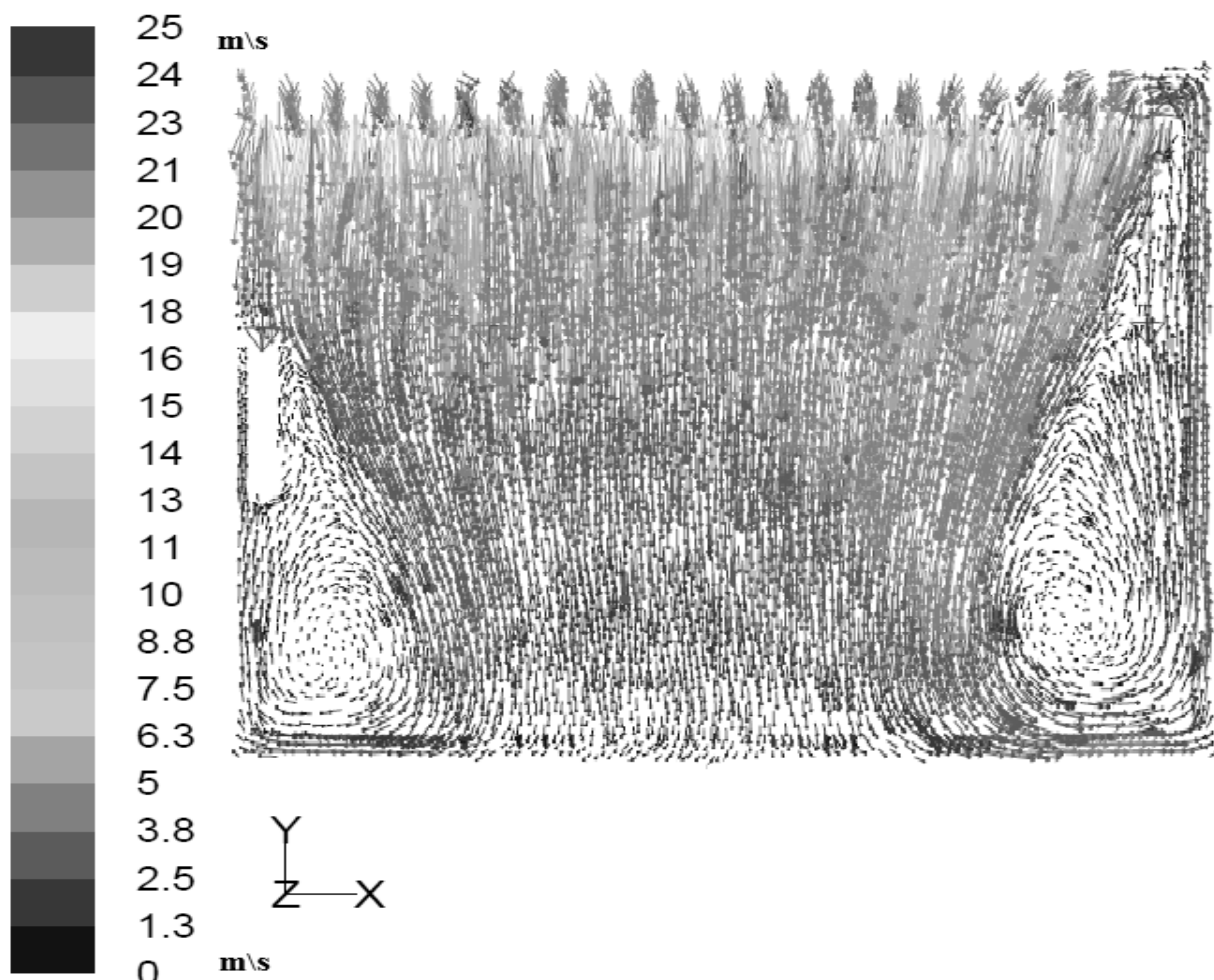


ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗ
ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

“ Προσομοίωση και βελτιστοποίηση της θερμικής επεξεργασίας αλλαντικών (σαλαμιού γαλοπούλας) με τη χρήση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής σε βιομηχανικό επίπεδο.”



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: **ΡΗΓΑΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ**

Επιβλέπων καθηγητής: Γιαννιώτης Στ.

Α' μέλος Επιτροπής: Στοφόρος Ν.

Β' μέλος Επιτροπής: Δροσινός Ε.

ΑΘΗΝΑ 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων & Διατροφή του Ανθρώπου» πραγματοποιήθηκε η παρακάτω μελέτη. Στις μέρες μας ο ηλεκτρονικός υπολογιστής έχει εισβάλει αρκετά στη ζωή μας και εφαρμογές του χρησιμοποιούνται σε πολλές επιστήμες συμπεριλαμβανομένης και της τεχνολογίας τροφίμων, όπου μεταξύ των άλλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την προσομοίωση διεργασιών επεξεργασίας τροφίμων. Μια τέτοια διεργασία είναι και η θερμική επεξεργασία αλλαντικών με βάση τη γαλοπούλα μέσα σε βιομηχανικό φουρνο-ξηραντήρα. Η στοιχειοθέτηση του θέματος και της μεθοδολογίας της μελέτης πραγματοποιήθηκε από τον αναπληρωτή καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Σταυριανό Γιαννιώτη, ενώ πολύ σημαντική ήταν και η βοήθεια του υποψηφίου διδάκτορα Δήμου Ανδρέα, της συναδέλφου Παντελάκη Ευτυχίας και της κ. Κατερίνας Σάρδη, εξωτερική συνεργάτης του ΠΜΣ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	5
1. Ιστορική αναδρομή της χρήσης προϊόντων από κρέας πουλερικών.....	5
2. Η σημασία της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής σε βιομηχανικό επίπεδο.....	6
3. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΛΛΑΝΤΙΚΩΝ	7
1.1 Γενικές πληροφορίες περί αλλαντικών.....	7
1.2 Είδη αλλαντικών στην αγορά με βάση το λευκό κρέας πτηνών.....	9
1.3 Αλλαντικά με βάση τη γαλοπούλα.....	9
1.4 Η Μικροβιολογία των αλλαντικών γαλοπούλας.....	12
1.5 Μηχανολογικός εξοπλισμός.....	17
1.6 Επιλογή μίγματος κάπνισης, θέρμανσης & ψύξης.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗ	20
2.1 Θεωρητικά στοιχεία.....	20
2.2 Αντιμετώπιση ενός προβλήματος με τη χρήση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής.....	24
2.2.1 Απεικόνιση της γεωμετρίας.....	25
2.2.2 Εισαγωγή δεδομένων στο Fluent και λήψη αποτελεσμάτων.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	30
3.1 Υλικά και Μέθοδοι.....	30
3.2 Υπολογιστικό τμήμα της μελέτης.....	38
3.2.1 Υπολογιστικό σύστημα και λειτουργικά προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν.....	38
3.2.2 Απεικόνιση της πειραματικής γεωμετρίας.....	38
3.2.3 Εισαγωγή δεδομένων στο Fluent και λήψη αποτελεσμάτων.....	42

3.2.3.1 Εισαγωγή των θερμοφυσικών ιδιοτήτων.....	42
3.2.3.2. Εισαγωγή πειραματικών δεδομένων.....	45
3.2.3.3 Επιλογή μοντέλου ροής, λυτών, σχημάτων παραγωγής, ειδών διακριτοποίησης των εξισώσεων, παραγόντων υπό ηρεμία και ορίων σύγκλισης.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	54
4.1. Γενικά.....	54
4.2. Έλεγχος της ανεξαρτησίας των αποτελεσμάτων από την πυκνωση του πλέγματος.....	54
4.3. Έλεγχος της ακρίβειας προσέγγισης των πειραματικών δεδομένων από το λύτη.....	56
4.4. Παραμετρικές μελέτες για την επίδραση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων στο επίπεδο θέρμανσης του αλλαντικού.....	58
4.5. Έλεγχος της επάρκειας του επιπέδου θέρμανσης ως προς την αντιμετώπιση σημαντικών παθογόνων μικροοργανισμών.....	63
4.6. Βελτιστοποίηση της διαδικασίας ξήρανσης-κάπνισης-θέρμανσης.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΚΡΕΑΣ ΠΟΥΛΕΡΙΚΩΝ

Κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών πολλά νέα προϊόντα, με βάση το κρέας πουλερικών, έχουν εισαχθεί στην αγορά. Το τμήμα της βιομηχανίας τροφίμων που ασχολείται με το κρέας των πουλερικών με σκοπό να δημιουργήσει φρέσκα, πλήρως μαγειρεμένα και έτοιμα για κατανάλωση προϊόντα εισήγαγε πολλές τεχνικές που εφαρμόζονται στο κόκκινο κρέας.

Μέσω αυτής της στρατηγικής επιτεύχθηκε μια μεταβολή της ζήτησης των προϊόντων πουλερικών και από την εποχιακή ζήτηση που παρουσιαζόταν (Χριστούγεννα, ημέρα ευχαριστιών στις ΗΠΑ) μέχρι πρότινος υπάρχει πλέον ζήτηση όλο το έτος.

2. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Η δυνατότητα της προσομοίωσης διαφόρων διαδικασιών σε βιομηχανικό επίπεδο, όπως αυτή της θερμικής επεξεργασίας είναι κεφαλαίωδους σημασίας για μια βιομηχανία τροφίμων. Η ανάγκη για εφαρμογή πρακτικών όπως η χρήση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής σε σημεία της παραγωγής της βιομηχανίας μπορεί να αποδειχτεί όχι μόνο πολύ χρήσιμη μέθοδος, ως προς την εξαγωγή συμπερασμάτων που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά και μια μέθοδος ασυγκρίτως πιο οικονομική σε σχέση με πιλοτικά προγράμματα βελτιστοποίησης της

Η υπολογιστική ρευστοδυναμική ως ένα εργαλείο βελτιστοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας έχει πολυάριθμες δυνατότητες. Οι σημαντικότερες από αυτές που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη είναι οι εξής:

1. Δυνατότητα απεικόνισης και κατανόησης της θερμικής επεξεργασίας προϊόντων στο περιβάλλον φούρνου.
2. Προσομοίωση και ανάλυση των προφίλ θερμοκρασίας και ροής αέρα στο εσωτερικό του φούρνου.
3. Βελτιστοποίηση των υπαρχουσών διαδικασιών.

Ο έλεγχος της ροής αέρα μέσα στο περιβάλλον του βιομηχανικού φούρνου της θερμικής επεξεργασίας είναι σημαντική διότι παρέχει τη δυνατότητα να διαπιστωθεί η

αποτελεσματικότητα της θερμικής επεξεργασίας και κατ' επέκταση αυτού τα επίπεδα μικροβιακού φόρτου του υπό εξέταση προϊόντος.

3. Ο ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η χρήση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής στη μελέτη της θερμικής επεξεργασίας αλλαντικών. Ειδικότερα οι σκοποί της παρούσας μελέτης είναι οι εξής:

- Διαπίστωση της δυνατότητας του λύτη Fluent 6.3.26 να προσεγγίζει με ακρίβεια τα πειραματικά δεδομένα σε περιπτώσεις κατά τις οποίες γίνεται μελέτη μεγάλων πειραματικών γεωμετριών (συνολικός όγκος του φούρνου 12,37 m³) και τρισδιάστατη απεικόνιση της πειραματικής γεωμετρίας.
- Πραγματοποίηση παραμετρικών μελετών ως προς την επίδραση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αλλαντικού στα επίπεδα θέρμανσης του έχοντας διαρκώς τις ίδιες συνθήκες θέρμανσης.
- Διαπίστωση της επάρκειας του προγράμματος θέρμανσης με σκοπό την αντιμετώπιση της *Salmonella* spp. (απαιτείται θέρμανση 71oC για 26 δευτερόλεπτα της ώρας στο κέντρο του αλλαντικού).
- Προσπάθεια βελτιστοποίησης της διαδικασίας ξήρανσης-κάπνισης-θέρμανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΛΛΑΝΤΙΚΩΝ

1.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΡΙ ΑΛΛΑΝΤΙΚΩΝ

Η χρήση των αλλαντικών ως μεταποιημένα προϊόντα κρέατος ή ως ένα συστατικό της διατροφής έχει αναγνωριστεί σε διαφορετικές ποικιλίες προϊόντων και διαφορετικούς πολιτισμούς του κόσμου εδώ και πολλούς αιώνες. Σε αρκετές κοινωνίες η κατανάλωση αλλαντικών έχει βάσεις στην παράδοση των λαών (Γερμανία, Αγγλία, Ηνωμένες Πολιτείες κλπ) και αυτά θα συνεχίσουν να είναι δημοφιλή για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Βασικό πλεονέκτημα των αλλαντικών σε σχέση με το κρέας από το οποίο προέρχονται είναι η διατήρηση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα λόγω των διαφόρων καρυκευμάτων, η χαμηλότερη τιμή της πλειοψηφίας των προϊόντων σε σχέση με το κρέας από το οποίο προέρχονται, ο μικρότερος χρόνος προετοιμασίας ενός γεύματος και η μικρή απώλεια θρεπτικών συστατικών κατά την μεταποίηση του κρέατος (Πινάκας 1).

Λόγω αυτών η αγορά και κατανάλωση αλλαντικών καταλαμβάνει σταθερό κομμάτι της αγοράς κρέατος με μικρές αυξητικές τάσεις.

Πινάκας 1 Ανάλυση της χημικής σύστασης, διατροφικής αξίας των αλλαντικών με βάση τη γαλοπούλα και σύγκριση με άλλα είδη κρεατοσκευασμάτων.

		αξία ανά 100 γραμμάρια. Τύπος κρέατος ή κρεατοσκευασμάτος				
Σύσταση	μονάδα	A	B	Γ	Δ	E
Νερό	g	61,7	73,5	71,8	69,47	58,37
Ενεργεία	kcal	200	101	149	126	241
Πρωτεΐνες	g	28,1	19	18,84	22,56	23,87
Ολικό λίπος	g	9,7	2	7,62	3,78	15,37
Τέφρα	g	0,5	3,2	3,5	3,77	0,88
Υδατάνθρακες	g	0	2	0	0	0
Ινες	g	0	0	0	0	0
ολικά σάκχαρα	g	0	1,2	0	1,08	0
σουκρόζη	g	0	0,5	0	0,49	0
γλυκόζη	g	0	0,7	0	0,59	0

Ιχνοστοιχεία						
Ασβέστιο	mg	26	7	6	4	33
Σίδηρος	mg	1,79	1	0,85	0,84	2,27
Μαγνήσιο	mg	25	16	21	22	17
Φωσφόρος	mg	203	289	292	312	166
Κάλιο	mg	280	253	281	349	241
Νάτριο	mg	996	909	1155	986	73
Ψευδράργυρος	mg	2,96	2,1	2,23	1,82	5,84
Χαλκός	mg	0,093	0	0,114	0,189	0,081
Μαγγάνιο	mg	0	0	0,047	0,022	0,009
Φθόριο	mcg	0	0	0	0	22,4
Σελήνιο	mcg	30,3	38,2	19,8	41,8	19,1

Βιταμίνες						
βιτ C	mg	0	0	23,3	0	0
θειαμίνη	mg	0,06	0,23	0,53	0,468	0,051
ριβοφλαβίνη	mg	0,18	0,27	0,238	0,23	0,168
νιασίνη	mg	5,09	4,12	3,553	6,72	4,026
παντοθενικό	mg	0	0	0,873	1,05	0,515
βιτ Β6	mg	0,41	0,06	0,256	0,428	0,311
φολικό οξύ	mcg	7	0	3	1	7
χολίνη	mg	69,9	0	0	86,1	80
Βεταΐνη	mg	5,9	0	0	3,7	10,4
βιτ Β12	mcg	0,35	0,8	1,41	0,51	2,46
βιτ Α	mcg	0	16	0	13	0
βιτ Ε	mg	0,34	0	0	0,19	0,44
βιτ D	mcg	0	0	0	0,8	0
Χολοστερόλη	mg	82	64	73	63	66

Τροποποίηση από www.nal.usda.gov (Βάση δεδομένων των θρεπτικών στοιχείων τροφίμων του Υπουργείου τροφίμων και Γεωργίας των ΗΠΑ)

Τύπος κρέατος ή κρεατοσκευάσματος

A= γαλοπούλα καπνιστή, μαγειρεμένη, με δέρμα άνευ οστών

B= σαλάμι γαλοπούλας καπνιστό και κατεψυγμένο

Γ= σαλάμι χοιρινό, με καρκεύματα, βραστό άνευ οστών

Δ= σαλάμι χοιρινό με καρκεύματα με φυσικούς χυμούς, βραστό άνευ οστών σε ροδέλες

Ε=μοσχάρισιο κρέας, ρολό, 70% άπαχο κρέας & 30% λίπος, μαγειρεμένο

1.2 ΕΙΔΗ ΑΛΛΑΝΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΛΕΥΚΟ ΚΡΕΑΣ ΠΤΗΝΩΝ

Τις τελευταίες δεκαετίες λόγω διαφόρων επιστημονικών ερευνών που καταδεικνύουν την υγιεινότερη πλευρά του λευκού κρέατος σε σχέση με το κόκκινο κρέας, παρατηρείται μια μερική στροφή της βιομηχανίας παραγωγής κρεατοσκευασμάτων σε αλλαντικά με βάση το κρέας των πουλερικών. Λόγω αυτού του στοιχείου τα αλλαντικά από κρέας πουλερικών αρχίζουν προοδευτικά και αυξάνουν το ποσοστό που καταλαμβάνουν στη αγορά κρεατοσκευασμάτων.

Παράλληλα ένα άλλο στοιχείο που το ενισχύει αυτό είναι η εισαγωγή των νέων συνταγών στη βιομηχανία των αλλαντικών από κρέας πουλερικών που οδηγεί στη δημιουργία πληθώρας νέων προϊόντων μερικά από τα οποία είναι τα εξής:

- Λουκάνικα Φρανκφούρτης από κοτόπουλο (κατέχει πλέον το 20% της αγοράς σε σχέση με παρεμφερή προϊόντα)
- Λουκάνικα τύπου Bologna με βάση το κοτόπουλο ή τη γαλοπούλα.
- Ζαμπόν από γαλοπούλα.
- Καπνιστό σαλάμι γαλοπούλας.

1.3 ΑΛΛΑΝΤΙΚΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΓΑΛΟΠΟΥΛΑ

Η παραγωγή των καπνιστών αλλαντικών γαλοπούλας ξεκινά στο ζων πτηνό με την αναισθητοποίηση του και ολοκληρώνεται με την ψύξη του αλλαντικού. Η γραμμή παραγωγής που θα αναφερθεί, σε γενικές γραμμές, εφαρμόζεται στην παραγωγή όλων των αλλαντικών με βάση το κρέας πουλερικών. Ποιά συγκεκριμένα τα στάδια τα οποία περιλαμβάνονται και θα αναλυθούν είναι τα εξής:

1. Αναισθητοποίηση της γαλοπούλας
2. Κοπή λαιμού και αφαίμαξη
3. Ζεματισμός σφάγιου
4. Διαχωρισμός των κομματιών
5. Μείωση του μεγέθους (grinding) των μυϊκών τεμαχίων της γαλοπούλας και νιφαδοποίηση (flaking)
6. Τεμαχισμός (chopping) των κομματιών κρέατος σε μικρότερα
7. Μετατροπή των τεμαχίων αυτών σε γαλάκτωμα (emulsification)
8. Περαιτέρω ανάμειξη του υλικού (mixing)

9. Επιπρόσθετη μαλάκυνση του προϊόντος με χρήση μηχανήματος μάλαξης (massaging) ή με μηχανήμα αποτελούμενο από λεπίδες (macerating)
10. Τοποθέτηση του ρευστού υλικού μέσα σε συσκευασία από κυτταρίνη ή πολυαιθυλένιο
11. Ενέσιμη προσθήκη διαφόρων υγρών στο αλλαντικό (injection)
12. Κάπνιση, θέρμανση
13. Ψύξη

Η αναισθητοποίηση της γαλοπούλας μπορεί να γίνει με τρεις βασικούς τρόπους οι οποίοι είναι οι :

I. Αναισθητοποίηση με ηλεκτρικό ρεύμα: στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ρεύμα έντασης 120-150 mA μετά από τοποθέτηση των πτηνών σε δεξαμενή με νερό. Η χρησιμοποιούμενη ένταση βασίζεται σε μελέτες που έχουν γίνει βάσει των οποίων έχει αποδειχτεί ότι με τέτοιας έντασης ρεύμα το αποτέλεσμα της αναισθητοποίησης είναι μη αναστρέψιμο, στοιχείο που συνάδει με το θέμα της ευζωίας των πτηνών.

II. Αναισθητοποίηση με χρήση αερίων: στη μέθοδο αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε Argon είτε CO₂. Η μέθοδος αυτή θεωρείται εξίσου αποτελεσματική με την προηγούμενη και συνήθως οδηγεί σε λιγότερες τοπικές αιμορραγίες (πετέχιες) σε σχέση με το ηλεκτρικό ρεύμα.

III. Αναισθητοποίηση επιφέροντας μηχανικό τραύμα: η μέθοδος αυτή πλέον έχει εγκαταλειφθεί διότι δεν συνάδει με την ευζωία των πτηνών.

Μετά την αναισθητοποίηση ακολουθεί η κοπή του κεφαλιού και η αφαίμαξη. Κατά την κοπή του κεφαλιού υφίστανται ρήξη οι καρωτίδες αρτηρίες και οι σφαγίτιδες φλέβες και έτσι επέρχεται η έξοδος του αίματος. Η διαδικασία της αφαίμαξης συνήθως διαρκεί 2-3 λεπτά, χρονικό διάστημα που επιτρέπει να εξέλθει το μεγαλύτερο ποσοστό του αίματος από το σφάγιο.

Έπειτα πραγματοποιείται πρώτα ο ζεματισμός και μετέπειτα ο διαχωρισμός του σφαγίου σε επιμέρους κομμάτια και διαλογή των κομματιών που θα χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή των αλλαντικών και μετά αποστέωση αυτών.

Αφού γίνει η επιλογή των τεμαχίων της γαλοπούλας και η αποστέωση τους, τα τεμάχια αυτά τοποθετούνται σε grinder-flaker με σκοπό να μειωθεί το μέγεθος των τεμαχίων του κρέατος και έπειτα να γίνει λεία η εξωτερική επιφάνεια των τεμαχίων. Αυτές οι δυο

διαδικασίες αποσκοπούν στο να διευκολυνθεί η αναδόμηση των τεμαχίων κρέατος σε προϊόντα με βάση το κρέας.

Ἡ συνήθης συνταγή η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή καπνιστών αλλαντικών γαλοπούλας και η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Η διαδικασία παραγωγής που ακολουθείται στηρίζεται αρχικά στην ανάμειξη του βασικού κομματιού κρέατος, μια ημέρα πριν την έναρξη της κύριας διαδικασίας, μαζί με όλο το νερό και το 40% των καρυκευμάτων μέχρι τη δημιουργία ενός ομοιογενούς μίγματος. Έπειτα το μίγμα θα πρέπει να τοποθετηθεί στην ψύξη. Ακολούθως την επομένη ημέρα το κομμάτι κρέατος και το δέρμα που προορίζονται για το γαλάκτωμα θα πρέπει να τεμαχιστούν (μέχρι το επιθυμητό μέγεθος) και παράλληλα να προστεθεί το υπόλοιπο μέρος των καρυκευμάτων. Κατά την διάρκεια της ανάμειξης αρχικά προστίθεται το 1/3 του πάγου (σε θερμοκρασία μίγματος 12°C). Έπειτα και καθώς η θερμοκρασία μειώνεται στους 8°C προστίθεται και το υπόλοιπο τμήμα του πάγου.

Πίνακας 2. Παρουσίαση της τυπικής συνταγής δημιουργίας καπνιστών αλλαντικών γαλοπούλας

Τμήμα της συνταγής		Ποσότητα
Γαλάκτωμα (60 κιλά)	Μπούτι γαλοπούλας (3mm)	42 κιλά
	Δέρμα γαλοπούλας (3mm)	8 κιλά
	Πάγος	10 κιλά
Βασικό κομμάτι (40κιλα)	Μπούτι γαλοπούλας (5mm)	34 κιλά
	Κρύο νερό	6 κιλά
Καρυκεύματα\επιπρόσθετα συστατικά	Μίγμα(άμυλο,αλάτι,δεξτρόζη,καρυκεύματα,πατάτα,erythorbate C6H7NaO6)	3 κιλά
	Καστανή ζάχαρη	1 κιλό
	Curing salt,φωσφορικό,σκόνη σκόρδου και μαύρο πιπέρι	1 κιλό
Συνολική ποσότητα		104 κιλά

Το μίγμα το οποίο έχει δημιουργηθεί τοποθετείται σε περιέκτες για να ακολουθητέ η μεταγενέστερη κάπνιση του. Τοποθετείται σε θάλαμο κάπνισης-ξήρασης-θερμικής

επεξεργασίας αρχικά στους 55°C για 15 λεπτά (απομάκρυνση ποσού υγρασίας) και έπειτα στους 60°C για 30 λεπτά μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό χρώμα. Μετά από την κάπνιση τα αλλαντικά με σκοπό να παστεριωθούν θερμαίνονται μέχρι τους 78 °C με τέτοιο τρόπο ώστε το κέντρο του κάθε σαλαμιού να φτάσει τους 71,1°C. Αφού επιτευχθούν αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας πραγματοποιείται μείωση της θερμοκρασίας των αλλαντικών με καταιονισμό ψυχρού νερού.

Η σημασία της θερμικής επεξεργασίας των αλλαντικών αυτών είναι κατά βάση η μείωση του αριθμού ή/και καταστροφή των αλλοιογόνων μικροοργανισμών και των μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για τροφικές δηλητηριάσεις (*Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Clostridium botulinum*, *Cl. Perfringens*, *E. coli*, *Staph. Aureus* & *Listeria monocytogenes*) καθώς επίσης και η μετουσίωση των πρωτεϊνών που οδηγεί σε αλλαντικά στερεότερης σύστασης.

Στα πλαίσια της θανάτωσης των διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών απαιτείται στο τελικό προϊόν να υπάρχει μείωση του πληθυσμού της *Salmonella* spp κατά 7.0 log10, να μην υπάρχει καθόλου *Clostridium botulinum*, η ανάπτυξη του *Clostridium Perfringens* να μην ξεπερνά το 1 log10 και να μην υπάρχει καθόλου *Listeria monocytogenes*.

Πίνακας 3. Επίδραση και σημασία της θερμοκρασίας στην μορφοποίηση των αλλαντικών

Θέρμανση στους	30°C	45 °C	60 °C	70 °C
προκαλεί	Αργο λιώσιμο του λίπους	Μείωση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος έναρξη ζελατινοποίησης	Επέκταση λιποσφαιρίων λιώσιμο κολλαγόνου Συνέχιση ζελατινοποίησης	Όπως στους 60oC

Η σημασία της κάπνισης οφείλεται στην ύπαρξη κάποιων βακτηριοστατικών ουσιών μέσα στον καπνό (δρουν στην εξωτερική επιφάνεια του προϊόντος και σε βάθος ελαχίστων χιλιοστών) αλλά και στην απόκτηση από το προϊόν μιας ιδιαίζουσας οσμής και γεύσης.

1.4 Η ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΛΛΑΝΤΙΚΩΝ ΓΑΛΟΠΟΥΛΑΣ

Η μικροβιολογία των σαλαμιών γαλοπούλας είναι ένα αντικείμενο το οποίο, αν και δεν αποτελεί βασικό άμεσο κομμάτι της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, ωστόσο θα

αναφερθεί λόγω της μείζονος σημασίας που έχει για τη βιομηχανία μεταποίησης αλλαντικών με βάση τη γαλοπούλα.

Η μελέτη της μικροβιολογίας του σαλαμιού γαλοπούλας πρέπει να ξεκινήσει από το αρχικό στάδιο της μεταφοράς του ζώντος πουλερικού μέχρι και το τελικό στάδιο της συσκευασίας πριν την μεταφορά στους χώρους διανομής.

1. Μεταφορά των ζώντων ζώων

Οι γαλοπούλες με σκοπό να μεταφερθούν στο εργοστάσιο επεξεργασίας τους θα πρέπει να πιαστούν και να τοποθετηθούν σε ξύλινα ή πλαστικά κλουβιά. Κατά την μεταφορά αυτή τα πουλερικά δέχονται μεγάλη καταπόνηση και παράλληλα υπάρχει το ενδεχόμενο τραυματισμού τους.

Τέτοιου είδους καταπόνηση μπορεί να προκαλέσει από την πλευρά των πουλερικών απώλεια κοπράνων με αποτέλεσμα την μόλυνση του χώρου μεταφοράς με πληθώρα μικροοργανισμών.

Οι μικροοργανισμοί αυτοί μπορεί να ποικίλουν από κολοβακτηριοειδή της φυσικής χλωρίδας του εντερικού σωλήνα των πουλερικών μέχρι *Salmonella* spp. και *Campylobacter* spp.

Λόγω της απώλειας κοπράνων υπάρχει άμεσα μόλυνση τόσο γειτονικών πουλερικών όσο και των κλωβών μεταφοράς. Επιπροσθέτως αν η μόλυνση αυτή συνδυαστεί με πλημμελή καθαρισμό των κλωβών μεταφοράς μπορεί να υπάρξει διαιώνιση της μόλυνσης και σε μεταγενέστερες παρτίδες μεταφερόμενων πουλερικών.

Πίνακας 4. Εμφάνιση διαφόρων οροτύπων της *Salmonella* spp. Στους κλωβούς μεταφοράς και στα σφάγια.

