



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μέθοδοι προσδιορισμού υφής μήλου

Νικόλαος Σ. Παπανικολάου

Επιβλέπων καθηγητής:
Νικόλαος Γ. Στοφόρος, Καθηγητής ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2024

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μέθοδοι προσδιορισμού υφής μήλου

“Apple texture determination methods”

Νικόλαος Σ. Παπανικολάου

Εξεταστική Επιτροπή:

Νικόλαος Γ. Στοφόρος, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Ιωάννα Μαντάλα, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Μαρία Γιαννακούρου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

Μέθοδοι προσδιορισμού υφής μήλου

*ΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων & Διατροφή του Ανθρώπου
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Επεξεργασίας & Συντήρησης Τροφίμων*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη μεθόδων προσδιορισμού των ιδιοτήτων της υφής του μήλου. Οι ιδιότητες της υφής ενός τροφίμου είναι το σύνολο των φυσικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν από τα δομικά στοιχεία του και γίνονται αντιληπτά με την αίσθηση της αφής. Το μήλο θα μπορούσε να παρομοιαστεί με μια σφαίρα από ινώδες δέρμα παραγεμισμένη με αφρό από παρεγχυματικά κύτταρα. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κατηγοριοποιούνται από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης στην οδηγία ISO 5492 (ISO 5492, 2008).

Οι μέθοδοι μέτρησης της υφής κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τη βασική αρχή κάθε δοκιμής και όχι σύμφωνα με το είδος της τροφής σε μεθόδους μέτρησης της δύναμης, της απόστασης, του χρόνου, της ενέργειας, της αναλογίας, της χημικής ανάλυσης και ποικίλους. Υπάρχει πληθώρα οργάνων που πραγματοποιούν μετρήσεις υφής, αναλόγως με το είδος της δοκιμής που είναι επιθυμητή. Στη συγκεκριμένη μελέτη εστιάζουμε στα γενικά όργανα μέτρησης της υφής (Universal Testing Machines).

Με βάση το περιοδικό Journal of Texture Studies γίνεται επιλογή θεματολογίας που αφορά μετρήσεις υφής σε μήλο. Η θεματολογία επιλέγεται με τέτοιον τρόπο, ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος τρόπων προσδιορισμού ιδιοτήτων υφής.

Τέλος πραγματοποιείται πειραματική διαδικασία με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στην κατανομή της υφής κυβικών δειγμάτων μήλου. Με βάση προκαταρκτικά πειράματα δεν μπόρεσαν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σε σχέση με την επίδραση της θερμοκρασίας (60, 75 και 90°C), του χρόνου κατεργασίας (5, 10 και 20 min) και της απόστασης από την επιφάνεια του κυβικού δείγματος (σημείο μέτρησης) στη μέγιστη δύναμη διάτρησης.

Επιστημονική Περιοχή: Υφή Τροφίμων

Λέξεις Κλειδιά: Υφή, Μήλο

Apple texture determination methods

*MSc Food Science & Technology & Human Nutrition
Department of Food Science & Human Nutrition
Laboratory of Food Processing & Preservation*

ABSTRACT

The aim of this master's thesis is the study of methods for determining the textural properties of the apple fruit. The textural properties of a food are the set of physical characteristics that arise from its structural elements and are perceived by the sense of touch. The apple could be likened to a ball of fibrous skin filled with a foam of parenchyma cells. Organoleptic characteristics are categorized by the International Organization for Standardization in the ISO 5492 guideline (ISO5492, 2008).

Texture measurement methods are categorized according to the basic principle of each test and not according to the type of food into methods of measuring force, distance, time, energy, ratio, chemical analysis and miscellaneous. There is a variety of instruments that perform texture measurements, depending on the type of test desired. In this study we focus on Universal Testing Machines.

Based on the Journal of Texture Studies, a selection of topics is made regarding texture measurements in apples. The subject matter is chosen in such a way as to cover as wide a range of ways of determining texture properties as possible.

Finally, an experimental procedure is carried out in order to study the effect of heat treatment on the texture distribution of cubed apple samples. Based on preliminary experiments no safe conclusions could be drawn regarding the effect of temperature (60, 75 and 90°C), processing time (5, 10 and 20 min) and distance from the surface of the cubic sample (measurement point) on the maximum penetration force.

Scientific area: Texture

Keywords: Texture, Apple

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έγινε στα πλαίσια μεταπτυχιακών σπουδών στο Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Έχει σαν θέμα την ανάλυση μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της υφής σε μήλα. Το θέμα της εργασίας αυτής δόθηκε από τον καθηγητή μου κ. Ν. Γ. Στοφόρο προς τον οποίο εκφράζω τις ευχαριστίες μου για την καθοδήγησή του. Τις ευχαριστίες μου εκφράζω επίσης στον Στέλιο Χατζιδάκη, διδακτορικό φοιτητή, για την πολύτιμη βοήθειά του.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	2
1.1 Περιγραφή ιδιοτήτων υφής	2
1.1.1 Χαρακτηριστικά και ορισμός της υφής των τροφίμων	2
1.1.2 Ιστορική αναδρομή.....	3
1.1.3 Ορολογία της υφής	8
1.2 Ιδιότητες υφής στους βρώσιμους φυτικούς οργανισμούς.....	18
1.2.1 Ιδιότητες υφής και δομή φυτικών ιστών	18
1.2.2 Σημασία της υφής στους βρώσιμους φυτικούς ιστούς	20
1.3 Ιδιότητες υφής στο μήλο	20
1.3.1 Δομή του παρεγχύματος στο μήλο	21
1.4 Μέθοδοι και όργανα μετρήσεως υφής	22
1.4.1 Μέθοδοι μέτρησης της υφής.....	23
1.4.1.1 Μέθοδοι μέτρησης της δύναμης.....	23
1.4.1.2 Μέθοδοι μέτρησης της απόστασης.....	26
1.4.1.3 Μέθοδοι μέτρησης του χρόνου.....	27
1.4.1.1 Λοιπές μέθοδοι	27
1.4.2 Όργανα μέτρησης της υφής.....	27
1.4.2.1 Διάφορα όργανα μέτρησης της υφής.....	27
1.4.2.2 Γενικά όργανα μέτρησης της υφής.....	33
2. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΘΕΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	36
3. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	54
3.1 Πειραματική διαδικασία.....	54
3.2 Αποτελέσματα και συζήτηση	54
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της συντήρησης των τροφίμων μετά τη συγκομιδή τους είναι τόσο παλιό όσο και η ιστορία της ανθρωπότητας. Τεχνικές για τη συντήρηση των τροφίμων χρονολογούνται από αρχαιοτάτων χρόνων. Κάποιες από της παλαιότερες είναι η αποξήρανση, η ψύξη και η ζύμωση. Ανάμεσα στις σύγχρονες μεθόδους συντήρησης περιλαμβάνονται η κονσερβοποίηση, η παστερίωση, η κατάψυξη, η ακτινοβολία και η προσθήκη χημικών (Singh, 1998).

Η αλλοίωση των τροφίμων ορίζεται ως οποιαδήποτε αλλαγή καθιστά κάποιο τρόφιμο ακατάλληλο για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση των τροφίμων είναι η μόλυνση από παθογόνους ή μη μικροοργανισμούς, η προσβολή από έντομα, η ποιοτική υποβάθμισή τους από ενδογενείς ενζυμικές αντιδράσεις, η διάρρηξη των φυτικών ή ζωικών ιστών κατά τη μεταφορά τους καθώς και η οξείδωση συστατικών τους στοιχείων (Singh, 1998). Η θερμική επεξεργασία, η οποία επιφέρει θανάτωση ή αδρανοποίηση των βακτηρίων, ιών, παρασίτων και ενζύμων καθώς και την καταστροφή ορισμένων τοξινών, προκαλεί επίσης υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων (Στοφόρος, 2005).

Η υφή είναι χαρακτηριστικός δείκτης για την ποιότητα φρούτων και λαχανικών, αλλά και για την ωριμότητά τους (McPherson, 2021). Παράλληλα η υφή επηρεάζει τη συμπεριφορά των καταναλωτών καθώς και την προτίμησή τους για συγκεκριμένα τρόφιμα (Szczeniak, 2007). Για να πραγματοποιηθεί ένας ολοκληρωμένος έλεγχος για την υφή ενός τρόφιμου, είναι απαραίτητος ο ανθρώπινος παράγοντας, δηλαδή οι αισθήσεις μας, όμως οι δυσκολίες που υπάρχουν σε τέτοιους ελέγχους, οδηγούν στην ανάπτυξη γρήγορων, οικονομικών μηχανικών μεθόδων προσομοίωσης της αίσθησης της υφής (Kilcast, 2007). Ο προσδιορισμός της υφής είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, λόγω της ποικιλίας των ιστών, της πληθώρας των ιδιοτήτων που πρέπει να περιγραφούν και την αλλαγή των ιδιοτήτων αυτών με την ωρίμανση. Για αυτό το λόγο υπάρχει και πλήθος μετρήσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν (Abbott, 2004). Στην παρούσα εργασία θα αναλύσουμε διάφορες από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της υφής.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 Περιγραφή ιδιοτήτων υφής

Στις χώρες που υπάρχει αφθονία τροφής, οι άνθρωποι επιλέγουν τις τροφές που θα καταναλώσουν βάσει ορισμένων παραγόντων, τους οποίους στο σύνολό τους μπορούμε να χαρακτηρίσουμε σαν ποιότητα ενός τρόφιμου (Potter, 1995). Οι πρωταρχικοί αυτών είναι η εμφάνιση, η γεύση, η υφή και η θρεπτική αξία. Η υφή είναι σημαντικός ή ακόμα και κρίσιμος παράγοντας για πολλές τροφές, όπως για παράδειγμα το κρέας, τα πατατάκια, οι νιφάδες δημητριακών ή το σέλινο και η επίτευξη επιθυμητής ποιότητας όσον αφορά την υφή έχει σημαντικά οικονομικά οφέλη (Bourne, 2002).

1.1.1 Χαρακτηριστικά και ορισμός της υφής των τροφίμων

Η υφή των τροφίμων έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Είναι ένα σύνολο από φυσικές ιδιότητες που πηγάζουν από την δομή του τροφίμου.
- Αφορά τον μηχανικό ή ρεολογικό χαρακτήρα των φυσικών ιδιοτήτων. Εξαιρούνται χαρακτηριστικά των φυσικών ιδιοτήτων που έχουν οπτική, ηλεκτρική, μαγνητική, θερμοκρασιακή ή θερμική φύση.
- Αποτελείται από ένα σύνολο ιδιοτήτων και όχι από μία συγκεκριμένη.
- Η υφή γίνεται αντιληπτή κατά κύριο λόγο με το αίσθημα της αφής, μέσα στο στόμα, αλλά και με άλλα μέρη του σώματος όπως τα χέρια.
- Δεν σχετίζεται με τις χημικές αισθήσεις της γεύσης και της οσμής.
- Αντικειμενικές μετρήσεις της μπορούν να γίνουν μόνο συναρτήσει της μάζας, της απόστασης και του χρόνου. Για παράδειγμα η δύναμη έχει διαστάσεις MAX^{-2} , το έργο έχει διαστάσεις MA^2X^{-2} , και η ροή έχει διαστάσεις A^3X^{-1} , όπου M είναι η μάζα, A είναι η απόσταση και X είναι ο χρόνος.

Επειδή η υφή αποτελείται από ένα πλήθος φυσικών αισθήσεων, που προέρχονται από διάφορα μηχανικά, γεωμετρικά ή άλλα χαρακτηριστικά ενός τροφίμου, θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιούμε τον όρο «ιδιότητες υφής» και όχι υφή. Βάσει των παραπάνω οδηγούμαστε στον εξής ορισμό:

Οι ιδιότητες της υφής ενός τροφίμου είναι το σύνολο εκείνο των φυσικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν από τα δομικά στοιχεία του τροφίμου, γίνονται αντιληπτά κυρίως με το αίσθημα της αφής, σχετίζονται με την παραμόρφωση, αποδόμηση και ροή του τροφίμου υπό την επίδραση δύναμης και μετριοούνται αντικειμενικά

συναρτήσει της μάζας, της απόστασης ή/και του χρόνου (Bourne, Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, 2002).

1.1.2 Ιστορική αναδρομή

Χωρίς περιγραφικούς όρους για την υφή καθίσταται πολύ δύσκολο να προσδοθεί νόημα στις μετρούμενες παραμέτρους της. Η οργάνωση περιγραφικών λέξεων σε ένα λεξικό όρων για την υφή είναι βασικό βήμα για την έρευνα σχετικά με την υφή των τροφίμων (Hayakawa, 2015). Το πρώτο βήμα ήταν ο συνδυασμός του ιξώδους, της συνεκτικότητας και της υφής κάτω από τον όρο υφή, που οδήγησε στη δημοσίευση του ευρέως αποδεκτού προφίλ της υφής (Szczeniak, 1963), το οποίο αποτέλεσε την αφετηρία για την έκδοση του προφίλ της υφής από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO11036, 1994a).

Τα χαρακτηριστικά της υφής μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: στα μηχανικά χαρακτηριστικά, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και σε άλλα/λοιπά χαρακτηριστικά (Σχήμα 1). Τα μηχανικά χαρακτηριστικά εκδηλώνονται κατά την έκθεση μιας τροφής σε μηχανική τάση. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αφορούν κατά κύριο λόγο την οργάνωση των δομικών μονάδων της τροφής στο χώρο και γίνονται αντιληπτά κυρίως με την όραση. Στα άλλα/λοιπά χαρακτηριστικά κατηγοριοποιούνται εκείνα τα χαρακτηριστικά που δεν κατατάσσονται στις προηγούμενες δύο κατηγορίες, όπως η υγρασία και η λιπαρότητα.

Με βάση την παραπάνω έρευνα, επιπροσθέτως, τα χαρακτηριστικά της υφής ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τη σειρά εμφάνισής τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά υποδιαιρέθηκαν σε χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στη φάση του πρώτου δαγκώματος, στη φάση της μάσησης και σε χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στο τέλος της μάσησης μιας τροφής (Brandt, 1963). Διαφορετική προσέγγιση ακολουθήθηκε μερικά χρόνια αργότερα δίνοντας βάρος στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Η ταξινόμησή τους έγινε βάσει των θεμελιωδών χαρακτηριστικών των τροφίμων, από τα οποία προκύπτουν δευτερεύοντα και τριτεύοντα χαρακτηριστικά: γεωμετρικά και αναλυτικά χαρακτηριστικά ταξινομούνται στην πρωτεύουσα κατηγορία και όλα τα υπόλοιπα προκύπτουν από αυτήν (Sherman, 1969). Τα τριτεύοντα χαρακτηριστικά μπορούν να υποδιαιρεθούν ακόμη περισσότερο ανάλογα με τον τύπο τη μηχανικής διεργασίας που σχετίζεται με το καθένα, δηλαδή μάσηση, αποδόμηση που ακολουθεί τη μάσηση ή

διεργασία πριν τη μάσηση (Σχήμα 2). Στο Σχήμα 3 φαίνεται πως τα τριτεύοντα χαρακτηριστικά κατανέμονται ανάμεσα σε στερεά, ημιστερεά και ρευστά τρόφιμα.

Mechanical characteristics

Primary parameters	Secondary parameters	Popular terms
Hardness		Soft → Firm → Hard
Cohesiveness	Brittleness	Crumbly → Crunchy → Brittle
	Chewiness	Tender → Chewy → Tough
	Gumminess	Short → Mealy → Pasty Gummy
Viscosity		Thin → Viscous
Springiness		Plastic → Elastic
Adhesiveness		Sticky → Tacky Gooney

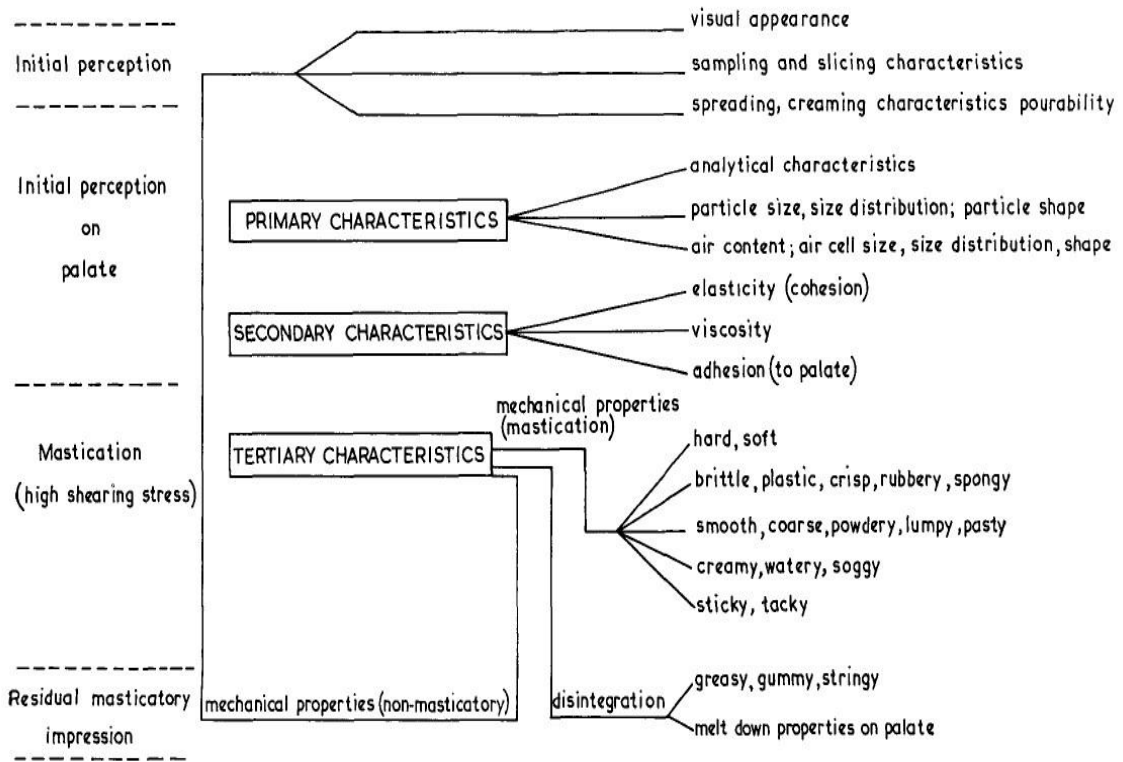
Geometrical characteristics

Class	Examples
Particle size and shape	Gritty, Grainy, Coarse, etc.
Particle shape and orientation	Fibrous, Cellular, Crystalline, etc.

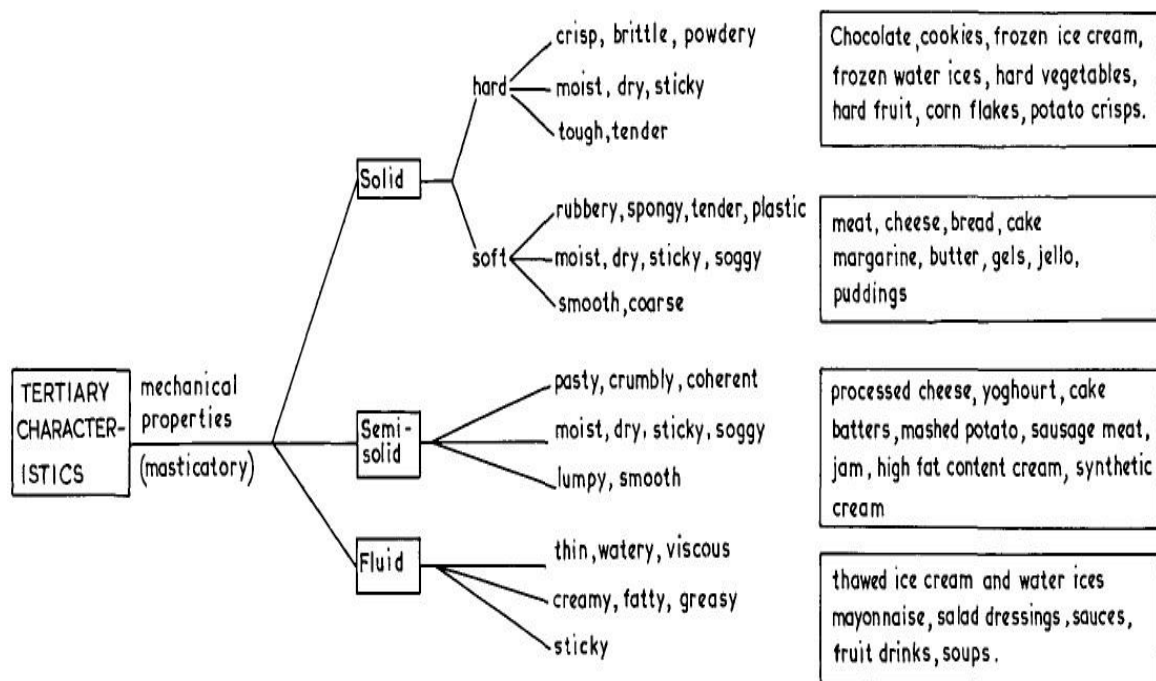
Other characteristics

Primary parameters	Secondary parameters	Popular terms
Moisture content		Dry → Moist → Wet → Watery
Fat content	Oiliness	Oily
	Greasiness	Greasy

Σχήμα 1. Σχέσεις μεταξύ παραμέτρων της υφής και κοινής ονοματολογίας (Szczesniak, 1963).



Σχήμα 2. Το τροποποιημένο προφίλ της υφής (Sherman, 1969).



Σχήμα 3. Τριτεύοντα χαρακτηριστικά της υφής αναλόγως του τύπου της τροφής (Sherman, 1969).

Οι προσπάθειες που αναφέραμε προηγουμένως για την περιγραφή της υφής έθεσαν τα θεμέλια για μελέτες στηριζόμενες στη στατιστική επιστήμη (Moskowitz, 1987). Η πρώτη από αυτές πραγματοποιήθηκε με έρευνα μέσω ερωτηματολογίων και στατιστική ανάλυση και κατέληξε σε 8 ανεξάρτητες μεταβλητές που περιγράφουν την υφή των τροφίμων, ενώ όλες οι υπόλοιπες λέξεις που περιγράφουν την υφή είναι εξαρτημένες μεταβλητές. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι: hard-soft (σκληρό-μαλακό), cold-warm (κρύο-ζεστό), oily-juicy (λαδερό-χυμώδες), elastic-flacky (ελαστικό-φολιδοειδές), heavy (δεμένο-συμπαγές), viscous (παχύρευστο), smooth (λείο) και gummy (μαστιχοειδές) (Yoshikawa, 1970). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που έχουν αντίθετη έννοια θεωρούνται μία μεταβλητή, γιατί εκφράζονται σαν διαστάσεις του χώρου.

Οι Henry et al. (1971) για να προσδιορίσουν και να ποσοτικοποιήσουν τις παραμέτρους της υφής χρησιμοποίησαν ημιστερέα τρόφιμα. Αρχικά μέτρησαν τις φυσικές παραμέτρους αυτών των τροφίμων (συμπίεση, εφελκυσμό, κ.α.). Στη συνέχεια χρησιμοποίησαν μία ομάδα δοκιμαστών για να πραγματοποιήσουν αισθητηριακές δοκιμές. Με τη βοήθεια της παραγοντικής ανάλυσης περιόρισαν τις 15 μεταβλητές της κάθε διαδικασίας σε 4 φυσικές παραμέτρους και 4 περιγραφικές λέξεις. Τέλος, με παλινδρόμηση έδειξαν ότι οι 4 παράγοντες που προέκυψαν από τις αισθητηριακές δοκιμές είναι δυνατό να προβλέπονται από τις 4 φυσικές παραμέτρους που προκύπτουν από τις μηχανικές μετρήσεις (Henry, 1971).

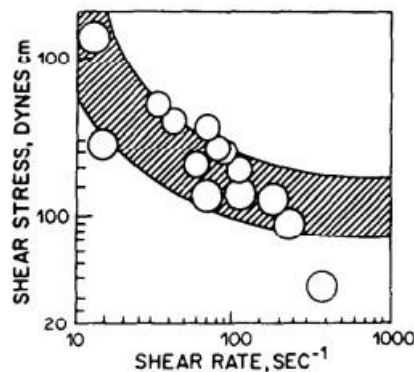
Οι Kokini et al. (1977) αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι τα υγρά και ημιστερέα τρόφιμα πιέζονται ανάμεσα στη γλώσσα και τον ουρανίσκο και η υφή τους γίνεται αντιληπτή με διατμητικές και περιστροφικές κινήσεις της γλώσσας, ενώ τα στερεά τρόφιμα γίνονται αντιληπτά κατά την μάσηση ανάμεσα στα δόντια, περιόρισαν την έρευνά τους σε ημιστερέα τρόφιμα. Βασίστηκαν στη διαδικασία των Henry et al. (1971) που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο και κατέληξαν σε μια εξίσωση (Σχήμα 4) με ανεξάρτητες μεταβλητές τις περιγραφικές λέξεις thick (παχύρευστο), smooth (λείο) και slippery (γλιστερό) (Kokini, 1977). Στην έρευνα αυτή στόχος ήταν να δειχθεί πως υποκειμενικές εκτιμήσεις υγρών που περιγράφονται από δέκα δημοφιλείς όρους υφής μπορούν να προβλεφθούν εκ των προτέρων από φυσικές ιδιότητες. Κάθε χαρακτηριστικό φαίνεται να σχετίζεται με μία συγκεκριμένη δύναμη στο στόμα. Το «παχύρευστο» αναλογεί με το ιξώδες ανάμεσα στη γλώσσα και την οροφή του στόματος, το «λείο» αναλογεί αντίστροφα με την δύναμη τριβής ανάμεσα στην γλώσσα και στο στόμα και το «γλιστερό» αναλογεί αντίστροφα με έναν γνωστό μέσο όρο των δυνάμεων του ιξώδους και της τριβής. Το λεξιλόγιο που κρίθηκε κατάλληλο για ημιστερέα και υγρά τρόφιμα ήταν οι λέξεις “thick”,

“gummy”, “heavy”, “sticky”, “creamy”, “smooth”, “slimy”, “slippery”, “thin” και “light”. Από αυτά τα 10 χαρακτηριστικά αναζητήθηκε ένα υποσύνολο έτσι ώστε: γνωρίζοντας την εκτίμηση του υποσυνόλου να μπορούν να προβλεφθούν τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, το υποσύνολο να είναι αρκετά μικρό και να περιέχει μόνο μερικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά του υποσυνόλου να είναι εύκολο να συνδεθούν με φυσικές διεργασίες στο στόμα. Για να βρεθεί ένα τέτοιο υποσύνολο πραγματοποιήθηκαν αισθητηριακές δοκιμές. Έτσι προκύπτει η εξίσωση (1), που περιέχει τους συντελεστές του Σχήματος 4:

$$\log(\text{Χαρακτηριστικού } k) = a_{1k} \log(\text{παχύρευστο}) + a_{2k} \log(\text{λείο}) + a_{3k} \log(\text{γλιστερό}) \quad (1)$$

όπου χαρακτηριστικό k είναι ένα χαρακτηριστικό που δεν ανήκει στο υποσύνολο, a_{1k} , a_{2k} και a_{3k} συντελεστές παλινδρόμησης για το υποσύνολο «παχύρευστο», «λείο», «γλιστερό» και οι λογάριθμοι αντιπροσωπεύουν τους λογαρίθμους των εκτιμήσεων για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. (Kokini, 1977).

