



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΔΙΟΙΚΗΣΗ LOGISTICS

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ
ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΑΝΔΡΕΑΣ ΤΣΟΤΑΚΗΣ

TML 1603

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΤΣΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ 2018

Ευχαριστίες

Ξεκινώντας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές και τις καθηγήτριες του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών για όσα μου έμαθαν και για όσα με ενθάρρυναν να μάθω.

Ιδιαίτερος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Ιωάννη Γιαννατοσή για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του στη δόμηση και πραγματοποίηση αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής. Τον ευχαριστώ, επίσης, για τη στήριξη και τον χρόνο που μου αφιέρωσε.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ το φιλικό και οικογενειακό μου περιβάλλον για την ενθάρρυνση και τη συνεχή συμπαράσταση τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Ως επακόλουθο μιας σειράς περιστατικών και σκανδάλων που έχουν ξεσπάσει στον χώρο των τροφίμων, παρουσιάζεται μια αυξανόμενη ανησυχία των καταναλωτών σχετικά με την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων που αγοράζουν. Έτσι, η αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων προβλέπεται να παίξει κύριο ρόλο στην άμβλυνση αυτής της ανησυχίας. Στόχος της αποτελεί η δυνατότητα ελέγχου όλων των σταδίων που περνά ένα τρόφιμο για να φτάσει από τον παραγωγό μέχρι τον καταναλωτή. Για τη δημιουργία μια αειφόρας αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων για το μέλλον, κύριος παράγοντας θα αποτελέσει η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και η εφαρμογή αυτών σε όλο το μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή παρουσιάζονται, περιγράφονται και αναλύονται τα κυριότερα τεχνολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται σήμερα στις εφοδιαστικές αλυσίδες τροφίμων. Στο συγκεκριμένο πόνημα γίνεται αναφορά στις τρέχουσες τεχνολογικές τάσεις και έρευνες που βρίσκουν εφαρμογή στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων. Οι νέες αυτές τεχνολογίες ως κύριο στόχο έχουν τη μείωση του κόστους κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων και τη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων, μέχρι την τελική τους κατανάλωση.

Αυτή η διατριβή έχει σκοπό να ενημερώσει τον αναγνώστη για τα είδη των πιο σύγχρονων τεχνολογιών στον κλάδο της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων, καθώς και τον τρόπο εφαρμογής αυτών σε εμπορικές επιχειρήσεις. Επιπλέον, μέσα από σχετική βιβλιογραφική έρευνα διαφαίνεται μια αυξανόμενη τάση των τεχνολογικών εφαρμογών που έχουν σκοπό την εξασφάλιση της ακεραιότητας των τροφίμων, της ποιότητας τους και τη μείωση των απωλειών τους. Τέλος, γίνεται αναφορά σε τεχνολογικά πεδία που ενδέχεται να απασχολήσουν στο μέλλον τις επιχειρήσεις και την ερευνητική κοινότητα, όπως είναι η πιστοποίηση της γνησιότητας των τροφίμων, η εικονοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού, καθώς και το διαδίκτυο των πραγμάτων.

Abstract

As a consequence of a series of incidents and scandals that have erupted in the food sector, there is an increasing consumer concern about the quality and safety of the food they buy. Thus, the food supply chain is set to play a major role in alleviating this concern. Its goal is to control all stages of a food from producer to consumer. In order to create a sustainable food supply chain for the future, the development of new technologies and their implementation throughout the food supply chain will be a major factor.

In this dissertation are presented the main technological tools currently used in food supply chains, described and analyzed. In this thesis, reference is made to the current technological trends and research that are applicable to the food supply chain. These new technologies are primarily aimed at reducing costs along the food supply chain and ensuring the quality and safety of products up until their final consumption.

This dissertation aims to inform the reader about the types of most modern technologies in the food supply chain industry, and how they are applied in commercial operations. In addition, a bibliographic research reveals a growing technological trend in applications designed to ensure food integrity, quality, and loss reduction. Finally, reference is made to technological fields that businesses and the research community may be facing in the future, such as certification of food authenticity, virtualization of supply chain and the Internet of Things.

Περιεχόμενα

Πίνακας εικόνων	7
Εισαγωγή	8
1. Τεχνολογία RFID	9
1.1 Ιχνηλασιμότητα.....	9
1.1.1 Electronic Pedigree.....	10
1.2 Παρακολούθηση της ψυχρής αλυσίδας εφοδιασμού.....	11
1.2.1 Ασύρματες τεχνολογίες ανίχνευσης και παρακολούθησης	12
1.2.2 Μέθοδοι εκτίμησης θερμοκρασίας	14
1.2.3 Κάμερα θερμικής απεικόνισης	17
1.2.4 Υπολογιστική ανάλυση ροής (Computational Fluid Dynamics)	18
1.2.5 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT).....	20
1.3 Διαχείριση ζωικού κεφαλαίου (Live stock management)	21
1.4 Αισθητήρες παρακολούθησης της ποιότητας των τροφίμων.....	23
1.4.1 TTIs αισθητήρες ενσωματωμένοι με ετικέτες RFID	23
1.4.2 Αισθητήρες υγρασίας ενσωματωμένοι σε ετικέτες RFID.....	24
1.4.3 Χημικοί αισθητήρες ενσωματωμένοι με ετικέτες RFID.....	25
1.4.4 Δείκτες οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα ενσωματωμένοι σε ετικέτες RFID	27
2. Προβλεπόμενη διάρκεια ζωής και παρακολούθηση της ποιότητας των τροφίμων	28
2.1 Εισαγωγή	28
2.2 Συστήματα παρακολούθησης ποιότητας των τροφίμων	29
2.2.1 Έξυπνη συσκευασία.....	29
2.2.2 Δείκτες φρεσκάδας	32
2.2.3 Βιοαισθητήρες.....	33
2.2.4 Δείκτες ακεραιότητας.....	34
2.2.5 Δείκτες Αερίων.....	34
2.2.6 Παρακολούθηση θερμοκρασίας	35
2.3 Συσκευές μεταφοράς δεδομένων	36
2.4 Εμπορικές εφαρμογές στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων	39
3. Κοντινό πεδίο επικοινωνίας NFC	40

3.1 Εισαγωγή	40
3.2 Παραδείγματα εφαρμογών της τεχνολογίας NFC.	41
4. Τεχνολογία αναγνώρισης οπτικών χαρακτήρων (OCR)	42
4.1 Εισαγωγή	42
4.2 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας OCR στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων και στην παραγωγή	42
4.3 Εφαρμογές της τεχνολογίας OCR	43
5. Προσδιορισμός γνησιότητας των τροφίμων	47
5.1 Ανάλυση DNA	48
5.2 DNA Barcoding.....	48
5.3 Ανάλυση ισοτόπων.....	49
5.5 Chemometrics and NIRS	51
6. Εικονοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων.....	52
6.1 Εισαγωγή εικονοποίησης	52
6.2 Η σημαντικότητα της εικονοποίησης της αλυσίδας εφοδιασμού	54
6.3 Έλεγχος των πολύπλοκων διαδικασιών που υπάρχουν στα τρόφιμα	54
6.4 Τα τέσσερα βασικά στοιχεία για την εικονοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων	56
6.5 Μελέτες περίπτωσης εφαρμογών εικονοποίησης στην αλυσίδα εφοδιασμού	58
Συμπεράσματα-Ανασκόπηση.....	62
Βιβλιογραφία	65

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1. Διαδικασία διακίνησης των εγγράφων ανιχνευσιμότητας σε όλο το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας αλιείας με τη χρήση e-pedigree	11
Εικόνα 2. Πολυστρωματικός νευρώνας για τα δεδομένα αισθητήρα.....	17
Εικόνα 3. Θερμική απεικόνιση τροφίμων.....	18
Εικόνα 4. Απεικόνιση 3D της προσομοίωση ροής ρευστών με τη μέθοδο CFD .	20
Εικόνα 5. Διαχείριση ζωικού κεφαλαίου	23
Εικόνα 6. RFID με ενσωματωμένο TTI αισθητήρα.....	24
Εικόνα 7. Πρωτότυπος αισθητήρας απορρόφησης πτητικού με επικάλυψη υδρογέλης	26
Εικόνα 8. Σχηματικό διάγραμμα για την αρχή λειτουργίας του δείκτη οξυγόνου	28
Εικόνα 9. Στο παραπάνω διάγραμμα (-o-) βλέπουμε την εξέλιξη (2005-2015) του αριθμού των δημοσιεύσεων σε τεχνολογίες έξυπνης συσκευασίας.	30
Εικόνα 10. Η εξέλιξη (2002 - 2012) του αριθμού των δημοσιεύσεων σχετικά με τις τρεις βασικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις έξυπνες συσκευασίες: αισθητήρες, δείκτες και RFID αναγνώστες.	31
Εικόνα 11. Συσκευασμένο στήθος κοτόπουλου χωρίς δέρμα με ετικέτες δείκτη αλλοίωσης τροφής	33
Εικόνα 12. Παραδείγματα γραμμικών κωδικών.....	38
Εικόνα 13. ΑριTrak είναι μια Cloud πλατφόρμα που χρησιμοποιεί ετικέτες	41
Εικόνα 14. Παράδοση πλαστικού δοχείου με αγγούρια στο σημείο αναγνώρισης από αναγνώστες γραμμικού κώδικα με βάση την εικόνα	46
Εικόνα 15. Σύστημα οπτικού αισθητήρα για την εξασφάλιση της ανάγνωσης κώδικα και την επαλήθευση των προϊόντων ζωοτροφών τους	46
Εικόνα 16. Απλοποιημένη επισκόπηση των εικονικών αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων.	53
Εικόνα 17. Αρχιτεκτονική συστημάτων πληροφοριών για εικονοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας με βάση την πλατφόρμα FIspace	58
Εικόνα 18. Το FIspace υποστηρίζει διάφορες διαδικασίες ελέγχου στην αλυσίδα εφοδιασμού με ψάρια.	60

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη της παγκοσμιοποίησης και του διεθνούς εμπορίου, καθώς και η συνεχόμενη αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού παγκοσμίως έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη βιωσιμότητα των αλυσίδων εφοδιασμού και ιδίως στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων. Ο τρόπος με τον οποίο ένα τρόφιμο παράγεται, μεταποιείται, μεταφέρεται και αγοράζεται από τον καταναλωτή έχει μεγάλη επίδραση σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. Οι παραδοσιακοί μέθοδοι διάθεσης των προϊόντων στην αγορά και η συνεχής αυστηροποίηση των κριτηρίων ποιότητας και αξιοπιστίας δεν επαρκούν, καθώς οι απαιτήσεις για τη διατήρηση ιστορικών στοιχείων στα τρόφιμα έχουν αυξηθεί.

Τα τελευταία χρόνια η πολυπλοκότητα και η δυσκολία συντονισμού όλων των μερών της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων, όπως και η αυξανόμενη σπατάλη τροφίμων έχουν δημιουργήσει την ανάγκη ανάπτυξης νέων τεχνολογιών. Για τη βιωσιμότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων απαιτείται περαιτέρω έρευνα πάνω στη βελτιστοποίηση της παραγωγής, στον ποιοτικό έλεγχο και στη μείωση του κόστους. Επίσης, ο αυξημένος ανταγωνισμός και η μεγάλη γεωγραφική κατανομή της παραγωγής τροφίμων αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στον τομέα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποτελεί μια βιβλιογραφική έρευνα στην οποία παρουσιάζονται, περιγράφονται και αναλύονται τα κυριότερα τεχνολογικά εργαλεία για την εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων. Το συγκεκριμένο πόνημα στοχεύει στην ενημέρωση του αναγνώστη για τις τρέχουσες τεχνολογικές τάσεις και έρευνες, που βρίσκουν εφαρμογή στον βιομηχανικό και εμπορικό κλάδο. Η εργασία είναι χωρισμένη σε κεφάλαια. Καθένα από τα οποία αναφέρεται σε μια βασική τεχνολογία η οποία χωρίζεται σε υπό μέρους κατηγορίες. Τέλος, σε κάθε κατηγορία αναφέρονται εμπορικές εφαρμογές και χρήσεις της αντίστοιχης τεχνολογίας.

1. Τεχνολογία RFID

Στον τομέα της βιομηχανίας τροφίμων η τεχνολογία RFID έχει κυρίαρχο ρόλο, λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων που διαθέτει. Οι βασικές δυνατότητες που παρέχει η τεχνολογία RFID στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων διακρίνονται ως εξής:

1.1 Ιχνηλασιμότητα.

Η ιχνηλασιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα εντοπισμού ενός τροφίμου, εμπορεύματος ή ζώου, με την ιδιότητα να μπορεί να ακολουθηθεί το ιστορικό του είτε προς τα εμπρός (από την πηγή προς το καταναλωτή), είτε προς τα πίσω από (από τον καταναλωτή στην πηγή) (Hobbs 2007). Επίσης, αποτελεί βασικό παράγοντα για τον τομέα των γεωργικών ειδών διατροφής, λόγω της φθαρτής φύσης των τροφίμων και των πιθανών κινδύνων για την υγεία μέσω της μετάδοσης ασθενειών. Ένα εξελιγμένο σύστημα ιχνηλασιμότητας προσφέρει πολλαπλά οφέλη, όπως αύξηση της ασφάλειας, της εμπιστοσύνης των πελατών και συμβάλλει στη γρήγορη απόσυρση επικίνδυνων τροφίμων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η ιχνηλασιμότητα των τροφίμων ρυθμίζεται αυστηρά και οι επιχειρήσεις στον τομέα των τροφίμων πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίζουν την προέλευση και τον προορισμό του κάθε προϊόντος διατροφής που παράγουν (Parliament 2002).

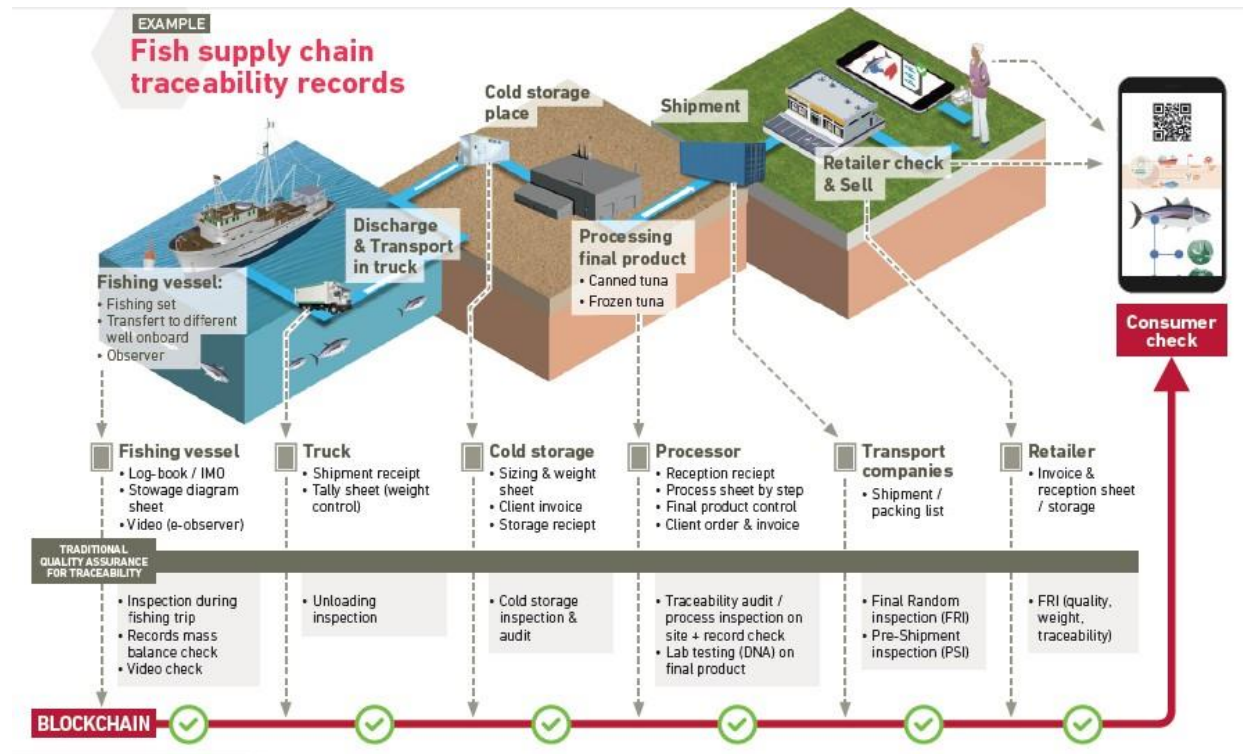
Η RFID τεχνολογία έχει την ικανότητα να παρέχει ιχνηλασιμότητα, λόγω της ικανότητας της να αναγνωρίζει, να κατηγοριοποιεί και να διαχειρίζεται την ροή των αγαθών-τροφίμων. Επίσης, εγγυάται ιχνηλασιμότητα σε όλο το μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού στα τρόφιμα, διότι μπορεί να αναγνωρίζει με μοναδικό τρόπο κάθε προϊόν σε οποιοδήποτε στάδιο και εάν βρίσκεται. Οι (Hu 2013) ανέπτυξαν μια μεθοδολογία για την ιχνηλασιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα των λαχανικών, με σκοπό να διασφαλιστεί η ασφάλεια των λαχανικών χωρίς επιμολύνσεις κατά τη μεταφορά τους στις κεντρικές αγορές. Σε αυτή τη μεθοδολογία, πληροφορίες για την καλλιέργεια των λαχανικών, όπως η ημερομηνία συγκομιδής, αριθμός σειράς συγκομιδής, κωδικός αγροτεμαχίου αποθηκεύονται στις ετικέτες RFID. Αυτές οι βασικές πληροφορίες του προϊόντος συνδέονται με μια πλατφόρμα δικτύου, έτσι ώστε να τις καθιστούν διαθέσιμες στους καταναλωτές.

Η τεχνολογία RFID σε συνδυασμό με τη διαχείριση δεδομένων μπορούν να εφαρμοστούν στην άντληση πληροφοριών ποιότητας και ασφάλειας. Για παράδειγμα, οι πληροφορίες σχετικά με τους χοίρους και τα προϊόντα χοιρινού κρέατος αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων και στη συνέχεια μέσω διαδικτύου οι διακομιστές (servers) του εκτροφείου συνδέονται με τους διακομιστές των σφαγείων και των υπεραγορών (λιανική πώληση) (Hai 2007). Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα τεχνολογίας RFID εφαρμόστηκε από το τμήμα Τμήμα Ισλαμικής Ανάπτυξης (JAKIM) στη Μαλαισία. Το τμήμα αυτό έχει εισαγάγει μια δικτυακή πύλη που σε συνδυασμό με την τεχνολογία RFID παρέχει πιστοποίηση «Halal»,

δηλαδή την πιστοποίηση της ταυτότητας των τροφίμων που πληρούν ισλαμικές διατροφικές συνήθειες και απαιτήσεις καθαρότητας και δεν περιέχουν απαγορευμένες ουσίες. Χρησιμοποιώντας τον μοναδικό αριθμό ταυτότητας στο λογότυπο Halal που εκδίδεται από το JAKIM, ο καταναλωτής μπορεί να έχει τις πληροφορίες του Halal μέσω SMS (Nasir 2011).

1.1.1 Electronic Pedigree

Το ηλεκτρονικό έγγραφο pedigree αποτελεί μια νέα τεχνολογία στον τρόπο ανταλλαγής δεδομένων, παρέχοντας ένα ίχνος ελέγχου που καταγράφει τη διαδρομή και την ιδιοκτησία του προϊόντος καθώς μετακινείται κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, καταφέροντας έτσι να επιτευχθεί η ιχνηλασιμότητα . Το έγγραφο e-pedigree περιέχει χρήσιμες εγγραφές προϊόντων και συναλλαγών συνοδευόμενες με ψηφιακές υπογραφές για να εγγυηθεί η αυθεντικότητα τους. Σύμφωνα με το (EPCglobal Pedigree Ratified Standard. Version 1.0 2007), το e-pedigree είναι δομημένο σε τρία διαφορετικά επίπεδα: το αρχικό pedigree (initial pedigree), το pedigree αποστολής (shipped pedigree) και το pedigree παραλαβής-(received pedigree), τα όποια προσαρτώνται κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στο αρχικό επίπεδο δημιουργείται το initial pedigree με βασικές πληροφορίες για το προϊόν (π.χ. όνομα παραγωγού, όνομα προϊόντος και σειριακό αριθμό) και πληροφορίες για το προϊόν (π.χ. αριθμός παρτίδας, ημερομηνία συγκομιδής, ημερομηνία λήξης , ποσότητα). Όταν το προϊόν αποσταλεί στο επόμενο συνεργάτη της εφοδιαστικής αλυσίδας, προστίθεται το pedigree αποστολής, το οποίο περιέχει πληροφορίες όπως το όνομα του αποστολέα, το όνομα του παραλήπτη, πληροφορίες συναλλαγής (αριθμός παραγγελίας , διεύθυνση αποστολέα και διεύθυνση παραλήπτη) και υπογραφή αποστολέα. Μετά από αυτό το βήμα, η υπογραφή του αποστολέα δεν μπορεί να αλλάξει. Μόλις το συμβαλλόμενο μέλος επιβεβαιώσει την παραλαβή του προϊόντος, ενεργοποιείται το pedigree παραλαβής συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών συναλλαγής του παραλήπτη και της υπογραφής του. Μετά από αυτό το επίπεδο, το pedigree παραλαβής, η υπογραφή του παραλήπτη και τα δεδομένα είναι εξασφαλισμένα και δεν μπορούν να τροποποιηθούν Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Διαδικασία διακίνησης των εγγράφων ανιχνευσιμότητας σε όλο το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας αλιείας με τη χρήση e-pedigree

Πηγή: (Whitworth 2017)

1.2 Παρακολούθηση της ψυχρής αλυσίδας εφοδιασμού

Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες που προτείνονται για την παρακολούθηση της ψυχρής αλυσίδας εφοδιασμού. Πολλές εκ των οποίων απαιτούν μια δια-τομεακή προσέγγιση για ανάπτυξη και επιτυχή εφαρμογή. Όπως συμβαίνει με όλες τις τεχνολογίες, πολλές από αυτές δε θα είχαν αναπτυχθεί χωρίς τις καθημερινές προκλήσεις και τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια της επιχειρησιακής δραστηριότητας. Κάποια παραδείγματα αυτών των προκλήσεων και των προβλημάτων αποτελούν οι απώλειες που ενδέχεται να προκληθούν από μηχανική αστοχία των ψυκτικών μονάδων, οι αποκλίσεις που παρουσιάζονται από το σημείο αναφοράς για το προϊόν κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση των προϊόντων και η εσφαλμένη κατηγοριοποίηση των προϊόντων.

Κάθε πρόβλημα που δημιουργείται κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες εσόδων για τα ενδιαφερόμενα μέρη. Μια πλήρως αυτοματοποιημένη έξυπνη αλυσίδα εφοδιασμού θα βοηθούσε στην αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων της ψυχρής αλυσίδας. Ο πρωταρχικός στόχος μιας αυτοματοποιημένης αλυσίδας είναι η κατοχύρωση πλήρους ανιχνευσιμότητας της θερμοκρασίας σε όλες τις φάσεις που εμπλέκονται στη διαχείριση των προϊόντων. Μέσω της αυξημένης διαφάνειας τα συστήματα αυτά θα έχουν τη δυνατότητα άμεσης

μείωσης των απορριφθέντων τροφίμων, ενώ ταυτόχρονα θα βελτιώσουν την ασφάλεια και τη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων. Για την πρόληψη της απόρριψης τροφίμων και για την αύξηση του επιπέδου ασφάλειας των τροφίμων, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογικές τάσεις που εξετάζονται παρακάτω και βοηθούν στην καλύτερη παρακολούθηση της ψυχρής αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτές οι τεχνολογικές τάσεις περιλαμβάνουν:

1.2.1 Ασύρματες τεχνολογίες ανίχνευσης και παρακολούθησης

Οι ασύρματες τεχνολογίες ανίχνευσης και παρακολούθησης, συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογιών ραδιοσυχνότητας και WSN (Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων), χρησιμοποιούν έναν μοναδικό αριθμό αναγνώρισης για την επικοινωνία με τους αναγνώστες και τις πύλες εξόδου, μεταδίδοντας δεδομένα ασύρματα (πχ θερμοκρασία, φως, υγρασία, πίεση). Τόσο τα δίκτυα ραδιοσυχνότητας (RF), όσο και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) θεωρούνται από τις βέλτιστες εφαρμογές για την παρακολούθηση της ψυχρής αλυσίδας εφοδιασμού. Οι (Kumari 2015) δηλώνουν ότι ένα σύστημα RFID μειώνει το κόστος εργασίας, παρέχοντας παράλληλα έναν πιο αποτελεσματικό έλεγχο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Γεγονός το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση των ευπαθών αντικειμένων. Έτσι ενώ οι τεχνολογίες αυτές προσδίδουν μια προστιθέμενη αξία, υπάρχει ένα πλήθος τεχνολογικών εμποδίων που πρέπει να υπερκεράσουν για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά. Και οι δύο αυτές τεχνολογίες δεν έχουν την δυνατότητα να εξασφαλίζουν συνεχή παρακολούθηση της ψυχρής αλυσίδας και επιπλέον δεν είναι σε θέση να προβλέπουν την εναπομένουσα διάρκεια ζωής του προϊόντος.

Οι περισσότερες επιτυχημένες εφαρμογές των τεχνολογιών αυτών έχουν επιτευχθεί συνδέοντας τον ασύρματο κόμβο αισθητήρα ή την ετικέτα ραδιοσυχνότητας αναγνώρισης (RFID) με ένα στοιχείο / περιουσιακό στοιχείο (σε επίπεδο παλετών / παρτίδας). Οι ετικέτες RFID μπορούν να είναι ενεργές, παθητικές ή ημιπαθητικές. Οι παθητικές και ημιπαθητικές ετικέτες RFID στέλνουν τα δεδομένα τους με αντανάκλαση ή συντονισμό του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που εκπέμπεται από τον αναγνώστη. Η μπαταρία των ημιπαθητικών RFID χρησιμοποιείται μόνο για την τροφοδοσία του αισθητήρα και την καταχώρηση δεδομένων (R. R.-G.-H. Badia-Melis 2015).

Αυτός ο κόμβος / ετικέτα θα καταγράψει και θα ανακοινώσει τη θέση (μεταφερόμενη ή αποθηκευμένη) και τις φυσικές παραμέτρους (Θερμοκρασία, RH) του περιουσιακού στοιχείου σε μια βάση δεδομένων, η οποία σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να απέχει χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά (Zou 2014). Αυτές οι βάσεις δεδομένων έχουν δυνατότητες επεξεργασίας του υπολογισμού της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής του προϊόντος και άλλων "δεικτών φρεσκάδας" των μεταφερόμενων προϊόντων σε σχέση με το άμεσο περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία στην

αλυσίδα εφοδιασμού και βοηθούν στη μείωση των συνολικής απόρριψης τροφίμων λόγω κακής διαχείρισης.

Στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) οι συσκευές παρακολούθησης έχουν σχεδιαστεί για να διευκολύνουν τη συνεχή ροή πληροφοριών σε όλα τα σημεία / στάδια κατά μήκος ολόκληρης της ψυχρής αλυσίδας. Η επιτυχία τους βασίζεται στον συνδυασμό λειτουργιών, όπως η απομακρυσμένη λειτουργικότητα, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, οι δυναμικές δυνατότητες δικτύωσης και η ευελιξία χρήσης αισθητήρων (δυνατότητα ενσωμάτωσης σχεδόν οποιουδήποτε τύπου αισθητήρα). Ενώ και οι δύο τεχνολογίες παρουσιάζουν αξιοσημείωτη προστιθέμενη αξία, υπάρχει έλλειψη εφαρμογής και πειραματισμού σε πραγματικό επιχειρησιακό περιβάλλον. Ακόμα και σήμερα πολύ λίγες μελέτες συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα της κοινής χρήσης των δύο τεχνολογιών (R. R.-G.-H. Badia-Melis 2015).

Η θερμοκρασία αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα που επηρεάζει τη διάρκεια ζωής των αλλοιώσιμων τροφίμων. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της ψυχρής αλυσίδας των φθαρτών τροφίμων αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα για την κάλυψη των αυξανόμενων απαιτήσεων ποιότητας και ασφάλειας από τους πελάτες και τους ρυθμιστικούς φορείς. Παραδοσιακά η διαχείριση θερμοκρασίας γίνεται με τη χρήση θερμομέτρων ή συμπαγών καταγραφικών θερμοκρασίας για διάφορα φθαρτά τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών, των κρεάτων, των πουλερικών, των γαλακτοκομικών προϊόντων και των κατεψυγμένων φρούτων και λαχανικών. Αυτά τα συστήματα παρακολούθησης της θερμοκρασίας δεν είναι ακριβή και χρειάζονται περιοδικούς ελέγχους συλλογής δεδομένων θερμοκρασίας χειροκίνητα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος εργασίας. Έτσι, οι RFID ετικέτες με δείκτες θερμοκρασίας (αισθητήρες) μπορούν να καταγράψουν πληροφορίες χρόνου-θερμοκρασίας χωρίς διακοπές και να συμβάλλουν στη βελτίωση διαχείρισης της θερμοκρασίας. Η χρήση RFID ετικετών με ενσωματωμένο αισθητήρα είναι φθηνότερη από τη χρήση των καταγραφικών θερμοκρασίας (Ogasawara 2006). Οι RFID καταγραφείς είναι οικονομικά και αποδοτικά εργαλεία για τον χαρακτηρισμό των ψυχόμενων μονάδων, όπως φορητά ή εμπορευματοκιβώτια. Οι (R. R.-G. Jedermann 2009) ενσωμάτωσαν ετικέτες RFID σε συσκευές καταγραφής της θερμοκρασίας RFID, ώστε να μπορούν να αναλύουν τις αποκλίσεις καταγραφής της θερμοκρασίας μέσα σε ένα εμπορευματοκιβώτιο.

Οι μονάδες ψύξης υπάρχει πιθανότητα να παρουσιάσουν κάποια αστοχία. Γεγονός το οποίο μπορεί αναπόφευκτα να προκαλέσει απώλειες στην ποιότητα των ψυχόμενων τροφίμων. Η εφαρμογή του RFID σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες εντοπισμού GPS (Global Positioning System) προσφέρουν παρακολούθηση και εντοπισμό των προϊόντων σε πραγματικό χρόνο. Κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών αγώνων στο Πεκίνο 2008 χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας ενσωματωμένες σε RFID, παρέχοντας τη δυνατότητα παρακολούθησης της θέσης και του ελέγχου της θερμοκρασίας για όλα τα μεταφερόμενα τρόφιμα (Costa 2012).

