φουρανίων μπορεί να γίνει από την ταχεία ψύξη των καυσαερίων σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Η πυρόλυση και η αεριοποίηση των στερεών καυσίμων και αποβλήτων χρησιμοποιώντας υψηλές θερμοκρασίες έχει χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε παλαιότερες εποχές, το κάρβουνο αεριοποιήτο με την βοήθεια αεριοποιήσιμων υλικών όπως το φυσικό αέριο ή ο ατμός χρησιμοποιώντας υψηλές θερμοκρασίες. Πρέπει να σημειωθεί ότι για την πυρόλυση το υλικό θερμαίνεται ελλείπει του οξυγόνου. Αέρια της χαμηλής έως μεσαίας θερμοκτικής αξίας έχουν παραχθεί από την χρήση αεριοποιητή χρησιμοποιώντας πάνω από 1000°C υψηλής θερμοκρασίας αέρα. Η αεριοποίηση μέσω υψηλής θερμοκρασίας αέρα και η αναμόρφωση ατμού με απόβλητα μπορεί να δειχθεί από την εξής πολύ απλή αντίδραση:

#### **Αεριοποίηση Υψηλής Θερμοκρασίας Αέρα:**

Κάρβουνο (Υδρογονάνθρακας)+O<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> → CO+CO<sub>2</sub>+H+H<sub>2</sub>O+N<sub>2</sub>+[-ΔQ<sub>1</sub>]...Εξωθερμική

#### **Αναμόρφωση Υψηλής Θερμοκρασίας Ατμού:**

Κάρβουνο (Υδρογονάνθρακας)+H<sub>2</sub>O → CO+H<sub>2</sub>+ [+ΔQ<sub>2</sub>]...Ενδοθερμική

Θα πρέπει επίσης να αναγνωριστεί ότι οι παραπάνω αντιδράσεις είναι πολύ απλές αναπαραστάσεις. Οι ακριβείς μηχανισμοί-διαδρομές για την αντίδραση είναι πολύ πιο περίπλοκες από εκείνες που αναφέρονται παραπάνω.

Σε απόβλητα που περιέχουν υγρασία, ο υψηλής θερμοκρασίας αέρας προωθεί τις αντιδράσεις που σχετίζονται με την πυρόλυση, την αεριοποίηση, και τον μετασχηματισμό του ατμού, όλα συμβαίνουν ταυτόχρονα. Υψηλότερες θερμοκρασίες είναι συμφέρουσες τόσο για την πυρόλυση και την αεριοποίηση και για τον σχηματισμό της σκωρίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία του αέρα πρέπει να είναι ψηλότερη από το σημείο τήξης της τέφρας για να σχηματιστεί η σκωρία. Ωστόσο, πιο ψηλές θερμοκρασίες αέρα μπορούν να οδηγήσουν στην εξάτμιση της τέφρας. Στην περίπτωση που συμβεί η εξάτμιση της τέφρας, πρέπει να ασκηθεί προσοχή για να συλλεχθούν τα υπομικρομετρικά σωματίδια μεγέθους από τα αέρια. Οι ιδιότητες των αερίων που εξελίχθηκαν μπορούν να ελεγχθούν κάπως με την βοήθεια κάποιου παράγοντα αεριοποίησης. Ένα σχηματικό διάγραμμα αεριοποιητή που χρησιμοποιείται για απόβλητα και για χαμηλού βαθμού κάρβουνα δίνεται σχηματικά στην Εικόνα 2.3. Το κάρβουνο ή το απόβλητο τροφοδοτείται από την κορυφή μέσα στον αεριοποιητή. Το απόβλητο στηρίζεται πάνω σε μια σχάρα έτσι ώστε η υψηλή θερμοκρασία του αέρα να μπορεί να τροφοδοτηθεί από τον κάτω θάλαμο. Το αέριο που λήφθηκε είχε μια τιμή θέρμανσης περίπου 1000 με 1500 kcal/m<sub>N</sub><sup>3</sup>. Δεν παρέχεται καμία πληροφορία σχετικά με την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων μεγέθους μικρών που εξελίχθηκε από την αεριοποίηση και την διαδικασία πυρόλυσης. Πάντως μπορούν να καθαριστούν τα σωματίδια με χρήση κατάλληλα σχεδιασμένου κυκλώνα. Το αέριο που παράγεται ζητείται για την παροχή καθαρής καύσης στους φούρνους και τους καυστήρες χωρίς πρόσθετες ανησυχίες για τα απόβλητα και τις εκπομπές ανεπιθύμητων ρύπων. Ένα σχηματικό διάγραμμα των συνδυασμένων βιομηχανικών στροβίλων και φούρνου φαίνεται στην Εικόνα 2.4. Τα αέρια που εκλύονται από την μονάδα αεριοποίησης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε μικρο-αεριοποιητές για ανεξάρτητη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βλέπε Εικόνα 2.5. Επίσης, μια μηδενικής εκπομπής αποβλήτων μονάδα παραγωγής, ενσωματώνοντας μια μονάδα

