

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ
ΜΠΑΓΙΑΤΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΖΕΤΑΙ ΜΕ
ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΡΟΖΥΜΙΩΝ

ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΦΩΤΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή
του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία.

18. 09.2009

Εισηγητής.

Δρ. Κεφαλάς Πέτρος

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ
ΜΠΑΓΙΑΤΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΖΕΤΑΙ ΜΕ
ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΡΟΖΥΜΙΩΝ

ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΦΩΤΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως στόχο να μελετηθεί η επίδραση διαφόρων συνθηκών αποθήκευσης (πλαστική συσκευασία υπό κενό, πλαστική συσκευασία υπό αέριο άζωτο, πλαστική περφορέ, χωρίς συσκευασία σε θερμοκρασία δωματίου και σε χάρτινη συσκευασία) και διαφορετικών τύπων προζυμιών (*Primalive*, *Fertic Zauer*, *Zarco Zeelandia*, *Cibus 1*, *Cibus 2* και μάρτυρας μόνο με μαγιά) στο ρυθμό μπαγιατέματος του ψωμιού.

Πραγματοποιήθηκε ταχεία αρτοποιήση και έγινε μέτρηση του μπαγιατέματος μετά από 3, 24, 72 και 120 ώρες αποθήκευσης. Η μέτρηση της συμπίεστότητας (μπαγιατέματος) του ψωμιού έγινε με τα όργανα *Instron* και τεντερόμετρο (*Manual Lever Test Stand*).

Τέλος έγινε στατιστική μελέτη με τη μέθοδο ANOVA three-way για τη σύγκριση της συμπίεστότητας των δειγμάτων ψωμιού. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ποιοτική κατάταξη των ψωμιών και κατά συνέπεια των τύπων προζυμιών και των διαφόρων συνθηκών αποθήκευσης. Το προζύμι *Cibus2* (δείγμα 5) είχε την καλύτερη επίδραση στο ρυθμό μπαγιατέματος του μέχρι την 5^η μέρα αποθήκευσης. Ακολούθησαν κατά σειρά το *Cibus1* (δείγμα 4), *Fertic* (δείγμα 1), *Primalive* (δείγμα 2), *Zarco* (δείγμα 3) και τέλος ο μάρτυρας μόνο με μαγιά (δείγμα 0). Από την πλευρά των συνθηκών αποθήκευσης (συσκευασία), την καλύτερη επίδραση στο ρυθμό μπαγιατέματος την είχε η πλαστική με άζωτο (δείγμα 1) ενώ κατά σειρά ακολούθησαν η πλαστική υπό κενό (δείγμα 0), η περφορέ (δείγμα 2), η χάρτινη (δείγμα 4) και τέλος το ασυσκευάστο ψωμί (δείγμα 3). Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι από τις μετρήσεις της συμπίεστότητας μετά από 3 ώρες σε δείγματα με διάφορα προζύμια και ένα μόνο με μαγιά, ο μάρτυρας (μόνο με μαγιά) παρουσίασε πολύ μεγαλύτερη τιμή από όλα τα υπόλοιπα δείγματα που ήταν σχεδόν ίδια. Έτσι συμπεραίνουμε ότι τα προζύμια παίζουν σημαντικό ρόλο στο μπαγιατέμα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν και έχει μελετηθεί για περισσότερο από έναν αιώνα , το μαγιατέμα του ψωμιού δεν έχει εξαλειφτεί και παραμένει υπεύθυνο για τις τεράστιες οικονομικές απώλειες και στη βιομηχανία αρτοποιίας και στους καταναλωτές. Οι *Bechtel et al.*, (1953) καθόρισαν το μαγιατέμα ως «το βαθμό που δείχνει τη μειωμένη καταναλωτική αποδοχή των προϊόντων αρτοποιίας που προκαλείται από τις αλλαγές στη δομή της ψίχας λόγω της επίδρασης διάφορων μικροοργανισμών». Ενώ μια πιστοποιημένη μέθοδος (AACC 74-30; AACC 2000) της Αμερικανικής Ένωσης Χημικών των Δημητριακών προσδιορίζει το μαγιατέμα οργανοληπτικά , πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν τον ορισμό του 1953 ως γενικό ορισμό και περιγράφουν τα τμήματα της σύνθετης διεργασίας του μαγιατέματος με συγκεκριμένους όρους όπως η σκληρότητα της ψίχας, το μαγιατέμα της κρούστας και το οργανοληπτικό μαγιατέμα (*Kulp & Ponte, 1981*). Στην πραγματικότητα, ο πιο σύνηθες τρόπος μέτρησης του μαγιατέματος του ψωμιού είναι η μέτρηση της αύξησης της σκληρότητας της ψίχας , χαρακτηριστικό το οποίο αναγνωρίζεται συνηθέστερα από τον καταναλωτή. Σε αυτήν την πτυχιακή μελέτη , ο όρος «μαγιατέμα του ψωμιού» χρησιμοποιείται για να αναφερθεί στο φαινόμενο της σκληρότητας της ψίχας σε δείγματα ψωμιού σίτου μετά από 3, 24, 72 και 120 ώρες σε πέντε διαφορετικές συσκευασίες και με πέντε διαφορετικά προζύμια (και ένα μάρτυρα με μαγιά) .

Το ψωμί είναι ένα ασταθές, ελαστικό, στερεό και αφρώδες προϊόν, το στερεό μέρος του οποίου περιέχει μια συνεχή φάση που αποτελείται εν μέρει ενός ελαστικού πλέγματος διασυνδεδεμένων μορίων γλουτένης και εν μέρει των διωλισμένων πολυμερών μορίων αμύλου, κυρίως της αμυλόζης και μια ασυνεχή φάση παγιδευμένων, ζελατινοποιημένων, διογκωμένων και παραμορφωμένων κόκκων αμύλου (σίτου). Ούτε το σύστημα του ψωμιού ούτε η διεργασία του μαγιατέματος είναι ακόμα πλήρως κατανοητά σε μοριακό επίπεδο. Ακόμη και οι απλές φόρμες ζύμης ψωμιού περιέχουν διάφορα συστατικά, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να υποβληθούν σε διάφορες αλλαγές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αρτοποίησης και κατά τη διάρκεια της παλαίωσης του τελικού προϊόντος. Και ακριβώς όπως το

ψωμί είναι ένα σύνθετο, ετερογενές σύστημα και το φαινόμενο του μαγιατέματος φαίνεται να είναι σύνθετο, επειδή έρευνες σε 1 ή 2 συστατικά δε μπόρεσαν να εξηγήσουν αυτή την περίπλοκη διεργασία.

Γενικά έχει αποδεχθεί το γεγονός ότι η αναδιάταξη του αμύλου είναι υπεύθυνη για το μαγιατέμα του ψωμιού. Η αναδιάταξη του αμύλου κυρίως οφείλεται στην αναδιάταξη της αμυλοπηκτίνης. Η αμυλόζη συμβάλει στην αναδιάταξη τις 24 πρώτες ώρες μετά το ψήσιμο, (Kim & D'Appolonia 1977).

Η φυσική και μηχανική ανάμιξη, οι συνθήκες αποθήκευσης (συσκευασία και θερμοκρασία, οι χημικές αντιδράσεις (περιλαμβανομένου και ενζυμικές) και οι θερμικές επιδράσεις (χρόνος ψησίματος και θερμοκρασία) είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη φύση και τη δομή του τελικού προϊόντος, Zobel & Kulp (1996). Αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στις συνθήκες αποθήκευσης (συσκευασία και θερμοκρασία) και στην επίδραση διαφόρων ειδών προζυμιών.

Σκοπός της εργασίας ήταν η παραγωγή ψωμιών με πέντε διαφορετικά προζύμια (*Primalive, Fertic Zauer, Zarco Zeelandia, Cibus 1, Cibus 2* και *μάρτυρας μόνο με μαγιά*) σε πέντε διαφορετικές συσκευασίες (*πλαστική συσκευασία υπό κενό, πλαστική συσκευασία υπό αέριο άζωτο, πλαστική περφορέ, χωρίς συσκευασία σε θερμοκρασία δωματίου και σε χάρτινη συσκευασία*) και η μέτρηση της συμπιεστότητας (Nt) με τα όργανα *INSTRON* και τεντερόμετρο μετά από 3,24, 72 και 120 ώρες αποθήκευσης. Επίσης η εκτίμηση της καλύτερης επίδρασης του προζυμιού στο ρυθμό μαγιατέματος του ψωμιού όπως και η εκτίμηση της καλύτερης συνθήκης αποθήκευσης (συσκευασία).

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1. Αρτοποιία

2.1.1. Βασικά Συστατικά Ψωμιού

Θεμελιώδης σκοπός της αρτοποιίας είναι να μεταβάλει το αλεύρι σε μια φαγώσιμη, πεπτή και ελκυστική μορφή (ψωμί).

Τα βασικά συστατικά ενός ζυμαριού αρτοποιίας είναι το σιτάλευρο, το νερό, η μαγιά και το αλάτι (NaCl). Άλλα συστατικά που μπορούν να προστεθούν είναι διάφορα αμυλασικά και πρωτεολυτικά παρασκευάσματα, άλλα αλεύρια, θρεπτικά συστατικά για τη μαγιά, βελτιωτικά, γάλα και παράγωγα αυτού, λίπος, ξηρή γλουτένη, και πολλά άλλα (Δημόπουλος 1987).

Παρακάτω σχολιάζονται σε συντομία τα βασικά συστατικά της αρτοποιίας:

- Αλεύρι: Το πόσο δυνατό θα πρέπει να είναι ένα αλεύρι εξαρτάται από την τεχνική αρτοποιίας.
- Νερό: Η πρωτεΐνη απορροφά περισσότερο νερό από ότι οι σπασμένοι αμυλόκοκκοι και αυτοί ακόμα περισσότερο από τους άθικτους αμυλόκοκκους. Έτσι ένα αλεύρι δυνατού μαλακού σιταριού (με υψηλή σχετικά περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη) και ένα αλεύρι ημίσκληρου σιταριού (με υψηλό ποσοστό σπασμένων αμυλόκοκκων) απαιτούν περισσότερο νερό από ότι ένα αλεύρι αδύνατου μαλακού σιταριού (με λιγότερη πρωτεΐνη και μικρότερο ποσοστό Π.Σ.Α.). Ο προσδιορισμός της ικανότητας απορρόφησης νερού έχει σημαντική αξία και καθορίζει το νερό που πρέπει να προστεθεί.
- Μαγιά: Η ποιότητα της μαγιάς σχετίζεται αντίστροφα προς το χρόνο ζυμώσεως και τη θερμοκρασία του ζυμαριού. Μεγαλύτερος χρόνος ζυμώσεως απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες και μικρότερες ποσότητες μαγιάς.
- Αλάτι: Προστίθεται για να προσδώσει γεύση στο ψωμί. Επίσης, δυναμώνει τη γλουτένη (αυξάνει την συνεκτικότητα), και κατά συνέπεια καθιστά το ζυμάρι λιγότερο κολλώδες. Το αλάτι μειώνει την ταχύτητα ζύμωσης και για αυτό το λόγο ορισμένες φορές η προσθήκη του καθυστερεί μέχρι το ζυμάρι να ωριμάσει μερικώς. Επίσης, στην περίπτωση πολύ δυνατών αλεύρων, το

αλάτι είναι προτιμότερο να προστίθεται στο ζυμωτήριο στο τελευταίο πεντάλεπτο της μάλαξης, για να γίνεται αυτή ευκολότερα. «Η προστιθέμενη ποσότητα κυμαίνεται συνήθως από 1,6% έως 2,3% ποσοστό επί του αλεύρου (Δημόπουλος, 1987).

2.1.2. Προζύμια

Ένα ζυμάρι αποτελούμενο από νερό και αλεύρι μπορεί να υποστεί ζύμωση εξαιτίας της “μόλυνσής” του από μύκητες, τους επονομαζόμενους “άγριους”, οι οποίοι προέρχονται από το σιτάρι, από τον αέρα, αλλά και από γαλακτικά βακτήρια. Από την εποχή της αρχαιότητας, αυτός είναι ο ζυμωτικός παράγοντας που επέτρεψε την παρασκευή του ψωμιού.

Εδώ και λίγα χρόνια, έχει δημιουργηθεί εκ νέου ένα διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον και μια στροφή για παρασκευή προϊόντων αρτοποιίας με προζύμια, καθώς έχει αποδεδειγμένα διαπιστωθεί ότι η χρήση προζυμιού προσδίδει περισσότερα αρώματα, πλουσιότερη γεύση, και μεγαλύτερη διατηρησιμότητα.

Τα προζύμια στον κόσμο. Αρτοποιία με βάση το σιτάρι. Στη Γαλλία, ο στόχος της αρτοποιίας με προζύμι είναι η διόγκωση του ζυμαριού και η ανάπτυξη ειδικών αρωμάτων που είναι σχετικά με μια οξύτητα περισσότερο ή λιγότερο σημαντική. Επομένως, η καλλιέργεια της μικροχλωρίδας του προζυμιού προσανατολίζεται στην ανάπτυξη των ζυμομυκήτων σε σχέση με τους γαλακτοβάκιλλους (Γαλλία, Ελλάδα, Ισπανία και Κίνα).

Αρτοποιία με βάση τη σίκαλη. Στην περίπτωση αυτή, το ζητούμενο είναι ένα προζύμι με δυνατή οξύτητα. Επομένως, η καλλιέργεια προσανατολίζεται περισσότερο στην ανάπτυξη των γαλακτοβακίλλων σε σχέση με τους ζυμομύκητες (Γερμανία, Ουκρανία, Πολωνία, Ρωσία).

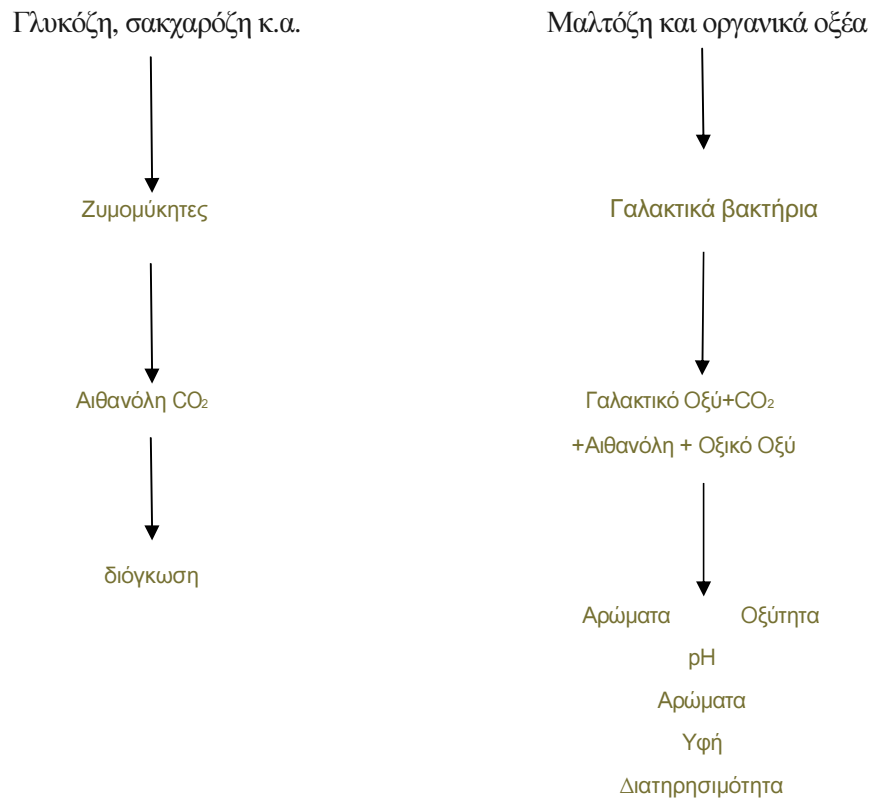
Μικροβιολογία των προζυμιών. Τα προζύμια αποτελούνται από ένα συνδυασμό ενός ή περισσότερων ειδών ζυμομυκήτων και ενός ή περισσότερων ειδών γαλακτικών βακτηρίων. Οι ζυμομύκητες περιλαμβάνουν τα παρακάτω είδη, *Saccharomyces cerevisiae* ή *Saccharomyces exigus*, *Candida Krusei*, *Candida tropicalis* ή *Candida holmi*,

Torulopsis colliculosa. Τα γαλακτικά βακτήρια περιλαμβάνουν τα είδη *Lactobacillus* *lantarum*, *Lb casei*, *Lb brevis*, *Lb bucheri*, *Lb fermentum* ή *Lb acidophilus*, *Leuconostoc mesenteroides* και *Pediococcus cerevisiae*. Αυτοί οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τα προϋπάρχοντα μόνο- και δισακχαρίδια (γλυκόζη, σακχαρόζη κ.λπ.), τη μαλτόζη που προέρχεται από την αμυλασική δραστηριότητα του ζυμαριού και επίσης, για τα γαλακτικά βακτήρια, οργανικά οξέα που υπάρχουν στο αλεύρι.

Οι ζυμομύκητες. Ο ζυμωτικός μεταβολισμός οδηγεί στην παραγωγή αιθανόλης και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που ευθύνονται για τη διόγκωση του ζυμαριού, καθώς επίσης, και για την ανάπτυξη αρωματικών συνθέτων.

Τα βακτήρια. Τα βακτήρια διακρίνονται σε δύο είδη: τα ομοζυμωτικά και τα ετεροζυμωτικά. Τα ομοζυμωτικά παράγουν αποκλειστικά γαλακτικό οξύ που ευθύνεται για τη γεύση του ψωμιού. Τα ετεροζυμωτικά παράγουν, εκτός από γαλακτικό οξύ, και την αιθανόλη με το διοξείδιο του άνθρακα, που αποτελούν τα κύρια συστατικά για την παραγωγή οξικού οξέος που επεμβαίνει σαν ενισχυτικό αρωμάτων.

(Hui *et al.* , 2006)



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση της σύστασης των προζυμιών, των ενώσεων που παράγονται κατά την αρτοποιήση και οι επιπτώσεις τους στο ψωμί.

(Hui *et al.* , 2006)

2.1.3. Βασικά στάδια Αρτοποιήσης

Στην παρασκευή του ψωμιού διακρίνουμε τρία βασικά στάδια:

- Το ζύμωμα του σιταριού(μάλαξη). Το στάδιο αυτό έχει ως σκοπό αρχικά την ανάμιξη των συστατικών του ζυμαριού και στην συνέχεια την μηχανική ανάπτυξη του πρωτεϊνικού πλέγματος, δηλαδή την τάνυση και το ξεμπέρδεμα (κατά κάποιο τρόπο χτένισμα) των αρχικά ελικοειδών μακρομορίων της γλουτένης (για τον εγκλεισμό, κατά την μετέπειτα ζύμωση, επαρκούς ποσότητας CO₂ προς δημιουργία κυψελωτής δομής). Κάθε αλεύρι υπό μορφή ζυμαριού απαιτεί έναν άριστο χρόνο μάλαξης κατά τον οποίο ένα ζυμάρι διατηρεί τη μέγιστη συνεκτικότητα του υπό συνεχή μάλαξη. Χαρακτηρίζεται ως

σταθερότητα του ζυμαριού ή αντοχή αυτού στη μάλαξη (mixing tolerance). Αν συνεχιστεί η μάλαξη του ζυμαριού πέρα του ορίου αντοχής του, τότε η συνεκτικότητα του ζυμαριού συνεχώς θα μειώνεται, λίγο ή περισσότερο, ανάλογα με την δύναμη του αλεύρου. Έτσι, το ζυμάρι τείνει να γίνει πλαδαρό και κολλώδες γιατί θα αποβάλλει νερό, επέρχεται δηλαδή η μείωση της ικανότητας απορροφήσεως νερού.

Όσο πιο δυνατό είναι ένα αλεύρι, τόσο πιο αργά αποκτά τη μέγιστη επιθυμητή συνεκτικότητά του (γίνεται πιο αργή η ενυδάτωσή του), τόσο πιο μεγάλη είναι η σταθερότητά του και τόσο πιο αργός είναι ο ρυθμός πτώσεως της συνεκτικότητάς του όταν η μάλαξη συνεχιστεί πέραν του ορίου σταθερότητας. Επίσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα απορροφήσεως νερού.

Την μέγιστη απόδοση σε ψωμί και την καλύτερη ποιότητα αυτού, παίρνουμε από το ζυμάρι του οποίου η επιθυμητή συνεκτικότητα (εξαρτάται από το προϊόν και τις συνθήκες του αρτοποιού) είναι συγχρόνως και η μέγιστη του (υπό τις αναλογίες που παρασκευάστηκε). Πολύτιμες πληροφορίες όσον αφορά στη συμπεριφορά ενός αλεύρου κατά την μάλαξη, καθώς και την ικανότητα απορροφήσεως νερού, μας δίνει ο φαρινογράφος. Τα αριθμητικά δεδομένα που θα μας δώσει η φαρινογραφία δεν ταυτίζονται βέβαια με τα δεδομένα μιας μάλαξης σε βιομηχανικό ζυμωτήριο διότι οι συνθήκες μάλαξης είναι διαφορετικές. Όταν ακολουθείται μια συγκεκριμένη τεχνική αρτοποίησης και έχουν γίνει σχετικές παρατηρήσεις και συγκρίσεις μεταξύ των τιμών της φαρινογραφίας και των δεδομένων του ζυμωτηρίου, για διάφορα αλεύρια, είναι δυνατό να καθοριστεί με ικανοποιητική επιτυχία ο χρόνος μάλαξης και η ποσότητα νερού που θα χρειαστεί. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται η προσθήκη 2% αλατιού για να γίνει η φαρινογραφία.

- Τον αερισμό του ζυμαριού(φούσκωμα). Σκοπός του αερισμού είναι ο σχηματισμός κυψελωτής και αφράτης δομής. Αυτό πετυχαίνεται με την ωρίμανση και την παραγωγή κατά αυτήν του CO₂ από την ζύμωση των απλών ζαχάρων. Κατά την ωρίμανση επέρχεται συγχρόνως περαιτέρω τάνιση των μορίων της γλουτένης από το παραγόμενο CO₂.
- Το ψήσιμο του ωριμασμένου ζυμαριού . Στο στάδιο αυτό το ωριμασμένο ζυμάρι ψήνεται για να παρασκευαστεί το τελικό προϊόν που είναι το ψωμί.

Οι διεργασίες που ακολουθούνται στο στάδιο αυτό περιγράφονται παρακάτω:

- ❖ Αρχικά, τα εγκλεισμένα αέρια κυρίως CO₂ υφίστανται διόγκωση, αυξάνοντας τον όγκο κυψελίδων. Μέρος των αερίων αυτών διαφεύγει.
- ❖ Η γλουτένη θρομβούται και στερεοποιείται, με συνέπεια τη διατήρηση κυψελωτής δομής στο ψωμί (φιξάρισμα).
- ❖ Το άμυλο ζελατινοποιείται στο μέγιστο και μετά υφίσταται μερική δεξτρίνοποίηση λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του φούρνου (220° C-250° C), ιδιαίτερα στην εξωτερική επιφάνεια (σχηματισμός πυροδεξτρινών) με συνέπεια αυτή να σκουρύνει (κόρα). Το σκούρο χρώμα της κόρας οφείλεται εν μέρει και στην αντίδραση Maillard, δηλαδή στις μελανοϊδίνες που δημιουργούνται από την αντίδραση των πρωτεϊνών και αμινοξέων με ανάγοντα ζάχαρα. Η ζελατινοποίηση του αμύλου αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να καταστεί το ψωμί φαγώσιμο και πεπτό, όπως και κάθε αμυλούχο τρόφιμο. Τότε μόνο τα αμυλολυτικά ένζυμα του πεπτικού μας συστήματος μπορούν να το διαλύσουν και έτσι να αφομοιωθεί. Οι άθικτοι αμυλόκοκκοι είναι απρόσβλητοι.
- ❖ Τέλος, δημιουργείται το άρωμα και η γεύση του ψωμιού, που προέρχονται κυρίως από την κόρα, από άγνωστες αντιδράσεις. Μεταξύ των αρωματικών ουσιών ανιχνεύονται αλδεΐδες, όπως φουρφουράλη, ακεταλδεΐδη, ισοβαλεραλδεΐδη, ισοβουτυραλδεΐδη, φαινυλακεταλδεΐδη, και υδροξυμεθυλοφουρφουράλη. Το άρωμα του ψωμιού επηρεάζεται επίσης από τα προϊόντα της αλκοολικής ζύμωσης (οργανικά οξέα, αλκοόλες, εστέρες) (Δημόπουλος, 1987).

2.1.4. Τεχνικές αρτοποιίας

Ένα ψωμί λέγεται καλό όταν έχει ικανοποιητικό όγκο, ελκυστική εμφάνιση όσον αφορά το σχήμα και το χρώμα, μαλακή δομή, ομοιόμορφη και λίγο κυψελωμένη ώστε να μασιέται εύκολα, αλλά αρκετά συνεκτική ώστε να κόβεται σε λεπτές φέτες χωρίς να θρυμματίζεται πολύ. Η παρασκευή ενός ψωμιού καλής ποιότητας εξαρτάται εν μέρει από τα χαρακτηριστικά των συστατικών του και

μερικώς από την τεχνική αρτοποιήσης. Η τεχνική συχνά εξαρτάται από την ποιότητα και την ποσότητα της γλουτένης. Οι τεχνικές αρτοποιήσης διακρίνονται στην τεχνική ταχείας αρτοποιήσης και βραδείας αρτοποιήσης.

Τεχνική της ταχείας αρτοποιήσης: στην ταχεία μέθοδο αρτοποιήσης γίνεται σύντμηση του χρόνου ωρίμανσης από τρεις ώρες σε μία. Επιπλέον, αντί για μάλαξη του ζυμαριού γίνεται μια σύντομη κυλίνδρωση αυτού για ένα με δύο λεπτά, ώστε να ομογενοποιηθεί η δομή του. Έτσι το ψωμί αποκτά μικρές και ομοιόμορφα κατανομημένες κυψελίδες. Τα ζυμαράκια που κόβονται και μορφοποιούνται από το κυλινδρισμένο ζυμάρι εισάγονται σε στόφα θερμοκρασίας περίπου 35 °C, όπου παραμένουν για μία ώρα ώστε να φουσκώσουν (Δημόπουλος, 1987).

Τεχνική της βραδείας αρτοποιήσης: στην τεχνική βραδείας αρτοποιήσης υφίσταται ένα προζύμι με ένα μέρος του αλεύρου(περίπου το ένα τρίτο έως ένα πέμπτο), με όλη τη μαγιά και επαρκή ποσότητα νερού ώστε να παραχθεί ένα ζυμάρι κανονικής συνεκτικότητας. Το αλάτι δεν προστίθεται σε αυτή τη φάση ώστε να διευκολυνθεί το φούσκωμα του ζυμαριού. Το ψωμί που παράγεται από αυτή την τεχνική θεωρείται πιο εύγεστο, το οποίο οφείλεται στη δημιουργία περισσότερων γευστικών και αρωματικών ουσιών λόγω του μεγαλύτερου χρόνου ζύμωσης (Δημόπουλος, 1987).