Για την ολοκληρωμένη περιγραφή της υφής είναι θεμελιώδες να αναλυθούν και να ποσοτικοποιηθούν οι διαδικασίες με τις οποίες γίνεται αισθητή η υφή της τροφής στο στόμα, όπου αυτό είναι δυνατό. Αυτό σημαίνει προσομοίωση των φυσικών κινήσεων που πραγματοποιούνται στο στόμα κατά την εισαγωγή και επεξεργασία της τροφής με τις κατάλληλες εξισώσεις. Παράλληλα με αυτές τις εξισώσεις προτείνεται και η χρήση των οικουμενικών καμπύλων (universal curves), με τις οποίες είναι δυνατόν πρότυπα τρόφιμα να προσομοιωθούν με τρόφιμα που έχουν την ίδια αίσθηση όσον αφορά κάποια ιδιότητα (Kokini, 1987). Μία οικουμενική καμπύλη είναι ο τύπος λειτουργίας των τάσεων και των ποσοστών διάτμησης για ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της υφής.



Σχήμα 4. Οικουμενική καμπύλη (Kokini, 1987).

Estimated regression coefficients

Log Attribute k = α_{1k} Log Thick + α_{2k} Log Smooth + α_{3k} Log Slippery				
Attributes	α_{1k}	α_{2k}	α_{3k}	R²
Heavy	.544	.207	-.018	.967
Slimy	.468	-.368	.535	.766
Sticky	.607	.984	-.224	.917
Creamy	.539	.728	.220	.738
Gummy	.605	-.071	-.256	.967
Thin	-.517	-.053	.480	.949
Light	-.354	.165	.463	.930

Σχήμα 5. Εξίσωση για την πρόβλεψη χαρακτηριστικών βάσει των 3 ανεξάρτητων μεταβλητών (Kokini, 1977).

1.1.3 Ορολογία της υφής

Προσπάθειες για την εκπόνηση ενός γλωσσάριου με ορολογία της υφής έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως και έχουν διενεργηθεί συγκριτικές έρευνες όρων που αφορούν την υφή των τροφίμων σε διάφορες γλώσσες (Kohyama, 2020).

Η αναγνώριση της υποκειμενικότητας που υπάρχει στη φύση της υφής των τροφίμων, αποτέλεσε έναυσμα για την εκπόνηση γλωσσάριου όρων υφής στηριζόμενο στην κοινώς αποδεκτή κατηγοριοποίηση. Η κατηγορίες που επιλέχθηκαν είναι: α) όροι που αφορούν τη συμπεριφορά του υλικού υπό συμπίεση ή εφελκυσμό, β) όροι που αφορούν τη συμπεριφορά του υλικού και γ) όροι που αφορούν την αίσθηση στο στόμα (Jowitt, 1974). Το 1989 δημοσιεύτηκε μια λίστα με 54 αγγλικές λέξεις που περιγράφουν την υφή τροφίμων και τις μεταφράστηκε σε 22 γλώσσες, ανάμεσα σε αυτές και τα ελληνικά, με στόχο την κατανόηση των χαρακτηριστικών της υφής και των λέξεων που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά αυτά (Drake, 1989). Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι μεταφράσεις των 54 λέξεων από τα Αγγλικά στα Γερμανικά, τα Γαλλικά, τα Ιταλικά και τα Ελληνικά. Όπως παρατηρείται στο σχήμα 5, πολλοί αγγλικοί όροι μεταφράζονται με την ίδια ακριβώς λέξη στα ελληνικά, π.χ. οι όροι fluid και liquid μεταφράζονται ως ρευστό ή υγρό και οι όροι crumbly και brittle μεταφράζονται ως εύθρυπτο. Ομοίως, πανομοιότυπα αποδίδονται όροι από τα αγγλικά και στις υπόλοιπες 3 γλώσσες. Επιπροσθέτως παρατηρείται ότι κάποιοι όροι δεν αποδίδονται καθόλου στα ελληνικά, όπως για παράδειγμα οι όροι firm, chewy και crunchy. Οι Lawless et al. (1997) σε συγκριτική έρευνα που πραγματοποίησαν ανάμεσα σε

λέξεις τις αγγλικής και της φινλανδικής γλώσσας, διαπίστωσαν ότι παρά τις ομοιότητες που υπάρχουν ανάμεσα στις δύο γλώσσες σε όρους υφής, παρουσιάζονται δυσκολίες στη μετάφραση κάποιων όρων που έχουν πολλαπλό νόημα. Για παράδειγμα ο όρος «thick» στα αγγλικά μπορεί να αφορά τόσο τις φυσικές διαστάσεις, όσο και τη δυσκολία στη ροή, ενώ στα φινλανδικά χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές λέξεις (Lawless, 1997). Οι Nishinari et al. (2008) σε συγκριτική έρευνα που πραγματοποίησαν σε όρους που αφορούν την υφή σε Αγγλικά, Γαλλικά, Ιαπωνικά και Κινέζικα, διαπίστωσαν ότι ακόμα και ανάμεσα στους ειδικούς δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία σε όρους που αφορούν την υφή (Nishinari, 2008). Σχετικά πρόσφατη έρευνα καταλήγει πως είναι αναγκαία η εκπόνηση λεξικών που αφορούν την υφή συγκεκριμένων τροφίμων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεννόηση ετερογενών ατόμων που ασχολούνται με το συγκεκριμένο τρόφιμο (Hayakawa, 2015).

Στη συνέχεια θα αποδώσουμε στα ελληνικά όρους και περιγραφικές λέξεις που αφορούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της υφής τροφίμων, όπως κατηγοριοποιούνται και αναλύονται από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης στην οδηγία ISO 5492 (ISO5492, 2008). Για τη μετάφραση χρησιμοποιήθηκαν οι λέξεις του Σχήματος 5 (Drake, 1989), η απόδοση στα ελληνικά των Σχημάτων 2 και 3 (Τζιά, 2004), το βιβλίο Οργανοληπτικός Έλεγχος Τροφίμων (Γρηγοράκης, 2014).

Μηχανικές ιδιότητες (mechanical attributes): σχετίζονται με την αντίδραση του προϊόντος όταν εφαρμόζεται σε αυτό μηχανική τάση.

1) Σκληρότητα (hardness): σχετίζεται με τη δύναμη που χρειάζεται για να επιτευχθεί δοθείσα παραμόρφωση, διείσδυση ή θραύση. Στα διαφορετικά επίπεδα σκληρότητας ανταποκρίνονται τα εξής βασικά επίθετα:

- Μαλακό (soft): χαμηλό επίπεδο, π.χ. κρέμα τυριού.
- Σφικτό (firm): μεσαίο επίπεδο, π.χ. ελιές.
- Σκληρό (hard): υψηλό επίπεδο, π.χ. βρασμένα γλυκά.

2) Συνεκτικότητα (cohesiveness): σχετίζεται με τον βαθμό στον οποίο το τρόφιμο μπορεί να παραμορφωθεί χωρίς να σπάσει και συμπεριλαμβάνει τις ιδιότητες της ευθραυστότητας (fracturability), της μασητικότητας (chewiness) και της ιδιότητας κολλώδους (gumminess).

Ευθραυστότητα (fracturability): μηχανική ιδιότητα σχετιζόμενη με τη σκληρότητα, τη συνεκτικότητα και τη δύναμη που απαιτείται για να διαχωριστεί ένα προϊόν σε μέρη ή θρύμματα. Επίθετα που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα ευθραυστότητας:

Πίνακας 1. Πολύγλωσσος πίνακας όρων που περιγράφουν αισθητήρια χαρακτηριστικά υφής/ρεολογίας (Drake, 1989).

Characteristic	Sensory Textural/Rheological Words in English	Translation			
		Greek	French	Italian	German
Viscosity	creamy	κρεμώδες	crèmeux	cremoso	kremig
	fluid	ρευστό, υγρό	fluide	fluido	fluid, flüssig
	juicy	χυμώδες, εύχυμο	juteux, succulent	succoso	saftig
	liquid	ρευστό, υγρό	liquide	liquido	flüssig
	oily	ελαιώδες	huileux	oleoso	ölig
	slimy	γλοιώδες, κολλώδες	gluant, vaseux, visqueux	viscido	schleimig
	thick	παχύ, πηκτό	épais	spesso	dick
	thin	λεπτό, αραιό	mince, léger, fluide	blando, leggero	dünn
	viscous	γλοιώδες, ιξώδες, πυκνό, παχύ	visqueux	viscoso	viskos dick(flüssig)
watery	υδατώδες, υγρό, υδαρές	aqueux	acquoso	wäss(e)rig	
Plasticity	“Body”	σύσταση, σώμα- ουσία	corps	consist- enza	“Körper”, dicht, “Substanz”

Συνεχίζεται

Πίνακας 1. Συνέχεια

Plasticity	fleshy	σαρκώδες	charnu	polposo	fleishig
	gooey	“takōdes”	collant, pâteux, poisseux	gommoso	mundig, schmierig, klebrig
	greasy	λιπαρό, λιπώδες	gras, graisseux	untuoso	schmierig, fellig
	pasty	πολτώδες, ζυμαρώδες	pâteux	pastoso	teigig, pastig
	plastic	πλαστικό, πολτώδες	plastique	plastico	plastisch
	pulpy	πλαδαρό, πολτώδες	pulpeux	polposo	breiig, (fleischig), (pülpos)
	soggy	μουσκεμένο	mouillé, imbibé, détrempé	inzuppato	glitschig, eingetunkt, (feucht)
	spreadable	αλοιφώδες, “aletōdes”	tartinable, étalable	spalmabile	streichfähig, streichbar
Elasticity	elastic	ελαστικό	élastique	elastico	elastisch
	flexible	λυγερό, ευλύγιστο	flexible	flessibile	flexibel, biegsam
	gelatinous	πηκτωματώδες	gélatineux	gelatinoso	gallertartig, gelatinös
	gummy	μαστιχοειδές	gommeux	gommoso	gummiartig, klebrig, gummig
	hard	σκληρό	dur	duro	hart
	pliable	λυγερό, εύκαμπτο	pliable	flessibile	geschmeidig, biegsam
	rigid	άκαμπτο	rigide	rigido	steif, starr
	rubbery	λαστιχωτό	caoutchouteux	elastico	gummiartig

Συνεχίζεται

Πίνακας 1. Συνέχεια

Elasticity	soft	μαλακό	mou	soffice	weich
	springy	ελατό	“a du resort”, élastique	elastico	federnd, elastisch
	stiff	αλύγιστο	raide	rigido	steif
	weak	αδύνατο, αραιό	délicat, dilué	leggero	schwach, weich, dünn
Compress- ibility	compact	συμπαγές	compact	compat- to	kompakt
	compressible	συμπιεστό, συμπιεστικό	compressible	compri- mibile	kompressibel, pressbar, komprimferbar
	firm		ferme	sodo	fest
	fluffy	απαλό, βαμβακώδες	ouateux, duveteux, poudreux	soffice	locker, (leicht), flaumig
	loose	χαλαρό	lâche	sciolto	lose, locker, weich
Cohesive- ness	brittle	εύθρυπτο	friable, qui s’ éffrite, fragile	fragile	spröde, zerbrechlich
	chewy		caoutchouteux	mastica- bile	kaubar, (zäh)
	cohesive	συνεκτικό	cohésif	coesivo	Kohäsiv, zussamen- haltend
	crisp	τραγανιστό	croustillant	croccante	knusprig, krisp
	crumbly	εύθρυπτο	qui s’émiette, “emiettable”	mollicoso	krümelig, bröckelig
	crunchy		croquant	croccante	knirschend, knackig, knusprig

Συνεχίζεται

Πίνακας 1. Συνέχεια

Cohesiveness	ductile	εύκαμπτο, ελατό	ductile	duttile	ductil, dehnbar, streckbar
	flacky	τολυπώδες	floconneux	squamoso	flockig
	friable	εύθρυπτο	friable	friable	mürbe, zerbrechlich, krümlich
	long	μακρύ	long	lungo	lang
	mealy		farineux	farinoso	mehlig
	short	βραχύ	court	corto	kurz
	tender	τρυφερό	tendre	tenero	zart
	tough	σκληρό	coriace	duro	zäh
Adhesiveness	adhesive		collant, adhésif	appiccicoso	adhäsiv, klebend, haftend
	(dry)	στεγνό, ξερό			trocken
	sticky	κολλώδες	collant	appiccicoso	klebrig
	tacky		collant	aesivo	klebrig

-Συνεκτικό (cohesive): πολύν χαμηλό επίπεδο, π.χ. καραμέλα, τσίχλα.

-Εύθρυπτο (crumbly): χαμηλό επίπεδο, π.χ. κέικ.

-Τραγανό-τραγανιστό, (crunchy): ίσως και τριζάτο, μεσαίο επίπεδο, π.χ. μήλο, ωμό καρότο.

-Εύθραυστο (brittle): υψηλό επίπεδο, π.χ. στερεά καραμέλα, κανόλι.

-Τραγανό ή/και ξερό-ξεροψημένο (crispy): υψηλό επίπεδο, π.χ. πατατάκια, νιφάδες δημητριακών.

-Ξεροψημένο-έχον κρούστα (crusty): ίσως λιγότερο τραγανό από το «crispy» υψηλό επίπεδο, π.χ. μπαγκέτα.

-Κονιοποιήσιμο, που κονιορτοποιείται (pulverulent): πολύ εύθρυπτο, π.χ. παραβρασμένος κρόκος αυγού.

Μασητικότητα (chewiness): μηχανική ιδιότητα σχετιζόμενη με την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την μάσηση στερεού τροφίμου, ούτως ώστε να είναι κατάλληλο για κατάποση. Επίθετα που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα μασητικότητας:

Ρευστοποιούμενο,-που λιώνει (melting): πολύ χαμηλό επίπεδο, π.χ. παγωτό.

Μαλακό (tender): χαμηλό επίπεδο, π.χ. νεαρά μπιζέλια.

Μασώμενο-που απαιτεί μάσημα: μεσαίο επίπεδο, π.χ. τσίχλες-ζελεδάκια με γεύση φρούτων, ίσως και λαστιχωτό.

Σκληρό (tough): υψηλό επίπεδο, π.χ. βόειο κρέας μεγάλης ηλικίας.

Ιδιότητα κολλώδους (gumminess): Μηχανική ιδιότητα που σχετίζεται με τη συνεκτικότητα μαλακού προϊόντος. Στο στόμα σχετίζεται με την προσπάθεια που χρειάζεται για να διαχωριστεί/αποικοδομηθεί η τροφή, ούτως ώστε να είναι έτοιμη για κατάποση. Επίθετα που αντιστοιχούν στις διάφορες βαθμίδες της ιδιότητας κολλώδους είναι:

Βραχύ (short): χαμηλό επίπεδο, π.χ. μπισκότο βουτύρου-σόρτμπρεντ.

Αλευρώδες (mealy): μεσαίο επίπεδο, π.χ. κάποιες πατάτες, μαγειρεμένα ξηρά φασόλια.

Ζυμώδες-πολτώδες (pasty): μεσαίο επίπεδο, π.χ. πουρές κάστανου, αλευρόκολλα.

Κολλώδες-μαστιχοειδές (gummy): υψηλό επίπεδο, π.χ. παραμαγειρεμένο πλιγούρι βρώμης, βρώσιμη ζελατίνη.

3) Ιξώδες (viscosity): μηχανική ιδιότητα που σχετίζεται με την αντίσταση στη ροή. Ανταποκρίνεται στη δύναμη που απαιτείται για να διοχετευθεί ένα υγρό από ένα κουτάλι πάνω στη γλώσσα ή να αλειφθεί πάνω σε υπόστρωμα. Επίθετα που αντιστοιχούν στις διάφορες βαθμίδες ιξώδους είναι:

Ρευστό-υγρό (fluid): χαμηλό επίπεδο, π.χ. νερό.

Λεπτόρευστο-αραιό (thin): μεσαίο επίπεδο, π.χ. ηλιέλαιο.

Λιπαρό-γλοιώδες-παχύρευστο-κρεμώδες (unctuous/creamy): μεσαίο επίπεδο, π.χ. διπλή κρέμα, κρέμα γάλακτος.

Πυκνό-παχύ-πηκτό-παχύρευστο-πυκνόρευστο-ιξώδες (thick/viscous): πολύ υψηλό επίπεδο, π.χ. ζαχαρούχο συμπυκνωμένο γάλα, μέλι.

4) Ελαστικότητα-ανθεκτικότητα (elasticity): μηχανική ιδιότητα σχετιζόμενη με την ταχύτητα επαναφοράς μετά την άσκηση δύναμης παραμορφώσεως και με τον βαθμό στον οποίο ανακτά την προηγούμενη κατάσταση του το τρόφιμο το οποίο υποβλήθηκε σε δύναμη παραμορφώσεως. Επίθετα που αντιστοιχούν στις διάφορες βαθμίδες ελαστικότητας είναι:

Πλαστικό-πολτώδες (plastic): απουσία ελαστικότητας, π.χ. μαργαρίνη.

Εύπλαστο-ελατό (malleable): μεσαίο επίπεδο, π.χ. marshmallow.

Ελαστικό-λαστιχωτό (elastic-springy-rubbery): υψηλό επίπεδο, π.χ. μαγειρεμένο καλαμάρι, οστρακοειδή, τσίχλες.

5) Προσκολλησιμότητα-συνάφεια (adhesiveness): μηχανική ιδιότητα που σχετίζεται με τη δύναμη που απαιτείται για την αφαίρεση υλικού που κολλάει στο στόμα ή σε υπόστρωμα. Η προσκολλησιμότητα μπορεί να γίνεται αισθητή στον ουρανίσκο όπου σχετίζεται με τη δύναμη που απαιτείται για να απομακρυνθεί προϊόν με τη γλώσσα από τον ουρανίσκο μετά από συμπίεση του προϊόντος ανάμεσα σε γλώσσα και ουρανίσκο, στα χείλη όπου σχετίζεται με το βαθμό που ένα προϊόν προσκολλάται στα χείλη και στα δόντια όπου σχετίζεται με την ποσότητα προϊόντος που προσκολλάται στα δόντια μετά από μάσηση. Ακόμη σχετίζεται με τη δύναμη που απαιτείται για να αποχωριστούν 2 μέρη του προϊόντος μεταξύ τους με την βοήθεια της γλώσσας ή το προϊόν από ένα κουτάλι. Επίθετα που αντιστοιχούν στις διάφορες βαθμίδες προσκολλησιμότητας είναι:

Προσκολλησιμο-σαθρό (tacky): χαμηλό επίπεδο, π.χ. marshmallow.

Κολλητικό (clinging): μεσαίο επίπεδο, π.χ. φυστικοβούτυρο.

Γλοιώδες-μαστιχωτό (goosey): υψηλό επίπεδο, π.χ. σως καραμέλας παγωτού, παραμαγειρεμένο ρύζι.

Κολλητικό (sticky-adhesive): πολύ υψηλό επίπεδο, π.χ. τόφι.

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά (geometrical attributes): Αφορούν το μέγεθος, το σχήμα και τη διευθέτηση των σωματιδίων στο τρόφιμο. Αποτελούνται από την πυκνότητα (denseness), το κοκκιώδες (granularity) και την διαμόρφωση (conformation).

1) Πυκνότητα (denseness): γεωμετρικό χαρακτηριστικό της υφής που σχετίζεται με την αντίληψη του πόσο συμπαγής είναι η διατομή ενός προϊόντος κατόπιν διαχωρισμού του με δάγκωμα. Επίθετα που αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα πυκνότητας είναι:

Ελαφρύ-αβαρές-αδύνατο-ισχνό-σπογγώδες (light): χαμηλό επίπεδο, π.χ. σαντιγί.

Συμπαγές-στερεό-δεμένο-πυκνό (heavy-dense): υψηλό επίπεδο, π.χ. κρέμα κάστανου, παραδοσιακή χριστουγεννιάτικη πουτίγκα αγγλικού τύπου.

2) Κοκκιώδες (granularity): γεωμετρικό χαρακτηριστικό της υφής που σχετίζεται με την αντίληψη του μεγέθους, του σχήματος και της ποσότητας των σωματιδίων/κόκκων σε ένα προϊόν. Τα επίθετα που αντιστοιχούν στις διάφορες βαθμίδες είναι:

Απαλό-λείο (smooth-powdery): απουσία, π.χ. ζάχαρη άχνη.

Λεπτόκοκκο-αμμώδες (gritty): χαμηλό επίπεδο, π.χ. κάποια είδη αχλαδιών.

Κοκκώδες (grainy): μεσαίο επίπεδο, π.χ. σιμιγδάλι.

Χάντρινο-σφαιροειδές (beady): περιέχον μικρά σφαιρικά σωματίδια, π.χ. πουτίγκα από ταπιόκα.

Σπυρωτό-κρυσταλλοειδές (granular): περιέχον γωνιώδη, σκληρά σωματίδια, π.χ. καστανή ζάχαρη.

Τραχύ-χοντροκομμένο (coarse): υψηλό επίπεδο, π.χ. μαγειρεμένες νιφάδες βρώμης.

Σβολιασμένο-ανώμαλο (lumpy): πολύ υψηλό επίπεδο: τυρί κότατζ.

3) Διαμόρφωση (conformation): γεωμετρικό χαρακτηριστικό που σχετίζεται με το σχήμα και τον προσανατολισμό των σωματιδίων σε ένα προϊόν. Τα επίθετα που αντιστοιχούν στις διάφορες διαμορφώσεις είναι:

Κυτταρικό-κυψελοειδές (cellular): σφαιρικά ή ωοειδή σωματίδια που αποτελούνται από λεπτά τοιχώματα και περικλείουν υγρό ή αέριο, π.χ. πορτοκάλι.

Κρυσταλλικό (crystalline): γωνιώδη, παρόμοιου μεγέθους, συμμετρικά, τρισδιάστατα σωματίδια, π.χ. ζάχαρη καστανή.

Ινώδες (fibrous): μακριά σωματίδια ή λωρίδες με κοινό προσανατολισμό, π.χ. σέλινο.

Φολιδοειδές-νιφιδωτό-τολυπώδες-σφολιατοειδές (flaky): χαλαρά στρώματα που διαχωρίζονται εύκολα, π.χ. μαγειρεμένος τόνος, κρουασάν, σφολιάτα.

Φουσκωτό (puffy): συμπαγές εξωτερικό περίβλημα με ανομοιόμορφους θύλακες αέρα στο εσωτερικό, π.χ. προφιτερόλ, φουσκωμένο ρύζι.

Επιφανειακά χαρακτηριστικά (surface attributes) και χαρακτηριστικά σώματος/κορμού: σχετίζονται με τις αισθήσεις που παράγονται στο στόμα από την υγρασία ή/και το λίπος πάνω ή κοντά στην επιφάνεια ενός προϊόντος, αλλά και από τον τρόπο που απελευθερώνονται τα συστατικά αυτό από το σώμα του προϊόντος.

1) Υγρασία (moisture): επιφανειακό χαρακτηριστικό που περιγράφει την αντίληψη του νερού που απορροφάται ή απελευθερώνεται από ένα τρόφιμο. Επίθετα που χαρακτηρίζουν τα διάφορα επίπεδα υγρασίας είναι:

Επιφανειακά:

Στεγνό-ξηρό (dry): απουσία, π.χ. cream crackers.

Υγρό-νοτερό (moist): μεσαίο επίπεδο, π.χ. ξεφλουδισμένο μήλο.

Μουσκεμένο-βρεγμένο (wet): υψηλό επίπεδο, π.χ. κινέζικο νεροκάστανο, στρείδι.

Εσωτερικά:

Στεγνό ξηρό (dry): απουσία, π.χ. cream crackers.

Υγρό-νοτερό (moist): μεσαίο επίπεδο, π.χ. μήλο.

Χυμώδες (juicy): υψηλό επίπεδο, π.χ. πορτοκάλι.

Ζουμερό (succulent): υψηλό επίπεδο, π.χ. κρέας.

Νερουλό (watery): πολύ υψηλό επίπεδο, π.χ. καρπούζι.

2) Λιπαρότητα (fattiness): χαρακτηριστικό που σχετίζεται με την αντίληψη της ποιότητας ή της ποσότητας λίπους στην επιφάνεια ή στο σώμα ενός τροφίμου. Επίθετα που χαρακτηρίζουν τα διάφορα επίπεδα λιπαρότητας είναι:

Λαδερό (oily): αίσθηση προϊόντος μουλιασμένου προϊόντος που στάζει, π.χ. σαλάτα με dressing.

Λιπαρό (greasy): αίσθηση προϊόντος που εκκρίνει λίπος, π.χ. μπέικον, τσιπς, πατάτες τηγανητές.

Παχύ (fatty): αίσθηση υψηλής αναλογίας λίπους σε ένα προϊόν, π.χ. λαρδί, στέαρ.

Αερισμός (aeration): περιγράφει ένα στερεό ή ημιστερεό προϊόν (αεριούχο), το οποίο περιέχει μικρούς, πανομοιότυπους θύλακες αερίου και μαλακά διαχωριστικά τοιχώματα. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως αφρώδες (frothy-foamy, υγρά διαχωριστικά τοιχώματα, π.χ. μιλκσέικ) ή πορώδες (porous, στερεά τοιχώματα, π.χ. μους σοκολάτας, marshmallow).

Αφρισμός-αναβρασμός (effervescence): ο σχηματισμός φυσαλίδων σε υγρό προϊόν είτε με χημική αντίδραση είτε με απελευθέρωση πίεσης. Δεν αφορά μόνο την υφή, αλλά και οπτικά χαρακτηριστικά. Επίθετα που χαρακτηρίζουν τα διάφορα επίπεδα αφρισμού είναι:

Χωρίς ανθρακικό (still): απουσία, π.χ. νερό βρύσης.

