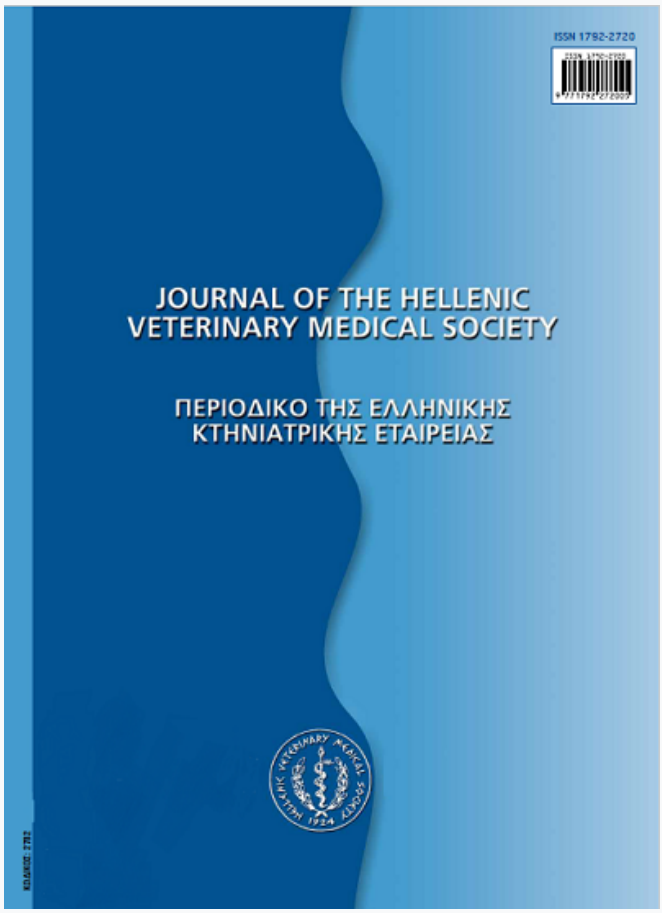
ePublishing

Περιοδικό της Ελληνικής Κτηνιατρικής Εταιρείας

Τόμ. 53, Αρ. 2 (2002)



Εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας κρεατοσκευασμάτων σε κυλινδρικούς μεταλλικούς περιέκτες με τις μεθόδους γενική και με ηλεκτρονικό υπολογιστή

A. GOVARIS (Α. ΓΚΟΒΑΡΗΣ), I. AMBROSIADIS (Ι. ΑΜΒΡΟΣΙΑΔΗΣ)

doi: 10.12681/jhvms.15363

Copyright © 2018, A GOVARIS, I AMBROSIADIS

Άδεια χρήσης Creative Commons Αναφορά-Μη Εμπορική Χρήση 4.0.

Βιβλιογραφική αναφορά:

GOVARIS (Α. ΓΚΟΒΑΡΗΣ) A., & AMBROSIADIS (Ι. ΑΜΒΡΟΣΙΑΔΗΣ) I. (2018). Εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας κρεατοσκευασμάτων σε κυλινδρικούς μεταλλικούς περιέκτες με τις μεθόδους γενική και με ηλεκτρονικό υπολογιστή. *Περιοδικό της Ελληνικής Κτηνιατρικής Εταιρείας*, *53*(2), 103–112. https://doi.org/10.12681/jhvms.15363

ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΚΤΗΝΙΑΤΡΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ 2002, 53(2): 103-112
JOURNAL OF THE HELLENIC VETERINARY MEDICAL SOCIETY 2002, 53(2): 103-112

Ερευνητική
Original Paper

Εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας κρεατοσκευασμάτων σε κυλινδρικούς μεταλλικούς περιέκτες με τις μεθόδους γενική και με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Α. Γκόβαρης[1], Ι. Αμβροσιάδης[2]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ. Δυο γνωστά κρεατοσκευάσματα, ένα με χοίρειο κρέας (luncheon meat) και ένα με βόειο (corned beef), παρήχθησαν με εγκυτίωση σε κυλινδρικούς μεταλλικούς περιέκτες (73x109 mm) και αποστειρώθηκαν με ατμό στους 121,1°C για 96 και 91 min, αντίστοιχα. Η εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας έγινε με τις μεθόδους γενική και με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Η/Υ). Η γενική μέθοδος χρησιμοποίησε τις πειραματικές θερμοκρασίες που καταγράφηκαν απο θερμοζεύγη, ενω η μέθοδος με Η/Υ έκαμε πρόγνωση της εσωτερικής θερμοκρασίας στους κυλινδρικούς μεταλλικούς περιέκτες με τη χρήση της πεπερασμένης διαφορικής επίλυσης (finite difference) της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα. Στο τέλος της θέρμανσης στους 121,1°C και της ακόλουθης ψύξης, ο βαθμός θερμικής επεξεργασίας (F_0) και ο αριθμός των δεκαδικών μειώσεων (log $D_{121,1}$) του αρχικού πληθυσμού των σπόρων του *Clostridium botulinum* στο γεωμετρικό κέντρο των μεταλλικών περιεκτών των δυο κρεατοσκευασμάτων, που υπολογίσθηκαν με τη γενική μέθοδο, συγκρινόμενοι με εκείνους που υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο με Η/Υ, διαπιστώθηκε ότι δεν είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (P>0,05). Συγκρίνοντας στο γεωμετρικό κέντρο των μεταλλικών περιεκτών των δυο κρεατοσκευασμάτων, τη θερμοκρασία, που μετρήθηκε με θερμοζεύγη με αυτή που υπολογίσθηκε θεωρητικά με τη μέθοδο με Η/Υ, διαπιστώνεται ότι δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ τους (P>0,05), σ' όλη τη διάρκεια της θέρμανσης, ενώ, αντίθετα, σημαντική διαφορά μεταξύ τους (P<0,05), προέκυψε στο τέλος της ψύξης.

Λέξεις ευρετηρίασης: Τιμή F_0, περιέκτες, *Clostridium botulinum*, εκτίμηση θερμικής επεξεργασίας.

[1]*Εργαστήριο Υγιεινής Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης, Τμήμα Κτηνιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Καρδίτσα.*
[2]*Εργαστήριο Τεχνολογίας Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης, Τομέας Υγιεινής και Τεχνολογίας Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης, Τμήμα Κτηνιατρικής, ΑΠΘ.*

Ημερομηνία υποβολής: 21.12.2001
Ημερομηνία εγκρίσεως: 27.03.2002

Evaluation of the thermal processing of meat products in cylindrical cans using the General and Computer methods.

Govaris A[1], Ambrosiadis I[2]

ABSTRACT. Cylindrical cans (73x109 mm) were filled with luncheon meat and corned beef were sterilized with steam at 121.1°C for 96 and 91 min, respectively. The evaluation of the thermal processing was made using the General method and a Computer method. The General method used the experimental temperatures recorded by thermocouples while the Computer method predicted the internal temperatures of foods in cylindrical cans, using the finite difference numerical solution of heat conduction equation. By the end of heating at 121.1°C and following cooling, comparison of the (F_0) value and the decimal reduction (log $D_{121.1}$) of the initial population of the *Clostridium botulinum* at the geometric centre of the can for both examined meat products, estimated by the General method with those estimated by the Computer method, showed that there was no any significant difference between them (P>0.05). Comparison of recorded temperatures at the geometric centre of cans of both meat products with those estimated by the Computer method showed that, there was no any significant difference between them (P>0.05) during heating at 121.1°C, but a significant difference between them (P<0.05) was observed by the end of cooling.