2.2. Δομή του ψωμιού

2.2.1 Ψίχα

Όταν το ψωμί είναι έτοιμο να βγει από το φούρνο αυτό αποτελείται από την κόρα και την ψίχα. Ωστόσο δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ της κόρας και της ψίχας αλλά υπάρχει πιθανότητα να διαχωριστεί το ψωμί σε αυτά τα δυο μέρη με καλά αποδοτικότητα. Το λευκό ψωμί έχει διαχωριστεί στην ψίχα και την εσωτερική και εξωτερική κόρα. Το εύρος της ψίχας που σχηματίζεται εξαρτάται φυσικά από το χρόνο που παραμένει το ψωμί στο φούρνο και μπορεί να κυμανθεί από 59% και πάνω του συνολικού βάρους του ψωμιού κανονικού σχήματος (υπολογισμένο επί ξηράς ουσίας).

Τελειώσαμε την προηγούμενη ενότητα περιγράφοντας δομικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της ζελατινοποίησης και της μεταβολής της γέλης σε πηκτική ύλη. Αυτή η

διεργασία επιφέρει τα κρίσιμα στάδια της μεταμόρφωσης της ζύμης σε ψωμί. Οι πιο εμφανής αλλαγές από μακροσκοπική άποψη είναι των άνοιγμα των πυρήνων με αέρα σε πορώδες υλικό και η στερεοποίηση της υδατικής φάσης. Αυτή η στερεοποίηση είναι κατά ένα μέρος λόγω της απώλειας της συνεκτικότητας όταν η γέλη της γλουτένης μετατρέπεται σε πηκτικό υλικό και κατά ένα άλλο μέρος στη ζελατινοποίηση σε ένα σύστημα στο οποίο δεν υπάρχει περίσσεια νερού έξω από τους αμυλόκοκκους.

Υπάρχουν δυο πρακτικές απόψεις της καμπυλότητας των πόρων εκτός της βασικής επίδρασης των πόρων στη δομή του ψωμιού. Η μια είναι ο μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας. Η εξάτμιση και η συμπύκνωση του ατμού μέσα στους πόρους του ψωμιού σχετίζεται με την καμπυλότητα. Η δεύτερη άποψη είναι η απορρόφηση των συστατικών που είναι υπεύθυνα για το άρωμα της ψίχας το οποίο αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια του ψήσιματος. Η σχέση μεταξύ τη απορρόφησης και της καμπυλότητας έχει μελετηθεί εκτενώς. Όταν το ψωμί έχει υψηλό περιεχόμενο λίπος το λάδι που σχηματίζεται σε υψηλές θερμοκρασίες τείνει να καλύψει την επιφάνεια του πορώδους συστήματος. Αυτή η διεργασία πραγματοποιείται με τη μείωση της επιφανειακής ενέργειας.

Προσπαθήσαμε να συσχετίσουμε το πορώδες σύστημα της ψίχας με διαφορετικές περιοδικές επιφάνειες με συνεχή καμπυλότητα. Κατά συνέπεια ένα συμμετρικό πορώδες τοίχωμα με ρευστό πυρήνα και ισορροπημένη πίεση θα έπρεπε να δώσει μια πορώδη γεωμετρία είναι ισοδύναμη με μια ελάχιστη επιφάνεια. Μια επιφάνεια εμφανίζεται κατά προσέγγιση μη ομοιογενές πορώδες πλέγμα της ψίχας. Αυτή η επιφάνεια ονομάζεται γηροειδής .

Η δομή της ψίχας χωρίζεται σε διαφορετικά επίπεδα. Η πορώδης επιφάνεια αποτελείται από ένα μονομοριακό λιπιδικό φιλμ. Το πορώδες τοίχωμα αποτελείται από μια μόνο συνεχή φάση, την ξηρή φάση του μερικώς ζελατινοποιημένου αμύλου.

Μία περιπλοκή στη διάταξη της πορώδους δομής κατά το ψήσιμο είναι μεταβολή (διαφορά) της θερμοκρασίας από το κέντρο της ψίχας προς την εξωτερική πλευρά της επιφάνειας. Η εξισορρόπηση της θερμοκρασίας δεν επιτυγχάνεται πριν φτάσει στο κέντρο της ψίχας τους 100 οC , όταν το ψωμί είναι έτοιμο. Πριν ολοκληρωθεί ένα πορώδες πλέγμα , η κλίση της θερμοκρασίας θα επιφέρει μια κλίση στην πίεση η οποία μπορεί να επηρεάσει τη δομή των πυρήνων αέρα . Μια τέτοια

κλίση του αερίου πυρήνα μπορεί να προκαλέσει το κρυσταλλικό πλέγμα να διευρυνθεί προς μια κατεύθυνση , από το κέντρο σε ένα υποθετικό κυλινδρικό ψωμί προς την επιφάνεια. Εάν ένα τέτοιο αφρώδες κρυσταλλικό πλέγμα μεταφέρεται σε ένα ανάλογο πορώδες σύστημα , η πορώδης δομή θα έδειχνε την ίδια διαστολή. Σε ένα τέτοιο ψωμί μπορεί εύκολα να αποκολληθεί η ψίχα κατά μήκος εσωτερικά.

Η κλίση της θερμότητας στο φούρνο θα πρέπει να προσαρμόζεται στη δύναμη του στρώματος της γλουτένης να σχηματίζεται εφραπτομενικά στους πυρήνες αέρα, προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο της διαστολής που περιγράφηκε (Eliasson & Larsson, 1993).

2.2.2. Κρούστα

Η κύρια διαφορά μεταξύ της ψίχας και της κρούστας είναι στις θερμοκρασίες τις οποίες αποκτούν κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Η υψηλή θερμοκρασία της κρούστας προκαλεί την εξάτμιση νερού , έτσι το περιεχόμενο νερό της κρούστας είναι πολύ χαμηλό σε σχέση με αυτό της ψίχας. Το ξηρό περιεχόμενο της κρούστας εξωτερικά μετρήθηκε και ήταν 89,9% μετά από 22 λεπτά στους 210 °C και 93,7 % μετά από 35 λεπτά. Οι αντίστοιχες τιμές για την ψίχα ήταν 56,7% μετά από 22 λεπτά και 57,3 μετά από 35 λεπτά. Αυτές οι τιμές δείχνουν ότι η επιφάνεια του ψωμιού υπόκειται σε μια διεργασία ξήρανσης.

Το περιεχόμενο νερό στην κρούστα προσλαμβάνεται κατά το ψήσιμο με απορρόφηση. Εάν προστίθεται λιγότερο νερό από το μέγιστο που μπορεί να προστεθεί, τότε και το περιεχόμενο νερό στην κρούστα είναι λιγότερο, και όταν προστίθεται περισσότερο το περιεχόμενο νερό είναι περισσότερο. Το περιεχόμενο νερό της κρούστας προσλαμβάνεται και από άλλα συστατικά. Θα αυξηθεί εάν παραληφθεί από τη συνταγή το αλάτι, η ζάχαρη και σταθεροποιητές. Επιπλέον αυξάνεται σημαντικά εάν το ποσοστό του κατεστραμμένου αμύλου αυξάνεται.

Η υψηλή θερμοκρασία στην κρούστα προκαλεί επίσης διαφόρων ειδών χημικές αντιδράσεις , αντιδράσεις οι οποίες δε πραγματοποιούνται στην ψίχα. Αυτές οι αντιδράσεις οι οποίες περιλαμβάνουν και την αντίδραση Maillard καθώς και αντιδράσεις καραμελοποίησης οι οποίες δίνουν το χαρακτηριστικό χρώμα στην κρούστα. Η αντίδραση Maillard απαιτεί την παρουσία χαμηλής ποσότητας σακχάρων

(γλυκόζης , φρουκτόζης , μαλτόζης) και μιας ομάδας αμινών (λυσίνη). Επειδή στις πρωτεΐνες σίτου η περιεχόμενη λυσίνη είναι λίγη , το μαύρισμα γίνεται με προσθήκη γάλακτος στη συνταγή. Οι αντιδράσεις καραμελοποίησης περιλαμβάνουν και τον πολυμερισμό των σακχάρων. Η υψηλή θερμοκρασία στην κρούστα προκαλεί δεξτρίνοποίηση του αμύλου και οι δεξτρίνες που σχηματίζονται μπορούν να πάρουν μέρος και σε άλλες αντιδράσεις. Το άμυλο συμμετέχει σε πολλές αντιδράσεις και είναι αξιοσημείωτο αφού το περιεχόμενο στην κρούστα είναι 74,4% ενώ στην ψίχα 75,1%. Η διαφορά αυξάνεται όταν αυξάνεται και ο χρόνος ψησίματος στα 35 λεπτά. Τότε το περιεχόμενο άμυλο στην κρούστα είναι 72,8% ενώ στην ψίχα 75,8%.

Το ψήσιμο του ψωμιού προκαλεί το σχηματισμό ανθεκτικού αμύλου. Ωστόσο ο σχηματισμός του ανθεκτικού αμύλου δε συνεισφέρει στην μείωση του περιεχόμενου αμύλου, καθώς απαιτεί ένα υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενου νερού. Αυτό είναι υψηλότερο στην ψίχα(0.95-1,02%) και μικρότερο στην κρούστα (0.30%) και η ποσότητα στην κρούστα εξωτερικά δεν επηρεάζεται από το χρόνο ψησίματος.

Από δομική άποψη η κρούστα είναι μια σκληρή , υαλώδης επιφάνεια (στρώμα) σχηματισμένη από αναδιπλωμένα πορώδη τοιχώματα. Είναι μια συνεχής ξηρή γέλη αμύλου με απορροφημένα συσσωματώματα πρωτεΐνης και λιπιδίων.

Επίσης μελετήθηκε και η σπουδαιότητα της θερμότητας. Είναι επίσης ένας παράγοντας που ρυθμίζει τη δομή της κρούστας. Εάν η κρούστα σχηματίζεται με ξήρανση πολύ γρήγορα τότε δεν μπορεί να δεχθεί ομαλά την διαστολή της ψίχας. Τότε θα σπάσει και το ψωμί θα έχει ρωγμές κατά μήκος της κρούστας.

Μια πρόσθετη λειτουργία της κρούστας είναι να προστατεύει από τη διαφυγή του αρώματος και της περιεχόμενης υγρασίας εσωτερικά (Eliasson & Larsson 1993).

2.3 Μπαγιάτεμα

Όταν το ψωμί βγαίνει από το φούρνο , μια σειρά από αλλαγές ξεκινούν οι οποίες πιθανώς να οδηγούν στην υποβάθμιση της ποιότητας. Αυτές οι αλλαγές συνολικά καλούνται μπαγιάτεμα και περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες οι οποίες εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης εκτός από τη μικροβιολογική καταστροφή. Οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται το μπαγιάτεμα από τις αλλαγές στη γεύση καθώς επίσης και την υφή του ψωμιού. Το τυπικό άρωμα του φρέσκου ψωμιού χάνεται και με την πάροδο του χρόνου αναπτύσσεται ένα χαρακτηριστικό άρωμα μπαγιατέματος.

Η κρούστα γίνεται ξηρή και σκληρή ενώ η ψίχα γίνεται μαλακή και στεγνή (Eliasson & Larsson 1993).

2.3.1. Τρόπος εμφάνισης του μπαγιατέματος

Η κρούστα και η ψίχα φθείρονται με την πάροδο του χρόνου αλλά για διαφορετικούς λόγους και αυτή η φθορά εκδηλώνεται με διαφορετικούς τρόπους. Έχει ειπωθεί ότι κατά τη διάρκεια του μπαγιατέματος η κρούστα γίνεται πιο σκληρή ενώ η ψίχα πιο μαλακή. Το μπαγιατέμα της κρούστας φαίνεται να είναι το αποτέλεσμα του λαμβανόμενης ποσότητας νερού. Από την άλλη πλευρά, το μπαγιατέμα της ψίχας δε μπορεί να εξηγηθεί τόσο εύκολα αν και έχουν γίνει πάρα πολλές έρευνες πάνω σ' αυτό.

2.3.1.1. Μπαγιατέμα της κρούστας

Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης το περιεχόμενο νερό της κρούστας αυξάνεται και είναι αποτέλεσμα της μεταφοράς ελευθέρου νερού από την ψίχα στην κρούστα. Για μια περίοδο αποθήκευσης 100 ωρών βρέθηκε ότι το περιεχόμενο νερό της κρούστας αυξήθηκε από 15% σε 28% αλλά η μείωση του περιεχόμενου νερού της ψίχας δεν ήταν σε τέτοιο βαθμό, από 45% σε 43,5%. Σε μια ζώνη κοντά στην κρούστα η μείωση ήταν πιο έντονη, από 45% σε 32%.

Η αύξηση της περιεκτικότητας νερού στην κρούστα αλλάζει τη ρεολογική της συμπεριφορά. Στο φρέσκο ψωμί η κρούστα είναι τραγανή και εύθρυπτη ενώ αντίθετα στο μπαγιατικό ψωμί η κρούστα είναι μαλακή και ελαστική. Η αλλαγή από την τραγανή στην ελαστική είναι η συνήθης αλλαγή της ρεολογικής συμπεριφοράς όταν η υαλώδης θερμοκρασία (Tg) ενός πολυμερούς υλικού μεταβάλλεται. Η αλλαγή στην κρούστα προκλήθηκε χωρίς καμία αλλαγή στη θερμοκρασία, αλλά γνωρίζουμε ότι η υαλώδης θερμοκρασία (Tg) των πηκτών αμύλου, για παράδειγμα, είναι πολύ ευαίσθητη στην περιεκτικότητα σε νερό. Το νερό δρα σαν πλαστικοποιητής και μειώνει την Tg του υλικού. Για την κρούστα το κρίσιμο σημείο θα μπορούσε να ότι στο φρέσκο ψωμί η Tg είναι πάνω από τη θερμοκρασία δωματίου, ενώ με

μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό η Tg μειώνεται κάτω από τη θερμοκρασία δωματίου με αποτέλεσμα την αλλαγή στην υφή .

Κατά τη διάρκεια του ψησίματος αναπτύσσονται πολλά αρώματα, τα οποία έχουν σαν αποτέλεσμα να δίνουν τη χαρακτηριστική οσμή στο ψωμιού. Ο σχηματισμός των αρωματικών ενώσεων εμφανίζεται σε μεγαλύτερη ένταση στην κρούστα παρά στην ψίχα. Η υψηλότερη θερμοκρασία της κρούστας σε σχέση με την ψίχα επιτρέπει την εμφάνιση αντιδράσεων του μη ενζυμικού μαυρίσματος στην περιοχή της κρούστας, ενώ το άρωμα της ψίχας μεταφέρεται εξωτερικά λόγω της ζύμωσης. Αυτές οι αρωματικές ενώσεις είναι πτητικές και εξαφανίζονται με την πάροδο του χρόνου. Ακόμα κατά της διάρκεια της φάσεως της ψύξης χάνονται σημαντικές ποσότητες αρώματος. Έτσι η αναλογία των διάφορων αρωματικών ενώσεων αλλάζει. Με το χρόνο εμφανίζεται και η χαρακτηριστική οσμή του μπαγιατέματος. Μερικά συστατικά έχουν εξατμιστεί ενώ κάποια άλλα μπορεί να έχουν συνδεθεί με το άμυλο, καθώς κάποια από τα αρώματα ανακτώνται με την αναθέρμανση (Eliasson & Larsson 1993).

2.3.1.2. Μπαγιάτεμα της ψίχας

Ενώ το μπαγιάτεμα της κρούστας σχετίζεται με την αλλαγή στο ποσοστό υγρασίας, μπαγιάτεμα της ψίχας εμφανίζεται χωρίς κάποια αλλαγή στο ποσοστό του περιεχόμενου νερού στο ψωμί. Παρ' όλα αυτά προκαλεί κάποια αλλαγή στην υφή και απώλεια αρώματος. Κάποιες από τις αλλαγές που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του μπαγιατέματος μπορούν να αναστραφούν με την αναθέρμανση του σε θερμοκρασίες από 50-70 °C.

2.3.2 Συστατικά στο αλεύρι σίτου

Για να κατανοήσουμε το μηχανισμό του μπαγιατέματος του ψωμιού είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τη φύση των κυρίως συστατικών του.

Ένας χαρακτηριστικός τύπος ψωμιού αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά: αλεύρι (σίτου ή καλαμποκιού), νερό, σάκχαρα, λίπος αρτοποιίας, αποβουτυρωμένο

γάλα σε σκόνη (ή ένα υποκατάστατο), αλάτι, μαγιά και ένα οξειδωτικό . Το αλεύρι σίτου αποτελείται κυρίως από τη γλουτένη, το άμυλο, και τις πεντοζάνες (κυρίως αραβοξυλάνες), οι οποίες είναι σημαντικοί συντελεστές στα χαρακτηριστικά της διεργασίας και του τελικού προϊόντος. Τα εγγενή λιπίδια αλευριού διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην αρτοποιία , ειδικά στην αλληλεπίδρασή τους με προστιθέμενα λίπη αρτοποιίας. Το αλεύρι σίτου αναπτύσσει μια μη αμελητέα δραστηριότητα σε αμυλάση (Rogers et al., 1988).

2.3.2.1 Πρωτεΐνη

Η ενυδατωμένη γλουτένη είναι η συνεχής φάση ζυμών αλεύρου σίτου. Κατά τη διάρκεια του ψησίματος, η γλουτένη μετουσιώνεται, και ο δεσμός (σύνδεση) πρωτεΐνης -πρωτεΐνης εμφανίζεται μέσω του σχηματισμού των δεσμών δισουλφιδίου. Το πλέγμα που προκύπτει, το οποίο συνδέεται με τους μερικώς ζελατινοποιημένους κόκκους αμύλου, είναι αυτό στο οποίο οφείλεται η ημισυμπαγής δομή των προϊόντων αρτοποιίας (Blanshard 1988).

2.3.2.2. Άμυλο

Το αλεύρι σίτου περιέχει άμυλο 84- 88% (επί ξηρού). Κατά τη διάρκεια του ψησίματος της ζύμης, οι αμυλόκοκκοι ζελατινοποιούνται , αλλά ελάχιστα με άλλο τρόπο, εκτός από την περιορισμένη διόγκωση που ακολουθείται και συμβαίνει λόγω του περιορισμένου ποσού νερού που υπάρχει στο σύστημα της ζύμης , έτσι οι παραμορφωμένοι κόκκοι αμύλου μπορούν να απομονωθούν από την ψίχα . [Σημείωση: Όταν οι αμυλόκοκκοι θερμαίνονται περίσσεια νερού, τότε διογκώνονται και κάποιο μέρος της αμυλόζης διασκορπίζεται από τους κόκκους, συμπυκνώνεται μέσα στο ενδιάμεσο νερό μεταξύ των κόκκων, και υποβάλλεται σε αναδιάταξη. Η μικρή ποσότητα αμυλόζης που διαχωρίζεται από τους κόκκους κατά τη διάρκεια του ψησίματος στο περιορισμένο σύστημα υγρασίας της ζύμης του ψωμιού αναδιατάσσεται κατά την ψύξη και έτσι γίνεται μη αποδεκτό το προϊόν . Έτσι ακόμα κι αν η αμυλόζη διυλίζει από τους κόκκους, ώσπου να έχει κρυώσει εντελώς το ψωμί, οποιοδήποτε διάμεσο ποσοστό αμυλόζης θα έχει αναδιαταχθεί (δηλαδή γίνεται

αδιάλυτη) και είναι απίθανο, επομένως, να διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο στα επόμενα στάδια του μαγιατέματος.] Ακόμη και παρουσία της περίσσειας νερού, τα μονογλυκερίδια εμποδίζουν τη διύλιση των μορίων αμυλόζης . Έτσι μπορεί να υποθεθεί ότι άλλα λίπη αρτοποιίας θα ενεργούσαν με τον ίδιο τρόπο, ειδικά στο περιορισμένο σύστημα υγρασίας του ψωμιού. Επομένως, το πρόσφατα ψημένο και κρύο ψωμί είναι ένα ελαστικό σύστημα που περιέχει τους διογκωμένους κόκκους αμύλου σίτου που είναι ακόμα κατά ένα μεγάλο μέρος ανέπαφοι, αλλά μπορεί να παραμορφωθούν (Kim & D' Appolonia 1977).

Αφ' ενός, οι παρατηρήσεις που έγιναν με τη μικροσκόπηση στο συμπέρασμα ότι, μετά από το ψήσιμο, οι περισσότεροι κόκκοι αμύλου καταστράφηκαν και τα περισσότερα μόρια αμύλου ήταν μέρος της συνεχούς φάσης, αλλά ξεχωριστά από τα πρωτεϊνικά πλέγματα (Bechtel et al. 1978).

2.3.2.3. Μη-αμυλούχοι πολυσακχαρίτες

Οι αραβινοξυλάνες και αραβινογαλακτάνες είναι οι πεντοζάνες του αλεύρου σίτου. Οι αραβινοξυλάνες διαιρούνται σε 2 κατηγορίες (τις υδροδιαλυτές και τις μη-υδροδιαλυτές) και έχουν μελετηθεί πολύ περισσότερο από ότι έχουν οι αραβινογαλακτάνες , επειδή είναι παρόντες σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και θεωρείται ότι διαδραματίζουν έναν σημαντικότερο ρόλο και κατά την προετοιμασία και κατά τη διάρκεια διατήρησης των προϊόντων αρτοποιίας. Και οι δύο κατηγορίες των αραβινοξυλανών των αλευριών σκληρού σίτου έχουν μελετηθεί με έμφαση στη δομή και στις διαφορές στη δομή ως λειτουργία των ποικιλιών (Izydorczyk & Biliaderis 2000).

2.3.3. Μηχανισμός του μαγιατέματος

Η προσοχή στρέφεται σε μια άλλη αναθεώρηση στο μηχανισμό μαγιατέματος. Το μαγιατέμα του ψωμιού περιέρχεται σε δύο κατηγορίες : το μαγιατέμα της κρούστας και το μαγιατέμα της ψίχας. Το μαγιατέμα της κρούστας προκαλείται γενικά από τη μεταφορά υγρασίας από την ψίχα στην κρούστα, με συνέπεια μια μαλακή, σκληρή υφή και γενικά λιγότερο δυσάρεστη από ότι είναι το μαγιατέμα της ψίχας (Schiraldi & Fessas 2001).

Το μπαγιάτεμα της ψίχας είναι πιο σύνθετο, σημαντικότερο, και λιγότερο κατανοητό. Η σκληρότητα της ψίχας ποικίλλει με τη θέση μέσα σε μια φραντζόλα, με τη μέγιστη τιμή να εμφανίζεται στο κέντρο του ψωμιού (Short & Roberts 1971).

2.3.3.1. Αναδιάταξη αμυλοπηκτίνης

Προτάθηκε ότι η αναδιάταξη των πολυμερών του αμύλου ήταν υπεύθυνη για το μπαγιάτεμα του ψωμιού επειδή η διάθλαση των ακτινών X του φρέσκου ψωμιού ήταν παρόμοια με εκείνη του πρόσφατα ζελατινοποιημένου αμύλου σίτου, ενώ οι τιμές του παλαιωμένου ψωμιού ήταν παρόμοιες με εκείνες του αναδιαταγμένου αμύλου. Αυτό το εύρημα οδήγησε στην υπόθεση ότι μια βαθμιαία αλλαγή στα συστατικά του αμύλου από άμορφες σε κρυσταλλικές μορφές είναι σημαντική στη διαδικασία του μπαγιατέματος. Το ποσοστό ανάπτυξης της διαύγειας στα πηκτώματα αμύλου ήταν παρόμοια στο βαθμό μπαγιατέματος του ψωμιού. Έρευνες έδειξαν ότι ο βαθμός διαύγειας της ψίχας του ψωμιού ήταν αντιστρόφως ανάλογος με την παλαιότητα του ψωμιού και, επομένως, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η κρυστάλλωση αμύλου και το μπαγιάτεμα του ψωμιού ήταν ξεχωριστές διαδικασίες.

Οι Vodovotz et al. (2002) δεν ανίχνευσαν καμία αύξηση στη μοριακή ακαμψία, δηλαδή μείωση στη μοριακή κινητικότητα, σε ένα παλαιωμένο δείγμα ψωμιού (NMR φασματοσκοπία πρωτονίων) η οποία ήταν ταυτόχρονη με μια αύξηση της ενδοθερμικής αναδιάταξης της αμυλοπηκτίνης (DSC). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι «οι διαφορές στη μοριακή κινητικότητα δεν θα μπορούσαν να υπάρχουν λόγω της επανακρυσταλλωμένης αμυλοπηκτίνης και πιθανόν λόγω του ρόλου της γλουτένης ή της ανακατανομής του νερού στις άμορφες περιοχές των δειγμάτων».

Επίσης έχει συζητηθεί εάν το τμήμα (κλάσμα) του αμύλου που συμβάλλει στο μπαγιάτεμα του ψωμιού είναι η αμυλόζη ή η αμυλοπηκτίνη. Το γραμμικό κλάσμα, το πιο εύκολα αναδιαταγμένο, η αμυλόζη, ήταν αυτό που υποπτεύθηκε πρώτο. Τα στοιχεία από τον Katz (1928) πρότειναν το σχηματισμό δίπλα-δίπλα των ενώσεων των γραμμικών μορίων αμύλου σε τύπου-B ακτινών X δείγματα παλαιωμένου ψωμιού και αναδιαταγμένου αμύλου. Ο Hixon (1943) σκέφτηκε ότι, εάν μια κηροειδής (waxy) ποικιλία σίτου ήταν διαθέσιμη, τότε το ψωμί που θα ήταν φτιαγμένο από αυτού του είδους αλεύρου δε θα παλαιώνε δεδομένου ότι θα ήταν ουσιαστικά κενό από αμυλόζη.

Θερμαίνοντας το πολυδιατηρημένο ψωμί επάνω από 50 °C μπορεί να το επαναφέρει στην αρχική φρεσκάδα του. Δεδομένου ότι η αναδιαταγμένη αμυλόζη δεν θα τήξει σε αυτή τη θερμοκρασία, η αμυλοπηκτική προτάθηκε να είναι το μέρος του αμύλου αρμόδιο για το μπαγιάτεμα. Αυτό αποδείχθηκε όταν προετοιμάστηκε το ψωμί από ένα συνθετικό αλεύρι που αποτελείται από ένα κηροειδές άμυλο αραβόσιτου και η ενεργή γλουτένη παρουσίασε μια κανονική τάση στο μπαγιάτεμα. Επίσης διαπιστώθηκε ότι το υδροδιαλυτό υλικό που θα μπορούσε να διυλιστεί από την ψίχα του ψωμιού στους 30 °C ήταν κυρίως η αμυλοπηκτική. Τα προοδευτικά αυτογενή συσσωματώματα των μορίων αμυλοπηκτικής ήταν αρμόδια για το μπαγιάτεμα. Επιπλέον, η συμβολή της αμυλοπηκτικής στο μπαγιάτεμα ήταν αμελητέα, δεδομένου ότι θεωρήθηκε ότι αναδιάτασσεται κατά τη διάρκεια της ψύξης. Ο σημαντικός ρόλος της αμυλοπηκτικής στην αναδιάταξη του αμύλου επιβεβαιώθηκε από την θερμιδομετρία (Russell 1983).

