

## **ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΚΡΕΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΧΡΟΝΟΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ**

Π. Ταούκης , Κ.Κουτσουμανής και Γ.Ι. Νυχάς

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην εργασία αυτή περιγράφεται η ανάπτυξη των αρχών και η εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης της ποιότητας και ασφάλειας της ψυκτικής αλυσίδας προϊόντων κρέατος. Στο σύστημα αυτό, αντί της συμβατικής μεθόδου FIFO (first in first out) χρησιμοποιείται μια νέα προσέγγιση που βασίζεται σε πραγματική εκτίμηση ποιότητας και ανάλυση επικινδυνότητας στα σημαντικά σημεία της ψυκτικής αλυσίδας. Με βάση την αξιολόγηση αυτή λαμβάνονται οι αποφάσεις για την διαχείριση των προϊόντων κατά τη διακίνηση, έτσι ώστε να υπάρχει βελτιστοποίηση ποιότητας και ελαχιστοποίηση ρίσκου κατά την κατανάλωση. Η αξιολόγηση αυτή είναι εφικτή με βάση τη συνεχή γνώση του θερμοκρασιακού ιστορικού, που είναι δυνατή με Χρονοθερμοκρασιακούς Δείκτες (TTI), και τη χρήση προρρητικών μοντέλων για την ανάπτυξη αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών. Το σύστημα αυτό με το ακρωνύμιο SMAS ("Safety Monitoring and Assurance System") αποτελεί αντικείμενο Ευρωπαϊκού Προγράμματος, (Project N° QLK1-CT2002-02545, "Quality of Life and Management of Living Resources", Key Action 1-Health Food and Environment) στο οποίο συμμετέχουν επτά ερευνητικοί φορείς από χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και συντονίζεται από το ΕΜΠ.

## **DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A TTI BASED SAFETY MONITORING AND ASSURANCE SYSTEM FOR CHILLED MEAT PRODUCTS**

P.Taoukis, K. Koutsoumanis and G.J. Nychas

### **ABSTRACT**

The acronym *SMAS* summarizes the long title of the 3 year (2003-2006) action project "Development and application of a TTI based Safety Monitoring and Assurance System for Chilled Meat Products", coordinated by the National Technical University of Athens (NTUA). Funded by the EC (project number QLK1-2002-02545), it is part of the key action of Food, Nutrition and Health. The project basis consists of validated predictive models of predominant meat pathogens growth and kinetics of the response of selected TTI, all applied in an expanded TTI application scheme that translates TTI response to meat microbiological and quality status. The ultimate objective is to deliver an effective decision and management tool of the meat chill chain.

## 1. ΧΡΟΝΟΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ (ΤΤΙ)

Η σύγχρονη προσέγγιση της διασφάλισης ποιότητας και ασφάλειας των τροφίμων απομακρύνεται από τη λογική του ελέγχου και αποδοχής του τελικού προϊόντος, με βάση χρονοβόρες και υψηλού κόστους δοκιμές. Παραγωγοί και ελέγχουσες αρχές εστιάζουν τις προσπάθειες τους στην ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων διασφάλισης βασισμένων στην πρόληψη, με τον καθορισμό, καταγραφή και έλεγχο των κρίσιμων παραμέτρων των τροφίμων σε όλο το κύκλο ζωής τους από την παραγωγή ως τη τελική χρήση τους. Παρά ταύτα η ψυκτική αλυσίδα των τροφίμων όπως τα προϊόντα κρέατος εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες ποιότητας λόγω σημαντικών αποκλίσεων από τις προδιαγραφές θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το ρυθμό υποβάθμισης και την τελική ποιότητα των προϊόντων και αποτελεί έτσι την σημαντικότερη κρίσιμη παράμετρο. Η καταγραφή και ο έλεγχος της σε όλη την αλυσίδα καθίσταται κεντρικός στόχος ενός αποτελεσματικού συστήματος διασφάλισης ποιότητας και ασφάλειας. Ο εντοπισμός και η βελτίωση των αδύνατων σημείων της συχνά προβληματικής ψυκτικής αλυσίδας, ο ποσοτικός προσδιορισμός της επίδρασής τους στη συνολική ποιότητα των τροφίμων και ο δυναμικός έλεγχος της ποιότητας αυτής είναι εφικτός με τη χρήση Χρονοθερμοκρασιακών Δεικτών ή Ολοκληρωτών (ΤΤΙ: Time Temperature Indicators or Integrators).