Key words: F_0 value, cans, *Clostridium botulinum*, thermal process evaluation

[1]*Laboratory of Foods Hygiene of Animal Origin, Faculty of Veterinary Medicine, University of Thessaly, Karditsa, Greece*
[2]*Laboratory of Foods Technology of Animal Origin, Department of Foods Hygiene & Technology, Faculty of Veterinary Medicine, Aristotle University of Thessaloniki, 540 06 Thessaloniki, Greece.*

Submission date: 21.12.2001
Approval date: 27.03.2002

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο υπολογισμός της θερμικής επεξεργασίας των εγκυτιωμένων τροφίμων έχει ως σκοπό να προσδιορίσει τη μείωση του αριθμού των παθογόνων μικροοργανισμών και να διασφαλίσει, με τον τρόπο αυτό, την υγεία των καταναλωτών. Κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης, βασικός στόχος είναι η καταστροφή των σπόρων του κλωστηριδίου της αλλαντίασης (*Clostridium botulinum*). Η εκτίμηση της μείωσης των σπόρων αυτών, κατά την αποστείρωση, γίνεται συνήθως με τον προσδιορισμό της τιμής (F_o) ή τον αριθμό των δεκαδικών μειώσεών τους (log $D_{121,1}$), στο σημείο του μεταλλικού περιέκτη που θερμαίνεται τελευταίο και που συνήθως συμπίπτει με το γεωμετρικό του κέντρο. Η τιμή (F_o) ορίζεται ως ο ισοδύναμος χρόνος θέρμανσης στους 121,1°C του συνολικού χρόνου της θερμικής επεξεργασίας για τη μείωση των σπόρων του *Clostridium botulinum* στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη.

Διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της θερμικής επεξεργασίας των εγκυτιωμένων τροφίμων. Οι κλασικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα ήταν η γενική μέθοδος και η βάσει του τύπου μέθοδος (formula method), που αναπτύχθηκαν αρχικά στη δεκαετία του '20 και εξελίχθηκαν μετέπειτα[1,2]. Η γενική μέθοδος βασίζει την εκτίμηση της θερμικής αποστείρωσης στη μέτρηση των θερμοκρασιών των τροφίμων με τη χρήση θερμοζευγών που στερεώνονται στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη. Η βάσει του τύπου μέθοδος μπορεί να προβλέψει την τιμή (F_o), βασιζόμενη στη θερμοκρασία της θερμικής επεξεργασίας και σε διάφορα πειραματικά δεδομένα των θερμικών χαρακτηριστικών του εγκυτιωμένου τροφίμου, στο οποίο η θερμότητα μεταδίδεται απαραιτήτως με αγωγιμότητα. Έχει όμως διάφορα μειονεκτήματα, που απορρέουν απο τις υποθέσεις που η μέθοδος αυτή λαμβάνει ως δεδομένο ότι ισχύουν, όπως π.χ. ότι οι κλίσεις των λογαριθμικών καμπύλων θέρμανσης (f_h) και ψύξης (f_c) είναι ίσες μεταξύ τους και ότι ο συντελεστής υστέρησης της καμπύλης ψύξης είναι σταθερός και ίσος με 1,40[1].

Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Η/Υ) την τελευταία τριακονταετία, αναπτύχθηκαν και άλλες μέθοδοι υπολογισμού της τιμής F_o, που βασίζονται στη λύση της εξίσωσης μεταφοράς της θερμότητας σε εγκυτιωμένα τρόφιμα, που θερμαίνονται με αγωγιμότητα. Ανάλογα με τον τρόπο επίλυσης της εξίσωσης αυτής, οι αριθμητικές μέθοδοι μπορούν να καταταγούν σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη στηρίζεται στην πεπερασμένη διαφορική επίλυση (finite difference)[3,4,5,6,7,8], ενω η δεύτερη στην πεπερασμένη στοιχειακή επίλυση (finite element)[9,10] της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα. Αναλυτικές λύσεις της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα που βασίζονται σε πολλές συνθήκες θέρμανσης με διάφορες σταθερές θερμοκρασίες αποστείρωσης των εγκυτιωμένων τροφίμων αναπτύχθηκαν επίσης και από άλλους ερευνητές[11,12]. Η μέθοδος, που βασίζεται στην πεπερασμένη διαφορική επίλυση (finite difference) της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα, παρουσιάζει

INTRODUCTION

The evaluation of the thermal processing of canned foods aims to determine the reduction of the number of pathogen microorganisms and thus to ensure the safety of the consumer's health. During thermal processing the main target is the destruction of spores of *Clostridium botulinum*. The evaluation of spores decrease of this pathogen during thermal processing is usually made by the determination of the Fo value or the number of decimal reduction (log $D_{121.1}$), at the slowest heating point of the can, which coincides with the geometric centre. The F_o value is considered as the equivelant time of heating at 121.1°C of the total time of thermal processing for the decrease of spores of *Clostridium botulinum* at the geometric centre of the can.

Several methods were developed for the evaluation of the thermal processing of canned foods. The classic methods of evaluation have been the General and Formula and have been extensively used. These methods were initially developed in the '20's and have been evaluated afterwards[1,2]. The General method of evaluation of the thermal processing is based on the measurement of the temperatures at the geometric centre of the can. The Formula method can predict the F_o value, using the thermal processing temperature and various thermal characteristics of canned foods, which are heated by conduction. This method has several disadvantages, derived from the assumptions which are considered to be true, such as the slopes of heating and cooling curves are equal and cooling lag factor is equal to 1.40[1].

With the development of the computers the last thirty years, other methods have been also developed, which rely on the the solution of heat conduction equation for canned foods heatet by conduction. Two numerical methods have been used for solution of conduction heat transfer: the finite difference method[3,4,5,6,7,8] and the finite element method[9,10]. Analytical solutions of heat conduction equation which are based on various thermal processing temperatures of canned foods have been also developed by other researchers[11,12]. The method based on finite difference solution of heat conduction equation has several advantages over the other methods, because it does not have the restrictions of these methods[13], it does not require a lot of programming and can be applied to different changes in temperature of thermal processing such as in a temperature drop due to lack of steam[14].

The experimental data demanded by the computer methods for the estimation of the F_o value of canned foods are less, compared to those demanded by the classic methods of General and Formula. However, beyond their theoretical development, the computer methods must provide experimental validation for canned products heated by conduction[8].

The aim of this work is to study the evaluation of the thermal processing of canned pork and beef meat products

διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, επειδή δεν έχει τους περιορισμούς που έχουν αυτές[13], δεν απαιτούν μεγάλο προγραμματισμό[13] και μπορούν έτσι να εφαρμοσθούν ακόμη και όταν παρατηρηθούν αποκλίσεις της θερμοκρασίας κατά την αποστείρωση, όπως π.χ. παροδική της πτώση, λόγω μείωσης της παροχής ατμού[14].

Για τις μεθόδους υπολογισμού της τιμής F_0 με Η/Υ, τα πειραματικά δεδομένα, σε εγκυτιωμένα τρόφιμα, είναι πολύ λιγότερα σε σύγκριση με αυτά που υπάρχουν για τις κλασσικές μεθόδους γενική και η βάσει του τύπου. Ετσι, πέρα απο τη θεωρητική τους ανάπτυξη, οι μέθοδοι με Η/Υ χρειάζεται να μελετηθούν και η εφαρμογή τους να εξετασθεί μετά από πειραματικά δεδομένα σε εγκυτιωμένα τρόφιμα που θερμαίνονται με αγωγιμότητα[8].