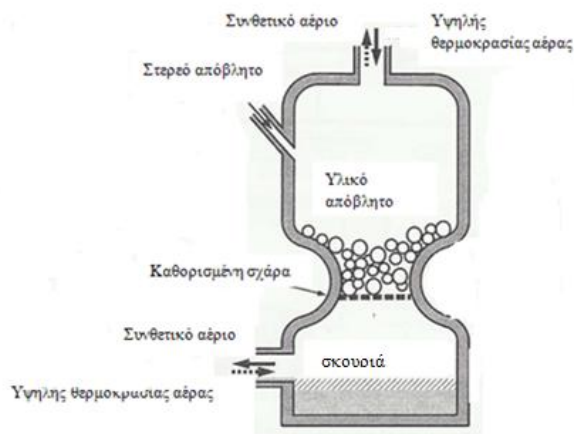
αποβλήτου-ενέργειας μπορεί να παραχθεί, βλέπε Εικόνα 2.6. Βέβαια, αυτή είναι μια ιδανική αναπαράσταση για μια εγκατάσταση με στόχο να τονώσει και να προκαλέσει τους μηχανικούς για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων του μέλλοντος. Πολλά από αυτά που έχουν συζητηθεί μέχρι τώρα περιλαμβάνουν την μεταμόρφωση του αποβλήτου σε αέριο χημικής ενέργειας σε μόνο ένα στάδιο στην κλίση. Ένας παράγοντας αεριοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιωθεί η θερμική αξία του αερίου που παράγεται. Ένας τέτοιος παράγοντας περιλαμβάνει ατμό αλλά ένα άλλο κατάλληλο αέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί. Ένα σχηματικό διάγραμμα του ατμού με την βοήθεια συστήματος αεριοποίησης φαίνεται στην Εικόνα 2.7. Ο στόχος του αεριοποιημένου υλικού είναι να ενισχύσει περαιτέρω την μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα στα απόβλητα (καύσιμο) σε καύσιμο αερίου. Το εξελιγμένο αέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, αρχές υψηλής θερμοκρασίας αέρα σε μικροστροβίλους αερίου. Το τυπικό γραμμομοριακό κλάσμα του ατμού στον αέρα στην Εικόνα 2.7 θα ήταν 10 με 20%, ανάλογα με τις ιδιότητες του καυσίμου.

Μέρος της ενέργειας στο αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθούν για υψηλής θερμοκρασίας αέρα/ προθέρμανση ατμού και το υπόλοιπο μπορεί να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή ατμού, και βιομηχανική θέρμανση. Με ένα κατάλληλο σχεδιασμό των διαφόρων συστατικών στοιχείων των αποβλήτων μπορούν να ανακτηθούν, όπως τα βαριά μέταλλα (Fe, Cu, Al), ανόργανες ενώσεις με την μορφή της μη εκχυλίσιμης σκωρίας, και θείου και χλωρίνης. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της μετατροπής αποβλήτων σε ενέργεια είναι οι ακόλουθες:

