

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη της επίδρασης της θερμικής κατεργασίας και της σύστασης στα ρεολογικά χαρακτηριστικά επαλειφόμενων τυριών**

**ΚΟΝΤΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015**

Μελέτη της επίδρασης της θερμικής κατεργασίας και της  
σύστασης στα ρεολογικά χαρακτηριστικά επαλειφόμενων  
τυριών

**ΚΟΝΤΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

Υποβολή πτυχιακής εργασίας που αποτελεί μέρος των  
απαιτήσεων για την απονομή του πτυχίου του Τμήματος  
Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία:

ΙΟΥΝΙΟΣ 2015

Εισηγητής καθηγητής:

ΡΑΦΑΗΛΙΔΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θερμές ευχαριστίες στον εισηγητή κ. Ραφαηλίδη Στυλιανό Καθηγητή του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, για την συμβολή του στην περάτωση της εν λόγω εργασίας. Ακόμη, πολλές ευχαριστίες στην κ. Δημητρέλη Γεωργία Καθηγήτρια του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, για τις πολύτιμες υποδείξεις και κατευθύνσεις της κατά την διάρκεια των πειραματικών εργασιών.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους εργοδότες μου κ. Άγγελο Τσατσούλη και κ. Αλέξιο Τσατσούλη που με την προθυμία και την στήριξή τους στάθηκαν αρωγοί στην εκπόνηση της παρούσας έρευνας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το οικογενειακό και φιλικό μου περιβάλλον για την στήριξη και κατανόηση που έδειξαν όλο αυτό το διάστημα της μελέτης μου.

# Μελέτη της επίδρασης της θερμικής κατεργασίας και της σύστασης στα ρεολογικά χαρακτηριστικά επαλειφόμενων τυριών

## ΚΟΝΤΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΑΤΕΙ), Σχολή ΣΤΕΤΡΟ-Δ

Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 ΤΘ 141, Θεσσαλονίκη

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πέντε σειρές αλειφόμενων τυριών παρασκευάστηκαν και παστεριώθηκαν σε θερμοκρασίες 92 ή 98°C. Τα δείγματα είχαν ως βάση μίγμα τυριών μυζήθρας και φέτας σε αναλογία 9/1 που αποτελούσαν τη μια σειρά ενώ στις άλλες σειρές είχαν προστεθεί στο μίγμα αυτό, γάλα UHT(1,5%) στη δεύτερη σειρά, νερό(2,0%) και γάλα (1,5%) UHT στη τρίτη σειρά, νερό(2%) ,γάλα UHT (1,5%) και ελαιόλαδο (1,5%) στη τέταρτη σειρά και ελαιόλαδο σε υψηλό ποσοστό (10%) στη πέμπτη σειρά. Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων μελετήθηκαν με τη δοκιμή της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής και συγκρίθηκαν με αυτά δείγματος μίγματος μυζήθρας-φέτας στην αναλογία 9/1 που δεν είχε υποστεί θερμική κατεργασία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παστερίωση μείωσε κατά πολύ το εκτατό ιξώδες των δειγμάτων όπως επίσης και η προσθήκη των διαφόρων συστατικών με τη σημαντικότερη μεταβολή να τη προκαλεί το ελαιόλαδο.

## Πίνακας περιεχομένων

1.Εισαγωγή.....	7
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	8
2.1. Πρώτες ύλες για την παρασκευή του τυριού.....	8
2.1.1. Γάλα και τα συστατικά του.....	8
2.1.2. Πυτιά.....	9
2.1.3. Οξυγαλακτική καλλιέργεια.....	9
2.1.4. Αλάτι.....	10
2.2 Φέτα .....	10
2.2.1 Παρασκευή φέτας .....	10
2.3 Μυζήθρα .....	12
2.3.1 Παρασκευή μυζήθρας.....	12
2.5. Ρεολογικές ιδιότητες του τυριού.....	14
2.5.1. Γενικά.....	14
2.5.2. Μικροδομή του τυριού .....	14
2.5.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του τυριού .....	15
2.5.4. Επίδραση της μέσης σύστασης στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του τυριού. ....	16
2.6 Εκτατική ροή .....	17
2.6.1. Εφαρμογή της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής.....	18
3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	23
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	23
4.1 Ανάμιξη τυριού φέτας-μυζήθρας.....	23
4.2. Παρασκευή των δειγμάτων του τυριού .....	23
4.3 Προσδιορισμός του pH.....	25
4.4 Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων .....	25
4.4.1 Περιγραφή του Texture Analyser TA.XT.plus .....	25

4.4.2. Δοκιμή μονοαξονικής συμπίεσης με σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης .....	26
5. Αποτελέσματα και συζήτηση .....	27
6. Συμπεράσματα .....	34
7. Βιβλιογραφία .....	35
8. Παράρτημα.....	38

## 1.Εισαγωγή

Τα ανακατεργασμένα τυριά χρησιμοποιούνται ευρέως στην παγκόσμια αγορά τροφίμων, λόγω της πληθώρας πλεονεκτημάτων που εμφανίζουν σε σχέση με τα φυσικά τυριά. Προσφέρονται σε μεγάλη ποικιλία μορφών και τρόπων χρησιμοποίησης. Έτσι, η προτίμησή τους από το κοινό τα κατατάσσει σε υψηλή κλίμακα κατανάλωσης (Kosikowski, 1997).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ανακατεργασμένων τυριών είναι ότι δεν υφίστανται αλλοίωση κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, καθώς δεν προσβάλλονται από μικροοργανισμούς, εφόσον παρασκευάζονται με θερμική επεξεργασία και διατηρούνται σε κατάλληλες συσκευασίες (Fox, 1984). Επιπλέον παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία υφής, τεράστια γκάμα μορφών παρουσίασης, απεριόριστη δυνατότητα ανάπτυξης νέων προϊόντων και καλές διαιτητικές ιδιότητες (Thomareis, 1986).

Η ποιότητα των τελικών προϊόντων ανακατεργασμένων τυριών καθορίζεται από την υφή και τη δομή τους, τα οποία προκύπτουν από τη ρεολογική συμπεριφορά αυτών. Για την παρασκευή της καλύτερης δυνατής ποιότητας ανακατεργασμένων τυριών είναι αναγκαίο να μελετηθούν κάποιοι σημαντικοί παράγοντες και παράμετροι τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην τεχνολογία παρασκευής τους. Γι' αυτό το λόγο, είναι αναγκαία η μέτρηση του ιξώδους στο τελικό προϊόν (Smith et al., 1980). Οι μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των τυριών καθώς και των παραγόντων που τα επηρεάζουν κρίνονται απαραίτητες (Kosikowski, 1997).

Οι ρεολογικές μετρήσεις χρησιμοποιούνται άμεσα στη βιομηχανία τροφίμων ως εργαλείο για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών των πρώτων υλών πριν υποστούν επεξεργασία, για τα ενδιάμεσα προϊόντα κατά την διάρκεια της παρασκευής τους και για τα τελικά προϊόντα (Gipsy et al, 2005).

Σχεδόν όλοι οι τύποι φυσικών τυριών είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή ανακατεργασμένων τυριών (Berger et al., 1998). Τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα φυσικά τυριά είναι τα Cheddar, Emmental, Gruyere, Gouda, Edam, Colby, Mozzarella, Monterey Jack, Tilsit, Trappist, Fontina και Provolone (Meyer, 1973, Nogueira de Oliveira et al., 2011) Σπανιότερα όμως γίνεται χρήση παραδοσιακών ελληνικών τυριών, όπως της φέτας και της μυζήθρας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας και της προσθήκης νερού, λαδιού και γάλακτος στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του μίγματος τυριών μυζήθρας-φέτας. Η ρεολογική συμπεριφορά των δειγμάτων μελετήθηκε χρησιμοποιώντας τη δοκιμή της ιξωδομετρίας λιπαινόμενης συμπιεστής ροής. Στα δείγματα εφαρμόστηκε μονοαξονική συμπίεση υπό συνθήκες λιπαινόμενης διαξονικής ροής με σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης σε συνθήκες σταθερής ροής. Στη συνέχεια ακολουθεί η παράθεση των πειραματικών δοκιμών και τα αποτελέσματα και συζήτηση, καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα.

## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1. Πρώτες ύλες για την παρασκευή του τυριού

#### 2.1.1. Γάλα και τα συστατικά του

Τα συστατικά του γάλακτος, τα οποία βρίσκονται σε μεγαλύτερη αναλογία σε αυτό και ονομάζονται βασικά είναι το νερό, οι πρωτεΐνες (διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τις καζεΐνες και τις πρωτεΐνες ορού), το λίπος, η λακτόζη και τα άλατα. Τα υπόλοιπα συστατικά του γάλακτος που απαντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες σε αυτό είναι οι βιταμίνες, οι ορμόνες, οι αζωτούχες ουσίες μη πρωτεϊνικής φύσεως, οι αλδεΐδες, οι κετόνες, τα αλειφατικά οξέα, τα σωματικά κύτταρα και τα αέρια (Smit, 2003).

**1.Νερό:** Το νερό είναι το συστατικό του γάλακτος που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία σε αυτό. Η περιεκτικότητά του στα διάφορα είδη γάλακτος κυμαίνεται από 80-88%. Το νερό αποτελεί το μέσο στο οποίο υπάρχουν και τα υπόλοιπα συστατικά του γάλακτος είτε υπό τη μορφή μοριακού διαλύματος ή γαλακτώματος, είτε υπό κolloειδή διασπορά. Το νερό στο γάλα απαντάται είτε ως ελεύθερο είτε ως δεσμευμένο (Smit, 2003).

**2.Πρωτεΐνες:** Οι πρωτεΐνες του γάλακτος παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον γιατί απαντούν σε υψηλή αναλογία σε αυτό, προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις φυσικοχημικές του ιδιότητες, ιδιαίτερα αυτές που σχετίζονται με τη σταθερότητά του και έχουν υψηλή θρεπτική αξία. Οι πρωτεΐνες του γάλακτος διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις καζεΐνες και τις πρωτεΐνες ορού (Smit, 2003).

**2.α)Καζεΐνες:** Οι καζεΐνες είναι το κλάσμα των πρωτεϊνών που καθιζάνει ύστερα από οξίνιση σε pH 4,6 και θερμοκρασία 20°C. Με βάση τη διάταξη των αμινοξέων στο μόριό τους διακρίνονται σε αs1-, αs2-, β-, και κ-καζεΐνες. Πειραματικά δεδομένα έχουν δείξει ότι οι καζεΐνες έχουν χαμηλά επίπεδα δευτεροταγούς και τριτοταγούς δομής. Το γεγονός αυτό τις κάνει σταθερές έναντι σε παράγοντες που προκαλούν μετουσίωση και ευάλωτες στην πρωτεόλυση κατά την ωρίμανση των τυριών. Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα της πρώτης ύλης σε καζεΐνη τόσο το τελικό προϊόν που λαμβάνεται είναι πιο σταθερό. Πιο αναλυτικά, οι καζεΐνες του τυριού έχουν μη πολικές, λιπόφιλες ανθρακούχες ομάδες, ενώ οι αζωτούχες ομάδες που περιέχουν φωσφορικό ασβέστιο είναι υδρόφιλες. (Caric & Kalab, 1987).

**2.β)Πρωτεΐνες ορού:** Οι κυριότερες πρωτεΐνες ορού είναι η οροαλβουμίνη, η α-γαλακταλβουμίνη, η β-γαλακτογλοβουλίνη και οι ανοσοσφαιρίνες. Οι πρωτεΐνες ορού σε αντίθεση με τις καζεΐνες έχουν υψηλά επίπεδα δευτεροταγούς, τριτοταγούς και τεταρτοταγούς δομής. Είναι τυπικές σφαιρικές πρωτεΐνες και μετουσιώνονται με την επίδραση της θέρμανσης. Δεν περιέχουν φώσφορο στο μόριό τους και δεν είναι ευαίσθητες στην παρουσία ιόντων ασβεστίου.(Li et al, 2006)

**3.Λίπος:** Το λίπος στο γάλα βρίσκεται υπό τη μορφή λιποσφαιρίων, τα οποία περιβάλλονται από ένα λεπτό προστατευτικό στρώμα που ονομάζεται μεμβράνη. Ο ρόλος της μεμβράνης των λιποσφαιρίων είναι αφενός μεν να παρεμποδίζει τη συσσωμάτωσή τους – διατηρώντας το σφαιρικό τους σχήμα και επιτρέποντας τη



διασπορά τους στο υδατικό περιβάλλον του γάλακτος – και αφετέρου να προστατεύει το λίπος από την αυτοοξειδωση και τη δράση των ενζύμων του γάλακτος (Μάντης, 2005).

**4.Λακτόζη:** Είναι το κύριο σάκχαρο του γάλακτος, η παρουσία της είναι σημαντική γιατί αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα στον έλεγχο των ζυμώσεων στα διάφορα γαλακτοκομικά προϊόντα. Επίσης προσδίδει θρεπτική αξία στο γάλα, αποτελεί πηγή ενέργειας, πηγή γαλακτόζης, επηρεάζει τη διαλυτότητα των αποθηκευμένων γαλακτοκομικών προϊόντων και παίζει βασικό ρόλο στην εμφάνιση του χρώματος και της γεύσης στα γαλακτοκομικά προϊόντα που έχουν δεχτεί υψηλή θερμική επεξεργασία (Μάντης, 2005).