Ορότυποι <i>Salmonella</i> σε κλωβούς μεταφοράς & σε πουλερικά μετά τη σφαγή	
<u><i>Caecal</i></u>	<u>κόπρανα από κλωβούς μεταφοράς</u>
montevideo	blockey
anatum	hadar
	cerro, infantis, livingstone, typhimurium, give
	montevideo, seftenberg, anatum

(Τροποποίηση από *The microbiology of meat and poultry*, Andrew Davies & Ron Board)

2. Ζεματισμός των πουλερικών

Μετά την αναισθητοποίηση, τη θανάτωση και την αφαίμαξη (σημαντικό σημείο επιμόλυνσης των χωρών του σφαγείου με μολυσμένο αίμα πουλερικών) των πουλερικών ακολουθεί ο ζεματισμός των πουλερικών. Σκοπός του ζεματισμού είναι η ευκολότερη απομάκρυνση του πτερώματος.

Ο ζεματισμός πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες της τάξης των 50-60°C. Ανάλογα με τη θερμοκρασία ζεματισμού έχει διαπιστωθεί ότι είναι και το επίπεδο *Salmonella* spp. και *Campylobacter* spp στην επιδερμίδα των ζεματισμένων πουλερικών.

3. Αποπτέρωση των πουλερικών

Η αποπτέρωση των πουλερικών ακολουθεί το ζεματισμό και αποτελεί ένα σημαντικό σημείο διασταυρούμενης επιμόλυνσης των σφαγίων των πουλερικών με αποτέλεσμα από ένα μολυσμένο σφάγιο, μέσω της αυτόματης αποπτέρωσης, να υπάρχει επιμόλυνση όλης της τρέχουσας γραμμής παραγωγής.

Οι συνηθέστεροι μικροοργανισμοί που έχουν βρεθεί στο στάδιο της αποπτέρωσης είναι οι *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* και *Campylobacter jejuni*. Ο αριθμός αυτών ποικίλει ανάλογα το pH του νερού ζεματισμού και αποπτέρωσης, αν κατά την αποπτέρωση εφαρμόζεται καταιονισμός ύδατος.

Πίνακας 5. Επίδραση της θερμοκρασίας του ζεματίσματος στα επίπεδα *Salmonella* spp. & *Campylobacter* spp. στα σφάγια (Τροποποίηση από *The microbiology of meat and poultry.*)

		ΔΟΚΙΜΕΣ (log mpn/carcass)	ΔΟΚΙΜΕΣ (log mpn/carcass)	ΔΟΚΙΜΕΣ (log mpn/carcass)
Βακτήρια	°C ζεματίσματος	1	2	3
Salmonella	52	3	3,17	3,09
	56	3,16	3,17	3,34
	60	3,5	3,48	3,36
Campylobacter	52	3,64	3,3	4,18
	56	3,39	2,94	3,39
	60	4,08	3,59	3,98

Πινάκας 6α & 6β . Καταγραφή των σημαντικότερων μικροοργανισμών στα προϊόντα με βάση τη γαλοπούλα καθώς επίσης και των τιμών D και z αυτών.

αλλαντικά καπνιστά με βάση τη γαλοπούλα	Μικροοργανισμός	Θερμοκρασία (°C)	τιμή D (min)	τιμή z (°C)
		L.monocytogenes		2,1
	E. coli O157:H7	55	4,83	13,9
		60	0,76	13,9
		65	0,2	13,9
		70	0,15	13,9
	S. Typhimurium	57	4,6	5,56
		60	1,4	5,56
	C. jejuni C. jejuni	53	4,53	8,3
		55	3,2	8,3
		60	0,64	8,3
		65	0,42	8,3

(Τροποποίηση από Thermal food Processing New Technologies and Quality issues, Da wen sun)

κομμάτι κρέας	% λίπους	S.Heidelberg	Θερμοκρασία (°C)	τιμή D (min)	
Γαλοπούλα	2%		58	7,50	5,56
Γαλοπούλα	6.3%		58	7,71	5,56
Γαλοπούλα	9%		58	6,91	5,56
Γαλοπούλα	12%		58	7,41	5,56
Γαλοπούλα	2%		60	4,56	5,56
Γαλοπούλα	6.3%		60	4,94	5,56
Γαλοπούλα	9%		60	5,13	5,56
Γαλοπούλα	12%		60	5,43	5,56
Γαλοπούλα	2%		62.5	1,53	5,56
Γαλοπούλα	6.3%		62.5	1,85	5,56
Γαλοπούλα	9%		62.5	1,45	5,56

Γαλοπούλα	12%	S.Heidelberg	62.5	1,78	5,56
Γαλοπούλα	2%		65	0,59	5,56
Γαλοπούλα	6.3%		65	0,55	5,56
Γαλοπούλα	9%		65	0,57	5,56
Γαλοπούλα	12%		65	0,59	5,56

Πίνακας 7α & 7β.Οι βασικότεροι συνδυασμοί θερμοκρασίας και χρόνου θέρμανσης με σκοπό να επιτευχθεί μείωση του πληθυσμού της *Salmonella spp* κατά 7.0 log10.

	Προϊόντα με βάση το κοτόπουλο		Προϊόντα με βάση τη γαλοπούλα	
Θερμοκρασία οC	Μονάδες παστερίωσης χρόνος		Μονάδες παστερίωσης χρόνος	
57.7	64.5	λεπτά	64.3	λεπτά
58.33	51	λεπτά	52.2	λεπτά
58.88	40.5	λεπτά	42.5	λεπτά
59,44	32,2	λεπτά	34,6	λεπτά
60	25,7	λεπτά	28,3	λεπτά
60,55	20,5	λεπτά	23,2	λεπτά
61,111	16,4	λεπτά	19	λεπτά
61,661	13,2	λεπτά	15,6	λεπτά
62,222	10,6	λεπτά	12,8	λεπτά
62,772	8,6	λεπτά	10,6	λεπτά
63,333	6,9	λεπτά	8,7	λεπτά
63,883	5,5	λεπτά	7,1	λεπτά
64,444	4,4	λεπτά	5,8	λεπτά
64,994	3,5	λεπτά	4,7	λεπτά
65,555	2,7	λεπτά	3,7	λεπτά

66,105	2	λεπτά	2,9	λεπτά
66,666	1,5	λεπτά	2,3	λεπτά
67,216	1,2	λεπτά	1,8	λεπτά
67,777	56,9	δευτερόλεπτα	1,5	λεπτά
68,327	45	δευτερόλεπτα	1,2	λεπτά
68,888	35,6	δευτερόλεπτα	59,3	δευτερόλεπτα
69,438	28,2	δευτερόλεπτα	48,1	δευτερόλεπτα
69,999	22,3	δευτερόλεπτα	39	δευτερόλεπτα
70,549	17,6	δευτερόλεπτα	31,7	δευτερόλεπτα
71,11	14	δευτερόλεπτα	25,7	δευτερόλεπτα
71,66	11	δευτερόλεπτα	20,9	δευτερόλεπτα
72,221	<10,0	δευτερόλεπτα	16,9	δευτερόλεπτα
72,771	<10,0	δευτερόλεπτα	13,7	δευτερόλεπτα
73,332	<10,0	δευτερόλεπτα	11,2	δευτερόλεπτα
73,882	<10,0	δευτερόλεπτα	<10,0	δευτερόλεπτα

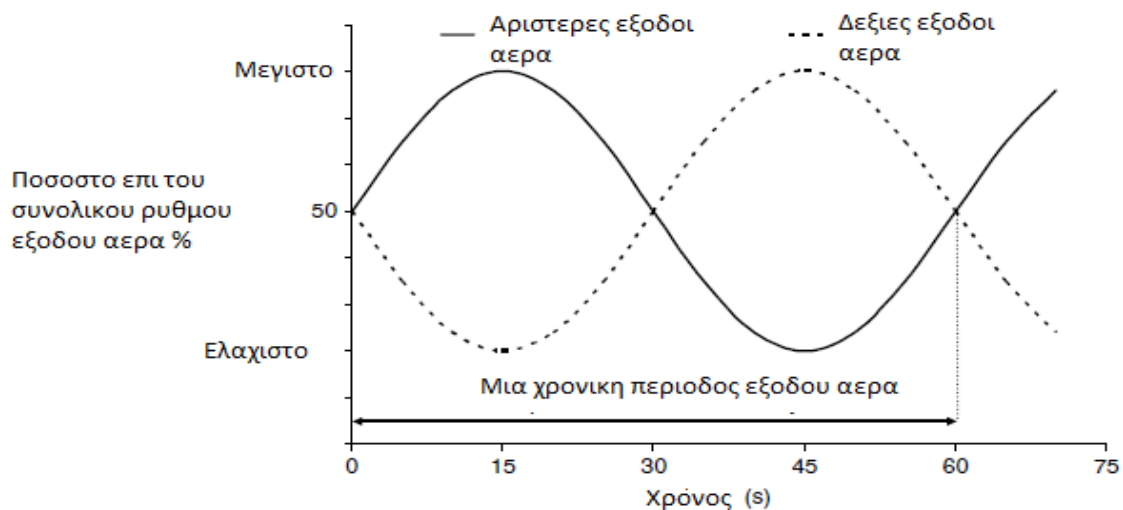
(Τροποποίηση από Thermal food Processing New Technologies and Quality issues, Da wen sun)

1.5 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Η γεωμετρία του συνήθους τύπου βιομηχανικού φούρνου-ξηραντήρα που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων είναι σχετικά απλή. Στο βιομηχανικό φούρνο-ξηραντήρα διοχετεύεται αέρας από ανοξείδωτα ακροφύσια τοποθετημένα στις δυο πλευρές του φούρνου και η έξοδος του αέρα πραγματοποιείται από ειδικά διαμορφωμένες τρύπες που βρίσκονται σε υψηλότερο σημείο σε σχέση με τις εξόδους αέρα. Συνήθως στους μοντέρνους βιομηχανικούς ξηραντήρες, με σκοπό να δημιουργηθούν ομοιογενείς συνθήκες ξήρανσης και θέρμανσης, και θεωρώντας ότι η λειτουργία τους είναι άμεσα εξαρτώμενη από το χρόνο, υπάρχει μια περιοδική μεταβολή της παροχής αέρα από τις δυο σειρές ακροφυσίων. Ειδικότερα όταν στη μια σειρά ακροφυσίων έχουμε μεταβολή από υψηλές ταχύτητες αέρα σε χαμηλότερες τότε αντιστρόφως στην άλλη σειρά ακροφυσίων έχουμε μεταβολή από χαμηλές σε υψηλότερες. Παρολαυτά ανά πάσα στιγμή το άθροισμα της παροχής αέρα και από τις δυο σειρές ακροφυσίων παραμένει σταθερό.

Κατά τη λειτουργία του βιομηχανικού φούρνου-ξηραντήρα, ο αέρας από τα ακροφύσια εξέρχεται κάθετα προς το οριζόντιο επίπεδο και από τις δυο σειρές ακροφυσίων. Όταν τα δυο ρεύματα αέρα ενωθούν, τότε ανέρχονται μαζί προς τα ανωτέρα σημεία του φούρνου μέχρι τα σημεία εξόδου του αέρα. Το σημείο στο οποίο τα δυο ρεύματα θα ενωθούν εξαρτάται άμεσα από τον κύκλο εξόδου αέρα που ακολουθείται.

Μέσω του συστήματος αυτού εξόδου του αέρα τα προϊόντα που βρίσκονται μέσα στο φούρνο σε χρονικό διάστημα μιας περιόδου δέχονται ακριβώς την ίδια ροή αέρα και λόγω αυτού θερμαίνονται και ξηραίνονται ομοιόμορφα. Δευτερευόντως στους σύγχρονους βιομηχανικούς ξηραντήρες-φούρνους το πρόγραμμα εξόδου του αέρα από τα ακροφύσια αυτορυθμίζεται και με περιόδους διακοπής εξόδου του αέρα ανάλογα με τα επίπεδα υγρασίας ή/και θερμοκρασίας του προϊόντος.



Σχημα 1. Απεικόνιση του συνηθούς σχηματος λειτουργιας των βιομηχανικων φουρνων αναφορικα με την ταχυτητα τοιυ εξερχομενου αερα από τις δυο σειρες ακροφυσιων.

1.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΠΝΙΣΗΣ, ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ & ΨΥΞΗΣ

Με σκοπό να πραγματοποιηθεί η κάπνιση των σαλαμιών γαλοπούλας επιλέγεται μίγμα καπνού σε υγρή μορφή με τέτοια χαρακτηριστικά ανάλογα με τις επιθυμητές βακτηριοστατικές ιδιότητες του καπνού και το επιθυμητό άρωμα στο καπνιστό αλλαντικό γαλοπούλας.

Η θέρμανση των αλλαντικών πραγματοποιείται με σκοπό την απόκτηση στο κέντρο του αλλαντικού σταθερής θερμοκρασίας 71oC για τουλάχιστον 26 δευτερόλεπτα. Το μίγμα που χρησιμοποιείται αποτελείται κατά βάση από ατμό και σε πολύ μικρό ποσοστό από αέρα.

Η ψύξη των αλλαντικών πραγματοποιείται με καταιονισμό ύδατος η οποία ξεκινά εφόσον έχουν επιτευχθεί οι επιθυμητές θερμοκρασίες στο εσωτερικό των σαλαμιών για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

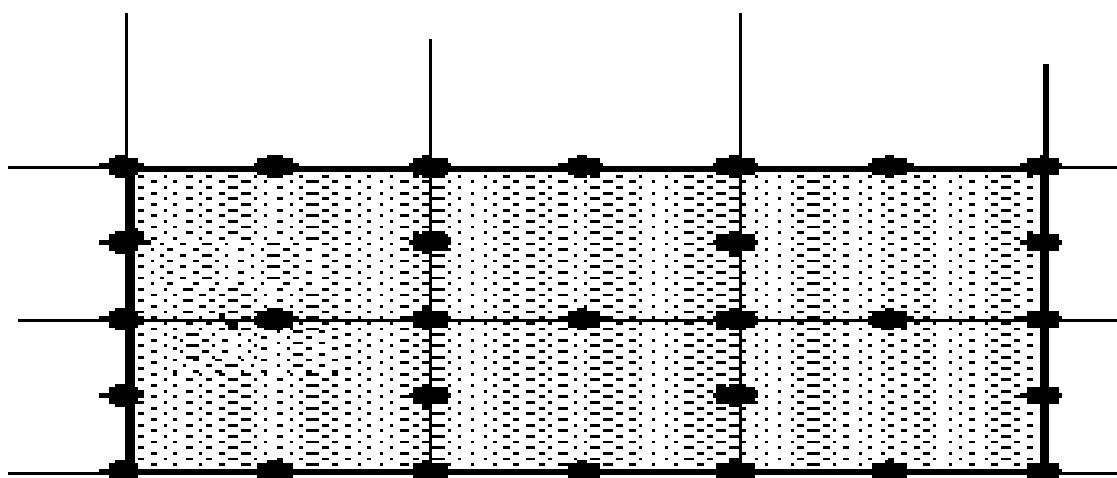
Η Υπολογιστική ρευστοδυναμική είναι μια διαδικασία κατά την οποία γίνεται προσπάθεια προσομοίωσης της συμπεριφοράς ενός ρευστού και του τρόπου αλληλεπίδρασης με αλλιά υλικά. Ο βασικός άξονας στον οποίο στηρίζεται η υπολογιστική ρευστοδυναμική είναι η αριθμητική επίλυση πληθώρας εξισώσεων το είδος των οποίων σχετίζεται από τις απαιτήσεις των διαφόρων διαδικασιών που προσομοιώνονται.

Οι εξισώσεις οι οποίες συνήθως επιλύονται είναι οι εξής:

1. Διατήρησης μάζας (συνεχειάς)
2. Διατήρησης ορμής
3. Κίνησης
4. Διατήρησης ενεργείας
5. Διατήρησης χημικών στοιχείων

Η επίλυση των προαναφερθεισών εξισώσεων πραγματοποιείται σε μια γεωμετρία η οποία αποτελεί απόλυτο αντίγραφο της πραγματικής γεωμετρίας όπου γίνεται η μελέτη.

Για να πραγματοποιηθεί η επίλυση των διαφορικών εξισώσεων βασική προϋπόθεση είναι να γίνει διαχωρισμός της γεωμετρίας σε ένα αριθμό κελιών/στοιχείων όπως αυτό φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχημα 2. Διακριτοποίηση της γεωμετρίας

Στο εσωτερικό κάθε κελιού γίνεται επίλυση των διαφορικών εξισώσεων μέσα στα δισδιάστατα ή τρισδιάστατα κελία.

Οι προαναφερθείσες εξισώσεις πιο αναλυτικά είναι οι εξής:

1. Γενική Εξίσωση Διατήρησης

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) + S_\phi \quad (1)$$

$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t}$ = Όρος συνάρτησης εξαρτώμενος από το χρόνο

$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \phi)$ = Όρος συναγωγής

$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right)$ = Όρος διάχυσης

S_ϕ = Όρος πηγής

Η εξαρτημένη μεταβλητή ϕ είναι εν γένει συνάρτηση των τριών διευθύνσεων του χώρου και του χρόνου $\phi = \phi(x, y, z, t)$.

Εάν η διεργασία είναι συνάρτηση μιας μόνο διεύθυνσης το πρόβλημα θεωρείται μονοδιάστατο, αν είναι συνάρτηση δυο διευθύνσεων θεωρείται δισδιάστατο. Επίσης η εξάρτηση από το χρόνο οδηγεί σε δυναμική κατάσταση, σε αντίθεση με τη σταθερή κατάσταση όπου ο πρώτος όρος της εξίσωσης είναι μηδέν.

2. Αρχή διατήρησης της μάζας (συνέχειας)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

Αποτελεί την μορφή επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης αρχής διατήρησης της μάζας (συνέχειας) κατά την οποία χρησιμοποιείται ένας ή περισσότεροι όροι ανάλογα με διαφόρους δείκτες.

$i=1,2,3$

x_i = οι τρεις διευθύνσεις (x_1, x_2, x_3 ή x, y, z)

u_i = οι τρεις συνιστώσες της ταχύτητας

ρ = πυκνότητα του ρευστού, kg/m^3

t = χρόνος σε δευτερόλεπτα

Η εξίσωση όπως χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι η εξής:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_1}(\rho u_1) + \frac{\partial}{\partial x_2}(\rho u_2) + \frac{\partial}{\partial x_3}(\rho u_3) \quad (3)$$

3. Αρχή διατήρησης της ορμής(β' νόμος του Νεύτωνα)

$$\frac{\partial \rho u_m}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_m) = \frac{\partial}{\partial x_i}(\mu \frac{\partial u_m}{\partial x_i}) + b_{m,i} + g_m + f_m \quad (4)$$

$\frac{\partial}{\partial x_i}(\mu \frac{\partial u_m}{\partial x_i}) + b_{m,i}$ =η συνιστώσα χ_i στη διεύθυνση όλων των τάσεων του ρευστού που

επηρεάζουν την ορμή στη διεύθυνση αυτή(πίεση και διατμητική τάση)

g_m =επιδράσεις βαρύτητας

f_m =οποιαδήποτε άλλη δύναμη

4. Αρχή διατήρησης της ενέργειας (α' νόμος της θερμοδυναμικής)

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + S_m \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = \text{μετάδοση θερμότητας λόγω διάχυσης (αγωγής)}$$

S_m = όροι πηγής (π.χ. ακτινοβολία, μικροκύματα)

5. Διατήρηση χημικών στοιχείων, ενζύμων κ,τ,λ,

$$\frac{\partial \rho m_a}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i m_a) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\alpha \frac{\partial m_a}{\partial x_i} \right) + S_{ma} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\alpha \frac{\partial m_a}{\partial x_i} \right) = \text{Όρος διάχυσης}$$

S_{ma} = Όρος πηγής (π.χ. ρυθμός αντίδρασης)

6. Γενική εξίσωση διατήρησης-διακριτοποίησης

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι διακριτοποίησης:

- Πεπερασμένες διαφορές
- Πεπερασμένα στοιχεία και
- Πεπερασμένοι όγκοι

Συνήθως στο CFD χρησιμοποιούνται οι πεπερασμένοι όγκοι όπου οι εξισώσεις διατήρησης ολοκληρώνονται και διακριτοποιούνται εντός ενός όγκου ελέγχου και λαμβάνουν την αλγεβρική μορφή.

$$\frac{\partial}{\partial t_v} \int \rho \phi dV + \int \rho \phi V^* dA = \oint \Gamma \nabla \phi^* dA + \int S_\phi dV \quad (7)$$

μη μόνιμος	συναγωγή	διάχυση	παραγωγή
------------	----------	---------	----------

Πίνακας 8. Αντιστοίχιση του φ για κάθε εξίσωση

Εξίσωση	φ
Συνέχειας	I
x ορμής	U
y ορμής	V
Ενέργειας	h

Στη συνέχεια επιλύεται το σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων για όλους τους όγκους ελέγχου. Για την επίλυση απαιτείται ένας αριθμός επαναλήψεων, έως ότου υπάρξει σύγκλιση.

2.2 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΝΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Για να αντιμετωπιστεί ένα οποιοδήποτε πρόβλημα επιθυμούμε να αναλύσουμε μέσω της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής πρέπει να ακολουθηθεί μια συγκεκριμένη πορεία, η ευλαβική τήρηση της οποίας είναι κεφαλαιώδους σημασίας.

Η πορεία αυτή αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Απεικόνιση της γεωμετρίας που θα χρησιμοποιηθεί ως βάση για το λύτη και ορισμός του είδους των μορφωμάτων.
2. Δημιουργία πλέγματος στη γεωμετρία αυτή.
3. Εισαγωγή της γεωμετρίας αυτής στο λύτη.
4. Επιλογή οριακών και αρχικών συνθηκών.

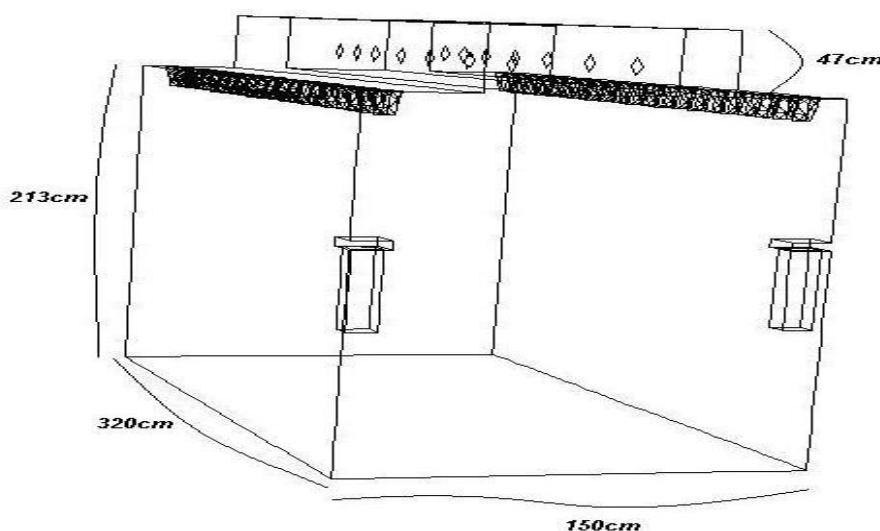
5. Ορισμός λυτών επίλυσης και τύπου διακριτοποίησης των εξισώσεων.
6. Λήψη αποτελεσμάτων.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Gambit 2.3.16 της Fluent Inc. για την κατασκευή της γεωμετρίας και το πρόγραμμα Fluent 6.3.26 στο ρόλο του λύτη των εξισώσεων,

2.2.1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Βασική χρησιμότητα του Gambit είναι παράλληλα με την δημιουργία της γεωμετρίας, η δημιουργία πλέγματος εντός της γεωμετρίας με σκοπό την επίλυση των προαναφερθεισών εξισώσεων (συνέχειας, ενέργειας, ορμής κ,λ,π.).

Εκτός από την επίλυση των εξισώσεων στο Gambit πραγματοποιείται επιλογή του σχήματος των όγκων ελέγχου του πλέγματος, της πυκνότητας του πλέγματος καθώς επίσης και ορισμός του κάθε τμήματος της γεωμετρίας μας.



Σχημα 3. Τριαξονική απεικόνιση της γεωμετρίας του φούρνου χρησιμοποιήθηκε

Τα πιο συχνά είδη που αντιπροσωπεύουν τα τμήματα της γεωμετρίας είναι τα εξής:

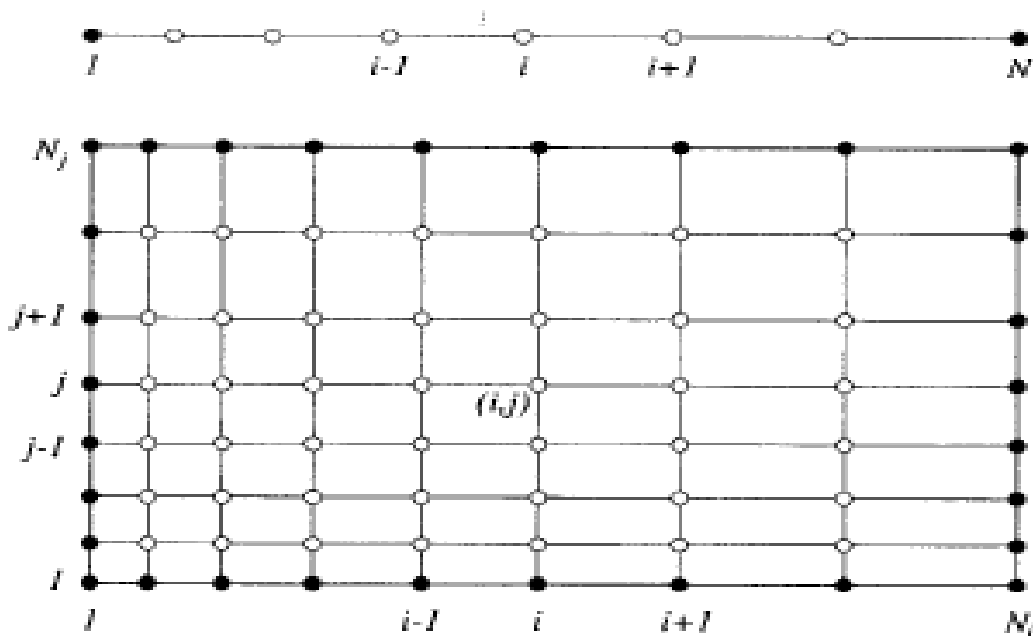
1. Σημείο εισόδου του ρευστού (velocity inlet).
2. Σημείο εξόδου του ρευστού (pressure outlet, στην περίπτωση αυτή η έξοδος του ρευστού βασίζεται στη διαφορά πίεσης).

3. Τοίχος (είδος που χρησιμοποιείται για να οριοθετήσει την εξωτερική επιφάνεια όλων των μορφομάτων μέσα στη γεωμετρία είτε αυτά είναι το περίβλημα ενός αντικείμενου είτε τα εξωτερικά τοιχώματα ενός φούρνου).

4. Συμμετρία (είδος που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η γεωμετρία μας είναι διχοτομημένη σε δυο συμμετρικά και αντιδιαμετρικά ίδια κομμάτια).

Έκτος από αυτά τα είδη υπάρχει και πληθώρα άλλων, ωστόσο αυτά είναι τα πιο συνήθη.

Τα σχήματα των όγκων ελέγχου ποικίλουν από τετράεδρα, εξάεδρα, πρίσματα και πυραμίδες. Τα πολύεδρα αυτά, μέσα σε κάθε γεωμετρία ενώνονται και δημιουργούν τους κόμβους.



Σχήμα 4. Πλέγμα δισδιάστατο αποτελούμενο από κόμβους που αναφέρονται μόνο οι δυο διαστάσεις (σε τρισδιάστατα πλέγματα απλώς υπάρχει αναφορά και σε μια τρίτη διάσταση).

Η σημασία της πυκνότητας του πλέγματος είναι αρκετά μεγάλη. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα ενός πλέγματος τόσο μεγαλύτερος αριθμός κελιών (όγκων ελέγχου) και κατ' επέκταση αυτού τόσο πιο λεπτομερή-ακριβή είναι τα αποτελέσματα διότι επιλύονται οι διαφορικές εξισώσεις σε περισσότερα σημεία (όγκους ελέγχου) μέσα στη γεωμετρία.

Παρόλη τη σημασία της πυκνότητας του πλέγματος αρκετές φορές από ένα σημείο πύκνωσης του πλέγματος και έπειτα δεν υπάρχει διαφορά στα αριθμητικά αποτελέσματα των διαφορικών εξισώσεων. Λόγω αυτού από το σημείο αυτό πύκνωσης και μετά όχι μόνο δεν επιτυγχάνονται πιο ασφαλή αποτελέσματα αλλά παράλληλα αυξάνεται κατά πολύ και ο υπολογιστικός χρόνος επίλυσης του προβλήματος. Για αυτό το λόγο άλλωστε είναι κεφαλαιώδους σημασίας κάθε φορά που πραγματοποιείται ένα πείραμα με τη χρήση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής να διαπιστώνεται η χρυσή τομή μεταξύ της πυκνότητας του πλέγματος και ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

2.2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ FLUENT ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία τα οποία πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά την εισαγωγή δεδομένων στο Fluent είναι τα εξής:

1. Επιλογή της τυρβώδους ή γραμμικής ροής.
2. Επιλογή του λύτη (της μη σταθερής κατάστασης σε σχέση με τη σταθερή, του τύπου που ελέγχει τη ροή των ρευστών κλπ).
3. Επιλογή του τύπου διακριτοποίησης των εξισώσεων που θα επιλύονται για κάθε ένα από τα υπό εξέταση μεγέθη.
4. Επιλογή οριακού στρώματος στα τοιχώματα της γεωμετρίας και των παραγόντων ηρεμίας.