Ξεθυμασμένο (flat): χαμηλότερο επίπεδο ανθρακικού από το αναμενόμενο, π.χ. μπουκάλι μπύρας ανοιγμένο μεγάλο χρονικό διάστημα.

Γαργαλιστικό (tingly): γίνεται αντιληπτό σαν χαρακτηριστικό της υφής στο στόμα.

Αφρώδες-πομφολυγώδες (bubbly): έχει ορατές αναδυόμενες φυσαλίδες.

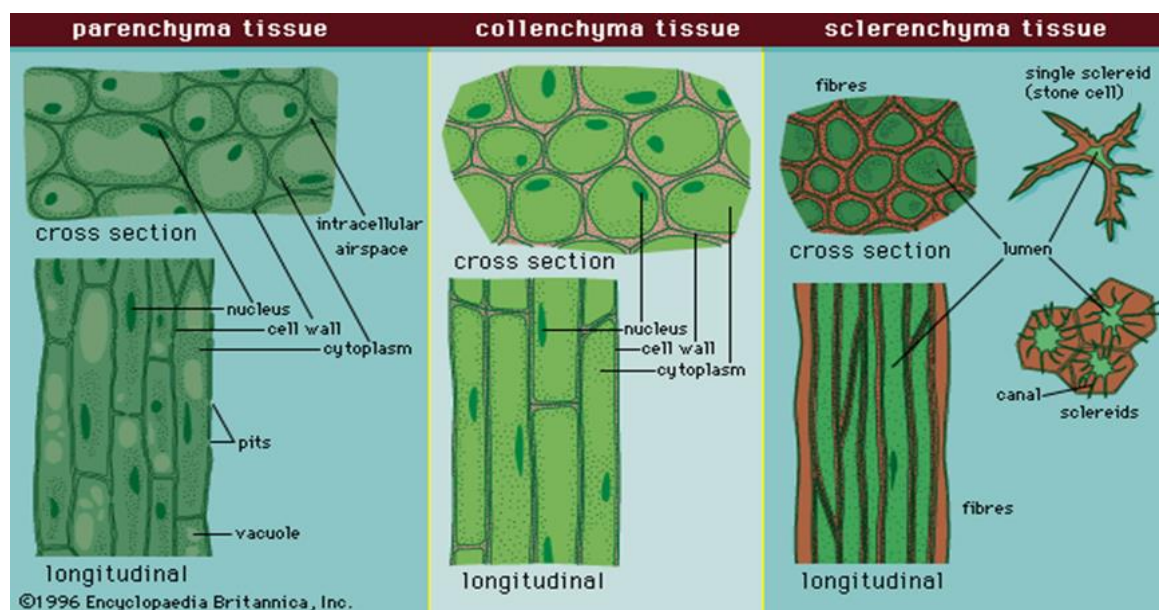
Ανθρακούχο-βράζον (fizzy): που έχει ζωνηρές φυσαλίδες που σκάνε και γίνονται εύκολα αντιληπτές με την ακοή.

1.2 Ιδιότητες υφής στους βρώσιμους φυτικούς οργανισμούς

1.2.1 Ιδιότητες υφής και δομή φυτικών ιστών

Αν θέλαμε να συνθέσουμε έναν πολυκύτταρο οργανισμό με δομικές μονάδες τα μόρια, η πορεία που θα ακολουθούσαμε θα ήταν η εξής: Τα μόρια θα συγκροτούσαν τα μακρομόρια, τα οποία απαρτίζουν τα μοριακά σύμπλοκα και αυτά με τη σειρά τους συνθέτουν υποκυτταρικές δομές. Αυτές ακολούθως οργανώνονται σε κύτταρα. Οι ιστοί συγκροτούνται από κύτταρα, συνθέτουν τα όργανα και τα όργανα αυτά τελικά συνθέτουν τον πολυκύτταρο οργανισμό (Κοτζαμπάσης, 2022).

Οι ιδιότητες της υφής, οι οποίες μπορεί στη συνέχεια να αναφέρονται και ως υφή, προκύπτουν από τη μορφολογία ενός φυτικού οργανισμού σε επίπεδο οργάνου (οργανολογία), η οποία εξαρτάται από ορισμένα γνωρίσματα των κυττάρων των φυτικών ιστών και ουσιαστικά από δομές και αλληλεπιδράσεις μορίων και ιόντων. Τα μέρη ενός φυτικού οργανισμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τροφή (βλαστοί, φύλλα, ρίζες, άνθη, σπόροι, φρούτα, βολβοί) αποτελούνται από διάφορα είδη ιστών. Οι ιστοί διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο για την υφή του τροφίμου βάσει της αναλογίας με την οποία εμφανίζονται οι ινώδεις ιστοί, όπως κολλέγχυμα (collenchyma), σκληρέγχυμα (sclerenchyma) (στηρικτικοί), ξύλωμα, φλοιώμα (αγωγοί) και οι πιο μαλακοί παρεγχυματικοί (parenchyma) ιστοί (Σχήμα 6). Τα περισσότερα φρούτα και λαχανικά αποτελούνται από παρεγχυματικούς ιστούς (Ranganathan, 2016).



Σχήμα 6. Φυτικοί ιστοί και κύτταρα (Britannica, Plant cells and tissues, 2022)

Το παρέγχυμα συνήθως αποτελείται από ζωντανά κύτταρα με λεπτό τοίχωμα και απροσδιόριστη μορφή. Ο ιστός που δημιουργεί το παρέγχυμα μπορεί να είναι συμπαγής ή να υπάρχουν εκτενή κενά ανάμεσα στα κύτταρα (Britannica, parenchyma, 2022). Στα κενά αυτά μπορεί να υπάρχουν σημαντικές ποσότητες αέρα, κάτι που επηρεάζει την υφή του τροφίμου (Khan, 1993).

Τα φυτικά κύτταρα οριοθετούνται από την κυτταρική ή πλασματική μεμβράνη. Ότι περιέχεται μέσα στην κυτταρική μεμβράνη ονομάζεται πρωτόπλασμα. Στο πρωτόπλασμα περιέχονται τα κυτταρικά οργανίδια, τα οποία έχουν κάποια ζωτική μεταβολική λειτουργία, και εργοστικές ουσίες (ergastic substances), οι οποίες έχουν διάφορες λειτουργίες όπως αποθήκευση, έκκριση αποβλήτων και προστασία. Στις εργοστικές ουσίες, πλην άλλων, συμπεριλαμβάνονται άμυλο, πρωτεΐνες, λίπη και έλαια (Simpson, 2019). Η καταστροφή του κυττάρου προκαλεί απελευθέρωση ουσιών, όπως «ελεύθερο άμυλο» στις πατάτες, κάτι που έχει επίπτωση στην υφή (Nonaka, 1980). Οι ιδιότητες της υφής ενός φρέσκου φυτικού τροφίμου σε κυτταρικό επίπεδο αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό στο φαινόμενο της σπάργωσης (turgor pressure) του φυτικού κυττάρου, κατά το οποίο το κύτταρο διογκώνεται και το τοίχωμά του τεντώνεται, αφού απορροφήσει νερό λόγω ώσμωσης. Η σπάργωση προσδίδει στην υφή του κυττάρου ακαμψία και τραγανότητα (Jackman, 1995). Σε φυτικούς ιστούς που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία η συνεισφορά της κυτταρικής μεμβράνης στην υφή είναι μικρή, γιατί η μεμβράνη διαρρηγνύεται, με αποτέλεσμα απώλεια σκληρότητας/σταθερότητας στην υφή. Σε φυτικούς ιστούς στους οποίους η πίεσης της σπαργής είναι μειωμένη η θερμική επεξεργασία έχει μικρότερη επίδραση στην υφή (Greve, 1994).

Η υφή των φυτικών τροφίμων σε κυτταρικό επίπεδο αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην πίεση της σπαργής που αναφέρεται παραπάνω και στη δομική ακεραιότητα του κυτταρικού τοιχώματος και της μεσοκυττάριας στρώσης ή μέσης πλάκας (Jackman, 1995). Η υφή στα επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά με χαμηλό ποσοστό αμύλου μπορεί να χαρακτηριστεί κυρίως από το κυτταρικό τοίχωμα και τη μεσοκυττάρια στρώση (Ranganathan, 2016), που βρίσκονται στο εξωτερικό μέρος του κυττάρου. Η μεσοκυττάρια στρώση που είναι πλούσια σε πηκτίνη, έναν δομικό ετεροπολυσακχαρίτη, καθορίζει τη συνοχή του φυτικού ιστού. Κατά την ανάπτυξη του φυτικού κυττάρου έξω από την κυτταρική μεμβράνη δημιουργείται τοίχωμα, το οποίο ονομάζεται πρωτογενές κυτταρικό τοίχωμα. Αποτελείται κυρίως από κυτταρίνη, ένα πολυσακχαριτικό πολυμερές της γλυκόζης (Simpson, 2019). Σε μικρότερο βαθμό περιέχονται (σε μεσοκυττάρια στρώση και

κυτταρικό τοίχωμα) γλυκοπρωτεΐνες και φαινολικές ενώσεις. Το κυτταρικό τοίχωμα είναι λεπτό, αλλά ισχυρό, περιορίζοντας τη διόγκωση του κυττάρου από το φαινόμενο της σπάργωσης. Η μεσοκυττάρια στρώση είναι ανθεκτική σε δυνάμεις συμπίεσης ή εφελκυσμού, αλλά όχι στη διατμητική τάση. Σε περίπτωση απουσίας της λόγω της θερμικής της αστάθειας, τα κύτταρα εύκολα διαχωρίζονται (Jackman, 1995).

1.2.2 Η σημασία της υφής στους βρώσιμους φυτικούς ιστούς

Η υφή φρούτων και λαχανικών είναι σημαντικός παράγοντας για την ποιότητά τους μαζί με τη γεύση και την εμφάνισή τους και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό οικονομική τους αξία και την προτίμηση από τους καταναλωτές. Οι περισσότεροι καταναλωτές θέλουν τραγανά μήλα και χυμώδη ροδάκινα, που λιώνουν στο στόμα χωρίς να πολτοποιούνται (McPherson, 2021). Η σημασία της υφής επισημαίνεται εμμέσως από την μελέτη του Schiffman (1978). Μία ομάδα ανθρώπων με δεμένα μάτια κλήθηκε να ξεχωρίσει διάφορα είδη τροφίμων με γνώμονα μόνο τη γεύση τους. Τα τρόφιμα ήταν αλεσμένα και συμπιεσμένα, ώστε να συγκαλύπτεται η υφή τους. Τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν πόσο δύσκολο είναι να αναγνωριστούν τα περισσότερα τρόφιμα μόνο βάσει της γεύσης τους. Ενδεικτικά, οι νέοι ενήλικες κανονικού βάρους κατάφεραν να αναγνωρίσουν μόνο το 40.7% των τροφίμων που τους προσφέρθηκαν. Μόνο το 4% των ερωτηθέντων κατάφερε να ταυτοποιήσει το λάχανο, 15% το χοιρινό, 41% το μοσχάρι και 51% το καρότο.

1.3 Ιδιότητες υφής στο μήλο

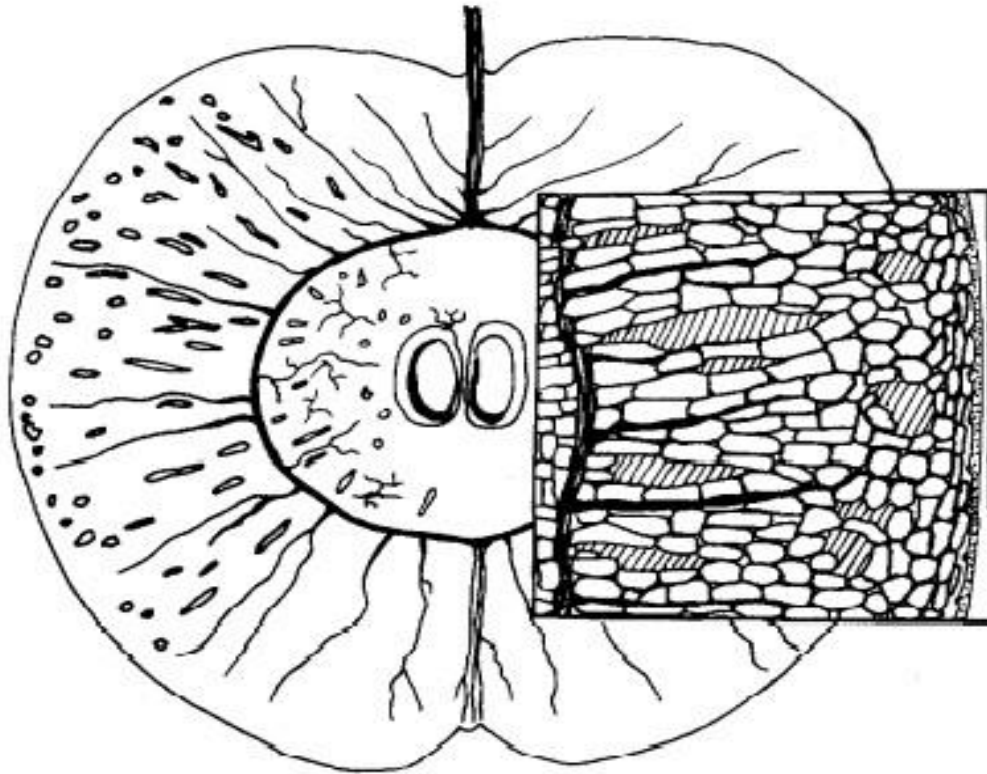
Γενικά οι προτιμήσεις των καταναλωτών για τα μήλα βασίζονται σε συσχετισμούς μεταξύ υφής και γεύσης (Harker, 2003). Για παράδειγμα οι καταναλωτές μπορούν να χωριστούν σε 2 κατηγορίες, σε αυτούς που προτιμούν γλυκά και σκληρά μήλα και σε αυτούς που προτιμούν χυμώδη και όξινα (Daillant-Spinnler, 1996). Η «αλευρώδης» υφή (mealiness) είναι αρνητικό χαρακτηριστικό, που συνήθως οδηγεί τον καταναλωτή να απορρίψει το μήλο (Andani, 2001). Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι η ποιότητα είναι πιο σημαντική από την τιμή, όταν η εμπορική αξία κυμαίνεται σε αναμενόμενο εύρος. Η προσαύξηση στην τιμή που μπορεί να πληρώσει κάποιος καταναλωτής για καλύτερη ποιότητα διαφέρει από άτομο σε άτομο (Harker, 2003).

1.3.1 Δομή του παρεγχύματος στο μήλο

Το μήλο θα μπορούσε να παρομοιαστεί με μία σφαίρα από σκληρό ινώδες δέρμα παραγεμισμένη με αφρό από παρεγχυματικά κύτταρα (Khan, 1993). Τα κύτταρα ακριβώς κάτω από την επιδερμίδα του μήλου είναι μικρά και ακτινωτά πεπλατυσμένα με τη μεγαλύτερη διάστασή τους να φτάνει περίπου τα 50 μm. Προχωρώντας προς το εσωτερικό υπάρχει σταδιακή αύξηση στο μέγεθος των κυττάρων μέχρι τα 5 mm από την επιφάνεια, όπου και φτάνουν στο μέγιστο μέγεθός τους (Bain, 1951). Το μήκος των κυττάρων μπορεί να φτάσει έως και 200 μm (Reeve, 1953) αναλόγως την ποικιλία (Khan, 1990). Η μεγαλύτερη αύξηση μεγέθους γίνεται κατά μήκος της ακτίνας του φρούτου και τα κύτταρα οργανώνονται σε στήλες από το κέντρο προς την περιφέρεια του μήλου με διεύθυνση παράλληλη της ακτίνας (Khan, 1993). Το παρέγχυμα δηλαδή αποτελείται από κυλινδρικά κύτταρα, διευθετημένα κατά μήκος της ακτίνας το ένα πίσω από το άλλο (Σχήμα 7).

Το παρέγχυμα στα ώριμα μήλα έχει σχετική πυκνότητα μικρότερη του 1, συνήθως από 0.5-0.9 (Vincent, 1989). Ανάμεσα στα κύτταρα υπάρχουν μεγάλα κενά, τα οποία είναι διακριτά με μικροσκόπιο (Reeve, 1953). Αυτά τα κενά είναι διευθετημένα όπως και τα κύτταρα κατά μήκος της ακτίνας (Khan, 1990). Κοντά στην επιφάνεια οι μεσοκυττάριοι αυτοί χώροι είναι περίπου σφαιρικοί με διάμετρο 100-200 μm και κατανεμημένοι τυχαία. Προχωρώντας προς το κέντρο οι χώροι αυτοί επιμηκύνονται κατά τη διεύθυνση της ακτίνας και απλώνονται ανάμεσα στις ακτινικές στήλες των κυττάρων. Ο όγκος του στις περισσότερες ποικιλίες μήλου είναι 25% - 40% (Vincent, 1989).

Ανάμεσα στον εξωτερικό και τον εσωτερικό φλοιό του μήλου υπάρχει πυκνό αγγειακό σύστημα από το οποίο αναδύονται αποκλίνουσες αγγειακές αποφύσεις και εκτείνονται έως την περιφέρεια του φρούτου (Reeve, 1953). Αποτελούνται από δέσμη ξυλωδών ινών με εγκάρσια τομή μικρότερη από αυτή των παρεγχυματικών κυττάρων. (Khan, 1990). Αυτές οι δομές κάνουν το παρέγχυμα μορφολογικά ανισοτροπικό (Khan, 1993).



Σχήμα 7. Διαμήκης τομή σε μήλο (Khan, 1993).

1.4 Μέθοδοι και όργανα μέτρησης υφής

Λόγω του μεγάλου εύρους των τύπων τροφής, της πληθώρας των ρεολογικών και των ιδιοτήτων υφής που επιδεικνύουν, αλλά και του μεγάλου αριθμού μεθόδων που χρησιμοποιούνται για να μετρηθούν αυτές οι ιδιότητες είναι αναγκαίο να γίνει μια προσπάθεια κατηγοριοποίησής τους σε ένα σύστημα. Το σύστημα κατηγοριοποίησης που θα ακολουθηθεί βασίζεται στη μεταβλητή ή τις μεταβλητές που μετρούνται στην κάθε δοκιμή. Το σύστημα αυτό κατηγοριοποιεί σύμφωνα με τη βασική αρχή κάθε δοκιμής και όχι σύμφωνα με το είδος της τροφής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.

1.4.1 Μέθοδοι μέτρησης της υφής: Οι μέθοδοι μέτρησης υφής ενός τρόφιμου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής.1) βάσει της δύναμης σε μεθόδους: α) διάτρησης, β) συμπίεσης-εξέλασης, γ) κοπής-διατμητικά, δ) συμπίεσης, ε) εφελκυσμού, στ) στρέψης, ζ) κάμψης και σπασίματος, η) παραμόρφωσης.2) βάσει της απόστασης.3)βάσει του χρόνου και 4) σε λοιπές μεθόδους (Boume, 2002). Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με δοκιμές που αφορούν διάτρηση, συμπίεση και κοπή.

1.4.1.1 Μέθοδοι μέτρησης της δύναμης

α) Διατρητικό τεστ: Μετράει τη δύναμη που χρειάζεται για να πιεστεί ένας έμβολο διάτρησης σε ένα τρόφιμο. Το τεστ αυτό χαρακτηρίζεται από ένα όργανο που μετράει τη δύναμη, την εισχώρηση του εμβόλου στην τροφή, που προκαλεί μη αναστρέψιμη καταστροφή του τροφίμου και από το βάθος εισχώρησης που είναι συνήθως σταθερό. Οι βασικές καμπύλες που παίρνουμε είναι 5 τύπων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9. Στους τύπους A, B, και C παρατηρείται μία αρχική ραγδαία αύξηση της δύναμης σε μικρή απόσταση, όταν η μύτη του καθετήρα ακουμπά στο τρόφιμο. Σε αυτή τη φάση το τρόφιμο παραμορφώνεται από το φορτίο, χωρίς όμως να υπάρχει διάτρηση των ιστών του τροφίμου.

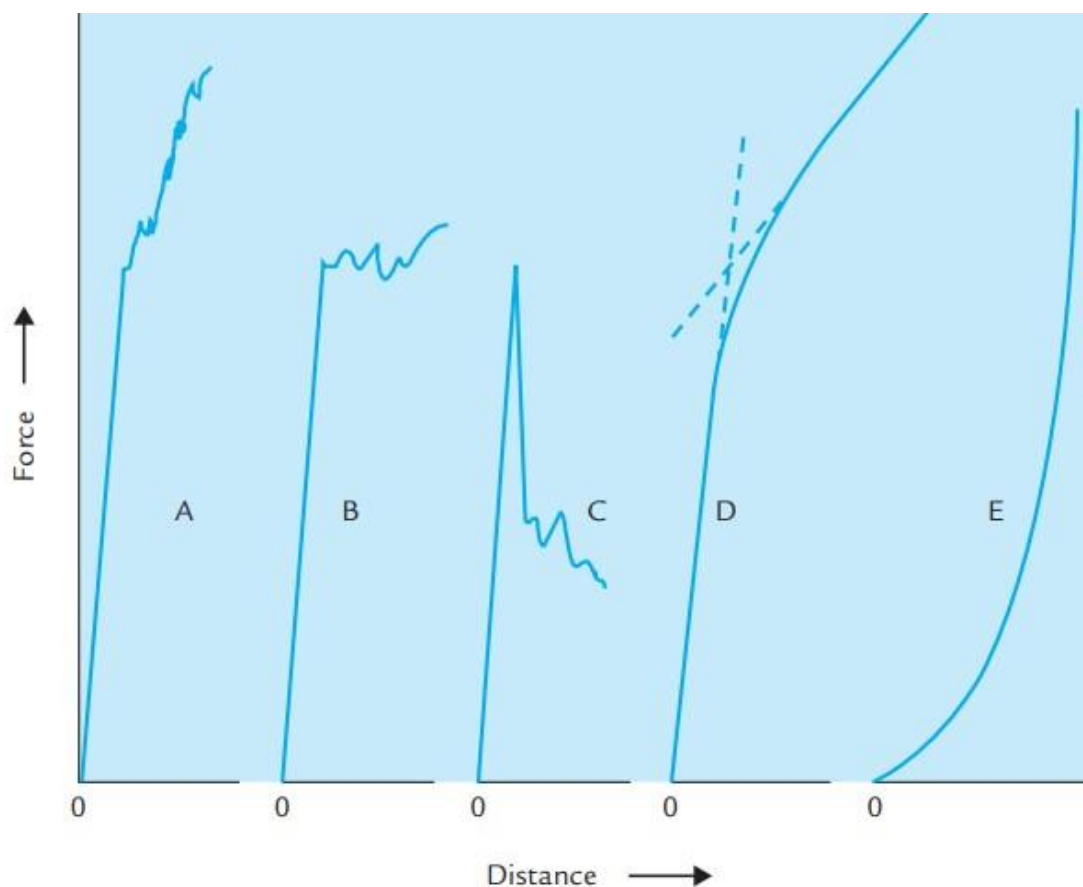
Method	Measured variable	Dimensional units	Examples
1. Force	Force (F)	mlt^{-2}	
a. Puncture	F	mlt^{-2}	Magness–Taylor, Effi-Gi
b. Extrusion	F	mlt^{-2}	Shear press, Tenderometer
c. Cutting–Shear	F	mlt^{-2}	Warner–Bratzler Shear
d. Crushing	F	mlt^{-2}	–
e. Tensile	F	mlt^{-2}	–
f. Torque	F	mlt^{-2}	Rotary Viscometers
g. Snapping	F	mlt^{-2}	Brabender Struct- o-Graph
h. Deformation	F	mlt^{-2}	
2. Distance			
a. Length		l	Penetrometers, Deformation
b. Area		l^2	Grawemeyer Consistometer
c. Volume		l^3	Bread volume, Juice volume
3. Time	Time (T)	t	Ostwald Viscometer
4. Energy	Work ($F \times D$)	ml^2t^{-2}	–
5. Ratio	F or D or T measured twice	Dimensionless	Specific gravity
6. Multiple	F and D and T	mlt^{-2}, l, t	Instron, TA.XT2
7. Multiple variable	Anything	Unclear	Durometer
8. Chemical analysis	Concentration	Dimensionless (%)	Alcohol insoluble solids
9. Miscellaneous	Anything	Anything	Optical density, crushing sounds

Σχήμα 8. Μέθοδοι για την μέτρησης της υφής (Bourne, 2002).

Αυτή η φάση τελειώνει απότομα όταν το έμβολο αρχίζει να εισχωρεί στο τρόφιμο, το οποίο απεικονίζεται από μία ξαφνική αλλαγή της κλίσης, που ονομάζεται σημείο παραμόρφωσης

(yield point). Μετά τη διάτρηση, όπως φαίνεται στην καμπύλη A η δύναμη συνεχίζει να αυξάνεται, στη B παραμένει σταθερή, ενώ στη C μειώνεται. Ο τέταρτος τύπος καμπύλης παρατηρείται σε κάποιες κρέμες αμόλου και αφρούς, ενώ ο πέμπτος τύπος καμπύλης επίσης σε κρέμες αμόλου. (Bourne, 2002).

Το τεστ διάτρησης προϋποθέτει ημιάπειρο σώμα, δηλαδή ότι το μέγεθος του δείγματος είναι αρκετά μεγαλύτερο από το έμβολο έτσι ώστε αν το δείγμα ήταν ακόμη



Σχήμα 9. Τύποι καμπύλων διατρητικού τεστ (Bourne, 2002).

μεγαλύτερο δεν θα υπήρχε διαφορά στη δύναμη διάτρησης. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η διάμετρος του δείγματος πρέπει να είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο του εμβόλου. Παράλληλα πρέπει να δοθεί προσοχή στη βάση που υποστηρίζει το δείγμα κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής διάτρησης, καθώς αν δεν υπάρχει κατάλληλη στήριξη μπορεί να υπεισέλθει σφάλμα στις μετρήσεις. Όταν το δείγμα είναι αρκετά μεγάλο, το έμβολο θα εισχωρήσει σε μικρό σχετικά βάθος σε σχέση με το μέγεθος του δείγματος, οπότε είναι σωστό να χρησιμοποιηθεί ενιαία πλάκα στήριξης. Όταν το δείγμα είναι λεπτό υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να συμπιεστεί η τροφή πάνω στην πλάκα στήριξης και η δοκιμή να γίνει συνδυασμός διάτρησης και συμπίεσης. Σε αυτήν την περίπτωση

χρησιμοποιείται πλάκα στήριξης με οπή, η διάμετρος της οποίας θα πρέπει να είναι 1,5-3 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο του εμβόλου (Bourne, 2002).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το τεστ διάτρησης είναι: η φύση της τροφής, το μέγεθος και το σχήμα του εμβόλου, ο αριθμός των εμβόλων που χρησιμοποιούνται, το βάθος της διάτρησης και η ταχύτητα του εμβόλου, όταν η τροφή είναι ιξωδοελαστική.

