

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ (HEAT DISTRIBUTION) ΚΑΙ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ
(HEAT PENETRATION) ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΤΩΝ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ
ΑΤΜΟΥ

ΚΩΤΣΟΠΟΥΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΚΟΥΛΟΥΡΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2010

| | |
|---|----|
| Περιεχόμενα | |
| Περίληψη | 3 |
| 1.Εισαγωγή | 4 |
| 2.Βιβλιογραφική ανασκόπηση | 5 |
| 2.1 Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας τροφίμων | 5 |
| 2.1.1 Αποστείρωση | 5 |
| 2.1.2 Παστερίωση | 5 |
| 2.1.3 Ζεμάτισμα | 5 |
| 2.2 Κινητική καταστροφής μικροοργανισμών- Ορισμοί | 6 |
| 2.3 Χρόνος θερμικού θανάτου (F) | 8 |
| 2.4 Σταθερά Q..... | 10 |
| 2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση των μικροοργανισμών | 10 |
| 2.6 Θερμική αδρανοποίηση ενζύμων | 13 |
| 2.7 Μεταβολές των θρεπτικών συστατικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά τη θέρμανση | 15 |
| 2.8 Υπολογισμός καταστροφής μικροοργανισμών στις διεργασίες παστερίωσης και αποστείρωσης..... | 17 |
| 2.9 Εξοπλισμός θερμικών διεργασιών | 19 |
| 2.9.1 Αποστείρωση | 19 |
| 2.9.2 Παστερίωση | 23 |
| 2.9.3 Ζεμάτισμα | 24 |
| 2.10 Συσσκευασία τροφίμων | 24 |
| 2.10.1 Υλικά συσκευασίας | 25 |
| 2.11 Προδιαγραφές υλικών συσκευασίας | 26 |
| 2.12.Επίδραση του υλικού συσκευασίας στις μεταβολές θερμοκρασίας του τροφίμου | 30 |
| 3.Σκοπός της εργασίας | 32 |
| 4.Πειραματικό Μέρος | 33 |
| 4.1Υλικά και μέθοδοι | 33 |
| 4.1.1 Κονσερβοποιημένα έτοιμα γεύματα..... | 33 |
| 4.1.2 Όργανα | 33 |
| 4.1.3 Τοποθέτηση κονσερβών και τρόπος λειτουργίας αποστειρωτών | 33 |
| 4.2 Ανάγνωση και καταγραφή των μετρήσεων από τα data logger | 36 |
| 5.Αποτελέσματα- Συζήτηση | 66 |
| 5.1 Κατανομή της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή | 66 |
| 5.2 Διείσδυση της θερμότητας του αποστειρωτή στο εσωτερικό της κονσέρβας- | |

| | |
|---|-----------|
| Θερμική αντίσταση μικροοργανισμών | 67 |
| 6.Συμπεράσματα..... | 71 |
| 7.Βιβλιογραφία | 72 |

Ανάλυση θερμικής κατανομής (heat distribution) και διείσδυσης (heat penetration) αποστειρωτών σε πρόγραμμα νερού και ατμού.

Κωτσοπούλου Κωνσταντίνα

ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας
Τροφίμων,
57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της κατανομής της θερμότητας σε αποστειρωτή καθώς και η διείσδυσή της στο εσωτερικό της κονσέρβας. Μέσω τριών data logger τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, μετρήθηκε τόσο η θερμοκρασία εντός του αποστειρωτή όσο και η θερμοκρασία στο εσωτερικό της κονσέρβας. Με τον τρόπο αυτό εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα του αποστειρωτή και της μεθόδου αποστείρωσης που εφαρμόζεται.

Συλλέχθηκαν διαφορετικά είδη κονσερβοποιημένων προϊόντων, τα οποία αποστειρώθηκαν σε διαφορετικά προγράμματα (νερού και ατμού) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Τα δείγματα, τα οποία παρασκεύαζε η ίδια η εταιρία στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, αποτελούνταν από κονσερβοποιημένα έτοιμα γεύματα όπως ντολμαδάκια γιαλαντζί 350g, αγκινάρες αλά πολίτα 350g, σάλτσα σολομού 180g, ντολμαδάκια γιαλαντζί 260g, γίγαντες γιαχνί 350g, γίγαντες γιαχνί 350g, γίγαντες γιαχνί 280g, γίγαντες γιαχνί 2kg, μπάμιες λαδερές 280g, φασόλια ψιλά 400g, φασόλια σε άλμη 2kg και φασόλια πιάζ 2kg.

Με τη διεξαγωγή των μετρήσεων, παρατηρήθηκε πως σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις στο πρόγραμμα νερού, η μέγιστη θερμοκρασία αποστείρωσης και ο χρόνος διατήρησης της, δεν ήταν αρκετός για την πλήρη αποστείρωση των κονσερβών. Ενώ στο πρόγραμμα ατμού μόνο σε δύο περιπτώσεις δεν επιτεύχθηκε η πλήρης αποστείρωση των κονσερβών. Σε αρκετές περιπτώσεις ήταν οριακή, ενώ μόνο σε δύο περιπτώσεις στο πρόγραμμα ατμού και σε μία περίπτωση στο πρόγραμμα νερού, παρουσιάστηκε επαρκής.

Η διείσδυση της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας εξετάστηκε σε τέσσερις περιπτώσεις για το προϊόν «ντολμαδάκια 350g», αυτές ήταν «Υπέρβαρο προϊόν», «Ελλειποβαρές προϊόν», «Προϊόν το οποίο αποστειρώθηκε με μια ώρα αναμονή» και «Προϊόν με διαφορετική αναλογία υγρών πλήρωσης». Ο χρόνος αποστείρωσης σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις ήταν αρκετός ώστε να καλύπτει το χρόνο θερμικού θανάτου και να μηδενίζει την πιθανότητα ύπαρξης ζώντων μικροοργανισμών στο εσωτερικό των κονσερβών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αποστείρωση (αναφερόμενη και ως θερμική διεργασία) των τροφίμων έχει ως στόχο την καταστροφή μικροοργανισμών ή και την αδρανοποίηση των ενζύμων που υπάρχουν στο τρόφιμο. Παράλληλα όμως στη διάρκεια της διεργασίας αυτής, λόγω υψηλής θερμοκρασίας, εξελίσσονται με ταχύτερο ρυθμό δράσεις υποβάθμισης της ποιότητας του τροφίμου (αλλοίωση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, μεταβολές των συστατικών). Επομένως οι συνθήκες της θερμικής κατεργασίας επιλέγονται έτσι ώστε να δίνουν σταθερό προϊόν με τη μικρότερη δυνατή υποβάθμιση της ποιότητας.

Η θερμική επεξεργασία αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μεθόδους επεξεργασίας και συντήρησης των τροφίμων. Είναι οικονομική και ασφαλής μέθοδος με την οποία μπορούν να παραχθούν τρόφιμα χωρίς συντηρητικά. Τα προϊόντα θερμικής επεξεργασίας όταν συσκευασθούν κατάλληλα σε αποστειρωμένους περιέκτες μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. (Σαραβάκος, 1979)

Η συσκευασία μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως βοηθητικό μέσο μιας διεργασίας. Για παράδειγμα τα μεταλλικά δοχεία που χρησιμοποιούνται σε θερμικές κατεργασίες τροφίμων εξασφαλίζουν όχι μόνο την προστασία τους, αλλά, με τη σταθερότητα των διαστάσεών τους, διατηρούν το περιεχόμενο τρόφιμο σε ορισμένο σχήμα και θέση και επιτρέπουν τον υπολογισμό της διείσδυσης θερμότητας.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία των τροφίμων παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του χρόνου ζωής του προϊόντος. Η συντήρηση των τροφίμων έχει σαν κύριο σκοπό να διατηρηθούν αναλλοίωτα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους για περισσότερο διάστημα.

Η διάρκεια διατήρησης ή συντήρησης κάθε προϊόντος εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης, τη μέθοδο και τις συνθήκες επεξεργασίας, τα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες συσκευασίας και τέλος τις περιβαλλοντικές συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς. (Holdsworth, 1997)

Η θέσπιση της μικροβιακής σταθερότητας είναι πρωταρχικής σημασίας για τα περισσότερα προϊόντα διατροφής. Πρόωρη συσκευασία τροφίμων πρέπει να είναι σε θέση να αντέχει στην θέρμανση ώστε το προϊόν να μπορεί να είναι σε κονσέρβες (τελικό αποστειρωμένο προϊόν σε περιέκτη). Επιβραδύνει την αλλοίωση του προϊόντος και βοηθά να διατηρούν τις ευεργετικές ιδιότητες των συστατικών τους. (Lund, 1993)

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1. Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας τροφίμων

2.1.1. Αποστείρωση

Η αποστείρωση είναι η θερμική διεργασία που στοχεύει στην καταστροφή όλων των μικροοργανισμών και των σπορίων τους. Στείρο είναι το προϊόν στο οποίο δεν έχει επιβιώσει κανένας μικροοργανισμός, ώστε να είναι ικανός να αναπτυχθεί όταν βρεθεί σε ευνοϊκές συνθήκες. Επομένως οι όροι «στείρο προϊόν» και «αποστείρωση» δεν είναι δόκιμοι για τα τρόφιμα και τη θερμική κατεργασία αυτών η οποία στοχεύει στην πραγματικότητα στη μείωση (αλλά όχι καθολική εξάλειψη) της πιθανότητας επιβίωσης των μικροοργανισμών και των σπορίων τους, ώστε υπό τις προβλεπόμενες συνθήκες συντήρησης του τροφίμου να μειώνεται σημαντικά η πιθανότητα ανάπτυξης αυτών των μικροοργανισμών. Πιο δόκιμος θα ήταν ο όρος «εμπορικά στείρο» προϊόν (commercially sterile). Παρ' όλα αυτά ο όρος αποστείρωση έχει επικρατήσει για τη θερμική διεργασία που εφαρμόζεται σε τρόφιμα με στόχο να μειώσει τους πληθυσμούς όλων των μικροοργανισμών και των σπορίων τους. Τα σπώρια είναι τα πλέον θερμοάντοχα και η ένταση της κατεργασίας εξαρτάται κυρίως από την αντίσταση αυτών στη θερμική καταστροφή. (Lund, 1993)

2.1.2. Παστερίωση

Η παστερίωση είναι σχετικά ήπια θερμική διεργασία που καταστρέφει μέρος των μικροοργανισμών του τροφίμου και συνεπώς συνδυάζεται με συνθήκες αποθήκευσης που περιορίζουν την ανάπτυξη των επιζώντων μικροοργανισμών. Σε πολλές περιπτώσεις ο κύριος στόχος της παστερίωσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών (π.χ. στο γάλα), αλλά εφαρμόζεται και για την καταστροφή αλλοιογόνων μικροοργανισμών (π.χ. στη μπύρα). (Lund, 1993)

2.1.3. Ζεμάτισμα

Το ζεμάτισμα είναι μία θερμική διεργασία που εφαρμόζεται κυρίως σε φρούτα και λαχανικά πριν από την κατάψυξη, την ξήρανση ή την κονσερβοποίηση. Ο σκοπός του ζεματίσματος εξαρτάται από τη διεργασία που θα ακολουθήσει. Το ζεμάτισμα πριν από την κατάψυξη ή την ξήρανση γίνεται κυρίως για την αδρανοποίηση των ενζύμων που προκαλούν ανεπιθύμητες μεταβολές στο χρώμα, τη γεύση, το άρωμα ή και τη θρεπτική αξία του τροφίμου. Δύο από τα πιο θερμοάντοχα ένζυμα που υπάρχουν στους φυτικούς ιστούς είναι η περοξειδάση και η καταλάση. Η αποτελεσματικότητα του ζεματίσματος συχνά ελέγχεται μέσω της ενεργότητας αυτών των ενζύμων. Κατά το ζεμάτισμα καταστρέφεται και ένα ποσοστό μικροοργανισμών του τροφίμου, το οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις σε τρόφιμα που πρόκειται να καταψυχθούν έχει παρατηρηθεί ότι ανέρχεται μέχρι και σε 98% του συνολικού πληθυσμού.

Πριν την κονσερβοποίηση το ζεμάτισμα εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση των αερίων από τους φυτικούς ιστούς, τη συρρίκνωση του φλοιού, το μαλάκωμα της σάρκας του τροφίμου που διευκολύνει τη συσκευασία και τον καθαρισμό του τροφίμου. Η απενεργοποίηση των ενζύμων δεν αποτελεί συνήθως στόχο σε αυτή την περίπτωση, δεδομένου ότι θα ακολουθήσει μία θερμική κατεργασία ικανή να αδρανοποιήσει τα ένζυμα. (Sinht,1993)

2.2. Κινητική καταστροφής μικροοργανισμών- Ορισμοί

Ρυθμός καταστροφής υπό σταθερή θερμοκρασία- Χρόνος υποδεκαπλασιασμού (D)

Όταν ένα αιώρημα μικροοργανισμών θερμανθεί υπό σταθερή θερμοκρασία η καταστροφή των μικροοργανισμών ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης, δηλ. ο ρυθμός καταστροφής είναι ανάλογος της συγκέντρωσης των ζώντων μικροοργανισμών:

$$-dC/dt=kC \quad (2.1)$$

όπου C συγκέντρωση των ζώντων μικροοργανισμών (L^{-1})

k σταθερά του ρυθμού της δράσης (s^{-1})

Αντί της συγκέντρωσης συχνά χρησιμοποιείται ο πληθυσμός των μικροοργανισμών ανά περιέκτη, που συμβολίζεται με N .

Ολοκληρώνοντας την εξίσωση (2.1) μεταξύ των ορίων C_0 σε χρόνο $t_0 = 0$ και C σε χρόνο t προκύπτει:

$$\ln C/C_0 = -kt \quad (2.2)$$

$$\log C/C_0 = - (k/2,303) t \quad \text{ή} \quad \log N/N_0 = - (1/D) t \quad (2.3)$$

Η εξίσωση (2.3) ορίζει το μέγεθος D , το οποίο καλείται χρόνος υποδεκαπλασιασμού (Decimal reduction time) και είναι ο χρόνος (s) που απαιτείται για να υποδεκαπλασιασθεί η συγκέντρωση των μικροοργανισμών ($C = C_0/10$).

Σύμφωνα με την εξίσωση (2.3) ο χρόνος υποδεκαπλασιασμού των μικροοργανισμών σχετίζεται με τη σταθερά k του ρυθμού θανάτωσης των μικροοργανισμών μέσω της σχέσης:

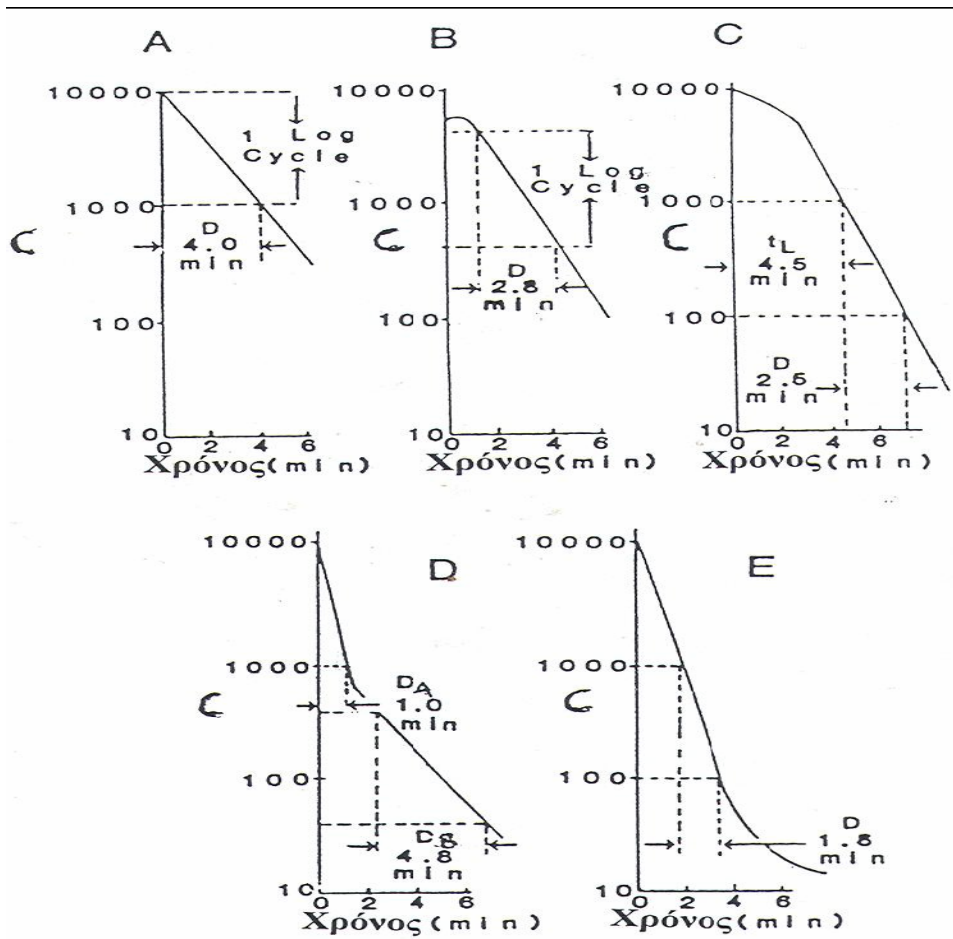
$$D = 2,303/k \quad (2.4)$$

Επομένως εάν αντί της σταθεράς k χρησιμοποιηθεί ο χρόνος υποδεκαπλασιασμού D η εξίσωση (2.1) γράφεται και ως:

$$dt D - d(\log C) = 1 \quad (2.5) \quad (\text{Stoforos, 1997})$$

Η εξίσωση (2.3) δείχνει ότι μηδενική συγκέντρωση μικροοργανισμών δεν μπορεί να επιτευχθεί σε ορισμένο χρόνο θερμικής κατεργασίας. Επομένως απόλυτη ασφάλεια έναντι της ανάπτυξης μικροοργανισμών, δηλ. η παραγωγή στείρου προϊόντος, δεν μπορεί να υπάρξει. Μπορεί όμως να μειωθεί στα επιθυμητά επίπεδα η πιθανότητα επιβίωσης και επομένως και ανάπτυξης αυτών. Έτσι η απομένουσα συγκέντρωση μετά από χρόνο t θερμικής κατεργασίας, συχνά αποδίδεται ως σπόρια ανά δοχείο συσκευασίας και εκφράζει την πιθανότητα μικροβιακής αλλοίωσης στο θερμικά

κατεργασμένο τρόφιμο. Εάν π.χ. η απομένουσα συγκέντρωση είναι 10^{-4} σπόρια ανά δοχείο συσκευασίας, αυτό σημαίνει ότι 1 σπόριο έχει επιβιώσει σε 10^4 δοχεία και το περιεχόμενο του αντίστοιχου δοχείου μπορεί να αλλοιωθεί ή γενικότερα να υπάρξει ανάπτυξη του μικροοργανισμού σε αυτό. Οποιαδήποτε τιμή της συγκέντρωσης $C \geq 1$ σημαίνει αλλοίωση όλων των δοχείων. Η καταστροφή των μικροοργανισμών σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα ως προς το χρόνο αποδίδεται συνήθως από απλή ευθεία γραμμή, όπως στο σχήμα 1A. Οι πειραματικές μετρήσεις όμως έχουν δείξει διάφορες αποκλίσεις. Η καμπύλη του σχήματος 1B δείχνει μια αρχική αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών που ακολουθείται από αδρανοποίηση πρώτης τάξης. Αυτή η συμπεριφορά έχει παρατηρηθεί σε πολύ θερμοανθεκτικά σπόρια που ενεργοποιούνται με αύξηση της θερμοκρασίας και πολλαπλασιάζονται αρχικά, ενώ αυτό δεν θα είχε συμβεί χωρίς τη θερμική κατεργασία. Το σχήμα 1C δείχνει μια αρχική υστέρηση στην καμπύλη θερμικής αδρανοποίησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή η υστέρηση δεν επεκτείνεται πέραν του χρόνου ενός λογαριθμικού κύκλου δηλ. του χρόνου που απαιτείται για να αδρανοποιηθεί το 90% του πληθυσμού. (Stumbo, 1993)



Σχήμα 1. Καμπύλες μεταβολής της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών με το χρόνο θερμικής κατεργασίας.

2.3. Χρόνος θερμικού θανάτου (F)

Ο χρόνος διατήρησης σε σταθερή θερμοκρασία που απαιτείται για την επίτευξη προκαθορισμένης μείωσης της συγκέντρωσης ενός πληθυσμού καλείται χρόνος θερμικού θανάτου (thermal death time, TDT) και συμβολίζεται με F . Η τιμή του F συνήθως αποδίδεται ως πολλαπλάσιο του χρόνου υποδεκαπλασιασμού D . Εάν π.χ. είναι επιθυμητή η μείωση του πληθυσμού κατά 99.9999 % ή 10^{-6} του αρχικού απαιτείται χρόνος $F = 6D$.

Για την έκφραση της μείωσης ενός πληθυσμού χρησιμοποιείται και ο όρος τιμή αποστείρωσης (sterilization value, SV) όπου

$$SV = \log N_0/n = \log C_0/C \quad (2.6)$$

Επομένως για μείωση του πληθυσμού κατά 99.9999 %, όπως στο προηγούμενο παράδειγμα, $SV = 6$ και ο απαιτούμενος χρόνος υπό σταθερή θερμοκρασία

$$F = SV \cdot D \quad (2.7)$$

Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό θανάτωσης- Σταθερά θερμικής αντίστασης (z)

Η εξάρτηση της σταθεράς του ρυθμού θανάτωσης από τη θερμοκρασία μπορεί να αποδοθεί είτε από την εξίσωση Arrhenius είτε μέσω της σταθεράς θερμικής αντίστασης (thermal resistance constant) z .

Σύμφωνα με την εξίσωση Arrhenius:

$$k = k_0 \exp(-E_a / RT) \quad \text{ή} \quad \log(k/k_{ref}) = -E_a/2.303(1/T - 1/T_{ref}) \quad (2.8)$$

όπου E_a ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol)

T απόλυτη θερμοκρασία (K)

Η χρήση της σταθεράς z στηρίζεται στις παρατηρήσεις του Bigelow, σύμφωνα με τις οποίες ο λογάριθμος του χρόνου θερμικού θανάτου (του ελάχιστου χρόνου για επίτευξη πλήρους καταστροφής ενός πληθυσμού, όπως τον όρισε) μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Εκφράζοντας το χρόνο θερμικού θανάτου με F όπως ορίστηκε παραπάνω, η εξίσωση που αποδίδει τη σχέση αυτού με τη θερμοκρασία είναι:

$$\log(F/F_{ref}) = (T/T_{ref})/z \quad (2.9)$$

όπου F, F_{ref} χρόνοι θερμικού θανάτου σε θερμοκρασία T και T_{ref} ($^{\circ}\text{F}$ ή $^{\circ}\text{C}$)

αντίστοιχα (s) και

z σταθερά θερμικής αντίστασης, η οποία ισούται με τη διαφορά

θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{F}$ ή $^{\circ}\text{C}$) που απαιτείται για να δεκαπλασιασθεί ή υποδεκαπλασιασθεί ο χρόνος θερμικού θανάτου.

Εάν αντί του χρόνου θερμικού θανάτου χρησιμοποιήσουμε το χρόνο υποδεκαπλασιασμού του πληθυσμού ενός μικροοργανισμού ή εξίσωση (2.9)

γράφεται ως:

$$\log(D/D_{ref}) = (T_{ref} - T)/z \quad (2.10)$$

Η σταθερά θερμικής αντίστασης ενός μικροοργανισμού μπορεί να υπολογισθεί από ημιλογαριθμικό διάγραμμα του χρόνου θερμικού θανάτου ή του χρόνου υποδεκαπλασιασμού συναρτήσει της θερμοκρασίας, ως το αντίστροφο της αρνητικής κλίσης της προκύπτουσας ευθείας (σχήμα 1):

$$z=(T_2 - T_1)/\log(F_2/F_1) \quad \text{ή} \quad z=(T_2 - T_1)/\log(D_2/D_1)$$

Η τιμή του z εκφράζει την επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό καταστροφής κάθε συγκεκριμένου μικροοργανισμού και είναι προφανές ότι χαμηλή τιμή σημαίνει μεγάλη μεταβολή του ρυθμού με τη θερμοκρασία και αντιστρόφως. Η έκφραση της εξάρτησης της σταθεράς του ρυθμού καταστροφής k από τη θερμοκρασία με βάση τη σταθερά z μπορεί να προκύψει με συνδυασμό των εξισώσεων (2.4) και (2.10)

$$\log(k / k_{ref}) = (T - T_{ref})/z \quad (2.11)$$

Η εξίσωση (2.11) δίνει την εξάρτηση του k από τη θερμοκρασία όπως και η εξίσωση Arrhenius (2.8). Πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των δύο εξισώσεων και ότι επίσης καμία από τις δύο δεν μπορεί να εκφράσει την επίδραση της θερμοκρασίας στην καταστροφή των μικροοργανισμών για μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος. Παρ' όλα αυτά είναι γενικά αποδεκτό ότι και οι δύο εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια σε σχετικά στενό εύρος θερμοκρασιών για το οποίο υπάρχουν πειραματικά δεδομένα. Στη θερμοβακτηριολογία και στις θερμικές διεργασίες στα τρόφιμα χρησιμοποιούνται συχνότερα οι σταθερές D και z , αντί των k και E_a . Τιμές D και z διαφόρων μικροοργανισμών υπάρχουν στη βιβλιογραφία για διάφορα υποστρώματα. Ως θερμοκρασία αναφοράς συνήθως χρησιμοποιούνται οι 250 °F ή 121.1 °C και ο χρόνος υποδεκαπλασιασμού σε άλλη θερμοκρασία μπορεί να υπολογισθεί σύμφωνα με την εξίσωση (2.11) ως:

$$\log(D_T / D_{250}) = (250 - T)/z, \quad T, z \text{ } ^\circ\text{F}$$

ή

$$\log(D_T / D_{121.1}) = (121.1 - T)/z, \quad T, z \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ο χρόνος υποδεκαπλασιασμού στους 250 °F συχνά συμβολίζεται και με D_o .

Είναι προφανές από τα παραπάνω ότι ο απαιτούμενος χρόνος F για την επίτευξη μιας καθορισμένης μείωσης συγκέντρωσης ενός μικροοργανισμού, ή τιμής αποστείρωσης, σε μια ισοθερμοκρασιακή κατεργασία εξαρτάται από τη θερμοκρασία και η μεταβολή του με τη θερμοκρασία εξαρτάται από τη θερμική αντίσταση του μικροοργανισμού. Γι αυτό ο χρόνος θερμικού θανάτου επισημαίνεται συνήθως με δύο δείκτες, εκ των οποίων ο ένας δείχνει τη θερμοκρασία στην οποία αναφέρεται και ο άλλος την τιμή του z που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο μικροοργανισμό. Για τους 250 °F (θερμοκρασία αναφοράς) χρησιμοποιείται το σύμβολο F_o ή F_{250} .

Ο όρος F_o χρησιμοποιείται ορισμένες φορές χωρίς την επισήμανση με z και αναφέρεται σε $z=10$ °F=10 °C. Επομένως η εξίσωση (2.9) μπορεί να γραφεί και ως:

$$\log(F_T / F_0) = (250-T)/z, \text{ όπου } T, z \text{ } ^\circ\text{F}$$

ή

$$\log(F_T / F_0) = (121.1-T)/z, \text{ όπου } T, z \text{ } ^\circ\text{C}$$

(Stumbo, 1993)

2.4. Σταθερά Q

Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας σε βιολογικά συστήματα είναι η τιμή Q, η οποία δείχνει την αύξηση του ρυθμού μιας δράσης με τη θερμοκρασία. Συνήθως χρησιμοποιείται η τιμή Q για διαφορά θερμοκρασίας 10 °C, η οποία συμβολίζεται Q₁₀ και ορίζεται ως:

$$K_T / K_{(T-10)} = Q_{10} \quad (2.12)$$

όπου $k_{(T)}$, $k_{(T-10)}$ σταθερές του ρυθμού της δράσης σε θερμοκρασία T και (T-10) °C, αντίστοιχα (s⁻¹). Η σχέση που συνδέει το Q₁₀ με το z, όπως προκύπτει από τις εξισώσεις (2.11) και (2.12) είναι:

$$\log Q_{10} = 18/z \quad (2.13\alpha)$$

ή

$$\log Q_{10} = 10/z \quad (2.13\beta)$$

όπου z σε °F και °C στην (2.13α) και (2.13β), αντίστοιχα. (Κουμούτσος, 1991)

2.5. Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση των μικροοργανισμών

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση των μικροοργανισμών. Τα δημοσιευμένα αποτελέσματα ερευνών συχνά παρουσιάζουν διαφορές που οφείλονται στις διαφορετικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμικής αντίστασης και στα διαφορετικά υποστρώματα που χρησιμοποιούνται τόσο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών όσο και κατά την υποβολή τους στη θερμική κατεργασία. Αν και είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση κάθε ενός παράγοντα στη θερμική αντίσταση είναι κοινά αποδεκτό ότι τρεις κατηγορίες παραγόντων επιδρούν σε αυτήν:

1. Η ενυπάρχουσα αντίσταση του μικροοργανισμού
 2. Το περιβάλλον ανάπτυξης του μικροοργανισμού
 3. Το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται ο μικροοργανισμός στη διάρκεια της θερμικής κατεργασίας.
- Η ενυπάρχουσα αντίσταση ποικίλει ακόμη και μεταξύ διαφορετικών στελεχών του ίδιου είδους μικροοργανισμού τα οποία έχουν αναπτυχθεί στις ίδιες συνθήκες όπως διαπιστώθηκε από πολλούς ερευνητές. Τα σπόρια ή τα κύτταρα με τη μεγαλύτερη αντίσταση πιστεύεται ότι περιέχουν πρωτεΐνες μεγαλύτερης σταθερότητας.

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες κατά την ανάπτυξη των μικροοργανισμών έχει βρεθεί ότι επηρεάζουν σημαντικά τη θερμική τους αντίσταση. Το ίδιο ισχύει και για τους περιβαλλοντικούς

παράγοντες κατά τη θέρμανση αυτών. Με βάση τα στοιχεία που δίνονται στη βιβλιογραφία οι κύριοι παράγοντες είναι οι ακόλουθοι:

- **Θερμοκρασία**

Τόσο η θερμοκρασία ανάπτυξης όσο και η θερμική αντίσταση ποικίλει στα διάφορα είδη μικροοργανισμών. Με βάση το εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας μέσα στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί χωρίζονται σε 4 κατηγορίες όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Θερμοκρασία ανάπτυξης διαφόρων κατηγοριών μικροοργανισμών

| Κατηγορία Μικροοργανισμών | Θερμοκρασία Ανάπτυξης °C | | |
|---------------------------|--------------------------|--------|---------|
| | Ελάχιστη | Άριστη | Μέγιστη |
| Θερμόφιλοι | 35-45 | 45-65 | 60-90 |
| Μεσόφιλοι | 5-10 | 25-45 | 35-47 |
| Ψυχρόφιλοι | -5 έως 0 | 12-15 | 15-20 |
| Ψυχρότροφοι | 0-5 | 25-30 | 30-35 |

(Stumbo, 1991)

Σε θερμοκρασία ανώτερη από τη μέγιστη θερμοκρασία ανάπτυξης των μικροοργανισμών αρχίζει ο θερμικός θάνατος των κυττάρων. Τα σπόρια όμως των μικροοργανισμών και ιδιαίτερα των βακτηρίων μπορούν να επιβιώσουν σε θερμοκρασία πολύ ανώτερη από τη μέγιστη θερμοκρασία ανάπτυξης του αντίστοιχου μικροοργανισμού. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία ανάπτυξης ενός μικροοργανισμού τόσο μεγαλύτερη είναι και η θερμική αντίσταση αυτού. Επομένως μεγαλύτερη αντίσταση στη θερμική θανάτωση εμφανίζουν οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί και τα σπόριά τους, ακολουθούμενοι από τους μεσόφιλους μικροοργανισμούς. Οι περισσότεροι ζυμομύκητες και ευρωτομύκητες που αναπτύσσονται στα τρόφιμα έχουν μικρή αντοχή στη θερμοκρασία. Αντίθετα ορισμένα βακτήρια παρουσιάζουν μεγάλη θερμική αντοχή.

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι για τον ίδιο μικροοργανισμό η θερμική αντίσταση επηρεάζεται από τη θερμοκρασία στην οποία αναπτύχθηκε. Γενικά για τα θερμόφιλα και ορισμένα μεσόφιλα βακτήρια μεγαλύτερη αντίσταση εμφανίζουν τα σπόρια τα οποία έχουν παραχθεί σε ψηλότερες θερμοκρασίες. Για τα μη σπορογόνα βακτήρια έχει παρατηρηθεί ότι μεγαλύτερη θερμική αντίσταση εμφανίζουν τα κύτταρα που έχουν παραχθεί στη βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης.

- **pH**

Η ικανότητα επιβίωσης των μικροοργανισμών αλλά και η θερμική αντίσταση αυτών εξαρτάται από το pH του υποστρώματος στο οποίο βρίσκονται. Για το λόγο αυτό τα τρόφιμα ταξινομούνται συνήθως σε:

τρόφιμα χαμηλής οξύτητας: $pH > 4.5$

όξινα τρόφιμα: $4.5 > pH > 4.0$ ή 3.7

τρόφιμα υψηλής οξύτητας: $pH < 4.0$ ή 3.7

Συνήθως χρησιμοποιείται η τιμή 4.0 του pH ως διαχωριστικό όριο για τα τρόφιμα υψηλής οξύτητας γιατί σε τιμές χαμηλότερες από αυτήν σπανίως επιβιώνουν θερμοάντοχα σπορογόνα βακτήρια.

Παρ' όλα αυτά έχει παρατηρηθεί η επιβίωση του *Bacillus thermoacidurans* μέχρι και τιμή $pH 3.7$.

Στα τρόφιμα υψηλής οξύτητας μπορούν να επιβιώσουν κυρίως ευρωτομύκητες και ζύμες που εμφανίζουν πολύ χαμηλή θερμοανθεκτικότητα και επομένως μπορούν να αντιμετωπισθούν με ήπια θερμική κατεργασία. Στα όξινα τρόφιμα επιβιώνουν και ορισμένα σπορογόνα βακτήρια, ενώ στα τρόφιμα χαμηλής οξύτητας επιβιώνουν σπορογόνα βακτήρια μεταξύ των οποίων πολλά είναι παθογόνα.

Το όριο του $pH 4.5$ καθορίστηκε με βάση την ικανότητα επιβίωσης και παραγωγής τοξίνης του *Clostridium botulinum*, ο οποίος είναι ένας από τους πλέον επικίνδυνους αναερόβιους μικροοργανισμούς με τοξίνη ικανή να επιφέρει το θάνατο σε συγκέντρωση $0.2 \mu\text{g}/\text{άτομο}$. Για το λόγο αυτό σε τρόφιμα αυτής της κατηγορίας γίνεται θερμική επεξεργασία με στόχο την καταστροφή αυτού του μικροοργανισμού. Επομένως στα τρόφιμα χαμηλής και μέσης οξύτητας ($pH > 4.0$ ή 3.7) τα σπορογόνα βακτήρια είναι εκείνα στα οποία επικεντρώνεται το ενδιαφέρον της θερμικής κατεργασίας διότι εμφανίζουν τη μεγαλύτερη θερμική αντίσταση. Επίσης έχει βρεθεί ότι το pH ανάπτυξης επηρεάζει την ικανότητα σχηματισμού σπορίων.