Η επιλογή του είδους της ροής βασίζεται κατά κύριο λόγο στον αριθμό Reynolds των ρευστών. Ο αριθμός αυτός ορίζεται ως $Re = \frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu}$ (8)

Re= αριθμός Reynolds

D= διάμετρος του αγωγού σε m

u= ταχύτητα ροής του ρευστού σε m/s

ρ = πυκνότητα του ρευστού σε kg/m³

μ = ιξώδες του ρευστού kg/ms

Σε περίπτωση κατά την οποία ο αριθμός Reynolds είναι μικρότερος του 2100 τότε η ροή του ρευστού θεωρείται γραμμική. Αν ο αριθμός είναι μεταξύ 2100 και 4000 η ροή είναι μεταβατική. Σε περίπτωση που είναι μεγαλύτερος από 4000 τότε η ροή είναι τυρβώδης.

Το είδος των εξισώσεων που θα χρησιμοποιηθούν για την επίλυση της τυρβώδους ροής είναι αρκετές με το συνηθέστερο μοντέλο που χρησιμοποιείται να είναι το k-ε μοντέλο.

Η επιλογή του είδους του λύτη που θα λάβει υπόψιν το Fluent σχετίζεται κυρίως με στοιχειά που αφορούν το είδος κίνησης των ρευστών και με τη σταθερή ή όχι χρονικά κατάσταση .

Ειδικότερα οι τύποι των εξισώσεων που ελέγχουν την κίνηση των ρευστών μπορεί να διαχωριστούν σε δυο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνονται τύποι που βασίζονται στο ότι η κίνηση του ρευστού μεταξύ δυο σημείων είναι αποτέλεσμα διαφοράς πίεσης ενώ στη δεύτερη κατηγορία αυτοί που βασίζονται στη κίνηση λόγω της πυκνότητας του ρευστού.

Ως προς την επιλογή της μη σταθερής σε σχέση με την σταθερή κατάσταση εξαρτάται συνήθως από το είδος του υπό επίλυση προβλήματος. Ειδικότερα σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το υπό εξέταση φαινόμενο δεν μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο τότε η ιδανικότερη επιλογή είναι η σταθερή κατάσταση. Αντιθέτως σε περιπτώσεις όπου ένα από τα δεδομένα του πειράματος μας μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο πρέπει να θεωρήσουμε την κατάσταση ως μη σταθερή κάτι το οποίο είναι απαραίτητο αλλά παράλληλα αυξάνει κατά πολύ τον υπολογιστικό χρόνο.

Η επιλογή του τύπου της διακριτοποίησης των εξισώσεων των υπό εξέταση μεγεθών (ενέργεια, ορμή ,διατήρηση μάζας κλπ) παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην έκβαση του πειράματος και στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα το είδος (γραμμική, πολυωνυμική κλπ) και ο βαθμός των εξισώσεων (πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια, τριτοβάθμια) που θα λυθούν είναι σημαντικά στοιχεία και επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Τυπικό παράδειγμα που ο βαθμός της εξίσωσης επίλυσης ενός μεγέθους επηρεάζει τα αποτελέσματα είναι η εξίσωση της ενέργειας. Η επιλογή του πολυωνυμικού βαθμού της εξίσωσης επίλυσης της ενέργειας εξαρτάται κατά βάση από το βαθμό Fourier ο οποίος ορίζεται από την εξής εξίσωση:

$$Fo = \frac{a \cdot t}{L^2} \quad (9)$$

$$a = \text{συντελεστής θερμικής διάχυσης, m}^2\text{/s} = \frac{k \cdot \rho}{Cp}$$

t= χρόνος σε δευτερόλεπτα

L= η χαρακτηριστική διάσταση του αντικείμενου

Η επιλογή του οριακού στρώματος (θεωρητικό στρώμα σε επαφή με το τοίχωμα στο οποίο ισχύουν οι αρχές της τυρβώδους ροής) στα τοιχώματα της γεωμετρίας βασίζεται σε ένα μέγεθος που ονομάζεται y^+ . Το μέγεθος αυτό που μετράται κατά μήκος των τοιχωμάτων, επηρεάζεται από την τιμή της παράλληλης προς το τοίχωμα ταχύτητας και από τις διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται από τα τοιχώματα. Το μέγεθος y^+ ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$y^+ = \frac{\rho \cdot u_i \cdot y}{\mu} \quad (10)$$

ρ = η πυκνότητα του ρευστού σε kg/m^3

μ = το ιξώδες του ρευστού kg/ms

u_i = η παράλληλη προς το τοίχωμα ταχύτητα m/s

y =διατμητικές δυνάμεις

Στην περίπτωση κατά την οποία το $y^+ > 11,63$ δεν λαμβάνουμε υπόψη την ύπαρξη οριακού στρώματος (θεωρείται γραμμική η ροή στην περιοχή οριακά με τα τοιχώματα). Ωστόσο εάν το y^+ είναι μικρότερο του 11,63 τότε λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη οριακού στρώματος κατά μήκος των τοιχωμάτων που επηρεάζει τη ροή του ρευστού στο σημείο. Ανάλογα με τον αριθμό y^+ είναι και η επιλογή που θα κάνουμε στο Fluent μεταξύ Standard Wall Treatment (δεν λαμβάνεται υπόψη οριακό στρώμα) και Enhanced Wall Treatment (λαμβάνεται υπόψη το οριακό στρώμα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η αρχή της μεταπτυχιακής μελέτης έγινε με τη λήψη των πειραματικών δεδομένων από μια βιομηχανία επεξεργασίας κρέατος και παραγωγής κρεατοσκευασμάτων. Η λήψη των δεδομένων βασίστηκε στη λειτουργία ενός βιομηχανικού φούρνου κάπνισης και παστερίωσης αλλαντικών και ποιο συγκεκριμένα καπνιστών αλλαντικών με βάση τη γαλοπούλα.



Εικόνα 1. Φωτογραφία απεικόνισης των σαλαμιών γαλοπούλας στο εσωτερικό του φούρνου

Το καταγραφικό της θερμοκρασίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το OM-220, Omega. Στο καταγραφικό συνδέθηκαν 5 θερμοστοιχεία, το ένα θερμοζεύγος τύπου K και τα υπόλοιπα 4 τύπου αντίστασης pt100 και τα οποία ρυθμιστήκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να καταγράφουν τη θερμοκρασία κάθε 15 δευτερόλεπτα επί του συνόλου των 21570 δευτερολέπτων που διήρκεσε η διαδικασία. Ωστόσο επειδή τα θερμοστοιχεία αυτά (ειδικά το τύπου K) έχουν σφάλμα κατά τη θερμομέτρηση, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση τους με τη βοήθεια

πιστοποιημένων υδραργυρικών θερμομέτρων ‘Thermoschneider-Fabrik-Pruefschein’ και ενός θερμοκρασιακά ελεγχόμενου υδατόλουτρου.

Ο βιομηχανικός φούρνος που χρησιμοποιήθηκε είχε τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Διαστάσεις φούρνου 330cm μήκος x 250cm ύψος x 150cm πλάτος
2. 21 εισοδοί αέρα με σχήμα κυλίνδρου σε κάθε πλευρά του φούρνου με διαστάσεις πάνω διαμέτρου 10cm, κάτω διαμέτρου 6cm και ύψους 13cm
3. Απόσταση μεταξύ της βάσης των εισόδων αέρα 5cm
4. Απόσταση μεταξύ της βάσης των εισόδων αέρα και του τοιχώματος 5cm
5. 14 έξοδοι αέρα (7 σε κάθε πλευρά) με διάμετρο της κάθε εξόδου 10cm



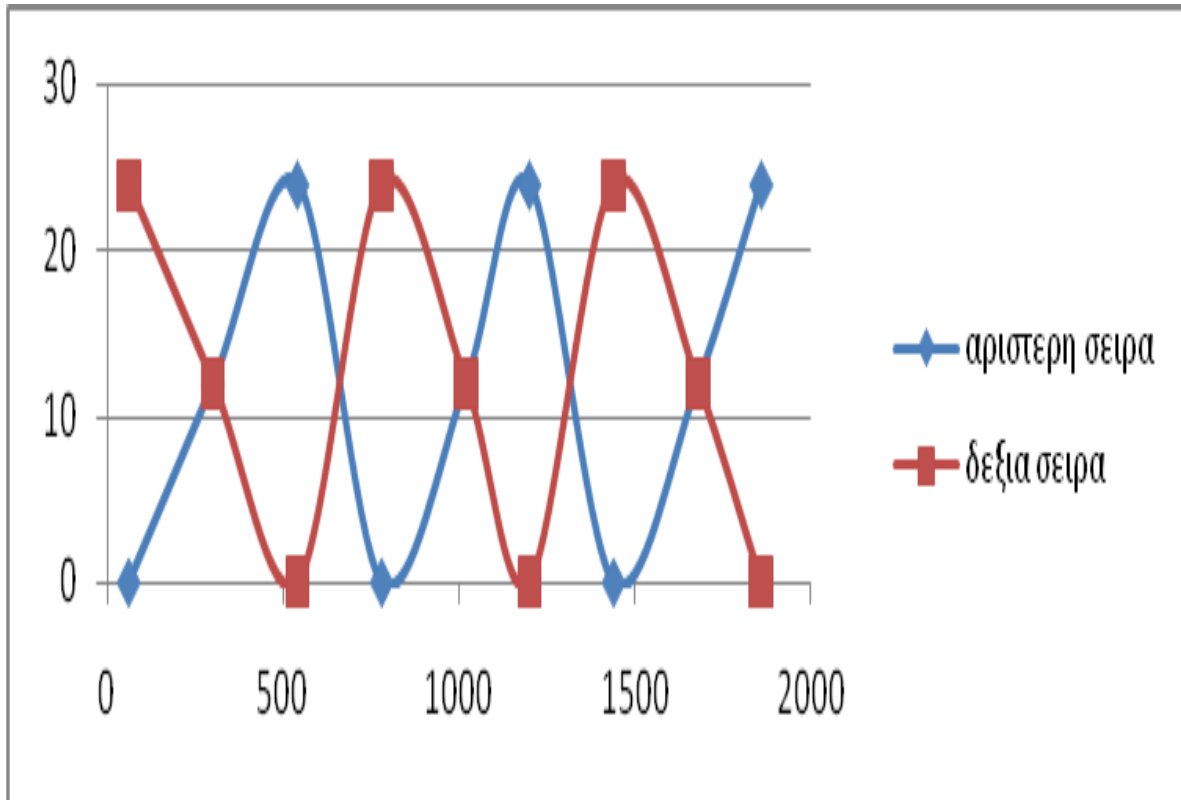
Εικόνα 2. Φωτογραφία βιομηχανικού φούρνου θέρμανσης αλλαντικών



Εικόνα 3. Φωτογραφία των εισόδων και εξόδων αέρα μέσα στο φούρνο

Η συνήθης λειτουργία των φούρνων κάπνισης και παστερίωσης αλλαντικών σε βιομηχανικό επίπεδο βασίζεται στην είσοδο αέρα από τις 42 προαναφερθείσες (21 αριστερά και 21 δεξιά) εξόδους αέρα. Συνήθως η είσοδος του αέρα μέσα στο φούρνο ακολουθεί ένα σχήμα ημιτονοειδούς λειτουργιάς κατά την οποία σε κάθε χρονική στιγμή το άθροισμα της παροχής και από τις δυο σειρές εισόδου αέρα είναι σταθερή.

Το εφαρμοζόμενο σχήμα παροχής αέρα (μίγματος αέρα και υδρατμών) δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



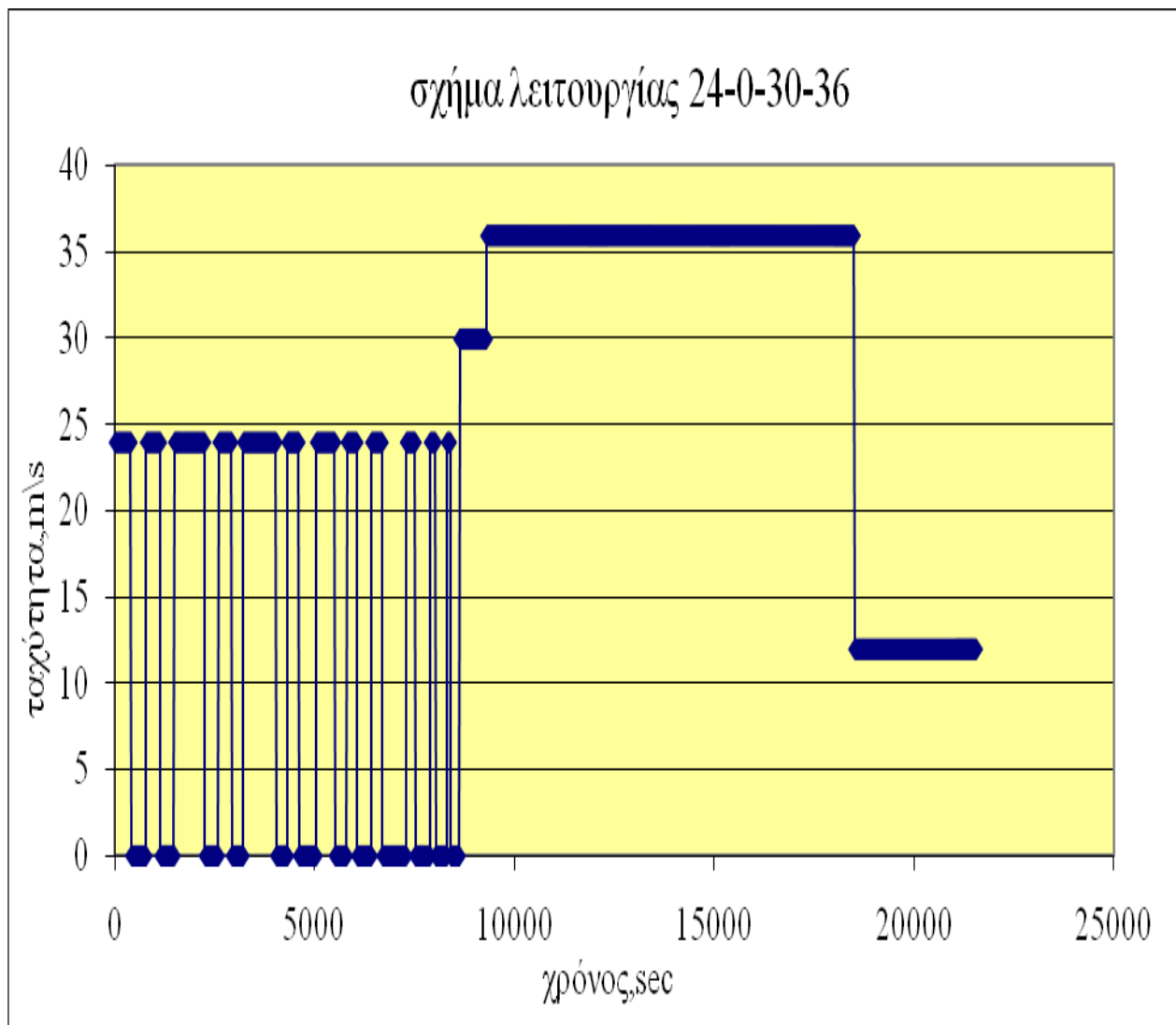
Σχήμα 5. Γραφική απεικόνιση του ρυθμού λειτουργίας των εισόδων αέρα (m/s) στους φούρνους παστερίωσης αλλαντικών.

Παρολαυτά το σχήμα το οποίο ακολουθείται ως συνήθης τακτική στην παρούσα φάση στο φούρνο ελέγχου είναι η σταθερή παροχή αέρα και από τις δυο σειρές εισόδου αέρα για μεγάλο χρονικό διάστημα με ενδιάμεσα διαστήματα μηδενισμού της ταχύτητας με σκοπό την ικανοποιητική θέρμανση και την παράλληλη εξοικονόμηση ενέργειας. Έπειτα η παροχή αέρα μειώνεται στο μισό με παράλληλα προοδευτική μείωση της θερμοκρασίας του αέρα, με σκοπό την ψύξη των αλλαντικών με καταιονισμό ύδατος, μόνο εάν και εφόσον τα σαλάμια έχουν εμφανίσει θερμοκρασία στο κέντρο τους 71°C για χρονικό διαστήματα ίσο με 26

δευτερόλεπτα της ώρας ή έχουν θερμανθεί με τέτοιο τρόπο ώστε το θερμικό αποτέλεσμα να αντιστοιχεί στην προαναφερθείσα θέρμανση .



Εικόνα 4. Παρουσίαση της διαδικασίας καταιονισμού ύδατος των σαλαμιών γαλοπούλας, που ξεκίνησε κατά τη χρονική στιγμή του 18509⁰⁰ δευτερολέπτου και ολοκληρώθηκε στο τέλος της διαδικασίας (21570⁰ δευτερόλεπτο).



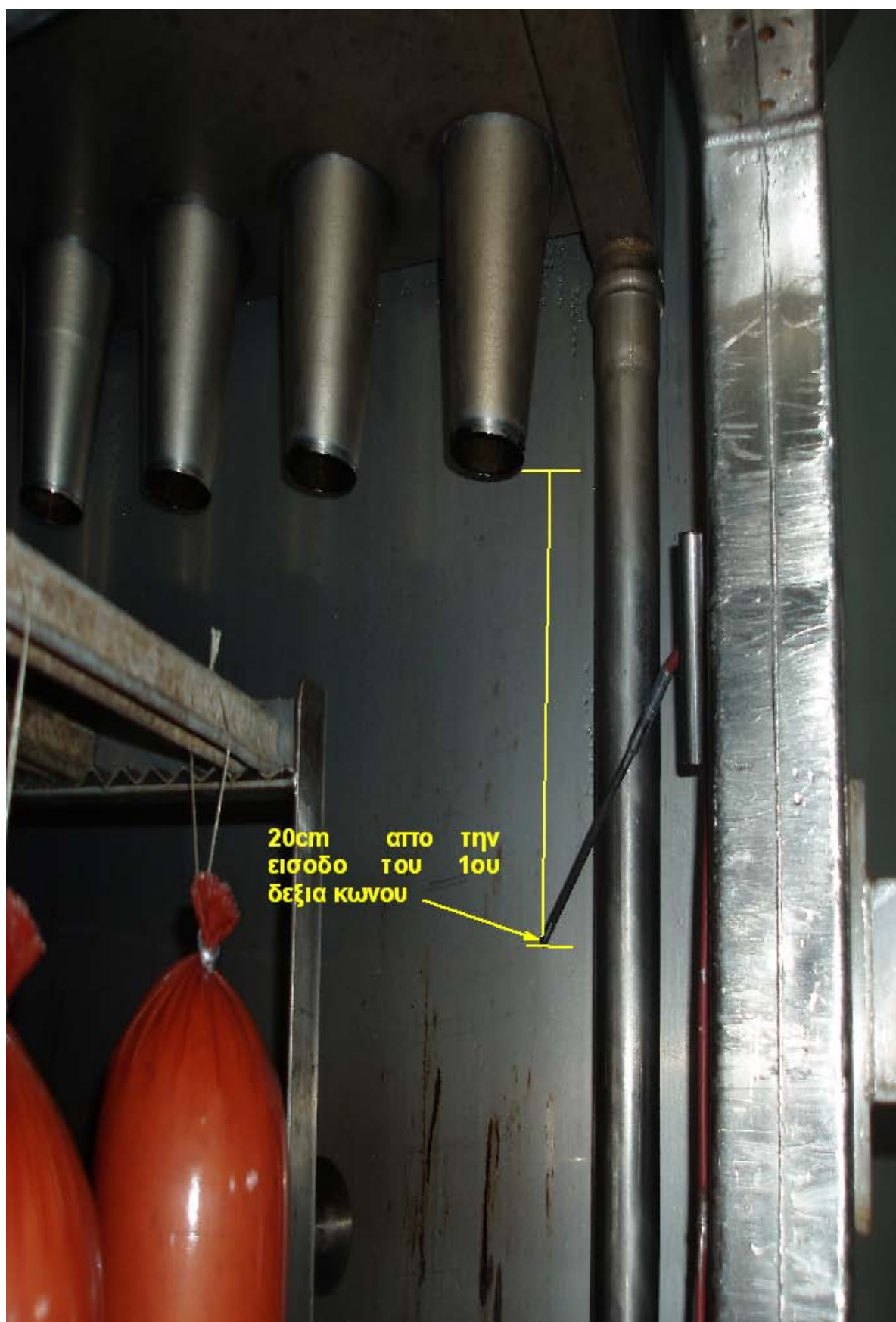
Σχήμα 6.Γραφική αναπαράσταση των μεταβολών της ταχύτητας εξόδου του αέρα από τα ακροφύσια στο εσωτερικό του φούρνου

Τα θερμοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή της θερμοκρασίας τοποθετήθηκαν στα εξής σημεία στο εσωτερικό του φούρνου:

- Θερμοζεύγος τύπου K: τοποθετήθηκε στο εσωτερικό ενός σαλαμιού που αποτελεί και το σαλάμι ελέγχου (από το επίπεδο θέρμανσης το υ σαλαμιο ύ αυτο ύ επηρεάζεται η διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας).
- Θερμοστοιχεία τύπου pt100 (1a,2a,1b,2b) σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θαλάμου (εκτός σαλαμιών) όπως αυτό φαίνεται στη φωτογραφία.



Εικόνα 5. Στην εικόνα παρουσιάζονται τα σημεία όπου τοποθετήθηκαν το θερμοζεύγος Κ και τα θερμοστοιχεία 2Α και 2Β,



Εικόνα 6. Απεικόνιση του σημείου που τοποθετήθηκε το θερμοζεύγος 1Α μέσα στο φούρνο,

3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός υπολογιστής με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Επεξεργαστής: Intel ® Core™ 2 CPU 6600 @ 2.40 GHz
- Μνήμη RAM: 2048 MB
- Κάρτα γραφικών: ATI RADEON™ X1650 (VPU), 512 MB
- Ο Η/Υ λειτουργούσε με βασικό λειτουργικό σύστημα: Microsoft Windows XP Professional, Version 2002, Service Pack 2.
- Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του λογισμικού “FLUENT”:

Version: 3d, double precision, pressure – based, turbulent

Release: 6.3.26 Cortex Version: 3.7.3

Graphics Version: 11.26-1, openg/win

Copyright © 2006 Fluent Inc.

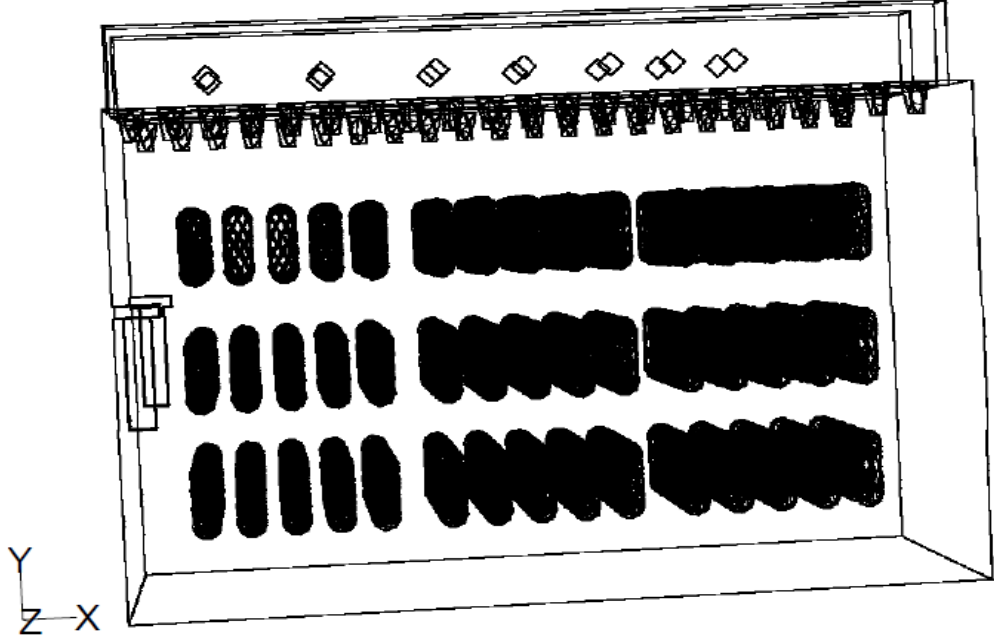
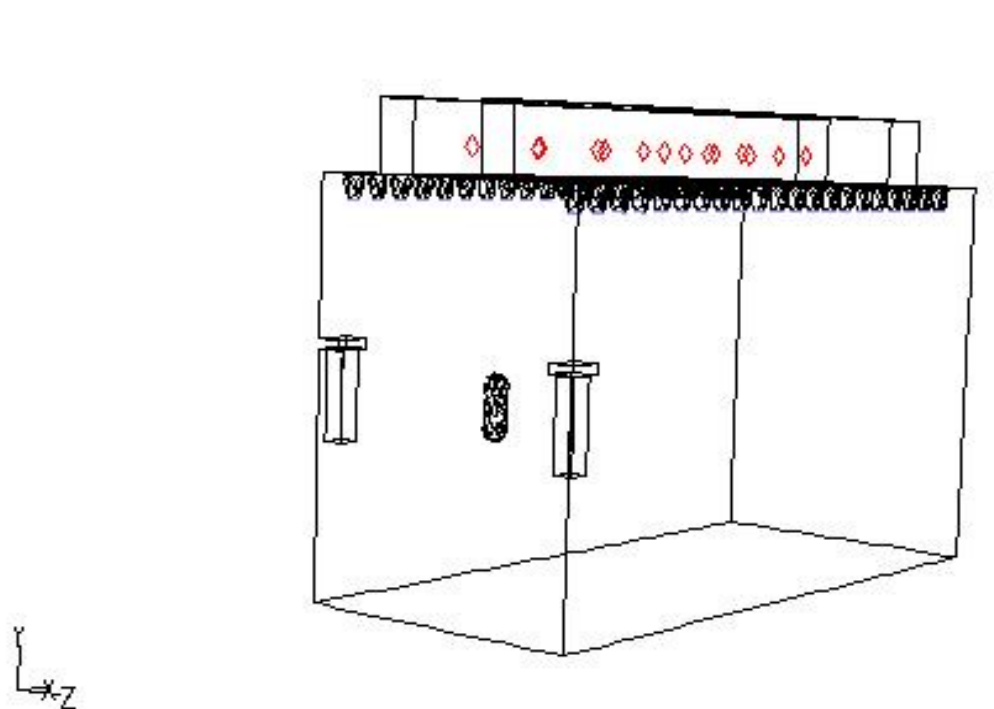
Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Microsoft Office Excel 2007.

3.2.2 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

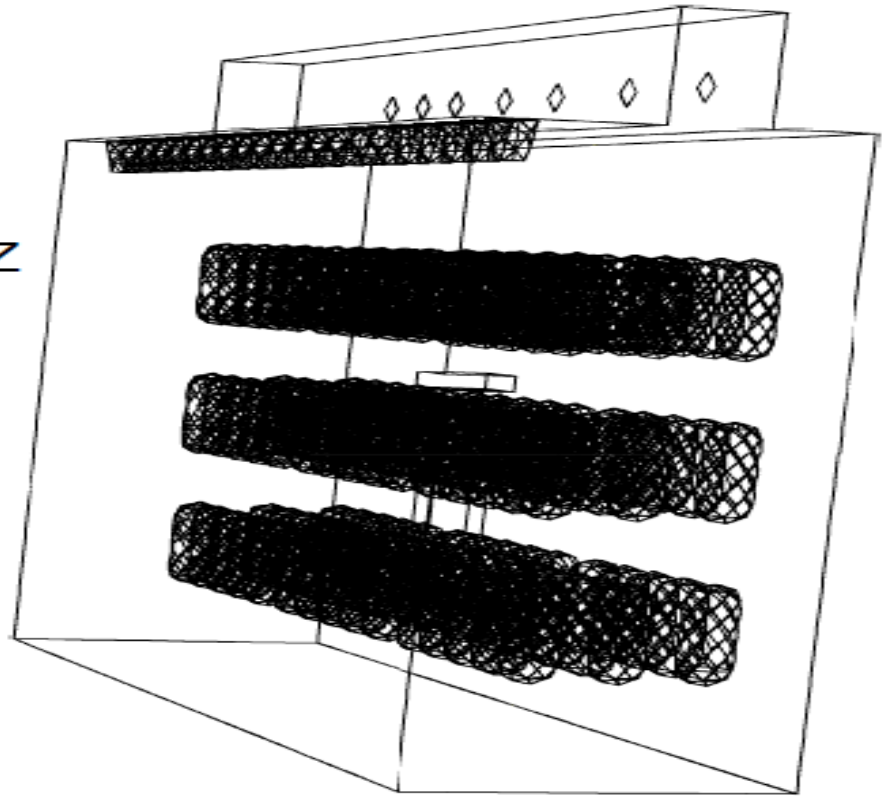
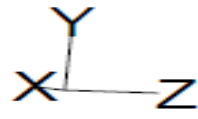
Για την απεικόνιση της γεωμετρίας του φούρνου, για τις ανάγκες των υπολογισμών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Gambit 2.3.36. Ωστόσο επειδή η χρήση μια πλήρους τρισδιάστατης γεωμετρίας αποτελούμενης από ολόκληρο το φούρνο και 270 σαλάμια ως βάση για τους υπολογισμούς στο Fluent απαιτεί υπερβολικό αριθμό κόμβων κατά τη διακριτοποίηση της γεωμετρίας και επομένως είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, δημιουργήθηκαν παράλληλα δυο τρισδιάστατες γεωμετρίες που αποτελούνται από το μισό φούρνο και άλλη μια που αποτελείται από ένα μόνο σαλάμι. Το σαλάμι που επέλεγε στην τελευταία γεωμετρία ήταν αυτό στο οποίο είχε τοποθετηθεί το θερμοζεύγος (K) καταγραφής της θερμοκρασίας κατά την πειραματική μέτρηση της θερμοκρασίας, και το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως σαλάμι ελέγχου από τη θέρμανση του οποίου ορίστηκε και η χρονική διάρκεια της θερμικής διαδικασίας.