Σε μελέτη που διεξήχθη από τους (Trebar 2013) χρησιμοποιήθηκε υψηλής συχνότητας (UHF) ημιπαθητικό RFID καταγραφής δεδομένων, για να προσδιορίζεται η ιχνηλασιμότητα της φρέσκιας ποικιλίας ψαριού «Piran sea bass» (λαυράκι) σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, από το ιχθυοτροφείο μέχρι τον καταναλωτή. Τα καταγραφικά RFID βρέθηκαν αποτελεσματικά στον εντοπισμό και την παρακολούθηση της θερμοκρασίας των συσκευασμένων νωπών ψαριών σε κουτιά από πολυστυρένιο, καθώς και στην παρακολούθηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος των ψυχόμενων αποθηκών, των χώρων επεξεργασίας και των φορτηγών που χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά των ψαριών.

Επίσης, σε ένα πείραμα που έγινε από τους (Laniel 2011), χρησιμοποιήθηκαν 42 ετικέτες ανίχνευσης θερμοκρασίας RFID και επισυνάφθηκαν σε συγκεκριμένες παλέτες που περιείχαν κονσέρβες με φασόλια, νωπό κρέας και κατεψυγμένο ψωμί σε ψυχόμενο εμπορευματοκιβώτιο. Στην περίπτωση των παλετών που περιείχαν φασόλια κονσέρβας τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι 41 ετικέτες διαβάστηκαν από τις 42 (97,6% ποσοστό ανάγνωσης ετικετών). Στις παλέτες νωπού κρέατος το ποσοστό ανάγνωσης κυμάνθηκε στο 61,9% (διαβάστηκαν 26 ετικέτες) και στο κατεψυγμένο ψωμί το ποσοστό ανάγνωσης ήταν 57,1% (24 ετικέτες διαβάστηκαν). Τα αποτελέσματα αυτά επικύρωσαν το γεγονός ότι τα ραδιοκύματα στα 915 MHz απορροφώνται από το νερό και τον πάγο. Παρά τον παράγοντα της αναγνωσιμότητας των ετικετών, η τεχνολογία RFID με δίκτυο αισθητήρων εξασφαλίζει ότι το προϊόν παραδίδεται στον τελικό χρήστη σε εξαιρετική κατάσταση.

1.2.2 Μέθοδοι εκτίμησης θερμοκρασίας

Οι νέοι μέθοδοι εκτίμησης θερμοκρασίας έχουν τη δυνατότητα να προβλέπουν θερμοκρασίες σε θέσεις εσωτερικά των παλετών, των συρόμενων, των αποθηκών ή των εμπορευματοκιβωτίων, παρόλο που στις συγκεκριμένες θέσεις δεν είναι εφικτό να τοποθετηθεί αισθητήρας λόγω φυσικών ή οικονομικών περιορισμών. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των τροφίμων και η μόνωση της συσκευασίας, συντελούν να μην κατανέμουν πάντα ομοιόμορφα την θερμοκρασία στο εσωτερικό της παλέτας. Επομένως, η χρήση ενός αισθητήρα καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη της θερμοκρασίας για ολόκληρη την παλέτα. Στην πραγματικότητα αποτυπώνει τη θερμοκρασία ενός σημείου της παλέτας και όχι ολόκληρης της παλέτας. Έτσι, πρωταρχικός στόχος των νέων μεθόδων είναι ο προσδιορισμός του αριθμού των αισθητήρων που απαιτούνται για την ακριβή πρόβλεψη της θερμοκρασίας στο εμπορευματοκιβώτιο, στον θάλαμο ψύξης ή ακόμα και σε κάθε παλέτα ξεχωριστά (R. & Jedermann 2009).

Κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση παρουσιάζονται μέθοδοι που προσπαθούν να εκτιμήσουν τη θερμοκρασία τοποθετώντας αισθητήρες σε ένα συγκεκριμένο αριθμό σημείων. Όμως οι μέθοδοι αυτοί καθίστανται εμπορικά μη βιώσιμοι λόγω του κόστους των πολλών αισθητήρων που χρησιμοποιούν. Οι προτεινόμενοι μέθοδοι

βασίζονται συνήθως στην αντίστροφη ζύγιση απόστασης, όπως η Kriging method η οποία δεν μπορεί να ανιχνεύσει τοπικές κορυφές (υψηλές διακυμάνσεις), εκτός και εάν χρησιμοποιηθεί υψηλή πυκνότητα αισθητήρων. Το αντεπιχείρημα είναι ότι μια άμεση αύξηση του αριθμού των αισθητήρων καθιστά το σύστημα οικονομικά ασύμφορο. Άλλες προτεινόμενες μέθοδοι περιλαμβάνουν την ομαδοποίηση προϊόντων με παρόμοια χαρακτηριστικά θερμοκρασίας για να μειωθεί ο απαιτούμενος αριθμός αισθητήρων μέσα σε ένα εμπορευματοκιβώτιο (R. & Jedermann 2009). Επίσης, άλλη μια μέθοδος που προτείνεται είναι η τοποθέτηση των αισθητήρων σε στρατηγικά σημεία μεταξύ των μεταφερόμενων εμπορευμάτων (Lutjen 2012). Παρακάτω παρουσιάζονται και περιγράφονται μελέτες που χρησιμοποίησαν αισθητήρες –πυκνωτές και συγκεκριμένα τη μέθοδο kriging και τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN) για να εκτιμήσουν τη θερμοκρασία.

1.2.2.1 Αισθητήρας- Πυκνωτής (Capacitor)

Η άνοδος και η πτώση των καμπυλών θερμοκρασίας ενός αισθητήρα θερμοκρασίας αντιστοιχούν σε αύξηση και πτώση της ηλεκτρικής αντίστασης/πυκνωτή (RC resistor/capacitor) ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Επομένως, οι καμπύλες θερμοκρασίας από μια παλέτα που περιέχει τρόφιμα παρουσιάζουν κάποιες σταθερές χρόνου (σταθερές Tau), όπως και στα συστήματα RC, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση της θερμοκρασίας (R. B. Badia-Melis 2013). Επίσης, διατηρείται ιστορικό με βάση τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, έτσι ώστε να προσδιορίζεται στην πράξη η διαφορετική σταθερά θερμοκρασίας που υπάρχει στο κέντρο της παλέτας σε σχέση με αυτή που υπάρχει στην επιφάνεια της. Όταν οι επιθυμητοί στόχοι των σταθερών επιτευχθούν, τότε οι θερμοκρασίες μπορούν να υπολογιστούν. Με τη χρήση της μεθόδου των πυκνωτών έχουμε βελτίωση του απόλυτου σφάλματος κατά 86,7% σε σχέση με τη μέτρηση της θερμοκρασίας με τις παραδοσιακές μεθόδους (R. B. Badia-Melis 2013).

1.2.2.2 Kriging

Η μέθοδος εκτίμησης παραμέτρων Kriging έχει χρησιμοποιηθεί σε χώρους με μη καθορισμένα όρια και βασίζεται στις κλασικές μεθόδους παρεμβολής. Οι κλασικές γραμμικές μέθοδοι βασίζονται στην αντίστροφη τετραγωνική απόσταση. Ωστόσο η μέθοδος Kriging έχει να κάνει με τη χρήση των διακυμάνσεων των τιμών σε σχέση με την απόσταση. Έτσι, δημιουργεί το ονομαζόμενο semivariogram, το οποίο παρουσιάζει την προσαρμογή των ελάχιστων τετραγώνων σε ποικίλα θεωρητικά variogram σε σχέση με τα ιστροπικά variogram (Schwinghamart 2010). Επίσης περιλαμβάνει τις υπολογιζόμενες διαφορές σε διαφορετικά σημεία που μπορούν να αποκτηθούν μέσω των συντελεστών βαρύτητας σε οποιαδήποτε απόσταση, υπολογίζοντας τη θερμοκρασία στο επιθυμητό σημείο (R. & Jedermann 2009). Η μέθοδος Kriging εφαρμόστηκε πρόσφατα ως μέθοδος εκτίμησης της θερμοκρασίας

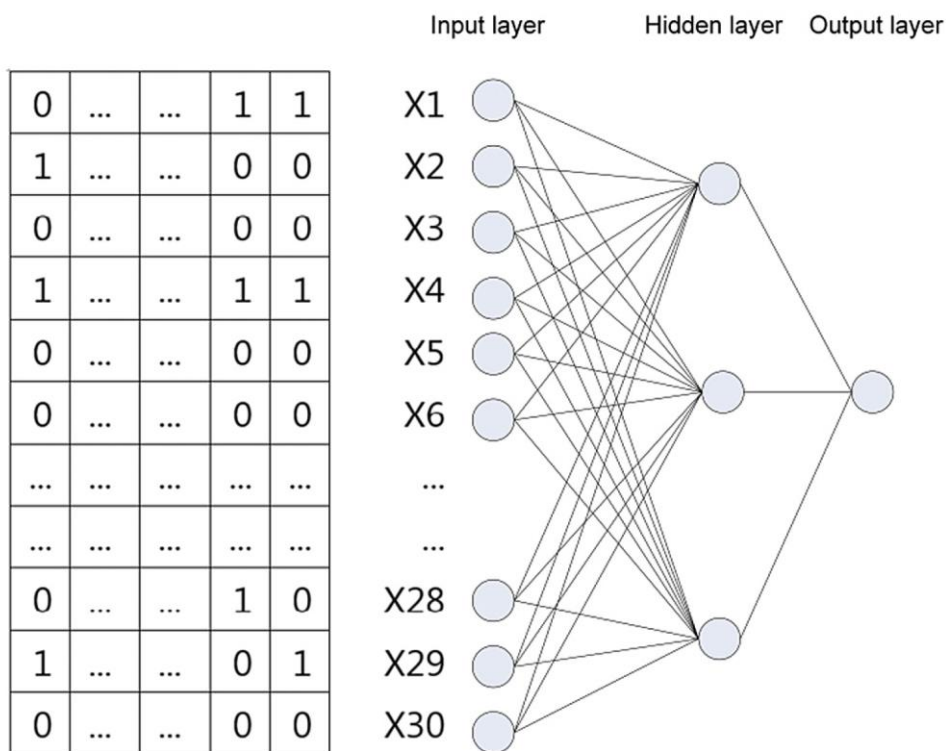
στην ψυχρή αλυσίδα τροφίμων, για την εκτίμηση της θερμοκρασίας σε ψυχόμενα εμπορευματοκιβώτια (R. M. Badia-Melis 2016), καθώς και για την εκτίμηση της θερμοκρασίας σε επίπεδο παλέτας και σε επίπεδο κλουβιού. Η μέθοδος αυτή δημιούργησε βελτίωση έως και 90% στο απόλυτο σφάλμα.

1.2.2.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial neural networks)

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANNs) αντιπροσωπεύουν μια μαθηματική προσέγγιση που επιτρέπει να μιμείται τη μαθησιακή διαδικασία που συμβαίνει στον εγκέφαλο των θηλαστικών. Η μέθοδος ANN υποθέτει ότι υπάρχει μια μη γραμμική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας που είναι επιθυμητή να επιτευχθεί (μέσα σε μια παλέτα) και της θερμοκρασίας στην πηγή (θερμοκρασία αέρα στο δοχείο). Αυτή η μη γραμμική σχέση μπορεί να μοντελοποιηθεί από τα ANN (G. & Zhang 2005). Ο τρόπος εφαρμογής των ANN για την εκτίμηση της θερμοκρασίας γίνεται επιλέγοντας πρώτα ως είσοδο τα δεδομένα χρόνου και θερμοκρασίας εξωτερικά της παλέτας και στην συνέχεια μέσω αυτών υπολογίζεται η θερμοκρασία μέσα στην παλέτα.

Έτσι τα δεδομένα χρόνου και θερμοκρασίας περνούν ως εισροές μέσα από τα διαφορετικά κρυμμένα στρώματα και νευρώνες που τους τοποθετούν την αντίστοιχη βαρύτητα, αθροίζοντας τα. Στο πρώτο στρώμα των νευρώνων λαμβάνει ως είσοδο τα δεδομένα χρόνου και θερμοκρασίας, επεξεργάζεται αυτές τις πληροφορίες και τις μεταδίδει επεξεργασμένες στις ενδιάμεσες εξόδους, από όπου περνούν στο επόμενο κρυμμένο στρώμα. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου το τελικό κρυφό στρώμα να δώσει το τελικό αποτέλεσμα. Σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιείται μέρος των δεδομένων θερμοκρασίας για την κατάρτιση του δικτύου εκτίμησης της εξόδου των δεδομένων σε σχέση με την είσοδο αυτών. Εικόνα 2.

Η μέθοδος ANN έχει εφαρμοστεί για την πρόβλεψη χρονοσειρών και έχει μελετηθεί από τους (R. M. Badia-Melis 2016) για την εκτίμηση της θερμοκρασίας των αμερικανικών στρατιωτικών μερίδων μέσα σε μια παλέτα, χρησιμοποιώντας την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος που επικρατούσε μέσα στο δωμάτιο συντήρησης. Το ποσοστό βελτίωσης του απόλυτου σφάλματος έφτασε το 95%.



Εικόνα 2. Πολυστρωματικός νευρώνας για τα δεδομένα αισθητήρα

Πηγή: (Ganjar Alfian 2017)

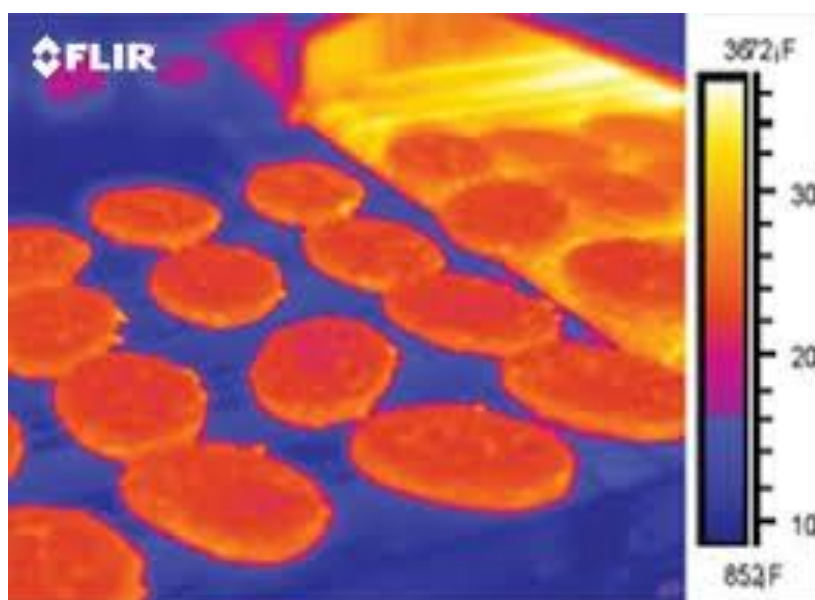
1.2.3 Κάμερα θερμικής απεικόνισης

Μια κάμερα θερμικής απεικόνισης καταγράφει την ένταση της υπέρυθρης ακτινοβολίας στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και το μετατρέπει σε ορατή εικόνα, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η ανάγνωση των τιμών θερμοκρασίας. Η χρήση θερμικής εικόνας παρέχει τη δυνατότητα ανίχνευσης της θερμοκρασίας σε μεγάλο αριθμό σημείων από μία μόνο εικόνα. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα θερμοκρασίας από τα διάφορα σημεία της εικόνας ως δεδομένα εισόδου για την πραγματοποίηση μεθόδων εκτίμησης θερμοκρασίας. Ωστόσο χρειάζεται μια άμεση οπτική επαφή για τη λήψη της θερμοκρασίας. Επίσης, για σωστή ερμηνεία των θερμικών εικόνων απαιτείται να γνωρίζει ο χρήστης πως διαφορετικά υλικά και συνθήκες επηρεάζουν τις μετρήσεις θερμοκρασίας από την κάμερα θερμικής απεικόνισης (Gowen 2010).

Η εφαρμογή της θερμικής εικόνας στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων και στην επεξεργασία τροφίμων εμφανίζεται με μεγάλο εύρος εφαρμογών τα τελευταία χρόνια. Λόγω της φύσης της, μπορεί να συμπληρώσει πολλές υφιστάμενες τεχνολογίες και να επιτύχει πλήρης θερμικό έλεγχο των τροφίμων. Έτσι, η εφαρμογή θερμικής κάμερας είναι δυνατόν να μειώσει τον αριθμό των φυσικών αισθητήρων (RFID / WSN) που υπάρχουν μέσα σε ένα σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας (R. Q.-E.-G. Badia-Melis

2016). Οι (Jha 2011) παρουσίασαν μεθόδους αξιολόγησης της ποιότητας στα τρόφιμα. Συγκεκριμένα μελέτησαν ότι το επίπεδο μαγειρέματος μέσα στο κοτόπουλο μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας θερμική εικόνα και ANN χωρίς να επιφέρει καταστροφικές επιπτώσεις σε αυτό, όπως θα γινόταν με τη χρήση άλλων μεθόδων

Οι (Castro-Giraldez 2014) εφάρμοσαν τη μέθοδο της θερμικής απεικόνισης ως μέθοδο επίβλεψης της θερμοκρασίας για τη διαδικασία ψύξης του κρέατος. Σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη κατά την εφαρμογή της θερμικής απεικόνισης είναι η εκπομπή της επιφάνειας, η οποία εξαρτάται από τη φύση των υλικών και την εκπεμπόμενη ακτινοβολία τους. Η παράληψη αυτών των παραμέτρων ενδέχεται να δώσει ανακριβείς μετρήσεις θερμοκρασίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από την επιφάνεια ενός σώματος είναι αυτό που μετράει η συσκευή θερμικής απεικόνισης (Bulanon 2008) Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Θερμική απεικόνιση τροφίμων

Πηγή: (FLIR 2018)

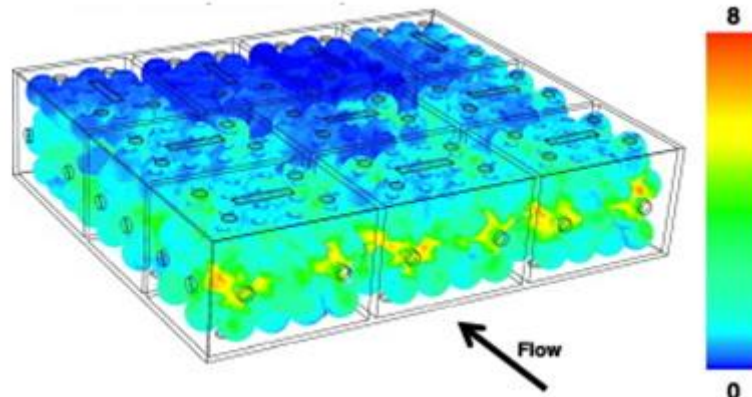
1.2.4 Υπολογιστική ανάλυση ροής (Computational Fluid Dynamics)

Η Υπολογιστική ανάλυση ροής (CFD) έχει χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στην κατανόηση των διαδικασιών ψύξης που απαιτούνται για τα ευπαθή τρόφιμα, προκειμένου να αφαιρεθεί η θερμότητα του αγρού μετά τη συγκομιδή τους. Η CFD διευκολύνει την προσομοίωση της δυναμικής ροής αέρα σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, τη μοντελοποίηση και τη δοκιμή πιο αποτελεσματικών τρόπων ψύξης των προϊόντων, ενώ παράλληλα βελτιώνει τη ροή του αέρα μέσω της συσκευασίας του προϊόντος και ενισχύει τις διαδικασίες υποκαπνισμού Εικόνα 4.

Η CFD δεν είναι μια διαδικασία μόνο για την ψυχρή αλυσίδα, αποτελεί και ένα εργαλείο ή μια τεχνική που βοηθάει στην κατανόηση των διατάξεων ροής αέρα κατά τη διάρκεια των διαδικασιών ψύξης. Μέσω αυτής της κατανόησης καθίσταται δυνατόν να εντοπιστούν οι αδυναμίες αυτών των διαδικασιών και να δημιουργηθούν σχέδια αλλαγών με σκοπό τη βελτιστοποίησή τους. Τέτοιες αλλαγές περιλαμβάνουν συνήθως τη βελτιστοποίηση της ταχύτητας του αέρα σε εφαρμογές τεχνητής ψύξης αέρα, δημιουργία ενισχυμένου συστήματος εξαερισμού για κιβώτια προϊόντων, ρύθμιση της κατανομής παλετών κατά τη διάρκεια της ψύξης, ομοιόμορφη ψύξη γεωργικών προϊόντων κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά και τέλος τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια των σταδίων πρόψυξης (J. W.-M.-G. Han 2017).

Η ψύξη του προϊόντος μπορεί να προσεγγιστεί είτε αριθμητικά μέσω CFD μοντελοποίησης, είτε πειραματικά χρησιμοποιώντας αιολική σήραγγα (Zhao 2016). Η δυσκολία της χρήσης των πειραματικών δεδομένων για μελέτη της πρόψυξης οφείλεται στην πολυπλοκότητα της κίνησης του αέρα στο εσωτερικό της συσκευασίας των τροφίμων. Γεγονός που καθιστά δύσκολη τη μέτρηση των θερμοκρασιακών μεταβολών στα προϊόντα. Επίσης, η αλλοίωση του προϊόντος που σχετίζεται με την αεροδυναμική σήραγγα δεν μπορεί να αγνοηθεί. Αυτές οι δυσκολίες μπορούν εύκολα να αποφευχθούν με τη χρήση της CFD προσομοίωσης για τη δημιουργία τρισδιάστατων χρονικών και χωρικών κατανομών της θερμοκρασίας του προϊόντος κατά τη διάρκεια της πρόψυξης. Η χρήση αυτής της μεθόδου απαιτεί επαλήθευση και επικύρωση της ακρίβειας της προσομοίωσης μέσω επιτόπιων μετρήσεων (J. W.-M.-G. Han 2017).

Οι (J. W.-M.-G. Han 2017) ανέπτυξαν μια μελέτη για την πρόψυξη των μήλων. Σε αυτήν τη μελέτη διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της ταχύτητας ροής του αέρα κατά $2,5 \text{ m / s}$ αποτελεί βέλτιστη τιμή για την αύξηση του ρυθμού ψύξης. Ωστόσο οποιαδήποτε περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας του αέρα αποτελεί σπατάλη ενέργειας. Οι (Getahun 2017) ανέπτυξαν ένα μοντέλο CFD ροής αέρα και ψύξης προϊόντων μέσα σε ένα πλήρως φορτωμένο εμπορευματοκιβώτιο μεταφοράς βασισμένο στις μελέτες της κάθετης ροής ψύξης. Η απουσία οπών αερισμού στην κάτω επιφάνεια του κιβωτίου συσκευασίας είχε ως αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη ροή αέρα και την ετερογενή ψύξη των προϊόντων. Με τη δημιουργία οπών αέρα στα κιβώτια μειώθηκαν η κατακόρυφη αντίσταση ροής αέρα και ο χρόνος ψύξης κατά 37% σε σύγκριση με τη συσκευασία χωρίς οπές εξαερισμού στο κάτω μέρος (Getahun 2017).



Εικόνα 4. Απεικόνιση 3D της προσομοίωση ροής ρευστών με τη μέθοδο CFD

Πηγή: (Kuleuven 2018).

1.2.5 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)

Οι (Giusto 2010) ορίζουν το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) ως ένα δίκτυο που συνδυάζει καθημερινά αντικείμενα που έχουν την ικανότητα εντοπισμού και αλληλεπίδρασης μεταξύ τους για την επίτευξη των στόχων. Σε εταιρικό επίπεδο τα συστήματα IoT ελέγχονται εξ αποστάσεως, μέσω διαδικτύου, επικοινωνώντας μεταξύ τους, έχοντας σκοπό τη βελτιστοποίηση των εργασιών και των διαδικασιών (Amaral 2011). Οι πολλαπλοί συνδυασμοί δικτύων επικοινωνίας, όπως κινητών, διαδικτύου και υπολογιστών, αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παγκόσμιας βιομηχανίας πληροφορικής ξεκινώντας ένα νέο πεδίο τεχνολογίας (Vermesan 2011). Η παγκόσμια διασυνδεσιμότητα του IoT του δίνει τη δυνατότητα να προσθέσει σημαντική αξία στη βιομηχανία τροφίμων και στην ψυχρή εφοδιαστική αλυσίδα. Κύριος στόχος του IoT είναι να διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διασυνδεδεμένων προϊόντων. Το IoT διαιρείται σε τρεις διαστάσεις. Η πρώτη αποτελείται από τα στοιχεία πληροφόρησης, τα οποία φέρουν πληροφορίες και γνωρίζουν τα αντικείμενα του περιβάλλοντος. Η δεύτερη συμπεριλαμβάνει τα ανεξάρτητα δίκτυα που έχουν δυνατότητες αυτό-διαμόρφωσης και αυτό-βελτιστοποίησης μεταξύ πολλών άλλων χαρακτηριστικών και την τρίτη που περιλαμβάνει έξυπνες εφαρμογές που έχουν δυνατότητες επεξεργασίας και ελέγχου (Kang 2013).

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) αποτελείται από αντικείμενα που είναι σε θέση να αισθανθούν το περιβάλλον (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, φως, αέρια), να συνδέονται μεταξύ τους αποστέλλοντας πληροφορίες χρήσιμες για τη λήψη αποφάσεων και να αποτρέπουν ανεπιθύμητα γεγονότα στην ψυχρή αλυσίδα εφοδιασμού. Τα συστήματα RFID και WSN μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως έξυπνα IoT, δεδομένου ότι υποστηρίζουν απομακρυσμένη λειτουργικότητα, συλλογή και διάδοση δεδομένων. (Abbasi 2014), (J. W. Wang 2015).

Η τεχνολογία RFID μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων καταγράφοντας βασικές πληροφορίες από την παραγωγή, τη συγκομιδή και τη μεταποίηση των προϊόντων (M. & Zhang 2012). Η εφαρμογή αισθητήρων σε RFID (ετικέτες) έχει ωφελήσει σημαντικά την ψυχρή εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων μέσω της ικανότητας της να συνδέει αρχεία με τους μεμονωμένους ηλεκτρονικούς κωδικούς προϊόντων (EPC), έτσι ώστε να γίνεται πιο εύκολος ο προσδιορισμός των προϊόντων και να πραγματοποιούνται οι κατάλληλες αντιστοιχίες (Farooq 2016). Αυτή η διάρθρωση του EPC είναι ένα παγκόσμιο πρότυπο, στο οποίο μπορεί να κλιμακωθεί η κοινή χρήση πληροφοριών (ορατότητα αντικειμένου) με τη βοήθεια της RFID τεχνολογίας (Atzori 2010). Ομοίως, η τεχνολογία WSN (Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων) έχει την ικανότητα παρακολούθησης και καταγραφής μιας τεράστιας γκάμας περιβαλλοντικών ιδιοτήτων που συμβαίνουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή, οι οποίες μπορούν να διαδίδονται και να αναλύονται, ώστε να λαμβάνονται τεκμηριωμένες αποφάσεις.

1.3 Διαχείριση ζωικού κεφαλαίου (Live stock management)

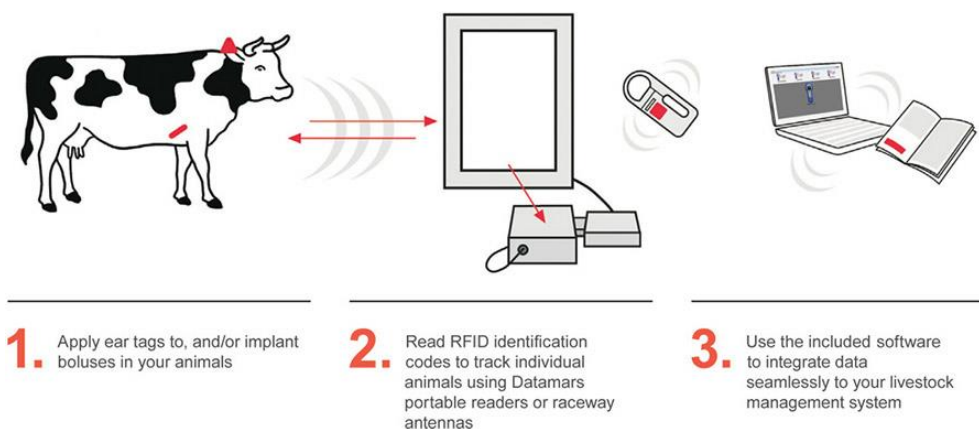
Η ζήτηση για ταυτοποίηση των τροφίμων συνεχώς αυξάνεται και οι καταναλωτές γίνονται όλο και περισσότερο απαιτητικοί σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων και τις πληροφορίες που θέλουν να τα συνοδεύουν. Οι κτηνοτρόφοι μαρκάρουν τα ζώα τους με βαφή, τατουάζ και ενώτια, για να μπορούν να τα αναγνωρίζουν και να κρατούν κάποιο αρχείο για αυτά (Wismans 1999). Όμως, αυτές οι τεχνολογίες είχαν αρκετά μειονεκτήματα, όπως ότι το 5- 60 % των ενωτίων χάνονταν, ενώ οι βαφές ή τα τατουάζ ξεθώριαζαν με το πέρασμα του χρόνου. Για να μπορέσουν οι κτηνοτρόφοι να διατηρηθούν σε ανταγωνιστικό επίπεδο και για να εξασφαλίσουν την ιχνηλασιμότητα, μειώνοντας ταυτόχρονα τα ανθρώπινα λάθη και το κόστος εργασίας, πέρασαν στην εφαρμογή της τεχνολογίας RFID. Η RFID τεχνολογία μπορεί να διαχειρίζεται καλύτερα το ζωικό κεφάλαιο διότι είναι ταχύτερη, ευκολότερη στην εφαρμογή και με μικρότερη πιθανότητα λάθους από τα συμβατικά συστήματα. Η χρήση RFID βελτιώνει τον αυτοματισμό παρέχοντας ταυτόχρονα μείωση του κόστους εργασίας και αύξηση των κερδών (Artman 199). Η πιθανότητα παρουσίασης σφάλματος στις συμβατικές μεθόδους είναι 6 λάθη ανά 100 ζώα, ενώ με το RFID τα λάθη μειώνονται στα 1 ανά 1000 ζώα (Trevarthen 2007). Η μοναδικότητα της ετικέτας RFID εξασφαλίζει αξιόπιστη και αποτελεσματική παρακολούθηση του ζώου από τη γέννηση του, τα διάφορα στάδια της ζωής του, τη μεταφορά του μέχρι και τη σφαγή του Εικόνα 5.