**5.Άλατα:** Το γάλα περιέχει οργανικά και ανόργανα άλατα. Τα κύρια άλατα του γάλακτος είναι τα χλωριούχα, φωσφορικά, και κιτρικά άλατα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου. Τα άλατα απαντώνται στο γάλα σε διάφορες μορφές. Κάποια από αυτά βρίσκονται στη διαλυτή μορφή, άλλα είναι ενωμένα με διάφορα συστατικά και τα υπόλοιπα απαντώνται υπό τη μορφή ιόντων. Ο ρόλος των αλάτων του γάλακτος είναι σημαντικός. Συγκεκριμένα, το ασβέστιο και ο φώσφορος σταθεροποιούν την κolloειδή κατάσταση της καζεΐνης στο γάλα. Τα ιόντα ασβεστίου επηρεάζουν το μέγεθος των καζεϊνικών μικκυλίων, αλλά και την πήξη του γάλακτος κατά την παρασκευή τυριών. Η αύξηση των χλωριόντων αποτελεί ένδειξη προσβολής των ζώων από μαστίτιδα, ενώ το κιτρικό οξύ χρησιμοποιείται από μικροοργανισμούς για την παραγωγή αρωματικών ουσιών (Smít, 2003).

### 2.1.2. Πυτιά

Η συμβατική πυτιά, ή όπως αναφέρεται συχνά με τον γενικότερο όρο πυτιά (rennet), είναι προϊόν που λαμβάνεται από το τέταρτο τμήμα του στομάχου των μοσχαριών, το ήνυστρο, σαν εκχύλισμα και χρησιμοποιείται για την πήξη του γάλακτος με σκοπό την παρασκευή τυριών. Το ένζυμο που περιέχεται κατά κύριο λόγο στην πυτιά είναι η ρεννίνη ή αλλιώς χυμοσίνη. Επιπλέον, στην πυτιά υπάρχουν σε μικρότερες ποσότητες και άλλα ένζυμα όπως πεψίνη, θρυψίνη και άλλες πεπτιδάσες (Ανυφαντάκης, 1993).

Η πυτιά κυκλοφορεί στο εμπόριο σε δύο μορφές: α) υγρή και β) σκόνη. Η πηκτική της δύναμη κυμαίνεται ανάλογα με τις συνθήκες και τη διάρκεια διατήρησης, καθώς και τη μορφή στην οποία διατίθεται. Συνήθως η υγρή έχει ισχύ 1:15.000, ενώ η σκόνη 1:100.000. Η υγρή πυτιά σε σύγκριση με τη σκόνη έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί εύκολα να μετρηθεί ποσοτικά, έχει όμως τα εξής μειονεκτήματα: α) χρειάζεται ψυγείο για τη διατήρησή της, β) χάνει σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι η σκόνη την πηκτική της δύναμη κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, γ) επιμολύνεται ευκολότερα από μικροοργανισμούς (Κεχαγιάς, 2011).

### 2.1.3. Οξυγαλακτική καλλιέργεια

Στην τυροκομία χρησιμοποιούνται καλλιέργειες οξυγαλακτικών βακτηρίων, οι οποίες προστίθενται στο γάλα μετά την παστερίωση του. Οι καλλιέργειες αυτές είναι αρχικά υπεύθυνες για τη ζύμωση της λακτόζης και το σχηματισμό γαλακτικού οξέος. Η μείωση του pH που λαμβάνει χώρα όχι μόνο παρεμποδίζει την ανάπτυξη των ανεπιθύμητων μικροοργανισμών, αλλά διευκολύνει τη δράση της πυτιάς και τη στράγγιση και το σχηματισμό του τυροπήγματος. Επιπλέον, τα ένζυμα που απελευθερώνονται από τους μικροοργανισμούς της οξυγαλακτικής καλλιέργειας

συμβάλουν σημαντικά στη χαρακτηριστική γεύση και οσμή των τελικών προϊόντων (Κεχαγιάς, 2011).

#### **2.1.4. Αλάτι**

Το αλάτι δεν προσδίδει μόνο γεύση στο τυρί αλλά δρα και ως φυσικό συντηρητικό. Αναστέλλει την ανάπτυξη των ανεπιθύμητων και επιβραδύνει την ανάπτυξη πολλών επιθυμητών μικροοργανισμών, ενώ ευνοεί άλλους για την ανάπτυξή τους, ρυθμίζοντας έτσι την συσχέτιση της πληθυσμιακής δύναμης των διαφόρων ομάδων μικροοργανισμών και κατ' επέκταση τη δραστηριότητά τους και τα γενικά βιολογικά φαινόμενα στο τυρί. Επίσης επηρεάζει τις φυσικοχημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά την ωρίμανση των τυριών (Ζερφυρίδης, 2001).

## **2.2 Φέτα**

Για τον σύγχρονο καταναλωτή, η λέξη «Φέτα» σημαίνει τυρί άλμης που παρασκευάζεται παραδοσιακά στην Ελλάδα, με συγκεκριμένη τεχνολογία από αιγοπρόβειο γάλα. Παράγεται από γάλα πρόβειο ή μίγμα αυτού με γίδινο και συνδυάζει πρωτότυπα χαρακτηριστικά που δεν αναπαράγονται εκτός της ζώνης παραγωγής. Το πρόβειο γάλα επειδή έχει περισσότερα λιπαρά θα δώσει περισσότερο τυρί αλλά θα γίνει πιο μαλακό. Το γιδίσιο γάλα δίνει λιγότερο τυρί και γίνεται πιο σκληρό. Η σωστή αναλογία γάλατος για την παραδοσιακή ελληνική φέτα είναι περίπου 70% πρόβειο με 30% γιδίσιο. (Τρισελίωτης,2010)

Το γάλα, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή της «ΦΕΤΑΣ» προέρχεται αποκλειστικά από συγκεκριμένες περιοχές και από φυλές προβάτων και αιγών η διατροφή των οποίων βασίζεται στην χλωρίδα των βοσκοτόπων της περιοχής. Η Ελλάδα παράγει σε ετήσια βάση 93.000 τόνους φέτας οι οποίοι προορίζονται για εσωτερική κατανάλωση και εξαγωγές.

Το τυρί «φέτα» αποτελεί τροφή ισορροπημένη, με πρωτεΐνες, λίπος, βιταμίνες, νερό και άλατα, όλα εξαιρετικά απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Σημειώνεται επίσης ότι η διάρκεια ζωής στα παραπάνω προϊόντα φθάνει το ένα έτος μετά την ημερομηνία παραγωγής και η μεταφορά γίνεται «υπό ψύξης». (Τρισελίωτης,2010)

### **2.2.1 Παρασκευή φέτας**

**Πήξιμο του γάλακτος:** Σύμφωνα με τον παραδοσιακό τρόπο παραγωγής της φέτας, το προς τυροκόμηση γάλα δεν παστεριωνόταν. Σήμερα όμως, έχει επικρατήσει, για λόγους δημόσιας υγείας να υφίσταται παστερίωση στους 72 °C για 15sec ή στους 63-65 °C για 30min. Στα μεγάλα τυροκομεία το γάλα, συνήθως τυποποιείται ως προς το λίπος, πριν την παστερίωση. Μετά τη θερμική επεξεργασία, φέρεται στους 32-34 °C και ενοφθαλμίζεται με οξυγαλακτική καλλιέργεια, που συνήθως είναι εκείνη της γιαούρτης (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus*

bulgaricus) σε ποσοστό 0.3-0,5%. (Καραγεωργής 2004) Το γάλα αφήνεται σε επώαση για 15-30 λεπτά (pH 6,2-6,3) και ακολούθως προστίθεται χλωριούχο ασβέστιο (200 ml διαλύματος χλωριούχου ασβεστίου 40% ανά 100 λίτρα γάλακτος) και πυτιά, η οποία προκαλεί πήξη του γάλακτος σε 45-50 λεπτά. Η θερμοκρασία πήξης πρέπει να είναι πάνω από 30 °C, διαφορετικά το τυρί που προκύπτει είναι μαλακό με υψηλή υγρασία και θρυμματίζεται εύκολα. (Antifantakis 1991a,1991b, Μάντης 2000)

**Επεξεργασία τυροπήγατος:** Μετά την πήξη το τυρόπηγμα κόβεται σε κύβους ακμής 2-3cm και παραμένει σε ηρεμία για 5-10 λεπτά ώστε να αποβάλει μέρος του ορού και να γίνει πιο σταθερό. Κατόπιν μεταφέρεται σε καλούπια με σχισμές, μεταλλικά ή πλαστικά, που επιτρέπουν τη στράγγιση του τυροπήγατος. Τα καλούπια, με το τυρόπηγμα, αναστρέφονται κατά διαστήματα και μετά από από 2-3 ώρες μεταφέρονται σε θερμοκρασία 14-18 °C μέχρι να ολοκληρωθεί η στράγγιση (για 5-6 ώρες). (Antifantakis 1991a,1991b, Μάντης 2000)

**Αλάτισμα και διατήρηση:** Όταν το τυρόπηγμα έχει γίνει αρκετά συμπαγές αφαιρείται από τα καλούπια, κόβεται σε κομμάτια, ανάλογα με το δοχείο το οποίο θα τοποθετηθεί, για να ολοκληρώσει την ωρίμανση και αλατίζεται με χονδρόκοκκο αλάτι. Η αλάτιση και η αναστροφή του τυροπήγατος, γίνεται κάθε 12 ώρες περίπου 3-4 φορές. Το τυρί παραμένει στην τυροτράπεζα μετά το τέλος της αλάτισης για άλλες 24 ώρες. Στις μεγάλες τυροκομικές εγκαταστάσεις, το τυρόπηγμα δεν τοποθετείται σε τυροτράπεζες αλλά σε δοχεία όπου θα συνεχιστεί η ωρίμανση, σε 3-4 στρώματα όπου αλατίζεται και αναστρέφεται. Μετά από 1-2 εβδομάδες παραμονής στα δοχεία, γίνεται έλεγχος της στάθμης της άλμης, συμπληρώνονται τα κενά με άλμη 5-7%. Τα δοχεία ανοίγονται κατά περιόδους, για να φύγει το αέριο που πιθανόν σχηματίζεται κατά την ωρίμανση και γεμίζονται με άλμη εάν η στάθμη της έχει μειωθεί. Όταν το pH του τυριού φθάσει το 4,6-4,8 τα δοχεία μεταφέρονται σε ψυκτικό θάλαμο θερμοκρασίας 3-4°C, όπου παραμένουν μέχρι το τέλος της ωρίμανσης. Ο ελάχιστος χρόνος ωρίμανσης ορίζεται σε 2 μήνες (Κ.Τ.Π. 1998) Ο παραπάνω παραδοσιακός τρόπος παρασκευής της φέτας, στις μεγάλες γαλακτοβιομηχανίες έχει τροποποιηθεί κυρίως σε ότι αφορά την κοπή του τυροπήγατος, το γέμισμα των καλουπιών με το τυρόπηγμα, τον τρόπο στράγγισης και την αλάτιση, ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες μιας συνεχούς γραμμής παραγωγής. Τα βασικά όμως στάδια παραγωγής είναι σύμφωνα με την παραδοσιακή τεχνολογία. (Antifantakis 1991a,1991b, Μάντης 2000)

Η φέτα έχει συγκεκριμένα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, δηλαδή μέγιστη υγρασία 56% και ελάχιστη λιποπεριεκτικότητα επί ξηρού 43%. Έχει χρώμα λευκό, σχήμα σφηνοειδές ή ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, με ή χωρίς οπές, συμπαγή σύσταση χωρίς επιδερμίδα και διατίθεται σε διάφορες διαστάσεις και βάρη. Απαγορεύεται η προσθήκη συντηρητικών και αντιβιοτικών ουσιών στο τυρί και την

## 2.3 Μυζήθρα

Η μυζήθρα είναι παραδοσιακό είδος τυριού με διάφορες μορφές. Παρασκευάζεται από πρόβειο ή και κατσικίσιο γάλα, τυρόγαλο με προσθήκη γάλακτος. Η γεύση της είναι παρόμοια με αυτή που έχει το μανούρι, συνήθως υφάλμυρη, υπάρχουν όμως και γλυκές ποικιλίες όπως η κρητική μυζήθρα.

Το γαλακτολεύκωμα που βρίσκεται στο γάλα και το οποίο μετά την τυροκόμηση παραμένει στο τυρόγαλο, μπορεί να εξαχθεί με υψηλή θέρμανση και μετατροπή του σε στερεά κατάσταση. Αυτό το προϊόν ονομάζεται μυζήθρα. Η καλύτερη μυζήθρα παράγεται από το τυρόγαλο των σκληρών τυριών όταν δεν έχουν αποβουτυρωθεί πριν από την τυροκόμηση. Λόγω δε της διαίρεσης και της κατεργασίας του τυροπήγματος αυτού του τυριού, περιέχει 1–2,5% βούτυρο (ή και περισσότερο) εάν έχει τριφτεί πολύ το τυρόπηγμα. Το τυρόγαλο των λευκών τυριών περιέχει μόλις 0,5% βούτυρο με αποτέλεσμα η μυζήθρα που παρασκευάζεται από αυτό το τυρόγαλο να είναι κατώτερης ποιότητας. Είναι δυνατό να παρασκευασθεί καλή μυζήθρα από το τυρόγαλο των λευκών τυριών εάν κατά τη θέρμανσή του προσθέσουμε πλήρες γάλα, το «πρόσγαλα», το οποίο στην Κρήτη ονομάζεται «ανάχυμα» και στη Μυτιλήνη «μυζηθρόγαλο». Ωστόσο και στο τυρόγαλο των σκληρών τυριών μπορεί να προστεθεί πρόσγαλα. Όσο περισσότερο γάλα προσθέσουμε στο τυρόγαλο που προορίζουμε για Παρασκευή μυζήθρας τόσο καλύτερη γίνεται. Για τις κοινές μυζήθρες το προστιθέμενο τυρόγαλο δεν υπερβαίνει συνήθως τα 3–5%· για τις εκλεκτές όμως, το προστιθέμενο γάλα μπορεί, ανάλογα με την παχύτητα του τυρογάλακτος, να φτάσει το 10% ή και περισσότερο.

