

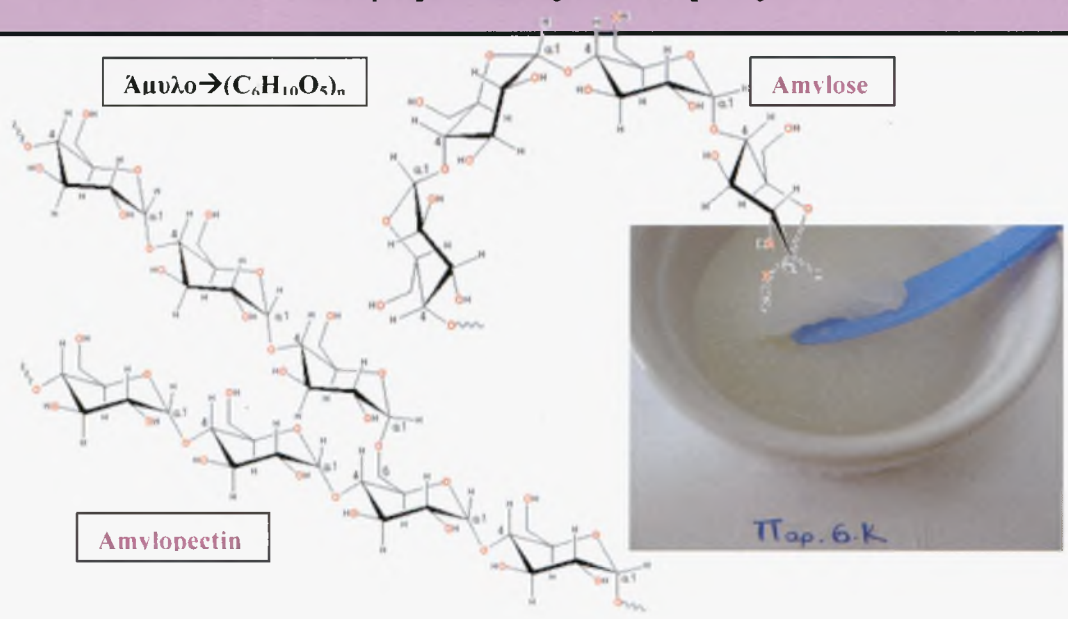
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αριθμ. Πρωτοκ. 309  
Ημερομηνία 5-7-10

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Πτυχιακή εργασία

Μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τροφίμων ή μοντέλων τροφίμων, που έχουν ως βασικό συστατικό άμυλο όταν αυτά συντηρηθούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες.



Μοσχοβίδη Γεωργία



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 8811/1  
Ημερ. Εισ.: 16-09-2010  
Δωρεά: Συγγραφέας  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ  
2010  
ΜΟΣ



**Μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τροφίμων ή  
μοντέλων τροφίμων, που έχουν ως βασικό συστατικό  
άμυλο όταν αυτά συντηρηθούν κάτω από  
διαφορετικές συνθήκες.**

**Μοσχοβίδη Γεωργία**

Επιβλέποντες καθηγητές:

- **Γιαννούλη Περσεφόνη**, Επίκουρος Καθηγήτρια Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας Τροφίμων Φυτικής Προέλευσης
- **Γούναρης Γ.Ιωάννης**, Καθηγητής Μοριακής Βιολογίας
- **Γέμτος Θεοφάνης**, Καθηγητής Γεωργικής Μηχανολογίας

Για την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής διατριβής θέλω να ευχαριστήσω θερμά για τη βοήθειά της και τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε την καθηγήτριά μου κ. Περσεφόνη Γιαννούλη. Ευχαριστώ επίσης τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια του εργαστηρίου Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας Τροφίμων Άννα Καλτσά για τη σημαντική συμβολή της. Τέλος ευχαριστώ και τους καθηγητές κ. Θεοφάνη Γέμπτο και κ. Γ. Ι. Γούναρη.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	σελίδα 7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
Εισαγωγή.....	8
<u>1. Χημική σύσταση τροφίμων</u> .....	9
<u>2. Υδατάνθρακες</u> .....	10
<u>2.1 Ορισμός- γενικά</u> .....	10
<u>2.2 Μονοσακχαρίτες</u> .....	12
<u>2.3 Ολιγοσακχαρίτες</u> .....	13
2.3.1 Δισακχαρίτες.....	14
2.3.2 Τρισακχαρίτες.....	14
<u>2.4 Πολυσακχαρίτες</u> .....	14
<u>2.5 Τέλεια γραμμικοί πολυσακχαρίτες</u> .....	15
<u>2.6 Διακλαδισμένοι πολυσακχαρίτες</u> .....	16
<u>2.7 Γραμμικά διακλαδισμένοι πολυσακχαρίτες</u> .....	16
<u>2.8 Πολυζακχαρίτες με καρβοξυλικές ομάδες</u> .....	16
<u>2.9 Πολυσακχαρίτες με ισχυρώς όξινες ομάδες</u> .....	16
<u>3. Ομοιοπολισακχαρίτες</u> .....	17
<u>3.1 Άμυλο</u> .....	17
<u>3.2 Αμυλόζη</u> .....	19
<u>3.3 Αμυλοπηκτίνη</u> .....	19
<u>3.4 Ιδιότητες του αμύλου</u> .....	22
<u>3.5 Βιομηχανική παραγωγή αμύλου</u> .....	23
<u>3.6 Παλινόρθωση αμύλου (Retrogradation)</u> .....	24
<u>3.7 Τροποποιημένα άμυλα</u> .....	24
<u>3.8 Χημικώς τροποποιημένα άμυλα</u> .....	24
<u>4. Αποθήκευση</u> .....	26
<u>4.1 Ψύξη</u> .....	26
4.1.1 Συντήρηση των τροφίμων υπό ψύξη .....	27
4.1.1.1 Θερμοκρασία ψύξης.....	28
4.1.1.2 Αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί. ....	29
4.1.1.3 Παθογόνοι μικροοργανισμοί. ....	29
<u>4.2 Κατάψυξη</u> .....	30

4.2.1 Συντήρηση υπό κατάψυξη .....	37
4.2.1.1 Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης.....	37
4.2.1.2 Μεταβολές κατά τη συντήρηση των τροφίμων υπό κατάψυξη.....	40
4.2.2 Απόψυξη .....	40
5. Μικροκύματα .....	42
5.1 Θέρμανση με μικροκύματα .....	42
5.1.1 Μηχανισμός θέρμανσης με μικροκύματα.....	42
5.2 Διηλεκτρικές ιδιότητες τροφίμων. ....	45
5.2.1 Αύξηση θερμοκρασίας τροφίμων κατά τη θέρμανση με μικροκύματα.....	47
5.2.2 Βάθος διείσδυσης μικροκυμάτων. ....	48
5.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μικροκυμάτων.....	49
6. Ρεολογία .....	50
6.1 Υφή και χαρακτηριστικά της.....	50
6.1.1 Μηχανικά Χαρακτηριστικά .....	52
6.2 Αντικειμενικός προσδιορισμός της υφής– Παραμόρφωση, Τάση.....	53
6.3 Τύποι ρεολογικής συμπεριφοράς.....	54
6.3.1 Ελαστική παραμόρφωση .....	54
6.3.2 Νευτώνια συμπεριφορά υγρών.....	54
6.3.3 Πλαστική παραμόρφωση .....	56
6.3.4 Μη – ιδανική ρεολογική συμπεριφορά.....	56
6.4 Μετρήσεις ρεολογικών ιδιοτήτων .....	57
7.Σκοπός.....	59
8.Υλικά και Μέθοδοι.....	59
8.1 Υλικά .....	60
8.2 Μέθοδος.....	61
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
2. Αποτελέσματα.....	62
2.1 6%w/w Άμυλο Αραβοσίτου.....	63
2.2 12%w/w Άμυλο Αραβοσίτου.....	67
2.3 6%w/w Άμυλο Ρυζιού.....	71
2.4 12% w/w Άμυλο Ρυζιού.....	75
2.5 6% w/w Άμυλο Πατάτας.....	78
2.6 12% w/w Άμυλο Πατάτας.....	86

2.7 Κρέμα καραμελέ – Άυλο Πατάτας.....	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3. Συζήτηση - Συμπεράσματα.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
4. Βιβλιογραφία.....	94
4.1 Ελληνική Βιβλιογραφία.....	95
4.2 Ξένη Βιβλιογραφία.....	95
4.2.1 Βιβλία.....	95
4.2.2 Άρθρα.....	96

## Περίληψη

Στην ερευνητική αυτή εργασία μελετήθηκε ένα βασικό ποιοτικό χαρακτηριστικό τριών διαφορετικών αμύλων και συγκεκριμένα η δομή τους. Ερευνήθηκε πως συμπεριφέρονται τα δείγματα αμύλου αραβοσίτου, αμύλου πατάτας και αμύλου ρυζιού κάτω από διαφορετικές συνθήκες συντήρησης. Συγκεκριμένα παρασκευάστηκαν δείγματα περιεκτικότητας 6%w/w και 12%w/w αμύλου αραβοσίτου (27%w/w αμυλόζη), αμύλου ρυζιού (17% w/w αμυλόζη) και αμύλου πατάτας (21% w/w αμυλόζη) τα οποία αποθηκεύτηκαν στην ψύξη (5° C) και στην κατάψυξη (-20° C) και αποψύχθηκαν είτε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είτε σε φούρνο μικροκυμάτων.

Θεωρούμε τις συνθήκες κατά τις οποίες παρασκευάστηκαν τα δείγματα ότι είναι όμοιες. Μετά τη συντήρησή τους στα δείγματα έγιναν μετρήσεις με το μηχάνημα AEGIS, Texture Analyzer. Από τις μετρήσεις αυτές είχαμε τρία σημαντικά συμπεράσματα. Πρώτον ότι τα τρία άμυλα που μελετήθηκαν είχαν διαφορετική συμπεριφορά και παρουσίασαν διαφορετικές δομές μεταξύ τους. Δεύτερον ότι η αποθήκευση των δειγμάτων στην κατάψυξη δημιούργησε πηκτές με παρόμοια συμπεριφορά. Τα δομικά τους χαρακτηριστικά έμοιαζαν μεταξύ τους είτε αυτά αποψύχθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είτε σε φούρνο μικροκυμάτων. Τρίτον η αποθήκευση στην κατάψυξη με απόψυξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος δημιούργησε τις πιο ισχυρές πηκτές όπου χρειαστήκαμε τις πιο μεγάλες τιμές δύναμης για να παραμορφώσουμε τα δείγματα. Τέλος έγινε σύγκριση των δειγμάτων με περιεκτικότητα αμύλου πατάτας με ένα προϊόν του εμπορίου και παρατηρήθηκε η ίδια δομική συμπεριφορά. Συνεπώς το προφίλ της δομής του αμύλου υπερισχύει στο προϊόν υπέρ των άλλων συστατικών του.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

“Εισαγωγή”

## 1. Χημική σύσταση τροφίμων

Τα τρόφιμα στο σύνολό τους αποτελούνται από πολλές χημικές ουσίες. Πολύ λίγες από αυτές, περίπου 50, θεωρούνται απαραίτητες για τη θρέψη(π.χ. βιταμίνες). Άλλες είναι χρήσιμες ή γιατί απλώς περιέχουν θερμίδες (π.χ. η φρουκτόζη), ή επειδή είναι ευχάριστες (π.χ. βανιλίνη), ή γιατί έχουν ευνοϊκές δράσεις (π.χ. φυτική ίνα). Μερικές είναι ανεπιθύμητες (π.χ. δύσοσμες) ή δηλητηριώδεις (π.χ. βοτυλική τοξίνη). (4)

Η χημική σύσταση των τροφίμων ποικίλει σημαντικά. Γενετικοί παράγοντες (φυτό, ζώο, είδος, ποικιλία ή ράτσα), οικολογικές συνθήκες (κλίμα, έδαφος, διατροφή του φυτού ή ζώου) καθώς και η επεξεργασία που έχουν υποστεί επηρεάζουν τη σύστασή τους. Το είδος του ιστού (φλοιός- σάρκα, κόκαλο- ψαχνό), ο βαθμός ωρίμανσης, η αποθήκευση, μεταποίηση και συντήρηση του τροφίμου είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν στη χημική του σύσταση. (4)

Τα συστατικά των τροφίμων, με βάση τη θρεπτική τους σημασία, κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες: υδατάνθρακες (γλυκίδια), λίπη(λιπίδια), πρωτεΐνες(πρωτίδια), βιταμίνες και άλατα. Δύο άλλες ουσίες, που περιέχονται στα τρόφιμα, αλλά που είναι πολύ απαραίτητες για τη ζωή, είναι οξυγόνο και το νερό. Στα τρόφιμα το νερό απαντάται ως ελεύθερο (ρευστό), παγωμένο, γαλακτωματώδες, παγιδευμένο σε πηκτές, προσροφημένο ή ως μέρος κρυσταλλικών ουσιών.(4)

Το νερό που υπάρχει στα τρόφιμα έχει μεγάλη σημασία για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου :

- 1) Αποτελεί το μέσο στο οποίο συμβαίνουν ενζυμικές (μόνο καταβολικές) και χημικές αντιδράσεις, οι οποίες εφόσον δεν ελεγχθούν αποτελεσματικά οδηγούν στην ποιοτική υποβάθμιση του τροφίμου (απαραίτητη η επιλογή κατάλληλης μεθοδολογίας επεξεργασίας και συντήρησης π.χ. ψύξη)
- 2) Η παρουσία του σε επαρκείς ποσότητες επιτρέπει την ανάπτυξη μικροοργανισμών εις βάρος των θρεπτικών συστατικών του τροφίμου, οι οποίοι προκαλούν αλλοιώσεις στο τρόφιμο ή και τροφικές δηλητηριάσεις ή ακόμη και ασθένειες στον καταναλωτή
- 3) Η παρουσία του νερού σε κάθε τρόφιμο στη σωστή αναλογία συνδέεται με την οπτική εντύπωση και τα καλά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου και
- 4) Το νερό σταθεροποιεί τη διαμόρφωση των βιοπολυμερών (πηκτίνες, ημικυτταρίνες, άμυλο, πρωτεΐνες) και επηρεάζει τις ιδιότητές του. Η παρουσία

του νερού στα τρόφιμα είναι λοιπόν απαραίτητη για την καλή ποιότητα των νοπών προϊόντων ταυτόχρονα όμως επιβάλλει την εφαρμογή αποτελεσματικών μεθόδων συντήρησης ώστε να επιτευχθεί η διατήρηση των τροφίμων στη καλύτερη δυνατή κατάσταση για μακρό χρονικό διάστημα.(5)

Ένα μεγάλο μέρος της επιστήμης και τεχνολογίας τροφίμων ασχολείται με παρεμβάσεις στη περιεκτικότητα των τροφίμων σε νερό: την απομάκρυνσή του (αφυδάτωση, συμπύκνωση), την κατάψυξή του , τη γαλακτωματοποίησή του (π.χ. βούτυρο) και την προσθήκη του σε αφυδατωμένα τρόφιμα είτε πρόκειται για διάλυση (π.χ. γάλα σκόνη) είτε για επανενυδάτωση ή ανασύσταση (αφυδατωμένα λαχανικά, νιφάδες πατάτας).(5)

Η απομάκρυνση του νερού από τα τρόφιμα είτε με την εφαρμογή κάποιας μεθόδου αφυδάτωσης ή με τον επί τόπου διαχωρισμό του από τα υπόλοιπα συστατικά με τη μορφή καθαρών κρυστάλλων πάγου (κατάψυξη), μεταβάλλουν τις αρχικές ιδιότητές τους. (5)

## 2. Υδατάνθρακες

### 2.1 Ορισμός- γενικά

Ονομάστηκαν έτσι επειδή αποτελούνται από C, H, και O και τα δύο τελευταία στοιχεία περιέχονται στην αναλογία του νερού (2:1) και έτσι μπορούν να θεωρηθούν ως ενώσεις άνθρακα και νερού. Είναι οι πιο άφθονες και διαδεδομένες οργανικές ουσίες στη φύση.(4)

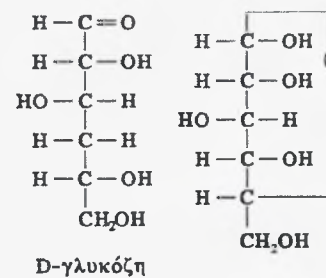
Σήμερα ξέρουμε ότι η πλειονότητα των υδατανθράκων ανταποκρίνεται στον γενικό τύπο  $C_x(H_2O)_y$  , υπάρχουν όμως και υδατάνθρακες με ελαφρώς διαφορετικές αναλογίες των ανωτέρω στοιχείων. Εξ' άλλου, απαντώνται ουσίες, σαν το οξικό οξύ,  $CH_3COOH$ , που έχουν τις τυπικές αναλογίες, αλλά όχι και τις ιδιότητες των υδατανθράκων. Ουσιαστικά οι υδατάνθρακες είναι πολυδροξυαλδεΐδες (αλδόζες), ή πολυδροξυκετόνες (κετόζες), ή προϊόντα πολυμερισμού των ενώσεων αυτών.(4)

Οι κύριες ιδιότητες των υδατανθράκων υπαγορεύονται από τις υδροξυλικές τους ομάδες -OH και το καρβονύλιο τους. Τα υδροξύλια , -OH, συντελούν στην υδατοδιαλυτότητά τους, ενώ το καρβονύλιο τους προσδίδει αναγωγικές ιδιότητες.

Οι υδατάνθρακες επίσης αποτελούν τα κύρια προϊόντα κατά τη φωτοσύνθεση, υπάρχουν σε σημαντικά ποσά σε όλα τα φυτικά γεωργικά προϊόντα. Κατά τη φωτοσύνθεση διασπάται το νερό σε  $2H^+$  και  $O_2$ . το οξυγόνο ελευθερώνεται στη ατμόσφαιρα ως  $O_2$  ενώ τα  $H^+$  συμμετέχουν στη ενζυμική δέσμευση του  $CO_2$  της ατμόσφαιρας με τη μορφή της φωσφορικής γλυκεριναλδεύδης. Από τη φωσφορική γλυκεριναλδεύδη παράγονται όλες οι οργανικές ενώσεις των πράσινων φυτών και ανάμεσα τους ξεχωρίζουν οι απλοί υδατάνθρακες με 5 ή 6 άτομα άνθρακα. Αυτά τα μονομερή συστατικά ονομάζονται μονοσακχαρίτες ή απλά σάκχαρα.(3)

Ως προς τη διατροφή, οι υδατάνθρακες της τροφής χρησιμοποιούνται από τον οργανισμό ως άμεσα διαθέσιμη πηγή ενέργειας. Εφόσον ο οργανισμός εφοδιάζεται με

χαμηλά ποσά υδατανθράκων σε σχέση με τις ανάγκες τους, το έλλειμμα καλύπτεται με απελευθέρωση γλυκόζης από το αποθηκευμένο γλυκογόνο και όταν εξαντληθούν και τα αποθέματα γλυκογόνου τότε ο οργανισμός καλύπτει τις ανάγκες του παράγοντας



D-γλυκόζη

γλυκόζη με μετατροπή αμινοξέων εις βάρος της συντήρησης ή ανάπτυξης των οστών, καθώς και με τη μετατροπή γλυκερόλης.

Εικόνα 1. Δομή γλυκόζης

Όσον αφορά την τεχνολογία τροφίμων, υφή και η ποιότητα μεγάλου αριθμού προϊόντων εξαρτάται από την ποσότητα και το είδος των υδατανθράκων που περιέχουν και αποτελεί τη συνισταμένη των ιδιοτήτων τους: διαλυτότητα, υγροσκοπικότητα, διάχυση, γεύση, ιξώδες διαλυμάτων). Παραδείγματα τέτοιων προϊόντων είναι τα αρτοσκευάσματα, τα πηκτώματα (gels), τα υλικά επικάλυψης(coatings).(3)

Από τους υδατάνθρακες μερικοί είναι άπεπτοι γι' αυτό και χαρακτηρίζονται ως διαιτητικές ίνες ενώ έχουν ιδιαίτερη επίσης σημασία για την καλή λειτουργία του παχέος εντέρου. Από τους πεπτούς υδατάνθρακες ξεχωριστό ενδιαφέρον παρουσιάζουν το άμυλο που είναι η κύρια πηγή θερμίδων στο διαιτολόγιο των περισσότερων ανθρώπων σ' όλο τον κόσμο. Πηγές όπως ψωμί, αρτοσκευάσματα, μακαρόνια, ρύζι, πατάτες, προϊόντα θερμικής εξώθησης (γαριδάκια), κρέμες κ.α. Επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σάκχαρα που χρησιμοποιούνται ως γλυκαντικές ύλες. Ανάμεσά τους ξεχωρίζει η σακχαρόζη (σακχαρότευτλα, σακχαροκάλαμο) η γλυκόζη (προϊόν ενζυμικής υφρόλυσης του αμύλου) η φρουκτόζη

(απομονώνεται από τη γλυκόζη μετά από μερική ισομερείωση και διαχωρισμό σε στήλη) και τα μίγματα υδρόλυσης του αμύλου: αμυλοσιρόπια, ισογλυκόζη.

Οι υδατάνθρακες ανάλογα με την χημική τους δομή και συγκεκριμένα με τον αριθμό των σακχάρων που περιέχουν στο μόριό τους διακρίνονται σε α) μονοσακχαρίτες, β) ολιγοσακχαρίτες και γ) πολυσακχαρίτες.(8)

## **2.2 Μονοσακχαρίτες**

Οι μονοσακχαρίτες είναι πολυυδροξυ-αλδεΐδες και κετόνες του τύπου  $\text{HO}-(\text{CHOH})_n-\text{CHO}$  και  $\text{HO}-\text{CH}_2-(\text{CHOH})_{n-1}-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{OH}$  (αλδόζη, κετόζη). Συνήθως απαντούν σε κρυσταλλική μορφή και έχουν γλυκιά γεύση.(8)

### **Ιδιότητες**

Η αλδεϋδική ομάδα μιας αλδόζης μπορεί να οξειδωθεί προς καρβοξυλική, οπότε προκύπτουν τα αλδονικά οξέα.

Οξείδωση και των δύο άκρων του μορίου της αλδόζης δίνει τα αλδαρικά ή σακχαρικά οξέα. Η αντίδραση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση της γαλακτόζης από τα άλλα μονοσάκχαρα γιατί το αντίστοιχο οξύ, το βλεννικό οξύ, είναι αδιάλυτο σε οξέα αντίθετα με τα σακχαρικά οξέα που προκύπτουν από την οξείδωση των άλλων ισομερών. Το βλεννικό οξύ απαντά και σε φυτικά προϊόντα.

Η αναγωγή του καρβονυλίου των μονοσακχαριτών δίνει αλκοόλες, τις αλδιτόλες, όπως η D- σορβιτόλη, D- μαννιτόλη κ.α.(3)

### **Πεντόζες**

Οι πεντόζες απαντούν σε περιορισμένη έκταση ελεύθερες, είναι όμως ευρύτατα διαδεδομένες στη φύση ως συστατικά πολυσακχαριτών ή γλυκοζιτών. Οι πεντόζες είναι μια πολύ συνηθισμένη μορφή ανυδριτικών παραγώγων, είναι ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους που δεν διασπώνται από τα ένζυμα στο πεπτικό σύστημα όπως και η κυτταρίνη. Οι πιο γνωστές πεντόζες είναι η D-ξυλόζη, L-αραβινόζη και η D-ριβόζη.(3)

### **Εξόζες**

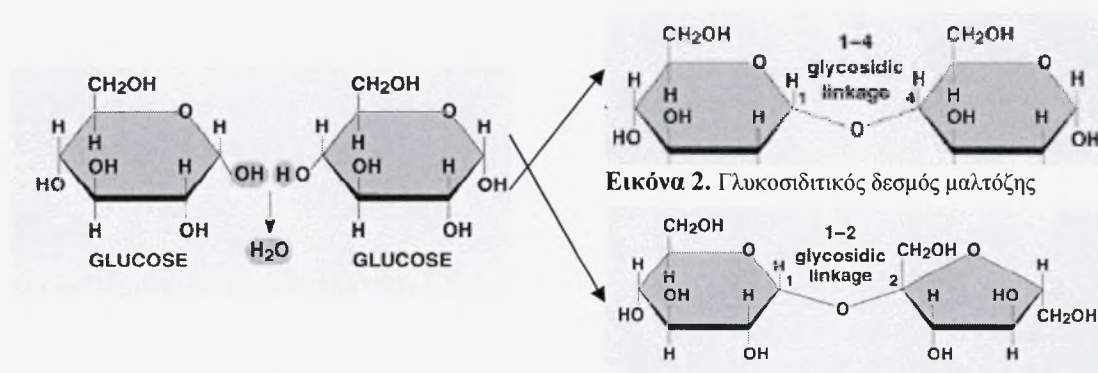
Είναι ενώσεις πολύ διαδεδομένες στη φύση. Οι πιο γνωστές είναι η γλυκόζη, η φρουκτόζη, η γαλακτόζη και η μαννόζη.

Η D-γλυκόζη απαντά στη φύση είτε ελεύθερη είτε ως συστατικό πολλών ολιγοσακχαριτών, πολυσακχαριτών και γλυκοζιτών. Βιομηχανικώς παρασκευάζεται από υδρόλυση του αμύλου (αμυλοσιρόπιο, αμυλοσάκχαρο). Μετά την υδρόλυση, που γίνεται με αραιό υδροχλωρικό οξύ υπό πίεση, το σιρόπι εξουδετερώνεται με ανθρακικό νάτριο και αποχρωματίζεται με ενεργό άνθρακα και διοξείδιο του θείου που δρα και ως συντηρητικό.(3)

### 2.3 Ολιγοσακχαρίτες

Οι ενώσεις με περίπου 10 μόρια μονοσακχαρίτη ονομάζονται ολιγοσακχαρίτες. Οι μονοσακχαρίτες σχηματίζουν γλυκοζίτες. Όταν αυτό συμβαίνει μεταξύ της ομάδας λακτόλης ενός μονοσακχαρίτη και οποιασδήποτε HO- ομάδας ενός δεύτερου μονοσακχαρίτη, παράγεται ένας δισακχαρίτης.(5)

Η συμπίκνωση της γλυκόζης και της φρουκτόζης με την αποβολή ενός μορίου νερού από 2 -OH προς το σχηματισμό γέφυρας O<sub>2</sub>, μεταξύ δύο μονάδων μονοσακχαριτών μας κάνουν έναν γλυκοσιδικό δεσμό.



Όταν δημιουργείται ένας γλυκοζιτικός δεσμός μόνο μεταξύ των ομάδων λακτόλης δύο μονοσακχαριτών, σχηματίζεται τότε ένας μη ανάγοντας δισακχαρίτης, και όταν μετέχουν μια ομάδα λακτόλης και μια αλκοολική HO- ομάδα, παράγεται ένας ανάγοντας δισακχαρίτης. (10)



### 2.3.1 Δισακχαρίτες

Οι δισακχαρίτες σχηματίζονται από δύο μόρια μονοσακχαριτών. Είναι μια σπουδαία κατηγορία υδατανθράκων. Δύο σημαντικοί δισακχαρίτες είναι η σακχαρόζη (σουκρόζη), δηλαδή η κοινή ζάχαρη και η λακτόζη, δηλαδή το γαλακτοζάχαρο. Ένα μόριο σακχαρόζης υδρολύεται σε ένα μόριο γλυκόζης και σε ένα μόριο φρουκτόζης. Παρόμοια η λακτόζη υδρολύεται σε γαλακτόζη και γλυκόζη. Απαντάται στο γάλα και έχει την ιδιότητα να απορρογά οσμές και φυσικά χρώματα. Δύο άλλοι ενδιαφέροντες δισακχαρίτες είναι η μαλτόζη και η κελλοβιόζη. Το μόριο και των δύο αποτελείται από δύο μόρια γλυκόζης, κι ενώ η μαλτόζη είναι πεπτή, η κελλοβιόζη είναι άπεπτη από τον άνθρωπο. Η διαφορά οφείλεται στο είδος του γλυκοζιτικού δεσμού μεταξύ των δύο μορίων γλυκόζης. Η μαλτόζη διακρίνεται σε α- και β- μαλτόζη. Είναι συστατικό του αμύλου και γλυκογόνου.(3)

### 2.3.2 Τρισακχαρίτες

Οι τρισακχαρίτες σχηματίζονται από τρία μόρια μονοσακχαριτών. Από τους τρισακχαρίτες πολύ σημαντική είναι η ραφινόζη που αποτελείται από γαλακτόζη, γλυκόζη και φρουκτόζη, κι από τους τετρασακχαρίτες

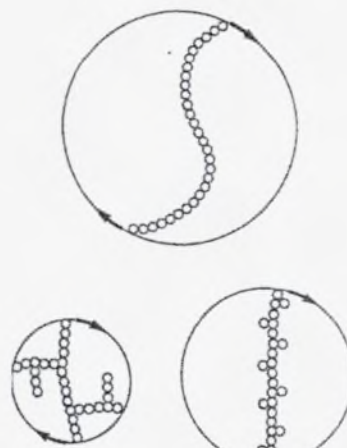
## 2.4 Πολυσακχαρίτες

Ως πολυσακχαρίτες χαρακτηρίζονται οι υδατάνθρακες που έχουν πάνω από δέκα μονάδες μονοσακχάρων. Είναι ουσίες, χωρίς γλυκιά γεύση. Οι πιο συνηθισμένοι πολυσακχαρίτες που απαντούν στη φύση έχουν μεγάλο μοριακό βάρος και το μόριό τους αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες μόρια πολυσακχαριτών.(3)

Η όξινη υδρόλυσή τους παράγει μονοσακχαρίτες.

Μερική χημική και ενζυμική υδρόλυση, εκτός από την πλήρη υδρόλυση παρέχει ολιγοσακχαρίτες, η ανάλυση των οποίων διευκρινίζει την αλληλουχία των μονοσακχαριτών και τη θέση και τον τύπο των δεσμών.(8)

Οι πολυσακχαρίτες μπορούν να διακριθούν και με βάση το είδος της αλυσίδας σε: α)διακλαδισμένους και β)ευθύγραμμους. Έτσι, μονοσακχαρίτες ενωμένοι με γραμμικό τρόπο



Εικόνα 4. Σχηματική απεικόνιση των <<λειτουργικών όγκων>> του γραμμικού, διακλαδισμένου και γραμμικά διακλαδισμένου τύπων πολυσακχαριτών

σχηματίζουν την κυτταρίνη και την αμυλόζη ενώ με διακλαδισμένο τρόπο σχηματίζουν την αμυλοπηκτίνη, το γλυκογόνο ή το γκουάρ. Η συχνότητα των περιοχών διακλάδωσης και το μήκος των πλευρικών αλυσίδων μπορεί να ποικίλουν πολύ (γλυκογόνο, γκουαρ). Η αλληλουχία των μορίων των μονοσακχαριτών μπορεί να είναι περιοδική, μία περίοδος περιέχει μια ή περισσότερες εναλλασσόμενες δομικές μονάδες (κυτταρίνη, αμυλόζη ή υαλουρονικό οξύ). Σε αυτή την περίπτωση οι πολυσακχαρίτες ονομάζονται ομοιοπολυσακχαρίτες. Όταν όμως η αλληλουχία μπορεί να περιέχει πιο βραχέα ή πιο μακριά τμήματα μορίων με περιοδική διάταξη που διαχωρίζονται από μη περιοδικά τμήματα (άλατα αλγινικού οξέος, καραγεννάνες, πηκτίνη), ή η αλληλουχία μπορεί να είναι μη περιοδική σε όλο το μήκος της αλυσίδας (όπως στην περίπτωση των υδατανθρακικών συστατικών στις γλυκοπρωτεΐνες) προκύπτουν πολυσακχαρίτες που ονομάζονται ετεροπολυσακχαρίτες.(8)

Παραδείγματα ετεροπολυσακχαριτών είναι: οι φυτοβλέννες, τα φυτικά κόμμεα, οι ημικυτταρίνες και οι πεντοζάνες, οι πηκτινικές ύλες, οι γλυκοπρωτεΐνες, ηθειϊκή χονδροϊτίνη, το υαλουρονικό οξύ, η δεξτράνη, η ξανθάνη και οι διαιτητικές ίνες.