Σκοπός λοιπόν της εργασίας αυτής ήταν να μελετηθεί η εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας μεταλλικών περιεκτών με χοίρειο και βόειο κρέας (luncheon meat, corned beef) με τη μέθοδο με Η/Υ που βασίζεται στην πεπερασμένη διαφορική επίλυση της μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα και τα αποτελέσματα των θεωρητικών αυτών υπολογισμών να συγκριθούν με αυτά της κλασσικής γενικής μεθόδου εκτίμησης, που βασίζεται στη μέτρηση της θερμοκρασίας στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη καθ' όλη τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Παραγωγή των προϊόντων

Τα προϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κρεατοσκευάσματα απο χοίρειο κρέας (luncheon meat) και βόειο κρέας (corned beef) που παρασκευάσθηκαν, όπως περιγράφεται παρακάτω:

Luncheon meat. Η σύνθεση της συνταγής του προϊόντος αυτού ήταν, 35% χοίρειο κρέας από εμπρόσθιο τεταρτημόριο, 10% χοίρειο λίπος, 15% νερό, 5% άμυλο και 35% χοίρειο κρέας από παντσέτα (λιποπεριεκτικότητα 30-35%). Ανά κιλό κρεατόμαζας χρησιμοποιήθηκαν 18 g αλάτι, 3 g διφωσφορικό νάτριο, 6 g μίγματος καρυκευμάτων, 0,3 g ασκορβικό νάτριο και 0,15 g νιτρώδες νάτριο. Ο τεμαχισμός πραγματοποιήθηκε σε κούτερ. Αρχικά παρήχθη η λεπτοτεμαχισμένη κρεατόμαζα με τη σπάλα, το λίπος, το νερό και όλα τα πρόσθετα και στη συνέχεια στη μάζα αυτή αναμείχθηκε η προτεμαχισμένη σε μιττωτό παντσέτα.

Corned beef (γερμανικού τύπου). Η σύνθεση της συνταγής του προϊόντος αυτού περιείχε 85% βόειο κρέας απαλλαγμένο από το λίπος και το συνδετικό ιστό και 15% κολλαγόνο από χοίρειο δέρμα. Ανά κιλό κρεατόμαζας προστέθηκαν 18 g αλάτι, 3g πιπέρι, 0,15 g νιτρώδη και 20g ζελατίνη σε σκόνη. Μια μέρα πριν από την παραγωγή, το χοίρειο δέρμα θερμάνθηκε στους 100°C μέχρι να μαλακώσει και υποστεί μερική ζελατινοποίηση. Στη συνέχεια ψύχθηκε με παγωμένο νερό και τεμαχίσθηκε σε κρεατομηχανή με την πλάκα που έχει διάμετρο οπών 3 mm και φυλάχθηκε μέχρι την επομένη μέρα στο ψυγείο. Το βόειο κρέας κόπηκε σε τεμάχια 5x5x5 cm και επί 24 ώρες αλατίσθηκε με το αλάτι και τα νιτρώδη. Στη συνέχεια ζεματί-

(luncheon meat, corned beef) using the computer method based on the finite difference numerical solution of heat conduction equation and their theoretical results to be compared with those of the General method, which is based on recorded temperatures at the geometric centre of the can throughout the thermal processing.

MATERIALS AND METHODS

Meat products from pork (luncheon meat) and beef (corned beef) were used in the present study and prepared, as follows:

Luncheon meat. The composition of this product was: 35% of meat of pork shoulder, 10% of pork fat, 15% of water, 5% of starch and 35% of meat of pork side (30-35% fat). In the product were also added 18 g of salt, 3 g of sodium biphosphate, 6 g of a mixture of spices, 0,3 g of sodium ascorbic and 0,15 g sodium nitrite per Kg of the meat mixture. The product was mixed in a cutter. Initially the mixture was made from the pork shoulder, fat, water and rest ingredients and then the minced pork side was added.

Corned beef (German type). The composition of this product was: 85% of lean beef free of connective tissue and about 15% of collagen from pig skin. In the product were also added 18 g of salt, 3 g of peper, 5 g of nitrite and 20 g of gelatin powder per Kg of the mixture. A day after production, the pig skin was heated at 100°C until softening and partial gelatinization. Then the skin was cooled with cold water and was minced using a 3mm mince plate and was kept in a refrigerator until the next day. Beef was cut in pieces of 5x5x5 cm and was salted with nitrite for 24h. Then the beef was heated in water (95°C) until the temperature at the centre of pieces reached 65-67°C. The day of production the beef was chopped in the cutter using a knife placed in reverse because it was desired the separation and not the cut of muscle fibres. Then the gelatinized collagen was added in the mixture, with a volume equal to the loss of meat during heating.

The mixture for both products were placed in metal cans of diameter of 73 mm and height of 109 mm (ELSA AE, Pireaus) with a weight of approximately of 420±3g. The copper – constantan thermocouples were initially fixed in the empty cans and then the cans were filled with the products, were sealed and thermally processed.

Thermal processing

The cans were processed in a static retort with steam at a temperature of 121.1±0.5°C and then were cooled with cold water 18±1°C (under contol of water flow) and air pressure 103.4 kPa. In each test (preparation of the product, filling, sealing, thermal processing etc) six cans of each product were used. At each time, two cans of the same product were processed. The tests were repeated twice, thus, the measurements were made in 12 cans of each product. The temperature was measured using a temperature recorder (CMC821, Ellab, Copenhagen, Denmark).

σθηκε σε νερό θερμοκρασίας 95°C ώσπου η θερμοκρασία στο κέντρο των τεμαχίων να φθάσει τους 65-67°C. Κατά την ημέρα της παραγωγής το κρέας τεμαχίσθηκε στο κούτερ με ένα μαχαίρι το οποίο είχε τοποθετηθεί ανάποδα (επιθυμητός ήταν ο διαχωρισμός των μυϊκών δεσμίδων και ινών και όχι η τομή τους) και στη συνέχεια αναμείχθηκε με το κολλαγόνο, τα πρόσθετα και στο μείγμα αυτό προστέθηκε τόση ποσότητα ζωμού, όσες ήταν και οι απώλειες του κρέατος κατά τη θερμική επεξεργασία.

Η κρεατόμαζα και των δύο προϊόντων τοποθετήθηκε σε κυλινδρικούς μεταλλικούς περιέκτες διαμέτρου 73 mm και ύψους 109 mm (ΕΛΣΑ ΑΕ, Πειραιάς) με βάρος περιεχομένου 420±3 g. Τα θερμοζεύγη από χαλκό-κονσταντινίτη (Ecklund, Cape coral, Florida, USA) στερεώθηκαν στο γεωμετρικό τους κέντρο, πριν από τη γέμιση των κυτίων και μετά σφραγίσθηκαν και οδηγήθηκαν για αποστείρωση.

Θερμική επεξεργασία

Οι μεταλλικοί περιέκτες αποστειρώθηκαν σε ένα στατικό αποστειρωτήρα με ατμό σε θερμοκρασία 121,1±0,5°C και στη συνέχεια η ψύξη έγινε με κρύο νερό θερμοκρασίας 18±1°C (με έλεγχο της φυσικής ροής του νερού) και με πίεση αέρα 103,4 kPa. Σε κάθε πειραματισμό (παρασκευή κρεατοσκευασμάτων, εγκυτίωση, θερμική επεξεργασία κλπ) χρησιμοποιήθηκαν 6 μεταλλικοί περιέκτες από κάθε κρεατοσκεύασμα, που αποστειρώνονταν ανα 2 μεταλλικοί περιέκτες από το ίδιο κρεατοσκεύασμα την κάθε φορά. Οι πειραματισμοί επαναλήφθηκαν δύο φορές, έτσι ώστε οι μετρήσεις να γίνουν σε 12 μεταλλικούς περιέκτες από το κάθε κρεατοσκεύασμα. Η καταγραφή των θερμοκρασιών στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη και στον αποστειρωτήρα έγιναν με ένα μετρητή θερμοκρασιών (CMC821, Ellab, Copenhagen, Denmark).