Η μυζήθρα γίνεται άριστης ποιότητας εάν το γάλα που θα προσθέσουμε σαν πρόσγαλα είναι κατσικίσιο. Γι' αυτό σε πολλά μέρη, που υπάρχει πολύ κατσικίσιο γάλα, αποφεύγουμε την ανάμιξη ολόκληρης της ποσότητας με το γάλα που προορίζεται για την παρασκευή τυριού (το οποίο είναι σχετικά κατώτερης ποιότητας), και προσθέτουν μεγάλο μέρος του στο τυρόγαλο που προορίζεται για την παρασκευή μυζήθρας. (Ζυγούρης, 1952)

### 2.3.1 Παρασκευή μυζήθρας

**Πήξιμο του γάλακτος:** Αρχικά πραγματοποιείτε διήθηση του τυρογάλακτος για να απομακρυνθούν τα τρίμματα του τυριού (τα οποία θα καίγονταν εάν παρέμεναν στο λέβητα και θα μειώναν την ποιότητα της μυζήθρας), θερμαίνεται στο λέβητα με δυνατή φωτιά ενώ ταυτόχρονα αναδεύεται αργά. Όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 70 °C περίπου, προστίθεται μέσα το πρόσγαλα (το οποίο βελτιώνει την ποιότητα της μυζήθρα και υποβοηθά τον σχηματισμό της) ενώ ταυτόχρονα ανεβαίνει η θερμοκρασία. Μετά από λίγα λεπτά η μυζήθρα αρχίζει να αποχωρίζεται σε μορφή

μικρών κόκκων, οι οποίοι, ως ελαφρότεροι, τείνουν να ανέβουν στην επιφάνεια. Με την εμφάνιση των κόκκων αυτών επιβραδύνεται το ανακάτεμα και σταματάει όταν αρχίσει να σχηματίζεται λεπτό στρώμα μυζήθρας στην επιφάνεια, το οποίο σιγά-σιγά γίνεται παχύτερο. (Ζυγούρης, 1952)

Η μυζήθρα σχηματίζεται πιο εύκολα και με μεγαλύτερη απόδοση (αλλά κατώτερης ποιότητας) εάν το τυρόγαλα έχει υποστεί ελαφρό ξίνισμα· δεν πρέπει όμως αυτή η οξύτητα να είναι υπερβολική, γιατί η μυζήθρα σχηματίζεται μεν εύκολα αλλά δεν μπορεί να συσσωματωθεί και διασκορπίζεται στο τυρόγαλα.

Λίγα λεπτά μετά από τον σχηματισμό της μυζήθρας αρχίζει να σκάει το στρώμα της και από κάθε σκάσιμο βγαίνει αφρός. Όταν σκάσει σε 3–4 μέρη, αποσύρεται από τη φωτιά και αφαιρείται ο αφρός, μετά βγαίνει η μυζήθρα τμηματικά αρχίζοντας από τη μέση, που έχει ψηθεί περισσότερο και την τοποθετείται είτε μέσα σε μικρά πλεκτά κοφίνια από βούρλα ή καλάμια, είτε σε λεπτά πανιά (τούλια), τα οποία τα κρεμάμε και τα δένουμε επάνω για να σχηματιστεί η μυζήθρα σε μικρά κεφάλια ή σε πάνινες σακούλες κρεμαστές και πάλι για να στραγγίσουν.

**Επεξεργασία τυροπήγματος:** Όταν η μυζήθρα πρόκειται να διατηρηθεί σε ξηρή κατάσταση, αφήνεται μέσα στα κοφίνια, τα πανιά ή τις σακούλες μέχρι την επόμενη ημέρα, για να στραγγιστεί αρκετά. Εάν έχει τοποθετηθεί σε πανιά, τα δένονται από την πάνω πλευρά με σχοινιά και τα σφίγγουν για να πάρει το σχήμα σφαίρας, αλλά χωρίς να σχηματίζονται βαθιές πτυχές. Μετά, τοποθετούνται σε τραπέζι πλάγια από όλες τις επιφάνειες για να γίνουν επίπεδες. (Ζυγούρης 1952)

**Αλάτισμα και διατήρηση:** Στη συνέχεια αφαιρούνται τα μέρη που εξέχουν, λειαινόνται με μαχαίρι οι πτυχές και τρίβονται τα κεφάλια με λεπτό και καθαρό αλάτι για να αλατιστούν. Ύστερα τοποθετούνται σε καθαρές σανίδες, σε μέρος ευάερο μέχρι να στεγνώσουν. Εάν τα κεφάλια είναι μεγαλύτερα από 960 γραμμάρια, μετά από 24 ώρες γίνεται και δεύτερο αλάτισμα, ελαφρό ή ισχυρότερο ανάλογα με το μέγεθος του κεφαλιού. Καλό είναι όμως να αποφεύγεται το υπερβολικό αλάτισμα γιατί μειώνεται η καλή γεύση της μυζήθρας. Μόνο οι δεύτερης ποιότητας μυζήθρες, οι οποίες είναι προορισμένες για να καταναλωθούν τριμμένες μπορούν ν' αλατιστούν περισσότερο. Μετά το αλάτισμα τα κεφάλια τοποθετούνται σε καθαρές σανίδες σε μέρος που είναι ψηλά, ευάερα και μέτρια φωτιζόμενο. Εκεί γυρίζονται από καιρού εις καιρόν για να στεγνώσουν. Ποτέ δεν τοποθετούνται σε υπόγειο πριν στεγνώσουν καλά. Η από και πέρα διατήρηση της ξηρής μυζήθρας απαιτεί στεγνή αποθήκη. Όταν τα κεφάλια της μυζήθρας πρόκειται να πουληθούν, περιτυλίγονται με αδιάβροχο χαρτί ή, καλύτερα με λεπτά φύλλα μεταλλικού χαρτιού για την αποφυγή της υπερβολικής ξήρανσης τους και για καλύτερη εμφάνιση. Η μεταφορά τους γίνεται μέσα σε κοφίνια κατά στρώματα για να μην πιέζονται. (Ζυγούρης, 1952)

## 2.5. Ρεολογικές ιδιότητες του τυριού

### 2.5.1. Γενικά

Οι ιδιότητες που αναφέρονται στη συμπεριφορά ενός υλικού όταν αυτό ρέει υπό την επίδραση δύναμης ή δυνάμεων, καθώς και η συμπεριφορά του υλικού όταν παραμορφώνεται υπό την επίδραση δύναμης ή όταν ρέει υπό την επίδραση δύναμης, ονομάζονται μηχανικές ιδιότητες. Στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος επίδρασης της δύναμης πάνω στο υλικό, τότε οι ιδιότητες ονομάζονται ρεολογικές (Ραφαηλίδης, 1987).

Οι δυνάμεις εφαρμόζονται στα υλικά προς δύο κατευθύνσεις, Κάθετα προς την επιφάνεια του υλικού, και εφαπτομενικά και παράλληλα προς το επίπεδο που βρίσκεται το υλικό, (Ραφαηλίδης, 1998)

Η ρεολογία περιλαμβάνει τη μελέτη της παραμόρφωσης και της ροής των υλικών όταν υποβάλλονται σε μια τάση ή μια παραμόρφωση. (Λαζαρίδης, 2000). Η παραμόρφωση αναφέρεται στα στερεά υλικά και η ροή στα υγρά. Οι ρεολογικές ιδιότητες που ενδιαφέρουν τα στερεά και τα υγρά είναι η ελαστικότητα και το ιξώδες, αντίστοιχα. Τα τρόφιμα δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ξεκάθαρα σε στερεά ή υγρά, καθώς δεν είναι ούτε ιξώδη ούτε ελαστικά, άλλα ιξωδοελαστικά (Borwankar & Shoemaker, 1992).

Τα αέρια και τα περισσότερα υγρά είναι νευτώνεια. Ενώ τα ανακατεργασμένα τυριά είναι παράδειγμα ψευδοπλαστικού ρευστού (Ταξίδης, 1995). Στα ψευδοπλαστικά και στα διασταλτικά ρευστά το ιξώδες τους μεταβάλλεται σύμφωνα με το ρυθμό διάτμησης και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο όρος φαινομενικό ιξώδες (Perry, 1999).

Ο στόχος της έρευνας που διεξάγεται πάνω στη ρεολογία των τυριών είναι η συσχέτιση των αποτελεσμάτων που δίνονται από τα διάφορα όργανα που μετρούν υφή ή μηχανικές ιδιότητες, με τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται από τα αισθητήρια όργανα του ανθρώπου (Konstance & Holsinger, 1992).

Οι ρεολογικές ιδιότητες του τυριού είναι εκείνες που καθορίζουν την αντίδρασή του σε μια τάση ή μια παραμόρφωση (π.χ συμπίεση, διάτμηση ή κοπή) που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας (π.χ τεμαχισμός, άλεση) και της κατανάλωσης (τεμαχισμός, επάλειψη, μάζημα). Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά καθορίζονται από την εφαρμογή μιας σταθερής τάσης ή μιας παραμόρφωσης σε ένα δείγμα τυριού κάτω από καθορισμένες πειραματικές συνθήκες.

Η ρεολογία του τυριού εξαρτάται από τη σύστασή του, τη μικροδομή (δηλαδή τη δομική διευθέτηση των συστατικών του) τη φυσικοχημική κατάσταση των συστατικών του και τη μακροδομή του, η οποία απεικονίζει ετερογένειες, όπως ρωγμές και σχισμές του τυροπήγατος. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως το ποσοστό συσσωμάτωσης του λίπους, την αναλογία στερεού λίπους προς υγρό λίπος, το βαθμό υδρόλυσης και ενυδάτωσης του παρακαζεϊνικού πλέγματος και τη διαμοριακή έλξη μεταξύ παρακαζεϊνικών μορίων (Fox et al., 2000).

### 2.5.2. Μικροδομή του τυριού

Η μικροδομή και η μακροδομή του τυριού καθορίζουν σημαντικά τις ρεολογικές ιδιότητες και την υφή του. Το παραγόμενο από τη φυσική πυτιά τυροπήγμα είναι ένα πλέγμα παρακαζεϊνης και φωσφορικού ασβεστίου. Η ακεραιότητα του πλέγματος διατηρείται από ενδομοριακές και ηλεκτροστατικές έλξεις. Το πλέγμα εγκλωβίζει μέσα στους πόρους του λιποσφαίρια, υγρασία,

υδατοδιαλυτά συστατικά (μέταλλα, γαλακτικό οξύ, πεπτίδια και αμινοξέα) και ένζυμα (π.χ υπολείμματα πυτιάς και πρωτεΐνάσες μικροοργανισμών) (Fox et al., 2000).

Το πλέγμα περιέχει επίσης διάφορους μικροοργανισμούς, (στις περισσότερες περιπτώσεις βακτήρια της καλλιέργειας και σε μερικές περιπτώσεις μύκητες, ζύμες και άλλα βακτήρια στην επιφάνεια του τυριού) καθώς και τα ένζυμά τους (π.χ πρωτεΐνάσες, πεπτιδάσες και λιπάσες) τα οποία απελευθερώνονται στο πλέγμα σε διάφορα ποσοστά κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των τυριών. Μια δυναμική ισορροπία υπάρχει μεταξύ των συγκεντρώσεων του οργανικού ασβεστίου και του φωσφορικού ασβεστίου στο παρακαζεϊνικό πλέγμα και στον ορό του τυριού. Η ισορροπία επηρεάζεται από το pH κι από άλλους παράγοντες όπως η συγκέντρωση του νατρίου στον ορό (Fox et al., 2000).

Διάφορες φυσικοχημικές αλλαγές εμφανίζονται στα δομικά συστατικά του πλέγματος κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης. Αυτές οι αλλαγές οφείλονται σε ένζυμα τα οποία μπορεί να προέλθουν από την πυτιά, από τα φυσιολογικά ευρισκόμενα στο γάλα ένζυμα (κυρίως πρωτεΐνάσες και λιπάσες), από τα ένζυμα των μικροοργανισμών των καλλιιεργειών, από τα ένζυμα άλλων μικροοργανισμών διαφορετικών από αυτούς που χρησιμοποιούνται ως καλλιέργεια, καθώς και στις αλλαγές στην ισορροπία των μετάλλων μεταξύ του ορού και του παρακαζεϊνικού πλέγματος (Fox et al., 2000).