- Οξυγόνο

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι το οξυγόνο. Οι ζυμομύκητες και οι ευρωτομύκητες είναι αερόβιοι μικροοργανισμοί, δηλαδή χρειάζονται μοριακό οξυγόνο για την ανάπτυξή τους. Τα βακτήρια ταξινομούνται όσον αφορά στις απαιτήσεις σε οξυγόνο σε υποχρεωτικά αερόβια, προαιρετικά αναερόβια και υποχρεωτικά αναερόβια. Τα υποχρεωτικά αερόβια βακτήρια χρειάζονται μοριακό οξυγόνο για την ανάπτυξή τους και τα σπόρια των περισσότερων από αυτά εμφανίζουν πολύ μικρότερη θερμική αντίσταση συγκρινόμενα με τα σπόρια των άλλων δύο ομάδων.

Στις σύγχρονες μεθόδους κονσερβοποίησης εφαρμόζεται απαέρωση των δοχείων και η συγκέντρωση του μοριακού οξυγόνου είναι πολύ χαμηλή για να επιτρέψει την ανάπτυξη αερόβιων βακτηρίων. Επομένως από την άποψη της αποστείρωσης των τροφίμων τα αερόβια βακτήρια έχουν τη μικρότερη σημασία.

Τα προαιρετικά αναερόβια σπορογόνα βακτήρια έχουν ιδιαίτερη σημασία στην αποστείρωση, καθώς μερικά από αυτά είναι θερμοφιλά και παράγουν σπόρια με μεγαλύτερη θερμική αντίσταση από τα υποχρεωτικά αναερόβια. Στα τρόφιμα χαμηλής οξύτητας ο *Bacillus stearothermophilus* και τα συγγενή είδη παράγουν τα πιο θερμοάντοχα σπόρια, με χρόνους υποδεκαπλασιασμού

μεγαλύτερους από 4 min στους 250 °F. Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης αυτών των θερμοφίλων βακτηρίων κυμαίνεται μεταξύ 49 °C και 55 °C και η ελάχιστη συνήθως δεν υπερβαίνει τους 38 °C. Στα όξινα τρόφιμα αναπτύσσονται ορισμένα είδη προαιρετικά αναερόβιων βακτηρίων, με σημαντικότερο από άποψη θερμοανθεκτικότητας το *Bacillus coagulans*, του οποίου πάντως ο χρόνος υποδεκαπλασιασμού στους 250 °F είναι της τάξης του 0.1 min. Τα υποχρεωτικά αναερόβια βακτήρια που έχουν μεγάλη σημασία στην αποστείρωση είναι τα θερμοφιλα ή μεσόφιλα καθώς ορισμένα παράγουν επίσης σπόρια με μεγάλη θερμική αντίσταση. Από τα θερμοφιλα τα σημαντικότερα είναι το *Clostridium thermosaccharolyticum*, το οποίο αναπτύσσεται σε pH > 4.5 και θερμοκρασία > 32 °C αλλά παράγει ιδιαίτερα θερμοάντοχα σπόρια και το *Clostridium nigrificans*, το οποίο αναπτύσσεται επίσης σε pH > 4.5 αλλά εμφανίζει μικρότερη θερμοανθεκτικότητα. Από τα μεσόφιλα το σημαντικότερο είναι το *Clostridium botulinum* λόγω της πολύ επικίνδυνης τοξίνης που παράγει. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το *Clostridium botulinum* δεν αναπτύσσεται σε pH < 4.5. Σε όξινα τρόφιμα (4.0 < pH < 4.5) αναπτύσσονται ορισμένα μεσόφιλα βακτήρια με σημαντικότερα το *Clostridium pasteurianum* και το *Clostridium butyricum*.

- Ενεργότητα νερού

Τόσο τα σπόρια όσο και τα κύτταρα των μικροοργανισμών είναι πιο ανθεκτικά στη θέρμανση σε ξηρό από ότι σε υγρό περιβάλλον. Η διαφορά σχετίζεται με το μηχανισμό καταστροφής στα δύο περιβάλλοντα: μετουσίωση των πρωτεϊνών με θέρμανση σε υγρό περιβάλλον και οξείδωση σε ξηρό περιβάλλον. Η οξείδωση εξελίσσεται με βραδύτερο ρυθμό και απαιτεί μεγαλύτερη προσφορά ενέργειας από τη θερμική μετουσίωση, επομένως χρειάζεται μεγαλύτερος χρόνος κατεργασίας σε ξηρό περιβάλλον σε σύγκριση με το υγρό στην ίδια θερμοκρασία (π.χ. 120 min στους 248 °F για αδρανοποίηση σπορίων του *C. botulinum* με χρήση ξηρού αέρα και 4-10 min στους 250 °F σε υδατικό περιβάλλον).

Η ενεργότητα του νερού είναι παράγων με μικρή σημασία στη θερμική κατεργασία των περισσοτέρων τροφίμων καθώς αυτά περιέχουν σημαντικές ποσότητες νερού. Αντίθετα σημαντικός είναι ο παράγων αυτός στα αποξηραμένα τρόφιμα.

- Σύσταση του υποστρώματος

Πολλά από τα συστατικά του υποστρώματος επιδρούν στη θερμική αντίσταση των μικροοργανισμών. Η επίδραση αυτή ποικίλει για τα διάφορα είδη και στελέχη και δεν είναι δυνατόν να διατυπωθούν γενικευμένα συμπεράσματα. Αυξημένη συγκέντρωση διαλυτών υδατανθράκων γενικά αυξάνει τη θερμική αντίσταση. Το ίδιο έχει παρατηρηθεί ότι ισχύει για αυξημένη συγκέντρωση πρωτεϊνών και λιπαρών. Χαμηλή συγκέντρωση NaCl (έως 4 %) τείνει να αυξήσει τη θερμική αντίσταση πολλών μικροοργανισμών, ενώ ψηλότερες συγκεντρώσεις τείνουν να τη

μειώσουν. Τα νιτρικά και νιτρώδη άλατα όπως και τα συντηρητικά και αντιβιοτικά μειώνουν επίσης την αντίσταση των μικροοργανισμών. Ακόμη επίδραση στη θερμική αντίσταση φαίνεται να έχουν και διάφορα ιόντα όπως του ασβεστίου του μαγνησίου και του σιδήρου. Η επίδραση αυτών των ιόντων μελετήθηκε όχι μόνο όσον αφορά στην παρουσία τους στο υπόστρωμα που βρίσκεται ο μικροοργανισμός κατά τη θερμική κατεργασία αλλά και στο υπόστρωμα που αναπτύσσεται. Άλλα συστατικά του υποστρώματος ανάπτυξης που πιθανώς επιδρούν στη θερμική αντίσταση είναι οι πρωτεΐνες, οι πεπτόνες και τα λιπαρά.

Επειδή η σύσταση του υποστρώματος ανάπτυξης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη θερμική αντίσταση οι τιμές θερμικής αντίστασης που προσδιορίζονται για σπόρια που καλλιεργήθηκαν σε τεχνητά υποστρώματα δεν πρέπει να θεωρούνται αντιπροσωπευτικές για τα σπόρια που υπάρχουν στα τρόφιμα. Για τους υπολογισμούς στις θερμικές κατεργασίες πρέπει η θερμική αντίσταση να προσδιορίζεται σε σπόρια που καλλιεργούνται σε υπόστρωμα που δίνει τη μεγαλύτερη θερμική αντίσταση. (Stumbo,1991)

2.6. Θερμική αδρανοποίηση των ενζύμων

Η θέρμανση σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (>45 °C) προκαλεί αδρανοποίηση των ενζύμων, λόγω μετουσίωσης των πρωτεϊνών τους. Η αδρανοποίηση αυτή είναι επιθυμητή ώστε να μην εμφανισθεί ενζυμική αλλοίωση σε ένα προϊόν που είναι μικροβιακά σταθερό. Η θερμική αντίσταση των ενζύμων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Στην πραγματικότητα οι περισσότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση των μικροοργανισμών επηρεάζουν και τη θερμική αντίσταση των ενζύμων.

Ο ρυθμός αδρανοποίησης των ενζύμων μπορεί να εκφρασθεί μέσω των μεγεθών D και z , όπως και στους μικροοργανισμούς. Η τιμή του z που εκφράζει την εξάρτηση του ρυθμού από τη θερμοκρασία είναι για πολλά ένζυμα πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των μικροοργανισμών (ή η ενέργεια ενεργοποίησης πολύ μικρότερη).

Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει πολύ μικρότερη αύξηση του ρυθμού αδρανοποίησης των ενζύμων από εκείνη των μικροοργανισμών. Για την καταστροφή των μικροοργανισμών μπορούν να επιλεγούν διάφορα ζεύγη τιμών θερμοκρασίας χρόνου τα οποία θα επιφέρουν ισοδύναμο αποτέλεσμα. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερος είναι ο απαιτούμενος χρόνος. Όταν χρησιμοποιούνται χαμηλές θερμοκρασίες ο απαιτούμενος χρόνος για την καταστροφή των μικροοργανισμών είναι υπερεπαρκής και για την πλήρη αδρανοποίηση των ενζύμων. Εάν όμως χρησιμοποιηθούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί η αδρανοποίηση των ενζύμων να απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο από εκείνη των μικροοργανισμών (επειδή ο ρυθμός της έχει αυξηθεί πολύ λιγότερο) και επομένως να αποτελεί τον παράγοντα με βάση τον οποίο θα σχεδιασθεί η διεργασία.

Η καταλάση και η περοξειδάση είναι από τα πιο θερμοάντοχα ένζυμα που προκαλούν αλλοιώσεις στα τρόφιμα. Ενδεικτικά αναφέρεται τιμή z για την περοξειδάση σε λαχανικά 30.5 °C, όταν για τους περισσότερους μικροοργανισμούς κυμαίνεται μεταξύ 4.4 °C και 12.2 °C. (Stumbo,1991)

2.7. Μεταβολές των θρεπτικών συστατικών και των ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά τη θέρμανση

Με την αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνονται ορισμένες αντιδράσεις καταστροφής ή υποβάθμισης των θρεπτικών συστατικών, όπως οξειδώσεις ή αντιδράσεις δέσμευσης των βιταμινών και των αμινοξέων, οξειδώσεις λιπαρών, κ.λ.π.

Επίσης επιταχύνονται δράσεις υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών, όπως μεταβολές του χρώματος, μεταβολές των αρωματικών συστατικών των τροφίμων, μεταβολές λειτουργικών χαρακτηριστικών μέσω της μετουσίωσης των πρωτεϊνών ή των φυσικοχημικών δράσεων που λαμβάνουν χώρα στο άμυλο ή στις διαιτητικές ίνες.

Μία τρίτη κατηγορία δράσεων περιλαμβάνει επιθυμητές δράσεις, όπως η καταστροφή ορισμένων φυσικών ή μικροβιακών τοξινών, η καταστροφή αναστολέων ενζύμων, η αύξηση της τρυφερότητας και της ευπεπτότητας του τροφίμου, κλπ. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν όλες αυτές τις δράσεις και εάν είναι επιθυμητός ο έλεγχος κάποιας δράσης (π.χ. της απώλειας μιας βιταμίνης) κατά τη θερμική κατεργασία ενός τροφίμου πρέπει να μελετηθεί η κινητική που ακολουθεί στο συγκεκριμένο τρόφιμο και η εξάρτηση από τη θερμοκρασία. (Stoforos, 1995)

Για τη βιταμίνη C που αποτελεί ένα από τα πιο ευαίσθητα θρεπτικά συστατικά έχουν γίνει αρκετές μελέτες: Ορισμένοι ερευνητές βρήκαν ότι η απώλειά της ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης, ενώ άλλοι χρησιμοποιώντας άλλα τρόφιμα δεν κατέληξαν στο ίδιο αποτέλεσμα. Οι διαφορές αποδίδονται σε διαφορετικούς μηχανισμούς που ακολουθεί η δράση σε διαφορετικά τρόφιμα (επίδραση περιεχόμενης υγρασίας, οξυγόνου, αντιοξειδωτικών ουσιών κτλ.). Η θειαμίνη έχει επίσης μελετηθεί σε πολλά συστήματα τροφίμων και υπάρχουν αρκετά δεδομένα για το ρυθμό της καταστροφής της και την εξάρτηση από τη θερμοκρασία για κινητική πρώτης τάξης.

Πίνακας 2. Κινητικές παράμετροι δράσεων υποβάθμισης κατά τη θερμική κατεργασία των τροφίμων.

| Συστατικό | Μέσο | pH ^a | Εύρος Θερμοκρα- σίας | E _α (kcal/mole) | z (°C) | D _{121,1°C} (min) |
|-----------|------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|
|-----------|------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|

| | | | (°C) | | | |
|----------------------------|-------------------|--------|---------|------|------|-------------------|
| Θειαμίνη | Αρακάς ολόκληρος | φυσικό | 104-132 | 21.2 | 26.1 | 164 |
| Θειαμίνη | Πολτός χοιρινού | 6.2 | 110-150 | 27.0 | 3 | 157 |
| Θειαμίνη | Πολτός σπανακιού | 6.5 | 110-150 | 27.0 | 3 | 134 |
| Θειαμίνη | Πολτός αρακά | φυσικό | 121-138 | 27.5 | 7 | |
| C | Υγρό παρασκεύασμα | 3.2 | 4-70 | 23,1 | 3 | 12 ^B |
| B12 | Υγρό παρασκεύασμα | 3.2 | 4-70 | 23,1 | 3 | 1.94 ^B |
| A | Υγρό παρασκεύασμα | 3.2 | 4-70 | 14.6 | 1 | 2.4 ^B |
| Φολικό οξύ | Υγρό παρασκεύασμα | 3.2 | 4-70 | 16.8 | 7 | 1.95 ^B |
| χλωροφύλλη | Πολτός σπανακιού | 6.5 | 79-138 | 19.0 | 3 | 116 |
| χλωροφύλλη | Πολτός αρακά | 6.5 | 79-138 | 22.0 | 3 | 113 |
| ανθοκυανίνη | Χυμός φράουλας | φυσικό | 20-121 | 19.0 | 3 | 110 |
| ανθοκυανίνη | Χυμός γκρέιπφρουτ | φυσικό | 20-121 | 28.0 | 3 | 17.8 |
| Καροτενοειδή | Πάπρικα | φυσικό | 52-66 | 34.0 | 18.9 | 0.038 |
| Καστάνωση | Γάλα | 6.5 | 93-121 | 27.0 | 25.0 | 1.08 |
| Υφή | Αρακάς | φυσικό | 77-93 | 19.5 | 32.2 | 1.4 |
| Ποιότητα | Αρακάς | φυσικό | 80-150 | 15.0 | 39.4 | 25.0 |
| (δοκιμαστές) | Γάλα σόγιας | φυσικό | 93-121 | 18.5 | 33.3 | 13.3 |
| Αναστολείς τρυψίνης | | - | 100-127 | 24.4 | 24.4 | 9.4 |
| Εντεροτοξίνη Σταφυλόκοκκος | | φυσικό | | | | |

σικό Δείχνει το φυσικό pH του τροφίμου

οι τιμές αναφερόμενες σε μέρες

(Karel et al., 1975)

Στον Πίνακα 2. δίνονται οι κινητικές παράμετροι της υποβάθμισης ορισμένων συστατικών ή ποιοτικών χαρακτηριστικών σε διάφορα τρόφιμα. Όπως φαίνεται από τις τιμές του z ή της ενέργειας ενεργοποίησης, η επίδραση της θερμοκρασίας στις δράσεις υποβάθμισης είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την καταστροφή των μικροοργανισμών. Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή υψηλής θερμοκρασίας-μικρού χρόνου κατά τη θερμική διεργασία θα δώσει προϊόν καλύτερης

ποιότητας από εκείνο που θα προκύψει μετά από κατεργασία χαμηλής θερμοκρασίας και μεγάλου χρόνου. (Stumbo,1973)

2.8 Υπολογισμοί καταστροφής μικροοργανισμών στις διεργασίες παστερίωσης και αποστείρωσης

Η παστερίωση ή αποστείρωση των τροφίμων γίνεται με δύο τρόπους. Είτε το τρόφιμο τοποθετείται σε περιέκτη, σφραγίζεται και ακολούθως υφίσταται θερμική διεργασία για να επιτευχθεί η επιθυμητή μείωση μικροοργανισμών, είτε αρχικά υφίσταται θερμική διεργασία και στη συνέχεια τοποθετείται σε ένα στείρο περιέκτη και σφραγίζεται. Η πρώτη μέθοδος αποτελεί την κλασική κονσερβοποίηση (θέρμανση σε περιέκτες), ενώ η δεύτερη καλείται ασηπτική διεργασία. Η κλασική κονσερβοποίηση βρίσκει ακόμη ευρεία εφαρμογή, ιδιαίτερα σε τρόφιμα που περιέχουν στερεά κομμάτια, αν και μειονεκτεί ως προς την εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας-μικρού χρόνου που εξασφαλίζει καλύτερη ποιότητα στα τρόφιμα. (Holdsworth, 1997)

- **Θέρμανση σε περιέκτες**

Στην κλασική κονσερβοποίηση, όπου το τρόφιμο υφίσταται θερμική κατεργασία ενώ βρίσκεται σε σφραγισμένους περιέκτες, η θέρμανση γίνεται συνήθως σε αυτόκλειστα ασυνεχούς λειτουργίας με διαβίβαση ατμού ή σπανιότερα θερμού νερού.

Μετά το τέλος της θέρμανσης ανοίγεται η βάννα διαφυγής του ατμού (ή του νερού) και το συσκευασμένο τρόφιμο ψύχεται με καταιονισμό ψυχρού νερού. Υπάρχουν επίσης και διατάξεις συνεχούς λειτουργίας στις οποίες επίσης το συσκευασμένο τρόφιμο ακολουθεί ένα κύκλο θέρμανσης και ένα κύκλο ψύξης. Η θανάτωση των μικροοργανισμών πρέπει να υπολογισθεί κατά τη θέρμανση αλλά και κατά τα αρχικά στάδια της ψύξης, οπότε η θερμοκρασία είναι υψηλή και ο ρυθμός θανάτωσης σημαντικός.

Όταν ο περιέκτης με το τρόφιμο χαμηλής θερμοκρασίας έρθει σε επαφή με το μέσο θέρμανσης μεταφέρεται θερμότητα από το μέσο θέρμανσης στην επιφάνεια του περιέκτη, δια μέσου του τοιχώματος του περιέκτη και στο εσωτερικό αυτού δηλ. στο τρόφιμο. Η μεταφορά θερμότητας γίνεται σε μη μόνιμες συνθήκες δεδομένου ότι η θερμοκρασία μεταβάλλεται με το χρόνο σε όλα τα σημεία στο εσωτερικό του περιέκτη. Το ίδιο συμβαίνει και κατά την ψύξη. Η μεταφορά θερμότητας στην επιφάνεια του περιέκτη γίνεται με συναγωγή και ο επιφανειακός συντελεστής στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ατμός είναι σημαντικά μεγαλύτερος από το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας στο εσωτερικό του τροφίμου. Η αντίσταση στην αγωγή θερμότητας δια μέσου του τοιχώματος του περιέκτη είναι αμελητέα όταν πρόκειται για μεταλλικούς περιέκτες με λεπτά τοιχώματα, όπως αυτοί που κυρίως χρησιμοποιούνται σε τρόφιμα που υφίστανται θερμική κατεργασία. (Holdsworth, 1997)

Η μεταφορά θερμότητας στο εσωτερικό του τροφίμου μπορεί να γίνει με αγωγή ή και με συναγωγή, ανάλογα με τη φύση του τροφίμου. Στερεά ή υπερβολικά ιξώδη τρόφιμα θερμαίνονται με αγωγή. Υγρά τρόφιμα, χαμηλού ιξώδους θερμαίνονται κυρίως με συναγωγή. Η φυσική κυκλοφορία μπορεί να ενισχυθεί μέσω ανακίνησης ή περιστροφής της κονσέρβας αυξάνοντας το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Ακόμη υπάρχουν τρόφιμα στα οποία η μεταφορά θερμότητας μεταβάλλεται από συναγωγή σε αγωγή κατά τη θέρμανση, όπως τρόφιμα που περιέχουν μεγάλες ποσότητες αμύλου, το οποίο ζελατινοποιείται πάνω από ορισμένη θερμοκρασία. Η θέρμανση με συναγωγή είναι πολύ ταχύτερη από τη θέρμανση με αγωγή, ο ρυθμός διεξόδου θερμότητας μεταβάλλεται από τον ένα μηχανισμό στον άλλο και εάν παρασταθεί γραφικά η θερμοκρασία συναρτήσει του χρόνου θέρμανσης η καμπύλη παρουσιάζει μία ασυνέχεια δείχνοντας δύο ή και περισσότερους ρυθμούς διεξόδου της θερμότητας. (Κουμούτσος, 1991)

Η χρήση του κρίσιμου σημείου στηρίζεται στο ότι εάν επιτευχθεί εμπορική στείριότητα στο κρίσιμο σημείο με τη θερμική κατεργασία, τότε το υπόλοιπο προϊόν (το οποίο με βάση τον ορισμό του κρίσιμου σημείου υφίσταται εντονότερη κατεργασία) θα είναι επίσης εμπορικά στείρο. Προφανώς η γνώση της θέσης του κρίσιμου σημείου ή της κρίσιμης περιοχής είναι απαραίτητη και έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας. Συνήθως για μεταλλικούς περιέκτες ως κρίσιμο σημείο θεωρείται το γεωμετρικό κέντρο του προϊόντος όταν η μεταφορά θερμότητας γίνεται με αγωγή, ενώ όταν γίνεται με συναγωγή θεωρείται ότι βρίσκεται στο χαμηλότερο 25 % του ύψους του περιέκτη. Η ακριβής θέση του κρίσιμου σημείου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως από το είδος του προϊόντος, το είδος και τις διαστάσεις του περιέκτη, τα χαρακτηριστικά του κύκλου θέρμανσης και ψύξης, το βαθμό ανακίνησης, την κατανομή της μικροβιακής συγκέντρωσης και την έκταση της διεργασίας. Η ακριβής θέση πρέπει να προσδιορισθεί προκειμένου να σχεδιασθεί η θερμική κατεργασία.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με χρήση θερμοστοιχείων που τοποθετούνται στο εσωτερικό της κονσέρβας. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, όπως π.χ. στην περίπτωση αξονικά περιστρεφόμενης κονσέρβας που περιέχει μίγμα υγρού τροφίμου με στερεά κομμάτια, υπάρχουν πρακτικές δυσκολίες στη μέτρηση της θερμοκρασίας των στερεών και έχουν προταθεί πιο σύνθετες μέθοδοι όπως η χρήση υγρών κρυστάλλων ως αισθητήρων θερμοκρασίας. (National Canners Association, 1968)

2.9. Εξοπλισμός θερμικών διεργασιών

2.9.1 Αποστείρωση

Η αποστείρωση όπως και η παστερίωση μπορεί να γίνει σε προϊόντα ήδη συσκευασμένα, ή σε μη συσκευασμένα προϊόντα οπότε ακολουθεί ασηπτική συσκευασία.

Για την κατεργασία μη συσκευασμένων προϊόντων (ασηπτική κατεργασία) χρησιμοποιείται είτε έμμεση θέρμανση, είτε άμεση. Η λειτουργία είναι συνεχής και το προϊόν συσκευάζεται στη γραμμή, αμέσως μετά τη διεργασία, σε αποστειρωμένους περιέκτες. Η ασηπτική κατεργασία εφαρμόζεται σε υγρά τρόφιμα που μπορεί να περιέχουν μικρά τεμάχια αιωρούμενων στερεών. Για μεγαλύτερα τεμάχια στερεών τα κυρίως προβλήματα είναι η υποκατεργασία στο κέντρο των τεμαχίων, η μηχανική φθορά που προκαλείται από την ανάδευση που είναι αναγκαία για ταχύτερη μεταφορά θερμότητας και η κατακρήση στερεών στους σωλήνες παραμονής. (Σαραβάκος, 1979)

Στην έμμεση θέρμανση χρησιμοποιούνται οι ίδιοι εναλλάκτες που αναφέρονται στην παστερίωση, με τη διαφορά ότι ως μέσο θέρμανσης λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών χρησιμοποιείται συχνότερα ο ατμός. Οι εναλλάκτες με πλάκες χρησιμοποιούνται κυρίως για τρόφιμα χαμηλού ιξώδους. Πλεονεκτούν ως προς την ανάκτηση ενέργειας (περισσότερο από 90 %), την ευελιξία στη λειτουργία και τον καθαρισμό. Οι εναλλάκτες με αυλούς χρησιμοποιούνται επίσης για τρόφιμα σχετικά χαμηλού ιξώδους. Κύριο πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα λειτουργίας σε μεγαλύτερη πίεση και μεγαλύτερη παροχή τροφίμου που εξασφαλίζει τυρβώδη ροή, πιο ομοιόμορφη μεταφορά θερμότητας και λιγότερες αποθέσεις στα τοιχώματα σε σύγκριση με τους εναλλάκτες με πλάκες. Οι εναλλάκτες αποξεόμενης επιφάνειας χρησιμοποιούνται σε ιξώδη τρόφιμα ή με στερεά τεμαχίδια, είναι ευέλικτοι στη λειτουργία αλλά υστερούν στην ανάκτηση θερμότητας.

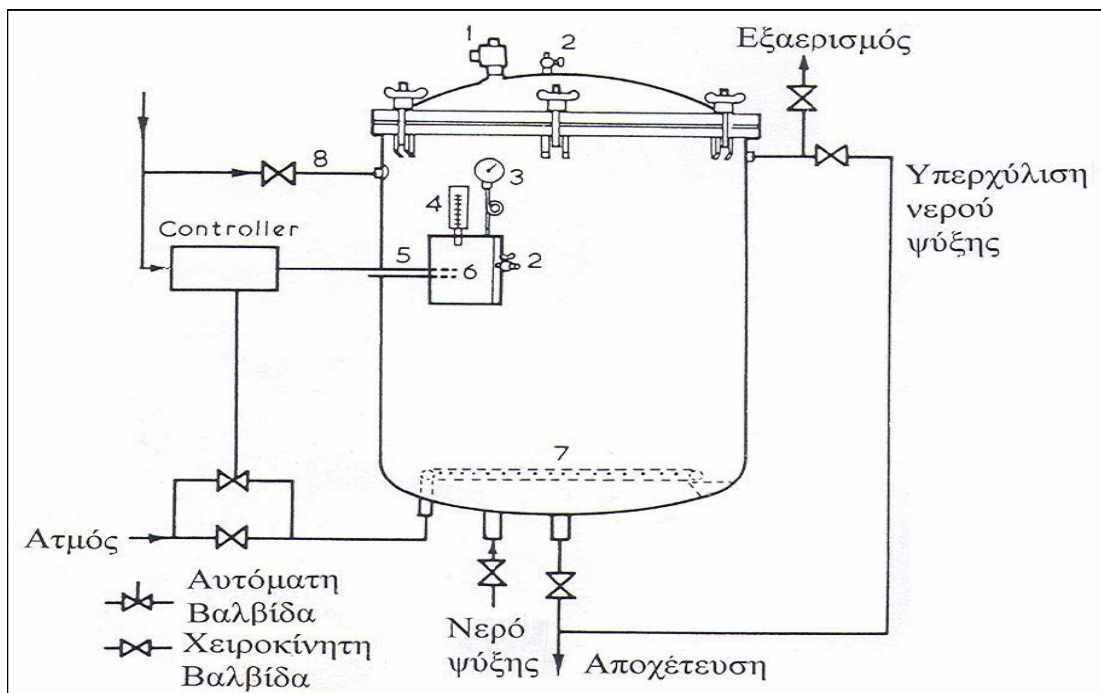
Η άμεση εναλλαγή θερμότητας γίνεται με ανάμιξη ατμού με το τρόφιμο, προκαλεί σχεδόν στιγμιαία ανύψωση της θερμοκρασίας και χρησιμοποιείται σε διεργασίες πολύ υψηλής θερμοκρασίας και μικρού χρόνου. Η ψύξη γίνεται επίσης σχεδόν στιγμιαία με εκτόνωση σε θάλαμο χαμηλής πίεσης στους 70 °C περίπου. Κατά την εκτόνωση συμπαρασύρονται και πτητικά συστατικά που μπορεί να είναι επιθυμητό για ορισμένα τρόφιμα (π.χ. το γάλα). Το βασικό πλεονέκτημα έναντι της έμμεσης εναλλαγής θερμότητας είναι οι μικρότεροι χρόνοι ανύψωσης και μείωσης της θερμοκρασίας. Η μέθοδος είναι κατάλληλη μόνο για τρόφιμα χαμηλού ιξώδους. Απαιτεί ατμό πόσιμο από πλευράς ποιότητας. Η ανάκτηση ενέργειας ανέρχεται μέχρι 50 % και ο έλεγχος των συνθηκών της διεργασίας υστερεί έναντι των έμμεσων εναλλακτών θερμότητας. Οι διεργασίες αποστείρωσης των μη συσκευασμένων τροφίμων, που γίνονται σε υψηλή θερμοκρασία και για μικρό χρονικό διάστημα, ανεξάρτητα του εάν γίνονται με άμεση ή έμμεση θέρμανση, καλούνται διεργασίες υπερηψηλής θερμοκρασίας (UHT: Ultra High Temperature). Για παράδειγμα στο γάλα η κατεργασία UHT γίνεται στους 140 °C περίπου με διάρκεια 2 - 5 sec. Η αποστείρωση συσκευασμένων τροφίμων γίνεται σε αυτόκλειστα ασυνεχούς λειτουργίας τα οποία θερμαίνονται συνήθως με ατμό. Τα παλαιότερου τύπου αυτόκλειστα είναι ακίνητα ενώ στα νεότερα υπάρχει η δυνατότητα ανακίνησης των περιεκτών για ταχύτερη μεταφορά θερμότητας. Τα ακίνητα αυτόκλειστα είναι κυλινδρικά με κατακόρυφο ή οριζόντιο προσανατολισμό του άξονά τους. Για τη διευκόλυνση της φόρτωσης και εκφόρτωσης των κονσερβών χρησιμοποιούνται καλάθια. Οι κονσέρβες τοποθετούνται κατακόρυφα στο καλάθι που φέρει διάτρητα μεταλλικά χωρίσματα για

διαχωρισμό των στοιβάδων των κονσερβών. Στα κατακόρυφα αυτόκλειστα τα καλάθια τοποθετούνται στο αυτόκλειστο και απομακρύνονται από αυτό με ηλεκτρικούς ανυψωτήρες. Στα οριζόντια αυτόκλειστα τα καλάθια έχουν σχήμα ορθογωνίου παραλληλογράμμου με κοίλες τις δύο πλευρικές επιφάνειες και μετακινούνται εντός και εκτός του αυτοκλείστου πάνω σε ράγες. Το κάλυμμα των αυτοκλείστων στερεώνεται με κοχλίες ή με δακτύλιο κλειδώματος που κλειδώνει και ξεκλειδώνει με μοχλό. Στα αυτόκλειστα με ανακίνηση των περιεκτών εφαρμόζεται είτε περιστροφή των δοχείων περί τον άξονά τους, είτε ταλάντωση σε διεύθυνση παράλληλη ή κάθετη προς τον άξονα του δοχείου. (Heldman et al., 1981)

Τα αυτόκλειστα ασυνεχούς λειτουργίας φέρουν βαλβίδες εισόδου και εξόδου ατμού, ψυχρού νερού και πιθανώς αέρα, βαλβίδα ασφαλείας, ρυθμιστή θερμοκρασίας, θερμόμετρο και μανόμετρο. Κατά τη λειτουργία το αυτόκλειστο κλείνεται μετά τη φόρτωση των δοχείων και απαερώνεται με διαβίβαση ατμού. Η απομάκρυνση του αέρα πρέπει να είναι πλήρης για να μην υπάρξει μείωση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, λόγω σχηματισμού εγκλωβισμένου στρώματος αέρα στις επιφάνειες των δοχείων. Η διαβίβαση ατμού συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία. Ο χρόνος από την αρχή της εισαγωγής ατμού μέχρι την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας καλείται “χρόνος ανόδου της θερμοκρασίας του αποστειρωτήρα” (retort come-up time). Τα δοχεία παραμένουν στη σταθερή θερμοκρασία για χρονικό διάστημα που έχει προκαθορισθεί κατά το σχεδιασμό της διεργασίας. Ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής που υπολογίζεται με τις υπολογιστικές μεθόδους μετριέται από τη στιγμή που το αυτόκλειστο θα αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία, χωρίς να προσμετράται ο χρόνος ανόδου της θερμοκρασίας. Ακολουθεί η ψύξη με εκτόνωση του ατμού και διαβίβαση συνήθως ψυχρού νερού, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα και ορισμένη υπερπίεση αέρα για να αποφευχθεί η διόγκωση των μεταλλικών δοχείων ή το άνοιγμα των πωμάτων σε γυάλινα δοχεία.

Η πίεση στο εσωτερικό των δοχείων κατά τη θέρμανση είναι μικρότερη από την πίεση στο χώρο του αυτοκλείστου, λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας το περιεχόμενο του δοχείου διαστέλλεται και επομένως μειώνεται ο κενός τροφίμου χώρος μέσα στο δοχείο. Παράλληλα αυξάνεται η τάση ατμών καθώς και η πίεση του αέρα και άλλων αερίων που έχουν παραμείνει στο δοχείο κατά τη σφράγιση αυτού ή υπάρχουν στο τρόφιμο. Έτσι προς το τέλος της αποστείρωσης και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της ψύξης, οπότε η θερμοκρασία και η πίεση στο χώρο του αυτοκλείστου μειώνεται πολύ ταχύτερα από ότι στο εσωτερικό του δοχείου, η εσωτερική πίεση του δοχείου είναι πολύ μεγαλύτερη από την εξωτερική και μπορεί να επιφέρει διόγκωση ή άνοιγμα. Για την εξισορρόπηση της πίεσης, εκτός της χρήσης πιεσμένου αέρα κατά την ψύξη, οι περιέκτες φέρουν δακτυλίους διαστολής ή κοίλα πώματα, ώστε να μπορούν να διασταλούν και να επανέλθουν στη συνέχεια στο αρχικό τους σχήμα. Για τον ίδιο λόγο οι περιέκτες δεν γεμίζονται πλήρως αλλά αφήνεται ορισμένος κενός χώρος ο οποίος απαερώνεται πριν από τη σφράγιση. Ο χώρος αυτός διευκολύνει επίσης τη μεταφορά θερμότητας σε διεργασίες με

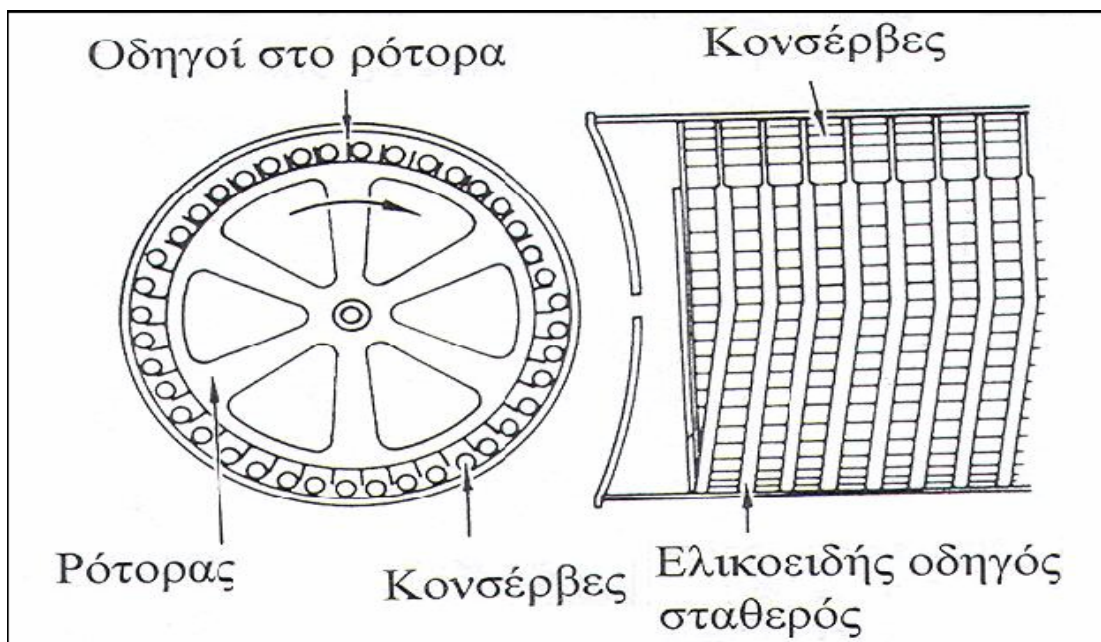
ανακίνηση των περιεκτών. Για γυάλινα δοχεία και γενικώς για δύσκαμπτους περιέκτες που θα αποστειρωθούν στους 115 - 121 °C συνιστάται ο κενός χώρος να είναι τουλάχιστο το 6 % του συνολικού όγκου στη συμβατική θερμοκρασία σφράγισης (55 °C). Κατά γενικό κανόνα ο κενός χώρος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10 % του συνολικού όγκου. Η μερική πίεση του αέρα εντός του δοχείου μειώνεται με απομάκρυνση των αερίων που είναι εγκλωβισμένα στα τρόφιμο (με ζεμάτισμα ή εφαρμογή κενού) και με απαέρωση του δοχείου πριν τη σφράγιση (με εφαρμογή κενού ή διαβίβαση ατμού ή θέρμανση στους 80 - 95 °C). Επιπλέον της μείωσης της εσωτερική πίεσης, η απαέρωση συμβάλλει στον περιορισμό της διάβρωσης στο εσωτερικό του δοχείου, της οξειδωσης του τροφίμου και της ανάπτυξης αερόβιων μικροοργανισμών. (Zechman et al., 1989)



Σχήμα 2. Κατακόρυφο αυτόκλειστο ασυνεχούς λειτουργίας με δυνατότητα ψύξης υπό πίεση αέρα. 1: βαλβίδα ασφαλείας, 2: ανακουφιστικές βαλβίδες διαρροής ατμού κατά τη λειτουργία, 3-6: όργανα μέτρησης και ελέγχου των παραμέτρων λειτουργίας. 7: διασκορπιστήρας ατμού, 8: είσοδος αέρα για ψύξη υπό πίεση (Brennan et al, 1976).