Εντούτοις, το πολυδιατηρημένο ψωμί πρέπει να θερμανθεί σε περίπου 100 °C για να αποκτήσει τη συμπιεστότητα του φρέσκου ψωμιού. Δεδομένου ότι η αναδιαταγμένη αμυλοπηκτική πρέπει να έχει τήξει ώσπου η θερμοκρασία να φτάσει τους 60 °C, η αναδιάταξη της αμυλοπηκτικής δεν μπορεί να είναι ο μόνος παράγοντας που έχει επιπτώσεις στο μπαγιάτεμα. Αναδιαταγμένο κηροειδές άμυλο καλαμποκιού (5%) προστέθηκε σε έναν τύπο ψωμιού και βρέθηκε να μειώνει τη ζελατινοποίηση και το ποσοστό μπαγιατέματος (Hibi 2001).

Από μια μελέτη, ένα αραβικό ψωμί το οποίο αποτελούνταν μόνο από αμυλοπηκτική παλαιώνει σε πιο γρήγορο ρυθμό από ότι ένα ψωμί φτιαγμένο με κανονικό άμυλο σίτου. (Toufeili et al. 1999).

Οι περισσότεροι μελετητές συμφωνούν ότι υπάρχει τουλάχιστον ένας συσχετισμός μεταξύ της αναδιάταξης/κρυστάλλωσης της αμυλοπηκτικής και του μπαγιατέματος, ακόμα κι αν τα 2 γεγονότα δεν είναι μέρος της ίδιας διαδικασίας. Το συμπέρασμά μας είναι ότι η αναδιάταξη της αμυλοπηκτικής είναι μέρος του μηχανισμού του μπαγιατέματος, αλλά δεν είναι αποκλειστικά αρμόδιο για τις αλλαγές που παρατηρούνται στην υφή του ψωμιού.

2.3.3.2. Ρόλος της αμυλόζης

Το γραμμικό μέρος του αμύλου έχει μια αμελητέα επιρροή στο μπαγιατέμα του ψωμιού και υπάρχουν στοιχεία ότι η αμυλόζη συμμετέχει με κάποιο τρόπο. Λόγω του γρήγορου ρυθμού αναδιάταξής της, προτάθηκε ότι η αμυλόζη είναι υπεύθυνη για τον καθορισμό στο αρχικής δομής της ψίχας, αλλά όχι και του μηχανισμού του μπαγιατέματος. Το πλέγμα αμυλόζης-αμυλοπηκτίνης είναι υπεύθυνο για τις αλλαγές που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της παλαίωσης της ψίχας. Μελετητές διαπίστωσαν ότι η διαλυτότητα της αμυλόζης μειώθηκε εμφανώς κατά τη διάρκεια της 1ης μέρας αποθήκευσης του ψωμιού, ενώ η διαλυτότητα της αμυλοπηκτίνης μειώθηκε σταθερά μετά την 5η μέρα της αποθήκευσης. Επίσης διαπίστωσαν ότι το ποσό διαλυτής αμυλοπηκτίνης στο φρέσκο ψωμί ήταν 5 έως 24 φορές περισσότερο από τη διαλυτή αμυλόζη, δείχνοντας ότι λίγη αμυλόζη διυλίστηκε από τους κόκκους ή ότι, ώσπου να αποκτήσει θερμοκρασία δωματίου το ψωμί ένα μεγάλο μέρος της αμυλόζης είχε γίνει αδιάλυτο λόγω της αναδιάταξης (Vodovotz et al. 2002).

Οι Ghiasi et al. (1984) άλλαξαν την αναλογία αμυλόζης-αμυλοπηκτίνης στο αλεύρι με τη χρησιμοποίηση του κηροειδούς αμύλου κριθαριού και επίσης διαπίστωσαν ότι η αμυλόζη συνέβαλε στο μηχανισμό του μπαγιατέματος αμέσως μετά την 1η μέρα. Έχει προταθεί ότι ο ρόλος της αμυλόζης στο μπαγιατέμα ψωμιού είναι μόνο για την αραίωση της αμυλοπηκτίνης ένα συμπέρασμα που συνάγεται από μια μελέτη ψωμιών που έγινε με το διασυνδεδεμένο κηροειδές άμυλο κριθαριού, το οποίο παλαίωσε σε γρηγορότερο ρυθμό από ότι τα ψωμιά μάρτυρες, ακόμα κι αν το πειραματικό ψωμί είχε παλαιώσει λιγότερο μετά από 6 ώρες. Τα στοιχεία ενάντια στο ρόλο της αμυλόζης στο μηχανισμό του μπαγιατέματος, είναι ότι ενώ το πολυδιατηρημένο ψωμί μπορεί να αναζωογονηθεί με τη θέρμανση, οι κρύσταλλοι της αμυλόζης (είτε του τύπου V είτε τύπου B) δεν τήκουν στις θερμοκρασίες που εφαρμόζονται (Izydorczyk & Biliaderis 2000).

Από μια ενδιαφέρουσα μικροσκοπική εξέταση κατά τη διάρκεια του ψησίματος, υπήρξε ένας διαχωρισμός της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης όπου η αμυλόζη συσσωρεύτηκε στα κέντρα των κόκκων, και ότι, στην παλαίωση, ζελατινοποιημένοι κόκκοι επανέκτησαν τη διπλή διάθλαση (birefringence), με την εντονότερη να παρατηρείται στα σημεία που ήταν πλούσια σε αμυλόκοκκους. [Σημείωση:

Παρατηρείται ότι η αμυλόζη συσσωρεύεται στα κέντρα των κόκκων. Μια άλλη πιθανή εξήγηση είναι ότι η αμυλόζη χάθηκε με τη διύλιση από την εξωτερική περιοχή.] Έτσι η αναδιοργάνωση της αμυλόζης ενισχύει την ακαμψία των κόκκων αμύλου κατά τη διάρκεια του μπαγιατέματος (Hibi 2001).

2.3.3.3. Σχέση μεταξύ της σκλήρυνσης της ψίχας και της αναδιάταξης αμύλου

Προτάθηκε ότι το μπαγιατέμα του ψωμιού δεν θα μπορούσε να αποδοθεί εντελώς στην αναδιάταξη του αμύλου, δεδομένου ότι η αναδιάταξη στις ζύμες είναι μια πιο αργή διεργασία από ότι είναι το μπαγιατέμα. Υπάρχει λόγος να θεωρείται ότι αναδιάταξη εμφανίζεται ευκολότερα στο ψωμί απ' ότι στις ζύμες, οι οποίες μελετώνται συχνότερα επειδή δεδομένου ότι οι κόκκοι στο ψημένο ψωμί είναι ακόμα κατά ένα μεγάλο μέρος άθικτοι, αν και παραμορφώνονται επειδή η διόγκωσή τους περιορίζεται από την έλλειψη νερού, οι μοριακές αλυσίδες τους δεν είναι εντελώς αποδεσμευμένες. Επομένως, αν και υπάρχει κάποιος βαθμός κρυσταλλικής διάσπασης, είναι πολύ ευκολότερο για τις αλυσίδες, που είναι ακόμα κοντά η μια στην άλλη και ακόμα ευθυγραμμισμένες όπως ήταν και στον εγγενή κόκκο, να επανενωθούν εάν πρόκειται για τα μόρια αμυλοπηκτινών σε μια ψημένη ζύμη, να ευθυγραμμιστούν εκ νέου και να διαμορφώσουν διαταγμένη δομή. Εντούτοις, δεν είναι γνωστό εάν η ενδοκοκκώδης επανακρυσταλοποίηση συσχετίζεται με το μηχανισμό του μπαγιατέματος. Εν προκειμένω, οι τασιενεργές ενώσεις που εμποδίζουν τη διόγκωση/ζελατινοποίηση των κόκκων λειτουργούν και ως παράγοντες κατά του μπαγιατέματος. Άλλοι έχουν εξετάσει επίσης την έννοια ότι η κρυστάλλωση αμυλοπηκτινών και το μπαγιατέμα είναι η ίδια διεργασία, ακόμα κι αν και οι δύο μπορούν να εμφανιστούν ταυτόχρονα (Baik & Chinachoti 2000).

Ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει καμία σχέση αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ της κρυστάλλωσης αμύλου και της παλαιώσης του ψωμιού. Παρατήρησαν μια αύξηση στην κρυσταλλικότητα από τη προσθήκη βακτηριακής α-αμυλάσης μαζί με τη χαρακτηριστική μείωση στο μπαγιατέμα του ψωμιού με την προϋπόθεση ότι η επίδραση της α-αμυλάσης κατά του μπαγιατέματος ήταν το αποτέλεσμα της κατάτμησης των άμορφων αλυσίδων στο κρυσταλλικό πλέγμα αμύλου (Dragsdorf & Varriano-Marston 1980).

Ο βαθμός αναδιάταξης/κρυστάλλωσης των μορίων αμύλου δεν είναι στενά συνδεδεμένος με το ποσοστό μαγιάτεματος του ψωμιού και δεν υπάρχει κάποια αλλαγή στην κρυσταλλικότητα του αμύλου με την αναθέρμανση του ψωμιού. Επιπλέον, ο βαθμός της ελαστικότητας του ψωμιού είναι εξαρτώμενος από τη θερμοκρασία, και επειδή η σχέση είναι διφασική, τουλάχιστον 2 μηχανισμοί είναι αρμόδιοι για το μαγιάτεμα του ψωμιού (Ghiasi et al., 1984).

Άλλοι έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι το άμυλο διαδραματίζει έναν ρόλο στην ενίσχυση της δομής των προϊόντων αρτοποιίας που είναι τουλάχιστον ισοδύναμος με αυτό της γλουτένης και ότι η αναδιάταξη του αμύλου είναι επαρκής για να προκαλέσει τη μαγιάτεμα του ψωμιού (Morgan et al., 1997).

Αν και τα στοιχεία που έχουν παρουσιαστεί μέχρι σήμερα δείχνουν ότι δεν υπάρχει μια άμεση σχέση αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ της αναδιάταξης του αμύλου και της σκλήρυνσης της ψίχας, οι περισσότεροι ερευνητές θεωρούν ότι η αναδιάταξη του αμύλου είναι μέρος της διεργασίας του μαγιάτεματος. Το συμπέρασμά είναι ότι η αναδιάταξη των αμυλοπηκτινών παίζει σημαντικό, αλλά όχι τον μόνο ρόλο στο μηχανισμό του μαγιάτεματος (Toufeili et al., 1999).

2.3.3.4. Ρόλος της πρωτεΐνης αλεύρου

Η πρωτεΐνη είναι ένα άλλο συστατικό που έχει μελετηθεί για το ρόλο της στο μαγιάτεμα του ψωμιού. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του αλευριού είναι ένας σημαντικός παράγοντας στο ποσοστό μαγιάτεματος του ψωμιού. Έχει προταθεί από διαφορετικούς ερευνητές ότι η πρωτεΐνη (γλουτένη) μειώνει το ποσοστό παλαίωσης του ψωμιού κατά τη διάρκεια του μαγιάτεματος και ότι εξαρτάται μόνο από τις αλληλεπιδράσεις γλουτένης-αμύλου. Τώρα γενικά θεωρείται ότι οι αλληλεπιδράσεις γλουτένης-αμύλου συμμετέχουν σε ένα ποσοστό στο μηχανισμό του μαγιάτεματος (Martin et al., 1991).

Οι Steller & Bailey (1938) δημοσίευσαν μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη και του μαγιάτεματος του ψωμιού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, παρότι και τα 2 δεν συσχετίστηκαν γραμμικά. Άλλοι επίσης έχουν διαπιστώσει ότι η αύξηση των επιπέδων πρωτεΐνης οδήγησε σε μείωση του ποσοστού παλαίωσης της ψίχας. Οι Bechtel & Meisner (1954) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μαγιάτεμα είναι ένα αποτέλεσμα 2 ξεχωριστών διεργασιών: το μαγιάτεμα κατά

τη διάρκεια των τριών πρώτων ημερών αποθήκευσης είναι το αποτέλεσμα των αλλαγών στην οργάνωση των πολυμερών μορίων αμύλου. Στη συνέχεια το μαγιατάμα προκαλείται από την απώλεια υγρασίας από τη γλουτένη. Οι Prentice et al., (1954) εξήγησαν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη θα έτεινε να μειώσει οποιαδήποτε ένωση μεταξύ των αμυλόκοκκων (διογκωμένοι και ενσωματωμένοι στο πλέγμα της γλουτένης), καθυστερώντας με αυτόν τον τρόπο τον μηχανισμό του μαγιατάματος της ψίχας. Επίσης πρότειναν ότι η γλουτένη μπορεί να χρησιμεύσει ως μια δεξαμενή υγρασίας ώστε να ρυθμίζει οποιεσδήποτε αλλαγές στην ενυδάτωση του αμύλου. Εντούτοις, δεδομένου ότι τα ψωμιά μεγάλου όγκου είναι γενικά μαλακότερα από εκείνα με μικρό όγκο, τα αποτελέσματά τους είναι δύσκολο να εξηγηθούν (Kulp & Ponte, 1981).

Ο Willhoft (1973) πρότεινε ότι η δραστηριότητα της γλουτένης κατά του μαγιατάματος οφειλόταν είτε στη διάλυση του αμύλου είτε στην επίδραση της γλουτένης ως μέσο βελτίωσης του όγκου των ψωμιών. Επίσης πρότεινε ότι οι αλληλεπιδράσεις αμύλου-γλουτένης θα μπορούσαν να αποτρέψουν την παλαιώση του ψωμιού, ενδεχομένως μέσω της σύνδεσης υδρογόνου μεταξύ των ομάδων αμιδίων της γλυαδίνης και της γλουτενίνης σίτου, και ενδεχομένως των ομάδων αλβουμίνης και υδροξυλίου του αμύλου. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αναλογία αμύλου-πρωτεΐνης στη ζύμη είναι σημαντική στον καθορισμό του ποσοστού μαγιατάματος και πρότειναν ότι κάποιο ποσοστό παλαιώσης θα εμφανιστεί ανεξάρτητα από την ποσότητα πρωτεΐνης που θα προστεθεί.

Οι Kim & D'Appolonia (1977) επίσης ανέφεραν ότι το ποσοστό μαγιατάματος του ψωμιού συσχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με την περιεκτικότητα του αλεύρου σε πρωτεΐνη. Εντούτοις, από τις τιμές της σταθεράς Avrami παρατηρήθηκε ότι ο βασικός μηχανισμός δεν επηρεάστηκε από την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, και ότι επίσης το ποσοστό μαγιατάματος είναι ανεξάρτητο από την ποιότητα πρωτεΐνης. Έτσι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αρχική επίδραση της πρωτεΐνης στη μείωση του μαγιατάματος είναι η αραίωση του αμύλου.

Διάφοροι ερευνητές έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η παλαιώση της ψίχας δεν συσχετίζεται σημαντικά με τον τύπο της πρωτεΐνης ή τη συγκέντρωσή της στο αλεύρι Gerrard et al., (2001). Με την εξέταση ενός νέου αμυλούχου ψωμιού που δεν περιείχε γλουτένη πρότεινε ότι η αναδιάταξη του αμύλου είναι επαρκής για να επηρεάσει το μαγιατάμα του ψωμιού.

Οι Every et al., (1998) πρότειναν ότι, ποιοτικά, οι αλληλεπιδράσεις αμύλου-αμύλου και οι αμύλου-πρωτεΐνης είναι ίσης σπουδαιότητας στο μηχανισμό μπαγιατέματος, αλλά ποσοτικά, οι αλληλεπιδράσεις αμύλου-αμύλου είναι σημαντικότερες αφού το συμβατικό αλεύρι σίτου περιέχει περίπου 85% άμυλο (DB). Υπέθεσαν ότι η γλουτένη δεν συμμετέχει ουσιαστικά στη διεργασία και ότι η αύξηση της παλαίωσης του ψωμιού από τις αλυσίδες μερικώς διυλισμένης αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης που συνδέονται με τους διογκωμένους, μερικώς ζελατινοποιημένους αμυλόκοκκους αλληλεπίδρασαν μέσω των δεσμών υδρογόνου με τους υπόλοιπους κόκκους αμύλου και, σε έναν μικρότερο βαθμό, με τις ίνες γλουτένης. Πειράματα έδειξαν ότι ψωμιά ισοδύναμου συγκεκριμένου όγκου παλαίωναν στον ίδιο βαθμό ανεξάρτητα από τον τύπο και τη συγκέντρωση πρωτεΐνης αλλά μεταβλήθηκαν άλλες ιδιότητες με την αλλαγή στον τύπο και τη συγκέντρωση της πρωτεΐνης στο αλεύρι (Gerrard, 2001).

Οι Vodonovt et al. (2002) αξίωσαν ότι το συστατικό του αλεύρου που είναι πρώτιστα υπεύθυνο για τις διαφορές στο ποσοστό του μπαγιατέματος είναι η γλουτένη και ότι ο ρόλος της στο μηχανισμό αυτό είναι κάτι άλλο εκτός από τη διάλυση του αμύλου. Επιπλέον, πρότειναν ότι το άμυλο και οι υδροδιαλυτές ουσίες δεν συμβάλουν σημαντικά στον καθορισμό του ποσοστού παλαίωσης.

Οι Martin et al., (1991) πρότειναν ότι το μπαγιατέμα του ψωμιού είναι ένα αποτέλεσμα της σύνδεσης υδρογόνου μεταξύ των ζελατινοποιημένων κόκκων αμύλου και του πλέγματος γλουτένης στο ψωμί που συνδέει το συνεχές πρωτεϊνικό πλέγμα και τα ασυνεχή υπολείμματα κόκκων. Θεώρησαν ότι οι αλληλεπιδράσεις διασύνδεσης δημιουργούνται κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Κατόπιν κατά τη διάρκεια της παλαίωσης, η ψίχα χάνει κινητική ενέργεια, και μαζί και ο αριθμός των αλληλεπιδράσεων και αυξήσεων της δύναμής τους. Όταν θερμαίνεται εκ νέου, η φρεσκάδα ψωμιού αποκαθίσταται επειδή οι διασυνδέσεις (δεσμοί υδρογόνου) και τα πλέγματα μεταξύ των πολυμερών μορίων γλουτένης και του αμύλου μπορούν και σπάνε εύκολα. Αυτή η θεωρία είναι σύμφωνη με τα αποτελέσματα των Dreese et al., (1988), οι οποίοι ανέφεραν ότι τα μόρια αμύλου και γλουτένης αλληλεπιδρούν κατά τη διάρκεια του ψησίματος.

Οι Gerrard et al., (1997) πρότειναν μια τροποποίηση στην υπόθεση των Martin et al., (1991). Συμφώνησαν με την υπόθεση ότι το μπαγιατέμα του ψωμιού είναι ένα αποτέλεσμα των αυξανόμενων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διογκωμένων κόκκων

αμύλου και του πλέγματος της γλουτένης. Εντούτοις, έβαλαν εμπρός την άποψη ότι η μείωση του ποσοστού μπαγιατέματος στα ψωμιά επιτυχαινόταν με την προσθήκη α-αμυλάσης δεδομένου ότι μια πρόσθετη ουσία ζύμης δεν είναι το άμεσο αποτέλεσμα των προϊόντων υδρόλυσης αμύλου (δεξτρίνες και μαλτολιγোসακχαρίτες).

2.3.4. Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στο μπαγιάτεμα

2.3.4.1. Θερμοκρασία αποθήκευσης

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό γνώρισμα του ψωμιού είναι ότι το ποσοστό μπαγιατέματος έχει έναν αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια, το ποσοστό μπαγιατέματος επιταχύνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες αποθήκευσης. Το μπαγιάτεμα του ψωμιού συσχετίστηκε με την επανακρυστάλλωση του αμύλου στις θερμοκρασίες αποθήκευσης -1, 10, και 21 °C, ενώ ο ρόλος της κρυστάλλωσης του αμύλου στο μπαγιάτεμα ελαττώθηκε στις υψηλότερες θερμοκρασίες (32 και 43 °C) (Martin et al., 1991).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες διεργασίες για τα προϊόντα αρτοποιίας ταχείας-κατάψυξης, κατόπιν τα αφήνουν να σταθεροποιηθούν συνθήκες περιβάλλοντος προκειμένου να μειωθεί ο βαθμός μπαγιατέματος όταν το προϊόν συντηρηθεί σε θερμοκρασία δωματίου, Williams et al., (1995). Η κατάψυξη καθυστερεί το μπαγιάτεμα. Η επίδραση είναι πιο μεγάλη όσο πιο μεγάλος είναι και ο χρόνος κατάψυξης. Η επίδραση της κατάψυξης ήταν επιπλέον αυτής της προσθήκης μονογλυκεριδίου.

Η θεωρία αύξησης πολυμερούς κρυστάλλου δηλώνει ότι υπάρχουν 3 φάσεις στην πολυμερή κρυστάλλωση: σχηματισμός πυρήνα , διάδοση (εξάπλωση) , και ωρίμανση. Ο Blanshard (1988) έχει καθορίσει ότι η επανακρυστάλλωση των αμυλοπηκτινών, τουλάχιστον σε συμπυκνωμένες ζύμες , είναι μια διεργασία που εκδηλώνεται σε θερμοκρασίες πάνω από την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g) ή την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης του συμπυκνωμένου με κατάψυξη αμύλου (T_g') (περίπου στους -5 °C) όταν η συμπύκνωση του αμύλου είναι μικρότερη από 70% και κάτω από τη θερμοκρασία τήξης (T_m) της κρυσταλλικής αμυλοπηκτίνης (περίπου 60 °C). Ο μεγαλύτερος βαθμός σχηματισμού πυρήνα

εμφανίζεται σε θερμοκρασίες λίγο μεγαλύτερες της T_g ενώ ο μεγαλύτερος βαθμός της διάδοσης εμφανίζεται σε θερμοκρασίες λίγο μικρότερες από την T_m της κρυσταλλωμένης αμυλοπηκτίνης.

Ο βαθμός της αναδιάταξης του αμύλου κάτω από ισοθερμικές συνθήκες είναι μεγαλύτερος σε θερμοκρασία μεταξύ της βέλτιστης θερμοκρασίας για σχηματισμό πυρήνα και διάδοσης (περίπου 5°C για 50% ζύμη). Η κατάσταση μπορεί να είναι λίγο διαφορετική στο ψωμί. Η επιλογή κατάλληλης θερμοκρασίας γίνεται για την επιτάχυνση του μαγιατέματος στην παραγωγή κρουτόν. Το γεγονός ότι η κατάλληλη θερμοκρασία είναι τόσο ουσιαστική στην επιτάχυνση του μαγιατέματος είναι η απόδειξη της ανάμιξης της κρυστάλλωσης του πολυμερούς αμύλου (Marsh & Blanshard 1988).

2.3.4.2. Μετακίνηση υγρασίας

Το νερό συμμετέχει στις παρακάτω αλλαγές στο σύστημα του ψωμιού: ξήρανση, εξισορρόπηση υγρασίας μεταξύ ψίχας και κρούστας και ανακατανομή υγρασίας μεταξύ και ενδιάμεσα των συστατικών του ψωμιού. Η ξήρανση του ψωμιού δεν ερμηνεύει το μηχανισμό του μαγιατέματος αλλά μπορεί να επιταχύνει αλληλεπιδράσεις που να οδηγούν στο μαγιατέμα. Έτσι μεταβολές στην υγρασία της ψίχας είναι σημαντικές για τη διεργασία του μαγιατέματος (Kulp & Ponte 1981).

Παρασκευαστές ψωμιού στην Αμερική περιορίζουν το ποσοστό υγρασίας στο λευκό ψωμί στο 38% αν και τα ψωμιά με μεγαλύτερη υγρασία γενικά παλαιώνουν πιο αργά. Αυτή η αντίστροφη αναλογία μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και του βαθμού μαγιατέματος επιβεβαιώθηκε, αν και ο βαθμός αναδιάταξης του αμύλου στο ψωμί βρέθηκε ότι είναι απολύτως ανάλογος με την περιεχόμενη υγρασία. Επίσης επιβεβαιώθηκε ότι η αναδιάταξη σε γέλη αμύλου σίτου ήταν μια ένδειξη του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας. Επίσης η περιεχόμενη υγρασία στο ψωμί είναι περίπου η βέλτιστη για την αναδιάταξη της αμυλοπηκτίνης και η προσθήκη είτε μονογλυκεριδίων είτε λιπών αρτοποιίας δε θα μεταβάλουν τη διαθέσιμη περιεχόμενη υγρασία (Kulp & Ponte 1981).

Οι Schiraldi & Fessas (2001) επικέντρωσαν τη μελέτη τους στη περιεκτικότητα νερού (από την οποία εξαρτάται η κινητικότητα των πολυμερών αλυσίδων), την

ενεργότητα νερού, τη μετακίνηση υγρασίας μεταξύ των φάσεων και την κυψελοειδή δομή της ψίχας του ψωμιού. Τα συμπεράσμα ήταν ότι η γενική εικόνα της ψίχας θα μπορούσε να περιγραφεί ως διαποτιζόμενα (αλληλοδιαπερατά) γέλη διαχωρισμένα από υδατικές φάσεις οι οποίες περιέχουν τις περισσότερες από τις ενώσεις με μικρό μοριακό βάρος. Αυτό το νερό είναι αρκετά κινητικό και μπορεί να προάγει κοινές μετακινήσεις των ασύμβατων φάσεων γέλης, κατά συνέπεια λειτουργώντας ως πλαστικοποιητής (πλαστικοποιητική ουσία) και μπορεί να εντείνει τη μετακίνηση υγρασίας από την ψίχα στην κρούστα. Αυτή η τοπική (μερική) ξήρανση κάνει τα τοιχώματα της κυψελοειδούς ψίχας πιο δύσκαμπτα, ενώ η ταυτόχρονη αύξηση υγρασίας μέσα στην περιοχή της κρούστας συνοδεύεται από μια μείωση της τραγανότητας (ευθρυπτότητας) ακόμα και όταν αποτρέπεται η γενική απώλεια υγρασίας μέσω της αποθήκευσης του ψωμιού σε αεροστεγής συσκευασίες. Κατά μήκος της πορείας προς την κρούστα, το νερό μπορεί να συμβάλει σε μια πιο στενή δομή μέσω της οποίας κινείται, είτε μέσα σε μια δεδομένη φάση είτε στις ενδιάμεσες φάσεις, με τη σκλήρυνση των περιοχών που μπορούν να δημιουργήσουν δεσμούς H. Αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει γιατί τα ψωμιά που αναθερμαίνονται γίνονται πιο μαλακά όταν η θερμοκρασία τους φτάνει πάνω από την T_g αλλά κατόπιν γίνονται πιο σκληρά από το αρχικό παλαιωμένο ψωμί. Επίσης εξηγείται γιατί το αναθερμασμένο ψωμί παρουσιάζει πιο γρήγορο ρυθμό μαγυατιάματος χωρίς σημαντική αύξηση της κρυστάλλωσης της αμυλοπηκτίνης.