Ο τύπος και η έκταση των φυσικοχημικών αλλαγών εξαρτώνται από την ποικιλία του τυριού, τη σύσταση και τις συνθήκες ωρίμανσης. Οι αλλαγές περιλαμβάνουν τα εξής (Fox et al., 2000):

- Μετατροπή του υπολείμματος λακτόζης σε γαλακτικό οξύ και σε οξικό και προπιονικό οξύ.
- Υδρόλυση των καζεϊνών σε πεπτίδια διαφόρων μοριακών βαρών και αμινοξέα και καταβολισμός των αμινοξέων σε αμίνες, αλδεϋδες και αμμωνία.
- Υδρόλυση τριγλυκεριδίων σε ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα οποία μπορούν να διασπαστούν περαιτέρω σε κετόνες και αλκοόλες.
- Αύξημένη ενυδάτωση της παρακαζεϊνης οφειλόμενη στην υδρόλυσή της, στην αύξηση του pH του τυριού και στη διαλυτοποίηση του συνδεδεμένου με την καζεΐνη ασβεστίου. Η διαλυτοποίηση του συνδεδεμένου με την καζεΐνη ασβεστίου πραγματοποιείται όταν γίνεται μερική αντικατάσταση ιόντων  $Ca^{++}$  από ιόντα  $Na^{+}$ , ειδικά όταν οι συγκεντρώσεις των ιόντων του  $Na^{+}$  και του  $Ca^{++}$  στον ορό των τυριών είναι χαμηλές (30g/L και 4g/L αντίστοιχα). Η αύξηση της ενυδάτωσης της καζεΐνης έχει ως αποτέλεσμα την διόγκωση του παρακαζεϊνικού πλέγματος.
- Συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων με συνέπεια τον σχηματισμό θυλάκων λίπους. Η αύξηση του ελεύθερου λίπους μπορεί να αποδοθεί στη φυσική διόγκωση της πρωτεϊνικής φάσης στους χώρους που προηγουμένως υπήρχε λίπος, με αποτέλεσμα τα λιποσφαίρια να έρθουν πιο κοντά.

### **2.5.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του τυριού**

Οι ρεολογικές ιδιότητες των τυριών επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες. Πολλοί από αυτούς τους παράγοντες μπορούν επίσης να επηρεάσουν την οσμή, γεύση, την εμφάνιση και άλλες ιδιότητες που συχνά είναι σημαντικές για τους καταναλωτές.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ρεολογικές ιδιότητες των τυριών ανήκουν στις πιο κάτω κατηγορίες;

A) Ιδιότητες του γάλακτος (φυλή του ζώου, το στάδιο θηλασμού, η περίοδος απογαλακτισμού, η σύσταση, η ρυθμιστική ικανότητα)

- B) Η διαδικασία παρασκευής του τυριού (καλλιέργειες όταν αφορά τυριά που ωριμάζουν, ο χειρισμός του τυροπήγατος και το ψήσιμο)
- Γ) Η σύσταση του τυριού (υγρασία, λίπος, άλας και οξύτητα-pH)
- Δ) Οι διαδικασίες που γίνονται μετά την παρασκευή του τυριού (ωρίμανση, όταν πρόκειται για τυριά που ωριμάζουν, συντήρηση υπό ψύξη, θερμική επεξεργασία) (Pomeranz & Meloan, 1994).

#### **2.5.4. Επίδραση της μέσης σύστασης στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του τυριού.**

Η καταλληλότητα ενός τυριού έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παρασκευή ανακατεργασμένου τυριού κρίνεται από τις εξής παραμέτρους: την περιεκτικότητα σε νερό, το pH, τις οργανοληπτικές ιδιότητες και το βαθμό ωρίμανσης (Spreer, 1995)

Η ιξωδοελαστικότητα του τυριού εξαρτάται από τη ρεολογική συμπεριφορά των μεμονωμένων συστατικών του (πρωτεΐνη, λίπος και υγρασία) καθώς και από την αλληλεπίδραση αυτών. Η δομή, που αντιπροσωπεύει τον τρόπο με τον οποίο τα μεμονωμένα συστατικά συνυπάρχουν, και τη φύση των συστατικών (δηλ. είτε στερεό είτε υγρό) είναι σημαντικοί καθοριστικοί παράγοντες.

Μετά την εφαρμογή μίας τάσης σε ένα τυρί, το πλέγμα θα αντισταθεί αρχικά στην παραμόρφωση. Καθώς η συγκέντρωση της καζεΐνης στο πλέγμα του τυριού αυξάνεται, οι διαμοριακοί και ενδομοριακοί δεσμοί του γίνονται πιο πολυάριθμοι και το πλέγμα παρουσιάζει μεγαλύτερη ελαστικότητα και είναι δυσκολότερο να παραμορφωθεί. Οι παράγοντες που συμβάλουν στην αποδυνάμωση του καζεϊνικού πλέγματος μειώνουν την τάση που απαιτείται για να προκαλέσει μία δεδομένη παραμόρφωση.

Η συμβολή του λίπους στις ρεολογικές ιδιότητες του τυριού εξαρτάται από τη φυσική κατάστασή του και επομένως από τη θερμοκρασία, η οποία ελέγχει την αναλογία του στερεού λίπους προς το υγρό λίπος. Σε χαμηλές θερμοκρασίες (<5°C), όπου το λίπος του γάλακτος είναι κυρίως στερεό, το λίπος προσθέτει στην ελαστικότητα του καζεϊνικού πλέγματος (Fox et al., 2000).

Τα στερεά λιποσφαίρια περιορίζουν την παραμόρφωση του καζεϊνικού πλέγματος, δεδομένου ότι η παραμόρφωση του τελευταίου απαιτεί επίσης την παραμόρφωση των λιποσφαιρίων που είναι εγκλωβισμένα μέσα στους πόρους του.

Καθώς το ποσοστό του υγρού λίπους αυξάνεται, το λίπος συμπεριφέρεται περισσότερο όπως ένα ρευστό και προσδίδει ιξώδη δομή παρά ελαστικότητα ή ακαμψία στο τυρί.

Επιπλέον, το υγρό λίπος ενεργεί ως λιπαντικό στις επιφάνειες θραύσης του καζεϊνικού πλέγματος και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η τάση που απαιτείται για να σπάσει το πλέγμα. Ως εκ τούτου, για μία δεδομένη περιεκτικότητα σε λίπος, αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της συμπίεσης οδηγεί σε μία χαρακτηριστική μείωση του συντελεστή ελαστικότητας, της τάσης θραύσης και της σταθερότητας. Μία αύξηση του λίπους επί ξηρής ουσίας του τυριού (διατηρώντας σταθερές τις άλλες παραμέτρους) έχει σαν αποτέλεσμα μείωση της τάσης θραύσης. Όσο η θερμοκρασία αυξάνεται τόσο περισσότερο η αύξηση του λίπους επί ξηρής ουσίας επιδρά στη μείωση της τάσης θραύσης. Γενικά μία αύξηση της περιεκτικότητας του τυριού σε λίπος συνοδεύεται από μείωση του ποσοστού πρωτεΐνης και υγρασίας καθώς και από μείωση της τάσης θραύσης και της σταθερότητας.

Το τρίτο σημαντικό συστατικό του τυριού είναι η υγρασία, η οποία ενεργεί ως πλαστικοποιητής στο πρωτεϊνικό πλέγμα, καθιστώντας το με αυτόν τον τρόπο λιγότερο ελαστικό και πιο ευαίσθητο στη θραύση κατά τη συμπίεση. Συνεπώς, η αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία των τυριών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση



του συντελεστή ελαστικότητας, της τάσης θραύσης και της σταθερότητας (Fox et al., 2000).

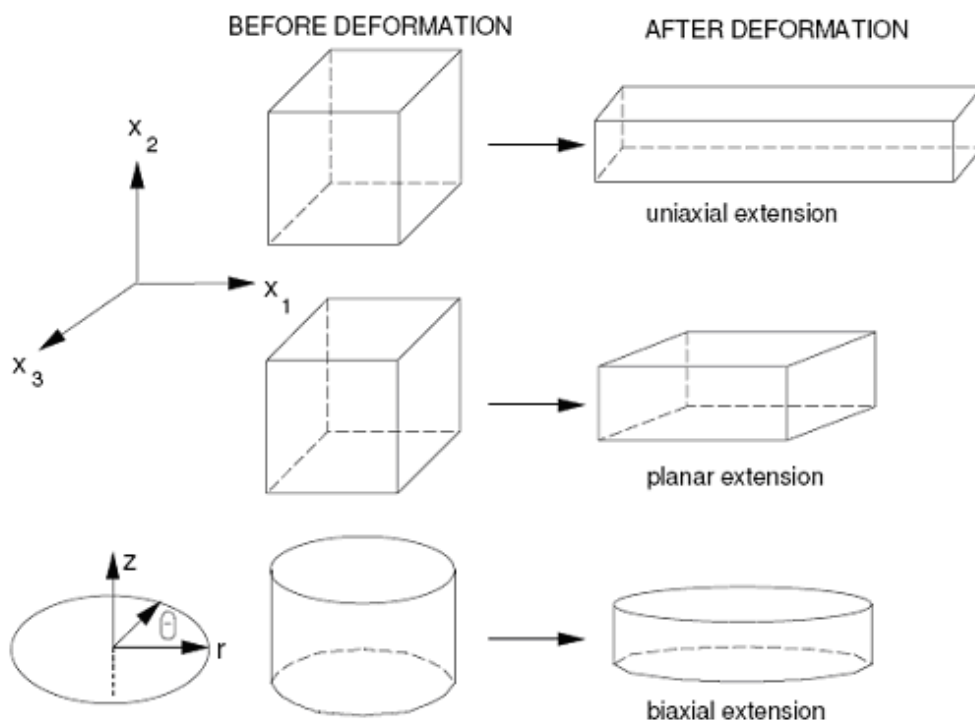
Ένας από τους ρόλους του νερού είναι να ενεργεί ως χαμηλού ιξώδους λιπαντικό μεταξύ των επιφανειών του λίπους και της καζεΐνης. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό του νερού και όσο ευρύτερα τα διαστήματα που είναι διαθέσιμα για το νερό για να διατρέξει μέσα σε αυτά, τόσο λιγότερο θα πρέπει να περιορίζεται η κίνηση του καζεϊνικού πλέγματος γύρω από το εγκλωβισμένο λίπος. Αυτή η πιο ελεύθερη μετακίνηση έχει ως συνέπεια μικρότερη αντίσταση σε οποιαδήποτε παραμόρφωση και μεγαλύτερη ευκολία ανάκτησης του αρχικού του σχήματος μετά την παραμόρφωσή του (Prentice, 1987).

## 2.6 Εκτατική ροή:

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι εκτατικής ροής :

- μονοαξονική (uniaxial)
- διαξονική (biaxial)
- επίπεδη (planar)

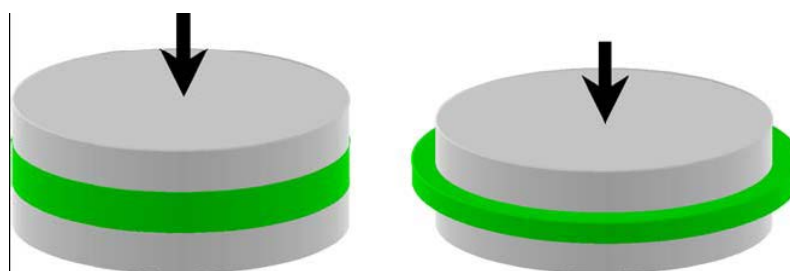
Κατά την μονοαξονική εκτατική ροή, το υλικό υπόκειται σε τάνυση προς μια κατεύθυνση, με αντίστοιχη μείωση μεγέθους προς τις άλλες δύο κατευθύνσεις. Κατά την επίπεδη εκτατική ροή, ένα στρώμα υλικού υπόκειται σε τάνυση προς την κατεύθυνση  $x_1$ , με αντίστοιχη μείωση στο πάχος του (κατεύθυνση  $x_2$ ), αλλά το πλάτος του (κατεύθυνση  $x_3$ ) παραμένει αμετάβλητο. Η διαξονική εκτατική ροή μοιάζει με την μονοαξονική, αλλά συνήθως θεωρείται ως ροή που δημιουργεί ακτινική τάση. Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται οι τρεις εκτατικές ροές.



Σχήμα 2.1 . Μονοαξονική, επίπεδη και διαξονική εκτατική ροή. (Steffe, 1996)

### 2.6.1. Εφαρμογή της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής

Η δοκιμή της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής, η οποία ανήκει στις δοκιμές μεγάλης παραμόρφωσης, είναι εξαιρετικά απλή και δίνει πληροφόρηση για τον τύπο της δομής ενός υλικού. Στο δείγμα εφαρμόζεται μονοαξονική συμπίεση (uniaxial compression) υπό καθεστώς λιπαινόμενης διαξονικής ροής (lubricated squeeze flow) (Σχήμα 2.2). Στη δοκιμή αυτή το υλικό συμπιέζεται σε μεγάλο βαθμό παραμόρφωσης οπότε είτε υπόκειται σε μόνιμη παραμόρφωση είτε η δομή του καταρρέει γιατί έχει θραυσθεί πολύ μεγάλος αριθμός πρωτευόντων και δευτερευόντων δεσμών και μάλιστα από τους πλέον ισχυρούς.