Ιδιαίτερα για την αποστείρωση τροφίμων συσκευασμένων σε γυάλινους περιέκτες, που δεν αντέχουν σε απότομες μεταβολές θερμοκρασίας, τα αυτόκλειστα ασυνεχούς λειτουργίας γεμίζονται αρχικά με νερό. Το νερό θερμαίνεται με ατμό και ανακυκλοφορεί διαβιβαζόμενο στον πυθμένα του αποστειρωτήρα εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη θέρμανση των δοχείων. Η ψύξη γίνεται αργά με εισαγωγή κρύου νερού. Ο χρόνος ανόδου της θερμοκρασίας του αποστειρωτήρα και ψύξης αυτού είναι μεγάλος και λαμβάνεται υπ' όψιν στο σχεδιασμό της διεργασίας. Η εκτίμηση της θερμικής καταστροφής γίνεται με καλύτερη προσέγγιση με χρήση της γενικής μεθόδου. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται και αυτόκλειστα συνεχούς λειτουργίας διαφόρων τύπων. Ένας

τύπος είναι τα οριζόντια κυλινδρικά δοχεία που φέρουν περιστρεφόμενες ελικοειδείς διατάξεις διακίνησης των δοχείων. Τα δοχεία ανάλογα με τη διάταξη μπορεί να περιστρέφονται περί τον άξονά τους ή να είναι σταθερά. Η είσοδος και η έξοδος των κονσερβών στο αυτόκλειστο γίνεται με περιστροφικές βαλβίδες πίεσεως.



Σχήμα 3. Οριζόντιο αυτόκλειστο συνεχούς λειτουργίας (Brennan, 1976).

Σε άλλο τύπο συνεχούς αποστειρωτήρα η βαλβίδα πίεσεως λειτουργεί με συνδυασμό φραγής νερού και μηχανικής φραγής. Ο αποστειρωτήρας είναι κυλινδρικό οριζόντιο δοχείο στο κάτω τμήμα του οποίου υπάρχει νερό στο οποίο προθερμαίνονται τα δοχεία κατά την είσοδό τους και ψύχονται κατά την έξοδο. Ο χώρος που καταλαμβάνεται από ατμό απομονώνεται από το κάτω τμήμα με διαχωριστικό και ο χρόνος παραμονής ρυθμίζεται μέσω της ταχύτητας του φορέα που μεταφέρει τα δοχεία. Μπορεί να υπάρχει συνεχής περιστροφή των δοχείων με κατάλληλη τοποθέτηση κυλινδρικών ράβδων κάτω από το φορέα.

Ένας άλλος τύπος είναι ο υδροστατικός αποστειρωτήρας, ο οποίος έχει μεγάλο ύψος και η πίεση του ατμού συγκρατείται με την υδροστατική πίεση στηλών νερού κατάλληλου ύψους, ανοικτών στην ατμόσφαιρα, στην είσοδο και στην έξοδο του αποστειρωτήρα. Τα δοχεία με το προϊόν μεταφέρονται με ταινία δια μέσου της στήλης προθέρμανσης, στο θάλαμο του ατμού σταθερής θερμοκρασίας και τέλος στη στήλη ψύξης. Η ταχύτητα της ταινίας καθορίζει το χρόνο παραμονής στο θάλαμο του ατμού που πρέπει να ισούται με τον προκαθορισμένο κατά το σχεδιασμό χρόνο της διεργασίας. Για διεργασία στους 121 °C η τάση ατμών είναι 205.7 kPa και δεδομένου ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 101.3 kPa απαιτείται στήλη νερού 10.7 m για τη διατήρηση της πίεσης στο εσωτερικό του αποστειρωτήρα. Έτσι η συνολική εγκατάσταση του αποστειρωτήρα μπορεί να φθάνει και τα 20 m ύψος και γίνεται σε υπαίθριο χώρο. Καταλαμβάνει όμως μικρό εμβαδό και λόγω της ευελιξίας για διάφορους τύπους κονσερβοποιημένων τροφίμων, της ελαχιστοποίησης

του θερμικού σοκ που υφίσταται το τρόφιμο και ο περιέκτης και του υψηλού βαθμού αυτοματισμού ο υδροστατικός αποστειρωτήρας είναι ευρέως διαδεδομένος σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες. Σε κονσέρβες μικρού μεγέθους γίνεται αποστείρωση και με άμεση επαφή με φλόγες. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε προϊόντα θερμαινόμενα με συναγωγή, τα οποία μετακινούνται περιστρεφόμενα γρήγορα για ταχύτερη μεταφορά θερμότητας. Επειδή στο σύστημα δεν υπάρχει υπερπίεση τα δοχεία πρέπει να αντέχουν την εσωτερική πίεση που αναπτύσσεται γι αυτό και η μέθοδος περιορίζεται σε μικρού μεγέθους περιέκτες. (Palmer et al., 1981)

2.9.2 Παστερίωση

Η παστερίωση γίνεται συνήθως σε θερμοκρασία χαμηλότερη από 100 °C. Μπορεί να γίνει σε τρόφιμα ήδη συσκευασμένα ή να προηγηθεί της συσκευασίας, η οποία θα πρέπει να γίνει σε ασηπτικές συνθήκες. (Ταούκης, 1997)

Η παστερίωση υγρών προϊόντων γίνεται στις σύγχρονες μονάδες σε εναλλάκτες συνεχούς λειτουργίας και ακολουθείται από ασηπτική συσκευασία. Το βασικό πλεονέκτημα είναι η ταχύτερη μεταφορά θερμότητας και η μικρότερη υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου συγκρινόμενη με την παστερίωση ήδη συσκευασμένων προϊόντων. Γενικά υπάρχει η τάση της εφαρμογής κατεργασίας υψηλής θερμοκρασίας-μικρού χρόνου (HTST: High Temperature Short Time) για την παραγωγή προϊόντων καλύτερης ποιότητας, όπως ήδη αναπτύχθηκε. Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται για προϊόντα χαμηλού ιξώδους, όπως το γάλα και η μπίρα, είναι κυρίως με πλάκες. Σε αυτούς τους εναλλάκτες επιτυγχάνεται ανάκτηση θερμότητας μέχρι και 94 % με θέρμανση του εισερχόμενου τροφίμου από το ήδη παστεριωμένο προϊόν. Για την απομένουσα θέρμανση μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία χρησιμοποιείται ζεστό νερό ή ατμός χαμηλής πίεσης. Σε εφαρμογές ιδιαίτερα υψηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται εναλλάκτες με σωλήνες στους οποίους η θέρμανση γίνεται με διαβίβαση ατμού. Για ιξώδη προϊόντα χρησιμοποιούνται εναλλάκτες αποξεόμενης επιφάνειας. Στερεά τρόφιμα χύμα μπορούν να παστεριωθούν σε συστήματα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται για το ζεμάτισμα Τρόφιμα τα οποία είναι ήδη συσκευασμένα παστεριώνονται σε συστήματα συνεχούς ή ασυνεχούς λειτουργίας. Οι συσκευές ασυνεχούς λειτουργίας μπορεί να είναι δοχεία θερμού νερού, ή αυτόκλειστα θερμαινόμενα με διαβίβαση ατμού κυρίως για μεταλλικούς περιέκτες. Συστήματα συνεχούς λειτουργίας με ψεκασμό διαδοχικά θερμού και ψυχρού νερού χρησιμοποιούνται στην παστερίωση συσκευασμένης μπίρας, χυμών ή αναψυκτικών. Παστεριωτές ατμού ή ατμού/νερού συνεχούς λειτουργίας χρησιμοποιούνται για μεταλλικούς περιέκτες και λειτουργούν συνήθως σε ατμοσφαιρική πίεση. Τα δοχεία μεταφέρονται δια μέσου του παστεριωτήρα με κοχλία. Επίσης χρησιμοποιούνται σήραγγες που θερμαίνονται με μίγμα ατμού/αέρα. (Lund et al., 1993)

2.9.3 Ζεμάτισμα

Στις περισσότερες περιπτώσεις το ζεμάτισμα γίνεται με άμεση επαφή του τροφίμου με θερμό νερό ή ατμό. Η χρήση ατμού συνεπάγεται μικρότερες απώλειες υδατοδιαλυτών συστατικών και μικρότερο όγκο και φορτίο αποβλήτων.

Το ζεμάτισμα με νερό μπορεί να γίνει σε συστήματα ασυνεχούς λειτουργίας με εμβάπτιση των τροφίμων σε προθερμασμένο νερό. Συνήθως το τρόφιμο τοποθετείται σε διάτρητα τύμπανα, τα οποία έχουν δυνατότητα περιστροφής. Τα συστήματα συνεχούς λειτουργίας είναι τύπου κοχλιωτού μεταφορέα, διάτρητου τυμπάνου ή σωλήνων. Τα συστήματα διάτρητου τυμπάνου φέρουν συνήθως εσωτερικά κοχλία μεταφοράς. Τα συστήματα σωλήνων χρησιμοποιούνται μόνο για τρόφιμα μικρών διαστάσεων τα οποία μπορούν να αντληθούν μαζί με το νερό και να παραμένουν σε αιώρηση σε μικρές σχετικά ταχύτητες μεταφοράς, ώστε να μην προκαλείται φθορά. Το νερό μετά το διαχωρισμό του τροφίμου ανακυκλώνεται. Σε όλα τα συστήματα με νερό υπάρχει το πρόβλημα της αύξησης των διαλυτών στερεών στο νερό με το χρόνο επαφής με το τρόφιμο. Αύξηση της συγκέντρωσης περισσότερο από 2 - 3 % σε στερεά μπορεί να προκαλέσει δυσάρεστες οσμές στο τελικό προϊόν. Επομένως είναι απαραίτητη η συνεχής προσθήκη φρέσκου νερού. (Stoforos, 1995)

Το ζεμάτισμα με ατμό μπορεί να γίνει σε συστήματα ασυνεχούς λειτουργίας, αλλά κυρίως χρησιμοποιούνται ζεματιστήρες συνεχούς λειτουργίας. Τα τρόφιμα μεταφέρονται με ιμάντες ή κοχλίες δια μέσου σήραγγας στην οποία διαβιβάζεται ατμός. Για τη μεταφορά τροφίμων ευαίσθητων σε μηχανική φθορά χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς θερμό νερό. Επίσης έχουν αναπτυχθεί συστήματα δύο σταδίων.

Στο πρώτο στάδιο το τρόφιμο θερμαίνεται, ενώ το δεύτερο είναι ένα αδιαβατικό στάδιο όπου η διαφορά θερμοκρασίας μέσα στο τρόφιμο εξαλείφεται. Εκτός από τα συστήματα που αναφέρθηκαν έχουν χρησιμοποιηθεί και ζεματιστήρες θερμού αερίου. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι η απουσία αποβλήτων, ενώ μειονεκτήματα είναι η αφυδάτωση των προϊόντων, η οποία αντιμετωπίζεται με ύγρανση του αερίου, και το επιφανειακό μαύρισμα σε ορισμένα προϊόντα. Επειδή η μέθοδος προκαλεί μερική αφυδάτωση είναι κατάλληλη για ζεμάτισμα τροφίμων πριν την ξήρανση. (Brennan et al, 1976)

2.10. Συσκευασία τροφίμων

Η πρόοδος που εμφανίζεται στον τομέα της συσκευασίας των τροφίμων τα τελευταία χρονιά μπορεί να χαρακτηριστεί ως «επαναστατική». Νέα υλικά, πρωτότυπα σχέδια και ποικιλία χρωμάτων, είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά της συσκευασίας. Δεν είναι λίγοι εκείνοι που εκτιμούν ότι η συσκευασία για ένα προϊόν έχει την ίδια δυναμική με την ποιότητα του προϊόντος.

Το δημοφιλές «χάρτινο χωνί» του μπακάλη της περασμένης γενιάς έχει αντικατασταθεί από πολύχρωμα δοχεία και πακέτα διαφόρων σχημάτων και μεγεθών, στα οποία συσκευάζονται σήμερα πολλών ειδών τρόφιμα και προμαγειρεμένα ή πλήρως παρασκευασμένα εδέσματα.

Μεγάλη είναι επίσης η ποικιλία των υλικών τα οποία χρησιμεύουν για την κατασκευή δοχείων και πακέτων συσκευασίας: ξύλο για βαρέλια, λευκοσίδηρος για κονσέρβες, γυαλί για φιάλες και βάζα, αλουμίνιο για δοχεία και για περιτύλιξη, χαρτί για κουτιά σακούλες και περιτύλιξη και πλαστικά υλικά για σχεδόν κάθε είδους συσκευασία από βαρέλια και λεπτούς υμένες (φιλμ) μέχρι σακίδια για κονσερβοποίηση.

Επιπλέον χρησιμοποιούνται πολλοί συνδυασμοί των υλικών αυτών, ιδίως υπό τη μορφή συγκολλημένων φύλλων, όπου το καθένα προσδίδει τις δικές του συσκευαστικές ιδιότητες, π.χ. σε ένα τρίφυλλο φιλμ, το εσωτερικό στρώμα μπορεί να είναι από πολυαιθυλένιο, που εμποδίζει τη δίοδο υγρασίας και ανταποκρίνεται σωστά στη θερμοσυγκόλληση, το μεσαίο στρώμα να είναι από αλουμίνιο, που εμποδίζει το φως και προσδίδει στεγανότητα και εμφάνιση και το εξωτερικό να είναι από σελοφάν, υλικό που είναι επιδεκτικό στην τοπογράφηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν φιλμ με 7 και 8 στρώματα διάφορων υλικών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα βρώσιμα συσκευαστικά υλικά, το γνωστότερο από αυτά είναι ίσως το χωνάκι του παγωτού αλλά και το περίβλημα πολλών αλλαντικών. Η ζελατίνη, το αραβικό κόμμι και άλλες φαγώσιμες γόμες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία τροφίμων ως επικάλυψη, άλλωστε και η ψίχα των καρυδιών και αμυγδάλων περιβάλλεται με παράγωγα μονογλυκεριδίων για να προληφθεί το οξειδωτικό τάγισμα. (Holdsworth, 1997)

2.10.1. Υλικά συσκευασίας

Τα κυριότερα υλικά συσκευασίας τροφίμων είναι:

- Το χαρτί-χαρτόνι
- Το γυαλί
- Τα μέταλλα
- Τα μεταλλικά φύλλα
- Τα πλαστικά
- Τα πολυστρωματικά υλικά

Η χρήση των υλικών συσκευασίας ποικίλει ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Έτσι ο σίδηρος χρησιμοποιείται υπό τη μορφή μαλακού χάλυβα για την κατασκευή κουτιών, ενώ το αλουμίνιο χρησιμεύει για την κατασκευή κουτιών αλλά και ως φύλλο περιτύλιξης. Τα χαλύβδινα δοχεία καλύπτονται με ένα λεπτό στρώμα κασσίτερου ο οποίος προστατεύει σημαντικά τον χάλυβα από την προσβολή των οξέων του τροφίμου και το οξυγόνο του αέρα. Όμως επειδή και αυτός υπόκειται σε διάβρωση από ορισμένα συστατικά των τροφίμων επιχρίεται με βερνίκι ή λάκες. Υπάρχουν πολλοί τύποι επιχρισμάτων καθώς και διάφοροι τύποι χάλυβα που ενδείκνυνται για τη συσκευασία λιγότερο ή περισσότερο διαβρωτικών τροφίμων. Τελευταία, στη συσκευασία

τροφίμων χρησιμοποιείται το χρώμιο για την επίχρση πολλών συσκευασιών έναντι του κασσίτερου.

Το αλουμίνιο είναι το νεώτερο μέταλλο που χρησιμοποιείται στη συσκευασία τροφίμων. Ως πλεονεκτήματά του θεωρούνται το μικρό του ειδικό βάρος, η αντίστασή του στην ατμοσφαιρική οξείδωση, η ευκαμψία του και η εμφάνισή του. Δεν έχει όμως την ανθεκτικότητα του χάλυβα. Το αλουμίνιο, πέρα από τη χρήση του στην κονσερβοποιία, χρησιμοποιείται ευρύτατα ως φύλλο για την κατασκευή μαγειρικών και άλλων σκευών.

Το γυαλί, ως υλικό συσκευασίας στη βιομηχανία τροφίμων, είναι πολύ διαδεδομένο και η χρήση του ποικίλει τόσο στη συσκευασία στερεών όσο και υγρών προϊόντων διατροφής. Αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση της νέας τεχνολογίας επιτρέπει τη χρήση της ίδιας φιάλης για περισσότερο από μία φορές.

Το χαρτί βρίσκει μεγάλη και πολλαπλή εφαρμογή στη συσκευασία τροφίμων. Καστανόχρωμο, αδρό χαρτί χρησιμοποιείται για την παρασκευή σάκων. Χονδρό παρόμοιο χαρτί παίρνει τη μορφή χαρτονιού. Πολλές άλλες ποιότητες χαρτιού παράγονται με αποχρωματισμό του χαρτοπολτού και εμποτισμό του με κερί, παραφίνη, ρητίνες, λάκες και διάφορες πλαστικές ουσίες, ώστε να γίνει αδιαπέραστο στο νερό ή στα λίπη ή στα αέρια, ή να γίνει ανθεκτικό στη βαφή ή στην εκτύπωση. Συγκολλημένα φύλλα χαρτιού και αλουμινίου ή πλαστικών υλών βρίσκουν ειδικές χρήσεις. Επιπροσθέτως, μεγάλες ποσότητες γάλακτος και χυμών συσκευάζονται σε χάρτινα κουτιά που έχουν επικαλυφθεί με πολυαιθυλένιο.

Οι πλαστικές ύλες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στη συσκευασία τροφίμων, από την – δημοφιλή- απλή τσάντα, έως το κесеδάκι του γιαουρτιού και ως το πλαστικό εκείνο δοχείο που αντέχει στη θερμική αποστείρωση τροφίμων. Οι κυριότερες από τις πλαστικές ύλες ενδείκνυνται για τη συσκευασία τροφίμων είναι η αναγεννηθείσα κυτταρίνη, η οξική κυτταρίνη, το πολυαμίδιο, το πολυαιθυλένιο, το πολυστυρόλιο, το πολυπροπυλένιο κ.ά. Οι ύλες αυτές μετατρέπονται σε δοχεία πολλών σχημάτων και μεγεθών, ή χρησιμοποιούνται ως φύλλα οι ιδιότητες των οποίων έχουν μεγάλη συσκευαστική σημασία. (Heldman, 1981)

2.11. Προδιαγραφές των υλικών συσκευασίας

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη συσκευασία των τροφίμων πρέπει να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές διαφέρουν ανάλογα με τη φύση και το είδος του τροφίμου καθώς και από το εάν το υλικό θα έρθει σε άμεση επαφή με το τρόφιμο ή θα περιβάλλει το πρώτο κάλυμμα.

Γενικά όμως το υλικό της συσκευασίας πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις: Αβλαβές: Να μην είναι τοξικό και να μην αντιδρά με τα συστατικά του τροφίμου έτσι ώστε να βλάπτει τις οργανοληπτικές ή τις θρεπτικές του ιδιότητες.

Προστασία: Να προφυλάσσει το τρόφιμο από τις προσβολές μικροβίων εντόμων και τρωκτικών. Επίσης να μην επιτρέπει την είσοδο και έξοδο υγρασίας και αερίων και ειδικά να εμποδίζει την έξοδο των ευχάριστων πτητικών του τροφίμου.

Ευχρηστία: Το σχήμα και το μέγεθος των δοχείων ή πακέτων πρέπει να διευκολύνει τη διακίνηση και αποθήκευση όχι μόνο στο χώρο παραγωγής αλλά και στο χώρο πώλησης ή αποθήκευσης. Το άνοιγμα της συσκευασίας πρέπει να είναι εύκολο αλλά ενδεχόμενες παραβιάσεις πρέπει να γίνονται άμεσα αντιληπτές.

Εμφάνιση: Η συσκευασία πρέπει να ελκύει τον πελάτη, ιδιαίτερα στις υπεραγορές αυτοεξυπηρέτησης που υπάρχει έντονος ανταγωνισμός. Μεγάλες βιομηχανίες τροφίμων χρησιμοποιούν ειδικούς συμβούλους για το σχεδιασμό της συσκευασίας των προϊόντων τους.

Κόστος: Το κόστος της συσκευασίας δεν πρέπει να επιβαρύνει την τιμή του τροφίμου. Η σημασία της ανακύκλωσης του υλικού της συσκευασίας πρέπει να τονιστεί σε συνάρτηση με το κόστος παραγωγής του προϊόντος. Ανακυκλώσιμα υλικά είναι τα λευκοσιδηρά, τα γυάλινα και τα πλαστικά δοχεία. Η μεγαλύτερη οικονομία όμως επιτυγχάνεται με την ανακύκλωση του αλουμινίου, μελέτες δείχνουν ότι για την κατασκευή ενός νέου αλουμινοδοχείου από ένα χρησιμοποιημένο απαιτείται μόνο το 5% της ενέργειας που χρειάζεται για να γίνει το ίδιο κουτί από βωξίτη. Η ανακύκλωση οδηγεί όχι μόνο στην μείωση του κόστους συσκευασίας αλλά και στην αποφυγή ρύπανσης του περιβάλλοντος καθώς και στην διατήρηση της διαθεσιμότητας των πρώτων υλών που υπάρχουν στη φύση. (FAO,1986)

Η συσκευασία των τροφίμων βρίσκεται σε γρήγορη και συνεχή εξέλιξη. Στην Packaging Encyclopedia (εγκυκλοπαίδια συσκευασίας) περιγράφονται οι ιδιότητες των υλικών συσκευασίας καθώς και οι δοκιμές που πρέπει να γίνουν ώστε το υλικό να καταδειχθεί κατάλληλο για χρήση στη συσκευασία των τροφίμων. Επίσης οι βιομηχανίες ειδών και υλικών συσκευασίας μπορούν να προτείνουν το κατάλληλο υλικό για την κάθε περίπτωση.

Η συσκευασία μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως βοηθητικό μέσο μιας διεργασίας. Για παράδειγμα τα μεταλλικά δοχεία που χρησιμοποιούνται σε θερμικές κατεργασίες τροφίμων εξασφαλίζουν όχι μόνο την προστασία τους, αλλά, με τη σταθερότητα των διαστάσεων τους, διατηρούν το περιεχόμενο τρόφιμο σε ορισμένο σχήμα και θέση και επιτρέπουν τον υπολογισμό της διεύθυνσης θερμότητας. Παράλληλα η συσκευασία μπορεί να επηρεάσει τη μεταφορά θερμότητας από και προς το τρόφιμο.

- Μηχανική καταπόνηση

Η μηχανική καταπόνηση προκαλεί μηχανικές φθορές στα τρόφιμα, οι οποίες τα καθιστούν πιο ευάλωτα στην προσβολή από μικροοργανισμούς. Η ικανότητα του υλικού συσκευασίας να προστατεύσει το τρόφιμο εξαρτάται από τις μηχανικές αντοχές αυτού (αντοχή σε κρούση,

συμπύεση, διάτμηση κ.λπ.). Επίσης οι μηχανικές αντοχές καθορίζουν και τη διατήρηση της ακεραιότητας της συσκευασίας απέναντι σε μηχανικές καταπονήσεις, που είναι απαραίτητη για να μην προσβληθεί το τρόφιμο από εξωτερικούς παράγοντες. Εκτός από τις αντοχές που αναφέρθηκαν, άλλες, όπως η αντοχή σε εφελκυσμό, είναι επίσης σημαντικές στην κατασκευή των δοχείων συσκευασίας.

- Οξυγόνο και άλλα αέρια

Το οξυγόνο συμμετέχει σε ορισμένες αντιδράσεις που υποβαθμίζουν την ποιότητα των τροφίμων, όπως η οξειδωση των λιπαρών, οξειδώσεις βιταμινών, οξειδώσεις χρωστικών κ.λπ. Ο ρυθμός αυτών των δράσεων εξαρτάται από τη συγκέντρωση του οξυγόνου στο τρόφιμο, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από τη μερική πίεση του οξυγόνου στον αέρα που περιβάλλει το τρόφιμο. Άλλη δράση στην οποία συμμετέχει το οξυγόνο είναι η αναπνοή φρούτων και λαχανικών. Η επιβράδυνση της αναπνοής είναι επιθυμητή για την παράταση του χρόνου ζωής των προϊόντων και μπορεί να επιτευχθεί με μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου. Πολύ χαμηλή συγκέντρωση όμως οδηγεί σε αναερόβια αναπνοή και γρήγορη αλλοίωση. Η χρήση υλικών συσκευασίας με διαφορετική διαπερατότητα σε οξυγόνο βοηθά στον έλεγχο όλων των δράσεων που αναφέρθηκαν. Εκτός του οξυγόνου μπορεί να ενδιαφέρει η διαπερατότητα της συσκευασίας σε διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο, ιδιαίτερα στις συσκευασίες φρέσκων φρούτων και λαχανικών και στις συσκευασίες σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Σε τρόφιμα πλούσια σε πτητικά αρωματικά συστατικά απαιτείται συσκευασία μη περατή από αυτά ώστε να διατηρηθεί το άρωμα του προϊόντος. Επίσης η συσκευασία πρέπει να προστατεύει το τρόφιμο από την πρόσληψη οσμών από το περιβάλλον.

- Υδρατμοί

Ο ρόλος του νερού στην ανάπτυξη ανεπιθύμητων δράσεων στα τρόφιμα αναπτύχθηκε στην παράγραφο 2.5. Επιπλέον, η πρόσληψη υγρασίας μπορεί να επιφέρει ανεπιθύμητες μεταβολές της υφής (απώλεια τρανότητας) και η απώλεια υγρασίας απώλεια βάρους, κρυσταλλώσεις, μεταβολές στην υφή και την εμφάνιση. Η υγρασία του τροφίμου εξαρτάται από την υγρασία του περιβάλλοντος αέρα, επομένως η διατήρηση σταθερής υγρασίας σε συσκευασμένο τρόφιμο προϋποθέτει τη χαμηλή διαπερατότητα από υδρατμούς του υλικού συσκευασίας. Σε ορισμένα προϊόντα, όπως στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά που αναπνέουν, είναι επιθυμητή η απομάκρυνση των παραγόμενων υδρατμών από το περιβάλλον της συσκευασίας ώστε να μην υπάρχει τοπική συμπύκνωσή τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτούνται υλικά συσκευασίας διαπερατά από τους υδρατμούς.

- Φως

Το φως καταλύει και επιταχύνει διάφορες ανεπιθύμητες αντιδράσεις στα τρόφιμα. Για παράδειγμα την οξειδωση των λιπαρών που οδηγεί σε οξειδωτικό ταγγισμό, την οξειδωση του γάλακτος προς σχηματισμό δύσοσμων μερκαπτανών, τις αντιδράσεις αλλοίωσης διαφόρων χρωστικών ουσιών, τις αντιδράσεις ορισμένων βιταμινών (ριβοφλαβίνη, βιταμίνη C) που οδηγούν σε απώλεια της αξίας τους, κλπ. Η καταλυτική επίδραση του φωτός είναι γενικά εντονότερη όσο χαμηλότερο το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, δηλ. στην περιοχή του υπεριώδους και στα χαμηλότερα μήκη κύματος του ορατού φάσματος. Οι επί μέρους αντιδράσεις υποβάθμισης των τροφίμων, παρ' όλα αυτά, μπορεί να εμφανίζονται βέλτιστο σε ορισμένο μήκος κύματος. Ειδικά η παρουσία φωτοευαίσθητοποιητών, όπως ριβοφλαβίνης, β-καροτενίου, βιταμίνης A, ή υπεροξειδίων μπορεί να αυξήσει σημαντικά το φάσμα της δραστηρικής ακτινοβολίας. Επίσης η κατεργασία του τροφίμου μπορεί να επηρεάσει την ευαισθησία σε διάφορα μήκη κύματος, π.χ. κρέας συντηρημένο με νιτρώδη χάνει το φυσικό του χρώμα γρήγορα με έκθεση σε ορατό ή υπεριώδες φως, ενώ το νωπό κρέας μόνο στο υπεριώδες. (Blunden et al., 2003)

Εκτός του μήκους κύματος η ένταση της ακτινοβολίας και η διάρκεια της έκθεσης είναι σημαντικές. Η διείσδυση της ακτινοβολίας στο τρόφιμο εξαρτάται από το ίδιο το τρόφιμο και ακολουθεί την εκθετική σχέση (νόμος Beer-Lambert):

$$I/I_0 = e^{-kx}$$

όπου

I_x ένταση του φωτός σε βάθος x του τροφίμου (Cd)

I_0 ένταση του φωτός στην επιφάνεια του τροφίμου (Cd)

k χαρακτηριστική σταθερά απορρόφησης του τροφίμου σε ορισμένο μήκος

κύματος (m^{-1})

Μεγαλύτερη διείσδυση παρουσιάζει η ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος. Στα στερεά τρόφιμα η μικρή διείσδυση της ακτινοβολίας τα προστατεύει σε μεγάλο βαθμό από τις ανεπιθύμητες φωτοκαταλυόμενες αντιδράσεις. Αντίθετα στα υγρά τρόφιμα, ακόμη και εάν η διείσδυση είναι μικρή η διάχυση των αντιδρώντων συστατικών προς την επιφάνεια και των σχηματιζόμενων από τη φωτοκατάλυση ελεύθερων ριζών προς το εσωτερικό οδηγεί σε σημαντική υποβάθμιση. Η διαπερατότητα του υλικού συσκευασίας από το φως καθορίζει την ένταση του φωτός στην επιφάνεια του τροφίμου και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των φωτοκαταλυόμενων δράσεων.

Μόλυνση με μικροοργανισμούς ή με διάφορες ουσίες από το περιβάλλον Η ποιότητα των τροφίμων υποβαθμίζεται σε όλες τις περιπτώσεις αν αυτά μολυνθούν από εξωτερικούς παράγοντες. Ιδιαίτερα η προσβολή από μικροοργανισμούς μπορεί να προκαλέσει τη γρήγορη αλλοίωση ή την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών στο τρόφιμο. Η συσκευασία, εφόσον απομονώνει το τρόφιμο από το περιβάλλον μπορεί να το προστατεύσει από τη μόλυνση. Η

απαίτηση προστασίας εξαρτάται από το προϊόν. Στα προϊόντα που έχουν υποστεί κάποια κατεργασία με στόχο την καταστροφή των μικροοργανισμών απαιτείται απόλυτη προστασία από επιμόλυνση. Η συσκευασία μπορεί επίσης να προστατεύσει τα τρόφιμα από τα έντομα ή και από τα τρωκτικά. Αυτή η προστασία επιτυγχάνεται απόλυτα μόνο με τα μεταλλικά και τα γυάλινα δοχεία. (Gray et al., 1987)

Οι κυριότεροι τύποι υλικών συσκευασίας με βάση τη φύση του υλικού είναι:

Χαρτί για εύκαμπτη συσκευασία

Χαρτόνι για δύσκαμπτους περιέκτες

Μεταλλικά δοχεία

Μεταλλικά φύλλα για εύκαμπτη συσκευασία

Γυάλινα δοχεία

Πλαστικές μεμβράνες

Πλαστικοί περιέκτες δύσκαμπτοι

Ξύλινοι περιέκτες

(Robertson, 1993)

2.12. Επίδραση του υλικού συσκευασίας στις μεταβολές θερμοκρασίας του τροφίμου

Η συσκευασία επηρεάζει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας προς και από το τρόφιμο. Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να γίνει με αγωγή, συναγωγή ή ακτινοβολία και επομένως επηρεάζεται από το πάχος και τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού συσκευασίας, το πορώδες του, και την ικανότητα ανάκλασης της ακτινοβολίας. Το σύνολο αυτών των ιδιοτήτων προσδιορίζει και την ικανότητα θερμομόνωσης του υλικού συσκευασίας. (Turner, 1998)

Υψηλή ικανότητα θερμομόνωσης είναι επιθυμητή σε υλικά που χρησιμοποιούνται στη συσκευασία προϊόντων που διατηρούνται υπό ψύξη, ώστε να είναι μικρή η άνοδος της θερμοκρασίας αυτών εάν παραμείνουν ορισμένα χρονικά διαστήματα εκτός ψυγείου κατά τη μεταφορά και τη διανομή. Το ίδιο ισχύει για τα υλικά συσκευασίας κατεψυγμένων προϊόντων, εφ' όσον η κατάψυξη γίνεται πριν τη συσκευασία. Σε αντίθετη περίπτωση το υλικό συσκευασίας με υψηλή θερμομόνωση επιβραδύνει πολύ το ρυθμό κατάψυξης. Στην περίπτωση των κατεψυγμένων τροφίμων σημαντική είναι η ύπαρξη εξωτερικής συσκευασίας ώστε να επιβραδύνεται ο ρυθμός απόψυξης σε κακή θερμοκρασιακή μεταχείριση κατά τη μεταφορά. (Lund, 1975)

Ανάμεσα στα υλικά συσκευασίας που κυρίως χρησιμοποιούνται για ψυγμένα και κατεψυγμένα τρόφιμα τα πλαστικά υλικά παρουσιάζουν μικρότερη θερμομόνωση από τα χαρτονένια κουτιά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ως υλικό το αλουμινόφυλλο για τη συσκευασία κατεψυγμένων τροφίμων που εκτίθενται σε θαλάμους στα σημεία πώλησης. Σε αυτή την περίπτωση κατά την έκθεση του τροφίμου η απαγωγή θερμότητας μέσω της συσκευασίας γίνεται κυρίως με αγωγή, ενώ

παράλληλα προσδίδεται θερμότητα με ακτινοβολία από τους λαμπτήρες του θαλάμου έκθεσης. Η υψηλή ικανότητα ανάκλασης και η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα του αλουμινοφύλλου το κάνει καταλληλότερο από όλα τα άλλα υλικά συσκευασίας υπό αυτές τις συνθήκες. (Gray, 1987)

3. Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι:

- Η μελέτη της κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή και η διαπίστωση με βάση τις μετρήσεις, αν είναι η επιθυμητή.
- Η μελέτη της διείσδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και αν επιτυγχάνεται η πλήρης αποστείρωσή της.
- Αν επιτυγχάνεται η θερμοκρασία και ο χρόνος αποστείρωσης που έχουν οριστεί.
- Αν η θερμοκρασία και ο χρόνος αποστείρωσης, ελαχιστοποιεί την πιθανότητα ύπαρξης ζώντων μικροοργανισμών στο εσωτερικό των κονσερβών.