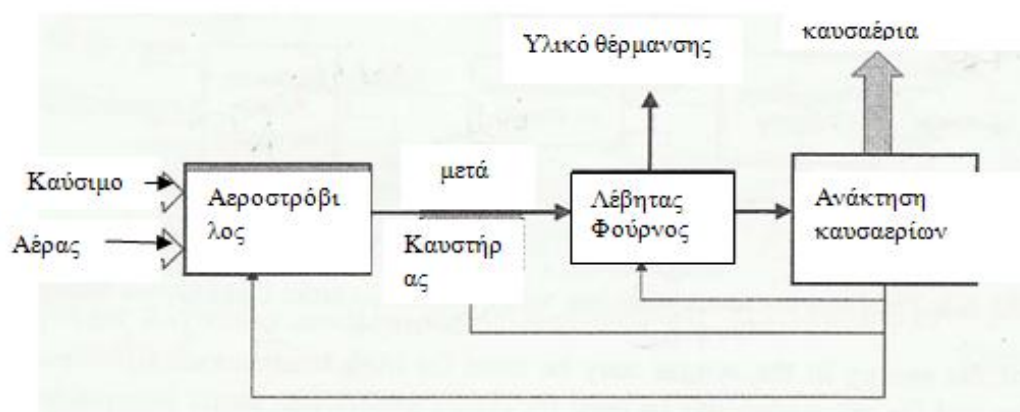
1. Μετατροπή των στερεών αποβλήτων και χαμηλής ποιότητας καύσιμα (συμπεριλαμβανομένων των κάρβουνων και υψηλής περιεκτικότητας υγρασίας αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων) για τον καθαρισμό αερίων καυσίμων με χαμηλή έως μέτρια θερμογόνο δύναμη. Η σύνθεση του αερίου καυσίμου μπορεί να ρυθμίζεται μέσω κάποιου ελέγχου της χημείας, π.χ., αεριοποίηση, πυρόλυση, ή μεταρρύθμιση των αποβλήτων ατμού και υψηλής θερμοκρασίας αέρα, αυξάνοντας έτσι την θερμική αξία των παραγόμενων αερίων.
2. Μεγάλη μείωση του όγκου σχεδόν όλων των τύπων αποβλήτων.
3. Μόνιμη μέθοδος διάθεσης για στερεά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων χαμηλού βαθμού κάρβουνων.
4. Ελάχιστο ποσό παραγωγής διοξίνης λόγω λειτουργίας του αντιδραστήρα σε υψηλές θερμοκρασίες κάτω από συνθήκες μείωσης.
5. Αμελητέα ποσότητα παραγωγής διοξίνης με το εκλεπτυσμένο αέριο δεδομένου ότι σχεδόν όλο το χλώριο έχει αφαιρεθεί στο στάδιο προ-επεξεργασίας. Οποιαδήποτε παρούσα διοξίνη θα αποσυντεθεί στην διαδικασία καύσης με υψηλή θερμοκρασία αέρα .
6. Ραγδαία μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων όπως τα αέρια περνούν από μια πολύ μεγάλη επιφάνεια χώρου αναγεννητικής κηρήθρας που χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα . Ο αναγεννητής λειτουργεί ως ένα αποτελεσματικό σύστημα ανάκτησης θερμότητας και εμποδίζει τον σχηματισμό των διοξινών μέσω ταχείας ψύξης των καυσαερίων σε θερμοκρασία κάτω από την περιοχή που σχηματίζονται οι διοξίνες. Αυτό είναι σε αντίθεση με το συμβατικό σύστημα στο οποίο τα καυσαέρια ψύχονται με ψεκασμό νερού έτσι ώστε η θερμότητα χάνεται στην εξάτμιση και σχηματίζονται υψηλά επίπεδα διοξινών.

Πιθανές μετρήσεις για την μείωση των εκπομπών των διοξινών και σχετικών ενώσεων από αποτεφρωτήρες αποβλήτων είναι: (1) μείωση του όγκου τέτοιων υλικών καθώς μπορεί να παράγουν διοξίνες και φουράνια στο φούρνο, (2) πρόληψη της αναπαραγωγής των διοξινών και φουρανίων σε χαμηλές θερμοκρασίες, (3) αποσύνθεση ή εξάλειψη των διοξινών και φουρανίων από καταλύτες ή από απορρόφηση. Αποτελεσματικές μετρήσεις για την θερμική καταστροφή των αποβλήτων είναι να εφαρμοστούν τα τρία (υψηλή Θερμοκρασία, υψηλή τύρβη και μεγάλο Χρονικό διάστημα παραμονής). Αυτό συνάδει με τα βασικά χαρακτηριστικά με την καύση υψηλής θερμοκρασίας αέρα. Η κλίση ρευστοποίησης καύση μπορεί να είναι κατάλληλη για καύση καυσίμων προερχόμενα από απορρίμματα (RDF) Ωστόσο, εξαιτίας της χαμηλής λειτουργίας του αέρα των ρευστοποιημένων κλινών, κατάλληλες μετρήσεις πρέπει να ληφθούν για να μειωθεί η ο σχηματισμός των διοξινών και των φουρανίων.