Σχήμα 2.2. Συμπίεση σε συνθήκες λιπαινόμενης διαξονικής ροής. (Engmann et al., 2005)

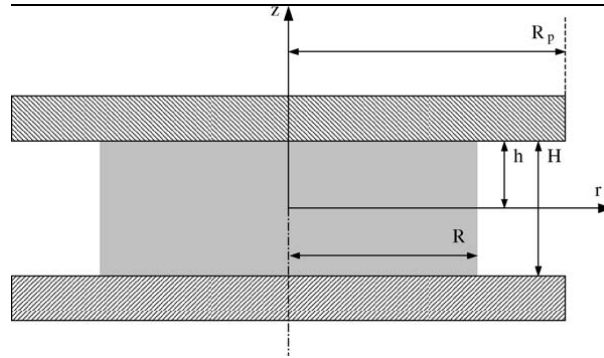
#### Λιπαινόμενη συμπιεστή ροή

Το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η λιπαινόμενη συμπιεστή ροή είναι το ακόλουθο:

Για ένα ασυμπίεστο Νευτώνειο ρευστό που ρέει σε συνθήκες ροής απαλλαγμένης από τριβές, η στιγμιαία δύναμη που επενεργεί σ' αυτό,  $F(t)$ , δίνεται από τη σχέση

$$F(t) = -\frac{3\pi\eta R^2(t)}{H(t)} \frac{dH(t)}{dt} \quad (1)$$

όπου,  $\eta$  είναι το νευτώνειο ιξώδες,  $R(t)$  είναι η στιγμιαία ακτίνα και  $H(t)$  το στιγμιαίο ύψος του υπό συμπίεση δείγματος (Lee & Peleg, 1990) (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3. Σύστημα συντεταγμένων και βασικές διαστάσεις για τη λιπαινόμενη συμπιεστή ροή (Engmann et al, 2005)

Αν η επιφάνεια παραμένει σταθερή και η συμπίεση γίνεται με σταθερό ρυθμό  $V$ , τότε η σχέση (1) μεταπίπτει στην

$$F(t) = \frac{3\pi\eta R^2 V}{H(t)} \quad (2)$$

Σε περίπτωση που υπάρχει τριβή, τότε η συμπεριφορά του ρευστού διέπεται από τη σχέση γνωστή ως εξίσωση Stefan, δηλαδή:

$$F(t) = -\frac{3\pi\eta R^4(t)}{2H^3(t)} \frac{dH(t)}{dt} \quad (3)$$

η οποία για σταθερή επιφάνεια και ρυθμό συμπίεσης μεταπίπτει στην

$$F(t) = \frac{3\pi\eta R^4 V}{2H^3(t)} \quad (4)$$

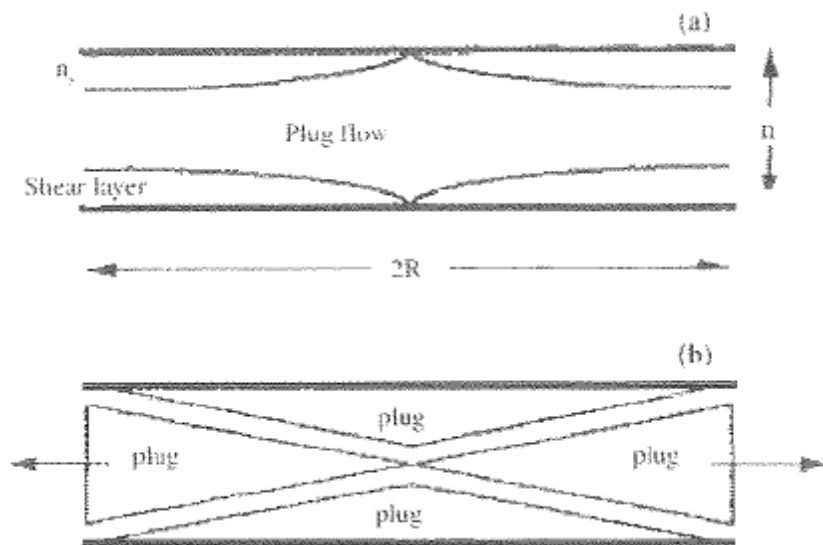
Όταν το ρευστό είναι μη νευτώνιο (ψευδοπλαστικό) τότε για κατάσταση που υπάρχει τριβή, η σχέση γίνεται,

$$F(t) = \frac{2\pi KR^{n+3}}{n+3} \left[ \frac{2n+1}{n} \right]^n \left[ -\frac{dH}{dt} \right]^n \frac{1}{H^{2n+1}} \quad (5)$$

Η σχέση αυτή ονομάζεται εξίσωση του Scott (Lee & Peleg, 1990), όπου, K είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας και ο n είναι ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς. Στη περίπτωση απουσίας τριβής (λιπαινόμενη ροή), η επίδραση της διατμητικής τάσης εξαφανίζεται και η εξίσωση γίνεται,

$$F(t) = 3^{\frac{n+1}{2}} \pi KR^2 \left[ -\frac{dH}{dt} \right]^n \frac{1}{H^n} \quad (6)$$

Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις, μπορεί να υπολογιστεί το εκτατό ιξώδες (elongational viscosity), με την προϋπόθεση η παραμόρφωση να είναι ομογενής δηλαδή να υπάρχει πλήρης ολίσθηση του δείγματος που σημαίνει να λαμβάνει χώρα εμβολική ροή (plug flow) στην περιφέρεια του δείγματος όπως στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4. Εμβολική ροή (Engmann et al., 2005)

Οι εξισώσεις που ισχύουν στο πεδίο της ταχύτητας της εκτατής ροής είναι οι ακόλουθες (Chatraei et al., 1981; Campanella & Peleg , 1987)

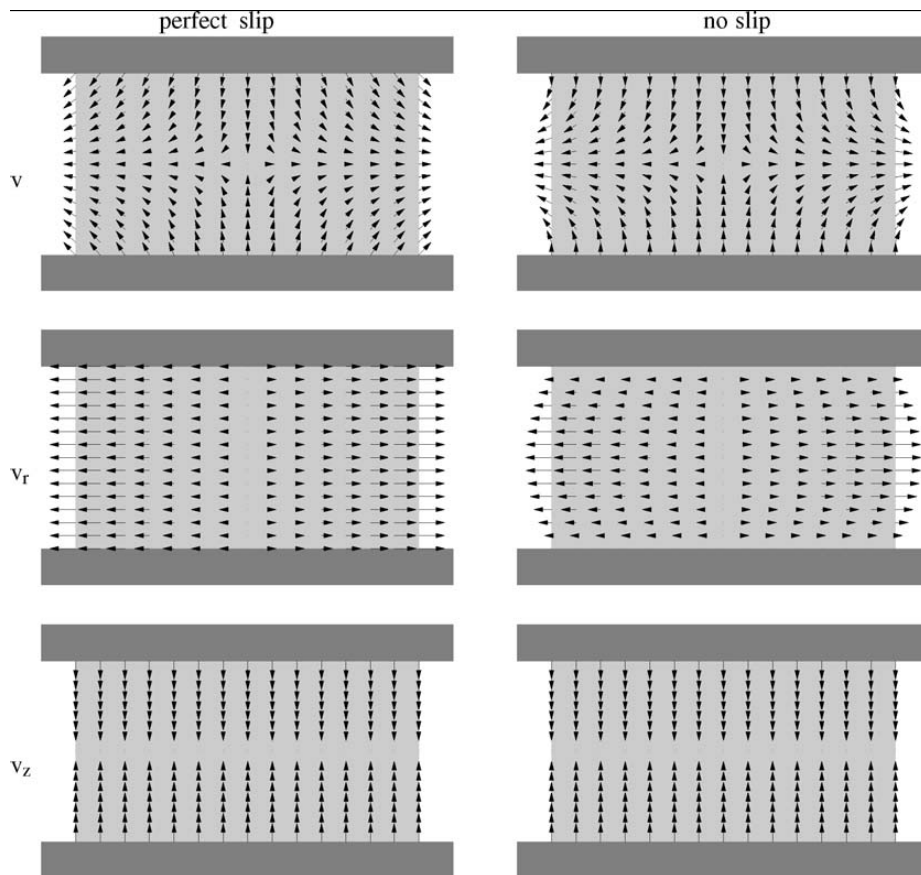
$$V_z = \dot{\epsilon}_T H(t) \quad (7)$$

$$V_r = -\dot{\epsilon}_T \frac{r}{2} \quad (8)$$

$$V_\omega = 0 \quad (9)$$

Όπου  $V_z$ ,  $V_r$  και  $V_\omega$  είναι τα διανυσματικά μεγέθη της ταχύτητας κάθετη, ακτινική και γωνιακή αντίστοιχα,  $H(t)$  είναι το στιγμιαίο ύψος του δείγματος σε χρόνο  $t$  και  $r$  είναι η ακτινική απόσταση (Σχήμα 2.5). Ο στιγμιαίος ρυθμός παραμόρφωσης  $\dot{\epsilon}_T$  ορίζεται ως

$$\dot{\epsilon}_T = \left[ -\frac{dH(t)}{dt} \right] \frac{1}{H(t)} \quad (10)$$



Σχήμα 2.5. Διανυσματικά μεγέθη της ταχύτητας για συμπιεζόμενη ροή με τέλεια και καθόλου ολίσθηση (Engmann et al., 2005)

Η μέση διαφορά κάθετης (normal) τάσης  $\sigma = T_{rr} - T_{zz}$  μπορεί να υπολογιστεί ως η στιγμιαία δύναμη συμπίεσης  $F(t)$  που ασκείται στο επίπεδο της επιφάνειας του δείγματος δηλαδή:

$$\sigma = \frac{F(t)}{\pi R^2} \quad (11)$$

Ο διαξονικός ρυθμός παραμόρφωσης  $\dot{\epsilon}_b$  ορίζεται ως (Chatraei et al., 1981)

$$\dot{\epsilon}_b = \frac{1}{2} \dot{\epsilon}_T \quad (12)$$

Από τις προηγούμενες εξισώσεις (11) και (12) ο συντελεστής ανάπτυξης τάσης (stressgrowthcoefficient)  $\eta_B^+(t, \dot{\epsilon}_b)$  μπορεί να προσδιορισθεί (Dealy, 1994):

$$\eta_B^+(t, \dot{\epsilon}_b) = \sigma / \dot{\epsilon}_b \quad (13)$$

Η εξίσωση (13) χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ασταθής κατάσταση ροής δηλαδή είτε η τάση είτε η παραμόρφωση είτε αμφότερες είναι συναρτήσεις του χρόνου (Shukla et al., 1995).

Στη περίπτωση που έχει επιτευχθεί σταθερή ροή δηλαδή η τάση και η παραμόρφωση έχουν προσεγγίσει σταθερές τιμές τότε το εκτατό ιξώδες  $\eta_B(\dot{\epsilon}_b)$  προκύπτει από την εξίσωση (13) (Dealy, 1984)

$$\eta_B(\dot{\epsilon}_b) = \lim_{t \rightarrow \infty} [\eta_B^+(t, \dot{\epsilon}_b)] \quad (14)$$

### **3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας και της προσθήκης νερού, λαδιού και γάλακτος στα φυσικοχημικά και ρεολογικά χαρακτηριστικά του τυριού μυζήθρας-φέτας. Η ρεολογική συμπεριφορά των δειγμάτων μελετήθηκε χρησιμοποιώντας τη δοκιμή της ιξωδομετρίας λιπαινόμενης συμπιεστής ροής. Στα δείγματα εφαρμόστηκε μονοαξονική συμπίεση υπό συνθήκες λιπαινόμενης διαξονικής ροής με σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης σε συνθήκες σταθερής ροής.

### **4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

#### **4.1 Ανάμιξη τυριού φέτας-μυζήθρας**

Η ανάμιξη του τυριού φέτας με το τυρί μυζήθρα γίνεται ως εξής: αρχικά γίνεται πολτοποίηση των δύο ειδών με ποσοστό 90% τυρί μυζήθρα και 10% τυρί φέτα. Στη συνέχεια πραγματοποιείται παστερίωση σε διπύθμενο καζάνι στους 67 °C για 25 λεπτά και ακολουθεί γέμισμα του μίγματος στην θερμοκρασία παστερίωσης σε συσκευασίες 70 κιλών, από φύλλο αλουμινίου το οποίο προστατεύει το τυρί από την επαφή με το οξυγόνο και το φως. Τέλος ακολουθεί η ταχεία ψύξη του προϊόντος προς αποφυγή ανάπτυξης σπορογόνων βακτηρίων (Hui, 1992) και η αποθήκευση του στους 4 °C.

#### **4.2. Παρασκευή των δειγμάτων του τυριού**

Τα δείγματα παρασκευάστηκαν στην βιομηχανική μονάδα Τσατσούλης ΑΒΕΕ. Μελετήθηκαν πέντε σειρές δειγμάτων. Για την παρασκευή της πρώτης σειράς δειγμάτων τυριού χρησιμοποιήθηκε αναμιγμένο τυρί 90% μυζήθρα - 10% φέτα, το οποίο μελετήθηκε και ως μάρτυρας. Στην δεύτερη σειρά δειγμάτων προστέθηκε στο δείγμα 1,5% γάλα UHT (Ultra High Temperature) . Στην τρίτη σειρά δειγμάτων προστέθηκε στο δείγμα 1,5% γάλα και 2% νερό. Στην τέταρτη σειρά δειγμάτων προστέθηκε στο δείγμα 1,5% γάλα UHT, 2% νερό και 1,5% ελαιόλαδο και τέλος στην πέμπτη σειρά δειγμάτων προστέθηκε στο δείγμα 10% ελαιόλαδο.

Στο πρώτο στάδιο του πειράματος πραγματοποιήθηκε ομογενοποίηση του τυριού και των υπολοίπων συστατικών με την χρήση ομογενοποιητή λεπίδων μέχρι να επιτευχθεί ένα λείο και ομογενές μίγμα (Guinee et al., 2004) και στην συνέχεια γέμισμα σε βάζα 210 ml, κάθε βάζο περιείχε 200g δείγματος. Τοποθετήθηκε θερμόμετρο και logger (σύστημα καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων) για την καταγραφή της θερμοκρασίας ψυχρού σημείου και ασηπτικό κλείσιμο των βάζων.

Στο δεύτερο στάδιο του πειράματος ακολούθησε η παστερίωση των δειγμάτων σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες, στους 92°C και στους 98°C. Η παστερίωση πραγματοποιήθηκε σε παστεριωτή τριών σταδίων , δύο στάδια θέρμανσης και ένα στάδιο ψύξης. Τα πρώτα δύο στάδια διαρκούν 35 λεπτά το κάθε

ένα (σύνολο 70 λεπτά) και ρυθμίζονται στην ίδια θερμοκρασία, στην πρώτη φάση του πειράματος στους 92°C και στην δεύτερη φάση του πειράματος στους 98°C. Το τρίτο στάδιο που είναι το στάδιο της ψύξης ρυθμίζεται στους 30 °C και διαρκεί 50 λεπτά.