Το άμυλο που είναι θρεπτικό συστατικό μεγάλης σημασίας για τον άνθρωπο και τα ζώα, θεωρείται πολυμερές της γλυκόζης, ενώ η κυτταρίνη που δεν έχει θρεπτική αξία για τον άνθρωπο (αν και σαν μέρος της φυτικής ίνας είναι επιθυμητή) θεωρείται πολυμερές της κελλοβιόζης. Η θρεπτική διαφορά οφείλεται στο ότι ο πεπτικός σωλήνας του ανθρώπου εκκρίνει α-γλυκοζιδάσες, ενζυμα που υδρολύουν τους α-γλυκοζιτικούς δεσμούς του αμύλου, αλλά όχι και τους β-γλυκοζιτικούς δεσμούς της κυτταρίνης.(4)

## **2.5 Τέλεια γραμμικοί πολυσακχαρίτες**

Ενώσεις με μια ουδέτερη δομική μονάδα μονοσακχαρίτη και με έναν τύπο δεσμού (όπως στην κυτταρίνη ή την αμυλόζη) ονομάζονται τέλεια γραμμικοί πολυσακχαρίτες. Είναι συνήθως αδιάλυτοι στο νερό και μπορούν διαλυτοποιηθούν μόνο σε δραστικές συνθήκες, π.χ. υψηλή θερμοκρασία, με διάσπαση των Η-δεσμών με άλκαλι ή άλλα κατάλληλα αντιδραστήρια. Κατακρημνίζονται εύκολα από διάλυμα (παράδειγμα: αναδιάταξη του αμύλου).(8)



## **2.6 Διακλαδισμένοι πολυσακχαρίτες**

Οι διακλαδισμένοι πολυσακχαρίτες (αμυλοπηκτίνη, γλυκογόνο) είναι περισσότερο διαλυτοί στο νερό από τους γραμμικούς καθώς η αλληλεπίδραση αλυσίδας-αλυσίδας είναι λιγότερο έντονη και υπάρχει επιδιалύτωση των μορίων σε μεγαλύτερη έκταση. Τα διαλύματα των διακλαδισμένων πολυσακχαριτών, μόλις ξηραθούν, επαναενυδατώνονται εύκολα. Σε σύγκριση με τους γραμμικούς πολυσακχαρίτες με το ίδιο μοριακό βάρος και την ίδια συγκέντρωση, τα διαλύματα των διακλαδισμένων πολυσακχαριτών έχουν χαμηλότερο ιξώδες.(8)

## **2.7 Γραμμικά διακλαδισμένοι πολυσακχαρίτες**

Οι γραμμικά διακλαδισμένοι πολυσακχαρίτες, δηλαδή πολυμερή σώματα με μακριά αλυσίδα ‘σπονδυλικής στήλης’ και με πολλές βραχείες πλευρικές αλυσίδες, όπως το γκουαρ ή η αλκυλοκυτταρίνη, έχουν ιδιότητες που είναι ένας συνδυασμός εκείνων των τέλεια γραμμικών και εκείνων των διακλαδισμένων μορίων. Η μακριά αλυσίδα ‘της σπονδυλικής στήλης’ είναι υπεύθυνη για το υψηλό ιξώδες του διαλύματος. Η παρουσία πολυάριθμων βραχέων πλευρικών αλυσίδων αποδυναμώνει πολύ τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων, όπως παρουσιάζεται από την καλή διαλυτότητα και το ρυθμό επανυδάτωσης των μορίων και από τη σταθερότητα ακόμη και των ιδιαίτερα πυκνών διαλυμάτων.(8)

## **2.8 Πολυζακχαρίτες με καρβοξυλικές ομάδες**

Χαρακτηριστικά παραδείγματα πολυσακχαριτών με καρβοξυλικές ομάδες είναι η πηκτίνη, τα αλγινικά και η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη.(8)

## **2.9 Πολυσακχαρίτες με ισχυρώς όξινες ομάδες**

Οι πολυσακχαρίτες με ισχυρώς όξινα υπολειματικά μόρια, παρόντα ως εστέρες κατά μήκος των πολυμερικών αλυσίδων (θειικά, φωσφορικά οξέα, όπως στη φουρσελλαράνη, την καραγεννάνη ή το τροποποιημένο άμυλο), είναι επίσης πολύ διαλυτοί στο νερό και σχηματίζουν ιδιαίτερος ιξώδη διαλύματα. Αντίθετα από τους πολυζακχαρίτες με τις καρβοξυλικές ομάδες, σε έντονα όξινα μέσα αυτά τα διαλύματα είναι σαφώς σταθερά.(8)

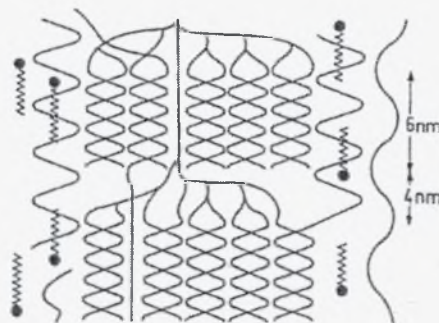
### 3. Ομοιοπολισακχαρίτες

#### 3.1 Άμυλο

Είναι η κύρια πηγή θερμίδων στο διαιτολόγιο των περισσότερων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο. Οι κύριες πηγές αμύλου είναι

- Τα δημητριακά 65-70%, το ρύζι ~ 80%
- Τα όσπρια 50-65% εκτός από τη σόγια (άμυλο <1% δεξτρίνες 2,5-5,5%)
- Πατάτες 20-25%
- Ταπιόκα 15-20% αφρική, λατινική αμερική, ασία(5)

Το άμυλο υπάρχει με τη μορφή αμυλοκόκκων οι οποίοι σχηματίζονται στους αμυλοπλάστες, που έχουν χαρακτηριστικό σχήμα και μέγεθος για κάθε φυτικό είδος. Αυτοί οι κόκκοι είναι απλοί ή σύνθετοι και αποτελούνται από ομόκεντρες ή έκκεντρες στοιβάδες διαφορετικής πυκνότητας. Στα δημητριακά υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι αμυλοκόκκων από τους οποίους οι τρεις περιλαμβάνουν όλα τα καλλιεργούμενα είδη. Τα δημητριακά χαρακτηρίζονται από αμυλόκοκκους μικρού μεγέθους, η πατάτα έχει σχετικά μεγάλους αμυλόκοκκους ενώ η ταπιόκα και το sago έχουν αμυλόκοκκους πολύ μεγάλου μεγέθους.(5)



**Εικόνα 5.** Μοντέλο κρυσταλλικής περιοχής αμυλοκόκκου (σύμφωνα με τον Galliard, 1987)

Εξετάζονται με τη χρήση διάφορων φυσικών μεθόδων, συμπεριλαμβανομένων οπτικής μικροσκοπίας, μικρής γωνίας σκέδασης φωτός, ηλεκτρονικής μικροσκοπίας, περίθλασης ακτίνων X, μικρής γωνίας-σκέδασης νετρονίων και μικρής γωνίας σκέδασης ακτίνων X. Με βάση πειράματα περίθλασης ακτίνων X, οι αμυλόκοκκοι θεωρείται ότι έχουν ημικρυσταλλικό χαρακτήρα, που δείχνει μεγάλο βαθμό προσανατολισμού των μορίων των γλυκανών. Περίπου 70% της μάζας ενός αμυλόκοκκου θεωρείται ότι είναι άμορφο και περίπου το 30% είναι κρυσταλλικό. Οι άμορφες περιοχές περιέχουν την κύρια ποσότητα της αμυλόζης, αλλά και ένα σημαντικό μέρος της αμυλοπηκτίνης. Οι κρυσταλλικές περιοχές αποτελούνται

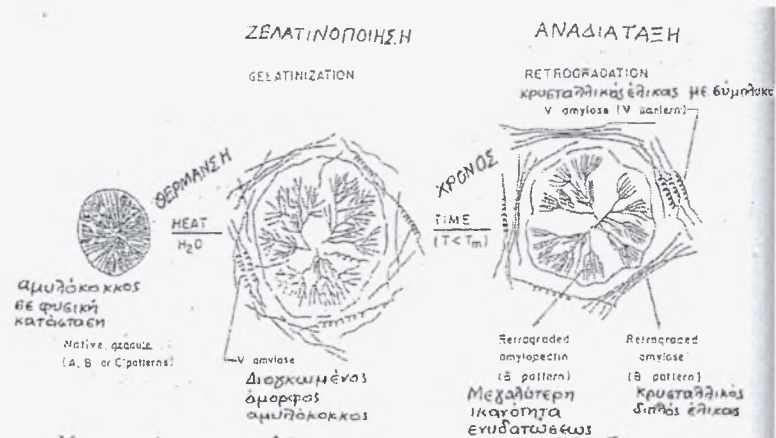
πρώτιστα από αμυλοπηκτίνη. Αν και αυτά τα ευρύματα προκάλεσαν έκπληξη στη αρχή λόγω της διακλαδισμένης δομής της αμυλοπηκτίνης, αυτό προέκυψε από το γεγονός ότι η αμυλόζη μπορεί να διαλυθεί από τον κόκκο χωρίς διατάραξη του κρυσταλλικού χαρακτήρα και ότι ακόμη και τα ελεύθερα αμυλόζης άμυλα, όπως το κηρώδες άμυλο καλαμποκιού, είναι ημικρυσταλλικά. Ο βαθμός κρυσταλλικότητας εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νερό. Είναι 24%για αφυδατωμένο αέρα, άμυλο πατάτας (19,8%νερό), 29-35%για το υγρό προϊόν (45-55%νερό), και μόνο 17%για το άμυλο που έχει ξηραθεί με P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> και στη συνέχεια επανυδατωθεί.(8)

Οι κόκκοι του αμύλου είναι αδιάλυτοι στο νερό, έχουν όμως την ιδιότητα να απορροφούν το νερό και να διογκώνονται. Με θερμό νερό οι κόκκοι σχηματίζουν ένα πηκτό διάλυμα (ζελατινοποίηση), που περιέχει δύο μορφές αμύλου, την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη

όπου το νερό εισδύει ανάμεσα στα μόρια αυτά. Η αμυλόζη είναι ένα γραμμικό πολυμερές που αποτελείται από πολλά μόρια

γλυκόζης (μέχρι 200), συνδεμένα με α-D-1 → 4γλυκοζιτικό δεσμό.

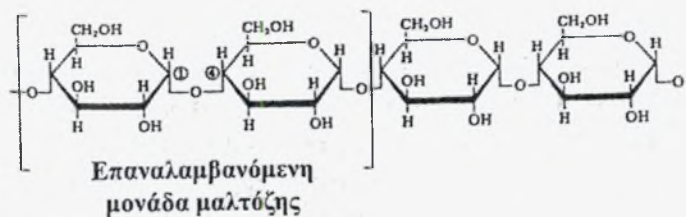
Το άμυλο όταν υδρολυθεί μερικώς, είτε ενζυμικώς, είτε με οξέα δίνει δεξτρίνες. Οι τελευταίες διακρίνονται σε αμυλοδεξτρίνες ή διαλυτό άμυλο (δίνουν μπλε χρώμα με το ιώδιο), ερυθροδεξτρίνες (ερυθρό χρώμα με το ιώδιο) και αχροοδεξτρίνες. Οι δεξτρίνες διαλύονται στο νερό και καθιζάνουν με προσθήκη αλκοόλης. Έχουν ελεύθερες καρβονυλικές ομάδες και γι' αυτό ανάγουν το φελίγγειο υγρό. Εκτός από το υδρολυμένο άμυλο απαντούν στο μέλι, τα φρούτα και τα φύλλα διαφόρων φυτών.(3)(11)



Εικόνα 6. Μεταβολές κατά τη ζελατινοποίηση και την αναδιάταξη του αμύλου

### 3.2 Αμυλόζη

Το μόριο της αμυλόζης είναι γραμμικό (χωρίς κλάδους) και αποτελείται από 1000-4.500 μονάδες



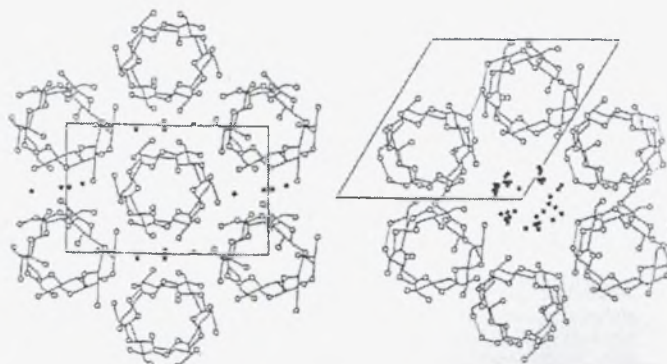
γλυκόζης, ενωμένες με α- (1-4) δεσμούς (C-1 μιας α-

Εικόνα 7. Δομή αμυλόζης

γλυκόζης με C-4 της επόμενης). Έχει την ιδιότητα να συμπλέκεται σχηματίζοντας μια ελικοειδή δομή γύρω από το ιώδιο με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια ικανότητα απορρόφησης του φωτός στην οποία οφείλεται το έντονο μπλε χρώμα.

Η αμυλόζη όταν συναντήσει ανόργανα ιόντα ή μικρομοριακές οργανικές ενώσεις με γραμμική φύση (π.χ. αιθανόλη, ελεύθερα λιπαρά οξέα, μονογλυκερίδια, λυσοφωσfolιπίδια) έχει

την ιδιότητα να τις εγκλωβίζει σχηματίζοντας αδιάλυτους κρυσταλλικούς έλικες σχήματος V. Η αμυλόζη με τα ιόντα σχηματίζει σύμπλοκο με βαθύ κυανό χρώμα. Έχει πολύ χαμηλή διαλυτότητα στο κρύο νερό, διαλύεται όμως εύκολα σε διμέθυλοσουλφοξείδιο που περιέχει 10%ουρία – σπάζου όλοι οι δεσμοί υδρογόνου.(5)(8)(11)

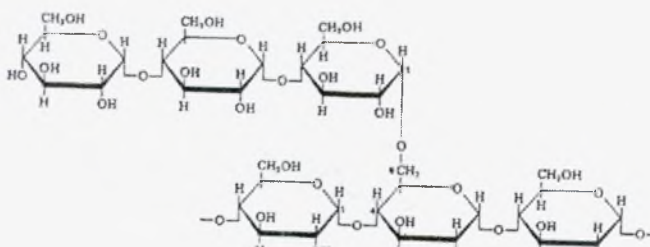


Εικόνα 8. Μονάδα κελίων και διάταξη διπλών ελίκων (κάτοψη) στην Α-αμυλόζη (αριστερά) και στην Β-αμυλόζη (δεξιά) (σύμφωνα με τον Galliard, 1987)

### 3.3 Αμυλοπηκτίνη

Η αμυλοπηκτίνη από τη άλλη είναι διακλαδισμένο πολυμερές της D-γλυκόζης. Το

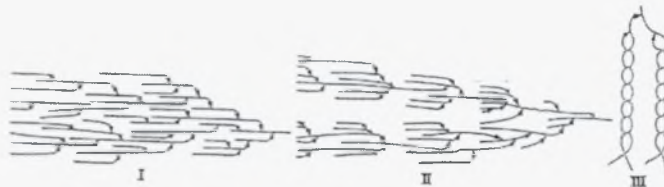
μόριο της έχει τη μορφή βότρυος και αποτελείται από πολλές μικρές αλυσίδες που αποτελούνται από μονάδες α-D γλυκόζης



Εικόνα 9. Δομή αμυλοπηκτίνης



ενωμένες με α- 1 → 4 δεσμούς. Οι μικρές άλυστοι όμως ενώνονται μεταξύ τους με α- 1 → 6 γλυκοζιτικούς δεσμούς (σημεία διακλαδώσεως). Το κύριο τμήμα της κρυσταλλικής δομής ενός αμυλόκοκκου προέρχεται από την αμυλοπηκτίνη. Τα προτεινόμενα δομικά μοντέλα δείχνουν ότι και η αμυλοπηκτίνη έχει τις



διπλές έλικες σε παράλληλη οργάνωση. Η

αμυλοπηκτίνη έχει μόρια

διακλαδισμένα με ολικό αριθμό μονάδων γλυκόζης που φθάνει το 1.000.000. Αντίθετα με την αμυλόζη, η αμυλοπηκτίνη δε σχηματίζει εύκολα πηκτές (δε ζελατινοποιείται) και δεν υδρολύεται ποσοτικώς από τη β-αμυλάση.

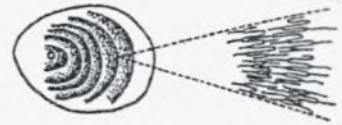
Δεν σχηματίζει αδιάλυτα σύμπλοκα με αλκοόλες λιπαρά οξέα κ.τ.λ. Έτσι αν προστεθεί αιθανόλη σε διάλυμα αμύλου, η αμυλοπηκτίνη παραμένει εν διαλύσει σε αντίθεση με την αμυλόζη που καθιζάνει ως αδιάλυτο κρυσταλλικό σύμπλοκο. Αυτή η διαφορά αξιοποιείται για τον εργαστηριακό διαχωρισμό αμυλόζης-αμυλοπηκτίνης. Η αμυλοπηκτίνη υπό την επίδραση ιόντων δίνει καστανέρυθρο χρώμα.

Το άμυλο συντίθεται μέσα στους αμυλοπλάστες. Αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη εναποτίθενται δίπλα-δίπλα και σχηματίζουν διαδοχικές ομόκεντρες στοιβάδες υψηλής πηκνότητας που εναλλάσσονται με ομόκεντρες στοιβάδες χαμηλής πυκνότητας. Οι στοιβάδες υψηλής πυκνότητας σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ η στοιβάδα χαμηλής πυκνότητας σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η εξωτερική στοιβάδα των αμυλόκοκκων είναι στοιβάδα υψηλής πυκνότητας και δεν επιτρέπει τη δράση των αμυλολυτικών ενζύμων ενώ παράλληλα περιορίζει πολύ και την είσοδο του νερού. Εφόσον ο αμυλόκοκκος υποστεί μηχανικό τραυματισμό και αποκαλυφθούν οι στοιβάδες χαμηλής πυκνότητας αυξάνει εντυπωσιακά η ικανότητα ενυδάτωσής τους, οι αμυλόκοκκοι διογκώνονται, η δομή τους χαλαρώνει και καθίσταται δυνατή η είσοδος και η δράση των ενδογενών αμυλολυτικών ενζύμων ( α-αμυλάση, β-αμυλάση)

Στα περισσότερα είδη αμύλου η περιεκτικότητα σε αμυλόζη κυμαίνεται από 25 έως 30% και το υπόλοιπο είναι αμυλοπηκτίνη. Η ταπιόκα (17%) και το ρύζι ( indica 21-22%, japonica 16,5-18,5%) περιέχουν λιγότερη αμυλόζη. Ανάμεσα στα διπλοειδή δημητριακά έχουν απομονωθεί ποικιλίες που το άμυλό τους έχει πολύ χαμηλή ή

μηδενική περιεκτικότητα σε αμυλόζη (κριθάρι, ρύζι, υβρίδια καλαμποκιού) ενώ στον αραβόσιτο έχουν αναπτυχθεί υβρίδια με υψηλή περιεκτικότητα σε αμυλόζη (66,5%).

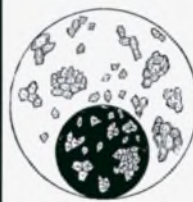
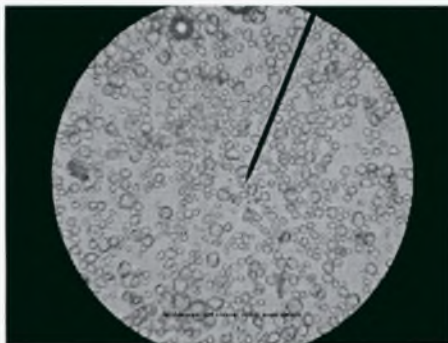
Το μόριο της αμυλοπηκτίνης είναι εν μέρει κρυσταλλικό λόγω δημιουργίας κρυσταλλικών διπλών ελίκων ανάμεσα στις πλευρικές αλύσους που αποτελούνται συνήθως από 20-25 μονάδες γλυκόζης. Το μήκος των κρυστάλλων καθορίζεται από το μήκος των πλευρικών



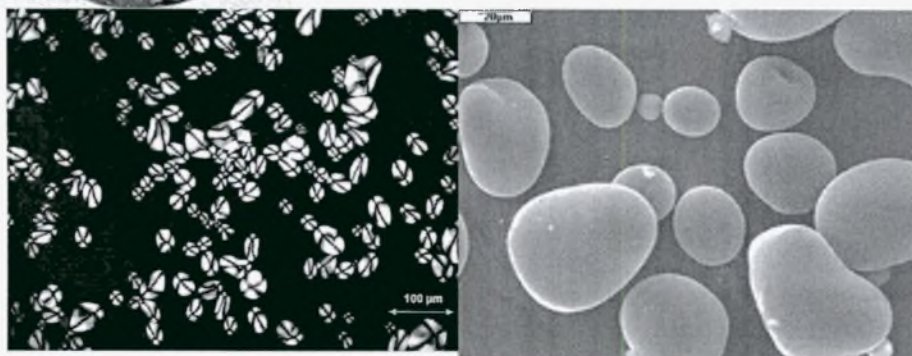
αλύσων, ενώ το πάχος από των κρυσταλλικών περιοχών. Στα σημεία των διακλαδώσεων το μόριο της αμυλοπηκτίνης είναι άμορφο.

Εικόνα 11. Διάταξη μορίων αμυλοπηκτίνης σε αμυλόκοκκο

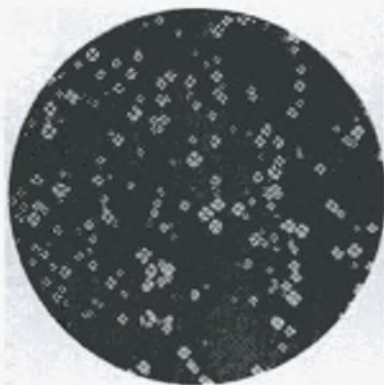
Οι αμυλόκοκκοι είναι εν μέρει κρυσταλλικοί και η κρυσταλλικότητά τους οφείλεται αποκλειστικά στην αμυλοπηκτίνη (σιτάρι 36%, πατάτα 25%, ρύζι 38%, αραβόσιτος 39%, amylo maize 20%).(5)(8)(11)



Εικόνα 12. Αμυλόκοκκοι ρυζιού



Εικόνα 13. Αμυλόκοκκοι πατάτας



Εικόνα 14. Αμυλόκοκκοι αραβοσίτου

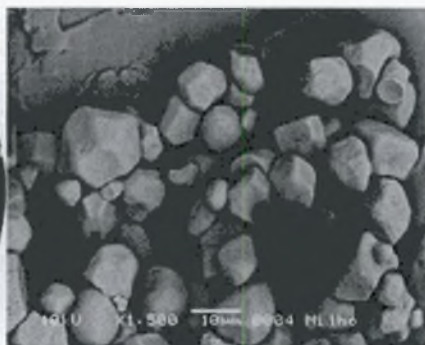


FIGURE 2 – Scanning electron micrographs of starch granules from corn (1500 x).

### 3.4 Ιδιότητες του αμύλου

Οι αμυλόκοκκοι στη φυσική τους κατάσταση (native starch granules) χαρακτηρίζονται από την τακτικότητα της δομής (οργάνωση σε ομόκεντρες στοιβάδες) και μερική κρυσταλλικότητα και στο μικροσκόπιο με πολωμένο φως δίνουν χαρακτηριστική διπλή διάθλαση με τη μορφή σταυρού της Μάλτας.

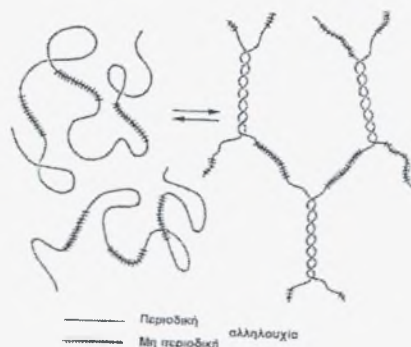
Οι αμυλόκοκκοι είναι αδιάλυτοι σε θερμοκρασία δωματίου (κρυσταλλική δομή: συγκράτηση μορίων με ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου). Κατά τη θέρμανση αμύλου με νερό σε θερμοκρασίες <math>< 50\%</math> το άμυλο διογκώνεται λίγο, όμως η μεταβολή είναι αντιστρεπτή. Εάν το αιώρημα θερμανθεί σε θερμοκρασίες >math>> 50\%</math> τότε η θερμική ενέργεια προκαλεί θράυση των δεσμών υδρογόνου, ταχεία και εκτεταμένη διόγκωση των αμυλόκοκκων, εκροή αμυλόζης και θραυσμάτων αμυλοπηκτικής στο διάλυμα και τελικά πλήρη διάσπαση της δομής του αμυλόκοκκου. Αρχικά, η μη αντιστρεπτή διόγκωση συμβαίνει στις άμορφες περιοχές του κόκκου καθώς το νετό έχει αρκετή ενέργεια για να διασπάσει τους ασθενείς δεσμούς υδρογόνου που υπάρχουν εκεί, όχι όμως και τους ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου που υπάρχουν στην κρυσταλλική διπλή έλικα. Όπως ανεβαίνει η θερμοκρασία, σπάζουν σιγά-σιγά οι δεσμοί υδρογόνου και στις κρυσταλλικές διπλές έλικες με συνέπεια την τήξη των κρυστάλλων και το άνοιγμα της δομής των μορίων της αμυλοπηκτικής. Οι αμυλόκοκκοι του ίδιου δείγματος αμύλου διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την κρυσταλλικότητα με συνέπεια η τήξη των κρυστάλλων να κλιμακώνεται σε ένα σημαντικό εύρος θερμοκρασιών μέχρι να λειώσουν τελείως όλοι οι κρύσταλλοι και στον τελευταίο αμυλόκοκκο. Όταν ολοκληρωθεί η τήξη των κρυστάλλων και το άνοιγμα της δομής των μορίων της

αμυλοπηκτίνης τότε λέγεται ότι το άμυλο έχει ζελατινοποιηθεί και είναι σε άμορφη κατάσταση.(5)



Εικόνα 15. Σχηματική αναπαράσταση της διευθέτησης στο χώρο της αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης σ' ένα κόκκο αμύλου

Εάν το αιώρημα αμύλου είναι πολύ αραιό τότε κατά τη θέρμανσή του σχηματίζεται κολλοειδές διάλυμα αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης από το οποίο η αμυλόζη κατακρημνίζεται κατά μεγάλο μέτος υπό μορφή κρυσταλλικών ελίκων σχήματος V που έχουν εγκλωβιστεί λιπαρά οξέα, μονογλυκερίδια ή λυσοφωσφολιπίδια σε χρόνο μηδέν μετά τη λήξη της θέρμανσης ενώ το υπερκείμενο υγρό περιέχει διαλυτά θραύσματα αμυλοπηκτίνης και ελεύθερη αμυλόζη. Στο διάλυμα παρατηρείται αυξημένο ιξώδες. Κατά την παραμονή του διαλύματος παρατηρείται τάση μείωσης της διαλυτότητας τόσο της αμυλοπηκτίνης όσο και της ελεύθερης αμυλόζης. Η τελευταία καθίσταται αδιάλυτη σχηματίζοντας



κρυστάλλους διπλού έλικα όπως αυτοί που υπάρχουν ανάμεσα στις πλευρικές αλύσους του μορίου της αμυλοπηκτίνης.

Εικόνα 16. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας δημιουργίας πηκτής (συμφωνα με τον Rees, 1977)

Η αναδιάταξη της αμυλοπηκτίνης είναι υπεύθυνη για τις μεταβολές στην υγρασία της ψίχας κατά το μαγιάτεμα του ψωμιού και των αρτοσκευασμάτων (η ψίχα από μαλακή και ελαστική γίνεται σκληρή και εύθρυπτη και δίνει την αίσθηση της ξηρότητας κατά την αφή).(5)(8)

### 3.5 Βιομηχανική παραγωγή αμύλου

Γίνεται κυρίως από αραβόσιτο, την πατάτα (Β.Ευρώπη), ως υποπροϊόν της βιομηχανίας παραγωγής ενεργού ξηρής γλουτένης από σιτάλευρο (κυρίως Καναδάς,



ΗΠΑ και Αυστραλία), από σπασμένους κόκκους ρυζιού που έχουν χαμηλή εμπορική αξία (κυρίως ΝΑ και Ν.Ασία) καθώς και από ταπιόκα (Ν.Αμερική). Το πιο φθινό άμυλο και το μόνο που παράγεται στη χώρα μας είναι το άμυλο αραβοσίτου.(5)

### **3.6 Παλινόρθωση αμύλου (Retrogradation)**

Κατά την ψύξη ενός αραιού διαλύματος αμύλου τα γραμμικά μόρια μπορούν να επανασυνδεθούν με δεσμούς υδρογόνου και αν σχηματίσουν ίζημα. Σε πιο πυκνά διαλύματα π.χ. 5-10% αυτή η επανασύνδεση είναι πιο γρήγορη και λιγότερο οργανωμένη, δηλαδή η σύζευξη γίνεται σε περιορισμένες περιοχές, ενώ στα ενδιάμεσα εγκλωβίζεται νερό. Το φαινόμενο αυτό της ελάττωσης της διαλυτότητας και της τάσης προς επανακρυστάλλωση λέγεται retrogradation (παλινόρθωση).(3)

### **3.7 Τροποποιημένα άμυλα**

Εκτός από το φυσικό άμυλο, στο εμπόριο διατίθεται και φυσικώς ή χημικώς τροποποιημένα άμυλα. Τα τροποποιημένα άμυλα είναι εδώδιμα άμυλα στα οποία έχουν μεταβληθεί ορισμένα χαρακτηριστικά με επεξεργασία που ακολουθεί τους κανόνες της καλής βιομηχανικής πρακτικής (G.M.P.). Τα χημικώς τροποποιημένα άμυλα παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις ιδιότητές τους σε σχέση με το φυσικό άμυλο, οι οποίες εξαρτώνται από το είδος των μεταβολών στο μόριό τους που προκαλούνται από τις κατά περίπτωση εφαρμοζόμενες χημικές αντιδράσεις. Τα τροποποιημένα άμυλα είναι λευκές ή υπόλευκες σκόνες, χωρίς γεύση και οσμή και η εμφάνισή τους είναι είτε όμοια με εκείνη του αμύλου προέλευσης είτε με εκείνη νιφάδων(flakes), συσσωμάτων (pearl starch) κλπ. Βρίσκουν πολλές εφαρμογές ως σταθεροποιητές και παχυρευστοποιητές.(3)

### **3.8 Χημικώς τροποποιημένα άμυλα**

1. Άμυλο τροποποιημένο με οξέα (acid-modified ή lintnerized starch)
2. Οξειδωμένο άμυλο
3. Άμυλο με διαμοριακούς δεσμούς μεταξύ πολυμερών αλύσεων εντός των αμυλοκόκκων (cross-linked starches)
4. Υποκατεστημένο άμυλο (substituted starch)

## 5. Προϊόντα υδρολύσεως του αμύλου

Όπως επίσης υπάρχουν και ενζυμικώς τροποποιημένα άμυλα που θεωρούνται φυσικά προϊόντα γιατί οι ενζυμικές διεργασίες εκλαμβάνονται ως φυσικές.(5)

## 4. Αποθήκευση

### 4.1 Ψύξη

Ως ψύξη (cold storage) εννοούμε τη διατήρηση των τροφίμων σε περιβάλλον με θερμοκρασίες κατά κανόνα χαμηλότερες από 8° C και υψηλότερες από το σημείο πήξης του κάθε τροφίμου. Ως σημείο πήξης (freezing point) ορίζεται η θερμοκρασία εκείνη στην οποία επέρχεται μεταβολή της υγρής φάσης του τροφίμου σε στερεή. Η αρχή στη οποία στηρίζεται η ψύξη ως μέθοδος συντήρησης είναι η επιβράδυνση στην οποία επιφέρει στη δράση όλων των παραγόντων που προκαλούν την αλλοίωση στα νωπά γεωργικά προϊόντα και τα τρόφιμα. Ειδικότερα, η ψύξη επιβραδύνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και το ρυθμό των μετασυλλεκτικών μεταβολικών διεργασιών στους φυτικούς ιστούς, των μεταθανάτιων μεταβολών στους ζωικούς ιστούς, των χημικών αντιδράσεων και των φυσικών μεταβολών, όπως η αφυδάτωση των νωπών προϊόντων. Κατά συνέπεια η ψύξη επιμηκύνει το χρονικό διάστημα που τα τρόφιμα είναι διαθέσιμα για κατανάλωση, δηλαδή το χρόνο συντήρησής τους, και διατηρεί περισσότερο από κάθε άλλη μέθοδο, τη "φρεσκότητα" των τροφίμων, αφού προκαλεί μικρότερες μεταβολές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη θρεπτική τους αξία. (7)

Όμως ο χρόνος συντήρησης των τροφίμων με ψύξη είναι περιορισμένος και εξαρτάται από τη φύση του τροφίμου και τις συνθήκες συντήρησης με ψύξη. Για παράδειγμα, στο παστεριωμένο γάλα, που θερμαίνεται στους 65-70° C για ορισμένο χρόνο, καταστρέφονται οι βλαστικές μορφές των παθογόνων μικροοργανισμών και άλλα βακτήρια ευαίσθητα στη θέρμανση. Κατά την παστερίωση όμως του γάλακτος επιζούν ορισμένοι μικροοργανισμοί. Ο ρυθμός όμως με τον οποίο θα αυξηθούν οι μικροοργανισμοί που επέζησαν της παστερίωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία διατήρησης του γάλακτος.(7)

Η ψύξη θεωρείται η κύρια μέθοδος συντήρησης των ευαλλοιώτων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων που διατίθενται στον καταναλωτή ως νωπά, π.χ. λαχανικά, φρούτα, κρέας, γάλα, ψάρια. Με την ψύξη επιτυγχάνεται α) η παράταση του χρόνου συντήρησης των προϊόντων αυτών, β) η διάθεσή τους στη αγορά σε περιόδους που

επιτυγχάνονται καλύτερες τιμές για τον παραγωγό ή τον έμπορο και γ) μεταφορά τους σε μακρινές περιοχές με αποτέλεσμα τον εφοδιασμό των μεγαλουπόλεων με νωπά προϊόντα. Επίσης η ψύξη αποτελεί α) την κύρια μέθοδο συντήρησης των πρώτων υλών πολλών γεωργικών βιομηχανιών, γεγονός που συνεπάγεται την παράταση του χρόνου λειτουργίας τους, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας και τη μείωση του κόστους παραγωγής των προϊόντων, β) επικουρική μέθοδο συντήρησης πολλών μεταποιημένων τροφίμων, όπως το παστεριωμένο γάλα, τα παστεριωμένα προϊόντα κρέατος κ.α. και γ) ενδιάμεσο στάδιο επεξεργασίας πολλών τροφίμων, όπως στην παλαιώση του κρασιού. Τέλος, πολλά συσκευασμένα τρόφιμα συντηρούνται με ψύξη μετά το άνοιγμα της συσκευασίας και μέχρι την κατανάλωσή τους, όπως το περιεχόμενο των κονσερβών.(7)