4. Πειραματικό μέρος

4.1. Υλικά και μέθοδοι

4.1.1 Κονσερβοποιημένα έτοιμα γεύματα

Τα δείγματα, τα οποία παρασκεύαζε η ίδια η εταιρία στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, αποτελούνταν από κονσερβοποιημένα έτοιμα γεύματα όπως ντολμαδάκια γιαλαντζί 350g, αγκινάρες αλά πολίτα 350g, σάλτσα σολομού 180g, ντολμαδάκια γιαλαντζί 260g, γίγαντες γιαχνί 350g, γίγαντες γιαχνί 280g, γίγαντες γιαχνί 2kg, μπάμιες λαδερές 280g, φασόλια ψιλά 400g, φασόλια σε άλμη 2kg και φασόλια πιάζ 2kg.

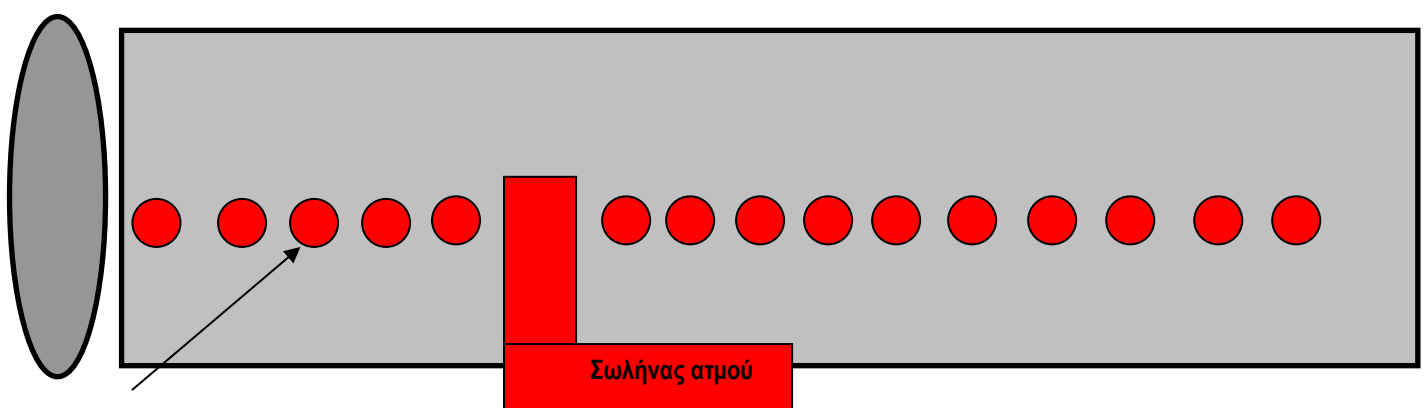
4.1.2 Όργανα

- Data logger-ebro
- Αποστειρωτές συνεχούς λειτουργίας προγράμματος νερού- ατμού.

4.1.3 Τοποθέτηση κονσερβών και τρόπος λειτουργίας αποστειρωτών

Μετά την επιλογή των προϊόντων τα οποία θα μελετηθούν, τοποθετήθηκαν τα data logger 'χιαστή' στα καλάθια των αποστειρωτών. Ανάλογα με το είδος του κονσερβοποιημένου προϊόντος, επιλέχθηκε το αντίστοιχο πρόγραμμα αποστείρωσης και αφού πραγματοποιήθηκε, βγήκαν από τον αποστειρωτή ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και κατόπιν έγινε η καταγραφή των αποτελεσμάτων.

Οι αποστειρωτές του εργοστασίου είναι οριζόντιοι με χωρητικότητα 4 και 2 καλάθων [έξι αποστειρωτές είναι τετρακάλαθοι και ένας είναι δικάλαθος]. Όλοι λειτουργούν σε πρόγραμμα νερού και ατμού. Η διοχέτευση του ατμού στο εσωτερικό των αποστειρωτών γίνεται με 2 τρόπους και αυτό σχετίζεται με το τύπο του αποστειρωτή. Ο αποστειρωτής No 1 είναι πιο παλιού τύπου και ο ατμός έρχεται από τη κεντρική σωλήνα που βρίσκεται περίπου στο κέντρο του καζανιού του αποστειρωτή και από εκεί εισέρχεται εντός, από 30 σημεία – τρύπες που βρίσκονται στο κάτω σημείο- πάτο του καζανιού. Το ίδιο ισχύει και στον αποστειρωτή No 7 [Σχήμα 4]. Για τους άλλους αποστειρωτές ο ατμός έρχεται από τη κεντρική σωλήνα από το πίσω μέρος του καζανιού και από εκεί διοχετεύεται σε 2 σωλήνες – σερπαντίνες που βρίσκονται το πάτο του καζανιού [Σχήμα 5].



Σημεία παροχής
ατμού

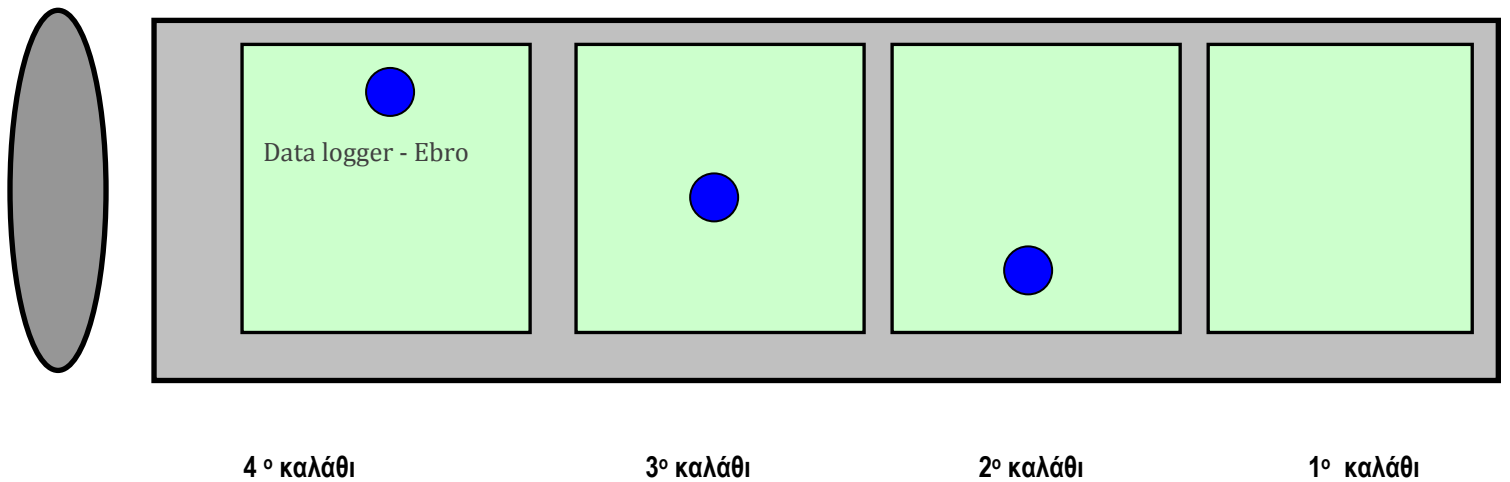
Σχήμα 4. [αποστειρωτές Νο 1 και Νο 7]



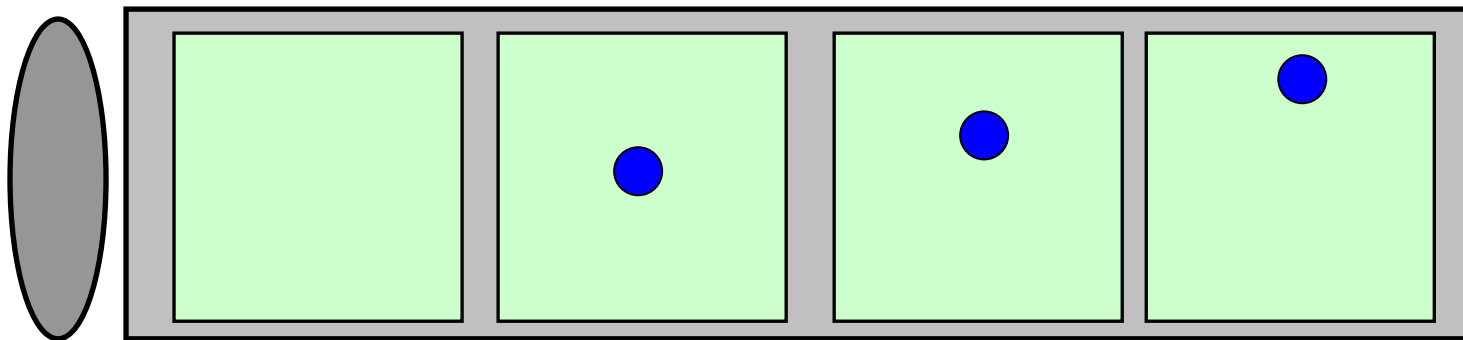
Σωλήνες παροχής
ατμού

Σχήμα 5 [αποστειρωτές Νο 2, Νο 3, Νο 4, Νο 5 και Νο 6]

Για τον έλεγχο της θερμικής κατανομής (heat distribution) χρησιμοποιούνται τα data logger – ebro τα οποία προγραμματίζονται και τοποθετούνται σε διάφορα σημεία εντός του αποστειρωτή όπως περιγράφεται στα παρακάτω σχήματα 6 και 7



Σχήμα 6



Σχήμα 7

Για τη μελέτη της θερμικής κατανομής, το εργαστήριο διαθέτει 3 data logger. Τα data logger προγραμματίζονται στον υπολογιστή και ταυτόχρονα επισημαίνεται σε πιο σημείο- καλάθι θα τοποθετηθούν για να αποφευχθεί ο κίνδυνος να μπερδευτούν. Η τοποθέτηση τους γίνεται εκτός των κουτιών αλλά εντός των καλάθιων με πολλή προσοχή για να μην υπάρχει περίπτωση να υποστούν βλάβη .

Αυτή η διαδικασία γίνεται και στα 2 προγράμματα λειτουργίας των αποστειρωτών δηλαδή στο πρόγραμμα νερού και ατμού. Η αποδεκτή απόκλιση μεταξύ των θερμοκρασιών των data logger είναι $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Πίνακας 3. Πλάνο αποστείρωσης για την περίπτωση του Heat Distribution

| Αποστειρωτής | Πρόγραμμα Αποστειρωτή | |
|--------------|-----------------------|-------|
| | Νερού | Ατμού |
| 1 | - | X |
| 2 | X | X |
| 3 | - | X |
| 4 | X | - |
| 5 | - | X |
| 6 | X | X |
| 7 | X | X |

Η μελέτη της θερμικής διείσδυσης περιελάμβανε διαφορετικά δυσμενή για το προϊόν σενάρια και τα οποία είναι τα εξής:

- ✓ Υπέρβαρο προϊόν
- ✓ Ελλειποβαρή προϊόν
- ✓ Προϊόν με χαμηλή εσωτερική θερμοκρασία πριν μπει στην αποστειρωτή (χρόνος αναμονής 1h)
- ✓ Προϊόν με διαφορετικές αναλογίες υγρών στερεών

Το προϊόν στο οποίο ελέγχθηκε η θερμική διείσδυση (heat penetration) ήταν ο ντολμάς 350γρ στον 2^ο αποστειρωτή σε όλα τα καλάθια . Το εβρο τοποθετήθηκε στο ίδιο σημείο στα καλάθια.

Πίνακας 4. Πλάνο αποστείρωσης για την περίπτωση του Heat Penetration

| Περιπτώσεις | Καλάθια Αποστειρωτή | | | |
|--------------------------------------|---------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Υπέρβαρο Προϊόν | X | X | X | X |
| Ελλειποβαρες Προϊόν | X | X | X | X |
| Χρόνος Αναμονής 1h | X | X | X | X |
| Διαφορετικές αναλογίες υγρών-στερεών | X | X | X | X |

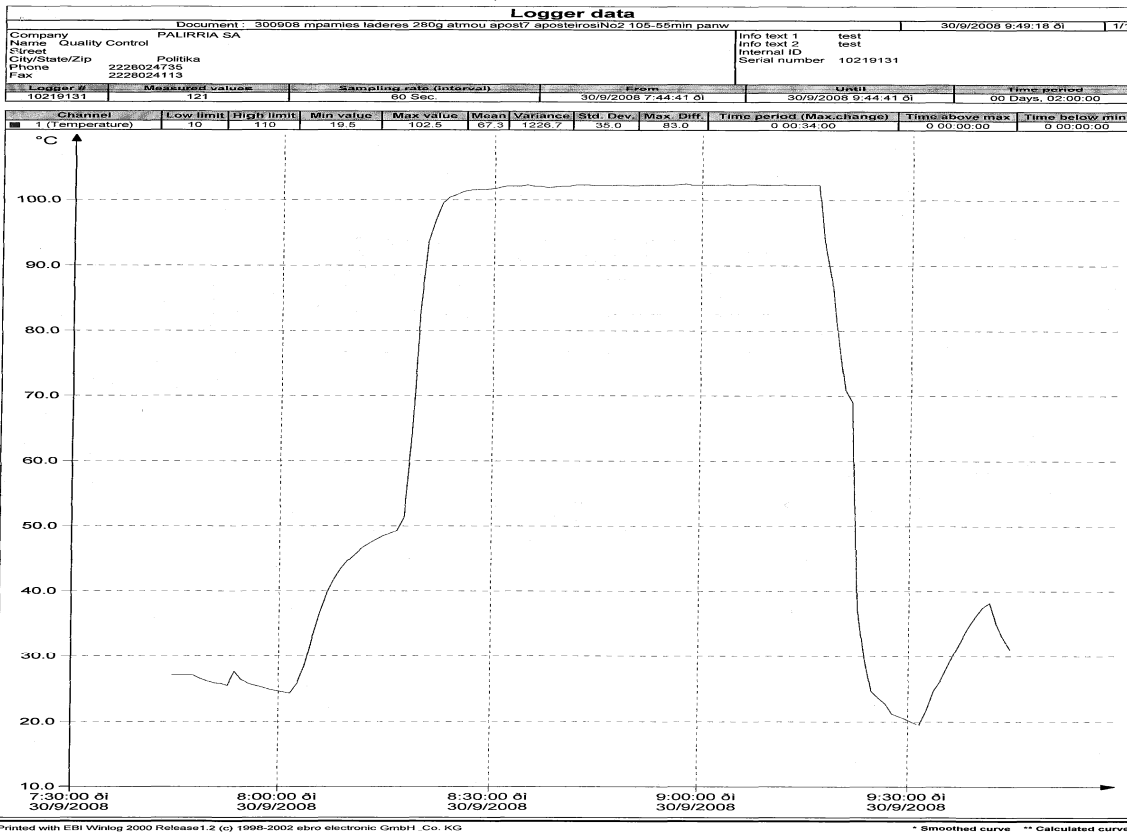
4.2 Ανάγνωση και καταγραφή των μετρήσεων από τα data logger

Μετά το πέρας της αποστείρωσης, συλλέχθηκαν τα data logger και μέσω ειδικού προγράμματος, καταγράφηκαν οι μετρήσεις σε αρχείο Excel και αποτυπώθηκαν οι θερμοκρασιακές αλλαγές με μορφή καμπύλης.

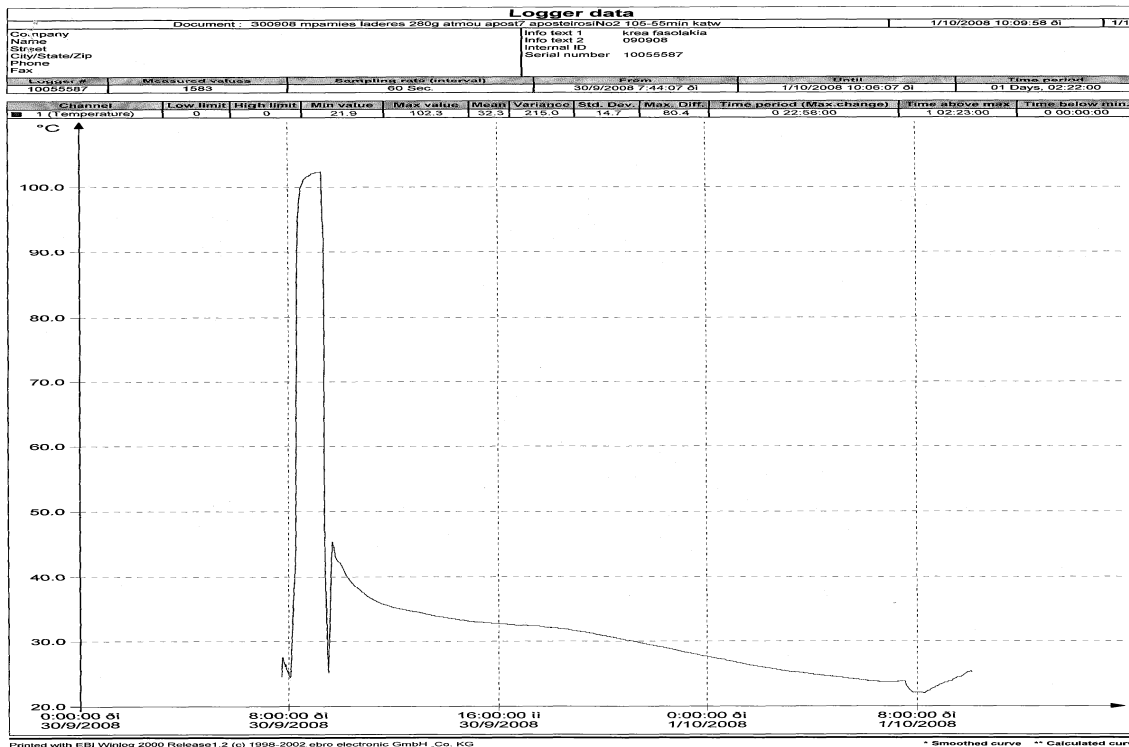
- Heat Distribution - Πρόγραμμα ατμού

Στα σχήματα 8 και 9, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά για την αποστείρωση του προϊόντος «Μπάμιες λαδερές 280g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 105°C για 55min.

Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο πάνω καλάθι είναι 102,5°C για 11min ενώ στο κάτω 102,3°C για 11min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των δύο καλάθιων είναι πολύ μικρή, της τάξεως των 0,2°C, ενώ ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι ο ίδιος. Σε καμία όμως από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις δεν επιτεύχθηκε η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης. (Η διαφορά στην κλίμακα η οποία παρατηρείται μεταξύ των σχημάτων 8 και 9, οφείλεται στο γεγονός του παρατεταμένου χρόνου παραμονής του data logger στο καλάθι του αποστειρωτή, πριν την αποτύπωση των μετρήσεων. Το data logger λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας μνήμης την οποία διέθετε, συμπύκνωσε αυτόματα την καμπύλη στο σχήμα 9, προκειμένου να καλύψει τον ελεύθερο χώρο μνήμης του με όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις).



Σχήμα 8. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 7).

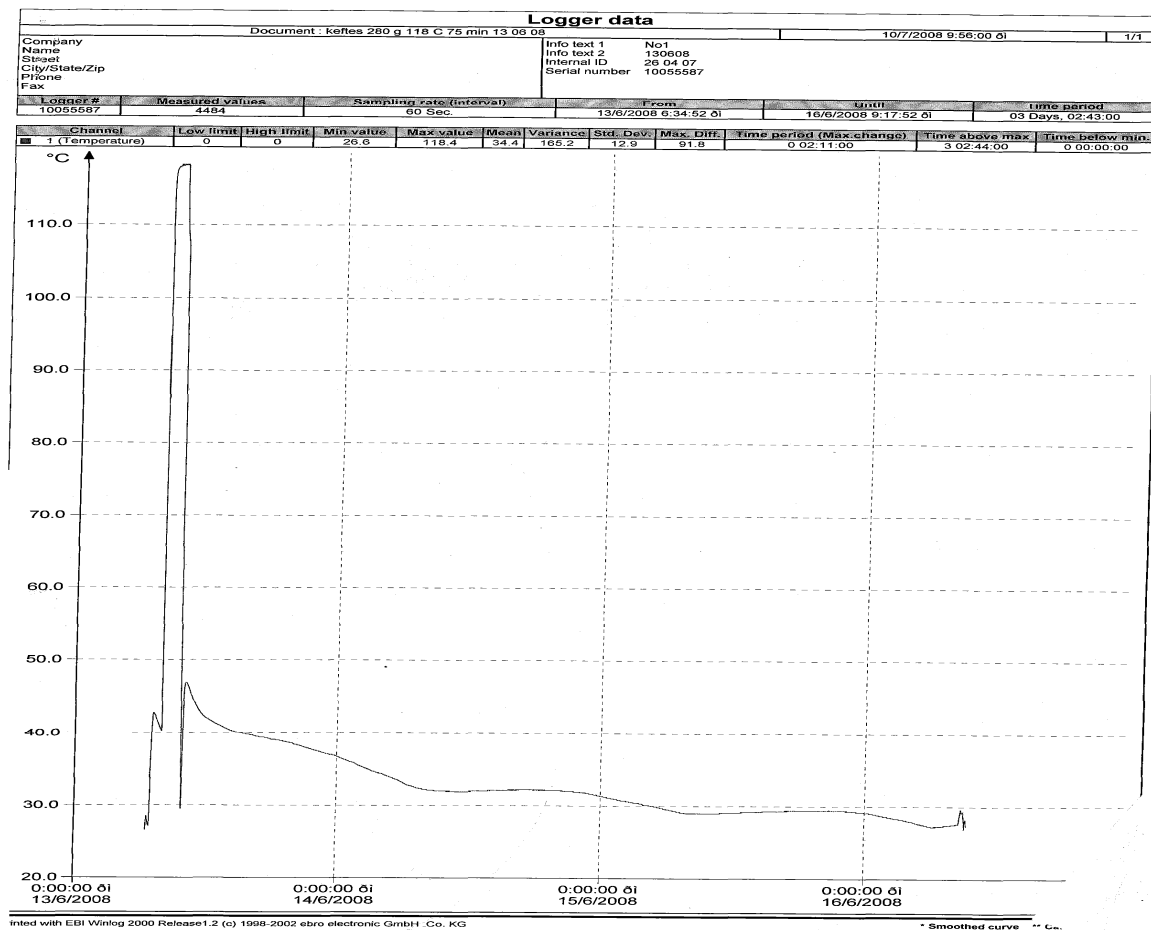


Σχήμα 9. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 7).

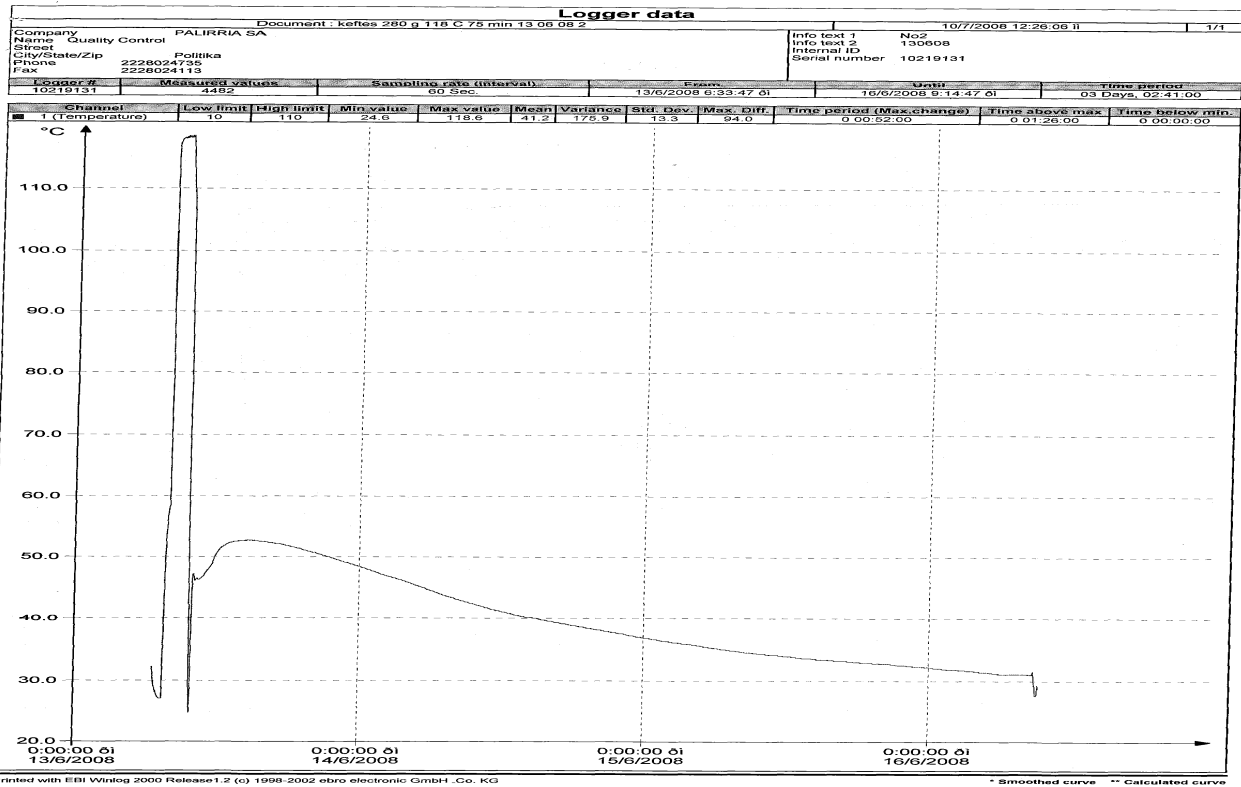
Στα σχήματα 10,11 και 12, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά την αποστείρωση του προϊόντος «Κεφτεδάκια 280g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 118°C για 75min.

Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο κάτω καλάθι είναι 118,3°C για 20min, στο μεσαίο καλάθι 118,3°C για 25min ενώ στο πάνω 118,4°C για 16min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των τριών καλάθιών είναι πολύ μικρή, της τάξεως των 0,1°C, ενώ ο χρόνος παραμονής είναι μεγαλύτερος στο μεσαίο καλάθι. Η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης, επιτεύχθηκε και στα τρία καλάθια, ενώ μεγαλύτερη διάρκεια είχε στο μεσαίο.

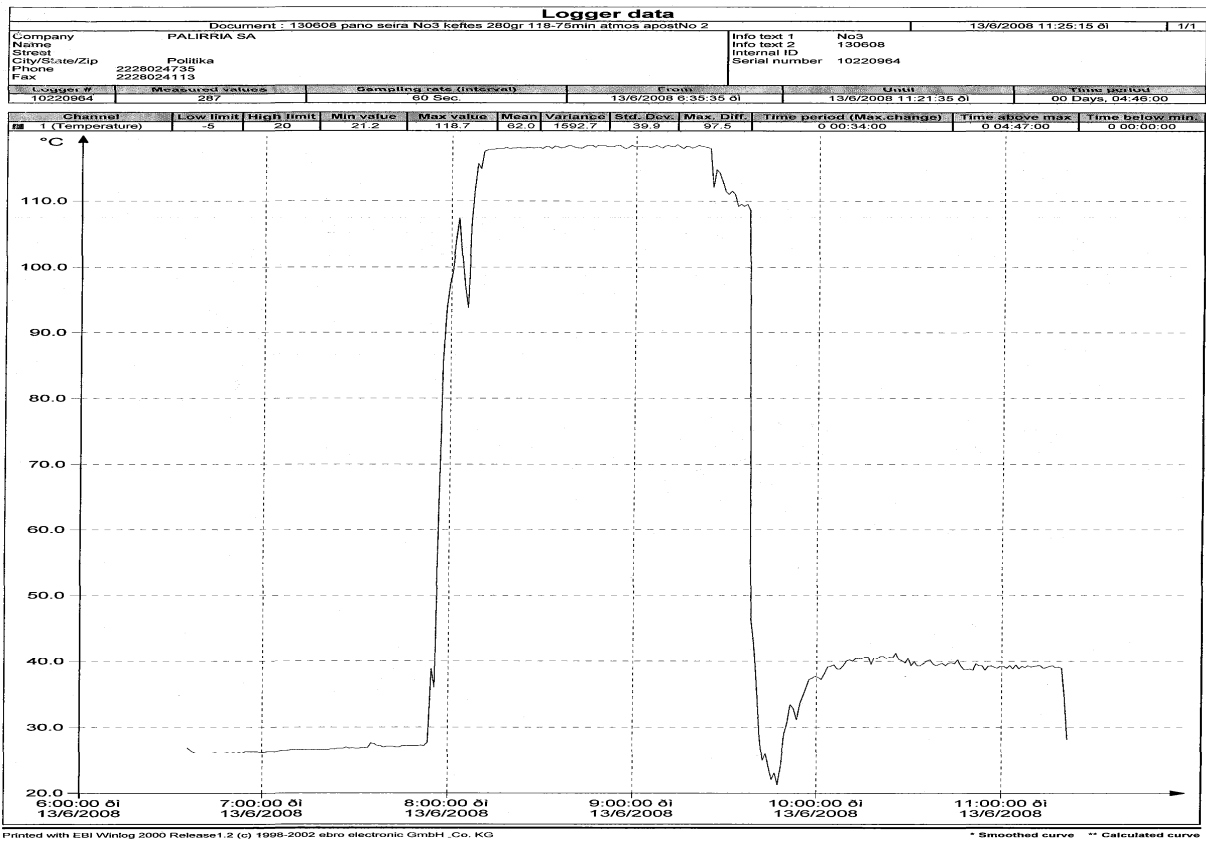
Σύμφωνα με τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι, η κατανομή της θερμότητας είναι καλύτερη, από άποψη διάρκειας, στο κέντρο του αποστειρωτή. (Η διαφορά στην κλίμακα η οποία παρατηρείται μεταξύ των σχημάτων 10,11 και 12, οφείλεται στο γεγονός του παρατεταμένου χρόνου παραμονής του data logger στο καλάθι του αποστειρωτή, πριν την αποτύπωση των μετρήσεων. Το data logger λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας μνήμης την οποία διέθετε, συμπύκνωσε αυτόματα την καμπύλη στα σχήματα 10 και 11, προκειμένου να καλύψει τον ελεύθερο χώρο μνήμης του με όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις).



Σχήμα 10. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 2) .



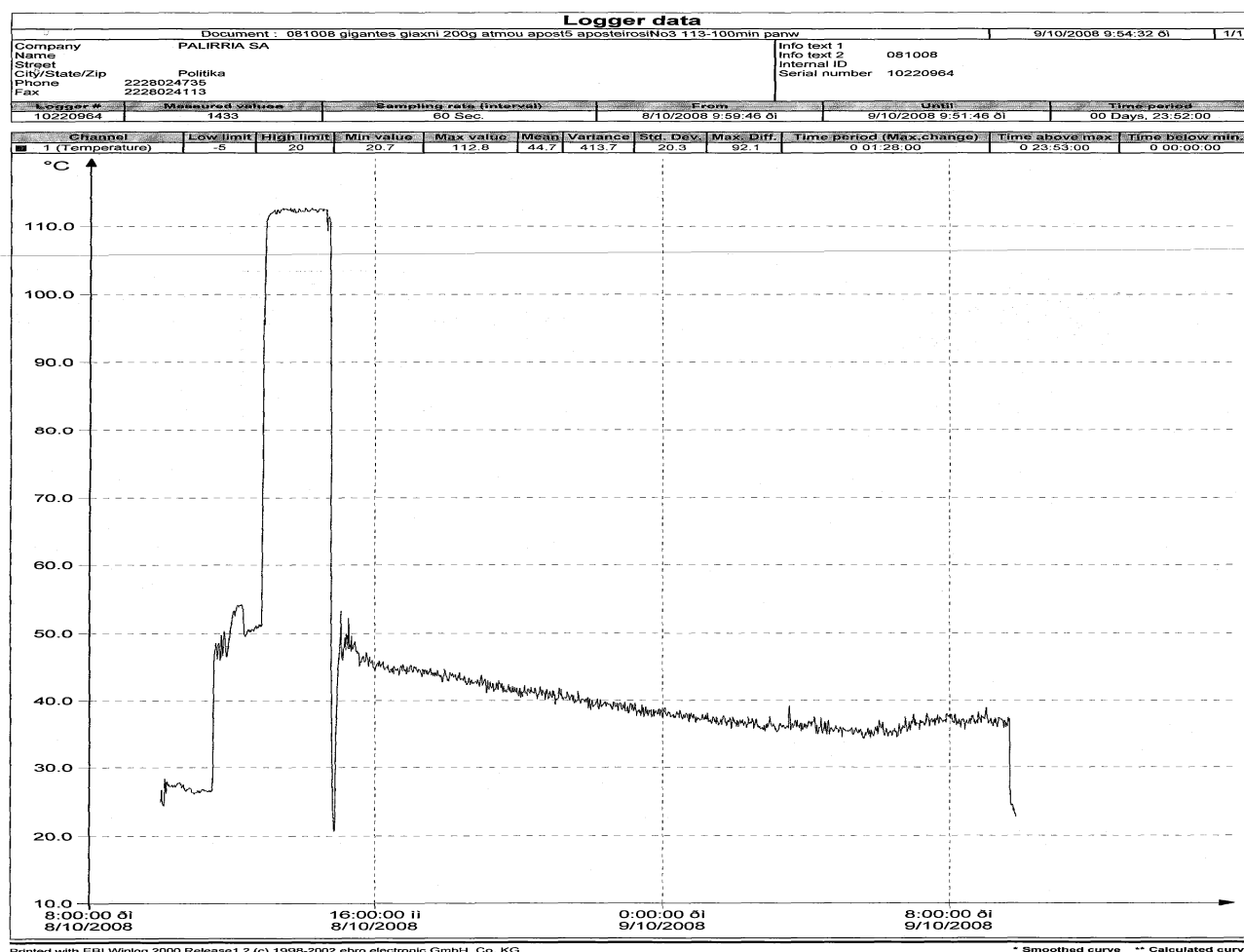
Σχήμα 11. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο μεσαίο καλάθι του αποστειρωτή No 2).