Εκτίμησης της θερμικής επεξεργασίας (τιμή Fo) με τη γενική μέθοδο, καθώς και με τη μέθοδο με Η/Υ.

Η τιμή (F_o) προσδιορίσθηκε και για τις δύο μεθόδους απο την ακόλουθη εξίσωση

$$F_o = \int_0^t 10^{(T-121.1/z)}\, dt \qquad \text{Εξίσ [1]}$$

Οπου T = η θερμοκρασία στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη, t = ο χρόνος θέρμανσης και z = η θερμοκρασιακή αλλαγή που απαιτείται για μια δεκαδική μείωση των τιμών D του μικροβίου, που για το κλωστηρίδιο της αλλαντίασης (*Clostridium botulinum*) υπολογίζεται ίσο με 10°C.

Η τιμή (F_o) με τη γενική μέθοδο προσδιορίσθηκε (εξίσ. 1) με την απευθείας μέτρηση των θερμοκρασιών στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη , όπως περιγράφεται απο τον Stumbo[1]. Η τιμή (F_o) με τη μέθοδο του Η/Υ προσδιορίσθηκε (εξίσ. 1) με βάση το θεωρητικό υπολογισμό των θερμοκρασιών στο γεωμετρικό κέντρο της κανσέρβας, ο οποίος βασίσθηκε στην ακόλουθη εξίσωση μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα σε κυλινδρικούς περιέκτες[15]

Evaluation of thermal processing (F_o value) with the General and Computer methods

The F_o value was determined for both evaluation methods with the following equation

$$F_o = \int_0^t 10^{(T-121.1/z)}\, dt \qquad \text{Equation [1]}$$

Where, T= the temperature at the geometric centre of the can, t= the time of thermal processing and z= the temperature change required for a decimal reduction of D values of the bacterium, which is 10° C for the spores of *Clostridium botulinum*.

The F_o value for the General method was estimated (Equ. 1) from direct recording of temperatures at the geometric centre of the can, as described by Stumbo[1]. The F_o value for the Computer method was determined (Equ.1) using the theoretical prediction of temperatures at the geometric centre of the can, which is based on the following equation of heat conduction equation in cylindrical cans[15]:

$$\theta T / \theta t = \alpha \{ \theta^2 T / \theta r^2 + (1/r) \times (\theta t / \theta r) + \theta^2 T / \theta h^2 \} \qquad \text{Equation [2]}$$

where T= the internal temperature of food at any time, α= The thermal diffusivity value, t= time, r= radius of cylinder and h= the height of cylinder.

The thermal diffusivity value (α) was estimated from the following equation:

$$\alpha = 0.398 / \{(1/r^2) + (0.427/b^2)\} f_h \qquad \text{Equation [3]}$$

where r= radius of cylinder, b= the half height of cylinder and f_h= the value of slope of heating curve which was estimated as described by Stumbo[1].

The estimation of internal temperatures of canned foods was made using the finite difference solution of heat conduction equation (2) as described by Teixeira *et al*[3]. The stability criteria of finite difference solution used in this study (r/10, b/10 and time 30 s) were determined as described by Teixeira *et al*[3]. The temperatures at surfaces of can and food were considered equal with the retort temperature, either for heating or for cooling. The initial temperature of products was considered uniform throughout the canned food products. The program of Computer method was developed in BASIC.

Although the computer method can estimate the decimal reduction (log $D_{121.1}$) of a microorganism at any internal part of the canned food, in our tests the estimation was only made at the geometric centre of the can since only then the two methods the General and Computer could be compared.

The concentration C of spores of *Clostridium botulinum* during the thermal processing was estimated from the following equation

$$C = C_o\, 10^{-t/D} \qquad \text{Equation [4]}$$

Where Co= the initial concentration of spores of *Clostridium botulinum*, t= time and D= the value of slope of logarithmic survival of the pathogen at a certain

$$\theta T / \theta t = \alpha \{ \theta^2 T / \theta r^2 + (1/r) \times (\theta t / \theta r) + \theta^2 T / \theta h^2 \}$$ Εξίσ. [2]

όπου T = η θερμοκρασία στο εσωτερικό του τροφίμου σε οποιοδήποτε χρόνο, α= συντελεστής θερμικής διάχυσης, t = χρόνος, r = ακτίνα του κυλίνδρου, h = ύψος κυλίνδρου.

Ο συντελεστής θερμικής διάχυσης (α) προσδιορίσθηκε απο την ακόλουθη εξίσωση

$$\alpha = 0{,}398 / \{(1/r^2) + (0{,}427/ b^2)\} f_h$$ Εξίσ. [3]

όπου r = ακτίνα του κυλίνδρου, b = το ήμισυ του ύψους του κυλίνδρου και f_h = η τιμή της κλίσης της καμπύλης θέρμανσης, που προσδιορίσθηκε όπως περιγράφεται απο τον Stumbo[1].

Ο υπολογισμός των εσωτερικών θερμοκρασιών των εγκυτιωμένων τροφίμων έγινε με την πεπερασμένη διαφορική επίλυση (finite differences) της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα [2], όπως περιγράφεται απο τον Teixeira και συν[3]. Τα κριτήρια σταθερότητας της διαφορικής επίλυσης που χρησιμοποιήθηκαν (r/10, b/10 και χρόνος 30s) προσδιορίσθηκαν, όπως περιγράφονται απο τον Teixeira και συν[3]. Οι θερμοκρασίες της επιφάνειας του μεταλλικού περιέκτη και του τροφίμου θεωρήθηκαν ότι ήταν ίσες με τη θερμοκρασία του αποστειρωτήρα, τόσο κατά τη θέρμανση όσο και την ψύξη. Η αρχική θερμοκρασία των προϊόντων θεωρήθηκε ότι ήταν ομοιόμορφη σε όλη τους τη μάζα. Το πρόγραμμα της μεθόδου με Η/Υ αναπτύχθηκε σε BASIC.

Ακόμη και αν η μέθοδος με Η/Υ μπορεί να υπολογίσει τη δεκαδική μείωση ($\log D_{121,1}$) ενός μικροοργανισμού σε κάθε επί μέρους τμήμα του εγκυτιωμένου τροφίμου, στα πειράματά μας επιλέξαμε αυτό να γίνεται μόνο στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη επειδή μόνο έτσι οι δύο μέθοδοι με Η/Υ και γενική θα μπορούσαν να συγκριθούν μεταξύ τους.