#### **4.1.1 Συντήρηση των τροφίμων υπό ψύξη**

Τα νωπά τρόφιμα μετά την ψύξη τους ή την πρόψυξή του και πολλά επεξεργασμένα προϊόντα μετά την παρασκευή τους οδηγούνται στους ψυκτικού θαλάμου (ψυγεία), όπου η θερμοκρασία του διατηρείται σταθερή με τη ελεγχόμενη κυκλοφορία ψυχρού αέρα. Στη συνέχεια τα προϊόντα μεταφέρονται με μεταφορικά μέσα-ψυγεία σε ψυκτικές εγκαταστάσεις των καταστημάτων πώλησης, διατηρούνται με ψύξη στις βιτρίνες-ψυγεία των καταστημάτων και τέλος μετά την αγορά τους από τον καταναλωτή διατηρούνται με ψύξη στο οικιακό ψυγείο μέχρι την κατανάλωσή τους. Σε όλη αυτή την ψυκτική αλυσίδα οι χαμηλές θερμοκρασίες ψύξης εξασφαλίζονται με το μηχανικό σύστημα ψύξης. Η διάρκεια συντήρησης των προϊόντων με ψύξη θα είναι η μέγιστη δυνατή, αν η ψυκτική αλυσίδα είναι συνεχή και σε κάθε στάδιό της το προϊόν διατηρείται κάτω από άριστες συνθήκες. (7)

Σε ορισμένες πολύ περιορισμένες περιπτώσεις, για τη μεταφορά και την προσωρινή συντήρηση με ψύξη των τροφίμων σε μικρές ποσότητες, χρησιμοποιούνται φορητά ψυγεία. Αυτά είναι κατάλληλα μονωμένα δοχεία, κατασκευασμένα κατά κανόνα από αφρώδες πλαστικό υλικό που εξασφαλίζει πολύ καλή μόνωση, στα οποία η ψύξη γίνεται με καταψυγμένες πλάκες εύτηκτων διαλυμάτων (frozen eutectic salt solutions), γνωστές ως παγοκύστες. Τα άλατα που χρησιμοποιούνται για το

σχηματισμό των διαλυμάτων είναι το διττανθρακικό κάλιο, το χλωριούχο κάλιο, το χλωριούχο αμμώνιο και το χλωριούχο νάτριο. Τα διαλύματα αυτά έχουν χαμηλό σημείο τήξης, μεταξύ  $-3^{\circ}\text{C}$  και  $-21^{\circ}\text{C}$ . Συσκευασμένα κατάλληλα σε πλαστικά δοχεία τα διαλύματα αυτά καταψύχονται και τοποθετούνται στο φορητό ψυγείο μεταξύ του τροφίμου. Για την τήξη τους απορροφούν από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται την απαιτούμενη λανθάνουσα θερμότητα τήξης, με αποτέλεσμα να προκαλούν την ψύξη του τροφίμου. (7)

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν αισθητά τη διάρκεια συντήρησης των τροφίμων με ψύξη είναι α) η θερμοκρασία, β) η σχετική υγρασία, γ) η κυκλοφορία του αέρα και δ) η σύνθεση της ατμόσφαιρας που περιβάλλει το προϊόν. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συντήρηση των τροφίμων με ψύξη είναι η απουσία φωτός, η επάλειψη των προϊόντων, όπως στα τυριά και ορισμένα φρούτα, με κηρούς ή άλλα μέσα που εμποδίζουν την απομάκρυνση υγρασίας, η χρήση συντηρητικών, η εφαρμογή πρόσθετων μεθόδων συντήρησης, όπως παστερίωση, η απουσία οσμηρών ουσιών στο χώρο συντήρησης των προϊόντων κ.α. (7)

#### **4.1.1.1 Θερμοκρασία ψύξης**

Η θερμοκρασία ψύξης κατά κανόνα επιμηκύνει τη διάρκεια συντήρησης των τροφίμων. Ωστόσο, είναι δυνατόν σε ορισμένα προϊόντα η θερμοκρασία ψύξης, όταν αυτή είναι χαμηλότερη από μια ορισμένη τιμή, να προκαλέσει ανεπιθύμητες μεταβολές, όπως βλάβες λόγω ψύχους σε φρούτα και λαχανικά, συστολή ψύξης στο κρέας και παλαίωση στο ψωμί. Κατά συνέπεια, για να επιλέξουμε την κατάλληλη θερμοκρασία στην οποία θα συντηρηθούν τα γεωργικά προϊόντα και τρόφιμα με ψύξη πρέπει να γνωρίζουμε α) τον ευαλλοίωτο χαρακτήρα του προϊόντος και το βαθμό στον οποίο η θερμοκρασία ψύξης θα επιμηκύνει τη διάρκεια συντήρησής του, β) τον κίνδυνο πρόκλησης ανεπιθύμητων μεταβολών στο τρόφιμο σε συγκεκριμένη θερμοκρασία συντήρησης και γ) το κόστος συντήρησης σε σχέση με το οικονομικό όφελος από τη συντήρηση του προϊόντος.(7)

Η θερμοκρασία αποτελεί το σπουδαιότερο παράγοντα συντήρησης των γεωργικών προϊόντων και τροφίμων με ψύξη, γιατί επιβραδύνει το ρυθμό όλων των

μικροβιολογικών, βιοχημικών, χημικών και φυσικών μεταβολών που προκαλούν αλλοιώσεις στα τρόφιμα. (7)

Η επιβράδυνση που επιφέρει η μείωση της θερμοκρασίας στο ρυθμό των μεταβολών που προκαλούν οι διάφοροι παράγοντες αλλοίωσης στα προϊόντα που συντηρούνται με ψύξη εκφράζεται με το συντελεστή Q10. ο συντελεστής Q10 είναι ένας καθαρός αριθμός που προκύπτει από το λόγο του ρυθμού των μεταβολών στην ποιότητα ενός τροφίμου σε ορισμένη θερμοκρασία προς το ρυθμό των μεταβολών σε μια θερμοκρασία χαμηλότερη κατά 10° C. Για τις περισσότερες χημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στα τρόφιμα που συντηρούνται με ψύξη ο συντελεστής Q10=2,5. Αυτό σημαίνει ότι αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης με ψύξη κατά 10° C διπλασιάζει το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων και αυξάνει κατά 2,5 φορές το ρυθμό της αερόβιας αναπνοής στα φρούτα και τα λαχανικά. (7)

#### **4.1.1.2 Αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί.**

Η ψύξη εμποδίζει την ανάπτυξη των θερμοφίλων και πολλών μεσόφιλων μικροοργανισμών. Γενικά, οι χαμηλές θερμοκρασίες ψύξης προκαλούν σημαντική επιμήκυνση της φάσης προσαρμογής και αύξηση του χρόνου που απαιτείται για το διπλασιασμό του πληθυσμού των μικροοργανισμών με αποτέλεσμα τη σημαντική επιβράδυνση στο ρυθμό ανάπτυξής τους. Κατά κανόνα όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία συντήρησης των τροφίμων με ψύξη, τόσο βραδύτερη είναι η ανάπτυξη των μικροοργανισμών και συνεπώς μεγαλύτερη η διάρκεια συντήρησης των τροφίμων. Όμως την ανάπτυξη μικροοργανισμών στα τρόφιμα που συντηρούνται με ψύξη επηρεάζουν εκτός από τη θερμοκρασία και άλλοι παράγοντες. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι το αρχικό μικροβιολογικό φορτίο, η σύνθεση του τροφίμου, το pH, η δραστηριότητα νερού (aw) και το είδος της επεξεργασίας που έχει δεχθεί το προϊόν. (7)

#### **4.1.1.3 Παθογόνοι μικροοργανισμοί.**

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί πολλαπλασιάζονται με γρήγορο ρυθμό σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 10° C. Η ανάπτυξή τους επιβραδύνεται στην περιοχή θερμοκρασιών μεταξύ 4,5° και 10° C, ενώ σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 3,3° C αναστέλλεται. Εξαιρέση αποτελούν η *Listeria monocytogenes*, η *Yersinia*



enterocolitica και η *Aeromonas hydrophila*, που μπορούν να αναπτυχθούν σε θερμοκρασίες κοντά στους 0ο C. Αν εξετάσουμε την ελάχιστη θερμοκρασία ανάπτυξης και παραγωγής τοξίνης των σπουδαιότερων παθογόνων βακτηρίων στα τρόφιμα, θα συμπεράνουμε ότι η ψύξη από μόνη της δε διασφαλίζει την υγεία του καταναλωτή από παθογόνους μικροοργανισμούς. Για το λόγο αυτό η ψύξη των τροφίμων πρέπει να συνδυάζεται με τη εφαρμογή κάποιας άλλης μεθόδου, όπως η παστερίωση για την καταστροφή των παθογόνων, όπως αυτή είναι δυνατή. Επίσης, πρέπει να εφαρμόζονται σχολαστικά αυστηρές συνθήκες υγιεινής στην παραγωγή των προϊόντων που συντηρούνται με ψύξη, ώστε να περιορίζεται ο κίνδυνος επιμόλυνσής τους με παθογόνους μικροοργανισμούς.(7)

## 4.2 Κατάψυξη

Η κατάψυξη (freezing) ως μέθοδος συντήρησης συνίσταται στην απομάκρυνση θερμότητας από τα προϊόντα με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας τους και στη συνέχεια τη διατήρησή τους σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο πήξης, γεγονός που επιφέρει τη μετατροπή του νερού σε παγοκρυστάλλους. (7)

Η μετατροπή του νερού σε παγοκρυστάλλους κατά της κατάψυξη προκαλεί αύξηση στη συγκέντρωση των διαλυτών στερεών στη υπόλοιπη ποσότητα του νερού γεγονός που επιφέρει μείωση στη δραστηριότητα νερού του τροφίμου. Έτσι, ενώ στους -5° C η δραστηριότητα νερού είναι 0,956, στους -10° C μειώνεται σε 0,907 και στους -20° C σε 0,82. Κατά συνέπεια, η κατάψυξη ως μέθοδος συντήρησης των τροφίμων στηρίζεται στο γεγονός ότι α) προκαλεί την πλήρη αναστολή της δράσης των μικροοργανισμών και β) επιβραδύνει τη δράση των ενζύμων και το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων. Τα παραπάνω είναι αποτέλεσμα α) των χαμηλών θερμοκρασιών στις οποίες συντηρείται το τρόφιμο υπό κατάψυξη, κατά κανόνα σε θερμοκρασίες μικρότερες από -18° C και β) των χαμηλών τιμών της δραστηριότητας του νερού, ως συνέπεια της μετατροπής του νερού σε παγοκρυστάλλους. Στη συντήρηση των κατεψυγμένων τροφίμων συμβάλλουν επίσης οι προκαταρκτικές εργασίες που γίνονται πριν την κατάψυξη σε ορισμένα προϊόντα και κυρίως η αδρανοποίηση των ενζύμων με ζεμάτισμα ή με χημικά μέσα.(7)

Η συντήρηση των τροφίμων με κατάψυξη περιλαμβάνει τις παρακάτω τρεις φάσεις:

- α) τη φάση κατάψυξης, στην οποία απομακρύνεται από το προϊόν θερμότητα, το νερό μετατρέπεται σε παγοκρυστάλλους και μειώνεται η θερμοκρασία του προϊόντος στη θερμοκρασία συντήρησής του υπό κατάψυξη,
- β) τη φάση συντήρησης του προϊόντος υπό κατάψυξη σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, κατά κανόνα μικρότερες από  $-18^{\circ}\text{C}$
- γ) τη φάση απόψυξης, κατά την οποία το προϊόν προσλαμβάνει θερμότητα με την οποία επέρχεται τήξη των παγοκρυστάλλων και επαναφορά του προϊόντος στην αρχική του κατάσταση(7)

Αν οι παραπάνω τρεις φάσεις γίνουν με τον ενδεχόμενο τρόπο, τότε οι μεταβολές στη θρεπτική αξία και τα οργανοληπτικά των τροφίμων είναι ελάχιστες και η ποιότητα των κατεψυγμένων προϊόντων θα μπορούσε να είναι κατά το δυνατόν εφάμιλλη προς την ποιότητα των νωπών προϊόντων. Το γεγονός αυτό αποτελεί και το βασικό πλεονέκτημα της κατάψυξης ως μεθόδου συντήρησης των τροφίμων για μεγάλο σχετικά διάστημα, έναντι άλλων μεθόδων, όπως η κονσερβοποίηση και η αφυδάτωση. (7)

Ωστόσο, ο σχηματισμός των παγοκρυστάλλων κατά την κατάψυξη είναι δυνατόν να προκαλέσει μεταβολές με αρνητική επίδραση στην υφή του προϊόντος. Επίσης, η δραστηριότητα των ενζύμων και οι χημικές αντιδράσεις που συνεχίζονται, έστω και με πολύ βραδύ ρυθμό, υποβαθμίζουν την ποιότητα των καταψυγμένων τροφίμων σε σχέση με τα νωπά προϊόντα. Ακόμη, η κατάψυξη ως μέθοδος συντήρησης των τροφίμων χαρακτηρίζεται για τις υψηλές της απαιτήσεις σε ενέργεια. Η κατανάλωση ενέργειας αφορά τόσο τη φάση της κατάψυξης του προϊόντος για τη μείωση της θερμοκρασίας του στα επιθυμητά όρια, όσο και τη φάση της συντήρησης, της διακίνησης και εμπορίας του προϊόντος με κατάψυξη, προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του.(7)

Η συντήρηση των γεωργικών προϊόντων με κατάψυξη πιθανόν γινόταν ακόμη και στους αρχαίους χρόνους με τη διατήρησή τους σε περιβάλλον με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Όμως, η πρώτη χρησιμοποίηση μηχανικού συστήματος ψύξης με σκοπό τη μείωση της θερμοκρασίας κάτω από το σημείο πήξης του νερού για τη



συντήρηση τροφίμων με κατάψυξη έγινε από τον C.Birdseye τη δεκαετία του 1920, ενώ η κατάψυξη των λαχανικών άρχισε να εφαρμόζεται συστηματικά τη δεκαετία του 1930. Σήμερα με κατάψυξη συντηρείται ένας πολύ μεγάλος αριθμός τροφίμων, όπως φρούτα, λαχανικά, αλιεύματα, κρέας, ψωμί, πίτες με φρούτα και κρέας, πίτσες, παγωτά, γλυκίσματα, πλήρη γεύματα και έτοιμα φαγητά, αλλά και πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στη παραγωγή νέων προϊόντων. (7)

### **Κρυσταλλοποίηση της υγρής φάσης**

Με τον όρο κρυσταλλοποίηση (crystallization) εννοούμε το σχηματισμό συστηματικά οργανωμένης στερεά φάσης μέσα σε ένα διάλυμα. Η διαδικασία της κρυσταλλοποίησης περιλαμβάνει δύο φάσεις α) τη φάση σχηματισμού των πυρήνων κρυστάλλωσης (nucleation) και β) τη φάση της ανάπτυξης των κρυστάλλων σε μέγεθος (crystal growth).(7)

### **Σχηματισμός πυρήνων κρυστάλλωσης.**

Ως πυρήνας κρυστάλλωσης (crystallization nuclei) ορίζεται το μικροσκοπικό εκείνο σωματίδιο της ύλης το οποίο αποτελεί τη βάση για το σχηματισμό του κρυστάλλου. Για να σχηματιστούν πυρήνες κρυστάλλωσης στο καθαρό νερό πρέπει για ορισμένο σύντομο χρόνο να μειωθεί η θερμοκρασία του σε τιμές σημαντικά χαμηλότερες από το σημείο πήξης. Η μείωση της θερμοκρασίας σε τιμές χαμηλότερες από το σημείο πήξης χωρίς να σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι, είναι γνωστή ως υπέρψυξη (supercooling). (7)

Ο τρόπος σχηματισμού των πυρήνων κρυστάλλωσης εξαρτάται από το αν το σύστημα που επικρατεί στο προϊόν στη διάρκεια της κατάψυξης του είναι ομοιογενές ή ετερογενές. Ως ομοιογενές χαρακτηρίζεται ένα καθαρό υδατικό διάλυμα που είναι ελεύθερο από την παρουσία ξένων σωματιδίων οσοδήποτε μικροσκοπικών και αν είναι. Στο σύστημα αυτό, όταν η θερμοκρασία μειωθεί κάτω από το σημείο πήξης, τότε σχηματίζονται στιγμιαία συσσωματώματα μορίων νερού τα οποία και καταστρέφονται επίσης στιγμιαία.(7)

Σε ένα ορισμένο βαθμό υπέρψυξης, δηλαδή σε ορισμένη θερμοκρασία κάτω από το σημείο πήξης, η πιθανότητα να αυξηθεί το συσσωμάτωμα των μορίων νερού σε

μέγεθος είναι ίση με την πιθανότητα να καταστραφεί. Σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες από την κρίσιμη αυτή θερμοκρασία η πιθανότητα να καταστραφεί, με αποτέλεσμα να σχηματιστεί ένα σταθερό πλέον συσσωμάτωμα μορίων νερού το οποίο και αποτελεί τον πυρήνα κρυστάλλωσης. (7)

Σύμφωνα με τη θεωρία των Gibbs-Thomson το κρίσιμο μέγεθος που πρέπει να έχει το συσσωμάτωμα των μορίων νερού, ώστε να αποτελέσει τον πυρήνα κρυστάλλωσης, μειώνεται γραμμικά με το βαθμό της υπέρψυξης. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός υπέρψυξης του συστήματος, δηλαδή όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία από το σημείο πήξης, τόσο μικρότερος είναι ο αριθμός των μορίων του νερού που απαιτούνται να σχηματίσουν σταθερό συσσωμάτωμα και συνεπώς τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των πυρήνων κρυστάλλωσης που σχηματίζονται στη μονάδα του χρόνου. (7)

Σε ένα ετερογενές σύστημα, όπως είναι τα τρόφιμα και γενικά τα βιολογικά συστήματα, ο πυρήνας κρυστάλλωσης σχηματίζεται στην επιφάνεια ενός ξένου σωματιδίου που βρίσκεται αιωρούμενο μέσα στο σύστημα ή στα τοιχώματα του περιέκτη. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα της προσθήκης στο ετερογενές σύστημα, όπως π.χ. στο παγωτό, ξένης ύλης από μορφή λεπτότατων σωματιδίων, όπως σκόνη ζελατίνης ή νεκρά κύτταρα βακτηρίων, το καθένα από τα οποία θα αποτελέσει τη βάση σχηματισμού ενός πυρήνα κρυστάλλωσης. Αν στο ετερογενές σύστημα δεν είναι δυνατή η προσθήκη ξένης ύλης, όπως π.χ. στα τρόφιμα με κυτταρική οργάνωση, τότε για το σχηματισμό πυρήνων κρυστάλλωσης απαιτείται και πάλι υπέρψυξη του συστήματος, σε μικρότερο όμως βαθμό σε σχέση με το ομοιογενές σύστημα. (7)

### **Ανάπτυξη κρυστάλλων σε μέγεθος.**

Η ανάπτυξη των κρυστάλλων σε μέγεθος αποτελεί τη δεύτερη φάση της κρυσταλλοποίησης. Στην περιοχή θερμοκρασιών μεταξύ 0ο και -80° C, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του παγοκρυστάλλου και του περιβάλλοντος, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αύξησης των παγοκρυστάλλων σε μέγεθος. Όμως, σε θερμοκρασίες μικρότερες από βραδύτερη είναι η ανάπτυξη των κρυστάλλων σε μέγεθος, επειδή αύξηση του ιξώδους που

δημιουργείται παρεμποδίζει την ελεύθερη μετακίνηση του νερού για την αύξηση των παγοκρυστάλλων. Έτσι, κατά την κατάψυξη ενός τροφίμου στους  $-160^{\circ}\text{C}$  δεν σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι, αλλά το νερό σχηματίζει μια μη μορφοποιημένη γυάλινη κρυσταλλική μάζα.(7)

Δηλαδή κατά τη βραδεία κατάψυξη καθαρό νερό συσσωρεύεται στους μεσοκυττάριους χώρους, κρυσταλλώνει και οι κρύσταλλοι πιέζουν και σπάζουν πολλά κύτταρα, με αποτέλεσμα την καταστροφή της υφής του ιστού και τη διαροή χυμού κατά την τήξη. Εάν όμως η κατάψυξη είναι ταχεία, η κρύσταλλοι του νερού δεν έχουν το χρόνο να μεγαλώσουν και η βλάβη του ιστού είναι ελάχιστη.

Η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών στο απάγωτο νερό μπορεί να οδηγήσει

- α) στην καθίζηση λίγο διαλυτών ουσιών, όπως της λακτόζης στο παγωτό και ορισμένων πρωτεϊνών που δεν αντέχουν σε πολλά άλατα (salting-out),
- β) στη μείωση του pH με αποτέλεσμα την κατακρήμνιση ορισμένων πρωτεϊνών και τη διατάραξη της ισορροπίας των κολλοειδών
- γ) στην ελευθέρωση διαλυμένων αερίων (παγωμένα δοχεία μπύρας ανοίγουν εκρηκτικά) και
- δ) στην επιτάχυνση ορισμένων αντιδράσεων παρά τη χαμηλή θερμοκρασία (4)

Κατεψυγμένα τρόφιμα μπορεί να χάσουν πολλή υγρασία με το χρόνο, και να παρουσιάσουν κηλίδες που μοιάζουν με εγκαύματα. Για το λόγο αυτό συσκευασία του τροφίμου με υλικά αδιαπέραστα στην υγρασία είναι απαραίτητη για μακροπρόθεσμη κατάψυξη τροφίμων. (4)

### **Τελικό μέγεθος κρυστάλλων**

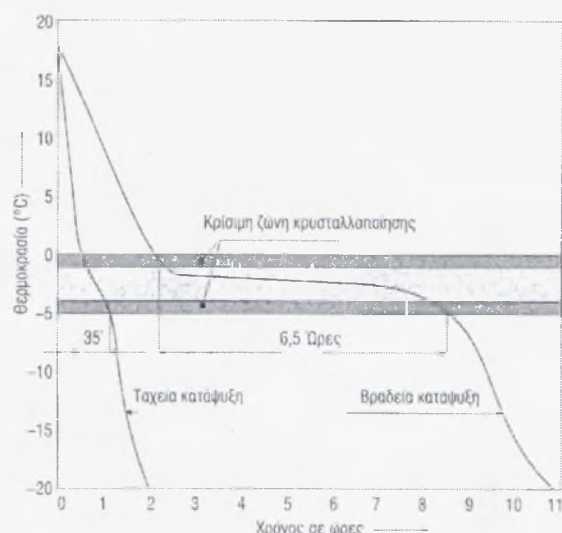
Το τελικό μέγεθος των κρυστάλλων που σχηματίζονται κάτω από ορισμένες συνθήκες εξαρτάται α) από το ρυθμό σχηματισμού των πυρήνων κρυστάλλωσης και β) το ρυθμό αύξησης των κρυστάλλων σε μέγεθος. Όταν κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες κατάψυξης ενός συστήματος ευνοείται ο γρήγορος σχηματισμός πυρήνων κρυστάλλωσης, τότε οι σχηματιζόμενοι παγοκρύσταλλοι θα είναι μικροί σε μέγεθος και αντίστροφα. Έτσι, η ταχεία απομάκρυνση της θερμότητας από το τρόφιμο, ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες υπέρψυξης και η ανακίνηση του τροφίμου ή η προσθήκη

ξένης ύλης που θα βοηθήσουν στο σχηματισμό μεγάλου αριθμού πυρήνων κρυστάλλωσης, έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγάλου αριθμού παγοκρυστάλλων με μικρό μέγεθος. (7)

### Ταχύτητα κατάψυξης

Ως ταχύτητα κατάψυξης (freezing rate) ορίζεται ο ρυθμός απομάκρυνσης της θερμότητας από το προϊόν.

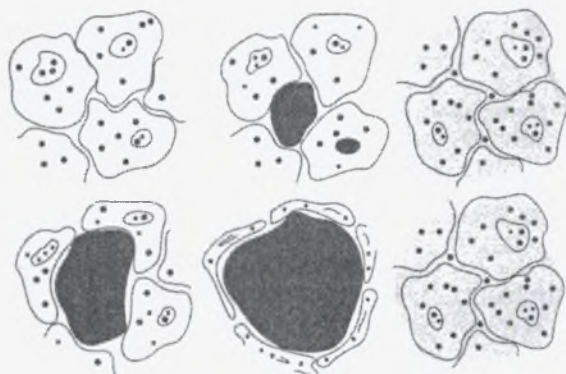
Η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού, που αποτελεί την υγρή φάση ενός τροφίμου, συνήθως κρυσταλλοποιείται στο εύρος των θερμοκρασιών που βρίσκονται μεταξύ του σημείου πήξης του προϊόντος και 5°C περίπου κάτω από αυτό. Το εύρος αυτό των θερμοκρασιών καλείται κρίσιμη ζώνη κρυσταλλοποίησης. (Εικόνα 1.)



Εικόνα 177. Κρίσιμη ζωή κρυσταλλοποίησης (Leniger and Beverloo, 1975)

Κατά το στάδιο αυτό λαμβάνει χώρα η απελευθέρωση από το τρόφιμο της μεγαλύτερης ποσότητας θερμότητας, η οποία πρέπει να απομακρυνθεί. Ο ρυθμός απομάκρυνσης της θερμότητας από το προϊόν στην κρίσιμη αυτή ζώνη προσδιορίζει την ταχύτητα κατάψυξης του τροφίμου και αποτελεί το βασικό κριτήριο διάκρισής της σε βραδεία και ταχεία κατάψυξη. Κατά τη βραδεία κατάψυξη ο χρόνος για να διέλθει η θερμοκρασία του προϊόντος από την κρίσιμη ζώνη κρυσταλλοποίησης είναι μεγάλος. Αντίθετα, κατά την ταχεία κατάψυξη η διέλευση της θερμοκρασίας του προϊόντος από την κρίσιμη ζώνη κρυσταλλοποίησης είναι πολύ σύντομη. (7)

Γενικά, η ταχύτητα κατάψυξης καθορίζει το μέγεθος των παγοκρυστάλλων που θα σχηματισθούν στο προϊόν. Όσο μμεγαλύτερη είναι η ταχύτητα κατάψυξης, τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος των παγοκρυστάλλων. Ειδικότερα, στα τρόφιμα με κυτταρική οργάνωση η ταχύτητα κατάψυξης καθορίζει τόσο το μέγεθος των παγοκρυστάλλων όσο και τη θέση που αυτοί θα σχηματισθούν, με αποτέλεσμα να επηρεάζει αποφασιστικά την ποιότητα των τροφίμων.



**Εικόνα 18.** Επίδραση της ταχύτητας κατάψυξης στη θέση και το μέγεθος των παγοκρυστάλλων που θα σχηματισθούν, (βραδεία κατάψυξη, ταχεία κατάψυξη)

Στην ταχεία κατάψυξη (rapid freezing) σχηματίζονται μικροί σε μέγεθος παγοκρύσταλλοι. Στα τρόφιμα με κυτταρική οργάνωση οι πυρήνες κρυστάλλωσης σχηματίζονται τόσο στους εξωκυτταρικούς χώρους όσο και στο εσωτερικό των κυττάρων. Έτσι, οι παγοκρύσταλλοι είναι σημαντικά περισσότεροι και το τελικό μέγεθος αυτών σημαντικά μικρότερο. Επίσης, δε γίνεται μετακίνηση νερού από το εσωτερικό του κυττάρου προς τους εξωκυτταρικούς χώρους, επειδή ο χρόνος για τη διάχυσή του είναι μικρός. Συνεπεία του γεγονότος αυτού περιορίζεται η έντονη μετουσίωση των πρωτεϊνών, αποφεύγεται ο τραυματισμός των κυτταρικών μεμβρανών και γενικά ελαχιστοποιούνται οι μεταβολές που υποβαθμίζουν την ποιότητα του προϊόντος. Ακόμη και στα ρευστά τρόφιμα, όπως το παγωτό, ο σχηματισμός των μικρών παγοκρυστάλλων προσδίδει μια ομαλή υφή που επηρεάζει θετικά την ποιότητα του προϊόντος. Όμως, οι μικροί παγοκρύσταλλοι που σχηματίζονται στο κρέας με την ταχεία κατάψυξη αντανακλούν περισσότερο το φως σε σχέση με τους μεγάλους παγοκρυστάλλους που σχηματίζονται με τη βραδεία κατάψυξη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το χρώμα των ερυθρών κρεάτων να φαίνεται λιγότερο ερυθρό και των πουλερικών λευκότερο. (7)

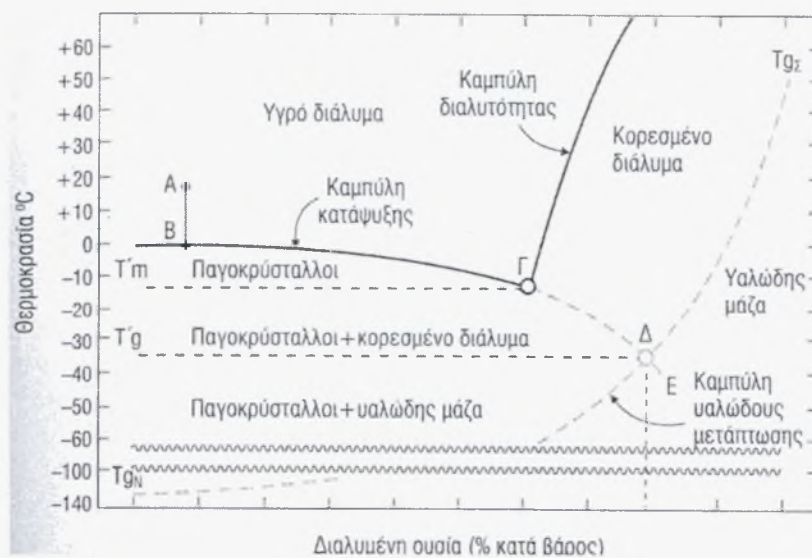


Κατά την κατάψυξη των τροφίμων παρατηρούνται και ορισμένες άλλες μεταβολές. Κατά τη φάση της κατάψυξης λαμβάνει χώρα αύξηση του όγκου του τροφίμου, αφού το νερό με την κατάψυξή του αυξάνει τον όγκο του κατά 9%. Η αύξηση του όγκου εξαρτάται από τη φύση του τροφίμου και κυρίως από το μέγεθος της περιεκτικότητάς του σε νερό. Επίσης, η μετατροπή του νερού σε πάγο προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων και άλλων ουσιών που υπάρχουν διαλυμένες στο νερό και βρίσκονται μέσα στο τρόφιμο. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεταβολές στην παραμένουσα υγρή φάση του καταψυγμένου τροφίμου που αφορούν το pH, την ολική οξύτητα, το ιζώδες, το οξειδο-αναγωγικό δυναμικό κ.ά. (7)

## 4.2.1 Συντήρηση υπό κατάψυξη

### 4.2.1.1 Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης

Σε ένα καθαρό διάλυμα η καμπύλη  $T_g$  αρχίζει από τη θερμοκρασία  $T_{gN}$ , που αντιστοιχεί στο καθαρό νερό, και φθάνει στη θερμοκρασία  $T_{gS}$ , που αντιστοιχεί στην τιμή  $T_g$  της διαλυμένης ουσίας στη στερεή της κατάσταση.



Εικόνα 19. Μεταβολή της φυσικής κατάστασης ενός υγρού προϊόντος κατά την κατάψυξη (Fennema, 1996)

Αν θεωρήσουμε ένα τρόφιμο του οποίου η υγρή φάση είναι ένα σύνθετο, διάλυμα με πολλές διαλυμένες ουσίες. Κατά την κατάψυξη η αρχική του θερμοκρασία  $A$  μειώνεται στο σημείο πήξης  $B$  και στη συνέχεια στο σημείο  $\Gamma$  με ταυτόχρονη αύξηση

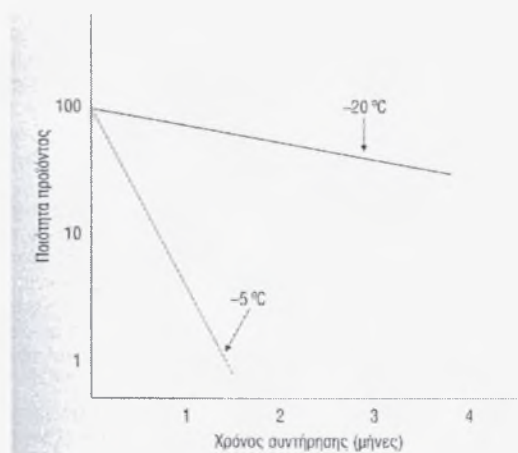
της συγκέντρωσης της υγρής του φάσης σε διαλυτά στερεά λόγω του σχηματισμού ολοένα και περισσότερων παγοκρυστάλλων. Το σημείο Γ αντιστοιχεί στο υψηλότερο εύτηκτο σημείο των διαλυμένων ουσιών, δηλαδή στη θερμοκρασία στην οποία επέρχεται κορεσμός των διαλυμένων ουσιών με τη μικρότερη διαλυτότητα. Η προβολή του σημείου Γ στον άξονα των θερμοκρασιών αντιστοιχεί στη θερμοκρασία  $T'm$ . Σε θερμοκρασίες υψηλότερες από την  $T'm$  στη ρευστή φάση του τροφίμου απαντούν μόνο παγοκρύσταλλοι. (7)

Με την παραπέρα απομάκρυνση θερμότητας από το προϊόν η καμπύλη κατάψυξης ΒΓ συναντά την καμπύλη  $T_g$  στο σημείο Δ. Η προβολή του σημείου Δ στον άξονα θερμοκρασιών αντιστοιχεί στη θερμοκρασία  $T'g$ , η οποία αποτελεί τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης του συγκεκριμένου τροφίμου κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες κατάψυξης. Σε θερμοκρασίες υψηλότερες από την  $T'g$  το τρόφιμο απαντά σε μια άμορφη κατάσταση στην οποία η υγρή του φάση είναι κορεσμένη σε διαλυτές ουσίες και περιβάλλει χαλαρά τους υπάρχοντες παγοκρυστάλλους. Στη θερμοκρασία  $T'g$  η υγρή φάση αρχίζει να μεταπίπτει στην υαλώδη κατάσταση, η οποία εγκλωβίζει τους παγοκρυστάλλους. Παραπέρα απομάκρυνση θερμότητας από το προϊόν προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας στο σημείο Ε χωρίς σχηματισμό νέων παγοκρυστάλλων, αφού η υαλώδης κατάσταση που επικρατεί στη ρευστή φάση δεν επιτρέπει τη διάχυση μορίων νερού. (7)

Η θερμοκρασία  $T'g$  εξαρτάται από την περιεκτικότητα των τροφίμων σε υγρασία, καθώς επίσης από το είδος και την περιεκτικότητα των διαλυμένων ουσιών. Όσο μεγαλύτερο είναι το μοριακό βάρος (MB) των υδατανθράκων που απαντούν στο τρόφιμο, τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία  $T'g$ .