β) Τεστ συμπίεσης-εξέλασης: Το τεστ αυτό πραγματοποιείται εφαρμόζοντας δύναμη σε μία τροφή, μέχρι εκείνη να αρχίσει να ρέει από μία έξοδο (οπή) του δοκιμαστικού θαλάμου. Η τροφή συμπιέζεται μέχρι να καταστραφεί η δομή της και να εξωθηθεί από την οπή. Συνήθως μετρείται η μέγιστη δύναμη που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί αυτή η εξώθηση και χρησιμοποιείται σαν ποιοτικός δείκτης της υφής του συγκεκριμένου τροφίμου. Το τεστ αυτού του τύπου πραγματοποιείται σε υγρά μεγάλου ιξώδους, γέλες, λίπη, καθώς και φρέσκα και επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά.

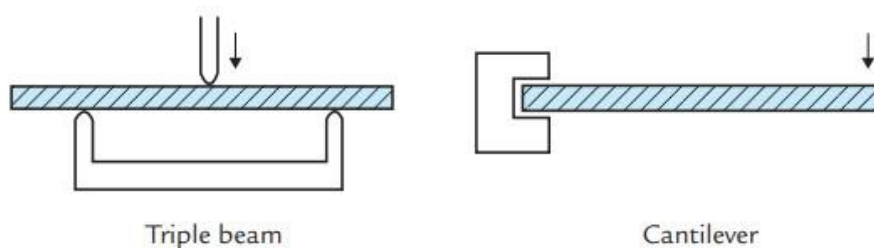
γ) Τεστ κοπής ή διατμητικό: Τεστ που αφορούν οποιαδήποτε δράση κοπής που έχει σαν αποτέλεσμα να χωριστεί το τρόφιμο σε 2 μέρη. Χρησιμοποιείται στο κρέας, αλλά και σε άλλα τρόφιμα.

δ) Τεστ σύνθλιψης: Το δείγμα συμπιέζεται σε μία διάσταση, ενώ δεν είναι περιορισμένο στις άλλες δύο. Χρησιμοποιείται ευρέως σε στερεά τρόφιμα. Συνήθως πραγματοποιείται από γενικά μηχανήματα αντοχής υλικών (universal testing machines). Η πλάκες που συμπιέζουν το τρόφιμο πρέπει να είναι μεγαλύτερες από αυτό, αλλιώς η δοκιμή μετατρέπεται σε διάτρηση.

ε) Τεστ εφελκυσμού: Κατά τον εφελκυσμό, σε ένα σώμα ασκούνται αντίθετες δυνάμεις που τείνουν να το επιμηκύνουν. Το τεστ εφελκυσμού δεν χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στα τρόφιμα, καθώς η διαδικασία της μάσησης περιέχει θλίψη και όχι εφελκυσμό ανάμεσα στα δόντια. Πάραυτα πραγματοποιούνται κάποια τεστ εφελκυσμού στα τρόφιμα.

στ) Τεστ στρέψης: Σε αυτόν τον τύπο δοκιμής εφαρμόζεται μία δύναμη, η οποία τείνει να περιστρέψει μέρος ενός αντικειμένου γύρω από έναν άξονα. Η τάση μίας δύναμης να δημιουργήσει περιστροφική κίνηση ονομάζεται στροφορμή. Η βασική εφαρμογή αυτού του τεστ αφορά τα περιστροφικά ιξωδόμετρα, που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν ιδιότητες ιξώδους ενός τροφίμου.

ζ) Τεστ κάμψης και σπασίματος: Η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε τρόφιμα που έχουν σχήμα μπάρας ή φύλλου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 υπάρχουν δύο είδη τεστ κάμψης και σπασίματος. Στο πρώτο είδος τεστ το τρόφιμο στηρίζεται σε δύο δοκούς και ένα έμβολο συμπιέζει το τρόφιμο ανάμεσα στα δύο στηρίγματα. Στο δεύτερο είδος δοκιμής το προϊόν στηρίζεται στο ένα άκρο του και αφήνεται να καμφθεί ελεύθερα σε όλο του το μήκος.



Σχήμα 10. Δύο είδη δοκιμής κάμψης και σπασίματος (Bourne, 2002).

1.4.1.2 Μέθοδοι μέτρησης της απόστασης

Οι μέθοδοι μέτρησης της απόστασης μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

1) γραμμικές μετρήσεις, 2) μετρήσεις έκτασης και 3) μετρήσεις όγκου (Bourne, 2002).

- 1) Γραμμικές μετρήσεις: Υπάρχουν αρκετά γνωστά απλά όργανα τα οποία βασίζονται σε γραμμικές μετρήσεις, όπως ο μετρητής διείδυσης ή συνεκτικότητας Bostwick, που μετράει την απόσταση που διανύει η κέτσαπ και ο πουρές φρούτων πάνω σε μία οριζόντια λεκάνη. Ένας χάρακας, ένα παχύμετρο ή άλλα απλά όργανα μέτρησης της απόστασης είναι κατάλληλα για απλές εφαρμογές (Bourne, 2002).
- 2) Μετρήσεις έκτασης: Πιθανόν δεν υπάρχουν πραγματικά όργανα μέτρησης της έκτασης, όμως κάποιοι μετρητές συνεκτικότητας μετρούν τη ροή ενός υγρού ή ημιστερεού τροφίμου από κυκλικό περιέκτη πάνω σε μία οριζόντια πλάκα και στη συνέχεια υπολογίζεται η ακτίνα σε δύο σημεία της πλάκας,
- 3) Μετρήσεις όγκου: Υπάρχουν αρκετά χρήσιμα τεστ, στα οποία πραγματοποιείται μέτρηση όγκου, η οποία συσχετίζεται με κάποια ιδιότητα της υφής. Για παράδειγμα έχουν γίνει πολλές προσπάθειες να μετρηθεί η

περιεκτικότητα υγρασίας σε κρέας και ψάρι υπολογίζοντας τον όγκο του υγρού που έχει εξαχθεί υπό πίεση.

1.4.1.3 Μέθοδοι μέτρησης του χρόνου

Κινηματικά ιξωδόμετρα μετρούν τον χρόνο που χρειάζεται ένας πρότυπος όγκος τρόφιμου να περάσει μέσα από μία οπή. Ιξωδόμετρα με μπάλα η οποία πέφτει μετρούν το χρόνο που χρειάζεται μια μπάλα για να κατέβει μια συγκεκριμένη απόσταση μέσα σε ένα υγρό.

1.4.1.4 Λοιπές μέθοδοι

Στις λοιπές μεθόδους συγκαταλέγονται μετρήσεις έργου, ενέργειας και ισχύς, μετρήσεις αναλογίας, μετρήσεις πολλαπλών μεταβλητών, η χημική ανάλυση, οι οπτικές μέθοδοι, οι ακουστικές μέθοδοι, οι μέθοδοι υπερήχων, το ηλεκτρομυογράφημα, η ηλεκτροπαλατογραφία, η μέθοδος MSS (Multiple-point Sheet Sensor), η μορφοκλασματική ανάλυση και ο γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform), η ατελής συμπιεζόμενη ροή με λιπαντικό, η μέθοδος SPC (Sliding Pin Consistometer), η μέθοδος πρόσκρουσης εκκρεμούς, τα γενικά όργανα μέτρησης της υφής, καθώς και η ανάλυση του προφίλ της υφής (Texture Profile Analysis) (Bourne, 2002).

1.4.2 Όργανα μέτρησης της υφής

Στο εμπόριο υπάρχει πληθώρα οργάνων που πραγματοποιούν μετρήσεις υφής, αναλόγως με το είδος της δοκιμής που είναι επιθυμητή. Στην παρούσα εργασία θα εστιάσουμε στα γενικά όργανα αντοχής υλικών, τα οποία έχουν προσαρμοστεί για μετρήσεις υφής, αφού πρώτα παρουσιάσουμε τα σημαντικότερα όργανα μέτρησης της υφής.

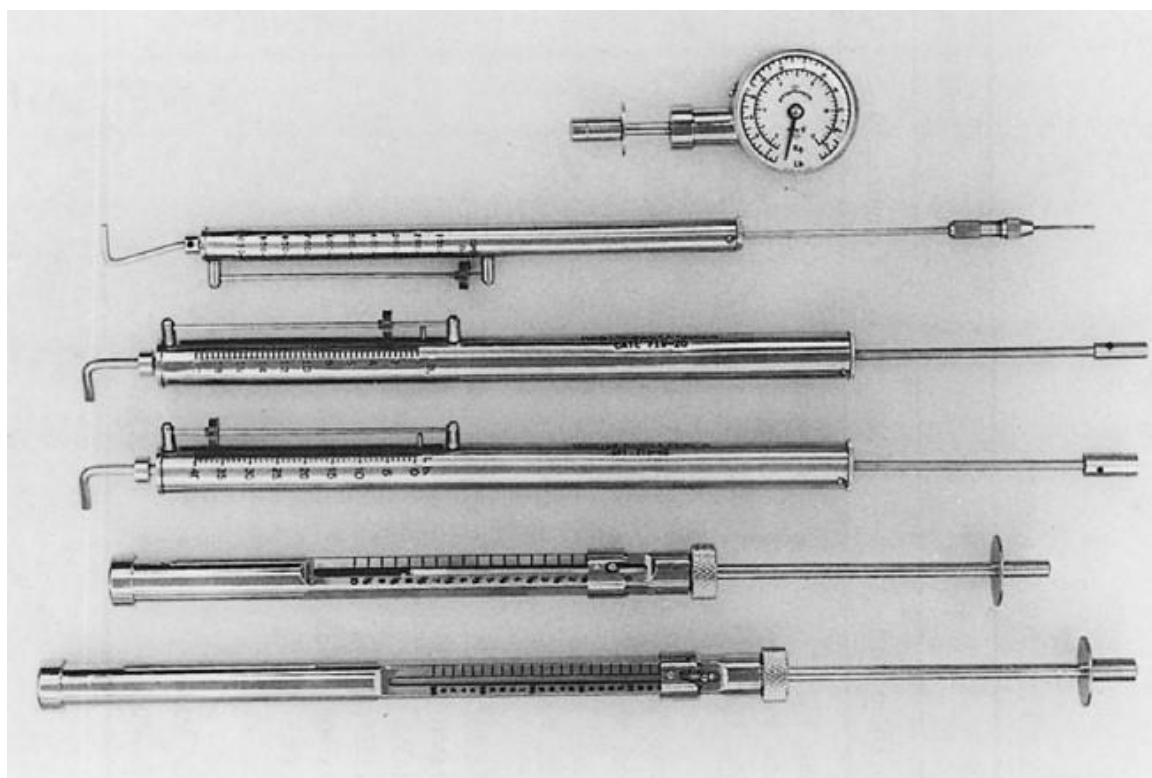
1.4.2.1 Διάφορα όργανα μέτρησης της υφής

Σε αυτήν την υποενότητα θα εξεταστούν τα σημαντικότερα εμπορικώς διαθέσιμα όργανα μέτρησης της υφής.

Διατηρητικά όργανα χειρός: Αυτοί οι μετρητές προέρχονται από τον βελτιωμένο τύπο μετρητών πίεσης που αναπτύχθηκε από τους Magness και Taylor (1925). Συχνά καλούνται μετρητές πίεσης, αλλά μια καλύτερη περιγραφή θα ήταν μετρητές διάτρησης. Όλα τα όργανα αυτού του τύπου χρησιμοποιούν ένα ελατήριο για να μετρήσουν τη δύναμη που

εφαρμόζεται και δείκτη που υποδεικνύει τη μέγιστη δύναμη δοκιμής. Χρησιμοποιούνται ευρέως για να μετρήσουν τη σκληρότητα φρούτων και κάποιων λαχανικών.

Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται τα Effi-Gi, Ballauf και Chatillon. Το Effi-Gi είναι το μικρότερο, ελαφρύτερο και πιο εύχρηστο όργανο. Αυτοί οι μετρητές κρατούνται στο ένα χέρι, με το έμβολο πάνω στο προς δοκιμή τρόφιμο και μια διαρκώς αυξανόμενη δύναμη εφαρμόζεται έως ότου το έμβολο να εισχωρήσει μέχρι τη χαραγμένη γραμμή. Η μέγιστη δύναμη καταγράφεται από έναν δείκτη μετρητή αναφοράς της δύναμης. Στο Σχήμα 11 φαίνονται διάφορα είδη μετρητών Magness-Taylor (Bourne,2002).



Σχήμα 11. Διατρητικά όργανα χειρός τύπου Magness-Taylor (Bourne, 2002).

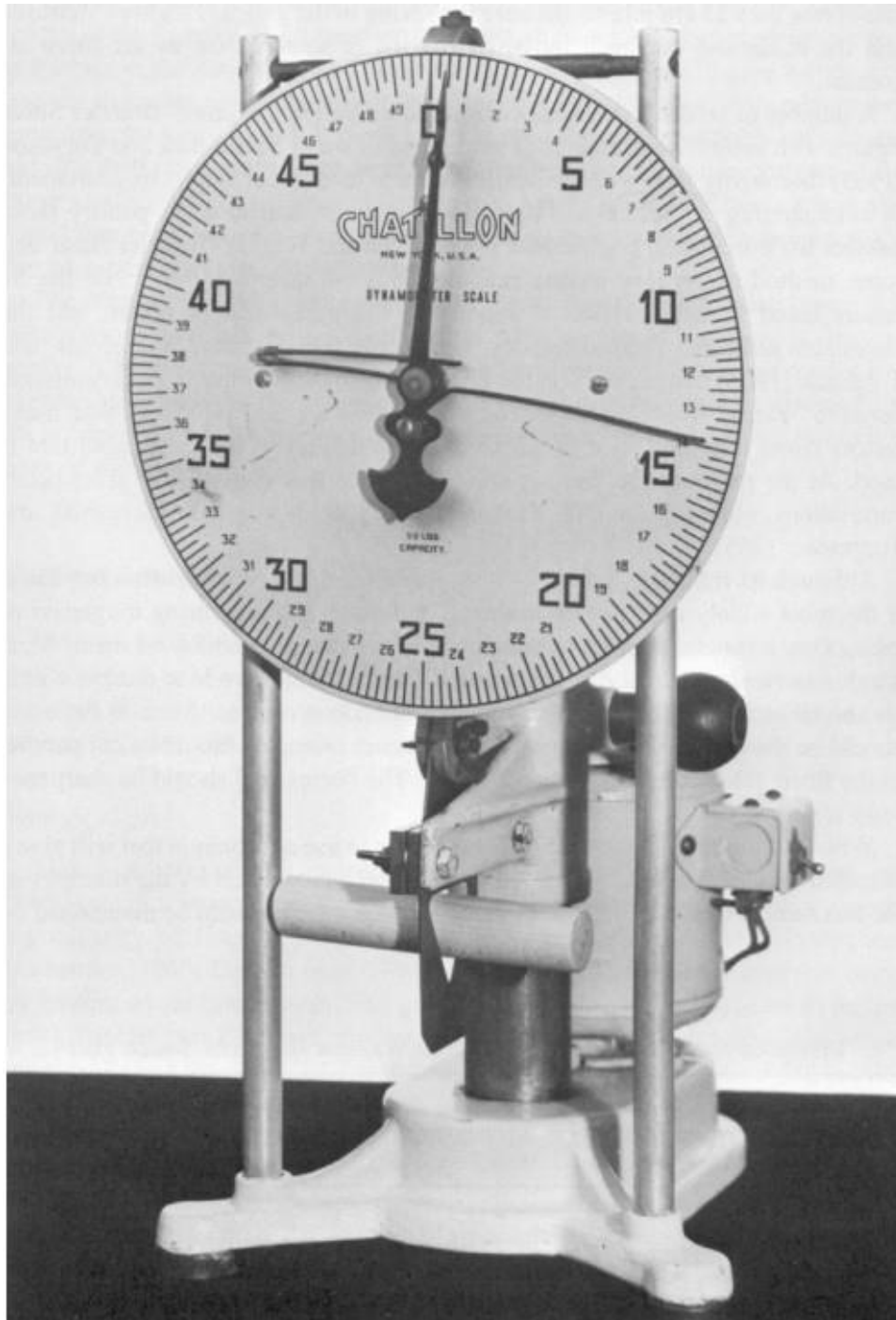
Μετρητής τρυφερότητας αρακά: Ένα πλέγμα που αποτελείται από 19 λεπίδες ανοξείδωτου χάλυβα, ωθούμενο από κινητήρα, περιστρέφεται ανάμεσα σε ανάλογο δευτερεύον πλέγμα από 18 λεπίδες. Ο αρακάς τοποθετείται στην κοιλότητα που υπάρχει ανάμεσα στα δύο πλέγματα, κόβεται και συμπιέζεται από τις οπές ανάμεσα στις λεπίδες. Το δευτερεύον πλέγμα λεπίδων είναι συνδεδεμένο με εκκρεμές το οποίο ταλαντεύεται καθώς το δευτερεύον πλέγμα περιστρέφεται. Η μέγιστη δύναμη που ασκείται κατά την κοπή και συμπίεση του αρακά αντικατοπτρίζεται από τη γωνιακή κίνηση του εκκρεμούς και καταγράφεται από έναν δείκτη. Το πρώτο όργανο αυτού του τύπου αναπτύχθηκε από την Food Machinery Corporation σαν ένα αντικειμενικό μέσο για τον προσδιορισμό της

ποιότητας και της ωριμότητας φρέσκων πράσινων μπιζελιών (Bourne, 2002). Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται ένα τέτοιο όργανο.



Σχήμα 12. Μετρητής τρυφερότητας αρακά (tenderometer, 2023).

Διατμητικό όργανο Warner-Bratzler: Το δοκιμαστικό κελί αυτού του οργάνου αποτελείται από μία λεπίδα στην οποία υπάρχει μία τρύπα τριγωνικού σχήματος (Σχήμα 13), Το κρέας κόβεται σε σταθερό μέγεθος και πιέζεται προς τα κάτω μέχρι να κοπεί, ενώ καταγράφεται η μέγιστη δύναμη που ασκείται (Bourne, 2002).



Σχήμα 13. Διαμητικό όργανο Warner-Bratzler (Bourne, 2002).

Φαρινογράφος: Είναι ένα βασικό όργανο δοκιμών το οποίο χρησιμοποιείται σε αλευρόμυλους, αρτοποιεία και εργαστήρια έρευνας δημητριακών, για να προσδιορίσει την ποιότητα ψησίματος και την ικανότητα απορρόφησης υγρασίας των αλεύρων, καθώς και τις ιδιότητες της ζύμης. Η λειτουργία του οργάνου βασίζεται στην οριζόντια περιστροφική κίνηση δύο πτερυγίων σχήματος Z, τα οποία αναμιγνύουν αλεύρι και νερό, ενίοτε και άλλα συστατικά, σε ένα δοχείο. Η στροφορμή που χρειάζεται για να αναμιχθεί η ζύμη που

προκύπτει και ο τρόπος με τον οποίο αλλάζει κατά τη διάρκεια της ανάμιξης παρέχουν ένα ποσοτικό μέτρο των ρεολογικών ιδιοτήτων της ζύμης. Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται μία τέτοια συσκευή (Bourne, 2002).

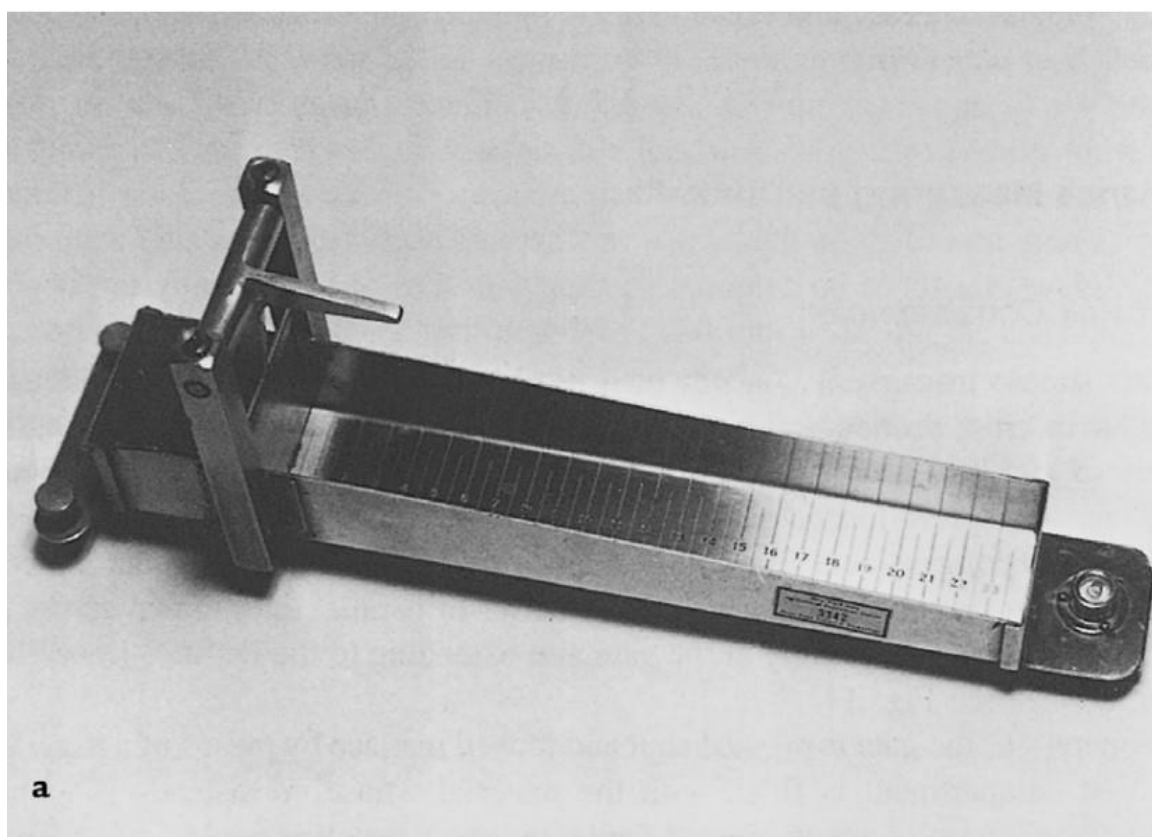


Σχήμα 14. Φαρινογράφος (Brabender, 2023).

Μετρητής συνεκτικότητας Bostwick (Bostwick Consistometer): Αυτό το όργανο αποτελείται από μία επίπεδη λεκάνη από ανοξείδωτο χάλυβα με ορθογώνια τομή και έχει δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα μήκους 5 cm, πλάτους 5 cm και ύψους 3,8 cm χωρίζεται από το δεύτερο τμήμα με ένα χόρισμα που λειτουργεί με ελατήριο. Το δεύτερο τμήμα, όμορο του πρώτου, είναι μια λεκάνη μήκους 24 cm, πλάτους 5 cm και ύψους 2,5 cm. Το δάπεδο αυτού του τμήματος έχει μια σειρά από παράλληλες γραμμές σε απόσταση 0,5 cm

η μία από την άλλη που ξεκινούν από το χωρίσμα και φτάνουν μέχρι το τέλος του οργάνου. Το βάρος του είναι περίπου 800 g (Σχήμα 15).

Κατά τη λειτουργία, η πύλη του χωρίσματος κλείνει και κλειδώνει με τη βοήθεια μία σκανδάλης. Το πρώτο τμήμα πληρώνεται με το υλικό του οποίου τη συνεκτικότητα θέλουμε να υπολογίσουμε, συνήθως πουρέ φρούτων ή λαχανικών, παιδικές τροφές, κέτσαπ ή σάλτσα ντομάτας. Αφού πατηθεί η σκανδάλη απελευθερώνεται η πύλη του χωρίσματος και επιτρέπει την ελεύθερη ροή του υγρού τρόφιμου με τη δύναμη της βαρύτητας από το πρώτο τμήμα στο δεύτερο. Στη συνέχεια υπολογίζεται η απόσταση που διένυσε το τρόφιμο σε χρόνο 30 s (Bourne, 2002).

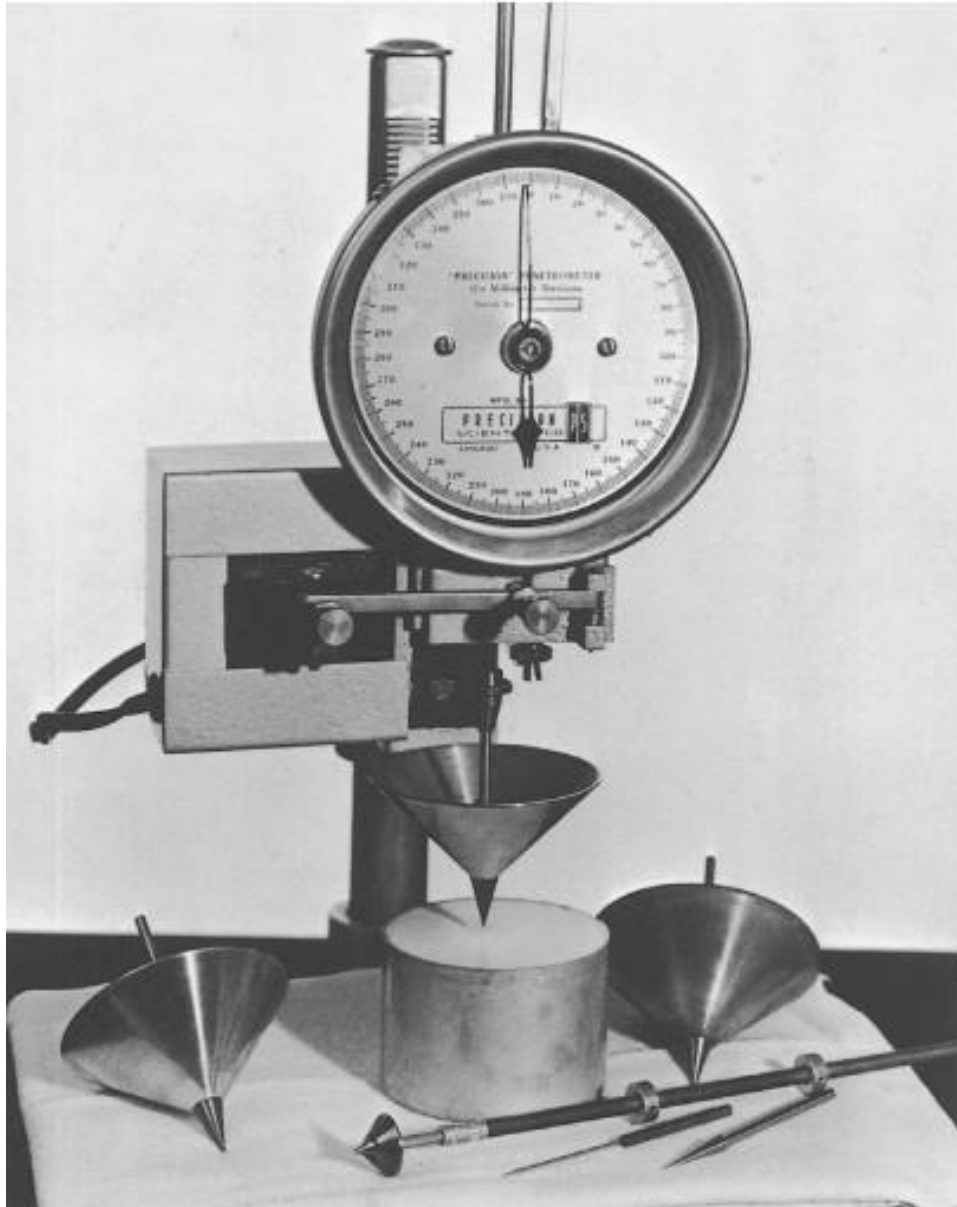


Σχήμα 15. Μετρητής συνεκτικότητας Bostwick (Bourne, 2002).