Οι (R. S. Chen 2008) χρησιμοποίησαν ετικέτες RFID για να αποκτήσουν πληροφορίες ανιχνευσιμότητας για κοτόπουλα. Με τις ετικέτες RFID οι πληροφορίες μπορούσαν να γίνουν διαθέσιμες μέσω ιστοτόπου και να ανακτηθούν χρησιμοποιώντας τον αριθμό ID του κοτόπουλου που τους ενδιέφερε. Οι τεχνολογίες

RFID μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση μιας κτηνοτροφικής μονάδας με τον έλεγχο για επικείμενες ασθένειες, τη διαχείριση της αναπαραγωγής και των αποθεμάτων. Επίσης, οι RFID ετικέτες αποδείχθηκαν ωφέλιμες για αποτελεσματική διαχείριση μέσω αυτοματοποίησης της διατροφής των χοίρων και ρύθμισης των ποσοτήτων τροφής (Geers 1997). Οι (Samad 2010) ανέπτυξαν ένα ολοκληρωμένο σύστημα βασισμένο στην τεχνολογία RFID για τις φάρμες που παράγουν γαλακτοκομικά προϊόντα με σκοπό να εξασφαλίζουν την αξιόπιστη καταγραφή δεδομένων για την αποφυγή αθέμιτων αξιώσεων από ασφαλιστικές εταιρίες. Το ανεπτυγμένο σύστημα δοκιμάστηκε σε δέκα χωριά της περιοχής Ταμίλ Ναντού (Thanjavur) στην Ινδία. καλύπτοντας περίπου 5000 ζώα γαλακτοπαραγωγής. Εκτός από τη μοναδική αναγνώριση τα συστήματα RFID περιέχουν πληροφορίες για τα ζώα σχετικά με το στάδιο ανάπτυξης που βρίσκονται, το ιατρικό τους ιστορικό, έγγραφα σχετικά με τη μεταφορά τους και δεδομένα ανάδρασης. Τα δεδομένα μπορούν να μοιραστούν μέσω του κτηνοτρόφου, μεταποιητή ή του κτηνιάτρου με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και ενός συστήματος διαχείρισης βάσης δεδομένων (Curkendall 2002). Το RFID μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση αλλοιωμένων ζωικών προϊόντων, από την παραγωγή προς τον τελικό καταναλωτή, και για την ανίχνευση μη εξουσιοδοτημένων ανοιγμάτων των εμπορευματοκιβωτίων κατά τη διάρκεια της μεταφοράς των ζωικών προϊόντων (Chansud 2008).

Τα είδη των ετικετών RFID που χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση των ζώων είναι αμπούλες, ετικέτες αυτιών και ετικέτες εμφύτευσης γυαλιού. Οι αμπούλες είναι κάψουλες που τοποθετούνται εσωτερικά στο στομάχι των μηρυκαστικών και περιέχουν ενσωματωμένο αναμεταδότη ραδιοσυχνότητας, ο οποίος είναι τοποθετημένος σε ένα περίβλημα το οποίο είναι ανθεκτικό στα γαστρικά οξέα (Finkenzeller 2004), (G. C. Caja 1999). Η γυάλινη ετικέτα εμφυτεύεται κάτω από το δέρμα κυρίως μετά τη γέννηση του ζώου (G. H.-J. Caja 2005). Επίσης, έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες για εμφυτεύματα σε ζώα που μετρούν τη θερμοκρασία του σώματος (Opasjumruskit 2006). Στο πλαίσιο του σχεδίου FARMA οι ετικέτες RFID ενσωματώθηκαν σε κινητή μονάδα επεξεργασίας για να παρέχεται αναγνώριση και παρακολούθηση των ζώων. Χρησιμοποιώντας αυτό το ενσωματωμένο πλαίσιο ζωικές ασθένειες εύκολα μπορούν να ανιχνευθούν και να αποτραπούν σε πρώιμο στάδιο (Voulodimos 2010). Τέλος, έχουν γίνει πειράματα με σκοπό την ανίχνευση της πίεσης του αίματος και των ορμονικών αλλαγών στα ζώα (Hostettor 2003).

HOW LIVESTOCK RFID WORKS



Εικόνα 5. Διαχείριση ζωικού κεφαλαίου

(1) Ενσωμάτωση αισθητήρων RFID στα ζώα με αμπούλες, ετικέτες αυτιών και ετικέτες εμφύτευσης γυαλιού, 2) Παρακολούθηση αυτών μέσω κωδικών αναγνώρισης RFID για ανίχνευση και εντοπισμό του κάθε ζώου ξεχωριστά, χρησιμοποιώντας χειροκίνητους αναγνώστες και κεραίες διαδρομών, 3) Χρήση του καταλλήλου software για ενοποίηση των δεδομένων με το σύστημα διαχείρισης ζωικού κεφαλαίου) (Datamars 2018).

1.4 Αισθητήρες παρακολούθησης της ποιότητας των τροφίμων

1.4.1 TTIs αισθητήρες ενσωματωμένοι με ετικέτες RFID

Μια σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία RFID είναι η ενσωμάτωση των ανιχνευτών χρόνου θερμοκρασίας (Time Temperature Indicators). Ο συνδυασμός αυτών των δύο στοιχείων οδηγεί σε καλύτερη παρακολούθηση και διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού. Επίσης, συμβάλλει σημαντικά στην εξοικονόμηση κόστους, καθότι μειώνονται τα απορριπτέα τρόφιμα λόγω καλύτερης διαχείρισης τους. Οι RFID ετικέτες σε συνδυασμό με τους TTIs αισθητήρες είναι σε θέση να καταγράφουν πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία σε σταθερά χρονικά διαστήματα και δεδομένα ανεξάρτητα για το κάθε προϊόν, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτή η νέα μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πιο βολικού και ακριβούς συστήματος παρακολούθησης της θερμοκρασίας από την παραδοσιακή διαχείριση θερμοκρασίας που εμπλέκονται θερμομέτρα ή συμπαγή καταγραφικά θερμοκρασίας. Αυτή η τεχνολογία έχει εφαρμογή σε ευαίσθητα τρόφιμα, όπως κατεψυγμένα και φρέσκα ψάρια (Ταουκίς 1989), γαλακτοκομικά προϊόντα (Shellhammer 1991), κρέας, πουλερικά, κατεψυγμένα φρούτα και λαχανικά.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της ενσωμάτωσης είναι:

- Χαμηλότερο κόστος αγοράς των ετικετών TTI-RFID σε σχέση με τους καταχωρητές θερμοκρασίας
- Μεγαλύτερη ακρίβεια από τα παραδοσιακά συστήματα μετρήσεων
- Ικανότητα διατήρησης ιστορικού
- Δυνατότητα παροχής πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, συνδέοντας αυτές με συστήματα GPS και ασύρματα δίκτυα
- Μείωση της χειρωνακτικής εργασίας και κατ' επέκταση του εργατικού κόστους (Atsushi 2006)

Ωστόσο, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί η ανάγνωση της RFID ετικέτας μέσα σε δοχεία, παλέτες και κιβώτια. Τα ραδιοκύματα με τα οποία λειτουργούν οι ετικέτες RFID απορροφώνται από το νερό και τον πάγο και αντανακλώνται από μεταλλικές επιφάνειες, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν προβλήματα στην ανάγνωση τους. Έτσι, τα συστήματα TTIs RFID εξασφαλίζουν τον κατάλληλο έλεγχο που συμβάλλει στη διατήρηση της ποιότητας του τροφίμου κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση του. Εικόνα 6



Εικόνα 6. RFID με ενσωματωμένο TTI αισθητήρα

Πηγή: (Gabriela Simone Lorite a 2016).

1.4.2 Αισθητήρες υγρασίας ενσωματωμένοι σε ετικέτες RFID

Οι αισθητήρες υγρασίας ανιχνεύουν την ποσότητα των ατμών νερού που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα (Z. & Chen 2005). Η χρήση αυτού του τύπου αισθητήρα στις ετικέτες RFID μπορεί να ωφελήσει σε τομείς, όπως στον κλάδο των γεωργικών

προϊόντων διατροφής, τον ιατρικό τομέα και τους τομείς που σχετίζονται με ευαίσθητα τρόφιμα. Για να επιτευχθεί ο στόχος παρακολούθησης της σχετικής υγρασίας και της μετάδοσης των αρχείων υγρασίας στον χρήστη αναπτύχθηκαν αισθητήρες υγρασίας που συνδέονται με ετικέτες RFID.

Οι (Orrea 2007) ανέπτυξαν χωρητικούς αισθητήρες υγρασίας από πολυαιθυλενικό-ναφθαλικό και πολυαμίδιο πάνω σε εύκαμπτες ετικέτες RFID, επιτυγχάνοντας καλή ευαισθησία 21 fF /% RH με τιμές σχετικής υγρασίας να κυμαίνονται μεταξύ 20% και 90%. Οι (Kim 2009) εργάστηκαν πάνω σε αισθητήρες νανοπόρων, ανοδικούς στο οξείδιο του αλουμινίου, και τους σύνδεσαν με διαφορετικού πάχους ετικέτες RFID με σκοπό να προκληθεί αύξηση της ευαισθησίας στη μέτρηση της σχετικής υγρασίας. Διεξήχθησαν χωρικές μετρήσεις και παρουσιάστηκε υψηλή ευαισθησία με εύρος από 42 fF /% RH έως 483 fF /% RH ανάλογα με το πάχος του αισθητήρα και την εφαρμοζόμενη τάση. Οι (Z. & Chen 2005) διευκρινίζουν ότι η μεγάλη έκθεση σε σχετική υγρασία μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση της ευαισθησίας λόγω διεύρυνσης των πόρων και εμφάνιση μετατοπίσεων στα χαρακτηριστικά χωρητικότητας. Οι (Salmeron 2014) ανέπτυξαν έναν αισθητήρα υγρασίας με βάση υποστρώματος από πολυαμίδιο που σκοπό είχε να συζευχθεί με τύπου UHF RFID ετικέτες. Χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρόδια σερπεντίνης τυπωμένα στο υπόστρωμα πολυαμιδίου δίνοντας μια ευαισθησία της τάξεως του 100 fF /% RH, η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη από την ευαισθησία 4.5 fF /% RH που λαμβάνεται από τους (Rivadeneira 2014), οι οποίοι χρησιμοποίησαν τον ίδιο αισθητήρα, αλλά είχαν διηλεκτρικά ηλεκτρόδια. Σε μια άλλη έρευνα συνδέθηκε αισθητήρας υγρασίας με το τσιπ μιας έξυπνης ετικέτας RFID, η οποία είχε χρησιμοποιηθεί για ιχνηλασιμότητα σε πραγματικό χρόνο και παρακολούθηση της ψυχρής αλυσίδας τροφίμων (E. Abada 2009). Το σύστημα είχε δοκιμαστεί σε θαλασσινά που βρίσκονταν σε κιβώτια από πολυστυρένιο. Αυτή η έξυπνη παραλλαγή της ετικέτας RFID προσέφερε τη δυνατότητα ανάγνωσης της θερμοκρασίας και της υγρασίας, χωρίς να ανοίγονται τα κουτιά, διατηρώντας τη συσκευασία και κατ' επέκταση το τρόφιμο ακέραιο.

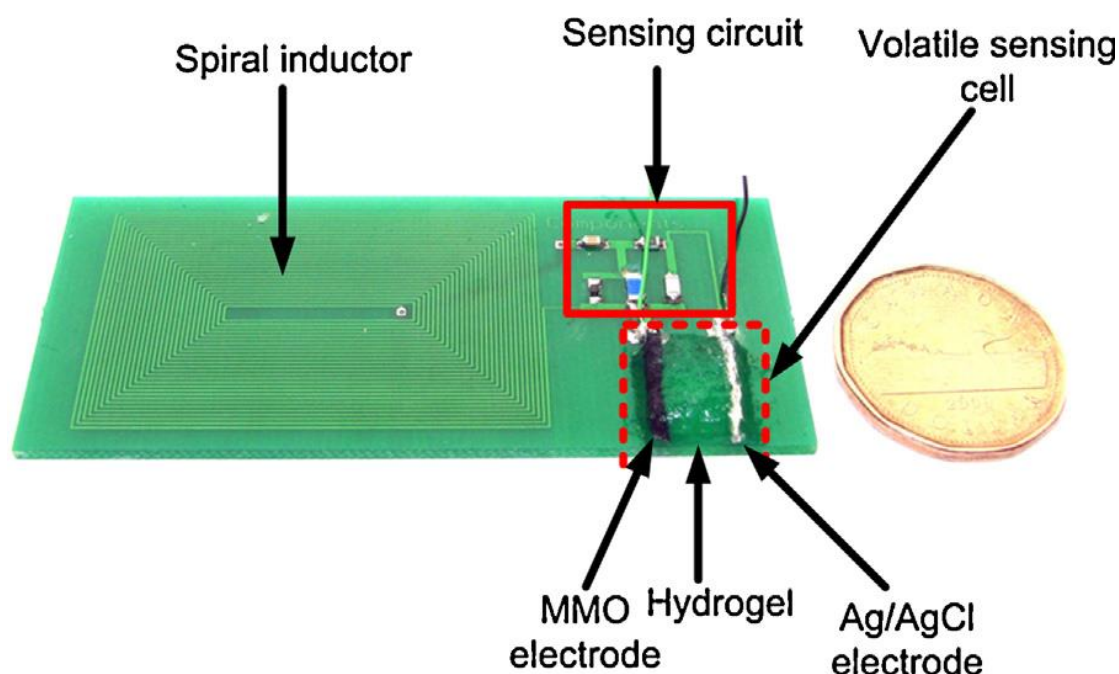
1.4.3 Χημικοί αισθητήρες ενσωματωμένοι με ετικέτες RFID

Οι χημικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση της αιθανόλης και του αιθυλενίου με σημαντικές εφαρμογές στις συσκευασίες τροφίμων. Αισθητήρες αντιστάσεως οξειδίων μετάλλου έχουν αναπτυχθεί πάνω σε μικρο-ηλεκτρομηχανικά συστήματα εξασφαλίζοντας χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μείωση του μεγέθους. Όμως, το κύριο μειονέκτημα αυτού του τύπου αισθητήρα είναι η έλλειψη εξειδίκευσης (Ruiz-Garcia 2011).

Οι (Potyrailo 2007) ανέπτυξαν αισθητήρα αερίων και ατμών με αυτοδιόρθωση ανεξέλεγκτων διακυμάνσεων θερμοκρασίας, χωρίς την ανάγκη ενσωμάτωσης ενός ξεχωριστού μη επικαλυμμένου αισθητήρα αναφοράς ή ενός ξεχωριστού αισθητήρα θερμοκρασίας. Σημαντικές πρόοδοι έχουν σημειωθεί στο θέμα της σμίκρυνσης και

της ανάπτυξης χαμηλού κόστους χημικών αισθητήρων (οπτικοί, αμπερομετρικοί, ποτενσιομετρικοί και αγωγιμομετρικοί αισθητήρες). Αυτού του τύπου οι αισθητήρες ενσωματώνονται σε ετικέτες RFID (Steinberg 2014). Η ηλεκτροχημική ανίχνευση με πτητικά χημικά έχει αναπτυχθεί και έχει ανθεκτικότητα στις αλλαγές αντίστασης του κυκλώματος των RFID ετικετών, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών που παρουσιάζονται στη συχνότητα και στο εύρος του εξαγόμενου σήματος. Ο αισθητήρας που χρησιμοποιείται αποτελείται κατά αναλογία από 18% πολυμερές και 82% άνθρακα. Λειτουργεί βάσει της οξείδωσης των ημιαγωγών του τολουολίου, παρέχοντας ανίχνευση του ποσοστού ύπαρξης αερίων και σε συνδυασμό με τις ευέλικτες ετικέτες RFID παρέχει ταυτόχρονα εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (Fiddes 2013) (Zampolli 2008).

Για την παρακολούθηση της όξινης και βασικής πτητικής συγκέντρωσης βρίσκεται σε εξέλιξη ένας παθητικός αισθητήρας αποτελούμενος από ένα ηλεκτροδίο pH. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μεταβολή της τάσης του ηλεκτροδίου pH ανάλογα με τις μεταβολές του pH της υδρογέλης που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση αμμωνίας και οξικού οξέος (Bhadra 2015). Οι (Potyrailo 2007) χρησιμοποίησαν χημικά ευαίσθητα φιλμ Nafion (οικογένεια υπερφθοροσουλφονωμένων πολυμερών) επικαλυμμένα με μια συμβατική παθητική ετικέτα RFID που λειτουργεί στα 13.56 MHz. Η άμεση ενσωμάτωση του αισθητήρα στην κεραία RFID δημιουργεί μια χαμηλού κόστους, χημικά ευαίσθητη ετικέτα, χωρίς να χρειάζεται ειδικός σχεδιασμός της ετικέτας. Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Πρωτότυπος αισθητήρας απορρόφησης πτητικού με επικάλυψη υδρογέλης

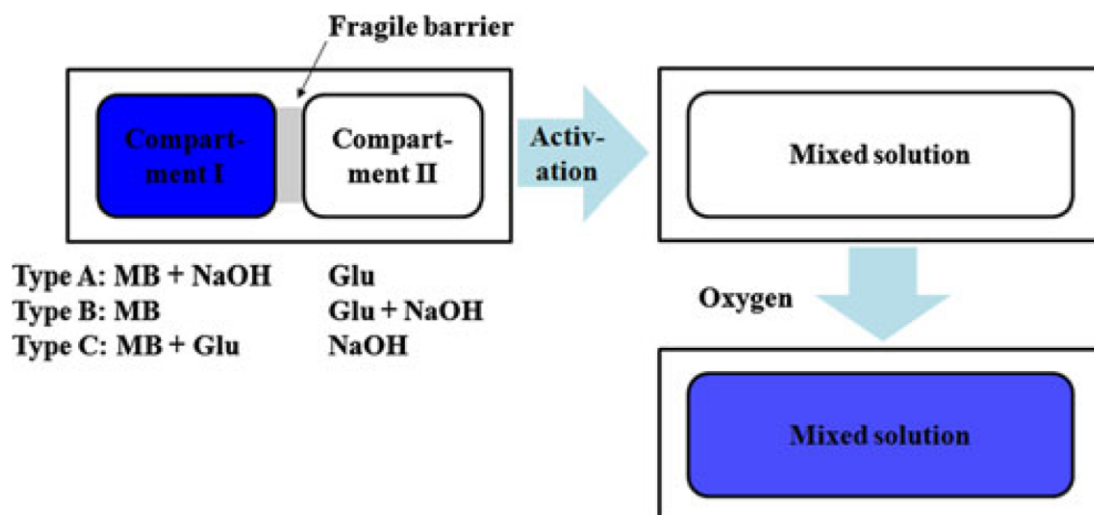
(MMO (Μεικτό ηλεκτρόδιο μεταλλικού οξειδίου) και Ag / AgCl ηλεκτρόδια) (Sharmistha Bhadra 2015).

1.4.4 Δείκτες οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα ενσωματωμένοι σε ετικέτες RFID

Οι δείκτες αερίου παρέχουν μια εναλλακτική, μη επεμβατική προσέγγιση σε σύγκριση με τις παραδοσιακές καταστρεπτικές τεχνικές σχετικά με την αξιολόγηση της ακεραιότητας της συσκευασίας από διαρροές σφραγισμένων συσκευασιών τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Επίσης, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις αλλαγές στη συγκέντρωση αερίου, όπως το οξυγόνο (C. H. Thai Vu 2013). Το ζευγάρι του RFID με τον αισθητήρα οξυγόνου χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ακεραιότητας της συσκευασίας. Η διαπίστωση της ακεραιότητας πραγματοποιείται με την ανάπτυξη ενός αισθητήρα οξυγόνου luminophore και ενός υπεριώδους led για τη δημιουργία φωταύγειας. Η αλλαγή χρώματος του αισθητήρα luminophore σχετίζεται άμεσα με την αλλαγή της συγκέντρωσης οξυγόνου (Martínez-Olmos 2013).

Οι (Jang 2014) εργάστηκαν στην ανάπτυξη ενός δείκτη οξυγόνου με μεγάλη διάρκεια ζωής για να αξιολογεί πόσο καλά οι καθαριστές/απορροφητές αφαιρούν το οξυγόνο από τη σκευασία και για να ειδοποιεί για επικείμενη διαρροή. Οι δείκτες οξυγόνου ενεργοποιούνται με τη διαφορά πίεσης και χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές έξυπνης συσκευασίας Εικόνα 8. Οι (Espinosa 2010) δημιούργησαν επιστρώσεις που είναι ευαίσθητες σε αέρια. Οι επιστρώσεις αυτές κατασκευάζονται από στρώματα οξειδίων μετάλλου (οξείδιο του κασσιτέρου ή οξείδιο του βολφραμίου), και ενσωματώνονται σε εύκαμπτη ετικέτα RFID. Στόχος αυτών των επιστρώσεων στη συγκεκριμένη εφαρμογή ήταν η παρακολούθηση του κλιματισμού των φρούτων κατά τη μεταφορά και την πώληση.

Οι αισθητήρες διοξειδίου του άνθρακα ανιχνεύουν τον βαθμό ζύμωσης των φυτικών προϊόντων κατά την αποθήκευση και τη διανομή τους. Η ύπαρξη διοξειδίου του άνθρακα σηματοδοτείται μέσω της χημικής βαφής ενός φιλμ από πολυμερές (Hong 2000). Ένα επιπρόσθετο παράδειγμα ανίχνευσης διοξειδίου του άνθρακα βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα και της υγρασίας σε σχέση με μια αμινομάδα. Η αντίδραση του διοξειδίου με την αμινομάδα αποτελεί δείκτη ανίχνευσης της σχετικής υγρασίας μέσα στον χώρο που θέλουμε να μετρήσουμε. (Stegmeier 2009). Οι (Endres 1999) ανέπτυξαν ένα χωρικό σύστημα αισθητήρων διοξειδίου του άνθρακα το οποίο καταστέλλει την επιρροή της σχετικής υγρασίας.



Εικόνα 8. Σχηματικό διάγραμμα για την αρχή λειτουργίας του δείκτη οξυγόνου

Ο δείκτη οξυγόνου ενεργοποιείται μέσω της διαφοράς πίεσης των δύο τμημάτων. Το MB συμβολίζει το μεθυλένιο και εκφράζεται με μπλε χρώμα και το Glu τη γλυκόζη και απεικονίζεται με άσπρο χρώμα (Won 2014).

2. Προβλεπόμενη διάρκεια ζωής και παρακολούθηση της ποιότητας των τροφίμων

2.1 Εισαγωγή

Η διάρκεια της ζωής και ο έλεγχος της ποιότητας των ευαίσθητων στη φθορά τροφίμων έχει αρχίσει και αποκτά δέουσα σημασία λόγω της αύξησης της τάσης των καταναλωτών να καταναλώνουν τρόφιμα υψηλής ποιότητας. Η ποιότητα μπορεί να εκφραστεί ως τα χαρακτηριστικά εκείνα που προσδίδουν στο τρόφιμο την ικανότητα να ικανοποιήσει τις δυνητικές ανάγκες των καταναλωτών (Giusti 2008). Τα κύρια στοιχεία που κοιτούν οι καταναλωτές σε ένα τρόφιμο είναι η εμφάνιση, η διατροφική αξία και η φρεσκάδα των τροφίμων. Εάν τα χαρακτηριστικά του τροφίμου εκπέσουν από το κατώφλι ποιότητας, τότε το τρόφιμο γίνεται μη αποδεκτό από το καταναλωτικό κοινό. Ο συσσωρευτικός χρόνος αποθήκευσης και η θερμοκρασία αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για τη διατήρηση της ποιότητας στα τρόφιμα (Labuza 1982). Για τα εύθραυστα τρόφιμα οι παρεκκλίσεις από τις βέλτιστες συνθήκες αποθήκευσης μειώνουν τη διάρκεια ζωής του τροφίμου. Επομένως, η διατήρηση της θερμοκρασίας στα βέλτιστα επίπεδα επιμηκύνει κατά πολύ τη διάρκεια ζωής ενός τροφίμου.

2.2 Συστήματα παρακολούθησης ποιότητας των τροφίμων

2.2.1 Έξυπνη συσκευασία

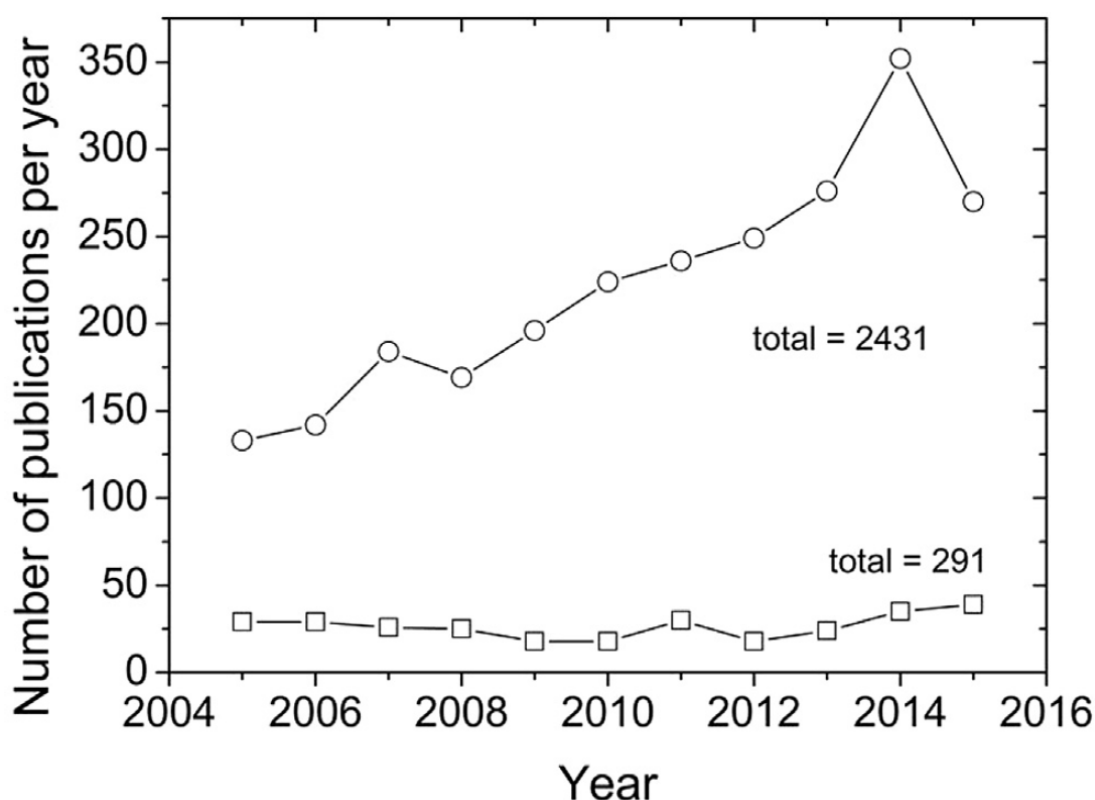
Ως έξυπνη συσκευασία ορίζεται η συσκευασία που έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί και να παρακολουθεί τις συνθήκες που επικρατούν στη συσκευασμένη τροφή, με στόχο την παροχή πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα, την ασφάλεια και την ιστορικότητα των προϊόντων κατά τη διάρκεια της μεταφοράς ή της αποθήκευσης τους. Η ανίχνευση δεικτών, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, η αιθανόλη και το αιθυλένιο, βοηθούν στη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων ή την ανίχνευση ενδεχόμενων αλλοιώσεων που έχουν υποστεί τα τρόφιμα μέσα στη συσκευασία (Vergara 2007).

Γενικά η έξυπνη συσκευασία στοχεύει στη βελτίωση, τον συνδυασμό και την επέκταση τεσσάρων βασικών χαρακτηριστικών της συσκευασίας τροφίμων (K. L. Yam 2009):

- Προστασία: Η συσκευασία τροφίμων κρατά τα προϊόντα σε συγκεκριμένο όγκο, εμποδίζει τη διαρροή και προστατεύει έναντι πιθανών μολύνσεων και αλλαγών.
- Επικοινωνία: Η συσκευασία τροφίμων μεταφέρει και επικοινωνεί πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο των τροφίμων, τα θρεπτικά συστατικά που περιέχουν, καθώς και τη διαδικασία παραγωγής τους.
- Ευκολία: Η συσκευασία τροφίμων επιτρέπει στους καταναλωτές να απολαμβάνουν το φαγητό με τον τρόπο που επιθυμούν. Τα πακέτα τροφίμων μπορούν να σχεδιαστούν βάσει των ατομικών τρόπων ζωής των καταναλωτών και να παρέχουν φορητότητα, όπως πολλαπλές μονές μερίδες.
- Συγκράτηση: Η συγκράτηση είναι η πιο βασική λειτουργία μιας συσκευασίας ενός τροφίμου και αποτελεί παράγοντα μείζονος σημασίας για την εύκολη μεταφορά ή τον χειρισμό του τροφίμου.