Η συγκέντρωση (C) των σπόρων του *Clostridium botulinum* στη διάρκεια του χρόνου της θερμικής επεξεργασίας υπολογίζονταν απο την ακόλουθη εξίσωση

$$C = C_o 10^{-t/D}$$ Εξίσ. [4]

Οπου C_o= η αρχική συγκέντρωση των σπόρων του κλωστηριδίου της αλλαντίασης, t= χρόνος και D= η τιμή της κλίσης της λογαριθμικής μείωσης της καμπύλης επιβίωσης του παθογόνου σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Η εξάρτηση της τιμής (D) απο τη θερμοκρασία υπολογιζόταν απο την εξίσωση

$$D = D_r 10^{[(Tr-T)/z]}$$ Εξισ. [5]

Οπου Dr = η τιμή της κλίσης της λογαριθμικής μείωσης της καμπύλης επιβίωσης του παθογόνου στη θερμοκρασία αναφοράς (121,1°C), Tr = θερμοκρασία 121,1°C, T= θερμοκρασία στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη και z = η θερμοκρασιακή αλλαγή που απαιτείται για μια δεκαδική μείωση των τιμών D του μικροβίου, που για τους σπόρους του *Clostridium botulinum* υπολογίζεται ίσο με 10°C.

temperature.

The dependence of D value was estimated from the equation

$$D = D_r 10^{[(Tr-T)/z]}$$ Equation [5]

Where D_r = the value of slope of logarithmic survival of the pathogen at a reference temperature (121.1°C), Tr = temperature 121.1°C, T = the temperature at the geometric centre of the can and z= the temperature change required for a decimal reduction of D values of the bacterium, which is 10°C for the spores of *Clostridium botulinum*.

With the Computer method, the number of decimal reduction ($\log D_{121.1}$) of spores of *Clostridium botulinum* was estimated according to Rodriguez et al. [8].

With the General method, the number of decimal reduction ($\log D_{121.1}$) of spores of *Clostridium botulinum* was estimated from the counted F_o value, as described by Stumbo[1]. The minimum number of spores of *Clostridium botulinum*, which was assumed to be found at the geometric centre of the can before the thermal processing, was 1 for the estimations either with the Computer or with the General methods.

Statistical analysis

Statistical analysis used the F-test for the comparison of variance and t-test for the evaluation of difference in mean values. If evaluation showed that variances were equal or different the appropriate t-test was used at a level of significance ($P<0.05$).

Chemical analysis

At each test the chemical composition of the two products was determined. The total fat, moisture, total proteins and ash, were estimated according to methods of AOAC[16].

RESULTS AND DISCUSSION

Chemical and thermal characteristics of canned products

The chemical composition of canned meat products is shown in Table 1 and is typical of these products. Table 2 shows the thermal characteristics of luncheon meat and corned beef in cans (73x109 mm) during the thermal processing at 121.1°C. The mean values of slopes (f_h) of the heating curves and the heating lag factors (j_h), were higher ($P<0.05$) for the cans with luncheon meat than for the cans with corned beef. However, the mean values of thermal diffusivity (α) were higher ($P<0.05$) for the cans with the beef product than this with the pork product.

The values of thermal diffusivity (α) were also estimated by other researchers[3,7,8,13,,18] using the slopes of heating curves (f_h) for other canned products heated by conduction. The values of thermal diffusivity (α) estimated for the canned products of the present study are in agreement with the values reported by other workers (review of ASHRAE)[19].

Με τη μέθοδο με Η/Υ ο αριθμός των δεκαδικών μειώσεων (log $D_{121,1}$) των σπόρων *Clostridium botulinum* υπολογίσθηκε σύμφωνα με τον Rodriguez και συν[8].

Με τη γενική μέθοδο ο αριθμός των δεκαδικών μειώσεων (log $D_{121,1}$) του σπόρου του *Clostridium botulinum* υπολογίσθηκε απο την προσδιορισθείσα τιμή F_o, όπως περιγράφεται απο τον Stumbo[1]. Ο ελάχιστος αριθμός των σπόρων του *Clostridium botulinum* που υποτέθηκε οτι υπήρχε αρχικά στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη πριν από τη διαδικασία της θέρμανσης ήταν 1 τόσο για τους υπολογισμούς με τη μέθοδο με Η/Υ όσο και με τη γενική μέθοδο.

Πίνακας 1. Χημική σύνθεση των εξετασθέντων προϊόντων.

Προϊόν	Υγρασία %	Λίπος%	Πρωτεΐνες%	Τέφρα%
Περιέκτης βόειου κρέατος	71,7±0,5	4,4±0,2	21,6±0,3	2,1±0,1
Περιέκτης χοιρινού κρέατος	57,5±0,4	21,2±0,3	13,3±0,2	2,3±0,1

Table 1. Chemical composition of examined products.

Product	Moisture %	Fat%	Proteins%	Ash%
Corned beef	71,7±0,5	4,4±0,2	21,6±0,3	2,1±0,1
Luncheon meat	57,5±0,4	21,2±0,3	13,3±0,2	2,3±0,1

Πίνακας 2. Θερμικά χαρακτηριστικά μεταλλικών περιεκτών (73x109 mm) με χοιρινό κρέας και βόειο κρέας σε αποστείρωση με ατμό στους 121,1°C.

Προϊόν	Αρχική θερμοκρασία αποστειρωτήρα (°C)	Θερμοκρασία αποστείρωσης (°C)	Χρόνος ανόδου στη θερμοκρασία αποστείρωσης (min)*	Κλίση καμπύλης θέρμανσης των προϊόντων (fh)*	Συντελεστής υστέρησης της καμπύλης θέρμανσης (jh)*	Συντελεστής θερμικής διάχυσης των προϊόντων (α) ($m^2 s^{-1}$)*
Περιέκτης χοιρινού κρέατος	23	121,1	20±0,40	56±0,21	1,35±0,16	1,26x 10^{-7}±0,05
Περιέκτης βόειου κρέατος	23	121,1	20±0,40	51±0,23	1,20±0,18	1,38x 10^{-7}±0,06

* Μέσος όρος±τυπική απόκλιση

Table 2. Thermal characteristics of cans (73x109 mm) of luncheon meat and corned beef during thermal processing with steam at 121.1°C.

Product	Initial retort temperature (°C)	Thermal process temperature (°C)	Come- up time to thermal processing temperature (min)*	Slope of heating curve (fh)*	Lag factor of heating curve (jh)*	Thermal difussivity value (α) ($m^2 s^{-1}$)*
Luncheon meat	23	121.1	20±0.40	56±0.21	1.35±0.16	1.26x 10^{-7}±0.05
Corned beef	23	121.1	20±0.40	51±0.23	1.20±0.18	1.38x 10^{-7}±0.06

* Mean value±Standard deviation

Στατιστική ανάλυση

Στη στατιστική ανάλυση εφαρμόσθηκε το F test για τον έλεγχο των διακυμάνσεων και το t-test για τον έλεγχο των μέσων όρων. Ανάλογα εάν οι διακυμάνσεις των δειγμάτων ήταν ίσες ή διαφορετικές εφαρμόσθηκε το αντίστοιχο t-test σε επίπεδο σημαντικότητας ($P<0,05$).

Χημική ανάλυση

Σε κάθε πειραματισμό γινόταν χημική ανάλυση των δύο προϊόντων. Προσδιοριζόταν το ολικό λίπος, η υγρασία, οι ολικές πρωτεΐνες και η τέφρα, σύμφωνα με μεθόδους (AOAC, 1989)[16].

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Θερμικά χαρακτηριστικά εγκυτιωμένων τροφίμων

Η χημική σύσταση των εγκυτιωμένων κρεατοσκευα-

The value of thermal diffusivity (α) is decreased with the decrease in moisture of foods as reported by Riedel[20] and this is in agreement with the results of the present study. The measurements of moisture, as shown in Table 1, was 57.5±0.4 and 71.7±0.5 for the cans of pork and beef products, respectively.