Τα χαρακτηριστικά του τυριού που μελετήθηκε φαίνονται στον πίνακα 4.1

Πίνακας 4.1 Χημική σύσταση τυριού ανά 100g

Πρωτεΐνες	6,6%
Λιπαρά	4,5%
Κορεσμένα λιπαρά	2,99%
Μονοακόρεστα λιπαρά	1,15%
Πολυακόρεστα λιπαρά	0,17%
Ω6	0,14%
Ω3	0,03%
Trans	0,14%
Νάτριο	3,6%
Αλάτι	0,009%
Υγρασία	73,2%

Τα χαρακτηριστικά του γάλακτος UHT όπως καταγράφονται στην συσκευασία του παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2

Πίνακας 4.2 Χημική σύσταση γάλακτος UHT

<b>Θρεπτική αξία</b>	<b>Ανά /100g</b>
Πρωτεΐνες	3,2g
Υδατάνθρακες	4,7g
Εκ των οποίων σάκχαρα	4,7g
Λιπαρά	3,5g
Εκ των οποίων κορεσμένα	2,52g
Νάτριο	0,08g

Τα χαρακτηριστικά του ελαιολάδου όπως καταγράφονται στην συσκευασία του παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3

Πίνακας 4.3 Χημική σύσταση ελαιόλαδου

<b>Μέση διαθρεπτική αξία ανά 100ml</b>	
Λιπαρά	92,0g
Κορεσμένα	13,0g
Μονοακόρεστα	73,0g
Πολυακόρεστα	6,0g



## 4.3 Προσδιορισμός του pH

Υλικά και Όργανα

- Ποτηράκια ζέσεως των 100ml και γυάλινες ράβδοι
- Απεσταγμένο νερό
- Ζυγός
- Πεχάμετρο με κλίμακα μέτρησης pH από 0-14
- Ρυθμιστικά διαλύματα με pHα και pH 7 για τον έλεγχο και τη ρύθμιση του πεχαμέτρου

Τεχνική

Το πεχάμετρο ελέγχεται και ρυθμίζεται με τη βοήθεια των ρυθμιστικών διαλυμάτων. Ακολουθεί ανάμιξη, μέχρις ότου το δείγμα να μετατραπεί σε μία ομοιογενή πάστα και μέτρηση του pH. Η τελική τιμή του pH αποτελεί το μέσο όρο δύο μετρήσεων. Η απόκλιση μεταξύ των δύο αυτών μετρήσεων πρέπει να είναι μέχρι 0,03 pH. (Αντωνίου, 2002)

Είναι σημαντικό η τιμή του pH να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη (κατώτερη του 5,5) ώστε να αποφεύγονται ελαττώματα μικροβιολογικής προέλευσης (Macrae et al., 1993).

Το pH των δειγμάτων κυμάνθηκε στις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4

**Πίνακας 4.4** Τιμές του pH των δειγμάτων

<b>Δείγματα</b>	<b>pH</b>
Τυρί (φέτα 10% - μυζήθρα 90%)	4,81
Τυρί + γάλα εβαπορέ 1,5%	4,92
Τυρί + γάλα εβαπορέ 1,5% + νερό 2%	4,94
Τυρί + γάλα εβαπορέ 1,5% + νερό 2% + ελαιόλαδο 1,5%	5,11
Τυρί + ελαιόλαδο 10%	5,17

## 4.4 Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων

### 4.4.1 Περιγραφή του Texture Analyser TA.XT.plus

Το Texture Analyser TA.XT.plus είναι ένα όργανο μελέτης της υφής των τροφίμων υποβάλλοντας τα σε συμπίεση ή εφελκυσμό.

Η συσκευή TA.XT plus είναι ένας αναλυτής υφής που μπορεί να μετρά σχεδόν όλα τα χαρακτηριστικά του τροφίμου με κυριότερο την υφή του. Η συσκευή είναι εξαιρετικά αποτελεσματική, ικανή, πολύ εύκολη στη χρήση λόγω του ολοκληρωμένου πακέτου λογισμικού που διαθέτει και δίνει ταχύτητα αποτελέσματα. Η συσκευή TA.XT plus μετρά την υφή και ποσοτικοποιεί τη σκληρότητα, την

ευθραυστότητα, την ακαμψία, την ελαστικότητα και την αντοχή των τροφίμων. (Texture Technologies, 2011)

Τα αποτελέσματα ελήφθησαν από το λογισμικό texture exponent 32, που αποτελούν τους ψηφιακούς καταγραφείς των δυνάμεων και του χρόνου κατά τη συμπίεση

Στο Texture Analyser TA.XT.plus έγιναν μετρήσεις με τη χρήση της εξής δοκιμής:

Η δοκιμή μονοαξονικής συμπίεσης με σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης

#### **4.4.2. Δοκιμή μονοαξονικής συμπίεσης με σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης**

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικά καλούπια (διάμετρος 0,051 m και ύψος 0,0098 m) ώστε να μορφοποιηθούν και να υποστηρίξουν τη μάζα τους. Στη συνέχεια αφαιρέθηκε ο δακτύλιος από τα δείγματα και προστέθηκε στην επιφάνεια τους υγρή παραφίνη ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες λιπαινόμενης ροής. Η περίσσεια παραφίνης απομακρύνθηκε και τα δείγματα, τα οποία στέκονταν πάνω σε λεία επιφάνεια, τοποθετήθηκαν στο δειγματοφορέα του οργάνου και ευθυγραμμίστηκαν με το έμβολο, το οποίο είχε την ίδια διάμετρο με τα δείγματα. Το έμβολο του οργάνου μετακινήθηκε χειροκίνητα μέχρι την επιφάνεια του δείγματος και στη συνέχεια δόθηκε εντολή για έναρξη της μέτρησης. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης ο ρυθμός παραμόρφωσης παρέμενε σταθερός και η τελική παραμόρφωση έφτανε το 50% του αρχικού ύψους. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 4 διαφορετικούς ρυθμούς παραμόρφωσης 1%, 4%, 7% και 10%. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης γινότανε καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων της δύναμης και του χρόνου συμπίεσης. Η μέτρηση αυτή για κάθε δείγμα επαναλαμβανόταν 3 φορές. (AACC, 1990)

## 5. Αποτελέσματα και συζήτηση

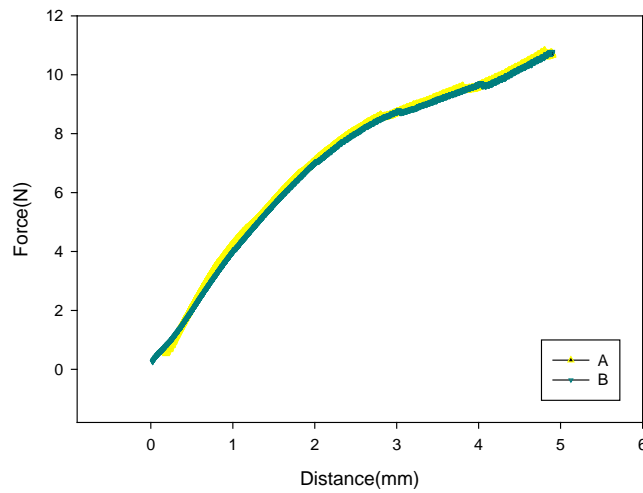
Τα δείγματα όπως φαίνεται και από τη σύσταση τους (Πίνακας 5.1 ) αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από πρωτεΐνες ορού του γάλακτος οι οποίες έχουν μετουσιωθεί.

Πίνακας 5.1 . Σύνθεση δειγμάτων

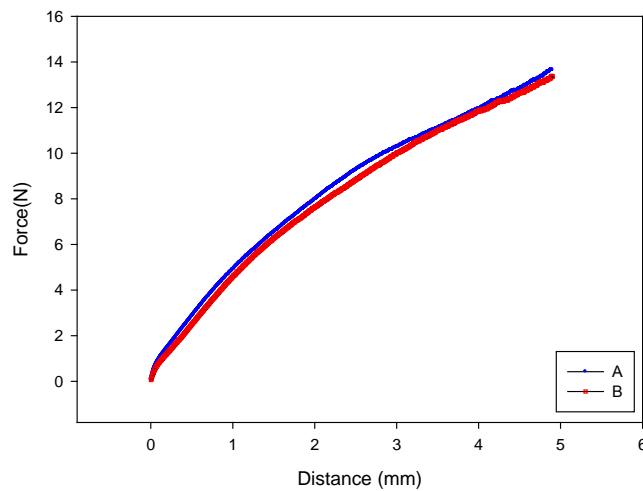
Κωδικός	Σύσταση	Θέρμανση
Con	Μυζήθρα(90%)+Φέτα(10%)	-
Con92	“ “	92°C
Con98	“ “	98°C
Conm92	Μυζήθρα(88,65%)+Φέτα(9,85%)+Γάλα UHT (1,5%)	92°C
Conm98	Μυζήθρα(88,65%)+Φέτα(9,85%)+Γάλα UHT (1,5%)	98°C
Conw92	Μυζήθρα(86,85%)+Φέτα(9,65%)+Γάλα UHT (1,5%) +Νερό (2%)	92°C
Conw98	Μυζήθρα(86,85%)+Φέτα(9,65%)+Γάλα UHT (1,5%) +Νερό (2%)	98°C
Conmwo92	Μυζήθρα(85,5%)+Φέτα(9,5%)+Γάλα UHT (1,5%) +Νερό (2%) + Ελαιόλαδο (1,5%)	92°C
Conmwo98	Μυζήθρα(85,5%)+Φέτα(9,5%)+Γάλα UHT (1,5%) +Νερό (2%) + Ελαιόλαδο (1,5%)	98°C
Cono92	Μυζήθρα(81,0%)+Φέτα(9,0%)+Ελαιόλαδο (10,0%)	92°C
Cono98	Μυζήθρα(81,0%)+Φέτα(9,0%)+Ελαιόλαδο (10,0%)	98°C

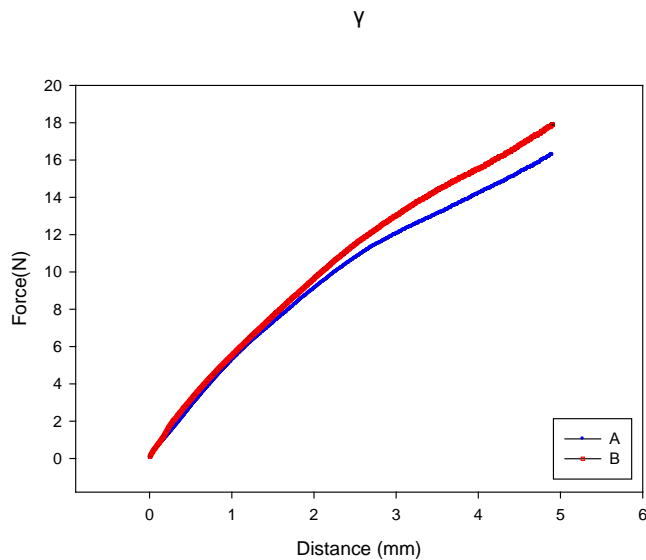
Όπως προαναφέρθηκε όλα τα δείγματα μετρήθηκαν τρεις φορές και διαπιστώθηκε ότι η επαναληψιμότητα ήταν εξαιρετική όπως φαίνεται και από τα παρακάτω Σχήματα 5.1(α, β, γ) που παρουσιάζουν καμπύλες εις διπλούν δύναμης- απόστασης δειγμάτων του μάρτυρα κατά τη συμπίεση στο 50% του αρχικού ύψους των δειγμάτων με σταθερούς ρυθμούς παραμόρφωσης 1%,4% και 7%.

α



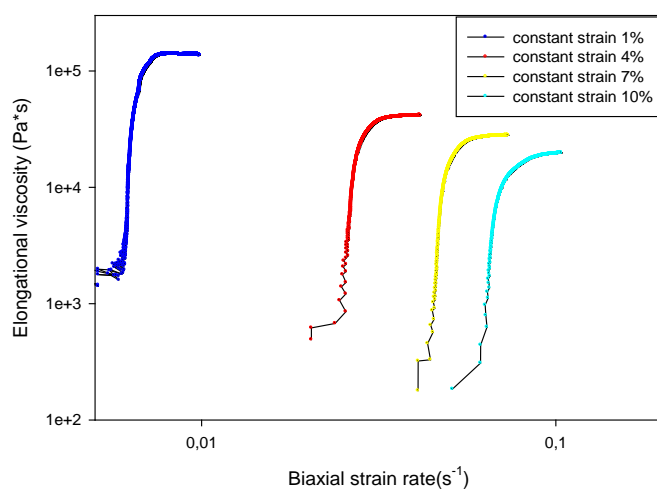
β





**Σχήμα 5.1.** Τυπικές Καμπύλες Δύναμης-Απόστασης δειγμάτων μίγματος (Μυζήθρας-Φέτας) δύο επαναλήψεων Α και Β, που συμπίεστηκαν σε συνθήκες λιπαινόμενης συμπιεστής ροής με τιμές σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης 1% ( $\alpha$ ), 4% ( $\beta$ ) και 7% ( $\gamma$ )

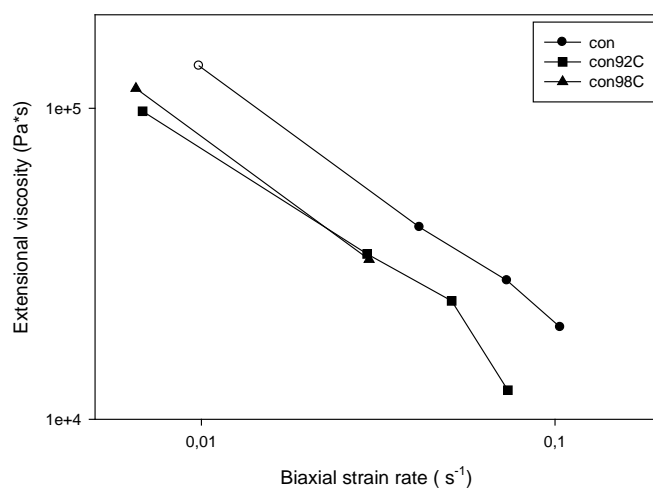
Με τη χρήση των εξισώσεων που διέπουν τη λιπαινόμενη συμπιεστή ροή και περιγράφηκαν στο θεωρητικό μέρος έγινε επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων όλων των δειγμάτων που εξετάστηκαν και τυπικές καμπύλες του εκτατού ιξώδους σε συνάρτηση με το διαξονικό ρυθμό παραμόρφωσης για τις τέσσερις τιμές που επιλέχθηκαν (δηλ. 1,4,7 και 10%) σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.2.