A) Ανακατανομή της υγρασίας ψίχας - κρούστας. Καθώς το ψημένο ψωμί αρχίζει να ψύχεται, η υγρασία στο εσωτερικό του αρχίζει να μεταβάλλεται. Διαφορές στις πιέσεις ατμών μεταξύ της κρούστας και του εσωτερικού τμήματος του ψωμιού έχουν ως αποτέλεσμα την μετακίνηση υγρασίας από την ψίχα στην κρούστα. Με την πάροδο του χρόνου, η περιεχόμενη υγρασία στο κέντρο του ψωμιού μειώνεται, ενώ στο εξωτερικό τμήμα του αυξάνεται (Piazza & Masi 1995).

Οι Baik & Chinachoti (2000) διαπίστωσαν ότι το ψωμί που αποθηκεύτηκε με την κρούστα του έγινε σημαντικά πιο σκληρό από το ψωμί που αποθηκεύτηκε χωρίς την κρούστα του και περιείχε περισσότερη επανακρυσταλλωμένη αμυλοπηκτίνη, δείχνοντας ότι η ανακατανομή υγρασίας από το ψίχουλο στην κρούστα διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στο μαγυιάτεμα, ένα συμπέρασμα που επιβεβαιώνεται από μια απώλεια υγρασίας στην ψίχα του ψωμιού που αποθηκεύτηκε με την κρούστα.

B) Ανακατανομή της υγρασίας μεταξύ των συστατικών. Η μετακίνηση υγρασίας από ένα συστατικό της ψίχας σε ένα άλλο, έχει γενικά αποδεχθεί σαν ένας παράγοντας που συμβάλει στο μαγαιάτεμα, πιθανόν υπεύθυνο για την παρατηρούμενη ξηρότητα στο παλαιωμένο ψωμί. Το νερό είναι μια πλαστικοποιητική ένωση (πλαστικοποιητής) το οποίο κάνει τα συστατικά του ψωμιού πιο ελαστικά. Έτσι καθώς το νερό μετακινείται (από τη γλουτένη ή το άμυλο ή και τα δυο) εμφανίζεται μια αυξανόμενη σκληρότητα (ευθρυπτότητα) στην ψίχα. Η πλειοψηφία των πειραμάτων απέδειξε ότι υπάρχει μεταφορά υγρασίας από τη γλουτένη στο άμυλο καθώς το άμυλο κρυσταλλώνει.

Οι έννοιες του «ελεύθερου» και «δεσμευμένου» νερού έχουν αναφερθεί για να είναι σημαντικοί στην αλλαγή του ποσοστού ή της έκτασης του μαγαιατέματος στο ψωμί. Πρόσφατα με τη χρήση της μεθόδου NMR και της κατανόησης του ρόλου και του μηχανισμού της κρυστάλλωσης του πολυμερούς αμύλου συμπεράναμε ότι το άμυλο δεσμεύει νερό από τη γλουτένη καθώς το μαγαιάτεμα εξελίσσεται. Καθώς το άμυλο αλλάζει σε μια πιο κρυσταλλική μορφή, περισσότερα μόρια νερού ακινητοποιούνται λόγω της ενσωμάτωσης στην κρυσταλλική δομή (Baik & Chinachoti 2000).

Οι Vodonovt et al. (2002) μελέτησαν το ρόλο του νερού στη διεργασία του μαγαιατέματος. Στηρίχτηκαν στον μηχανισμό της κρυστάλλωσης πολυμερών, την κινητική της κρυστάλλωσης ως μια ένδειξη της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης και της θερμοκρασίας τήξης το νερό ως πλαστικοποιητής και τα σάκχαρα ως μη-πλαστικοποιητές στο σύστημα. Στάθηκαν στο γεγονός ότι εάν μια ικανοποιητική συσκευασία αποτρέπει την απώλεια υγρασίας, ο επικρατών μηχανισμός μαγαιατέματος της ψίχας είναι η χρόνο-εξαρτημένη επανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης από μια εντελώς άμορφη περιοχή από ένα πρόσφατα θερμαινόμενο προϊόν στην μερικώς κρυσταλλική περιοχή του παλαιωμένου προϊόντος, με ανακατανομή της υγρασίας και σκλήρυνση της υφής.

Φαίνεται ξεκάθαρα ότι η μετακίνηση υγρασίας μεταξύ των συστατικών, ιδίως της γλουτένης και του αμύλου, εμφανίζεται καθώς το ψωμί παλαιώνει. Ωστόσο κάποιες άλλες αλλαγές στα φυσικά συστατικά του ψωμιού δεν έχουν ακόμα ερευνηθεί.

2.3.4.3. Παράγοντες της επεξεργασίας

Έχουν μελετηθεί κάποιες επιδράσεις που έχουν τεχνολογικοί παράγοντες , οι οποίοι περιλαμβάνουν μεθόδους παρασκευής, συνταγές και λειτουργικά βήματα της διεργασίας, στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και το μαγατιάτεμα του ψωμιού (Kulr and Ponte, 1981).

Η θερμοκρασία ψησίματος επιδρά στον βαθμό μαγαγιατέματος του ψωμιού. Ψωμί το οποίο ψήνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες παλαιώνει με πιο αργό ρυθμό από την άποψη κ της σκλήρυνσης της ψίχας και της αναδιάταξης του αμύλου. Υψηλότερες θερμοκρασίες ψησίματος επιτρέπουν την αύξηση της πρωτεϊνικής μετουσίωσης και τη διάσπαση των αμυλόκοκκων. Όσο υπάρχει υγρασία στο ψωμί , η θερμοκρασία στο εσωτερικό του δε μπορεί να ξεπεράσει το σημείο βρασμού του νερού ανεξάρτητα την θερμοκρασία του φούρνου. Ωστόσο η θερμοκρασία του φούρνου μπορεί να επιδράσει στο βαθμό της αύξησης της θερμοκρασίας του ψωμιού, και κατά συνέπεια στο χρόνο ψησίματος στη μέγιστη θερμοκρασία. Οι μελετητές πρότειναν ψήσιμο σε μικρή πίεση για να επιτευχθεί ψήσιμο της ψίχας σε θερμοκρασίες μικρότερες από 100 °C, το οποίο μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια συντήρησης του ψωμιού (Giovanelli et al. 1997).

Σε μια μελέτη των επιδράσεων των διεργασιών βρέθηκε ότι ο βαθμός και το ποσοστό του μαγαγιατέματος μειώθηκε καθώς αυξήθηκε ο όγκος του ψωμιού αποθηκευμένο στην ίδια θερμοκρασία και παρασκευασμένα με ίδια συστατικά, αλλά με διαφορετικές διεργασίες (και αποθηκευμένα στην ίδια θερμοκρασία), παλαιώσαν σε διαφορετικό ποσοστό λόγω των διαφορών στον όγκο (Axford et al., 1968).

2.4. Μέθοδοι μέτρησης του βαθμού μαγαγιατέματος

Υπάρχουν μέθοδοι με όργανα που μπορεί να μετρηθεί το μαγατιάτεμα του ψωμιού. Ανάμεσα σε αυτές τις μεθόδους είναι οι μετρήσεις της σκληρότητας , μέτρηση της περίθλασης ακτινών X , θερμικές μέθοδοι και ο προσδιορισμός της ενζυματικής ευαισθησίας και εκχυλισιμότητας του αμύλου από το ψωμί.

2.4. 1. Συμπιεστότητα

Στις μετρήσεις της σκληρότητας της ψίχας , μια φέτα ψωμιού συμπιέζεται και καταγράφεται η δύναμη η οποία απαιτείται για μια προκαθορισμένη συμπίεση. Οι μετρήσεις επίσης μπορούν να γίνουν και αντίστροφα και μπορούν να υπολογιστούν με συντελεστή ελαστικότητας ή το μοντέλο του Young. Ρεολογικά αποτελέσματα από διάφορα όργανα πιθανόν να είναι μη συγκρίσιμα. Αποτελέσματα τα οποία καταγράφονται υπό σταθερή πίεση μπορούν να βγάλουν ασφαλή συμπεράσματα για το βαθμό μπαγιατέματος. Αυτές οι μετρήσεις δείχνουν ότι η σκληρότητα της ψίχας αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Είναι προφανές ότι οι αλλαγές είναι πιο εμφανής την πρώτη μέρα , ενώ στη συνέχεια αυτές συνεχίζουν με πιο αργό ρυθμό. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Για παράδειγμα ο όγκος του ψωμιού επηρεάζει αυτές τις μετρήσεις, όσο χαμηλότερος είναι ο ειδικός όγκος τόσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής της σκληρότητας του ψωμιού. Είναι επομένως δύσκολο να συγκριθούν διαφορετικοί τύποι ψωμιών με αυτές τις μεθόδους. Το ψωμί το οποίο είναι πιο μαλακό με αυτές τις μετρήσεις δεν είναι απαραίτητα και πιο φρέσκο. Η τιμή της σκληρότητας εξαρτάται από τη θερμοκρασία και στους -20 οC το μπαγιάτεμα αναστέλλεται. Ο υψηλότερος ρυθμός μπαγιατέματος πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες γύρω στους -2 οC και το ψωμί θα διατηρηθεί μαλακό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αν διατηρηθεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Εάν το μπαγιάτικο ψωμί θερμανθεί σε θερμοκρασίες από 60-100 °C θα ξαναγίνει όπως πριν και σχεδόν το ίδιο μαλακό. Ωστόσο στο ψωμί που έχει αναθερμανθεί επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ταχύτητα μπαγιατέματος. Ένα ψωμί αποθηκευμένο 5 μέρες και που έχει αναθερμανθεί στους 80 °C και στη συνέχεια αποθηκεύεται για άλλες 2 μέρες έδειξε το ίδιο βαθμό μπαγιατέματος με το αντίστοιχο ψωμί αποθηκευμένο για 7 μέρες (Eliasson & Larsson, 1993).

2.4. 2. Διαλυτό άμυλο

Εάν το ψωμί διυλιστεί με αποσταγμένο νερό , τότε εξάγονται κάποια ποσά από υδροδιαλυτές ουσίες. Η ποσότητα που εξάγεται εξαρτάται από το ποσοστό πρωτεΐνης που περιέχει το αλεύρι , τη θερμοκρασία αποθήκευσης και την «ηλικία» της ψίχας. Για έναν τύπο ψωμιού μετρήθηκε μια μείωση από 3,34% του υδροδιαλυτού αμύλου στο φρέσκο ψωμί σε 1.22 % μετά από 5 μέρες. Η σύνθεση του διαλυτού αμύλου επίσης αλλάζει με το χρόνο και τη θερμοκρασία. Η αναλογία της αμυλόζης στη

διαλυτό άμυλο μειώθηκε από 15,6% στο φρέσκο ψωμί σε 8,2% στην 5η μέρα και συνεπώς η αναλογία της αμυλοπηκτικής στο διαλυτό άμυλο αυξήθηκε. Σε μια πιο λεπτομερή ανάλυση φάνηκε ότι η περιεχόμενη αμυλόζη στο διαλυτό άμυλο μειώθηκε από 23,9% μετά από 0,1 ώρα σε 16,7% μετά από 2 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου. Επιπλέον αποθήκευση προκάλεσε μείωση στο 12% σε 5 ώρες αλλά από εκεί και μετά δεν υπήρχε καμία μείωση στο ποσοστό αμυλόζης (Eliasson & Larsson, 1993).

2.4. 3. Μετρήσεις ακτινών X

Η πρότυπη σκέδαση των ακτινών X ενός φρέσκου ψωμιού παρουσιάζει μια άμορφη δομή αλλά με το χρόνο εμφανίζεται μια πρότυπη περίθλαση ακτινών X τύπου B. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται σε ζύμες δείχνοντας την επίδραση της κρυστάλλωσης του αμύλου στην διεργασία του μπαγιατέματος. Το ζελατινοποιημένο άμυλο στο ψωμί επίσης δίνει μια αύξηση στην περίθλαση των ακτινών X τύπου V λόγω του πλέγματος λιπιδίων-αμυλόζης. Η πρότυπη περίθλαση δεν αλλάζει κατά την αποθήκευση του ψωμιού. Η προσθήκη γαλακτωματοποιητών θα έχει ως αποτέλεσμα την κρυσταλοποίηση. Η μεταβολή στη σχετική κρυσταλλικότητα του αμύλου κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης είναι αυξητική. Όταν το ψωμί αναθερμανθεί, η περίθλαση ακτινών X του τύπου B χάνεται και επικρατεί η άμορφη διάταξη (μαζί με αυτή του τύπου V) που αντιστοιχεί στο φρέσκο ψωμί (Eliasson & Larsson, 1993).

2.4. 4. Θερμική ανάλυση

Η θερμική ανάλυση έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για τη μελέτη της αναδιάταξης του αμύλου καθώς επίσης και στο μπαγιάτεμα του ψωμιού. Από τις θερμοανλυτικές μεθόδους, η θερμιδομετρία διαφορικής ανίχνευσης (DSC) και η διαφορική θερμική ανάλυση (DTA) έχουν αποδειχθεί τα πιο χρήσιμα στην παροχή των βασικών πληροφοριών για την αναδιάταξη του αμύλου (Karim και άλλοι 2000). Επειδή και οι δυο μέθοδοι μετρούν τη διαφορική θερμοκρασία ή ροή θερμότητας σε ή από ένα δείγμα εναντίον ενός υλικού αναφοράς ως λειτουργία του χρόνου, και οι δύο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν τέτοιες αλλαγές όπως τις μεταβάσεις φάσης, μοριακές διαμορφωτικές αλλαγές, αλληλεπιδράσεις με άλλα συστατικά, και την πυρολυτική αποικοδόμηση του δείγματος. Εξειδικευμένα όργανα DSC,

συμπεριλαμβανομένου διαμορφωμένων DSC και DSC πόλωσης, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν (Schenz & Davis 1998).

Όταν δείγματα παλαιωμένου ψωμιού θερμαίνονται σε μια συσκευή DSC, παρατηρείται ένα ενδόθερμο καθώς η αμυλοπηκτική φθάνει στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης ή/και της θερμοκρασίας τήξεως και έτσι μπορεί να μετρηθεί η διαφορά ενθαλπίας που σχετίζεται με αυτή τη μετάπτωση. Επειδή τα χρονικά διαστήματα για την ανάπτυξη ενδόθερμου και για την αύξηση στη σκληρότητα της ψίχας ψίχουλου είναι σχεδόν ίδια, η μέθοδος DSC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει το μπαγιάτεμα του ψωμιού ποσοτικά (Eliasson & Larsson, 1993).

Η ανάλυση DTA χρησιμοποιήθηκε για να διερευνηθεί το μπαγιάτεμα ψωμιού. Μια εμφάνιση ενδόθερμου, που ήταν απύσαστα στα φρέσκα δείγματα ψωμιού, αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, και οι αυξήσεις στη μέγιστη τιμή ήταν ανάλογες προς τις αυξήσεις στο μπαγιάτεμα του ψωμιού. Επειδή μια αύξηση στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g) της ψίχας του ψωμιού που αποθηκεύτηκε για διαφορετικούς χρόνους συσχετίστηκε (96.53%) με μια αύξηση στο βαθμό παλαιότητας του ψωμιού όπως μετρήθηκε με μέθοδο συμπίεσης, βγήκε το συμπέρασμα ότι η μέτρηση της T_g κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του ρυθμού μπαγιάτεματος. Με τη μέθοδο DSC για το άμυλο θα μπορούσε να προσεγγιστεί η ζελατινοποίηση κατά τη διάρκεια του ψησίματος, δεδομένου ότι και στις δύο περιπτώσεις οι ζελατινοποιημένοι αμυλόκκοκοι είναι διογκωμένοι, αλλά όχι διαλυμένοι. Κατά συνέπεια, οι συνθήκες της ζελατινοποίησης βρίσκονται πιο κοντά για τη μέτρηση σε θερμοδομητροπή κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Αντίθετα από τις μετρήσεις συμπίεστικότητας, η ανάπτυξη ενδόθερμου δεν φαίνεται να εξαρτάται από τον ειδικό όγκο των ψωμιών (Eliasson & Larsson, 1993).

Άλλα θερμοανλυτικά όργανα περιλαμβάνουν θερμοβαρυμετρικές αναλύσεις (TGA), θερμομηχανικές αναλύσεις (TMA) και δυναμικές μηχανικές αναλύσεις (DMA). Η TGA μετράει αλλαγές στο βάρος του δείγματος ως ένδειξη της θερμοκρασίας (Fearn & Russell 1982).

2.4. 5. Υπέρυθρη φασματοσκοπία ανάκλασης (NIR)

Η ακτινοβολία σκέδασης, που στην περίπτωση του ψωμιού αφορά το βαθμό κρυσταλοποίησης της αμυλοπηκτίνης, μπορεί να μετρηθεί με την φασματοσκοπία NIR. Έτσι η μέθοδος NIR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρακολουθήσει την πρόοδο του μαγιατέματος του ψωμιού. Τα μόρια αμύλου στο ψωμί είναι εκτενώς υδρογονωμένα. Επειδή οι ζώνες απορρόφησης στη φασματοσκοπία NIR δίνουν τις πληροφορίες για την τους δεσμούς υδρογόνου, τα στοιχεία του συντελεστή ανάκλασης NIR μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ανιχνεύσουν τις αλλαγές στο πλέγμα δεσμών υδρογόνου ενός συστήματος ψωμιού κατά τη διάρκεια του μαγιατέματος (Wilson et al., 1991).

2.4. 6. Οργανοληπτικές δοκιμές

Η απώλεια γεύσης και αρώματος είναι μεταξύ των πιο αξιοπρόσεχτων επιβλαβών αλλαγών του ψωμιού κατά το μαγιατέμα. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες πληροφορίες, η μείωση στην αποδοχή του ψωμιού άνω των 5 ημερών αποθήκευσης συσχετίζεται με μια μείωση των αλδευδών και με μια αύξηση στις κετόνες. Η προκύπτουσα γεύση είναι μια που έχει περιγραφεί όπως «μειλίχια». Οι αλλαγές στην υφή επίσης συνοδεύουν το μαγιατέμα και μπορούν να μετρηθούν και με τις μεθόδους συμπίεστότητας και τις οργανοληπτικές αξιολογήσεις (Setser 1996).

Η μέθοδος AACC 74-30 (AACC 2000) περιλαμβάνει τις εκτιμήσεις μιας ομάδας δοκιμαστών οι οποίοι βαθμολογούν κάποιους παράγοντες/παραμέτρους που έχουν σχέση με το μαγιατέμα («εμφάνιση» ή «αίσθηση» της ψίχας/της κρούστας, «γεύση» και «χρώμα», «σκληρότητα», «άρωμα», και «αλλαγή υφής», ή οποιοσδήποτε σημαντικός παράγοντας που σημειώνεται από τον δοκιμαστή). Έχει βρεθεί ότι υπάρχει μεγάλη αντιστοιχία του βαθμού της σκληρότητας του ψωμιού η οποία μετρήθηκε με κάποιο όργανο και της βαθμολόγησης των δοκιμαστών (Munck, 1981).

2.5. Τρόποι αποφυγής ή μείωσης του μαγιατέματος

Εάν υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ της αναδιάταξης του αμύλου και του μαγιατέματος, οι ίδιες μέθοδοι θα μπορούσαν να επιδράσουν και στη μείωση του μαγιατέματος. Έχει διατυπωθεί ότι για τη διατήρηση της ποιότητας του ψωμιού πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη θερμοκρασία αποθήκευσης. Η θερμοκρασία

δωματίου ή κατάψυξης είναι πιο κατάλληλη από τη θερμοκρασία συντήρησης ενός ψυγείου. Πρόσθετα συστατικά μπορούν να διατηρήσουν την ποιότητα, καθώς και τα φυσικά συστατικά του αλεύρου.

2.5.1. Ένζυμα

Η προσθήκη α-αμυλάσης στη ζύμη μειώνει το ρυθμό του μπαγιατέματος. Η βακτηριακή α-αμυλάση επιδρά στο μπαγιατέμα περισσότερο από ότι η μυκητιακή α-αμυλάση. Η προσθήκη ενζύμων για μείωση του μπαγιατέματος είναι λίγο ριψοκίνδυνη. Εάν η δόση είναι μεγάλη τότε η ψίχα γίνεται κολλώδης λόγω της διάταξης των δεξτρινών και επομένως μη αποδεκτό προϊόν. Μετά το ψήσιμο μπορεί να παραμείνει μέχρι 20% της αρχικής δραστηριότητας των ενζύμων. Η επίδραση των προστιθέμενων ενζύμων έχει σχέση με την ανθεκτικότητά τους στη θερμότητα. Αυτή είναι μεγαλύτερη στις βακτηριακές αμυλάσες ενώ πιο μικρή στις μυκητιακές αμυλάσες και τις αμυλάσες βύνης. Οι βακτηριακές αμυλάσες είναι επίσης πιο δραστικές όταν ο βαθμός δεξτρίνοποίησης είναι ο ίδιος.

Η παρουσία της δραστηριότητας των ενζύμων παρατηρήθηκε επίσης στη μείωση του ενδόθερμου μπαγιατέματος μετρημένο με τη μέθοδο DSC. Το ενδόθερμο μπαγιατέμα σε ψωμί φτιαγμένο από αλεύρι βύνης παρουσιάζεται σε πιο αργό ρυθμό. Ο μηχανισμός επίδρασης της α-αμυλάσης κατά του μπαγιατέματος οφείλεται στο ότι οι αλυσίδες αμύλου που συνδέουν διαφορετικές κρυσταλλικές περιοχές έχουν σπάσει. Οπότε η έκταση του κρυσταλλικού πλέγματος θα είναι μικρότερη.

Η περίθλαση των ακτινών X αυξάνεται σε ένταση μετά την προσθήκη της βακτηριακής α-αμυλάσης. Το ψωμί στο οποίο προστέθηκε α-αμυλάση δεν έδειχνε τόσο μπαγιατικό όσο το πρότυπο. Το φαινόμενο ήταν πιο έντονο με την προσθήκη βακτηριακής α-αμυλάσης. Η σχετική κρυσταλλικότητα αφ' ετέρου ήταν πιο μεγάλη. Η κρυσταλοποίηση του αμύλου δεν ακολουθεί τις αλλαγές του μπαγιατέματος. Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση ήταν ότι σε ψωμί εμπλουτισμένο με βακτηριακή α-αμυλάση, ο τύπος A επικράτησε κατά το μπαγιατέμα, ενώ από την άλλη σε άλλα εμπλουτισμένα ψωμιά επικράτησε ο τύπος B (Eliasson & Larsson 1993).

2.5.2. Λίπη αρτοποιίας και άλλες λιπαρές ύλες

Τα λίπη αρτοποιίας μειώνουν την ανάπτυξη της σκληρότητας (ευθρυπτότητας) κατά τη διάρκεια του μαγαγιατέματος. Με προσθήκη 3% λίπους αρτοποιίας επιτυγχάνεται κάποιο αποτέλεσμα αλλά με επιπλέον προσθήκη της τάξεως 6-12% δεν παρατηρείται καμία βελτίωση στα χαρακτηριστικά του ψωμιού. Ωστόσο η προσθήκη 0,5% μονογλυκεριδίων μειώνει επιπλέον το μαγαιάτεμα. Συμπερασματικά λίπη και πολικά λιπίδια επιδρούν στο μαγαιάτεμα με διαφορετικούς μηχανισμούς.

Παρατηρήθηκε ότι ψωμί παρασκευασμένο με αλεύρι που έχουν αφαιρεθεί λιπίδια το μαγαιάτεμα είναι πιο αργό από ότι σε ψωμί παρασκευασμένο με φυσικό(συμβατικό) αλεύρι.

Το ενδόθερμο μαγαιάτεμα μετρημένο με DSC μειώνεται με την προσθήκη λιπών αρτοποιίας. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα είναι λίγο διαφορετικά γιατί με προσθήκη διαφορετικού τύπου λιπών αρτοποιίας δεν είχε καμία μεταβολή. Διακυμάνσεις στα αποτελέσματα πιθανών να οφείλονται στις διαφορετικές περιεκτικότητες σε ελεύθερα λιπαρά οξέα (Eliasson & Larsson 1993).

2.5.3. Γαλακτωματοποιητές

Όταν προστίθενται καθορισμένα λιπίδια στο ζυμάρι, το μαγαιάτεμα του ψωμιού μειώνεται. Μεταξύ των πρόσθετων που έχουν επίδραση σε αυτό το μηχανισμό είναι τα μονογλυκερίδια, το SSL και ο διακετυλικός εστέρας ταρταρικού οξέος (DATEM). Όλοι οι γαλακτωματοποιητές δεν έχουν την ίδια δραστηριότητα. Για παράδειγμα τα μονογλυκερίδια έχουν μεγαλύτερη δραστηριότητα από το DATEM. Για την επίδραση ενός λιπιδίου στο μαγαιάτεμα, είναι σημαντική η φυσική κατάσταση του λιπιδίου. Στην περίπτωση των κορεσμένων μονογλυκεριδίων η α-κρυσταλλική φάση της γέλης είναι πολύ πιο δραστική από την ένυδρη β-κρυσταλλική. Το μονοπαλμιτικό βρέθηκε ότι έχει την καλύτερη αποδοτικότητα στον όγκο του ψωμιού και επίσης στην μαλακότητα της ψίχας.

Εάν τα φυσικά λιπίδια αλεύρου σίτου εξαχθούν και προστεθούν ξανά, τότε αυξάνουν το ρυθμό μαγαγιατέματος με μικρή ποσότητα(0,4%) και τον μειώνουν με προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας (1,6%). Οι προστιθέμενοι γαλακτωματοποιητές επιδρούν στις τιμές μαγαγιατέματος όπως είναι η ενθαλπία της ψίχας που μετρείται με το όργανο DSC. Στην ουσία υπάρχει μια τέλεια αντιστοιχία μεταξύ αυτών των τιμών. Έχει βρεθεί συντελεστής αντιστοιχίας ίσος με 0,998. Η επίδραση των

γαλακτωματοποιητών στην παλαιώση του ψωμιού πολλές φορές εξηγείται από την μαλακή ψίχα αλλά τελικά ο βαθμός μπαγιατέματος είναι ο ίδιος με αυτό του μάρτυρα. Σε μερικές μελέτες με την προσθήκη μονογλυκεριδίων τα ψωμιά γινόταν πιο μαλακά αλλά σε άλλες μελέτες αυτό δεν ήταν το ζήτημα. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι εάν η αμυλόζη είναι σημαντική για τη δομή της ψίχας του ψωμιού, τότε η προσθήκη γαλακτωματοποιητών (οι οποίοι σχηματίζουν πλέγμα με την αμυλόζη) θα είχε ως αποτέλεσμα μια μαλακή ψίχα αρχικά.