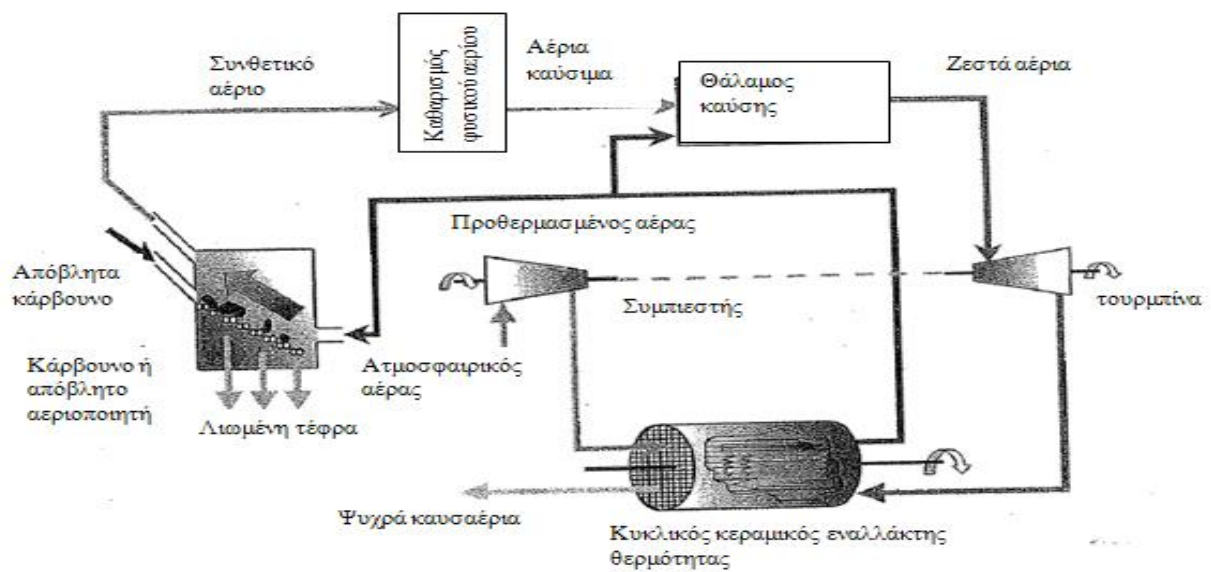
Υλικό  
απόβλητο



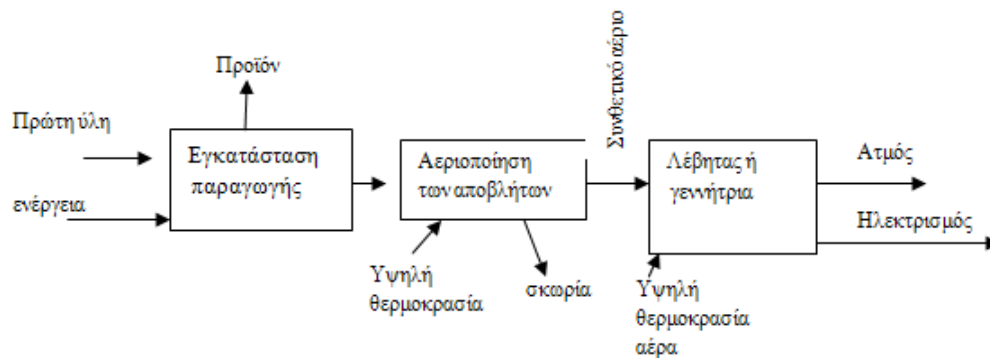
Εικ. 2.3: Σχηματικό διάγραμμα ενός δίδυμου θαλάμου «τύπου κλίνης» αεριοποιητή



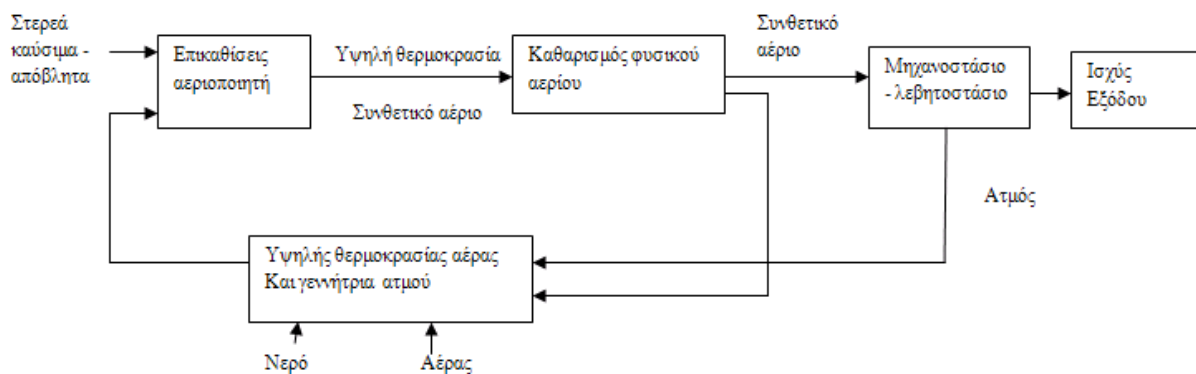
Εικ. 2.4: Σχηματικό διάγραμμα του βιομηχανικού αεροστρόβιλου και του φούρνου