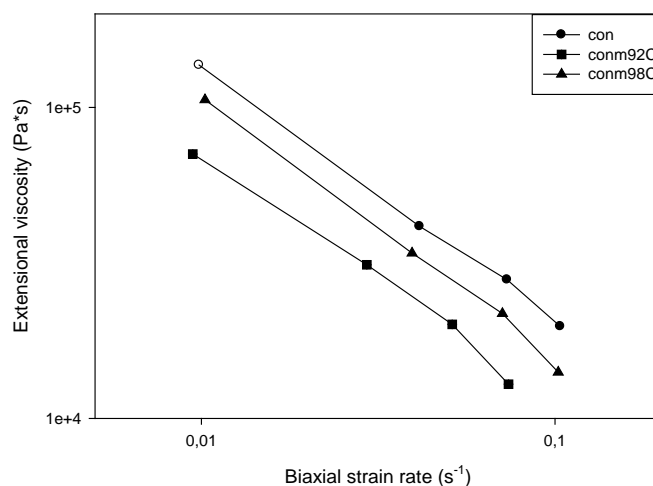
**Σχήμα 5.2.** Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους δείγματος μίγματος τυριών ως συνάρτηση διαφορετικών ρυθμών διαξονικής παραμόρφωσης (1,4,7,10%)

Παρατηρείται ότι οι τιμές του εκτατού ιξώδους μειώνονται όσο αυξάνει ο ρυθμός διαξονικής παραμόρφωσης και αυτό αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι όλα τα δείγματα είχαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά. Για καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των δειγμάτων αποφασίστηκε να ληφθούν τιμές του εκτατού ιξώδους από τη περιοχή των καμπύλων όπου η ροή είχε σταθεροποιηθεί δηλ. από το πλάτωμα και να κατασκευαστούν διαγράμματα τιμών εκτατού ιξώδους σε συνάρτηση με τις αντίστοιχες τιμές διαξονικού ρυθμού παραμόρφωσης για όλα τα δείγματα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πραγματικές τιμές του εκτατού ιξώδους είναι αυτές της περιοχής σταθεροποίησης της ροής, ενώ αυτές που αντιστοιχούν στο πρώτο τμήμα της καμπύλης ροής δεν λαμβάνονται υπόψη γιατί η ροή δεν είναι σταθερή αλλά συνεχώς μεταβαλλόμενη (transient flow). Το Σχήμα 5.3 παρουσιάζει καμπύλες ροής όλων των δειγμάτων που μελετήθηκαν.

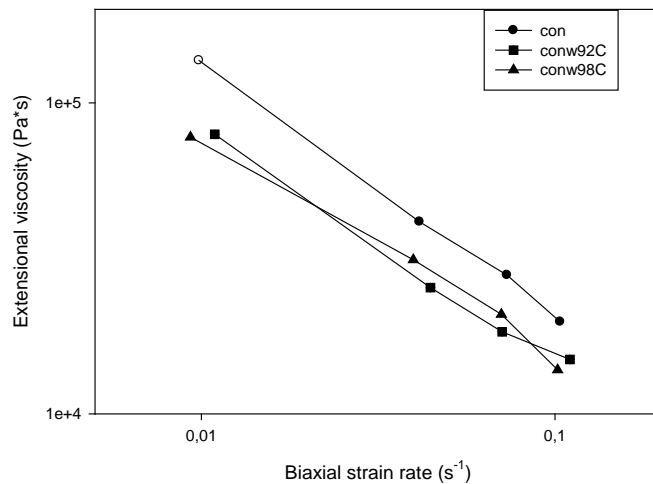
α



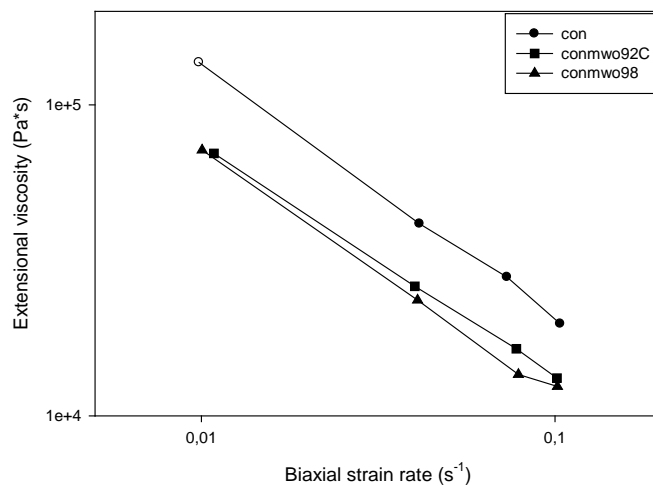
β



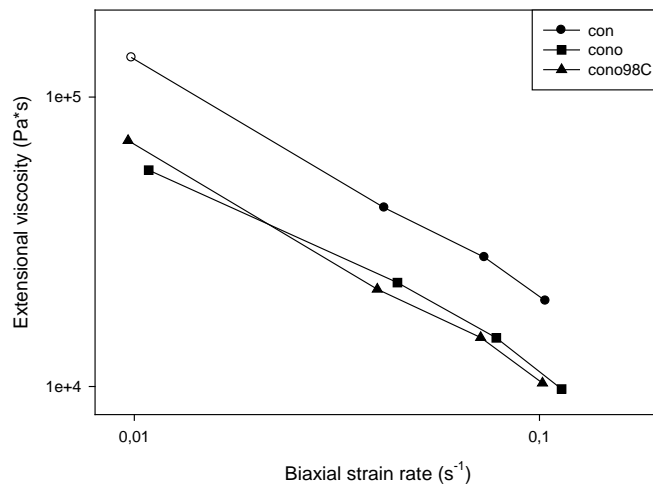
$\gamma$



$\delta$



$\epsilon$



**Σχήμα 5.3.** Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους ως συνάρτηση του ρυθμού διαξονικής παραμόρφωσης δειγμάτων αλειφόμενων τυριών. Τα σύμβολα των γραφημάτων εξηγούνται στον Πίνακα 4.1

Όπως φαίνεται από τα γραφήματα η θερμική κατεργασία(παστερίωση) επηρεάζει τη δομή των δειγμάτων και συγκεκριμένα στο Σχήμα 5.3α παρατηρείται ότι το εκτατό ιξώδες των δειγμάτων που αποτελούνται από μίγμα μυζήθρας-φέτας και έχουν παστεριωθεί είναι σαφώς μειωμένο σε σχέση με αυτό του μάρτυρα που δεν έχει θερμανθεί. Προφανώς κατά την έντονη θερμική κατεργασία και για μεγάλο χρονικό διάστημα (70 min) δευτερεύοντες δεσμοί π.χ. υδρογόνου καταστρέφονται και δεν ξαναδημιουργούνται κατά τη ψύξη τουλάχιστο σε μεγάλο ποσοστό με αποτέλεσμα τη μείωση του ιξώδους. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και στις άλλες σειρές δειγμάτων που παρασκευάστηκαν με προσθήκη και άλλων συστατικών εκτός από μυζήθρα και φέτα, όπως γάλα UHT(Σχήμα 5.3β), γάλα UHT και νερό (Σχήμα 5.3γ), γάλα UHT, νερό και ελαιόλαδο (Σχήμα 5.3δ), ελαιόλαδο (Σχήμα 5.3ε). Οι καμπύλες όλων των δειγμάτων παρουσιάζουν έντονη κλίση δηλωτικό ότι εμφανίζουν υψηλή ψευδοπλαστικότητα όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 5.1 που παρουσιάζει τις τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς.

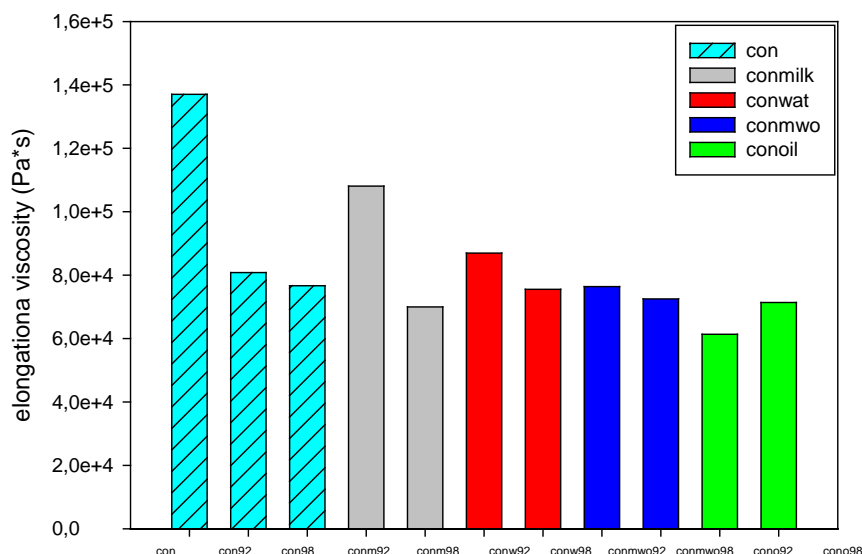
Πίνακας 5.1. Τιμές ρεολογικών παραμέτρων των δειγμάτων αλειφόμενων τυριών

Κωδικός Δείγματος	Συντελεστής συνεκτικότητας (K)(Pa*s)	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n)
Con	3237,0	0,19
Con92	1791,0	0,186
Con98	1699,6	0,159
Conm92	1716,3	0,194
Conm98	2117,5	0,144
Conw92	2720,3	0,261
Conw98	3091,7	0,303
Conmwo92	2452,0	0,261
Conmwo98	2005,0	0,226
Cono92	2226,6	0,278
Cono98	1668	0,194

Για να γίνει πιο κατανοητή η επίδραση των συστατικών στη ρεολογική συμπεριφορά των δειγμάτων αποφασίστηκε να παρασταθούν όλα τα δείγματα μαζί υπο τη μορφή ραβδογραμμάτων επιλέγοντας ως τιμή του εκτατού ιξώδους για κάθε δείγμα αυτή που επιδεικνύει στη χαμηλότερη τιμή διαξονικού ρυθμού παραμόρφωσης ( $0,0097 \text{ s}^{-1}$ ) που επιλέχθηκε κατά τη συμπίεση σε συνθήκες λιπαινόμενης διαξονικής ροής. Η επιλογή αυτή έγινε με το σκεπτικό ότι το δείγμα σε τόσο χαμηλό ρυθμό παραμόρφωσης δεν παρουσιάζει φαινόμενα αδράνειας κατά τη συμπίεση όπως συμβαίνει σε υψηλότερους ρυθμούς ούτε εμφανίζει φαινόμενα χαλάρωσης λόγω της ανυπαρξίας μεγάλου αριθμού σχετικά ισχυρών δεσμών και επομένως τα αποτελέσματα προσεγγίζουν περισσότερο τη πραγματικότητα. Το Σχήμα 5.4



παρουσιάζει τα ραβδογράμματα από όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ τους.



**Σχήμα 5.4.** Τιμές εκτατού ιξώδους όλων των δειγμάτων αλειφόμενων τυριών σε τιμή διαξονικού ρυθμού παραμόρφωσης ( $0,0097 \text{ s}^{-1}$ ). Τα σύμβολα των δειγμάτων επεξηγούνται στον Πίνακα 4.1

Στο Σχήμα 5.4 γίνεται εμφανής η επίδραση της θέρμανσης στη ρεολογική συμπεριφορά των δειγμάτων που θερμάνθηκαν, όπου το εκτατό ιξώδες όλων των δειγμάτων εμφανίζεται κατά πολύ μικρότερο σε σχέση με αυτό του μάρτυρα που δεν θερμάνθηκε. Επίσης, παρατηρείται ότι το δείγμα στο οποίο προστέθηκε UHT γάλα και θερμάνθηκε στους  $92 \text{ }^\circ\text{C}$  να εμφανίζει υψηλότερη τιμή εκτατού ιξώδους από αυτή των δειγμάτων που περιείχαν μόνο το μίγμα μυζήθρας-φέτας. Πιθανώς αυτό να οφείλεται στη παρουσία των καζεϊνών που περιείχε το γάλα, που ως γνωστό αυξάνουν τη συνεκτικότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων. Από την άλλη πλευρά το ίδιο δείγμα που θερμάνθηκε στους  $98 \text{ }^\circ\text{C}$  εμφανίζει χαμηλότερη τιμή ιξώδους από τα άλλα δείγματα. Ως γενική παρατήρηση μπορεί να ειπωθεί ότι η θέρμανση σε υψηλότερη θερμοκρασία προκαλεί μείωση του εκτατού ιξώδους όλων των δειγμάτων με μόνη διαφορά αυτή των δειγμάτων που προστέθηκε ελαιόλαδο σε ποσοστό 10%. Η μείωση του ιξώδους στα δείγματα που περιείχαν εκτός από γάλα και νερό προφανώς οφείλεται στη παρουσία του νερού που μείωσε τη συνεκτικότητα του matrix του δείγματος παρόλη τη παρουσία των καζεϊνών του γάλακτος. Τέλος, όπως αναμενόταν η παρουσία του ελαιολάδου μείωσε κατά πολύ το ιξώδες ανάλογα με το ποσοστό στο οποίο προστέθηκε στο δείγμα και αυτό οφείλεται στο ότι το λάδι αποτελεί αδρανές συστατικό πλήρωσης (inert filler) το οποίο μη έχοντας χαρακτηριστικές ομάδες που θα το βοηθούσαν να δημιουργήσει δεσμούς με τα άλλα συστατικά απλώς λειτουργεί ως λιπαντικό.