Οι καινοτομίες στις συσκευασίες τροφίμων πρέπει όχι μόνο να προσφέρουν τα τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά που έχουν, αλλά και συνεισφέρουν στη δημιουργία ενός βιώσιμου κόσμου μέσω της μείωσης των απορριμμάτων συσκευασίας και της απώλειας τροφής. Στην Εικόνα 9 παρατηρούμε μια αυξανόμενη τάση σε ότι αφορά τις έρευνες πάνω στο πεδίο της έξυπνης συσκευασίας. Η ανάπτυξη νέων έξυπνων συσκευασιών οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Αρχικά αυτές οι έξυπνες συσκευασίες παρέχουν όλο και περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των τροφίμων ή την ακεραιότητα της συσκευασίας. Δεν είναι μόνο επωφελείς για τον πελάτη, αλλά επίσης επιτρέπουν την ανίχνευση των καταστροφών και των πιθανών καταχρήσεων σε όλο το μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού, από τον παραγωγό μέχρι τον λιανοπωλητή. Αυτή η ανάπτυξη της τεχνολογίας διαμορφώνει μια ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη αλυσίδα εφοδιασμού, μειώνοντας τις απώλειες τροφίμων και αποβλήτων και προλαμβάνοντας πιθανά λάθη που μπορούν να εξελιχθούν πολύ κοστοβόρα για τις εταιρίες και για την ίδια την κοινωνία. Έτσι από το 2009 και μετά

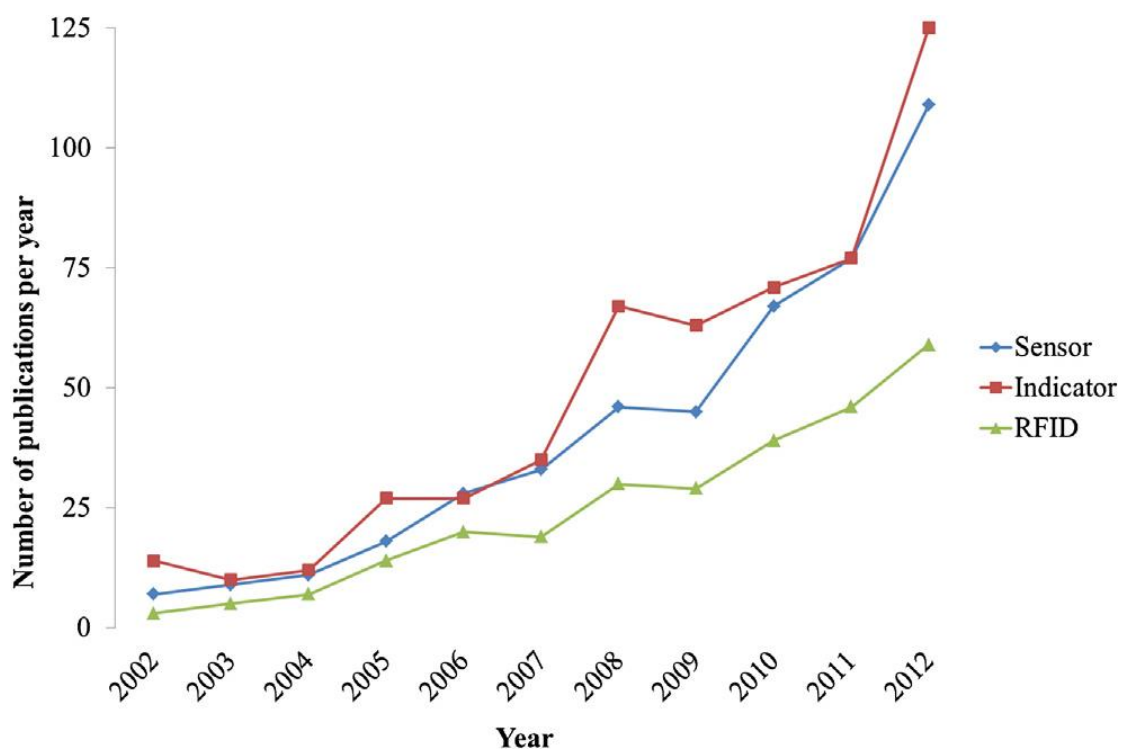
παρατηρούμε μια ραγδαία αύξηση αυτής της τάσης που πιθανόν αντανακλά σε κάποιο βαθμό τις αναδυόμενες ανάγκες που απορρέουν από την οικονομική κρίση του 2007. Η οικονομική κρίση ανάγκασε τις εταιρίες σε αναζήτηση νέων και αποτελεσματικών τρόπων μείωσης του κόστους και βελτιστοποίησης των επιχειρησιακών διαδικασιών και απωλειών. Όμως, η δημιουργία ενός εξειδικευμένου έξυπνου συστήματος που να είναι ταυτόχρονα αξιόπιστο, αποτελεσματικό και οικονομικά αποδοτικό αποτέλεσε εμπόδιο στην ανάπτυξη έξυπνων συσκευών λόγω της πολυπλοκότητας που ενυπάρχει στον συνδυασμό αυτών των χαρακτηριστικών. Επιπλέον, η ανάπτυξη τέτοιων συσκευών απαιτεί διαφορετικές τεχνικές δεξιότητες και υπόβαθρα σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, όπως η επιστήμη των τροφίμων, η επιστήμη των υλικών, η χημεία και η ηλεκτροχημική μηχανική, η οποία κάνει το συνολικό σχέδιο και τη διαδικασία ανάπτυξης πιο περίπλοκη (Masoud Ghaani 2016).



Εικόνα 9. Στο παραπάνω διάγραμμα (-o-) βλέπουμε την εξέλιξη (2005-2015) του αριθμού των δημοσιεύσεων σε τεχνολογίες έξυπνης συσκευασίας.

Source: www.scopus.com.

Μέχρι σήμερα υπάρχουν τρεις σημαντικές τεχνολογίες στο πεδίο της έξυπνης συσκευασίας: αισθητήρες, δείκτες και αναγνώστες ραδιοσυχνοτήτων (RFID). Στην Εικόνα 10 φαίνεται ο αριθμός των δημοσιεύσεων για κάθε μια από αυτές τις τεχνολογίες (Mike Vanderroosta 2014).



Εικόνα 10. Η εξέλιξη (2002 - 2012) του αριθμού των δημοσιεύσεων σχετικά με τις τρεις βασικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις έξυπνες συσκευασίες: αισθητήρες, δείκτες και RFID αναγνώστες.

Πηγή: Μελετητής Google: <http://scholar.google.com>.

Η τεχνολογία της έξυπνης συσκευασίας είναι ευρέως αποδεκτό ότι μπορεί να υλοποιηθεί μέσω τριών κύριων τεχνολογιών:

- Δείκτες: Στοχεύουν στην παροχή μεγαλύτερης ευκολίας και ενημέρωσης προς τους καταναλωτές σχετικά με την ποιότητα των τροφίμων.

- Φορείς δεδομένων: Γραμμικοί κώδικες και ετικέτες ραδιοσυχνοτήτων, οι οποίες προορίζονται για αποθήκευση δεδομένων, διανομή και ανιχνευσιμότητα.
- Αισθητήρες: Επιτρέπουν μια γρήγορη και σαφή ποσοτικοποίηση των αναλυόμενων ουσιών στα τρόφιμα.

2.2.2 Δείκτες φρεσκάδας

Οι δείκτες φρεσκάδας είναι αισθητήρες που υπάρχουν μέσα στη συσκευασία και ελέγχουν την ποιότητα των τροφίμων. Όταν υπάρξει αύξηση του μικροβιακού φορτίου ή των χημικών αλλαγών που παρουσιάζονται στα νωπά τρόφιμα, οι δείκτες προκαλούν αλλαγές στη συσκευασία. Η εξέλιξη των δεικτών φρεσκάδας τις τελευταίες δύο δεκαετίες οφείλεται στην αύξηση της καταναλωτικής ζήτησης για υγιή και φρέσκα τρόφιμα.

Οι δείκτες φρεσκάδας αποτελούν έξυπνες συσκευές που επιτρέπουν την παρακολούθηση της ποιότητας των προϊόντων διατροφής κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της μεταφοράς. Η αποσύνθεση της φρεσκάδας μπορεί να οφείλεται είτε στην έκθεση σε επιβλαβείς συνθήκες, είτε στην υπέρβαση της ζωής του προϊόντος πάνω στο ράφι. Η ύπαρξη μικροβιολογικής δραστηριότητας μπορεί να αξιολογηθεί οπτικά μέσω αντιδράσεων των μεταβολιτών μικροβιακής ανάπτυξης και των ενοποιημένων δεικτών μέσα στη συσκευασία. Επίσης, οι δείκτες φρεσκάδας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προβλεφθεί η διάρκεια ζωής των ευπαθών προϊόντων.

Για παράδειγμα οι δείκτες φρεσκάδας που προορίζονται για τα θαλασσινά υπολογίζονται με βάση τη συνολική περιεκτικότητα σε πτητικό βασικό άζωτο (TVB-N), δηλαδή πτητικές αμίνες οι οποίες σχηματίζονται, καθώς τα τρόφιμα χαλάνε. Οι αμίνες μπορούν να ανιχνευτούν είτε μέσω της μεταβολής της αγωγιμότητας (αγωγιμομετρική μέθοδος) (Heising 2015), είτε με βάση τη μεταβολή του pH (B. J. Kuswandi 2014). Στην περίπτωση των προϊόντων κρέατος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της ποιότητας τους δείκτες υδροθείου. Το υδρόθειο απελευθερώνεται κατά τη γήρανση του κρέατος και σχετίζεται άμεσα με το χρώμα της μυοσφαιρίνης, το οποίο θεωρείται δείκτης ποιότητας για τα προϊόντα κρέατος. Άλλοι δείκτες φρεσκάδας βασίζονται στην ευαισθησία προς άλλους μικροβιακούς μεταβολίτες, όπως η αιθανόλη, το διακετύλιο και το διοξείδιο του άνθρακα (Pereira de Abreu 2011). Οι (Rukchon 2014) ανέπτυξαν δείκτες φρεσκάδας για το στήθος κοτόπουλου, όπου η συνολική διαφορά χρώματος της μείξης του δείκτη βαφής τύπου pH συσχετίζεται με το διαφορετικό επίπεδο διοξείδιο του άνθρακα στο στήθος κοτόπουλου χωρίς δέρμα (Εικόνα 11). Οι (Galagan 2008) ανέπτυξαν ένα διαφανές μελάνι που σκοπό έχει τον προσδιορισμό της φρεσκάδας των τροφίμων. Ο τρόπος λειτουργίας του μελανιού βασίζεται στην αλλαγή χρώματος του.

Η αλλαγή του χρώματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής του τροφίμου στη συσκευασία. Εκτός από το ερευνητικό κομμάτι, πολλές εταιρίες συσκευασίας ανέπτυξαν δείκτες φρεσκάδας. Κάποιοι από αυτούς τους δείκτες είναι οι Fresh Tag®, SensorQ®, Raflatac®, και το Toxin Guard® (δείκτης που αισθάνεται αλλοίωση των νωπών κρεάτων και προϊόντων πουλερικών). Όλοι αυτοί οι δείκτες βασίζονται στον χρωματομετρικό δείκτη. Ο χρωματομετρικός δείκτης χρησιμοποιεί τεχνολογίες, όπως νανοστρώματα αργύρου ως δείκτες ανίχνευσης pH, βιοαισθητήρες πάνω σε γραμμωτούς κώδικες και βιοαισθητήρες πάνω σε φιλμ αντίστοιχα (Realini 2014). Επίσης, υπάρχουν δείκτες για τον προσδιορισμό της ωριμότητας των φρούτων που βασίζονται στην ανίχνευση αρωμάτων και αναπτύχθηκαν από το Jenkins Group. Τέλος, ο δείκτης ωριμότητας RipeSense™ επιτρέπει στους καταναλωτές να επιλέξουν φρούτα που ανταποκρίνονται καλύτερα στα γούστα τους (Pocas 2008) ανιχνεύοντας συστατικά αρώματος ή αέρια που εμπλέκονται στη διαδικασία ωρίμανσης (π.χ., αιθυλένιο) και απελευθερώνονται από το φρούτο.



Εικόνα 11. Συσκευασμένο στήθος κοτόπουλου χωρίς δέρμα με ετικέτες δείκτη αλλοίωσης τροφής

α) Τύπος M1: πράσινο = νωπό, κίτρινο = αλλοίωση (Chompoonoot Rukchona 2014).

2.2.3 Βιοαισθητήρες

Οι βιοαισθητήρες είναι σε θέση να παρακολουθούν την ποιότητα των τροφίμων ανιχνεύοντας την παρουσία μορίων αποικοδόμησης και μπορούν να σχεδιαστούν κατά παραγγελία αναλόγως με τον τύπο προϊόντος που θέλουμε να ελέγξουμε. Οι βιοαισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν εσωτερικά στη συσκευασία τροφίμων ή να ενσωματωθούν με το υλικό συσκευασίας. Σκοπός τους είναι η ανίχνευση των

πιθανών μορίων όπως γλυκόζη, οργανικά οξέα (γαλακτικό και οξικό οξύ), αιθανόλη, πτητικές ενώσεις αζώτου (αμμωνία), διμεθυλαμίνη, και τριμεθυλαμίνη, βιογενείς αμίνες (ισταμίνη), διοξείδιο του άνθρακα και θεικές ενώσεις. Οι βιοαισθητήρες που αναπτύσσονται για την έξυπνη συσκευασία βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο.

Το σύστημα Food Sentinel έχει αναπτύξει έναν αισθητήρα ικανό να ανιχνεύσει ποικίλες μικροβιακές τοξίνες. Η ανίχνευση των τοξινών πραγματοποιείται με τη χρήση δείκτη που προκαλεί μη αναστρέψιμη αλλαγή χρώματος. Το Toxin Guard ενσωματώνει αντισώματα σε πλαστικές ταινίες συσκευασίας. Έτσι, όταν τα αντισώματα συναντηθούν με ένα παθογόνο στόχο, τότε η συσκευασία εμφανίζει ένα σαφές οπτικό σήμα (αλλαγή χρώματος) το οποίο γίνεται άμεσα αντιληπτό από τον καταναλωτή (Ahvenainen 2003). Η Bioett έχει αναπτύξει ένα σύστημα που έχει ως βάση έναν βιοαισθητήρα για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας. Ο βιοαισθητήρας παρακολουθεί τη συσσωρευμένη επίδραση της θερμοκρασίας στα προϊόντα με την πάροδο του χρόνου. Η Τοξίνη Guard TM αποτελεί έναν άλλο βιοαισθητήρα που βασίζεται στην ενσωμάτωση αντισωμάτων σε πλαστικές ταινίες και αναπτύχθηκε από την ToxinAlert Inc (K. L. Yam 2005).

2.2.4 Δείκτες ακεραιότητας

Οι δείκτες ακεραιότητας υποδεικνύουν πιθανή διαρροή σε μια συσκευασία μέσω της παρακολούθησης του πάνω κενού χώρου της. Επίσης, οι δείκτες αυτού του τύπου μπορούν να ταξινομηθούν ως έμμεση παρακολούθηση των προϊόντων διατροφής. Οι δείκτες ακεραιότητας δίνουν πληροφορίες σχετικά με τη χρονική στιγμή που η συσκευασία ανοίχτηκε. Λειτουργούν ενεργοποιώντας την ετικέτα εσωτερικά της συσκευασίας, η οποία ερχόμενη σε επαφή με οξυγόνο σπάει τη σφραγίδα και αλλάζει χρώμα. Η αρχή λειτουργίας των δεικτών ακεραιότητας βασίζεται κυρίως στις αλλαγές χρώματος. Οι κύριοι δείκτες που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν την ακεραιότητα μιας συσκευασίας είναι οι δείκτες αερίου. Ο εμπορικός δείκτης Ageless® από τη Mitsubishi Gas Chemical χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διαρροής αερίου. Χαρακτηριστικό ύπαρξης αερίου αποτελεί η αλλαγή χρώματος του δείκτη από ροζ σε μπλε. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά καθότι είναι αναστρέψιμος.

2.2.5 Δείκτες Αερίων

Οι δείκτες συγκέντρωσης αερίων, με τη μορφή ετικετών, τοποθετούνται μέσα στη συσκευασία με σκοπό την παρακολούθηση των αλλαγών της εσωτερικής ατμόσφαιρας. Η διάχυση των αερίων δημιουργεί εσωτερική αλλαγή της ατμόσφαιρας. Οι μικροοργανισμοί μέσω της μεταβολικής δραστηριότητας τους και λόγω των ενζυματικών ή χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται μέσα στα τρόφιμα προκαλούν τη δημιουργία αερίων. Τα αέρια αυτά, όταν διαχέονται,

προκαλούν εσωτερική αλλαγή της ατμόσφαιρας μέσα στη συσκευασία (K. L. Yam 2005). Οι δείκτες αερίου χρησιμοποιούνται επίσης για να αξιολογούν την αποτελεσματικότητα των δραστικών συστατικών της συσκευασίας (π.χ., O₂ και καθαριστές CO₂) και για την ανίχνευση της εμφάνισης διαρροών. Επειδή οι δείκτες τοποθετούνται μέσα στις συσκευασίες τροφίμων, πρέπει να πληρούνται αυστηρές προδιαγραφές κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού τους. Οι προδιαγραφές περιλαμβάνουν συσκευές που δε διαλύονται σε νερό και είναι μη τοξικές κατά την επαφή με τρόφιμα (A. Mills 2005).

Οι πιο γνωστοί δείκτες αερίων που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι αυτοί που ελέγχουν τις συγκεντρώσεις οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης, λόγω της τεράστιας σημασίας που έχουν αυτά τα δύο αέρια για τα τρόφιμα, έχει δοθεί ιδιαίτερα μεγάλη έμφαση στην έρευνα και στην ανάπτυξη των συγκεκριμένων δεικτών την τελευταία δεκαετία (C. H. Thai Vu 2014). Οι περισσότερες συσκευές βασίζονται στην οξειδοαναγωγή χρωστικών (π.χ. κυανό του μεθυλενίου, 2,6-διγλωροϊνδοφαινόλη ή N, N, NO, NO-τετραμεθυλο-π-φαινυλενοδιαμίνη), σε μια αναγωγική ένωση (π.χ., αναγωγικά σάκχαρα) και σε μια αλκαλική ένωση (π.χ. υδροξείδιο του νατρίου) (B. W. Kuswandi 2011). Ωστόσο, οι δείκτες αυτοί υστερούν λόγω της έκπλυσης χρωστικών ουσιών κατά την επαφή τους με την υγρασία, που υπάρχει στο πάνω μέρος εσωτερικά της συσκευασίας. Οι τελευταίες εξελίξεις αφορούν δείκτες οξυγόνου με τη χρήση της μεθόδου της χρωματομετρίας που ενεργοποιείται με UV ακτινοβολία (S.-K. M. Lee 2004), (S. K. Lee 2005), (Roberts 2011). Αυτοί οι δείκτες οξυγόνου έχουν το πλεονέκτημα της περιορισμένης έκπλυσης χρωστικών ουσιών λόγω τεχνολογιών ενθυλάκωσης ή επικάλυψης (A. H. Mills 2011) (C. H. Thai Vu 2013). Διαφορές εμπορικές εφαρμογές αποτελούν το Ageless Eye™ από τη Mitsubishi Gas Chemical Co., φύλαξη της διάρκειας ζωής του τροφίμου UPM, Vitalon® από την Toagosei Chemical Inc., η Tufflex GS από την Sealed Air Ltd. και η Freshilizer από την Toppan Printing Co (O'Grady 2008).

2.2.6 Παρακολούθηση θερμοκρασίας

Η παρακολούθηση θερμοκρασίας έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον στις εφοδιαστικές αλυσίδες τροφίμων μέσω της χρήσης μηχανικών θερμομέτρων (γυάλινοι βολβοί γεμισμένοι με αλκοόλη, πίεση ατμών ή υγρή επέκταση, διμεταλλικά πτερύγια ή πηνία) και ηλεκτρονικών (μεταβλητοί- αισθητήρες αντίστασης, θερμοστοιχεία, αισθητήρες ημιαγωγών, ενσωματωμένα κύκλωμα μέτρησης της θερμοκρασίας) (Taoukis 1989). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχτεί οι TTIs (Time Temperature Indicators), μικρές αυτοκόλλητες ετικέτες προσαρτημένες στις συσκευασίες ή στα εμπορευματοκιβώτια τροφίμων. Χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της θερμοκρασίας και του ιστορικού των τροφίμων που βρίσκονται μέσα στη συσκευασία.. Αυτές οι ενεργές "έξυπνες ετικέτες" είναι αρκετά φθηνές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προειδοποίηση σε περίπτωση αλλαγής θερμοκρασίας για τα τρόφιμα που βρίσκονται στη συντήρηση ή στην κατάψυξη (Taoukis 1989). Η

λειτουργία αυτών των μη αναστρέψιμων αισθητήρων βασίζεται σε μηχανικούς, χημικούς πολυμερισμούς, αλλαγές στο pH μέσω ενζυματικών ή μικροβιολογικών αλλαγών και εκφράζονται συνήθως ως μηχανική παραμόρφωση, ανάπτυξη χρώματος ή μετακίνηση χρώματος του δείκτη. Έτσι, η ΤΤΙ ετικέτα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το αν έχει σημειωθεί υπέρβαση της θερμοκρασίας κατωφλίου, τη χρονική στιγμή που παρουσιάστηκε και το συνολικό χρονικό διάστημα που σημειώθηκε η υπέρβαση (καταγραφή ιστορικού). Τέλος, οι ΤΤΙs αισθητήρες θεωρούνται επίσης ως έμμεσοι δείκτες ποιότητας τροφίμων στις έξυπνες συσκευασίες.

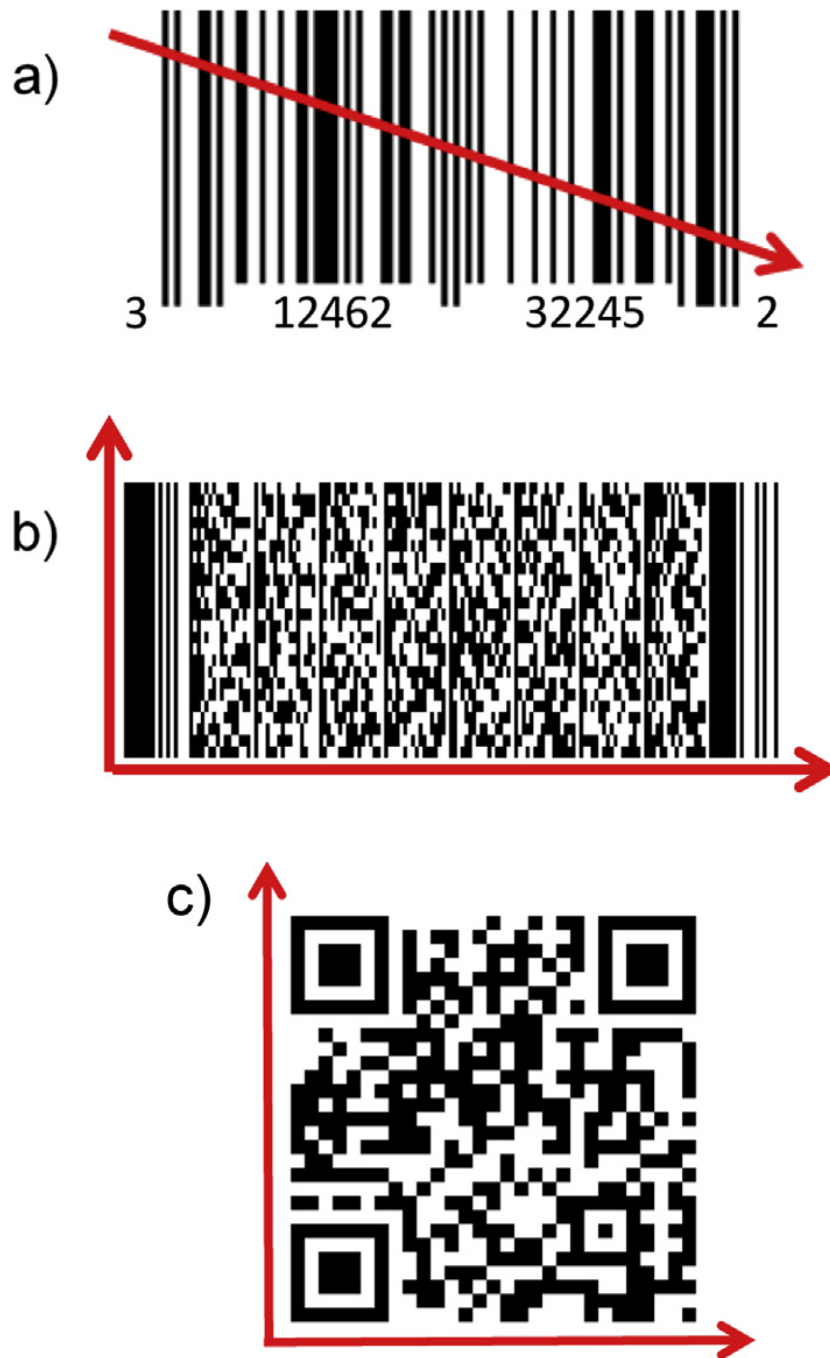
2.3 Συσκευές μεταφοράς δεδομένων

Συσκευές μεταφοράς δεδομένων, γνωστές και ως συσκευές αυτόματης αναγνώρισης, κάνουν πιο αποτελεσματική τη ροή πληροφοριών μέσα στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων προς όφελος της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων. Οι συσκευές μεταφοράς δεδομένων δεν παρέχουν καμία πληροφορία σχετικά με την κατάσταση ποιότητας των τροφίμων, αλλά προορίζονται για να παρέχουν λειτουργίες, όπως την αυτοματοποίηση, την ιχνηλασιμότητα, την αποτροπή κλοπής και την προστασία από τις απομιμήσεις (McFarlane 2003). Επιπλέον, οι φορείς δεδομένων συχνά τοποθετούνται σε τρίτου βαθμού συσκευασία (π.χ. κιβώτια μεταφοράς, παλέτες, μεγάλα πακέτα από χαρτόνι). Οι πιο σημαντικές συσκευές μεταφοράς δεδομένων στη βιομηχανία συσκευασίας τροφίμων είναι ετικέτες γραμμικού κώδικα και ετικέτες RFID (Robertson 2012).

Οι πρώτοι παγκόσμιοι κωδικοί προϊόντων (UPC barcodes) εφαρμόστηκαν στην αγορά την δεκαετία του 1970. Λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας χρήσης τους οι γραμμωτοί κώδικες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στο ευρείας κλίμακας λιανικό εμπόριο και στα καταστήματα. Επίσης διευκολύνουν τον έλεγχο των αποθεμάτων, των αναπαραγγελιών και των απογραφών (Manthou 2001). Ένας γραμμικός κώδικας είναι ένα μοτίβο από παράλληλα κενά και μπάρες διατεταγμένα, ώστε να αντιπροσωπεύουν 12 ψηφία από δεδομένα. Οι κωδικοποιημένες πληροφορίες διαβάζονται από έναν οπτικό σαρωτή γραμμωτού κώδικα, ο οποίος αποστέλλει τις πληροφορίες που συνέλεξε σε ένα σύστημα όπου αυτές αποθηκεύονται και επεξεργάζονται (J. H. Han 2013). Οι μονοδιάστατοι (1-D) γραμμικοί κώδικες αναπτύχθηκαν πρώτα. Η βασική αρχή λειτουργίας είναι η εξής: μια δέσμη φωτός πέφτει στην ετικέτα και απορροφάται ή ανακλάται με διακριτική συχνότητα από τις μαύρες εκτυπωμένες μπάρες. Ένας αισθητήρας καταγράφει τα μήκη κύματος που δημιουργούνται και με βάση τον σχετικό χρόνο που χρειάζεται για να σαρώσει τις μαύρες και άσπρες γραμμές τις μετατρέπει σε ηλεκτρονικό σήμα που αποκωδικοποιείται από ένα εξελεγμένο λογισμικό. Λόγω της γραμμής της δέσμης λέιζερ, αυτά τα είδη γραμμωτών κωδικών αναφέρονται ως 1-D Εικόνα 12a. Η χωρητικότητα αποθήκευσης των ετικετών γραμμικού κώδικα πρώτης γενιάς περιοριζόταν στον αριθμό αναγνώρισης του κατασκευαστή και τον κωδικό του αντικειμένου (Drobnik 2015). Οι γραμμικοί κώδικες συμβολολογίας μειωμένου

χώρου (RSS) αναπτύχθηκαν διαδοχικά για να κωδικοποιήσουν περισσότερα δεδομένα σε μικρότερο χώρο. Οι πιο συνηθισμένες συμβολοσειρές RSS είναι ο RSS-14 στοίβα πολλαπλών κατευθύνσεων γραμμικού κώδικα και ο επεκτάσιμος γραμμικός κώδικας τύπου RSS μπορεί να κωδικοποιήσει μέχρι και 74 αλφαριθμητικούς χαρακτήρες (K. L. Yam 2009).

Οι δισδιάστατοι γραμμικοί κώδικες (2-D) (Εικόνα 12b) επιτρέπουν την αποθήκευση μεγαλύτερης ποσότητας πληροφοριών σε σύγκριση με τους 1-D barcodes, συνδυάζοντας κουκκίδες και διαστήματα διατεταγμένα σε μια διάταξη ή μια μήτρα αντί κενών και γραμμών. Για παράδειγμα, ο γραμμικός κώδικας PDF 417 2-D μεταφέρει έως και 1,1 kB δεδομένων σε ένα μόνο κωδικό Εικόνα 12. Η πιο εξελιγμένη και γρηγορότερη ανταπόκριση του (QR) 2-D γραμμικού κώδικα Εικόνα 12 επιτρέπει την αποθήκευση ακόμα μεγαλύτερης ποσότητας δεδομένων, χρησιμοποιώντας τέσσερις διαφορετικές λειτουργίες κωδικοποίησης: αριθμητικές, αλφαριθμητικές, byte / δυαδικές, και kanji (λογογραφικούς Κινέζικους χαρακτήρες). Η ανάγνωση των συμβόλων γραμμωτού κωδικού 2-D απαιτεί μια συσκευή σάρωσης ικανή να σαρώνει σε δύο διαστάσεις, κάθετα και οριζόντια (Kato 2010) Εικόνα 12c.



Εικόνα 12. Παραδείγματα γραμμικών κωδικών

Πηγή: (Masoud Ghaani 2016).

α) 1-D γραμμικό κώδικα β) έναν γραμμωτό κώδικα PDF 417 2-D. και γ) ένα QR 2-Dbarcode (Masoud Ghaani 2016).

2.4 Εμπορικές εφαρμογές στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων

Η μεταφορά ευπαθών προϊόντων και κυρίως τροφίμων αποτελεί πολύ σημαντικό τομέα της εφοδιαστικής. Οικονομικές και ποιοτικές απώλειες παρατηρούνται πολύ συχνά κατά τη διάρκεια της μεταφοράς αυτών των προϊόντων. Διαφορετικοί τύποι τροφίμων χρειάζονται διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη μεταφορά τους. Έτσι χρησιμοποιώντας ετικέτες RFID με αισθητήρες, πολλοί περιβαλλοντικοί παράμετροι μπορούν να παρακολουθηθούν και κάποιες αποφάσεις να προσαρμοστούν ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Οι (L. K. Wang 2010) συνδύασαν την τεχνολογία RFID με ένα δίκτυο αισθητήρων, όπως GPS, θερμοκρασίας, υγρασίας και ανίχνευση δονήσεων στα εμπορευματοκιβώτια.

Σε περίπτωση περιβαλλοντικών παραμέτρων που υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας, η λειτουργία προειδοποίησης αποστέλλει ένα σήμα συναγερμού στους χρήστες και παρέχει προτάσεις για να αντιμετωπίσει η κατάσταση. Οι (Lang 2011) ανέπτυξαν ένα "ευφύες εμπορευματοκιβώτιο " με RFID και ένα δίκτυο αισθητήρων για διαχείριση των Logistics διαδικασιών των ευπαθών τροφίμων, όπως τα φρούτα και τα λαχανικά. Το αναπτυγμένο ευφύες εμπορευματοκιβώτιο έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης από μακριά διαφόρων μεταφορικών παραμέτρων, όπως της θερμοκρασία και της υγρασίας.

Η εταιρία Dole Food Company της Καλιφόρνια χρησιμοποιεί τεχνολογία RFID σε συνδυασμό με GPS για την παρακολούθηση των προϊόντων της από τη συγκομιδή στο χωράφι μέχρι την τελική αποστολή (DeJarlais 2014). Η Dole Fresh Fruit αποτελεί μια θυγατρική της εταιρίας Dole Food Company, η οποία επίσης χρησιμοποιεί ετικέτες RFID προσαρτημένες σε πλαστικές παλέτες. Όταν τα φρούτα και τα λαχανικά συλλέγονται από τις καλλιέργειες, τοποθετούνται σε παλέτες οι οποίες μέσω του RFID παρακολουθούνται σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως εγκαταστάσεις ψύξης, σταθμός παραγωγής, αποθήκη και μεταφορά (Rice 2010). Επίσης μέσω της τεχνολογίας RFID η Dole Packaged Foods έχει τη δυνατότητα να αποσύρει οποιαδήποτε προϊόν παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί “ Η τομάτα με βασιλικό και ψημένο σκόρδο”, στο οποίο υπήρχε η υποψία ότι περιέχει αλλεργιογόνα γάλακτος και θα μπορούσε να αποτελέσει σοβαρή απειλή για τους ανθρώπους που έχουν ευαισθησία με το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα (Ordman 2014). Η αλυσίδα Marks & Spencer, γνωστός λιανοπωλητής στην Αγγλία, χρησιμοποιεί επαναχρησιμοποιήσιμες ετικέτες RFID ενσωματωμένες σε δίσκους τροφίμων για παρακολούθηση των νωπών τροφίμων στην αλυσίδα εφοδιασμού της (Violino 2013). Οι προμηθευτές γράφουν τις πληροφορίες σχετικά με το προϊόν στις ετικέτες και οι πληροφορίες αυτές διαβάζονται στον χώρο παραλαβής του κέντρου διανομής της εταιρίας. Οι άδειοι δίσκοι αποστέλλονται πίσω στον προμηθευτή για επαναφόρτωση πληροφοριών και κωδικοποίηση.

