



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων

ΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων και Διατροφή του Ανθρώπου
Κατεύθυνση Επεξεργασίας και Συντήρησης Τροφίμων

Ενσωμάτωση βακτηριακής κυτταρίνης
σε παρασκεύασμα επικάλυψης για κέικ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Μαριάνθη Κ. Ζιώγα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ιωάννα Μαντάλα

Αθήνα, 2018



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων

ΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων και Διατροφή του Ανθρώπου
Κατεύθυνση Επεξεργασίας και Συντήρησης Τροφίμων

Ενσωμάτωση βακτηριακής κυτταρίνης
σε παρασκεύασμα επικάλυψης για κέικ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Μαριάνθη Κ. Ζιώγα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ιωάννα Μαντάλα

Αθήνα, 2018

Ενσωμάτωση βακτηριακής κυτταρίνης
σε εδώδιμη επίστρωση κέικ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Μαριάνθη Κ. Ζιώγα

Επιβλέπουσα

Ιωάννα Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εξεταστική Επιτροπή

Ιωάννα Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Νικόλαος Στοφόρος, Καθηγητής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Απόστολος Κουτίνας Επίκουρος Καθηγητής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Αθήνα, 2018

Περίληψη

Η ανάπτυξη νέων υλικών συσκευασίας τροφίμων, κυρίως λόγω της αυξανόμενης ευαισθητοποίησης των καταναλωτών σχετικά με την υγεία και το περιβάλλον, αποτελεί ένα σύγχρονο θέμα που τραβά το ενδιαφέρον όλο και περισσότερων βιομηχανιών και κατ' επέκταση, ερευνητών. Ανανεώσιμες και βιοαποικοδομήσιμες πρώτες ύλες, ζωικής, φυτικής και μικροβιακής προέλευσης, έρχονται στο προσκήνιο καθώς εξετάζεται το ενδεχόμενο αξιοποίησης τους ως συστατικά εδώδιμων επιστρώσεων και μεμβρανών με πλήθος πιθανών εφαρμογών. Οι εδώδιμες αυτές επικαλύψεις παρέχουν κυρίως αντίσταση έναντι στη μεταφορά μάζας, όπως είναι το νερό, τα αέρια, οι αρωματικές ουσίες, κτλ., μεταξύ του τροφίμου και του περιβάλλοντος μέσου. Στην παρούσα εργασία, εξετάστηκαν οι δυνατότητες αξιοποίησης και αποτελεσματικότητας της βακτηριακής κυτταρίνης ως συστατικό εδώδιμης επίστρωσης που εφαρμόσθηκε σε επιφάνεια δειγμάτων κέικ. Η σύσταση του διαλύματος επικάλυψης προσδιορίσθηκε σταδιακά, και τελικά, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές ποσότητες της βακτηριακής κυτταρίνης (0.1g, 0.3g και 0.5g) καθώς και ένας κοινός πηκτικός παράγοντας (1g ζελατίνης) ως σημείο αναφοράς. Τα χαρακτηριστικά των επικαλύψεων εκτιμήθηκαν μέσω της καταγραφής βασικών παραμέτρων, όπως το βάρος, η ενεργότητα νερού, το χρώμα, η ελαστικότητα, η σκληρότητα, κτλ, κατά τη διάρκεια μίας εβδομάδας. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε πως η προσθήκη επικάλυψης ενίσχυσε την αντίσταση των δειγμάτων ως προς την απώλεια νερού λόγω εξάτμισης, και κατ' επέκταση, ως προς την απώλεια ελαστικότητας. Επίσης, αναδείχθηκε μία τάση καλύτερων αποτελεσμάτων με την προσθήκη βακτηριακής κυτταρίνης, η οποία επιβεβαιώνεται στις περισσότερες περιπτώσεις, με διαφορές στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, μεταξύ των διάφορων παρασκευασμάτων.

Λέξεις-Κλειδιά

Βακτηριακή Κυτταρίνη, Εδώδιμη επικάλυψη, Απώλεια υγρασίας, Αποθήκευση κέικ

Title

Incorporation of bacterial cellulose in an edible cake coating

Abstract

The development of new food packaging materials, mainly due to growing consumer awareness of health and the environment, is a modern issue that draws the attention of more and more industries and, consequently, researchers. Renewable and biodegradable raw materials, of animal, plant and microbial origin, are being brought to the fore as possible coating components and membranes with many applications. These edible coatings mainly provide resistance to mass transfer, such as water migration, gas transfer, aromatic compounds migration, etc. between the food and the surrounding medium. In the present study, usability and effectiveness of bacterial cellulose as an edible coating component applied to a surface of cake samples. The composition of the coating solution was built gradually, and different amounts of bacterial cellulose (0.1g, 0.3g and 0.5g) were used, along with a common stabilizer (1g gelatin), as a reference. The characteristics of the coatings were assessed by analyzing basic parameters such as weight, water activity, color, elasticity, hardness, etc. over seven days. The analysis of the results showed that the addition of coating enhanced the resistance of the samples to the water loss due to evaporation and, consequently, to the elasticity decrease. It also revealed a trend of improved results due to the addition of bacterial cellulose, and this has been confirmed in most cases, with statistically significant differences, at a 95% confidence level, between the different coatings.

Keywords:

Bacterial cellulose, Edible coating, Moisture loss, Cake storage

Ευχαριστίες

Η μεταπτυχιακή αυτή διατριβή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, και ως εκ τούτου, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που υποστήριξαν την υλοποίησή της.

Πρώτα από όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ιωάννα Μαντάλα, Επίκουρη Καθηγήτρια του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και επιβλέπουσα της διατριβής αυτής, για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξή της και την άριστη συνεργασία μας. Η εργασία μου στο Εργαστήριο Μηχανικής και η ενασχόλησή μου με την ανάπτυξη νέων προϊόντων, αποτέλεσε εμπειρία εποικοδομητική και καθοριστική για την επιλογή των επόμενων βημάτων μου στον τομέα της Επιστήμης Τροφίμων.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές μου που με απλόχερο τρόπο, προσέφεραν τη βοήθειά τους και συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, από την οποία αντλώ την περισσότερη δύναμη και υποστήριξη για να κατακτώ κάθε μικρό και μεγάλο στόχο, και να προχωράω μπροστά.

Περιεχόμενα

Σελίδα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	7
1.1. Βακτηριακή Κυτταρίνη (BK).....	8
1.2. Εδώδιμη Συσκευασία.....	10
1.3. Υλικά σχηματισμού μεμβρανών.....	13
1.4. Διαδικασία σχηματισμού μεμβρανών.....	16
1.5. Παράγοντες αποτελεσματικότητας μεμβρανών.....	16
1.6. Προκλήσεις.....	17
Κεφάλαιο 2. Υλικά και Μέθοδοι.....	18
2.1. Παραγωγή της BK.....	18
2.2. Λυοφιλίωση της BK.....	18
2.3. Προετοιμασία της BK.....	19
2.4. Προετοιμασία του σιροπιού.....	21
2.5. Επεξήγηση επιλογής πειραματικών συνθηκών.....	21
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα & Συζήτηση.....	28
3.1. Πείραμα 1: Παρασκευή διαλύματος απλού σιροπιού.....	28
3.2. Πείραμα 2: Μελέτη της συμπεριφοράς της BK.....	29
3.3. Πείραμα 3: Εφαρμογή της επίστρωσης του σακχαρούχου διαλύματος BK σε κέικ.....	35
Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα.....	41
Κεφάλαιο 5. Βιβλιογραφία.....	43
Παράρτημα.....	49

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η συνεχής αλόγιστη κατανάλωση των φυσικών πόρων, με ρυθμούς υψηλότερους εκείνων της ανάκαμψής τους, είναι πιθανό να οδηγήσουν σύντομα, στην εξάντλησή τους. Η αιφόρος ανάπτυξη και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα πρέπει, ως εκ τούτου, να θεωρούνται βασικά χαρακτηριστικά κάθε παραγωγικής διαδικασίας, ώστε τόσο η λειτουργία όσο και η εξέλιξη των βιομηχανιών να συνεχίσουν να είναι δυνατές στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον.