Ανάπτυξη και κινητική μελέτη συστημάτων παρακολούθησης της θερμοκρασίας όπως οι Χρονοθερμοκρασιακοί Δείκτες επιτρέπει το συσχετισμό της απόκρισης τους με την ποιοτική κατάσταση και την απομένουσα διάρκεια ζωής του τροφίμου που συνοδεύουν. Οι ΤΤΙ είναι απλά, φθηνά συστήματα τα οποία με μια εύκολα μετρήσιμη αλλαγή που εξαρτάται από το χρόνο και τη θερμοκρασία, δείχνουν το θερμοκρασιακό ιστορικό και την ποιοτική κατάσταση του τροφίμου που συνοδεύουν [1]. Η λειτουργία των ΤΤΙ βασίζεται σε μηχανικά, χημικά, ή ενζυμικά συστήματα, τα οποία μεταβάλλονται αναντίστροφα από τη στιγμή ενεργοποίησής τους, μεταβολή που εκδηλώνεται σαν μια εύκολα μετρήσιμη οπτική απόκριση των ΤΤΙ. Τέτοια απόκριση μπορεί να είναι μια μεταβολή ή εμφάνιση χρώματος ή η παραμόρφωση ή μετακίνηση κάποιας οπτικής ένδειξης. Η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία ενός ΤΤΙ ως

δείκτη ποιότητας του τροφίμου εξαρτάται από τα κινητικά χαρακτηριστικά της απόκρισης του. Βασική απαίτηση είναι η εξάρτηση του ρυθμού απόκρισης από τη θερμοκρασία, εκφραζόμενη ποσοτικά από την ενέργεια ενεργοποίησης  $E_a$ , να προσεγγίζει κατά το δυνατόν την ενέργεια ενεργοποίησης των δράσεων ποιοτικής υποβάθμισης του τροφίμου [2]. Προυπόθεση επομένως εφαρμογής ενός συστήματος ελέγχου της ψυκτικής αλυσίδας με βάση τους Χρονοθερμοκρασιακούς Δείκτες είναι η συστηματική μελέτη της απόκρισης τους και η παράλληλη ενδεδειγμένη γνώση της κινητικής των δεικτών αλλοίωσης του τροφίμου και της εξάρτησης τους από τη θερμοκρασία.

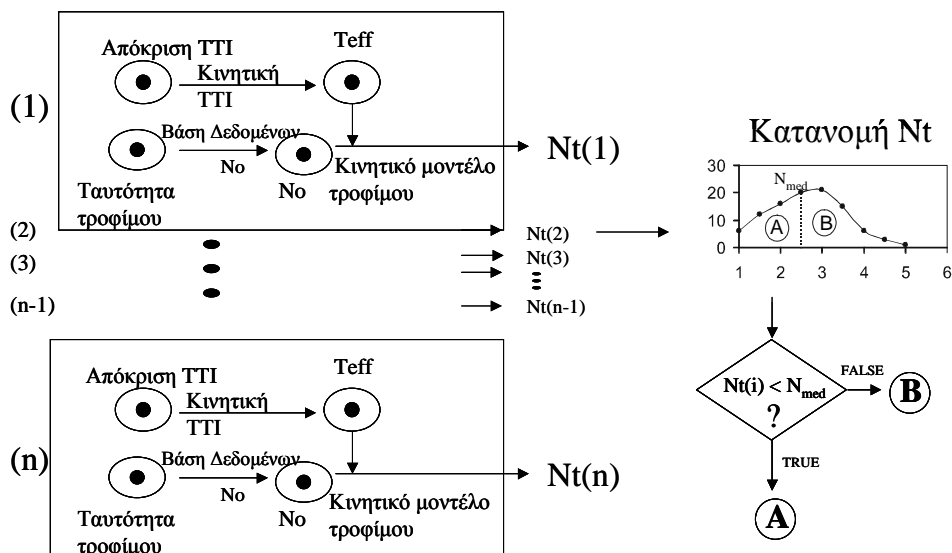
## **2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SMAS**

Το SMAS είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της ψυκτικής αλυσίδας κρέατος που στοχεύει στη βελτιστοποίηση της διακίνησης των προϊόντων από την άποψη της ποιότητας και της ασφάλειας. Βασίζεται στην δυνατότητα της συνεχούς καταγραφής των θερμοκρασιακών συνθηκών του κάθε προϊόντος με τη χρήση TTI. Η απόκριση των TTI μπορεί να συσχετιστεί με την ασφάλεια και την ποιοτική κατάσταση των προϊόντων κρέατος σε κάθε σημείο της ψυκτικής αλυσίδας παρέχοντας ένα αποτελεσματικό εργαλείο απόφασης.