Μεγάλες εταιρίες όπως η Bodega Norton Winery της Αργεντινής, η Paramount farms (μια από τις μεγαλύτερες εταιρίας σε εκμετάλλευση και προμήθεια φιστικιού στις Η.Π.Α.), το Metro Group της Γερμανίας και η Trenstar του Ηνωμένου Βασιλείου

χρησιμοποιούν επίσης την τεχνολογία RFID για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό των προϊόντων τους. Οι εταιρείες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του RFID ωφελούνται λόγω της μείωσης του εργατικού δυναμικού, πρόληψη κλοπής, παρακολούθηση των προϊόντων τους στην αλυσίδα εφοδιασμού, παρακολούθηση του περιβάλλοντος από την αποθήκευση έως την αποστολή. Τέλος, οι πληροφορίες ιχνηλασιμότητας που παρέχουν βοηθούν στον να μπορούν οι εταιρείες έγκαιρα να κάνουν ανάκληση των προϊόντων τους σε περίπτωση εμφάνισης κινδύνου (Leena Kumari 2015).

3. Κοντινό πεδίο επικοινωνίας NFC

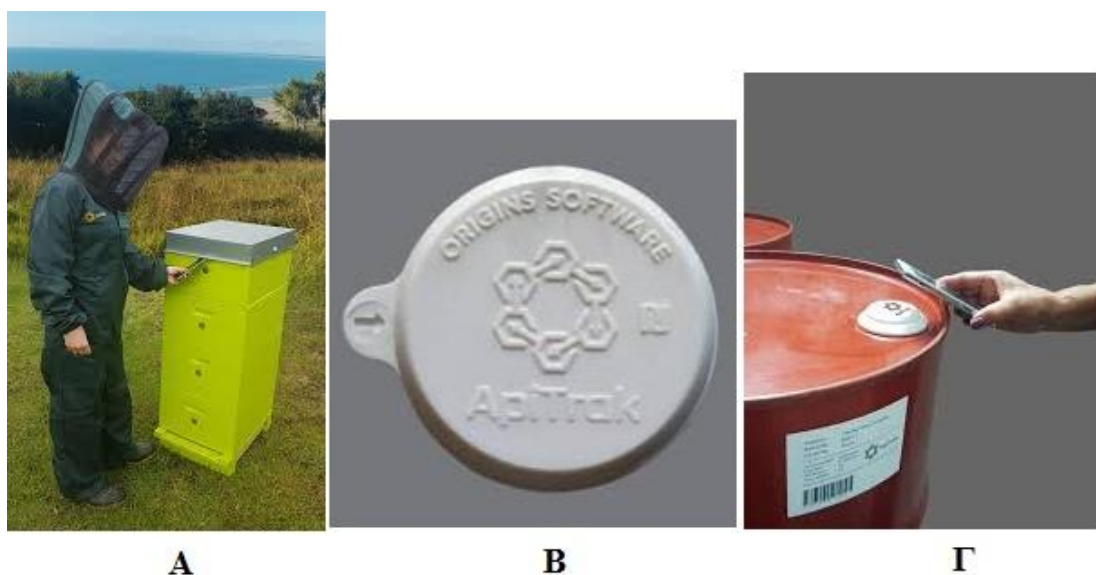
3.1 Εισαγωγή

Η επικοινωνία NFC ή Near Field Communication αποτελεί μια επέκταση ή υποκατηγορία της τεχνολογίας RFID. Η τεχνολογία NFC (Near Field Communication) επιτρέπει την απλή και ασφαλή λειτουργία αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών. Συμπληρώνει πολλές ασύρματες τεχνολογίες σε επίπεδο καταναλωτών (στα υπάρχοντα πρότυπα για τις τεχνολογίες επαφής χωρίς κάρτα ISO / IEC 14443 A & B και JIS-X 6319-4). Το NFC επιτρέπει στις συσκευές να μοιράζονται πληροφορίες σε λιγότερο από 4cm απόσταση (Forum 2014). Λειτουργεί στα 13,56 MHz και επί του παρόντος υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων 106, 212, 424 ή 848 Kbit / s (L. P. Mainetti 2013). Αυτού του τύπου οι ετικέτες γίνονται πολύ μικρές, ώστε να μπορούν να χωρέσουν μέσα σε προϊόντα και να εξυπηρετήσουν διάφορες ανάγκες, όπως ασφάλεια, αντικλεπτική προστασία και ατομική αναγνώριση. Το NFC αποτελεί τη νεότερη έκδοση RFID που συνήθως χρησιμοποιείται από πολύ μικρή απόσταση για την πραγματοποίηση πληρωμών και την ανάκτηση πληροφοριών (L. P. Mainetti 2012). Το πλεονέκτημα της NFC τεχνολογίας σε σχέση με τους γραμμικούς κώδικες και τους QR κώδικες είναι ότι δεν απαιτεί δέσμη λέιζερ, δηλαδή μια σταθερή διαδρομή για να μετακινηθεί η πληροφορία μεταξύ δύο συσκευών. Ο συνδυασμός των τεχνολογιών RFID και NFC επιτρέπει στον τελικό καταναλωτή να γνωρίζει το πλήρες ιστορικό του κάθε προϊόντος που ενδιαφέρεται να αγοράσει (L. M. Mainetti 2013). Η τεχνολογία NFC συνεργάζεται με μια εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα και παρέχει σύνδεση με τα εργοστάσια και τις πληροφορίες ιχνηλασιμότητας (L. P. Mainetti 2013). Οι (Y.-Y. W.-J.-K. Chen 2014) προτείνουν ένα σενάριο στο εγγύς μέλλον, όπου ο καταναλωτής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει το έξυπνο τηλέφωνο για να διαβάσει παθητικά τις πληροφορίες και τις βασικές παραμέτρους για το κάθε τρόφιμο που επιθυμεί να αγοράσει.

3.2 Παραδείγματα εφαρμογών της τεχνολογίας NFC.

Χημικοί του MIT έχουν αναπτύξει μια ετικέτα NFC που βασίζεται σε χημικούς ανιχνευτές (chemiresistors) που είναι σε θέση να ανιχνεύουν συγκεκριμένα αέρια. Για να φτιάξουν αυτήν την ετικέτα, διέκοψαν το ηλεκτρονικό κύκλωμα κάνοντας μια τρύπα σε αυτό και μετά επανασυνέδεσαν το κύκλωμα με ένα συνδετήρα από νανοσωλήνες άνθρακα. Όταν το στοχευμένο αέριο είναι παρόν η αγωγιμότητα των νανοσωλήνων αλλάζει. Αυτή η αλλαγή αγωγιμότητας διαβάζεται μέσω της ετικέτας NFC με ένα smartphone, το οποίο παρέχει την πληροφορία παρουσίας του αερίου (Trafton 2014)

Το ApiTrak είναι μια αρθρωτή βασισμένη σε Cloud πλατφόρμα, που παρέχει πλήρη προβολή της ακεραιότητας της αλυσίδας εφοδιασμού μελιού από τις κερήθρες συλλογής του μέχρι τον τελικό καταναλωτή. Επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν το μέλι μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού, χρησιμοποιώντας ετικέτες NFC RFID που είναι προσαρτημένες σε κυψέλες, βαρέλια και βάζα. Το ApiTrak χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό εφαρμογών σε κινητά τηλέφωνα και σε PC-based πλατφόρμες για την απλούστευση της διαχείρισης δεδομένων. Κάθε ετικέτα καταχωρείται στη βάση δεδομένων και περιέχει πληροφορίες σχετικά με το προϊόν που προσδιορίζει. Καθώς το προϊόν περνάει κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού, επεξεργάζονται τα δεδομένα του προϊόντος, ενοποιούνται και συνδέονται με τη νέα παρτίδα που τα περιλαμβάνει. Έτσι το ApiTrak παρέχει μια ολοκληρωμένη χρήση ανίχνευσης του μελιού παρέχοντας υψηλά επίπεδα ασφαλείας όσον αφορά τη διαστρέβλωση δεδομένων του μελιού και την απόσυρση του από την αγορά (ApiTrack 2018). Εικόνα 13.



Εικόνα 13. ApiTrak είναι μια Cloud πλατφόρμα που χρησιμοποιεί ετικέτες

A) NFC RFID που είναι προσαρτημένες σε B) κυψέλες και Γ) βαρέλια και βάζα (ApiTrack 2018).

4. Τεχνολογία αναγνώρισης οπτικών χαρακτήρων (OCR)

4.1 Εισαγωγή

Η αναγνώριση οπτικών χαρακτήρων (OCR) αποτελεί μια διαδικασία ταξινόμησης των οπτικών δειγμάτων που περιέχονται σε μια ψηφιακή εικόνα, η οποία αντιστοιχεί σε αλφαριθμητική ή άλλους χαρακτήρες. Η αναγνώριση των χαρακτήρων επιτυγχάνεται μέσω σημαντικών βημάτων κατακερματισμού, εξαγωγής και ταξινόμησης χαρακτηριστικών. Η ανάγκη δημιουργίας μηχανής που θα αναγνωρίζει και θα διαβάζει έγγραφα που περιλαμβάνουν διαφορετικές μορφές κειμένου δημιούργησε την τεχνολογία οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR). Η τεχνολογία OCR μετατρέπει διάφορους τύπους εγγράφων, όπως έγγραφα σαρωμένου χαρτιού, αρχεία pdf ή εικόνες που έχουν ληφθεί από μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή σε επεξεργάσιμα και αναζητήσιμα δεδομένα. Η τεχνολογία OCR έχει καταστεί ως μια από τις πιο επιτυχημένες τεχνολογίες, καθώς υπάρχουν πολλές εφαρμογές της στα πεδία της αναγνώρισης και της τεχνητής νοημοσύνης. Η OCR ανήκει στην οικογένεια των τεχνολογιών που μπορούν να αναγνωρίζουν αυτόματα αντικείμενα, να συλλέγει δεδομένα για αυτά και να εισάγει δεδομένα απευθείας στα συστήματα υπολογιστών χωρίς την ανθρώπινη συμμετοχή. Τα συλλεγόμενα δεδομένα καταγράφονται μέσω ανάλυσης εικόνων, ήχων ή βίντεο. Για την καταγραφή ενός δεδομένου απαραίτητη είναι η χρήση ενός μετατροπέα της πληροφορίας σε ψηφιακό αρχείο. Στη συνέχεια το αρχείο αποθηκεύεται και αργότερα μπορεί να αναλυθεί από τον υπολογιστή.

Η μοναδικότητά της τεχνολογίας OCR έγκειται στο γεγονός ότι δεν απαιτεί έλεγχο της διαδικασίας που παράγει πληροφορίες. Η OCR ασχολείται με το πρόβλημα της οπτικής αναγνώρισης επεξεργασμένων χαρακτήρων. Η οπτική αναγνώριση πραγματοποιείται εκτός σύνδεσης, μετά την ολοκλήρωση της σύνταξης ή της εκτύπωσης των χαρακτήρων, ενώ η ηλεκτρονική αναγνώριση επιτυγχάνεται όταν ο υπολογιστής αναγνωρίσει τους χαρακτήρες, όπως αυτοί έχουν σχεδιαστεί. Τόσο οι χειρόγραφοι όσο και οι χαρακτήρες μηχανής μπορούν να αναγνωρίζονται, αλλά η απόδοση της αναγνώρισης εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα των χαρακτήρων εισόδου. Όσο πιο περιορισμένη είναι η γκάμα των εισαγωγών πληροφορίας, τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος OCR.

4.2 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας OCR στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων και στην παραγωγή

Τα συστήματα μηχανικής όρασης που είναι εξοπλισμένα με εργαλεία OCR παρέχουν τέσσερεις βασικές λειτουργίες στις βιομηχανίες τροφίμων:

- Παρουσία: Έλεγχος της περιγραφής του προϊόντος και ανίχνευση του κειμένου που έχει τυπωθεί στο προϊόν.
- Παρακολούθηση και εντοπισμός: Εντοπισμός των συστατικών και της συσκευασίας των προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής.

- Αναγνώριση: Επιβεβαίωση ότι η ετικέτα αντιστοιχεί στο προϊόν μέσω του γραμμικού κώδικα.
- Επαλήθευση: Επιβεβαίωση ότι εκτυπώνονται οι σωστοί χαρακτήρες καθαρά για την ασφάλεια του πελάτη και τη διαχείριση του σήματος.

Τα οφέλη της τεχνολογίας OCR για την εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων έγκεινται στα εξής χαρακτηριστικά:

- Επιταχυνόμενοι χρόνοι απόκρισης
Παράδειγμα: Σε περίπτωση ύπαρξης προβλημάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα, το OCR δίνει στους κατασκευαστές τις απαιτούμενες πληροφορίες για να εστιάσουν γρήγορα στο πρόβλημα και να λάβουν τα κατάλληλα διορθωτικά μέτρα.
- Μειωμένη ευθύνη
Παράδειγμα: Εσφαλμένα σημειωμένα πακέτα τα οποία περιλαμβάνουν αλλεργιογόνα ή μολυσμένα τρόφιμα και ποτά μπορεί να οδηγήσουν σε νομικές ενέργειες και σε κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Η OCR τεκμηρίωση μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό της πηγής του προβλήματος από τον προμηθευτή.
- Βελτιωμένη παραγωγικότητα
Παράδειγμα: Η αυτοματοποίηση της OCR αυξάνει την αποτελεσματικότητα, με την εξάλειψη της ανθρώπινης παρέμβασης, σε περισσότερες περιοχές, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την ακρίβεια και την αξιοπιστία.
- Απλούστευση της παραγωγικής διαδικασίας
Παράδειγμα: Οι κώδικες OCR είναι επίσης αναγνώσιμοι από τον άνθρωπο. Επίσης, αναγνωρίζουν άψογα τις σημάνσεις 1-D γραμμωτών κωδικών και τους κωδικούς σε πίνακες δεδομένων 2-D.
- Αυξημένη ικανοποίηση του πελάτη και εξασφάλιση συμμόρφωσης
Παράδειγμα: Νέοι κανονισμοί στις ανεπτυγμένες αγορές απαιτούν ή σύντομα θα απαιτήσουν 100% επιθεώρηση, παρακολούθηση και ανίχνευση τροφίμων και ποτών, παρόμοια με τις απαιτήσεις των φαρμακευτικών προϊόντων. Έτσι, το OCR θα αποτελέσει μια ιδανική λύση για κάθε εταιρία (Expert 2015).

4.3 Εφαρμογές της τεχνολογίας OCR

Οι αλυσίδες τροφίμων περιλαμβάνουν όλο και περισσότερα τοπικά και περιφερειακά προϊόντα στα ράφια τους. Το 2015, ο Hengstenberg, ένας γνωστός παραγωγός αγγουριών, λάχανου, ξιδιού και μουστάρδας, εφάρμοσε την τεχνολογία OCR για την ιχνηλασιμότητα και παρακολούθηση των εισερχόμενων αγαθών μέσω της ανάγνωσης των κωδικών με βάση την εικόνα. Η εταιρία Esslinger Hengstenberg αυτοματοποίησε τη διαδικασία εισαγωγής εμπορευμάτων για τα αγγούρια, εγκαθιστώντας αναγνώστες γραμμικού κώδικα με βάση την εικόνα για την παρακολούθηση μεμονωμένων

παραδόσεων. Οι έμποροι επιθεωρούν τα προϊόντα τους κυρίως για τη διασφάλιση της ποιότητας, ενώ οι καταναλωτές (ιδίως οι καταναλωτές του Hengstenberg) απαιτούν επαληθεύσιμη απόδειξη ότι ένα "γερμανικό αγγούρι" καλλιεργείται και παράγεται στη Γερμανία. Για αυτούς τους λόγους, η Hengstenberg εγκατέστησε αρκετούς αναγνώστες γραμμικού κώδικα στη μονάδα πλύσης των λαχανικών. Οι αναγνώστες αυτοί μπορούν να ανιχνεύσουν με ακρίβεια την προέλευση των ταξινομημένων αγγουριών. Τα αγγούρια προχωρούν στο επόμενο βήμα επεξεργασίας, αφού επαληθευτούν με επιτυχία τα δεδομένα του παραγωγού και του προϊόντος. Οι αναγνώστες γραμμωτών κωδικών διαβάζουν τον μονοδιάστατο (1-D) κώδικα της ετικέτας και στέλνουν τις πληροφορίες σε μια βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται. Με αυτή τη διαδικασία η Hengstenberg ικανοποιεί απόλυτα τις απαιτήσεις των πελατών της.

Τα παραδοθέντα αγγούρια που έχουν πρόσφατα συγκομιστεί από τα χωράφια της περιοχής έρχονται για ταξινόμηση μέσω ιμάντων μεταφοράς και φυσητήρων. Αφού ταξινομηθούν κατά μέγεθος, οι επιμελείς βοηθοί εργάζονται για να τα ταξινομήσουν αυτή τη φορά με κριτήριο την κατάσταση και τη μορφή τους και να τα μεταφέρουν μέσω διοχετεύσεων στα αντίστοιχα δοχεία. Τα αγγούρια ζυγίζονται και τα δεδομένα μεταφέρονται στον ελεγκτή. Ο ελεγκτής δημιουργεί μια ετικέτα (που περιέχει όλα τα ειδικά δεδομένα για το προϊόν, όπως η προέλευση, η ημερομηνία, η ποσότητα ή η κατηγορία - για παράδειγμα τα αγγούρια τύπου 6/9) που επισυνάπτεται στο δοχείο από ένα διανομέα ετικετών. Μετά τη διαλογή, τα περονοφόρα οχήματα μεταφέρουν τα δοχεία αγγουριού στο πλυντήριο, όπου καθαρίζονται και επεξεργάζονται. Εδώ, τέσσερις συσκευές ανάγνωσης γραμμωτών κωδικών εγκαθίστανται πάνω σε σταθερές στήλες που εδράζονται στο πάτωμα, προστατεύοντας έτσι τους ευαίσθητους αναγνώστες από την ενδεχόμενη επαφή με τα περονοφόρα

Η ενεργοποίηση προκαλείται όταν ένα φορτωμένο περονοφόρο όχημα προσεγγίζει τις δεξαμενές. Ο αναγνώστης γραμμωτού κώδικα με φωτισμό κόκκινου φωτός και υγρό φακό 10,3 mm τίθεται σε συνεχή λειτουργία από το σήμα του ενεργοποιητή (συνεχής λειτουργία) Εικόνα 14. Διαβάζει την ετικέτα στην πλευρά του δοχείου και τα δεδομένα διαβιβάζονται στον ελεγκτή εγκατάστασης και αναλύονται. Μετά από μια θετική αντιστοίχιση με τη βάση δεδομένων, ο οδηγός ξεφορτώνει τα αγγούρια μέσα στη μπανιέρα. Αυτή η διαδικασία δοκιμής διαρκεί μόνο λίγα δευτερόλεπτα και το αποτέλεσμα είναι τεκμηριωμένο, αποτρέποντας ενδεχόμενη ανάμειξη παρτίδων. Με τα δεδομένα που έχουν ελεγχθεί και αποθηκευτεί, η Hengstenberg είναι πλέον σε θέση να παράσχει αποδείξεις σχετικά με ένα προϊόν και τον παραγωγό του (Cognex 2015).

Το CJ Food System στην Κορέα αποτελεί μια εταιρία που επικεντρώνεται επικεντρώνεται πρωτίστως στη διανομή συσκευασμένων τροφίμων για επιχειρήσεις, ειδικεύεται στις συμβάσεις υπηρεσιών τροφίμων και προμηθεύει με πρώτες ύλες πολλές βιομηχανίες μεταποίησης τροφίμων. Θεωρείται ηγέτης στον χώρο της παροχής υπηρεσιών τροφίμων αναλαμβάνοντας μεγάλα έργα σε σχολεία, κρατικές υπηρεσίες, επιχειρήσεις και νοσοκομεία. Το εργοστάσιο Incheon της CJ Food System

παράγει ακατέργαστα, ημικατεργασμένα είδη διατροφής, καθώς και τελικά προϊόντα διατροφής. Η εταιρία έπρεπε να εξασφαλίσει την αξιόπιστη παρακολούθηση των προϊόντων της κατά τη διάρκεια μιας υψηλής ταχύτητας παραγωγής εφαρμόζοντας την τεχνολογία όρασης.

Η μαζική παραγωγή και τα υψηλά πρότυπα υγιεινής των τροφίμων είναι βασικά στοιχεία των δραστηριοτήτων της CJ Food System. Η αξιόπιστη παρακολούθηση προϊόντων και η διαχείριση των δεδομένων στη διαδικασία παραγωγής και διανομής αποτελούν κρίσιμης σημασίας διαδικασίες για την παραγωγή των προϊόντων της εταιρίας. Στην περίπτωση των μονάδων παραγωγής ζωοτροφών, οι συνθήκες εργασίας του μύλου είναι δύσκολες λόγω ακραίων εποχιακών θερμοκρασιών και υψηλών επιπέδων σκόνης και θορύβου. Στη συσκευασία της ζωοτροφής εκτυπώνεται ένας κωδικός τεσσάρων χαρακτήρων. Τα ρομπότ στοιβάζουν τους σάκους ζωοτροφής, μόλις επιθεωρηθούν και επαληθευτούν οι κωδικοί. Σε αυτό το είδος ρύθμισης, η αξιόπιστη ανάγνωση χαρακτήρα είναι απαραίτητη για τη διαδικασία διαχείρισης δεδομένων. Τα σωστά προϊόντα πρέπει να στοιβάζονται για τους σωστούς προορισμούς διανομής τους. Η οπτική αναγνώριση χαρακτήρων σε αυτό το είδος περιβάλλοντος ανάγνωσης απαιτεί ανθεκτική βιομηχανική λύση. Η λύση των οπτικών αισθητήρων αναγνώρισης εξασφαλίζει την ανάγνωση κώδικα και την επαλήθευση των προϊόντων – ζωοτροφών . Εικόνα 15. Οι κάμερες καθοδηγούν τα ρομπότ εξασφαλίζοντας ότι τα σωστά προϊόντα στοιβάζονται για διανομή. Το σύστημα όρασης In-Sight είναι πλήρως ανθεκτικό σε δύσκολες συνθήκες και πληροί προδιαγραφές IP-67. Η αναγνώριση χαρακτήρων και η επακόλουθη ανάκτηση δεδομένων συμβάλλουν στην ομαλή διαχείριση πληροφοριών που εξασφαλίζουν αξιόπιστη παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας (CJFoodSystem 2016).



Εικόνα 14. Παράδοση πλαστικού δοχείου με αγγούρια στο σημείο αναγνώρισης από αναγνώστες γραμμικού κώδικα με βάση την εικόνα

Πηγή: (CJFoodSystem 2016)



Εικόνα 15. Σύστημα οπτικού αισθητήρα για την εξασφάλιση της ανάγνωσης κώδικα και την επαλήθευση των προϊόντων ζωοτροφών τους

5. Προσδιορισμός γνησιότητας των τροφίμων

Ο προσδιορισμός της γνησιότητας των τροφίμων είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τον ποιοτικό έλεγχο και την ασφάλεια των τροφίμων. Ο έλεγχος αυθεντικότητας αποτελεί κριτήριο ποιότητας για τα τρόφιμα και τα συστατικά τους. Η νομοθετική προστασία των τοπικών τροφίμων για τον έλεγχο της αυθεντικότητάς τους δημιουργεί μια πιεστική ανάγκη για ακριβείς τυποποιημένες τεχνικές ελέγχου. Ο έλεγχος αυθεντικότητας τροφίμων εξυπηρετεί την ανάγκη των καταναλωτών για πιστοποίηση αυθεντικότητας. Οι φορείς που αναλαμβάνουν την εκτέλεση αυτού του έργου αποτελούν οι βιομηχανίες τροφίμων που επιδιώκουν να διαβεβαιώσουν ότι τα προϊόντα διατροφής τους πληρούν όλες τις προδιαγραφές ασφάλειας και συμφωνούν με τις προδιαγραφές που αναγράφονται στην ετικέτα τους. Οι ρυθμιστικές αρχές ζητούν έναν εκτεταμένο και ενημερωμένο κατάλογο των αναλυτικών μεθόδων για την επιβεβαίωση της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής και την υποστήριξη της επιβολής του νόμου (Georgios P.Danezis 2016). Η ανιχνευσιμότητα των τροφίμων κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας σχετίζεται άμεσα με τη γνησιότητα των τροφίμων (Primrose 2010). Ένα αυθεντικό τρόφιμο είναι αυτό που συμμορφώνεται με την περιγραφή του παραγωγού ή του μεταποιητή. Με τον όρο συμμόρφωση εννοούμε την αντιστοιχία του τροφίμου με την περιγραφή που δίνει ο μεταποιητής ή ο παραγωγός σε σχέση με την προέλευση των συστατικών του τροφίμου, το ιστορικό της μεταποίησης, τη γεωγραφική περιοχή προέλευσης του τροφίμου και τις ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν.

Η μερική ή πλήρης αντικατάσταση με τρόφιμα ή συστατικά κατώτερης ποιότητας από αυτά που αναγράφονται θεωρείται ένα επαναλαμβανόμενο πρόβλημα. Αυτού του είδους το πρόβλημα, αν και δεν ενέχει σοβαρούς κινδύνους για την υγεία των καταναλωτών, εξακολουθεί να θεωρείται οικονομική απάτη (Sprink 2011). Έτσι, εκτός από την εξαπάτηση των καταναλωτών και τον αθέμιτο ανταγωνισμό για τους παραγωγούς, η απάτη αυτή προκαλεί σύγχυση στην αγορά, απογοήτευση του καταναλωτικού κοινού για γνήσια προϊόντα και διακυμάνσεις στις τιμές. Για αυτούς τους λόγους, οι παραγωγοί τροφίμων και οι υπηρεσίες ελέγχου χρειάζονται νέες αναλυτικές μεθόδους ικανές να εγγυηθούν την αυθεντικότητα του κάθε τροφίμου σε όλα τα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτό προϋποθέτει την αύξηση της συνειδητοποίησης των καταναλωτών σχετικά με τα τρόφιμα, την ασφάλεια, τη γεωγραφική προέλευση και τις μεθόδους καλλιέργειας και μεταποίησης (Skuras 2002). Τα εργαλεία για τον έλεγχο της ταυτότητας των τροφίμων ποικίλουν, όπως η ιστοπική ανάλυση, χρωματογραφία, ενζυματική ανάλυση, φασματοσκοπία, ανοσολογικές ή χημειομετρικές μεθόδους, καθώς και ανάλυση βάσεων του DNA (Sun 2008).

5.1 Ανάλυση DNA

Η ανάλυση DNA έχει ουσιώδη σημασία για τη γενετική αυθεντικότητα, διότι για οποιαδήποτε δήλωση σχετικά με την παρουσία υλικών / ειδών σε τρόφιμα είναι απαραίτητη η χρήση μιας γενετικής έρευνας (Madesis 2014) (Primrose 2010). Αρκετά συχνά τα επεξεργασμένα τρόφιμα δεν έχουν μορφολογικά χαρακτηριστικά που να προσδίδουν τον ταξινομικό προσδιορισμό τους και την προέλευση τους (Teletchea 2005). Η ανάλυση DNA επιτρέπει τον προσδιορισμό των ειδών και ποικιλιών που υπάρχουν σε ένα τρόφιμο και το ποσοστό νοθείας με άλλα υποδεέστερα είδη ή ποικιλίες (Woolfe 2004).

Οι τεχνικές με βάση το DNA έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές, επειδή επιτρέπουν την ταξινόμηση ευρέος φάσματος εμπορικών δειγμάτων κρεάτων, ψαριών και φυτών, που στερούνται διαγνωστικών μορφολογικών χαρακτηριστικών (Rasmussen 2008). Ωστόσο, οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη γενετική ανάλυση των φυτικών προϊόντων συχνά υπερβαίνουν τον χαρακτηρισμό του είδους και απαιτούν αναφορά σε συγκεκριμένες ποικιλίες ή πληθυσμούς της καλλιέργειας (Korir 2013). Ως εκ τούτου, η σωστή γενετική αναγνώριση της φυτικής ποικιλίας στα τρόφιμα απαιτεί συχνά μια βαθύτερη γενετική έρευνα. Στην αγορά η τιμή ενός βρώσιμου φυτικού προϊόντος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποικιλία της καλλιέργειας του (Korir 2013).

Παράνομη νοθεία θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την αντικατάσταση της δηλωθείσας ποικιλίας με μια άλλη χαμηλότερης εμπορικής αξίας, χωρίς να αλλάζουν οι οργανοληπτικές ιδιότητες του προϊόντος. Αυτά τα υποκατάστατα είναι συχνά βιοχημικά, παρόμοια με τα υλικά που προτίθενται να αντικαταστήσουν, καθιστώντας τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση τους πολύ δύσκολη. Η γενετική ανιχνευσιμότητα στον τομέα των γεωργικών προϊόντων διατροφής είναι επομένως απαραίτητη για να μπορούμε να διακρίνουμε τις παραδοσιακές ποικιλίες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και υψηλή ποιότητα. Έτσι, για να προστατέψει αυτά τα προϊόντα η ΕΕ (Ευρωπαϊκή Ένωση) δημιούργησε ετικέτες, όπως η Προστατευόμενη Ονομασία Προέλευσης (ΠΟΠ) και η Προστατευόμενη Γεωγραφική Ένδειξη (ΠΓΕ). Οι καταναλωτές συσχετίζουν αυτές τις ετικέτες με την εγγύηση ποιότητας, μοναδικότητας και προστασίας των παραγωγών (Bonnet 2001).