Συνεπώς, η επιστημονική κοινότητα, και πρωτίστως οι μηχανικοί, καλούνται να προτείνουν λύσεις. Οι λύσεις αυτές, θα πρέπει να έχουν ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση των πρώτων υλών, κυρίως εκείνων που ανανεώνονται με αργό ρυθμό, όπως είναι η ξυλεία, και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, η οποία συχνά επιτείνεται από την επεξεργασία των πρώτων υλών, όπως για παράδειγμα η παραγωγή καθαρής κυτταρίνης μέσω της χημικής επεξεργασίας της φυτικής κυτταρίνης (Esa, Tasirin, & Rahman, 2014).

Η κυτταρίνη, το πλέον άφθονο, φθινό και εύκολα διαθέσιμο πολυμερές υδατάνθρακα παγκοσμίως, εξάγεται παραδοσιακά από φυτά και απόβλητα φυτών. Τα φυτά όμως, ανήκουν στην κατηγορία των δυνητικά ανανεώσιμων φυσικών πόρων, των πόρων δηλαδή που αν χρησιμοποιούνται γρηγορότερα απ' ό,τι ανανεώνονται μέσω φυσικών διεργασιών, διάρκειας μερικών ωρών έως και μερικών δεκαετιών, τότε αυξάνονται οι πιθανότητες εξάντλησής τους.

Έτσι, τα τελευταία χρόνια, ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον προσελκύει η ανάπτυξη αιφόρων βιοσυστημάτων για την παραγωγή βιομηχανικά πολύτιμων υλικών, όπως η κυτταρίνη, από ανανεώσιμη, εδώδιμη βιομάζα, όπως για παράδειγμα τα βακτήρια (Jang, Hwang, Kim, Ryu & Lee, 2017). Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας είναι η παραγωγή και κατανάλωση κυτταρίνης που προέρχεται από βακτηριακά στελέχη, γνωστή και ως *βακτηριακή κυτταρίνη*.

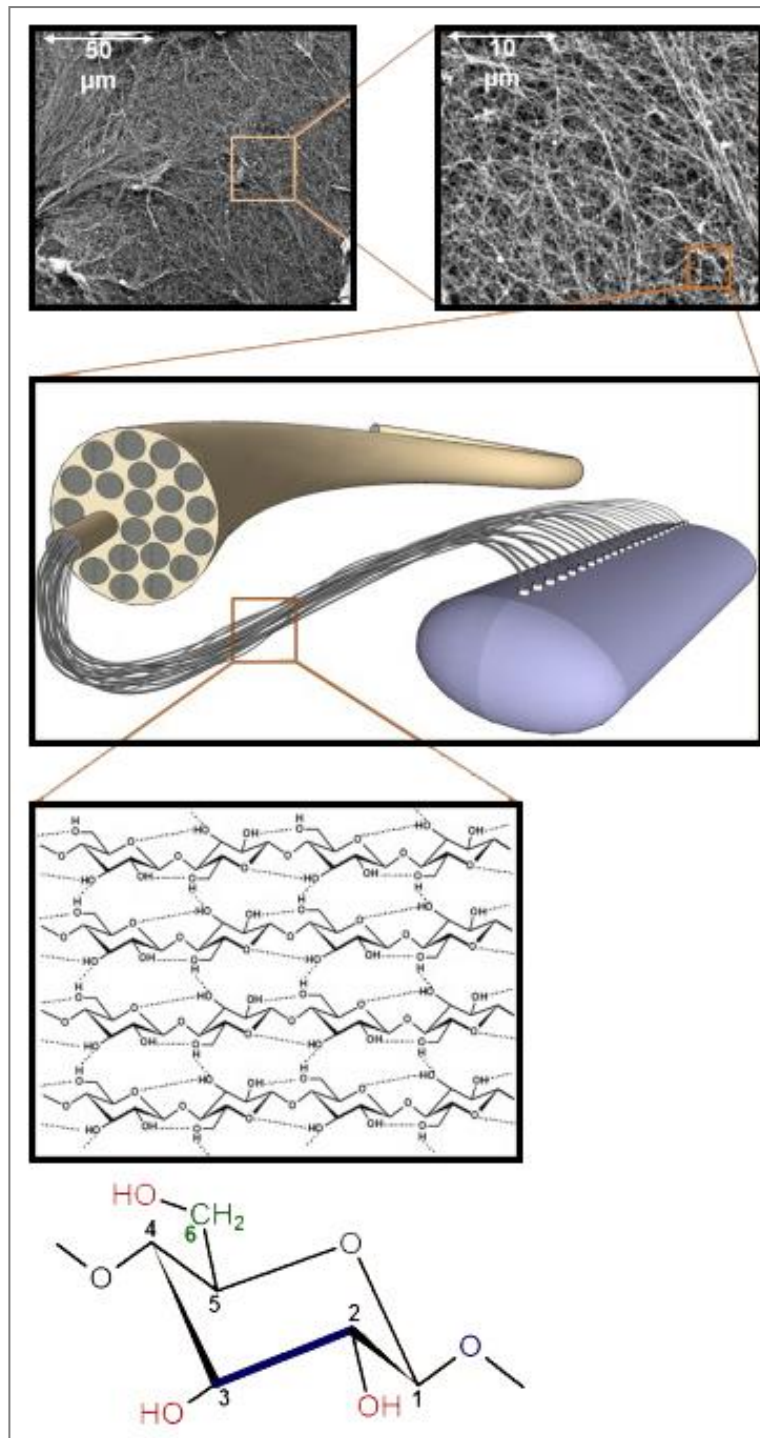
1.1. Βακτηριακή Κυτταρίνη (BK)

Η Βακτηριακή Κυτταρίνη (BK) αναφέρθηκε στη βιβλιογραφία για πρώτη φορά, από τον Brown (1886), ο οποίος παρατήρησε και κατέγραψε τον σχηματισμό μίας μεμβράνης, με χημική δομή ισοδύναμη αυτής της φυτικής κυτταρίνης.