Οι φωτογραφίες των τριών γεωμετριών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται με την μορφή εικόνων στον παρακάτω πίνακα:

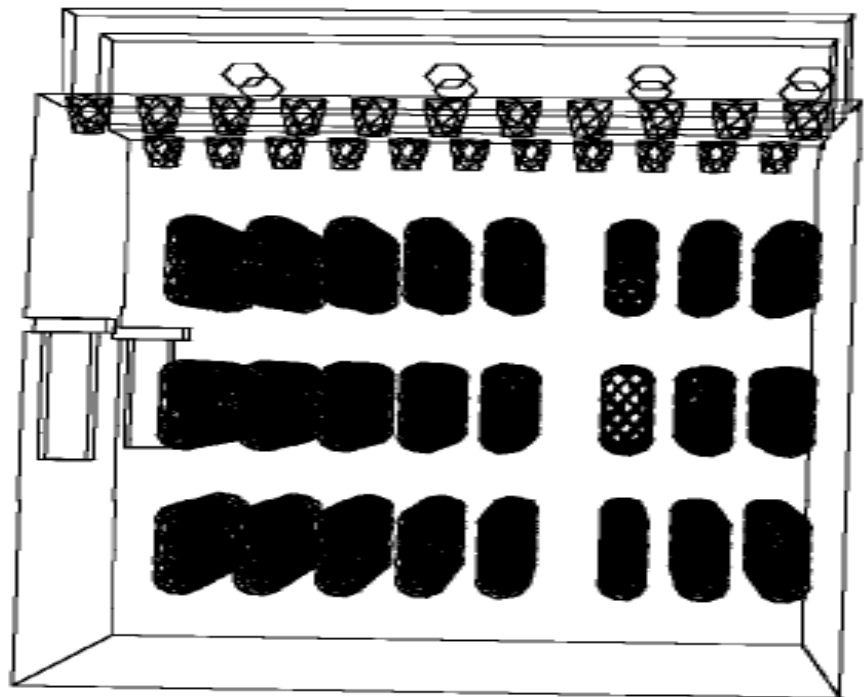
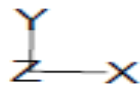
Πίνακας 9. Απεικόνιση των τεσσάρων γεωμετριών που χρησιμοποιήθηκαν για χρήση από τον λύτη,

<p>Πλήρης Τρισδιάστατη Γεωμετρία αποτελούμενη από 270 σαλάμια</p>	
<p>Τρισδιάστατη Γεωμετρία με Ένα μόνο Σαλάμι</p>	

Τρισδιάστατη
 γεωμετρία
 αποτελούμενη
 από τα μισά
 σαλάμια και
 από ένα άξονα
 συμμετρίας
 παράλληλο του
 άξονα x



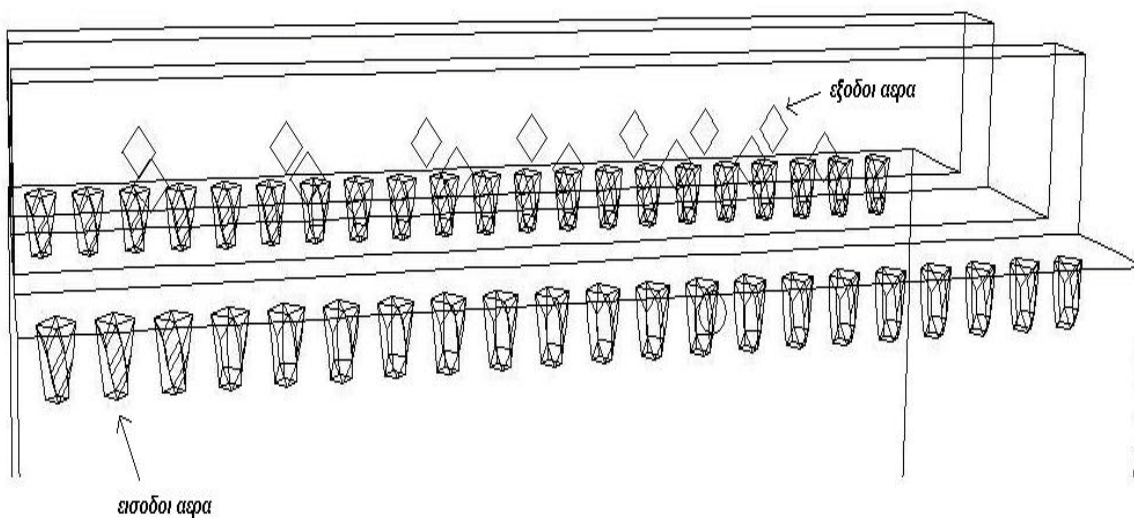
Τρισδιάστατη
 γεωμετρία
 αποτελούμενη
 από τα μισά
 σαλάμια και
 από ένα άξονα
 συμμετρίας
 κατά μήκος
 του άξονα z



Μετά τη δημιουργία της γεωμετρίας ορίστηκαν οι αρχικές συνθήκες και οι οριακές συνθήκες, Ειδικότερα ως ‘wall’ ορίστηκαν τα εξής μέρη:

- Οι τοίχοι του φούρνου
- Το περίβλημα των σαλαμιών
- Η εξωτερική επιφάνεια των ακροφυσίων εισόδου του αέρα

Το εσωτερικό του φούρνου ορίστηκε ως ‘fluid’ ενώ το εσωτερικό των σαλαμιών ορίστηκε ως ‘solid’. Αντίστοιχα και οι δυο προαναφερθέντες όγκοι αυτόματα ορίστηκαν έπειτα από το Fluent ως interior. Οι κάτω επιφάνειες των ακροφυσίων, όπως φαίνεται στην εικόνα, ορίστηκαν ως velocity inlet και οι εξόδοι του αέρα ορίστηκαν ως pressure outlet. Στην περίπτωση της τρίτης γεωμετρίας όπου υπάρχει και άξονας συμμετρίας η επιφάνεια που χωρίζει το φούρνο σε δυο ημιμόρια ορίστηκε ως symmetry όπως φαίνεται από τον πίνακα.



Σχήμα 2. Τρισδιάστατη απεικόνιση των εισόδων και εξόδων αέρα μέσα στο φούρνο

Τέλος κατά τη χρήση του Gambi 2.3.36 πραγματοποιήθηκε και η δημιουργία πλέγματος στο εσωτερικό των διαφόρων μερών (εσωτερικό φούρνου, εσωτερικό αλλαντικών). Συγκεκριμένα κατά την κατασκευή του πλέγματος χρησιμοποιήθηκε ως σχήμα το “Tet/Hybrid” – “TGrid”, ενώ η πυκνότητα του πλέγματος αρχικά ορίστηκε από την επιλογή Shortest edge όπου για το μεν φούρνο ήταν 150% δίνοντας συνολικά 150000 κελιά ενώ για τα σαλάμια ήταν 50% δίνοντας για κάθε σαλάμι 250 κ.μ.ο. κελιά. Περαιτέρω

πύκνωση του πλέγματος , κυρίως μέσα στα σαλάμια, πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του Fluent.

3.2.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ FLUENT ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.2.3.1.Εισαγωγή των θερμοφυσικών ιδιοτήτων

Οι βασικές φυσικές ιδιότητες του σαλαμιού γαλοπούλας οι οποίες είναι απαραίτητες για την προσομοίωση της θερμικής επεξεργασίας είναι οι εξής:

1. η ειδική θερμότητα C_p .
2. η θερμική αγωγιμότητα k .
3. η πυκνότητα ρ .

Και οι τρεις φυσικές ιδιότητες επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από τη θερμοκρασία. Ο τρόπος που η θερμοκρασία τις επηρεάζει περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα και στα κάτωθι γραφήματα:

Πινάκας 10.Τροποποίηση των φυσικών ιδιοτήτων του σαλαμιού με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας

°C	k	ρ	C_p
10	0,430	1070,8	3389,0
20	0,434	1070,3	3390,7
30	0,439	1069,6	3393,0
40	0,443	1068,8	3395,4
50	0,448	1067,8	3398,0
60	0,452	1066,6	3400,7
70	0,455	1065,3	3403,5
80	0,459	1063,9	3406,5

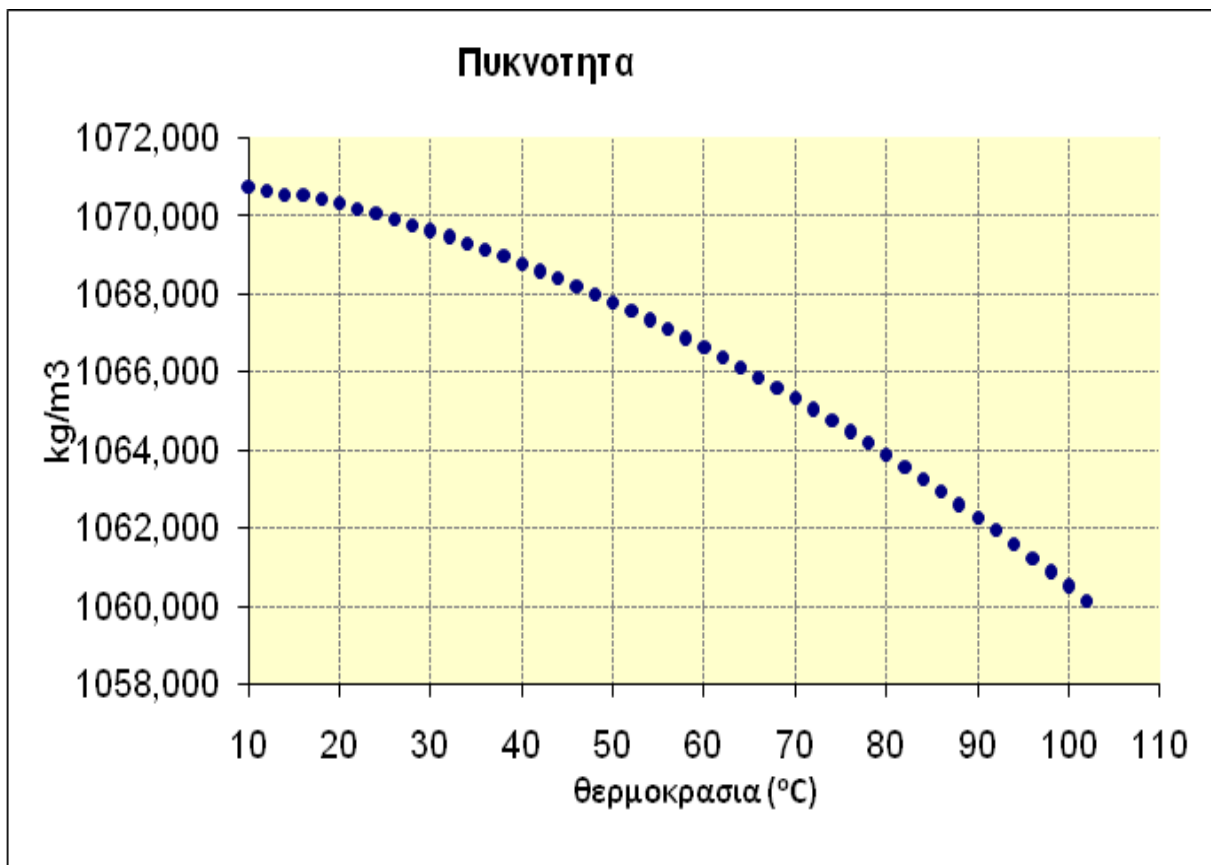
Ιδιαίτερη σημασία για την ακρίβεια των υπολογισμών έχει η χρήση σωστών φυσικών ιδιοτήτων των υλικών του συστήματος. Οι θερμοφυσικές ιδιότητες του σαλαμιού γαλοπούλας υπολογίστηκαν με τη βοήθεια των εξισώσεων της ASHRAE και οι οποίες βασίζονται στη χημική σύσταση του αλλαντικού.

Οι εξισώσεις αυτές είναι οι εξής:

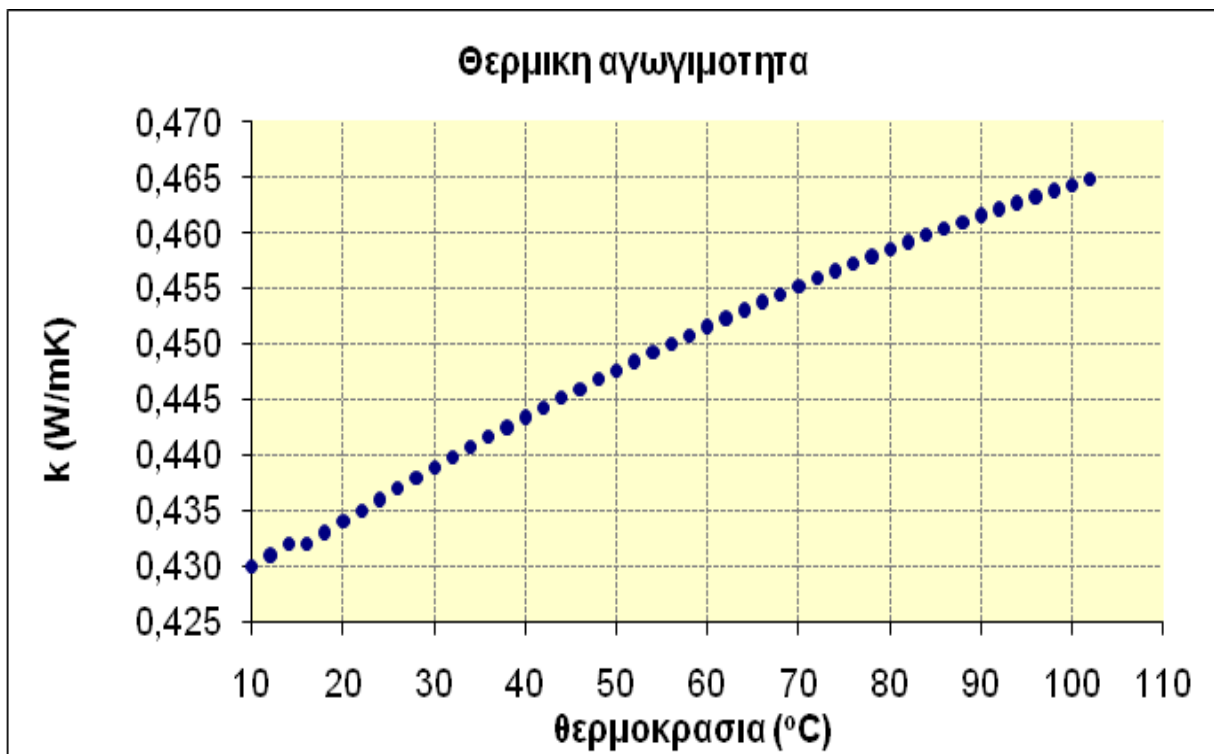
Cp (ειδική θερμότητα)	$y = 0,270x + 3385$
ρ (πυκνότητα)	$y = -0,116x + 1073,$
k(συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας)	$y = 0,000x + 0,427$

x= η θερμοκρασία σε βαθμούς °C

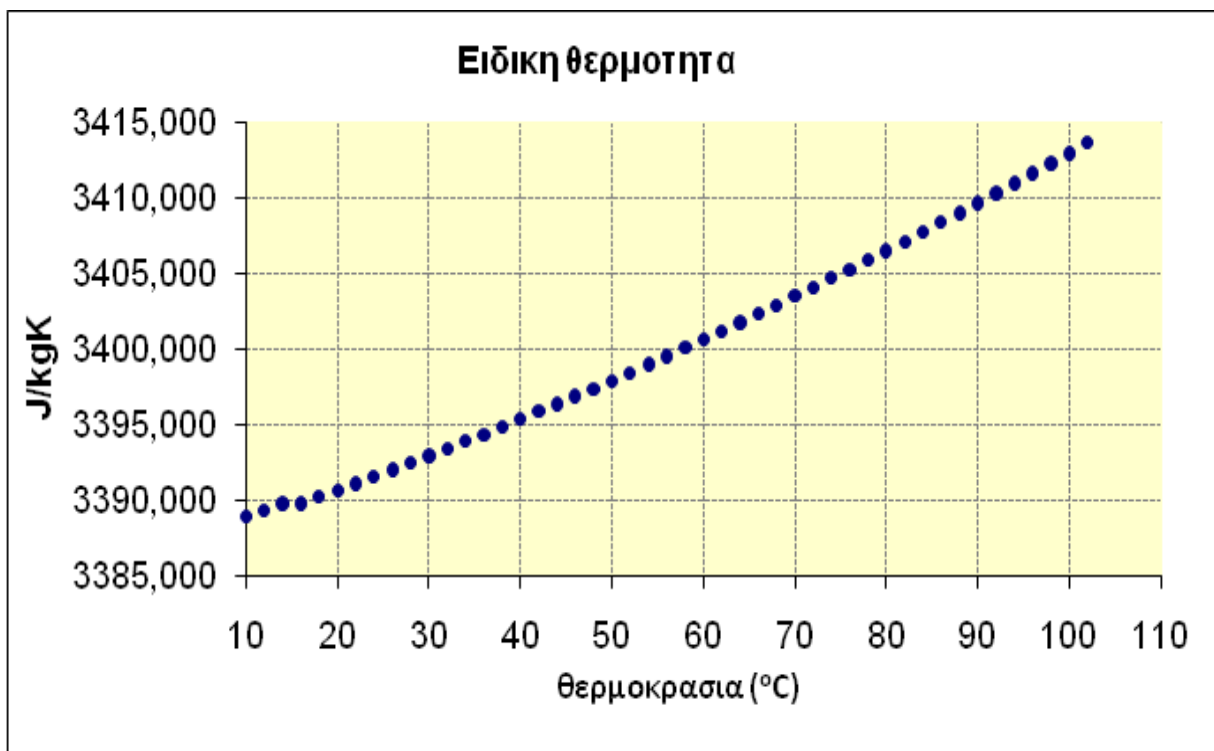
Οι θερμοφυσικές ιδιότητες του πολυαιθυλενίου ελήφθησαν από τη βιβλιογραφία. Οι θερμοφυσικές ιδιότητες του μίγματος αέρα-υδρατμών υπολογίστηκαν από τη βάση δεδομένων του Fluent και παρουσιάζονται παρακάτω στον πίνακα.



Σχήμα 7.Γραφική απεικόνιση της μεταβολής της πυκνότητας του αλλαντικού με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας



Σχήμα 8.Γραφική απεικόνιση της μεταβολής της θερμικής αγωγιμότητας του αλλαντικού με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας



Σχήμα 9.Γραφική απεικόνιση της μεταβολής της ειδικής θερμότητας του αλλαντικού με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας

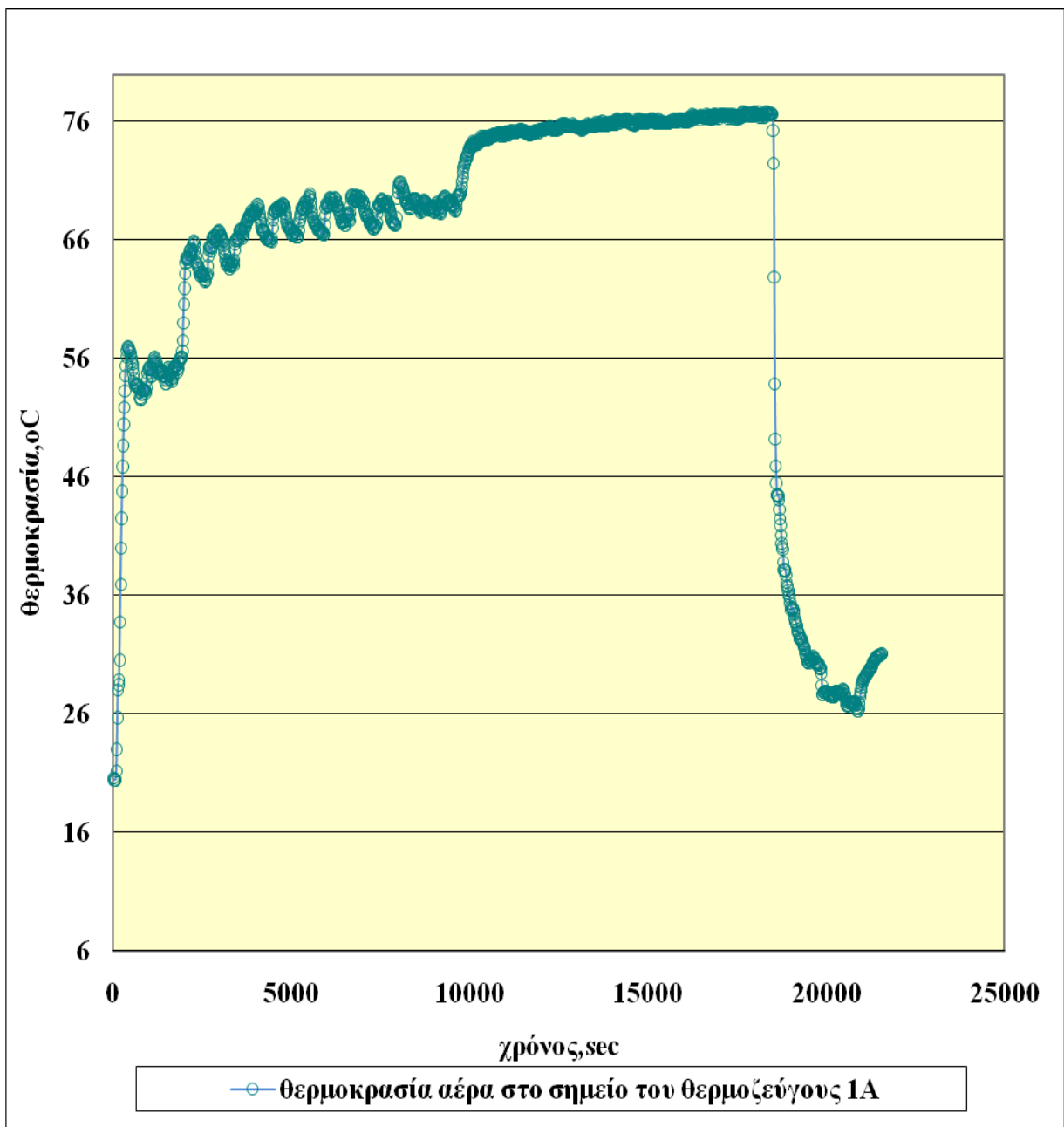
Πινάκας 11.Θερμοφυσικές ιδιότητες του μίγματος θέρμανσης και του νερού ψύξης

Ιδιότητες	Μίγμα θέρμανσης	Νερό ψύξης	Αέρα
Πυκνότητα (kg/m ³)	0,5542	998,20001	1,225
Θερμική αγωγιμότητα (W/m*K)	0,0261	0,6	0,0242
Ειδική θερμότητα (J/kg*K)	2014	4182	1006,43
Ιξώδες (kg/m*s)	1,34e-05	0,001003	1,7894e-05

3.2.3.2.Εισαγωγή πειραματικών δεδομένων

Μετά την εισαγωγή των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των υλικών στο Fluent και τη δημιουργία του μίγματος θέρμανσης και ψύξης, εισήχθησαν επίσης πειραματικά δεδομένα για τη θερμοκρασία του αέρα εισόδου στο φούρνο από τα ακροφύσια όπως αυτή καταγράφηκε από το θερμοζεύγος 1A (σχήμα 10) , τη μεταβολή της ταχύτητας εξόδου του αέρα από τα ακροφύσια, όπως αυτή απεικονίστηκε γραφικά παραπάνω, καθώς επίσης και οι αρχικές συνθήκες. Οι αρχικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν και οι οποίες βασιστήκαν στα πειραματικά δεδομένα, είναι οι εξής:

- η αρχική θερμοκρασία των αλλαντικών είναι 6°C.
- το ρευστό στο εσωτερικό του φούρνου στην αρχή είναι εξολοκλήρου αέρας.
- η αντίστοιχη πίεση είναι όση με την ατμοσφαιρική.
- η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι 9,81 m/s².

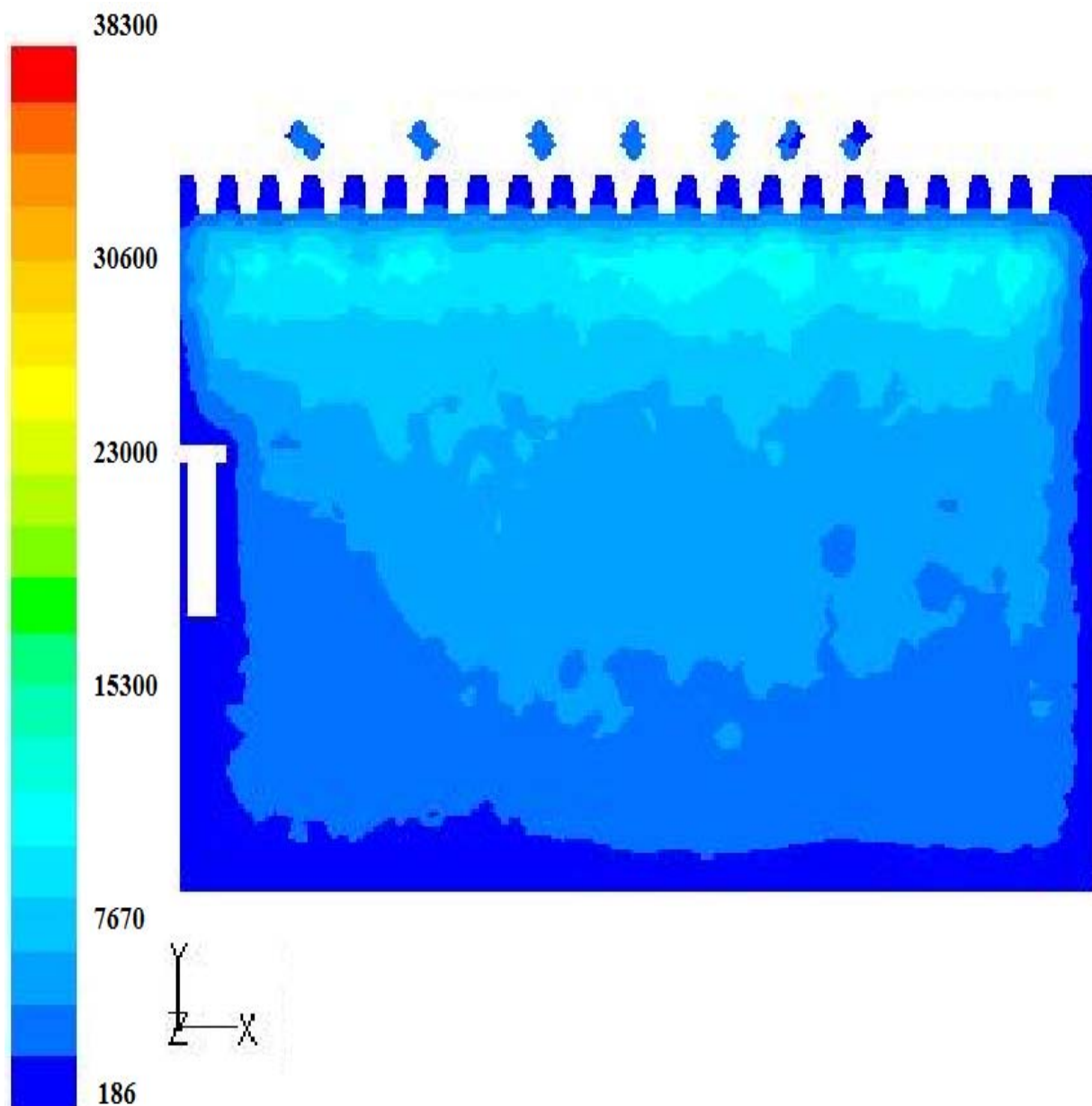


Σχήμα 10.Απεικόνιση της μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του βιομηχανικού φούρνου.