Evaluation of thermal processing

Table 3 and 4 show the evaluations of the thermal processing with steam at 121.1°C of both canned meat products using the General and Computer methods, by the end of either heating or cooling phases. The results showed that there was not significant difference between the two methods for either the Fo value, or the decimal reduction number (log $D_{121.1}$) of the initial population of the spores of *Clostridium botulinum* at the geometric centre of the can by the end of heating or cooling phases. Comparing the

Πίνακας 3. Εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας μεταλλικών περιεκτών (73x109 mm) με χοιρινό κρέας και βόειο κρέας στη διάρκεια της θέρμανσης για αποστείρωση στους121,1°C κάνοντας χρήση των μεθόδων γενική και με Η/Υ.

Προϊόν	Αρχική θερμοκρασία προϊόντος (°C)	Χρόνος (min) θέρμανσης	Βαθμοί αποστείρωσης Fo value min*		Αριθμός δεκαδικών μειώσεων (log D121,1) *Clostridium botulinum**		Τελική θερμοκρασία στο γεωμετρικό κέντρο του περιέκτη (°C) *	
			Γενική μέθοδος	Μέθοδος με Η/Υ	Γενική μέθοδος**	Μέθοδος με Η/Υ	Πειραματική	Μέθοδος με Η/Υ
Περιέκτης χοιρινού κρέατος	23	96	2,29±0,20	2,21±0,16	10,90±0,95	10,60±0,42	116,06±0,24	115,90±0,18
Περιέκτης βόειου κρέατος	23	91	2,14±0,23	2,18±0,19	10,19±1,09	10,41±0,54	115,89±0,28	116,03±0,21

* Μέσος όρος ±τυπική απόκλιση.
** Ο αριθμός των δεκαδικών μειώσεων υπολογίσθηκε σύμφωνα με τον Stumbo[1] για αρχικό πληθυσμό 1 σπόρου του *Clostridium botulinum* στο γεωμετρικό κέντρο του περιέκτη και για χρόνο ίσο με την υπολογισθείσα τιμή Fo της γενικής μεθόδου στους 121,1°C.

Table 3. Evaluation of thermal processing of cans (73x109 mm) with luncheon meat and corned beef during heating of thermal processing with steam at 121.1°C using the General and Computer methods.

Product	Initial food temperature (°C)	Time (min) of heating	Fo value min*		Number of decimal reduction (log D121.1) of *Clostridium botulinum**		Final temperature at the geometric centre (°C) *	
			General method	Computer method	General method**	Computer method	Experimental	Computer method
Luncheon meat	23	96	2.29±0.20	2.21±0.16	10.90±0.95	10.60±0.42	116.06±0.24	115.90±0.18
Corned beef	23	91	2.14±0.23	2.18±0.19	10.19±1.09	10.41±0.54	115.89±0.28	116.03±0.21

* Mean value±standard deviation.
** The number of decimal reduction was estimated according to Stumbo[1] for initial population of 1 spore of *Clostridium botulinum* at the geometric centre of the can and for a time equal to this of Fo value estimated with the General method at 121.1°C.

σμάτων φαίνεται στον Πίνακα 1 και είναι τυπική αυτών των προϊόντων[17]. Στον Πίνακα 2 φαίνονται τα θερμικά χαρακτηριστικά των μεταλλικών περιεκτών (73x109 mm) με χοιρινό κρέας (luncheon meat) και βόειο κρέας (corned beef) κατα την αποστείρωση τους με ατμό στους121,1°C. Η μέση τιμή του δείγματος των τιμών των κλίσεων των καμπύλων θέρμανσης (f_h) και των συντελεστών θερμικής υστέρησης (j_h) ήταν μεγαλύτερη (P<0,05) για τους μεταλλικούς περιέκτες με χοιρινό κρέας (luncheon meat) απο την αντίστοιχη για τους μεταλλικούς περιέκτες με βόειο κρέας (corned beef). Σε αντίθεση, η μέση τιμή του δείγματος των συντελεστών θερμικής διάχυσης (α) ήταν μεγαλύτερη (P<0,05) για τους μεταλλικούς περιέκτες βόειου κρέατος απο την αντίστοιχη για τους μεταλλικούς περιέκτες με χοιρινό κρέας.

Οι τιμές των συντελεστών θερμικής διάχυσης (α) προσδιορίσθηκαν και απο άλλους ερευνητές[3,7,8,13,18] με τη χρήση των κλίσεων των καμπύλων θέρμανσης (fh) για άλλα εγκυτιωμένα προϊόντα που θερμαίνονται με αγωγιμότητα. Οι τιμές των συντελεστών θερμικής διάχυσης (α) που υπολογίσθηκαν για τα εξετασθέντα εγκυτιωμένα προϊόντα της παρούσας μελέτης (Πίνακας 1) είναι σε συμ-

recorded temperature with the predicted temperature from the computer method at the geometric centre of both examined cans, results showed that there was no significant difference (P>0.05) between them, during the heating phase (Table 3), while a significant difference (P<0.05) between them was observed by the end of cooling (Table 4). The presence of significant difference (P<0.05) between the experimental and estimated with the computer method temperatures by the end of cooling, did not affect the estimation of F_o value of the two methods during cooling, as reported earlier. It is known that the F_o value is accumulated at initial stages of cooling phase, because at this time there are higher temperatures than the end of cooling at the geometric centre of the can. This fact does not affect the total F_o value[1].

Table 5 shows the total final Fo value as well as the total decimal reduction number (log $D_{121.1}$) of *Clostridium botulinum* from estimations made using the General and Computer methods. The total decimal reduction number (log $D_{121.1}$) of *Clostridium botulinum* at the geometric centre of both cans, a fact that ensures the minimum demands for the consumers safety[1,2].

Πίνακας 4. Εκτίμηση της θερμικής αποστείρωσης μεταλλικών περιεκτών (73x109 mm) με χοιρινό κρέας και βόειο κρέας στη διάρκεια της ψύξης μετά από αποστείρωση στους 121,1 °C κάνοντας χρήση των μεθόδων γενική και με Η/Υ.

Προϊόν	Αρχική θερμοκρασία προϊόντος (°C)	Χρόνος (min) θέρμανσης	Βαθμοί αποστείρωσης (Fo)*		Αριθμός δεκαδικών μειώσεων (log D121,1) *Clostridium botulinum**		Τελική θερμοκρασία στο γεωμετρικό κέντρο του περιέκτη (°C) *	
			Γενική μέθοδος	Μέθοδος με Η/Υ	Γενική μέθοδος**	Μέθοδος με Η/Υ	Πειραματική	Μέθοδος με Η/Υ
Luncheon meat	18	20	1,02±0,18	0,93±0,15	4,85±0,85	4,46±0,39	65,10±0,56	62,40±0,33
Corned beef	18	20	0,84±0.11	0,91±0,10	4,00±0,52	4,29±0,27	55,60±0,42	58,20±0,29

* Μέσος όρος ±τυπική απόκλιση.
** Ο αριθμός των δεκαδικών μειώσεων υπολογίσθηκε σύμφωνα με τον Stumbo[1] για αρχικό πληθυσμό 1 σπόρου του *Clostridium botulinum* στο γεωμετρικό κέντρο του περιέκτη και για χρόνο ίσο με την υπολογισθείσα τιμή Fo της γενικής μεθόδου στους 121,1 °C.

Table 4. Evaluation of thermal processing of cans (73x109 mm) with luncheon meat and corned beef during cooling of thermal processing with steam at 121.1 °C using the General and Computer methods.