Τα προστιθέμενα λιπίδια επίσης μπορούν επίσης να σχηματίσουν ένα πλέγμα με την αμυλοπηκτίνη. Εάν είναι παρούσα και η αμυλόζη τότε πρωταρχικά το πλέγμα σχηματίζεται με αυτήν και τον γαλακτωματοποιητή. Όταν η αμυλόζη είναι κορεσμένη με λιπίδια, τότε πλέγμα σχηματίζεται με την αμυλοπηκτίνη. Παρόμοια συμπεράσματα έχουν εξαχθεί από πειράματα με ψωμιά και προστιθέμενα μονογλυκερίδια. Σε χαμηλά επίπεδα μονογλυκεριδίων , η ενδοθερμία αυξάνεται λόγω της μεταφοράς του πλέγματος αμυλόζης – λιπιδίων σε αναλογία με την ποσότητα μονογλυκεριδίων, αλλά μετά από 1% μονογλυκερίδιο η ενθαλπία του πλέγματος αμυλόζης – λιπιδίων είναι η ίδια. Η επίδραση των μονογλυκεριδίων στην αναδόμηση της αμυλοπηκτίνης είναι αρκετά μικρή μέχρι η ενθαλπία του ενδόθερμου πλέγματος εξισορροπήσει. Τότε η ΔH_c μειώνεται.

Το ότι η αμυλοπηκτίνη δημιουργεί επίσης πλέγμα με τα λιπίδια, το οποίο μπορεί να παρεμποδίσει την κρυσταλοποίηση και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται στην ψίχα (με το άμυλο σχηματίζουν τη συνεχή φάση) δίνουν ισχυρή απόδειξη να συμπεράνουμε ότι η αμυλοπηκτίνη είναι ο κύριος παράγοντας που επιδρά στο μηχανισμό του μπαγιατέματος. Το συνεχές ενδιάμεσο του ψωμιού είναι το άμυλο και όποια αλλαγή στην υφή της κρούστας του πορώδους συστήματος πρέπει να έχουν συνολικά ισχυρές επιπτώσεις (Eliasson & Larsson 1993).

2.6 Συσκευασία

Η συσκευασία τροφίμων κατά τον 20ο αιώνα έχει σκοπό αφενός να εξασφαλίσει την προστασία της υγείας του καταναλωτή και αφετέρου να κάνει τα τρόφιμα πιο ελκυστικά, πιο εύκολα στη χρήση τους και τη μεταφορά τους. Τα τελευταία πενήντα χρόνια η συσκευασία αναγνωρίζεται ως μια σημαντική φάση στο σύνολο των επεξεργασιών του τροφίμου. Μάλιστα η βιομηχανία τροφίμων αναγνωρίζοντας το ρόλο της δημιούργησε τμήματα συσκευασίας επανδρωμένα με ειδικευμένους επιστήμονες. Τα

περισσότερα δε πανεπιστήμια πρόσθεσαν στα προγράμματά τους μαθήματα και σεμινάρια σχετικά με το θέμα αυτό.

Παρότι η συσκευασία εξ ορισμού οφείλει να προστατεύει το περιεχόμενο τρόφιμο από άσης φύσης επιμολύνσεις, εντούτοις πολλές φορές η ίδια η συσκευασία γίνεται η αιτία αλλοίωσης του συσκευασμένου προϊόντος, λόγω μεταφοράς ορισμένων συστατικών της στο τελευταίο. Η αλληλεπίδραση υλικού συσκευασίας / τροφίμου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα:

- την υποβάθμιση της ποιότητας του περιεχόμενου προϊόντος λόγω πιθανών αλλοιώσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του (γεύση, οσμή, χρώμα, υφή), και
- τη μόλυνση του προϊόντος με ουσίες που μπορεί να είναι τοξικές ή καρκινογόνες με αποτέλεσμα το προϊόν να καθίσταται ακατάλληλο για κατανάλωση.

Γενικά, η αλληλεπίδραση υλικού συσκευασίας μπορεί να διακριθεί, πρώτο, στην εισρόφηση (μεταφορά) συστατικών της συσκευασίας στο τρόφιμο και δεύτερο, στην προσρόφηση συστατικών του τροφίμου από τη συσκευασία. Ακόμα, διάκριση πρέπει να γίνει μεταξύ ολικής μεταφοράς (global migration) και ειδικής μεταφοράς (specific migration). Στην πρώτη μετριέται το ολικό ποσό των μεταφερόμενων υλικών από τη συσκευασία στο προϊόν, ενώ στη δεύτερη ενδιαφέρει η μεταφορά ενός συγκεκριμένου συστατικού από την πλαστική συσκευασία στο προϊόν. Το πρόβλημα αυτό έχει απασχολήσει τους εθνικούς ή διεθνείς οργανισμούς, για αυτό και ισχύουν ειδικές οδηγίες της ΕΕ, όπως 76/893, 78/142, 80/766, 80/590, 81/432, 82/711 κ.λπ., που αφορούν διάφορα ειδικά θέματα υγιεινής της συσκευασίας (Μπλούκας, 2004).

2.6.1 Είδη υλικών πλαστικής συσκευασίας

Τα κυριότερα υλικά πλαστικής συσκευασίας που σήμερα κυκλοφορούν είναι:

Χημικά πολυμερή Πολυαιθυλένιο (PE) σε δύο τύπους: LDPE (χαμηλής πυκνότητας), HDPE (υψηλής πυκνότητας) και LLDPE (ευθύγραμμο πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας), πολυπροπυλένιο (PP), πολυβουτυλένιο (PB), πολυβινυλοχλωρίδιο PVC και παράγωγα, πολυστυρόλιο (PS), ακρυλικά παράγωγα, πολυεστέρες, πολυαμίδιο(nylons), αμινορητίνες, πολυκαρβονικά παράγωγα, εποξειδικές ρητίνες, πολυουρεθάνες.

Φυσικά πολυμερή. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται η αναγεννημένη κυτταρίνη (cellorhane) και τα παράγωγά της, κυρίως η οξική κυτταρίνη.

Laminates. Πρόκειται για νεότερα υλικά συσκευασίας που προέρχονται από συνδυασμό λεπτών μεμβρανών από πλαστικό, χαρτί ή αλουμίνιο. Τα εμπορικά πλαστικά εκτός της βασικής μακρομοριακής αλυσίδας PE, PP, PVC κ.λπ. περιέχουν ένα σύνολο από δευτερεύοντα συστατικά τα οποία προστίθενται στο βασικό πολυμερές για τη βελτίωση των φυσικών, χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος.

Τα πρόσθετα αυτά έχουν κατά κανόνα μικρό μοριακό βάρος (<300) και συνεπώς εμφανίζουν αυξημένη κινητικότητα στο δίκτυο του πολυμερούς. Ανάλογα δε με τη χημική τους συγγένεια προς το τρόφιμο και το πολυμερές αντίστοιχα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ή μικρότερη τάση προς μετανάστευση (migration).

2.6.2 Τεχνολογία συσκευασίας υπό τροποποιημένες ατμόσφαιρες (MAP)

Η χρήση τροποποιημένων ατμοσφαιρών (controlled / modified atmosphere packaging) για την αύξηση του χρόνου ζωής των τροφίμων έχει αρχίσει από το 1930. Εκτός από τον όρο “τροποποιημένη ατμόσφαιρα” χρησιμοποιείται και ο όρος “ελεγχόμενη ατμόσφαιρα” και περιλαμβάνουν χρήση CO₂, N₂, σε διαφορετικά ποσοστά με σκοπό αφενός την επιμήκυνση του χρόνου ζωής και αφετέρου την επιμήκυνση φρεσκότητας των προϊόντων. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ψύξη και βασίζεται στις εξής λειτουργίες:

- Εισαγωγή του προϊόντος στον περιέκτη, αφαίρεση του περιεχόμενου αέρα και σύγχρονη αντικατάστασή του με αέρια σε αναλογία CO₂, N₂ (gas flushing).
- Αποκλεισμό της διαμορφωμένης ατμόσφαιρας με αεροστεγές σφράγισμα του περιέκτη (Μπλούκας, 2004).

Η συσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες στηρίζεται σε μια βασική αρχή: αποκόπτει το προϊόν από το O₂ και την υγρασία του περιβάλλοντος που αποτελούν επιταχυντές ενζυμικών και φυσικοχημικών αντιδράσεων που συντελούνται στη μάζα του τροφίμου με απώτερο σκοπό την αλλοίωσή του. Λέγοντας αλλοίωση, περιλαμβάνουμε τη μικροβιακή, την ενζυμική και το μαγατιάτεμα. Η γκάμα των υλικών που χρησιμοποιούνται στη συσκευασία με τροποποιημένες ατμόσφαιρες προϊόντων αρτοποιίας - ζαχαροπλαστικής είναι πολυεστέρας, πολυαιθυλένιο, πολυβινυλοδενοχλωρίδιο (saranpet/pe/pvdc laminate). Ο πολυεστέρας συνεισφέρει στη μηχανική αντοχή καθώς και τη διατήρηση του αρώματος του

προϊόντος λόγω χαμηλής διαπερατότητας στις αρωματικές ουσίες. Ο συνδυασμός PE / PVDC εξασφαλίζει την αδιαπερατότητα σε αέρια και υδρατμούς και το αποτελεσματικό σφράγισμα του περιέκτη. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα χρήσης επιμεταλλωμένων μεμβρανών για μεγαλύτερη αύξηση της διαπερατότητας της συσκευασίας. Η σύνθεση αερίων μειγμάτων που χρησιμοποιούνται στη συσκευασία MAP αρτοποιημάτων - γλυκών είναι 80% CO₂, και 20% N₂. Έχει προσδιοριστεί ότι σε προϊόντα όπως κέικ, κουλουράκια, κ.λπ. επιμηκύνεται ο χρόνος ζωής κατά 3-6 μήνες. Επίσης, προϊόντα όπως κρουασάν, δανέζικα, σφολιατοειδή κ.λπ. αντέχουν από μία έως δύο εβδομάδες επιπλέον. Οι αρχές MAP για προϊόντα αρτοποιίας διαφέρουν από εκείνες που προορίζονται για συσκευασία κρέατος ή ψαριών, σε τρία σημεία:

- αρχικά 90% CO₂, και λιγότερο από 2% O₂.
- Χρησιμοποιείται λιγότερη ποσότητα αερίου ανά πακέτο γιατί οι διαστάσεις του εύκαμπτου υλικού συσκευασίας σχεδόν συμπίπτουν με τις διαστάσεις του προϊόντος.
- Τα προϊόντα διατηρούνται κανονικά σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, δηλαδή πολύ υψηλότερες από αυτές των κρεάτων. Τα χρησιμοποιούμενα μηχανήματα για τη συσκευασία MAP ποικίλλουν. Υπάρχουν μηχανές που δημιουργούν μόνο κενό, μόνο αδρανή ατμόσφαιρα και κενό και gas flushing. Αν παρατηρήσουμε μια μηχανή συσκευασίας υπό κενό, το άνοιγμα του περιέκτη προσαρμόζεται σε ειδικό ακροφύσιο που απομακρύνει τον αέρα από το εσωτερικό της συσκευασίας, ενώ στη συνέχεια ο περιέκτης σφραγίζεται με θερμοκόλληση. Στις μηχανές που δημιουργούν τροποποιημένη ατμόσφαιρα αμέσως μετά την αφαίρεση του αέρα εμφανίζεται στο εσωτερικό του περιέκτη το επιθυμητό μείγμα αερίων, ενώ αμέσως μετά σφραγίζεται ο περιέκτης (Μπλούκας, 2004).

Το μείγμα αερίων δημιουργείται σε ειδικό δοσιμετρικό αναμεικτήρα αερίων, ο οποίος συνδέεται με τη μηχανή συσκευασίας. Σε αυτό που πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή είναι η σύσταση του αέριου χώρου στο εσωτερικό της συσκευασίας. Για τα συγκεκριμένα προϊόντα ενδείκνυται, όπως σημειώθηκε παραπάνω, αναλογία 80% CO₂, και 20% N₂. Ο μηχανισμός δράσης των αερίων δεν έχει διερευνηθεί πλήρως, όμως συχνά έχουμε διάφορα προβλήματα. Το CO₂ σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει αποχρωματισμό του υπό συσκευασία προϊόντος και ανάπτυξη όξινης γεύσης λόγω σχηματισμού ανθρακικού οξέως από τη διάλυση CO₂ στο νερό του τροφίμου (κρέμες, τούρτες κ.α.). Ένα περαιτέρω πρόβλημα, που οφείλεται στη διαλυτότητα του

αερίου στη λιπαρή και υδατική φάση του τροφίμου (γλυκά κυρίως), είναι η κατάρρευση της δομής (collapse) του συσκευασμένου προϊόντος, πράγμα που αποφεύγεται με προσθήκη κατάλληλου αερίου που δρα εξισοροπητικά. Η συσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες δεν υποκαθιστά την ανάγκη διατήρησης των τροφίμων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η αποτελεσματικότητα της MAP ελαττώνεται αυξανόμενης της θερμοκρασίας διατήρησης επειδή μειώνεται η διαλυτότητα των αερίων στο υγρό ή στερεό τρόφιμο (Μπλούκας, 2004).

2.6.3 Διατρυπημένες ταινίες πολυπροπυλενίου (OPP) ή περφορέ

Μια από τις προτεραιότητες της σημερινής βιομηχανίας αρτοποιίας είναι να βρεθούν οι κατάλληλες λύσεις συσκευασίας για να ικανοποιήσει τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του ψωμιού, όπως είναι η τραγανή κρούστα. Το υλικό συσκευασίας πρέπει να επιτρέπει τη γρήγορη ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον και την εξάτμιση υδρατμών για να αποτρέψει τη συμπύκνωση μέσα στη συσκευασία. Οι διατρυπημένες ταινίες πολυπροπυλενίου (OPP) είναι αυτήν την περίοδο τα καλύτερα υλικά για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της βιομηχανίας. Πρόσφατα ανακαλύφθηκε ότι το τύλιγμα του ψωμιού με τις διατρυπημένες ταινίες είναι αποτελεσματικό ενάντια στη μόλυνση του ψωμιού. Στόχος επίσης ήταν να ελεγχθεί εάν αυτοί οι τύποι ταινιών θα μπορούσαν να επηρεάσουν την τάση των φαινομένων που σχετίζονται με την παλαιώση των προϊόντων. Ερευνήθηκαν οι μεταβολές της υγρασίας μέσα στη φραντζόλα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και οι επιρροές τους στις αλλαγές της μαλακότητας της ψίχας. Τρεις ταινίες OPP με διαφορετικά χαρακτηριστικά μεγέθους τρυπών επιλέχθηκαν για αυτήν την μελέτη και οι αποδόσεις τους συγκρίθηκαν με εκείνες μιας χάρτινης συσκευασίας. Λόγω των ιδιαίτερων διαφορών στα χαρακτηριστικά μεγέθους τρυπών, οι ταινίες OPP παρουσίασαν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα που εμπόδιζαν την εξάτμιση του νερού. Έτσι τυλίγοντας το ψωμί σε αυτήν την ταινία επιτυγχάνεται η διατήρηση της τραγανής κρούστας και η μαλακότητα της ψίχας κατά τη διάρκεια 48h αποθήκευσης. Τέτοιες αποδόσεις δεν μπορούν αποτελεσματικά να ληφθούν με τη χρησιμοποίηση των εναλλακτικών βιομηχανικών υλικών συσκευασίας ψωμιού, όπως οι χάρτινες συσκευασίες (Takashi, 1990).

2.6.3 Συσκευασία κηρωμένου χαρτιού (waxed paper)

Το χαρτί αυτό είναι λαδόχαρτο ή χαρτί γλασέ , το οποίο επιπλέον επικαλύπτεται με κηρούς προκειμένου να μειωθεί η διαπερατότητά του στην υγρασία. Οι κηροί που χρησιμοποιούνται είναι άγευστοι και άοσμοι και έχουν σημείο τήξης από 25°C έως 60°C ανάλογα με τις απαιτήσεις του προϊόντος για το οποίο προορίζεται το χαρτί. Το χαρτί επικαλύπτεται από τη μια ή και από τις δυο πλευρές του ή ακόμα μπορεί να εμποτιστεί πλήρως ή μερικώς με τους κηρούς. Το στρώμα του κηρού είναι εύθρυπτο και γι αυτό όταν το χαρτί διπλώνεται , χάνει την προστατευτική του ιδιότητα στα σημεία της κάμψης. Τα κηρωμένα χαρτιά μπορούν ακόμα να θερμοσυγκολληθούν , αν και η συγκόλλησή τους δεν είναι αρκετά ισχυρή. Επεξεργασία όμως του κηρωμένου χαρτιού με ειδικές ουσίες γνωστές ως πλαστικοποιητές, βελτιώνει σημαντικά την θερμοσυγκολλητική του ικανότητα. Η ανάπτυξη των πλαστικών και η χρησιμοποίησή τους στη συσκευασία τροφίμων περιόρισε τη χρήση του κηρωμένου χαρτιού. Ωστόσο αυτό χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στη συσκευασία προϊόντων τα οποία πρέπει να προστατευθούν από την υγρασία και το θρυμματισμό, όπως π.χ. τα cornflakes και άλλα προϊόντα αρτοποιίας (Μπλούκας, 2004).

3. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας ήταν η παραγωγή ψωμιών με πέντε διαφορετικά προζύμια (*Primalive, Fertic Zauer, Zarco Zeelandia, Cibus 1, Cibus 2* και *μάρτυρας μόνο με μαγιά*) σε πέντε διαφορετικές συσκευασίες (*πλαστική συσκευασία υπό κενό, πλαστική συσκευασία υπό αέριο άζωτο, με περφορέ, χωρίς συσκευασία σε θερμοκρασία δωματίου και σε χάρτινη συσκευασία*) και η μέτρηση της συμπίεστικότητας (Nt) με τα όργανα *INSTRON* και *τεντερόμετρο* μετά από 3, 24, 72 και 120 ώρες αποθήκευσης. Επίσης η εκτίμηση της καλύτερης επίδρασης του προζυμιού στο ρυθμό μπαγιατέματος του ψωμιού όπως και η εκτίμηση της καλύτερης συνθήκης αποθήκευσης (συσκευασία).

Για το σκοπό αυτό, διενεργούνται οι μετρήσεις και για την ακριβή σύγκριση των δειγμάτων εφαρμόζουμε το στατιστικό πρόγραμμα *Minitab 14*. Τα αποτελέσματα αναγράφονται και σχολιάζονται στο τέλος του πειραματικού μέρους.

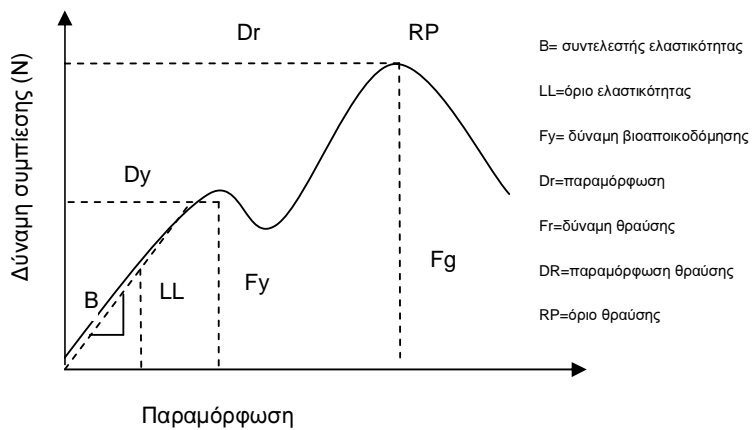
4. Πειραματικό μέρος

4.1. Μέτρηση συμπίεστος με το *INSTRON*

4.1.1. Γενικές πληροφορίες για το *INSTRON*

Η δοκιμή της συμπίεσης των υλικών γίνεται με το όργανο Instron, Universal Testing Machine. Το προς εξέταση υλικό τοποθετείται μεταξύ δυο επίπεδων πλευρών εκ των οποίων η μια είναι σταθερή και η άλλη μπορεί να κινηθεί με προκαθορισμένη ταχύτητα για να συμπίεσει το υλικό.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια τυπική καμπύλη δύναμης συμπίεσης-παραμόρφωσης του ψωμιού.



(Ντερλίκης,2003)

Όπως φαίνεται παραπάνω, μπορεί να μετρηθεί ένας αριθμός παραμέτρων από την καμπύλη. Η κλίση της αρχικής ευθείας γραμμής λαμβάνεται ως ο συντελεστής ελαστικότητας. Η καμπύλη ακόμη, παρουσιάζει δύο κορυφές. Η πρώτη υποδηλώνει την βιοαποικοδόμηση, δηλαδή την καταστροφή ορισμένων δομικών στοιχείων του καρβελιού και η δεύτερη υποδηλώνει την θραύση, δηλαδή την πλήρη κατάρρευση του δομικού ιστού του καρβελιού και αποτελεί το μέτρο της αντοχής του.

Μια άλλη ρεολογική παράμετρος που παρουσιάζει ενδιαφέρον και βοηθάει στο χαρακτηρισμό του ψωμιού είναι ο χρόνος χαλάρωσης κατά την συμπίεση. Στη δοκιμή χαλάρωσης εφαρμόζεται στο ψωμί ορισμένη δύναμη συμπίεσης που το παραμορφώνει σε κάποιο βαθμό και αυτή η παραμόρφωση στη συνέχεια παραμένει σταθερή. Τότε παρατηρείται μια μείωση του μεγέθους της δύναμης που εξασκείται και αυτό οφείλεται στο ότι προκαλείται εσωτερική ροή στην δομή του ψωμιού ώστε να υπομένει την πίεση που ασκείται με όσο το δυνατόν λιγότερη καταπόνηση. Αυτή η ροή επηρεάζεται από το ιξώδες. Ο λόγος του ιξώδους προς το συντελεστή ελαστικότητας χαρακτηρίζεται ως «χρόνος χαλάρωσης» (Ντερλίκης,2003).

4.1.2. Περιγραφή του οργάνου *INSTRON*

Universal Testing Mashine (Instron Corp., 100 Royall St., Canton, MA 02021).

- Κεφαλή συμπίεσης (κυψέλη φορτίου NO. 2512-206), με εύρος φορτίου συμπίεσης 5-50 Kg (max).
- Έμβολο (κινούμενη κεφαλή) αλουμινίου , με διάμετρο 36 mm ($1,0179 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$) με αμβλυμμένες άκρες για να αποφευχθεί η αιχμηρότητα. Αυτό το μέγεθος πρέπει να χρησιμοποιηθεί για καρβέλια ενός round ή και για μεγαλύτερα. Για μικρά 100g καρβέλια συνιστάται έμβολο αλουμινίου 21mm ($0.5938 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$).

4.1.3. Προετοιμασία δείγματος

Το πάχος του δείγματος πρέπει να είναι 25mm. Τα καρβέλια πρέπει να τεμαχιστούν είτε μηχανικά είτε με το χέρι με πάχος φέτας 25mm ή 12,5mm.

Για τις φέτες πάχους 12,5 mm (0,5 in) να χρησιμοποιούνται δυο φέτες ενωμένες ως δείγματα του τεστ.

4.1.4. Μέθοδος

- Ρύθμιση της ταχύτητας κεφαλής με την τοποθέτηση των κατάλληλων γραναζιών (ρυθμός συμπίεσης σε 80mm/min).
- Ρύθμιση της ταχύτητας διαγράμματος σε 500 mm/min ή σημεία στο διάγραμμα : 500 (αναλογία 5:1 διαγράμματος προς έκταση κεφαλής)
- Συμπίεση του δείγματος κατά 40% (περίπου 10 mm συμπίεση). Η ανάγνωση της χρησιμοποιούμενης δύναμης θα μετρηθεί σε 25% συμπίεση, αλλά η καμπύλη θα σχεδιαστεί από 25% μέχρι 40%.

Ο υπολογισμός της συμπιεστότητας έγινε με το μαθηματικό-τεχνικό πρόγραμμα Mathcad 7 Professional . Η συμπιεστότητα μετρήθηκε με το Instron 1140 (στο τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. την 1^η, 3^η και 5^η μέρα αποθήκευσης μετά την αρτοποίηση).

Η πίεση μετρήθηκε έμμεσα μετατρέποντας το CFV σε Newtons (Nt) δύναμης /μονάδα επιφάνειας του εμβόλου= $N/(1,0179 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2)$ AACC Method 74-09, 1988).

Κάνουμε πρώτα όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις στο όργανο Instron 1140:

- Τοποθέτηση του εμβόλου της κεφαλής στο ανώτερο οριακό σημείο, έτσι ώστε το έμβολο συμπίεσης να βρίσκεται 1 mm πάνω από το κέντρο της επιφάνειας του δείγματος.
- Τοποθέτηση στο χαμηλότερο οριακό σημείο σε συμπίεση 40% (10 mm βάθος συμπίεσης).
- Ρύθμιση της ταχύτητας κεφαλής (ρυθμός συμπίεσης) σε 80 mm/min
- Ρύθμιση της ταχύτητας διαγράμματος σε 500mm/min ή σε σημεία στο διάγραμμα :500 (αναλογία 5:1 διαγράμματος προς έκταση κεφαλής).
- Ορίζω τις τιμές συμπίεσης 40% , αργή δειγματοληψία 10 Hz, μέγιστο φορτίο κεφαλής, μέγιστο φορτίο συμπίεσης και ύψος δοκιμίου.

Εφαρμόζω στη συνέχεια τη συμπίεση που έχω ορίσει στο δείγμα 40%.

Επιστροφή του εμβόλου συμπίεσης στην άνω οριακή θέση. Απομάκρυνση του δείγματος. Επανάληψη της διαδικασίας με άλλο δείγμα του ίδιου καρβελιού και στη συνέχεια των υπόλοιπων δειγμάτων(AACC Method 74-09,1988).

4.2. Μέτρηση συμπίεσής με το τεντερόμετρο *Manual Lever Test Stand Model FGS-50L*



4.2.1. Γενικές πληροφορίες για το τεντερόμετρο *Manual Lever Test Stand Model FGS-50L*

Η δοκιμή της συμπίεσης των υλικών γίνεται με το όργανο *Manual Lever Test Stand Model FGS-50L*. Το προς εξέταση υλικό τοποθετείται μεταξύ δυο επίπεδων πλευρών εκ των οποίων η μια είναι σταθερή και η άλλη μπορεί να κινηθεί χειροκίνητα για να συμπίεσει το υλικό. Τα χειροκίνητα όργανα δοκιμών προσφέρουν τη δυνατότητα της επίτευξης ακριβών αποτελεσμάτων χωρίς το υψηλό κόστος ενός μηχανοποιημένου συστήματος.