Εικ. 2.5: Σχηματικό διάγραμμα υψηλής θερμοκρασίας αεριοποίησης αποβλήτων και σύστημα βιομηχανικού αεριοστροβίλου.



Εικ. 2.6: Προοπτικές για μελλοντικές εξαιρετικά χαμηλές παραγωγές αποβλήτων από μια μονάδα παραγωγής



Εικ. 2.7: Ολοκληρωμένος λέβητας / κινητήρας με χρήση συνθετικού αερίου που παράγεται από τη χρήση στερεών αποβλήτων με χρήση ατμού και αέρα υψηλής θερμοκρασίας.

### 2.3 ΚΑΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΡΒΟΥΝΩΝ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΟΒΑΘΜΩΝ ΚΑΡΒΟΥΝΩΝ

Ένα ελκυστικό χαρακτηριστικό της χρήσης υψηλής θερμοκρασίας αέρα, σε μέρος με χαμηλό ή θερμοκρασίας δωματίου αέρα, είναι η μετατροπή άνθρακα (συμπεριλαμβανομένου χαμηλού βαθμού κάρβουνα και στερεά απόβλητα) σε καθαρό αέριο ομοιόμορφης σύνθεσης αερίου και για την εξάλειψη της τέφρας, σωματιδίων, και ατμών που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια κανονικής καύσης του κάρβουνου. Η αξία της θέρμανσης των αερίων που εξερίχθη από αεριοποίηση του άνθρακα είναι περίπου  $2000 \text{ kcal} / \text{m}_V^3$ . Η σκωρία είναι λιωμένη και μπορεί να υαλοποιηθεί. Το ζήτημα εδώ είναι ή να αυξηθεί η αξία θέρμανσης των αερίων που εξερίχθησαν ή να αναπτυχθεί μια αποδοτική μέθοδος για καύση χαμηλής θερμικής αξίας αερίου. Αν αυτά τα αέρια καίγονται χρησιμοποιώντας υψηλής θερμοκρασίας αέρα, τότε η αποδοτικότητα της καύσης είναι πολύ υψηλή με ελάχιστη μόλυνση. Η σταθερή φλόγα μπορεί να ληφθεί με HiTAC χρησιμοποιώντας πολύ χαμηλής θερμικής αξίας καύσιμα. Ο υψηλής θερμοκρασίας αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά για καθαρή μετατροπή του κάρβουνου σε αέρια κάρβουνα και η μεταγενέστερη μετατροπή του σε ενέργεια. Η τεχνολογία HiTAC μπορεί επίσης να αναπτυχθεί για να αυξήσει την θερμική αξία των αερίων που εξερίχθησαν.

### 2.4 ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

Η τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης μπορεί αποτελεσματικά να χρησιμοποιηθεί για την καταστροφή των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και την επακόλουθη χρήση θερμικής ενέργειας που εξερίχθη. Συστήματα καύσης έχουν χρησιμοποιηθεί για την θερμική καταστροφή των οσμών που συνδέονται με δύσοσμους ατμούς για μεγάλο χρονικό διάστημα και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά και αξιόπιστα για την απομάκρυνση των οσμών. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται βοηθητικό καύσιμο στο σύστημα καύσης δεδομένου ότι η συγκέντρωση των ατμών υδρογονάνθρακα στις οσμές (καύσιμο) δεν είναι αρκετά ψηλή για να διατηρήσει την καύση. Η διαδικασία άμεσης καύσης που αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1950 χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την καταστροφή του VOCs. Η καταλυτική διαδικασία καύσης που διαθέτει χαμηλή θερμοκρασία καύσης από