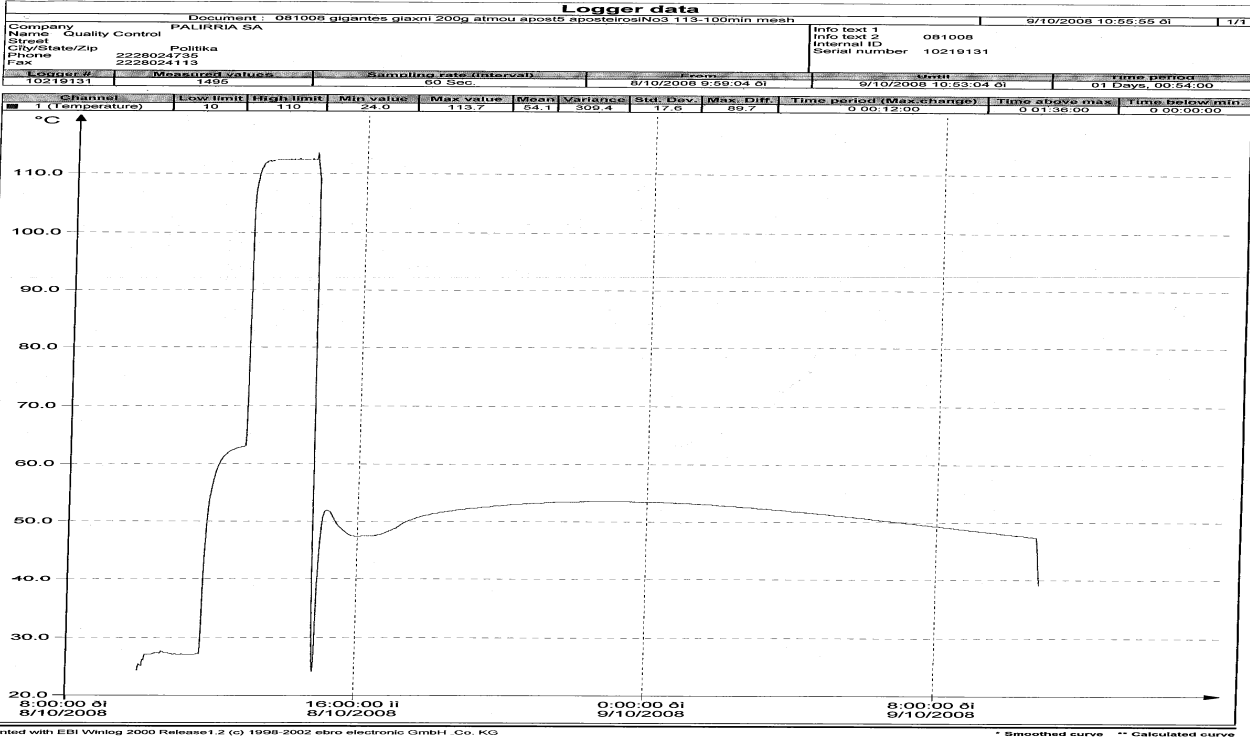
Σχήμα 12. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 2) .

Στα σχήματα 13,14 και 15, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά την αποστείρωση του προϊόντος «Γίγαντες γιαχνί 200g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 113°C για 100min.

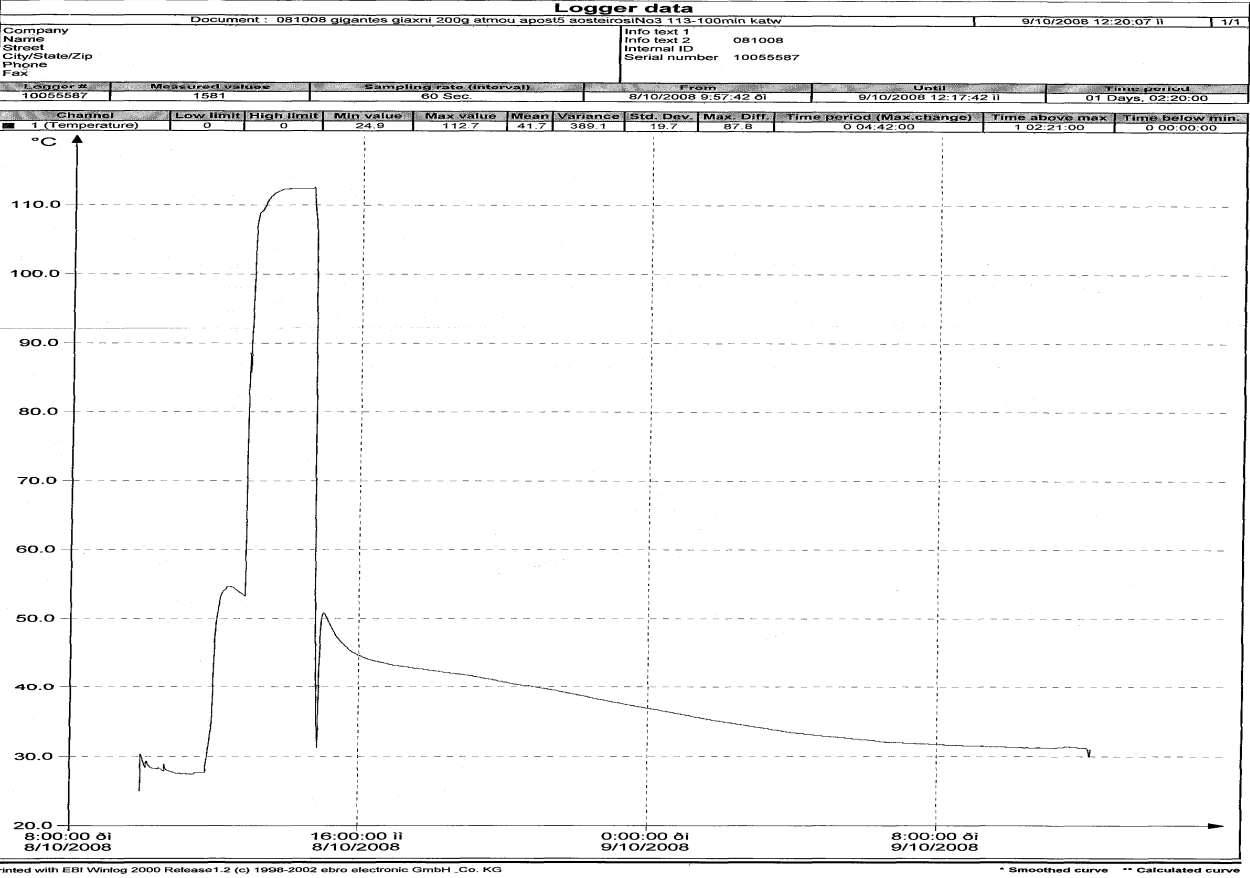
Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο κάτω καλάθι είναι 102,6°C για 22min, στο μεσαίο καλάθι 102,4°C για 40min ενώ στο πάνω 102,5°C για 33min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των τριών καλάθων είναι της τάξεως των 0,2°C, ενώ ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι μεγαλύτερος στο μεσαίο καλάθι. Η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης, δεν επιτεύχθηκε σε κανένα από τα τρία καλάθια.



Σχήμα 13. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 5) .



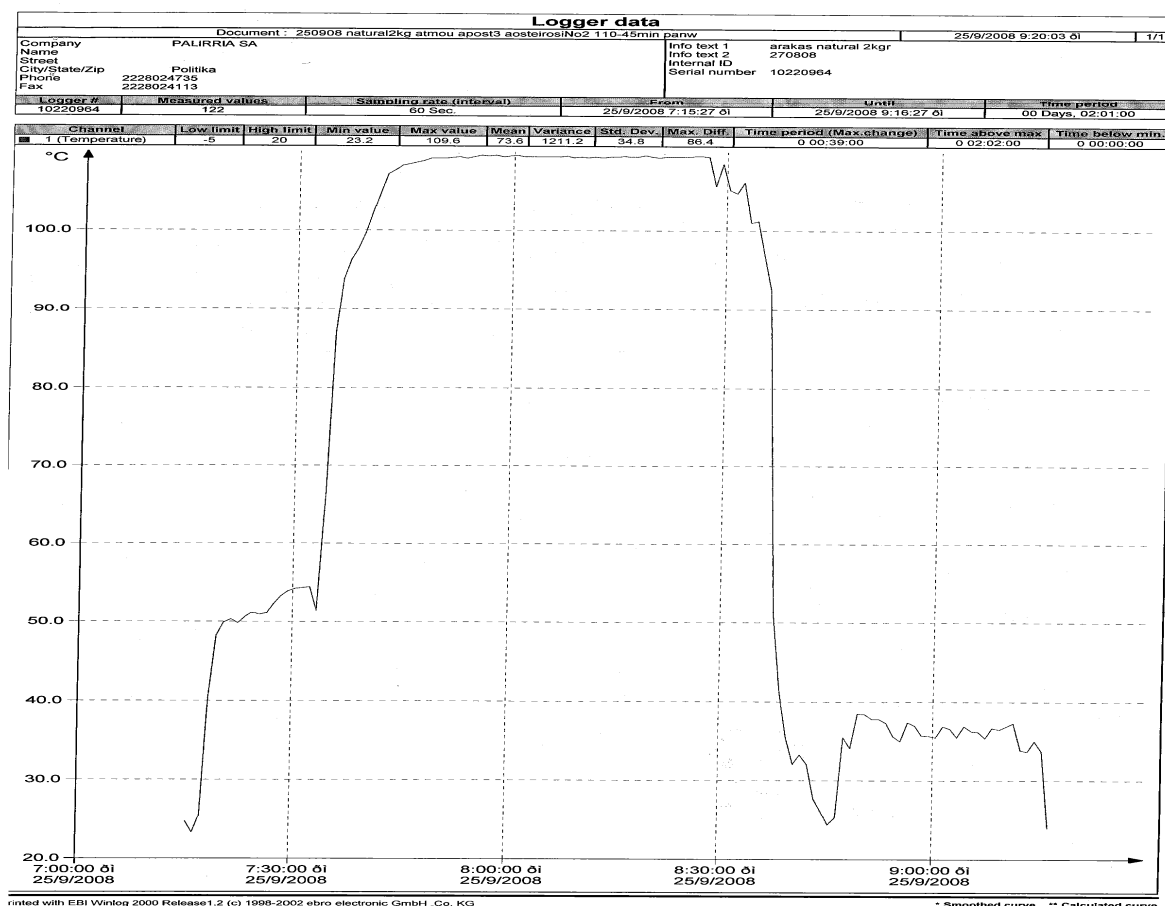
Σχήμα 14. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 5) .



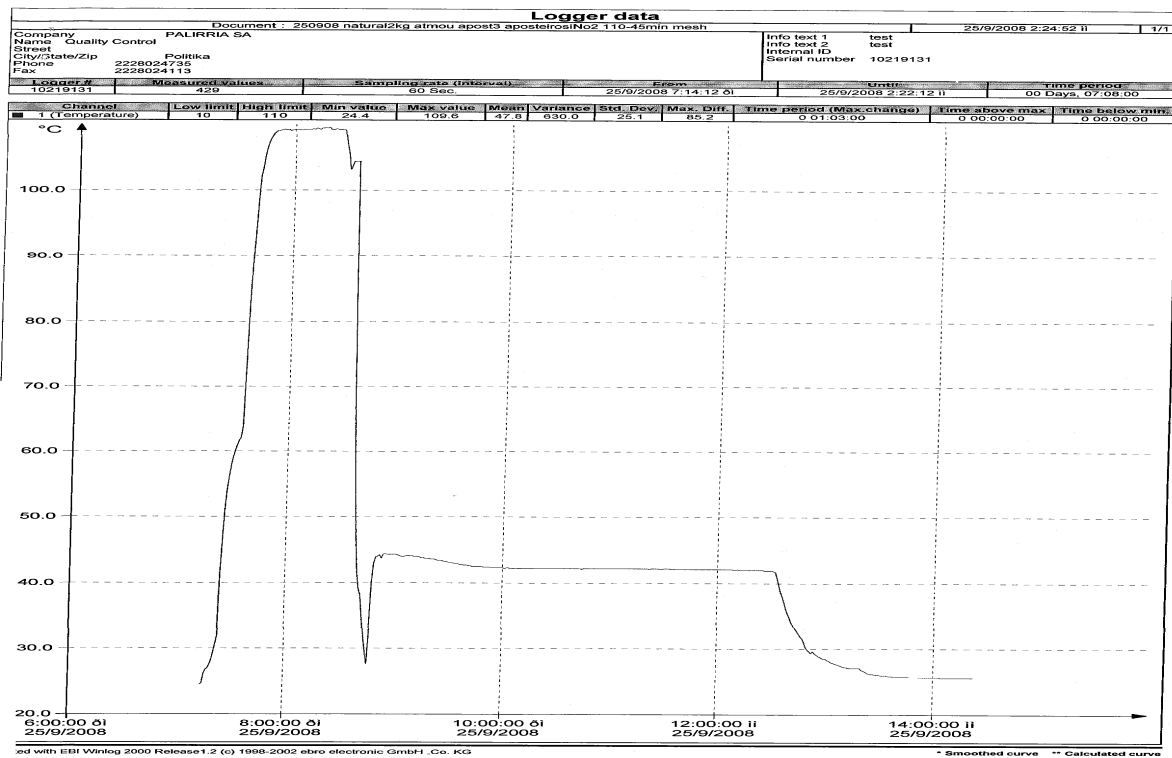
Σχήμα 15. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο μεσαίο καλάθι του αποστειρωτή No 5) .

Στα σχήματα 16,17 και 18, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά για την αποστείρωση του προϊόντος «Φασόλια σε άλμη 2kg». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 110°C για 45min.

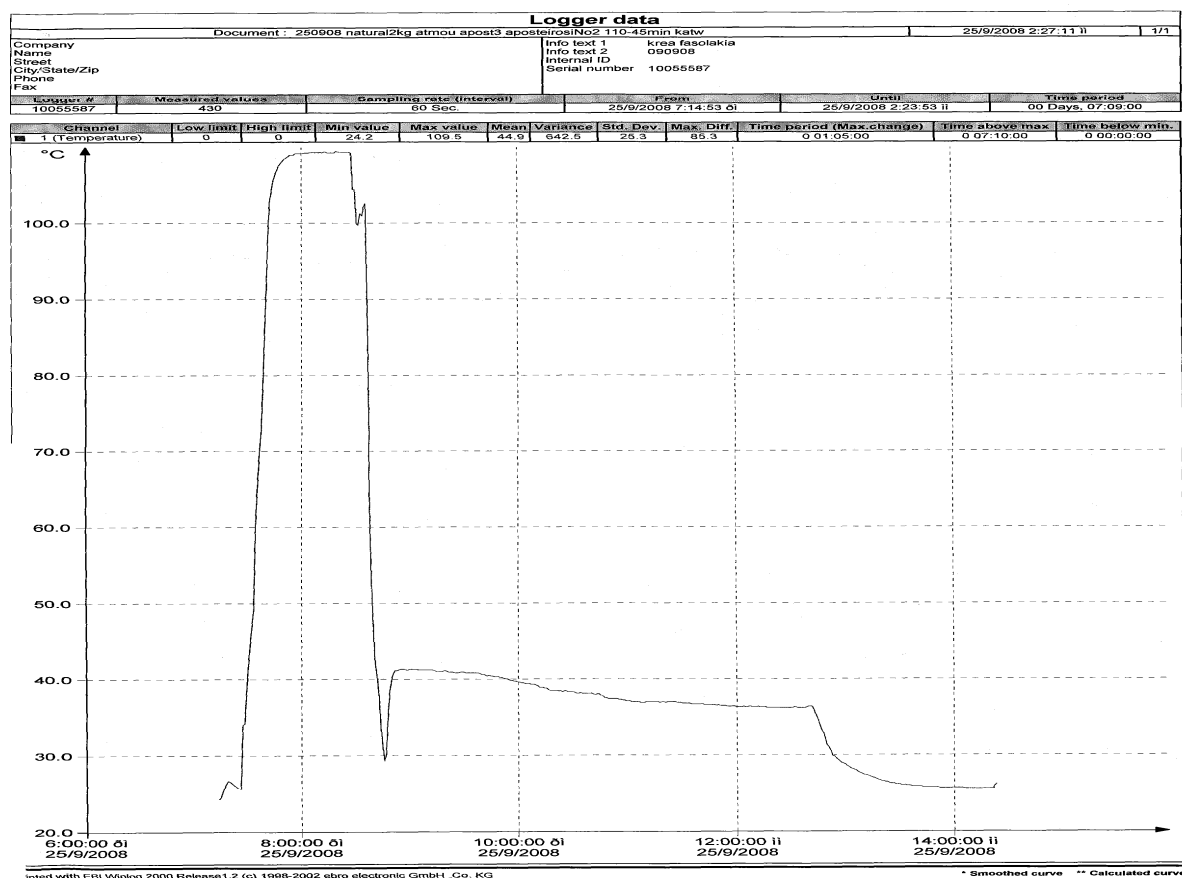
Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο κάτω καλάθι είναι 109,4°C για 12min, στο μεσαίο καλάθι 109,4°C για 21min ενώ στο πάνω 109,3°C για 45min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των τριών καλάθιων είναι της τάξεως των 0,1°C, ενώ ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι μεγαλύτερος στο πάνω καλάθι. Η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης, δεν επιτεύχθηκε σε κανένα από τα τρία καλάθια άλλα η απόκλιση από αυτή ήταν 0,6 και 0,7°C.



Σχήμα 16. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο μεσαίο καλάθι του αποστειρωτή No 3) .



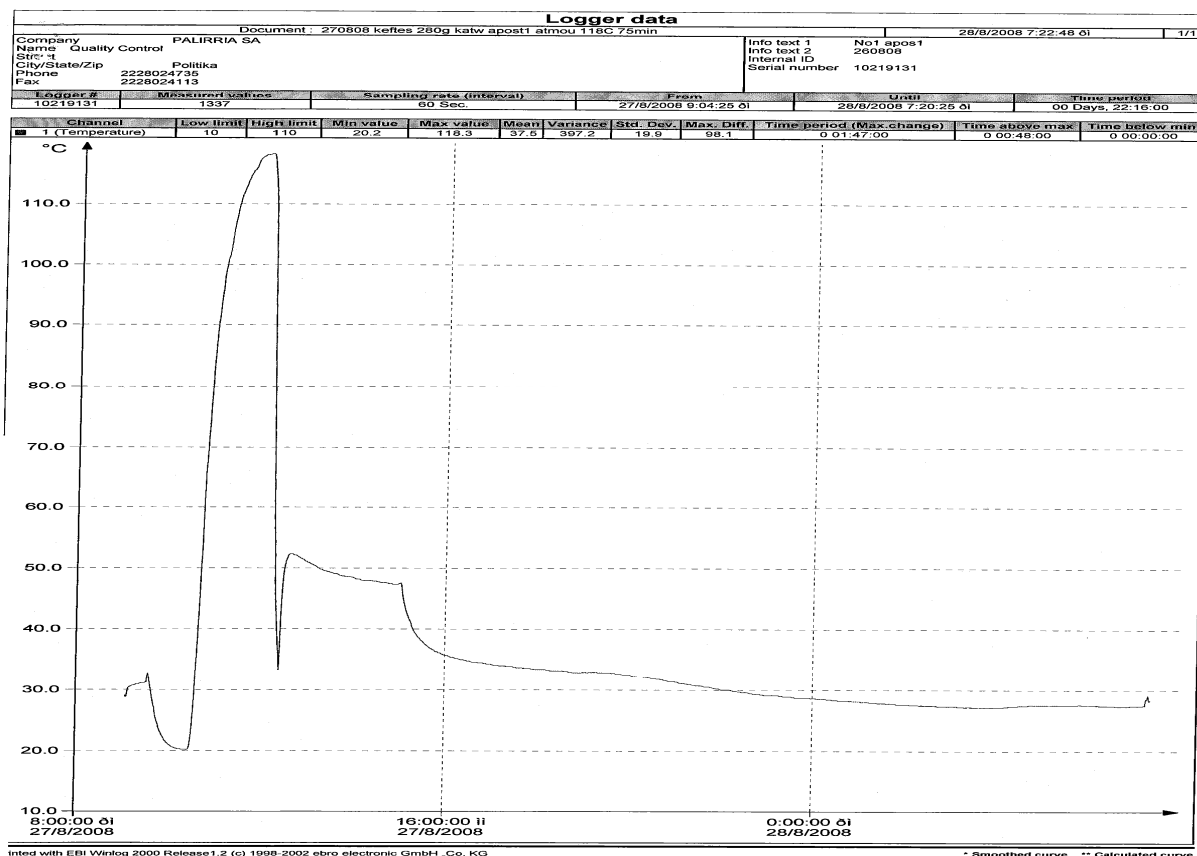
Σχήμα 17. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 3).



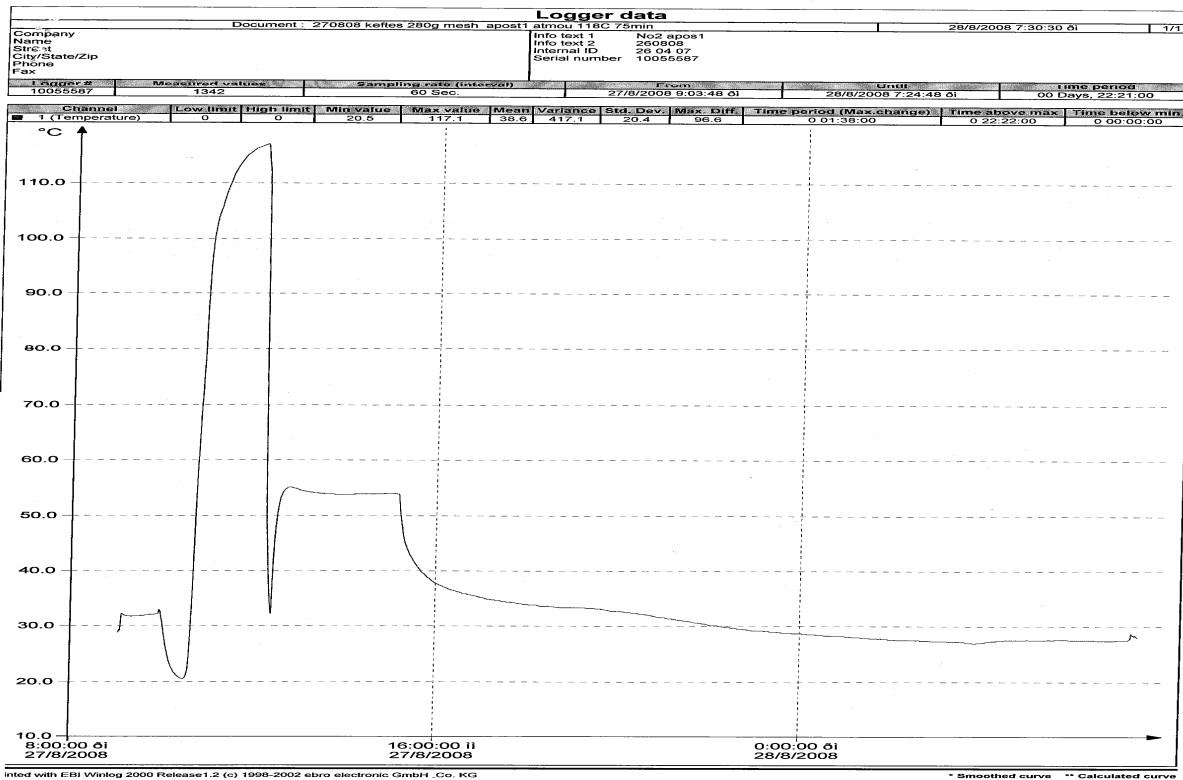
Σχήμα 18. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 3).

Στα σχήματα 19,20 και 21, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά την αποστείρωση του προϊόντος «Κεφτεδάκια 280g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 118°C για 75min.

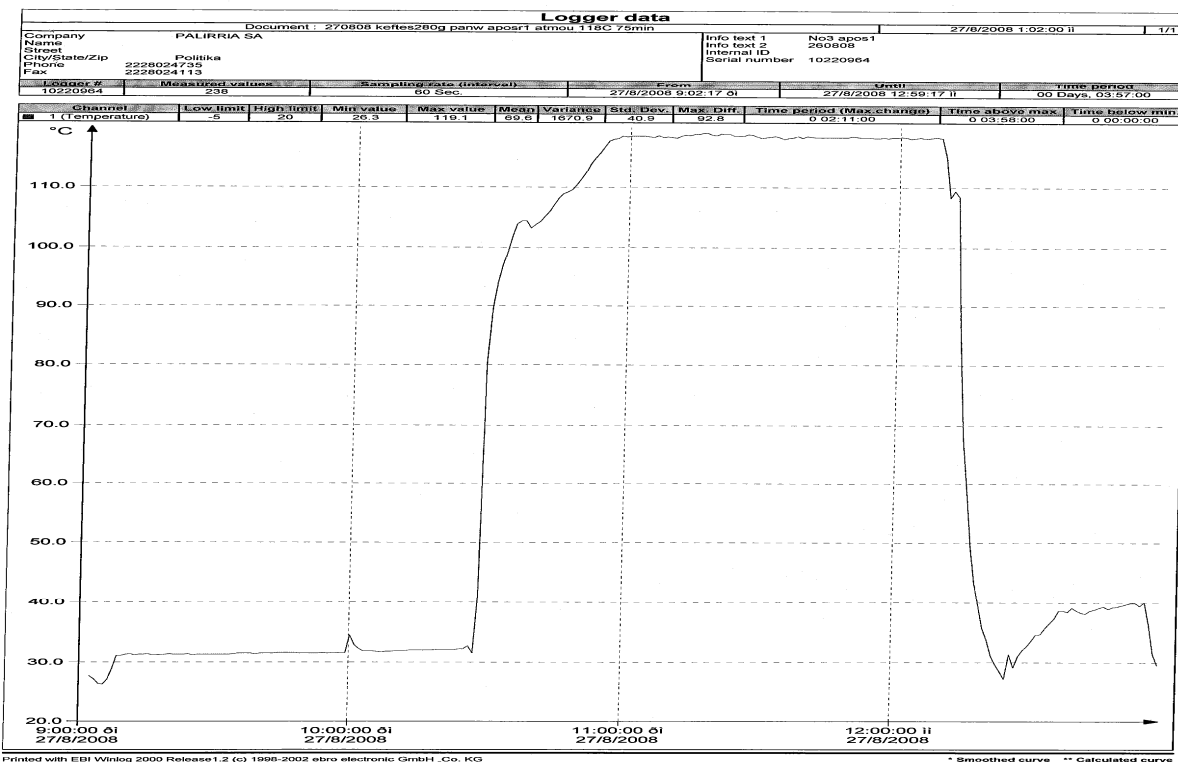
Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο κάτω καλάθι είναι 116,6°C για 3min, στο μεσαίο καλάθι 118,2°C για 5min ενώ στο πάνω 118,4°C για 24min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των τριών καλάθιών είναι της τάξεως των 1,8°C, καθώς τόσο η θερμοκρασία αποστείρωσης, όσο και ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι μεγαλύτερος στο πάνω καλάθι. Η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης, δεν επιτεύχθηκε μόνο στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή.



Σχήμα 19. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο μεσαίο καλάθι του αποστειρωτή No 1) .



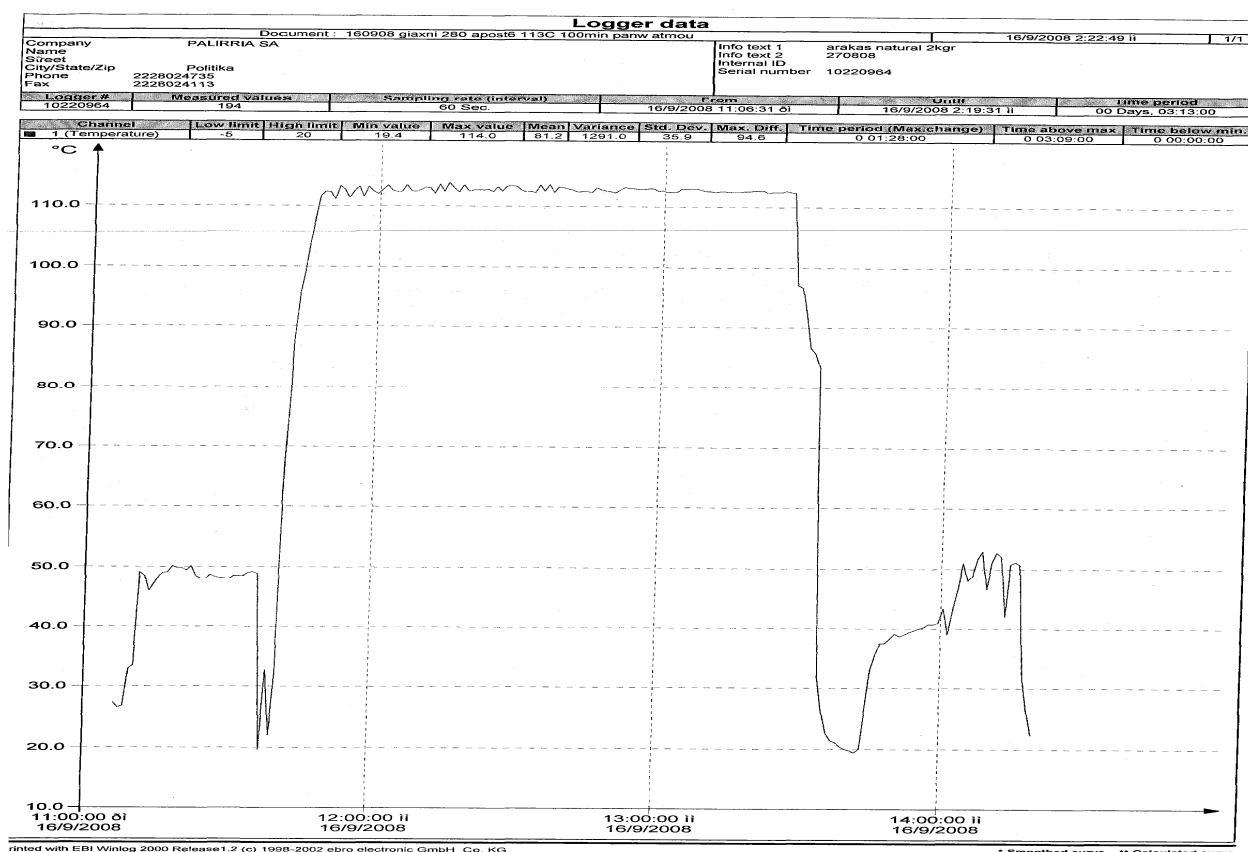
Σχήμα 20. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 1) .



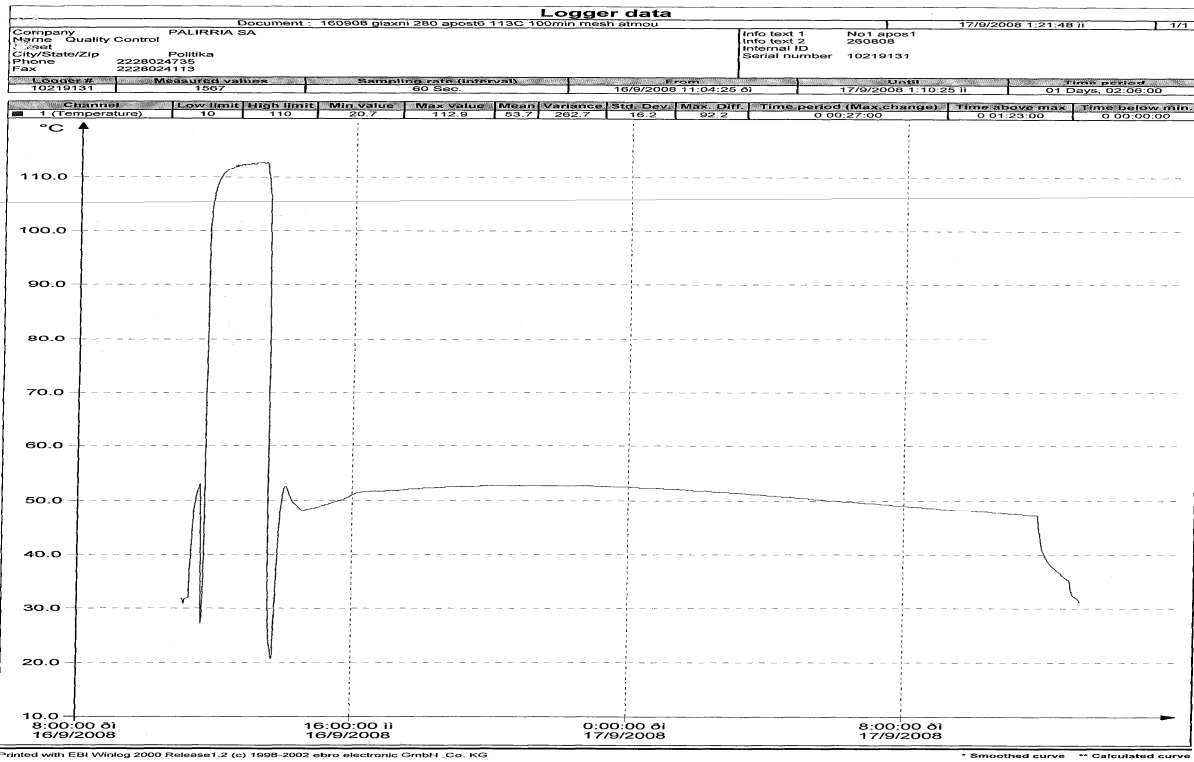
Σχήμα 21. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 1) .

Στα σχήματα 22,23 και 24, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά την αποστείρωση του προϊόντος «Γίγαντες γιαχνί 280g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 113°C για 100min.

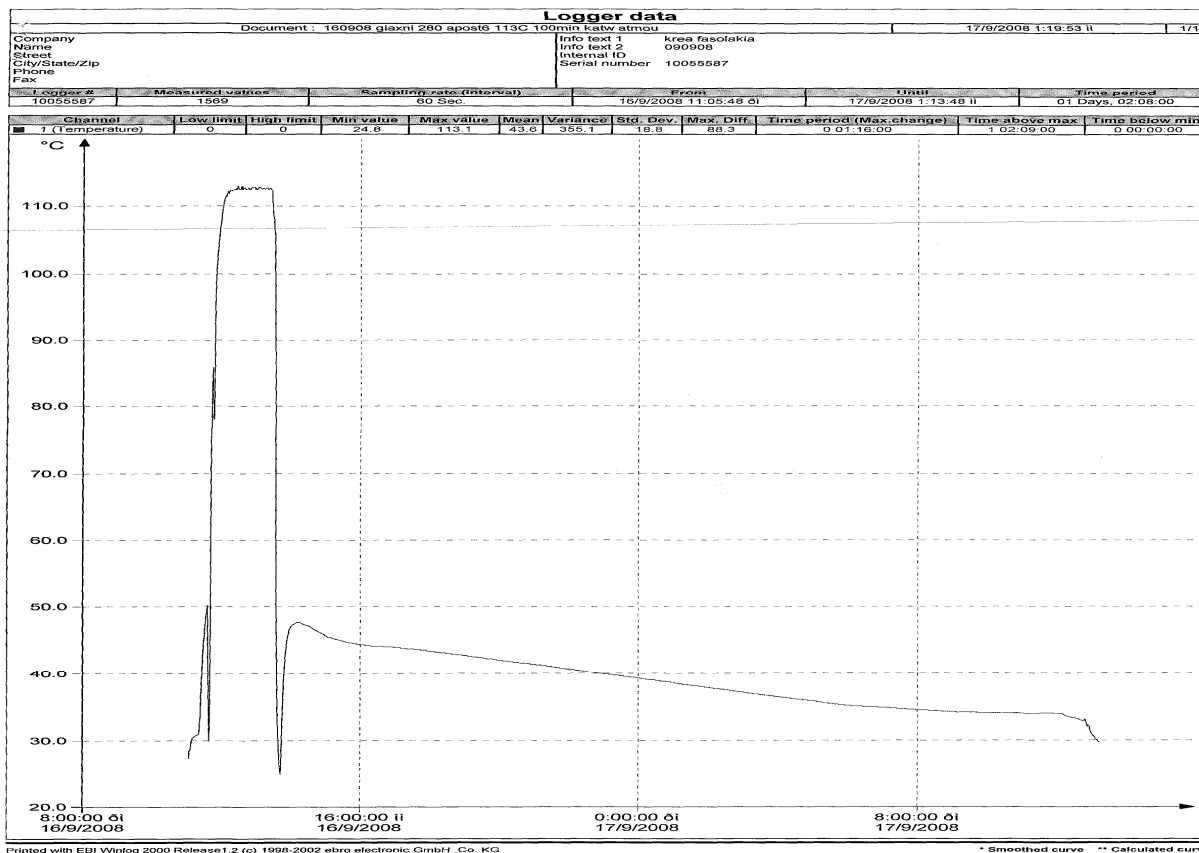
Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο κάτω καλάθι είναι 112,8°C για 12min, στο μεσαίο καλάθι 112,6°C για 12min ενώ στο πάνω 112,8°C για 9min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των τριών καλάθιών είναι της τάξεως των 0,2°C, καθώς τόσο η θερμοκρασία αποστείρωσης, όσο και ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι μεγαλύτερος στο κάτω καλάθι. Η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης, δεν επιτεύχθηκε αλλά η απόκλιση από αυτή, ήταν πολύ μικρή και στα τρία καλάθι του αποστειρωτή.