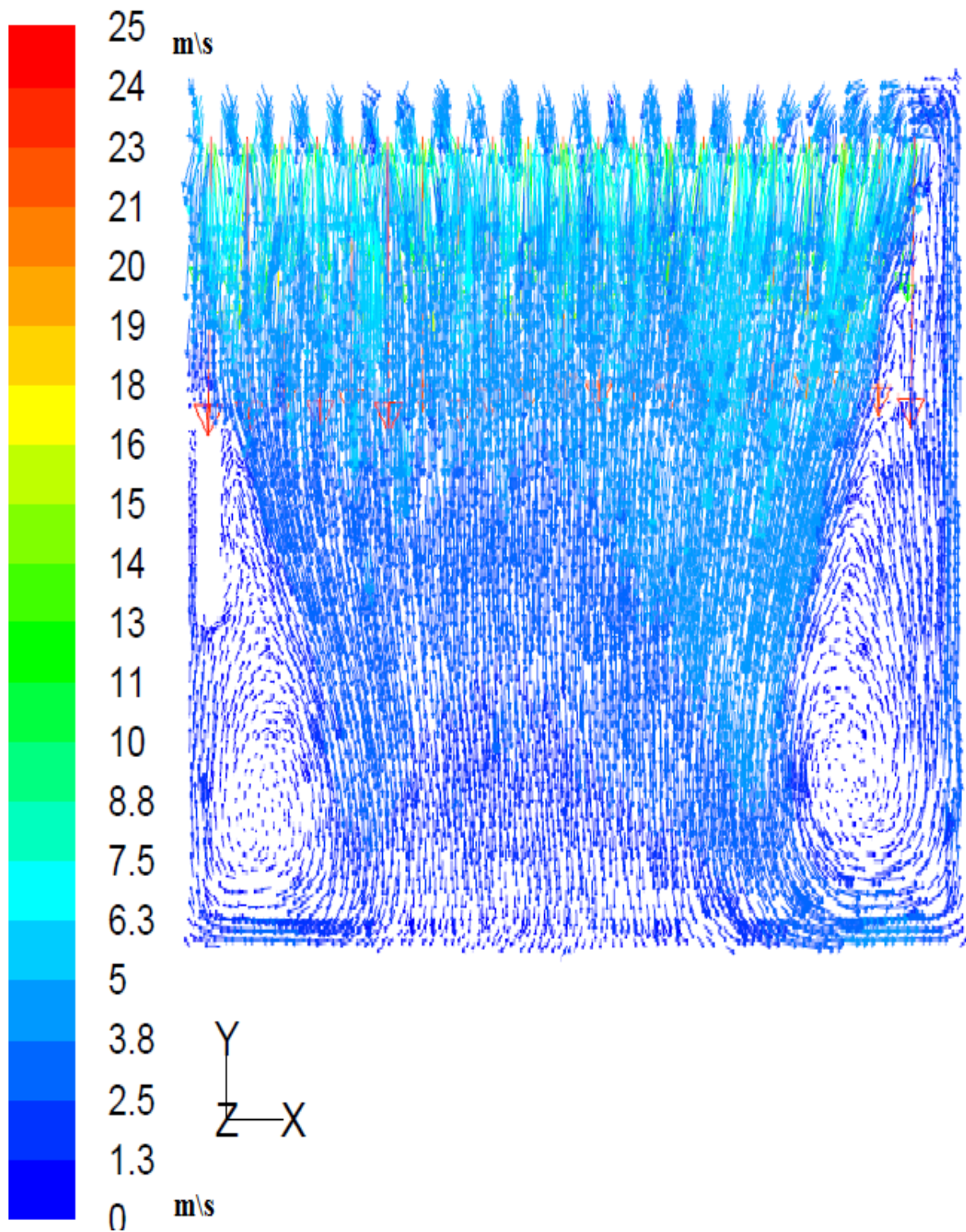
3.2.3.3. Επιλογή μοντέλου ροής, λυτών, σχημάτων παραγωγίσις, ειδών διακριτοποίησης των εξισώσεων, παραγόντων υπό ηρεμία και ορίων σύγκλισης.

Για την επίλυση του προβλήματος πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες επιλογές σχετικά με το είδος της ροής (τυρβώδης ή γραμμική ροη), το είδος των λυτών (σταθερή ή μη σταθερή κατάσταση κλπ) το είδος διακριτοποίησης των υπό επίλυση εξισώσεων, τους υπό ηρεμία παράγοντες και την ύπαρξη οριακού στρώματος. Στην παρούσα μελέτη θέματα μεταφοράς μάζας από και προς τα σαλάμια αγνοήθηκαν.

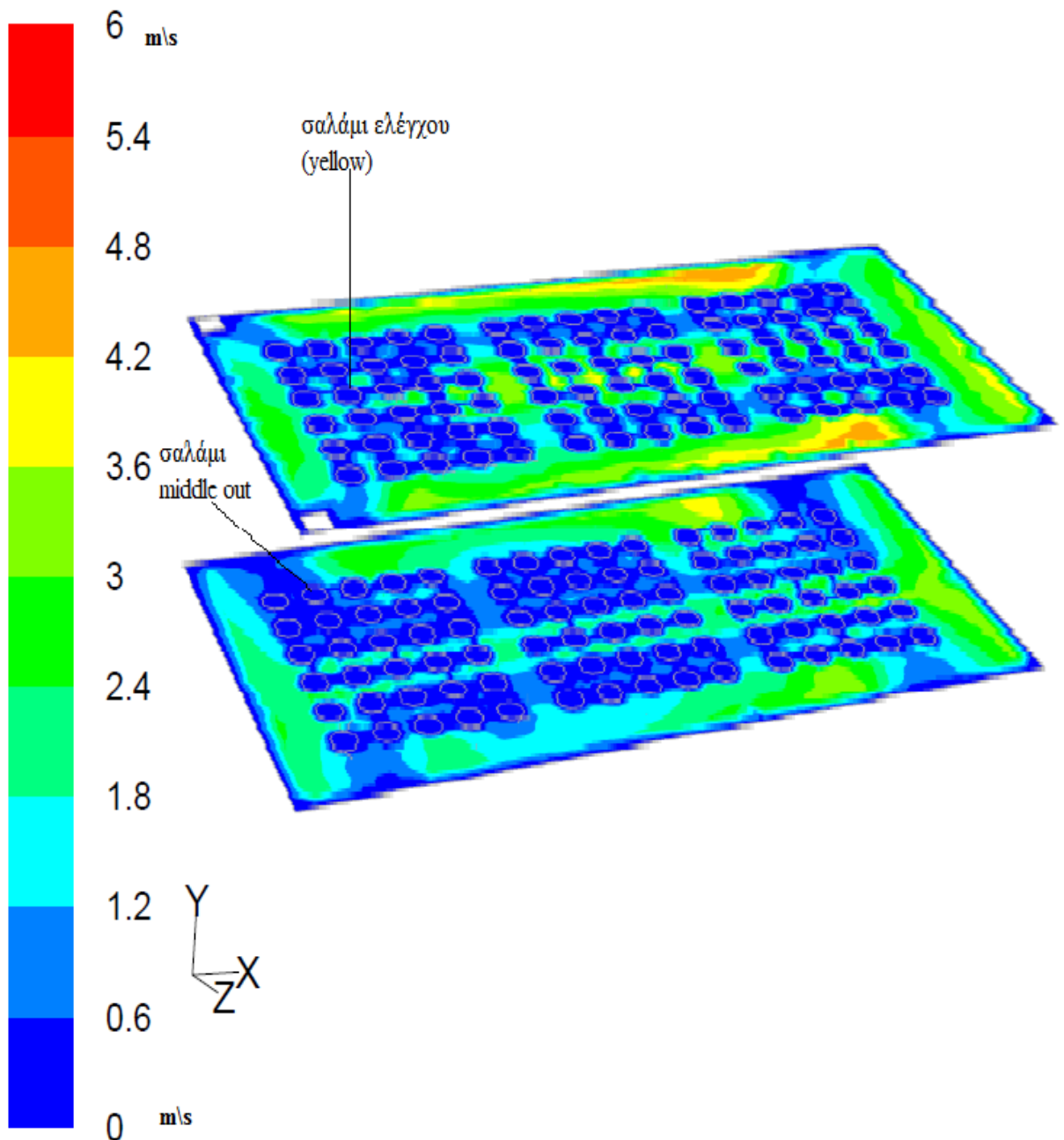
Κατά την επίλυση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο τυρβώδους ροής δοθέντος ότι ο αριθμός Reynolds ήταν μεγαλύτερος του 4000. Αυτό φαίνεται από την παρακάτω καθετη τομή του φουρνου στο ύψος των ακροφυσίων όπου ο αριθμός Reynolds σε αρκετά σημεία είναι κατά πολύ μεγαλύτερος των 4000. Το μοντέλο της τυρβώδους ροής που χρησιμοποιήθηκε ήταν το κ-ε (κ=τυρβώδης κινητική ενέργεια m^2/s^2 , ε=ρυθμός αποδρομής της τυρβής m^2/s^3).



Εικόνα 7α. Απεικόνιση των τιμών του αριθμού Reynolds σε μια καθετη τομή στο ύψος των ακροφυσίων.



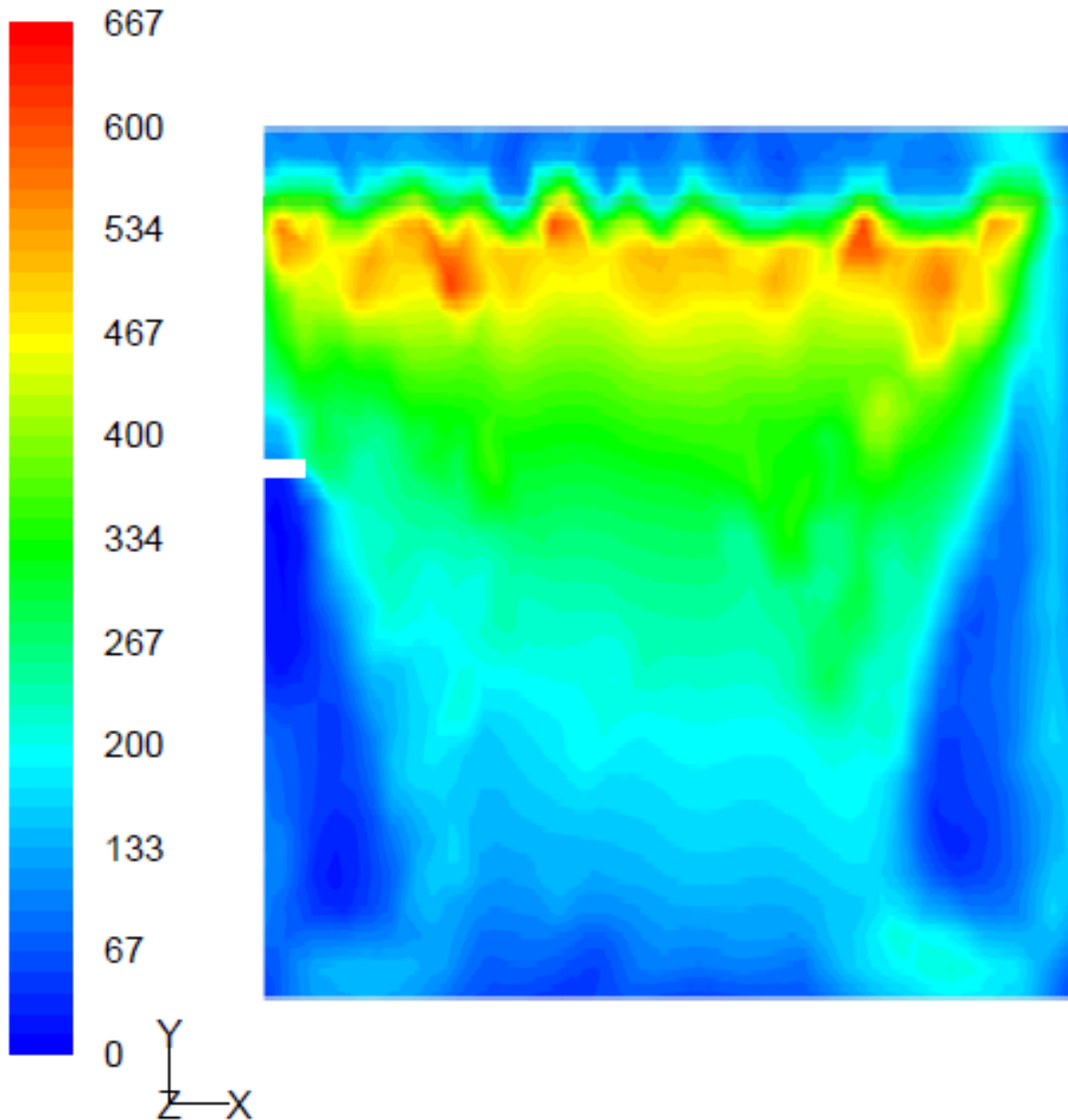
Εικόνα 7β. Χρωματογραφική απεικόνιση των τιμών ταχύτητας που λαμβάνει το μίγμα θερμανσής μέσα στο βιομηχανικό φούρνο σε καθετο επίπεδο. Εμφανής είναι και η ύπαρξη δυο σημείων τυρβώδους ανακυκλοφορίας.



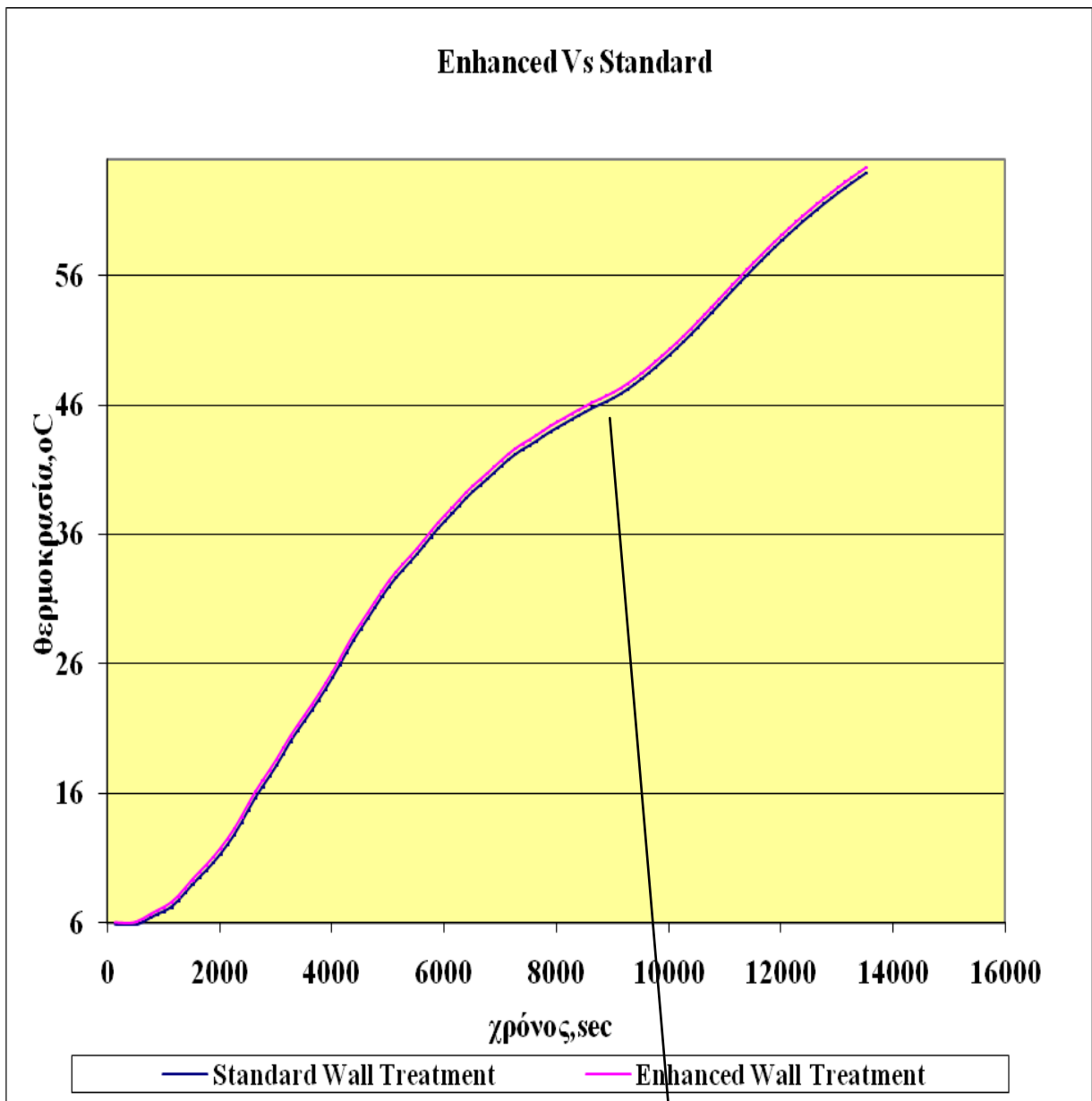
Εικόνα 7γ. Χρωματογραφική απεικόνιση των τιμών ταχύτητας που λαμβάνει το μίγμα θερμανσής μέσα στο βιομηχανικό φούρνο σε οριζόντιο επίπεδο. Εμφανής είναι η χαμηλή ταχύτητα του μίγματος θερμανσής μεταξύ των σαλαμιών middle out, middle in & front out (σχήμα 19).

Σχετικά με την σημασία ή όχι της ύπαρξης οριακού στρώματος αυτό, όπως προαναφέρθηκε, υποδεικνύεται από το y^+ . Το y^+ στην παρούσα μελέτη σε σημεία πάνω στα τοιχώματα, όπως φαίνεται και από την εικόνα του τοιχώματος παρακάτω, είναι πολύ μεγαλύτερο του 11,63 σε αρκετά σημεία του τοιχώματος, στοιχείο που υποχρεώνει την μη θεώρηση σημαντικού οριακού στρώματος (Standard Wall Treatment).

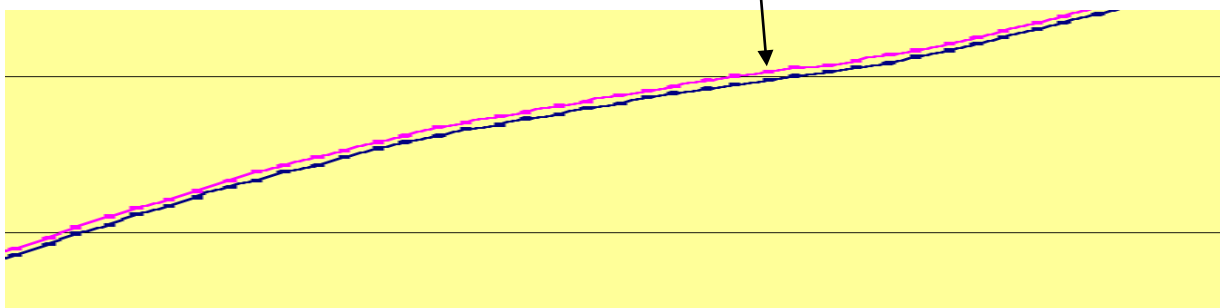
Το γεγονός ότι η επιλογή μεταξύ, με βάσει το y^+ , Standard Wall Treatment και Enhanced Wall Treatment δεν επηρεάζει σημαντικά σε πειραματικό επίπεδο τα αποτελέσματα μπορεί να διαπιστωθεί και από το παρακάτω γράφημα.



Εικόνα 8.Χρωματογραφική απεικόνιση των τιμών του y^+ σε επίπεδο που είναι παράλληλο προς το τοίχωμα και απέχει 1 χιλιοστόμετρο από αυτό



Σχήμα 11. Επίδραση της ύπαρξης ή όχι οριακού στρώματος κατά μήκος των τοιχωμάτων του φούρνου



Μεγέθυνση της ανωτέρω εικόνας

Το είδος των λυτών που χρησιμοποιήθηκαν και το είδος διακριτοποίησης των υπό επίλυση εξισώσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 12.Ανάλυση των επιμέρους λυτών, των ειδών διακριτοποίησης των εξισώσεων και των υπό ηρεμία παραγόντων

Είδος Λύτη	Επιλογή της μη σταθερής κατάστασης λόγω της επίδρασης του χρόνου στην πειραματική μελέτη
Είδος Λύτη	Επιλογή του πρωτόκολλου κίνησης των ρευστών λόγω διαφοράς πίεσεως
Είδος Σχήματος Παραγωγίσις	Στη σύζευξη ταχύτητας-πίεσεως επιδέχθηκε το μοντέλο SIMPLE

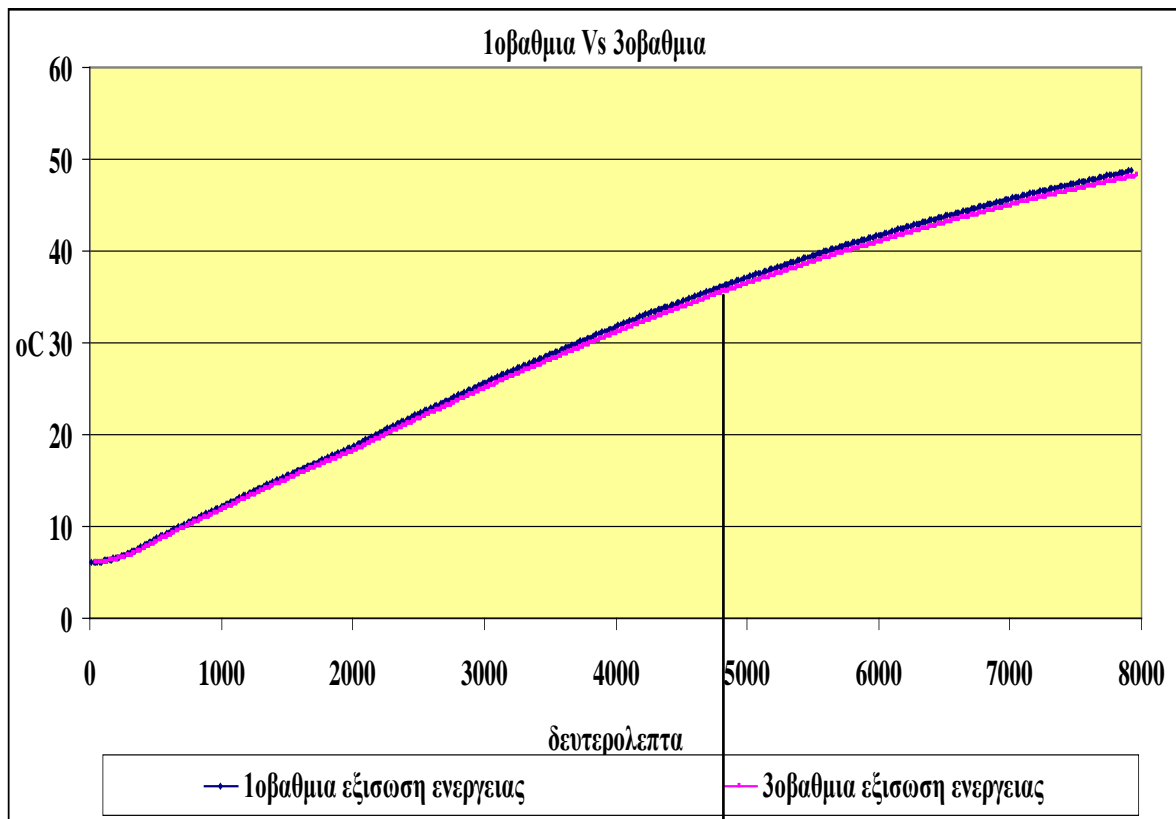
Είδη των σημαντικότερων λυτών και σχημάτων παραγωγίσις

Επιλυόμενες εξισώσεις	Είδος διακριτοποίησης εξισώσεων
Πίεσης	Standard
Συνέχειας	Πρωτοβάθμια εξίσωση (First order Upwind)
κ	Πρωτοβάθμια εξίσωση
ϵ	Πρωτοβάθμια εξίσωση
Ενέργειας	Τριτοβάθμια εξίσωση

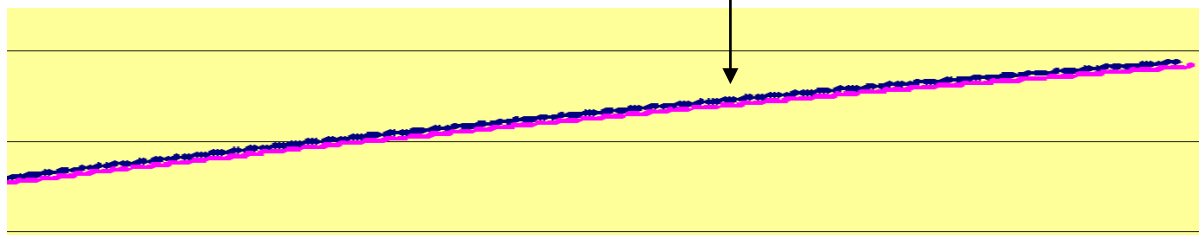
Είδη διακριτοποίησης των εξισώσεων

Υπό ηρεμία παράγοντες	Ποσοστό που λαμβάνεται υπόψιν σε κάθε επόμενο υπολογισμό
Πίεση	0,3
Συνέχεια	0,7
Πυκνότητα	1
Ιξώδες	1
κ & ϵ	0,8
ενέργεια	1

Η διάφορα των αποτελεσμάτων μεταξύ χρήσης πρωτοβάθμιας και τριτοβάθμιας εξίσωσης της ενέργειας φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 12.Επίδραση της επίλυσης της ενέργειας με βάση 1οβάθμια εξίσωση ή 3οβαθμια εξίσωση



Μεγέθυνση της ανωτέρω εικόνας

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι η αλλαγή από πρωτοβάθμια εξίσωση της ενέργειας σε τριτοβάθμια παρότι μπορεί να είναι αναγκαία δεν επηρεάζει σημαντικά σε επίπεδα καταγραφόμενων θερμοκρασιών.

Τα όρια σύγκλισης ορίστηκαν για την εξίσωση της συνέχειας και τις εξισώσεις της ταχύτητας προς όλες τις κατευθύνσεις μέχρι το επίπεδο 10^{-3} ενώ για την εξίσωση της ενέργειας ορίστηκαν μέχρι το επίπεδο 10^{-6} .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1.ΓΕΝΙΚΑ

Αρχικά, με σκοπό να διαπιστωθεί κατά ποσό τα θεωρητικά αποτελέσματα της προσομοίωσης συμπίπτουν με τα πειραματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκε η απλή γεωμετρία που αποτελείται από ένα σαλάμι. Για το σκοπό αυτό σε πρώτη φάση έγιναν δόκιμες ώστε να διαπιστωθεί από ποιο σημείο πύκνωσης του πλέγματος υπάρχει ανεξαρτησία των λύσεων. Στη συνέχεια εξετάστηκε εάν οι επιλογές που είχαν γίνει αρχικά σε θεωρητικό επίπεδο ως προς την ύπαρξη σημαντικού οριακού στρώματος στα τοιχώματα και ως προς την τριτοβάθμια εξίσωση επίλυσης της ενεργείας όντως έδιναν ποιο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με την χρήση πρωτοβάθμιας εξίσωσης και την ανυπαρξία οριακού στρώματος.

Έπειτα αφού οριστικοποιήθηκαν, με τις προηγούμενες δοκιμές, οι οριακές συνθήκες και τα είδη διακριτοποίησης των εξισώσεων πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές μελέτες ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση της μεταβολής των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αλλαντικού και του περιβλήματος του στο επίπεδο θέρμανσης του.

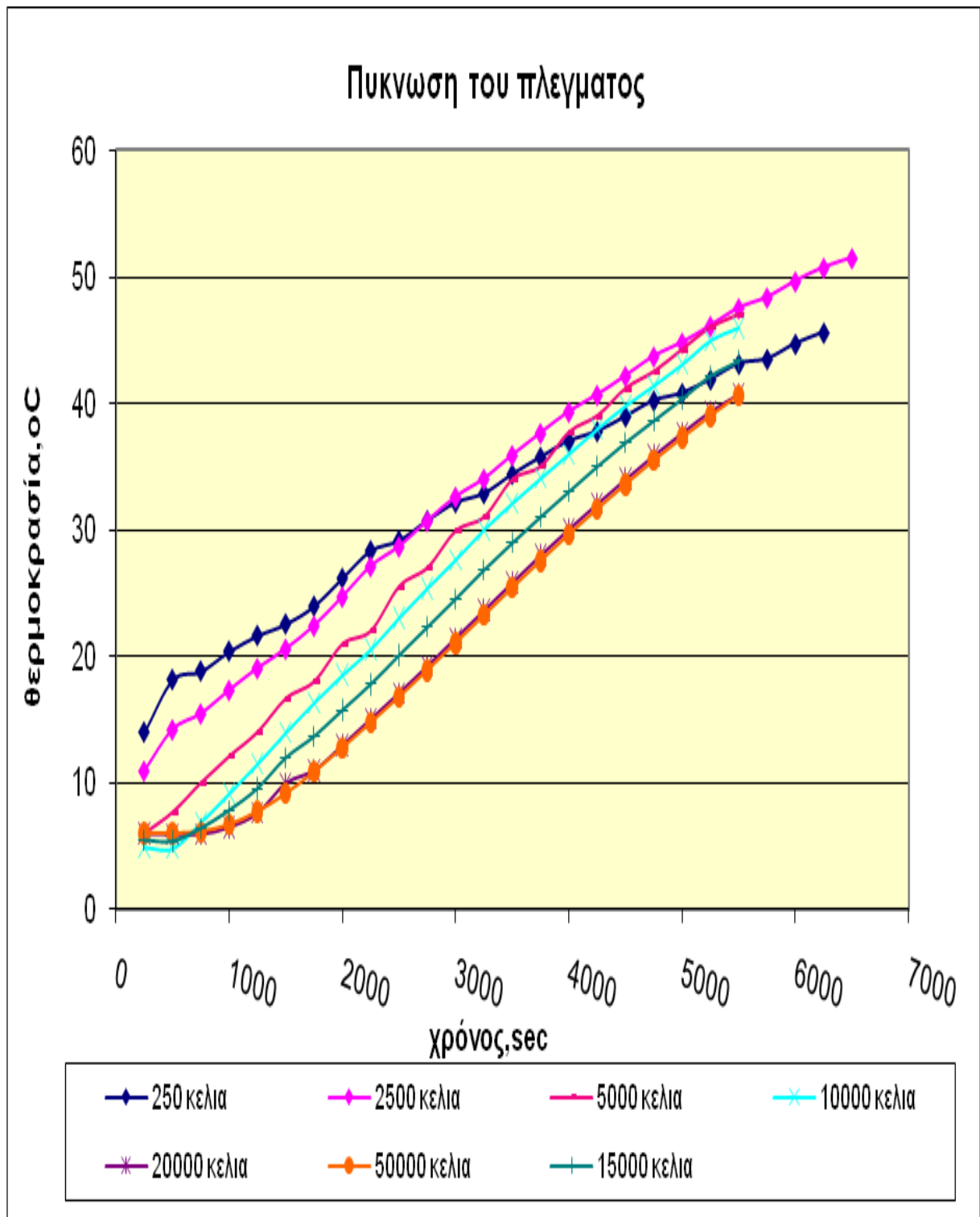
4.2.ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΚΝΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Κατά τη διενέργεια του έλεγχου της ανεξαρτησίας της λύσης από την πύκνωση του πλέγματος χρησιμοποιήθηκε η γεωμετρία με το ένα σαλάμι και εξήφθησαν δεδομένα για τα εξής επίπεδα πύκνωσης για το εσωτερικό του σαλαμιού:

1. Σαλάμι με 250 κελιά
2. Σαλάμι με 2500 κελιά
3. Σαλάμι με 5000 κελιά
4. Σαλάμι με 10000 κελιά
5. Σαλάμι με 15000 κελιά
6. Σαλάμι με 20000 κελιά
7. Σαλάμι με 50000 κελιά

Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι ο απαραίτητος αριθμός κελίων είναι τα 20000 κελιά. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και από την παρακάτω γραφική απεικόνιση. Λόγω αυτών

των αποτελεσμάτων οι μετέπειτα υπολογισμοί για τη μελέτη της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σαλαμιού έγιναν με 20000 κελιά.