4.2.1. Περιγραφή του οργάνου *Manual Lever Test Stand Model FGS-50L*

- Κεφαλή συμπίεσης , με εύρος φορτίου συμπίεσης έως 50 Kg (100lbs).
- Έμβολο (κινούμενη κεφαλή) αλουμινίου , με διάμετρο 50 mm ($1,0179 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$) με αμβλυμμένες άκρες για να αποφευχθεί η αιχμηρότητα.
- Ύψος διακένου μεταξύ εμβόλου και βάσης 84-294 mm.
- Η συμπίεση γίνεται σε 8 στάδια, 30mm/στάδιο.

4.2.3. Προετοιμασία δείγματος

Το πάχος του δείγματος πρέπει να είναι 30mm. Τα καρβέλια πρέπει να τεμαχιστούν είτε μηχανικά είτε με το χέρι με πάχος φέτας 30mm .

4.1.4. Μέθοδος

➤ Συμπίεση του δείγματος κατά 30 mm χειροκίνητα με σταθερή ταχύτητα με την λαβή του οργάνου. Η ανάγνωση της χρησιμοποιούμενης δύναμης θα μετρηθεί σε 40% συμπίεση.

Η συμπιεστότητα μετρήθηκε με το Manual Lever Test Stand Model FGS-50L στο τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. την 1η, 3η και 5η μέρα αποθήκευσης μετά την αρτοποίηση).

Η πίεση μετρήθηκε έμμεσα μετατρέποντας τα Kgf σε Newtons (Nt) δύναμης /μονάδα επιφάνειας του εμβόλου (1 kilogram-force = 9.80665 newton).

Κάνουμε πρώτα όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις στο όργανο :

➤ Τοποθέτηση του εμβόλου της κεφαλής στο ανώτερο οριακό σημείο, έτσι ώστε το έμβολο συμπίεσης να βρίσκεται 1 mm πάνω από το κέντρο της επιφάνειας του δείγματος.

➤ Τοποθέτηση στο χαμηλότερο οριακό σημείο 50 mm βάθος συμπίεσης.

Εφαρμόζω στη συνέχεια τη συμπίεση που έχω ορίσει στο δείγμα 30mm.

Επιστροφή του εμβόλου συμπίεσης στην άνω οριακή θέση. Απομάκρυνση του δείγματος. Επανάληψη της διαδικασίας με άλλο δείγμα του ίδιου καρβελιού και στη συνέχεια των υπόλοιπων δειγμάτων.

4.3. Αρτοποιία: Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ταχείας αρτοποιίας

4.3.1. Υλικά

Υλικά για το ψωμί μάρτυρα (μόνο με μαγιά)	
Αλεύρι (σίτου)	100 μέρη βάρους
Μαγιά νωπή αρτοποιίας	2% του βάρους αλεύρου
Αλάτι	1,5% του βάρους αλεύρου
Νερό	54% του βάρους αλεύρου
Μαργαρίνη	2% του βάρους αλεύρου

Τα υπόλοιπα δείγματα ψωμιών παρασκευάστηκαν με προσθήκη επιπλέον των παραπάνω υλικών , 0.5 % προζυμιού Primalive, Fertic Zauer, Zarco Zeelandia, Cibus 1 και Cibus 2 του βάρους του αλεύρου , αντίστοιχα ένα προζύμι για κάθε δείγμα.

Σύσταση των προζυμιών:

- Primalive: Γαλακτοβάκιλλος casei , Γαλακτοβάκιλλος brevis , ζυμομύκητας Candida Krusei , μαγιά προζυμιού.
- Fertic Zauer : Γαλακτοβάκιλλος brevis, ζυμομύκητες Candida holmi και Saccharomyces exiguus, μαγιά προζυμιού
- Zarco Zeelandia : Γαλακτοβάκιλλος Pediococcus cerevisiae, ζυμομύκητας Candida Krusei, μαγιά προζυμιού.
- Cibus 1 : Γαλακτοβάκιλλος Lb bucheri, Γαλακτοβάκιλλος Pediococcus cerevisiae , ζυμομύκητας Candida Krusei, μαγιά προζυμιού.
- Cibus 2: Γαλακτοβάκιλλος lantarum , Γαλακτοβάκιλλος Leuconostoc mesenteroides, ζυμομύκητας Saccharomyces cerevisiae , μαγιά προζυμιού.

Σημείωση: η προμήθεια των προζυμιών έγινε από τη εταιρεία Sefco Zeelandia A.E. η οποία εδρεύει στα Σπάτα Αττικής.

4.3.2. Εκτέλεση

Μετρήθηκε η θερμοκρασία του ζυμωτηρίου, του αλεύρου και υπολογίστηκε η θερμοκρασία του νερού, έτσι ώστε να έχουμε 27ο Κελσίου θερμοκρασία ζυμαριού, σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\Theta = 3 \times A - (B + \Gamma)$$

Όπου Θ :θερμοκρασία νερού

A:επιθυμητή θερμοκρασία ζυμαριού(27° C)

B:θερμοκρασία ζυμωτηρίου

Γ:θερμοκρασία αλεύρου

4.3.3. Διαδικασία

Στην συνέχεια διαλύθηκε η μαγιά και τα υπόλοιπα υλικά με τη μισή περίπου ποσότητα νερού και το αλάτι με την υπόλοιπη μισή. Τοποθετήθηκε το αλεύρι στο ζυμωτήριο και προστέθηκε το διάλυμα μαγιάς και μετά το διάλυμα αλατιού. Έγινε ανάμιξη για περίπου 5 λεπτά και στη συνέχεια η ζύμη τοποθετήθηκε σε χώρο σταθερής θερμοκρασίας και υγρασίας για διάστημα 30 λεπτών. Στην συνέχεια έγινε κοπή του ζυμαριού στο επιθυμητό βάρος και μορφοποιήθηκε στο επιθυμητό σχήμα. Αργότερα τοποθετήθηκε σε στόφα (θάλαμος σταθερής θερμοκρασίας) με θερμοκρασία 32 °C και υγρασία RH:65% έως 75% για περίπου 45 λεπτά. Τέλος, ακολουθεί το ψήσιμο σε φούρνο με θερμοκρασία 200 -210 °C για 35 – 45 λεπτά.

4.3.4. Συσκευασία δειγμάτων

Η συσκευασία των καρβελιών έγινε με πλαστική συσκευασία υπό κενό, με πλαστική με αέριο άζωτο, με πλαστική συσκευασία περφορέ, με χάρτινη, ενώ το πέμπτο δείγμα έμεινε ασυσκευαστο σε θερμοκρασία δωματίου.

Υλικά και συνθήκες συσκευασίας:

- πλαστική συσκευασία υπό κενό: χρησιμοποιήθηκε πλαστική συσκευασία πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) και έγινε αφαίρεση του οξυγόνου.
- πλαστική συσκευασία υπό αέριο άζωτο: για την συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) χρησιμοποιήθηκε αέριο μίγμα CO₂ 60% και N₂ 40% και πλαστική συσκευασία πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE).

- πλαστική συσκευασία περφορέ: χρησιμοποιήθηκαν διατρυπημένες ταινίες από προσανατολισμένο πολυπροπυλένιο (OPP).
- χάρτινη συσκευασία: χρησιμοποιήθηκε κηρωμένο χαρτί (waxed paper).

Σημείωση: η προμήθεια των υλικών συσκευασίας έγινε από τη εταιρεία KAPELIS packaging A.E. η οποία εδρεύει στην Παιανία, Αττική.

Σημείωση: η αρτοποίηση και συσκευασία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις της βιομηχανίας Κατσέλης Α.Β.Ε.Ε., ΒΙ.ΠΕ.Θ. Σίνδου.

5. Πειραματικά αποτελέσματα

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ INSTRON ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 3h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	5,135	5,505	5,435	5,358	0,197
FERTIC	3,421	3,276	3,621	3,439	0,173
PRIMALIVE	3,402	3,007	3,686	3,270	0,341
ZARKO	3,221	3,672	3,081	3,371	0,309
CIBUS 1	2,845	3,131	2,696	2,940	0,221
CIBUS 2	2,741	2,638	2,988	2,707	0,180

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 3h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	5,8	5,453	5,342	5,532	0,239
FERTIC	3,367	3,545	3,765	3,559	0,199
PRIMALIVE	3,708	3,231	3,349	3,549	0,248
ZARKO	3,655	3,986	3,896	3,765	0,171
CIBUS 1	3,765	3,321	3,213	3,617	0,293
CIBUS 2	3,234	3,986	3,89	3,485	0,409

ΠΙΝΑΚΑΣ 1Α

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ INSTRON ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΥΠΟ ΚΕΝΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	19,135	19,621	18,921	19,226	0,359
FERTIC	12,321	12,611	11,910	12,281	0,352
PRIMALIVE	15,402	15,223	14,912	15,342	0,248
ZARKO	16,221	16,322	16,712	16,255	0,259
CIBUS 1	11,231	11,234	11,900	11,232	0,385
CIBUS 2	11,588	11,299	10,320	11,492	0,665

ΠΙΝΑΚΑΣ 1Β

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ INSTRON ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΑΖΩΤΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	12,612	11,945	11,912	12,156	0,395
FERTIC	9,423	9,712	9,800	9,645	0,197
PRIMALIVE	11,432	10,123	10,732	10,996	0,655
ZARKO	12,111	12,611	12,200	12,278	0,267
CIBUS 1	9,882	9,200	9,315	9,655	0,365
CIBUS 2	8,576	8,700	9,311	8,617	0,393

ΠΙΝΑΚΑΣ 1Γ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ INSTRON ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΕΡΦΟΡΕ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	22,213	21,498	21,704	21,805	0,368
FERTIC	18,123	17,435	18,512	18,023	0,545
PRIMALIVE	14,333	14,321	13,743	14,329	0,337
ZARKO	12,512	12,354	12,776	12,459	0,213
CIBUS 1	12,865	12,777	12,933	12,836	0,078
CIBUS 2	11,121	10,232	10,932	10,825	0,468

ΠΙΝΑΚΑΣ 1Α

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	23,412	22,132	22,443	22,662	0,668
FERTIC	18,455	19,320	18,700	18,825	0,446
PRIMALIVE	19,812	19,376	20,121	19,667	0,374
ZARKO	22,123	21,143	22,010	21,796	0,536
CIBUS 1	17,678	17,823	16,923	17,726	0,483
CIBUS 2	16,508	16,100	15,900	16,372	0,310

ΠΙΝΑΚΑΣ 1Ε

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΧΑΡΤΙΝΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	20,767	22,132	22,443	21,781	0,892
FERTIC	22,511	21,143	22,010	21,888	0,692
PRIMALIVE	16,411	17,823	16,923	16,882	0,715
ZARKO	15,221	16,100	15,900	15,514	0,461
CIBUS 1	19,232	19,376	20,121	19,280	0,477
CIBUS 2	19,412	19,320	18,700	19,381	0,387

ΠΙΝΑΚΑΣ 2Α

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΥΠΟ ΚΕΝΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	27,192	26,923	27,121	27,079	0,139
FERTIC	22,521	22,932	23,234	22,896	0,358
PRIMALIVE	25,932	25,603	25,712	25,822	0,168
ZARKO	26,321	26,732	25,921	26,458	0,406
CIBUS 1	21,312	21,321	21,523	21,315	0,119
CIBUS 2	20,234	21,100	20,521	20,523	0,441

ΠΙΝΑΚΑΣ 2Β

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΑΖΩΤΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	25,454	25,100	25,721	25,425	0,312
FERTIC	21,132	21,621	21,534	21,429	0,261
PRIMALIVE	22,221	22,623	21,923	22,355	0,351
ZARKO	24,322	23,609	24,700	24,084	0,554
CIBUS 1	20,212	19,821	20,201	20,082	0,223
CIBUS 2	19,388	19,199	19,211	19,325	0,106

ΠΙΝΑΚΑΣ 2Γ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΕΡΦΟΡΕ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	30,812	29,412	31,123	30,449	0,911
FERTIC	25,211	25,621	25,932	25,588	0,362
PRIMALIVE	25,321	27,321	27,714	25,988	1,283
ZARKO	26,709	26,156	27,211	26,525	0,528
CIBUS 1	23,198	24,112	24,104	23,503	0,525
CIBUS 2	23,199	22,439	23,111	22,946	0,416

ΠΙΝΑΚΑΣ 2Δ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	37,913	37,776	38,376	38,022	0,314
FERTIC	27,432	28,511	27,412	27,785	0,629
PRIMALIVE	30,100	29,921	28,613	30,040	0,812
ZARKO	31,823	30,623	30,612	31,423	0,696
CIBUS 1	26,819	26,787	26,900	26,808	0,058
CIBUS 2	25,487	25,911	26,212	25,628	0,364

ΠΙΝΑΚΑΣ 2Ε

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΧΑΡΤΙΝΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	32,102	32,477	32,630	32,403	0,272
FERTIC	25,765	25,213	24,765	25,248	0,501
PRIMALIVE	28,112	27,132	27,212	27,785	0,544
ZARKO	28,799	28,345	29,376	28,648	0,517
CIBUS 1	26,231	25,099	25,213	25,854	0,623
CIBUS 2	24,409	25,521	24,877	24,780	0,558

ΠΙΝΑΚΑΣ 3Α

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΥΠΟ ΚΕΝΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	45,323	45,143	46,432	45,633	0,698
FERTIC	40,764	39,487	40,231	40,161	0,641
PRIMALIVE	41,223	41,312	43,321	41,253	1,186
ZARKO	43,540	43,654	44,100	43,578	0,296
CIBUS 1	40,212	38,821	38,943	39,748	0,770
CIBUS 2	39,321	39,932	41,101	39,525	0,904

ΠΙΝΑΚΑΣ 3Β

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΑΖΩΤΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	41,332	42,132	41,322	41,595	0,465
FERTIC	34,785	35,767	34,854	35,135	0,548
PRIMALIVE	38,321	39,234	38,755	38,625	0,457
ZARKO	39,921	40,912	41,342	40,251	0,729
CIBUS 1	34,123	34,654	33,921	34,300	0,379
CIBUS 2	32,112	32,754	33,543	32,326	0,717

ΠΙΝΑΚΑΣ 3Γ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΕΡΦΟΡΕ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	48,734	48,972	50,342	49,349	0,868
FERTIC	42,112	42,312	43,409	42,611	0,698
PRIMALIVE	43,223	42,834	43,344	43,093	0,266
ZARKO	46,443	46,312	46,243	46,399	0,102
CIBUS 1	42,234	41,100	41,411	41,856	0,586
CIBUS 2	41,776	38,555	39,845	40,702	1,621

ΠΙΝΑΚΑΣ 3Δ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	67,708	65,231	66,349	66,429	1,240
FERTIC	56,655	56,986	55,896	56,512	0,559
PRIMALIVE	56,367	56,545	56,765	56,426	0,199
ZARKO	63,800	65,453	64,342	64,351	0,843
CIBUS 1	53,234	53,986	55,890	53,485	1,369
CIBUS 2	49,765	48,321	48,213	49,284	0,867

ΠΙΝΑΚΑΣ 3Ε

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>INSTRON</i> ΣΕ ΧΑΡΤΙΝΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	56,678	55,832	54,921	55,810	0,879
FERTIC	50,543	49,876	49,342	49,920	0,602
PRIMALIVE	52,732	52,543	51,912	52,669	0,429
ZARKO	55,312	54,154	57,765	54,926	1,844
CIBUS 1	49,121	49,256	48,865	49,166	0,199
CIBUS 2	48,776	47,876	48,100	48,476	0,469

ΠΙΝΑΚΑΣ 4Α

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ <i>TENTEROMETROU</i> ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΥΠΟ ΚΕΝΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	20,404	20,560	20,776	20,580	0,187
FERTIC	18,522	18,522	17,934	18,326	0,339
PRIMALIVE	19,698	19,600	19,600	19,665	0,057
ZARKO	19,698	19,306	19,502	19,567	0,196
CIBUS 1	14,974	14,936	14,896	14,961	0,039
CIBUS 2	12,865	12,777	12,933	12,836	0,078

ΠΙΝΑΚΑΣ 4Β

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΑΖΩΤΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	17,591	15,680	17,444	16,905	1,063
FERTIC	16,464	16,366	16,415	16,415	0,049
PRIMALIVE	16,640	16,680	15,984	16,653	0,391
ZARKO	16,954	16,660	17,101	16,856	0,225
CIBUS 1	11,956	11,270	11,172	11,727	0,427
CIBUS 2	10,486	10,437	10,486	10,470	0,028

ΠΙΝΑΚΑΣ 4Γ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΕΡΦΟΡΕ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	16,660	17,150	17,640	17,150	0,490
FERTIC	14,651	14,553	14,749	14,651	0,098
PRIMALIVE	14,504	14,847	14,896	14,618	0,214
ZARKO	15,778	15,827	15,582	15,794	0,130
CIBUS 1	12,985	13,720	13,573	13,230	0,389
CIBUS 2	13,720	13,965	13,564	13,802	0,202

ΠΙΝΑΚΑΣ 4Δ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ TENTEΡΟΜΕΤΡΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	19,208	19,404	19,012	19,208	0,196
FERTIC	18,424	18,326	18,326	18,359	0,057
PRIMALIVE	19,560	19,600	19,346	19,573	0,137
ZARKO	20,600	20,640	20,266	20,613	0,205
CIBUS 1	17,260	17,876	17,502	17,465	0,310
CIBUS 2	15,288	14,700	14,994	15,092	0,294

ΠΙΝΑΚΑΣ 4Ε

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ TENTEΡΟΜΕΤΡΟΥ ΜΕ ΧΑΡΤΙΝΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	18,123	17,435	18,512	18,023	0,545
FERTIC	17,052	15,680	16,660	16,464	0,707
PRIMALIVE	16,268	16,092	16,150	16,209	0,090
ZARKO	18,914	19,012	18,522	18,947	0,259
CIBUS 1	16,562	15,288	16,072	16,137	0,643
CIBUS 2	15,484	14,308	14,308	15,092	0,679

ΠΙΝΑΚΑΣ 5Α

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ TENTEΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΖΕΛΑΤΙΝΗΣ ΥΠΟ ΚΕΝΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	33,908	33,320	34,202	33,810	0,449
FERTIC	32,928	32,732	32,830	32,830	0,098
PRIMALIVE	32,280	32,360	32,968	32,307	0,376
ZARKO	34,182	34,360	33,888	34,241	0,238

CIBUS 1	23,912	22,540	22,344	23,455	0,854
CIBUS 2	20,972	20,874	20,972	20,939	0,057

ΠΙΝΑΚΑΣ 5B

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΑΖΩΤΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	32,732	33,908	31,262	32,634	1,326
FERTIC	30,380	31,262	30,674	30,772	0,449
PRIMALIVE	29,400	31,360	30,086	30,053	0,995
ZARKO	32,928	32,536	33,026	32,797	0,259
CIBUS 1	18,620	19,502	19,502	18,914	0,509
CIBUS 2	19,796	20,580	19,306	20,057	0,643

ΠΙΝΑΚΑΣ 5Γ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΕΡΦΟΡΕ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	35,966	35,084	35,378	35,476	0,449
FERTIC	26,460	27,734	28,126	27,440	0,871
PRIMALIVE	30,184	29,498	29,400	29,955	0,427
ZARKO	33,418	33,810	33,614	33,549	0,196
CIBUS 1	26,048	26,754	26,578	26,283	0,367
CIBUS 2	19,404	20,188	19,208	19,665	0,519

ΠΙΝΑΚΑΣ 5Δ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	35,868	36,162	36,162	36,064	0,170
FERTIC	27,342	28,028	26,362	27,244	0,837
PRIMALIVE	29,596	29,400	29,204	29,531	0,196
ZARKO	31,360	30,380	31,164	31,033	0,519
CIBUS 1	25,460	25,460	25,814	25,460	0,204
CIBUS 2	23,364	23,108	23,618	23,279	0,255

ΠΙΝΑΚΑΣ 5Ε

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΧΑΡΤΙΝΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 72h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	33,320	33,418	33,810	33,516	0,259
FERTIC	25,480	26,460	26,264	26,068	0,519
PRIMALIVE	29,204	29,792	29,498	29,400	0,294
ZARKO	29,400	28,420	29,498	29,073	0,596
CIBUS 1	21,658	21,658	21,756	21,658	0,057
CIBUS 2	23,128	22,638	22,148	22,965	0,490

ΠΙΝΑΚΑΣ 6Α

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΥΠΟ ΚΕΝΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	47,040	47,628	48,804	47,824	0,898
FERTIC	37,926	38,122	38,024	38,024	0,098
PRIMALIVE	39,212	38,821	38,943	39,082	0,200
ZARKO	41,240	41,220	41,846	41,233	0,356
CIBUS 1	35,476	35,162	35,790	35,371	0,314
CIBUS 2	31,556	31,164	31,360	31,425	0,196

ΠΙΝΑΚΑΣ 6Β

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΑΖΩΤΟ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	45,768	45,000	45,236	45,335	0,393
FERTIC	30,968	30,380	31,272	30,873	0,453
PRIMALIVE	35,084	35,476	35,868	35,215	0,392
ZARKO	38,868	38,788	38,768	38,841	0,053
CIBUS 1	26,460	26,068	26,852	26,329	0,392
CIBUS 2	23,540	23,500	23,108	23,527	0,239

ΠΙΝΑΚΑΣ 6Γ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΕΡΦΟΡΕ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	44,786	44,590	44,688	44,688	0,098
FERTIC	39,200	39,788	39,200	39,396	0,339
PRIMALIVE	42,100	42,140	41,356	42,113	0,442
ZARKO	45,080	44,100	44,296	44,753	0,519
CIBUS 1	35,966	36,260	35,378	36,064	0,449
CIBUS 2	34,300	35,182	35,182	34,594	0,509

ΠΙΝΑΚΑΣ 6Δ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	75,400	75,148	75,656	75,401	0,254
FERTIC	58,100	57,294	57,072	57,489	0,541
PRIMALIVE	60,092	60,820	60,662	60,335	0,383
ZARKO	68,736	68,640	67,824	68,704	0,501
CIBUS 1	52,724	51,842	51,842	52,430	0,509
CIBUS 2	42,112	42,312	43,409	42,179	0,698

ΠΙΝΑΚΑΣ 6Ε

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟΥ ΣΕ ΧΑΡΤΙΝΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 120h					
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	1η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	2η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	3η ΜΕΤΡΗΣΗ (Nt)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	49,276	49,900	48,706	49,294	0,597
FERTIC	36,124	36,162	36,906	36,397	0,441
PRIMALIVE	45,102	45,608	45,000	45,271	0,326
ZARKO	48,254	48,118	48,276	48,209	0,086
CIBUS 1	33,360	33,280	33,614	33,333	0,174
CIBUS 2	30,302	30,380	30,634	30,328	0,174

6. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Η κωδικοποίηση των δειγμάτων έγινε ως εξής :

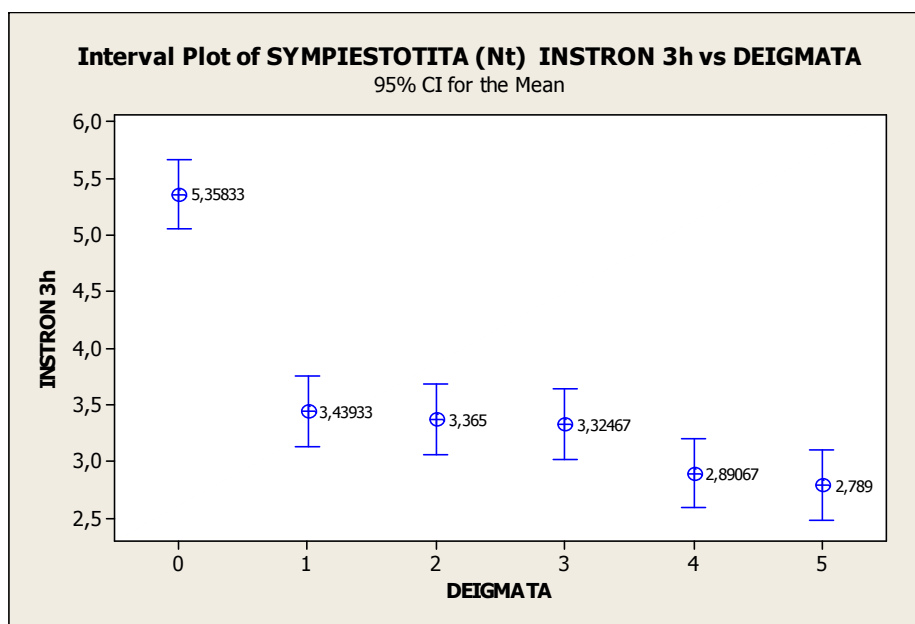
- 1) Δείγματα με διαφορετικά προζύμια : ο μάρτυρας μόνο με μαγιά (**δείγμα 0**), *Fertic* (**δείγμα 1**), *Primalive* (**δείγμα 2**), *Zarco* (**δείγμα 3**) , *Cibus1* (**δείγμα 4**) και τέλος *Cibus2* (**δείγμα 5**).
- 2) Δείγματα με διαφορετικές συσκευασίες: πλαστική υπό κενό (**δείγμα 0**), πλαστική με άζωτο (**δείγμα 1**), περφορέ (**δείγμα 2**), το ασυσκευαστο ψωμί (**δείγμα 3**) και τέλος η χάρτινη (**δείγμα 4**).

Αρχικά έγινε η μέτρηση της συμπίεστικότητας στα ψωμιά με διαφορετικά προζύμια χωρίς συσκευασία μετά από 3h αποθήκευσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, και ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA).

- ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΣΤΟ *INSTRON* ΣΕ ΨΩΜΙΑ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΡΟΖΥΜΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 3h ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Από τον έλεγχο κανονικότητας στη στήλη των υπολειμμάτων βλέπουμε $P > 0,05$. Άρα ισχύει η κανονικότητα των στοιχείων. Αφού συμβαίνει αυτό εξετάζουμε την τιμή ελέγχου του Levene για τον έλεγχο ομοιογένειας των διακυμάνσεων και βλέπουμε ότι $P > 0,05$ οπότε ισχύει και η ομοιογένεια των διακυμάνσεων ανάμεσα στα δείγματα. Οπότε συνεχίζουμε στον έλεγχο της ανάλυσης της διακύμανσης και παρατηρούμε ότι $P = 0,000$. Αφού $P < 0,05$ οι μέσοι όροι της αξιολόγησης της συμπίεστικότητας των δειγμάτων δεν είναι όλοι ίσοι μεταξύ τους (**βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I, ενότητα 1.1**).