300 σε 350°C (σε αντίθεση με την θερμοκρασία καύσης καθ' υπέρβαση των 750°C) αναπτύχθηκε γύρω στο 1970 για διαδικασία άμεσης καύσης. Διαδικασία καύσης αναγεννητικής θερμότητας αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1975 ως μια έκδοση συστήματος άμεσης καύσης με υψηλό ποσοστό ανάκτησης θερμότητας για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Η αγορά για μικρού έως μεσαίου μεγέθους επεξεργασία αερίων επεκτάθηκε λόγω των αυστηρών κανονισμών για τις εκπομπές του VOC (υλοποιήθηκε γύρω στο 1990). Έτσι, η διαδικασία αναγεννητικής θερμότητας καύσης απασχολήθηκε στην αγορά, η οποία επεκτάθηκε ραγδαία στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Πρόσφατα, η Ιαπωνία έκανε επίσης μεγάλη πρόοδο για την καταστροφή του VOCs χρησιμοποιώντας αρχές υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης. Πρακτικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την εισαγωγή ή την τεχνολογική ανάπτυξη και τα διάφορα είδη εξοπλισμού με βάση το σύστημα των τριών πύργων. Προσπάθειες ανάπτυξης για να μειωθεί η διοξίνη, με βάση τις αρχές τεχνολογίας υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης στα καυσαέρια, είναι σε εξέλιξη σε διάφορες ερευνητικές προσπάθειες.

## **2.5 ΤΗΞΗ ΤΕΦΡΑΣ**

Η τεχνολογία της υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης έχει επίσης την δυνατότητα για χρήση στην τήξη τέφρας και διαδικασία θεραπείας. Η τήξη της τέφρας του πυθμένα και της ιπτάμενης τέφρας βρίσκεται στην περιοχή των 1300 έως 1400°C. Θα είναι πολύ φυσικό να εφαρμόσουμε την τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας του αέρα καύσης σε αυτή τη διαδικασία. Η διαδικασία της επανά-καύσης σε φούρνο θερμομαστή μοιάζει, κατ' αρχήν, με την διαδικασία καύσης του υψηλής θερμοκρασίας αέρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι παραπάνω παράγοντες ενδέχεται να μην ισχύουν για μερικούς φούρνους, ανάλογα με τον τύπο του αναγεννητικού μέσου ή διατίθενται στην αναγεννητική διαδικασία. Ως εκ τούτου, κάποιος πρέπει να σχεδιάσει και να αναπτύξει ένα κατάλληλο τύπο του αναγεννητικού μέσου καθώς και τη διαδικασία από την αρχή για την ανάπτυξη αυτής της εφαρμογής και της τεχνολογίας.

## **2.6 ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΛΕΒΗΤΕΣ**

Η βασική δομή ενός λέβητα αποτελείται από ένα ακτινοβόλο στοιχείο και ένα στοιχείο συναγωγής. Το τμήμα συναγωγής του λέβητα είναι πολύ μεγαλύτερο από το ακτινοβόλο τμήμα. Το μεγαλύτερο μέρος της μεταφοράς θερμότητας γίνεται στο ακτινοβόλο τμήμα του λέβητα. Ως εκ τούτου, κάθε προσπάθεια για την μείωση ή την εξάλειψη του τμήματος συναγωγής του λέβητα θα οδηγήσει σε ένα συμπαγές μέγεθος λέβητα. Οι συμπαγείς λέβητες έχουν μικρό ή καθόλου συναγωγής τμήμα και επωφελούνται από τις δυνατότητες που σχετίζονται με τις διεργασίες καύσης υψηλής θερμοκρασίας του αέρα (πολύ υψηλής ροής θερμότητας, καθώς και ανατροφοδότηση της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων του καυστήρα). Η ακτινοβόλος ροή θερμότητας με την καύση σε υψηλή θερμοκρασία του αέρα είναι πολύ ψηλότερη (καθ' υπέρβαση του 500%) από τον συμβατικό λέβητα. Η χρήση των συμπαγών λεβήτων στις αστικές περιοχές είναι ιδιαίτερα ελκυστική από την άποψη του χώρου και των χαμηλών επιπέδων εκπομπής, συμπεριλαμβανομένου του NOx.