Σχήμα 13. Έλεγχος της ανεξαρτησίας των αποτελεσμάτων από το επίπεδο πυκνωσης του πλέγματος

Πίνακας 13.Υπολογισμός του όγκου του κάθε κελιού στο εσωτερικό του σαλαμιού (807 cm³) με βάση τον αριθμό των κελίων.

Αριθμός κελιών ανά σαλάμι	όγκος κάθε πολυγώνου σε cm³
250	3,23
2500	0,323
5000	0,1615
10000	0,0807
15000	0,0538
20000	0,04037
50000	0,01615

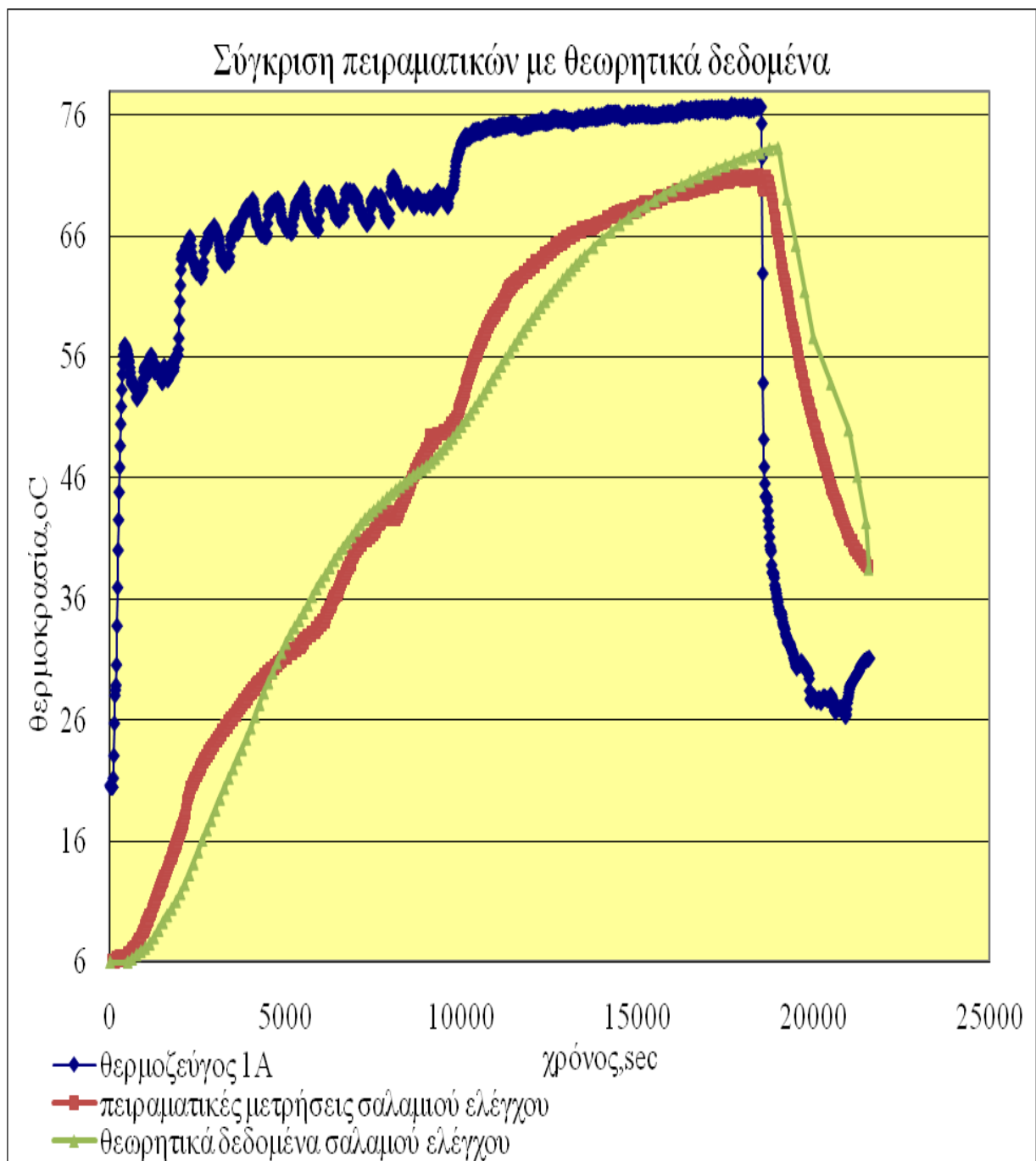
4.3.ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΛΥΤΗ

Αφού διαπιστώθηκε ο απαραίτητος αριθμός κελιών που πρέπει να έχει το εσωτερικό των σαλαμιών ,πρέπει να ελεγχθεί η ακρίβεια της προσέγγισης των πειραματικών δεδομένων (validation) από το λύτη.

Η προσέγγιση των πειραματικών δεδομένων επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων μερικοί από τους ποιο σημαντικούς είναι οι:

- Ο αριθμός των κελιών στο εσωτερικό των σαλαμιών
- Ο αριθμός των κελιών στο βιομηχανικό φούρνο

Στη παρούσα μελέτη ενώ για το εσωτερικό των σαλαμιών βρέθηκε ο βέλτιστος αριθμός κελιών, στο εσωτερικό του φούρνου χρησιμοποιήθηκε ένας ικανοποιητικός αριθμός κελιών αλλά όχι ο μέγιστος δυνατός. Σε περίπτωση που το επίπεδο λεπτομέρειας στο εσωτερικό του φούρνου ήταν αντίστοιχο αυτού στο εσωτερικό των σαλαμιών (όγκος κελιού 0,04037 cm³) θα απαιτούνταν ένας αριθμός κελιών της τάξης των 306*10⁶ κελιά κάτι το οποίο με την υπάρχουσα υπολογιστική ισχύ θα ήταν αδύνατο να επιλυθεί.



Σχήμα 14. Σύγκριση πειραματικών με θεωρητικά δεδομένα

Κατά την σύγκριση των πειραματικών με τα θεωρητικά δεδομένα αν και δεν υπήρχε πλήρης ταύτιση, όπως αυτό φαίνεται και από το ανωτέρω σχήμα, τα θεωρητικά δεδομένα κυμαινόντουσαν στο $\pm 15\%$ σε σχέση με τα πειραματικά. Το ποσοστό αυτό μπορεί να θεωρηθεί επαρκές για την ακρίβεια της προσέγγισης των πειραματικών δεδομένων από το λύτη.

4.4.ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΛΛΑΝΤΙΚΟΥ

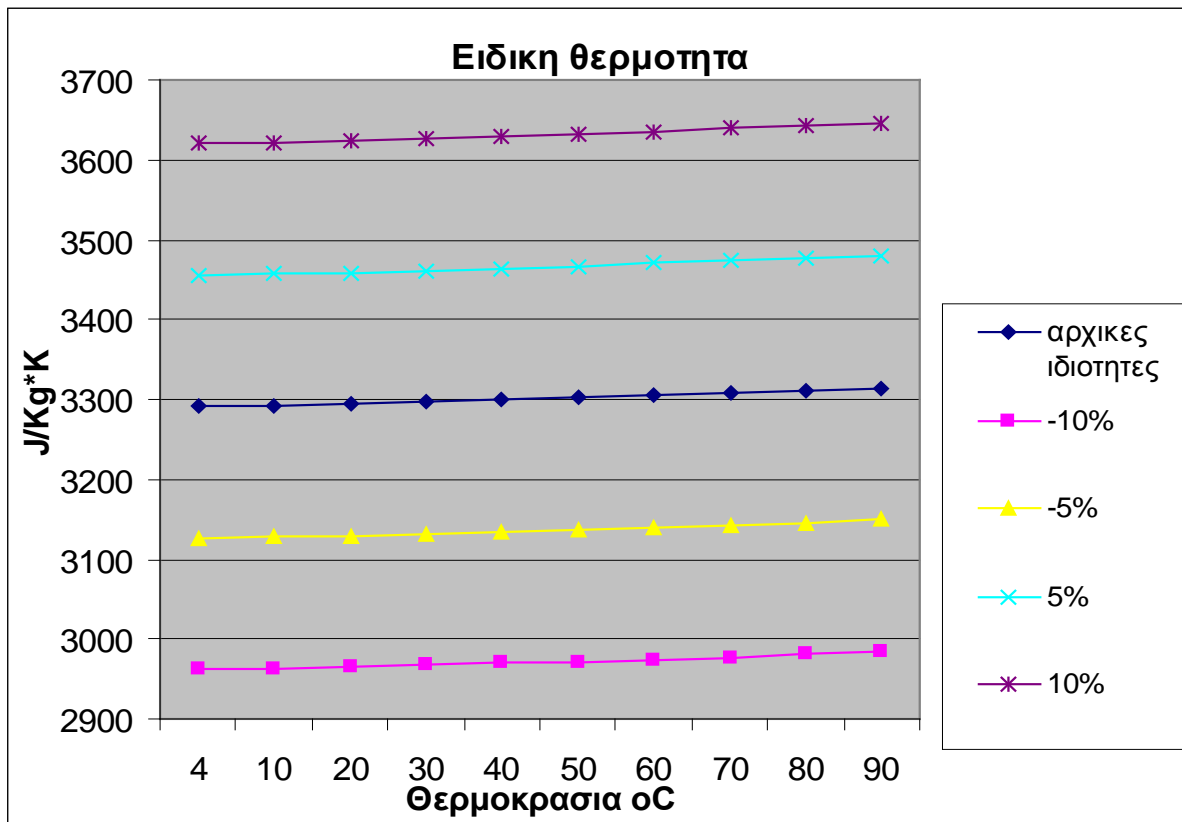
Στο πλαίσιο της πραγματοποίησης παραμετρικών μελετών, εξετάστηκε η επίδραση των μεταβολών στις θερμοφυσικές ιδιότητες του σαλαμιού (ειδική θερμότητα, συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας) στη θέρμανση του με δεδομένο το πρωτόκολλο θέρμανσης.

Κατά τις μεταβολές αυτές θεωρώντας δεδομένη την πυκνότητα του σαλαμιού, πραγματοποιήθηκαν αλλαγές σε μια από τις δυο βασικές ιδιότητες ενώ ταυτόχρονα η άλλη παρέμενε σταθερή. Συγκεκριμένα εξετάστηκε η ευαισθησία της λύσης για μεταβολή της ειδικής θερμότητας (C_p) και της θερμικής αγωγιμότητας (k) κατά $\pm 10\%$

Οι αλλαγές αυτές φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και στα αντίστοιχα γραφήματα.

Πίνακας 14. Οι μεταβολές στις αρχικές τιμές της ειδικής θερμότητας αναλόγως το ποσοστό της αλλαγής της

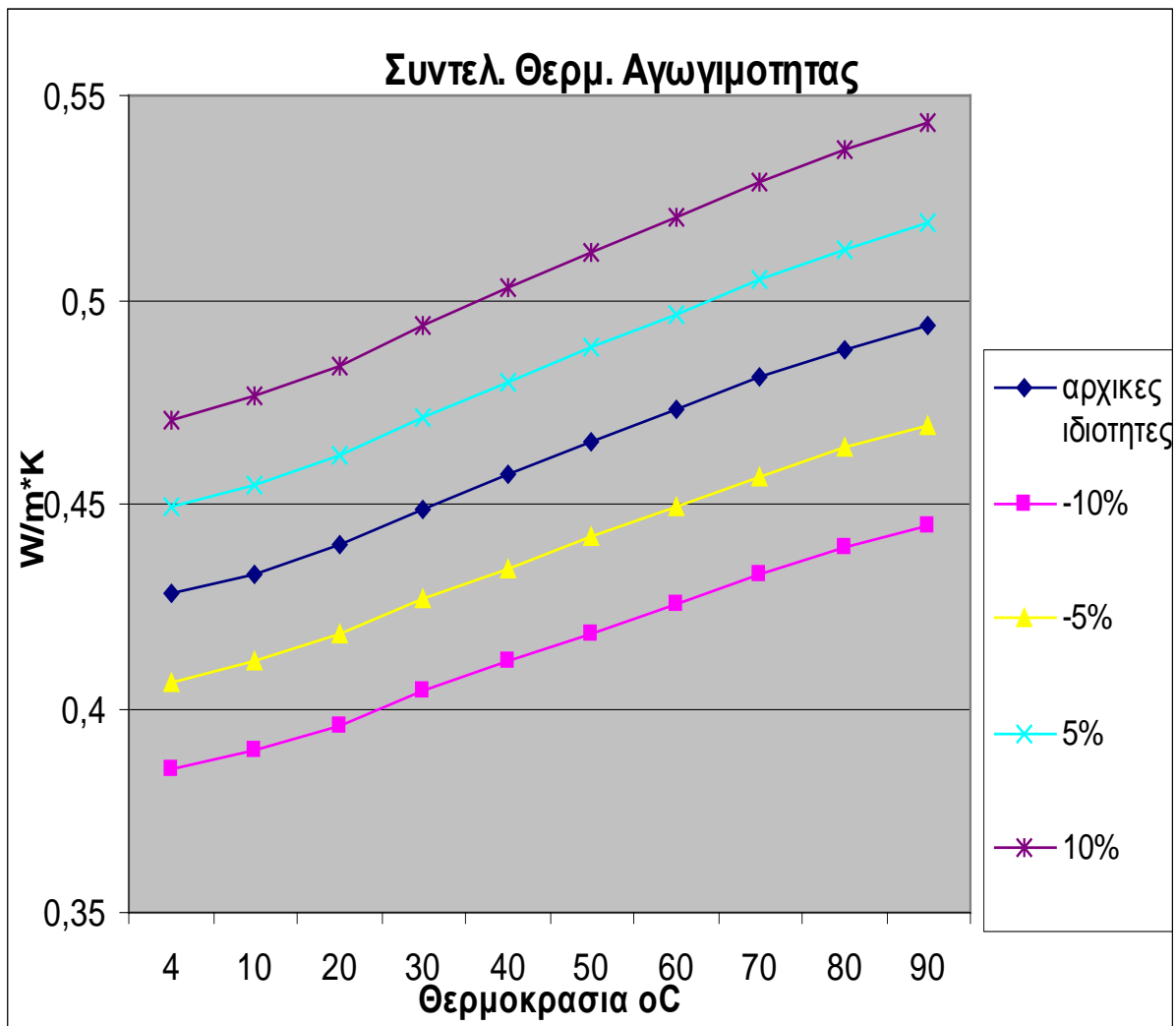
Ειδική θερμότητα C_p (J/kg*K)					
°C	-10%	-5%	αρχικές ιδιότητες	+5%	+10%
4	2962,17	3126,735	3291,3	3455,865	3620,43
10	2963,34	3127,97	3292,6	3457,23	3621,86
20	2964,96	3129,68	3294,4	3459,12	3623,84
30	2967,12	3131,96	3296,8	3461,64	3626,48
40	2969,55	3134,525	3299,5	3464,475	3629,45
50	2971,98	3137,09	3302,2	3467,31	3632,42
60	2974,68	3139,94	3305,2	3470,46	3635,72
70	2977,47	3142,885	3308,3	3473,715	3639,13
80	2980,35	3145,925	3311,5	3477,075	3642,65
90	2983,41	3149,155	3314,9	3480,645	3646,39



Σχήμα 15.Γραφική αναπαράσταση των αλλαγών των τιμών της ειδικής θερμότητας με βάση το ποσοστό αυξομείωσης της

Πίνακας 15.Οι μεταβολές στις αρχικές τιμές της θερμικής αγωγιμότητας αναλόγως το ποσοστό της αυξομείωσης της

Συντελ. θερμ αγωγιμότητας κ (W/m*K)					
°C	-10%	-5%	αρχικές ιδιότητες	+5%	+10%
4	0,3852	0,4066	0,428	0,4494	0,4708
10	0,3897	0,41135	0,433	0,45465	0,4763
20	0,396	0,418	0,44	0,462	0,484
30	0,4041	0,42655	0,449	0,47145	0,4939
40	0,4113	0,43415	0,457	0,47985	0,5027
50	0,4185	0,44175	0,465	0,48825	0,5115
60	0,4257	0,44935	0,473	0,49665	0,5203
70	0,4329	0,45695	0,481	0,50505	0,5291
80	0,4392	0,4636	0,488	0,5124	0,5368
90	0,4446	0,4693	0,494	0,5187	0,5434



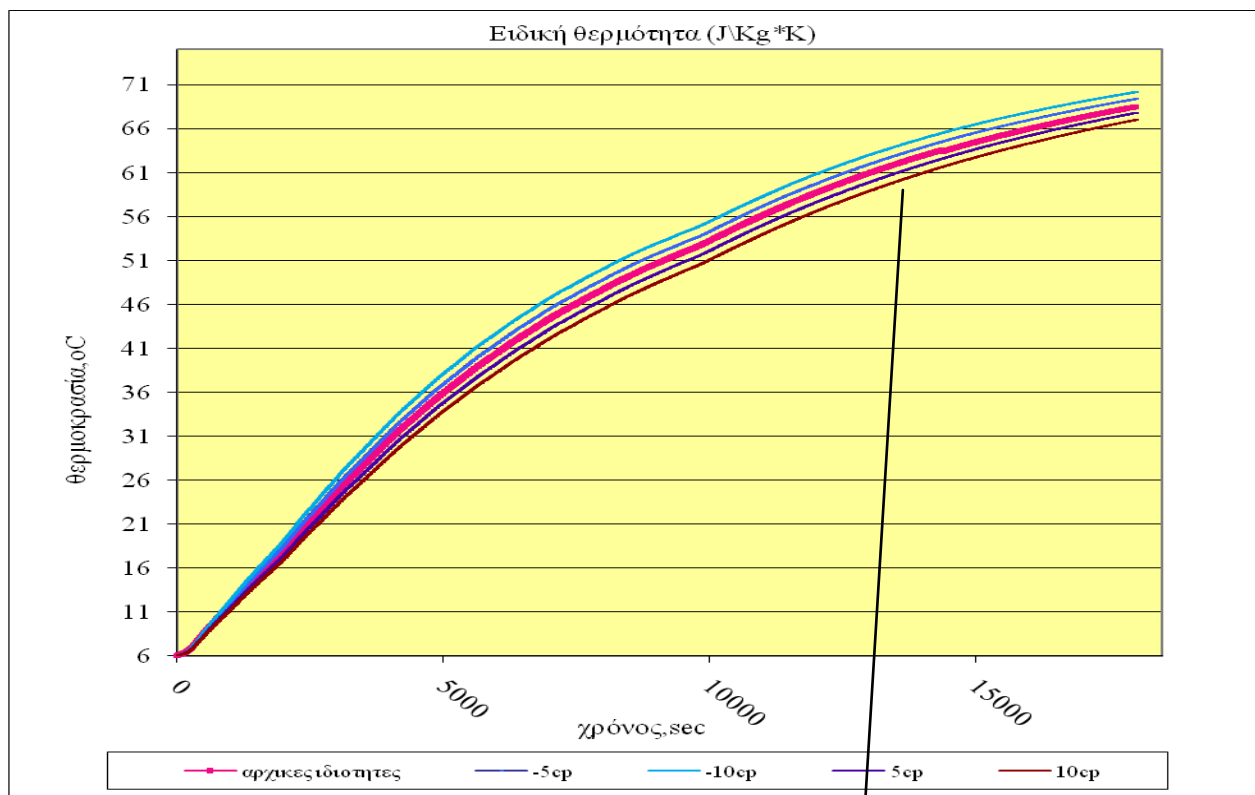
Σχήμα 16.Γραφική αναπαράσταση των αλλαγών των τιμών της θερμικής αγωγιμότητας με βάση το ποσοστό αυξομείωσης της

Από την παραπάνω ανάλυση της ευαισθησίας διαπιστώθηκε ότι:

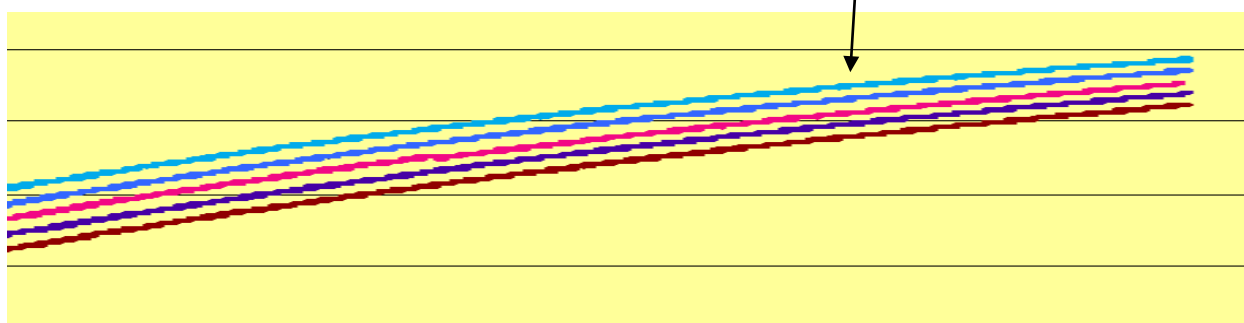
1. Η αύξηση της C_p κατά 5% οδηγούσε σε μείωση της θερμοκρασίας του σημείου αναφοράς του σαλαμιού κατά $0,85^\circ\text{C}$ ενώ η αντίστοιχη μείωση της C_p κατά 5% είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας κατά $0,9^\circ\text{C}$ κατά μέσο όρο.
2. Η αύξηση του k κατά 5% οδηγούσε σε αύξηση της θερμοκρασίας του σημείου αναφοράς του σαλαμιού κατά $0,55^\circ\text{C}$ ενώ η αντίστοιχη μείωση του k κατά 5% είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας κατά $0,6^\circ\text{C}$ κατά μέσο όρο.

Πίνακας 16.Ανάλυση της επίδρασης των μεταβολών του k & Cp στη θέρμανση του σαλαμιού έλεγχου.

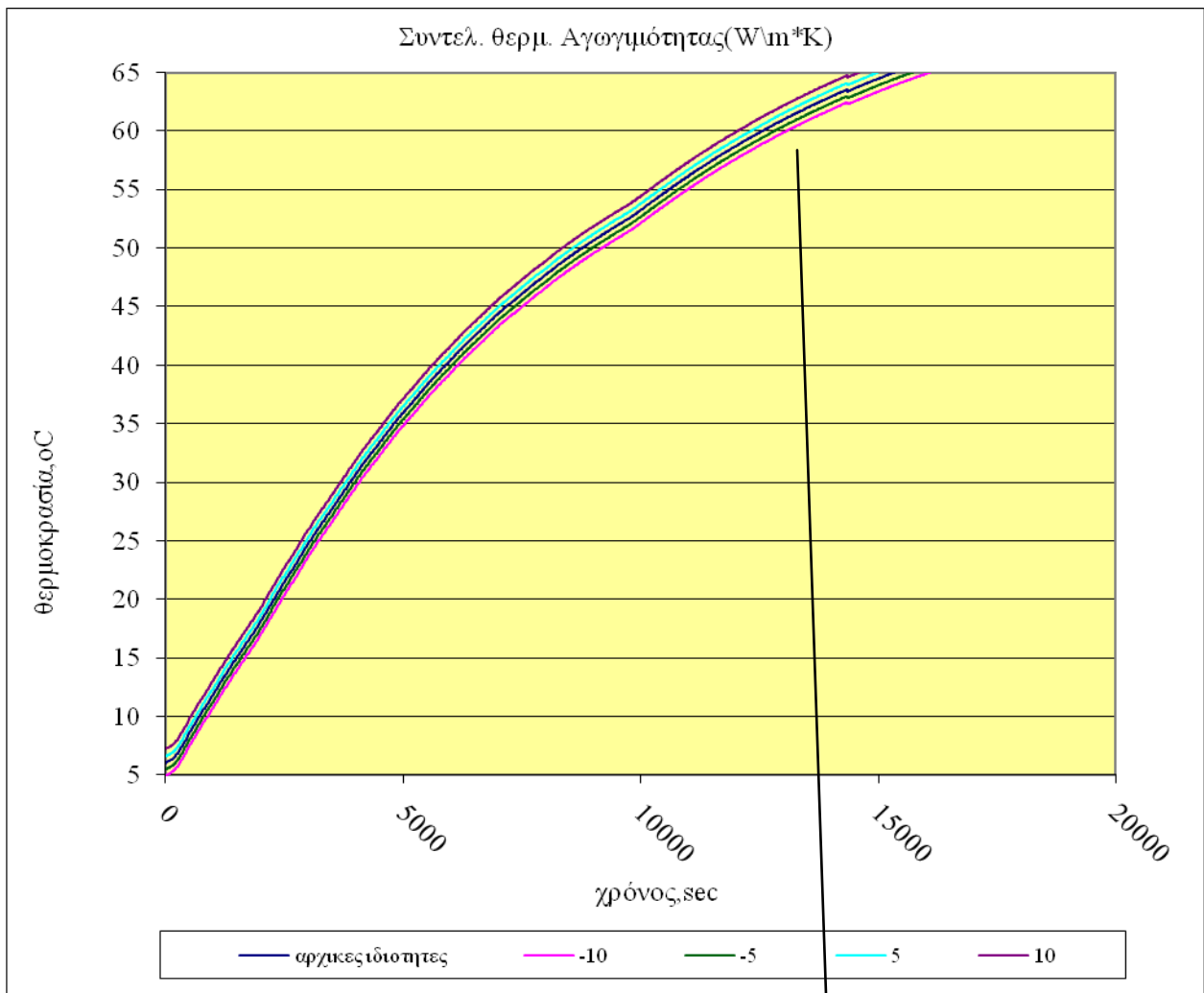
k		Cp	
%	οC	%	οC
-5,0	-0,6	-5,0	1,0
-10,0	-1,1	-10,0	1,9
5,0	0,55	5,0	-0,9
10,0	1,05	10,0	-1,7



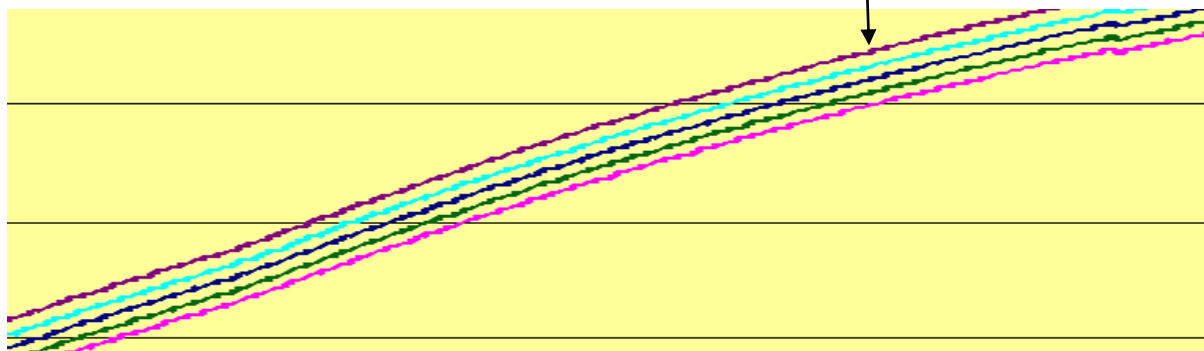
Σχήμα 17.Επίδραση της μεταβολής της ειδικής θερμότητας του αλλαντικού στο επίπεδο θέρμανσης του όταν η θερμοκρασία του αέρα παραμένει σταθερή



Μεγέθυνση της ανωτέρω εικόνας



Σχήμα 18. Επίδραση της μεταβολής θερμικής αγωγιμότητας του αλλαντικού στο επίπεδο θέρμανσης του όταν η θερμοκρασία του αέρα παραμένει σταθερή