Στη διάρκεια της συντήρησης των τροφίμων υπό κατάψυξη επέρχονται μεταβολές στα τρόφιμα που υποβαθμίζουν την ποιότητά τους. Το είδος και η έκταση των μεταβολών αυτών εξαρτάται από τη θερμοκρασία συντήρησης υπό κατάψυξη (freezing storage temperature, Tf) του συγκεκριμένου τροφίμου σε σχέση με τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (glass transition temperature,  $T'g$ ), καθώς επίσης και από το χρόνο συντήρησης.

Αν η θερμοκρασία συντήρησης ενός προϊόντος υπό κατάψυξη είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία της υαλώδους μετάπτωσης, δηλαδή είναι  $T_f < T'_g$ , τότε οι μεταβολές στο προϊόν αυτό κατά τη συντήρησή του με κατάψυξη περιορίζονται στο ελάχιστο, αφού η υαλώδης κατάσταση εμποδίζει τη διάχυση των ουσιών και συνεπώς τις αντιδράσεις υποβάθμισης της ποιότητας. Αντίθετα, αν είναι  $T_f > T'_g$ , τότε η ρευστή φάση του προϊόντος απαντά στην άμορφη (πλαστική) κατάσταση που επιτρέπει τη μεγαλύτερη κινητικότητα και διάχυση των μορίων και τη συμμετοχή τους σε αντιδράσεις που υποβαθμίζουν την ποιότητα του προϊόντος. Στην περίπτωση αυτή η σχέση μεταξύ της ποιότητας του προϊόντος και της θερμοκρασίας συντήρησής του υπό κατάψυξη, παρουσιάζεται σε ημιλογαριθμικό χαρτί, είναι γραμμική για τα περισσότερα προϊόντα. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία συντήρησης τόσο μικρότερη είναι η κλίση της ευθείας γραμμής (Εικόνα 4.)



**Εικόνα 20.** Επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης με κατάψυξη στην ποιότητας των τροφίμων (Heldmen and Harterl, 1997)

Γενικά, ο ρυθμός της ποιοτικής υποβάθμισης των καταψυγμένων προϊόντων αυξάνει κατά 2-2.5 φορές για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης κατά  $5^{\circ}\text{C}$  πάνω από τους  $-18^{\circ}\text{C}$ . Ορισμένα τρόφιμα, όπως τα ψάρια, το χοιρινό κρέας, το σπανάκι κ.ά., συντηρούνται ικανοποιητικά για 3-7 μήνες στους  $-20^{\circ}\text{C}$ , ενώ άλλα, όπως το βοδινό κρέας, τα προϊόντα αρτοποιίας και πολλά λαχανικά, διατηρούνται μέχρι και 12 μήνες στους  $-20^{\circ}\text{C}$ , επειδή έχουν τιμή  $T_f < T'_g$ . Αντίθετα, τα φρούτα, επειδή κατά κανόνα έχουν  $T_f > T'_g$ , παρουσιάζουν δυσκολίες στη συντήρησή τους με κατάψυξη.(7)



#### **4.2.1.2 Μεταβολές κατά τη συντήρηση των τροφίμων υπό κατάψυξη**

Οι σπουδαιότερες μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά τη συντήρηση των τροφίμων με κατάψυξη και υποβαθμίζουν την ποιότητά τους είναι:

- α) η επανακρυστάλλωση
- β) η μετουσίωση των πρωτεϊνών
- γ) η οξείδωση των λιπαρών ουσιών
- δ) η αφυδάτωση λόγω εξάχνωσης
- ε) η διάσπαση των χρωστικών ουσιών
- στ) η απώλεια σε βιταμίνες
- ζ) η συνεχιζόμενη ενζυμική δραστηριότητα.(7)

#### **4.2.2 Απόψυξη**

Η απόψυξη (thawing) είναι η αντίστροφη φάση της κατάψυξης του τροφίμου κατά την οποία επέρχεται τήξη των παγοκρυστάλλων και σχηματισμός και πάλι της υγρής φάσης του προϊόντος.

Ο ρυθμός κατά τον οποίο επέρχονται οι διάφορες μεταβολές στο τρόφιμο, που έχουν σχέση με την υποβάθμιση της ποιότητας, είναι μεγαλύτερος στην απόψυξη. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των μεταβολών αυτών κατά την απόψυξη δε γίνονται τόσο αισθητά, γιατί ο χρόνος απόψυξης του προϊόντος είναι απείρως μικρότερος από το συνολικό χρόνο συντήρησης του προϊόντος υπό κατάψυξη. Έτσι, τα αποτελέσματα της επανακρυστάλλωσης και της οξείδωσης, ανεξάρτητα του πόσο σιγά επιτελούνται αυτές κατά τη συντήρηση υπό κατάψυξη, θα γίνουν εμφανή, αν ο χρόνος συντήρησης είναι μερικοί μήνες.

Όμως, ο χρόνος απόψυξης είναι αισθητά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο χρόνο που απαιτεί η φάση κατάψυξης του προϊόντος. Αυτό ισχύει μόνο για τα τρόφιμα τα οποία διατηρούν την ακεραιότητά τους κατά την απόψυξη και η μετάδοση της θερμότητας σε αυτά γίνεται με αγωγιμότητα.

Η διαφορά στο χρόνο απόψυξης και κατάψυξης του προϊόντος αποδίδεται στους παρακάτω λόγους. Κατά τη φάση της κατάψυξης το μη καταψυγμένο τμήμα περιέχει την υδατική φάση του προϊόντος, ενώ στο καταψυγμένο τμήμα η υδατική φάση έχει στερεοποιηθεί και έχει μετατραπεί σε πάγο. Η απομάκρυνση όμως της θερμότητας, που είναι απαραίτητη για να προχωρήσει η κατάψυξη του τροφίμου, γίνεται μέσα από το καταψυγμένο τμήμα, δηλαδή μέσα από τον πάγο. Αντίθετα, κατά την απόψυξη στο αποψυγμένο τμήμα οι κρύσταλλοι πάγου έχουν λιώσει και έχει σχηματισθεί και πάλι η υδατική φάση του προϊόντος. Για να προχωρήσει η απόψυξη πρέπει να δώσουμε θερμότητα στο τρόφιμο, η οποία μεταδίδεται από την περιφέρεια μέχρι την ζώνη που υπάρχουν παγοκρύσταλλοι μέσα από την υδατική του φάση, δηλαδή μέσα από το νερό. Όμως, το νερό κι ο πάγος έχουν διαφορετικές θερμικές ιδιότητες.

Η θερμική αγωγιμότητα του πάγου είναι 4φορές μεγαλύτερη από εκείνη του νερού, δηλαδή ο πάγος μεταδίδει τη θερμότητα 4φορές γρηγορότερα από ότι το νερό. Η θερμική αγωγιμότητα του πάγου είναι 2,2 W/m °C και του νερού 0,6 W/m °C. Η ταχύτητα διάχυσης της θερμότητας μέσα από τον πάγο είναι 9περίπου φορές μεγαλύτερη εκείνης του νερού. Στους 0 °C το νερό έχει ταχύτητα διάχυσης 0,00111 cm<sup>2</sup> /sec. Άρα, ο πάγος υφίσταται μεταβολή στη θερμοκρασία του εννέα περίπου φορές γρηγορότερα από το νερό.

Ενώ κατά την κατάψυξη με την πάροδο του χρόνου συνεχίζει να μειώνεται η θερμοκρασία του τροφίμου, κατά την απόψυξη συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή με την πάροδο του χρόνου συνεχίζει να αυξάνει η θερμοκρασία του αποψυγμένου τμήματος του τροφίμου. Επειδή κατά την κατάψυξη δεν καταστράφηκαν οι μικροοργανισμοί και τα ένζυμα, αυτά βρίσκουν ευνοϊκό περιβάλλον για να δράσουν και να επιτύχουν την αλλοίωση του προϊόντος. Για την αποφυγή τέτοιων αλλοιώσεων η απόψυξη των ευαλλοιώτων προϊόντων πρέπει να γίνεται μόνο κάτω από συνθήκες ψυγείου.

Η απόψυξη των τροφίμων σε βιομηχανική κλίμακα γίνεται: α) με έκθεση σε ρεύμα αέρα 20 °C, υψηλής σχετικής υγρασίας και με ταχύτητα αέρα 2,5 m/min περίπου, β) με βύθιση σε νερό θερμοκρασία 20 °C περίπου και γ) με την εφαρμογή διηλεκτρικής θέρμανσης ή θέρμανσης με μικροκύματα, με την προϋπόθεση ότι το προϊόν είναι ομοιογενές. (7)

## 5. Μικροκύματα

### 5.1 Θέρμανση με μικροκύματα

Η ενέργεια μικροκυμάτων χρησιμοποιείται σε τρόφιμα κυρίως για τις θερμαντικές της ιδιότητες. Η ενέργεια μικροκυμάτων είναι παρόμοια με την ενέργεια που χρησιμοποιείται στα ραντάρ καθώς και για την αναμετάδοση τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών προγραμμάτων.

Τα μικροκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα, και διαφέρουν από την ηλεκτρομαγνητική ραδιενέργεια των ελαφρών κυμάτων και ραδιοκυμάτων μόνο ως προς την συχνότητα. Η συχνότητα των μικροκυμάτων βρίσκεται ανάμεσα στα ραδιοκύματα και την υπέρυθη ακτινοβολία, με μήκη κύματος που ποικίλουν από 25 εκατομμύρια έως 0,75 δισεκατομμύρια νανόμετρα, δηλ. 0,025-0,75m. Τα μήκη κύματος των μικροκυμάτων είναι περίπου 0,025-0,75m που αντιστοιχούν στη συχνότητα των 20000-400MHZ (1Hz=1cyc/sec). Επειδή η συχνότητα των μικροκυμάτων είναι σχετικά κοντά με τις συχνότητες των ραδιοκυμάτων και των ραντάρ, τα μικροκύματα μπορούν να παρεμβληθούν στις επικοινωνίες, γι' αυτό στις εφαρμογές χρησιμοποιούνται μόνο συγκεκριμένες συχνότητες μικροκυμάτων. (1)

Στη θέρμανση με μικροκύματα χρησιμοποιείται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με συχνότητα μεταξύ 3000 και 30000 MHz. Για οικιακή χρήση έχει παραχωρηθεί η συχνότητα 2450 MHz, στην οποία αντιστοιχεί μήκος κύματος 1224 cm. Αντίθετα, για βιομηχανική χρήση στην Ευρώπη χρησιμοποιείται η συχνότητα 895 MHz και στις ΗΠΑ η συχνότητα 915 MHz. (7)

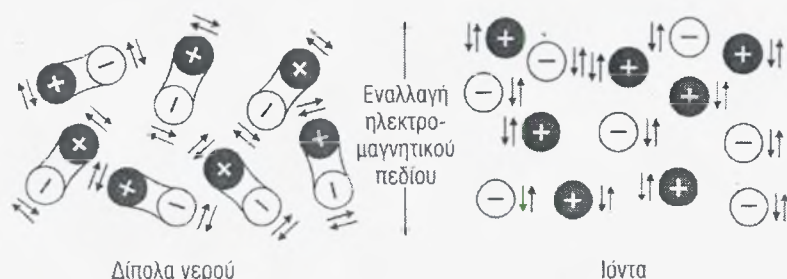
Τα μικροκύματα, όπως το φως, μετακινούνται σε ευθεία γραμμή και αντανακλούνται από μέταλλα, καθώς και από ορισμένους τύπους γυαλιού, χαρτιού, και πλαστικών υλικών ενώ απορροφούνται από διάφορα συστατικά των τροφίμων συμπεριλαμβανομένου και του νερού. Τα περισσότερα τρόφιμα ποικίλουν ως προς τα συστατικά τους και την φυσική κατανομή των συστατικών τους, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται διαφορετικές συνθήκες θέρμανσης από τα μικροκύματα.(1)

## Φούρνος μικροκυμάτων

Η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα γίνεται μέσα σε ειδικούς φούρνους μικροκυμάτων. Οι φούρνοι μικροκυμάτων έχουν είτε τη μορφή θαλάμου μέσα στον οποίο τοποθετείται το προϊόν, είτε τη μορφή τούνελ μέσα από το οποίο διέρχεται το προϊόν σε λεπτό στρώμα με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας. Τόσο οι θάλαμοι όσο και τα τούνελ μικροκυμάτων έχουν πολύ καλή μόνωση, ώστε να αποφευχθεί τυχόν διαρροή μικροκυμάτων, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβη στο χειριστή, και τοιχώματα που αντανακλούν τα μικροκύματα και τα κατευθύνουν στο μέρος που τοποθετείται το προϊόν. Επίσης, είναι εφοδιασμένοι με συσκευή παραγωγής των μικροκυμάτων, το μάγνητρο (magnetron), με σωλήνες αλουμινίου που κατευθύνουν τα μικροκύματα στο θάλαμο ή το τούνελ, με σύστημα ανάδευσης των μικροκυμάτων (ανεμιστήρα) για ομοιόμορφη κατανομή τους στο χώρο και τέλος με σύστημα περιστροφής του τροφίμου, ώστε να δέχεται την επίδραση των μικροκυμάτων από όλες τις πλευρές του. (7)

### 5.1.1 Μηχανισμός θέρμανσης με μικροκύματα

Η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα στηρίζεται: α) στην παλινδρομική αναστροφή των μορίων του νερού που απαντούν στο τρόφιμο ως δίπολα και β) στην ηλεκτροφόρηση των ιόντων που υπάρχουν στο τρόφιμο(Εικόνα 21).



**Εικόνα 218.** Σχηματική απεικόνιση της κίνησης των διπλών του νερού και των ιόντων κατά τη θέρμανση με μικροκύματα (Mullin, 1996)

Τα συνήθη εναλλασσόμενα ρεύματα εναλλάσσουν την διεύθυνση τους περίπου 60 φορές ανά δευτερόλεπτο. Τα μικροκύματα λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο αλλά σε συχνότητες που αντιστοιχούν στα 915 και 2450 MHz. Τα τρόφιμα και ορισμένα άλλα υλικά περιέχουν μόρια που δρουν ως δίπολα ή μόρια με θετικό και αρνητικό φορτίο στα άκρα τους. Τα μόρια του νερού είναι πολικά με το αρνητικό φορτίο να επικεντρώνεται στα άτομα του οξυγόνου και το θετικό στα άτομα του υδρογόνου.(7)

Όταν τα μικροκύματα διαπερνούν τα τρόφιμα, τα μόρια νερού και άλλα πολικά μόρια τείνουν να ευθυγραμμισθούν με το ηλεκτρικό πεδίο. Ωστόσο το ηλεκτρικό πεδίο αντιστρέφεται 915 ή 2450 εκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο. Τα υπάρχοντα μόρια προσπαθούν να προσαρμοστούν στις μεταβολές της φοράς του ρεύματος όποτε αυξάνεται η κινητικότητα τους με αποτέλεσμα την θέρμανση του τροφίμου. Αντίστοιχο φαινόμενο παρατηρείται και κατά την χρήση της διηλεκτρικής θέρμανσης αλλά οι εκεί συχνότητες κυμαίνονται στο εύρος 1-150MHZ. Παρόλο που τα μικροκύματα παράγουν θερμότητα μέσα στο τρόφιμο, τα επιμέρους συστατικά του δεν θερμαίνονται με τον ίδιο ρυθμό. Ωστόσο, η θερμότητα που παράγεται και μεταδίδεται και με την αγωγιμότητα μεταξύ των συστατικών του τροφίμου τείνει να εξισορροπήσει την διαφορά. Αν και το φαινόμενο της αγωγιμότητας παρατηρείται και στα ρευστά τρόφιμα, δεν πρέπει να συγχέεται με τον κύριο μηχανισμό της λειτουργίας των μικροκυμάτων. (1)

Στο μόριο του νερού οι δύο δεσμοί μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου σχηματίζουν γωνία  $105^\circ$  περίπου. Η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων του οξυγόνου στη μια πλευρά του μορίου και η ύπαρξη των σχετικά γυμνών πυρήνων του υδρογόνου στην άλλη πλευρά, δημιουργούν μια μη ισορροπημένη κατανομή των ηλεκτρικών φορτίων με αποτέλεσμα το μόριο του νερού να είναι ισχυρά πολικό και να συμπεριφέρεται ως δίπολο.

Το μάγνητρο του φούρνου μικροκυμάτων δημιουργεί ένα εναλλασσόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μέσα στο οποίο τα μόρια του νερού, υπό τη μορφή διπόλων, προσπαθούν να προσανατολισθούν. Η γρήγορη όμως εναλλαγή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, περίπου δυο δισεκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο, προκαλεί αντιστροφή των διπόλων του νερού με αποτέλεσμα τη δημιουργία τριβών μεταξύ των μορίων και τελικά την παραγωγή θερμότητας. Η αύξηση της θερμοκρασίας των μορίων του νερού λόγω των τριβών προκαλεί με τη σειρά της αύξηση της θερμοκρασίας των παρακείμενων συστατικών των τροφίμων με αγωγιμότητα και/ή επαγωγή. Ταυτόχρονα όμως τα ιόντα που βρίσκονται σε διάλυση μέσα στο τρόφιμο προσπαθούν να μετακινηθούν προς τον αντίθετο πόλο του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Η γρήγορη όμως εναλλαγή του πεδίου αντιστρέφει την κατεύθυνση μετακίνησής τους με αποτέλεσμα να θέτει αυτά σε ταχύτατη παλινδρομική κίνηση και λόγω πάλι των τριβών που αναπτύσσονται να παράγεται



θερμότητα. Όσο περισσότερα ιόντα υπάρχουν στο τρόφιμο, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας παράγεται από τις τριβές των ιόντων. Ωστόσο, η συμβολή των ιόντων στη θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη θέρμανση λόγω των τριβών που προκαλούν τα δίπολα του νερού. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι με μικροκύματα μπορούν να θερμανθούν μόνο τρόφιμα τα οποία περιέχουν νερό, τα μόρια του οποίου ενεργούν ως δίπολα, ενώ το ίδιο αποτελεί το μέσο για τη διάλυση των αλάτων σε ιόντα. (7)

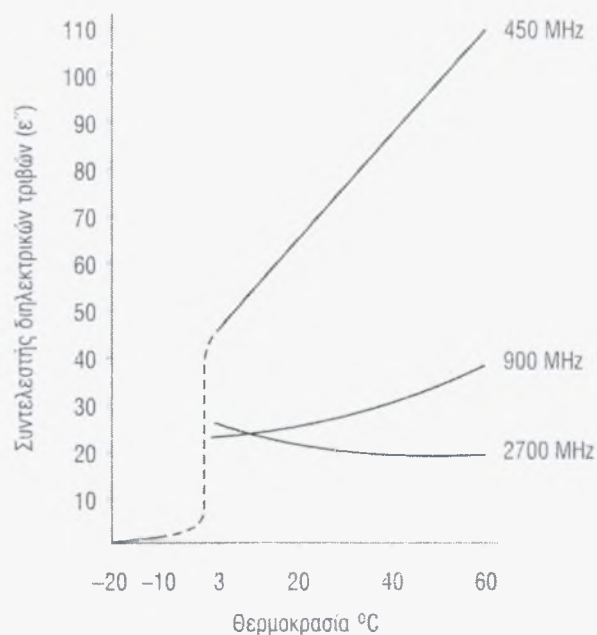
## **5.2 Διηλεκτρικές ιδιότητες τροφίμων.**

Η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται τόσο με τα χαρακτηριστικά της συσκευής μικροκυμάτων όσο και με τις ιδιότητες του τροφίμου. Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που σχετίζονται με τη φύση του τροφίμου είναι η αρχική του θερμοκρασία, το μέγεθος, το σχήμα, η πυκνότητα, η ειδική θερμότητα, η θερμική αγωγιμότητα και οι διηλεκτρικές του ιδιότητες.

Οι **διηλεκτρικές ιδιότητες** (dielectric properties) καθορίζουν το πόσο καλά ένα τρόφιμο απορροφά τα μικροκύματα. Τις διηλεκτρικές ιδιότητες των τροφίμων αποτελούν η διηλεκτρική σταθερά, ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών και η επαπτομένη διηλεκτρικών τριβών. Κατά κανόνα, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή των διηλεκτρικών ιδιοτήτων ενός τροφίμου, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας απορροφά το τρόφιμο και τόσο καλύτερα θερμαίνεται.

Η διηλεκτρική σταθερά (dielectric constant,  $\epsilon'$ ) εκφράζει την ικανότητα του τροφίμου να αποθηκεύσει την ενέργεια των μικροκυμάτων και ορίζεται από το λόγο της χωρητικότητας του τροφίμου για την αποθήκευση της ενέργειας προς τη χωρητικότητα του αέρα ή του κενού να αποθηκεύουν ενέργεια κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Όσο μεγαλύτερη είναι η διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon'$  ενός προϊόντος, τόσο βραδύτερη είναι η ταχύτητα διείσδυσης των μικροκυμάτων στο προϊόν και τόσο μικρότερο το βάθος διείσδυσης, όταν η συχνότητα παραμένει σταθερή.

Τα μικροκύματα που διεισδύουν στο εσωτερικό του προϊόντος μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια. Η ικανότητα ενός προϊόντος να μετατρέψει την ενέργεια των μικροκυμάτων σε θερμότητα, μέσω των τριβών που αναπτύσσονται μεταξύ των διπόλων, εκφράζεται με το συντελεστή διηλεκτρικών τριβών (dielectric loss factor,  $\epsilon''$ ). Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών  $\epsilon''$  ενός προϊόντος, τόσο μεγαλύτερη είναι η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας των μικροκυμάτων σε θερμότητα και συνεπώς τόσο γρηγορότερα θα θερμανθεί το προϊόν. Ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών εξαρτάται από τη συχνότητα των μικροκυμάτων και τη θερμοκρασία του προϊόντος (Εικόνα 2. ).



**Εικόνα 192.** Μεταβολή του συντελεστή διηλεκτρικών τριβών στον πουρέ πατάτας σε συνάρτηση της θερμοκρασίας και της συχνότητας (Mullin, 1996)

Ο λόγος του συντελεστή διηλεκτρικών τριβών  $\epsilon''$  προς τη διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon'$  ορίζεται ως εφαπτομένη διηλεκτρικών τριβών (dielectric loss tangent,  $\epsilon\text{φδ} = \epsilon''/\epsilon'$ ) και αποτελεί επίσης χαρακτηριστική ιδιότητα του προϊόντος που εκφράζει την ταχύτητα με την οποία η ενέργεια των μικροκυμάτων διεισδύει στο τρόφιμο και μετατρέπεται σε θερμότητα. Για την εφαπτομένη διηλεκτρικών τριβών ισχύει ότι και για το συντελεστή διηλεκτρικών τριβών, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η εφαπτομένη διηλεκτρικών τριβών, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η απορρόφηση της ενέργειας των μικροκυμάτων από το προϊόν ως θερμότητα και τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας μέσα σε αυτό.



Οι διηλεκτρικές ιδιότητες των τροφίμων και άλλων υλικών εξαρτώνται από τη σύνθεσή τους σε υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη και κυρίως σε νερό και άλατα, καθώς και από τη θερμοκρασία. Τα μαγειρικά λίπη τα οποία δεν περιέχουν νερό και άλατα αδυνατούν να απορροφήσουν τα μικροκύματα. Μια σάλτσα με 70% υγρασία και 4% άλατα απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα μικροκυμάτων από το κρέας με την ίδια περιεκτικότητα σε υγρασία αλλά με 1 % άλατα. (7)

### **5.2.1 Αύξηση θερμοκρασίας τροφίμων κατά τη θέρμανση με μικροκύματα**

Καθώς τα μικροκύματα, που προσπίπτουν στην επιφάνεια, διεισδύουν στο εσωτερικό ενός προϊόντος, χάνουν ηλεκτρική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα στο συγκεκριμένο σημείο διείσδυσης των μικροκυμάτων. Η θερμότητα που παράγεται διαχέεται στον γύρω περιβάλλοντα χώρο με αγωγιμότητα ή επαγωγή, επειδή δημιουργείται μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του σημείου παραγωγής της θερμότητας και του περιβάλλοντος χώρου. Η ταχύτητα διάχυσης της θερμότητας εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του τροφίμου. Αν το προϊόν δεν έχει καλή θερμική αγωγιμότητα, υπάρχει κίνδυνος να υπερθερμανθεί στην επιφάνειά του, ενώ το εσωτερικό του θα παραμένει κρύο.

Η ισχύς της ενέργειας μικροκυμάτων ( $P_v$ ) που απορροφάται ως θερμότητα από το προϊόν, ορισμένου όγκου  $V$ , στη μονάδα του χρόνου δίνεται από την εξίσωση:

$$P_v = k \cdot E^2 \cdot f \cdot \epsilon''$$

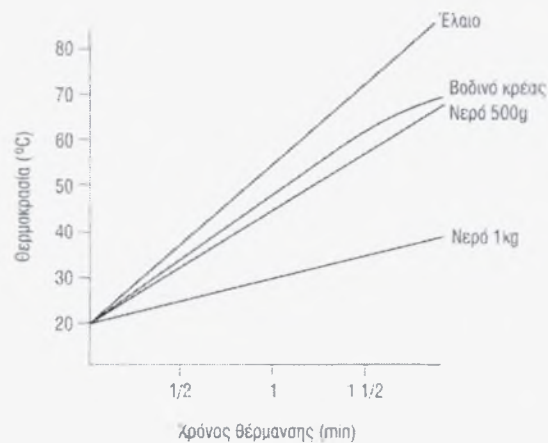
Όπου  $k$  = σταθερά που εξαρτάται από τις μονάδες ισχύος και όγκου,  $E$  = η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε Volt/cm,  $f$  = η συχνότητα των μικροκυμάτων σε HZ και  $\epsilon''$  = ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών.

Η αύξηση της θερμοκρασίας στη μονάδα του χρόνου, την οποία θα προκαλέσει στο προϊόν η απορρόφηση της ενέργειας των μικροκυμάτων δίνεται από τη σχέση:

$$d\theta / dt = k' \cdot E^2 \cdot f \cdot (\epsilon'' / \rho \cdot c)$$

Όπου  $k'$  = σταθερά που εκφράζει τις μονάδες θερμοκρασίας και χρόνου,  $\rho$  = η πυκνότητα και  $c$  = η ειδική θερμότητα του προϊόντος

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου  $E$  και η συχνότητα των μικροκυμάτων είναι σταθερές και δεδομένες για μια συγκεκριμένη συσκευή μικροκυμάτων. Ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών  $\epsilon''$ , η πυκνότητα  $\rho$  και η ειδική θερμότητα  $c$  είναι ιδιότητες που εξαρτώνται από το προϊόν. Κατά συνέπεια, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας ενός προϊόντος κατά τη θέρμανσή του με μικροκύματα σε δεδομένη συσκευή μικροκυμάτων είναι ανάλογος προς το συντελεστή διηλεκτρικών τριβών  $\epsilon''$  και αντιστρόφως ανάλογος προς την πυκνότητα και την ειδική θερμότητα του προϊόντος που προσδιορίζουν τη θερμοχωρητικότητά του (Εικόνα 23).(7)



**Εικόνα 220.** Επίδραση της θερμοχωρητικότητας στο ρυθμό θέρμανσης των τροφίμων με μικροκύματα (Coles, 1993).

### 5.2.2 Βάθος διείσδυσης μικροκυμάτων.

Όταν τα μικροκύματα προσπίπτουν στην επιφάνεια ενός προϊόντος, έχουν μια ορισμένη ενέργεια. Καθώς όμως τα μικροκύματα διεισδύουν στο εσωτερικό του προϊόντος ένα μέρος της ενέργειας που μεταφέρουν απορροφάται ως θερμότητα.

Το βάθος στο οποίο η ενέργεια των μικροκυμάτων κατά τη διείσδυσή τους στο προϊόν μειώνεται στο  $1/e$  ( $e = 2.718282$ ), δηλαδή περίπου στο 37%, ορίζεται ως βάθος διείσδυσης (penetration depth). Το βάθος διείσδυσης ( $d$ ) είναι ανάλογο προς το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) των μικροκυμάτων και εξαρτάται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες  $\epsilon'$  και  $\epsilon''$  του προϊόντος.

$$d = \frac{\lambda}{2\pi(\epsilon' \cdot \epsilon\phi\delta)^{1/2}}$$

Το βάθος διείσδυσης μας επιτρέπει να αντιληφθούμε τη συμπεριφορά των προϊόντων στη θέρμανση με μικροκύματα. Αφού σε βάθος  $d$  απορροφάται το 63% της ενέργειας των μικροκυμάτων ως θερμότητα, σε βάθος  $2d$  θα απορροφηθεί το 13.7% και σε  $3d$  μόλις το 5%. Αν θεωρήσουμε ότι το προϊόν είναι ομοιογενές και το βάθος διείσδυσης είναι ομοιόμορφο, τότε τα εξωτερικά στρώματα του προϊόντος θα θερμανθούν γρηγορότερα από το κέντρο, αν το πάχος του προϊόντος είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος διείσδυσης  $d$ . Ωστόσο, επικρατεί η εντύπωση ότι με τα μικροκύματα θερμαίνεται το εσωτερικό του προϊόντος, ενώ η επιφάνειά του είναι ψυχρή. Αυτό συμβαίνει, γιατί στην επιφάνεια του προϊόντος με τη θέρμανση επέρχεται εξάτμιση νερού η οποία απορροφά από τα επιφανειακά στρώματα τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού και προκαλεί την επιφανειακή ψύξη του προϊόντος.

Το βάθος διείσδυσης των μικροκυμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογο της περιεκτικότητας του προϊόντος σε υγρασία και της συχνότητας των μικροκυμάτων και εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Στα καταψυγμένα τρόφιμα το βάθος διείσδυσης των μικροκυμάτων είναι πάρα πολύ μεγάλο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο πάγος έχει πολύ χαμηλό συντελεστή διηλεκτρικών τριβών, επειδή τα μόρια του νερού είναι δεσμευμένα και δεν μπορούν να μετακινηθούν ή να απορροφήσουν την ενέργεια των μικροκυμάτων. (7)

### **5.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μικροκυμάτων.**

Η θέρμανση τροφίμων με μικροκύματα παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους θέρμανσης, όπως: α) μεγάλη ταχύτητα, β) μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και γ) αποτελεσματικότερο έλεγχο των συνθηκών θέρμανσης. Ο χρόνος που απαιτείται για τη θέρμανση ενός τροφίμου με μικροκύματα είναι μόνο το 5% του απαιτούμενου χρόνου θέρμανσης με τις παραδοσιακές μεθόδους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διατηρούνται καλύτερα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και η θρεπτική αξία των θερμαινόμενων προϊόντων.

Ένα βασικό μειονέκτημα των μικροκυμάτων είναι η ανομοιόμορφη θέρμανση που προκαλείται σε ορισμένα προϊόντα. Έτσι, κατά τη θέρμανση καταψυγμένων προϊόντων μεγάλου μεγέθους, η ενέργεια των μικροκυμάτων απορροφάται εκλεκτικά στο αποψυγμένο τμήμα με κίνδυνο να ανέλθει η θερμοκρασία του πολύ υψηλά και να προκαλέσει τοπική υπερθέρμανση, ενώ το υπόλοιπο τμήμα του προϊόντος παραμένει ακόμη καταψυγμένο.

Προκειμένου να εξασφαλίσουμε μια ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας σε όλη τη μάζα του προϊόντος κατά τη θέρμανση με μικροκύματα πρέπει το προϊόν:

- α) να είναι κατά το δυνατόν ομοιογενές με ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας που περιέχει σε όλη τη μάζα του.
- β) να έχει ομοιόμορφο σχήμα, όπως κύβος, σφαίρα κ.ά.
- γ) το πάχος του να είναι ανάλογο με το βάθος διείσδυσης των μικροκυμάτων.
- δ) να γίνεται εφαρμογή των μικροκυμάτων στο προϊόν από περισσότερες πλευρές

Η εφαρμογή των μικροκυμάτων παρουσιάζει ακόμη δυο βασικούς περιορισμούς:

- α) το θερμαινόμενο με μικροκύματα προϊόν δεν πρέπει να είναι συσκευασμένο σε μεταλλικούς περιέκτες, επειδή αυτοί αντανακλούν τα μικροκύματα και δεν τα αφήνουν να εισέλθουν στο προϊόν.
- β) κατά τη θέρμανση με μικροκύματα δε γίνεται επιφανειακό ροδοκοκκίνισμα και ψήσιμο των τροφίμων. (7)

## **6. Ρεολογία**

### **6.1 Υφή και χαρακτηριστικά της**

Η υφή μαζί με την εμφάνιση (χρώμα, σχήμα μέγεθος κτλ), τη γεύση – οσμή και τη θρεπτική αξία του προϊόντος αποτελούν βασικά κριτήρια καθορισμού της ποιότητας των τροφίμων. Ειδικά για τα τρόφιμα, η υφή αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα που ο καταναλωτής παίρνει υπόψη του στην επιλογή ενός προϊόντος. Με τον όρο υφή εννοούμε τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα συστατικά και τα δομικά στοιχεία του τροφίμου είναι διαταγμένα και συνδυασμένα ώστε να σχηματίζουν τη μικρο και τη

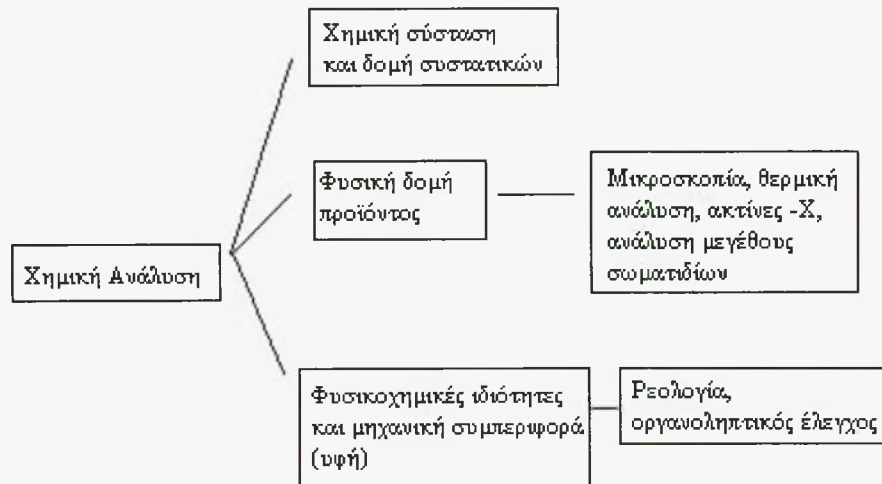
μάκρο-δομή του. Από τη δομή του προϊόντος εξαρτάται η μηχανική συμπεριφορά του( π.χ. ρευστότητα, αντοχή στην παραμόρφωση). Έτσι για τα περισσότερα τρόφιμα φαίνεται ότι υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της χημικής σύστασης και της δομής των συστατικών, της φυσικής δομής του προϊόντος και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του. (60

Πληροφορίες για την υφή δίνονται είτε από μηχανικές δοκιμασίες, στις οποίες υποβάλλεται ένα προϊόν με ειδικά όργανα (αντικειμενικός χαρακτηρισμός), ή από οργανοληπτική εξέτασή του. Στη μελέτη της υφής των τροφίμων συχνά δίνεται έμφαση σε δύο ανεξάρτητα πεδία: α) συμπεριφορά του υλικού στη ροή και παραμόρφωση, β) μικρο και μάκρο δομή του προϊόντος.