Από το Σχήμα I για την κατάταξη των δειγμάτων εξάγεται το μοντέλο των μέσων όρων : $5=4=3=2=1 < 0$, στα οποία παρατηρούνται οι στατιστικές διαφορές τους. Δηλαδή οι μέσοι όροι των δειγμάτων 1,2,3,4,5 δε διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους ενώ ο μέσος όρος του δείγματος 0 διαφέρει απ' όλους τους άλλους. Συμπερασματικά οι μέσοι όροι του δείγματος 0 παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τιμή ενώ οι μέσοι όροι των δειγμάτων 1,2,3,4,5 τη μικρότερη.

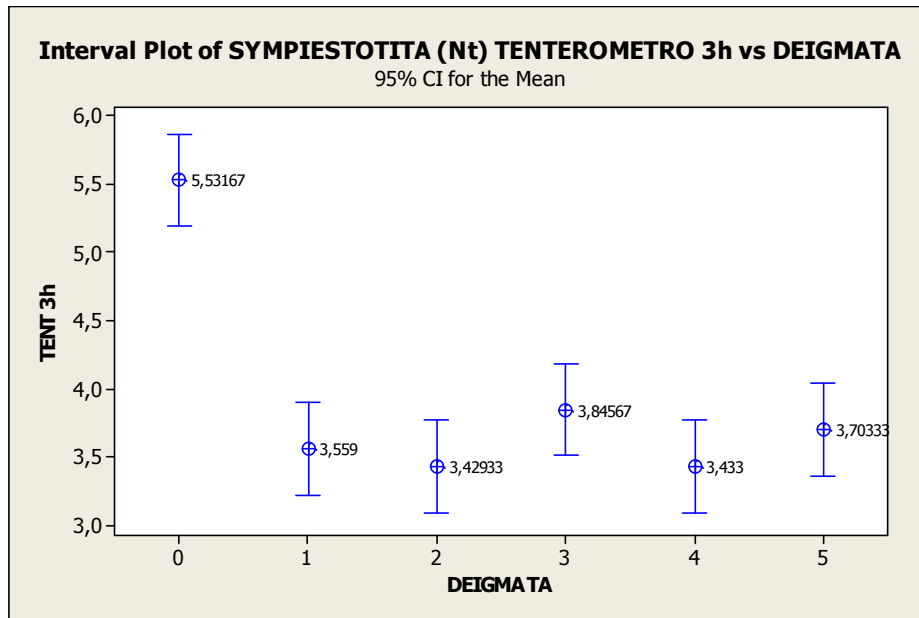


Σχήμα I. Interval Plot του 95% CIS των μέσων όρων ως προς τη συμπίεστικότητα (3h) σε δείγματα με διαφορετικά προζύμια χωρίς συσκευασία αποθηκευμένα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

➤ **ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΣΤΟ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟ ΣΕ ΨΩΜΙΑ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΡΟΖΥΜΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 3h ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Από τον έλεγχο κανονικότητας στη στήλη των υπολειμμάτων βλέπουμε πως $P > 0,05$. Άρα ισχύει η κανονικότητα των στοιχείων. Αφού συμβαίνει αυτό εξετάζουμε την τιμή ελέγχου του Levene για τον έλεγχο ομοιογένειας των διακυμάνσεων και βλέπουμε ότι $P > 0,05$ οπότε ισχύει και η ομοιογένεια των διακυμάνσεων ανάμεσα στα δείγματα. Οπότε συνεχίζουμε στον έλεγχο της ανάλυσης της διακύμανσης και παρατηρούμε ότι $P = 0,000$. Αφού $P < 0,05$ οι μέσοι όροι της αξιολόγησης της συμπίεστικότητας των δειγμάτων δεν είναι όλοι ίσοι μεταξύ τους (**βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I, ενότητα 1.2**).

Από το Σχήμα II την κατάταξη των δειγμάτων εξάγεται το μοντέλο των μέσων όρων : $4=2=1=5=3 < 0$, στα οποία παρατηρούνται οι στατιστικές διαφορές τους. Δηλαδή οι μέσοι όροι των δειγμάτων 1,2,3,4,5 δε διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους ενώ ο μέσος όρος του δείγματος 0 διαφέρει απ' όλους τους άλλους. Συμπερασματικά ο μέσος όρος του δείγματος 0 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή ενώ οι μέσοι όροι των δειγμάτων 1,2,3,4,5 τη μικρότερη.



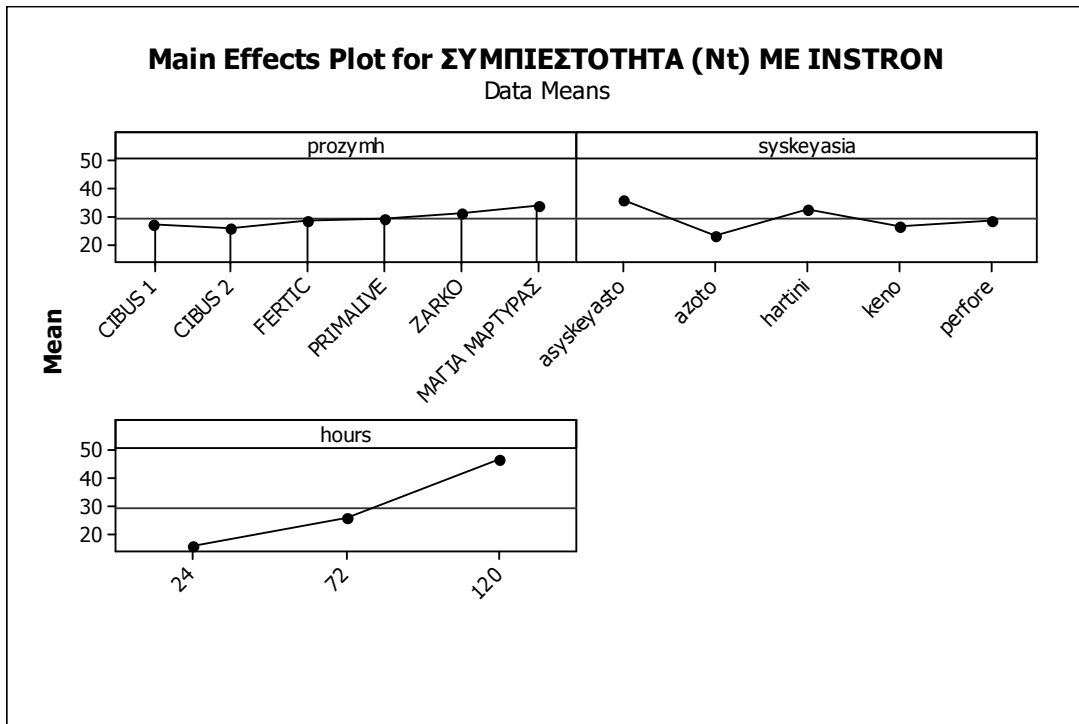
Σχήμα II. Interval Plot του 95% CIS των μέσων όρων ως προς τη συμπίεστικότητα (3h) σε δείγματα με διαφορετικά προζύμια χωρίς συσκευασία αποθηκευμένα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Συμπεράσματα από την στατιστική αξιολόγηση των τριών παραγόντων (προζύμια, συσκευασίες, χρόνος) στην επίδρασή τους στη συμπίεστικότητα των δειγμάτων μετρημένη με το INSTRON:

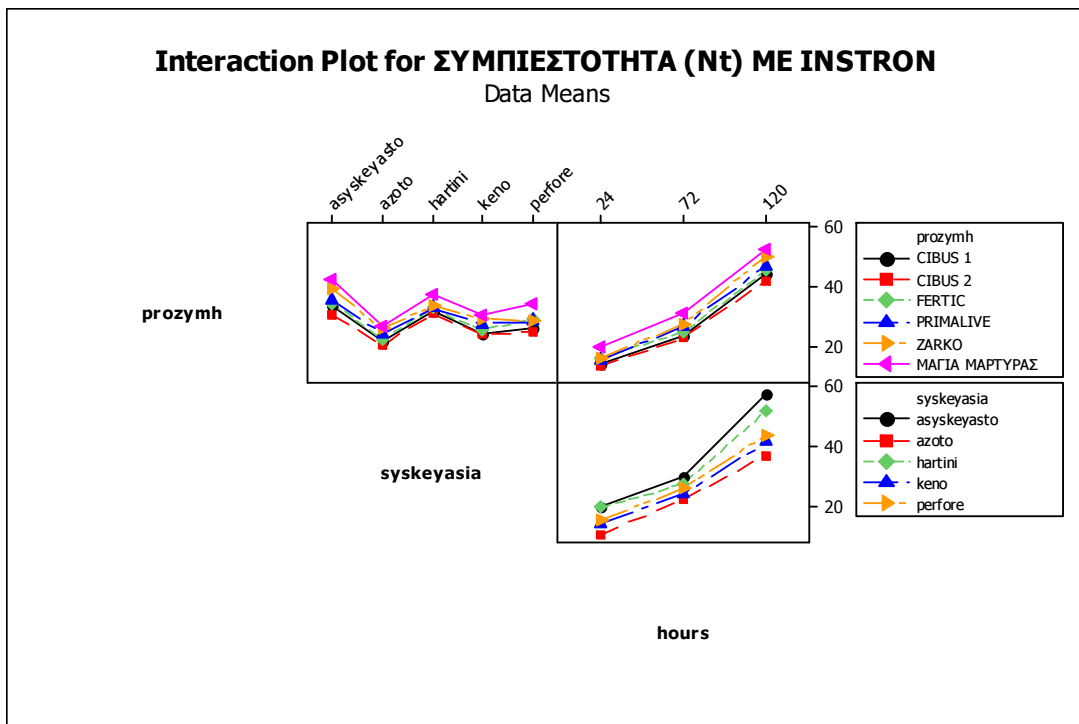
Από την ανάλυση διακύμανσης τριών παραγόντων (**three-way ANOVA**, βλέπε **παράρτημα II**) φαίνεται ότι τα διάφορα προζύμια προκαλούν στατιστικά σημαντική μεταβολή στη συμπίεστικότητα όπως προκύπτει από τη σημαντικότητα της πιθανότητας ($P=0,000<0,05$). Οι διαφορές των μέσων τιμών της συμπίεστικότητας ως προς τα διάφορα προζύμια εντοπίζονται με τις μεθόδους των πολλαπλών συγκρίσεων. Επίσης η διαφορετική συσκευασία προκαλεί στατιστικά σημαντική μεταβολή στη συμπίεστικότητα ($P=0,000<0,05$). Επίσης ο χρόνος συντήρησης προκαλεί στατιστικά σημαντική μεταβολή στη συμπίεστικότητα ($P=0,000<0,05$). Από την εξέταση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συμμετεχόντων παραγόντων παρατηρούμε ότι μόνο η αλληλεπίδραση του προζυμιού- συσκευασίας δεν είναι στατιστικά σημαντική ($P=0,058>0,05$) ενώ όλες οι άλλες αλληλεπιδράσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

Από το **σχήμα 1** φαίνεται καθαρά ότι η μεταβολή της συμπίεστικότητας αυξάνει γραμμικά με την πάροδο του χρόνου. Τα προζύμια σύμφωνα με την επίδρασή τους στη συμπίεστικότητα των δειγμάτων μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες. Τα προζύμια *Cibus1*, *Cibus2* που παρουσιάζουν τη χαμηλότερη τιμή, τα προζύμια *Fertic* και *Primalive* που ακολουθούν και τέλος το *Zarco* και ο *μάρτυρας (μαγιά)* που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές συμπίεστικότητας.

Από το **σχήμα 1** ανάλογα με την επίδραση της συσκευασίας στη συμπίεστικότητα, τα δείγματα μπορούν να χωριστούν σε 3 ομάδες. Η πρώτη είναι η συσκευασία με το άζωτο που παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή, η δεύτερη με τη χάρτινη, την υπό κενό και την περφορέ που ακολουθούν στις τιμές και τέλος το ασυσκευαστο που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή συμπίεστικότητας.



Σχήμα 1. Main Effects Plot του 95% CIS των μέσων όρων της συμπίεστούτητας των δειγμάτων μετρημένη στο INSTRON, με διαφορετικά προζύμια, διαφορετικές συσκευασίες και σε τρεις διαφορετικούς χρόνους.



Σχήμα 2. Interaction Plot της συμπίεστούτητας, μετρημένη με το INSTRON, σε διαφορετικούς συνδυασμούς επίδρασης των επιπέδων του προζυμιού και της συσκευασίας, της συσκευασίας και των ωρών, του προζυμιού και της συσκευασίας.

Από το **σχήμα 2** παρατηρούμε ότι οι ευθείες συμπίεσότητας είναι παράλληλες για τον παράγοντα συσκευασία-προζύμι και προζύμι-ώρες άρα δεν υπάρχει αλληλεπίδραση και είναι στατιστικά σημαντικοί γιατί υπάρχουν διαφορές στους μέσους όρους μεταξύ των επιπέδων του κάθε παράγοντα.

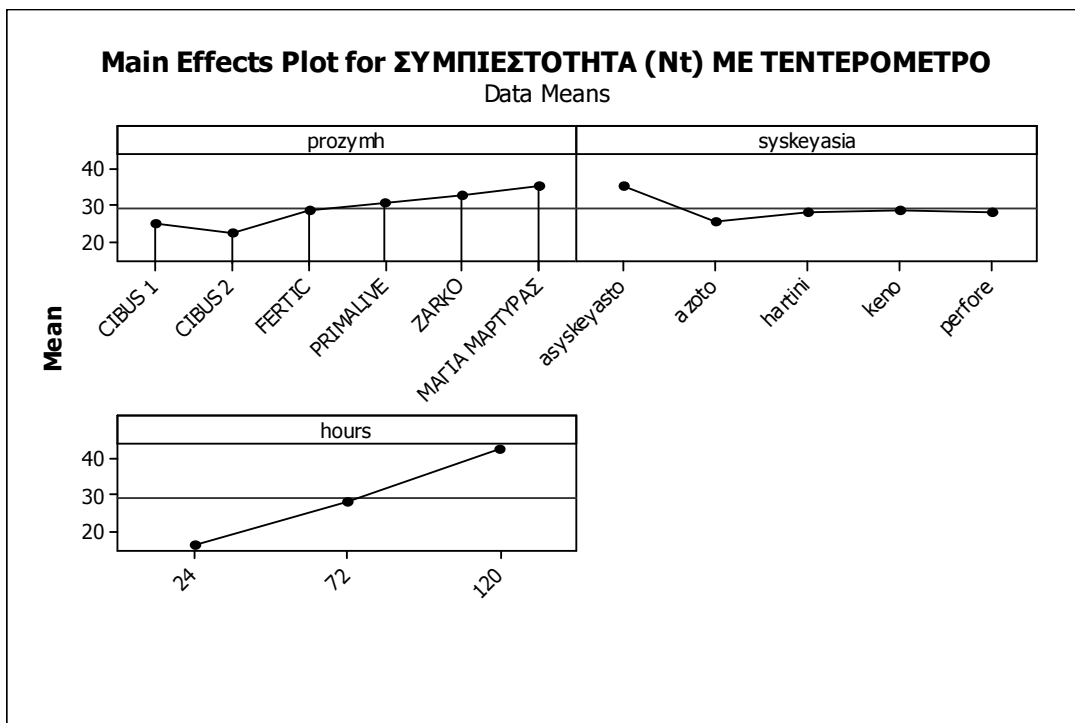
Για το γράφημα συσκευασίες – ώρες για το ασυσκευαστο δείγμα και τη χάρτινη συσκευασία , παρατηρείται ότι η αλληλεπίδραση είναι σημαντική γιατί παρόλο που οι ευθείες είναι ανοδικές και στα δυο επίπεδα των παραγόντων δεν είναι παράλληλη με τις υπόλοιπες . Οι μέσοι όροι μεταξύ των επιπέδων κάθε παράγοντα δεν είναι ισοϋψείς και γι αυτό είναι στατιστικά σημαντικοί.

Συμπεράσματα από την στατιστική αξιολόγηση των τριών παραγόντων (προζύμια, συσκευασίες , χρόνος) στην επίδρασή τους στη συμπίεσότητα των δειγμάτων μετρημένη με το τεντερόμετρο:

Από την ανάλυση διακύμανσης τριών παραγόντων (**three-way ANOVA, βλέπε παράρτημα II**) φαίνεται ότι τα διάφορα προζύμια προκαλούν στατιστικά σημαντική μεταβολή στη συμπίεσότητα όπως προκύπτει από τη σημαντικότητα της πιθανότητας ($P=0,000<0,05$). Οι διαφορές των μέσων τιμών της συμπίεσότητας ως προς τα διάφορα προζύμια εντοπίζονται με τις μεθόδους των πολλαπλών συγκρίσεων. Επίσης η διαφορετική συσκευασία προκαλεί στατιστικά σημαντική μεταβολή στη συμπίεσότητα ($P=0,000<0,05$). Επίσης ο χρόνος συντήρησης προκαλεί στατιστικά σημαντική μεταβολή στη συμπίεσότητα ($P=0,000<0,05$). Από την εξέταση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συμμετεχόντων παραγόντων παρατηρούμε ότι μόνο η αλληλεπίδραση του προζυμιού- συσκευασίας δεν είναι στατιστικά σημαντική ($P=0,662>0,05$) ενώ όλες οι άλλες αλληλεπιδράσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

Από το **σχήμα 3** φαίνεται καθαρά ότι η μεταβολή της συμπίεσότητας αυξάνει γραμμικά με την πάροδο του χρόνου. Τα προζύμια σύμφωνα με την επίδρασή τους στη συμπίεσότητα των δειγμάτων μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες. Τα προζύμια *Cibus1* , *Cibus2* που παρουσιάζουν τη χαμηλότερη τιμή, τα προζύμια *Fertic* και *Primalive* που ακολουθούν και τέλος το *Zarco* και ο *μάρτυρας (μαγιά)* που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές συμπίεσότητας.

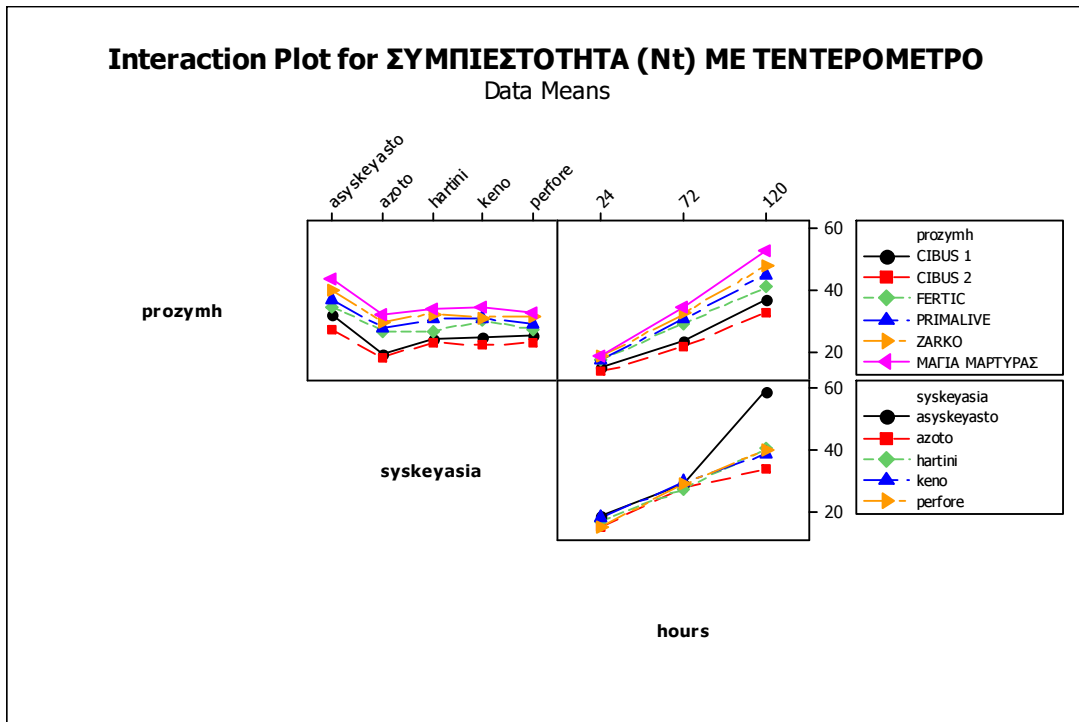
Από το **σχήμα 3** ανάλογα με την επίδραση της συσκευασίας στη συμπίεσότητα, τα δείγματα μπορούν να χωριστούν σε 3 ομάδες. Η πρώτη είναι η συσκευασία με το άζωτο που παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή, η δεύτερη με τη χάρτινη, υπό κενό και την περφορέ που ακολουθούν στις τιμές και τέλος το ασυσκευαστο που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή συμπίεσότητας.



Σχήμα 3. Main Effects Plot του 95% CIS των μέσων όρων της συμπίεστότητας των δειγμάτων μετρημένη στο ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟ, με διαφορετικά προζύμια, διαφορετικές συσκευασίες και σε τρεις διαφορετικούς χρόνους.

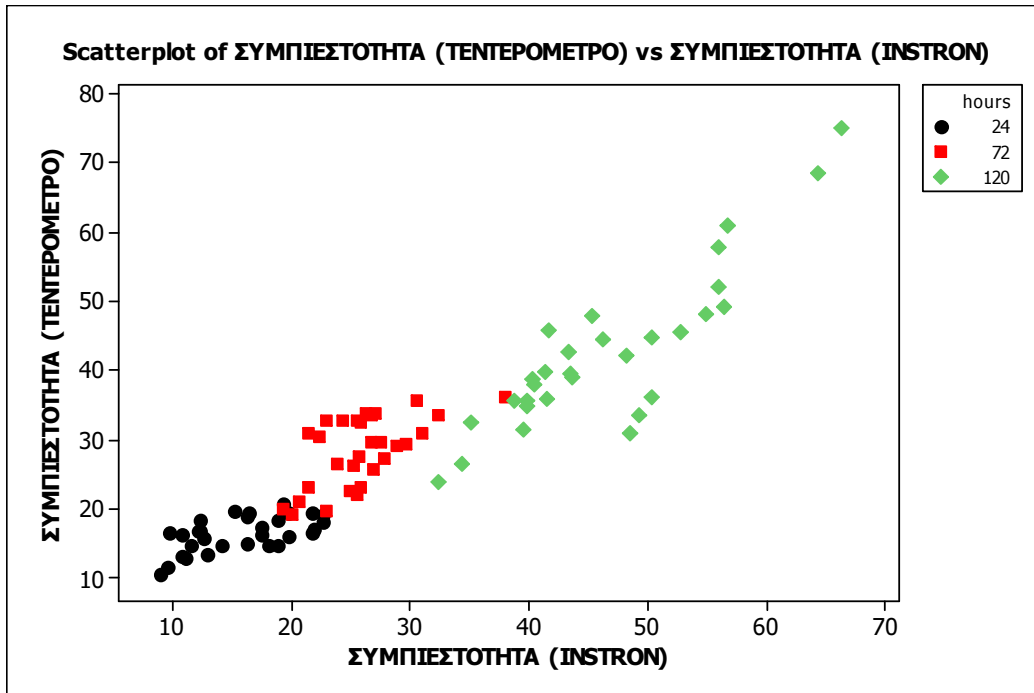
Από το **σχήμα 4** παρατηρούμε ότι οι ευθείες συμπίεστότητας είναι παράλληλες για τον παράγοντα συσκευασία-προζύμι και προζύμι-ώρες άρα δεν υπάρχει αλληλεπίδραση και είναι στατιστικά σημαντικοί γιατί υπάρχουν διαφορές στους μέσους όρους μεταξύ των επιπέδων του κάθε παράγοντα.

Για το γράφημα συσκευασίες – ώρες για το ασυσκευαστο δείγμα , παρατηρείται ότι η αλληλεπίδραση είναι σημαντική γιατί παρόλο που οι ευθείες είναι ανοδικές και στα δυο επίπεδα των παραγόντων δεν είναι παράλληλη με τις υπόλοιπες . Οι μέσοι όροι μεταξύ των επιπέδων κάθε παράγοντα δεν είναι ισοϋψείς και γι αυτό είναι στατιστικά σημαντικοί.



Σχήμα 4. Interaction Plot της συμπίεστικότητας, μετρημένη με το ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟ , σε διαφορετικούς συνδυασμούς επίδρασης των επιπέδων του προζυμιού και της συσκευασίας, της συσκευασίας και των ωρών , του προζυμιού και της συσκευασίας.

Από το διάγραμμα διασποράς των μέσων τιμών της συμπίεστικότητας του οργάνου Τεντερόμετρου και INSTRON σε τρεις διαφορετικούς χρόνους (24h,72h, 120h), **σχήμα 5**, προκύπτει ότι η διασπορά των τιμών είναι ομαλή, που σημαίνει ότι οι μετρήσεις και των δυο οργάνων είναι ανάλογες και εξάγονται τα ίδια συμπεράσματα για τους παράγοντες που τις επηρεάζουν.



Σχήμα 5. Διάγραμμα διασποράς των μέσων τιμών της συμπίεστικότητας του οργάνου Τεντερόμετρου και INSTRON σε τρεις διαφορετικούς χρόνους (24h,72h, 120h).

7. Συμπεράσματα

Το προζύμι *Cibus2* (δείγμα 5) είχε την καλύτερη επίδραση στο ρυθμό μπαγιατέματος του μέχρι την 5^η μέρα αποθήκευσης. Ακολούθησαν κατά σειρά το *Cibus1* (δείγμα 4), *Fertic* (δείγμα 1), *Primalive* (δείγμα 2), *Zarco* (δείγμα 3) και τέλος ο μάρτυρας μόνο με μαγιά (δείγμα 0). Παρατηρούμε ότι το δείγμα 4 είναι πολύ κοντά στις τιμές του δείγματος 5, που σημαίνει ότι και αυτό το προζύμι έχει πολύ καλή επίδραση στο ρυθμό μπαγιατέματος. Τέλος βλέπουμε ότι το δείγμα ψωμιού του μάρτυρα (μόνο με μαγιά) παρουσιάζει πολύ αυξημένο ρυθμό μπαγιατέματος.

Αξίζει να αναφερθεί ότι από τις μετρήσεις της συμπιεστότητας μετά από 3 ώρες σε δείγματα με διάφορα προζύμια και ένα μόνο με μαγιά, ο μάρτυρας (μόνο με μαγιά) παρουσίασε πολύ μεγαλύτερη τιμή από όλα τα υπόλοιπα δείγματα που ήταν σχεδόν ίδια. Έτσι συμπεραίνουμε ότι τα προζύμια παίζουν σημαντικό ρόλο στο μπαγιατέμα.