Αποτελείται από μονομερή γλυκόζης ($C_6H_{10}O_5$), που ενώνονται ανά δύο, με β -1,4-γλυκο-σιδικό δεσμό, ώστε να προκύψει η βασική μονάδα της κυτταρίνης, ο δισακχαρίτης κελλοβιόζη ($C_{12}H_{22}O_{11}$) (Wüstenberg, 2014). Επαναλαμβανόμενες μονάδες κελλοβιόζης διαμορφώνουν μία αλυσίδα κυτταρίνης και οι αλυσίδες μεταξύ τους σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου οδηγώντας στον σχηματισμό μίας δέσμης μικροϊνών. Το πλάτος των μικροϊνιδίων υπολογίζεται στα 4 μ m περίπου, ενώ το πλάτος των περιεχόμενων νανοϊνιδίων δεν ξεπερνά τα 100nm (Okiyama, Motoki, & Yamanaka, 1993). Το σύνολο των δεσμών αυτών οργανώνονται σε ένα δίκτυο που σχηματίζει τελικά, ένα πολύ πορώδες πλέγμα, μεγάλης επιφάνειας (βλ. Εικ.1). Η μοναδική αυτή νανοδομή και το μέγεθος των μικροϊνών της βακτηριακής κυτταρίνης, το οποίο είναι περίπου 100 φορές μικρότερο από το μέγεθος των μικροϊνών της φυτικής κυτταρίνης, προσδίδουν στην πρώτη, εξαιρετικές ιδιότητες (Chawla, Bajaj, Survase, & Singhal, 2009).

Για παράδειγμα, η BK χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό πολυμερισμού (Dahman, Jayasuriya, & Kalis, 2010), πολύ καλή μηχανική αντοχή κι ελαστικότητα (Castro κ.ά., 2011) και υψηλή κρυσταλλικότητα (Keshk & Sameshima, 2006). Επιπλέον, η αφθονία των υδροξυλομάδων στην επιφάνεια της BK εξηγούν την βιοσυμβατότητα και βιοδιασπασιμότητα, καθώς και την υδροφιλικότητα που έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού (Shi, Zhang, Phillips, & Yang, 2014).

Μία τέτοια πρώτη ύλη, κατά συνέπεια, δεν θα μπορούσε παρά να προσελκύσει το ενδιαφέρον πολλών βιομηχανιών σχετιζόμενων με ιατρικά προϊόντα, καλλυντικά, χαρτί, και τελευταία, και τροφίμα καθώς αποτελεί εναλλακτικό σταθεροποιητικό παράγοντα, και πιθανώς, καινοτόμο υλικό συσκευασίας, τόσο εδώδιμο όσο και βιοαποικοδομήσιμο (Shi, Zhang, Phillips, & Yang, 2014). Η εμπορευματοποίηση, όμως, της BK σήμερα, είναι μόνο μερική αφού κατέχουμε περιορισμένη γνώση και κατανόηση του υλικού. Κατά συνέπεια, επωφελοούμαστε σε μικρό βαθμό από αυτό, λόγω της μικρής απόδοσης και των ελάχιστων τεκμηριωμένων εφαρμογών στο τομέα των τροφίμων.



Εικόνα 1. Δομική οργάνωση της βακτηριακής κυτταρίνης (BK), από το επίπεδο της μονομερούς γλυκόζης, στο επίπεδο των πολυμερών αλυσίδων και τελικά, στην τρισδιάστατη δομή του δικτύου (Προσαρμοσμένο από Sulaeva, Henniges, Rosenau, & Potthast, 2015)

Έτσι, στόχος της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η προσφορά νέας γνώσης σχετικά με τις δυνατότητες της BK ως εδώδιμη συσκευασία προϊόντων, αλλά και με τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες του υλικού σε πιο ευρύ πλαίσιο.

1.2. Εδώδιμη συσκευασία

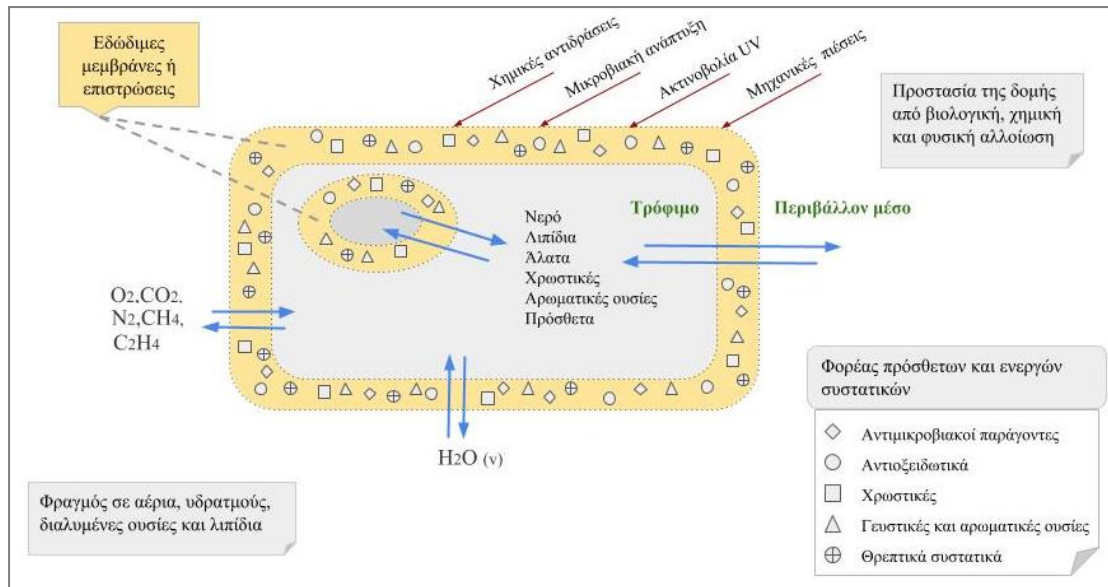
Εδώδιμη συσκευασία, που συνήθως έχει τη μορφή επίστρωσης ή λεπτής μεμβράνης, είναι κάθε υλικό που επικαλύπτει το προϊόν με σκοπό την αύξηση του χρόνου ζωής του, αλλά μπορεί να καταναλωθεί μαζί με το τρόφιμο (Pavlath & Orts, 2009).

Χρόνος ζωής (shelf life), σύμφωνα με τον Yam (2009) είναι « η χρονική περίοδος μετά την παραγωγή και συσκευασία, κατά την οποία το προϊόν θεωρείται αποδεκτό κάτω από ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, και αποτελεί συνάρτηση του περιεχόμενου τροφίμου, της συσκευασίας και του περιβάλλοντος μεταφοράς, αποθήκευσης και πώλησης». Εντός αυτής της περιόδου, δηλαδή, το τρόφιμο διατηρεί αποδεκτά επίπεδα ποιότητας τα οποία σχετίζονται τόσο με την ασφάλεια όσο και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του (Cauvain & Young, 2010).

Οι επικαλύψεις σχηματίζονται ή εφαρμόζονται απευθείας πάνω στα τρόφιμα, ενώ οι μεμβράνες ή φιλμ, είναι αυτόνομες δομές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να τυλίξουν τρόφιμα, και μπορεί να βρίσκονται είτε στην επιφάνεια ή μεταξύ διαφορετικών συστατικών του προϊόντος (Salgado, Ortiz, Musso, Di Giorgio, & Mauri, 2015).

Βασικές λειτουργίες των εδώδιμων επιστρώσεων και μεμβρανών είναι η προστασία του τροφίμου από αλλοιώσεις, η καθυστέρηση επιφανειακής αφυδάτωσης ή απορρόφησης υγρασίας, ανάλογα με το τρόφιμο, η αναχαίτιση απώλειας αρωμάτων και ανταλλαγής αερίων, διαλυμένων ουσιών και λιπιδίων με το περιβάλλον, καθώς και η ενσωμάτωση πρόσθετων και ενεργών συστατικών, όπως χρωστικές και αντιμικροβιακοί παράγοντες, αντίστοιχα (βλ. Εικ.2).