Product	Temperature of cold water (°C)	Cooling time (min)	Fo value*		Number of decimal reduction (log D121.1) of *Clostridium botulinum**		Final temperature at the geometric centre of can (°C) *	
			General method	Computer method	General method**	Computer method	Experimental	Computer method
Luncheon meat	18	20	1.02±0.18	0.93±0.15	4.85±0.85	4.46±0.39	65.10±0.56	62.40±0.33
Corned beef	18	20	0.84±0.11	0.91±0.10	4.00±0.52	4.29±0.27	55.60±0.42	58.20±0.29

* Mean value±standard deviation.
** The number of decimal reduction was estimated according to Stumbo[1] for initial population of 1 spore of *Clostridium botulinum* at the geometric centre of the can and for a time equal to this of Fo value estimated with the General method at 121.1 °C.

φωνία με τις τιμές των προϊόντων που έχουν αναφερθεί απο άλλους ερευνητές (βιβλιογραφική αναφορά ASHRAE)[19].

Η τιμή του συντελεστή θερμικής διάχυσης (α) μειώνεται με τη μείωση της υγρασίας του τροφίμου όπως αναφέρει ο Riedel[20] και αυτό είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Οι τιμές της υγρασίας, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 1 ήταν 57,±0,4 και 71,7±0,5 για τους μεταλλικούς περιέκτες χοιρείου και βοείου κρέατος αντίστοιχα.

Εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας

Στούς Πίνακες 3 και 4 φαίνονται οι εκτιμήσεις της θερμικής επεξεργασίας με ατμό στους121,1 °C των δύο εγκυτιωμένων προϊόντων κάνοντας χρήση των μεθόδων, γενική και με Η/Υ, τόσο στο τέλος της θέρμανσης όσο και της ψύξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο τέλος του κάθε σταδίου δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων υπολογισμού (P>0,05), τόσο στην τιμή F_o, όσο και στον αριθμό των δεκαδικών μειώσεων (log $D_{121,1}$) του αρχικού πληθυσμού των σπόρων του *Clostridium botulinum* στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη. Συγκρίνοντας την καταγραφείσα πειραματική θερμοκρασία απο τα θερμοζεύγη με την υπολογισθείσα θερμοκρασία με τη μέθοδο με Η/Υ στο γεωμετρικό κέντρο αμφότερων των ε-

It is important to note that the General method is one of the most reliable methods of evaluation of thermal processing of canned food products because this method relies on real data of temperature recorded from thermocouples in cans. Based on the results of present study and the comparison of the General method with the Computer method, it is concluded that the developed computer method could be used for the evaluation of steam thermal processing of lunceon meat and corned beef cans. This in agreement with conclusions of other researchers,[4,5,14,18,21], who found the finite difference solution of heat conduction equation in canned foods can be used for the prediction of internal temperatures and evaluation of thermal processing. It is also important to note that various shape cans with metal or plastic wall have been studied with the computer method[13], but the cylindrical[3,4,5,8] and rectangular[7,14,18,22] shape cans have been mostly studied.

In the present study by the end of cooling, the diversions of the temperatures recorded at the geometric centre of the can from those predicted with the computer method, may be due to several factors like heat transfer coefficients[4,5,13,22] from can wall that can affect heat conduction equation, which were not estimated in the present study, the change of thermal diffusivity (α) in low

ξετασθέντων μεταλλικών περιεκτών, τα αποτελέσματα έδειξαν οτι δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ τους (P>0,05) στο τέλος της θέρμανσης της αποστείρωσης στους 121,1°C (Πίνακας 3), ενώ στο τέλος της ψύξης υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ τους (P<0,05) (Πίνακας 4). Το γεγονός της ύπαρξης σημαντικής διαφοράς (P<0,05) μεταξύ της πειραματικής και της υπολογισθείσας με τη μέθοδο με Η/Υ θερμοκρασίας στο τέλος της ψύξης, φαίνεται οτι δεν επηρέασε τον υπολογισμό της τιμής (F_o) απο τη μέθοδο με Η/Υ, εφ' όσον δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές (P>0,05) των τιμών (Fo) μεταξύ των δύο μεθόδων στην ψύξη, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα. Είναι γεγονός οτι η τιμή (F_o) αθροίζεται ουσιασιστικά στην αρχή της ψύξης, όπου επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση προς το τέλος της ψύξης στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη και που δεν επηρεάζουν τη συνολική τιμή της αποστείρωσης (F_o)[1].

Στον Πίνακα 5 φαίνεται η συνολική τελική τιμή Fo, καθώς και ο συνολικός αριθμός των δεκαδικών μειώσεων (log $D_{121,1}$) του *Clostridium botulinum*, με υπολογισμούς που έγιναν κάνοντας χρήση των μεθόδων γενική και με Η/Υ. Η συνολική δεκαδική μείωση των σπόρων του *Clostridium botulinum* στο γεωμετρικό κέντρο αμφοτέρων των μεταλλικών περιεκτών ήταν μεγαλύτερη των 12 λογαρίθμων (Πίνακας 5), γεγονός που διασφαλίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις για την ασφάλεια του καταναλωτή[1,2].

Είναι σημαντικό να τονισθεί οτι η γενική μέθοδος είναι μία απο τις πλέον αξιόπιστες μεθόδους εκτίμησης των εγκυτιωμένων προϊόντων, επειδή βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα θερμοκρασίας που καταγράφονται απο τα θερμοζεύζη στο μεταλλικό περιέκτη[1,2]. Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης και στη σύγκριση της γενικής μεθόδου με τη μέθοδο με Η/Υ, συμπεραίνεται ότι η μέθοδος με Η/Υ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας των εγκυτιωμένων προϊόντων χοιρείου κρέατος (luncheon meat) και βόειου κρέατος (corned beef) κατά τη θερμική τους επεξεργασία με ατμό. Αυτό είναι σε συμφωνία με τα συμπεράσματα και άλλων ερευνητών[4,5,14,18,21] που θεωρούν ότι η πεπερασμένη διαφορική επίλυση (finite differences) της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα στα εγκυτιωμένα τρόφιμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των εσωτερικών θερμοκρασιών και για την εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας. Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος αυτή μελετήθηκε σε διάφορα σχήματα περιεκτών με μεταλλικά ή πλαστικά τοιχώματα[13], ο κύριος όγκος των πειραματικών αποτελεσμάτων προέρχεται από τις μελέτες που έγιναν με κυλινδρικού[3,4,5,8] και ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου[7,14,18,22] σχήματος περιέκτες. Στην παρούσα μελέτη, οι αποκλίσεις των θερμοκρασιών στο τέλος της ψύξης που μετρήθηκαν στο γεωμετρικό κέντρο των μεταλλικών περιεκτών με τα θερμοζεύγη από εκείνες που υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο με Η/Υ, μπορεί να οφείλεται σε διάφορα αίτια, όπως στο τοίχωμα του μεταλλικού περιέκτη που επηρεάζει την εξίσωση μεταφοράς θερμότητας μέσω του επιφανειακών συντελεστών αγωγι-

Πίνακας 5. Σύνολο βαθμών αποστείρωσης (Fo) και αριθμού δεκαδικών μειώσεων (log D121,1) της θερμικής αποστείρωσης μεταλλικών περιεκτών (73x109 mm) με χοιρινό κρέας και βόειο κρέας στη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας (θέρμανσης και ψύξης) στους121,1°C κάνοντας χρήση των μεθόδων γενική και με Η/Υ.