Σχήμα 22. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο μεσαίο καλάθι του αποστειρωτή No 6)



Σχήμα 23. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 6).

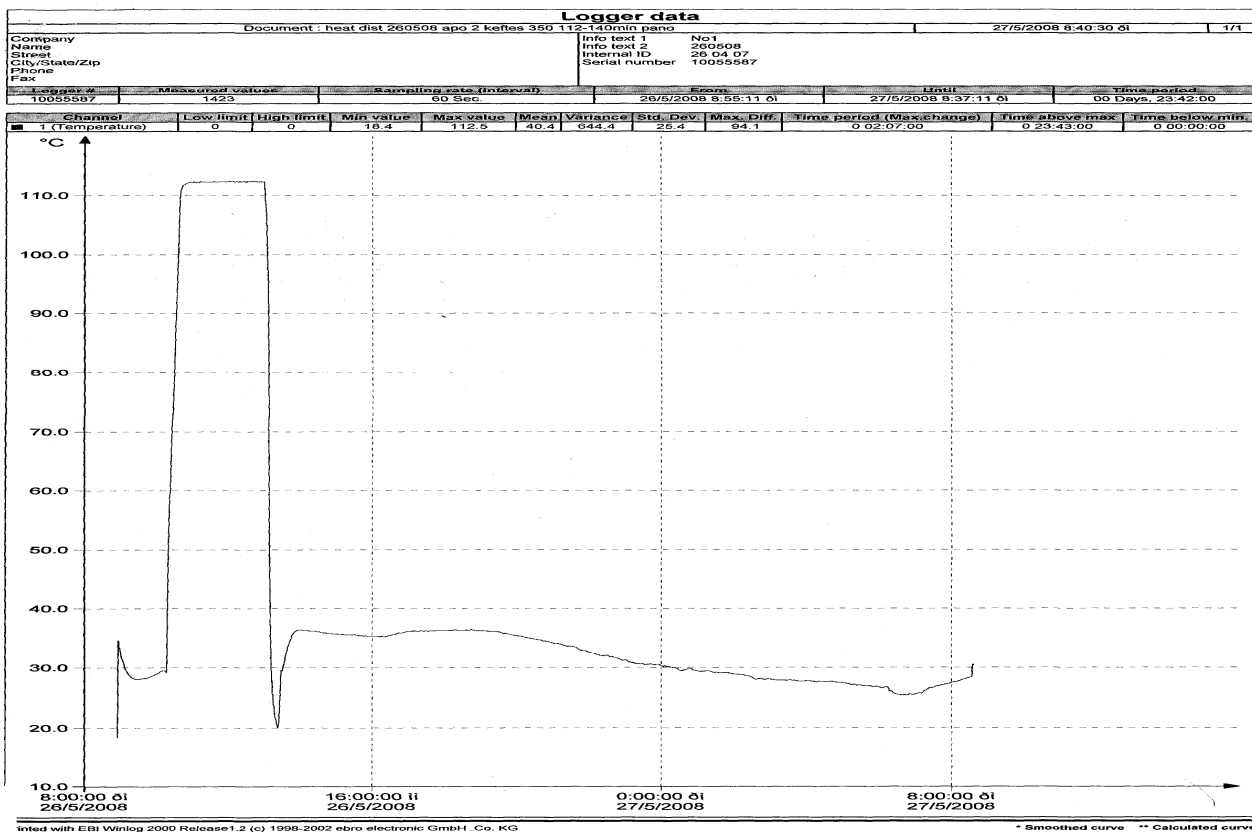


Σχήμα 24. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 6)

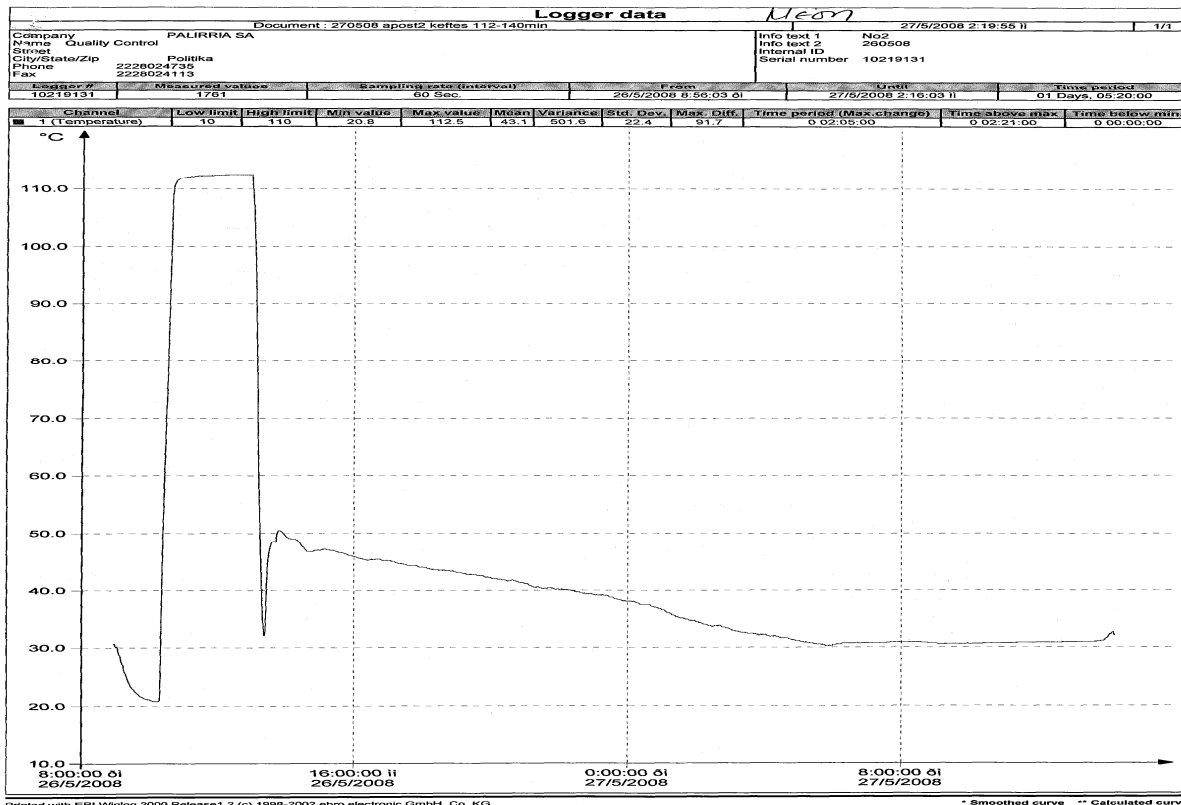
- Heat Distribution - Πρόγραμμα νερού

Στα σχήματα 25,26 και 27, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά την αποστείρωση του προϊόντος «Κεφτεδάκια 280g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 112°C για 140min.

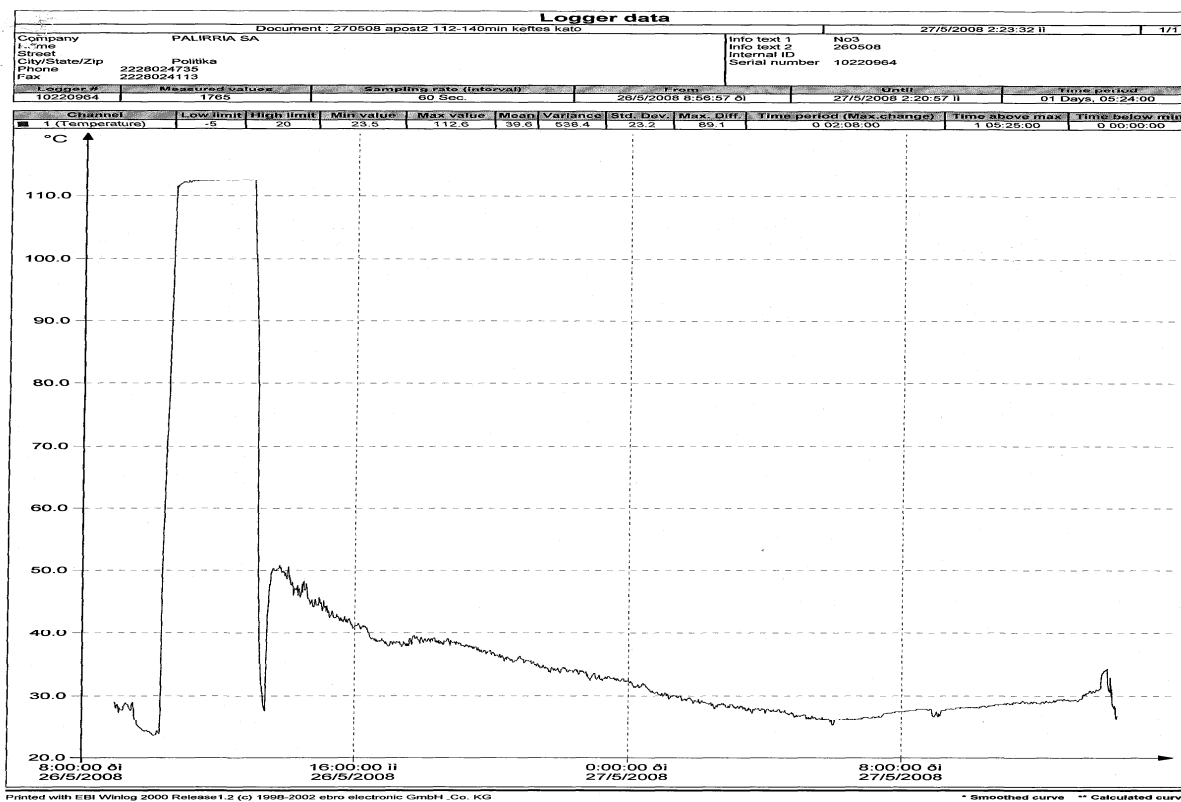
Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο πάνω καλάθι είναι 112,5°C για 35min, στο μεσαίο 112,5°C για 48min ενώ στο κάτω 112,5°C για 42min. Η θερμοκρασία και στα τρία καλάθια είναι η ίδια, ενώ ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι μεγαλύτερος στο μεσαίο καλάθι. Και στα τρία καλάθια επιτεύχθηκε η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης.



Σχήμα 25. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 2).



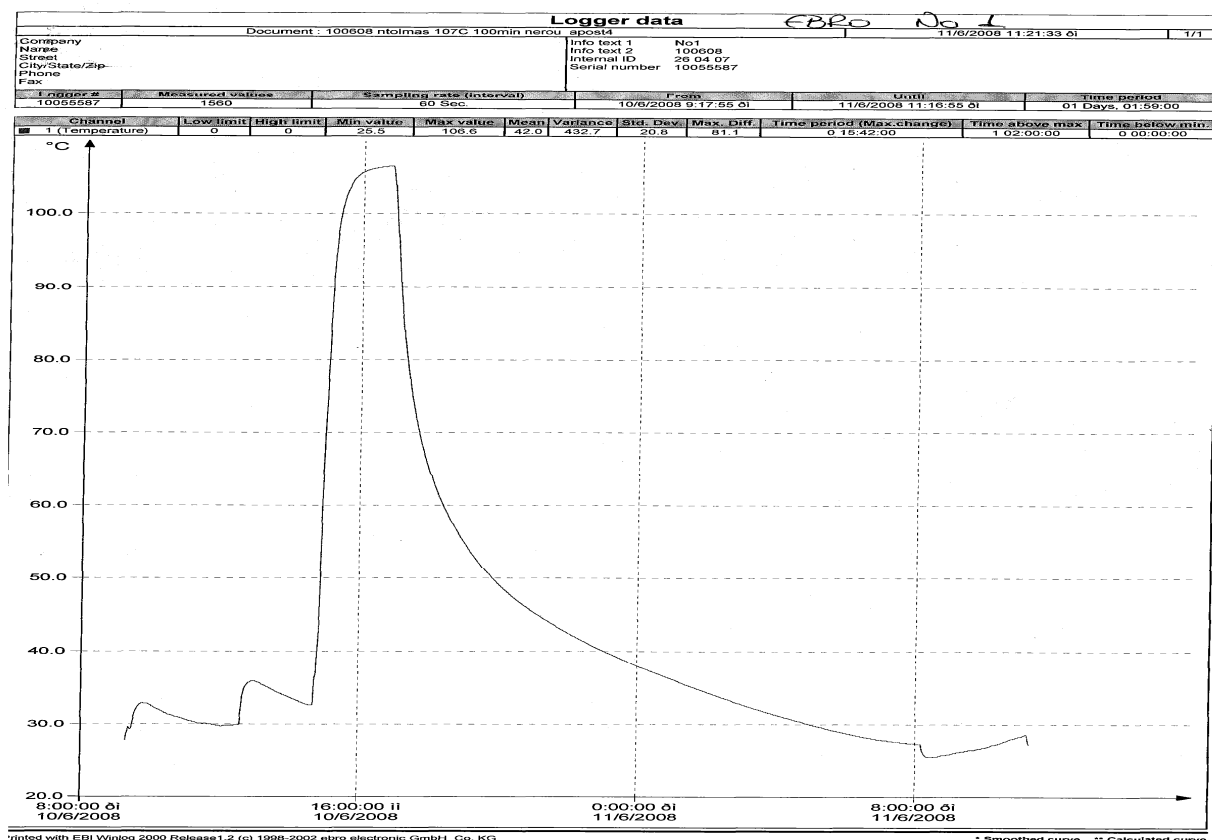
Σχήμα 26. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο μεσαίο καλάθι του αποστειρωτή No 2).



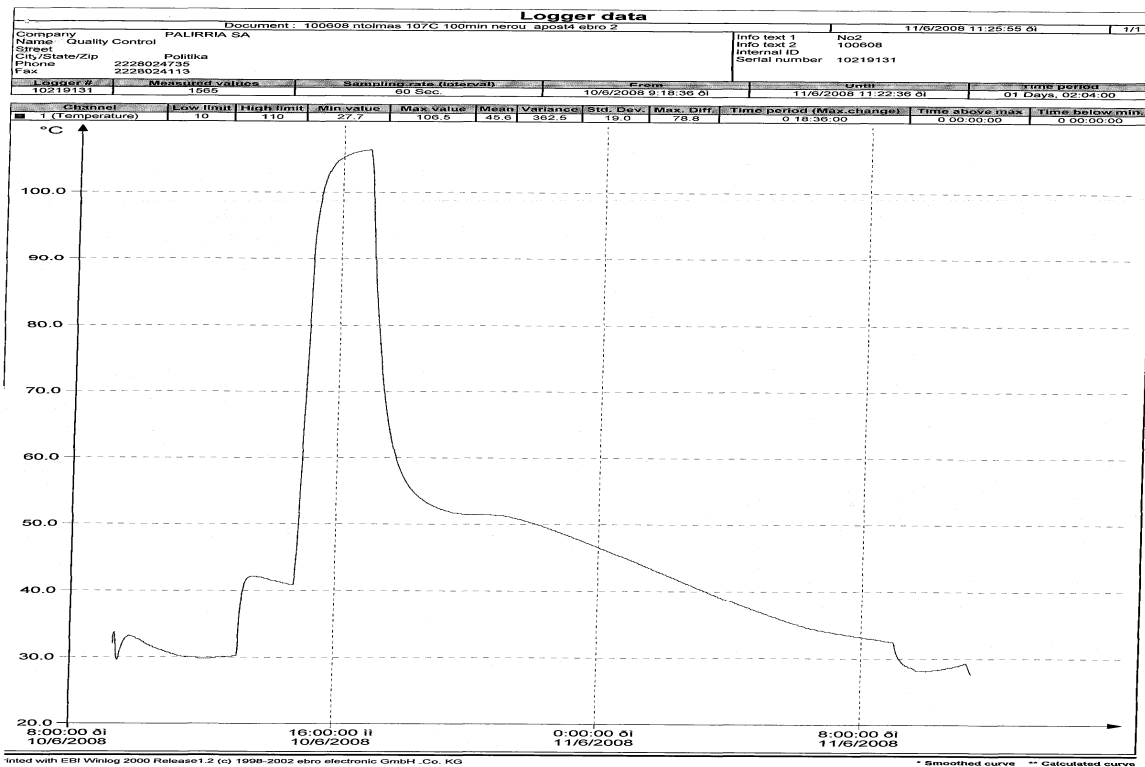
Σχήμα 27. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 2).

Στα σχήματα 28,29 και 30, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά την αποστείρωση του προϊόντος «Ντολμαδάκια γιαλαντζί 350g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 107°C για 100min.

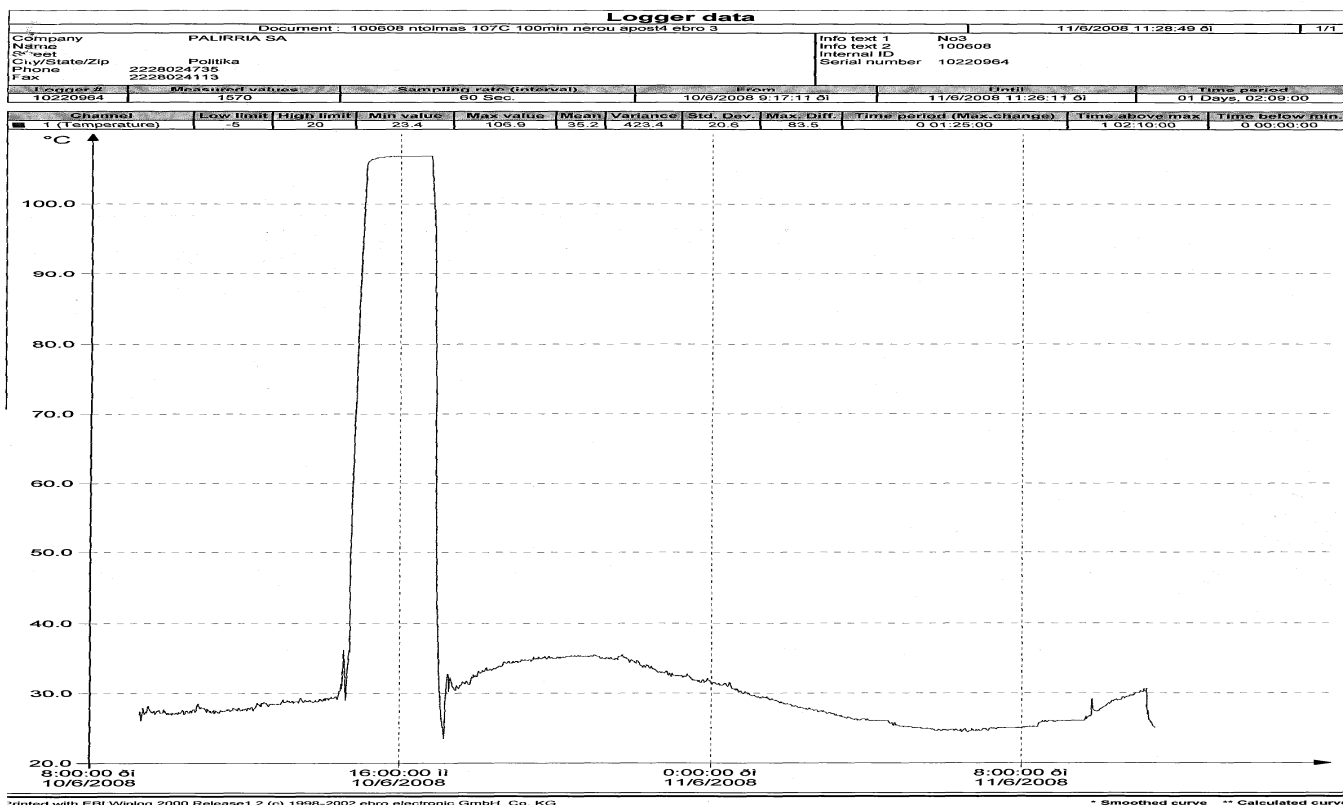
Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο κάτω καλάθι είναι 106,6°C για 12min, στο μεσαίο καλάθι 112,6°C για 12min ενώ στο πάνω 112,8°C για 9min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των τριών καλάθιων είναι της τάξεως των 6,2°C. Τόσο η θερμοκρασία αποστείρωσης, όσο και ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι μεγαλύτερος στο πάνω καλάθι. Η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης, δεν επιτεύχθηκε μόνο στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή.



Σχήμα 28. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 4)



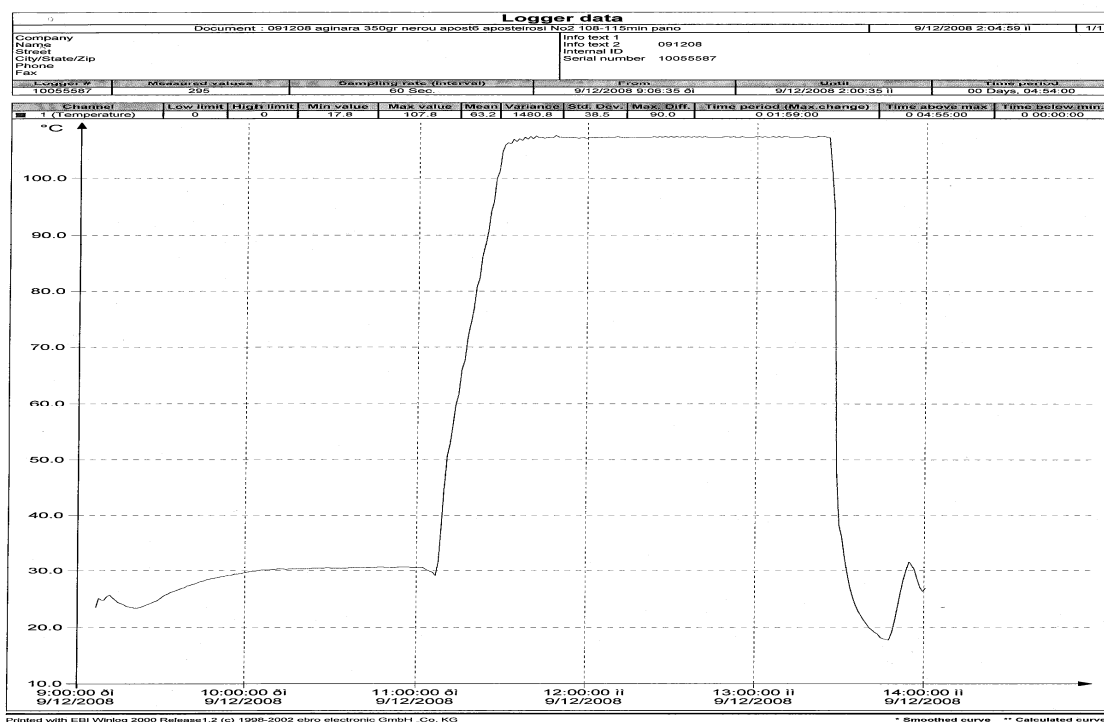
Σχήμα 29. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο μεσαίο καλάθι του αποστειρωτή No 4)



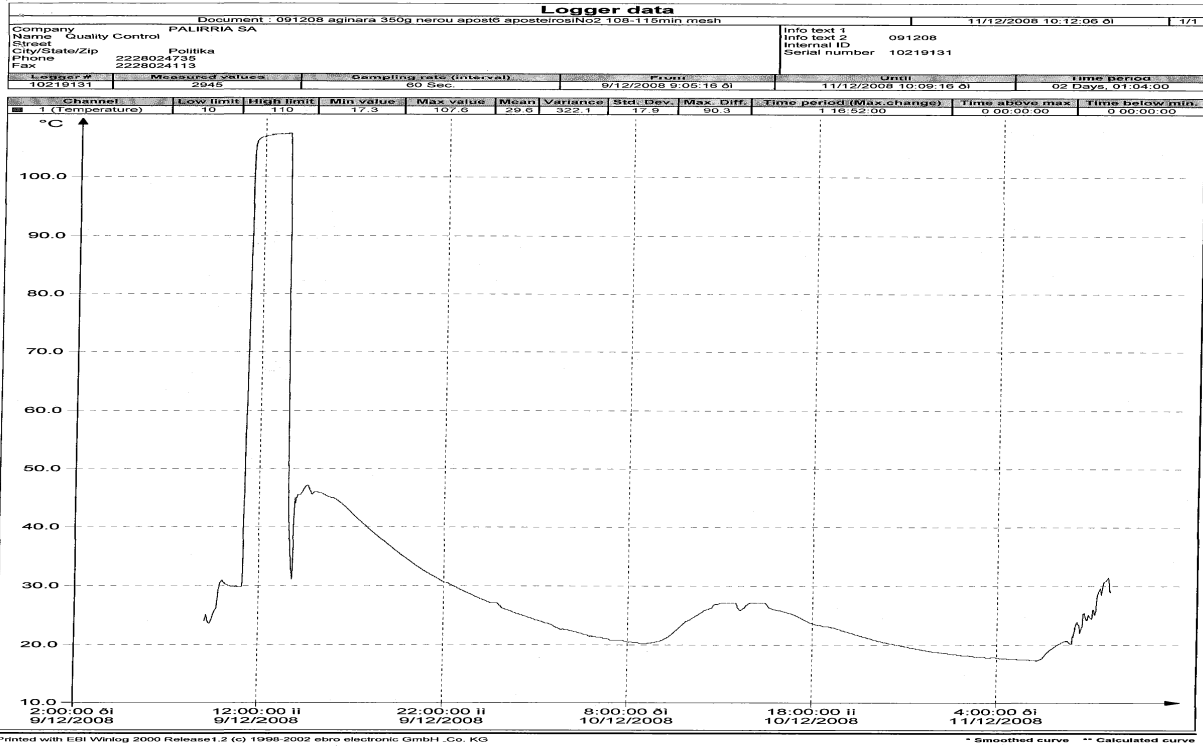
Σχήμα 30. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 4).

Στα σχήματα 31,32 και 33, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά την αποστείρωση του προϊόντος «Αγκινάρες αλά πολιτά 350g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 108°C για 115min.

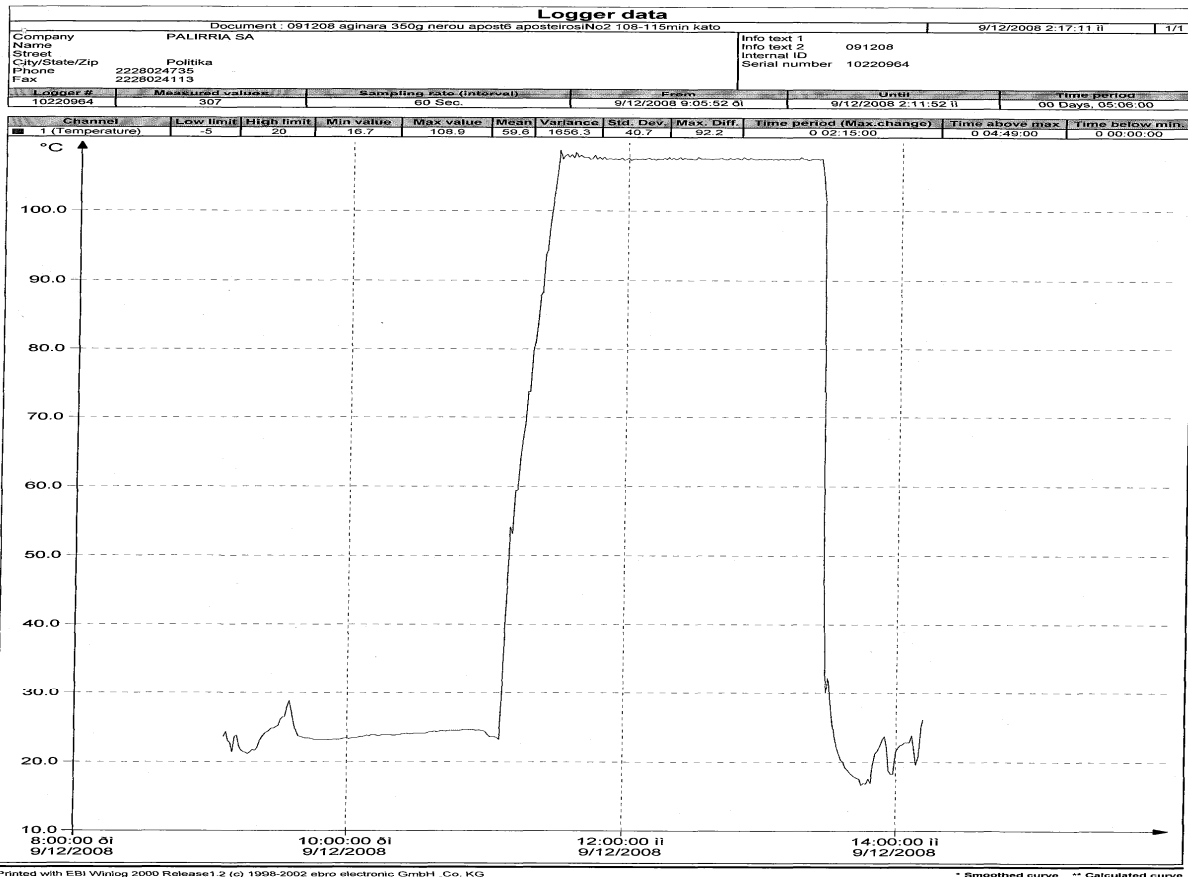
Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο κάτω καλάθι είναι 107,8°C για 10min, στο μεσαίο καλάθι 107,6°C για 25min ενώ στο πάνω 107,8°C για 10min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των τριών καλάθιών είναι της τάξεως των 0,2°C, καθώς τόσο η θερμοκρασία αποστείρωσης, όσο και ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι μεγαλύτερος στο πάνω και το κάτω καλάθι. Η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης, δεν επιτεύχθηκε αλλά η απόκλιση από αυτή, ήταν πολύ μικρή και στα τρία καλάθι του αποστειρωτή.



Σχήμα 31. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο μεσαίο καλάθι του αποστειρωτή No 6).



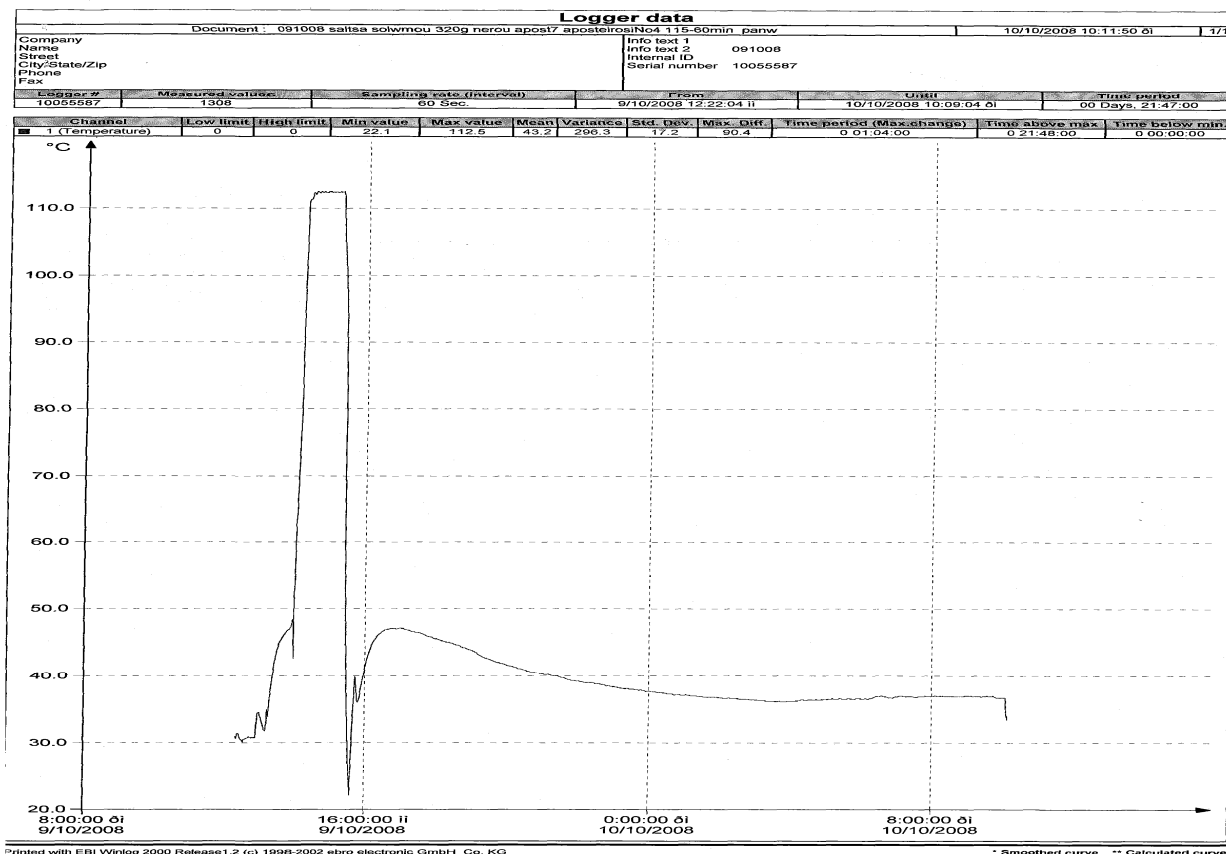
Σχήμα 32. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 6).