Πενετρόμετρο: Το πενετρόμετρο αποτελείται από έναν μηχανισμό με έναν κώνο και έναν κάθετο στύλο που του επιτρέπεται να βυθίζεται σε στερεό λίπος κάτω από τη δύναμη της βαρύτητας για συγκεκριμένο χρόνο και στη συνέχεια καταγράφεται το βάθος διείσδυσης (Σχήμα 16). Ισχύει η Εξίσωση 2:

$$C = KW/p^{1.6}$$

όπου το C αντιπροσωπεύει την αντίσταση που δέχεται το κωνικό έμβολο, το K είναι μία σταθερά που εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζει ο κώνος με το στύλο, W είναι το βάρος του μηχανισμού διείδυσης, και p το βάθος διείδυσης μετά από 5 s (Bourne, 2002).



Σχήμα 16. Πενετρόμετρο (Bourne,2002).

1.4.2.2 Γενικά όργανα μέτρησης της υφής

Τα γενικά όργανα μέτρησης της υφής (Universal Testing Machines) αποτελούνται από 3 απαραίτητα δομικά στοιχεία (Σχήμα 17):

1) Έναν οδηγό, ο οποίος μεταδίδει κίνηση σε μία κεφαλή που περιέχει μέρος του δοκιμαστικού κελιού. Ο οδηγός μπορεί να είναι με μονό κοχλία, διπλό κοχλία, υδραυλικός, με αλυσίδα ή μη ομόκεντρος με μοχλό.

2) Δοκιμαστικό κελί: Περιέχει το τρόφιμο και ασκεί δύναμη σε αυτό. Αποτελείται από δύο μέρη. Το κάτω μέρος, το οποίο είναι συνήθως στατικό, είναι συνήθως προσκολλημένο στη βάση του μηχανήματος και υποστηρίζει ή περιέχει το προς δοκιμή τρόφιμο. Το επάνω μέρος του κελιού είναι προσκολλημένο στην κεφαλή ή βραχίονα. Μπορούν να εγκατασταθούν διαφορετικών ειδών κελιά αναλόγως με την αρχή της δοκιμής που είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί.

3) Ένα σύστημα μετρήσεως και καταγραφής το οποίο απεικονίζει γραφικά όλο το ιστορικό της δύναμης κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Ένα πλεονέκτημα των UTM είναι ότι η ίδια μηχανή μπορεί να τροποποιηθεί για την διεκπεραίωση πολλών ειδών δοκιμών. Παλαιότερα έπρεπε να αγοραστεί καινούριο μηχάνημα για κάθε διαφορετικό είδος δοκιμής. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι απεικονίζεται γραφικά όλο το ιστορικό των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα, συμπεριλαμβανομένων του ρυθμού αλλαγής, της μέγιστης δύναμης, της ραγδαίας μείωσης της δύναμης και την επιφάνεια κάτω από την καμπύλη (έργο) (Bourne, 2002).

Στην συνέχεια ακολουθεί λίστα με τις σημαντικότερες γενικές μηχανές αντοχής υλικών (Bourne,2002).

- 1) Instron Universal Testing Machine: Προμηθευτής Instron Corporation, 2500 Washington St, Canton, MA 02021, USA.
- 2) Lloyd Universal Testing: Προμηθευτής Ametek, Inc., 8600 Somerset Drive, Largo, FL 33773, USA.
- 3) QTS Texture Analyzer: Προμηθευτής CNS Farnell, 1 Manor Place, Manor Way, Borehamwood, WD6 7WG, UK.
- 4) TA.XT2 Texture Analyzer: Προμηθευτής Stable Micro Systems, Vienna Court, Lammas Road, Godalming, Surrey, GU7 1YL, UK.
- 5) Tensipresser: Taketomo Electronic Co. Ltd., 1-55 Wakamatsu-Cho, Shinjuku-Ku, Tokyo 162, Japan.
- 6) Wagner Universal Testing Machines: Προμηθευτής Wagner Instruments, PO Box 1217, Greenwich, CT 06836-1217, USA.



Σχήμα 17. Instron Universal Testing Machine (Bourne, 2002).

2. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΘΕΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Στη συνέχεια θα συζητήσουμε ερευνητικές εργασίες οι οποίες αφορούν μετρήσεις υφής σε μήλο. Η επιλογή των θεμάτων έγινε βάσει λέξεων κλειδιών στην ιστοσελίδα <https://onlinelibrary.wiley.com/>. Αναζητήθηκαν μόνο άρθρα από το περιοδικό Journal of Texture Studies, με τη λέξη apple στον τίτλο και τη λέξη texture οπουδήποτε στο κείμενο. Από τα άρθρα που βρέθηκαν στην αναζήτηση έγινε επιπρόσθετη επιλογή με βάση το αντικείμενο τις κάθε μελέτης, ώστε τα άρθρα να καλύπτουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος τρόπων προσδιορισμού της υφής σε μήλο. Με αυτόν τον τρόπο επιλέχθηκαν 9 ερευνητικά άρθρα, τα οποία θα συζητηθούν κατά χρονολογική σειρά.

Η πρώτη έρευνα που θα ασχοληθούμε έχει τίτλο : “DYNAMIC MECHANICAL PROPERTIES OF THE APPLE CORTEX IN RELATION TO SAMPLE LOCATION AND RIPENING” (Petrell, 1980). Για δύο ποικιλίες μήλων σε 2 στάδια ωρίμανσης προσδιορίστηκε ο μιγαδικός συντελεστής συμπίεσης (Compressive Complex Modulus) υποβάλλοντας ιστούς κυλινδρικού σχήματος από διάφορες θέσεις μέσα στο μήλο σε ημιτονοειδή τάση. Ο μιγαδικός συντελεστής συμπίεσης διαφοροποιούνταν ανάλογα με την περιοχή και το βάθος της δειγματοληψίας. Διαφοροποιούνταν επίσης ανάλογα με το βαθμό ωρίμανσης, αλλά μόνο σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες συντήρησης και μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές δειγματοληψίας του φρούτου. Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι το τεστ της ημιτονοειδώς εναλλασσόμενης τάσης και παραμόρφωσης και το τεστ πίεσεως Magness-Taylor δεν μετρούσαν τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες και ότι προφανώς ο μιγαδικός συντελεστής συμπίεσης επηρεαζόταν από αλλαγές στην κυτταρική δομή των ιστών του φρούτου.

Στη συγκεκριμένη έρευνα τα μήλα υποβλήθηκαν σε Δυναμική Μηχανική Ανάλυση και συγκεκριμένα στο ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενο τεστ τάσης και παραμόρφωσης. Με το τεστ αυτό μπορεί κανείς να εκτιμήσει το μιγαδικό συντελεστή συμπίεσης E και τις συνιστώσες του, δηλαδή το δυναμικό μέτρο αποθήκευσης και το δυναμικό μέτρο απωλειών,

Το τεστ υποβάλλει ένα δείγμα σε ημιτονοειδή μεταβαλλόμενη τάση σύμφωνα με την Εξ. 3.

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t) \quad (3)$$

όπου σ η μεταβαλλόμενη τάση, σ_0 η αρχική τάση και t ο χρόνος.

Η απόκριση του δοκιμίου δίνει μια μεταβαλλόμενη παραμόρφωση που μπορεί να εκφραστεί μέσω της Εξ. 4.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t - \delta) \quad (4)$$

Οι κορυφές των δύο ευρών είναι συνάρτηση της συχνότητας και έτσι προκύπτει ο μιγαδικός συντελεστής συμπίεσης της Εξ. 5

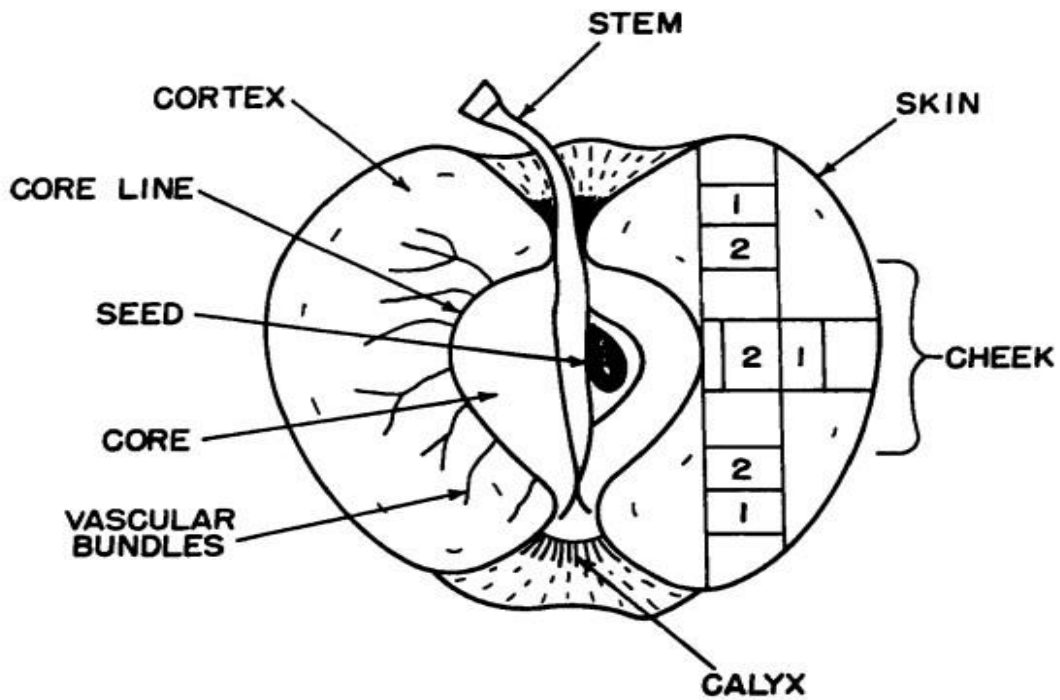
$$\frac{\sigma_{max}}{\varepsilon_{max}} = E \quad (5)$$

και χωρίζεται στις δύο συνιστώσες του με την Εξ. 6.

$$E = |E| \cos(\delta) + i|E| \sin(\delta) \quad (6)$$

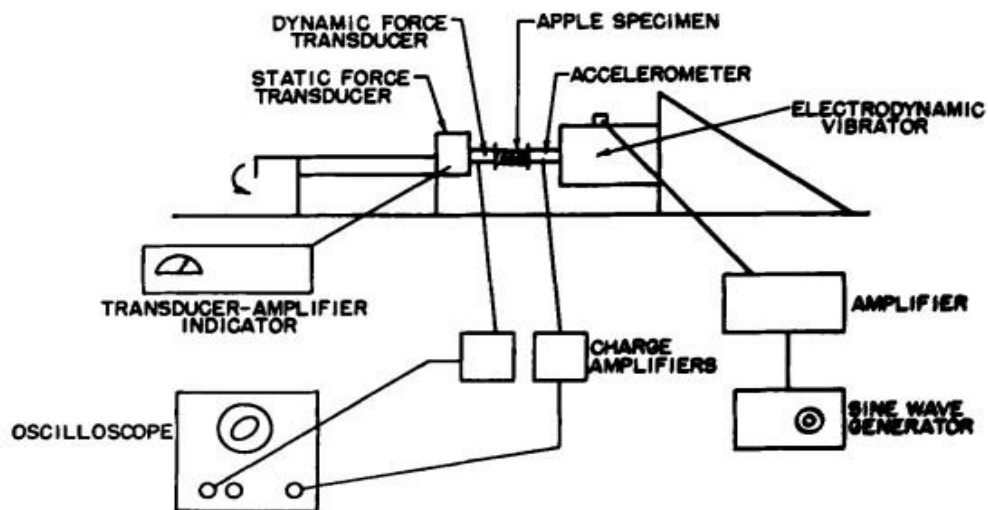
Ο πρώτος όρος συμβολίζει το δυναμικό μέτρο αποθήκευσης και ο δεύτερος το δυναμικό μέτρο απωλειών. Για ένα ιξωδοελαστικό υλικό το μέτρο αποθήκευσης χαρακτηρίζει την ικανότητα του υλικού να αποθηκεύει ενέργεια (ελαστική συμπεριφορά), ενώ το μέτρο απωλειών εκφράζει την τάση του υλικού να διαχέει ενέργεια (ιξώδης συμπεριφορά).

Οι ποικιλίες μήλων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν Stayman και Rome Beauty, τα οποία αποθηκεύτηκαν στον 1,1°C για 4 μήνες. Τα δείγματα ήταν κυλινδρικού σχήματος και είχαν διάμετρο 1,25 cm και μήκος 0,75 cm. Στο Σχήμα 18 φαίνονται οι περιοχές από τις οποίες έγινε δειγματοληψία. Δύο δειγματοληψίες έγιναν από το ισημερινό μέρος του μήλου και τέσσερεις από τα άκρα του.



Σχήμα 18. Περιοχές δειγματοληψίας σε τομή μήλου (Petrell, 1980).

Το δείγμα τοποθετήθηκε ανάμεσα σε 2 δίσκους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 19.



Σχήμα 19 Πειραματική διάταξη (Petrell, 1980).

Καταλήγοντας τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι το εύρος του δυναμικού μέτρου αποθήκευσης σε «προς βρώση» ώριμα μήλα μπορεί να εξαρτάται από το μέγεθος των κυττάρων και τα διακυτταρικά κενά μεταξύ τους σε μια περιοχή του φρούτου. Σε γενικές γραμμές οι υψηλότερες τιμές δυναμικού

μέτρου αποθήκευσης βρίσκονταν σε περιοχές του φρούτου, όπου το μέγεθος των κυττάρων ή/και τα διακυτταρικά κενά ήταν τα μικρότερα.

Η σχετική σημασία του δυναμικού μέτρου αποθήκευσης και του δυναμικού μέτρου απώλειας, όσον αφορά την ποικιλία και το στάδιο ωρίμανσης, δεν αξιολογήθηκαν όπως σκόπευε η έρευνα. Κατά τους συγγραφείς οι αλλαγές που προκύπτουν από την ωρίμανση παρατηρούνται τους 2 πρώτους μήνες της ωρίμανσης, ενώ στην παρούσα μελέτη τα μήλα κρατήθηκαν σε αποθήκευση για 4 μήνες.

Οι διαφορές στο μιγαδικό συντελεστή συμπίεσης ήταν σημαντικές στην περιοχή του ισημερινού του μήλου και στα δύο βάθη δειγματοληψίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διαφορές στο μέγεθος των κυττάρων ή των διακυτταρικών κενών ή/και στη σύνθεση των κυτταρικών τοιχωμάτων.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης έγινε φανερό ότι το τεστ της ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενης τάσης και το τεστ πίεσεως Magness-Taylor μετρούν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες των ιστών του φρούτου. Το πρώτο τεστ έχει τη δυνατότητα να μετρά κυτταρικές αλλαγές και διαφορές στους ιστούς του φρούτου, ενώ το δεύτερο μετρά τη συνολική αντοχή των ιστών.

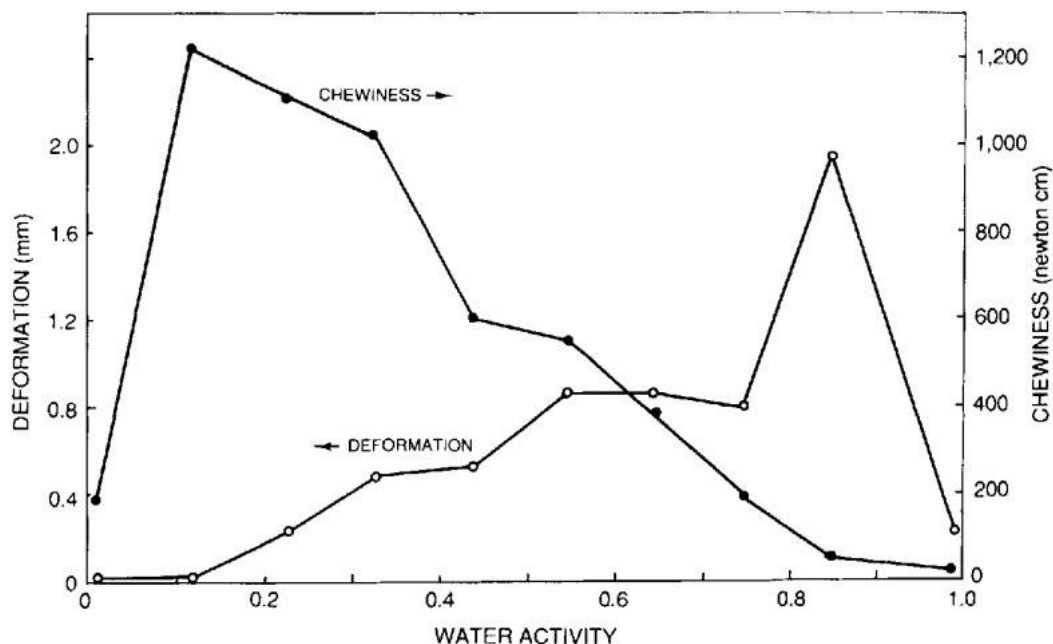
Η δεύτερη έρευνα με την οποία θα ασχοληθούμε έχει τίτλο: “EFFECT OF WATER ACTIVITY ON TEXTURE PROFILE PARAMETERS OF APPLE FLESH” (Bourne, 1986). Φρέσκα μήλα με ενεργότητα νερού περίπου 0,99 αποξηράθηκαν μερικώς και στη συνέχεια εξισορροπήθηκαν σε 9 επίπεδα ενεργότητας νερού μέχρι και την ενεργότητα (a_w) 0,01. Είναι δεδομένη η ισόθερμη καμπύλη εκρρόφησης του μήλου. Πραγματοποιήθηκε ενόργανη ανάλυση προφίλ υφής (TPA) σε κάθε επίπεδο ενεργότητας. Καθώς η a_w ελαττώνεται, η σκληρότητα αυξάνεται αργά, στη συνέχεια ραγδαία σε a_w 0,12 και στη συνέχεια μειώθηκε ξανά σε a_w 0,01. Η παραμόρφωση αρχικά αυξάνεται απότομα και στη συνέχεια μειώνεται σταθερά. Η ελαστικότητα αυξάνεται μέχρι την a_w 0,33 και μετά μειώνεται. Η συνεκτικότητα αυξάνεται μέχρι την a_w 0,65, μένει σταθερή μέχρι την a_w 0,33 και μετά μειώνεται. Η ιδιότητα κολλώδους και η μασητικότητα αυξάνονται μέχρι την a_w 0,12 και μετά μειώνονται. Η ευθραυστότητα ήταν παρούσα μόνο στις ακραίες τιμές (a_w 0,99 και 0,01) και απουσίαζε σε όλα τα άλλα επίπεδα ενεργότητας του νερού. Προκύπτουν σύνθετες αλλαγές στις ιδιότητες της υφής καθώς το μήλο αποξηραίνεται και οι περισσότερες από αυτές τις αλλαγές εμφανίζονται ραγδαία στο επίπεδο υγρασίας μονοστιβάδας BET της ενεργότητας του νερού.

Τα μήλα αρχικά αποξηραίνονται σε αποξηραντήριο ζεστού αέρα μέχρι το 50% του αρχικού τους βάρους και στη συνέχεια τοποθετούνται σε διάφορα άλατα, ώστε να εξισορροπηθούν στο κατάλληλο επίπεδο ενεργότητας. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση TPA σε Instron.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ριζικές αλλαγές στις ιδιότητες υφής της σάρκας του μήλου καθώς αποξηραίνεται από a_w 0,99 σε a_w 0,01. Οι καμπύλες υφής- a_w μπορούν να χωριστούν σε τρία μέρη.

Το πρώτο μέρος είναι από a_w 0,99 έως a_w 0,85. Αυτή η αρχική φάση απώλειας υγρασίας προκαλεί απώλεια της πίεσης σπαργής που είναι χαρακτηριστική των φρέσκων μήλων, με αποτέλεσμα την απώλεια της ευθραυστότητας, την αύξηση της παραμόρφωσης και την αύξηση της συνεκτικότητας.

Το δεύτερο είναι ανάμεσα σε a_w 0,85 και a_w 0,23. Χαρακτηρίζεται από σταδιακές αυξήσεις σε σκληρότητα, ελαστικότητα, ιδιότητα κολλώδους, μασητικότητα και μείωση της παραμόρφωσης. Αυτές οι αλλαγές στις ιδιότητες της υφής συμβαίνουν πιθανόν από τη μείωση του αριθμού των μοριακών στρωμάτων νερού που σχετίζονται με τα στερεά του μήλου.



Σχήμα 20. Η παραμόρφωση και η TPA παράμετρος της μασητικότητας σε ιστό μήλου σε συνάρτηση με την ενεργότητα του νερού (Bourne, 1986).

Το τρίτο μέρος είναι μεταξύ a_w 0,23 και a_w 0,01. Χαρακτηρίζεται από δραματικές αλλαγές στις ιδιότητες της υφής. Η σκληρότητα, η ιδιότητα κολλώδους και η μασητικότητα αυξάνουν ραγδαία μεταξύ a_w 0,23 και A_w 0,12 και μειώνονται με το ίδιο τρόπο από a_w 0,12 σε A_w 0,01. Ριζικές αλλαγές υπάρχουν και σε άλλες ιδιότητες της υφής σε αυτό το μέρος.

Η τιμή της BET υγρασίας μονοστιβάδας υπολογίστηκε σαν $a_w = 0,14$. Οι ριζικές αλλαγές στην υφή σχετίζονται με την μετάβαση από τις πολλαπλές στιβάδες στην μονοστιβάδα προσροφημένου νερού. Πρακτικά το μήλο πρέπει να αποξηραθεί κάτω από ενεργότητα 0,7 για να αποφευχθεί η δημιουργία μούχλας. Σε a_w 0,7 το μήλο έχει λίγο μεγαλύτερη σκληρότητα και ελαστικότητα, και πολύ μεγαλύτερη παραμόρφωση, συνεκτικότητα, ιδιότητα κολλώδους, και μασητικότητα από το φρέσκο μήλο. Στη χαμηλότερη ενεργότητα 0,01 οι ιδιότητες της υφής του μήλου μοιάζουν με αυτές του φρέσκου μήλου αλλά με μεγαλύτερη σκληρότητα και ευθραυστότητα. Σε όλα τα ενδιάμεσα επίπεδα a_w το προφίλ της υφής είναι τελείως διαφορετικό από αυτό του φρέσκου μήλου. Το μήλο είναι δερματώδες, σκληρό, παραμορφώνεται εύκολα, είναι μασητικό και δεν είναι καθόλου τραγανό.

Η τρίτη ερευνητική μελέτη έχει τίτλο : “EFFECT OF SAMPLE WEIGHT AND ORIENTATION ON THE TEXTURE PRESS FORCE OF APPLE SLICES” (Bin, 1988). Στη συγκεκριμένη εργασία έγιναν μετρήσεις υφής σε φέτες φρέσκου μήλου και φέτες ζεματισμένου σε ατμό μήλου με τη χρήση του πιεστηρίου υφής FTC (FTC Texture Press). Δείγματα με βάρος φέτας 40, 70, 100, 130 και 160g εξετάστηκαν σε 3 διεθύνσεις (κατά μήκος, διαγωνίως και τυχαία) στο διατμητικό κελί συμπίεσης. Η μέγιστη δύναμη διάτμησης πλησιάζει μία σταθερά, όταν το δείγμα φτάνει τα 70g για ζεματισμένες φέτες. Δείγματα των 100g για φρέσκες φέτες και 100-130g για ζεματισμένες προτείνονται βάσει των αποτελεσμάτων. Μέσα στο δοκιμαστικό κελί προτιμάται τυχαίος ή διαγώνιος προσανατολισμός. Πολυωνυμικά μοντέλα της μέγιστης δύναμης (N) έναντι του βάρους δείγματος (g) δίνονται και φαίνεται να ταιριάζουν καλύτερα από απλά γραμμικά μοντέλα.

Τα μήλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν Golden Delicious (GD) και Idared (ID) και αποθηκεύτηκαν για 3 μήνες στους 0°C και σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Στον έλεγχο ANOVA συμπεριλήφθηκαν 3 παράγοντες: Το ζεμάτισμα (TR), το βάρος δείγματος (WT) και ο προσανατολισμός κοπής (PO). Στο Σχήμα 21 φαίνονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης.