Το ακρονύμιο SMAS είναι ο σύντομος τίτλος του τριετούς προγράμματος (2003-2006) ερευνητικού έργου "Development and application of a TTI based Safety Monitoring and Assurance System for Chilled Meat Products", που συντονίζεται από το ΕΜΠ. Χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (κωδικός έργου QLK1-CT-2002-02545), στα πλαίσια της δράσης Τρόφιμα, Διατροφή, Υγεία του 5<sup>ου</sup> Προγράμματος Πλαισίου. Το έργο εστιάζει στην ανάπτυξη επικυρωμένων μοντέλων πρόρρησης της ανάπτυξης παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών στο κρέας και στην κινητική απόκριση επιλεγμένων TTI και το σχεδιασμό σχήματος εφαρμογής για την μετάφραση της απόκρισης των TTI στη μικροβιολογική ποιότητα του κρέατος. Επτά Ευρωπαϊκοί φορείς, ερευνητικοί και από τη Βιομηχανία, εργάζονται στις βασικές αλληλοϋποστηριζόμενες ενότητες εργασίας με συνολικό τελικό παραδοτέο ένα αποτελεσματικό εργαλείο διαχείρισης της ψυκτικής αλυσίδας.

Το SMAS χρησιμοποιεί τα επαληθευμένα μοντέλα μικροβιακής ανάπτυξης των παθογόνων και των ειδικών μικροοργανισμών αλλοίωσης (Specific spoilage organisms, SSO) για κάθε είδος

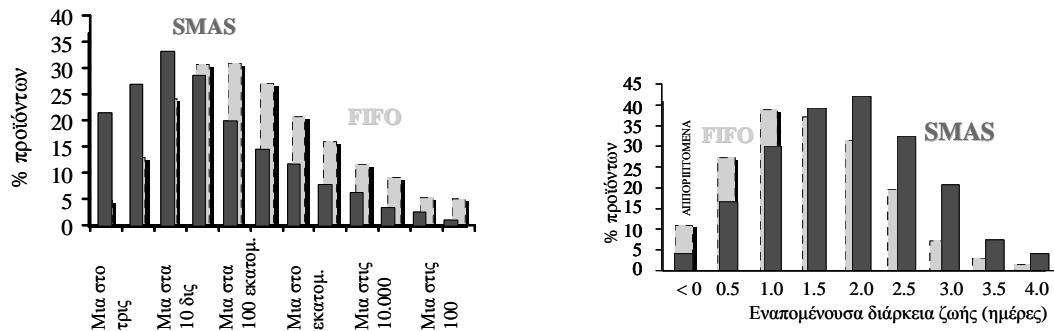
προϊόντος κρέατος, στοιχεία για την κατανομή του αρχικού μικροβιακού πληθυσμού των αλλοιογόνων οργανισμών,  $N_0$ , και για την πιθανότητα ύπαρξης παθογόνων, τη συνεχή θερμοκρασιακή καταγραφή της ψυκτικής αλυσίδας με τη βοήθεια των Χρονοθερμοκρασιακών Δεικτών και τέλος, τη συσχέτιση της οργανοληπτικής αποδεκτότητας με ένα τελικό επίπεδο μικροοργανισμών,  $N_s$ , που σηματοδοτεί τη λήξη της ζωής του προϊόντος. Όλα τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται στο σύστημα και ολοκληρώνονται με τη βοήθεια ενός λογισμικού, που επιτρέπει τον υπολογισμό της πραγματικής εναπομένουσας ζωής και της επικινδυνότητας (risk assessment) των μεμονωμένων μονάδων προϊόντων σε κρίσιμα σημεία της ψυκτικής αλυσίδας. Με βάση την κατανομή της εναπομένουσας διατηρησιμότητας που υπολογίζεται σε οποιοδήποτε φάση διακίνησης, υπάρχει η δυνατότητα να ληφθούν αποφάσεις για βέλτιστες συνθήκες μεταχείρισης, μεταφοράς και αποθήκευσης. Ο απώτερος στόχος είναι να επιτευχθεί μια, κατά το δυνατόν, στενότερη κατανομή ποιότητας στο τελικό στάδιο της κατανάλωσης και μείωση του ρίσκου ασθένειας κατά την κατανάλωση. Το λογικό διάγραμμα του αλγόριθμου που ακολουθείται και που αποτελεί τη βάση σχεδιασμού του SMAS απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Απεικονίζει το μηχανισμό λήψης αποφάσεων σε ένα υποθετικό σημείο ελέγχου της ψυκτικής αλυσίδας, π.χ. το κέντρο διανομής, όπου τα προϊόντα που προέρχονται από την ίδια αρχική παρτίδα μοιράζονται στα δύο και προωθούνται σε δύο διαφορετικά σημεία λιανικής πώλησης, ένα σε μικρή και ένα σε μεγαλύτερη απόσταση. Το «μοίρασμα» αυτό θα μπορούσε να γίνει με τυχαίο τρόπο, σύμφωνα με την τρέχουσα, συμβατική πρακτική προώθησης προϊόντων FIFO (first-in, first-out) ή, εναλλακτικά, να στηριχθεί στην πραγματική κατάσταση ποιοτικής υποβάθμισης του καθενός, μεμονωμένου τεμαχίου [3]. Με βάση την εναλλακτική τεχνική του SMAS, τα προϊόντα με το μεγαλύτερο μικροβιακό φορτίο  $N_t$ , με το μεγαλύτερο δηλαδή βαθμό αλλοίωσης – ο οποίος βέβαια εξακολουθεί να βρίσκεται στα αποδεκτά πλαίσια- θα μεταφερθούν στον πλησιέστερο προορισμό (B), προκειμένου να καταναλωθούν σε συντομότερο χρονικό διάστημα, ενώ τα λιγότερα προσβεβλημένα, από μικροβιολογική άποψη, τεμάχια θα κατευθυνθούν στην πιο μακρινή αγορά (A).