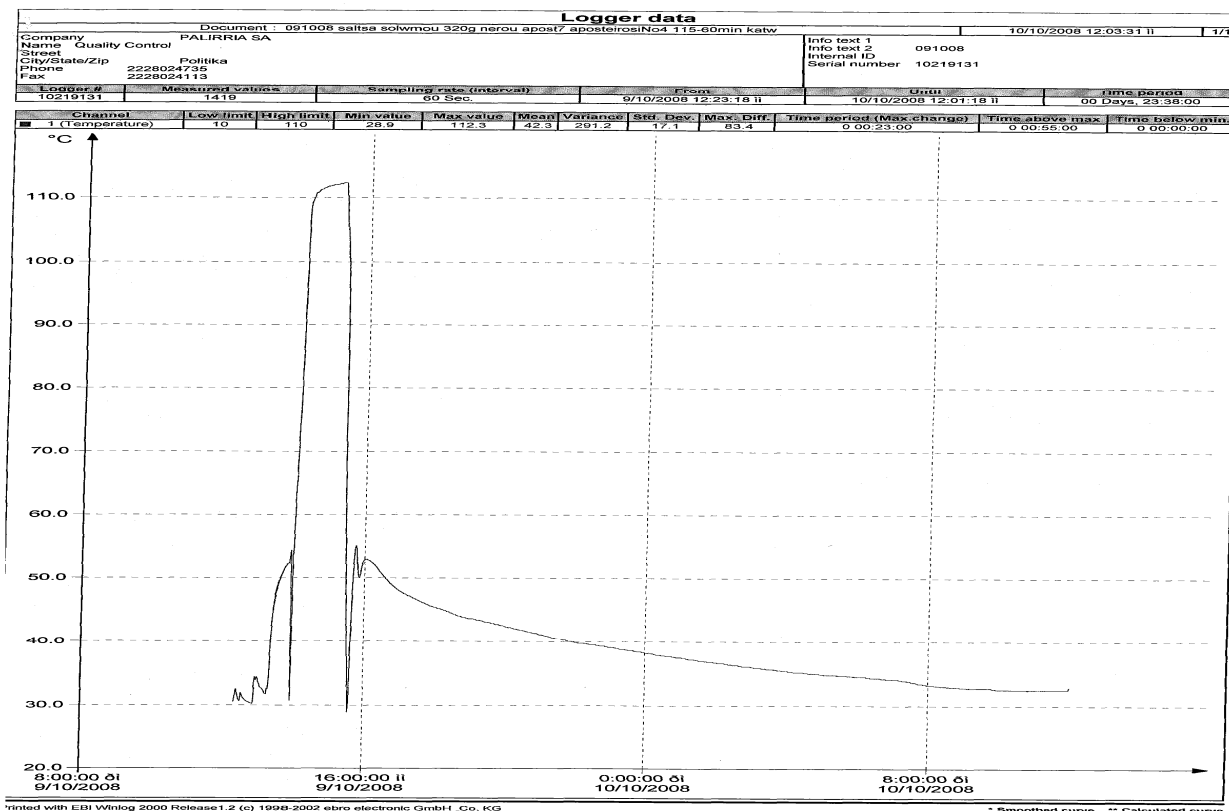
Σχήμα 33. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 6).

Στα σχήματα 34 και 35, παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά την αποστείρωση του προϊόντος «Σάλτσα σολομού 320g». Το πρόγραμμα αποστείρωσης που χρησιμοποιείται είναι στους 115°C για 60min.

Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο κάτω καλάθι είναι 112,2°C για 6min και στο πάνω 112,4°C για 24min. Η διαφορά της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται μεταξύ των δύο καλάθων είναι της τάξεως των 0,2°C, καθώς τόσο η θερμοκρασία αποστείρωσης, όσο και ο χρόνος παραμονής σε αυτή είναι μεγαλύτερος στο πάνω και το κάτω καλάθι. Η επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης, δεν επιτεύχθηκε.



Σχήμα 34. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πάνω καλάθι του αποστειρωτή No 7).



Σχήμα 35. Παρουσιάζεται η καμπύλη κατανομής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αποστειρωτή κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο κάτω καλάθι του αποστειρωτή No 7)

- Heat Penetration

Σε όλες τις περιπτώσεις εξετάζουμε το προϊόν «Ντολμαδάκια γιαλαντζί 350g». Σε όλες τις περιπτώσεις οι συνθήκες αποστείρωσης είναι ίδιες. Στον αποστειρωτή No 2 με θερμοκρασία αποστείρωσης 107°C και χρόνο 100min.

Υπέρβαρο Προϊόν

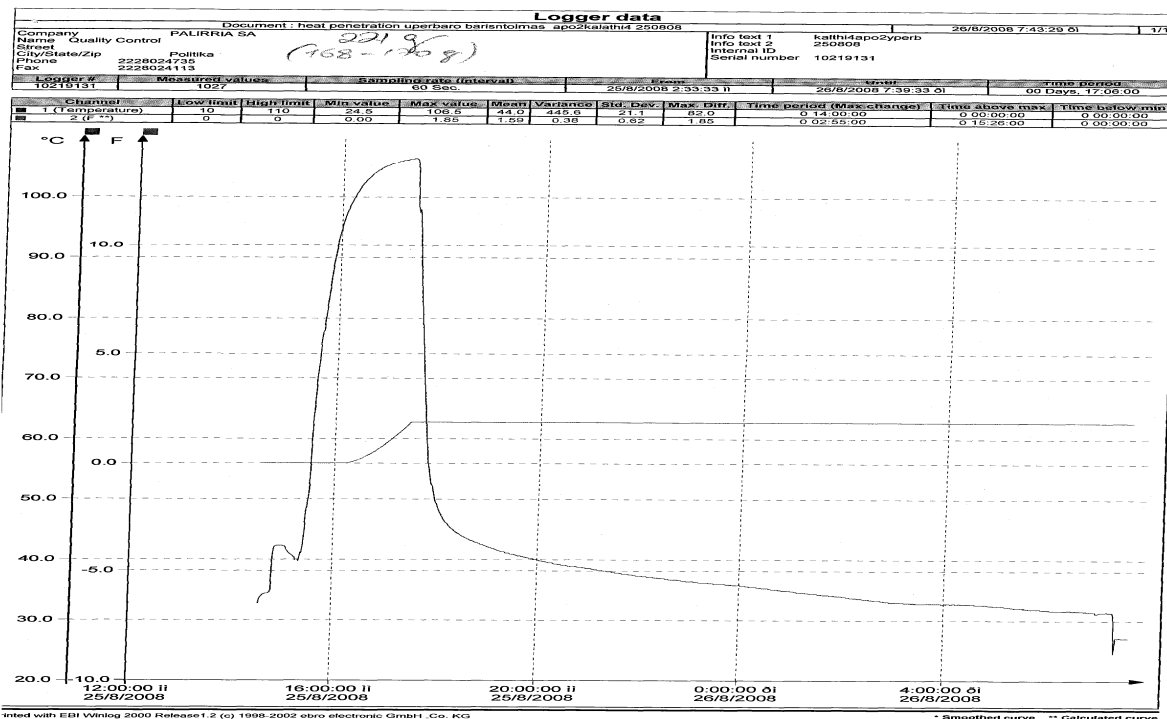
Στα σχήματα 36,37,38 και 39, παρουσιάζονται οι καμπύλες διεύθυνσης της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας κατά για την αποστείρωση του προϊόντος καθώς και ο χρόνος θερμικού θανάτου.

Στην κονσέρβα με 55g (σχήμα 36) περισσότερο προϊόν από το κανονικό, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 106,4°C για 6min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=1,85min$.

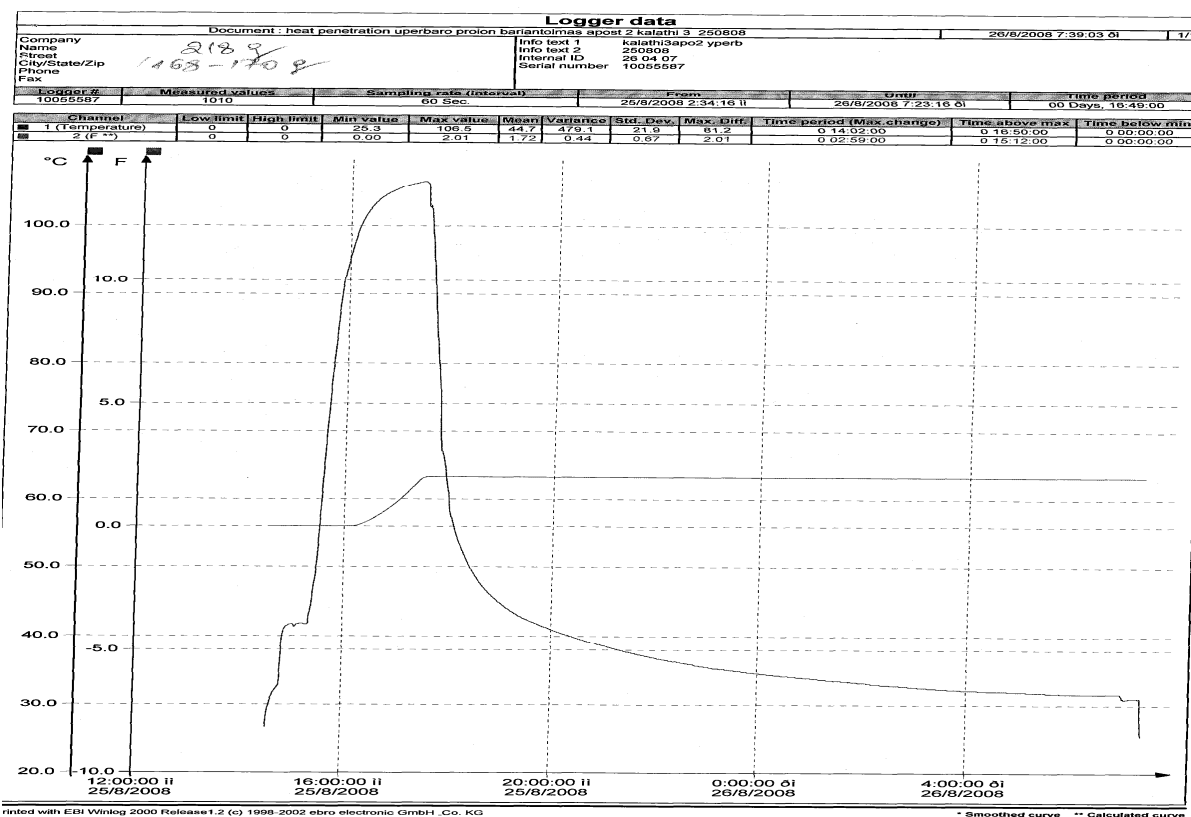
Στην κονσέρβα με 48g (σχήμα 37) περισσότερο προϊόν από το κανονικό, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 106,5°C για 4min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=2,01min$.

Στην κονσέρβα με 40g (σχήμα 38) περισσότερο προϊόν από το κανονικό, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,4°C για 41min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=3,80min$.

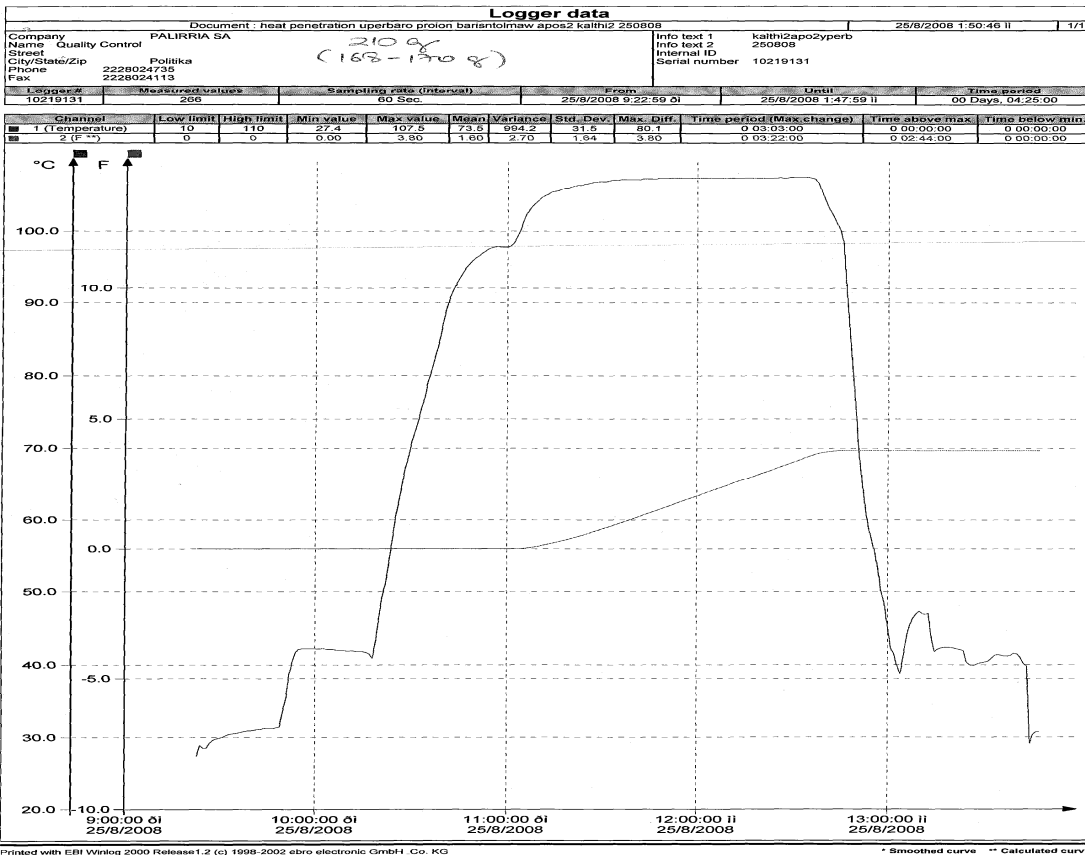
Στην κονσέρβα με 42g (σχήμα 39) περισσότερο προϊόν από το κανονικό, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,4°C για 21min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=3,59min$.



Σχήμα 36. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (κονσέρβα με 55g περισσότερο προϊόν).



Σχήμα 37. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (κονσέρβα με 48g περισσότερο προϊόν).



Σχήμα 38. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (κονσέρβα με 40g περισσότερο προϊόν)



Σχήμα 39. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (κονσέρβα με 42g περισσότερο προϊόν)

Ελλειποβαρές Προϊόν

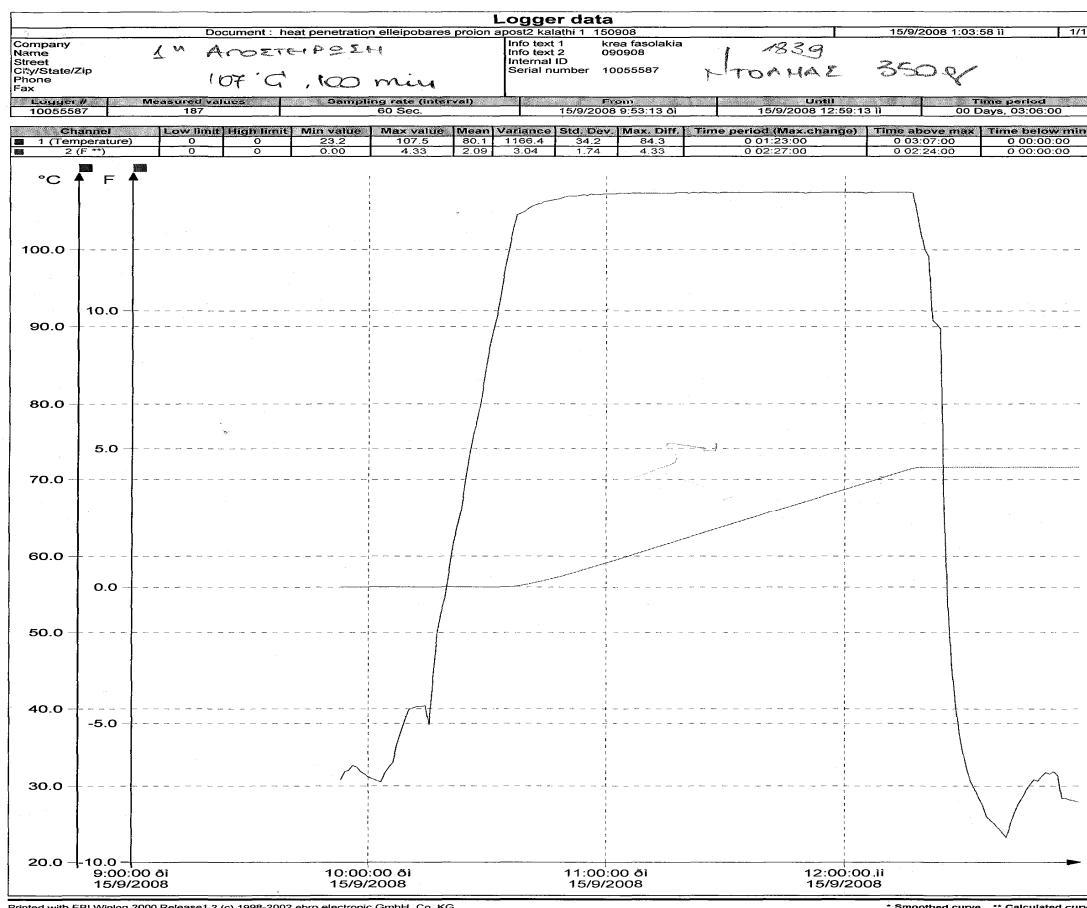
Στα σχήματα 40,41,42 και 43, παρουσιάζονται οι καμπύλες διείδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας κατά για την αποστείρωση του προϊόντος καθώς και ο χρόνος θερμικού θανάτου.

Στην κονσέρβα με 57g (σχήμα 40) λιγότερο προϊόν από το κανονικό, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,5°C για 50min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=4,33\text{min}$.

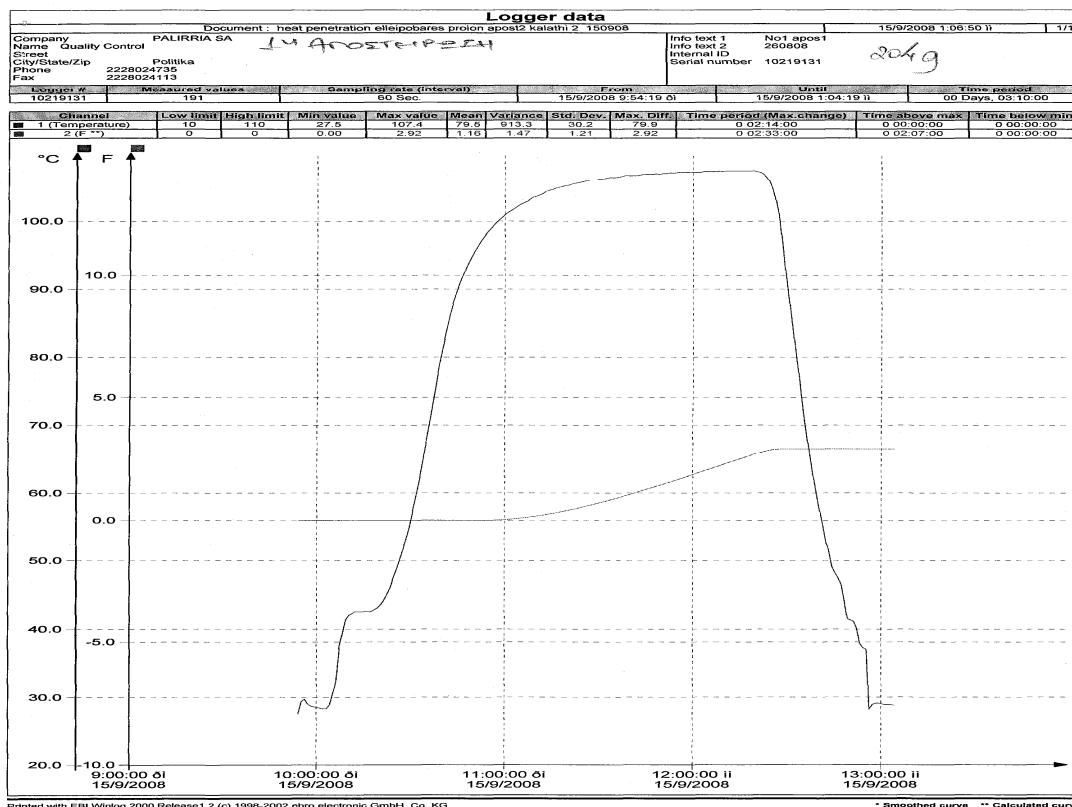
Στην κονσέρβα με 36g (σχήμα 41) λιγότερο προϊόν από το κανονικό, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,4°C για 11min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=2,92\text{min}$.

Στην κονσέρβα με 44g (σχήμα 42) λιγότερο προϊόν από το κανονικό, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,5°C για 41min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=4,22\text{min}$.

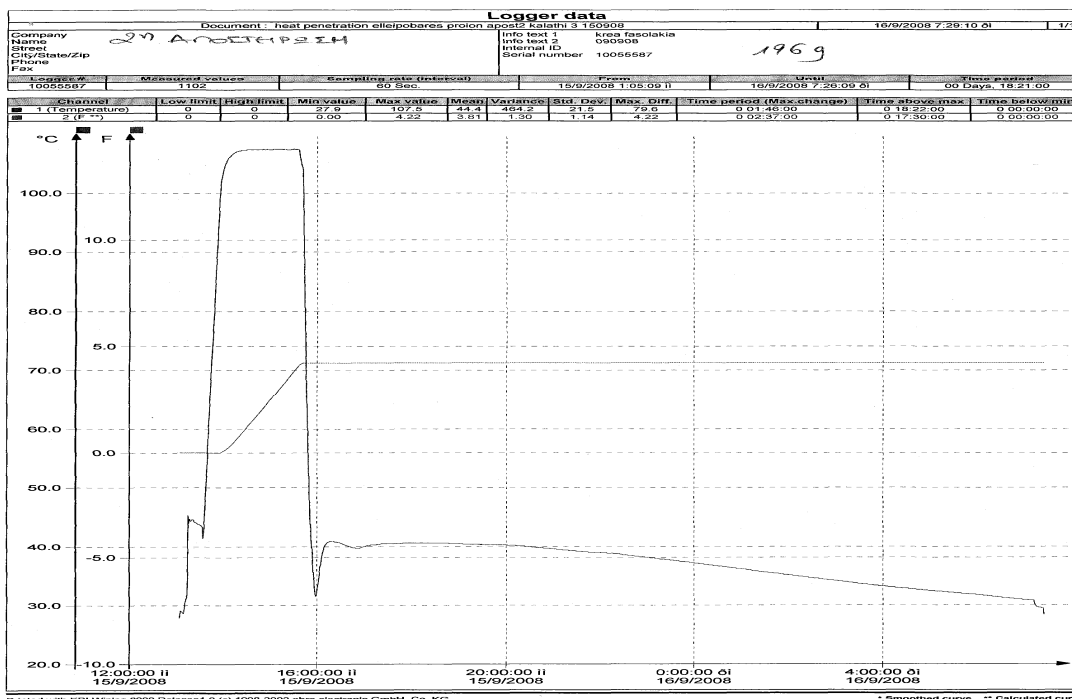
Στην κονσέρβα με 43g (σχήμα 43) λιγότερο προϊόν από το κανονικό, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,4°C για 20min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=3,89\text{min}$.



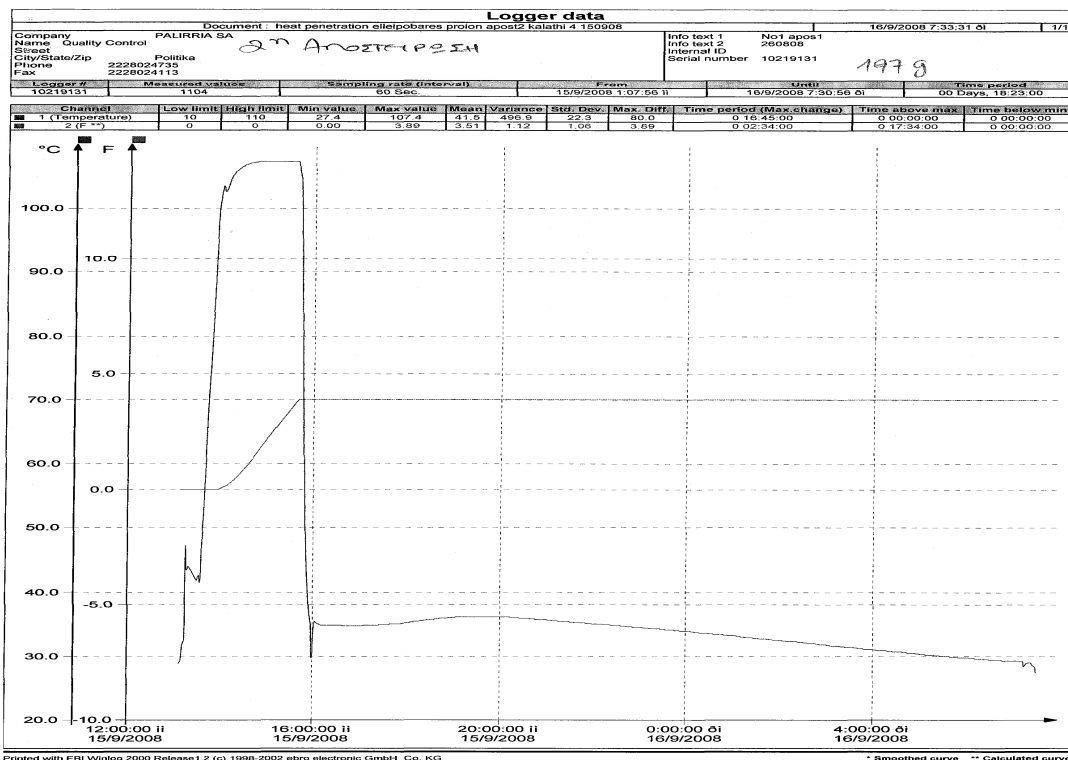
Σχήμα 40. Παρουσιάζεται η καμπύλη διείδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (κονσέρβα με 47g λιγότερο προϊόν)



Σχήμα 41. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (κονσέρβα με 36g λιγότερο προϊόν)



Σχήμα 42. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (κονσέρβα με 44g λιγότερο προϊόν)



Σχήμα 43. Παρουσιάζεται η καμπύλη διείσδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (κονσέρβα με 43g λιγότερο προϊόν)

Αναμονή προϊόντος πριν την αποστείρωση 1h

Στα σχήματα 44,45,46 και 47, παρουσιάζονται οι καμπύλες διείσδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας κατά για την αποστείρωση του προϊόντος καθώς και ο χρόνος θερμικού θανάτου.

Στην πρώτη κονσέρβα, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,5°C για 48min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=4,26min$.

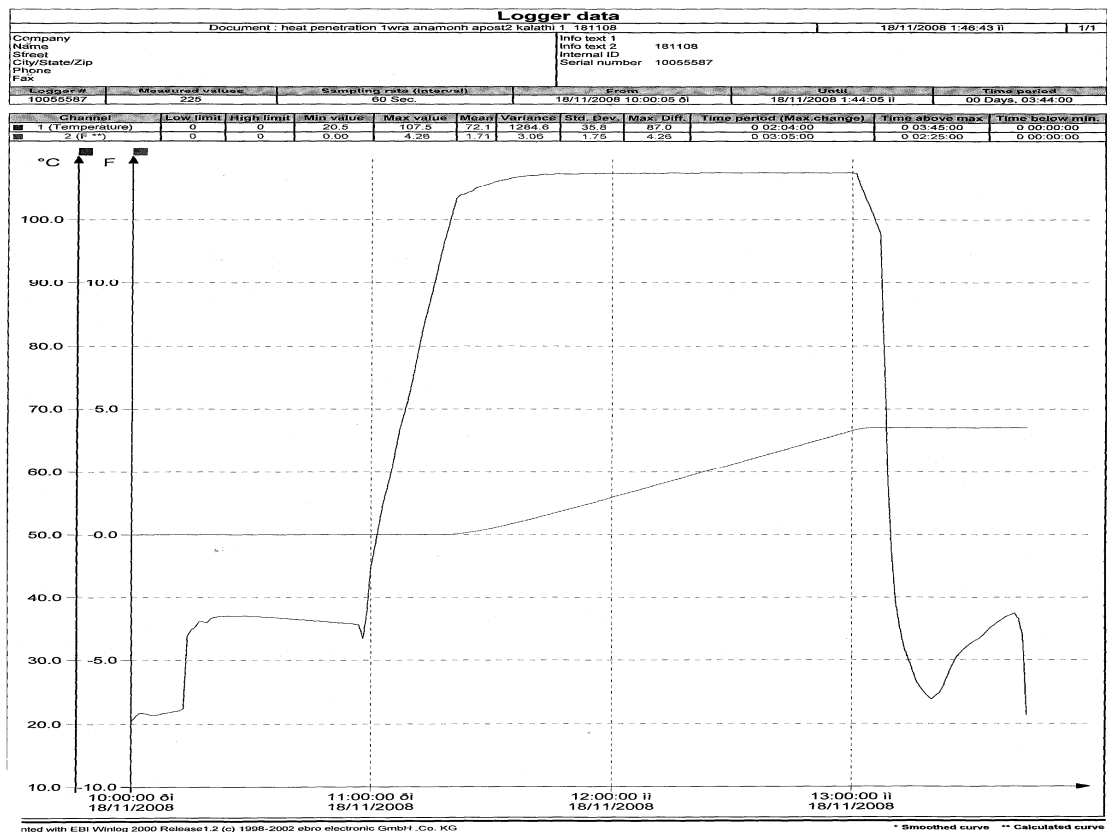
Στη δεύτερη κονσέρβα, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 106,7°C για 8min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=2,48min$.

Στην τρίτη κονσέρβα, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,3°C για 9min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=2,88min$.

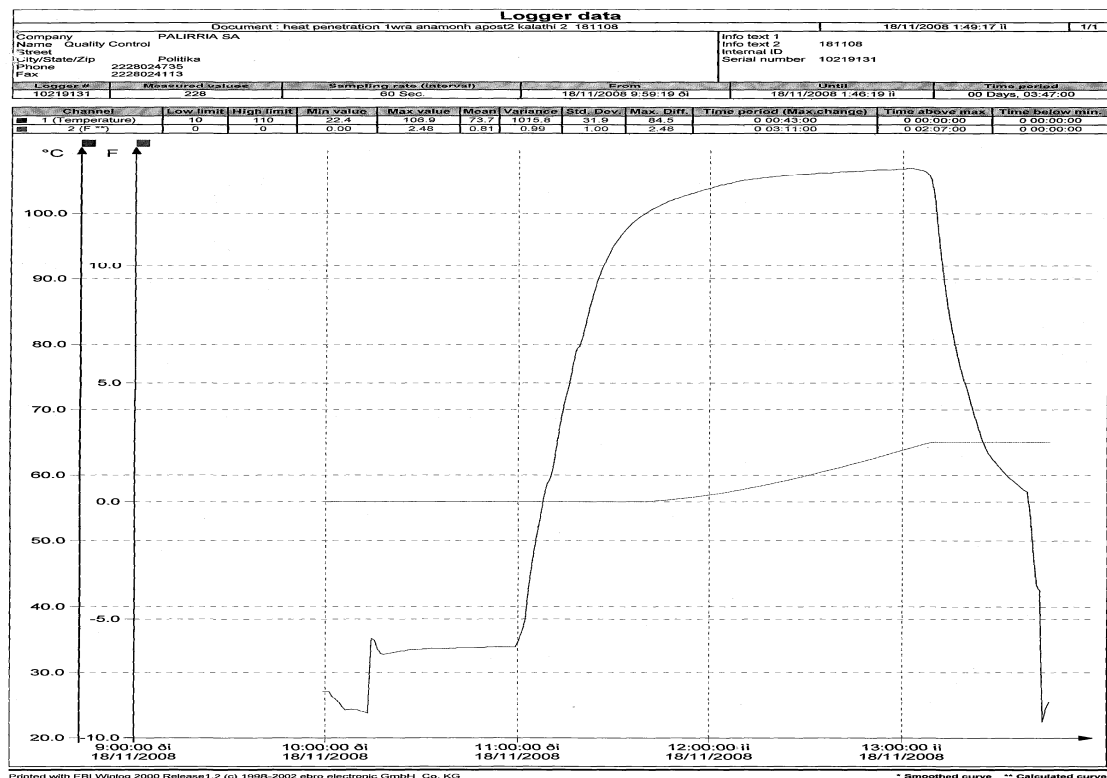
Στην τέταρτη κονσέρβα, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,4°C για 49min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=3,92min$.

(Ο αποστειρωτής No 2, στον οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα, είναι τετρακάλαθος. Τα τέσσερα παραπάνω δείγματα διαφέρουν ως προς την τοποθέτησή τους στα τέσσερα καλάθια του αποστειρωτή. Το πρώτο δείγμα τοποθετήθηκε στο πρώτο καλάθι του αποστειρωτή, το δεύτερο δείγμα στο δεύτερο καλάθι, το τρίτο δείγμα στο τρίτο καλάθι και στο τέταρτο δείγμα στο τέταρτο

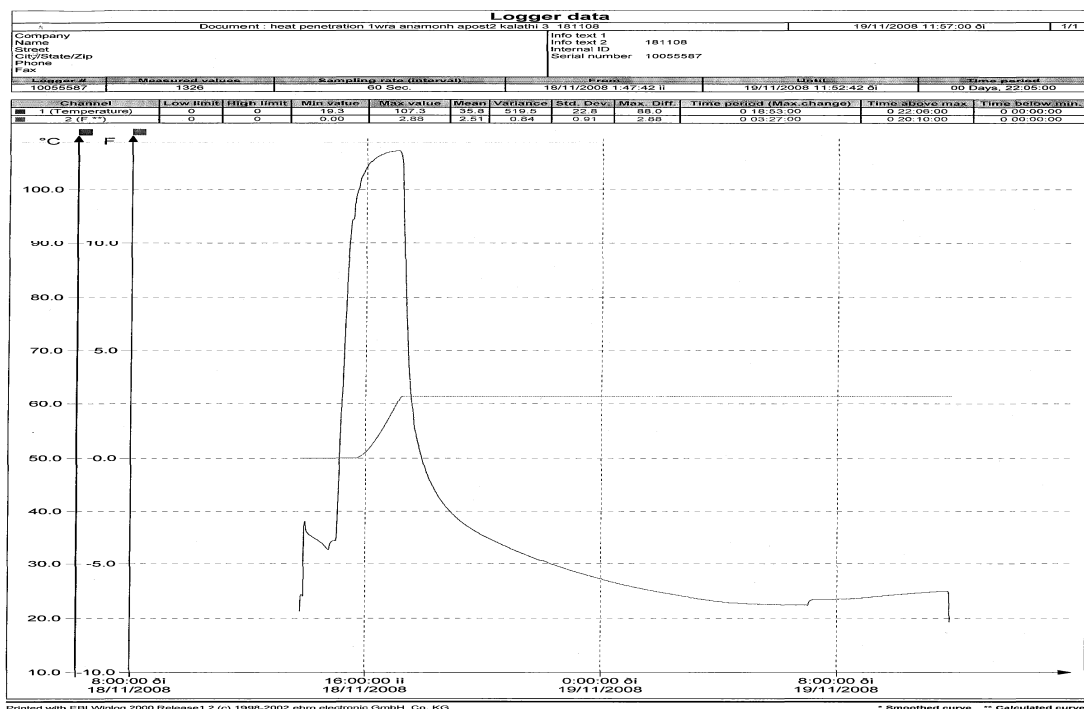
καλάθι του αποστειρωτή. Έτσι με τις τέσσερις παραπάνω περιπτώσεις, εξετάστηκε η διείσδυση της θερμότητας στο εσωτερικό των κονσερβών, σε όλο το μήκος του αποστειρωτή.)