Συνεπώς, όχι μόνο διατηρούν την ποιότητα του τροφίμου σε υψηλά επίπεδα για περισσότερο χρόνο, αλλά την ενισχύουν εξ αρχής, μέσω της συμβολής τους στη βελτίωση της εμφάνισης, της επιφανειακής ομαλότητας, της μεταφοράς αρωμάτων και γεύσεων, της ενίσχυσης ή μεταβολής του χρώματος, και λοιπών ποιοτικών παραγόντων που σχετίζονται με την τελική εικόνα που θα πείσει τον καταναλωτή (Han, 2014).



Εικόνα 2. Κύριες λειτουργίες των εδώδιμων φιλμ και επικαλύψεων (Προσαρμοσμένο από Salgado κ.ά., 2015)

Οι παράγοντες που επιδρούν σε ένα τρόφιμο μειώνοντας τον χρόνο ζωής του, μπορεί να προέρχονται από το περιβάλλον του, γι' αυτό αποκαλούνται εξωγενείς κίνδυνοι, ενώ υπάρχουν και ενδογενείς που προκύπτουν λόγω της φύσης του τροφίμου, και χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: χημικοί (π.χ. έκθεση σε αέρια, υγρασία, φως, οσμές), βιολογικοί (π.χ. μικροοργανισμοί, έντομα, τρωκτικά) και φυσικοί (π.χ. μηχανικές βλάβες, πιέσεις, δονήσεις κατά τη μεταφορά και διανομή) (Coles & Kirwan, 2011).

Ο σχεδιασμός της κατάλληλης συσκευασίας, οπότε και της κατάλληλης εδώδιμης επίστρωσης ή μεμβράνης, προαπαιτεί τον καθορισμό των κινδύνων που χρήζουν αποφυγή, καθώς και των επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που πρέπει να διατηρηθούν για όσο το δυνατόν, περισσότερο. Τα οργανοληπτικά αυτά χαρακτηριστικά σχετίζονται με την εμφάνιση, το άρωμα, τη γεύση και την υφή των προϊόντων και μεταβάλλονται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου αποθήκευσης (Sousa-Gallagher, Tank, & Sousa, 2016). Ένας αριθμός αυτών, διαφορετικός για κάθε προϊόν, παίζουν σημαντικότερο ρόλο από τα υπόλοιπα, είτε λόγω έντασης είτε λόγω ταχύτητας αλλοίωσης, και είναι συνήθως, από τους κύριους λόγους που ο καταναλωτής θα επιλέξει ή όχι, το συγκεκριμένο προϊόν.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η ευθριπτότητα στα κράκερ, το φρέσκο άρωμα βουτύρου στα μπισκότα, η σπογγώδης υφή στα κέικ, το γυαλιστερό γλάσο στα ντόνατ κ.ά.

Όταν αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά πλησιάσουν ή ξεπεράσουν ένα προκαθορισμένο κατώτατο όριο αποδοχής, τότε πρέπει να αποσύρονται από τα ράφια. Όταν, για παράδειγμα, τα κράκερ γίνουν μαλακά λόγω προσρόφησης υγρασίας, τα μπισκότα αποκτήσουν ταγγή γεύση λόγω οξείδωσης των λιπαρών στοιχείων του, τα κέικ αποκτήσουν πιο συμπαγή δομή λόγω απώλειας της υγρασίας, και το γλάσο στην επιφάνεια των ντόνατ χάνει τη γυαλιστερή όψη του, τότε είναι πολύ πιθανό να μην αγοραστούν από τους καταναλωτές. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ευρέως γνωστά και ως *δείκτες αστοχίας* (Indices of Failure, IoFs) (Yam, 2009).

Μετά τον καθορισμό των IoFs για ένα συγκεκριμένο τρόφιμο, ακολουθεί η ποσοτικοποίηση του μεγέθους της υποβάθμισης, π.χ. πόσο οξυγόνο ή υγρασία μπορεί να αντιδράσει με το τρόφιμο πριν γίνει μη αποδεκτό.

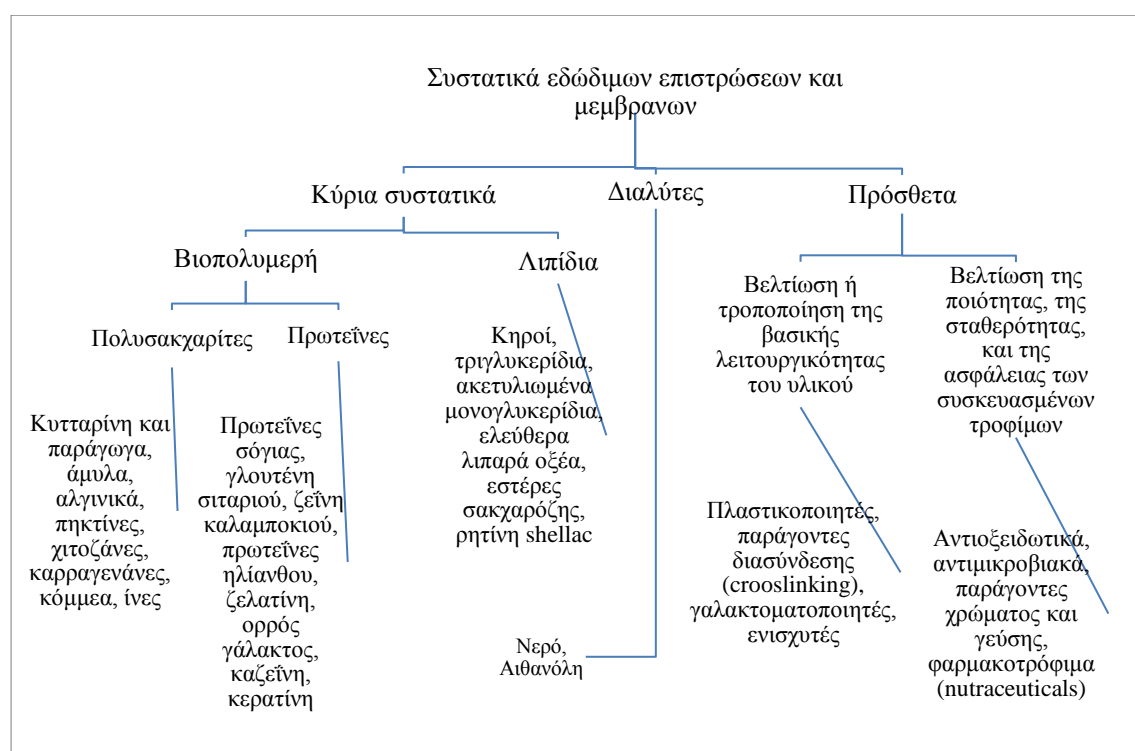
Το τελικό βήμα είναι ο προσδιορισμός των IoFs που μπορεί να επηρεάζονται από το υλικό συσκευασίας, αφού η συσκευασία δεν μπορεί να αποτρέψει κάθε ανεπιθύμητη μεταβολή στα τρόφιμα. Αν, για παράδειγμα, ένας από τους δείκτες αστοχίας για τα μπισκότα είναι η απώλεια της τραγανότητας, τότε το υλικό συσκευασίας θα μπορούσε να τον επηρεάζει από το βαθμό που επιτρέπει την είσοδο της υγρασίας. Αν, όμως, το μη ενζυμικό μαύρισμα αποτελούσε δείκτη αστοχίας για το ίδιο προϊόν, τότε είναι απίθανο ότι ένα υλικό συσκευασίας θα επηρεάσει το βαθμό αυτής της αντίδρασης (Manley, 2011). Συνήθως, βέβαια, για κάθε τρόφιμο υπάρχουν πολλοί δείκτες αστοχίας.