Η μελέτη της υφής των τροφίμων είναι απαραίτητη για τους ακόλουθους λόγους:

- α) εκτίμηση της αντίστασης του προϊόντος σε μηχανικές διεργασίες, όπως π.χ. η μηχανική συγκομιδή φρούτων και λαχανικών
- β) εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς των τροφίμων κατά την επεξεργασία, διακίνηση και αποθήκευσή τους.
- γ) εκτίμηση της μηχανική συμπεριφοράς του προϊόντος κατά την κατανάλωσή του ( οργανοληπτικές ιδιότητες) (6)

Επειδή τα περισσότερα τρόφιμα είναι πολύπλοκα φυσικοχημικά συστήματα, υπάρχει δυσκολία στον καθορισμό αντικειμενικών κριτηρίων προσδιορισμού της υφής. Ο όρος 'υφή' είναι σύνθετος αφού περιλαμβάνει μια σειρά χαρακτηριστικών όπως αναλυτικά παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 24).



Εικόνα 24. Αλληλεξαρτήσεις μεταξύ σύστασης, δομής και φυσικοχημικών ιδιοτήτων των τροφίμων

Η ομάδα αυτή των φυσικών ιδιοτήτων σχετίζεται τόσο με τους οργανοληπτικούς χαρακτήρες όσο και με τη συμπεριφορά του τροφίμου στη ροή και την παραμόρφωση. Πολλές φορές όμως είναι δύσκολη η συσχέτιση των πειραματικών δεδομένων μέτρησης της υφής με αντικειμενικές μεθόδους (μηχανική ανάλυση) με τα στοιχεία που προκύπτουν απ' τον οργανοληπτικό έλεγχο του προϊόντος. (6)



### 6.1.1 Μηχανικά Χαρακτηριστικά

- α) **σκληρότητα** ( hardness): απαιτούμενη δύναμη για την πρόκληση ορισμένης παραμόρφωσης
- β) **ιξώδες** ( viscosity): ρυθμός ροής ανά μονάδα εφαρμοζόμενης δύναμης
- γ) **ελαστικότητα** (elasticity): ρυθμός επανάκτησης παραμορφωμένου υλικού στην αρχική του κατάσταση μετά την απομάκρυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης
- δ) **συνάφεια** ( adhesiveness): απαιτούμενη ενέργεια για την υπερκίνηση των δυνάμεων συνάφειας μεταξύ του υλικού και της επιφάνειας που έρχεται σε επαφή μαζί του
- ε) **συνεκτικότητα** ( cohesiveness): δύναμη εσωτερικών δεσμών μεταξύ των μορίων των συστατικών του τροφίμου.
- στ) **ευθραυστότητα** ( brittleness): απαιτούμενη δύναμη για τη θραύση του υλικού ( εξαρτάται από τη σκληρότητα και τη συνεκτικότητα)



- ζ) **αντοχή στη μάσηση** ( chewiness): απαιτούμενη ενέργεια για τη μάσηση ενός στερεού προϊόντος ( εξαρτάται από τη σκληρότητα, τη συνεκτικότητα και την ελαστικότητα)
- η) **κολλώδης χαρακτήρας** ( gumminess): απαιτούμενη ενέργεια για τη μετατροπή ενός ημίρρευστου προϊόντος σε κατάσταση έτοιμη για κατάποση( εξαρτάται από τη σκληρότητα και τη συνεκτικότητα) (6)

## **6.2 Αντικειμενικός προσδιορισμός της υφής- Παραμόρφωση, Τάση**

Ο αντικειμενικός προσδιορισμός της υφής ανήκει στον κλάδο της ρεολογίας, δηλαδή της επιστήμης που ασχολείται με τη μελέτη της ροής και της παραμόρφωσης των υλικών. Επειδή τα τρόφιμα είναι σύνθετα υλικά, τόσο από δομική όσο και από ρεολογική άποψη, ο προσδιορισμός ορισμένων μόνο ρεολογικών ιδιοτήτων δεν δίνει πλήρη εικόνα της υφής και των μηχανικών ιδιοτήτων του προϊόντος. Σε πολλές όμως περιπτώσεις απλές και μόνο μετρήσεις των ρεολογικών ιδιοτήτων είναι πολύ χρήσιμες για την αποδοχή ενός προϊόντος ή για το σχεδιασμό μηχανημάτων και μεθόδων επεξεργασίας. Στο ρεολογικό χαρακτηρισμό των τροφίμων εκτός από τις δυνάμεις και τις παραμορφώσεις μεγάλη σημασία έχουν και οι παράγοντες χρόνος και θερμοκρασία. Η παραμορφώσεις είναι δύο τύπων :

- α) αντιστρεπτές, οπότε γίνεται λόγος για ελαστικότητα και επανάκτηση του αρχικού σχήματος του υλικού μετά την απομάκρυνση της εφαρμοζόμενης τάσης και
- β) μη αντιστρεπτές, όταν μέρος της ενέργεια χάνεται υπό μορφή θερμότητας στο περιβάλλον ενώ παράλληλα έχουμε και ροή.

Όταν μία εξωτερική δύναμη εφαρμόζεται σε ένα σώμα διακρίνουμε τρία είδη παραμορφώσεων ( strain): εφελκυσμού ( tension), συμπίεσης ή θλίψης ( compression) και διάτμησης ( shear ). Τάση ( stress ) είναι η δύναμη που εφαρμόζεται ανά μονάδα επιφάνειας. Ενώ οι τάσεις εφελκυσμού και συμπίεσης επενεργούν κάθετα, οι διατμητικές κατευθύνονται εφαπτομενικά στο επίπεδο εφαρμογής τους. Με τον όρο παραμόρφωση εννοούμε την αλλαγή του σχήματος και των διαστάσεων ενός σώματος μη την εφαρμογή μιας τάσης. Η παραμόρφωση που συμβολίζεται διεθνώς

με το γράμμα  $\varepsilon$  ή  $\gamma$  εκφράζεται συχνά με την αναλογία  $\varepsilon = (S - S_0) / S_0$  ( $S$  και  $S_0$  είναι η αρχική και η νέα διάσταση του σώματος μετά την εφαρμογή της τάσης) ή επί της εκατό αυτού του λόγου. Πέραν της γραμμικής παραμόρφωσης ( π.χ. εφελκυσμού,  $\varepsilon = \Delta L / L$ ), είναι δυνατό επίσης να έχουμε και μεταβολή όγκου με την εφαρμογή υδροστατικής πίεσης ( δηλαδή  $\varepsilon = \Delta V / V$ ). Τέλος, για ρευστά υλικά επειδή η παραμόρφωσή τους είναι πολύ μεγάλη, εφαρμόζεται ο όρος ταχύτητα ή ρυθμός παραμόρφωσης,  $\dot{\gamma} = d\gamma / dt$ . (6)

### 6.3 Τύποι ρεολογικής συμπεριφοράς

Από άποψη χαρακτηρισμού των ρεολογικών ιδιοτήτων τα πλέον απλά συστήματα είναι τα ομογενή και ισότροπα σώματα που εμφανίζουν την ίδια σύσταση, δομή και φυσικές ιδιότητες σ' όλη την έκταση της μάζας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ρευστά και πλαστικά σώματα. Τα τρόφιμα όμως είναι σύνθετα συστήματα με ποικίλες μορφές, π.χ. διαλύματα (αμυλοσιρόπια), κρυσταλλικά και ημικρυσταλλικά στερεά (βούτυρο, μαργαρίνες, άμυλο), άμορφα στερεά (καραμέλες), φυτικά ή ζωικά τμήματα ιστών (κρέας, λαχανικά), αιωρήματα γαλακτώματα (κρέμες, παιδικές τροφές, γάλα), πηκτές (μαρμελάδες), ετερογενή συστήματα πολλών φάσεων (μαγιονέζα, κρεατοσκευάσματα). Παρόλο που μόνο ένας μικρός σχετικά αριθμός τροφίμων εμφανίζει ιδανική ρεολογική συμπεριφορά η παρακάτω θεώρηση του ιδανικού στερεού, ρευστού και πλαστικού σώματος κρίνεται αναγκαία για την περιγραφή των ρεολογικών ιδιοτήτων των πραγματικών συστημάτων τροφίμων.(6)

#### 6.3.1 Ελαστική παραμόρφωση

Στην ιδανική συμπεριφορά του ελαστικού σώματος, (Hookean solid) η σχέση τάσης - παραμόρφωσης είναι γραμμική, εφόσον το υλικό υπόκειται σε μικρές\_μόνο παραμορφώσεις. Δηλαδή, ισχύει η σχέση  $\sigma = \kappa * \gamma$  (νόμος του Hooke). Ανάλογα με το είδος της εφαρμοζόμενης τάσης η σταθερά αναλογίας  $\kappa$  έχει διάφορες ονομασίες. Για γραμμικές παραμορφώσεις που οφείλονται σε τάσεις εφελκυσμού ( $\gamma = \Delta L / L$ ) ή συμπίεσης ( $\gamma = - \Delta L / L$ ) έχουμε τη σταθερά ελαστικότητας (modulus of elasticity) ή μέτρο του Young,  $E = \sigma / \gamma$ . Για τα εύκαμπτα υλικά η  $E$  έχει μικρή τιμή.

Για παράδειγμα οι τιμές της  $E$  για καρότα, μήλα και μπανάνες είναι της τάξης των  $2000-4000 * 10^5$ ,  $600 -1400 * 10^5$  και  $80 -300 * 10^5$  dyne,  $cm^{-2}$  αντίστοιχα. Όταν η εφαρμοζόμενη τάση είναι διατμητική, τότε η σταθερά αναλογίας καλείται μέτρο διάτμησης,  $G$  ( shear modulus). Το μέτρο διάτμησης είναι περίπου δύο έως τρεις φορές μικρότερο από το μέτρο του Young.

Η ιδανική συμπεριφορά του ελαστικού σώματος εξηγείται με την παρουσία διαμοριακών δυνάμεων συνοχής στη μάζα του σώματος. Η εφαρμοζόμενη εξωτερική δύναμη προκαλεί ορισμένες μετατοπίσεις των μορίων (αλλαγές στις αμοιβαίες θέσεις τους) με αποτέλεσμα τη δημιουργία εσωτερικών τάσεων που εξουδετερώνουν την εξωτερική δύναμη. Όταν η τελευταία απομακρύνεται οι υπάρχουσες εσωτερικές τάσεις επαναφέρουν τα μόρια στις αρχικές τους θέσεις (επανάκτηση του αρχικού σχήματος). Επομένως η μακροσκοπική συμπεριφορά του σώματος στο μοναξονικό εφελκυσμό ή συμπίεση εξαρτάται από τη φύση των διαμοριακών δυνάμεων στη μάζα του υλικού. (6)

### **6.3.2 Νευτώνια συμπεριφορά υγρών**

Τα ιδανικά ή νευτώνια υγρά είναι ασυμπίεστα και ισότροπα υλικά που δεν έχουν ελαστικές ιδιότητες. Όταν μία διατμητική τάση εφαρμόζεται σε ένα ρευστό ( π.χ. στην ανάδευση ή άντληση) προκαλείται παραμόρφωση ( ροή) η οποία έχει μόνιμο χαρακτήρα ( δηλαδή δεν έχουμε επανάκτηση του αρχικού σχήματος με την απομάκρυνση της τάσης).

Ο νόμος του Newton ισχύει και για πραγματικά υγρά ( αραιά διαλύματα υδρόφιλων κολλοειδών ουσιών ή διαλύματα ουσιών με μοριακό βάρος  $<1000$ ). Τα περισσότερα συστήματα τροφίμων και τα πυκνά διαλύματα μεγαλομοριακών ενώσεων δεν εμφανίζουν νευτώνιες ιδιότητες, δηλαδή δεν υπάρχει γραμμική σχέση  $\sigma$  και  $\gamma$  ( μη νευτώνια ρευστά). (6)

### 6.3.3 Πλαστική παραμόρφωση

Μια άλλη σχετικά απλή μηχανική συμπεριφορά είναι εκείνη του ιδανικού πλαστικού σώματος όπου το υλικό συμπεριφέρεται σαν στερεό (ελαστική παραμόρφωση) μέχρι μια οριακή τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης,  $\sigma_y$ . Για τάσεις μεγαλύτερες της  $\sigma_y$  παρατηρείται πλαστική ροή.

Τυπικά προϊόντα που έχουν πλαστική συμπεριφορά είναι η λιωμένη σοκολάτα, κρέμα σαντιγί, μαγιονέζα, σάλτσα ντομάτας(κέτσαπ). Η ύπαρξη οριακής τάσης σε γαλακτώματα συντελεί στη σταθεροποίησή τους (διατήρηση των δύο φάσεων σε διασπορά). (6)

### 6.3.4 Μη – ιδανική ρεολογική συμπεριφορά

Από ένα μεγάλο φάσμα φυσικών και τυποποιημένων προϊόντων, μόνο μερικά τρόφιμα ακολουθούν ιδανική ρεολογική συμπεριφορά όπως περιγράφεται προηγουμένως. Επιπλέον, η ιδανική συμπεριφορά (π.χ. ελαστική παραμόρφωση) εκδηλώνεται μόνο για ένα μικρό εύρος παραμορφώσεων. Τα περισσότερα στερεά τρόφιμα (π.χ. φρούτα, λαχανικά, κρέας, αρτοσκευάσματα) είναι συνήθως ετερογενή και ανισότροπα συστήματα με σύνθετη ρεολογική συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, τα στερεά τρόφιμα επανακτούν μερικώς μόνο το σχήμα τους και με κάποια καθυστέρηση όταν απομακρυνθεί η τάση που προκάλεσε την παραμόρφωσή του. Ο βαθμός επαναφοράς στην αρχική κατάσταση εξαρτάται από τη διάρκεια και το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσης. Στην περίπτωση των ρευστών και ημίρρευστων τροφίμων το ιξώδες εξαρτάται από το  $\dot{\gamma}$  (ρυθμός παραμόρφωσης,  $d\gamma/dt$ ) και τη διάρκεια εφαρμογής της τάσης. Είναι δυνατόν εξάλλου τα ημίρρευστα προϊόντα (π.χ. διαλύματα πρωτεϊνών ή πολυσακχαριτών, ζυμάρια αρτοποιίας, κρέμες) να εμφανίζουν ταυτόχρονα μερικές από τις ιδιότητες των στερεών και των υγρών (ιξωδοελαστικά ή βισκοελαστικά σώματα).

Γενικά, υπάρχουν τρεις κατηγορίες μη-ιδανικών ρευστών:

α) **χρονικά- ανεξάρτητα ρευστά** (time- independent fluids), όπου η  $\sigma$  εξαρτάται μόνο από το  $\dot{\gamma}$  (π.χ. αραιά συστήματα κολλοειδών, πουρές φρούτων).

β) **χρονικά –εξαρτώμενα** (time- dependent fluids), όπου η  $\sigma$  εξαρτάται από το  $\dot{\gamma}$ , τη διάρκεια εφαρμογής της τάσης και πιθανώς το χρόνο που παρεμβάλλεται μεταξύ

διαδοχικών μετρήσεων ( π.χ. λεύκωμα αυγού, πηκτά αιωρήματα ζελατινοποιημένου αμύλου ή πρωτεϊνών και γενικά προϊόντων των οποίων η μακρο-δομή είναι ευαίσθητη στη διάτμηση).

γ) **ιξωδοελαστικά ή βισκοελαστικά** ( viscoelastic fluids ), όπου παρατηρείται μια μικρή ανάκτηση της παραμόρφωσης με την απομάκρυνση της τάσης. Τα υλικά αυτά εμφανίζουν τις ιδιότητες των στερεών και των υγρών (π.χ. πηκτές αμύλου και ζελατίνης, αρτόμαζα, προϊόντα αυγού).

Μολονότι οι κατηγορίες αυτές παρέχουν ένα εύχρηστο σχήμα ταξινόμησης και ανάλυσης της μη- Νευτώνιας συμπεριφοράς ρευστών τροφίμων, για πολλά προϊόντα είναι πιθανό να εμφανιστούν ιδιότητες που περιλαμβάνονται σε περισσότερες από μία κατηγορίες ανάλογα με τις συνθήκες δοκιμασίας του προϊόντος (τάση, γ, χρόνος, θερμοκρασία). Για παράδειγμα, οι πηκτές σε μικρές παραμορφώσεις επανακτούν μερικώς το αρχικό τους σχήμα μετά την απομάκρυνση της τάσης (ιξωδοελαστική συμπεριφορά). Όταν όμως εφαρμόζονται μεγάλες τάσεις για μακρά χρονικά διαστήματα, τότε ο ελαστικός χαρακτήρας εξαφανίζεται και η όλη συμπεριφορά του υλικού γίνεται χρονικά - εξαρτημένη. Τέλος, σε μεγάλες διατμητικές τάσεις ή υψηλή θερμοκρασία, το προϊόν μπορεί να χάσει τη μακρο-δομή του και επομένως να συμπεριφέρεται σαν χρονικά – ανεξάρτητο ρευστό. (6)

## **6.4 Μετρήσεις ρεολογικών ιδιοτήτων**

### **Θεμελιώδεις και εμπειρικές δοκιμές**

Επειδή η υφή των τροφίμων περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών, οι μέθοδοι αντικειμενικού προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων ενός προϊόντος συσχετίζονται μερικά μόνο με τον οργανοληπτικό έλεγχο. Κάθε όργανο μπορεί να ανιχνεύσει ορισμένα μόνο χαρακτηριστικά της υφής από εκείνα που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται με το σύνολο των αισθητηρίων του. Έτσι, η χρησιμοποίηση και η αξία μιας μεθόδου αντικειμενικού προσδιορισμού της υφής εξαρτάται από το βαθμό συσχέτισης των αποτελεσμάτων της με ορισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ή άλλους δείκτες ποιότητας του προϊόντος.



Γενικά, οι αντικειμενικές μέθοδοι εκτίμησης της υφής των τροφίμων, ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

α) θεμελιώδεις δοκιμές μέτρησης της σταθεράς ελαστικότητας του Young του ιξώδους του υλικού ή κάποιων άλλων θεμελιωδών ρεολογικών παραμέτρων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών εκφράζονται στις βασικές μονάδες των αντίστοιχων βασικών μεγεθών ( N, Pa, m, kg, s, κλπ). Έτσι δίνεται η δυνατότητα για σύγκριση των αποτελεσμάτων από διάφορα όργανα και διάφορες μεθόδους. Με τα όργανα αυτά συνήθως γίνονται παρατηρήσεις κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, παραμόρφωσης, χρόνου κλπ. Παρόλο που οι δοκιμές βασίζονται σε θεμελιώδεις αρχές πολλές φορές τα αποτελέσματα δεν συσχετίζονται με εκείνα της οργανοληπτικής εξέτασης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα περισσότερα προϊόντα τροφίμων είναι ετερογενή συστήματα διαφόρων συστατικών και πολλαπλών φάσεων με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μια περίπλοκη μηχανική συμπεριφορά. Ορισμένα όργανα θεμελιωδών δοκιμών έχουν υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, ενώ οι αντίστοιχες δοκιμές που γίνονται μπορεί να είναι αρκετά χρονοβόρες.

β) εμπειρικές δοκιμές των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού με κάποιο όργανο που έχει σχεδιαστεί για μια συγκεκριμένη δοκιμή και συχνά αφορά ένα συγκεκριμένο προϊόν ή διεργασία παραγωγής του. Η βαθμολογία των οργάνων αυτών γίνεται σε εμπειρικές μονάδες που δεν συσχετίζονται με τις βασικές μονάδες μέτρησης φυσικών μεγεθών. Εξάλλου οι μετρήσεις γίνονται σε περιορισμένο εύρος συνθηκών (παραμόρφωσης, θερμοκρασίας κλπ). Το πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι ότι τα όργανα είναι απλά και εύχρηστα, ενώ οι πληροφορίες που δίνονται για την υφή συσχετίζονται ικανοποιητικά με τα οργανοληπτικά του τροφίμου.

γ) δοκιμές απομίμησης της μάσησης, που επίσης ανήκουν στην προηγούμενη κατηγορία των εμπειρικών δοκιμών. (6)

## 7. Σκοπός

Σκοπός του πειράματός μας ήταν να μελετήσουμε τις μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τροφίμων ή μοντέλων τροφίμων, που έχουν ως βασικό συστατικό άμυλο, όταν αυτά συντηρηθούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Συγκεκριμένα μελετήσαμε τη συντήρηση των δειγμάτων με ψύξη, με κατάψυξη και χρήση μικροκυμάτων μετά από την κατάψυξη.

## 8. Υλικά και Μέθοδοι

Στην ερευνητική αυτή εργασία μελετήσαμε τη συμπεριφορά κατά την αποθήκευση τριών ειδών αμύλου: αραβοσίτου, ρυζιού και πατάτας σε δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις, 6%w/w και 12%w/w. Μελετήθηκε η αποθήκευση του ίδιου δείγματος αμύλου κατά τη διάρκεια 7ημερών και συγκεκριμένα μελετήσαμε τη δομή του κατά την 2<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup>, 5<sup>η</sup>, 6<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> μέρα συντήρησης. Το κάθε δείγμα παρασκευαζόταν τρεις φορές έτσι ώστε η αποθήκευσή του να γίνει με τους εξής τρόπους: το πρώτο στην ψύξη (-5° C), το δεύτερο στην κατάψυξη (-20° C) και το τρίτο στην κατάψυξη (-20° C) αλλά μια μέρα πριν τη μελέτη της δομής τους το δεύτερο το αφήναμε να αποψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ενώ στο τρίτο δείγμα γίνονταν επεξεργασία σε φούρνο μικροκυμάτων για ένα λεπτό στα 440W. Τέλος έγιναν ρεολογικές μετρήσεις και στα τρία δείγματα τα οποία περιείχαν άμυλο αραβοσίτου, άμυλο ρυζιού και άμυλο πατάτας.

## 8.1 Υλικά

Άμυλο αραβοσίτου (27% w/w Αμυλόζη) → προϊόν της εταιρίας Sigma

Άμυλο ρυζιού (21% w/w Αμυλόζη) → Starch from rice, Duchefa Biochemie,  
(Product number: S1324.1000),  
(Lot. No.: 003004.03)

Άμυλο πατάτας (17% w/w Αμυλόζη) → Starch from potatoes, AppliChem,  
Biochemica Chemica Synthesis Services,  
(Cas – No.: 9005-84 -9),  
(Lot: 9M001235),  
Loss on drying → max 20%  
pH (2%:H<sub>2</sub>O) → 6- 7,5 (20° C)  
MB= (162,14)<sub>n</sub> g/mol

Κρέμα Καραμελέ → Κρέμα Καραμελέ ΓΙΩΤΗΣ,

επιδόρπιο γάλακτος με καραμέλα, καθαρό βάρος 400gr  
(Συστατικά: γάλα πλήρες (76%), σιρόπι καραμέλας (10%)  
(ζάχαρη, σιρόπι γλυκόζης – φρουκτόζης, νερό, τροποποιημένο  
άμυλο, πυκνωτικά μέσα: πηκτίνη, ξανθανικό κόμμι), ζάχαρη,  
δεξτρόζη σίτου, άμυλο πατάτας, αρωματικές ύλες,  
σταθεροποιητές: καρραγενάνη, ξανθανικό κόμμι, πρωτεΐνες  
γάλακτος, χρωστικές: λουτεΐνη, εκχυλίσματα πάπρικας, λιπαρά  
2,6%, ολικά στερεά 27% )

## 8.2 Μέθοδος

Οι παρατηρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων και συγκεκριμένα των μετρήσεων δομής έγιναν με το μηχάνημα AEGIS, Texture Analyzer. Τα δείγματά μας είχαν διάμετρο 9cm και ύψος 22-25cm. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε έμβολο διαμέτρου 20mm οποίο εισέρχονταν στο δείγμα με ταχύτητα 100mm/λεπτό και σε βάθος 12,5mm. Το ίδιο δείγμα χωριζόταν σε τρία μέρη. Το πρώτο αποθηκεύονταν και συντηρούνταν στην ψύξη και το δεύτερο και το τρίτο τοποθετούνταν στην κατάψυξη. Μια ημέρα πριν τη μέτρηση γίνονταν η απόψυξή τους στο μεν ένα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και στο δε άλλο με χρήση φούρνου μικροκυμάτων για ένα λεπτό στα 440W. Για να ολοκληρωθούν οι μετρήσεις των δειγμάτων μετρήθηκε επίσης το υγρό της συναίρεσης κατά την αποθήκευσή τους.



Εικόνα 21. Συναίρεση



Εικόνα 25. Texture Analyzer



Εικόνα 26. Έμβολο που εισέρχεται στο δείγμα

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**  
**“Αποτελέσματα”**



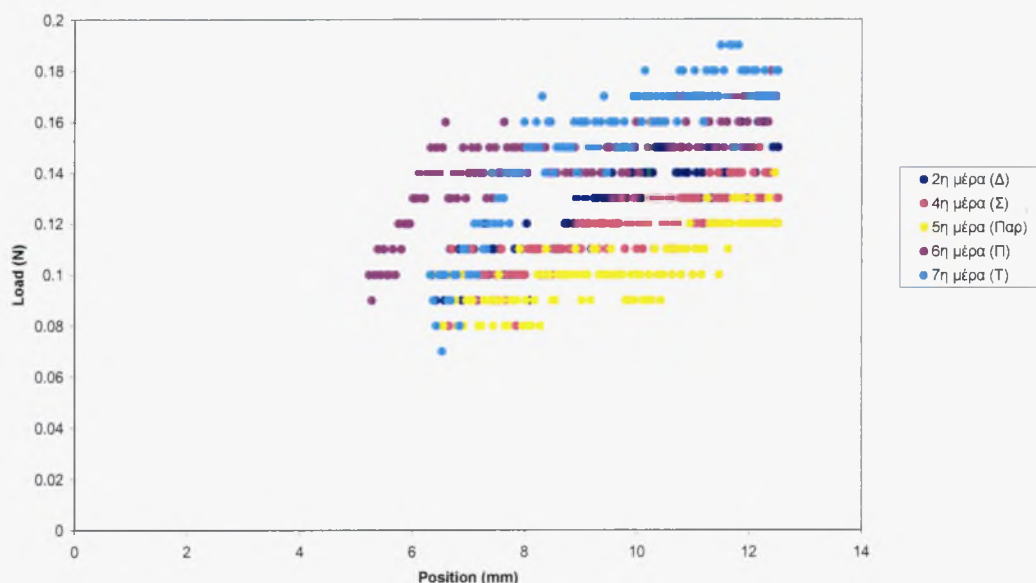
## 2. Αποτελέσματα

Αριθμός ημέρας	Ημέρες αποθήκευσης του δείγματος
2 <sup>η</sup>	2
4 <sup>η</sup>	4
5 <sup>η</sup>	5
6 <sup>η</sup>	6
7 <sup>η</sup>	7

Πίνακας 1. Προσδιορισμός των υπομημάτων των γραφικών παραστάσεων

### 2.1 6%w/w Άμυλο Αραβοσίτου

6%w/w Άμυλο Αραβοσίτου - συντήρηση σε Ψύξη



Γράφημα 1

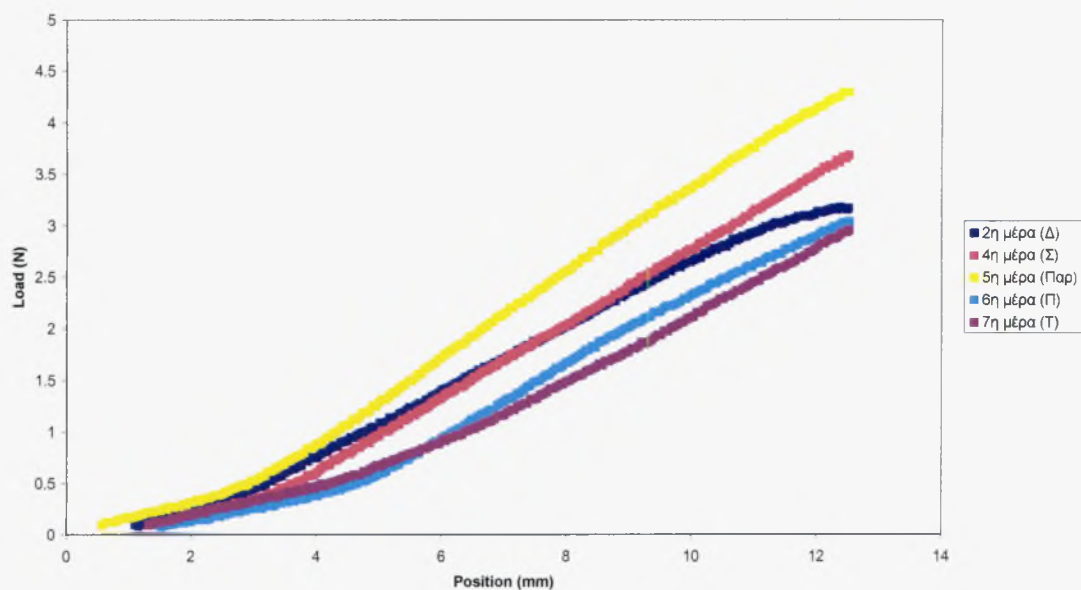
Τα δείγματα με περιεκτικότητα αμύλου αραβοσίτου 6%w/w έπειτα από τη μέτρηση που τους έγινε διαπιστώσαμε ότι ήταν πολύ μαλακά στην υφή τους και έτσι δεν πήραμε ικανοποιητικά αποτελέσματα και αυτό φαίνεται και στη γραφική μας παράσταση όπου τα σημεία δεν σχηματίζουν μια καμπύλη αλλά οι τιμές είναι διάσπαρτες (Γράφημα 1.).

Γενικά εκ πρώτης όψεως τα δείγματα ήταν κρεμώδη και παρόλο που φαίνονταν συμπαγή, η δομή τους ήταν ρευστή (εικόνα 1.). Το χρώμα τους ήταν λευκό και το υγρό της συναίρεσής τους διάφανο.



εικόνα 22

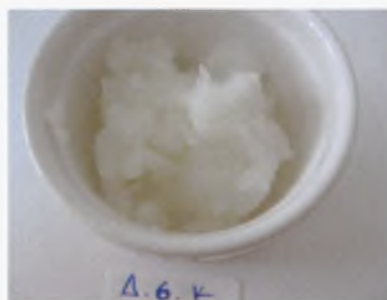
6%w/w Άμυλο Αραβοσίτου - συντήρηση σε Κατάψυξη και απόψυξη σε Θ. περιβάλλοντος

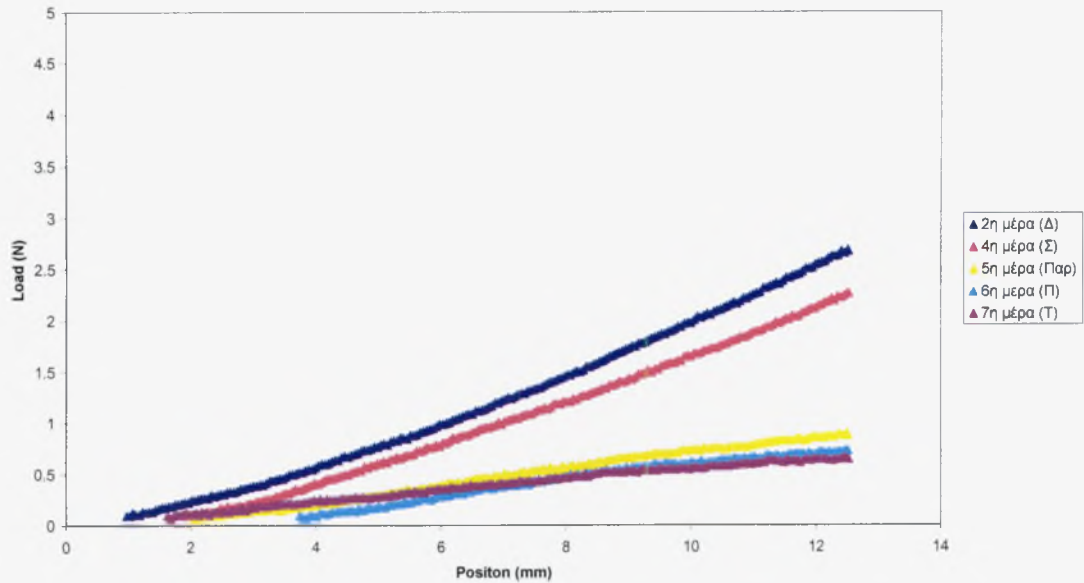


Γράφημα 2

Τα δείγματα της κατάψυξης όπως βλέπουμε από τη γραφική είναι ελαστικά με αυτά της 2<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> μέρας να απαιτούν μεγαλύτερη δύναμη από αυτά των τελευταίων ημερών 6<sup>ης</sup> και 7<sup>ης</sup> (Γράφημα 2.).