## 2.7 ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΚΑΥΣΗΣ, ΜΙΚΡΟΙ ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ, ΚΑΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι χαρακτηριστικοί στόχοι απόδοσης για μια τουρμπίνα αερίου περιλαμβάνουν χρόνο/εύρος, πολυπλοκότητα/βάρος και μέγεθος, κόστος, αξιοπιστία/ανθεκτικότητα, πρακτικότητα, και εκπομπές/ υπογραφή. Η καύση υπό ισχνές προαναμεμειγμένες συνθήκες προτιμάται για την επίτευξη χαμηλής NOx εκπομπής και υψηλής αποδοτικότητας. Ωστόσο, κάτω από πολύ ισχνές-καυσίμου συνθήκες δεν είναι δυνατή η σταθεροποίηση της φλόγας. Η σταθεροποίηση της φλόγας γίνεται θέμα όταν το μέγεθος του καυστήρα είναι μικρό. Η σβέση της φλόγας γίνεται θέμα για μικρότερο μέγεθος λόγω της μεγάλης αναλογίας της περιοχής της επιφάνειας με τον όγκο του καυστήρα. Αυτό το ζήτημα γίνεται όλο και πιο σημαντικό όταν χρησιμοποιούνται αέρια χαμηλής θερμικής αξίας. Η εφαρμογή της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα καύσης παρέχει εύκολα σταθερή φλόγα ακόμα και με χαμηλή θερμική αξία του αερίου (ή υγρού) καυσίμου που παρέχει την θερμοκρασία του αέρα καύσης είναι υψηλή (πάνω από την θερμοκρασία αυτανάφλεξης του πετρελαίου). Δεδομένου ότι η θερμοκρασία αυτό ανάφλεξης για τα περισσότερα καύσιμα υδρογονανθράκων είναι πολύ πιο κάτω του 1000°C το καύσιμο εγχέεται στο θάλαμο στροβίλου καύσης αερίου θα ανάψει και θα καεί γρήγορα . Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο παράγοντας που σχετίζεται με σχέδιο καύσης σε υψηλή θερμοκρασία του αέρα είναι πολύ καλή λόγω του ευρύτερου όγκου της φλόγας και χαμηλές έως αμελητέες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στην φλόγα. Η καθυστέρηση ανάφλεξης μπορεί να προσαρμοστεί για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του καυστήρα. Η τεχνολογία καύσης υψηλής θερμοκρασίας του αέρα, ως εκ τούτου, έχει καλό δυναμικό για την εφαρμογή των σταθερών αεροστροβίλων, ιδίως των πολύ μικρών αεροστροβίλων για την ανεξάρτητη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκπομπή του CO και των υδρογονανθράκων είναι αμελητέα με τα περισσότερα καύσιμα υδρογονανθράκων υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας του αέρα καύσης. Η αιθάλη, τα σωματίδια και η καθυστέρηση ανάφλεξης μπορεί να είναι ένα θέμα που χρησιμοποιηθούν καύσιμα με υψηλή αναλογία άνθρακα έτσι ώστε κάποιος πρέπει να αναπτύξει μέσα από την καύση καταλοίπων μαζούτ σε σταθερούς αεροστροβίλους. Για αέρια και ελαφρά καύσιμα τα σωματίδια αιθάλης δεν αποτελούν μείζον ζήτημα. Η εκπομπή του NOx είναι επίσης χαμηλή δεδομένου ότι η θερμική ομοιομορφία του τομέα στον θάλαμο καύσης είναι πολύ ψηλή. Η θερμική ομοιομορφία του τομέα κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης είναι κατά πολύ ανώτερη από οποιαδήποτε άλλη γνωστή μέθοδο καύσης. Μια ενδιαφέρουσα ιδέα αεροστροβίλου επί του παρόντος στο στάδιο της ανάπτυξης στο Πανεπιστήμιο Nagoya (Ιαπωνία) ονομάζεται ο χημικός αεροστροβίλος. Αυτή η ιδέα συνδυάζει την συμβατική τεχνολογία αεροστροβίλων καύσης και βασίζεται στην μετατροπή του καυσίμου σε χαμηλού μοριακού βάρους αερίων πριν από την καύση με υψηλή θερμοκρασία αέρα . Η καύση γίνεται υπό συνθήκες ισχνών καυσίμων.

Ένα σχηματικό διάγραμμα ενός αεροστροβίλου υψηλής θερμοκρασίας αέρα καύσης είναι κατ' ουσίαν ότι φαίνεται στις Εικόνες 2.4 και 2.5. Σε αυτή την ρύθμιση του αεροστροβίλου το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας από τα καυσαέρια ανακτάται και επανατροφοδοτούν το φούρνο, τον λέβητα ή τον αεροστροβίλο. Στο προτεινόμενο σύστημα η θερμότητα εξάτμισης ανακτάται, χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, έναν εναλλάκτη θερμότητας υψηλής απόδοσης και μεταφέρονται πίσω στον θάλαμο αεροστροβίλου καύσης. Ένας λέβητας φούρνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την τουρμπίνα αερίου για να ενισχυθεί η συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος. Οι σχετικές αναλογίες της θερμικής ενέργειας μεταφέρεται πίσω στο φούρνο, μετάκαυσης, και αεροστροβίλων απαιτούν προσεκτική προσαρμογή για το συγκεκριμένο υπό εξέταση σύστημα .