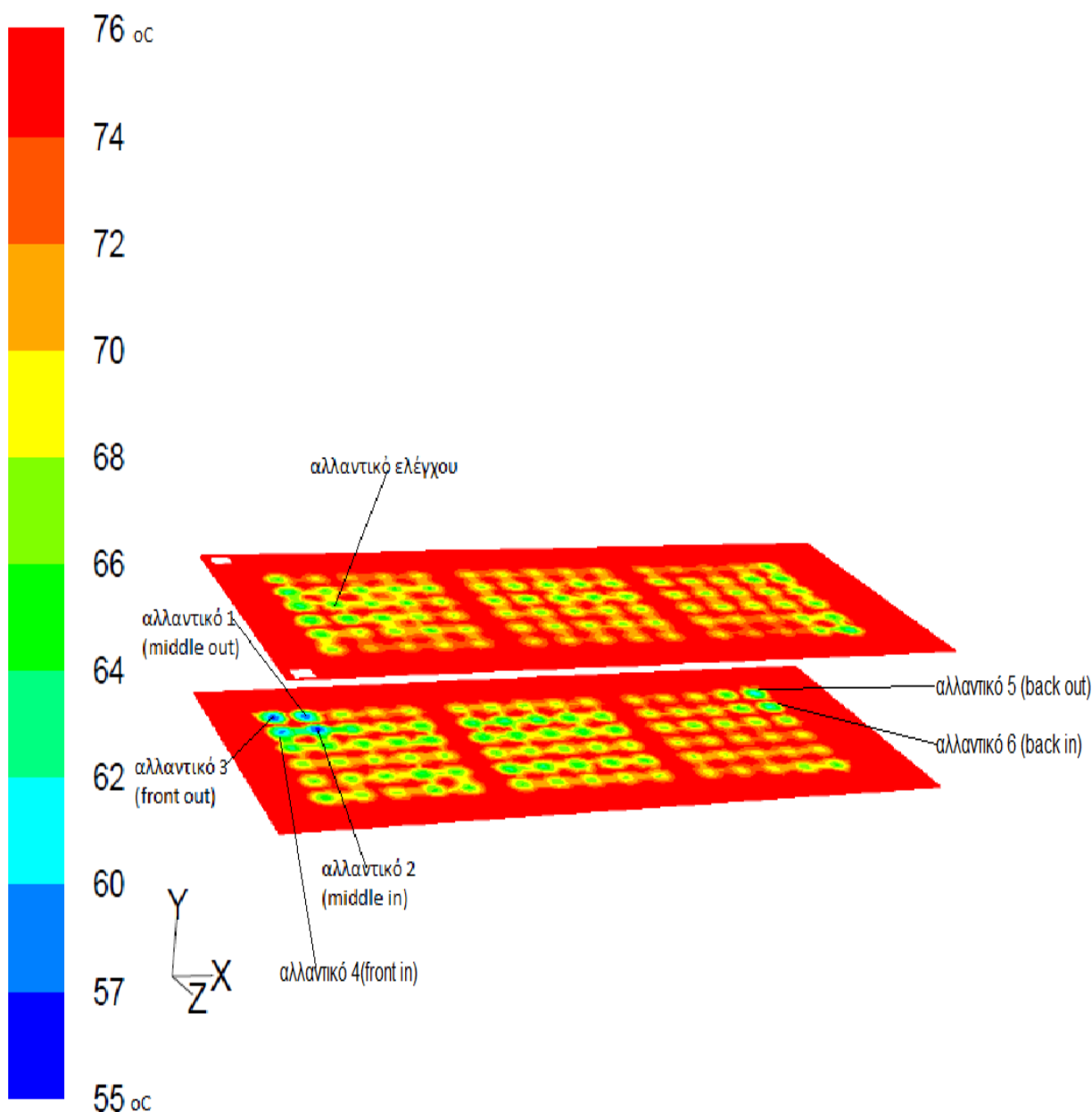


Μεγέθυνση της ανωτέρω εικόνας

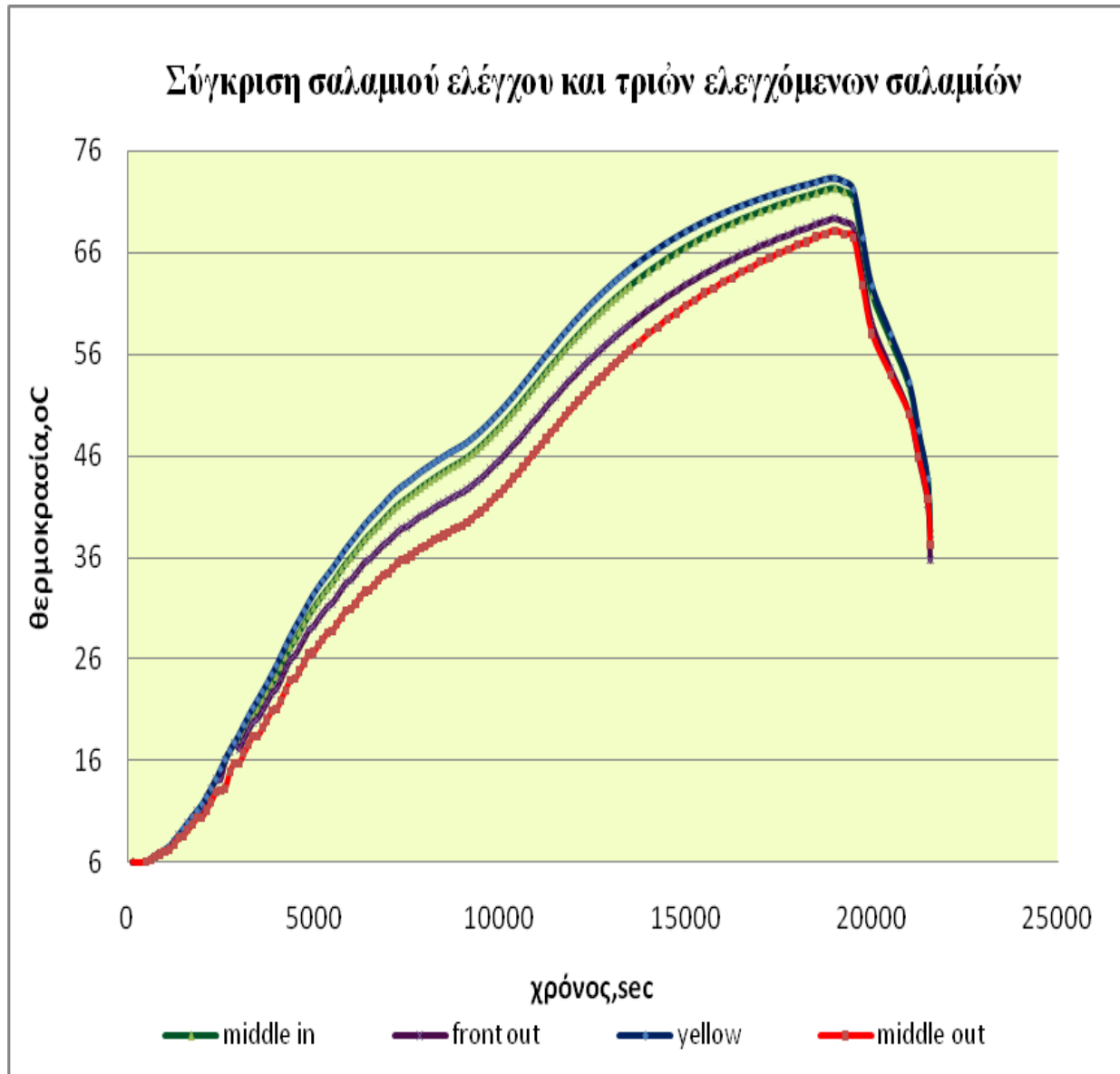
4.5.ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Από την προσομοίωση της λειτουργίας του φούρνου με το πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής προκύπτει ότι σε σχέση με το σαλάμι έλεγχου (σαλάμι στο οποίο τοποθετήθηκε το θερμοζεύγος έλεγχου και βάσει της διαβάθμισης της θερμοκρασίας του οποίου ορίζεται και η διάρκεια της θέρμανσης) υπάρχουν άλλα τρία σαλάμια τα οποία δέχονται συνολικά μικρότερα επίπεδα θέρμανσης.

Τα σαλάμια αυτά φαίνονται στην παρακάτω εικόνα αλλά και στο αντίστοιχο διάγραμμα.



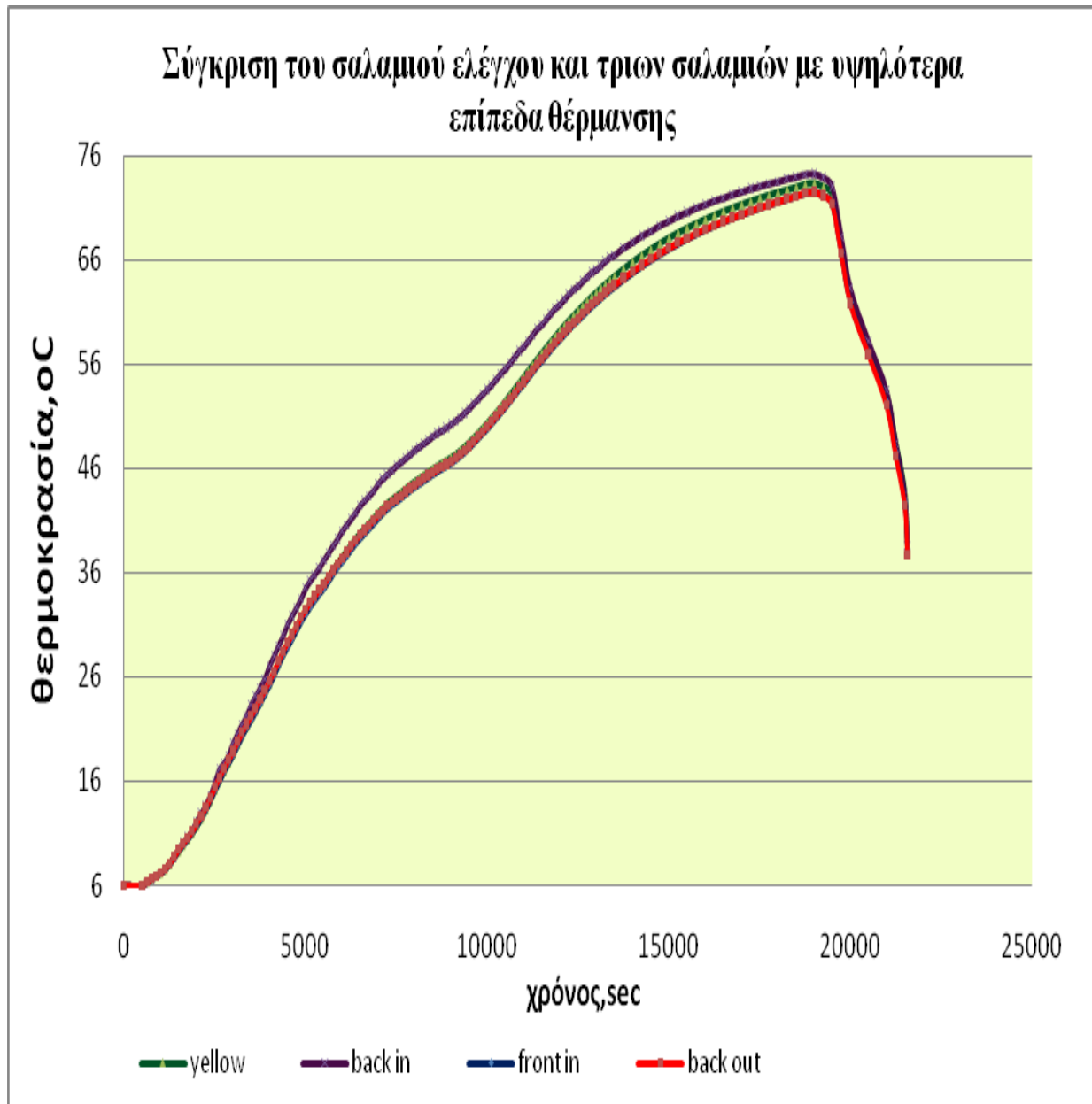
Εικόνα 9. Παρουσίαση δυο οριζοντίων επιπέδων έλεγχου των σαλαμιών στα οποία διαπιστώνεται σε τυχαία χρονική στιγμή το χαμηλότερο επίπεδο θέρμανσης των τριών σαλαμιών (middle in > front out > middle out) σε σχέση με το σαλάμι έλεγχου βασιζόμενο στη χρωματική κλίμακα (Celsius). Τα σαλάμια front in, back in και back out δέχονται παρεμφερή ή υψηλότερη θέρμανση (σχήμα 19α).



Σχήμα 19. Σύγκριση σαλαμιού έλεγχου και τριών λιγότερων θερμαινόμενων σαλαμιών

Η βασική αιτιολογία του χαμηλότερου επιπέδου θέρμανσης των σαλαμιών αυτών πιθανολογείται ότι είναι η θέση τους μέσα στο φούρνο. Όπως φαίνεται και από την εικόνα 7β τα σαλάμια αυτά βρίσκονται σε σημείο όπου υπάρχει σημαντική τυρβώδης ροή. Ωστόσο τα σαλάμια front in (βρίσκεται δίπλα στο front out), back in και back out (βρίσκονται σε περιοχή

τυρβώδους ροής στο πίσω μέρος του φούρνου) παρότι είναι σε περιοχή με τυρβώδη ροή δέχονται παρεμφερή ή υψηλότερα επίπεδα θέρμανσης σε σχέση με το σαλάμι ελέγχου yellow (σχήμα 19a).



Σχήμα 19α. Σύγκριση σαλαμιού ελέγχου και τριών παρεμφερώς θερμαινόμενων σαλαμιών

Ο έλεγχος της επάρκειας του επιπέδου θέρμανσης για τα τρία σαλάμια που δέχονται χαμηλότερη θέρμανση και το σαλάμι ελέγχου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια υπολογιστικού προγράμματος φύλων Microsoft Office Excel στο οποίο έγινε εισαγωγή της παραγώγου εξίσωσης εύρεσης των μονάδων παστερίωσης η οποία είναι η εξής:

$$P_{units} = \int_0^t (10^{(T_c - T_r / z)}) \cdot dt \quad (10)$$

T_c =η θερμοκρασία στο κέντρο του ψυχρότερου σαλαμιού καθ'όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας.

T_r = η θερμοκρασία αναφοράς για την παστερίωση των αλλαντικών με βάση τη γαλοπούλα.

z = Η τιμή z αντιπροσωπεύει τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε βαθμούς °C η οποία επιφέρει υποδεκαπλάσια μεταβολή της τιμής D .

t =χρόνος σε δευτερόλεπτα.

Πίνακας 17.Συσχέτιση των σχημάτων λειτουργίας του βιομηχανικού φούρνου με τις μονάδες παστερίωσης (σε δευτερόλεπτα) που προκύπτουν για τέσσερα υπό εξέταση σαλάμια.

Σαλάμι Σχήμα λειτουργίας	Yellow	Middle out	Middle in	Front out	Front in	Back in	Back out
24-12 m\s	14,9	$4 \cdot 10^{-5}$					
24-0-24-12 m\s	1036	$18 \cdot 10^{-4}$					
24-0-30-36-12 m\s	221,5	$3 \cdot 10^{-3}$	27,14	0,034	817,7	$18,1 \cdot 10^3$	96
24-0-30-36 m\s εναλλασσόμενο μεταξύ των δυο σειρών ακροφυσίων	$704,3 \cdot 10^5$	$855,6 \cdot 10^3$					
24-0-30-40 m\s	$369,5 \cdot 10^3$	0,13					
24-0-30-48 m\s	$89,8 \cdot 10^3$	0,31					
15-0-18,75-22,5-7,5m\s	0,325	$2,6 \cdot 10^{-}$					
15-7,5 m\s	0,54	$1,08 \cdot 10^{-7}$					

Απο τον πάνω πίνακα προκύπτει ότι με το εφαρμοζόμενο σχήμα λειτουργίας (24-0-30-36-12 m\|s) το σαλάμι έλεγχου και τα σαλάμια middle in, front in, back in και back out λαμβάνουν αποδεκτά επίπεδα θερμικής επεξεργασίας ενώ τα front out και middle out (2 από τα 270 σαλάμια) επεξεργάζονται ανεπαρκώς (71,1°C για 0,034 και 0,003 δευτερόλεπτα αντιστοίχως). Λόγω αυτού πρέπει να εφαρμοστεί ένα εναλλακτικό πρόγραμμα λειτουργίας του φούρνου ώστε να υπάρχει επαρκής θέρμανση του συνόλου των σαλαμιών μέσα στο φούρνο.

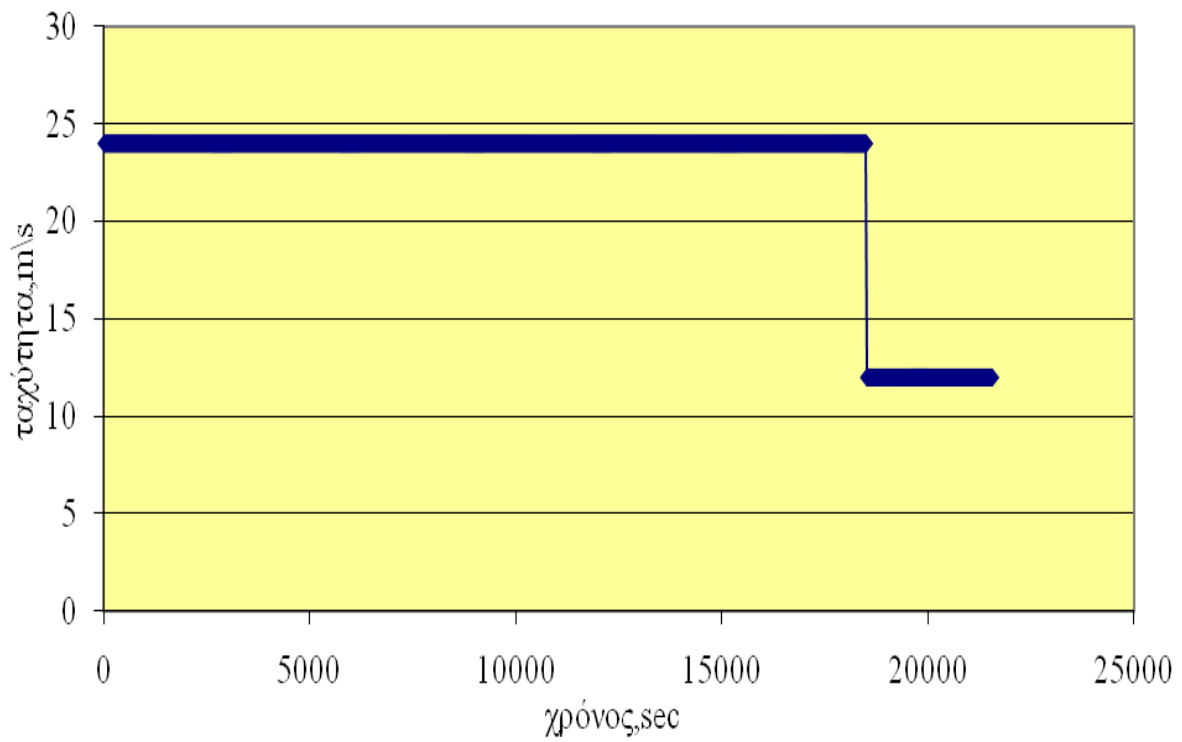
Ειδικότερα κατά τη χρήση των εναλλακτικών σχημάτων λειτουργίας του φούρνου, δεδομένου ότι για να υπάρχει επαρκής παστερίωση των αλλαντικών πρέπει η θερμοκρασία στο εσωτερικό του αλλαντικού να φτάσει τους 71°C για 26 δευτερόλεπτα, παρατηρηθήκαν οι τιμές παστερίωσης (pasteurization units) που για τα προαναφερόμενα σαλάμια φαινεται στο παραπάνω πίνακα 17.

4.6. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ-ΚΑΠΝΙΣΗΣ-ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

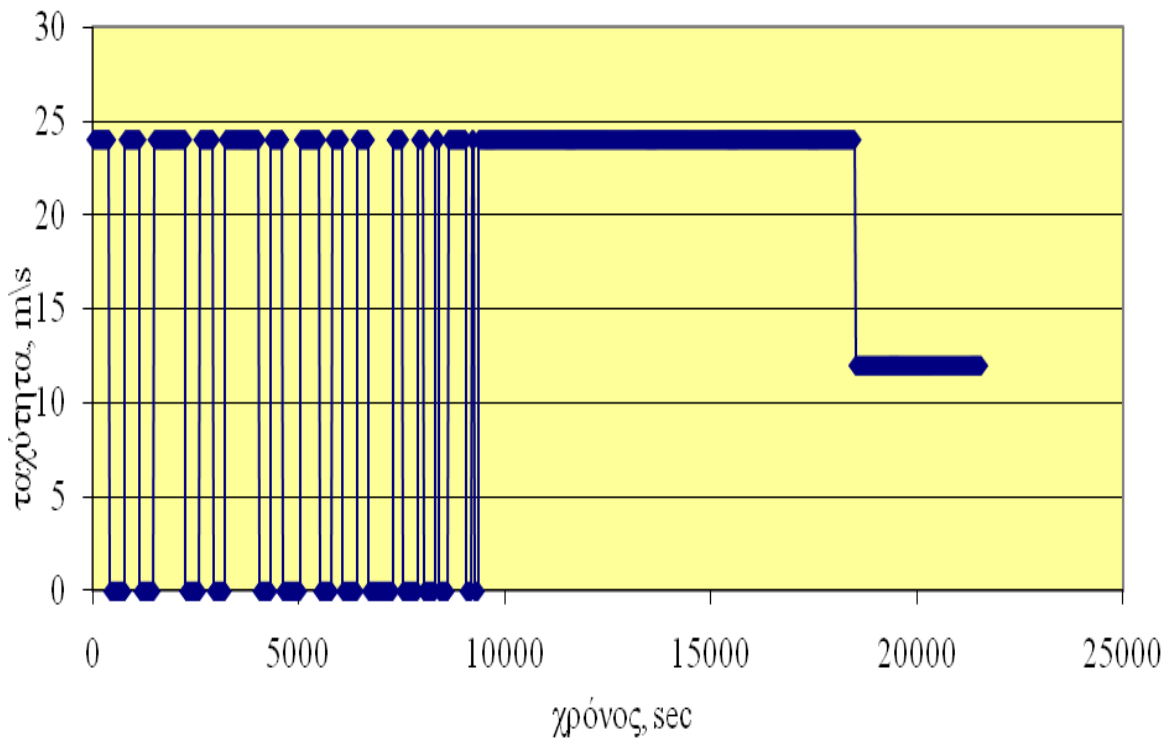
Στο πλαίσιο της βελτιστοποίησης της συνολικής διαδικασίας θέρμανσης των αλλαντικών μελετήθηκαν εναλλακτικά σχήματα ροής του αέρα από τα ακροφύσια με σκοπό τόσο το θερμικό αποτέλεσμα της θέρμανσης να είναι επαρκές όσο και η συνολική κατανάλωση ενέργειας να είναι η μικρότερη δυνατή.

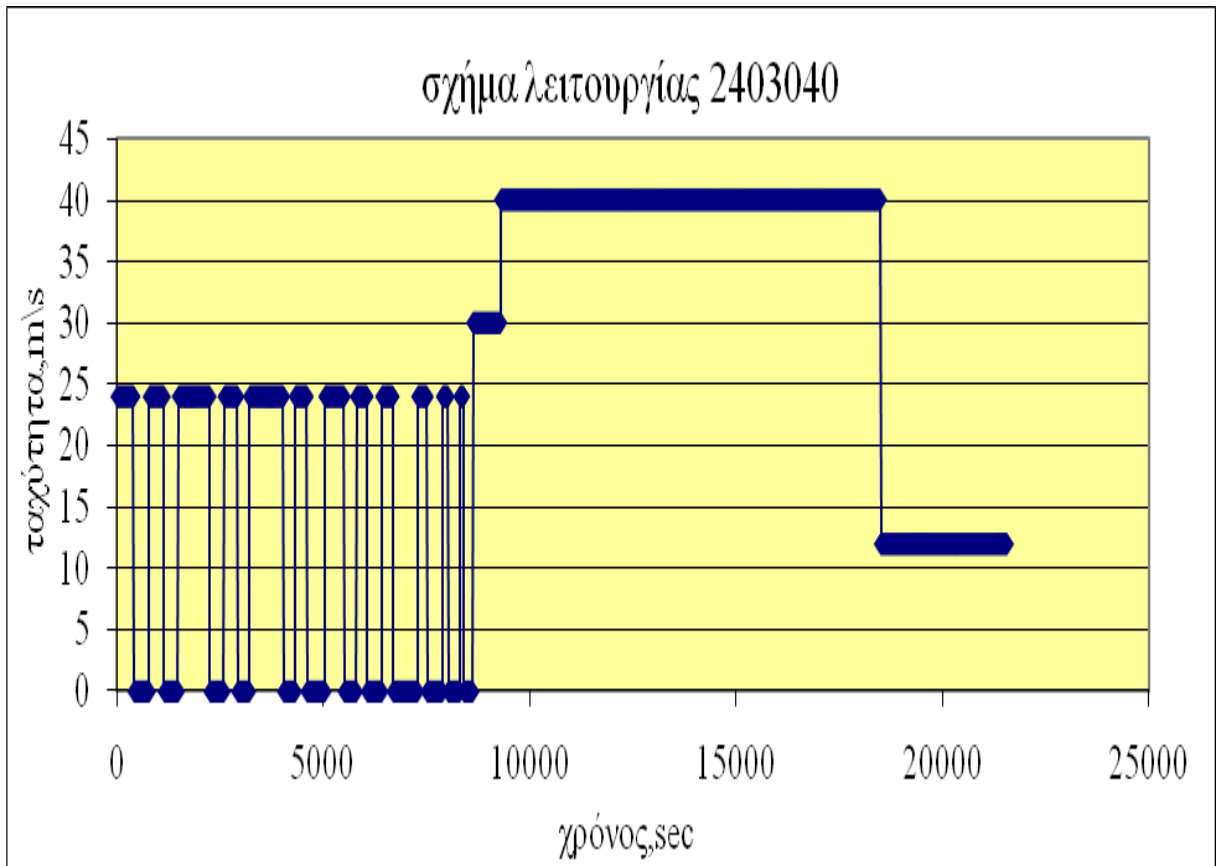
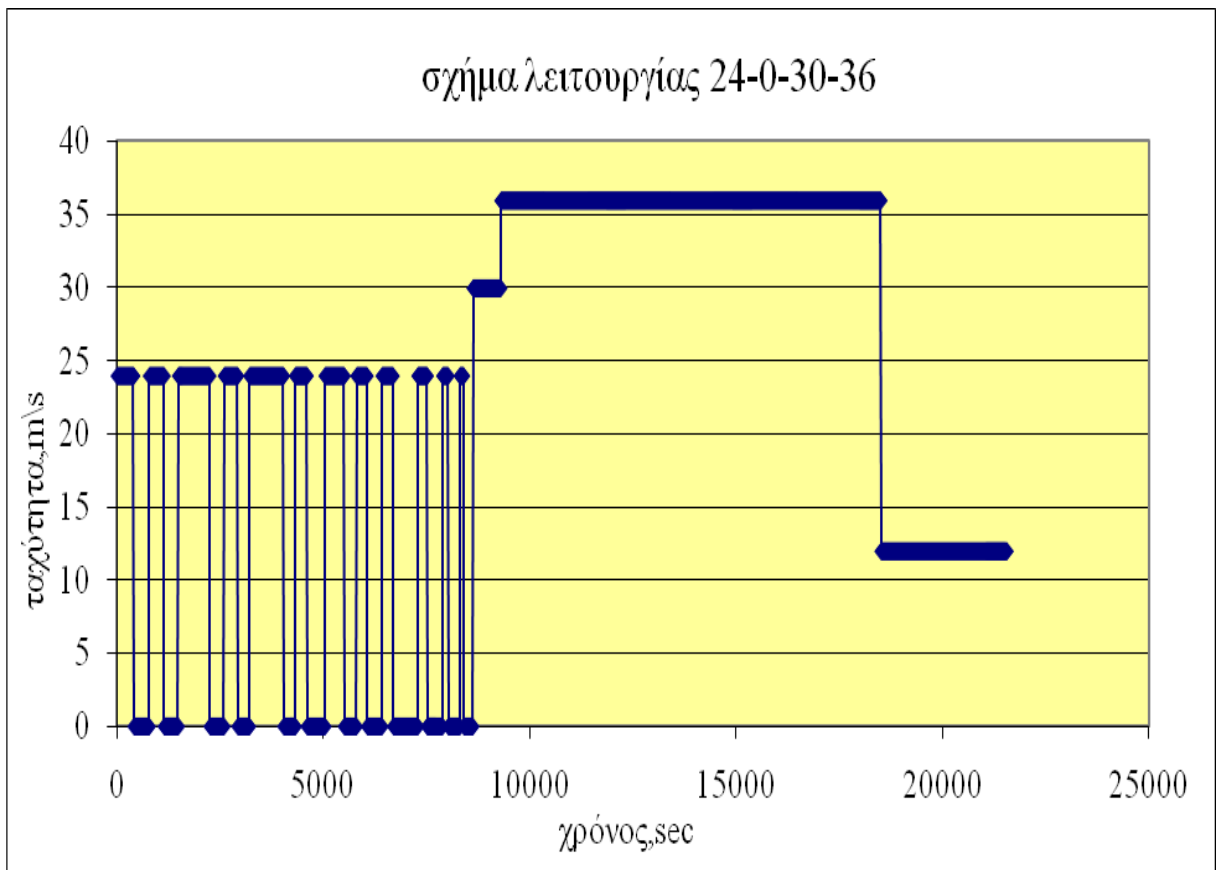
Σε κάθε περίπτωση εναλλακτικού προφίλ θα ελέγχεται το επίπεδο θέρμανσης του ψυχρότερου σαλαμιού ,όπως έχει αυτό αναφερθεί παραπάνω, και το ισοδύναμο θερμικό αποτέλεσμα που προκαλεί αυτό για την καταπολέμηση των βασικότερων παθογόνων μικροοργανισμών ενώ παράλληλα θα ελέγχεται και η συνολική κατανάλωση του βιομηχανικού φούρνου σε ενέργεια και για τις 6 ώρες λειτουργίας.