Στην επιφάνεια του δείγματος το έμβολο δεν αφήνει κανένα σημάδι έπειτα από την εφαρμογή του. Η υφή των δειγμάτων είναι σπογγώδη. Το χρώμα τους ήταν κιτρινωπό σε σχέση με τα δείγματα της ψύξης και το υγρό της συναίρεσης ήταν καθαρό.

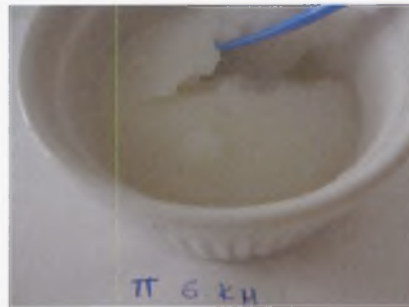




Γράφημα 3

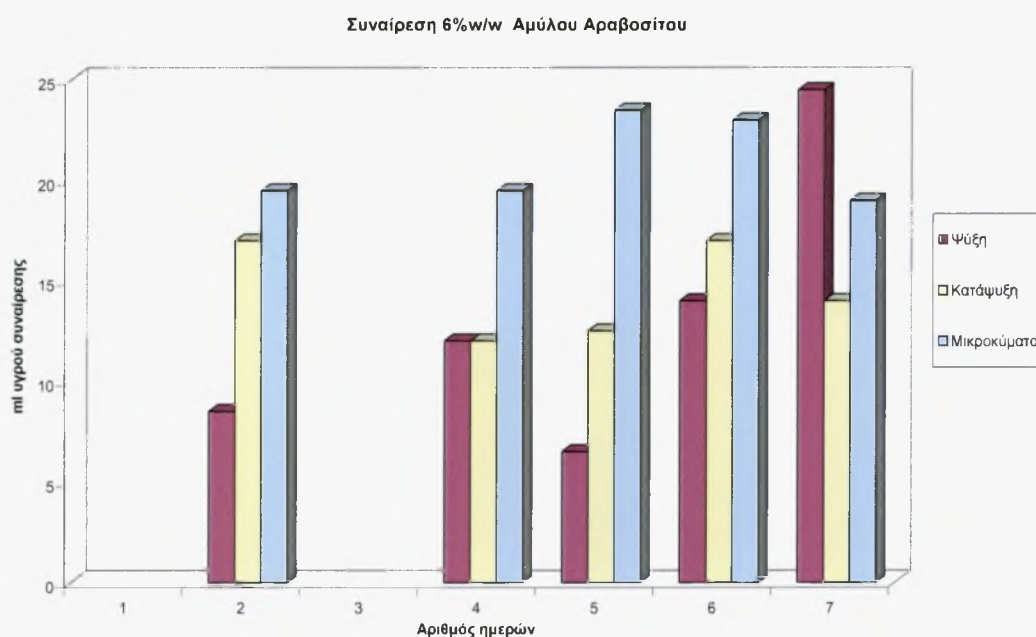
Τα δείγματα των μικροκυμάτων είναι αρκετά συνεκτικά και ελαστικά και μάλιστα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι είναι σταδιακή αυτή η ελαστικότητα ανάλογα με τη μέρα παρασκευής τους. Από τη γραφική συμπεραίνουμε πως το δείγμα της 2<sup>ης</sup> μέρας είναι πιο ελαστικό από αυτό της 4<sup>ης</sup>, της 5<sup>ης</sup>, της 6<sup>ης</sup> και τέλος λιγότερο ελαστικό είναι της 7<sup>ης</sup> μέρας. Από την 5<sup>η</sup> μέρα και έπειτα τα δείγματα τείνουν να είναι υγρά, δεν φαίνεται να έχει σχηματιστεί πηκτή (Γράφημα 3).

Τα δείγματα έχουν και πάλι σπογγώδη υφή και χωρίς ίχνος από το έμβολο στην επιφάνειά τους. Το χρώμα τους ήταν γυαλιστερό και ομοιόμορφο και το υγρό της συναίρεσης ήταν καθαρό.



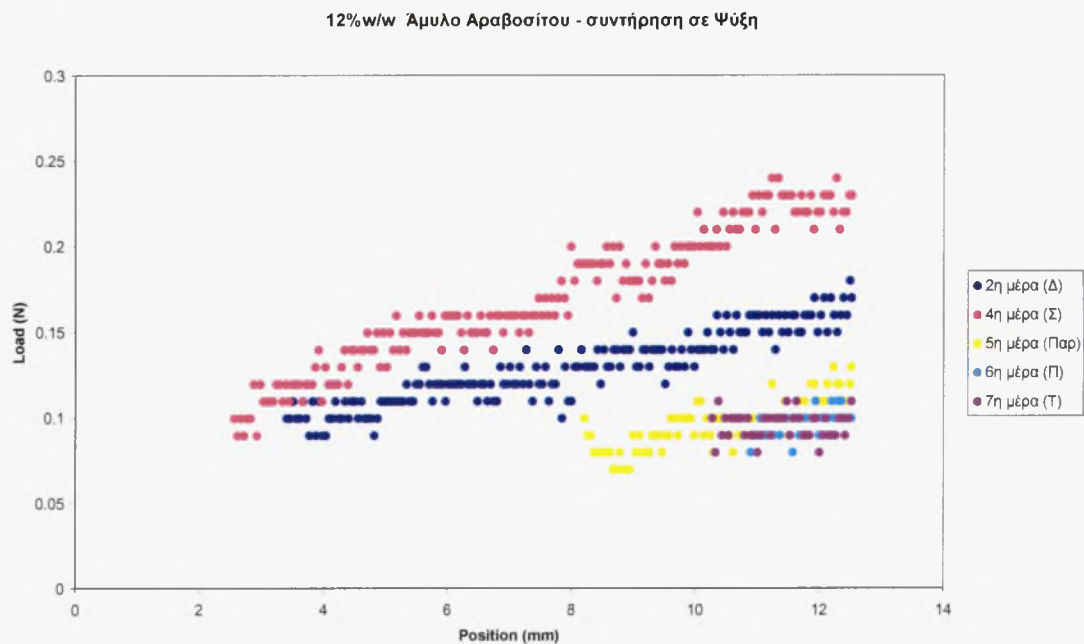
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της κατάψυξης και των μικροκυμάτων συμπεραίνουμε ότι οι δυνάμεις που απαιτούνται για την παραμόρφωση των δειγμάτων που αποθηκεύτηκαν στην κατάψυξη είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες δυνάμεις που απαιτήθηκαν για τα ίδια δείγματα που αποθηκεύτηκαν στην ψύξη και στην κατάψυξη αλλά με απόψυξη σε φούρνο των μικροκυμάτων. Μετά την αποθήκευση στην κατάψυξη και εν συνεχεία την επεξεργασία στα μικροκύματα παρατηρήσαμε ότι η ισχύς της πηκτής του αμύλου ελαττώνεται με το χρόνο αποθήκευσης.

## Συναίρεση



Από τη γραφική παράσταση της συναίρεσης βλέπουμε πως τα δείγματα είχαν το λιγότερο υγρό συναίρεσης κατά την αποθήκευσή τους στην ψύξη, (με εξαίρεση την 7<sup>η</sup> μέρα), έπειτα στην κατάψυξη και τέλος στα μικροκύματα.

## 2.2 12%w/w Άμυλο Αραβοσίτου



Γράφημα 4

Τα δείγματα της ψύξης με περιεκτικότητα αμύλου 12%w/w αραβοσίτου φαίνονταν συνεκτικά αλλά η δομή τους ήταν μαλακή και έτσι δεν έχουμε κάποια καμπύλη στη γραφική μας παράσταση. Συνεπώς και οι τιμές είναι διάσπαρτες (Γράφημα 4).

Η υφή τους είναι κρεμώδη και φαίνεται πιο συνεκτική από αυτά της ψύξης με 6%w/w περιεκτικότητα. (εικόνα 2,3). Η πηκτή είναι αρκετά παχύρρευστη που 'στέκεται' επάνω στο κουτάλι αλλά παρ' όλ' αυτά δεν αφήνει σημάδι από την ανάδευση. Το χρώμα τους είναι γυαλιστερό και το υγρό της συναίρεσής τους είναι καθαρό.

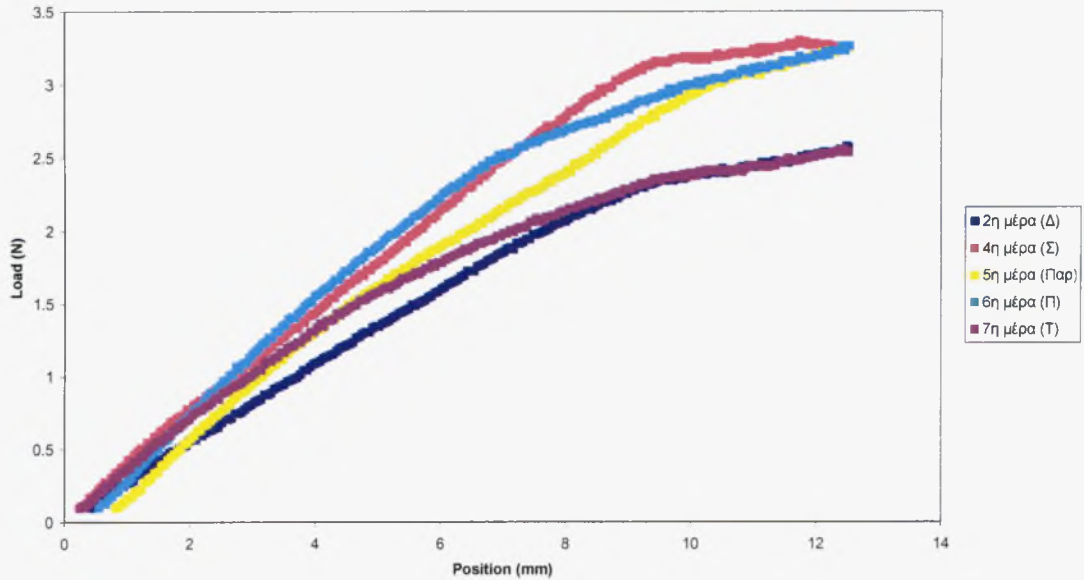


εικόνα 2



εικόνα 3





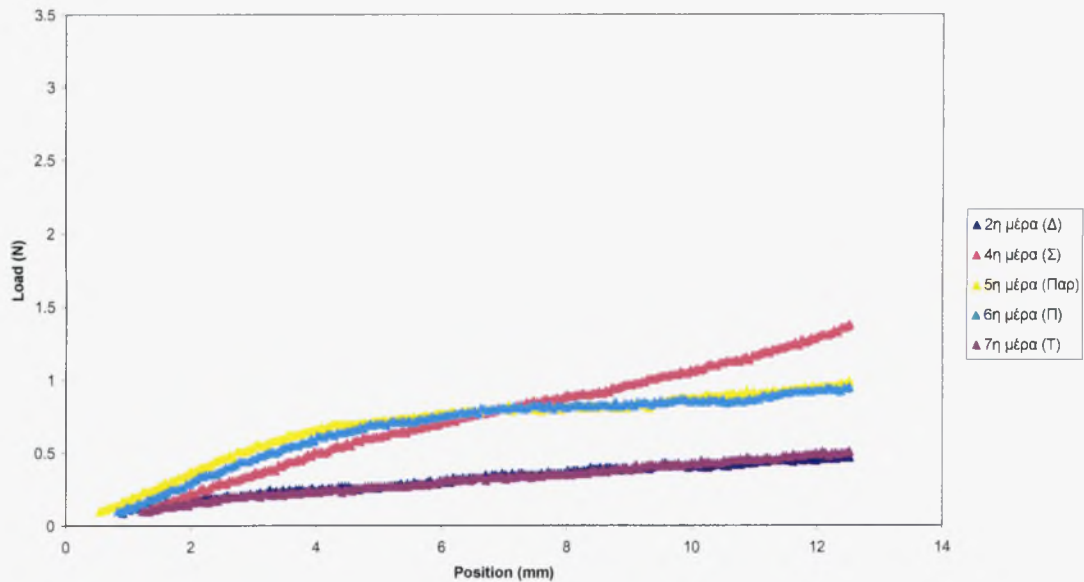
Γράφημα 5

Όπως βλέπουμε και από τη γραφική μας παράσταση τα δείγματα είναι αρκετά ελαστικά με ομοιόμορφη δομή, με αυτά της 2<sup>ης</sup>, 4<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> μέρας να απαιτούν τη μεγαλύτερη δύναμη για την παραμόρφωσή τους (Γράφημα 5).

Η υφή τους είναι σπογγώδη. Με την πίεση εξάγει το νερό που είναι αποθηκευμένο και με την απελευθέρωση 'ρουφάει' ξανά και επανέρχεται σχεδόν στη αρχική του κατάσταση.

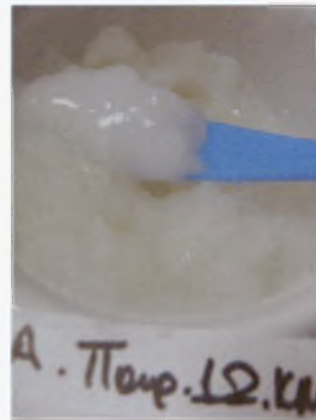






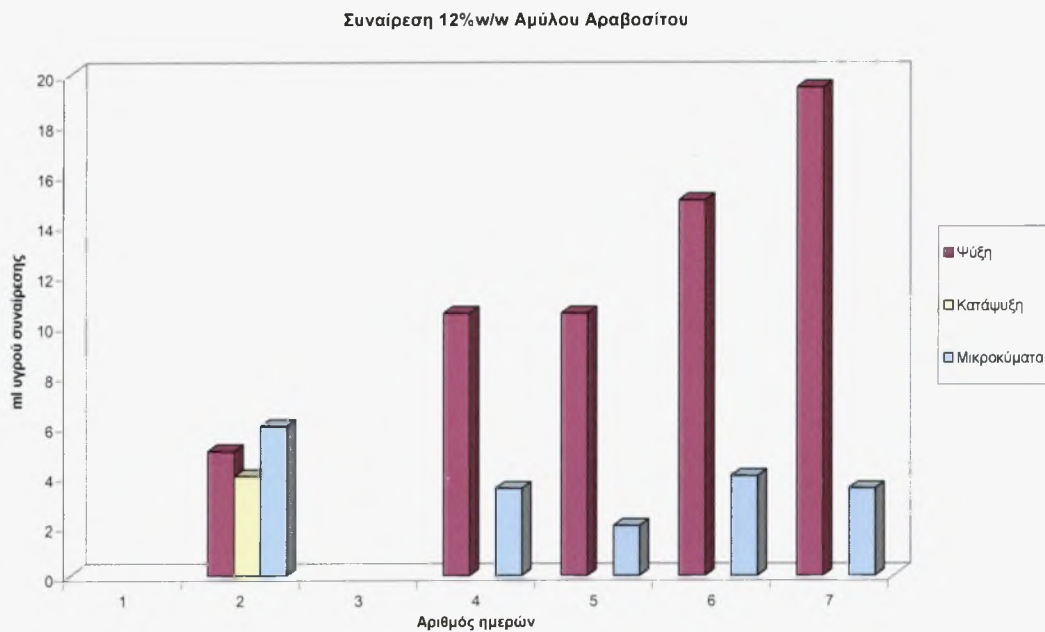
Γράφημα 6

Από τη γραφική συμπεραίνουμε ότι τα δείγματα είναι μεν ελαστικά αλλά όχι αρκετά, όσο αυτά της κατάψυξης. Χαρακτηριστικά τα δείγματα της 2<sup>ης</sup> και 7<sup>ης</sup> μέρας είναι τόσο μαλακά που τείνουν να είναι ρευστά ενώ η γραφική των δειγμάτων της 4<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> μέρας μοιάζουν να έχουν συμπεριφορά plastic dispersion όπου είναι μεν gel αλλά έχουν την τάση να απλώνονται (Γράφημα 6).



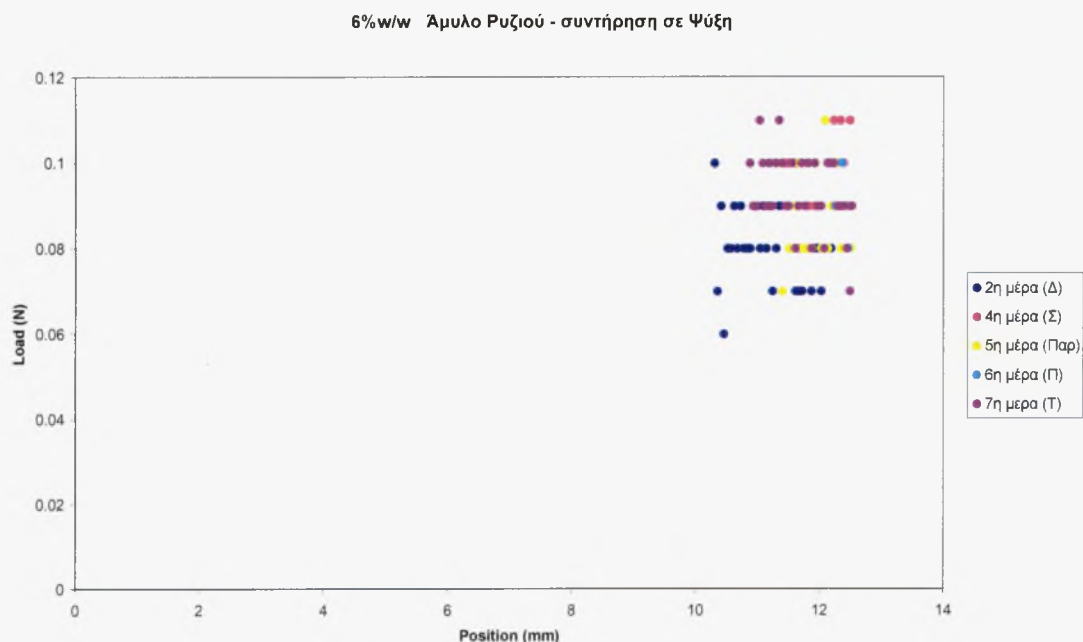
Κατά την αποθήκευση των δειγμάτων στην κατάψυξη με απόψυξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σχηματίζονται πηκτές που απαιτούν μεγαλύτερες δυνάμεις παραμόρφωσης απ' ότι όταν τα δείγματα αποθηκευτούν στην κατάψυξη με απόψυξη με μικροκύματα.

## Συναίρεση



Από τη γραφική παράσταση βλέπουμε πως με συγκέντρωση 12%w/w άμυλο αραβοσίτου τα δείγματα που είχαν συντηρηθεί στην ψύξη είχαν πολύ υγρό συναίρεσης σε σχέση με αυτά που μετά την κατάψυξη, για την απόψυξή τους χρησιμοποιήθηκε φούρνος μικροκυμάτων. Ενώ αυτά που είχαν συντηρηθεί στην κατάψυξη δεν είχαν καθόλου υγρό συναίρεσης (με εξαίρεση τη 2<sup>η</sup> μέρα).

## 2.3 6%w/w Άμυλο Ρυζιού



Γράφημα 7

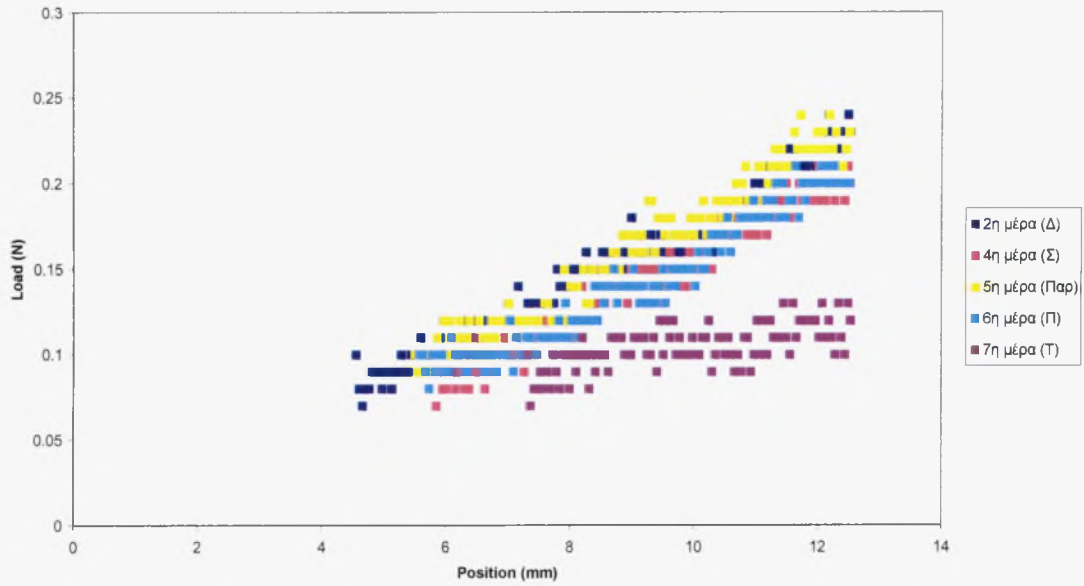
Τα δείγματα της ψύξης με περιεκτικότητα 6%w/w σε άμυλο ρυζιού έχουν πολύ μαλακή δομή και έτσι οι τιμές που πήραμε από τις μετρήσεις μας είναι διάσπαρτες και σχηματίζουν κάποια καμπύλη στη γραφική μας παράσταση (Γράφημα 7).

Τα δείγματα είναι πολύ κρεμώδη έως αραιά (εικόνα 4). Με τη ανάδευση δεν υπάρχει σημάδι στην πηκτή. Τα δείγματα δεν έχουν καθόλου συναίρεση.



Εικόνα 4

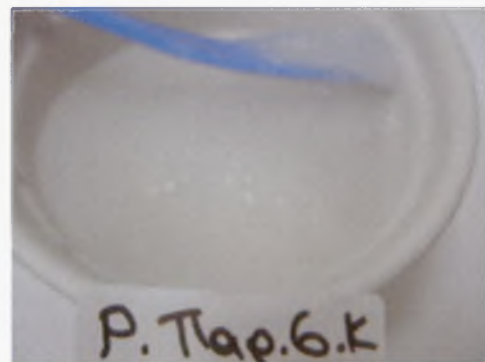
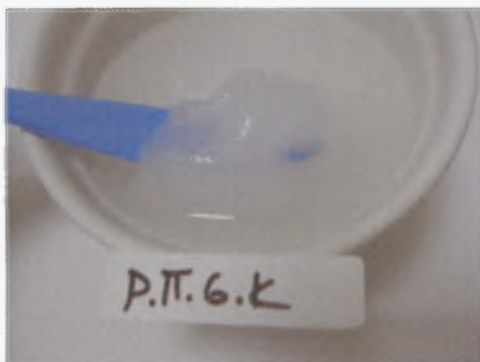
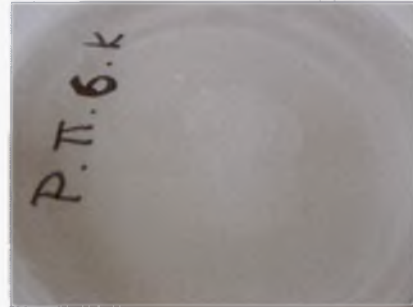
6%w/w Άμυλο Ρυζιού - συντήρηση σε Κατάψυξη και απόψυξη σε Θ.περιβάλλοντος



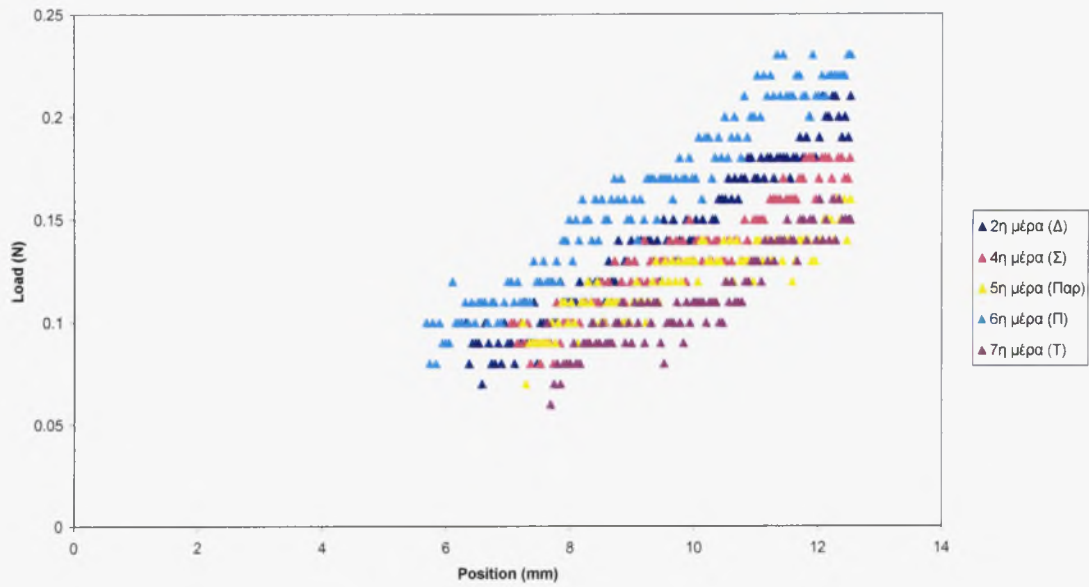
Γράφημα 8

Ομοίως τα δείγματα της κατάψυξης ήταν πολύ μαλακά, ήταν διαλύματα οι τιμές της δύναμης που ασκήθηκε ήταν εκτός της ευαισθησίας του μηχανήματός μας και συνεπώς δεν έχουμε καμπύλη στη γραφική μας παράσταση (Γράφημα 8).

Τα δείγματα έχουν πολύ μαλακή υφή και αναδεύονται εύκολα. Δεν εμφανίζουν το φαινόμενο της συναίρεσης.

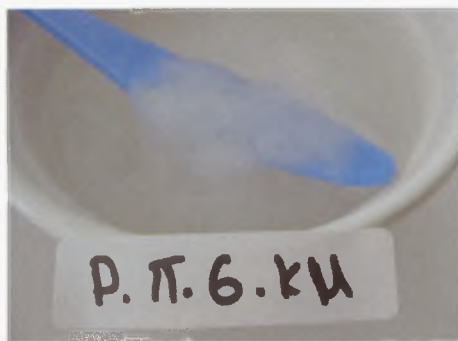


6%w/w Άμυλο Ρυζιού - συντήρηση σε κατάψυξη και απόψυξη με Μικροκύματα



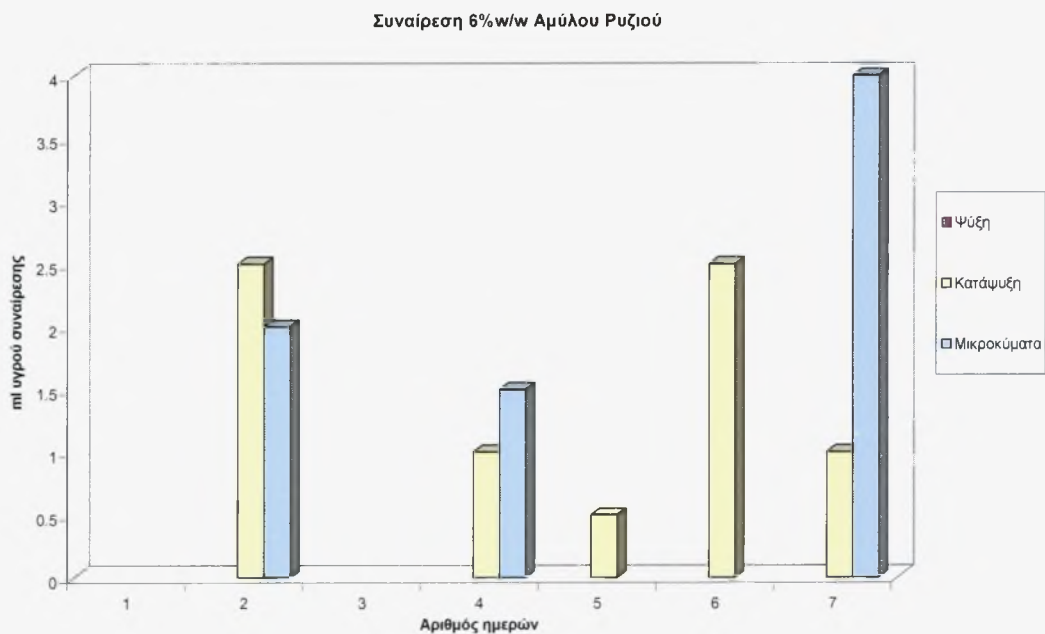
Γράφημα 9

Ομοίως τα δείγματα των μικροκυμάτων είναι πολύ μαλακά και έτσι δεν έχουμε κάποια καμπύλη στη γραφική μας (Γράφημα 9). Παρακάτω φαίνονται και οι εικόνες των δειγμάτων όπου μπορεί να διαφανεί η μορφή των δειγμάτων.



Γενικώς σε όλα τα δείγματα με περιεκτικότητα 6%w/w σε άμυλο ρυζιού τα δείγματα ήταν τόσο μαλακά που μπορούσες να τα χαρακτηρίσεις και ως διαλύματα και όχι ως πηκτές. Έτσι σε όλα τα δείγματα οι τιμές που πήραμε από το μηχάνημα ήταν εκτός του εύρους της ευαισθησίας του και συνεπώς δεν πήραμε κάποια γραφική παράσταση.

## Συναίρεση

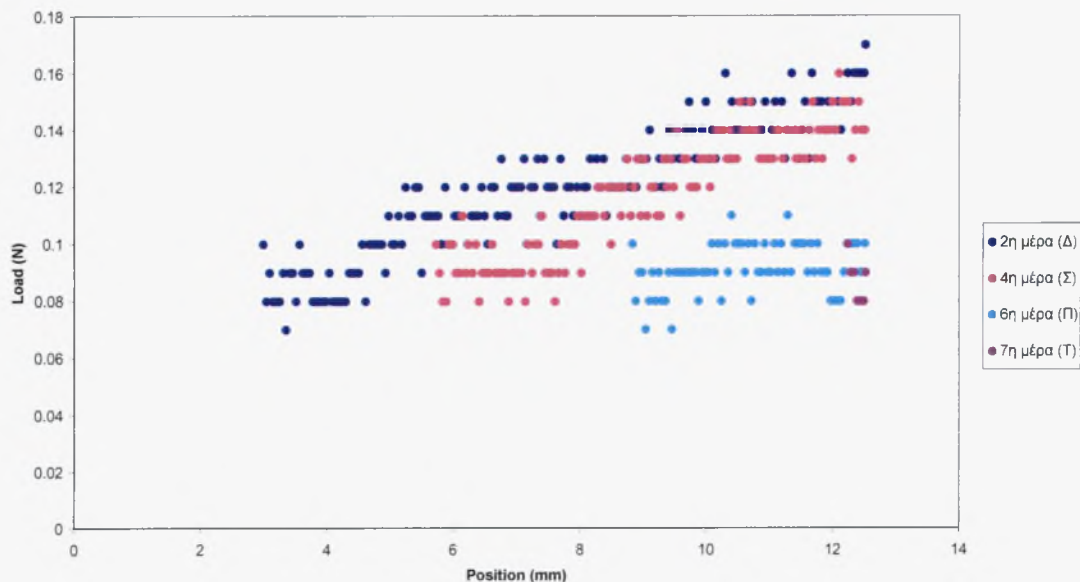


Στο γράφημα βλέπουμε πως το φαινόμενο της συναίρεσης παρατηρήθηκε μόνο έπειτα από την αποθήκευση στην κατάψυξη και έπειτα από τη μεταχείριση με τα μικροκύματα. Συνεπώς κατά την ψύξη το άμυλο του ρυζιού συγκρατούσε όλο το νερό στη δομή.



## 2.4 12% w/w Άμυλο Ρυζιού

12%w/w Άμυλο Ρυζιού - συντήρηση σε Ψύξη

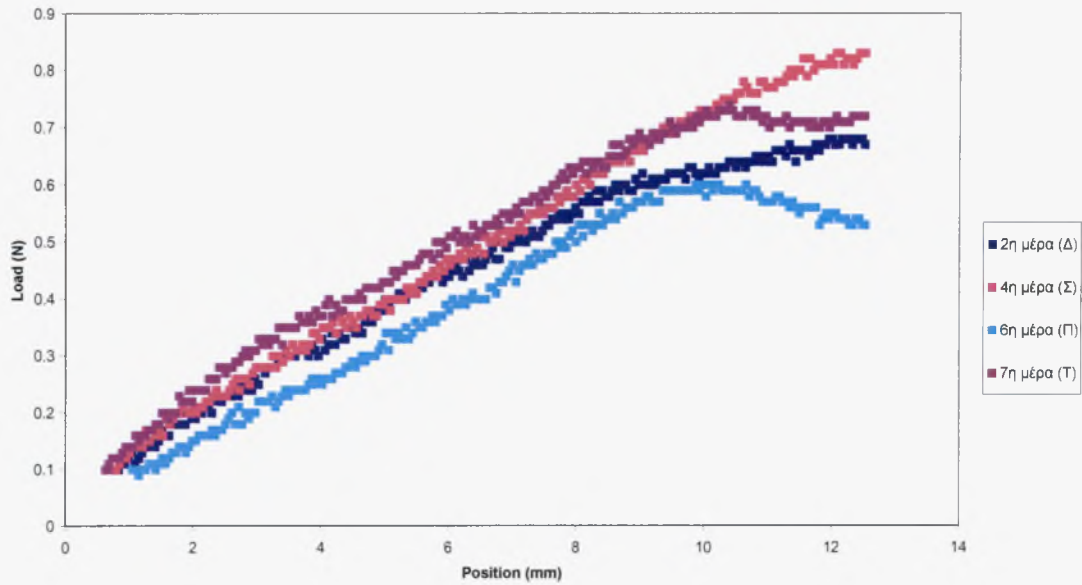


Γράφημα 10

Τα δείγματα της ψύξης με 12%w/w περιεκτικότητα σε άμυλο ρυζιού είναι και αυτά πολύ μαλακά στη δομή τους οι τιμές είναι διάσπαρτες και συνεπώς δεν έχουμε κάποια ουσιαστικά αποτελέσματα (Γράφημα 10).