## 6.Συμπεράσματα

Η ρεολογική συμπεριφορά αλειφόμενων τυριών που παρασκευάζονται με βάση μίγμα μυζήθρα-φέτα σε αναλογία 9/1, επηρεάζεται από το βαθμό θερμικής καταπόνησης που υφίστανται τα τυριά κατά τη παστερίωση, η οποία μειώνει κατά πολύ το ιξώδες των δειγμάτων.

Επίσης, επηρεάζεται και από τη παρουσία άλλων συστατικών που προστίθενται στο μίγμα με πλέον εμφανή την επίδραση της παρουσίας ελαιολάδου.

Η εφαρμογή της ιξωδομετρίας λιπαινόμενης συμπιεστής ροής έδειξε ότι τα όλα τα δείγματα εμφάνισαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά.

## 7.Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

AACC, American Association of Cereal Chemists, (1990). Stalness/Texture AACC Method 74 - 09

Antifantakis EM (1991a). Traditional Feta Cheese. In: Feta and Related Cheese, eds. Robinson R.K and Tamime A.Y. Ellis Horwood limited, Engkand p. 49-69.

Antifatakis EM (1991b). Greek Cheese a tradition of centuries, National Dairy Committee of Greece.

Berger W., Klostermeyer H., Merkenich K., Ulmann G. (2002). Processed cheese manufacture. Klostermeyer H. (Ed.), BK Guilini Chemie GmbH & Co. OHG, Landeburg

Borwankar, P.R. and Shoemaker, F.C. (1992). Rheology of Foods, pp. 151–163.

Campanella, O. H., & Peleg, M. (1987). Squeezing flow viscosimetry of peanut butter. *Journal of Food Science*, **52**, 180-184.

Chatraei, S., Macosko, C. W., & Winter, H. H. (1981). A new biaxial extensional rheometer. *Journal of Rheology*, **25**, 433-443.

Dealy, J. M. (1994). Official nomenclature for material functions describing the response of a viscoelastic fluid to various shearing and extensional deformations. *Journal of Rheology*, **37**, 179-191.

Engmann, J., Servails, C., & Burbidge, A. S. (2005). Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **132**, 1-27

Fox, F.P. (1984). Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, Vol. 2, Elsevier applied science, London and New York.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., &McSweeney, P. L. H. (2000). *Fundamentals of cheese science*, Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland.

Gipsy Tabilo-Munizaga, Gustavo V. Barbosa-Ca´novas (2005) Rheology for the food industry *Journal of Food Engineering* **67** 147–156

Guinee T.P., Caric M., Kalab M. (2004). Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In: Fox P.F., editor. Cheese: chemistry, physics and microbiology. Volume 2: major cheese groups. 3rd ed. London, U.K.: Elsevier Applied Science. p 349–94.

Hui Y H. (1992). Encyclopedia of food science food technology. Vol. 13. John Wiley & Sons Inc., USA.

Konstance R.P., Holsinger V.H. (1992), Development of rheological test method for cheese. *Food Technology*, pp. 105-109.

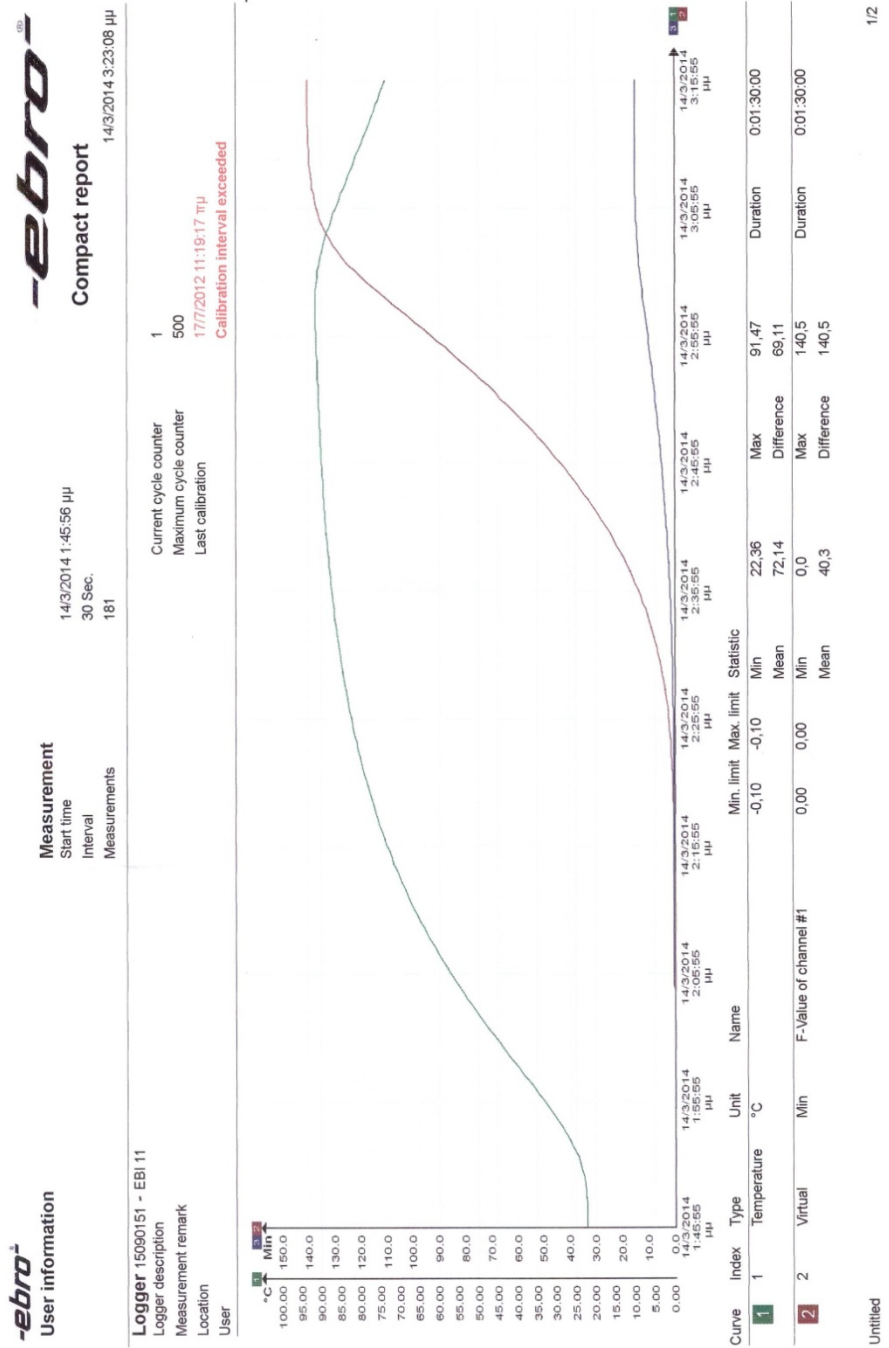
- Kosikowski, F.V. & Mistry, V.V. (1997). Process cheese and related products in: Cheese and fermented milk foods. 3rd Ed., Vol. 1. Origins and Principles, pp. 328–342. Kosikowski F V. (Ed.), USA
- Lee, S. J., & Peleg, M. (1990). Lubricated and nonlubricated squeezing flow of double layered array of two power law liquids. *RheologicaActa*, **29**, 360-365.
- Li, J., Ould Eleya, M.M. and Gunasekaran, S. (2006). Gelation of whey protein and xanthan mixture: Effect of heating rate on rheological properties. *Food Hydrocolloids*, Vol. 20, pp. 678–686.
- Macrae R., Robinson R. K., Sadler M.J. (1993). Encyclopedia of food science, food technology and nutrition. Vol.2, Academic Press Inc., UK, pp. 802-806, 846-856.
- Meyer A. (1973). Processed cheese manufacture. Food Trade Press Ltd., London
- Nogueira de Oliveira M., Ustunol Z., Tamime A.Y. (2011). Manufacturing practices of processed cheese *in*: Processed cheese and analogues. Tamime A.Y., editor, Wiley – Blackwell, Chichester, Ames.
- Perry R.H., Green D.W., Maloney J.O. (1999). Fluid and particle dynamics *in*: Perry's chemical engineers handbook. McGraw-Hill Companies Inc, USA.
- Pomeranz Y., Meloan C.E. (1994), Food Analysis, Theory and Practice. Chapman & Hall, third edition
- Prentice, J. H. (1987). Cheese Rheology. In P. F. Fox (Eds), *Cheese: Chemistry, physics and microbiology*, Volume 1 (General aspects) (pp. 303-340). Elsevier Applied Science Publishers LTD, London.
- Shukla, A., Rizvi, S. S. H., & Bartsch, J. A. (1995). Rheological characterization of butter using lubricated squeezing flow. *Journal of Texture Studies*, **26**, 313-323.
- Smit, G. (2003). *Dairy Processing – Improving Quality*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Smith, C.E., Rosenau, J.R. and Peleg, M. (1980). Evaluation of the flowability of melted mozzarella cheese by capillary rheometry. *Journal of Food Science*, Vol. 45, No. 5, pp. 1142–1145
- Spreer E. (1995). Milk and Dairy Product Technology, pp. 319-328
- Steffe J.F. (1996) Rheological Methods in food process engineering, 2nd edition, Freeman Press, East Lansing
- Texture Technologies.,(2011). Corp and by Stable Micro Systems, Ltd. Internet source
- Thomareis A.S. (1986). Propriétés thermophysiques des produits laitiers. Cas des fromages fondus. Ph.D. Thesis, Institut National Polytechnique de Lorraine, France.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αντωνίου, Κ. (2002). Τεχνολογία και Έλεγχος Ποιότητας Γάλακτος και Γαλακτοκομικών Προϊόντων, Εργαστηριακές σημειώσεις Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ανυφαντάκης, Ε. Μ. (1993). *Τυροκομία*. Εκδόσεις Σταμούλης Α.Ε., Αθήνα.
- Ζερφυρίδης, Γ. (2001). Τεχνολογία προϊόντων γάλακτος. 2η έκδοση. Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
- Ζύγουρη Π. Νικολάου (1952) Η βιομηχανία του γάλακτος, Αθήνα
- Καραγεωργής Β. Στέφανος (2004) Χρήση μεσόφιλων οξυγαλακτικών βακτηρίων στην παραγωγή τυριών φέτας και τελεμέ, Θεσσαλονίκη σελ59
- Κεχαγιάς, Χ. (2011). Γάλα: Επιστήμη και έλεγχος για την διασφάλιση της ποιότητας. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
- Κεχαγιάς, Χ. (1997). Τεχνολογία Γάλακτος & Γαλακτοκομικών Προϊόντων, Αθήνα. σελ. 217–224
- Κ.Τ.Π (1998). Κώδικας Τροφίμων και Ποτών και Αντικειμένων Κοινής Χρήσης, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα 1998.
- Λαζαρίδης, Χ.Ν. (2000). Μηχανική Τροφίμων. Εκδόσεις Γιαχούδη–Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 93–99.
- Μάντης, Α. Ι. (2005). *Υγιεινή και Τεχνολογία του Γάλακτος και των Προϊόντων του, 3η Έκδοση*. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, Α.Ε: Αθήνα.
- Ραφαηλίδης, Σ.Ν. (1987). Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων Ι, Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 22–24
- Ραφαηλίδης, Σ. (1998). Εργαστηριακές σημειώσεις Επεξεργασίας ΙΙ, Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ταξίδης Ν. (1995). Μελέτη ρεολογικών ιδιοτήτων Νευτώνειων και μη Νευτώνειων υγρών με το ιξωδόμετρο Brookfield. Εργαστηριακές σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων Ι. ΑΤΕΙΘ.
- Τρισελιωτης Χρ. Γεώργιος(2010) Παρασκευή γαλακτοκομικών προϊόντων , Αθήνα σελ. 13-14

# 8. Παράρτημα

Ενδεικτική παράθεση αποτελεσμάτων του logger, σε ένα δείγμα της δεύτερης σειράς δειγμάτων, το οποίο έχει παστεριωθεί στους 92 °C.



**-ebro-**  
User information

**-ebro-**

3	Virtual	Min	F-Value of channel #1	0,00	0,00	Min	0,0	Max	15,1	Duration	0:01:30:00
				Measurements	181	Mean	4,4	Difference	15,1		
				Measurement							
				Start time	14/3/2014 1:45:56 µj						
				Interval	30 Sec.						
				Measurements	181						
											14/3/2014 3:23:08 µj

**Compact report**