σχήμα λειτουργίας 24m/s

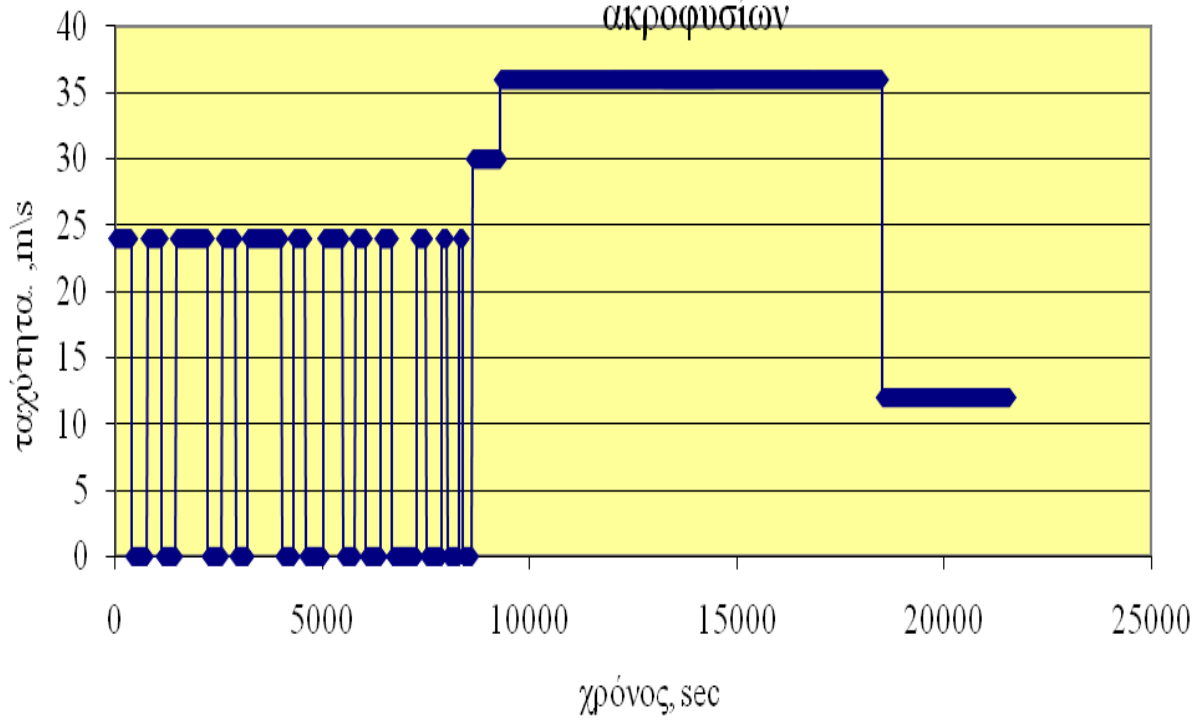


σχήμα λειτουργίας 24-0-24-12 m/s

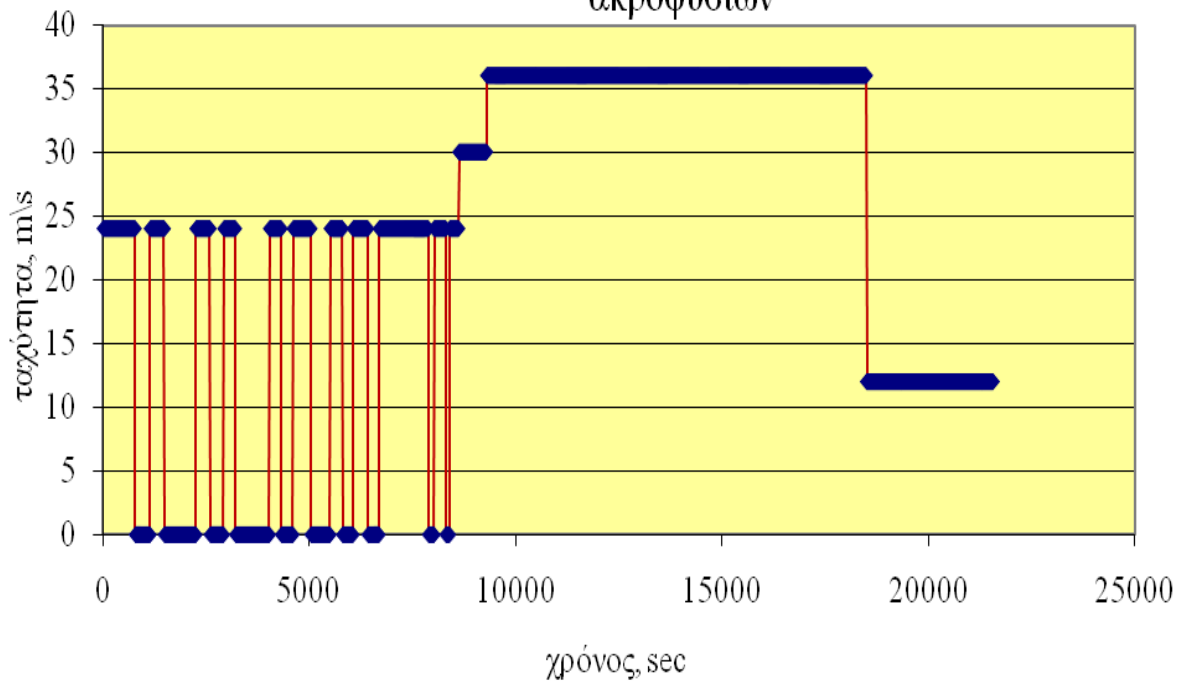


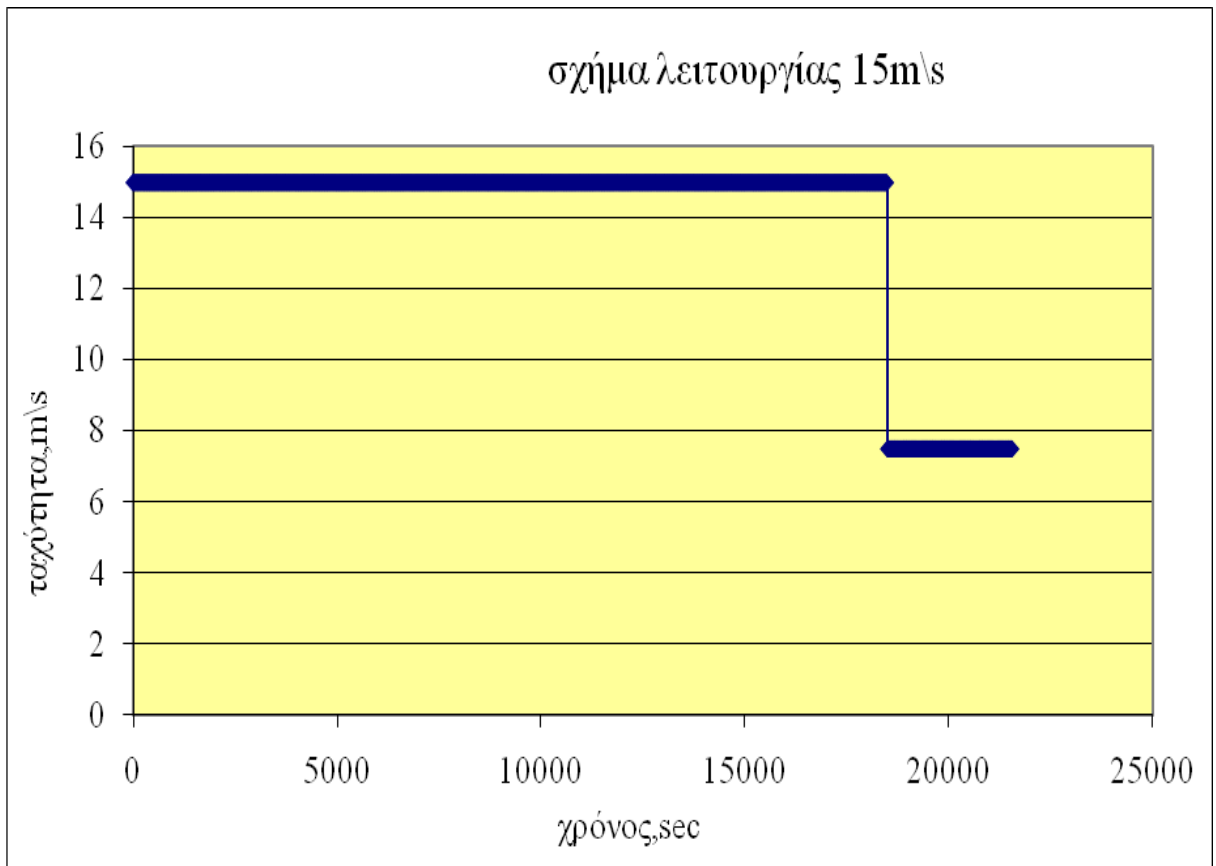
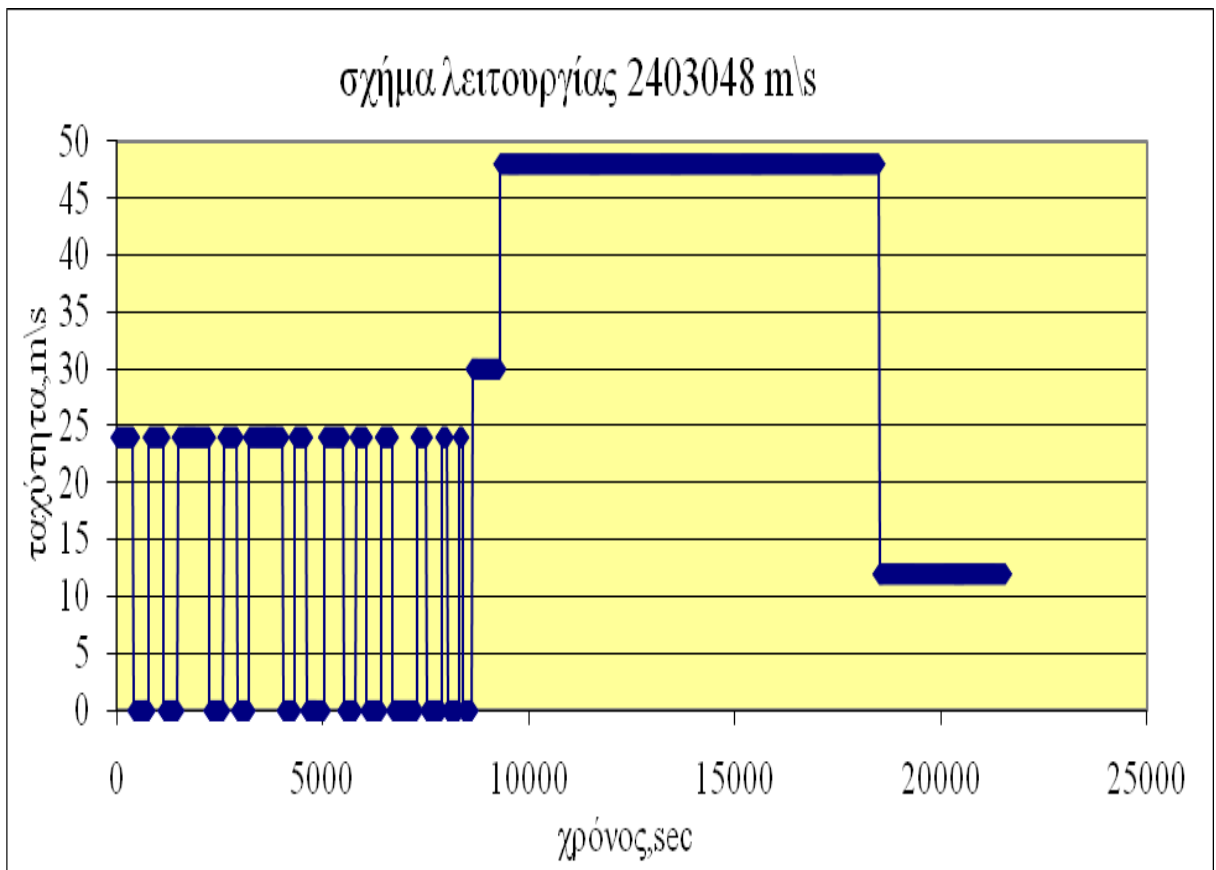


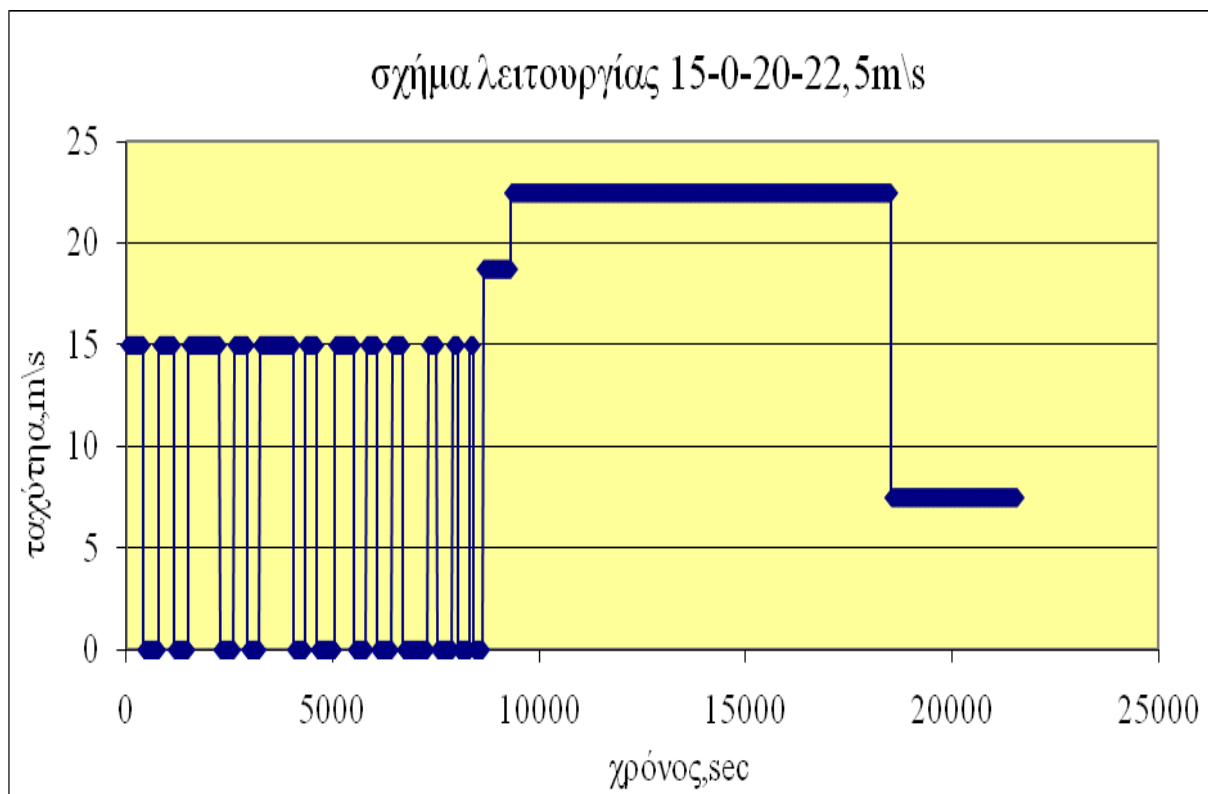
σχήμα λειτουργίας 24-030-36 m/s στην αριστερή σειρά ακροφυσίων



σχήμα λειτουργίας 24-0-30-36 m/s στη δεξιά σειρά ακροφυσίων

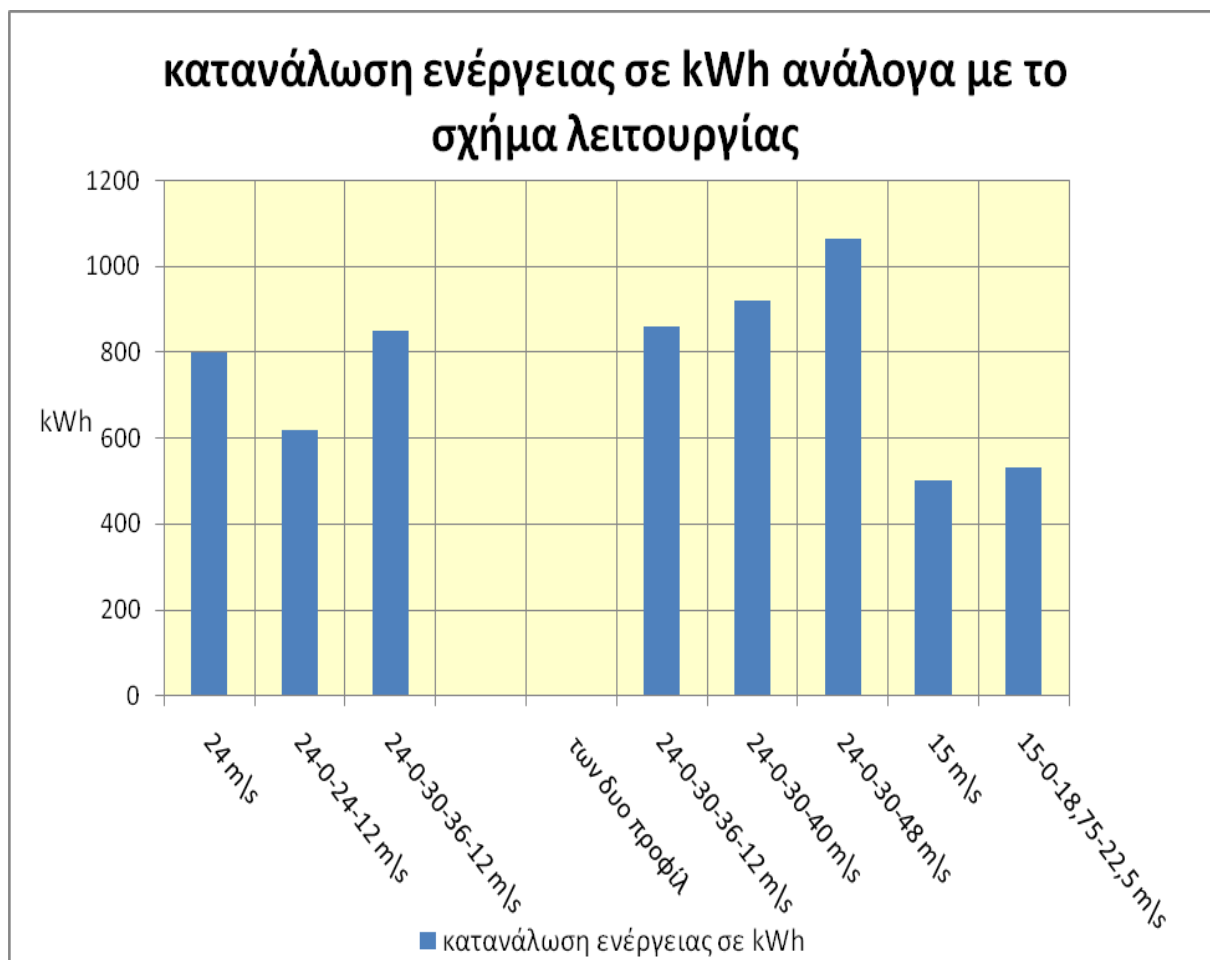






Σχήματα 20-28. Προφίλ ταχύτητας που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια βελτιστοποίησης της διαδικασίας θέρμανσης .

Τα προφίλ 24-0-30-36 αριστερή σειρά και δεξιά σειρά αποτελούν επιμέρους κομμάτια του ίδιου ενιαίου προφίλ λειτουργίας του φούρνου κατά το οποίο, όταν μεγιστοποιείται η ταχύτητα εξόδου του αέρα από την μία σειρά ακροφυσίων μηδενίζεται στην άλλη σειρά μέχρι τη χρονική στιγμή 8600 δευτερόλεπτα. Επειτα ακολουθείται και στις δυο σειρές ανιούσα πορεία της ταχύτητας μέχρι τη χρονική στιγμή των 18509 δευτερολέπτων οπότε και ξεκινά ο καταγωνισμός ύδατος των σαλαμιών.



Σχήμα 30. Γραφική συσχέτιση της κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ των διαφόρων σχημάτων λειτουργίας του βιομηχανικού φούρνου.

Η εύρεση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας από το βιομηχανικό φούρνο βασίστηκε στην υπόθεση ότι ο αέρας που χρησιμοποιείται έχει αρχική θερμοκρασία 21°C και όταν αυτός περάσει μέσα από το φούρνο αποβάλλεται χωρίς να υπάρχει ανακύκλωση του αέρα. Οι υπολογισμοί έγιναν με τη χρήση προγράμματος υπολογιστικών φύλων και ο τύπος της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο εξής:

$$q = \sum_0^t (m \cdot C_p \cdot \Delta T) \cdot \Delta t \quad (11)$$

m =συνολικός ρυθμός ροής της μάζας σε $\text{kg/h} = (42 \text{ ακροφύσια}) \cdot (\text{επιφάνεια ροής αέρα ανά ακροφύσιο}) \cdot (\text{ταχύτητα εισόδου του αέρα}) \cdot (\text{πυκνότητα αέρα})$.

C_p =ειδική θερμότητα του αέρα, $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$.

$\Delta T = ^\circ\text{C}$ η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα στη είσοδο του στο φούρνο από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος του αέρα.

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας από το βιομηχανικό ξηραντήρα-φούρνο ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο σχήμα λειτουργίας το υφόνυ και η επάρκεια ως προς την παστερίωση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 18.

Πίνακας 18. Συσχέτιση της κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ των διαφόρων σχημάτων λειτουργίας και της επάρκειας παστερίωσης

Σχήμα λειτουργίας	Κατανάλωση σε kWh για τις 6 ώρες λειτουργίας	Επάρκεια ως προς την παστερίωση των αλλαντικών
24-12 m\s	799,8	OXI
24-0-24-12 m\s	619,8	OXI
24-0-30-36-12 m\s	850,3	OXI
24-0-30-36 m\s εναλλασσόμενο μεταξύ των δυο σειρών ακροφυσίων	860,6	NAI
24-0-30-40 m\s	921,4	OXI
24-0-30-48 m\s	1063,8	OXI
15-0-18,75-22,5-7,5m\s	531,4	OXI
15-7,5 m\s	499,9	OXI

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη στόχος ήταν η προσομοίωση της θερμικής επεξεργασίας σαλαμιών σε βιομηχανικό φούρνο με τη χρήση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Από την πειραματική διαδικασία και την επίλυση του προβλήματος στο λογισμικό του CFD η θερμική επεξεργασία αναλύθηκε και περιγράφηκε λεπτομερώς.

Έχοντας υπόψη την αρχική υπόθεση, την πειραματική διαδικασία και τα αποτελέσματα που ελήφθησαν παρατηρήθηκαν τα εξής:

1. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν με την πειραματική διαδικασία επαληθεύτηκαν σχετικώς από το λύτη της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Το ποσοστό απόκλισης προσέγγισε το $\pm 15\%$.
2. Το επίπεδο πύκνωσης και ο αριθμός των κελίων στο εσωτερικό των σαλαμιών πέραν του οποίου δεν υπάρχει επίδραση στα αποτελέσματα είναι τα 20000 κελιά.
3. Το μίγμα θέρμανσης που χρησιμοποιήθηκε, λόγω βεβαισμένης κυκλοφορίας (υψηλή ταχύτητα εξόδου του αέρα), εμφάνισε έντονη τυρβώδη ροή (υψηλός αριθμός Reynolds).
4. Στα πλαίσια του έλεγχου της ευαισθησίας των υπολογισμών στις τιμές των C_p και k των σαλαμιών διαπιστώθηκε ότι η μεταβολή του C_p κατά $\pm 10\%$ επιφέρει μεταβολή στη θερμοκρασία του σαλαμιού κατά $\pm 1,7-1,9^\circ\text{C}$ ενώ μεταβολή του k κατά $\pm 10\%$ επιφέρει μεταβολή στη θερμοκρασία του σαλαμιού κατά $\pm 1,1^\circ\text{C}$.
5. Με σκοπό τον έλεγχο του επιπέδου θέρμανσης των αλλαντικών, εντός του βιομηχανικού φούρνου, σε σχέση με το σαλάμι ελέγχου (σαλάμι από τη θέρμανση του οποίου ελέγχεται η διάρκεια λειτουργίας του φούρνου) διαπιστώθηκε η ύπαρξη τριών σαλαμιών που θερμαίνονται λιγότερο σε σχέση με αυτό.
6. Κατά τον έλεγχο της επάρκειας του επιπέδου θέρμανσης των σαλαμιών, από μικροβιολογικής άποψης, διαπιστώθηκε ότι το σχήμα λειτουργίας του φούρνου είχε ως αποτέλεσμα δυο από τα προαναφερθέντα σαλάμια να μην

φτάνουν σε θερμικό αποτέλεσμα ισοδύναμο του $71,1^{\circ}\text{C}$ για 26 δευτερόλεπτα στο κέντρο.

7. Λόγω της προαναφερθείσας ανεπάρκειας θέρμανσης προτάθηκαν εναλλακτικά σχήματα λειτουργίας, από τα οποία μόνο το 24-0-30-36 εναλλασσόμενο θέρμαινε επαρκώς τα όλα τα σαλάμια.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. **Ashrae** (1997-2005). Ashrae Handbooks
2. **Barbut S.** (2002). Poultry Products Processing - Industrial Guide
3. **Chanteloup V. and Mirade P.-S.** (2003), “Computational fluid dynamics (CFD) modelling of local mean age of air distribution in forced-ventilation food plants, ” Journal of Food Engineering **90**: 90-103
4. **Davies A. and Board R.** (1998). The microbiology of meat and poultry, Thompson science publishing
5. Documentation of Fluent
6. **Essien, E.** (2000). Sausage manufacture-Principles and practice, CRC Press
7. **Food and Safety Inspection Service,** (2001), “Draft Compliance Guidelines for Ready-To-Eat Meat and Poultry Poultry Products”, **USDA**
8. **Food and Safety Inspection Service,** (1998). “Lethality and Stabilization Performance Standards for Certain Meat and Poultry Products: Technical Paper”, **USDA**
9. **Juneja V.K., Eblen B.S AND Ransom G.M.** (2001), “Thermal Inactivation of *Salmonella spp.* In Chicken Broth, Beef, Pork, Turkey, and Chicken:Determination of D- and Z-values” Journal of food science—Vol. 66, No. 1,;146-152
10. **McCormick K., Han I Y. et al,** (2003), “D- and z-Values for *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Typhimurium* in Packaged Low-Fat Ready-to-Eat Turkey Bologna Subjected to a Surface Pasteurization Treatment, ” Poultry Science **82**: 1337-1342,
11. **Mead G. C.** (2000), Poultry Meat Processing and Quality, CRC Press
12. **Min Li. Pradhan A. et al.** (2007), “Effectiveness of Hot Water Pasteurization for Thermal Inactivation of *Listeria* on Fully Cooked and Vacuum Packaged Chicken Breast Meat Products, ” 2007 ASABE Annual International Meeting
13. **Mirade P.-S.** (2003). “Prediction of the air velocity field in modern meat dryers using unsteady computational fluid dynamics (CFD) models. ” Journal of Food Engineering **60**: 41-48

14. **Mirade, P.-S. (2008).** “Computational fluid dynamics (CFD) modelling applied to the ripening of fermented food products: Basics and advances. ” Trends in Food Science & Technology **19**: 472-481
15. **Rabiey L., Flick D. et al. (2007),** “3D simulations of heat transfer and liquid flow during sterilization of large particles in a cylindrical vertical can”, Journal of Food Engineering **82**: 409-417
16. **Raymond F. M., Miller B. F. et al. (1983),** "Studies on Pa steurized and Commercially Sterilized Poultry Meat Bologna, Effects of Chopping Condition and Type of Meat," Journal of food science **48**: 317-321
17. **Sams A. R. (2001),** Poultry Meat Processing, CRC Press
18. **Sun D. W. (2006),** Thermal Food Processing, CRC Press
19. **Sun D. W. (2007),** Computational Fluid Dynamics in Food Processing, CRC Press
20. **Valentas K.J. , Singh R.P. and Rotstein E. (1997) ,**Handbook of food engineering practice, CRC Press
21. **Yanniotis S. (2008),**Solving Problems in Food Engineering, Springer science publishing

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

22. **Αντωνίου Γ. (2008),** “Προσομοίωση κατάψυξης τροφίμων με τη χρήση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD)”
23. **Ασημακόπουλος Δ. & Μαρκάτος Ν. (1995),** Υπολογιστική Ρευστοδυναμική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
24. **Γενικό Χημείο του Κράτους (2009)** Κώδικας Τροφίμων και Ποτών
25. **Γιαννιώτης Σ. (2000).** “Μηχανική Τροφίμων, Μέρος 1ο: Φαινόμενα Μεταφοράς στη Μηχανική Τροφίμων”, Εκτύπωση Τυπογραφείο ΓΠΑ
26. **Δήμου Α. (2008).** “Μελέτη της θερμικής επεξεργασίας κονσερβοποιημένων σπαραγγιών με τη χρήση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) ”
27. **Μπλούκας Ι. (2004).** Επεξεργασία και συντήρηση τροφίμων, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης
28. **Σάρδη Κ.** Παρουσιάσεις & Διαλέξεις Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

29. www.engineeringtoolbox.com
30. www.fsis.usda.gov
31. www.gcsl.gr
32. www.nal.usda.gov