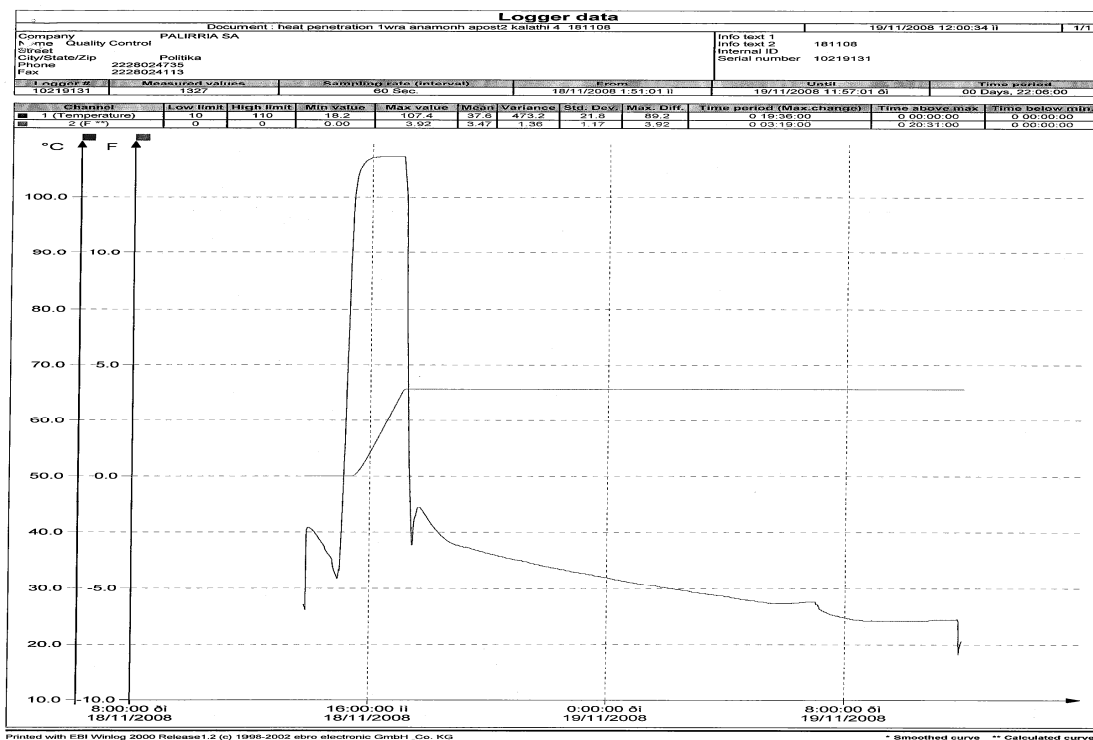
Σχήμα 44. Παρουσιάζεται η καμπύλη διείσδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της πρώτης κονσερβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πρώτο καλάθι του αποστειρωτή).



Σχήμα 45. Παρουσιάζεται η καμπύλη διείσδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της δεύτερης κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο δεύτερο καλάθι του αποστειρωτή).



Σχήμα 46. Παρουσιάζεται η καμπύλη διείσδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της τρίτης κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο τρίτο καλάθι του αποστειρωτή).



Σχήμα 47. Παρουσιάζεται η καμπύλη διείσδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της τέταρτης κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο τέταρτο καλάθι του αποστειρωτή).

Προϊόν με διαφορετική αναλογία υγρών πληρώσεως

Στα σχήματα 48,49,50 και 51, παρουσιάζονται οι καμπύλες διείσδυσης της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας κατά για την αποστείρωση προϊόντος με διαφορετική αναλογία υγρών πληρώσεως (80g λάδι και 10g νερό), συγκριτικά με το 'αυθεντικό' προϊόν καθώς και ο χρόνος θερμικού του θανάτου.

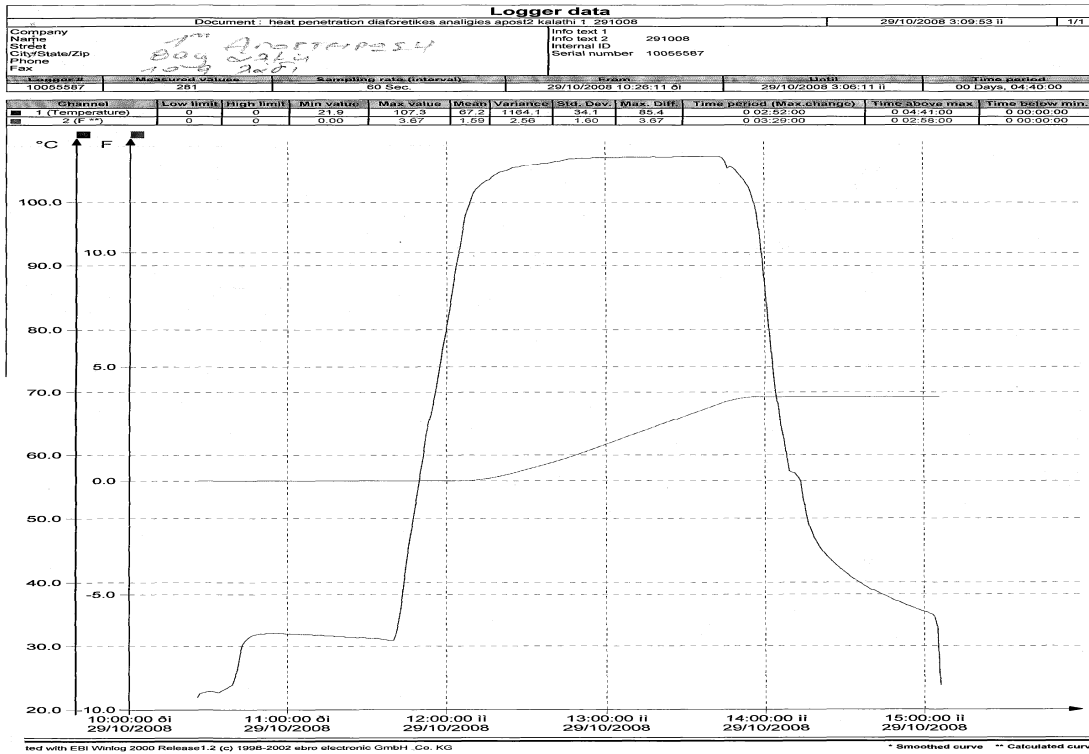
Στην πρώτη κονσέρβα, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,3°C για 18min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=3,67\text{min}$.

Στη δεύτερη κονσέρβα, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,6°C για 8min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=4,32\text{min}$.

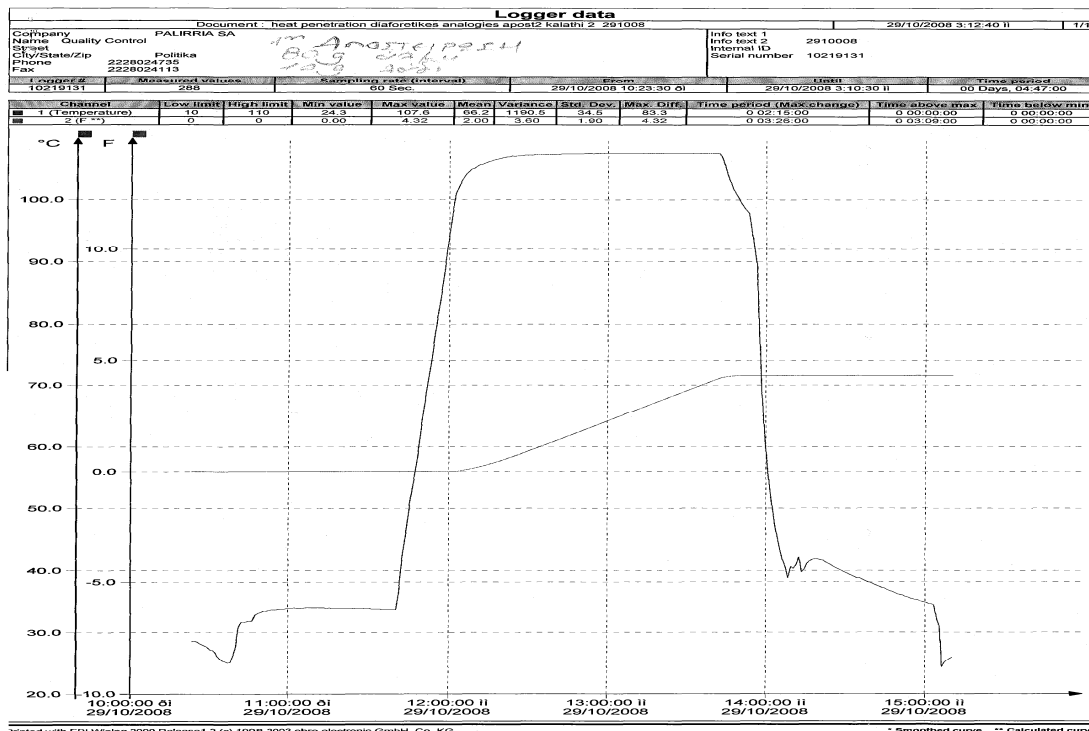
Στην τρίτη κονσέρβα, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 107,0°C για 9min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=2,98\text{min}$.

Στην τέταρτη κονσέρβα, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 106,7°C για 49min ενώ ο χρόνος θερμικού θανάτου $F_0=2,55\text{min}$.

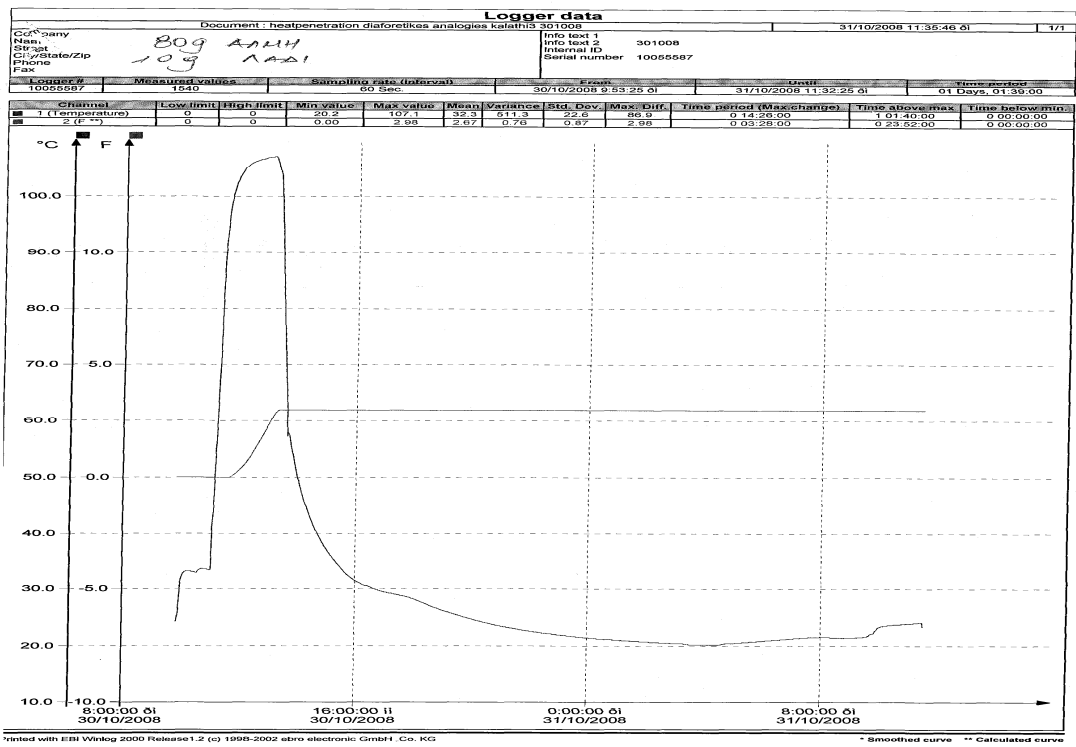
(Τα τέσσερα παραπάνω δείγματα δε διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την αναλογία υγρών πληρώσεως αλλά διαφέρουν ως προς την τοποθέτηση τους στα τέσσερα καλάθια του αποστειρωτή. Το πρώτο δείγμα τοποθετήθηκε στο πρώτο καλάθι του αποστειρωτή, το δεύτερο δείγμα στο δεύτερο καλάθι, το τρίτο δείγμα στο τρίτο καλάθι και στο τέταρτο δείγμα στο τέταρτο καλάθι του αποστειρωτή. Έτσι με τις τέσσερις παραπάνω περιπτώσεις, εξετάστηκε η διείσδυση της θερμότητας στο εσωτερικό των ελλειποβαρών κονσερβών, σε όλο το μήκος του αποστειρωτή.)



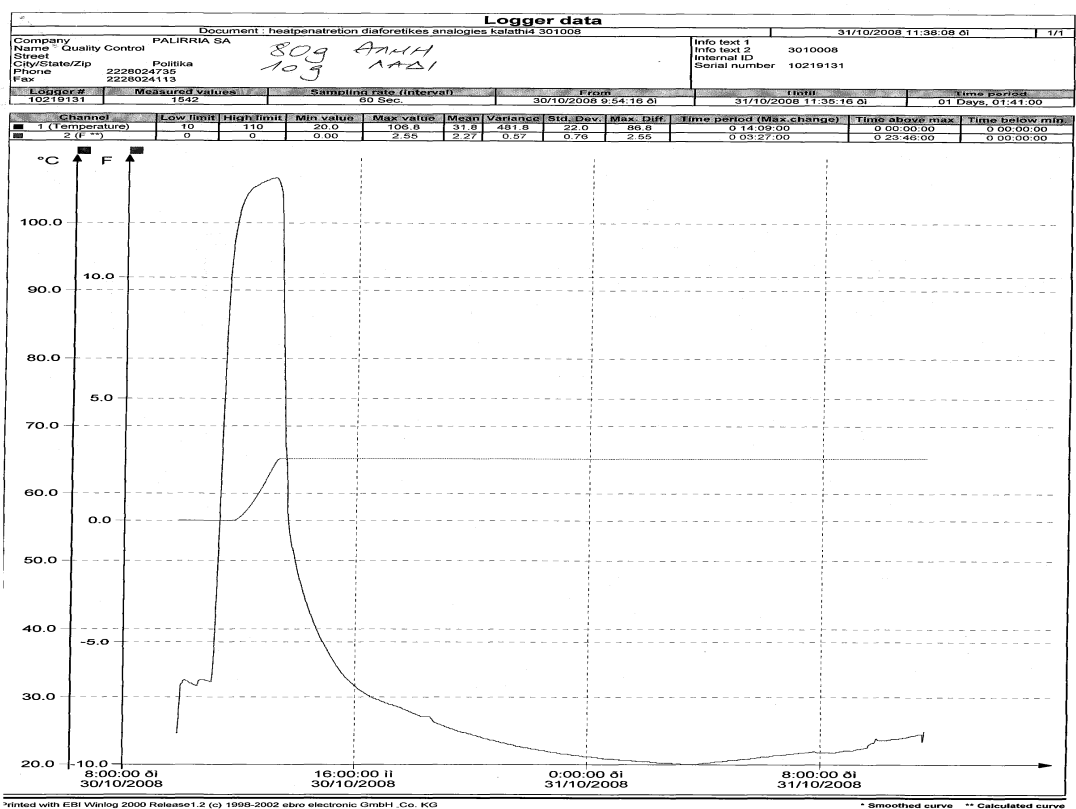
Σχήμα 48. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της πρώτης κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο πρώτο καλάθι του αποστειρωτή).



Σχήμα 49. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της δεύτερης κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο δεύτερο καλάθι του αποστειρωτή).



Σχήμα 50. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της τρίτης κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο τρίτο καλάθι του αποστειρωτή).



Σχήμα 51. Παρουσιάζεται η καμπύλη διεξόδου της θερμότητας στο εσωτερικό της τέταρτης κονσέρβας και ο χρόνος θερμικού θανάτου κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης (στο τέταρτο καλάθι του αποστειρωτή)

5. Αποτελέσματα-Συζήτηση

5.1 Κατανομή της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή

Με βάση τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων τα οποία διεξάχθηκαν, και αποτυπώνονται συνοπτικά στους παρακάτω πίνακες, συμπεραίνεται ότι η κατανομή της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή είναι μερικώς επαρκής. Σε πολλές από τις περιπτώσεις τόσο στο πρόγραμμα νερού όσο και στο πρόγραμμα ατμού η αποστείρωση δεν είναι επαρκής ούτε όσον αφορά τη θερμοκρασία ούτε όσον αφορά το χρόνο αποστείρωσης. Πιθανή αιτία στην οποία μπορεί να οφείλεται η μη σωστή κατανομή της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή είναι να μην έχει γίνει πλήρης απαερώση του αποστειρωτή πριν την έναρξη του προγράμματος αποστείρωσης. Ο αέρας, ο οποίος είναι πιο βαρύτες από τον ατμό, όταν εγκλωβίζεται στο εσωτερικό του αποστειρωτή, δρα σαν μονωτικό υλικό με αποτέλεσμα, να δημιουργεί ανομοιομορφία στην κατανομή της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή και να μην επιτρέπει στην επίτευξη της αποστείρωσης.

Πίνακας 5. Αποστείρωση κονσερβών σε πρόγραμμα νερού.

| Αποστειρωτής | Είδος Κονσερβοποιημένου τροφίμου | Θερμοκρασία αποστείρωσης (°C) | Χρόνος αποστείρωσης (min) | Μέση θερμοκρασία αποστείρωσης (°C) | Χρόνος διατήρησης μέσης θερμοκρασίας αποστείρωσης (min) |
|--------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|---|
| 2 | Ντολμαδάκια 350g | 112 | 140 | 107,5 | 46,3 |
| | Κεφτεδάκια 350g | 107 | 100 | 107,5 | 14,6 |
| 4 | Ντολμαδάκια 350g | 107 | 100 | 106,3 | 27,3 |
| | Ντολμαδάκια 280g | 103 | 145 | 102,7 | 125 |
| 6 | Γίγαντες γιαχνί 350g | 113 | 120 | 111,5 | 8 |
| | Αγκινάρες αλά πολίτα 350g | 108 | 115 | 107,7 | 18,3 |
| 7 | Σάλτσα σολομού | 115 | 60 | 112,3 | 16 |
| | Ντολμαδάκια 260g | 103 | 140 | 100,4 | 83 |

Στην αποστείρωση με πρόγραμμα νερού, παρατηρούμε πως μόνο στην περίπτωση του αποστειρωτή No 2 για το προϊόν «Κεφτεδάκια 350g» η θερμοκρασία εντός του αποστειρωτήρα είναι ίδια με το πρόγραμμα αποστείρωσης το οποίο έχει οριστεί.

Στον αποστειρωτή No 4 για το προϊόν «Ντολμαδάκια 280g» και στον αποστειρωτή No 6 για το προϊόν «Αγκινάρες αλά πολίτα 350g», η θερμοκρασία εντός του αποστειρωτή, είναι αρκετά κοντά με τα προγράμματα αποστείρωσης που έχουν οριστεί για τα συγκεκριμένα προϊόντα. Ενώ στις

άλλες περιπτώσεις, η θερμοκρασία εντός του αποστειρωτή είναι αρκετά μικρότερη από αυτή του προγράμματος αποστείρωσης το οποίο έχει οριστεί.

Πίνακας 6. Αποστείρωση κονσερβών σε πρόγραμμα ατμού.

| Αποστειρωτής | Είδος κονσερβοποιημένου τροφίμου | Θερμοκρασία αποστείρωσης (°C) | Χρόνος αποστείρωσης (min) | Μέση θερμοκρασία αποστείρωσης (°C) | Χρόνος διατήρησης μέσης θερμοκρασίας αποστείρωσης (min) |
|--------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|---|
| 1 | Κεφτεδάκια 280g | 110 | 45 | 117,7 | 10,6 |
| | Κεφτεδάκια 280g | 118 | 75 | 116,4 | 3,5 |
| 2 | Γίγαντες γιαχνί 280g | 113 | 100 | 113,4 | 14,6 |
| | Κεφτεδάκια 280g | 118 | 75 | 118,4 | 20,3 |
| 3 | Φασόλια σε άλμη 2 kg | 110 | 45 | 109,4 | 17,3 |
| | Φασόλια ψιλά 400g | 109 | 40 | 108,4 | 13 |
| 5 | Γίγαντες γιαχνί 200g | 113 | 100 | 102,5 | 31,6 |
| | Φασόλια πιάζ 2kg | 112 | 130 | 111,8 | 6,66 |
| 6 | Γίγαντες γιαχνί 280g | 113 | 100 | 112,7 | 11 |
| | Γίγαντες γιαχνί 2kg | 115 | 135 | 115,1 | 6 |
| 7 | Μπάμιες λαδερές 280g | 105 | 55 | 102,3 | 17,5 |
| | Μπάμιες λαδερές 280g | 105 | 55 | 102,4 | 10,5 |

Στην αποστείρωση με πρόγραμμα ατμού, παρατηρούμε πως μόνο στην περίπτωση του αποστειρωτή No 2 για το προϊόν «Κεφτεδάκια 280g» και στον αποστειρωτή No 6 για το προϊόν «Γίγαντες γιαχνί 2kg», η θερμοκρασία εντός του αποστειρωτήρα είναι ίδια με το πρόγραμμα αποστείρωσης το οποίο έχει οριστεί.

Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις, η θερμοκρασία εντός του αποστειρωτή, είναι αρκετά κοντά με τα προγράμματα αποστείρωσης που έχουν οριστεί για τα συγκεκριμένα προϊόντα. Ενώ μόνο στις δύο περιπτώσεις, του αποστειρωτή No 7 για τα προϊόντα «Μπάμιες λαδερές 280g» η θερμοκρασία εντός του αποστειρωτή είναι μικρότερη κατά 2,5°C περίπου από αυτή του προγράμματος αποστείρωσης το οποίο έχει οριστεί.

5.2 Διείδυση της θερμότητας του αποστειρωτή στο εσωτερικό της κονσέρβας και θερμική αντίσταση των μικροοργανισμών

Όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν, αποστειρώθηκαν στον ίδιο αποστειρωτή (αποστειρωτής No 2). Το προϊόν που εξετάστηκε σε αυτή την περίπτωση είναι 'Ντολμαδάκι 350g' με αναλογία λαδιού/νερού 9:1,5. Ο χρόνος αποστείρωσης ήταν 100min και η θερμοκρασία 107°C.

Πίνακας 7. Βάρος προϊόντος στην περίπτωση «Υπέρβαρου προϊόντος»

| Κανονικό βάρος προϊόντος (g) | Υπέρβαρο προϊόν (g) |
|------------------------------|---------------------|
| 168-170 | 221 |
| 168-170 | 218 |
| 168-170 | 210 |
| 168-170 | 212 |

Πίνακας 8. Βάρος προϊόντος στην περίπτωση «Ελλειποβαρούς προϊόντος»

| Κανονικό βάρος προϊόντος (g) | Ελλειποβαρές προϊόν (g) |
|------------------------------|-------------------------|
| 240 | 183 |
| 240 | 204 |
| 240 | 196 |
| 240 | 197 |

Πίνακας 9. Προϊόν με διαφορετικές αναλογίες

| Κανονική αναλογία πλήρωσης | Διαφορετική αναλογία πλήρωσης |
|----------------------------|-------------------------------|
| 9:1,5 | 8:1 |

Πίνακας 10. Διεσίδυση της θερμότητας στο εσωτερικό του αποστειρωτή.

| Περιπτώσεις Προϊόντος | Μέση θερμοκρασία αποστείρωσης (°C) | Χρόνος διατήρησης μέσης θερμοκρασίας αποστείρωσης (min) | Χρόνος θερμικού θανάτου (min) | Χρόνος διατήρησης του (min) |
|---------------------------------------|------------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|
| Υπέρβαρο Προϊόν | 106,9 | 18 | 2,81 | 20,75 |
| Ελλειποβαρές Προϊόν | 107,5 | 34 | 3,84 | 21,25 |
| Αναμονή 1h | 107,2 | 28,5 | 3,38 | 19 |
| Διαφορετικές αναλογίες υγρών πλήρωσης | 107,1 | 21,75 | 3,38 | 11,75 |

Πίνακας 11. Θερμική αντίσταση των σημαντικότερων μικροοργανισμών σε διάφορες κατηγορίες κονσερβοποιημένων τροφίμων.

| Ομάδες Μικροοργανισμών | $D_{121,1^{\circ}\text{C}}$ (min) | z (°C) |
|---|-----------------------------------|----------|
| Τρόφιμα χαμηλής οξύτητας (pH>4.5) Θερμόφιλα (σπόρια) Βακτήρια που παράγουν οξέα | 4,0-5,0 | 7.8-12.2 |

| | | |
|---|--------------------|----------|
| (<i>B. stearothermophilus</i>) Βακτήρια αεριογόνα | 3,0-4,0 | 8.9-12.2 |
| (<i>C. thermosaccharolyticum</i>) Βακτήρια που παράγουν H ₂ S (<i>C. nigrificans</i>) | 2,0-3,0 | 8.9-12.2 |
| Μεσόφιλα (σπόρια) <i>C. botulinum</i> (τύπος Α και Β) | 0,1-0,2 | 7.8-10 |
| ομάδα <i>C. sporogenes</i> (συμπεριλ. του P.A. 3679) | 0,1-0,15 | 7.8-10 |
| Όξινα τρόφιμα (4.0<ρΗ<4.5) Θερμόφιλα (σπόρια) <i>B. coagulans</i>) | 0.01-0.07 | 7.8-10 |
| Μεσόφιλα (σπόρια) <i>B. polymyxa</i> και <i>B. macerans</i> | 0.10- ^α | 6.7-8.9 |
| Βουτυρικά αναερόβια (<i>C. pasteurianum</i>) | 0.10- ^α | 6.7-8.9 |
| Τρόφιμα υψηλής οξύτητας (ρΗ<4.0) Μεσόφιλα μη σπορογόνα βακτήρια <i>Lactobacillus, Leuconostoc</i> | 0.50- ^β | 4.4-5.6 |
| Ζύμες και ευρωτομύκητες | 0.50- ^β | 4.4-5.6 |

α: D_{100°C}

β: D_{65.6°C}

(Stumbo, 1973)

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 10, παρατηρούμε πως και στις τρεις περιπτώσεις η διεύθυνση της θερμότητας στο εσωτερικό της κονσέρβας είναι επαρκής ενώ μόνο σε μία οριακή.

Το πρόγραμμα αποστείρωσης το οποίο πραγματοποιείται και στις τέσσερις περιπτώσεις του Πίνακα 10, είναι θερμοκρασίας 107°C και χρόνου 100min.

Στην περίπτωση του υπέρβαρου προϊόντος, η μέση θερμοκρασία αποστείρωσης είναι 106,9°C, η οποία είναι οριακή συγκριτικά με την επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης (107°C). Ο χρόνος θερμικού θανάτου είναι F₀=2,81min. Από τις μετρήσεις που διεξάχθηκαν, παρατηρήθηκε πως για πλήρη καταστροφή των μικροοργανισμών σε θερμοκρασία 107°C για συγκεκριμένες συνθήκες αποστείρωσης (107°C - 100min), ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται είναι 2,81min. Οι συνθήκες αυτές, βάσει των αποτελεσμάτων, παρέμειναν σταθερές για 20,75min, χρονικό διάστημα πολύ μεγαλύτερο από το επιθυμητό, το οποίο δηλώνει την επίτευξη της καταστροφής των μικροοργανισμών.

Στην περίπτωση του ελλειποβαρούς προϊόντος, η μέση θερμοκρασία αποστείρωσης είναι 107,5°C, η οποία είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης (107°C) κατά 0,5°C. Ο χρόνος θερμικού θανάτου είναι F₀=3,84min. Από τις μετρήσεις που διεξάχθηκαν, παρατηρήθηκε πως για πλήρη καταστροφή των μικροοργανισμών σε θερμοκρασία 107°C για συγκεκριμένες συνθήκες αποστείρωσης (107°C - 100min), ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται είναι 3,84min. Οι συνθήκες αυτές, βάσει των αποτελεσμάτων, παρέμειναν σταθερές για

21,25min, χρονικό διάστημα πολύ μεγαλύτερο από το επιθυμητό, το οποίο δηλώνει την επίτευξη της καταστροφής των μικροοργανισμών.

Στην περίπτωση του προϊόντος με χρόνο αναμονής μία ώρα πριν την αποστείρωση, η μέση θερμοκρασία αποστείρωσης είναι 107,2°C, η οποία είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης (107°C) κατά 0,2°C. Ο χρόνος θερμικού θανάτου είναι $F_0=3,38\text{min}$. Από τις μετρήσεις που διεξάχθηκαν, παρατηρήθηκε πως για πλήρη καταστροφή των μικροοργανισμών σε θερμοκρασία 107°C για συγκεκριμένες συνθήκες αποστείρωσης (107°C - 100min), ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται είναι 3,38min. Οι συνθήκες αυτές, βάσει των αποτελεσμάτων, παρέμειναν σταθερές για 19min, χρονικό διάστημα πολύ μεγαλύτερο από το επιθυμητό, το οποίο δηλώνει την επίτευξη της καταστροφής των μικροοργανισμών.

Στην περίπτωση του προϊόντος με διαφορετική αναλογία υγρών πληρώσεως, η μέση θερμοκρασία αποστείρωσης είναι 107,1°C, η οποία είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την επιθυμητή θερμοκρασία αποστείρωσης (107°C) κατά 0,1°C. Ο χρόνος θερμικού θανάτου είναι $F_0=3,38\text{min}$. Από τις μετρήσεις που διεξάχθηκαν, παρατηρήθηκε πως για πλήρη καταστροφή των μικροοργανισμών σε θερμοκρασία 107°C για συγκεκριμένες συνθήκες αποστείρωσης (107°C - 100min), ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται είναι 3,38min. Οι συνθήκες αυτές, βάσει των αποτελεσμάτων, παρέμειναν σταθερές για 11,75min, χρονικό διάστημα πολύ μεγαλύτερο από το επιθυμητό, το οποίο δηλώνει την επίτευξη της καταστροφής των μικροοργανισμών.

Συμπερασματικά, η θερμότητα αποστείρωσης διοχετεύεται με τέτοιο τρόπο ώστε να φτάνει και να επιδρά θετικά στο τρόφιμο με αποτέλεσμα ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για πλήρη καταστροφή των μικροοργανισμών στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και στις συγκεκριμένες συνθήκες, να επιτυγχάνεται.

6. Συμπεράσματα

- Καλύτερη κατανομή της θερμότητας στον αποστειρωτή παρατηρείται στο πρόγραμμα ατμού, όπου σχεδόν σε όλα τα είδη κονσερβοποιημένων προϊόντων, επιτυγχάνεται η καθορισμένη θερμοκρασία αποστείρωσης. Σε αυτά που δεν επιτεύχθηκε, η απόκλιση από την επιθυμητή τιμή ήταν πολύ μικρή (της τάξης $0,5^{\circ}\text{C}$). Μόνο σε δύο περιπτώσεις η επιθυμητή τιμή δεν επιτεύχθηκε.

- Η κατανομή της θερμότητας στον αποστειρωτή που παρατηρείται στο πρόγραμμα νερού, δεν ήταν η επιθυμητή. Η απόκλιση παρατηρήθηκε πως σε κάποιες περιπτώσεις ήταν της τάξεως των $2,5^{\circ}\text{C}$.

- Η διείσδυση της θερμότητας στις τρεις περιπτώσεις, εμφανίστηκε επαρκής. Επιτεύχθηκε η επιθυμητή θερμοκρασία. Ενώ σε μία περίπτωση ήταν οριακή.

- Ο επιθυμητός χρόνος και η θερμοκρασία διείσδυσης που επιτεύχθηκαν και στις τέσσερις περιπτώσεις, ήταν επαρκής για να επιτευχθεί και ο χρόνος θερμικού θανάτου σε κάθε μια από τις περιπτώσεις αυτές.

Ο χρόνος θερμικού θανάτου στην περίπτωση του «Υπέρβαρου προϊόντος» ήταν $F_0=2,81\text{min}$ στους 107°C και διήρκεσε $20,75\text{min}$ στους $106,9^{\circ}\text{C}$.

Ο χρόνος θερμικού θανάτου στην περίπτωση του «Ελλειποβαρούς προϊόντος» ήταν $F_0=3,84\text{min}$ στους 107°C και διήρκεσε $21,25\text{min}$ στους $107,5^{\circ}\text{C}$.

Ο χρόνος θερμικού θανάτου στην περίπτωση με «Χρόνο αναμονής 1 ώρα» ήταν $F_0=3,38\text{min}$ στους 107°C και διήρκεσε $28,5\text{min}$ στους $107,2^{\circ}\text{C}$.

Ο χρόνος θερμικού θανάτου στην περίπτωση του «Προϊόντος με διαφορετικές αναλογίες πλήρωσης» ήταν $F_0=3,38\text{min}$ στους 107°C και διήρκεσε $11,75\text{min}$ στους $107,1^{\circ}\text{C}$

- Η αποστείρωση αποδείχθηκε άκρως αποτελεσματική μέθοδος θερμικής διεργασίας για την καταστροφή των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στα κονσερβοποιημένα προϊόντα.

7. Βιβλιογραφία

- Blunden S., Wallace T. (2003). Tin in canned food: a review and understanding of occurrence and effect. *Food and chemical toxicology*, 41, 1651-1662.
- Brennan J.G, Butters J.R., Cowell N.D. and Lilly A.E.V. (1976) *Food Engineering Operations*, 2nd ed., Applied Science Publishers Ltd., London, pp. 251-285.
- FAO. (1986). Guidelines for can manufacturers and food canners: prevention of metal contamination of canned foods. *Food and Nutrition Paper*, 36, 43-45. Rome.
- Gray J. I., Bruce R. H., Miltz J. (1987). *Food product-package compatibility: proceedings*. pp 105-118. Technomic Publ., Lancaster.
- Heldman D.R. and Singh R.P. (1981) *Food Process Engineering*, 2nd ed., The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut, pp.87-157.
- Holdsworth S.D. (1997) *Thermal Processing of Packaged Foods*, Blackie Academic and Professional, London.
- Κουμούτσος Ν. Λυγερού Β. (1991) Μεταφορά Θερμότητας, Εκδόσεις ΕΜΠ, σελ. 146-177.
- Lund D. (1975) "Heat processing" in *Physical Principles of Food Preservation*, ed. O. Fennema, Marcel Dekker Ink., N.Y., pp 31-92.
- Lund D.B. and Singh R.K. (1993) "The system and its elements" in *Principles of Aseptic Processing and Packaging*, 2nd ed., ed. J.V. Champers and P.E. Nelson, The Food Processors Institute, Washington, D.C., pp 3-30.
- Merson R.L., Sing R.P. and Carroad P.A. (1978) "An evaluation of Ball's formula method of thermal process calculations" *Food Technol.* 32:66.
- National Canners Association (1968) *Laboratory Manual for Food Canners and Processors*, Vol. 1, Westport, AVI, pp. 336
- Palmer J.A. and Jones V.A. (1976) "Prediction of holding times for continuous thermal processing of power-law fluids" *J. Food Sci.* 41: 1233.
- Σαραβάκος Γ. (1979) *Τεχνική Θερμικών Διεργασιών*, Β Έκδοση, Αθήνα, σελ.74-151.
- Robertson G. L. (1993). *Food packaging: principles and practice*. pp 144-145, 174-181. Dekker Marcel, New York.
- Singh R.K. (1993) "Residence time distribution in aseptic processing" in *Principles of Aseptic Processing and Packaging*, 2nd ed., ed. J.V. Champers and P.E. Nelson, The Food Processors Institute, Washington, D.C., pp 3-30.

- Stoforos N.G. (1995) "Thermal process design" *Food Control* 6(2):81.
- Stoforos N.G., Noronha J., Hendrickx M. and Tobback P. (1997) "A critical analysis of mathematical procedures for the evaluation and design of in-container thermal processes of foods" *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 37(5):411.
- Stumbo C.R. (1973) *Thermobacteriology in Food Processing*, 2nd ed., Academic Press, N.Y.
- Ταούκης Π. (1997) *Επιστήμη και Τεχνική των Τροφίμων Σημειώσεις από τις Παραδόσεις*, Αθήνα, σελ. 1.1-1.35.
- Toledo R.T. (1980) *Fundamentals of Food Process Engineering*, The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut, pp. 197-281.
- Turner T. A. (1998). *Canmaking: the technology of metal protection and decoration*. pp 31-37. 1st edition, Blackie A. & P., London.
- Zechman L.G. and Pflug I.J. (1989) "Location of the slowest heating zone for natural convection- heating fluids in metal containers" *J. Food Sci.* 54:205.