5.2 DNA Barcoding

Για πολλές εφαρμογές οι εκκινητές PCR (Αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης) σχεδιάζονται συνήθως για να ενισχύσουν μια ενιαία και γνωστή αλληλουχία στόχου και θεωρούνται ειδικοί για το συγκεκριμένο είδος. Αυτή η ιδιαιτερότητα είναι απαραίτητη για την αποφυγή πιθανών επιδράσεων του μολυσματικού DNA, όπως αυτό των μικροοργανισμών και των ανθρώπινων χειριστών. Συστήματα τυποποίησης DNA που δεν είναι ειδικών ειδών (RAPD και AFLP) έχουν το μειονέκτημα ότι ενισχύουν αλληλουχίες από πολλαπλές πηγές με μολυσμένα ή μεικτά δείγματα. Η

PCR μπορεί να γίνει επιλεκτική για μία μόνο ποικιλία ή μετάλλαξη ή αντιστρόφως είναι δυνατόν να ενισχυθούν επαρκώς οι περιοχές που διατηρούνται μεταξύ των ειδών. Οι γρήγορες εξελίξεις της γονιδιοματικής επιτρέπουν την ενίσχυση περιοχών που είναι κοινές σε διαφορετικές ταξινομικές ομάδες, αλλά επαρκώς πολυμορφικές για τον εντοπισμό ή τη διάκριση του διαφορετικού είδους του DNA (DNA barcoding). Η κωδικοποίηση κώδικα DNA είναι ουσιαστικά μια μέθοδος ταξινομικής ταυτοποίησης βασισμένη σε ενισχυμένες αλληλουχίες προκαθορισμένων γονιδιακών περιοχών (Kress 2005). Με βάση τη σύγκριση των ακολουθιών που είναι συνήθως διαθέσιμες στην επιστημονική κοινότητα, η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την παροχή ταξινομικών στοιχείων πληροφορίας μέχρι το επίπεδο των ειδών. Η κωδικοποίηση των ζωικών ειδών βασίζεται συχνά στην ενίσχυση του γονιδίου κυτοχρώματος της οξειδάσης. Όσον αφορά την ιχνηλασιμότητα, αυτή η τεχνική προσφέρει πλεονεκτήματα για την ανάλυση των πρώτων υλών για τις ζωοτροφές και την αλιεία, όπου η επαναταξινόμηση των εμπορευμάτων και η μείξη των διαφορετικών ειδών-προϊόντων συγκαταλέγονται στις συχνότερες απάτες (Ogden 2008), (Wong 2008).

Για τα φυτικά είδη δεν υπάρχει μια γενική συναίνεση σχετικά με τις ακολουθίες που πρέπει να χρησιμοποιούνται, αλλά ακολουθίες όπως η *rbcL*, *matK*, το διαχωριστικό *trnHpsbA*, το δεύτερο εσωτερικό μεταγραφικό διαχωριστικό (ITS2) του πυρηνικού ριβοσωμικού DNA και ο συνδυασμός αυτών συνήθως παρέχουν τη δυνατότητα μοναδικής αναγνώρισης ενός φυτού (S. L. Chen 2010), (Hollingsworth 2011). Υπάρχουν περιστάσεις, όπως στην περίπτωση τροφικής δηλητηρίασης, όπου είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, την ταυτότητα του φυτικού είδους στην περίπτωση απουσίας της μορφολογικής του εικόνας (Federici 2014). Η γραμμική κωδικοποίηση έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση των ειδών στην αλυσίδα των γεωργικών προϊόντων διατροφής και για τον έλεγχο της παρουσίας μη εδωδιμων ειδών ή μολυσματικών (π.χ., αλλεργιογόνων ειδών), τα οποία εσφαλμένα ή σκόπιμα εισάγονται στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων (De Mattia 2011), (Galimberti 2013).

5.3 Ανάλυση ισοτόπων

Τα ισότοπα είναι άτομα του ίδιου στοιχείου που διαφέρουν σε μάζα το ένα από το άλλο. Διαφορετικά ισότοπα του ίδιου στοιχείου έχουν ίσο αριθμό ηλεκτρονίων (και πρωτονίων), αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων με αποτέλεσμα να έχουν διαφορετική μάζα. Τα σταθερά ισότοπα χωρίζονται σε δυο ομάδες με βάση την ατομική τους μάζα, ελαφριά ισότοπα (βιο-στοιχεία) και βαριά ισότοπα. Στην ομάδα των ελαφριών ισοτόπων οι αναλογίες που εξετάζονται ως επί το πλείστον είναι $2\text{H} / 1\text{H}$, $13\text{C} / 12\text{C}$, $15\text{N} / 14\text{N}$ και $18\text{O} / 16\text{O}$, ενώ η $34\text{S} / 32\text{S}$ χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά. Στη βαριά ομάδα ισότοπων συνηθέστερα χρησιμοποιούνται οι αναλογίες $87\text{Sr} / 86\text{Sr}$ και σπανιότερα $206\text{Pb} / 204\text{Pb}$, $207\text{Pb} / 204\text{Pb}$, $208\text{Pb} / 204\text{Pb}$, $143\text{Nd} / 144\text{Nd}$ για την πιστοποίηση της γνησιότητας των τροφίμων. Για την ανάλυση των ισοτοπικών αναλογιών χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι, όπως η φασματομετρία

μάζας αναλογίας ισοτόπων (IRMS), πολλαπλός συλλέκτης - επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος - φασματομετρίας μάζας (MC-ICP-MS) και θερμική φασματομετρία μάζας ιονισμού (TIMS). Για τον προσδιορισμό των αναλογιών ελαφρών ισοτόπων χρησιμοποιείται η IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometry) τεχνική, η οποία διασυνδέεται με βασικό αναλυτή, πυρόλυση, συσκευές εξισορρόπησης HPLC (High performance liquid chromatography), ενώ τα βαρέα ισότοπα μετρώνται με MC-ICP-MS και TIMS. Η αναλογία $2\text{H} / 1\text{H}$ αναλύεται ειδικά σε μικρά μόρια, όπως η αιθανόλη, χρησιμοποιώντας NMR (Nuclear Magnetic Resonance) εξοπλισμένο με ανιχνευτή δευτερίου.

Οι ισοτοπικές αναλογίες εφαρμόζονται για τον έλεγχο της γνησιότητας των τροφίμων, επειδή οι σταθερές αναλογίες ισοτόπων αλλάζουν με τις κλιματικές συνθήκες, τη γεωγραφική προέλευση, την εδαφική πεδολογία και τη γεωλογία των τόπων προέλευσης των συστατικών των τροφίμων. Ως πρωταρχική ένδειξη, τα δεδομένα ισοτόπων του H και του O για την οργανική ύλη σε τρόφιμα συγκρίνονται με τα δεδομένα ισότοπων του H και του O του νερού από την περιοχή προέλευσης του τροφίμου, τα οποία διακυμαίνονται αναλόγως της γεωγραφικής προέλευσης. Τα ισότοπα του N και του C σχετίζονται με το κλίμα και τις γεωργικές πρακτικές, και τα ισότοπα του S επηρεάζονται από τη γεωλογία, τον ηφαιστειογενή χώρο, την απόσταση από τη θάλασσα και από ορισμένες ανθρωπογενείς επιδράσεις

Η ανάλυση των σταθερών ισοτόπων των βιολογικών στοιχείων έχουν αναγνωριστεί από την ΕΕ, ΟΙV, CEN και ΑΟΑC από τη δεκαετία του 1990 ως επίσημες μέθοδοι για την ανίχνευση της νοθείας του κρασιού, του μελιού, του χυμού φρούτων ή του σιροπιού σφενδάμου με φθηνότερους διαλύτες, όπως το νερό ή το σιρόπι ζάχαρης από αραβόσιτο ή ζαχαροκάλαμο. Άλλα παραδείγματα εφαρμογών ισοτοπικής αναλογίας περιλαμβάνουν τη διάκριση της φυσικής έναντι της συνθετικής βανιλίνης και τη διάκριση του CO₂ της σαμπάνιας που παράγεται φυσικά με την προσθήκη ζάχαρης σε φιάλες σε σχέση με την άμεση έγχυση βιομηχανικού CO₂. Πιο πρόσφατες εφαρμογές της ανάλυσης της αναλογίας πολλαπλών-ισότοπων ($2\text{H} / 1\text{H}$ ή D / H , $13\text{C} / 12\text{C}$, $18\text{O} / 16\text{O}$, $15\text{N} / 14\text{N}$, $34\text{S} / 32\text{S}$, $87\text{Sr} / 86\text{Sr}$) περιλαμβάνουν πιστοποίηση γεωγραφικής προέλευσης του οίνου, του ελαιόλαδου, των πορτοκαλιών, του μελιού, της ντομάτας, του κινέζικου λάχανου, του κρέατος, των γαλακτοκομικών προϊόντων, των αυγών, των θαλασσινών και του καφέ. Τα βιολογικά προϊόντα χρησιμοποιούνται ως δείκτες ισοτοπικών δακτυλικών αποτυπωμάτων. Επιπλέον, τα ισοτοπικά δακτυλικά αποτυπώματα μπορούν να συνδυαστούν με άλλους δείκτες (π.χ. στοιχειακή ανάλυση, NMR και GC (Gas chromatography) για να βελτιωθεί ο προσδιορισμός της προέλευσης μιας ποικιλίας προϊόντων διατροφής (Georgios P.Danezis 2016).

5.5 Chemometrics and NIRS

Η χημειομετρία είναι η μαθηματική και στατιστική μοντελοποίηση που εφαρμόζεται σε αναλυτικά δεδομένα, τα οποία αποκτήθηκαν από ευρείες διακυμάνσεις πλατφορμών, προκειμένου να αποκτηθούν οι σχετικές χημικές πληροφορίες. Τα οφέλη των χημειομετρικών μοντέλων έναντι των κανονικών στατιστικών μοντέλων είναι ότι μπορεί να διατηρηθούν εύκολα με καλή ενημέρωση και ενδυνάμωση των ελαττωματικών δεδομένων. Επίσης, μπορεί εύκολα να μετατραπούν σε ένα σύνολο προδιαγραφών που μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη κανόνων απόφασης σχετικά με την αυθεντικότητα της προέλευσης των τροφίμων, η οποία αποτελεί σημαντικό στοιχείο για μελέτες ιχνηλασιμότητας (Vandeginste 2013).

Η συνεργατική χρήση των κύριων αναλυτικών τεχνικών και η χημειομετρική μοντελοποίηση αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο τρόπο για την ανάπτυξη μοντέλων αυθεντικότητας και ιχνηλασιμότητας. Η ιχνηλασιμότητα των τροφίμων αποτελεί βασικό στοιχείο για την εξασφάλιση της ασφάλειας και της υψηλής ποιότητας των τροφίμων (Bertacchini 2013). Ο (Cozzolino 2014) πραγματοποίησε ανασκόπηση σχετικά με τη χρήση της φασματοσκοπίας εγγύς στην υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR) και φασματοσκοπία μέσου υπέρυθρου (MIR) σε συνδυασμό με την ανάλυση πολλών μεταβλητών δεδομένων, όπως αυτές της ανάλυσης του κύριου συστατικού (PCA), μερικών ελάχιστων τετράγωνων διακριτής ανάλυσης (PLS-DA), της γραμμικής διακριτής ανάλυσης (LDA) για την ενίσχυση της αυθεντικότητας και της ανιχνευσιμότητας των σιτηρών. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών φασματοσκοπίας όπως η υπέρ φασματική απεικόνιση, η μικροσκοπική φασματοσκοπία και ο συνδυασμός τους με νέους αλγόριθμους θα ενισχύσει τη χρήση της φασματοσκοπίας και θα τη καταστήσει ως ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία για την ανιχνευσιμότητα και πιστοποίηση των δημητριακών.

Οι (Benilacqua 2012) χρησιμοποίησαν μεσαίες φασματοσκοπικές τεχνικές εγγύς στην υπέρυθρη ακτινοβολία και χημειομετρικές μεθόδους ανίχνευσης δειγμάτων εξαιρετικού παρθένου ελαιόλαδου. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η υπέρυθρη φασματοσκοπία με χημειομετρία αποτελεί μια γρήγορη, σχετικά φθηνή, μη επεμβατική / μη καταστρεπτική ανάλυση και ένα ισχυρό εργαλείο για την ιχνηλασιμότητα του ελαιόλαδου. Οι (Versari 2014) επανεξέτασαν την τυποποίηση και την εξακρίβωση της γνησιότητας του οίνου και διαπίστωσαν ότι τα αναλυτικά εργαλεία χημείας, που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις χημειομετρικές αναλύσεις, επιτυγχάνουν επιτυχώς τη διάκριση και την κατηγοριοποίηση των κρασιών. Έτσι, η βελτιωμένη ισχύς ταξινόμησης μπορεί να μας βοηθήσει στην ιχνηλασιμότητα του οίνου. Οι (Consonni 2010) χρησιμοποίησαν με επιτυχία τη φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητισμού (NMR) με χημειομετρία για πρόσβαση στη γεωγραφική προέλευση και την ποιότητα των παραδοσιακών προϊόντων διατροφής.

Οι (Ren 2013) χρησιμοποίησαν τον συνδυασμό της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) με τη χημειομετρία ως μέθοδο ταχείας ανάλυσης, για να αξιολογήσουν την ποιότητα και τη διαφοροποίηση της γεωγραφικής προέλευσης του

μαύρου τσαγιού. Η μελέτη αυτή απέδειξε ότι η φασματοσκοπία NIR μπορεί να ανιχνεύσει τα χημικά συστατικά της κύριας ουσίας και να προσδιορίσει τη γεωγραφική προέλευση του μαύρου τσαγιού. Έχει αποδειχθεί ότι η φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρου (NIRS) σε συνδυασμό με τις χημειομετρικές μεθόδους είναι σε θέση να προβλέψουν τη γεωγραφική προέλευση του σίτου. Συγκεκριμένα το 76% των δειγμάτων σίτου είχε ταξινομηθεί σωστά και στην περίπτωση του αλευριού το ποσοστό έφτασε μεταξύ 90% και 96% (Gonzalez-Martin 2014).

6. Εικονοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων.

6.1 Εισαγωγή εικονοποίησης

Αρχικά η ιδέα της εικονοποίησης χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει το επαναστατικό αντίκτυπο που είχε η χρήση της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνίας στις επιχειρησιακές διαδικασίες, στους οργανισμούς και στην κοινωνία (Crowston 2007). Η λέξη «εικονική» χρησιμοποιήθηκε για να απεικονίσει ότι έχει ουσία ή αποτέλεσμα, αλλά χωρίς πραγματική μορφή ή εμφάνιση στην πραγματική ζωή. Η εικονοποίηση χρησιμοποιείται για τις αναφορές ψηφιακών αναπαραστάσεων, πραγματικών ή φανταστικών, ισοδύναμων της πραγματικής ζωής. Η εικονοποίηση αφαιρεί θεμελιώδεις περιορισμούς όσον αναφορά (C. B. Verdouw 2013) :

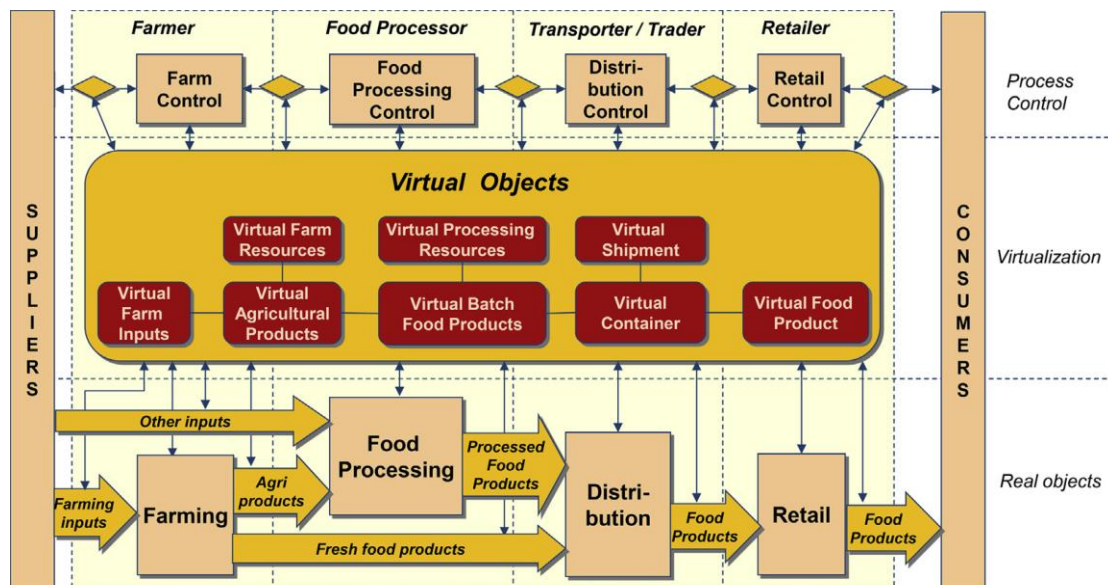
- Τον τόπο: Οι εικόνες αναπαράστασης δεν απαιτούν φυσικό προσδιορισμένο χώρο, δηλαδή φυσική εγγύτητα που πρέπει να παρατηρηθεί, να ελεγχθεί ή να επεξεργαστεί.
- Τον χρόνο: Εκτός από την αναπαράσταση πραγματικών αντικειμένων, η εικονοποίηση μπορεί να αναπαράγει ιστορικές καταστάσεις, να προσομοιώσει μελλοντικές προβλέψεις και να φανταστεί ένα μη υπάρχοντα κόσμο.
- Παρατήρηση ανθρώπων: Οι εικονικές αναπαραστάσεις μπορούν να απεικονίσουν πληροφορίες σχετικές με τις ιδιότητες του αντικειμένου, όπως πληροφορίες θερμοκρασίας ή εικόνες ακτίνων X, που δεν μπορούν να παρατηρηθούν από τις ανθρώπινες αισθήσεις.

Η εικονοποίηση έχει εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς και έχει διαφορετικές έννοιες. Οι (C. B. Verdouw 2013) διακρίνουν τις ακόλουθες προοπτικές:

- Εικονική οργάνωση: Δυναμικές οργανωτικές δομές οι οποίες προσωρινά συγκεντρώνουν πόρους από διαφορετικούς οργανισμούς με σκοπό την καλύτερη ανταπόκριση στις επιχειρηματικές ευκαιρίες (Goldman 1995).
- Προοπτική εικονικής ομάδας: Εικονικά περιβάλλοντα εργασίας στα οποία οι άνθρωποι συνεργάζονται και επικοινωνούν με τους συναδέλφους τους μέσω υπολογιστικών συστημάτων επικοινωνίας, χωρίς να συναντιούνται πρόσωπο με πρόσωπο (Crowston 2007).

- Εικονική μηχανή: Η αναπαραγωγή λογισμικού ενός υπολογιστικού συστήματος ή ενός δομικού στοιχείου που εκτελεί προγράμματα, όπως μια φυσική μηχανή, παρέχει μια ενιαία οπτική γωνία για το επικείμενο εξοπλισμό (Rosenblum 2005).
- Εικονική πραγματικότητα: Αποσκοπεί στη δημιουργία ενός ψηφιακού περιβάλλοντος όπου οι ανθρωπίνι χρήστες το βιώνουν ως μια πραγματικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη εξελιγμένων «ανθρωπο-υπολογιστικών» περιβαλλόντων, τα οποία προσομοιάζουν οπτικές, ακουστικές και απτικές εμπειρίες (Steuer 1992).
- Εικονικά πράγματα: Φυσικές οντότητες όπως προϊόντα και πόροι που συνοδεύονται από ένα πλούσιο, παγκοσμίως προσβάσιμο εικονικό ισοδύναμο, το οποίο συνδέει όλες τις σχετικές πληροφορίες των σχετιζόμενων φυσικών αντικείμενων. Αυτές οι πληροφορίες αναφέρονται σε ιστορικά δεδομένα των προϊόντων σχετικά με τις φυσικές ιδιότητες τους, τις πληροφορίες προελεύσεως τους, τις πληροφορίες ιδιοκτησίας τους και του αισθητηριακού πλαισίου που τα περιλαμβάνει (Welbourne 2009).

Η εικονοποίηση επιτρέπει την αποσύνδεση των φυσικών ροών από την πληροφοριακή διάσταση των διαδικασιών (Clarke 1998). Η εικονοποιημένη εφοδιαστική αλυσίδα δε χρειάζεται πλέον φυσική εγγύτητα. Γεγονός που σημαίνει ότι η διαδρομή που ακολουθούν τα φυσικά προϊόντα από την πηγή στον τελικό προορισμό δεν εξαρτάται πλέον από τη θέση των συνεταιίρων που ασκούν έλεγχο και συντονισμό. Έτσι, οι συνεταιίροι δεν έχουν φυσική πρόσβαση στα προϊόντα και τους πόρους και ίσως να μην έχουν ιεραρχικό έλεγχο σε αυτούς που εκτελούν αυτές τις επιχειρησιακές διαδικασίες. Η εικονοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων έρχεται αντιμέτωπη με πολύπλοκα δίκτυα, αντικείμενα, διαδικασίες και ελέγχους. Η Εικόνα 16 αποτελεί μια απλοποιημένη αναπαράσταση της πραγματικότητας.



Εικόνα 16. Απλοποιημένη επισκόπηση των εικονικών αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων.

Πηγή: (C.N. Verdouw 2016).

Οι αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων έχουν διαφορετικές δομές δικτύου όπου πολλές μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις εμπορεύονται με τεράστιες πολυεθνικές. Άλλοι οργανισμοί που συμμετέχουν στο δίκτυο περιλαμβάνουν επιχειρήσεις όπως αυτές της συσκευασίας τροφίμων, των συνεταιρισμών παραγωγών, των οργανισμών πιστοποίησης και επιθεώρησης, των εργαστηρίων τροφίμων, των εμπορικών συμβούλων και των εταιριών παροχής υπηρεσιών τροφίμων. Τα δικαιώματα πρόσβασης και η χρήση εικονικών αντικειμένων μπορεί να διαφέρει ανά χρήστη. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές αναπαραστάσεις του ίδιου αντικειμένου για διαφορετικούς ενδιαφερόμενους, βασισμένες σε συγκεκριμένους σκοπούς χρήσης. Έτσι, πρέπει να υπάρχουν διαδικασίες για να παρέχουν είσοδο σε εικονικά αντικείμενα και να εξασφαλίζουν τη συνεκτικότητα των διαφόρων αναπαραστάσεων. Προκειμένου να είναι αποτελεσματική η ενοποίηση δικτύων, η διασυννοριακή διέλευση και η δημιουργία δυναμικών εφοδιαστικών αλυσίδων απαιτείται συνεργατικό επιχειρηματικό περιβάλλον που να επιτρέπει στις εταιρείες τροφίμων (συμπεριλαμβανομένων των μικρών και μεσαίων επιχειρήσεων) να συνδέονται εύκολα με εικονικά αντικείμενα με έναν ασφαλή και αξιόπιστο τρόπο.

6.2 Η σημαντικότητα της εικονοποίησης της αλυσίδας εφοδιασμού

Οι αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων χειρίζονται πολλά αλληλένδετα αντικείμενα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται διαφορετικά επίπεδα εικονοποίησης αντικειμένων. Κοινή με τα συστήματα ανιχνευσιμότητας, η λεπτομερειακή εικονοποίηση είναι σημαντική και προσθέτει αξία (Bollen 2007), (Karlsen 2012). Η εφαρμογή της εικονοποίησης είναι πολύ δύσκολη, γεγονός που επιφέρει την αύξηση του κόστους. Στην περίπτωση μιας λεπτομερούς εικονοποίησης η βασική πρόκληση είναι η διαχείριση της αλληλεξάρτησης μεταξύ των εικονικά αντικειμένων σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας. Στη βιομηχανία τροφίμων η ανάγκη για λεπτομερή εικονοποίηση αντικειμένων είναι σχετικά υψηλή λόγω της ποικιλομορφίας και της αλλοιωσιμότητας των προϊόντων. Η εικονοποίηση των εμπορευματοκιβωτίων δεν αρκεί για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η ποιότητα των τροφίμων, αλλά απαιτείται η παροχή πληροφοριών σχετικά με τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό των προϊόντων διατροφής, επειδή είναι κρίσιμης σημασίας για τη σωστή διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων.

6.3 Έλεγχος των πολύπλοκων διαδικασιών που υπάρχουν στα τρόφιμα

Η πολυπλοκότητα που έχει η αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων όσον αφορά το δίκτυο, το αντικείμενο και τις διαδικασίες της δημιουργεί ζήτηση εξελιγμένων συστημάτων που συμβάλλουν στον έλεγχο της. Ο έλεγχος των τροφίμων περιπλέκεται ακόμα περισσότερο λόγω της υψηλής αβεβαιότητας τόσο της ζήτησης, όσο και της

προσφοράς. Οι αγορές γίνονται όλο και περισσότερο ασταθείς, οι προτιμήσεις των καταναλωτών συνεχώς αλλάζουν και κατά συνέπεια η ζήτηση μεταβάλλεται συνεχώς και είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Οι διαδικασίες σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων θα πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς, να (ανα) προγραμματίζονται και να βελτιστοποιούνται με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται σε πραγματικό χρόνο για την τοποθεσία, την ποιότητα των τροφίμων και άλλες σχετικές παραμέτρους. Σαν αποτέλεσμα απαιτούνται εξεζητημένα συστήματα ελέγχου, για να παρέχουν στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων δυνατότητες όπως: (i) παρακολούθηση, (ii) διαχείριση συμβάντων, (iii) βελτιστοποίηση και (iv) αυτονομία (Porter 2014).

Η εικονική παρακολούθηση της εφοδιαστικής αλυσίδας επιτρέπει τη γενική παρακολούθηση της κατάστασης του προϊόντος, τις επιχειρησιακές διαδικασίες και το εξωτερικό περιβάλλον του μέσω αισθητήρων και δεδομένων που προέρχονται από εξωτερικές πηγές. Ένα εικονικό αντικείμενο μπορεί να ειδοποιεί όλα τα μέλη της αλυσίδας εφοδιασμού για προβλήματα, όπως συμβάντα σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων, παρεκκλίσεις στη θερμοκρασία ή προβλήματα στην ποιότητα των τροφίμων. Η παρακολούθηση επιτρέπει, επίσης, στις εταιρίες και στους πελάτες τους να προσδιορίζουν τη θέση του προϊόντος, τον έλεγχο των χαρακτηριστικών του, να εντοπίζουν το ιστορικό του, τον προορισμό του και τη χρήση του από τους τελικούς πελάτες.

Η εικονική διαχείριση συμβάντων στην εφοδιαστική αλυσίδα προσθέτει πληροφορίες για διορθωτικές κινήσεις, δηλαδή κανόνες που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα αντικείμενα πρέπει να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα γεγονότα (π.χ. "αν ανιχνευθεί μόλυνση E. coli, ενεργοποιεί την διαδικασία ανάκληση τροφής "ή" σε περίπτωση καθυστέρησης μια παραλαβής, επανασχεδιάζει τις διαδικασίες logistics αποστολής). Η κατάσταση ή το περιβάλλον των αντικειμένων θα μπορούσε να διορθώνεται εξ' αποστάσεως με τη χρήση ενεργοποιητών (π.χ. "εάν η θερμοκρασία ανέβει υπερβολικά, ανοίγει ο διακόπτης του ψυκτικού μηχανήματος).

Η εικονική βελτιστοποίηση των διαδικασιών της αλυσίδας εφοδιασμού περιλαμβάνει την εφαρμογή προηγμένων αλγορίθμων και αναλύσεων μέσω προσομοιωτή και υποστηρίζει τις αποφάσεις βάσει επιχειρησιακών δεδομένων. Επιπλέον, οι προληπτικές δράσεις μπορούν να εφαρμοστούν βάσει μοντέλων βελτιστοποίησης και προγνωστικών αναλύσεων (π.χ. προσομοίωση της διάρκειας ζωής και προσδιορισμός των συνεπειών που προκύπτουν από τις μεταβολές της ποιότητας από τη στιγμή που το προϊόν φθάσει στον προορισμό του).

Η εικονική αυτονομία της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί ένα συνδυασμό παρακολούθησης και ελέγχου με δυνατότητες βελτιστοποίησης που επιτρέπουν στα αντικείμενα να λειτουργούν αυτόνομα, όταν ταξιδεύουν μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού, χωρίς επιτόπου ή εξ' αποστάσεως παρέμβαση των ανθρώπων. Αυτόνομα αντικείμενα θα μπορούσαν, επίσης, να γίνουν αυτοπροσαρμοστικά συστήματα που μπορούν να μάθουν για το περιβάλλον τους, να κάνουν

αυτοδιάγνωση των δικών τους αναγκών και να προσαρμόζονται στις προτιμήσεις των χρηστών τους.

6.4 Τα τέσσερα βασικά στοιχεία για την εικονοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων

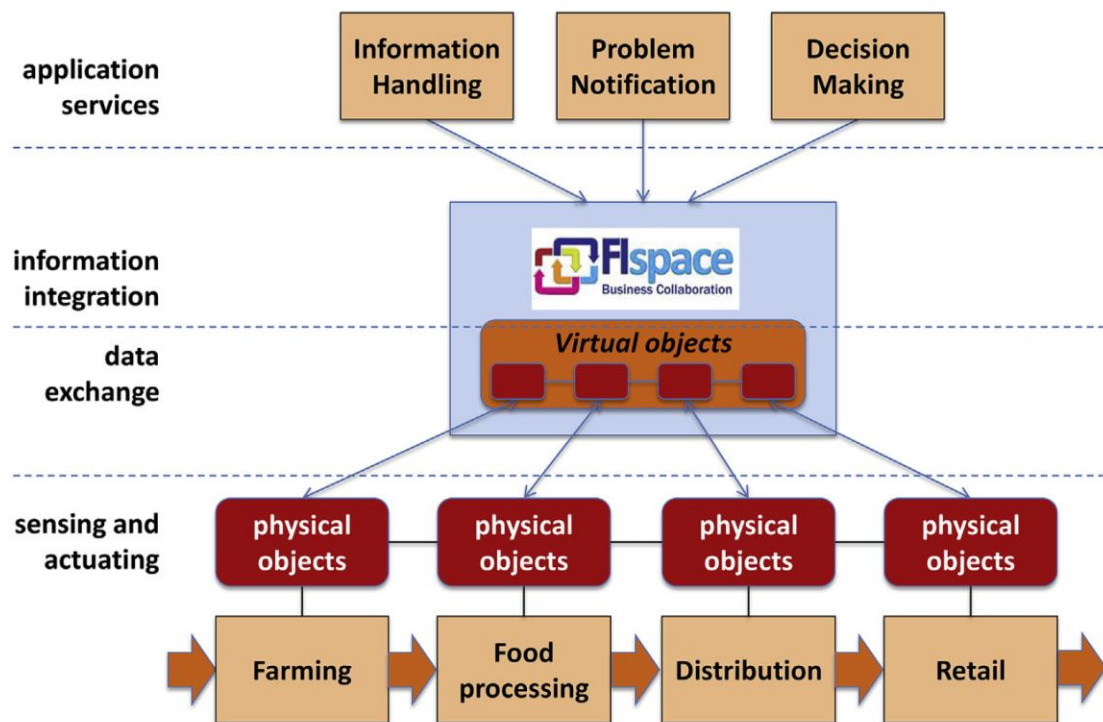
Σε σύγκριση με τα συστήματα ανίχνευσιμότητας η εικονοποίηση όχι μόνο απαιτεί την παρακολούθηση και την ανίχνευση της θέσης των αντικειμένων, αλλά και την ανίχνευση και την καταγραφή πληροφοριών σχετικά με τη δυναμική κατάστασή τους. Η εικονοποίηση θα πρέπει να επιτρέπει τον έλεγχο αντικειμένων με τη χρήση ενεργοποιητών, καθώς και τη δυναμική προβολή της μελλοντικής κατάστασης του σχεδιασμού υποστήριξης και βελτιστοποίησης (C. B. Verdouw 2015). Κατά συνέπεια, τα τέσσερα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για την εικονοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων είναι: (i) η αναγνώριση, η ανίχνευση και η ενεργοποίηση, (ii) η ανταλλαγή δεδομένων, (iii) η ενοποίηση πληροφοριών και (iv) οι εφαρμοσμένες υπηρεσίες (Ma 2011), (C. B. Verdouw 2013), (Atzori 2010).