Η υφή τους είναι πολύ μαλακή, είναι κρεμμώδη και μετά την ανάδευση δεν υπάρχουν ίχνη στην πηκτή.

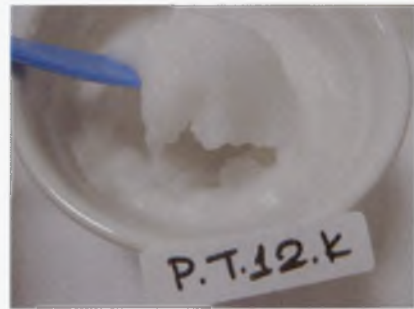


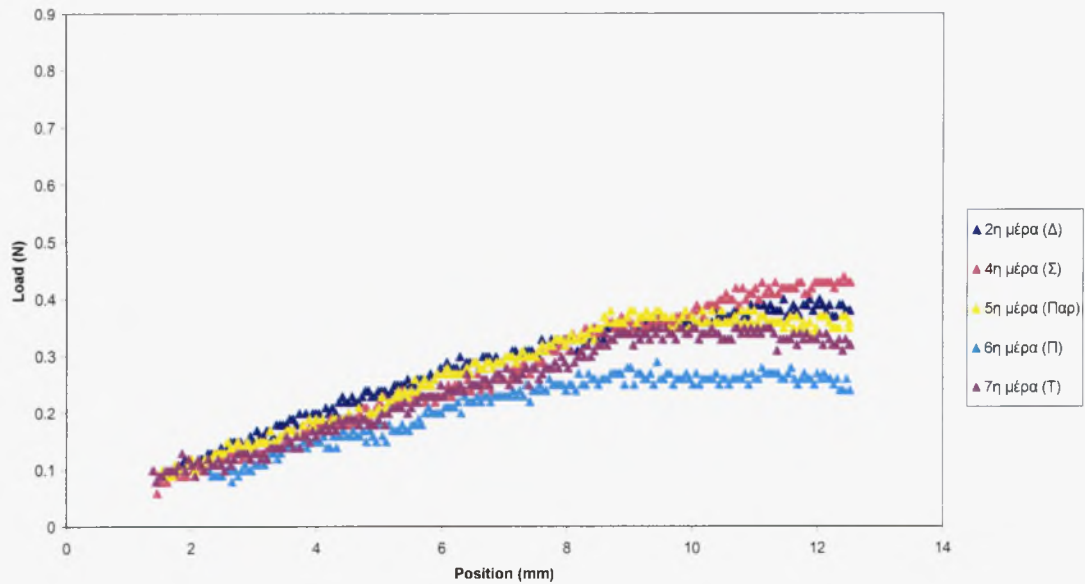


Γράφημα 11

Τα δείγματα της κατάψυξης έχουν ομοιόμορφη δομή γι' αυτό και δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στην καμπύλη της γραφικής παράστασης. Με πιο εύθραυστο το δείγμα της 6<sup>ης</sup> μέρας. Παρ' όλ' αυτά από τη μορφή της γραφικής τους μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα δείγματα αυτά έχουν συμπεριφορά ενός plastic dispersion υλικού (Γράφημα 11).

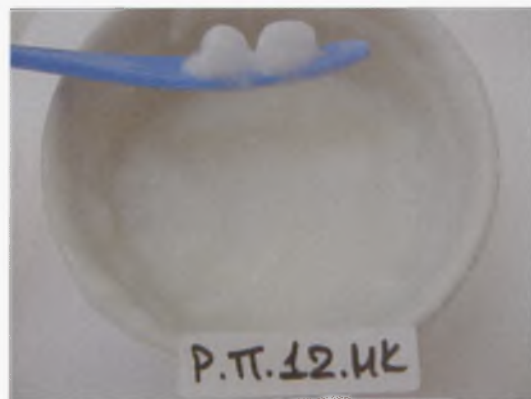
Την ημέρα εξαγωγής τους από την κατάψυξη έχουν όλα στην επιφάνειά τους ραβδώσεις και υπερυψωμένο κέντρο το οποίο την επόμενη μέρα μειώνεται. Την ημέρα της μέτρησής τους τα δείγματα είναι κρεμώδη, λευκά και παχύρευστα. Αναδεύοντάς τα αρχικά αφήνει σημάδι που μετά εξαφανίζεται. Τα δείγματα δεν έχουν υγρό συναίρεσης.



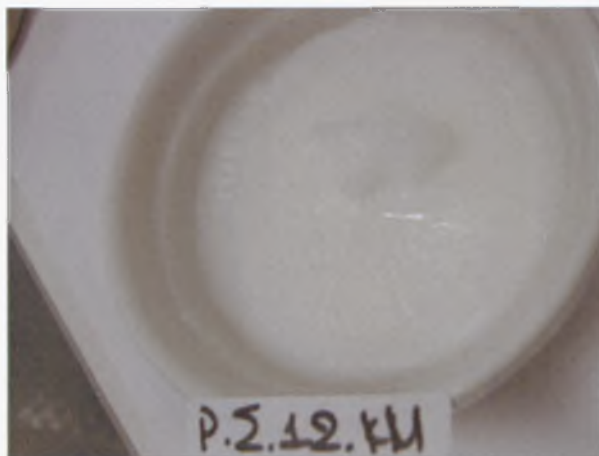


Γράφημα 12

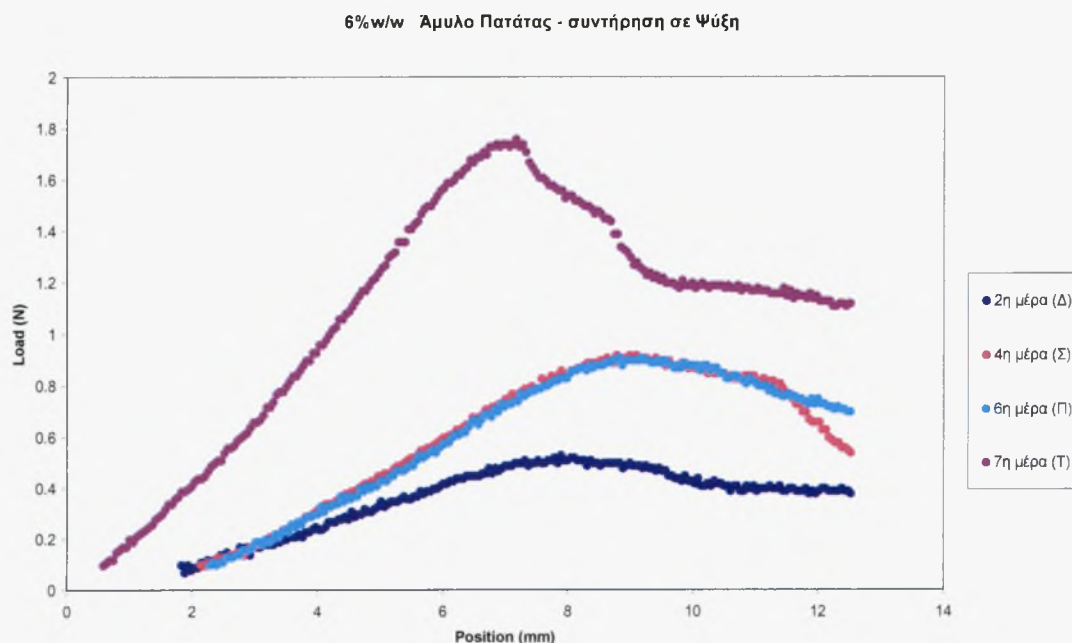
Οι μετρήσεις των μικροκυμάτων είναι οριακές και πάλι λόγω της έντονης διακυμάνσεως δεν μπορούμε με σιγουριά να πούμε ότι τα δείγματα έχουν εμφανίσει σπασίματα κατά τη μέτρηση ή είναι πολύ ελαστικά. Παρατηρούμε ότι οι δυνάμεις που απαιτούνται για να παραμορφωθούν τα δείγματα είναι μικρές και παρόμοιες όπως παρατηρήθηκε και στο γράφημα 12.



Τα δείγματα τα οποία έχουν αποθηκευθεί στην κατάψυξη και έχουν υποστεί απόψυξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος εμφανίζουν υφές οι οποίες απαιτούν μεγαλύτερες δυνάμεις παραμόρφωσης από τα αντίστοιχα δείγματα τα οποία έχουν αποθηκευτεί στην κατάψυξη και έχουν υποστεί απόψυξη με θέρμανση στο φούρνο μικροκυμάτων.



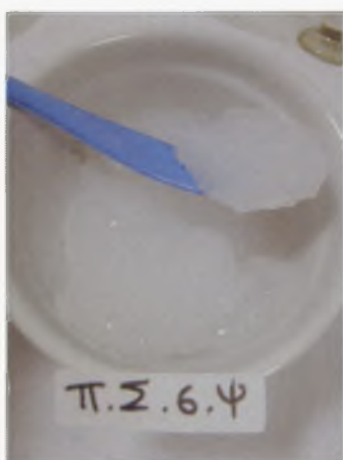
## 2.5 6% w/w Άμυλο Πατάτας



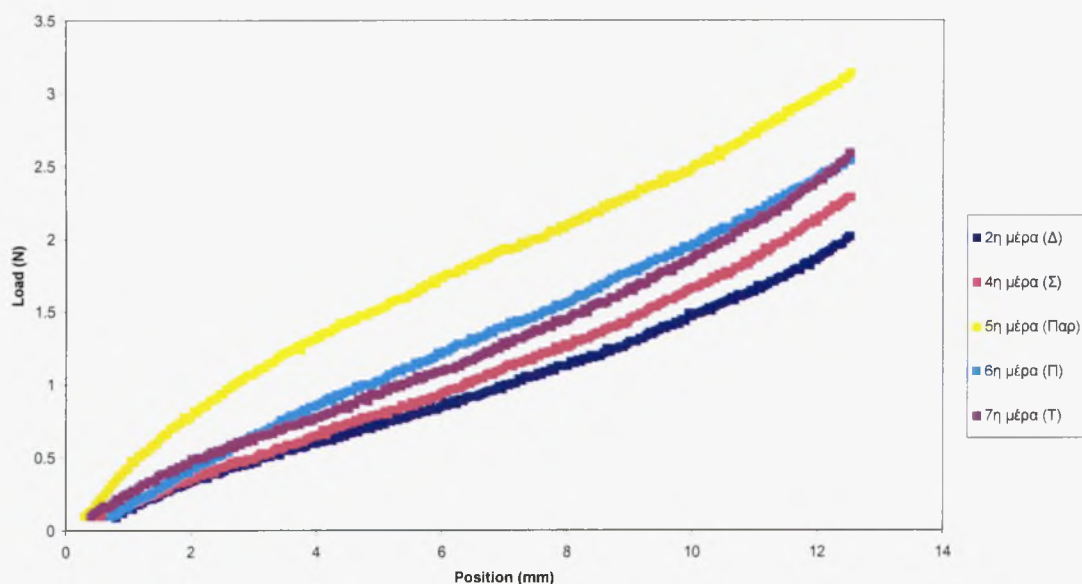
Γράφημα 13

Τα δείγματα με περιεκτικότητα 6%w/w άμυλο πατάτας έχουν σχηματίσει πηκτές. Ειδικά σε αυτό της 7<sup>ης</sup> μέρας παρατηρούμε ένα 'σπάσιμο' στη δομή του σε βάθος περίπου 7mm ενώ τα υπόλοιπα της 4<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> μέρας θα λέγαμε ότι ακολουθούν ένα άλλο μοντέλο αυτό του plastic dispersion και έχουν μια πιο μαλακή δομή που έχει την τάση να απλώνεται. Κατά την αποθήκευση των δειγμάτων στην ψύξη παρατηρούμε ότι η δομή του γίνεται πιο ισχυρή και πιο εύθραυστη καθώς ο χρόνος αποθήκευσης αυξάνεται (Γράφημα 13).

Τα δείγματα έχουν διάφανο χρώμα, μαλακή υφή η οποία με το ανακάτεμα σπάζει σε μικρότερα κομμάτια. Είναι εύπλαστα. Το υγρό της συναίρεσης είναι καθαρό.



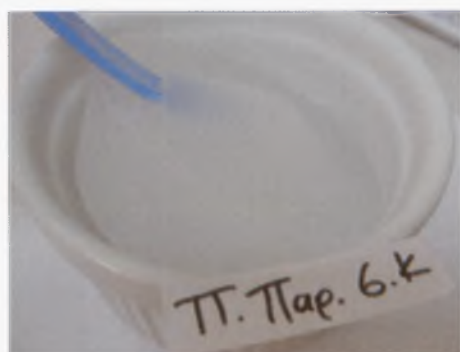




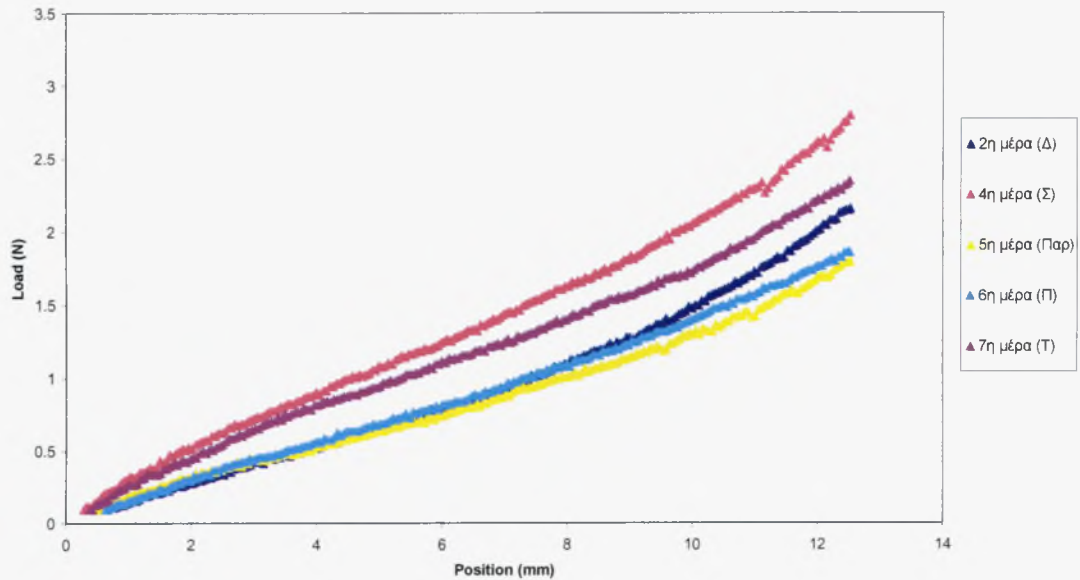
Γράφημα 14

Τα δείγματα της κατάψυξης είναι ελαστικά και συνεκτικά με αυτό της 2<sup>ης</sup> μέρας να απαιτεί λιγότερη δύναμη από το μηχανήμα από αυτό της 6<sup>ης</sup> και 7<sup>ης</sup> μέρας και με αποκορύφωμα αυτό της 5<sup>ης</sup> μέρας. Γενικώς όμως όλα τα δείγματα έχουν παρόμοια συμπεριφορά (Γράφημα 14).

Η υφή τους είναι σπογγώδη. Το χρώμα τους σχεδόν διάφανο και η δομή τους είναι πορώδη καθώς όταν ασκούμε πίεση στην πηκτή βγάζει όλο το νερό που έχει αποθηκευτεί και μετά αν το ξανατοποθετήσουμε στο νερό, επανέρχεται σχεδόν στην αρχική του κατάσταση.



6%w/w Άμυλο Πατάτας - συντήρηση σε κατάψυξη και απόψυξη με Μικροκύματα



Γράφημα 15

Τα δείγματα των μικροκυμάτων είναι πολύ ελαστικά και έχουν πολύ συνεκτική δομή και μοιάζουν αρκετά με αυτά της κατάψυξης ενώ δεν παρατηρείται σπάσιμο στη δομή τους (Γράφημα 15).

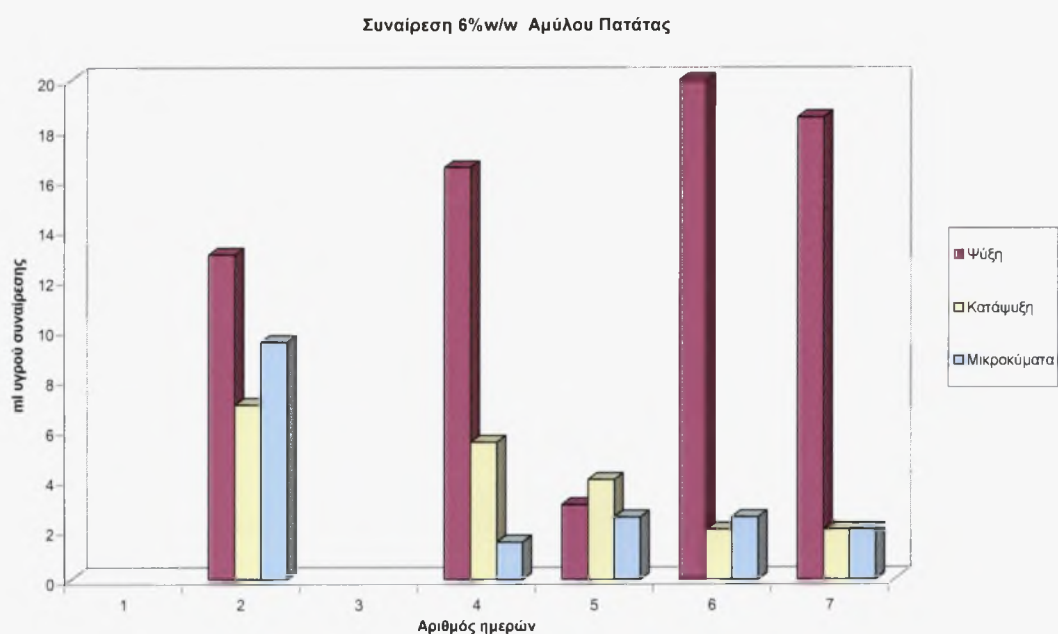
Το χρώμα τους είναι διάφανο, κυρίως περιμετρικά της πηκτής. Η υφή τους είναι σπογγώδη και κυρίως στο επάνω μέρος ενώ προς τα κάτω είναι πιο κρεμώδη. Δεν μοιάζει πολύ με τη σπογγώδη υφή του αραβοσίτου καθώς αυτά της πατάτας δεν επανέρχονται εύκολα και γρήγορα στην αρχική του θέση.





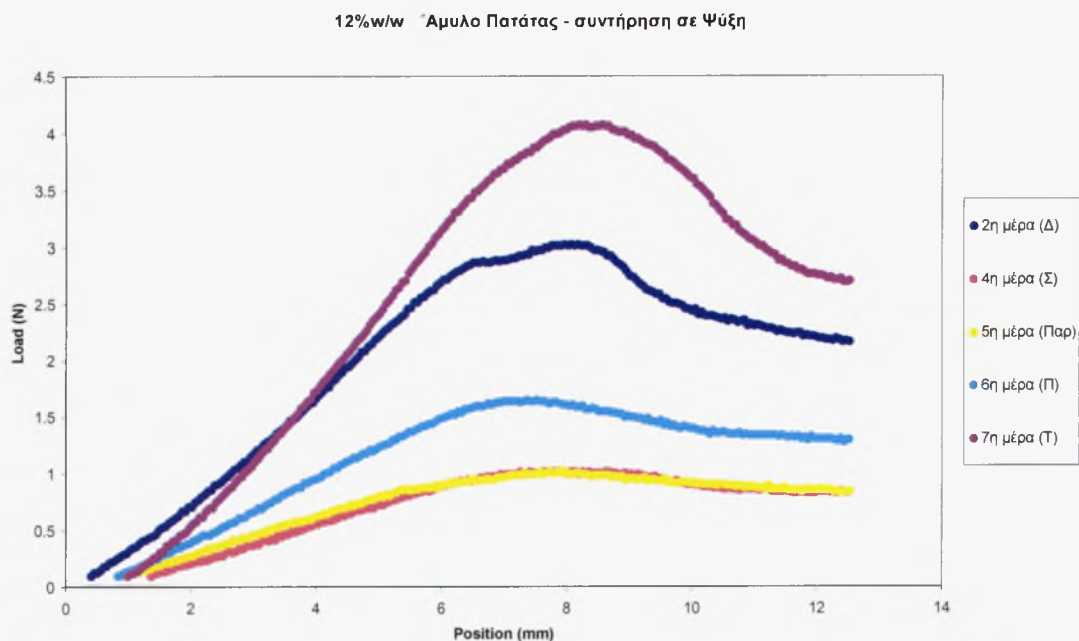
Όλα τα δείγματα ήταν πολύ ελαστικά με παρόμοια συμπεριφορά μόνο που διέφεραν στην δύναμη που έπρεπε να ασκηθεί από το μηχάνημα για να τα παραμορφώσει. Τα δείγματα της κατάψυξης και των μικροκυμάτων απαιτούσαν σχεδόν τις ίδιες δυνάμεις αυτά που είχαν συντηρηθεί στην ψύξη απαιτούσαν πολύ μικρότερες..

## Συναίρεση



Από τη γραφική παράσταση βλέπουμε πως στα δείγματα της ψύξης τα οποία δεν ήταν τόσο ελαστικά όσο τα υπόλοιπα παρατηρείται πολύ έντονα το φαινόμενο της συναίρεσης ενώ στα υπόλοιπα δείγματα της ψύξης και των μικροκυμάτων είναι εμφανώς λιγότερο έντονο.

## 2.6 12% w/w Άμυλο Πατάτας



Γράφημα 16

Τα δείγματα με περιεκτικότητα 12%w/w άμυλο πατάτας έχουν σχηματίσει πηκτές και παρουσιάζουν τη συμπεριφορά ενός plastic dispersion υλικού που έχει την τάση να απλώνεται και να γίνεται αλοιφή. Τα δείγματα της 2<sup>ης</sup> και 7<sup>ης</sup> ημέρας εμφανίζουν έναν πιο εύθραυστο χαρακτήρα στην δομή τους με την εμφάνιση ευρύων κορυφών. Η δομή τους μοιάζει με κρέμα η οποία σπάει σε κομμάτια πιέζοντάς την με το κουτάλι (εικόνα 6,7). Αν προσπαθήσουμε να τη μεταχειριστούμε, πλάθεται εύκολα στα δάχτυλα (εικόνα 8).



εικόνα 5. Συλλογή υγρού συναίρεσης



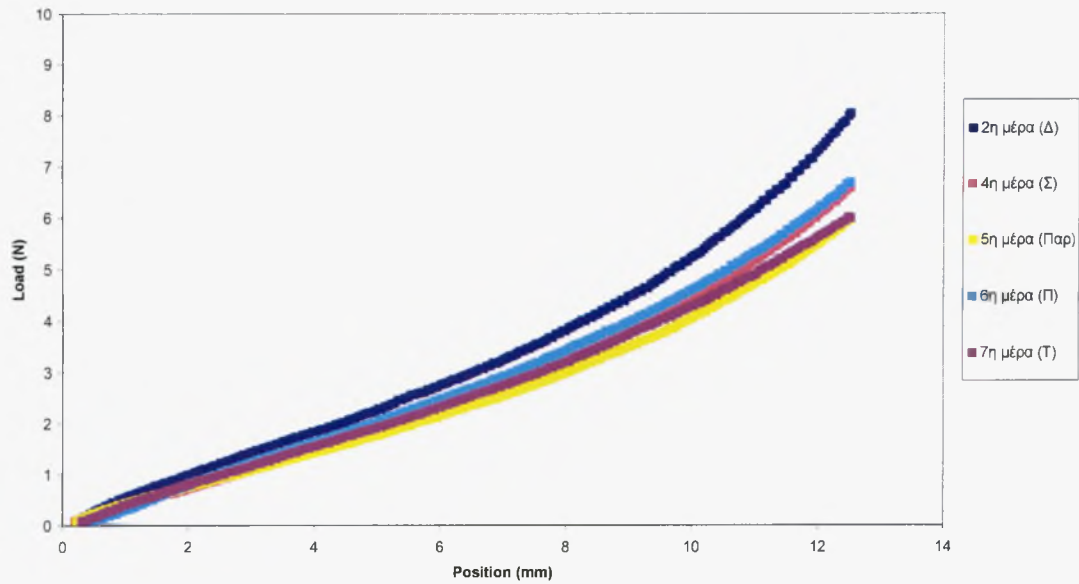
εικόνα 6



εικόνα 7



εικόνα 8

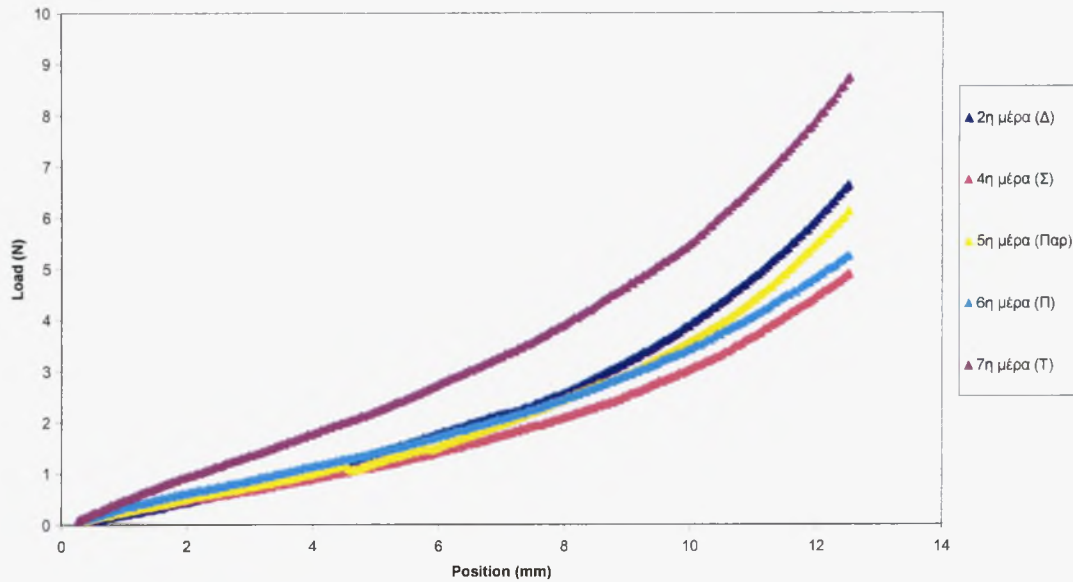


Γράφημα 17

Τα δείγματα της κατάψυξης είναι όλα πολύ ελαστικά και συνεκτικά όπως βλέπουμε και από τη γραφική μας παράσταση με πιο ελαστικό αυτό της 2<sup>ης</sup> μέρας. Παρουσιάζουν όλα την ίδια συμπεριφορά με μικρές μόνο διαφορές στη δύναμη.

Τα δείγματα έχουν κρυσταλιζέ επιφάνεια τη μέρα εξαγωγής τους από το ψυγείο το οποίο χάνεται την επομένη μέρα. Η δομή τους είναι σπογγώδη και ομοιόμορφη σε όλη τη μάζα τους.





Γράφημα 18

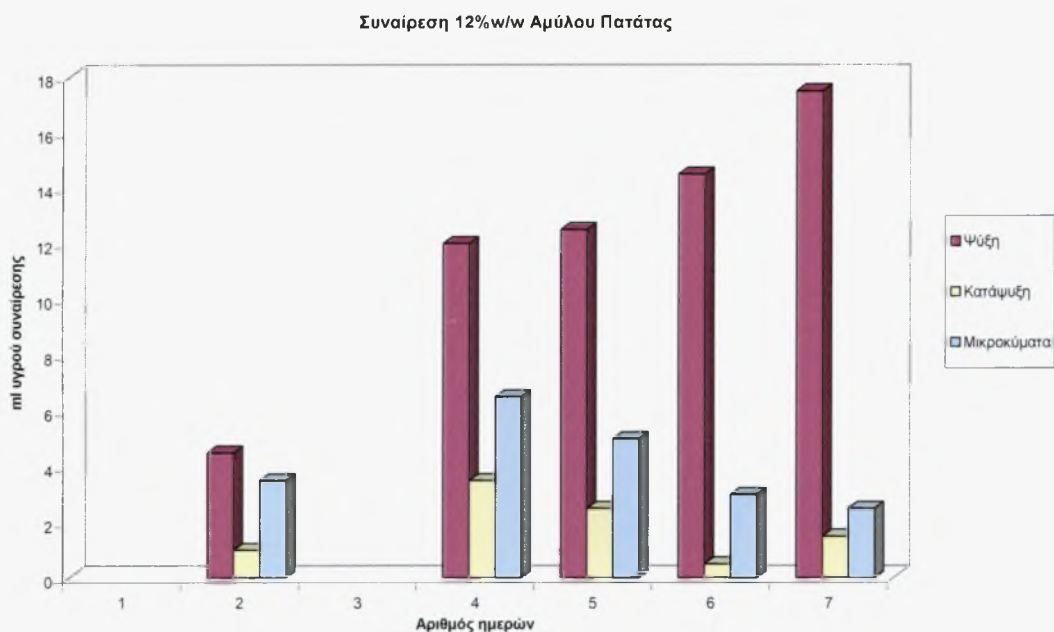
Τα δείγματα των μικροκυμάτων είναι αρκετά ελαστικά και συνεκτικά όπως και αυτά της ψύξης αποκορύφωμα αυτό της 7<sup>ης</sup> μέρας που απαιτεί την περισσότερη δύναμη.

Η υφή τους είναι σπογγώδη σαν αυτά της ψύξης και γενικά έχουν την ίδια συμπεριφορά όπως συμπεραίνουμε και από το διάγραμμα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το δείγμα της 7<sup>ης</sup> ημέρας το οποίο απαιτεί και τη μεγαλύτερη δύναμη απ' όλα από το μηχάνημα.



Όλα σχεδόν τα δείγματα που έχουν συντηρηθεί στην κατάψυξη και η απόψυξή τους έχει γίνει είτε σε θερμοκρασία δωματίου είτε με την εφαρμογή μικροκυμάτων, παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά, είναι πολύ ελαστικά και αυτό το βλέπουμε και από τα διαγράμματα (Γράφημα 17,18) όπου η δύναμη αγγίζει έως και τα 9Newton. Τα δείγματα που έχουν συντηρηθεί στην ψύξη από την άλλη είναι και αυτά ελαστικά αλλά απαιτούν πολύ μικρότερη δύναμη από αυτά της ψύξης και της κατάψυξης (Γράφημα 16).

## Συναίρεση

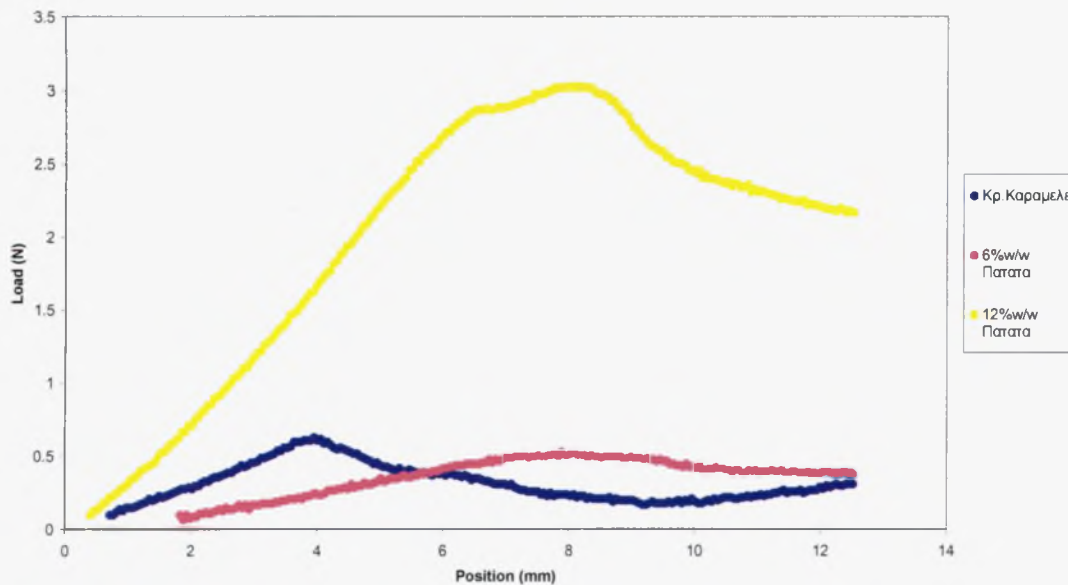


Από αυτό το διάγραμμα βλέπουμε πως τα δείγματα που έχουν συντηρηθεί στην ψύξη που είναι και λιγότερο ελαστικά από τα υπόλοιπα, παρουσιάζουν πιο έντονα το φαινόμενο της συναίρεσης. Από την άλλη, τα δείγματα που είχαν συντηρηθεί στην κατάψυξη αλλά αποψύχτηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είχαν πάντα λιγότερο υγρό συναίρεσης από αυτά που είχαν αποψυχθεί σε φούρνο μικροκυμάτων.