## **2.8 ΧΡΩΜΑΤΑ, ΛΙΠΑΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ, ΚΑΙ ΒΑΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ**

Η υψηλής θερμοκρασίας τεχνολογία καύσης προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για την θερμική καταστροφή των αποβλήτων των χρωμάτων, των λιπαρών αποβλήτων, και άλλους ιξώδεις υδρογονάνθρακες. Η τεχνολογία μπορεί να αναπτυχθεί επίσης για την καθαρή και υψηλή αποδοτική καύση του βαρέως μαζούτ. Ωστόσο, αναμένεται ότι το HiTAC πρέπει να προσφέρει καλά οφέλη για περαιτέρω ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας για χρώματα αποβλήτων, λιπαρά απόβλητα, και άλλους ιξώδεις υδρογονάνθρακες.

## **2.9 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

Η αναμόρφωση ατμού των υδρογονανθράκων είναι ελκυστική από την άποψη των αυξημένων ποσών αναμόρφωσης της παραγωγής υδρογόνου σε χαμηλό κόστος. Η τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας καύσης του αέρα έχει αποδειχθεί ότι είναι καθοριστικής σημασίας για την παροχή υψηλότερων επιπέδων του υδρογόνου χρησιμοποιώντας αναμόρφωση ατμού. Υψηλά επίπεδα της παραγωγής υδρογόνου σε εργαστηριακό επίπεδο έχουν δείξει χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά υψηλής θερμοκρασίας καύση αέρα. Η πρόκληση εδώ είναι να παραχθούν πολύ μεγάλες ποσότητες καθαρού υδρογόνου σε χαμηλό κόστος. Αναμένεται ότι οι προσπάθειες ανάπτυξης για να παραχθεί υδρογόνο σε χαμηλό κόστος θα αυξηθούν στο μέλλον. Άλλη πρόκληση θα ήταν να διαχωριστούν το CO από το υδρογόνο που παράχθηκε. Στο παράδειγμα που δόθηκε παραπάνω, ο άνθρακας (ή ο υδρογονάνθρακας) μετατρέπεται σε χρήσιμη χημική ενέργεια (CO και H<sub>2</sub>) με την διαδικασία αναμόρφωσης του ατμού. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ισορροπίας δείχνουν ότι αυξημένα επίπεδα του CO και του υδρογόνου παράγονται σε υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιώντας υψηλής θερμοκρασίας ατμό. Φυσικά, υπάρχει μια ανταλλαγή μεταξύ της θερμοκρασίας και της πίεσης για ένα συγκεκριμένο καύσιμο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. J.R. Cornforth, Combustion Engineering and Gas Utilization, 3<sup>rd</sup> edition, 1992.
2. J.A.Wunning and J.G.Wunning, Prog. Energ. Combustion. Sci., 29:81, 1997
3. F.J.Weinberg, Combustion Science and Technology, 121:3, 1996
4. M.Flamme, 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Technologies and Combustion for a clean Environment, Lisbon, 1997.
5. L.M.Dearden et al, J. Inst. Energ. , 69:23, 1996
6. Y. Suzukawa et al, J. Inst. Energ., 38 :1061, 1997
7. R. Weber et al. Proceedings of 2nd Int. Seminar on High Temperature Combustion in Industrial Furnace, Stockholm,2000.
8. A. Sobiesiak et al, Combust. Flame, 115 :93, 1998
9. E.W.Grandmaison et al, Combust. Flame, 114 :381, 1998
10. A.K. Gupta, Flameless Combustion Workshop : Application to Gas Turbine Engines, ALSTOM power technology, Baden,Switzerland,2001.
11. R.C.Chang and W.C. Chang, Research of high temperature air combustion fires heavy oils, Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Sem. On High Temperature Air Combustion, Sweden, 2000.
12. T. Yamamoto et al, Prediction of NO<sub>x</sub> emissions from High temperature gas turbines,ASME J. Engineering for Gas turbines and Power, 2001.
13. T. Hasegawa, S. Mochida and A.K. Gupta, J. Propulsion Power, 2001
14. N. Konishi et al, J. Propulsion Power, 2001
15. Υλικό από σχετικές σελίδες στο διαδίκτυο.