Αρχικά, απαιτείται ανίχνευση και ενεργοποίηση φυσικών αντικειμένων, δηλαδή των φυσικών αντικειμένων που μπορούν να εικονοποιηθούν (π.χ. προϊόν, κιβώτιο, παλέτα, φορτηγό). Επίσης, πρέπει να είναι δυνατή η αυτόματη αναγνώριση των φυσικών αντικείμενων. Οι κύριες τεχνολογίες αυτόματης αναγνώρισης που χρησιμοποιούνται στις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων είναι οι γραμμικοί κώδικες ή αναμεταδότες RFID (Ruiz-Garcia 2011), (Trienekens 2012). Για λόγους μείωσης κόστους οι περισσότερες εφαρμογές RFID επικεντρώνονται στα εμπορευματοκιβώτια ή στις παλέτες, ενώ τα μεμονωμένα στοιχεία αναγνωρίζονται με γραμμικούς κώδικες (Bottani 2008). Έτσι, επιτρέπεται η εφαρμογή διαφορετικών τεχνολογιών αυτόματης αναγνώρισης ταυτότητας σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας χρησιμοποιώντας τα τυποποιημένα μοναδιαία αναγνωριστικά GS1, τους ειδικούς σειριακούς αριθμούς παγκόσμιων εμπορικών στοιχείων (SGTIN), τους σειριακούς αριθμούς εμπορευματοκιβωτίων (SSCC), τα Παγκόσμια Αναγνωριστικά επιστρεφόμενων περιουσιακών στοιχείων (GRAI) και τους Παγκόσμιους αριθμούς τοποθεσίας (GLN) (GS1, 2012).

Το επόμενο βήμα είναι η ανταλλαγή πληροφοριών αντικειμένου στην αλυσίδα εφοδιασμού με μια αποτελεσματική και ασφαλή οδό. Τα δεδομένα αρχικά αποστέλλονται πρώτα σε ενδιάμεσες πλατφόρμες (πύλες διαδικτύου ή μηχανές μεσολάβησης σύννεφου) χρησιμοποιώντας τεχνολογίες, όπως επικοινωνίας RFID, επικοινωνίας κοντινού πεδίου, επικοινωνίας ασύρματων δικτύων (αισθητήρων), συμπεριλαμβανομένων των Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi και GPRS. Αυτές οι ενδιάμεσες πλατφόρμες ουσιαστικά είναι τοπικοί υπολογιστές που βρίσκονται συνήθως κοντά στις συσκευές που ανταλλάσσουν πληροφορίες. Η υπόλοιπη επικοινωνία στην αλυσίδα εφοδιασμού γίνεται μέσω ηλεκτρονικών EDI ή XML μηνυμάτων, με βάση τις ανάγκες που επικρατούν.

Το επόμενο επίπεδο της ενοποίησης της πληροφορίας ξεκινά με την αφαίρεση αντικειμένου, δηλαδή τη δημιουργία εικονικών αναπαραστάσεων των υποδιαίρεσεων που προκύπτουν από τα ετερογενή φυσικά αντικείμενα. Τα αντικείμενα βασισμένα στις πληροφορίες που ανταλλάσσουν μεταξύ τους δημιουργούν και ενημερώνουν τα εικονικά αντικείμενα μέσω του διαδικτύου. Τα εικονικά αντικείμενα φιλτράρουν περιττές πληροφορίες ή συμπεριλαμβάνουν πρόσθετα δεδομένα (π.χ. προσομοιώσεις μελλοντικών καταστάσεων) που εξαρτώνται από τους ειδικούς σκοπούς χρήσης. Κάθε προβολή πρέπει να είναι προσβάσιμη μόνο από τους εξουσιοδοτημένους χρήστες, ώστε η αξιοπιστία να είναι αναμφισβήτητη. Η ενοποίηση των πληροφοριών περιλαμβάνει τη βασική διαχείριση δεδομένων με δυνατότητες αποθήκευσης και ασφάλειας. Τα εικονικά αντικείμενα πρέπει να ενημερώνονται συνεχώς. Γεγονός που επιβάλλει αυστηρές απαιτήσεις στην έγκαιρη ανίχνευση των αντικειμένων και την ανταλλαγή δεδομένων.

Το τελευταίο επίπεδο αφορά τις εφαρμοσμένες υπηρεσίες που παρέχουν συγκεκριμένες λειτουργίες για διαφορετικούς χρήστες της αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτές είναι βασισμένες στις εικονικές πληροφορίες του κάθε αντικειμένου και προσβάσιμες μέσω ενός στρώματος- ενδιάμεσου λογισμικού. Ο τύπος των υπηρεσιών καθορίζεται από το επίπεδο της ευφυΐας των εικονικών αντικειμένων, τα οποία μπορεί να διαφέρουν από τις βασικές εικονοποιήσεις, οι οποίες περιορίζονται στο να δείχνουν μόνο την τοποθεσία των φυσικών αντικειμένων. Ως συνέπεια, οι εφαρμοσμένες υπηρεσίες ταξινομούνται σε διαχείριση πληροφοριών, ειδοποίηση για προβλήματα και υπηρεσίες λήψης αποφάσεων (Meyer 2009). Η διαχείριση πληροφοριών αφορά τις βασικές διεργασίες με τα δεδομένα αντικειμένων που αφορούν τη συλλογή, την αποθήκευση και την αποστολή. Τα προβλήματα (π.χ. θερμοκρασία πάρα πολύ υψηλή, αποκλίσεις από τον σχεδιασμό) κοινοποιούνται στους άμεσα ενδιαφερόμενους φορείς και χρήστες. Αυτή η λειτουργία είναι συχνά συνδυασμένη με ορισμένους κανόνες που εφαρμόζονται για το φιλτράρισμα των συλλεγόμενων δεδομένων και την εξαγωγή του αντίστοιχου μηνύματος. Τέλος, η λήψη αποφάσεων βοηθάει ή αποκαθιστά πλήρως τον ανθρώπινο παράγοντα στην εκτέλεση εξειδικευμένων αποφάσεων και στην ενεργοποίηση ορισμένων ενεργειών λαμβάνοντας υπόψη τα εικονοποιημένα αντικείμενα. Αυτό το στοιχείο παρουσιάζει το υψηλότερο επίπεδο νοημοσύνης στο οποίο τα αντικείμενα μπορούν να λαμβάνουν από μόνα τους τις σχετικές αποφάσεις (Meyer 2009). Στην Εικόνα 17 παρουσιάζονται τα τέσσερα στρώματα της εικονοποίησης και απεικονίζεται ο τρόπος που το FIspace λειτουργεί ως ενδιάμεση πλατφόρμα μεταξύ τους. Το FIspace βασίζεται σε μοντέλο παράδοσης λογισμικού ως υπηρεσία (SaaS) στην οποία οι προγραμματιστές μπορούν εύκολα να αναπτύξουν έξυπνες εφαρμογές λογισμικού ("Apps") με βάση τους γενικούς ενεργοποιητές FIWARE (FIWARE 2015). Αυτές οι εφαρμογές πρέπει να συνεργάζονται άψογα μεταξύ τους, για να υποστηρίξουν διαδικασίες ελέγχου των επιχειρήσεων, να διευκολύνουν την ανταλλαγή δεδομένων και να ενοποιούν τις πληροφορίες.



Εικόνα 17. Αρχιτεκτονική συστημάτων πληροφοριών για εικονοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας με βάση την πλατφόρμα FIspace

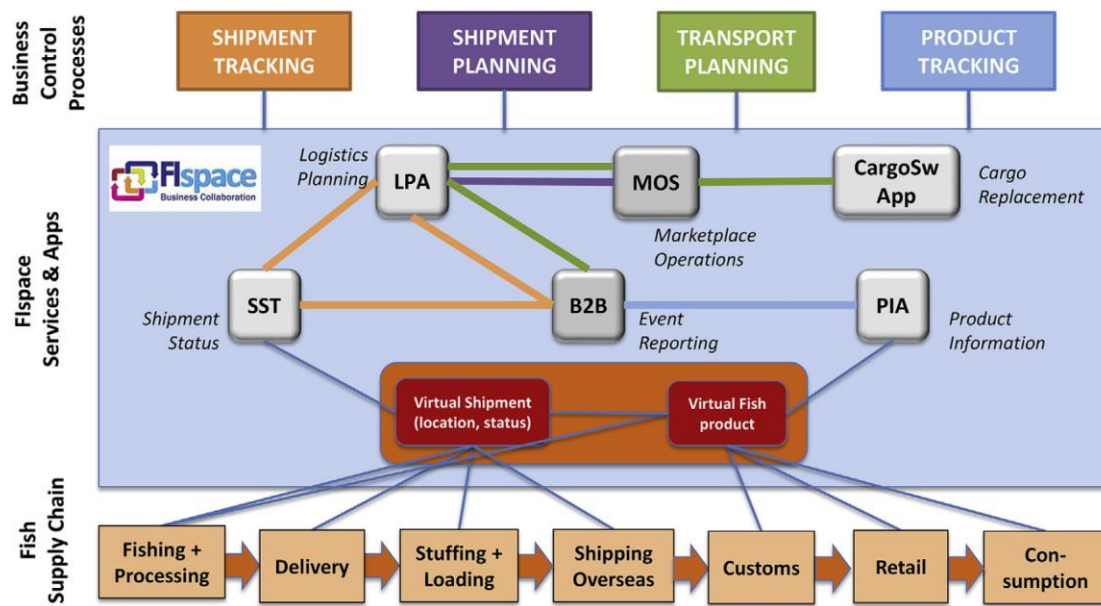
Πηγή: (C.N. Verdouw 2016)

6.5 Μελέτες περίπτωσης εφαρμογών εικονοποίησης στην αλυσίδα εφοδιασμού

Η εικονοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού έχει εφαρμοστεί στην περίπτωση της διανομής ψαριών από τη Νορβηγία προς τις υπερπόντιες αγορές. Τα εικονικά αντικείμενα αντιπροσωπεύουν τα ξηρά και τα κατεψυγμένα ψάρια, τα οποία τοποθετούνται μέσα σε κουτιά και στη συνέχεια στοιβάζονται πάνω σε παλέτες. Οι παλέτες με τη σειρά τους τοποθετούνται μέσα σε εμπορευματοκιβώτια και τα εμπορευματοκιβώτια αποστέλλονται με πλοία τύπου reefer (φορτηγά ψυγεία) από τη Νορβηγία. Έπειτα, με τη συμμετοχή θαλάσσιων μεταφορέων μεταφορτώνονται και αποστέλλονται στα μεγαλύτερα λιμάνια (hubs) της Βόρειας Ευρώπης. Η χαμηλή δυνατότητα πρόβλεψης της μεταφορικής ζήτησης των ψαριών και ο υψηλός αριθμός ακυρώσεων και αλλαγών στις κρατήσεις δημιουργούν προβλήματα στους μεταφορείς. Τα προβλήματα αυτά εμποδίζουν τη βελτιστοποίηση των φορτώσεων και περιορίζουν τη δυνατότητα για παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών στους πελάτες. Στην Εικόνα 18 φαίνεται απλοποιημένα ο τρόπος με τον οποίο η FIspace υποστηρίζει ποικίλους ελέγχους επιχειρηματικών διεργασιών σε μια εικονικοποιημένη αλυσίδα εφοδιασμού με ψάρια.

Το προϊόν (ψάρια σε κουτιά) εικονοποιείται μέσω μιας εφαρμογής, η οποία δίνει πληροφορίες για το κάθε προϊόν (PIA) και έχει τη δυνατότητα σε μεταγενέστερο

στάδιο να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πληροφοριών στους καταναλωτές. Το εμπορευματοκιβώτιο εικονοποιείται μέσω μιας εφαρμογής που δείχνει την κατάσταση του εμπορευματοκιβωτίου που έχει αποσταλεί (SST) και είναι συνδεδεμένη με ένα νωτιαίο σύστημα (back-end). Η βασική υπηρεσία που προσφέρει στις συνεργαζόμενες επιχειρήσεις (B2B) είναι ότι παρακολουθεί το προϊόν, το καθεστώς αποστολής και τις καθυστερήσεις και ακυρώσεις που παρουσιάζονται. Αυτές οι πληροφορίες εισάγονται στην εφαρμογή Logistics Planning App (LPA) που υποστηρίζει τον προγραμματισμό λειτουργίας των logistics για τις αποστολές. Ορίζει ένα σχέδιο εκτέλεσης των μεταφορών, το οποίο είναι κατάλληλο για τον συγκεκριμένο τύπο προϊόντος και αποστολής. Εν ακολουθία, το LPA επιλέγει τις κατάλληλες υπηρεσίες μεταφοράς βασιζόμενο στις πληροφορίες που δέχεται σχετικά με τις διαθέσιμες υπηρεσίες μεταφοράς που υπάρχουν τη δεδομένη χρονική στιγμή στην αγορά. Οι πληροφορίες αυτές δίδονται σε πραγματικό χρόνο, με την εφαρμογή Market Place Operations Service (MOS). Τέλος, η εφαρμογή Cargo Search App χρησιμοποιείται από τους μεταφορείς για να βρουν το συγκεκριμένο φορτίο για αποστολή. Επίσης, υποστηρίζει την αντικατάσταση των καθυστερημένων ακυρώσεων, αναζητώντας πληροφορίες σχετικά με τη ζήτηση μεταφοράς που διατίθεται στην εφαρμογή MOS. Αυτή η λειτουργία βελτιστοποιεί τη χωρητικότητα των πλοίων ιδίως λόγω της εγγενούς αβεβαιότητας του εφοδιασμού με ψάρια. Το CargoSwApp υποστηρίζει επίσης τη διαδικασία διαπραγμάτευσης των κρατήσεων (λήψη και αποστολή προσφορών) μεταξύ του μεταφορέα και του αποστολέα. Έτσι, η ομάδα σχεδιασμού των logistics διαδικασιών μπορεί να εξοικονομήσει 30% του χρόνου, στην επεξεργασία κρατήσεων, αλλαγών και ακυρώσεων. Στην περίπτωση αυτή αποδεικνύεται ότι η εικονοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού αποτελεί ένα νέο μοντέλο επιχειρησιακής συνεργασίας που μπορεί να ενισχύσει τη διαφάνεια και την ορατότητα στη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των σχεδίων μεταφοράς, των φορτώσεων και του επιπέδου εξυπηρέτησης (C.N. Verdouw 2016).



Εικόνα 18. Το FIspace υποστηρίζει διάφορες διαδικασίες ελέγχου στην αλυσίδα εφοδιασμού με ψάρια.

Πηγή: (C.N. Verdouw 2016).

Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα εικονοποίησης αποτελεί η εφοδιαστική αλυσίδα λουλουδιών στην Ολλανδία. Η εφαρμογή της εικονοποίησης πραγματοποιείται στα τέσσερα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού των λουλουδιών. Η εφαρμογή Smart Agri-Food αποτελείται από έναν συνδυασμό και των τεσσάρων μηχανισμών εικονοποίησης. Βασίζεται στην εικονοποίηση φυτών, ραφιών και καρτοσιών κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της θέσης, της ποιότητας, των συνθηκών (π.χ. φως, σχετική υγρασία και θερμοκρασία) και των ειδικευμένων αξιολογήσεων ποιότητας. Οι πληροφορίες προέρχονται κυρίως από αισθητήρες RFID ή εξωτερικά δεδομένα και χρησιμοποιούνται με στόχο την παρακολούθηση και τον εντοπισμό των προϊόντων, καθώς και ενδεχόμενων παραβιάσεων στα χρονοδιαγράμματα και στην ποιότητα των προϊόντων. Επιπλέον, το σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας περιλαμβάνει πληροφορίες αναφοράς προϊόντος, όπως οι τυποποιημένες εικόνες και οι βέλτιστες οδηγίες επίλυσης προβλημάτων. Η μελλοντική ποιότητα των φυτών αναφοράς προβάλλεται επίσης μέσω μοντέλων πρόβλεψης της αποσύνθεσης. Οι πληροφορίες που εισάγονται στα μοντέλα για τον υπολογισμό της αποσύνθεσης βασίζονται σε εργαστηριακές δοκιμές. Αυτά τα μοντέλα εφαρμόζονται στη συνέχεια σε πραγματικά φυτά, για να απεικονίσουν τη μελλοντική τους ποιότητα, με βάση τα δεδομένα του αισθητήρα, και τις πληροφορίες σχετικά με την αρχική ποιότητα τους. Η εφαρμογή αυτών των μηχανισμών εικονοποίησης επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν από απόσταση, να σχεδιάζουν και να βελτιστοποιούν την ποιότητα των φυτών, που ξεκινά από τη συγκομιδή του φυτού μέχρι τη φάση πώλησης στα καταστήματα λιανικής. Ως αποτέλεσμα, οι συμμετέχοντες αναμένουν ότι η τελική ποιότητα των προϊόντων

μπορεί να βελτιωθεί και να μειωθούν οι απορρίψεις και το κόστος της υλικοτεχνικής υποστήριξης.

Επίσης, η εικονική δημοπρασία ρολόι με την εικονοποίηση των παρτίδων, που περιλαμβάνουν φυτά και λουλούδια, επιτυγχάνει εύκολη διακίνηση και δημοπράτηση των φυτών και των λουλουδιών με βάση τις εικόνες τους και τα εξωτερικά τους δεδομένα. Οι αγοραστές μπορούν να συνδεθούν ζωντανά σε οποιοδήποτε ρολόι δημοπρασίας της FloraHolland. Έχουν τη δυνατότητα να δουν τα προϊόντα που διακινούνται (όνομα προμηθευτή, χαρακτηριστικά ποιότητας κ.λπ.) και να υποβάλουν προσφορά στο εικονικό ρολόι δημοπρασιών. Οι παραγωγοί, με τη σειρά τους, μπορούν να παρακολουθούν την πρόοδο των πωλήσεων σε πραγματικό χρόνο. Καθώς δεν μπορούν όλα τα προϊόντα να παραβρεθούν φυσικά στο ρολόι, η ποιότητα των πληροφοριών για το προϊόν, συμπεριλαμβανομένων των εικόνων και των πληροφοριών για τον προμηθευτή, είναι ζωτικής σημασίας. Για τον λόγο αυτό, τα χαρακτηριστικά ποιότητας είναι τυποποιημένα και υπάρχουν αυστηρές διαδικασίες για την προμήθεια και για την επαλήθευση των πληροφοριών του προϊόντος και των εικόνων. Οι παραγωγοί πρέπει να παρέχουν ένα προϊόν εικόνα που είναι αντιπροσωπευτικό για τη συγκεκριμένη παρτίδα. Αν ένας καλλιεργητής δεν παρέχει εικόνα που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη παρτίδα, το σύστημα εμφανίζει μια φωτογραφία από μια βάση δεδομένων με βάση τις πληροφορίες που αναφέρονται για το προϊόν. Η FloraHolland παρέχει επιπρόσθετα κίνητρα στους παραγωγούς για την παροχή υψηλής ποιότητας πληροφοριών για τα προϊόντα. Τέτοια κίνητρα αποτελούν η δημοσίευση του δείκτη αξιοπιστίας κατά τη διαδικασία δημοπράτησης και η έγκαιρη δημοπρασία προϊόντων με σωστές πληροφορίες, καθώς έτσι τα προϊόντα καταλήγουν να πωλούνται σε υψηλότερες τιμές προς όφελος των παραγωγών. Το κύριο πλεονέκτημα του εικονικού πλειστηριασμού είναι ότι τα προϊόντα δε χρειάζονται να είναι φυσικά παρόντα στο ρολόι δημοπρασιών, το οποίο σημαίνει ότι οι εμπορικές διαδικασίες μπορούν να αποσυνδεθούν από τις διαδικασίες logistics. Κατά συνέπεια, οι διαδικασίες logistics δεν επηρεάζουν πλέον την εμπορική διαδικασία και τα προϊόντα μπορούν άμεσα να μεταφέρονται από τους παραγωγούς στους πελάτες. Αυτό βελτιστοποιεί ακόμα περισσότερο την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας (π.χ. τη μείωση των μεταφορτώσεων) (C. B. Verdouw 2015).

Συμπεράσματα-Ανασκόπηση

Σε αυτήν τη μεταπτυχιακή διατριβή παρουσιάζεται μια βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τις κυριότερες και πιο σύγχρονες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων. Η έρευνα αυτή έχει σκοπό να επεξηγήσει τον τρόπο εφαρμογής και δράσης μερικών από των πιο σύγχρονων τεχνολογιών καθώς και να δείξει τις μελλοντικές τάσεις. Η επιτυχής εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών έχει σημαντική επίπτωση στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, καθώς μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ασφάλεια και την ποιότητα, που αποτελούν κύριους παράγοντες για την υγεία και για την ικανοποίηση των καταναλωτών. Επίσης, επικεντρώνεται στον ρόλο των εξελίξεων στους τομείς της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, καθώς και στην ολοκλήρωση και παρακολούθηση της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων. Η παρούσα διατριβή χωρίστηκε σε έξι ενότητες, όπου αντίστοιχα αναλύεται η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών και οι δυνατότητες που προσφέρουν κατά την εφαρμογή τους στον πυρήνα των επιχειρηματικών λειτουργιών, βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την απόδοση του συνολικού συστήματος εφοδιασμού.

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στην τεχνολογία RFID και στον πολύ σημαντικό ρόλο που μπορεί να διαδραματίσει στην ιχνηλασιμότητα και στην παρακολούθηση της ροής ενός τροφίμου σε όλο το μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Επιπρόσθετα, αναφέρεται μια νέα τεχνολογία ανταλλαγής ηλεκτρονικών δεδομένων, η Electronic Pedigree. Έπειτα, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο το RFID μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη παρακολούθηση και στην καλύτερη διαχείριση των ψυχρών αλυσίδων τροφίμων. Αναλύονται ακόμα τρόποι εκτίμησης της θερμοκρασίας, που θα μπορούσαν να επιτύχουν καλύτερη ανίχνευση στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, συμβάλλοντας στη μείωση των απωλειών σε τρόφιμα. Γίνεται, επίσης, αναφορά για το πώς το RFID μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη διαχείριση του ζωικού κεφαλαίου. Τέλος, αναλύονται διάφορα είδη αισθητήρων που μπορούν να ενοποιηθούν με ετικέτες RFID.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα έξυπνα συστήματα παρακολούθησης της ποιότητας και της διάρκειας ζωής των τροφίμων. Αναλυτικά περιγράφονται οι δείκτες και οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των τροφίμων, καθώς και τρόποι εφαρμογής τους στο λιανεμπόριο και στη βιομηχανία τροφίμων. Επίσης, γίνεται μια σύντομη αναφορά στις συσκευές μεταφοράς δεδομένων, όπως και σε κάποιες σύγχρονες εμπορικές εφαρμογές που έχουν αυτές οι τεχνολογίες στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων. Στο τρίτο κεφάλαιο επισημαίνεται η τεχνολογία κοντινού πεδίου NFC, η οποία επιτρέπει την απλή και ασφαλή λειτουργία αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών, καθώς και του τρόπου ενημέρωσης των καταναλωτών με διάφορα ιστορικά στοιχεία του προϊόντος μέσω του κινητού τους τηλεφώνου. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται εφαρμογές που έχουν στόχο την ενοποίηση του NFC με αισθητήρες για την παρακολούθηση των τροφίμων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η τεχνολογία αναγνώρισης οπτικών χαρακτήρων, η οποία μέσα από την ταξινόμηση οπτικών δειγμάτων μπορεί να διαβάσει διαφορετικές οπτικές εικόνες- αλφαριθμητικούς χαρακτήρες και να τις εισάγει σαν ηλεκτρονικά δεδομένα σε συστήματα υπολογιστών, όπου υπόκεινται σε περαιτέρω ανάλυση. Επιπλέον, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και οι δυνατότητες εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας στις σύγχρονες βιομηχανίες τροφίμων, βοηθώντας τη βελτιστοποίηση του χρόνου απόκρισης των μηχανημάτων και κατά επέκταση την αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς του τροφίμου στον τελικό καταναλωτή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη επισκόπηση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ποιοτικού ελέγχου και ασφάλειας στα τρόφιμα. Επισημαίνεται ότι ο έλεγχος της αυθεντικότητας τροφίμων δεν εξυπηρετεί μόνο τους καταναλωτές και ικανοποιεί τις νομοθετικές διατάξεις περί της ασφάλειας των τροφίμων, αλλά διαβεβαιώνει ταυτόχρονα ότι τα προϊόντα διατροφής πληρούν όλες τις προδιαγραφές ασφάλειας και συμφωνούν με τις προδιαγραφές που αναγράφονται στην ετικέτα τους. Η γνησιότητα των τροφίμων έχει άμεση σχέση με την ανιχνευσιμότητα των τροφίμων κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται και περιγράφεται μια νέα επαναστατική τεχνολογία που βασίζεται στην εικονοποίηση των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων. Η λεπτομερής εικονοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού των τροφίμων έχει σημαντικά οφέλη λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας και της διαφορετικής αλλοίωσης που χαρακτηρίζει το κάθε τρόφιμο. Έτσι, με την εικονοποίηση παρέχεται η δυνατότητα εικονικής παρακολούθησης, εικονικής διαχείρισης συμβάντων, εικονικής βελτιστοποίησης διαδικασιών και εικονικής αυτονομίας ανάλογα με τις ανάγκες που παρουσιάζονται στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων. Τέλος, αναφέρονται μελέτες περίπτωσης, στις οποίες έχει εφαρμοστεί εικονοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού, όπως και τα οφέλη που παρατηρηθήκαν ως προς την εξοικονόμηση του χρόνου διεκπεραίωσης διεργασιών στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Με βάση την ανασκόπηση της βιβλιογραφικής έρευνας διαφαίνεται μια συνεχιζόμενη τάση για ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στον κλάδο της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων. Υπάρχει έντονα η πεποίθηση ότι ο έλεγχος της ποιότητας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις επιδόσεις όλων των παραγόντων της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι νέες τεχνολογικές τάσεις επικεντρώνονται σε ζητήματα που αφορούν την ακεραιότητα των τροφίμων, την καλύτερη διαχείριση τους με στόχο τη μείωση των απωλειών και την εξασφάλιση της ποιότητας τους κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Επιπλέον, διαγράφεται μια αυξανόμενη τάση στον αριθμό των δημοσιεύσεων σε τεχνολογίες έξυπνης συσκευασίας, οι οποίες λειτουργούν με τεχνολογίες αισθητήρων, δεικτών, καθώς και με την τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων (RFID). Τέλος, τα πεδία που φαίνεται να απασχολήσουν και στο μέλλον την ερευνητική κοινότητα και τις επιχειρήσεις είναι : Η εικονοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού, η πιστοποίηση της γνησιότητας των τροφίμων και το διαδίκτυο των πραγμάτων. Το διαδίκτυο των πραγμάτων ενδέχεται να προσθέσει σημαντική αξία

στην καλύτερη διαχείριση της παραγωγής στις βιομηχανίες τροφίμων και στις εφοδιαστικές αλυσίδες αυτών, λόγω της εύκολης και της γρήγορης ανταλλαγής πληροφοριών που προσφέρει, καθώς και της παγκόσμιας διασυνδεσιμότητάς του. Η πιστοποίηση της γνησιότητας αποτελεί δικλείδα ασφαλείας για να καλύψει την ανάγκη των καταναλωτών που επιθυμούν τα προϊόντα που καταναλώνουν να συμφωνούν με τα στοιχεία των ετικετών τους. Αυτό το πεδίο αποτελεί μια νέα πρόκληση έρευνας για τις βιομηχανιών τροφίμων, που θα πρέπει να δώσουν έμφαση στη δημιουργία νέων τεχνολογιών και μεθόδων ποιότητας, ώστε να εξασφαλίσουν τη γνησιότητα των τροφίμων. Οι τεχνολογίες αυτές ενδέχεται να επηρεάσουν άμεσα τις υπάρχουσες διαδικασίες που εφαρμόζονται στην αλυσίδα εφοδιασμού. Από την πλευρά της η εικονοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού σχετίζεται με την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, τον επαναπρογραμματισμό των διαδικασιών της αλυσίδας εφοδιασμού και τον εξ' αποστάσεως, χωρίς την φυσική παρουσία, έλεγχο της. Τα τρία αυτά πεδία, τα οποία περιγράφονται και αναλύονται στη διατριβή, θα αποτελέσουν πυλώνες έρευνας και πειραματισμού τόσο στον επιστημονικό, όσο και στον επιχειρησιακό κόσμο για μια νέα γρηγορότερη και ασφαλέστερη εφοδιαστική αλυσίδα που θα ικανοποιεί ευρύτερα το καταναλωτικό κοινό.

Βιβλιογραφία

- Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. «A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture.» *Computer Standards & Interfaces*, 2014: 263 - 270.
- Ahvenainen, R. «Novel food packaging techniques.» *Journal of Food Processing and Preservation*, 2003.
- Amaral, L. A., Hessel, F. P., Bezerra, E. A., Correa, J. C., Longhi, O. B., & Dias, T. F. «eCloudRFIDeA mobile software framework architecture for pervasive RFID best applications.» *Journal of Network and Computer Applications*, 2011: 972 - 979.
- ApiTrack. *ApiTrack solutions*. 2018. <https://apitrak.solutions/>.
- Artman, R. «Electronic identification system: State-of-art and their further development.» *Computers and Electronics in Agriculture*, 199: 5 - 26.
- Atsushi, O., & Kentaro, Y. «A temperature-managed traceability system using RFID tags with embedded temperature sensors.» *Nec Technical Journal*, 2006: 82 - 86.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. «The internet of things: A survey.» *Computer Networks*, 2010: 2787 - 2805.
- Badia-Melis, R., Brecht, E., Lowe, A., & Uysal, I. «Pallet wide temperature estimation and mapping for perishable food.» *In Proceedings of the poster on annual conference ASABE*, 2013.
- Badia-Melis, R., Mccarthy, U., & Uysal, I. «Data estimation methods for predicting temperatures of fruit in refrigerated containers.» *Biosystem Engineering*, 2016.
- Badia-Melis, R., Qian, J., Fan, B., Hoyos-Echevarria, P., Ruiz-García, L., & Yang, X. «Artificial neural networks and thermal image for temperature prediction in apples.» *Food and Bioprocess Technology*, 2016: 1 - 11.
- Badia-Melis, R., Ruiz-Garcia, L., Garcia-Hierro, J., & Villalba, J. I. R. «Refrigerated fruit storage monitoring combining two different wireless sensing technologies.» *RFID and WSN*, 2015: 4781 - 4795.
- Bertacchini, L., Cocchi, M., Li Vigni, M., Marchetti, A., Salvatore, E., Sighinolfi, S., et al. «The impact of chemometrics on food traceability.» *Handling in Science and Technology*, 28, 2013: 371 - 410.
- Bevilacqua, M., Bucci, R., Magrì, A. D., Magrì, A. L., & Marini, F. «Tracing the origin of extra virgin olive oils by infrared spectroscopy and chemometrics: a case study.» *Analytica Chimica Acta*, 717, 2012: 39 - 51.
- Bhadra, S., Thomson, D. J., & Bridges, G. E. «Chemical Monitoring acidic and basic volatile concentration using a pH-electrode based wireless passive sensor.» *Sensors & Actuators: B. Chemical* 209, 2015: 803 - 810.