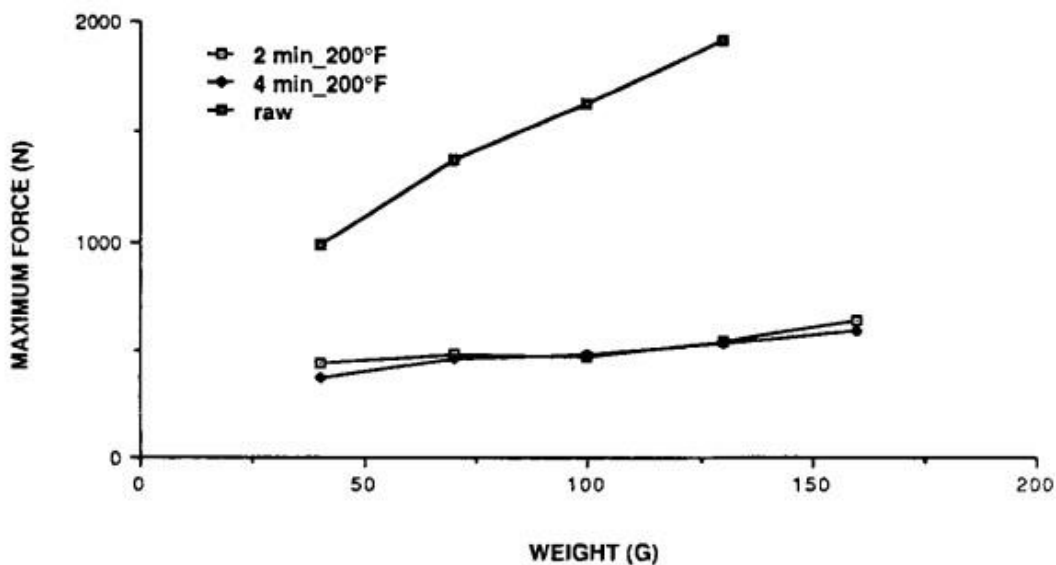
ANOVA FOR BOTH IDARED AND GOLDEN DELICIOUS APPLES

Source	df	Idared F value	Golden Delicious F value
TR	2	2638.91***	5475.01***
WT	4	136.93***	191.60***
TR*WT	7	65.28***	115.33***
PO	2	41.73***	16.15***
TR*PO	4	2.30NS	1.89NS
WT*PO	8	0.93NS	1.27NS
TR*WT*PO	14	1.34NS	2.41**

*** Statistically Significant at the P = 0.001 Level
 ** Statistically Significant at the P = 0.01 Level
 NS Not Statistically Significant

Σχήμα 21. Έλεγχος ANOVA για 2 ποικιλίες μήλων (Bin, 1988).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 21 για παράδειγμα, για το δείγμα μήλων Idared ο προσανατολισμός της κοπής ήταν σημαντικός παράγοντας και τελείως ανεξάρτητος από τους άλλους 2 παράγοντες, ζεμάτισμα και βάρος δείγματος. Το βάρος δείγματος ήταν σημαντικός παράγοντας. Στο Σχήμα 22 φαίνεται ότι η κλίση των φρέσκων μήλων είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των ζεματισμένων φετών μήλου, ενώ δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη μέγιστη δύναμη για ζεμάτισμα 2 και 4 λεπτών.



Σχήμα 22. Επίδραση του βάρους δείγματος και ζεματίσματος στις μετρήσεις υφής ποικιλίας μήλου Idared (Bin, 1988).

Συμπερασματικά, οι μέγιστες δυνάμεις κοπής αυξάνονται με το αυξανόμενο βάρος δείγματος για φρέσκιες φέτες, αλλά για ζεματισμένες τείνουν να παραμένουν σταθερές μετά τα 70g. Εφόσον η κατά μήκος κοπή οδηγεί σε χαμηλότερη δύναμη κοπής, προτείνεται ο διαγώνιος ή τυχαίος προσανατολισμός. Η επίδραση της θέσης κοπής της ποικιλίας Golden Delicious στη μέγιστη δύναμη κοπής είναι πιο σύνθετη και βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ζεματίσματος και του βάρους δείγματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα πολυωνμικά μοντέλα φαίνεται να ταιριάζουν καλύτερα στις καμπύλες από ότι τα γραμμικά μοντέλα, ειδικά για ζεματισμένες φέτες σε διαγώνιες και τυχαίες θέσεις κοπής.

Η τέταρτη ερευνητική μελέτη έχει τίτλο: “SELECTED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMMERCIAL APPLE CULTIVARS” (Rebouillat, 1988). Το μέτρο παραμόρφωσης, η αντοχή και η παραμόρφωση αστοχίας σάρκας μήλου 12 εμπορικών ποικιλιών καθορίστηκαν με τη χρήση γενικού οργάνου μέτρησης της υφής (Universal Testing Machine). Το μέτρο παραμόρφωσης, που υπολογίστηκε από το γραμμικό μέρος της σχέσης διορθωμένη τάση-παραμόρφωση Hencky ήταν ανάμεσα σε 1.5 και 2.3 MPa με συντελεστή απόκλισης 9-26%. Το προφανές πάνω όριο της παραμόρφωσης στη γραμμική περιοχή ήταν της τάξης του 0.08-0.2. Η θλιπτική δύναμη ήταν της τάξης των 160-280 kPa, με εξαίρεση τα μήλα τύπου Baldwin που είχαν διπλάσια

αντοχή. Αστοχία συνήθως εμφανιζόταν σε παραμόρφωση 0.12-0.16 με εξαίρεση τα μήλα Balwin και Granny Smith στα οποία η αστοχία εμφανίστηκε σε 0.25 και 0.2 αντίστοιχα. Η μεταβλητότητα στις παραμέτρους αστοχίας εκφρασμένη σαν συντελεστής της απόκλισης ήταν συνήθως της τάξεως του 15-20%. Ούτε η συνολική περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά ούτε η πυκνότητα του φρούτου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δείκτης πρόβλεψης των μηχανικών ιδιοτήτων της σάρκας του μήλου. Η επίδραση των διαστάσεων του δείγματος και ο ρυθμός παραμόρφωσης είχαν μόνο μικρή επιρροή στις μηχανικές ιδιότητες της σάρκας του μήλου.

Τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν στη σχέση διορθωμένη τάση παραμόρφωση Hencky μέσω των Εξ. 7 και 8:

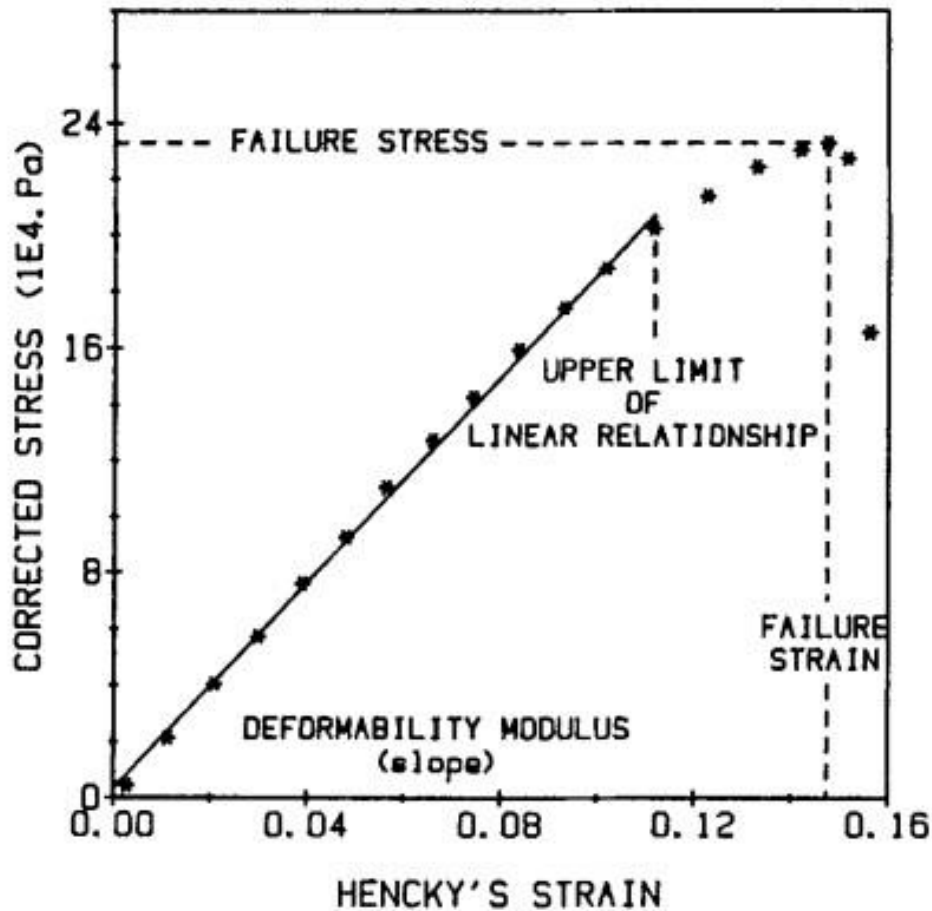
$$\sigma_{cor}(t) = \frac{F(t)H(t)}{A_0H_0} \quad (7)$$

και

$$\varepsilon_H(t) = \ln\left(\frac{H_0}{H(t)}\right) \quad (8)$$

όπου $\sigma_{cor}(t)$ είναι η διορθωμένη στιγμιαία τάση, $\varepsilon_H(t)$ η στιγμιαία παραμόρφωση Hencky, $F(t)$ η στιγμιαία δύναμη τη χρονική στιγμή t , H_0 και A_0 το αρχικό ύψος και η αρχική επιφάνεια του δείγματος αντίστοιχα και $H(t)$ το ύψος του παραμορφωμένου δείγματος μετά από χρόνο t .

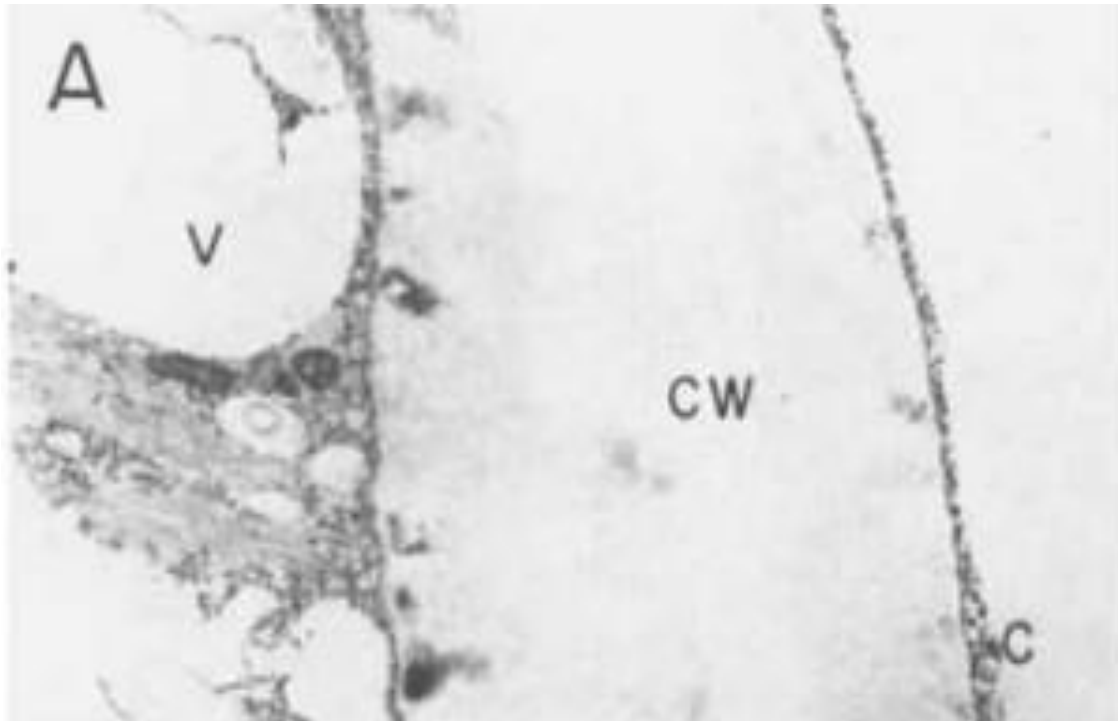
Όλες οι καμπύλες τάσης παραμόρφωσης είχαν μία χαρακτηριστική γραμμική περιοχή και ακολουθούσε μία κοίλη καθοδική που τελείωνε με αστοχία. Η κλίση της καμπύλης της γραμμικής περιοχής καθορίστηκε από γραμμική παλινδρόμηση και αναφέρεται σαν μέτρο παραμόρφωσης. Στο Σχήμα 23 φαίνεται μία γραφική παράσταση των μηχανικών παραμέτρων και της σχέσης τους με την καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης.



Σχήμα 23. Τυπική σχέση τάσης-παραμόρφωσης σάρκας μήλου και οι μηχανικές ιδιότητες που προσδιορίστηκαν σε αυτήν την ερευνητική μελέτη (Rebouillat,1988).

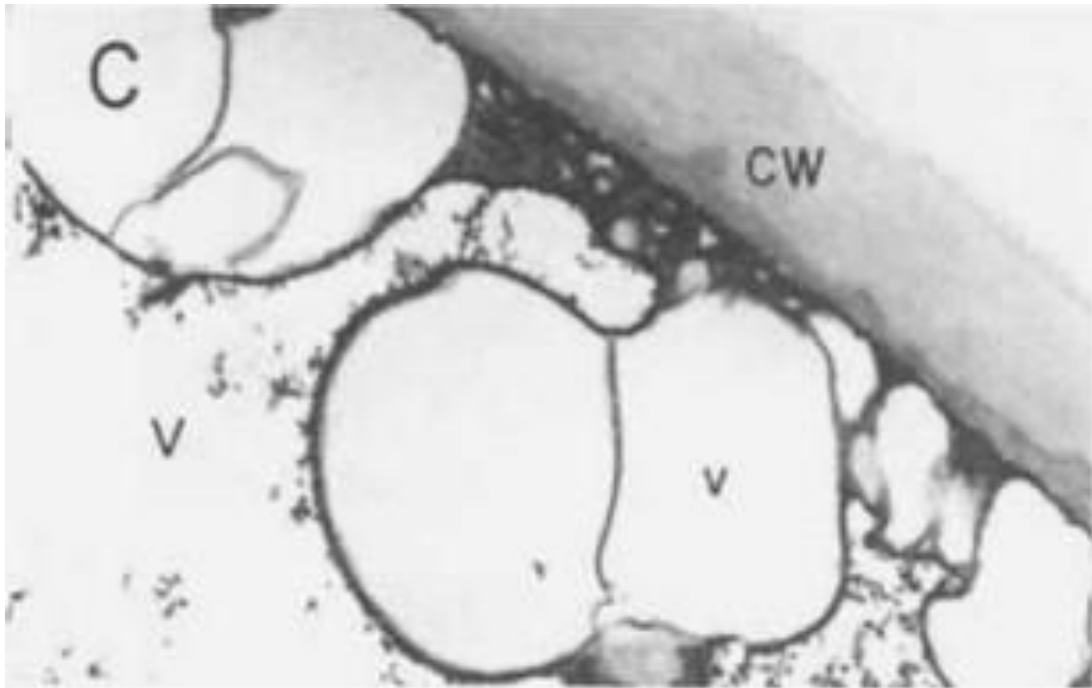
Η πέμπτη ερευνητική μελέτη έχει τίτλο: “DIFFERENCES IN THE STRUCTURAL RESPONSE OF ‘GRANNY SMITH’ APPLES UNDER MECHANICAL IMPACT AND COMPRESSION” (Rodriguez, 1990). Μήλα ποικιλίας ‘Granny Smith’ υποβλήθηκαν σε μηχανική πρόσκρουση και θλιπτικό φορτίο χρησιμοποιώντας ατσάλινη ράβδο με σφαιρική μύτη διαμέτρου 19 mm και μάζας 50,6 g. Οι δυνάμεις που εφαρμόστηκαν ήταν τόσο χαμηλές, ώστε να παραχθεί ενζυματική αντίδραση: 0.0120 J για την πρόσκρουση και 0.0199 J για τη θλίψη. Το χτυπημένο υλικό κόπηκε και εξετάστηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο εκπομπής πεδίου ηλεκτρονίων. Και κατά τη θλίψη και κατά την πρόσκρουση τα χτυπήματα παρουσίασαν μία κεντρική περιοχή ευβρισκόμενη στο παρέγχυμα της σάρκας, σε απόσταση που ισούται περίπου με την ακτίνα της μύτης του εισαγωγέα. Τα παρεγχυματικά κύτταρα αυτής της περιοχής ήταν περισσότερο αλλαγμένα από τα κύτταρα της επιδερμίδας και της υποδερμίδας. Οι ιστοί υπό θλιπτική δύναμη παρουσίαζαν πολλά

παραμορφωμένα παρεγχυματικά κύτταρα με σπασμένους τονοπλάστες (κυτταροπλασματική μεμβράνη) και υποβάθμιση ιστών. Τα κύτταρα που προέρχονταν από πρόσκρουση είχαν πληχθεί από διαφορετικού είδους τάσεις από τα κύτταρα που προέρχονταν από υποβολή σε θλιπτική δύναμη. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία κυστιδίων, είτε στο χυμοτόπιο, είτε στην περιοχή της μεσοκυττάριας στρώσης ή βαθμίδος ανάμεσα στα κυτταρικά τοιχώματα γειτονικών μορίων. Ένα μεγάλο ποσοστό παρεγχυματικών κυττάρων είχαν διαχωριστεί τελείως ή είχαν ξεκινήσει να διαχωρίζονται στη μεσοκυττάρια στρώση. Ο μώλωπας μπορεί να δημιουργηθεί με ή χωρίς διάρρηξη των κυττάρων. Γι' αυτό η διάρρηξη του κυτταρικού τοιχώματος δεν είναι απαραίτητη για την δημιουργία μώλωπα, όπως είχε προβλεφθεί προηγουμένως.



Σχήμα 24. Κυτταρικό τοίχωμα και χυμοτόπιο (Rodriguez, 1990).

Σε γενικές γραμμές τα κύτταρα είχαν ένα μεγάλο κεντρικό χυμοτόπιο και λεπτό κυτόπλασμα και η κυτταρική μεμβράνη και οι τονοπλάστες ήταν κοντά μεταξύ τους (Σχήμα 24). Στο Σχήμα 25 φαίνεται η παρουσία κυστιδίων στο χυμοτόπιο μετά από πρόσκρουση.



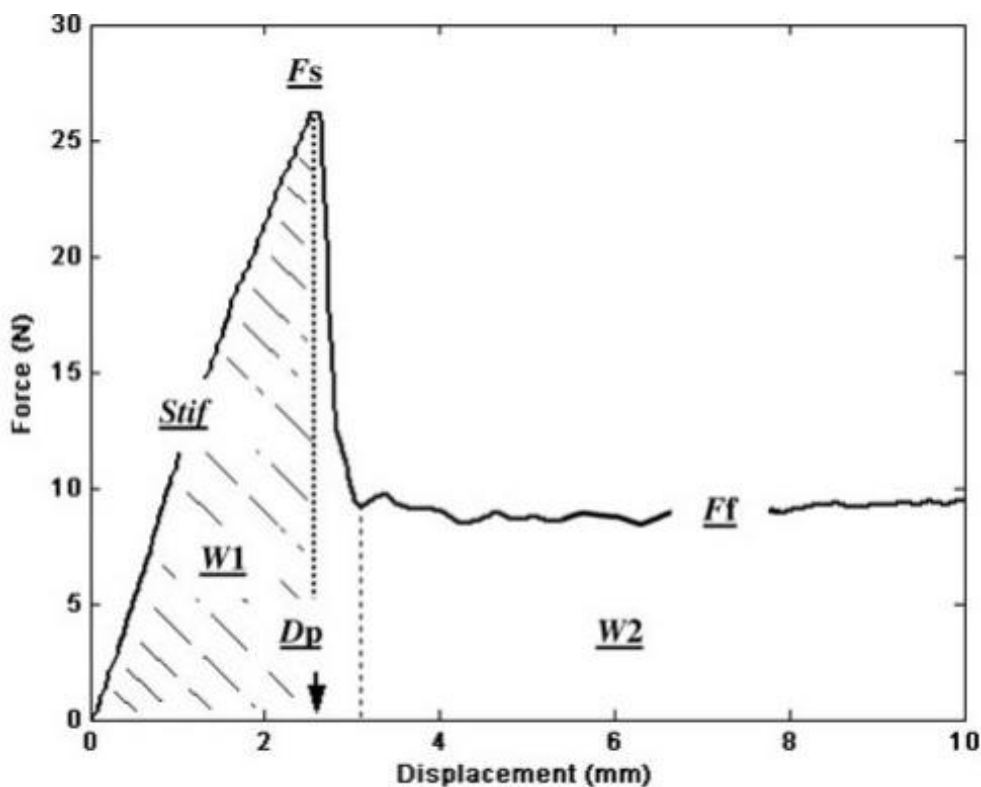
Σχήμα 25. Κυτταρικό τοίχωμα και χυμοτόπιο μετά από πρόσκρουση (Rodriguez, 1990).

Η έκτη ερευνητική εργασία έχει τίτλο: ‘DATA ANALYSIS OF PENETROMETRIC FORCE/DISPLACEMENT CURVES FOR THE CHARACTERIZATION OF WHOLE APPLE FRUITS’ (Camps, 2005). Στόχος της μελέτης ήταν να συγκριθούν δύο χημειομετρικές προσεγγίσεις για τον χαρακτηρισμό των ρεολογικών ιδιοτήτων των φρούτων από καμπύλες δύναμης/μετατόπισης διατρητικών δοκιμών. Η πρώτη προσέγγιση (παραμετρική) υπολόγισε 6 παραμέτρους υφής από τις καμπύλες, που υποτίθεται ότι είναι αντιπροσωπευτικές της σκληρότητας της επιδερμίδας του φρούτου, της παραμόρφωσης του φρούτου πριν τη διάρρηξη της επιδερμίδας, της σταθερότητας της σάρκας και του μηχανικού έργου που απαιτείται για την διάτρηση του φρούτου. Η δεύτερη προσέγγιση (προσέγγιση ολόκληρης καμπύλης) χρησιμοποίησε ολόκληρη την ψηφιακή καμπύλη για περαιτέρω ανάλυση δεδομένων. Συγκρίθηκαν 2 πειραματικές μελέτες: πρώτον, η μεταβλητότητα των ρεολογικών παραμέτρων 5 ποικιλιών μήλων και δεύτερον, η ρεολογική μεταβλητότητα που χαρακτηρίστηκε συναρτήσει των συνθηκών αποθήκευσης. Και για τις 2 προσεγγίσεις εφαρμόστηκε ανάλυση παραγοντικής διάκρισης (FDA) για να ξεχωριστούν τα φρούτα με βάση τις μετρούμενες ρεολογικές ιδιότητες. Οι ποιοτικές ομάδες στην ανάλυση παραγοντικής διάκρισης ήταν ή η ποικιλία του μήλου ή οι συνθήκες αποθήκευσης (ημέρες και θερμοκρασία αποθήκευσης). Οι δοκιμές διενεργήθηκαν με την χρήση διαδικασιών διασταυρούμενης επικύρωσης, καθιστώντας δυνατό τον υπολογισμό

του αριθμού των φρούτων που ταυτοποιήθηκαν επιτυχώς. Συνεπώς, το ποσοστό επιτυχούς ταυτοποίησης ήταν 92% και 87% με την παραμετρική προσέγγιση και την προσέγγιση ολόκληρης καμπύλης αντίστοιχα. Η διάκριση των συνθηκών αποθήκευσης ήταν λιγότερο ακριβής και για τις 2 προσεγγίσεις δίνοντας περίπου 50% ακριβείς ταυτοποιήσεις. Η σύγκριση του ποσοστού των επιτυχών κατατάξεων με βάση την παραμετρική προσέγγιση και την προσέγγιση ολόκληρης της καμπύλης έδειξε ότι οι 6 υπολογισμένες παράμετροι έδωσαν μία καλή σύνοψη των πληροφοριών που υπάρχουν στην καμπύλη. Η προσέγγιση ολόκληρης της καμπύλης έδειξε ότι κάποιες επιπρόσθετες πληροφορίες, που δεν υπάρχουν την παραμετρική προσέγγιση, μπορεί να είναι κατάλληλες για μία ολοκληρωμένη περιγραφή της ρεολογίας του φρούτου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε αναλυτή υφής TA-XT2 στον οποίο ενσωματώθηκε έμβολο διαμέτρου 4 mm. Το έμβολο μετακινούνταν από την επιφάνεια του φρούτου σε βάθος 10 mm με ταχύτητα 3.3 mm/s και η δύναμη καταγραφόταν κάθε 0.01 s. Κάθε καμπύλη δύναμης/μετατόπισης περιλάμβανε 300 σημεία δεδομένων (Σχήμα 26).

Οι παράμετροι του Σχήματος 26 είναι F_s (δύναμη επιδερμίδας, $Stif$ (ακαμψία), $W1$ (έργο 1), Dp (μετατόπιση), Ff (σκληρότητα σάρκας) και $W2$ (έργο 2).

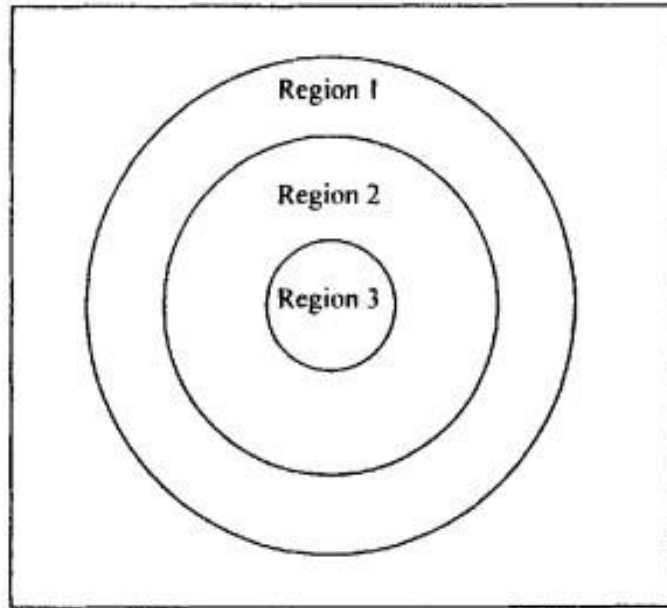


Σχήμα 26. Τυπική καμπύλη δύναμης/μετατόπισης και οι παράμετροι που υπολογίστηκαν (Camps, 2005).