**Σχήμα 1.** Λογικό διάγραμμα του αλγορίθμου λήψης απόφασης σε κρίσιμα σημεία ελέγχου της αλυσίδας διακίνησης. Το επίπεδο αλλοίωσης  $N_t$  υπολογίζεται για κάθε μονάδα προϊόντος και, με βάση τη θέση του στη συνολική κατανομή, λαμβάνεται απόφαση για την περαιτέρω πορεία του.

Στα σημαντικά σημεία απόφασης της ψυκτικής αλυσίδας, η εφαρμογή του SMAS προϋποθέτει την εισαγωγή της απόκρισης του συνημμένου στο τρόφιμο ΤΤΙ και των χαρακτηριστικών του προϊόντος. Αυτές οι πληροφορίες καταχωρούνται απευθείας σε μια φορητή, εξοπλισμένη με το κατάλληλο λογισμικό εργαλείο του SMAS, μονάδα, προκειμένου να γίνει δυνατή η αυτόματη «μετάφραση» αυτών των δεδομένων σε ποιότητα,  $N_t$ , και επικινδυνότητα. Στο λογισμικό του SMAS, χρησιμοποιούνται κινητικές εξισώσεις για την πρόβλεψη της μικροβιακής ανάπτυξης, όπως το λογισμικό μοντέλο 4 παραμέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την εκθετική φάση ανάπτυξης  $\mu_{max}$  ( $h^{-1}$ ), και τη λανθάνουσα φάση ( $h$ ). Η θερμοκρασιακή εξάρτηση εκφράζεται μαθηματικά με την εξίσωση Arrhenius ή Belehradek.

Το τελικό αποτέλεσμα της εφαρμογής του SMAS μπορεί να απεικονιστεί σχηματικά (Σχήμα 2) με μείωση της πιθανότητας ασθένειας και αύξηση της εναπομένουσας διάρκειας ζωής κατά την κατανάλωση [4].



**Σχήμα 2.** Το πρώτο ραβδόγραμμα δείχνει την μείωση της πιθανότητας ασθένειας και το δεύτερο τη βελτίωση της κατανομής ποιότητας με την εφαρμογή του SMAS.