Προϊόν	Βαθμοί αποστείρωσης (Fo)*		Αριθμός δεκαδικών μειώσεων (log D121,1) *Clostridium botulinum**	
	Γενική μέθοδος**	Μέθοδος με Η/Υ	Γενική μέθοδος	Μέθοδος με Η/Υ
Περιέκτης χοιρινού κρέατος	3,31	3,14	15,75	15,06
Περιέκτης βόειου κρέατος	2,98	3,09	14,19	14,80

* Μέσος όρος±τυπική απόκλιση.
** Ο αριθμός των δεκαδικών μειώσεων υπολογίσθηκε σύμφωνα με τον Stumbo1 για αρχικό πληθυσμό 1 σπόρου του *Clostridium botulinum* στο γεωμετρικό κέντρο του περιέκτη και για χρόνο ίσο με την υπολογισθείσα τιμή Fo της γενικής μεθόδου στους 121,1°C.

Table 5. Total Fo value and number of decimal reduction (log D121.1) of thermal processing of cans (73x109 mm) with luncheon meat and corned beef during heating and cooling of thermal processing with steam at 121.1°C using the General and Computer methods.

Product	Fo value*		Number of decimal reduction (log D121.1) of *Clostridium botulinum**	
	General method**	Computer method	General method	Computer method
Luncheon meat	3.31	3.14	15.75	15.06
Corned beef	2.98	3.09	14.19	14.80

* Mean value±standard deviation.
** The number of decimal reduction was estimated according to Stumbo[1] for initial population of 1 spore of *Clostridium botulinum* at the geometric centre of the can and for a time equal to this of Fo value estimated with the General method at 121.1°C.

temperatures[23], or in a non uniform temperature of cold water and improper temperature recording during cooling[13,14]. By the end of cooling, other workers observed diversions of recorded temperatures from those estimated with the computer method based on the finite difference solution of heat conduction equation[5,8].

In conclusion, the computer method based on the finite difference solution of heat conduction equation, can be used for the evaluation of thermal processing of canned luncheon meat and corned beef in cylindrical cans (73x109 mm) and for the estimation of F_o value as well as the total decimal reduction number (log $D_{121,1}$) of *Clostridium botulinum*, without the requirement of direct recording of temperatures at the geometric of the can[24]. ❑

μότητας[4,5,13,22] στη διάρκεια της ψύξης, που δεν υπολογίσθηκαν στην παρούσα μελέτη, στη μεταβολή του συντελεστή θερμικής διάχυσης (α) στις χαμηλές θερμοκρασίες[23], ή στην ανομοιομορφία της θερμοκρασίας του νερού της ψύξης και στην ορθή καταγραφή της θερμοκρασίας αυτής[13,14]. Στο τέλος της ψύξης, άλλοι ερευνητές παρατήρησαν απόκλιση των θερμοκρασιών που μετρήθηκαν στο γεωμετρικό κέντρο των μεταλλικών περιεκτών των πειραμάτων τους απο εκείνες που υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο με Η/Υ που βασίζεται στην πεπερασμένη διαφορική επίλυση της μεταφοράς θερμότητας[5,8].

Συμπερασματικά λοιπόν, η μέθοδος με Η/Υ που βασίζεται στη διαφορική επίλυση της μεταφοράς θερμότητας με αγωγιμότητα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας των εγκυτιωμένων προϊόντων χοιρείου (luncheon meat) και βόειου κρέατος (corned beef) σε κυλινδρικούς μεταλλικούς περιέκτες (73x109 mm) και να υπολογισθεί τόσο η τιμή (F_o) όσο και η λογαριθμική μείωση του αριθμού των σπόρων *Clostridium botulinum*, χωρίς να χρειάζεται η άμεση καταγραφή των θερμοκρασιών στο γεωμετρικό κέντρο του μεταλλικού περιέκτη[24]. ❑

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

1. Stumbo CR. Thermobacteriology in Food Processing, 2nd edn. New York: Academic Press.(1973).
2. Hersom AC, Hulland ED. Canned foods, thermal processing and microbiology. 7th edn. London. Churchill Livingstone. (1980).
3. Teixeira AA, Dixon JR, Zahradnik JW, Zinsmister GE. Computer optimization of nutrient in the thermal processing of conduction-heated foods. Food Technol 1969, 23:845-850.
4. Silva C, Hendrickx M, Oliveira F, Tobback P. Optimal sterilization temperatures for conduction heating foods considering finite heat transfer coefficients. J Food Sci, 1992, 57:743-748.
5. Tucker GS. Development and use of numerical techniques for improved thermal process calculations and control. Food Control, 1991, 2: 15-19.
6. Tucker GS, Clark P. Modelling the cooling phase of heat sterilization process, using heat transfer coefficients. Int J food Sci Technol 1990, 25: 668-681.
7. Govaris A, Scholefield J. Comparison of a computer evaluation with a standard evaluation of retort pouch thermal processing. Int J food Sci Technol 1988, 23:601-606.
8. Rodriguez RDP, Martinez A, Rodrigo M, Safon J. Numerical method for prediction of final microbial load in inoculated cylindrical cans of tomato concentrate heated in a pilot plant. Int J food Sci Technol 1996,31:489-496.
9. Naveh D, Kopelman IJ, Pflug IJ. The finite element method in thermal processing of foods. J Food Sci 1983, 48: 1086-1093.
10. Sastry SK, Beelman RB, Speroni IJ. A three- dimensional finite element model for thermally induced changes in foods: Application to degradation of agritine in canned mushrooms. J Food Sci 1985, 50:1293-1299, 1326.
11. Hayakawa K, Ball CO. Theoretical formulas for temperature in cans of solid food and for evaluating various heat processes. J Food Sci 1971, 36: 306-310.
12. Uno J, Hayakawa K. Nonsymetric heat conduction in an infinite slab. J Food Sci 1979, 44: 396-403.
13. Teixeira AA, Tucker GS. On-line retort control in thermal sterilization of canned foods. Food Control 1997, 8: 13-20.
14. Govaris A. Computer control and evaluation of steam-air retort pouch process. Lebensm Wiss u Technol 1991, 24: 558-561.
15. Carslaw HS, Jaeger JC. In Conduction of heat in solids. Oxford University Press. New York. (1959).
16. AOAC. Official Methods of Analysis. Published by the Association of Official Analytical Chemists, Inc, 14th ed, Arlington, Virginia USA, 1989.
17. The Food and Beverage Code. 1994. Newspaper of the Government of the Republic of Greece. Athens. 11 January 1994.
18. Manson JE, Zahradnik JW, Stumbo CR. Evaluation of lethality and nutrition retention of conduction heating foods in rectangular containers. Food Technol 1970, 24: 1297-1301.
19. ASHRAE, In Handbook Fundamentals, thermal properties of foods. American Society of heating, refrigerating and air conditioning engineers. Atlanta USA. (1993).
20. Riedel L. Temperatur leitfahigketsmessungen an wasserreichen lebensmittel.Kaltechnik – Klimatisierung 1969, 21:315-316.
21. Teixeira AA, Manson JE. Computer control of batch retort operations with on-line correction of process deviations. Food Technol 1982, 36:85-90.
22. Lebowitz SF, Bhowmik SR. Determination of retortable pouch heat tranfer coefficients by optimization method. J Food Sci 1988, 54:1407-1412.
23. Shin S, Bhowmik SR. Determination of thermophysical properties of plastic cans used for thermal sterilization of Foods. Lebensm Wiss u Technol 1993,26:400-405.
24. Wojciechowski J, Ryniecki A. Computer control of sterilization of canned meat products. Fleischwirtschaft 1989, 69:268-270.