Η έβδομη ερευνητική εργασία έχει τίτλο: ‘NONDESTRUCTIVE CHARACTERIZATION OF APPLE FIRMNESS BY QUANTITATION OF LASER SCATTER’ (Cho, 2007). Στη συγκεκριμένη έρευνα αναπτύχθηκε μία τεχνική λέιζερ για τον χαρακτηρισμό της σκληρότητας του μήλου με την υπόθεση ότι η σκέδαση του λέιζερ επηρεάζεται από τη σκληρότητα. Μετρήθηκαν αναλογίες κορεσμένων περιοχών (saturated area ratios) και σχετικές περιοχές (relative areas) ,ορισμένες ως παράμετροι σκέδασης, για μήλα ποικιλίας Τσουγκάρου και Φούτζι και ερευνήθηκαν οι επιπτώσεις των μηκών κύματος λέιζερ και των οπτικών επιπέδων ισχύος στις παραμέτρους. Όταν χρησιμοποιήθηκε ακτίνα λέιζερ με μεγάλο μήκος κύματος, 632.8 nm και χαμηλής ισχύος, 1.7 mW, οι παράμετροι λέιζερ έδειξαν σημαντικό συσχετισμό με τις παραμέτρους σκληρότητας. Η ποικιλιακή διαφορά έχει σημαντικές επιπτώσεις στο συσχετισμό μεταξύ διαφορετικών ιδιοτήτων συμπίεσης και παραμέτρων σκέδασης του λέιζερ. Για το μήλο ποικιλίας Τσουγκάρου, η δύναμη παραμόρφωσης (bio-yield force) και η δύναμη διάρρηξης (rupture force) έδειξαν υψηλό συσχετισμό με τα χαρακτηριστικά λέιζερ, ενώ στα μήλα Φούτζι, η αντοχή παραμόρφωσης (bio-yield deformation) και η παραμόρφωση διάρρηξης (rupture deformation) ήταν πιο σημαντικές από τις δυνάμεις παραμόρφωσης και διάτρησης. Η αρχική κλίση και η κλίση τομής έδειξαν υψηλό συσχετισμό με χαρακτηριστικά λέιζερ ασχέτως ποικιλίας.

Μία κυκλική ακτίνα λέιζερ με γκαουσιανό προφίλ έντασης έχει σχηματικό μοτίβο σαν κανονική κατανομή. Η ακτίνα λέιζερ που ελάχιστα αποκλίνει στον αέρα σε μικρή απόσταση σχηματίζει μία σκεδασμένη εικόνα στην επιφάνεια ενός υλικού δείχνοντας έτσι το προφίλ έντασής της. Η σκεδασμένη εικόνα έχει την υψηλότερη ένταση στο κέντρο και αποκλίνει κατά μήκος ενός ακτινικού άξονα. Ο βαθμός της σκέδασης σε μία εικόνα λέιζερ είναι εξαρτώμενος από την υφή του υλικού.

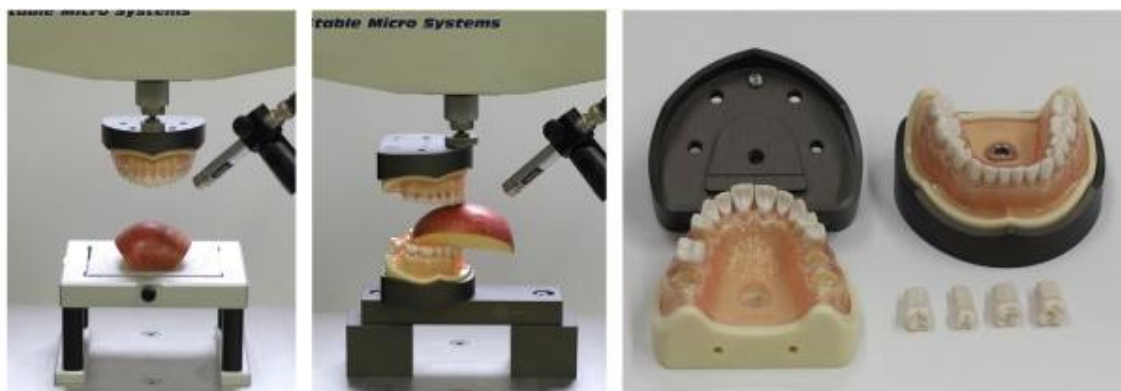
Για τον χαρακτηρισμό του βαθμού της σκέδασης του λέιζερ διερευνήθηκε μία αυτόματη διαδικασία. Πρώτα παρατηρήθηκε ότι η εικόνα λέιζερ που αποτυπώθηκε από μία έγχρωμη CCD κάμερα είχε ψεύδο-χρωματική εικόνα, παρότι το λέιζερ ήταν μονοχρωματικό. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η απόκριση κάθε στοιχείου του φωτός (κόκκινου, μπλε ή πράσινου) της CCD κάμερας σε χρώματα διαφορετικά από τα βασικά της δεν είναι αμελητέα. Γι’ αυτό οι τρεις μονοχρωματικές εικόνες καταταμημένες από μία εικόνα λέιζερ μπορούν να χωριστούν σε τρεις περιοχές ανάλογα με το όριο της κορεσμένης τιμής για κάθε στοιχείο του χρώματος ενός CCD αισθητήρα (Σχήμα 27).



Σχήμα 27. Διαχωρισμός εικόνας λέιζερ ανάλογα με την κορεσμένη περιοχή κάθε στοιχείου χρώματος (Cho, 2007).

Η όγδοη ερευνητική μελέτη έχει τίτλο: ‘DEVELOPMENT OF TEETH PROBE OR ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN MECHANICAL AND SENSORY PROPERTIES OF APPLES’. (Park, 2016). Η μέτρηση των ιδιοτήτων της υφής με χρήση απλού μηχανικού αισθητήρα είναι δύσκολο να περιγράψει την υποκειμενική ενδογενή αίσθηση του ανθρώπινου δαγκώματος. Στόχοι αυτής της μελέτης ήταν να μετρηθούν οι μηχανικές ιδιότητες ενός τεχνητού εργαλείου που αναπτύχθηκε για να προσομοιάζει ανθρώπινα δόντια με άνω και κάτω γνάθους ,με χρήση ενός αναλυτή υφής ,συνδεδεμένο με ανιχνευτή ακουστικής εκπομπής, ώστε να βελτιώνει ταυτόχρονα τον συσχετισμό μεταξύ αισθητηριακών και μηχανικών εκτιμήσεων ιδιοτήτων της υφής. Με την απομίμηση γνάθου, παρατηρήθηκαν σχετικά υψηλοί συσχετισμοί μεταξύ ιδιοτήτων υφής και ακουστικών ιδιοτήτων σε συγκριση με τη χρήση λεπίδας και άνω γνάθου, στους οποίους η τραγανότητα είχε υψηλό συσχετισμό με την γλυκότητα ($R^2=0.96$), το χυμώδες ($R^2=0.98$) και τη συνολική υφή ($R^2=0.97$). Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την αξιοπιστία ενός συνδυασμού μηχανικών και ηχητικών συστημάτων εξοπλισμένα με απομίμηση γνάθου για την ανάλυση υφής των μήλων και το ενδεχόμενο εφαρμογής σε άλλα τρόφιμα.

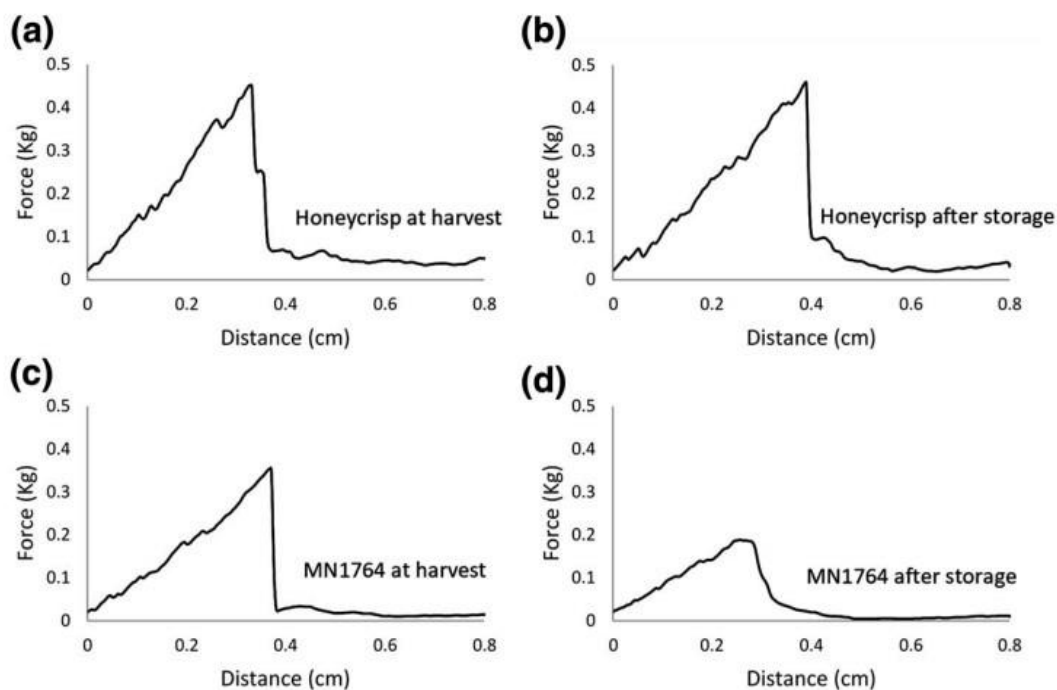
Η απομίμηση γνάθου ώστε να προσομοιάζει ανθρώπινα δόντια, σχεδιάστηκε έτσι ώστε να διαχωρίζεται σε 14 δόντια και επέτρεπε την ανάλυση υφής με συγκεκριμένες περιοχές δοντιών (Σχήμα 28)



Σχήμα 28. Απομίμηση γνάθου που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία (Park, 2016).

Η ένατη ερευνητική εργασία έχει τίτλο: ‘THE USE OF A COMBINATION OF INSTRUMENTAL METHODS TO ASSESS CHANGE IN SENSORY CRISPNESS DURING STORAGE OF HONEYCRISP APPLE BREEDING FAMILY’ (Chang, 2018). Η απώλεια τραγανότητας στο μήλο κατά την αποθήκευση μειώνει την αίσθησης φρεσκάδας του φρούτου και την αποδοχή από τον καταναλωτή. Ποικιλίες μήλου που διατηρούν την τραγανότητά τους έχουν κατά συνέπεια μεγαλύτερη προοπτική να είναι μακρυπρόθεσμα ελκυστικά στον καταναλωτή. Για τον αποτελεσματικό προσδιορισμό της τραγανότητας, έχουν δοκιμαστεί αρκετές μέθοδοι, αλλά τα αποτελέσματα ήταν ποικίλα, όταν αξιολογήθηκαν διαφορετικές ποικιλίες μήλου. Για να επεκταθούν αυτές οι μελέτες, αξιολογήθηκε το εύρος στο οποίο εργαστηριακές δοκιμές συσχετίζονται και προβλέπουν την αισθητηριακή τραγανότητα, εστιάζοντας στη διατήρηση της τραγανότητας. Χρησιμοποιήθηκαν μήλα που προέρχονταν από τη διασταύρωση ποικιλιών Honeycrisp και MN1764, τα οποία ξεχωρίζουν για τη διατήρηση της τραγανότητάς τους. Τρεις τύποι εργαστηριακών δοκιμών (διατρητική, διατμητική και ακουστική) και αισθητηριακή αξιολόγηση πραγματοποιήθηκαν σε φρούτα κατά τη συγκομιδή και 8 εβδομάδες μετά από αποθήκευση υπό ψύξη, Συνολικά χαρακτηρίστηκαν 20 γενότυποι της ποικιλίας και οι 2 αρχικοί γενότυποι από 19 ακουστικές και δυναμικές μετρήσεις. Σε γενικές γραμμές, η τραγανότητα σχετιζόταν με τη δύναμη παρά με ακουστικές μετρήσεις. Η δύναμη γραμμικής μετατόπισης και η μέγιστη δύναμη, όπως μετρήθηκαν από το μηχανικό-ακουστικό τεστ συσχετιζόνταν καλύτερα με την αισθητηριακή τραγανότητα και την

αλλαγή στην τραγανότητα, αντίστοιχα. Οι συσχετισμοί ποικίλαν ανάλογα με το γενότυπο του μήλου. Το καλύτερο μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη αλλαγής στην αισθητηριακή τραγανότητα, μεταξύ συγκομιδής και τέλους της αποθήκευσης αυτής της οικογένειας του μήλου συμπεριελάμβανε και μετρήσεις δύναμης και ακουστικές μετρήσεις.



Σχήμα 29. Καμπύλες δύναμης παραμόρφωσης (Chang,2018).

Στο Σχήμα 29 φαίνονται οι καμπύλες δύναμης-παραμόρφωσης που δημιουργήθηκαν από τεστ κοπής για τις ποικιλίες Honeycrisp (επάνω) και MN1764 (κάτω) κατά τη συγκομιδή (αριστερά) και 8 εβδομάδες μετά την αποθήκευση (δεξιά).

Πίνακας 2. Τα καλύτερα μοντέλα για την πρόβλεψη αισθητηριακής τραγανότητας, όπως καθορίστηκαν από πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.

Data type	Regression equation	R ²	Adjusted R ²	F value	p Value	RMSE
At harvest	$Y = 5.81 + 0.97 PF - 5.4 F3 + 0.0019 FLD$	0.71	0.66	14.37	<0.001	0.62
After storage	$Y = 4.58 + 0.0049 FLD - 6.3 Y$	0.90	0.89	83.36	<0.001	0.51
Combined ^a	$Y = 5.70 + 0.0042 FLD - 6.4 Y$	0.75	0.74	61.05	<0.001	0.68
Change ^b	$Y = -0.50 + 8.4 F2 + 0.18 AUX1$	0.73	0.69	21.19	<0.001	0.66

Σύμβολα του Πίνακα 2: AUX1 είναι η μέγιστη ακουστική πίεση, F2 είναι η μέγιστη δύναμη, F3 είναι η τελική δύναμη, FLD είναι η γραμμική απόσταση δύναμης, PF είναι η δύναμη διάτρησης και Y το μέτρο ελαστικότητας Young.

3. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

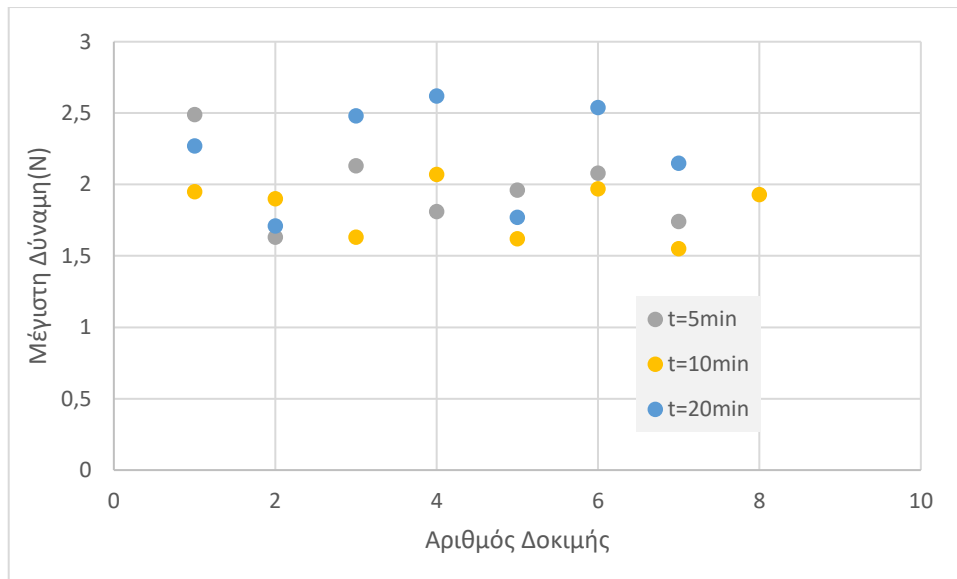
Ο αρχικός βασικός σκοπός των μετρήσεων ήταν να μελετηθεί η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στην κατανομή της υφής κυβικών δειγμάτων μήλου.

3.1. Πειραματική διαδικασία

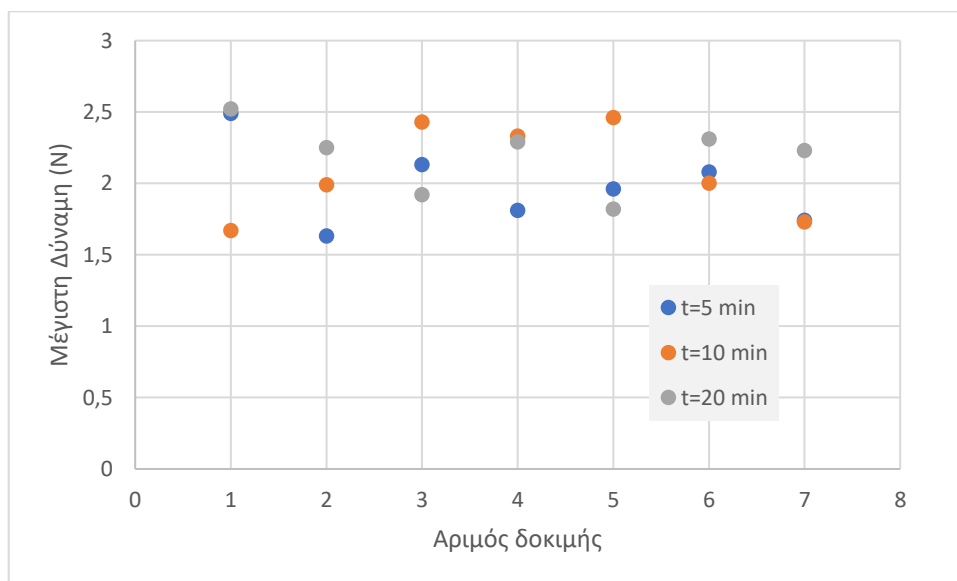
Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν μήλα από τοπικό σουπερμάρκετ χωρίς να είναι γνωστός ο χρόνος συλλογής τους και η θερμοκρασία αποθήκευσής τους. Τα μήλα κόπηκαν σε κύβους με ακμή 2cm και τοποθετήθηκαν σε θερμοανθεκτική, αδιάβροχη σακούλα, που χρησιμοποιείται για ψήσιμο στο φούρνο. Σε κάθε σακούλα τοποθετήθηκαν 8-9 κύβοι, όσο το δυνατόν πιο μακριά ο ένας από τον άλλο. Στη συνέχεια ακολούθησε θέρμανση των κύβων σε θερμοκρασίες 60°C, 75°C και 90°C για 5 min, 10 min και 20 min. Μετά το πέρας της θέρμανσης σε υδατόλουτρο η σακούλα βυθίστηκε για 5 λεπτά σε πάγο. Στην συνέχεια μετρήθηκε η μέγιστη δύναμη διάτρησης σε αναλυτή υφής Instron Universal Testing Machine, Instron 3400 series, Instron Corporation, MA, USA. Η ταχύτητα του εμβόλου ήταν 3 mm/s, η διάμετρος του 1 mm, και πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις από την επιφάνεια ενός κύβου έως βάθος 6 mm με βήμα 2 mm. Αναλυτικότερα, λόγω της μεταβλητότητας των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον επτά επαναλήψεις σε κάθε περίπτωση. Μετά το πέρας κάθε μέτρησης κοβόταν κομμάτι 2 mm από την επιφάνεια και επαναλαμβανόταν η μέτρηση μέχρι το βάθος των 6 mm.

3.2. Αποτελέσματα και συζήτηση

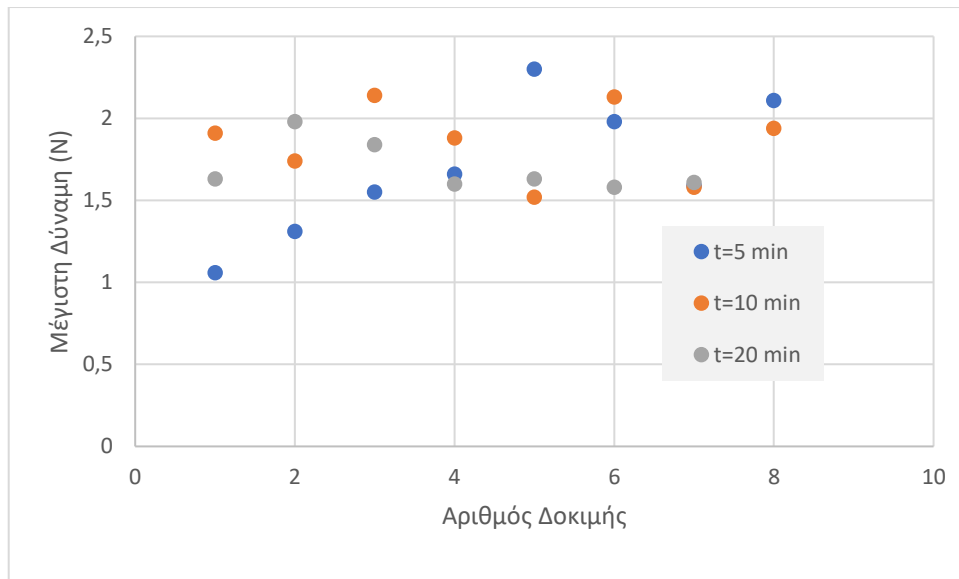
Στη συνέχεια παρατίθενται οι μέγιστες δυνάμεις διάτρησης όλων των δοκιμών για χρόνο παραμονής $t=5, 10$ και 20 min, για κατεργασία στους 60°C, 75°C και 90°C, και βάθος διάτρησης 0-2, 2-4 και 4-6 mm (Σχήματα 30-38).



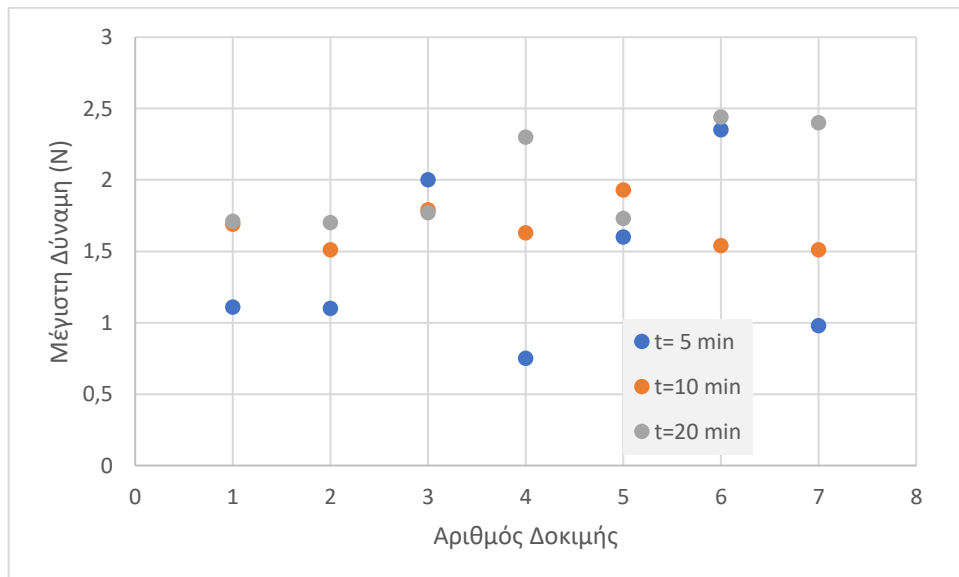
Σχήμα 30. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 60°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 0-2 mm.



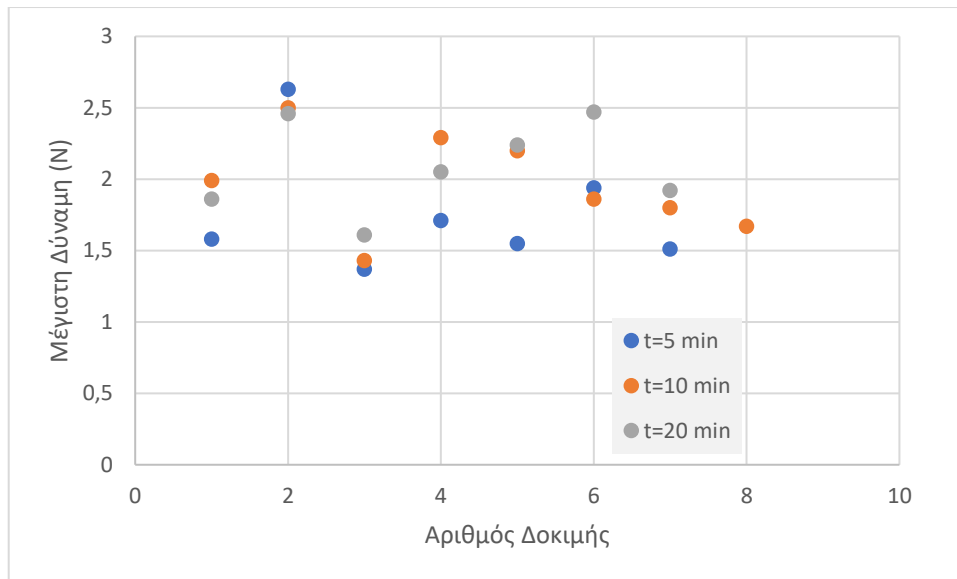
Σχήμα 31. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 75°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 0-2 mm.



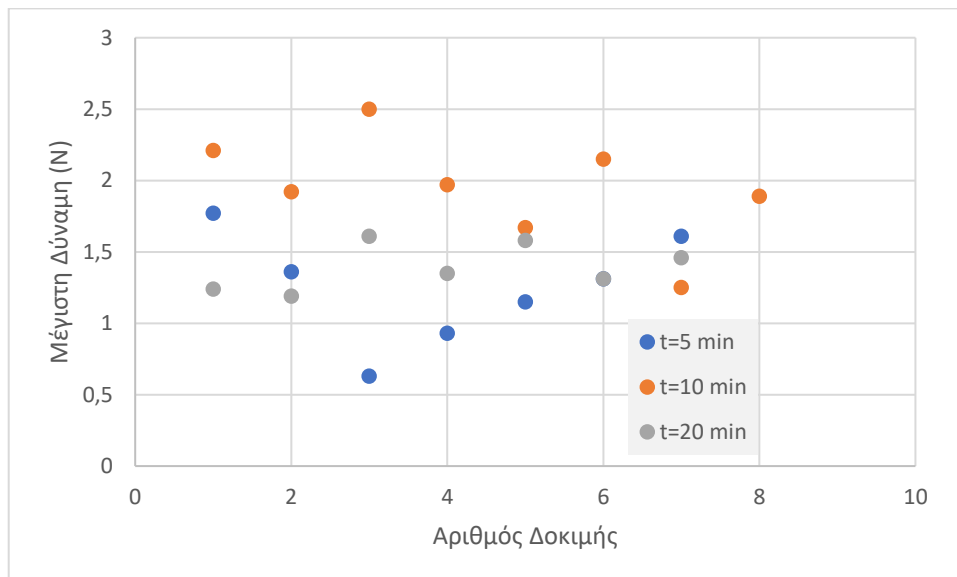
Σχήμα 32. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 90°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 0-2 mm.