Σημαντική σημείωση αποτελεί ότι η πεποίθηση σχετικά με το τέλος του χρόνου ζωής ενός προϊόντος, το οποίο πρέπει να ορίζεται τη στιγμή που οι καταναλωτές που απόδεδχονται αυτό το προϊόν, έχουν φτάσει στο χαμηλό ποσοστό του 50% του συνόλου, χωρίς να σημαίνει ότι το ποσοστό αυτό είναι απόλυτα αξιόπιστο (Manzocco, Calligaris, & Nicoli, 2011).

1.3. Υλικά σχηματισμού μεμβρανών

Τα συνηθέστερα υλικά σχηματισμού φιλμ ή επικάλυψης είναι τα βιοπολυμερή, όπως για παράδειγμα, πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες, και τα λιπίδια, που χρησιμοποιούνται αυτόνομα ή συνδυαστικά. Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά αυτών, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητες των παραγόμενων φιλμ ή επικαλύψεων (Sothornvit & Krochta, 2000).

Τα υλικά σχηματισμού φιλμ μπορεί να είναι υδρόφιλα ή/και υδρόφοβα, και ως διαλύτες χρησιμοποιούνται μόνο το νερό και η αιθανόλη, αφού πρόκειται για εδάδιμα προϊόντα (Han, 2014). Επιπροσθέτως, χρησιμοποιούνται και πρόσθετα για τη βελτίωση ή τροποποίηση της βασικής λειτουργικότητας των υλικών ή για την ενίσχυση της ποιότητας, της σταθερότητας και της ασφάλειας των τροφίμων (βλ. Εικ. 3).



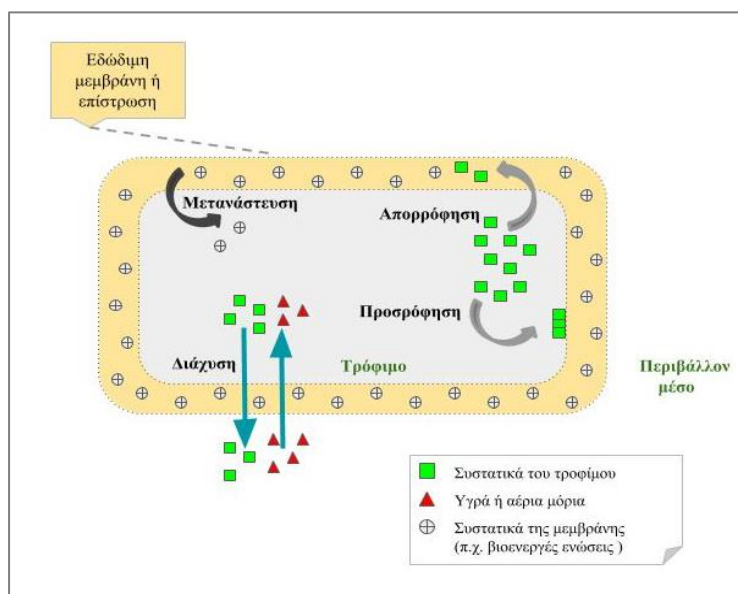
Εικόνα 3. Σύνθεση των εδάδιμων επιστρώσεων και μεμβρανών (Προσαρμοσμένο από Salgado κ.ά., 2015)

Όλα τα παραπάνω πρέπει να ακολουθούν όλους τους κανονισμούς που αναφέρονται σε συστατικά ή πρόσθετα ώστε αν είναι ασφαλή κάτω από τις προβλεπόμενες συνθήκες χρήσης (Soliva-Fortuny, Rojas-Graü, & Martín-Belloso, 2012).

Το FDA (Food and Drug Administration, US) κατηγοριοποιεί αυτά τα υλικά είτε ως πρόσθετα τροφίμων, ή τουλάχιστον, ως «γενικά αναγνωρισμένες ως ασφα-λείς» ουσίες (Generally Recognized As Safe, GRAS) (Rungsinee Sothornvit & Krochta, 2005).

Ο διττός ρόλος των εδώδιμων επιστρώσεων και μεμβρανών, ως συστατικά τροφίμων και ως συσκευασία, προϋποθέτει ότι έχουν όχι μόνο ικανοποιητικά οργανοληπτικά γνωρίσματα, βιοχημική, φυσικοχημική και μικροβιακή σταθερότητα, μη τοξικότητα και ασφάλεια, αλλά και καλές μηχανικές ιδιότητες, σημαντικές ιδιότητες φραγμού, χαμηλό κόστος πρώτων υλών και επεξεργασίας και μη ρυπογόνο χαρακτή-ρα (Tharanathan, 2003).

Τόσο οι μεμβράνες πρωτεϊνών όσο και οι μεμβράνες πολυσακχαριτών παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές, πολύ καλές ιδιότητες φραγμού στο οξυγόνο και σε άλλα αέρια, στα λιπίδια και στις αρωματικές ουσίες, μηχανικές ιδιότητες μέτριου επιπέδου, και υψηλή διαπερατότητα απέναντι στους υδρατμούς (Water Vapor Permeability, WVP). Οι μεμβράνες λιπιδίων προβάλλουν μεγαλύτερη αντίσταση στην απώλεια νερού και επιπλέον, προσδίδουν μία ελκυστική γυαλάδα στο τελικό αποτέλεσμα (Salgado κ.ά, 2015). Σε κάθε περίπτωση, όταν χρησιμοποιείται μία μεμβράνη ή μία επίστρωση, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπ' όψιν οι διαδικασίες μεταφοράς μάζας από και προς τη μεμβράνη/επίστρωση, αλλά και από και προς το περιβάλλον μέσο (βλ.Εικ. 4), αφού μέσω αυτών αλλοιώνεται η ποιότητα των περισσότερων τροφίμων. Αυτά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας περιλαμβάνουν την απορρόφηση υγρασίας και λιπαρών, την εισβολή οξυγόνου, την απώλεια αρωμάτων, την απορρόφηση ανεπιθύμητων οσμών, κ.ά. (Salgado κ.ά., 2015).



Εικόνα 4. Διαδικασίες μεταφοράς μάζας μεταξύ τροφίμου, μεμβράνης / επίστρωσης και περιβάλλοντος μέσου (Προσαρμοσμένο από Salgado κ.ά., 2015)

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι πλαστικοποιητές είναι απαραίτητα συστατικά των εδώδιμων επιστρώσεων και μεμβρανών, ειδικά στις περιπτώσεις όπου οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο, καθώς οι δομές που σχηματίζουν είναι συχνά άκαμπτες και εύθραυστες, εξαιτίας των εκτενών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πολυμερών. Έτσι, οι πλαστικοποιητές, ως ουσίες μικρού μοριακού βάρους, τοποθετούνται μεταξύ των πολυμερών, επεμβαίνοντας στις αλληλεπιδράσεις πολυμερούς-πολυμερούς με στόχο τη βελτίωση της ευκαμψίας και της επεξεργασιμότητας (Jarray, Gerbaud and Hemati, 2016).