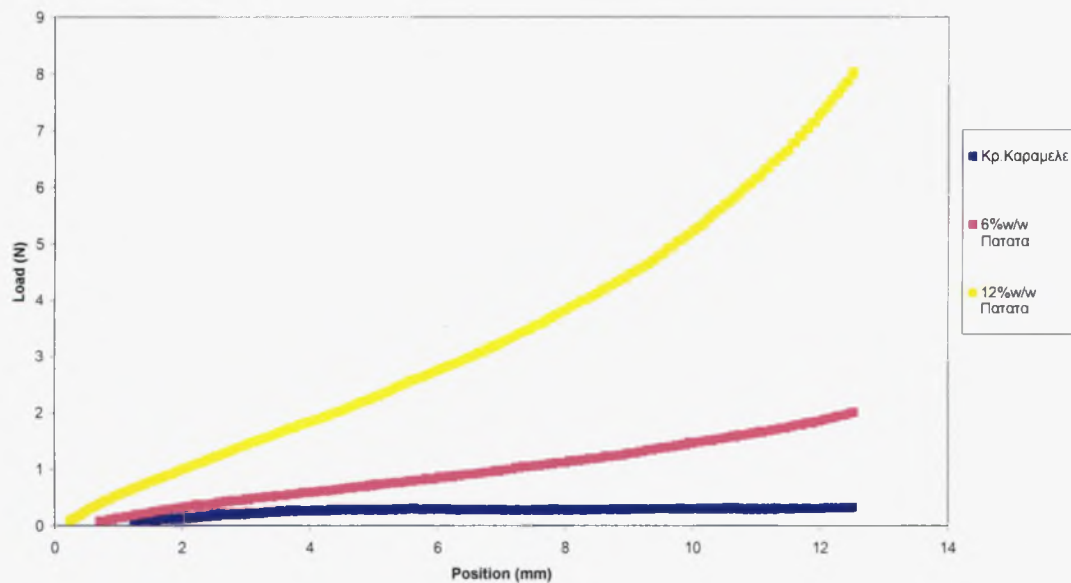
## 2.7 Κρέμα καραμελέ – Άμυλο Πατάτας

Κρ.Καραμελε - 6%, 12% w/w Πατάτα (ΨΥΞΗ)



Γράφημα 19

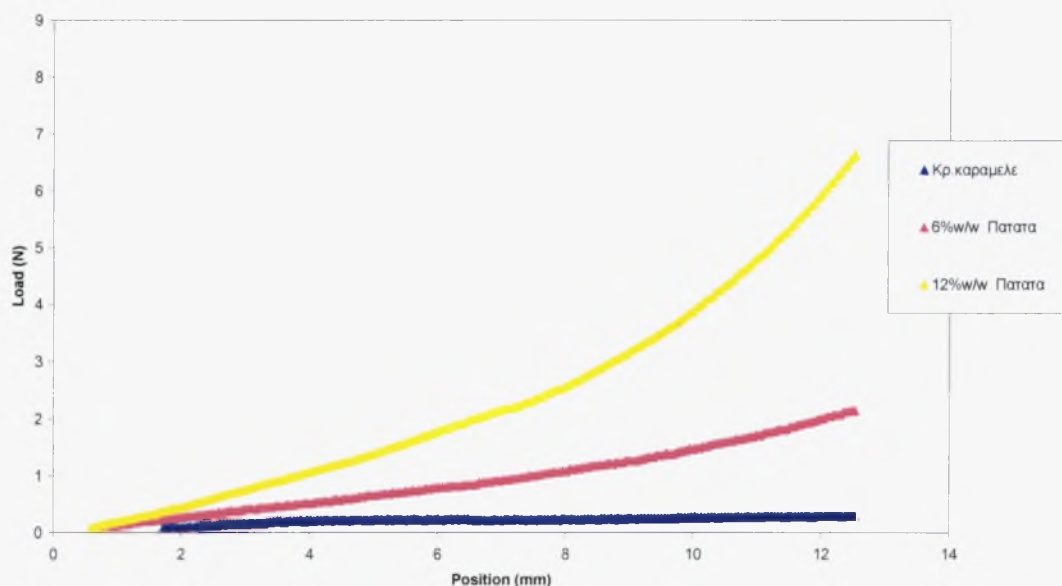
Κρ.καραμελε - 6%,12% w/w Πατάτα (ΚΑΤΑΨΥΞΗ)



Γράφημα 20

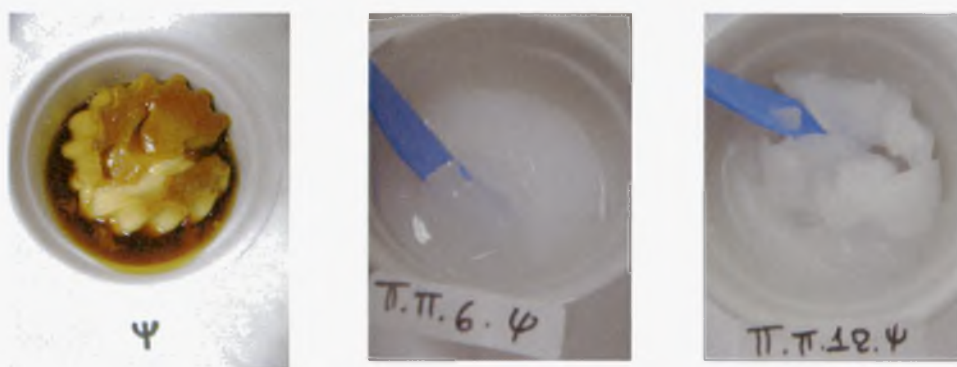


Κρ.καραμελε - 6%, 12% w/w Πατατα (ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ)



Γράφημα 21

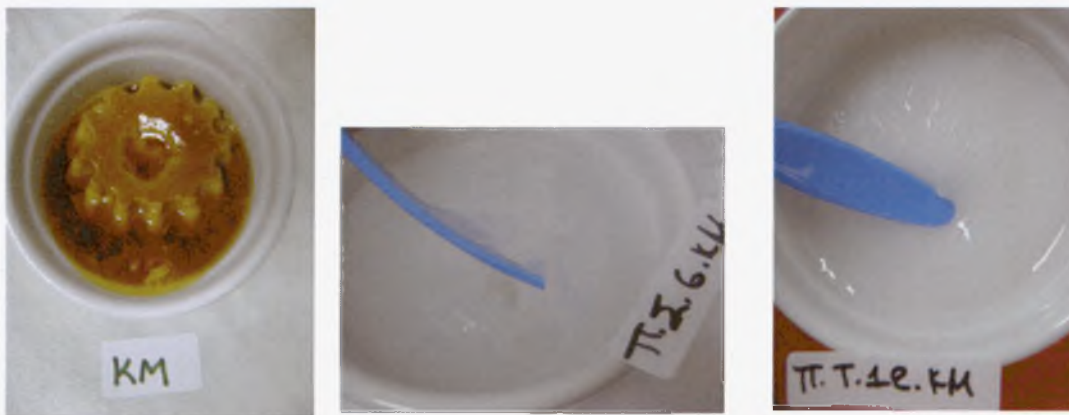
Το προϊόν που μελετήσαμε, η κρέμα καραμελέ βλέπουμε πως όντως έχει μια ελαστική συμπεριφορά και βλέπουμε τον εύθραυστο χαρακτήρα της δομής της από τα διαγράμματα (Γράφημα 20,21). Παρατηρούμε λοιπόν την ίδια συμπεριφορά του αμύλου της πατάτας και για την κρέμα καραμελέ τόσο για αυτά που συντηρήθηκαν στην ψύξη όσο και για αυτά που συντηρήθηκαν στην κατάψυξη και αποψύχθηκαν είτε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είτε σε φούρνο μικροκυμάτων.



εικόνα 24. Κρέμα καραμελέ – δείγματα περιεκτικότητας 6%w/w και 12%w/w αμύλου πατάτας με αποθήκευση στην ψύξη.



εικόνα 25. Κρέμα καραμελέ – δείγματα περιεκτικότητας 6%w/w και 12%w/w αμύλου πατάτας με αποθήκευση στην κατάψυξη και απόψυξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος



εικόνα 26. Κρέμα καραμελέ – δείγματα περιεκτικότητας 6%w/w και 12%w/w αμύλου πατάτας με αποθήκευση στην κατάψυξη και απόψυξη σε φούρνο μικροκυμάτων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

“Συζήτηση - Συμπεράσματα”

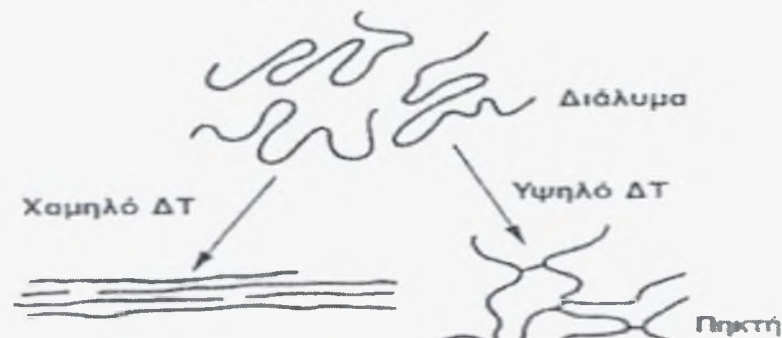
## Συζήτηση - Συμπεράσματα

Σε αυτή την ερευνητική εργασία μελετήσαμε τη συμπεριφορά τριών διαφορετικών αμύλων: του αμύλου αραβοσίτου (27% w/w αμυλόζη), αμύλου ρυζιού (17% w/w αμυλόζη) και αμύλου πατάτας (21% w/w αμυλόζη). Αρχικά κάτω από ακριβώς τις ίδιες συνθήκες παρασκευάστηκαν διαλύματα συγκεντρώσεων 6% w/w και 12% w/w τα οποία και μελετήθηκαν ως προς την αποθήκευση τους: α) στην ψύξη (5°C), β) στην κατάψυξη (-20°C) και μετά απόψυξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και γ) στην κατάψυξη (-20°C) και μετά απόψυξη σε φούρνο μικροκυμάτων.

Κατά την παρασκευή των δειγμάτων το άμυλο θερμαίνεται και συμβαίνουν μη αναστρέψιμες μεταβολές που αρχίζουν σε μια ορισμένη θερμοκρασία, η οποία είναι χαρακτηριστική κάθε τύπου αμύλου και ονομάζεται θερμοκρασία ζελατινοποίησης. Οι αμυλόκοκκοι απορροφούν 20-40gr νερού/gr αμύλου, και το ιξώδες του εναιωρήματος αυξάνεται απότομα. Συγχρόνως ένα μέρος της αμυλόζης διαχέεται έξω από τον κόκκο και πηγαίνει στο διάλυμα. Τέλος, οι κόκκοι διαρρηγνύονται. Στην πρώτη φάση της ζελατινοποίησης, οι κρύσταλλοι του αμύλου τήκονται και σχηματίζουν ένα πλέγμα πολυμερούς. Αυτό το πλέγμα σπάζει σε υψηλότερες θερμοκρασίες (περίπου 100° C) και δημιουργείται ένα διάλυμα αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης. Κατά τη ζελατινοποίηση, το νερό διαχέεται αρχικά μέσα στον κόκκο, οι κρυσταλλικές περιοχές κατόπιν τήκονται με τη βοήθεια της ενυδάτωσης και τελικά η διόγκωση δημιουργεί ένα διάλυμα μέσω της περαιτέρω διάχυσης του νερού. Σε αυτή τη διαδικασία οι γέφυρες υδρογόνου μεταξύ των αλυσίδων γλυκόζης στους κρυστάλλους σπάζουν αρχικά και ίσως επίσης μερικές από εκείνες στις άμορφες περιοχές. Είναι πιθανό ότι η διόγκωση των άμορφων περιοχών διευκολύνει τη διάλυση της αμυλόζης από τους κρυστάλλους, οι οποίοι με αυτόν τον τρόπο αποσταθεροποιούνται. (4)(5)

Η πορεία της ζελατινοποίησης εξαρτάται όχι μόνο από τη βοτανική προέλευση του αμύλου και τη θερμοκρασία που χρησιμοποιείται, αλλά και από την περιεκτικότητα σε υγρασία του εναιωρήματος. Κατά συνέπεια, ξηρό άμυλο με 1-3% υγρασία υπόκειται μόνο σε μικρές αλλαγές μέχρι μιας θερμοκρασίας 180° C, ενώ άμυλο με 60% υγρασία ζελατινοποιείται εντελώς σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όσο 70° C. Εάν ένα υδατικό εναιώρημα αμύλου διατηρηθεί για κάποιο χρόνο σε θερμοκρασίες κάτω από τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης, μια διαδικασία γνωστή ως tempering, η θερμοκρασία ζελατινοποίησης αυξάνει, προφανώς λόγω της αναδιοργάνωσης της

δομής του κόκκου. Η κατεργασία του αμύλου σε χαμηλές περιεκτικότητες υγρασίας και υψηλότερες θερμοκρασίες οδηγεί σε σταθεροποίηση των κρυστάλλων και συνεπώς σε μείωση της ικανότητας διόγκωσης. Σε παράδειγμα πειράματος αμύλου πατάτας και σιταριού, στην υγρή θέρμανση, η ικανότητα διόγκωσης και των δύο αμύλων μειώνεται, αν και σε διαφορετική έκταση. Αφ' ετέρου, υπάρχει μια μείωση στη διαλυτότητα μόνο του αμύλου πατάτας, ενώ αυτή του αμύλου σιταριού αυξάνεται σαφώς. Η εξήγηση που προτείνεται για να εξηγήσει αυτά τα ευρήματα είναι ότι άμορφη αμυλόζη του αμύλου πατάτας μετατρέπεται σε διατεταγμένη, λιγότερο διαλυτή κατάσταση, ενώ η αμυλόζη του αμύλου δημητριακών, που βρίσκεται μερικώς σε μορφή ελίκων με εγκλεισμένα λιπίδια, μετατρέπεται σε μια ευκολότερα εκχυλίσιμη κατάσταση. (5)



Εικόνα 27. Συμπεριφορά μορίων αμυλόζης κατά τη διάρκεια ψύξης πυκνού υδατικού διαλύματος

Εάν η συγκέντρωση του αμύλου στο αιώρημα είναι 12% τότε κατά τη θέρμανσή του η ενυδάτωση των συστατικών του είναι πολύ έντονη με αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε ένα παχύρευστο θερμό αμυλοπολτό (hot starch paste) με μέγιστο ιξώδες περίπου στους 95° C. Κατά την ψύξη του θερμού αμυλοπολτού σχηματίζεται πήκτωμα ή πηκτή (gel). Ο σχηματισμός του πηκτώματος στηρίζεται στη δημιουργία ενός πλέγματος μορίων αμυλόζης που οφείλεται στο σχηματισμό νέων διαμοριακών δεσμών υδρογόνου. Μέσα στο πλέγμα είναι εγκλωβισμένα υπολείμματα άμορφων διογκωμένων αμυλόκοκκων και νερό. Τα μη διαλυτά υπολείμματα των αμυλόκοκκων συνδέονται με ασταθείς δεσμούς υδρογόνου τόσο μεταξύ τους όσο και με τα μόρια της αμυλόζης.

Κατά την παλαιώση (aging) ενός πηκτώματος αμύλου παρατηρούνται μεταβολές τόσο στη δομή του πλέγματος όσο και στην εμφάνιση του πηκτώματος. Όσον αφορά τη δομή του πλέγματος, με το πέρασμα του χρόνου η αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων της αμυλόζης γίνεται πιο έντονη, με συνέπεια τη συστολή του πλέγματος και την έξοδο νερού (συναίρεση). Όσον αφορά την εμφάνιση του πηκτώματος κατά την



παρατεταμένη του παλαίωση το πήκτωμα σιγά-σιγά γίνεται αδιαφανές και θαμπό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο σταδιακό σχηματισμό κρυστάλλων ανάμεσα στις πλάγιες αλύσους των θραυσμάτων της αμυλοπηκτίνης, δηλαδή πρόκειται για ένα φαινόμενο ανακρυστάλλωσης ή αναδιάταξης (retrogradation) της αμυλοπηκτίνης. Αναδιάταξη συμβαίνει και στο κλάσμα της διαλυτής αμυλόζης όπου συμβαίνει με μεγάλη ταχύτητα (αρχίζει με την ψύξη του θερμού αμυλοπολτού και ολοκληρώνεται σε 24h) ενώ αντίθετα η αναδιάταξη του κλάσματος της αμυλοπηκτίνης είναι πολύ αργή (η ένταση της περίθλασης των ακτίνων X που μετρά την κρυσταλλικότητα εξακολουθεί να αυξάνει ακόμη και μετά την παλαίωση 14ημερών). (5)

Τα δείγματα αμύλου που μελετήθηκαν στην παρούσα ερευνητική εργασία έχουν διαφορετική προέλευση (αραβόσιτος, ρύζι, πατάτα) και επομένως διαφορετική περιεκτικότητα σε αμυλόζη. Έτσι κατά την αποθήκευση των δειγμάτων σχηματίστηκαν ηκτώματα με διαφορετικές συμπεριφορές. Συγκεκριμένα κατά την αποθήκευση στην ψύξη 5°C τα άμυλα αραβοσίτου και ρυζιού σχημάτισαν κρεμώδη δομές, οι οποίες ήταν τόσο μαλακές που δεν μπορούσαν να μετρηθούν από τον αναλυτή δομής. Μόνο το άμυλο πατάτας έδωσε στην ψύξη χαρακτηριστικές μετρήσεις και για τις δύο συγκεντρώσεις οι οποίες δηλώνουν τον σχηματισμό εύθραυστων ηκτών.

Αξιοσημείωτο επίσης είναι ότι και για τα τρία άμυλα παρουσιάζεται το ίδιο προφίλ συμπεριφοράς (ελαστικών ηκτών) μετά την αποθήκευσή τους στην κατάψυξη και απόψυξή τους είτε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, είτε με επεξεργασία σε φούρνο μικροκυμάτων. Στα άμυλα αραβοσίτου και ρυζιού και στις δύο συγκεντρώσεις η κατάψυξη και η απόψυξη είτε σε Θ περιβάλλοντος είτε σε φούρνο μικροκυμάτων ενισχύει τον σχηματισμό ισχυρών ηκτών (φαινόμενο που δεν είδαμε κατά την αποθήκευση στην ψύξη). Αυτό μπορεί να οφείλεται στην δημιουργία καινούργιων δεσμών ανάμεσα στα μόρια της αμυλόζης κατά την παραμονή των δειγμάτων στην κατάψυξη που όμως διατηρούνται και μετά την απόψυξη. Επίσης η κατάψυξη μπορεί να επιταχύνει και τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης της αμυλοπηκτίνης. Τέλος όταν η απόψυξη γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για τα δείγματα και των δύο αυτών αμύλων (αραβόσιτος και ρύζι) απαιτείται μεγαλύτερη δύναμη για να παραμορφωθούν από τις δυνάμεις που απαιτούνται για την παραμόρφωση των δειγμάτων των αμύλων που έχουν αποψυχθεί σε φούρνο μικροκυμάτων.

Η αποθήκευση των δειγμάτων του αμύλου πατάτας στην κατάψυξη και η μετέπειτα απόψυξη (και με τους δυο τρόπους) οδηγεί στην δημιουργία δομών με διαφορετικές



ιδιότητες (ελαστικές πηκτές) από αυτές που εμφανίζει το άμυλο πατάτας στην ψύξη (εύθραυστες πηκτές). Και οι δύο τρόποι απόψυξης που ακολουθούν την αποθήκευση στην κατάψυξη οδηγούν σε δομές που εμφανίζουν το ίδιο προφίλ παραμόρφωσης και με τα άλλα δύο άμυλα αλλά οι δυνάμεις που απαιτούνται για να παραμορφωθούν οι δομές στο άμυλο πατάτας είναι παρόμοιες είτε η απόψυξη έγινε σε θ περιβάλλοντος είτε με θέρμανσης σε φούρνο μικροκυμάτων.

Τέλος η ίδια πειραματική διαδικασία εφαρμόστηκε και σε εμπορικό προϊόν – κρέμα καραμελέ που περιέχει άμυλο πατάτας. Αξιοσημείωτο είναι ότι τόσο μετά την αποθήκευση του προϊόντος στην ψύξη όσο και μετά την κατάψυξη και απόψυξη (και με τους δύο τρόπους) παρατηρήσαμε το ίδιο προφίλ παραμόρφωσης με αυτό των δειγμάτων του άμυλου πατάτας παρόλο που στην κρέμα καραμελέ περιέχονται και άλλα συστατικά όπως πρωτεΐνες αυγών, γάλακτος και σάκχαρα. Η συμπεριφορά του άμυλου στο προϊόν είναι ισχυρή και φαίνεται να ευθύνεται για την δημιουργία της δομής του.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι εξαιτίας της διαφορετικής αναλογίας αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης στα τρία άμυλα αραβόσιτος, ρύζι και πατάτα παρουσιάζονται και διαφορετικές δομές κατά την αποθήκευση τους στην ψύξη. Αντίθετα η αποθήκευση των τριών αμύλων στην κατάψυξη οδηγεί στην δημιουργία πηκτών με παρόμοιο προφίλ παραμόρφωσης είτε η απόψυξη των δειγμάτων έγινε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είτε με θέρμανση σε φούρνο μικροκυμάτων. Τέλος υπάρχουν ενδείξεις ότι το άμυλο πατάτας ως συστατικό προϊόντων παίζει σημαντικό ρόλο στα δομικά ποιοτικά τους χαρακτηριστικά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

“Βιβλιογραφία”

## 4. Βιβλιογραφία

### 4.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

- 1) Αρβανιτογιάννης Ι., Στοιχεία Τεχνολογίας, (2001), Μεταποίησης και συσκευασίας τροφίμων, Εκδόσεις επιστημονικών βιβλίων και περιοδικών, Θεσσαλονίκη
- 2) Βαφοπούλου – Μαστρογιαννάκη Α., (2003), Βιοχημεία Τροφίμων, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- 3) Λαζαρίδης Χ, (2007), Μηχανική Τροφίμων (θεμελιώδεις έννοιες – φαινόμενα μεταφοράς, Βασικές διεργασίες), Εκδόσεις Γιαχούδη, 2<sup>η</sup> έκδοση, Θεσσαλονίκη
- 4) Μαρκάκης Π., (1996), Στοιχεία Τεχνολογίας τροφίμων, Τρίαινα εκδοτική, Αθήνα
- 5) Ματσούκας Ν., (2002-03), Γεωργική Τεχνολογία “Τα συστατικά των τροφίμων : Ιδιότητες και τεχνολογική σημασία”, 2<sup>ο</sup> μέρος, Έκδοση τμήμα εκδόσεων Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη
- 6) Μπυλιανδής Κ., (1998), Φυτικοχημεία Τροφίμων Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Έκδοση τμήμα εκδόσεων Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο 2000-01, Θεσσαλονίκη
- 7) Μπλούκας Ι., (2004), Επεξεργασία και συντήρηση Τροφίμων, εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα
- 8) Belitz H., Grosch W., Schieberle P., (2006), Χημεία Τροφίμων, 3<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα

### 4.2 Ξένη Βιβλιογραφία

#### 4.2.1 Βιβλία

- 9) Denmark's Veterinaries, (2000), Moisture Sorption, 2<sup>nd</sup> Edition, edited by American Association of Cereal Chemists, Inc., USA

- 10) Food Analysis, (2003), 3<sup>rd</sup> edition, Edited by Nielsen S., Purdue University  
West Lafayette, Indiana
- 11) Gaonkar A., McPherson A., Ingredient interactions, (2006), Effects on Food  
Quality, 2<sup>nd</sup> edition, published by CRC Press Taylor and Francis Group
- 12) Ipsen R., University presentations in course Food Texture Functionality,  
(2008), University of Copenhagen, Department of Food Science
- 13) James F., Rheological Methods in Food Progress Engineering, (1996),  
Freeman Press, 2<sup>nd</sup> edition, USA
- 14) Walstra P., Physical Chemistry of Foods, printed by Marcel Dekker, (2003),  
Inc., New York, USA

#### 4.2.2 Αρθρα

- 15) Ahmt T., Wischmann B., Blennow A., Madsen F., Bandsholm O. and  
Thomsen J., (2004), Sensory and rheological properties of transgenically and  
chemically modified starch ingredients as evaluated in a food product model,  
Wiley InterScience, No. 2, 149-155
- 16) Alvarez M. D. and Canet W., (2002), Influence of Cooking and Freeze-  
Thawing Cycles on Viscoelastic Properties of Vegetable Purees
- 17) Baoa J., Xiaoa P., Hiratsukab M., Sunc M., Umemotob T., (2009), Granule-  
bound SSIIa Protein Content and its Relationship with Amylopectin Structure  
and Gelatinization Temperature of Rice Starch, Wiley InterScience, 431-437
- 18) Bello-Perez L. A. and Paredes-Lopez O., (1994), Starch and Amylopectin -  
Rheological Behavior of Gels, Wiley InterScience, No. 11, 411-413
- 19) Brümmera T., Meuserb F., Lengerich B., Niemann C., (2002), Effect of  
Extrusion Cooking on Molecular Parameters of Corn Starch, 1-8
- 20) Brümmera T., Meuserb F., Lengerich B., Niemann C., (2002), Expansion  
and Functional Properties of Corn Starch Extrudates Related to their  
Molecular Degradation, Product Temperature and Water Content, Wiley  
InterScience, 9-15
- 21) Cagiao M. E., Rueda D. R., Bayer R. K., Balta' Calleja F. J., (2004),  
Structural Changes of Injection Molded Starch During Heat Treatment in  
Water Atmosphere: Simultaneous Wide and Small-Angle X-ray Scattering  
Study, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 93, 301-309

- 22) Campas-Baypolia O. N., Rosas-Burgosa E. C., Torres-Chávez P. I., Ramírez-Wonga B., Serna-Saldívar S. O., (2002), Physicochemical Changes of Starch in Maize Tortillas During Storage at Room and Refrigeration Temperatures, Wiley InterScience, 358-363
- 23) Chena J., Laib V., Liia C., (2003), Effects of Compositional and Granular Properties on the Pasting Viscosity of Rice Starch Blends, Wiley InterScience, 203-212
- 24) Chung H. and Liu Q., (2009), Impact of molecular structure of amylopectin and amylose on amylose chain association during cooling,
- 25) Chung K. M. and Seib P. A., (1991), Thin-Boiling and Nongelling Adhesive Prepared from Maize and Wheat Starches, No. 11, 441-446
- 26) Chunga H., Jeongb H., Lim S., (2003), Effects of acid hydrolysis and defatting on crystallinity and pasting properties of freeze-thawed high amylose corn starch, Science Direct, Carbohydrate Polymers 54, 449-455
- 27) Fanta G. F., Felker F. C. and Shogren R. L., (2002), Formation of crystalline aggregates in slowly-cooled starch solutions prepared by steam jet cooking
- 28) Garcva-Rosasa M., Bello-Purezb A., Yee-Madeirac H., Ramosd G., Flores-Moralese A., Mora-Escobedo R., (2009), Resistant Starch Content and Structural Changes in Maize (*Zea mays*) Tortillas During Storage, Wiley InterScience, 414-421
- 29) Glenn G. M., Klameczynski A., Chiou B., Orts W. J., Imam S. H., Wood D. F., (2008), Temperature Related Structural Changes in Wheat and Corn Starch Granules and Their Effects on Gels and Dry Foam, Wiley InterScience, 476-484
- 30) Golachowski A., (1987), Properties of Starch Obtained from Frozen and Thawed Potato Tubers, Wiley InterScience, No.4, S. 119-121
- 31) Hagenimana A., Pu P. and Ding X., (2004), Study on thermal and rheological properties of native rice starches and their corresponding mixtures
- 32) Hill R. D. and Dronrek B. L., (1973), Scanning Electron Microscopy Studies of Wheat, Potato and Corn Starch during Gelatinization, No. 6, 367-372
- 33) Holm F., (1981), Physical characteristics of an air classified potato starch, Journal of Food Technology, Volume 16, 101-113
- 34) Hoover R. and Hadziyev D., (1989), Effect of Storage Temperature on Some Rehydrating Properties of Potato Granules, No. 10, S. 376-382

- 35) Jeonga H. and Limb S., (2003), Crystallinity and Pasting Properties of Freeze-Thawed High Amylose Maize Starch, Wiley InterScience, 511- 517
- 36) Karlsson M. E. and Eliasson A., (2003), Effects of time/temperature treatments on potato (*Solanum tuberosum*) starch: a comparison of isolated starch and starch *in situ*, Journal of Science of Food and Agriculture 83: 1587-1592
- 37) Khatoon N. and Prakash J., (2006), Nutritional Quality of Microwave and Pressure Cooked Rice (*Oryza sativa*) Varieties, Food Science Technology International 12(4): 297-305
- 38) Kim H. R., Muhrbeck P. and Eliasson A., (1993), Changes in Rheological Properties of Hydroxypropyl Potato Starch Pastes during Freeze-Thaw Treatments. III. Effect of Cooking Conditions and Concentration of the Starch Paste, Journal Science Agriculture, 109-116
- 39) Krisman C. R. and Alfredo C. J., (1991), Corn Starch (*α1,4-α1,6*)<sub>lu</sub> copolysaccharides - Correlation Between Amylose:Amylopectin Ratios and Physical Properties of the Grains, No. 8, 294-299
- 40) Laohaphatanalearta K., Piyachomkwanb K., Sirotha K., Santisopasric V., Bertoftd E., (2009), A Study of the Internal Structure in Cassava and Rice Amylopectin, Wiley InterScience, 557-569
- 41) Li Y., Shoemaker C. F., Shen X., Ma J., Ibanez-Carranza A. M. and Zhong F., (2008). The Isolation of Rice Starch with Food Grade Proteases Combined with Other Treatments, Food Science Technology International 14(3): 215-224
- 42) Lina O., Xiaoa H., Zhaoc J., Lia L., Yua F., (2009), Characterization of the Pasting, Flow and Rheological Properties of Native and Phosphorylated Rice Starches, Wiley InterScience, 709-715
- 43) Lu Zhan-Hui, Sasaki T., Li Y., Yoshihashi T., Li L. and Kohyama K., (2009), Effect of amylose content and rice type on dynamic viscoelasticity of a composite rice starch gel
- 44) Matalanis A. M., Campanella O. H. and Hamaker B. R., (2009), Storage retrogradation behavior of sorghum, maize and rice starch pastes related to amylopectin fine structure
- 45) McGranea S. J., Mainwaringb D. E., Cornellb H. J., Rixb C. J., (2004), The Role of Hydrogen Bonding in Amylose Gelation, Wiley InterScience, 122-131



- 46) Moledina K. H., Haydar M., Ooraikul B. and Hadziyev D., (1981), Pectin Changes in the Pre-cooking Step of Dehydrated Mashed Potato Production, *Journal of Science of Food and Agriculture* 32: 1091-1102
- 47) Na Nakorna K., Tongdangb T., Sirivongpaisala P., (2009), Crystallinity and Rheological Properties of Pregelatinized Rice Starches Differing in Amylose Content, *Wiley InterScience*, 101-108
- 48) Noosuka P., Hillb S. E., Farhatb I. A., Mitchellb J. R., Pradipasenac P., (2005), Relationship between Viscoelastic Properties and Starch Structure in Rice from Thailand, *Wiley InterScience*, 587-598
- 49) Ohkita T. and Lee S., (2005), Crystallization Behavior of Poly(butylene succinate)/Corn Starch Biodegradable Composite, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 97, 1107-1114
- 50) Ooraikul B. and Moledina K. H., (1981), Physicochemical Changes in Potato Granules During Storage, *Journal of Food Science*, Volume 46, 110-116
- 51) Park E. Y., Baik B., Lim S., (2009), Influences of temperature-cycled storage on retrogradation and in vitro digestibility of waxy maize starch gel, *Science Direct, Journal of Cereal Science* 50:43-48
- 52) Patindola J., Wanga Y., Janeb J., (2005), Structure-Functionality Changes in Starch Following Rough Rice Storage, *Wiley InterScience*, 197-207
- 53) Pancha-arnon S., Pathipanawat W., Puttanlek C., Rungsardthong V. and Uttapap D., (2008), Effects of relative granule size and gelatinization temperature on paste and gel properties of starch blends,
- 54) Rondaa F. and Roos Y. H., (2008), Gelatinization and freeze-concentration effects on recrystallization in corn and potato starch gels, *Science Direct, Carbohydrate Research* 343, 903-911
- 55) Singh J., Singh N. and Saxena S. K., (2002), Effect of fatty acids on the rheological properties of corn and potato starch
- 56) Singh N., Singh J., Kaur L., Sodhi N. S., Gill B. S., (2002), Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources, *Elsevier, Food Chemistry* 81: 219-231
- 57) Stevenson D. G., Biswasb A., Ingletta G. E., (2005), Thermal and Pasting Properties of Microwaved Corn Starch, *Wiley InterScience*, 347-353

- 58) Svegmarm K., Helmersson K., Nilsson G., Nilsson P. -O., Andersson R. and Svensson E., (2001), Comparison of potato amylopectin starches and potato starches — influence of year and variety,
- 59) Takeiti C., Fakhouri F., Ormenese R., Steel C., Collares F., (2007), Freeze-thaw Stability of Gels Prepared from Starches of Non-conventional Sources, Wiley InterScience, 156-160
- 60) Tan Y. and Corke H., (2002), Factor analysis of physicochemical properties of 63 rice varieties, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82: 745-752
- 61) Tukomane T. and Varavinit S., (2008), Influence of Octenyl Succinate Rice Starch on Rheological Properties of Gelatinized Rice Starch before and after Retrogradation, Wiley InterScience, 298-304
- 62) Varavinita S., Shobsngobb S., Varanyanondc W., Chinachotid P., Naivikule O., (2002), Freezing and Thawing Conditions Affect the Gel Stability of Different Varieties of Rice Flour, Wiley InterScience, 31-36
- 63) Zheng G. H. and Sosulski F. W., (1998), Determination of Water Separation from Cooked Starch and Flour Pastes after Refrigeration and Freeze-thaw, *Journal of food Science*, Volume 63, No. 1



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000104961