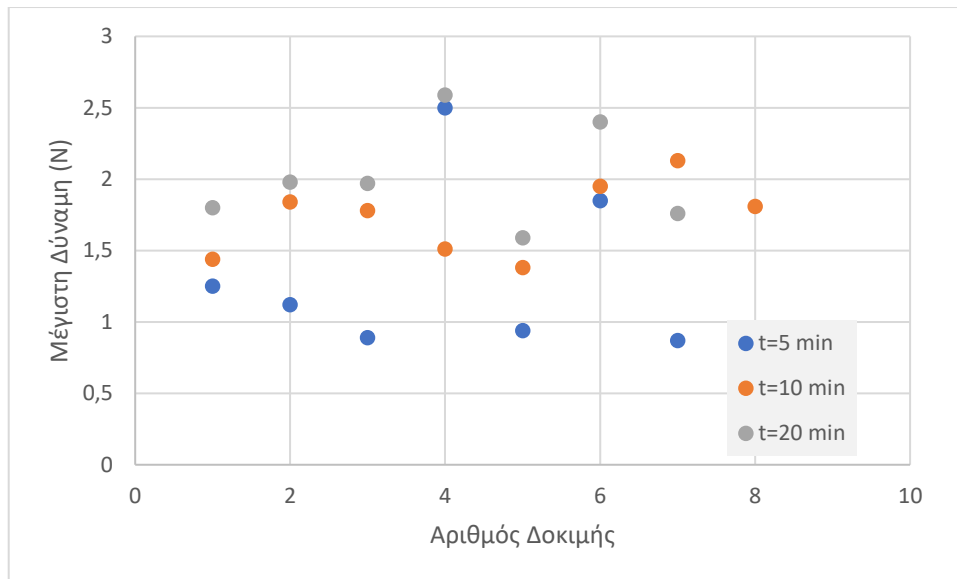
Σχήμα 33. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 60°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 2-4 mm.



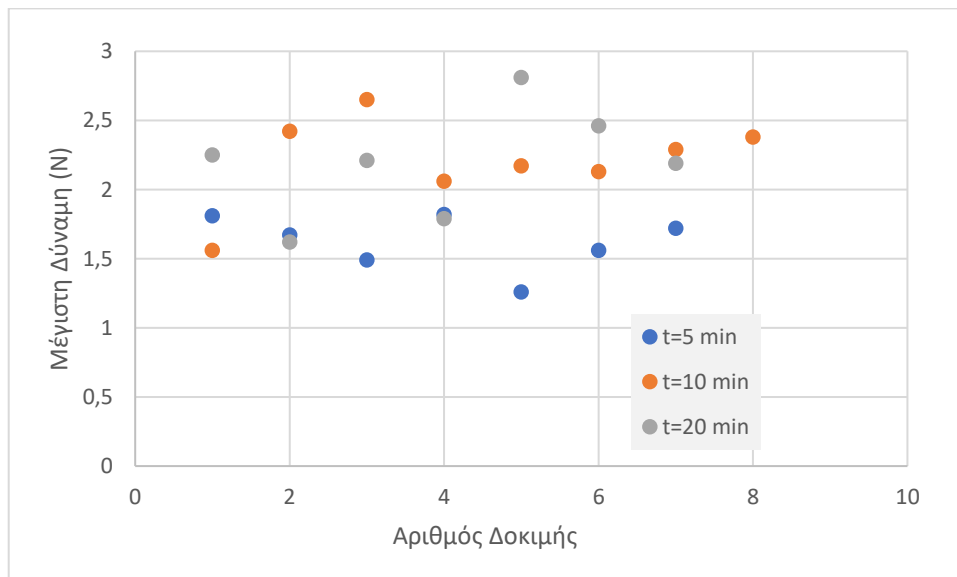
Σχήμα 34. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 75°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 2-4 mm.



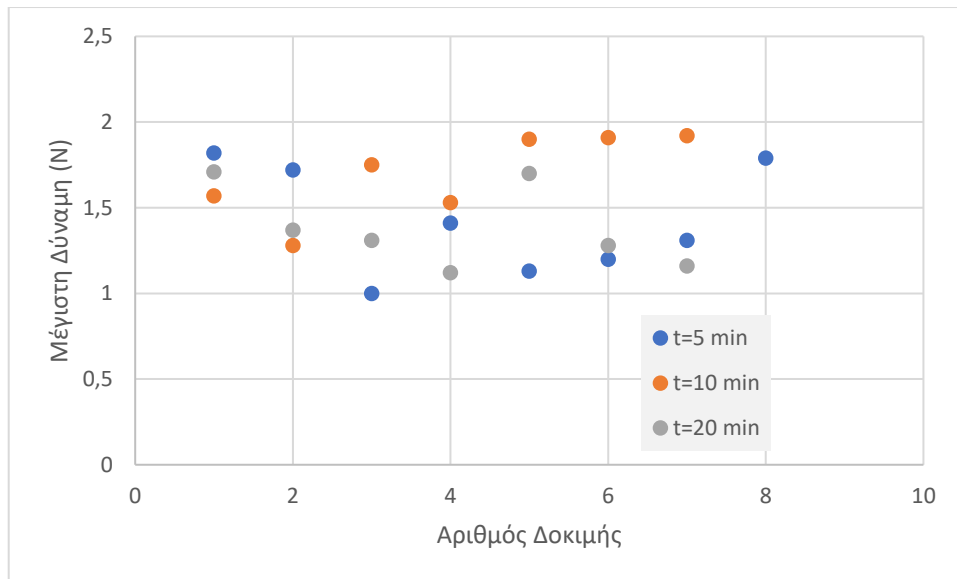
Σχήμα 35. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 90°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 2-4 mm.



Σχήμα 36. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 60°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 4-6 mm.



Σχήμα 37. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 75°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 4-6 mm.



Σχήμα 38. Μέγιστη δύναμη διάτρησης για κατεργασία στους 90°C, χρόνο παραμονής t=5,10 και 20 min και βάθος διάτρησης 4-6 mm.

Ο Πίνακας 3 είναι συγκεντρωτικός πίνακας των μέσων όρων και των τυπικών αποκλίσεων όλων των δοκιμών. Παρατηρούμε από τη μεγάλη τυπική απόκλιση σε ορισμένα σετ τιμών, ότι υπάρχει μεταβλητότητα στα αποτελέσματα. Επιπλέον, όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής στο υδατόλουτρο, πρακτικά αυξάνεται ή μένει σταθερή η μέγιστη δύναμη διάτρησης. Παρατηρούμε επίσης ότι δεν φαίνεται η μέγιστη δύναμη να επηρεάζεται σημαντικά από το βάθος διάτρησης (Πίνακας 3).

Μετά από έλεγχο ANOVA (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες μεταβλητές τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα θερμοκρασία και χρόνου στη μέγιστη δύναμη για βάθος μέτρησης (διάτρησης) 0-2 mm (Πίνακας 4).

Πίνακας 3. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις μέγιστης δύναμης διάτρησης (N) για κάθε σετ δοκιμών σε διαφορετικές θερμοκρασίες, χρόνους και βάθη διάτρησης.

Βάθος Διάτρησης (mm)		T=60°C			T=75°C			T=90°C		
		t=5 min	t=10 min	t=20 min	t=5 min	t=10 min	t=20 min	t=5 min	t=10 min	t=20 min
0-2	Μέσος Όρος	1.26	1.83	2.22	1.98	2.09	2.19	1.70	1.86	1.70
	Τυπική Απόκλιση	0.45	0.20	0.37	0.29	0.33	0.24	0.42	0.23	0.15
2-4	Μέσος Όρος	1.41	1.66	2.01	1.76	1.97	2.09	1.25	1.95	1.39
	Τυπική Απόκλιση	0.59	0.16	0.35	0.43	0.35	0.32	0.39	0.40	0.16
4-6	Μέσος Όρος	1.36	1.73	2.01	1.62	2.21	2.19	1.42	1.69	1.38
	Τυπική Απόκλιση	0.61	0.26	0.36	0.20	0.32	0.40	0.32	0.24	0.24

Πίνακας 4. Αποτελέσματα ANOVA με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες τη θερμοκρασία (Sample) και χρόνο παραμονής (Columns) για βάθος διάτρησης 0-2 mm.

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	1,647267	2	0,823633	8,489491	0,000622	3,168246
Columns	1,890886	2	0,945443	9,745026	0,000243	3,168246
Interaction	1,709619	4	0,427405	4,405418	0,00373	2,542918
Within	5,238971	54	0,097018			
Total	10,48674	62				

Πίνακας 5. Αποτελέσματα ANOVA με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες τη θερμοκρασία (Sample) και χρόνο παραμονής (Columns) για βάθος διάτρησης 2-4 mm.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	1,877489	2	0,938744	6,778068	0,002364	3,168246
Columns	2,017384	2	1,008692	7,283114	0,001584	3,168246
Interaction	1,582044	4	0,395511	2,85573	0,032128	2,542918
Within	7,478857	54	0,138497			
Total	12,95577	62				

Μετά από έλεγχο ANOVA (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες μεταβλητές τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα θερμοκρασία και χρόνου στη μέγιστη δύναμη για βάθος μέτρησης (διάτρησης) 2-4 mm (Πίνακας 5).

Πίνακας 6. Αποτελέσματα ANOVA με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες τη θερμοκρασία (Sample) και χρόνο παραμονής (Columns) για βάθος διάτρησης 4-6 mm.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	2,828241	2	1,414121	11,52453	6,79E-05	3,168246
Columns	2,447489	2	1,223744	9,973037	0,000206	3,168246
Interaction	1,100616	4	0,275154	2,242397	0,076468	2,542918
Within	6,626086	54	0,122705			
Total	13,00243	62				

Μετά από έλεγχο ANOVA (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες μεταβλητές τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα θερμοκρασία και χρόνου στη μέγιστη δύναμη για βάθος μέτρησης (διάτρησης) 0-2 mm (Πίνακας 6).

Πίνακας 7. Αποτελέσματα ANOVA με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες το βάθος διάτρησης (Sample) και χρόνο παραμονής (Columns) για κατεργασία στους 60°C.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	0,069537	2	0,034768	0,215522	0,806811	3,168246
Columns	5,785308	2	2,892654	17,93103	1,07E-06	3,168246
Interaction	0,30954	4	0,077385	0,479695	0,750475	2,542918
Within	8,711343	54	0,161321			
Total	14,87573	62				

Μετά από έλεγχο ANOVA (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες μεταβλητές το βάθος διάτρησης και τον χρόνο παραμονής παρατηρούμε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα βάθος διάτρησης στη μέγιστη δύναμη για θερμοκρασία 60°C, ενώ δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα χρόνος παραμονής στη μέγιστη δύναμη για θερμοκρασία 60°C (Πίνακας 7).

Πίνακας 8. Αποτελέσματα ANOVA με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες το βάθος διάτρησης (Sample) και χρόνο παραμονής (Columns) για κατεργασία στους 75°C.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	0,195489	2	0,097744	0,906983	0,409802	3,168246
Columns	1,668965	2	0,834483	7,743268	0,001105	3,168246
Interaction	0,417854	4	0,104463	0,96933	0,43194	2,542918
Within	5,819514	54	0,107769			
Total	8,101822	62				

Μετά από έλεγχο ANOVA (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες μεταβλητές το βάθος διάτρησης και τον χρόνο παραμονής παρατηρούμε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα βάθος διάτρησης στη μέγιστη δύναμη για θερμοκρασία 75°C, ενώ δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα χρόνος παραμονής στη μέγιστη δύναμη για θερμοκρασία 75°C (Πίνακας 8).

Πίνακας 9. Αποτελέσματα ANOVA με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες το βάθος διάτρησης (Sample) και χρόνο παραμονής (Columns) για κατεργασία στους 90°C.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	0,694632	2	0,347316	3,896704	0,026254	3,168246
Columns	2,032022	2	1,016011	11,39912	7,42E-05	3,168246
Interaction	0,534349	4	0,133587	1,49878	0,215512	2,542918
Within	4,813057	54	0,089131			
Total	8,07406	62				

Μετά από έλεγχο ANOVA (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) με εξαρτημένη μεταβλητή τη μέγιστη δύναμη και ανεξάρτητες μεταβλητές το βάθος διάτρησης και τον χρόνο παραμονής παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα βάθος διάτρησης και του παράγοντα χρόνος παραμονής στη μέγιστη δύναμη για θερμοκρασία 90°C, (Πίνακας 9).

Στη συνέχεια για την περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων, ακολουθεί η ανάλυση των δεδομένων με βάση το κριτήριο Tukey (STATISTICA 7, με factorial ANOVA & post-hoc TUKEY HSD Test) (Πίνακας 10). Τιμές (μέσοι όροι) με τον ίδιο εκθέτη ανά στήλη (ή σειρά) υποδηλώνουν μη σημαντική διαφορά μεταξύ τους (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%).

Από τα αποτελέσματα του Tukey τεστ μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ κάποιων συνθηκών· για παράδειγμα, η απαιτούμενη μέγιστη δύναμη στους 60°C για 5 min και βάθος 0-2 mm (με εκθέτη a) είναι σημαντικά μικρότερη από τη μέγιστη δύναμη στους 75°C για 5 min και βάθος 0-2 mm (με εκθέτη bcd). Γι άλλες

συνθήκες δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά, όπως για παράδειγμα, στους 75°C για 10 min το βάθος δεν έχει σημαντική επίδραση (όλα έχουν ίδιο εκθέτη d). Στις τυχόν παρατηρούμενες διαφορές η θερμοκρασία, ο χρόνος ή το βάθος μέτρησης δεν φαίνεται να έχει μια συστηματική επίδοση.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα του κριτηρίου Tukey.

		T=60°C			T=75°C			T=90°C		
Βάθος Μέτρησης (mm)		t=5 min	t=10 min	t=20 min	t=5 min	t=10 min	t=20 min	t=5 min	t=10 min	t=20 min
0-2	Μέσος Όρος	1.26 ^a	1.83 ^{abcd}	2.22 ^d	1.98 ^{bcd}	2.09 ^{cd}	2.19 ^d	1.70 ^{abcd}	1.86 ^{abcd}	1.70 ^{abcd}
	Τυπική Απόκλιση	0.45	0.20	0.37	0.29	0.33	0.24	0.42	0.23	0.15
2-4	Μέσος Όρος	1.41 ^{abc}	1.66 ^{abcd}	2.01 ^{bcd}	1.76 ^{abcd}	1.97 ^{bcd}	2.09 ^{cd}	1.25 ^a	1.95 ^{bcd}	1.39 ^{ab}
	Τυπική Απόκλιση	0.59	0.16	0.35	0.43	0.35	0.32	0.39	0.40	0.16
4-6	Μέσος Όρος	1.36 ^{ab}	1.73 ^{abcd}	2.01 ^{bcd}	1.62 ^{abcd}	2.21 ^d	2.19 ^d	1.42 ^{ab}	1.69 ^{abcd}	1.38 ^{ab}
	Τυπική Απόκλιση	0.61	0.26	0.36	0.20	0.32	0.40	0.32	0.24	0.24

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Υπάρχει πληθώρα μεθόδων μέτρησης της υφής. Για τον ολοκληρωμένο προσδιορισμό της υφής είναι απαραίτητες και οι αισθητηριακές δοκιμές, εκτός από τις πειραματικές μετρήσεις, καθώς και κοινώς αποδεκτό λεξιλόγιο για την περιγραφή της. Υπάρχει αφθονία οργάνων μέτρησης της υφής, άλλα ειδικά και άλλα γενικά, που επιτρέπουν την περιγραφή και των προσδιορισμό πιο πολλών παραμέτρων των ιδιοτήτων της υφής. Υπάρχει επίσης πλήθος δημοσιεύσεων που αφορούν τη μέτρηση των ιδιοτήτων της υφής σε μήλο με διαφορετικούς στόχους και διαφορετική μεθοδολογία. Από τα προκαταρκτικά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, δεν βρέθηκε συστηματική επίδραση της θερμοκρασίας, του χρόνου κατεργασίας και της απόστασης από την επιφάνεια του δείγματος (σημείο μέτρησης) στη μέγιστη δύναμη διάτρησης, για το εύρος των παραμέτρων που εξετάστηκαν. Για τη διερεύνηση της επίδρασης της θερμικής επεξεργασίας στην κατανομή της υφής σε δείγματα μήλου απαιτείται μια συστηματική μελέτη με ενδεχομένως διαφορετικά εύρη χρόνων και θερμοκρασίας κατεργασίας, σωστή επιλογή και έλεγχο της πρώτης ύλης, και να ακολουθούνται όσο το δυνατόν πιο τυποποιημένες μέθοδοι.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbott, J. A. (2004). Textural Quality Assessment for Fresh Fruits and Vegetables. *Quality of Fresh and Processed Foods*, 265-279.
- Andani, Z. J. (2001). Mealiness in Apples: Towards a Multilingual Consumer Vocabulary. *Journal of Food Science*, 66(6), 872-879.
- Bain, M. J. (1951). The Physiology of Growth in Apple Fruits I. Cell Size, Cell Number, and Fruit Development. *Australian Journal of Biological Sciences*, 4(2), 75-91.
- Bourne, M. C. (1986, 9). EFFECTS OF WATER ACTIVITY ON TEXTURE PROFILE PARAMETERS OF FRESH APPLE. *Journal of Texture Studies*, pp. 331-340.
- Bourne, M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Elsevier Science & Technology Books .
- Bourne, M. C. (2002). Principles of Objective Texture Measurement. In M. C. Bourne, *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (p. 112). Elsevier Science & Technology Books.
- Brabender. (2023, 12 22). Retrieved from <https://www.brabender.com/en/product/farinograph/>
- Brandt, M. A. (1963). Texture Profile Method. *Journal of Food Science*, 404-409.
- Britannica, T. E. (2022, 10 24). *parenchyma*. Retrieved from Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/parenchyma-plant-tissue>
- Britannica, T. E. (2022, 10 24). *Plant cells and tissues*. Retrieved from Encyclopædia Britannica: <https://www.britannica.com/science/parenchyma-plant-tissue#/media/1/443445/388>
- C.Camps, P. J. (2005, 6 17). DATA ANALYSIS OF PENETROMETRIC FORCE/DISPLACEMENT CURVES FOR THE CHARACTERIZATION OF WHOLE APPLE FRUITS. *Journal of Texture Studies* 36, pp. 387-401.
- Daillant-Spinnler, B. M. (1996). Relationships between perceived sensory properties and major preference directions of 12 varieties of apples from the Southern Hemisphere. *Food Quality and Preference*, 7(2), 113-126.
- Dong-June Park, Y.-G. C.-H.-J.-K. (2016). DEVELOPEMENT OF TEETH PROBE FOR ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN MECHANICAL AND SENSORY PROPERTIES OF APPLES. *Journal of Texture Studies* 47, pp. 523-529.
- Drake, B. (1989). Sensory Textural/Rheological Properties-A Polyglot List. *Journal of Texture Studies*, 20(1), 1-27.
- Fu Bin, M. R. (1988). Effect of sample weight and orientation on the texture press force of apple slices. *Journal of Texture Studies*, pp. 153-160.
- Greve, L. C. (1994). Impact of Heating on Carrot Firmness: Contribution of Cellular Turgor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(12), 2896–2899.

- Harker, F. R. (2003). The case for fruit quality: an interpretive review of consumer attitudes, and preferences for apples. *Postharvest Biology and Technology*, 28(3), 333-347.
- Hayakawa, F. (2015). Vocabularies and terminologies of food texture description and characterisation. In J. C. Rosenthal, *Modifying Food Texture* (pp. 3-18). Elsevier Ltd.
- Henry, W. F. (1971). Texture of semi-solid foods: sensory and physical correlates. *Journal of Food Science*, 36(1), 155-161.
- Hsueh-Yuan Chang, Z. M. (2018). THE USE OF A COMBINATION OF INSTRUMENTAL METHODS TO ASSESS CHANGE IN SENSORY CRISPNESS DURING STORAGE OF HONEYCRISP APPLE BREEDING FAMILY. *Journal of Texture Studies* 49, pp. 228-239.
- ISO11036. (1994a). *Sensory analysis: methodology and texture profile*. International Organization for Standardization.
- ISO5492. (2008). *Sensory Analysis-Vocabulary*. International Organization for Standardization.
- Jackman, R. L. (1995). Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science & Technology*, 6(6), 187-194.
- Jowitt, R. (1974). The Terminology of Food Texture. *Journal of Texture Studies*, 5(3), 351-358.
- Khan, A. A. (1990). Anisotropy of apple parenchyma. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 52(4), 455-466.
- Khan, A. A. (1993). Anisotropy in the fracture properties of apple. *Journal of Materials Science* 28, 45-51.
- Kilcast, D. L. (2007). Structure and texture — their importance in food quality. *Nutrition Bulletin*, 15(2), 103-113.
- Kohyama, K. (2020). Food Texture – Sensory Evaluation and Instrumental Measurement. In K. Nishinari, *Textural Characteristics of World Foods* (pp. 1-13). John Wiley & Sons Ltd.
- KOKINI J. L., K. J. (2007, January). LIQUID TEXTURE PERCEIVED IN THE MOUTH. *Journal of Texture Studies* 8(2), pp. 195-218.
- Kokini, J. L. (1977). Liquid texture perceived in the mouth. *Journal of Texture Studies*, 8(2), 195-218.
- Kokini, J. L. (1983). Predicting the Texture of Liquid and Melting Semi-Solid Foods. *Journal of Food Science*, 48(4), 1221-1225.
- Kokini, J. L. (1987). The physical basis of liquid food texture and texture-taste interactions. *Journal of Food Engineering*, 6(1), 51-81.

- L.Rodriguez, M. R. (1990, 7). DIFFERENCES IN THE STRUCTURAL RESPONSE OF 'GRANNY SMITH' APPLES UNDER MECHANICAL IMPACT AND COMPRESSION. *Journal of Texture Studies*, pp. 155-164.
- Lawless, H. V. (1997). Categorization of English and Finnish texture terms among consumers and food professionals. *Journal of Texture Studies*, 28(6), 687-708.
- McPherson, C. (2021, 8 23). *Fruit Quality: The Importance of Fruit Textural Characteristics*. Retrieved from University of Maryland Extension: <https://extension.umd.edu/resource/fruit-quality-importance-fruit-textural-characteristics>
- Moskowitz, R. H. (1987). *Food Texture: instrumental and sensory measurement*. New York, United States of America: Marcel Dekker Inc.
- Nishinari, K. H.-F.-F.-M. (2008). Comparative study of texture terms: English, French, Japanese and Chinese. *Journal of Texture Studies*, 39(5), 530-568.
- Nonaka, M. (1980). The textural quality of cooked potatoes. I. The relationship of cooking time to the separation and rupture of potato cells. *American Potato Journal*, 57(4), 141–149.
- Potter, N. N. (1995). Quality Factors in Foods. In N. N. Potter, *Food Science* (pp. 90-112). New York, NY: Springer.
- R. J. Petrell, N. N. (1980, 3). DYNAMIC MECHANICAL PROPERTIES OF THE APPLE CORTEX IN RELATION TO SAMPLE LOCATION AND RIPENING. *Journal of Texture Studies*, pp. 217-229.
- Ranganathan, K. V. (2016). Effect of Thermal and Nonthermal Processing on Textural Quality of. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56:16, 2665-2694.
- Rebouillat, S. (1988, 12). SELECTED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMMERCIAL APPLE CULTIVARS. *Journal of Texture Studies*, pp. 217-230.
- Reeve, R. M. (1953). Histological investigations of texture in apples. II. Structure and intercellular spaces. *Journal of Food Science*, 18(1-6), 604-617.
- Schiffman, S. G. (1978). Application of multidimensional scaling to ratings of foods for obese and normal weight individuals. *Physiol. Behav.* 21, 417-422.
- Sherman, P. (1969). Texture Profile of Foodstuffs Based upon Well-defined Rheological Properties. *Journal of Food Science*, 34(5), 458-462.
- Simpson, M. G. (2019). Plant Anatomy and Physiology. In M. G. Simpson, *Plant Systematics* (pp. 537-539). Academic Press, Elsevier Inc.
- Singh, R. P. (1998, 8 23). *food preservation*. Retrieved from britannica: <https://www.britannica.com/topic/food-preservation>
- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of Textural Characteristics. *Journal of Food Science* 28(4), 385-389.

- Szczesniak, A. S. (2007). Texture perceptions and food quality. *Journal of Food Quality* 14(1), 75-85, DOI: 10.1111/j.1745-4557.1991.tb00048.x.
- tenderometer. (2023, 12 21). Retrieved from <https://tenderometer.eu/>:
<https://tenderometer.eu/>
- Vincent, J. F. (1989). Relationship between density and stiffness of apple flesh. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 47(4), 443–462.
- Yong-Jin Cho, Y. J. (1999). NONSTRUCTIVE CHARACTERIZATION OF APPLE FIRMNESS BY QUANTITATION OF LAZER SCATTER. *Journal of Texture Studies* 30, pp. 625-638.
- Yoshikawa, S. N. (1970). Collection and classification of words for description of food texture. *Journal of Texture Studies*, 1(4), 452-463.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Γρηγοράκης, Κ. &. (2014). *Οργανοληπτικός Έλεγχος Τροφίμων*. Αθήνα: Παπασωτηρίου & ΣΙΑ Ο. Ε.
- Κοτζαμπάσης, Κ. (2022). *Δομή και Λειτουργία Φυτικών Οργανισμών*. Ηράκλειο Κρήτης, Ηράκλειο, Ελλάδα.
- Στοφόρος, Ν. Γ. (2005). Αρχές Θερμικής Επεξεργασίας του Κρέατος και των Προϊόντων του. In Σ. Α. Γεωργάκης, *Το κρέας και τα προϊόντα του (παραγωγή - εμπορία - τεχνολογία - υγιεινή)* (p. 502).
- Τζιά, Κ. (2004). *Επιστήμη και Τεχνική Τροφίμων, Στοιχεία Χημείας Τροφίμων, Ποιότητα Τροφίμων, Σημειώσεις 7ου Εξαμήνου*. Αθήνα: Ε. Μ. Πολυτεχνείο.