Οι πλαστικοποιητές διαταράζουν τους διαμοριακούς και ενδομοριακούς δεσμούς υδρογόνου, αυξάνουν την απόσταση μεταξύ των πολυμερών αυξάνοντας παράλληλα και τον ελεύθερο όγκο των πολυμερικών δομών ή την κινητικότητα των αλυσίδων, μειώνοντας έτσι, την αναλογία κρυσταλλικής περιοχής προς την άμορφη περιοχή, και την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης (Han, 2014; Krochta, 2002). Ως εκ τούτου, η προσθήκη πλαστικοποιητών έχει σημαντική επίδραση όχι μόνο σε μηχανικές ιδιότητες, αλλά και στην αντίσταση των μεμβρανών και επιστρώσεων έναντι στη διείσδυση ατμών και αερίων (Sothornvit & Krochta, 2000).

Οι περισσότεροι πλαστικοποιητές είναι υδρόφιλοι και υγροσκοπικοί, γι' αυτό και ελκύουν εύκολα μόρια νερού, σχηματίζοντας ένα μεγάλο υδροδυναμικό σύμπλοκο πλαστικοποιητή-νερού. Ακόμη και το ίδιο το νερό αποτελεί έναν πολύ καλό πλαστικοποιητή, αλλά είναι αρκετά εύκολο να χαθεί λόγω αφυδάτωσης σε χαμηλή σχετική υγρασία. Σε αυτή την περίπτωση, προτιμάται η προσθήκη υδρόφιλων χημικών πλαστικοποιητών, που οδηγεί σε μείωση της απώλειας νερού λόγω αφυδάτωσης, και σε αύξηση του δεσμευμένου νερού, άρα και σε διατήρηση υψηλής ενεργότητας νερού (Han, 2014). Συνεπώς, διακρίνουμε δύο είδη πλαστικοποιητών, εκείνους που διακόπτουν τη αλληλεπίδραση των πολυμερών αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ τους, κι εκείνους που αλληλεπιδρούν με μεγάλες ποσότητες νερού, συγκρατώντας μεγάλο μέρος αυτού, καταλήγοντας σε υψηλότερη περιεχόμενη υγρασία (Han, 2014; R. Sothornvit & Krochta, 2000).

Η απόσταση μεταξύ των πολυμερών μπορεί να αυξηθεί όχι μόνο με τη χρήση πλαστικοποιητών, αλλά και με την κατάλληλη μεταβολή του pH ή την προσθήκη αλάτων, στην ίδια ενεργότητα νερού. Αυτό είναι δυνατό στις δομές μεμβρανών που σχηματίζονται από φορτισμένα πολυμερή, αφού στις περιπτώσεις αυτές αναπτύσσονται απωστικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων του ίδιου φορτίου ή μεταξύ πολικών/μη πολικών πολυμερών (Han, 2014).

1.4. Διαδικασία σχηματισμού μεμβρανών

Οι μεμβράνες προκύπτουν μέσω της ξηρής ή της υγρής διαδικασίας σχηματισμού. Η ξηρή διαδικασία περιλαμβάνει τη θέρμανση των πρώτων υλών ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία τους άνω του σημείου τήξεως, με αποτέλεσμα την ροή αυτών. Η υγρή διαδικασία χρησιμοποιεί διαλύτες για τη διάλυση ή ομοιόμορφη διασπορά των πρώτων υλών, και οι μόνοι κατάλληλοι για την περίπτωση των τροφίμων είναι το νερό και αιθανόλη αφού είναι τόσο εδώδιμοι όσο και βιοαποικοδομήσιμοι (Pavlati and Orts, 2009).

Στη συνέχεια, το διάλυμα με τα υλικά σχηματισμού του φιλμ εφαρμόζεται σε επίπεδες επιφάνειες με τη βοήθεια ψεκαστήρα, διασκορπιστή ή κυλίνδρου εμβάπτισης, κι αφήνεται να στεγνώσει για την απομάκρυνση του διαλύτη, σχηματίζοντας τελικά, τη δομή μεμβράνης. Ανεξάρτητα της διαδικασίας σχηματισμού, οι πρώτες ύλες πρέπει τελικά, να σχηματίσουν ένα χωρικά αναδιαταγμένο, τρισδιάστατο δίκτυο αλληλεπιδρώντων πολυμερών και λοιπών παραγόντων, όπως πλαστικοποιητές, κλπ. (Nieto, 2009).

1.5. Παράγοντες αποτελεσματικότητας μεμβρανών

Τα περισσότερα διαλύματα σχηματισμού φιλμ, χαρακτηρίζονται από μία επιφανειακή τάση πολύ υψηλότερη της επιφανειακής ενέργειας των αποξηραμένων φιλμ, κι αυτό λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς τους σε νερό ή αιθανόλη. Κατά συνέπεια, είναι δύσκολο για ένα διάλυμα σχηματισμού φιλμ με υψηλή επιφανειακή τάση να καλύψει ομοιόμορφα μία επίπεδη επιφάνεια με πολύ χαμηλή επιφανειακή ενέργεια, με τη χρήση εξαρτημάτων επικάλυψης υψηλής ταχύτητας. Παρ' όλα αυτά, κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης του διαλύτη μέσω αποξήρανσης, τα στερεά υλικά του διαλύματος συμπυκνώνονται και η επιφανειακή ενέργεια μειώνεται λόγω της απώλειας του διαλύτη (Nieto, 2009).

Το ιξώδες του διαλύματος σχηματισμού φιλμ, δηλαδή η αντίστασή του στη ροή, όταν δέχεται εξωτερικές πιέσεις, επηρεάζει, επίσης, τη διαδικασία επικάλυψης. Ένα χαμηλότερο ιξώδες επιταχύνει το διαχωρισμό της επικάλυψης από την επίπεδη επιφάνεια, μέσω συσσωμάτωσης, οδηγώντας σε μία ανομοιόμορφη επίστρωση με επακόλουθη στάλαξη του διαλύματος. Αντίθετα, ένα υψηλότερο ιξώδες συμβάλλει στη μείωση του διαχωρισμού αυτού, εκτός από την περίπτωση πολύ υψηλού ιξώδους όπου η διαχείριση του διαλύματος γίνεται πολύ δύσκολη. Ένα καλό διάλυμα επικάλυψης χαρακτηρίζεται τόσο από υψηλό ιξώδες όσο και από χαμηλή επιφανειακή τάση (Parreidt, Schott, Schmid and Muller, 2018).

1.6. Προκλήσεις

Η επιλογή της κατάλληλης επίστρωσης ή φιλμ δεν είναι απλή, ούτε μονοδιάστατη. Αρχικά, καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διατηρηθούν στο εκάστοτε τρόφιμο, κι από το ρυθμό αλλοίωσής τους, καθώς κι από τις συνθήκες αποθήκευσης. Στη συνέχεια, επιβάλλεται να υπακούει στους κανονισμούς σχετικά με τα συστατικά των τροφίμων και να αξιολογηθεί ως ασφαλές για κατανάλωση. Επιπλέον, η μέθοδος εφαρμογής και το πάχος της επίστρωσης μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά όλες τις ιδιότητες που σχετίζονται με τα φαινόμενα μεταφοράς, μέσω του αντίστοιχου σε κάθε περίπτωση, ποσοστού κάλυψης της επιφάνειας του τροφίμου (Banks, Dadzie & Cleland, 1993).