- Bollen, A.F., Riden, C.P., Cox, N.R.,. «Agricultural supply system traceability, Part I: role of packing procedures and effects of fruit mixing.» *Biosyst. Eng.* 98 (4), 2007: 391 - 400.
- Bonnet, C., & Simioni, M. «Assessing consumer response to Protected Designation of Origin labelling: a mixed multinomial logit approach.» *European Review of Agricultural Economics*, 28, 2001: 433 - 449.
- Bottani, E., Rizzi, A.,. «Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the fast-moving consumer goods supply chain.» *Int. J. Prod.Econ.* 112 (2), 2008: 548 - 569.
- Bulanon, D., Burks, T., & Alchanatis, V. «Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection.» *Biosystems Engineering*, 2008: 161 - 171.
- C.N. Verdouw, J. Wolfert , A.J.M. Beulens , A. Rialland. «Virtualization of food supply chains with the internet of things.» *Journal of Food Engineering* 176, 2016: 128 - 136.
- Caja, G., Collin, C., Nehring, R., & Ribo, O. «Development of a ceramic bolus for the permanent electronic identification of sheep goat and cattle.» *Computers and Electronics in Agriculture*, 1999: 45 - 63.
- Caja, G., Hernandez-Jover, M., Collin, C., Garin, D., Alabern, X.,. «Use of ear tags and injectable transponders for the identification and traceability of pigs from birth to the end of the slaughter line.» *Journal of Animal Sciences*, 2005: 2215 - 2224.
- Castro-Gir aldez, M., Balaguer, N., Hinarejos, E., & Fito, P. «Thermodynamic approach of meat freezing process.» *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2014: 138 - 145.
- Chansud, W., Wisanmongkol, J., & Ketprom, U. «RFID for poultry traceability system at animal checkpoint.» *In 5th international Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 2008.
- Chen, R. S., Chen, C. C., Yeh, K. C., Chen, Y. C., & Kuo, C. W. «Using RFID technology in food produce traceability.» *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 2008: 1551 - 1560.
- Chen, S. L., Yao, H., Han, J. P., Liu, C., Song, J. Y., Shi, L. C., et al. «Validation of the ITS2 region as a novel DNA barcode for identifying medicinal plant species.» *PLoS One*, 5, 2010.
- Chen, Y.-Y., Wang, Y.-J., & Jan, J.-K. «A novel deployment of smart cold chain system using 2G-RFID-Sys.» *Journal of Food Engineering*, 141, 2014: 113 - 121.
- Chen, Z., & Lu, C. «Humidity sensors: A review of materials and mechanisms.» *Sensor Letters*, 2005: 274 - 295.
- Chompoonoot Rukchona, Atchareeya Nopwinyuwongac , Sudsai Trevanichbc , Tunyarut Jinkarnac , Panuwat Suppakul. «Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast.» *Talanta*, 2014: 547 - 554.

- CJFoodSystem. *Cognex*. 2016. <https://www.cognex.com/applications/customer-stories/food-and-beverage/ocr---code-reading-and-verification-for-product-tracking>.
- Clarke, M.P., «Virtual logistics: an introduction and overview of the concepts.» *Int. J. Phys. Distribution Logist. Manag.* 28 (7), 1998: 486 - 507.
- Cognex. *cognex*. 2015. <https://www.cognex.com/applications/customer-stories/food-and-beverage/cognex-image-based-barcode-readers-validate-region-of-origin-of-cucumbers>.
- Consonni, R., & Cagliani, L. R. «Chapter 4-nuclear magnetic resonance and chemometrics to assess geographical origin and quality of traditional food products.» *Advances in Food and Nutrition Research*, 59, 2010: 87 - 165.
- Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sarria, D., & Menesatti, P. «A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology.» *Food and Bioprocess Technology*, 2012: 353 - 366.
- Cozzolino, D. «An overview of the use of infrared spectroscopy and chemometrics in authenticity and traceability of cereals.» *Food Research International* 60, 2014: 262 - 265.
- Crowston, K., Sieber, S., Wynn, E., Crowston, K., Sieber, S. «Virtuality and Virtualization.» *Springer, Boston*, 2007: 1 - 7.
- Curkendall, L. D. «Method and apparatus for a livestock data collection and management system.» *USA: Aginfolink Technologies Inc*, 2002.
- Datamars. *Datamars*. 2018. <https://www.datamars.com/markets/livestock-id/>.
- De Mattia, F., Bruni, I., Galimberti, A., Cattaneo, F., Casiraghi, M., & Labra, M. «A comparative study of different DNA barcoding markers for the identification of some members of Lamiaceae.» *Food Research International*, 44, 2011: 693 - 702.
- DeJarlais, L. *Asset tracking case study: Dole*. 2014.
- Drobnik, O. «Barcodes with IOS: Bringing together the digital and physical worlds.» United States: Manning (Chapter 1), 2015.
- E. Abada, , F. Palaciob, M. Nuinc, A. González de Záratec, A. Juarrosa, J.M. Gómezb, S. Marco. «RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain.» *Journal of Food Engineering*, 93, 2009: 394 - 399.
- Endres, H. E., Hartinger, R., Schwaiger, M., Gmelch, G., & Roth, M. «Capacitive CO2 sensor system with suppression of the humidity interference.» *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 57, 1999: 83 - 87.
- EPCglobal Pedigree Ratified Standard. Version 1.0*. 2007.
- Espinosa, E., Ionescu, R., Zampolli, S., Elmi, I., Cardinali, G. C., Abad, E., et al. «Drop-coated sensing layers on ultra low power hotplates for an RFID flexible tag microlab.» *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 144, 2010: 462 - 466.

Expert, Guide. *Cognex*. 2015. <https://www.cognex.com/en-tr/resources/white-papers-articles/expert-guide-optical-character-recognition-technology-for-the-food-amp-beverage-industry-10706>.

Farooq, U., Tao, W., Alfian, G., Kang, Y. S., & Rhee, J. «ePedigree traceability system for the agricultural food supply chain to ensure consumer health.» *Sustainability*, 2016: 839.

Federici, S., Fontana, D., Galimberti, A., Bruni, I., de Mattia, F., Cortis, P., et al. «A rapid diagnostic approach to identify poisonous plants using DNA barcoding data.» *Plant Biosystems e An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 2014: 1 - 9.

Fiddes, L. K., & Yan, N. «RFID tags for wireless electrochemical detection of volatile chemicals.» *Sensors and Actuators, B: Chemical* 186, 2013: 817 - 823.

Finkenzeller, K. «Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications.» Στο *RFID (2nd ed.)*. In *Handbook*. John Wiley and Sons, 2004.

FIWARE. *FIWARE*. 2015. <http://catalogue.fi-ware.org/>.

FLIR. *FLIR*. 2018. <https://www.flir.com/discover/instruments/process-quality/thermal-imaging-cameras-in-the-food-industry/>.

Forum, NFC. «NFC forum what is NFC.» 2014. <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology/>.

Gabriela Simone Lorite a, Tuula Selkälä a, Teemu Sipola a, Jesús Palenzuela b,. «Novel, smart and RFID assisted critical temperature indicator for supply chain monitoring.» *Journal of Food Engineering*, 2016.

Galagan, Y., & Su, W. F. F. F. «Fadable ink for time-temperature control of food. 2008.

Galimberti, A., De Mattia, F., Losa, A., Bruni, I., Federici, S., Casiraghi, M., et al. «DNA barcoding as a new tool for food traceability.» *Food Research International* 50, 2013: 55 - 63.

Ganjar Alfian, Jongtae Rhee, Hyejung Ahn, Jaeho Lee , Umar Farooq , Muhammad Fazal Ijaz , M. Alex Syaekhoni. «Integration of RFID, wireless sensor networks, and data mining in an e-pedigree food traceability system.» *Journal of Food Engineering*, 2017: 70.

Geers, R., Puers, B., Goedseels, V., & Wouters, P. «Electronic identification, monitoring and tracking of animals.» *Wallingford: CAB International*, 1997.

Georgios P. Danezis, Aristidis S. Tsagkaris, Federica Caminb, Vladimir Brusicc, Constantinos A. Georgiou. «Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches.» *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 85, 2016: 123 - 132.

Getahun, S., Ambaw, A., Delele, M., Meyer, C. J., & Opara, U. L. «Analysis of airflow and heat transfer inside fruit packed refrigerated shipping container: Part II Evaluation of apple packaging design and vertical flow resistance.» *Journal of Food Engineering*, 2017: 83 - 94.

- Giusti, A. M., Bignetti, E., & Cannella, C. «Exploring new frontiers in total food quality definition and assessment: From chemical to neurochemical properties.» *Food and Bioprocess Technology*, 2008: 130 - 142.
- Giusto, D., Iera, A., Morabito, G., & Atzori, L. «The internet of things: 20th tyrrhenian workshop on digital communications .» *Springer Science & Business Media*, 2010.
- Goldman, S.L., Nagel, R.N., Preiss, K. *Agile Competitors and Virtual Organizations*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.
- Gonzalez-Martin, M. I., Wells, G., Gonzalez-Perez, C., Zapata, N., Lopez-Gonzalez, F., Lobos Ortega, I., et al. «Chilean flour and wheat grain: tracing their origin using near infrared spectroscopy and chemometrics.» *Food Chemistry*15, 2014: 802 - 806.
- Gowen, A., Tiwari, B., Cullen, P., Mcdonnell, K., & O'donnell, C. «Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment.» *Trends in Food Science & Technology*, 2010: 190 - 200.
- Hai, X. B., Qing-Yao, L., Liang, Y., Run-Ting, F., Zhao-Hui, L., & Jia-Rong, P. «A practical web-based tracking and traceability information system for the pork products supply chain.» *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2007: 725-733.
- Han, J. H. «Innovations in food packaging .» Στο *A review of food packaging technologies and innovations*. Amsterdam: Ed. Elsevier Academic Press., 2013.
- Han, J. W., Badía-Melis, R., Yang, X. T., Ruiz-Garcia, L., Qian, J. P., & Zhao, C. J. «CFD simulation of airflow and heat transfer during forced-air precooling of apples.» *Journal of Food Process Engineering*, 2017.
- Heising, J. K., van Boekel, M. A. J. S., & Dekker, M. « Simulations on the prediction of cod (*Gadus morhua*) freshness from an intelligent packaging sensor concept.» *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 2015: 47 - 55.
- Hobbs, J. E., Yeung, M. T., & Kerr, W. A. «Identification and analysis of the current and potential benefits of a national livestock traceability system in Canada.» 2007.
- Hollingsworth, P. M., Graham, S.W., & Little, D. P. «Choosing and using a plant DNA barcode.» *PLoS One*, 6, 2011.
- Hong, S. I., & Park, W. S. «Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation.» *Journal of Food Engineering* 46, 2000: 67 - 72.
- Hostettor, J. «Animal-tracking chips now let you in on how Fido is feeling.» *USA Today*, 2003.
- Hu, J., Zhang, X., Moga, L. M., & Neculita, M. «Modeling and implementation of the vegetable supply chain traceability system.» *Food Control*, 2013: 341 - 353.
- Jang, N. Y., & Won, K. «New pressure-activated compartmented oxygen indicator for intelligent food packaging.» *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 2014: 650 - 654.

- Jedermann, R., & Lang, W. «The minimum number of sensors-interpolation of spatial temperature profiles in chilled transports.» *EWSN. Springer*, 2009.
- Jedermann, R., Ruiz-Garcia, L., & Lang, W. «Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation.» *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009: 145 - 154.
- Jha, S. N., Narsaiah, K., Basediya, A., Sharma, R., Jaiswal, P., Kumar, R., et al. «Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of food- a review.» *Journal of Food Science and Technology*, 2011: 387 - 411.
- Kang, Y.-S., & Lee, Y.-H. «Development of generic RFID traceability services.» *Computers in Industry*, 2013: 609 - 623.
- Karlsen, K.M., Dreyer, B., Olsen, P., Elvevoll, E.O.,. «Granularity and its role in implementation of seafood traceability.» *J. Food Eng. 112 (1e2)*, 2012: 78 - 85.
- Kato, H., Tan, K. T., & Chai, D. «Barcodes for mobile devices.» *England:Cambridge University Press (Chapter 2)*, 2010.
- Kim, Y., Jung, B., Lee, H., Kim, H., Lee, K., & Park, H. «Capacitive humidity sensor design based on anodic aluminum oxide.» *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2009: 441 - 446.
- Korir, N. K., Han, J., Shangguan, L., Wang, C., Kayesh, E., Zhang, Y., et al. «Plant variety and cultivar identification: advances and prospects.» *Critical Reviews in Biotechnology*, 33, 2013: 111 - 125.
- Kress, W. J., Wurdack, K. J., Zimmer, E. A., Weigt, L. A., & Janzen, D. H. «Use of DNA barcodes to identify flowering plants.» *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 2005: 8369 - 8374.
- Kuleuven. *biw.kuleuven*. 2018. <https://www.biw.kuleuven.be/biosyst/mebios/postharvest-group/research/engineering-applications/cold-store-design-and-control.html>.
- Kumari, L., Narsaiah, K., Grewal, M. K., & Anurag, R. K. «Application of RFID in agri-food sector.» *Trends in Food Science & Technology*, 2015: 144 - 161.
- Kuswandi, B., Jayus, Oktaviana, R., Abdullah, A., & Heng, L. Y. «A novel onpackage sticker sensor based on methyl red for real-time monitoring of broiler chicken cut freshness.» *Packaging Technology and Science*, 27, 2014: 69 - 81.
- Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Jayus, Abdullah, A., Heng, L., & Ahmad, M. «Smart packaging: sensors for monitoring of food quality and safety.» *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 5, 2011: 137 - 146.
- Labuza, T. P. «Shelf-life dating of foods.» *Westport, CT: Food and Nutrition Press*, 1982.
- Lang, W., Jedermann, R., Mrugala, D., Jabbari, A., Krieg-Brückner, B., & Schill, K. «The "Intelligent Container"-a cognitive sensor network for transport management.» *IEEE Sensors Journal*, 11, 2011: 688 - 698.

- Laniel, M., Uysal, I., & Emond, J.-P. «Radio frequency interactions with air cargo container materials for real-time cold chain monitoring.» *Applied Engineering*, 2011: 647 - 652.
- Lee, S. K., Sheridan, M., & Mills, A. «Novel UV-activated colorimetric oxygen indicator.» *Chemistry of Materials* 17(10), 2005: 2744 - 2751.
- Lee, S.-K., Mills, A., & Lepre, A. «An intelligence ink for oxygen.» *Chemical Communications*, 17, 2004: 1912 - 1913.
- Leena Kumari, K. Narsaiah, M.K. Grewal and R.K. Anurag. «Application of RFID in agri-food sector.» *Trends in Food Science & Technology* 43, 2015: 144 - 161.
- Lutjen, M., Dittmer, P., Veigt, M. «Towards quality driven distribution of intelligent containers in cold chain logistics networks.» *Garbsen: New Challenges for Product and Production Engineering*, PZH Verlag, 2012.
- Ma, H.D.,. «Internet of things: objectives and scientific challenges.» *J. Comput.Sci. Technol.* 26 (6), 2011: 919 - 924.
- Madesis, P., Ganopoulos, I., Sakaridis, I., Argiriou, A., & Tsaftaris, A. «Advances of DNA-based methods for tracing the botanical origin of food products.» *Food Research International*, 60, 2014: 163 - 172.
- Mainetti, L., Mele, F., Patrono, L., Simone, F., Stefanizzi, M. L., & Vergallo, R. «An RFID-based tracing and tracking system for the fresh vegetables supply chain.» *International Journal of Antennas and Propagation*, 2013.
- Mainetti, L., Patrono, L., & Vergallo, R. «IDA-Pay: a secure and efficient micropayment system based on Peer-to-Peer NFC technology for Android mobile devices.» *Journal of Communication Software and Systems* 8, 2012: 1 - 6.
- Mainetti, L., Patrono, L., Stefanizzi, M. L., & Vergallo, R. «An innovative and low-cost gapless traceability system of fresh vegetable products using RF technologies and EPC global standard.» *Computers and Electronics in Agricultur* 98, 2013: 146 - 157.
- Manthou, V., & Vlachopoulou. «Bar-code technology for inventory and marketing management systems: a model for its development and implementation.» *International Journal of Production Economics*, 71, 2001: 157 - 164.
- Martínez-Olmos, a., Fernandez-Salmeron, J., Lopez-Ruiz, N., Rivadeneyra Torres, a., Capitan-Vallvey, L. F., & Palma, a. J. «Screen printed flexible radio radiofrequency identification tag for oxygen monitoring.» *Analytical Chemistry* 85, 2013: 11098 - 11105.
- Masoud Ghaani, Carlo A. Cozzolino, Giulia Castelli, Stefano Farris. «An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector.» *Trends in Food Science & Technology* 51 , 2016: 1 - 11.
- McFarlane, D., & Sheffi, Y. «The impact of automatic identification on supply chain operations.» *International Journal of Logistics Management*, 14, 2003: 1 - 17.

- Meyer, G.G., Fr€amling, K., Holmstr€om, J.,. «Intelligent products: a survey.» *Comput. Industry* 60 (3), 2009: 137 - 148.
- Mike Vanderroosta, Peter Ragaert, Frank Devlieghere, Bruno De Meulenaer. «Intelligent food packaging: The next generation.» *Trends in Food Science & Technology* 39 , 2014: 47 - 62.
- Mills, A. «Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food.» *Chemical Society Reviews*, 34, 2005: 1003 - 1011.
- Mills, A., Hazafy, D., & Lawrie, K. «Novel photocatalyst-based colourimetric indicator for oxygen.» *Catalysis Today*, 161, , 2011: 59 - 63.
- Nasir, M., Norman, A., Fauzi, S., & Azmi, M. «An RFID-based validation system for halal food.» *The International Arab Journal of Information Technology*, 2011: 204-211.
- Ogasawara, A., & Yamasaki, K. «A temperature-managed traceability system using RFID tags with embedded temperature sensor.» *NEC Technical Journal*, 2006: 82 - 86.
- Ogden, R. «Fisheries forensics: the use of DNA tools for improving compliance, traceability and enforcement in the fishing industry.» *Fish and Fisheries* 9, 2008: 462 - 472.
- O'Grady, M. N., & Kerry, J. P. «Smart packaging technology. In F. Toldra (Ed.),» *Στο Meat biotechnology*, 425 - 451 . New York: Ed. Springer, 2008.
- Opasjumruskit, K., Thanthipwan, T., Sathusen, O., Sirinamarattana, PGadmanee, P., Pootarapan, E., et al. «Self-powered wireless temperature sensors exploit RFID technology.» *Pervasive Computing*, 2006: 54 - 61.
- Oprea, A., Barsan, N., Weimar, U., Bauersfeld, M. L., Ebling, D., & Wollenstein, J. «Capacitive humidity sensors on flexible RFID labels.» *Sensors and Actuators*, 2007: 2039 - 2042.
- Ordman, M. *Dole packaged foods recalls roasted garlic tomato basil soup in Texas due to undeclared milk allergen.* 2014.
- Parliament, European. «Regulation (EC) No. 178/2002 of the European Parliament and of the Council.» *Official Journal of the European Communities*, 2002: L31/1- L31/24.
- Pereira de Abreu, D. A., Cruz, J. M., & Paseiro Losada, P. «Active and intelligent packaging for the food industry.» *Food Reviews International*, 28, 2011: 146 - 187.
- Pocas, M. F. F., Delgado, T. F., & Oliveira, F. A. R. «Smart packaging technologies for fruits and vegetables.» *Στο In Smart packaging technologies*, 151 - 166. West Sussex PO19 8SQ: John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- Porter, M.E., Heppelmann, J.E.,. «How Smart Connected Objects Are Transforming Competition.» *Harvard Business Review*, November 2014.
- Potyriilo, R. a, & Morris, W. G. «Multianalyte chemical identification and quantitation using a single radio frequency identification sensor.» *Analytical Chemistry*, 79 , 2007: 45 - 51.

- Primrose, S., Woolfe, M., & Rollinson, S. «Food forensics: methods for determining the authenticity of foodstuffs.» *Trends in Food Science & Technology*, 21,, 2010: 582 - 590.
- Rasmussen, R. S., & Morrissey, M. T. «DNA-Based methods for the identification of commercial fish and seafood species.» *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 2008: 280 - 295.
- Realini, C. E., & Marcos, B. «Active and intelligent packaging systems for a modern society.» *Meat Science*, 2014: 404 - 419.
- Ren, G., Wang, S., Ning, J., Xu, R., Wang, Y., Xing, Z., et al. «Quantitative analysis and geographical traceability of black tea using Fourier transform nearinfrared spectroscopy (FT-NIRS).» *Food Research International*, 53, 2013: 822 - 826.
- Rice, J. «Dole opts for all-plastic pallets with embedded RFID.» *Packaging World*, 2010.
- Rivadeneira, A., Fernandez-Salmeron, J., Agudo, M., Lopez-Villanueva, J. a., Capitan Vallvey, L. F., & Palma, A. J. «Design and characterization of a low thermal drift capacitive humidity sensor by inkjet-printing.» *Sensors and Actuators, B:Chemical*, 195, 2014: 123 - 131.
- Roberts, L., Lines, R., Reddy, S., & Hay, J. «Investigation of polyviologens as oxygen indicators in food packaging.» *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 152,, 2011: 63 - 67.
- Robertson, G. L. Στο *Food packaging: Principles and practice (3rd ed.)*. United States of America: Taylor & Francis, 2012.
- Rosenblum, M., Garfinkel, T. «Virtual machine monitors: current technology and future trends.» *Computer* 38 (5), 2005: 39 - 47.
- Ruiz-Garcia, L., & Lunadei, L. «The role of RFID in agriculture: Applications limitations and challenges.» *Computers and Electronics in Agriculture* 79, 2011: 42 - 50.
- Rukchon, C., Nopwinyuwong, A., Trevanich, S., Jinkarn, T., & Suppakul, P. «Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast.» *Talanta*, 2014: 547 - 554.
- Salmeron, J. F., Rivadeneira, A., Agudo-Acemel, M., Capitan-Vallvey, L. F., I.Banqueri, J., Carvajal, M. a., et al. «Printed single-chip UHF passive radio frequency identification tags with sensing capability.» *Sensors and Actuators A: Physical*, 220,, 2014: 281 - 289.
- Samad, A., Murdeshwar, P., & Hameed. «High-credibility RFID-based animal data recording system suitable for smallholding rural dairy farmers.» *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010: 213 - 218.
- Schwanghart, W. *Ordinary kriging*. 2010.
- Sharmistha Bhadra, Douglas J. Thomson, Greg E. Bridges. «Monitoring acidic and basic volatile concentration using apH-electrode based wireless passive sensor.» *Sensors and Actuators B* 209, 2015: 803 - 810.

- Shellhammer, T. H., & Singh, R. P. «Monitoring chemical and microbial changes of cottage cheese using a full-history time-temperature indicator.» *Journal of Food Science*, 1991: 40 - 405.
- Skuras, D., & Vakrou, A. «Consumers' willingness to pay for origin labelled wine: a Greek case study.» *British Food Journal*, 104, 2002: 898 - 912.
- Spink, J., & Moyer, D. C. «Defining the public health threat of food fraud.» *Journal of Food Science*, 76, 2011: R157 - R163.
- Stegmeier, S., Fleischer, M., Tawil, a., Hauptmann, P., Egly, K., & Rose, K. «Mechanism of the interaction of CO₂ and humidity with primary amino group systems for room temperature CO₂ sensors.» *Procedia Chemistry*, 1, 2009: 236 - 239.
- Steinberg, M. D., Kassal, P., Tkalcec, B., & Murkovic Steinberg. «Miniaturised wireless smart tag for optical chemical analysis applications.» *Talanta*, 118, 2014: 375 - 381.
- Steuer, J. «Defining virtual reality: dimensions determining telepresence.» *J. Commun.* 42 (4), 1992: 73 - 93.
- Sun, D. W. *Modern techniques for food authentication*. Elsevier Science, 2008.
- Taoukis, P. S., & Labuza, T. P. «Applicability of time-temperature indicators as shelf life monitors of food products.» *Journal of Food Science*, 1989: 783 - 788.
- Teletchea, F., Maudet, C., & Hanni, C. «Food and forensic molecular identification update and challenges.» *Trends in Biotechnology*, 23, 2005: 359 - 366.
- Thai Vu, C. H. T., & Won, K. «Leaching-resistant carrageenan-based colorimetric oxygen indicator films for intelligent food packaging.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62, 2014: 7263 - 7267.
- Thai Vu, C. H., & Won, K. «Novel water-resistant UV-activated oxygen indicator for intelligent food packaging.» *Food Chemistry*, 140, 2013: 52 - 56.
- Trafton, A. *Detecting gases wirelessly and cheaply*. MIT News Office, 2014.
- Trebar, M., Lotri, M., Fonda, I., Pletersek, A., Kovačič, K. «RFID data loggers in fish supply chain traceability.» *International*, 2013: 1 - 9.
- Trevarthen, A. «The national livestock identification system: The importance of traceability in e-business.» *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 2007: 49 - 62.
- Trienekens, J.H., Wognum, P.M., Beulens, A.J.M., van der Vorst, J.G.A.J.,. «Transparency in complex dynamic food supply chains.» *Adv. Eng. Inf.* 26 (1), 2012: 55 - 65.
- Vandeginste, B. «7-Chemometrics in studies of food origin.» Στο *New analytical approaches for verifying the origin of food*, μοντάζ: 117 - 145. Woodhead Publishing, 2013.

Verdouw, C.N., Beulens, A.J.M., Reijers, H.A., Vorst, J.G.A.J.v.d., «A control model for object virtualization in Supply chain management.» *Comput. Industry* 68,, 2015: 116 - 131.

Verdouw, C.N., Beulens, A.J.M., van der Vorst, J.G.A.J., «Virtualisation of floricultural supply chains: a review from an internet of things perspective.» *Comput. Electron. Agric.* 99, 2013: 160 - 175.

Vergara, a., Llobet, E., Ramírez, J. L., Ivanov, P., Fonseca, L., Zampolli, S., et al. «An RFID reader with onboard sensing capability for monitoring fruit quality.» *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 2007: 143 - 149.

Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Gusmeroli, S., Sundmaeker, H., Bassi, A., et al. «Internet of things strategic research roadmap.» *Internet of Things: Global Technological and Societal Trends*, 2011.

Versari, A., Laurie, V. F., Ricci, A., Laghi, L., & Parpinello, G. P. «Progress in authentication, typification and traceability of grapes and wines by chemometric approaches.» *Food Research International*, 60, 2014: 2 - 18.

Violino, B. *Marks & Spencer rolls out RFID to all its stores*. 2013.

Voulodimos, A. S., Patrikakis, C. Z., Sideridis, A. B., Ntafis, V. A., & Xylouri, E. M. «A complete farm management system based on animal identification using RFID technology.» *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010: 380 - 388.

Wang, J., Wang, H., He, J., Li, L., Shen, M., Tan, X., et al. «Wireless sensor network for real-time perishable food supply chain management.» *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015: 196 - 207.

Wang, L., Kwok, S. K., & Ip, W. H. «A radio frequency identification and sensor-based system for the transportation of food.» *Journal of Food Engineering* 101, 2010: 120 - 129.

Welbourne, E., Battle, L., Cole, G., Gould, K., Rector, K., Raymer, S., Balazinska, M., Borriello, G. «Building the internet of things using RFID: the RFID ecosystem experience.» *IEEE Internet Comput.* 13 (3), 2009: 1089 - 7801.

Whitworth, Joseph James. *Foodnavigator*. 2017.

<https://www.foodnavigator.com/Article/2017/04/10/Bureau-Veritas-on-disruptive-Blockchain-technology>.

Wismans, W. M. G. «Identification and registration of animals in the European Union.» *Computers and Electronics in Agriculture*, 1999: 99 - 108.

Won, Nan Young Jang & Keehoon. «New pressure-activated compartmented oxygen indicator for intelligent food packaging.» *International Journal of Food Science and Technology* 49, 2014: 650 – 654.

Wong, E. H. K., & Hanner, R. H. «DNA barcoding detects market substitution in North American seafood.» *Food Research International*, 41, 2008: 828 - 837.

Woolfe, M., & Primrose, S. «Food forensics: using DNA technology to combat misdescription and fraud.» *Trends in Biotechnology*, 22, 2004: 222 - 226.

Yam, K. L. T., T. P., & Miltz, J. «Intelligent Packaging: Concepts and applications.» *Journal of Food Science*, 2005: 37 - 43.

Yam, K. L., Takhistov, P. T. W., & Miltz, J. W. «Intelligent packaging.» Στο *The Wiley Encyclopedia of packaging technology 3rd ed.*, 609. New York: John Wiley and Sons Inc., 2009.

Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz. «Intelligent packaging: concepts and applications.» *Journal of Food Science*, 70, 2005: 1 - 10.

Zampolli, S., Elmi, I., Cozzani, E., Cardinali, G. C., Scorzoni, A., Cicioni, M., et al. «Ultra-low-power components for an RFID Tag with physical and chemical sensors.» *Microsystem Technologies*, 14, 2008: 581 - 588.

Zhang, G., & Qi, M. «Neural network forecasting for seasonal and trend time series.» *European Journal of Operational Research*, 2005: 501 - 514.

Zhang, M., & Li, P. «RFID application strategy in agri-food supply chain based on safety and benefit analysis.» *Physics Procedia*, 2012: 636 - 642.

Zhao, C. J., Han, J. W., Yang, X. T., Qian, J. P., & Fan, B. L. «A review of computational fluid dynamics for forced-air cooling process.» *Applied Energy*, 2016: 314 - 331.

Zou, Z., Chen, Q., Uysal, I., & Zheng, L. «Radio frequency identification enabled wireless sensing for intelligent food logistics.» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London a: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2014: 372.