Από την πλευρά των συνθηκών αποθήκευσης (συσκευασία), την καλύτερη επίδραση στο ρυθμό μπαγιατέματος την είχε η πλαστική συσκευασία με άζωτο (δείγμα 1) ενώ κατά σειρά ακολούθησαν η πλαστική υπό κενό (δείγμα 0), η περφορέ (δείγμα 2), η χάρτινη (δείγμα 4) και τέλος το ασυσκευάστο ψωμί (δείγμα 3). Παρατηρούμε ότι οι τιμές της συμπιεστότητας για τις συσκευασίες πλαστική με άζωτο, πλαστική υπό κενό και περφορέ είναι σχετικά κοντά, που σημαίνει ότι και οι 3 έχουν πολύ καλή επίδραση στο ρυθμό μπαγιατέματος του ψωμιού. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το ασυσκευάστο δείγμα είχε πολύ μεγάλες διαφορές με τις υπόλοιπες συσκευασίες.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- ❖ Δημόπουλος Ι.Σ. (1987) Τεχνολογία Σιτηρών Ι, 1: 1-22, 25-39. Αθήνα
- ❖ Καζάζης Ι. (1992). Τεχνολογία σιτηρών ΙΙ, 111-114, 393-300. Εκδόσεις Ανωτέρα Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων Αθήνας, Αθήνα.
- ❖ Κεφαλάς Π.(2003) Τεχνολογία και έλεγχος ποιότητας σιτηρών, Εκδόσεις ΑΤΕΙ- Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Μπλούκας Ι. (2004) . Συσκευασία Τροφίμων, Εκδόσεις Σταμούλης, 106-110, 237-254, 275-290.
- ❖ Πετρίδης Δ. (2000). Εφαρμοσμένη Στατιστική με έμφαση στην επιστήμη των τροφίμων, Εκδόσεις Όμηρος Θεσσαλονίκης.

Ξένη

- ❖ Axford D., Colwell K., Cornford S., Elton G., (1968). Effect of loaf specific volume on the rate and extent of staling in bread. Journal Science Food Agriculture 19:95.
- ❖ Baik M., Chinachoti P. , (2000). Moisture redistribution and phase transitions during bread staling. Cereal Chemistry 77:484.
- ❖ Bechtel D., Pomeranz Y, de Francisco A. (1978). Breadmaking studied by light and transmission electron microscopy. Cereal Chemistry 55:392.
- ❖ Bechtel W., Meisner D. (1954). Staling studies of bread made with flour fractions. III. Effect of crumb moisture and of tailings starch. Cereal Chemistry 31:176
- ❖ Bechtel W., Meisner D. (1954). Staling studies of bread made with flour fractions. IV. Effects of gluten and wheat starch. Cereal Chemistry 31:182.
- ❖ Blanshard J. (1988). Elements of cereal product structure. In: Blanshard J, Mitchell J, editors. Food Structure - Its Creation and Evaluation. London: Butterworths. p 313-30.
- ❖ Dreese P., Faubion J., Hosney R.(1988) . Dynamic rheological properties of flour, gluten, and gluten-starch doughs. I. Temperature-dependent changes during heating. Cereal Chemistry 65:348.
- ❖ Eliasson A., Larson K. (1993). Cereals in breadmaking : a molecular colloidal approach, New York : M. Dekker, pp 118-129, 325-338.
- ❖ Every D., Gerrard J., Gilpin M., Ross M., Newberry M. (1998). Staling in starch bread: the effect of gluten additions on specific loaf volume and firming rate. Starch 50:443.
- ❖ Fearn T., Russell P. (1982). A kinetic study of bread staling by differential calorimetry. The effect of loaf specific volume. J Sci Food Agric 33:537.

- ❖ Gerrard J., Every D, Sutton K., Gilpin M. (1997). The role of maltodextrins in the staling of bread. *J Cereal Science* 26:201.
- ❖ Gerrard J., Abbot R., Newberry M., Gilpin M., Ross M, Fayle S. (2001). The effect of nongluten proteins on the staling of bread. *Starch* 53:278.
- ❖ Ghiasi K, Hosenev RC, Zeleznak K, Rogers DE. (1984). Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb. *Cereal Chemistry* 61:281.
- ❖ Giovanelli G, Peri C, Borri V. (1997). Effects of baking temperature on crumb-staling kinetics. *Cereal Chemistry* 74:710.
- ❖ Hibi Y. (2001). Effect of retrograded waxy corn starch on bread staling. 3rd Ed. Ringwood East VIC, Australia. *Starch* 53: 227.
- ❖ Hui Y. ,Corke H., Nip W., De Leyn I. (2006) Bakery products: science and technology. Blackwell Publishing, Iowa,USA pp 176-178
- ❖ Hui Y. ,Corke H., Nip W., De Leyn I. (2006) Bakery products: science and technology. Blackwell Publishing, Iowa,USA pp 176-178
- ❖ Izydorczyk M., Biliaderis C. (2000). Structural and functional aspects of cereal arabinoxylans and b-glucans. *Dev. Food Sci* 41 (Novel Macromolecules in Food Systems) : 3 6 1 .
- ❖ Kim S., D'Appolonia B. (1977). Bread staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties. *Cereal Chemistry* 54:207.
- ❖ Kulp K., Ponte J. (1981).Staling of white pan bread: fundamental causes.CRC Critical Review Food Science Nutrition 15:1.
- ❖ Marsh R., Blanshard J. (1988). The application of polymer crystal growth theory to the kinetics of formation of the B-amylose polymorph in a 50% wheat starch gel. *Carbohydrated Polymers* 9:301.
- ❖ Martin M., Zeleznak K., Hosenev R..(1991). A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. *Cereal Chemistry* 68:498.
- ❖ Morgan K., Gerrard J., Every D., Ross M., Gilpin M. (1997). Staling in starch breads. The effect of antistaling a-amylase. 49:54.
- ❖ Munck L, Pomeranz Y, (1981) . Cereals, a renewable resource : theory and practice St. Paul, Minn. : American Association of Cereal Chemist, pp 134-139.
- ❖ Piazza L, Masi P. (1995). Moisture redistribution throughout the bread loaf during staling and its effect on mechanical properties. *Cereal Chemistry* 72:320.
- ❖ Prentice N, Cuendet L., Geddes W. (1954). Studies on bread staling. V. Effect of flour fractions and various starches on the firming of bread crumb. *Cereal Chemistry* 31:188.
- ❖ Rogers D., Zeleznak K., Lai C., Hosenev R. (1988). Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry* 65:398.

- ❖ Russell P., (1985) *The Master Bakers Book Of Breadmaking*, 2nd ed, Plc, New York, 104-106
- ❖ Schiraldi A, Fessas D. (2001). Mechanism of staling: An overview. In: Chinachoti P, Vodovotz Y, editors. *Bread Staling*. Boca Raton, Fla.: CRC Press. p 1-17, 22-35.
- ❖ Setser C. (1996). Sensory methods. In: Hebeda RE, Zobel H, editors. *Baked Goods Freshness*. New York: Marcel Dekker. p 171-187.
- ❖ Short A., Roberts E. 1971. Pattern of firmness within a bread loaf. *J Science Food Agric* 22 : 470 .
- ❖ Takeshi K. (1990). Food Packaging. In: *New Trends in the Technology of Food Preservation*, ACADEMIC PRESS, New York, pp 234-236.
- ❖ Toufeili I, Habbal Y, Shadarevian S, Olabi A. (1999). Substitution of wheat starch with nonwheat starches and cross-linked waxy barley starch affects sensory properties and staling of Arabic bread. *Journal Science Food Agriculture* 79:1855.
- ❖ Vodovotz Y., Vittadini E, Sachleben J. (2002). Use of ¹H cross-relaxation nuclear magnetic resonance spectroscopy to probe the changes in bread and its components during aging. *Carbohydrate Res* 337:147.
- ❖ Willhoft E. (1973). Mechanism and theory of staling of bread and baked goods, and associated changes in textural properties. *Journal Texture Study* 4:292.
- ❖ Williams K., Taillie S, Abdelrahman A, Engelbrecht D. (1995). Process for reducing the staling of baked goods. U.S. Patent 5472724.
- ❖ Wilson R., Goodfellow B., Belton P., Osborne B., Oliver G, Russell P. (1991). Comparison of Fourier transform mid infrared spectroscopy and near infrared reflectance spectroscopy with differential scanning calorimetry for the study of the staling of bread. *Journal Science Food Agric* 54:471.
- ❖ Zobel H., Kulp K. (1996). The staling mechanism. In: *Baked Goods Freshness*. Hebeda RE, Zobel H, editors. Marcel Dekker, New York. p 1-64.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	6
2.1. Αρτοποιήση	6
2.1.1. Βασικά Συστατικά Ψωμιού	6
2.1.2. Προζύμια	7
2.1.3. Βασικά στάδια Αρτοποιήσης	9
2.1.4. Τεχνικές αρτοποιήσης	11
2.2. Δομή του ψωμιού	12
2.2.1 Ψίχα	12
2.2.2. Κρούστα	14
2.3 Μπαγιάτεμα	15
2.3.1. Τρόπος εμφάνισης του μπαγιατέματος	16
2.3.1.1. Μπαγιάτεμα της κρούστας	16
2.3.1.2. Μπαγιάτεμα της ψίχας	17
2.3.2 Συστατικά στο αλεύρι σίτου	17
2.3.2.1 Πρωτεΐνη	18
2.3.2.2. Άμυλο	18
2.3.2.3. Μη-αμυλούχοι πολυσακχαρίτες	19
2.3.3. Μηχανισμός του μπαγιατέματος	19
2.3.3.1. Αναδιάταξη αμυλοπηκτίνης	20
2.3.3.2. Ρόλος της αμυλόζης	22
2.3.3.3. Σχέση μεταξύ της σκλήρυνσης της ψίχας και της αναδιάταξης αμύλου	23
2.3.3.4. Ρόλος της πρωτεΐνης αλεύρου	24
2.3.4. Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στο μπαγιάτεμα	27
2.3.4.1. Θερμοκρασία αποθήκευσης	27
2.3.4.2. Μετακίνηση υγρασίας	28

2.3.4.3. Παράγοντες της επεξεργασίας	31
2.4. Μέθοδοι μέτρησης του βαθμού μπαγιατέματος	31
2.4. 1. Συμπιεστότητα.....	32
2.4. 2. Διαλυτό άμυλο	32
2.4. 3. Μετρήσεις ακτινών Χ	33
2.4. 4. Θερμική ανάλυση	33
2.4. 5. Υπέρυθρη φασματοσκοπία ανάκλασης (NIR)	35
2.4. 6. Οργανοληπτικές δοκιμές.....	35
2.5. Τρόποι αποφυγής ή μείωσης του μπαγιατέματος.....	35
2.5.1. Ένζυμα.....	36
2.5.2. Λίπη αρτοποιίας και άλλες λιπαρές ύλες.....	37
2.5.3. Γαλακτωματοποιητές	37
2.6 Συσκευασία.....	38
2.6.1 Είδη υλικών πλαστικής συσκευασίας.....	39
2.6.2 Τεχνολογία συσκευασίας υπό τροποποιημένες ατμόσφαιρες (MAP)	40
2.6.3 Διατρυπημένες ταινίες πολυπροπυλενίου (OPP) ή περφορέ	42
2.6.3 Συσκευασία κηρωμένου χαρτιού (waxed paper)	43
3. Σκοπός της εργασίας.....	44
4. Πειραματικό μέρος	45
4.1. Μέτρηση συμπιεστότητας με το <i>INSTRON</i>	45
4.1.1. Γενικές πληροφορίες για το <i>INSTRON</i>	45
4.1.2. Περιγραφή του οργάνου <i>INSTRON</i>	46
4.1.3. Προετοιμασία δείγματος	46
4.1.4. Μέθοδος.....	46
4.2. Μέτρηση συμπιεστότητας με το τεντερόμετρο <i>Manual Lever Test Stand Model FGS-50L</i>	48
4.2.1. Γενικές πληροφορίες για το τεντερόμετρο <i>Manual Lever Test Stand Model FGS-50L</i>	48
4.2.1. Περιγραφή του οργάνου <i>Manual Lever Test Stand Model FGS-50L</i>	48

4.2.3. Προετοιμασία δείγματος	49
4.1.4. Μέθοδος.....	49
4.3. Αρτοποίηση: Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ταχείας αρτοποίησης	50
4.3.1. Υλικά	50
4.3.2. Εκτέλεση	51
4.3.3. Διαδικασία	51
4.3.4. Συσκευασία δειγμάτων	51
5. Πειραματικά αποτελέσματα	53
6. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	66
7. Συμπεράσματα	72
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΕΔΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΕΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ *LEVENE TEST* ΤΗΣ ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ *ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΨΩΜΙΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΡΟΖΥΜΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΑ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ 3 ΩΡΕΣ, ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΣΤΟ INSTRON ΚΑΙ ΤΟ ΤΕΝΤΕΡΟΜΕΤΡΟ*, ΟΠΩΣ ΑΥΤΑ ΕΞΑΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ MINITAB.

1.1

One-way ANOVA: INSTRON 3h versus DEIGMATA

Source	DF	SS	MS	F	P
DEIGMATA	5	13,1346	2,6269	43,60	0,000
Error	12	0,7231	0,0603		
Total	17	13,8577			

S = 0,2455 R-Sq = 94,78% R-Sq(adj) = 92,61%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+
0	3	5,3583	0,1966	(---*---)
1	3	3,4393	0,1732	(---*---)
2	3	3,3650	0,3410	(---*---)
3	3	3,3247	0,3088	(---*---)
4	3	2,8907	0,2211	(---*---)
5	3	2,7890	0,1799	(---*---)

-----+-----+-----+-----+

3,20 4,00 4,80 5,60

Pooled StDev = 0,2455

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 0,24; p-value = 0,938

1.2

One-way ANOVA: TENT 3h versus DEIGMATA

Source	DF	SS	MS	F	P
DEIGMATA	5	9,7744	1,9549	26,60	0,000
Error	12	0,8819	0,0735		
Total	17	10,6563			

S = 0,2711 R-Sq = 91,72% R-Sq(adj) = 88,28%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+
0	3	5,5317	0,2389	(----*----)
1	3	3,5590	0,1994	(----*----)
2	3	3,4293	0,2484	(----*----)
3	3	3,8457	0,1711	(----*----)
4	3	3,4330	0,2925	(----*----)
5	3	3,7033	0,4093	(----*----)

-----+-----+-----+-----+

3,50 4,20 4,90 5,60

Pooled StDev = 0,2711

Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 0,16; p-value = 0,974

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ **Results for: INSTRON**

General Linear Model: SYMIISTOTITA versus prozymh; syskeyasia; hours

Factor	Type	Levels	Values
prozymh	fixed	6	CIBUS 1; CIBUS 2; FERTIC; PRIMALIVE; ZARKO; ΜΑΡΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ
syskeyasia	fixed	5	asyskeyasto; azoto; hartini; keno; perfore
hours	fixed	3	24; 72; 120

Analysis of Variance for SYMIISTOTITA, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
prozymh	5	642,45	642,45	128,49	54,66	0,000
syskeyasia	4	1788,95	1788,95	447,24	190,25	0,000
hours	2	14775,85	14775,85	7387,93	3142,78	0,000
prozymh*syskeyasia	20	84,02	84,02	4,20	1,79	0,058
prozymh*hours	10	60,17	60,17	6,02	2,56	0,017
syskeyasia*hours	8	443,46	443,46	55,43	23,58	0,000
Error	40	94,03	94,03	2,35		
Total	89	17888,93				

S = 1,53322 R-Sq = 99,47% R-Sq(adj) = 98,83%

Unusual Observations for SYMIISTOTITA

Obs	SYMIISTOTITA	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
19	22,6620	25,2789	1,1428	-2,6169	-2,56 R
28	16,1690	18,2507	1,1428	-2,0817	-2,04 R
66	39,5250	37,4053	1,1428	2,1197	2,07 R
84	48,2130	50,9433	1,1428	-2,7303	-2,67 R

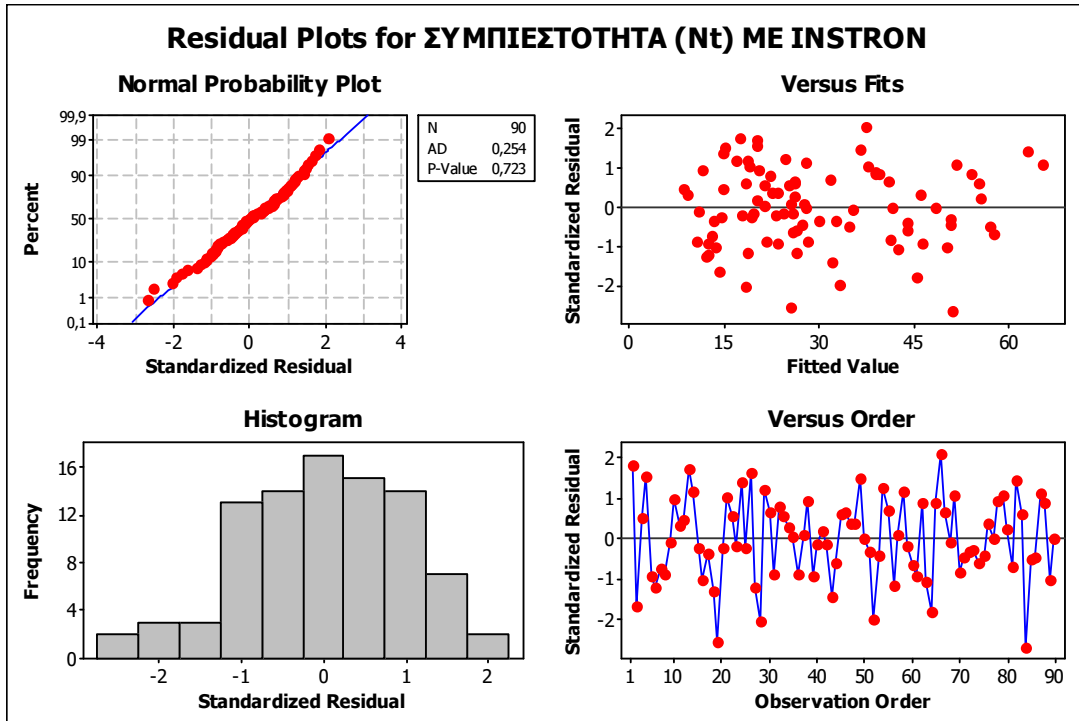
R denotes an observation with a large standardized residual.

Least Squares Means for SYMIISTOTITA

	Mean	SE Mean
prozymh		
CIBUS 1	27,28	0,3959
CIBUS 2	25,85	0,3959
FERTIC	28,57	0,3959
PRIMALIVE	29,46	0,3959
ZARKO	31,04	0,3959
ΜΑΡΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	34,12	0,3959
syskeyasia		
asyskeyasto	35,73	0,3614
azoto	23,23	0,3614
hartini	32,95	0,3614
keno	26,63	0,3614
perfore	28,39	0,3614
hours		

24		15,74	0,2799
72		25,88	0,2799
120		46,54	0,2799
prozymh*syskeyasia			
CIBUS 1	asyskeyasto	33,40	0,8852
CIBUS 1	azoto	21,28	0,8852
CIBUS 1	hartini	31,48	0,8852
CIBUS 1	keno	24,20	0,8852
CIBUS 1	perfore	26,02	0,8852
CIBUS 2	asyskeyasto	30,08	0,8852
CIBUS 2	azoto	20,15	0,8852
CIBUS 2	hartini	30,75	0,8852
CIBUS 2	keno	23,74	0,8852
CIBUS 2	perfore	24,51	0,8852
FERTIC	asyskeyasto	34,17	0,8852
FERTIC	azoto	22,06	0,8852
FERTIC	hartini	32,44	0,8852
FERTIC	keno	25,17	0,8852
FERTIC	perfore	29,01	0,8852
PRIMALIVE	asyskeyasto	35,36	0,8852
PRIMALIVE	azoto	23,93	0,8852
PRIMALIVE	hartini	32,54	0,8852
PRIMALIVE	keno	27,39	0,8852
PRIMALIVE	perfore	28,09	0,8852
ZARKO	asyskeyasto	39,04	0,8852
ZARKO	azoto	25,59	0,8852
ZARKO	hartini	33,31	0,8852
ZARKO	keno	28,77	0,8852
ZARKO	perfore	28,49	0,8852
MAGIA MAPTYPAΣ	asyskeyasto	42,34	0,8852
MAGIA MAPTYPAΣ	azoto	26,39	0,8852
MAGIA MAPTYPAΣ	hartini	37,15	0,8852
MAGIA MAPTYPAΣ	keno	30,52	0,8852
MAGIA MAPTYPAΣ	perfore	34,20	0,8852
prozymh*hours			
CIBUS 1	24	14,20	0,6857
CIBUS 1	72	23,52	0,6857
CIBUS 1	120	44,10	0,6857
CIBUS 2	24	13,14	0,6857
CIBUS 2	72	22,72	0,6857
CIBUS 2	120	41,68	0,6857
FERTIC	24	16,11	0,6857
FERTIC	72	24,59	0,6857
FERTIC	120	45,02	0,6857
PRIMALIVE	24	15,46	0,6857
PRIMALIVE	72	26,36	0,6857
PRIMALIVE	120	46,56	0,6857
ZARKO	24	15,84	0,6857
ZARKO	72	27,42	0,6857
ZARKO	120	49,87	0,6857
MAGIA MAPTYPAΣ	24	19,70	0,6857
MAGIA MAPTYPAΣ	72	30,68	0,6857
MAGIA MAPTYPAΣ	120	51,99	0,6857
syskeyasia*hours			
asyskeyasto	24	19,44	0,6259
asyskeyasto	72	29,85	0,6259
asyskeyasto	120	57,91	0,6259
azoto	24	10,53	0,6259
azoto	72	22,11	0,6259
azoto	120	37,06	0,6259
hartini	24	19,44	0,6259
hartini	72	27,40	0,6259
hartini	120	51,99	0,6259
keno	24	14,27	0,6259
keno	72	24,01	0,6259
keno	120	41,62	0,6259
perfore	24	15,02	0,6259

perfore	72	26,04	0,6259
perfore	120	44,10	0,6259



Results for: TENTEROMETRO

General Linear Model: SYMPIESTOTITA versus prozymh; syskeyasia; hours

Factor	Type	Levels	Values
prozymh	fixed	6	CIBUS 1; CIBUS 2; FERTIC; PRIMALIVE; ZARKO; ΜΑΡΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ
syskeyasia	fixed	5	asyskeyasto; azoto; hartini; keno; perfore
hours	fixed	3	24; 72; 120

Analysis of Variance for SYMPIESTOTITA, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
prozymh	5	1726,45	1726,45	345,29	57,74	0,000
syskeyasia	4	1019,32	1019,32	254,83	42,61	0,000
hours	2	10269,26	10269,26	5134,63	858,58	0,000
prozymh*syskeyasia	20	99,69	99,69	4,98	0,83	0,662
prozymh*hours	10	377,60	377,60	37,76	6,31	0,000
syskeyasia*hours	8	1383,31	1383,31	172,91	28,91	0,000
Error	40	239,21	239,21	5,98		
Total	89	15114,85				

S = 2,44548 R-Sq = 98,42% R-Sq(adj) = 96,48%

Unusual Observations for SYMPIESTOTITA

Obs	SYMPIESTOTITA	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
48	19,6000	22,9259	1,8228	-3,3259	-2,04 R
54	23,0300	19,6465	1,8228	3,3835	2,08 R
64	39,1020	42,5794	1,8228	-3,4774	-2,13 R
73	44,6880	48,8140	1,8228	-4,1260	-2,53 R
79	75,0680	71,4491	1,8228	3,6189	2,22 R
84	42,1790	47,5305	1,8228	-5,3515	-3,28 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Least Squares Means for SYMPIESTOTITA

prozy	Mean	SE Mean
CIBUS 1	24,83	0,6314
CIBUS 2	22,34	0,6314
FERTIC	28,81	0,6314
PRIMALIVE	30,79	0,6314
ZARKO	32,67	0,6314
MAGIA MAPTYPAΣ	35,06	0,6314
syskeyasia		
asyskeyasto	35,43	0,5764
azoto	25,36	0,5764
hartini	28,14	0,5764
keno	28,55	0,5764
perfore	27,94	0,5764
hours		
24	16,39	0,4465
72	28,33	0,4465
120	42,53	0,4465
prozymh*syskeyasia		
CIBUS 1 asyskeyasto	31,69	1,4119
CIBUS 1 azoto	19,04	1,4119
CIBUS 1 hartini	23,84	1,4119
CIBUS 1 keno	24,34	1,4119
CIBUS 1 perfore	25,25	1,4119
CIBUS 2 asyskeyasto	26,73	1,4119
CIBUS 2 azoto	18,03	1,4119
CIBUS 2 hartini	22,70	1,4119
CIBUS 2 keno	21,72	1,4119
CIBUS 2 perfore	22,52	1,4119
FERTIC asyskeyasto	34,44	1,4119
FERTIC azoto	26,51	1,4119
FERTIC hartini	26,20	1,4119
FERTIC keno	29,73	1,4119
FERTIC perfore	27,16	1,4119
PRIMALIVE asyskeyasto	36,59	1,4119
PRIMALIVE azoto	27,34	1,4119
PRIMALIVE hartini	30,41	1,4119
PRIMALIVE keno	30,64	1,4119
PRIMALIVE perfore	28,99	1,4119
ZARKO asyskeyasto	39,69	1,4119
ZARKO azoto	29,51	1,4119
ZARKO hartini	32,05	1,4119
ZARKO keno	30,80	1,4119
ZARKO perfore	31,28	1,4119
MAGIA MAPTYPAΣ asyskeyasto	43,45	1,4119
MAGIA MAPTYPAΣ azoto	31,74	1,4119
MAGIA MAPTYPAΣ hartini	33,61	1,4119
MAGIA MAPTYPAΣ keno	34,07	1,4119
MAGIA MAPTYPAΣ perfore	32,44	1,4119
prozymh*hours		

CIBUS 1	24	14,56	1,0937
CIBUS 1	72	23,26	1,0937
CIBUS 1	120	36,67	1,0937
CIBUS 2	24	13,22	1,0937
CIBUS 2	72	21,22	1,0937
CIBUS 2	120	32,58	1,0937
FERTIC	24	16,84	1,0937
FERTIC	72	28,87	1,0937
FERTIC	120	40,71	1,0937
PRIMALIVE	24	17,26	1,0937
PRIMALIVE	72	30,28	1,0937
PRIMALIVE	120	44,84	1,0937
ZARKO	24	18,09	1,0937
ZARKO	72	32,07	1,0937
ZARKO	120	47,84	1,0937
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	24	18,37	1,0937
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	72	34,30	1,0937
ΜΑΓΙΑ ΜΑΡΤΥΡΑΣ	120	52,51	1,0937
syskeyasia*hours			
asyskeyasto	24	18,15	0,9984
asyskeyasto	72	28,71	0,9984
asyskeyasto	120	59,43	0,9984
azoto	24	14,74	0,9984
azoto	72	27,60	0,9984
azoto	120	33,74	0,9984
hartini	24	16,69	0,9984
hartini	72	27,16	0,9984
hartini	120	40,56	0,9984
keno	24	17,58	0,9984
keno	72	29,48	0,9984
keno	120	38,59	0,9984
perfore	24	14,80	0,9984
perfore	72	28,71	0,9984
perfore	120	40,31	0,9984