Ένα ακόμα σημείο που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι ο βαθμός αποδοχής του προϊόντος από τους καταναλωτές καθώς έχουν παρατηρηθεί ποικίλες αντιδράσεις, θετικού ή αρνητικού χαρακτήρα. Στην αύξηση του βαθμού αποδοχής βοηθά η βελτιστοποίηση τόσο της εμφάνισης όσο και της γεύσης των φιλμ, και για την ακρίβεια προτιμώνται άγευστα υλικά (Olivas κ.ά., 2008).

Βέβαια, υπάρχει πάντα και το ενδεχόμενο αντίστασης των βιομηχανιών στη χρήση νέων υλικών, ως απόρροια της αδυναμίας απάντησης στον ανταγωνισμό. Και τέλος, δεν αποκλείεται ακόμη και πιθανή σύγκρουση με συμβατικά συστήματα συσκευασίας τροφίμων, γεγονός που πιθανόν να οδηγήσει σε νέο εξοπλισμό παραγωγής κι εφαρμογής, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του οποίου μπορεί να είναι ασύμφορα υψηλό (Olivas κ.ά., 2008).

Κεφάλαιο 2

Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Παραγωγή της BK

Η βακτηριακή κυτταρίνη (BK) παρήχθη όπως περιγράφει η Tsouko (2015), σύμφωνα με την οποία καλλιέργειες βακτηρίων (*Komagataeibacter sucrofermentans* DSM 15973) αναπτύχθηκαν σε συνθετικό μέσο που περιείχε τα ακόλουθα ((Schramm & Hestrin, 1954): πηγή άνθρακα (20 g/L), εκχύλισμα ζύμης (5 g/L), πεπτόνη (5 g/L), Na₂HPO₄ (2.7 g/L) και κιτρικό οξύ (1.15 g/L), στους 30°C και 100-120 rpm, για δύο μέρες. Οι ζυμώσεις έγιναν σε φιάλες Erlenmeyer των 250 mL, που περιείχαν 50 mL του συνθετικού μέσου το οποίο εμβολιάστηκε με 10% v/v όγκο εμβολίου. Κατόπιν, ακολούθησε επώαση των φιαλών στους 30°C, για 15 μέρες. Μετά το πέρας αυτής της περιόδου, η κυτταρίνη συλλέχθηκε από τις καλλιέργειες και καθαρίστηκε με άφθονο νερό για την απομάκρυνση τυχόν εναπομείναντος μέσου. Στη συνέχεια, υποβλήθηκε σε επεξεργασία με 2M NaOH για την ελαχιστοποίηση των βακτηριακών κυττάρων και έπειτα, καθαρίστηκε επανειλημμένα με νερό μέχρι να αποκτήσει ουδέτερο pH.

2.2. Λυοφιλίωση της BK



Εικόνα 5. Νιφάδες λυοφιλωμένης βακτηριακής κυτταρίνης

Τα καθαρά υμένια της BK, υποβλήθηκαν στη διαδικασία της λυοφιλίωσης (freeze drying) ώστε να απομακρυνθούν τα μόρια νερού, καταλήγοντας σε ξηρά φύλλα καθαρής BK. Αυτό συμβάλλει στη σταθερότητα της BK, καθώς σε αυτή τη μορφή δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη μυκήτων κι άρα η αλλοίωσή της.

Ακολούθησε κονιοροποίηση της λυοφιλωμένης BK με τη βοήθεια αναλυτικού μύλου ώστε το μέγεθος της BK να γίνει το μικρότερο δυνατό. Τελικά, οι νιφάδες της BK (βλ. Εικ. 5) αποτέλεσαν την πρώτη ύλη για κάθε δοκιμή αυτής της εργασίας.

2.3. Προετοιμασία της ΒΚ

Συγκεκριμένη ποσότητα ΒΚ (0.1g, 0.3g και 0.5g) ζυγίστηκε και τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως μαζί με 50 mL απιονισμένου νερού και 3 mL αιθανόλης, για την αποτροπή ανάπτυξης μικροοργανισμών κατά τη διάρκεια ενυδάτωσης, κι αφέθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για 24h. Στη συνέχεια, το ίζημα υποβλήθηκε σε επεξεργασία με υπερήχους από έναν ομογενοποιητή υπερήχων Sonopuls 3200 (Bandelin Electronic GmbH & Co, Berlin), εξοπλισμένο με κεφαλή διαμέτρου 3mm (MS 73, 284 μmss πλάτος από κορυφή σε κορυφή). Η επεξεργασία με υπερήχους πραγματοποιήθηκε, βάσει της μεθόδου της Paximada, Tsouko κ.ά.. (2016) σε συχνότητα 20 kHz και τελική ονομαστική ισχύ 80W, για 1min. Η θερμοκρασία ήταν σταθερή στους 25 (± 1) °C, με κυκλοφορία κρύου νερού με αντλία.

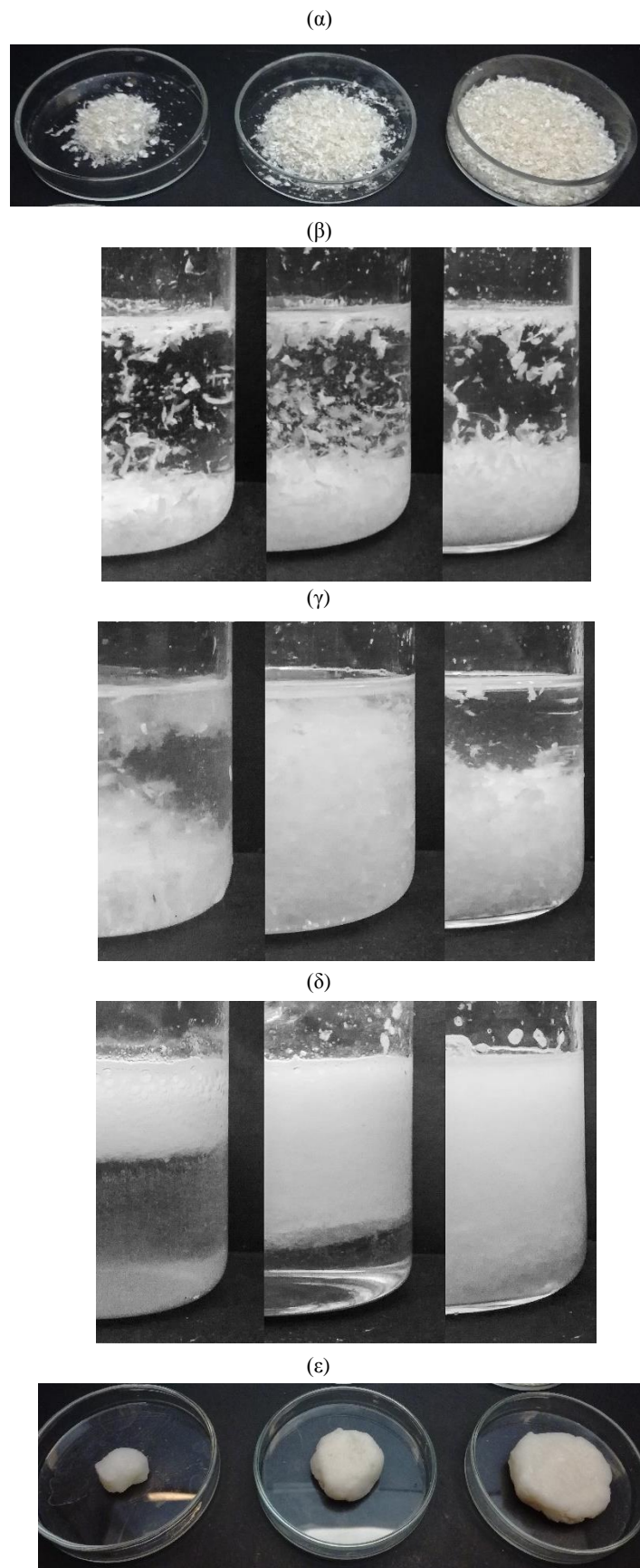
Επόμενο βήμα, η επιπλέον αποδόμηση της ΒΚ με αναμείκτη υψηλής διαμητρικής τάσης (13500 RPM, Ultra Turrax T25, IKA, Germany) για 2min, με αποτέλεσμα το σχηματισμό λευκού ιζήματος (Paximada, Tsouko, Kopsahelis, Koutinas, & Mandala, 2016).