### 3. ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SMAS

- Αξιόπιστα, επικυρωμένα μαθηματικά μοντέλα για τους μικροοργανισμούς που καθορίζουν την ποιότητα και ασφάλεια συγκεκριμένων προϊόντων κρέατος. Τα μοντέλα θα είναι εργαλεία για τη βιομηχανία κρέατος για την ανάπτυξη προϊόντων και τη διασφάλιση ασφάλειας και για τις ελέγχουσες Αρχές για ποσοτική ανάλυση επικινδυνότητας..
- Ανάπτυξη και μελέτη ΤΤΙ καταλλήλων για την παρακολούθηση της ποιότητας και ασφάλειας του κρέατος. Τα ΤΤΙ αυτά θα δώσουν τη δυνατότητα στη βιομηχανία και τους διακινητές κρέατος να ελέγχουν την ψυκτική αλυσίδα.
- Βελτίωση των logistics διανομής και διαχείριση της ψυκτικής αλυσίδας κρέατος με την εφαρμογή του **Safety Monitoring and Assurance System (SMAS)**. Το SMAS θα μπορούσε να αντικαταστήσει την πρακτική “First In First Out” (FIFO) και να οδηγήσει σε ελαχιστοποίηση επικινδυνότητας και βελτιστοποίηση ποιότητας.
- Εκπλήρωση της επιθυμίας του καταναλωτή να λαμβάνονται όλα τα δυνατά μέτρα και να χρησιμοποιείται κάθε δυνατότητα της τεχνολογίας, όπως τα ΤΤΙ και το SMAS, για να έχει την εγγύηση μέγιστης ποιότητας-ελαχίστου ρίσκου στα προϊόντα κρέατος.

- Ευρεία διαθεσιμότητα πληροφοριών από το πρόγραμμα και άλλες έγκυρες πηγές για επικυρωμένα μοντέλα μικροβιακής ανάπτυξης στο κρέας, δεδομένα για την πιθανότητα ύπαρξης και τα πιθανά φορτία παθογόνων, δεδομένα για τις θερμοκρασιακές κατανομές σε όλη την ψυκτική αλυσίδα, επιδημιολογικά στοιχεία, για την εφαρμογή των ΤΤΙ και του SMAS. Τα στοιχεία αυτά θα είναι διαθέσιμα στη δικτυακή διεύθυνση του προγράμματος (<http://smas.chemeng.ntua.gr>).

#### 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Taoukis PS. and Labuza T.P. **2003**. Time-Temperature Indicators (TTIs). In: Novel Food Packaging Techniques. R. Ahvenainen , editor. Woodhead Publishing Limited, UK. Ch 6. p. 103-126.
2. Taoukis PS. **2001**. Modelling the use of time-temperature indicators in distribution and stock rotation. In: Tijkskens LMM, Hertog MLATM, Nicolaï BM, editors. Food process modelling. 3<sup>rd</sup> ed. Washington DC: CRC Press. p. 402-432
3. Giannakourou MC, Koutsoumanis K, Nychas GJE, Taoukis PS. **2001**. Development and assessment of an intelligent shelf life decision system for quality optimisation of the food chill chain. Journal of Food Protection. 64(7): 1051-1057.
4. Koutsoumanis K., Taoukis P.S., Nychas G.J.E. **2003**. Development of a Safety Monitoring and Assurance System (SMAS) for chilled food products. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference of “predictive Modelling in Foods”, Quimper, France, 15-19/6/2003. p.244-246.

*This study has been partly carried out with the financial support of the Commission of the European Communities, specific RTD program “Quality of Life and Management of Living Resources”, Key Action 1-Health Food and Environment, Project N°QL K1-CT2002-02545*

#### **Πέτρος Σ. Ταούκης**

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διεργασιών, Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, [taoukis@chemeng.ntua.gr](mailto:taoukis@chemeng.ntua.gr)

#### **Κωνσταντίνος Κουτσουμανής**

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,, Τμήμα Γεωπονίας, Τομέας Τεχνολογίας και Επιστήμης Τροφίμων, Εργαστήριο Υγιεινής και Μικροβιολογίας Τροφίμων, [kkoutsou@agro.auth.gr](mailto:kkoutsou@agro.auth.gr)

#### **Γεώργιος Ιωάννης Νυχάς**

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Εργαστήριο Μικροβιολογίας και Βιοτεχνολογίας Τροφίμων, [gjn@aua.gr](mailto:gjn@aua.gr)