Ακολούθησε διήθηση του διαλύματος ώστε να απομακρυνθεί όσο το δυνατόν περισσότερος διαλύτης, καταλήγοντας έτσι, σε καθαρή και ενυδατωμένη ΒΚ, η οποία προστέθηκε, αργότερα, στο σιρόπι (βλ. Εικ. 6).

Τα διαφορετικά δείγματα κυτταρίνης διαφέρουν ως προς την ποσότητα κυτταρίνης που περιέχουν, δηλαδή 0.1g, 0.3g και 0.5g αφυδατωμένης ΒΚ, γι' αυτό κι ονομάστηκαν έτσι, αντίστοιχα. Σύνηθες είναι, όμως, και η έκφραση των συστατικών σε ποσοστό (%) τελικής συγκέντρωσης. Σε αυτή την περίπτωση, τα δείγματα περιέχουν 0,06%, 0,17% και 0,28%, κατ' αντιστοιχία, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Μετατροπή της αρχικής ποσότητας ξηρής κυτταρίνης σε ποσοστό (%) τελικής συγκέντρωσης στο διάλυμα

Λυοφυλιωμένη ΒΚ (g)	0,1	0,3	0,5
Επανυδατωμένη ΒΚ (g)	0,785	2,347	3,931
Απλό Σακχαρούχο Διάλυμα (g)	175	175	175
Τελικό Διάλυμα (g)	175,785	177,347	178,931
Ποσοστό (%) της Λυοφυλιωμένης ΒΚ στο Τελικό Διάλυμα	0,06	0,17	0,28



Εικόνα 6. Προετοιμασία δειγμάτων ΒΚ: νιφάδες λιοφυλιωμένης κυτταρίνης με βάρος, από τα αριστερά προς τα δεξιά, 0.1g, 0.3g και 0.5g, αντίστοιχα (α), ενυδάτωση με προσθήκη διαλύτη (β), μετά από εφαρμογή υπερήχων (γ), διαχωρισμός φάσεων μετά από ανάδευση με αναμικτήρα υψηλής ανάδευσης (δ), τελικό προϊόν έπειτα από φιλτράρισμα (ε)

2.4. Προετοιμασία του σιροπιού

Αρχικά, προετοιμάστηκε ένα ρυθμιστικό διάλυμα απιονισμένου νερού, μονοένυδρου κιτρικού οξέος ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) και κιτρικού νατρίου ($Na_3C_6H_5O_7$), με pH 3.8, το οποίο αποτέλεσε την υδατική φάση του σιροπιού.

Ακολούθως, βάσει του US Patent No. US 2010/0196553 A1 (2010) αλλά με μικρές τροποποιήσεις, προχώρησε η παρασκευή του σιροπιού, προσθέτωντας σε ένα ποτήρι ζέσεως κρυσταλλική ζάχαρη (65g), γλυκερόλη (50g), και ρυθμιστικό διάλυμα (60g) κι ανάλογα με το δείγμα, προστέθηκε επίσης, ζελατίνη (1g) ή βακτηριακή κυτταρίνη (0.1g, 0.3g ή 0.5g). Τα διαλύματα θερμάνθηκαν στους $60^\circ C$, μέχρι να γίνουν διαυγή, να διαλυθούν τα σάκχαρα και να αποκτήσουν την επιθυμητή περιεκτικότητα σε σάκχαρα, δηλαδή για 30min, χρόνος που προσδιορίστηκε από το πείραμα 1, όπως φαίνεται στα αποτελέσματα (βλ. Διάγρ. 1, Πίν.1). Το πείραμα αυτό περιελάμβανε τη θέρμανση του ίδιου σιροπιού για διαφορετικούς χρόνους, και τη μέτρηση των βαθμών Brix για κάθε χρόνο, με στόχο τον προσδιορισμό της κατάλληλης περιεκτικότητας του διαλύματος σε σάκχαρα, δηλαδή εντός του εύρους $52-65^\circ Bx$.

2.5. Επεξήγηση επιλογής πειραματικών συνθηκών

Κατά την προετοιμασία της BK, επιλέχθηκε η επεξεργασία με υπερήχους καθώς επιδρούν σημαντικά στο πλάτος των ινιδίων κυτταρίνης, τροποποιώντας τη νανοδομή των εναιωρημάτων. Λόγω της γραμμικότητας των μορίων κυτταρίνης, παρακείμενες αλυσίδες κυτταρίνης σχηματίζουν ένα πλαίσιο υδατοαδιάλυτων συσσωματωμάτων ποικίλου μήκους και πλάτους (Paximada, Dimitrakopoulou, κ.ά., 2016). Τα μικροϊνίδια αυτά, περιλαμβάνουν περιοχές εξαιρετικά διατεταγμένες (κρυσταλλικές) και λιγότερο διατεταγμένες (άμορφες). Οι υπέρηχοι προκαλούν τη μετατροπή των άμορφων περιοχών σε κρυσταλλικές, αυξάνοντας κατά τη συνέπεια, τη συνολική κρυσταλλικότητα των μεμβρανών BK (Tischer, Sierakowski, Westfahl, & Tischer, 2010).

Επιπλέον, οι υπέρηχοι συμβάλλουν στην αύξηση της σταθερότητας των εναιωρημάτων, μέσω της μείωσης της φάσης διαχωρισμού. Επίσης, ο χρόνος επεξεργασίας με υπερήχους παίζει καθοριστικό ρόλο, αφού για παράδειγμα, ένα λεπτό οδηγεί σε σπάσιμο των ινιδίων, μείωση του αρχικού πλάτους κατά 50%, αύξηση της ικανότητας συγκράτησης νερού και του ιξώδους, ενώ πέντε λεπτά οδηγούν σε πολύ υψηλότερη αύξηση της

κρυσταλλικότητας και τελικώς, μπλεγμένα ινίδια (Paximada, Dimitrakopoulou, κ.ά., 2016).

Στη συνέχεια, όσον αφορά στο σακχαρούχο διάλυμα, το κλασικό σιρόπι περιλαμβάνει νερό και κρυσταλλική ζάχαρη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όμως, έγινε αντικατάσταση ενός μέρους της περιεχόμενης κρυσταλλικής ζάχαρης με γλυκερόλη, ώστε να αυξηθεί η σταθερότητα του διαλύματος ως προς την κρυστάλλωση (Farahnaki, Ansari & Majzobi, 2009).

Επιπρόσθετα, σημαντική παράμετρο αποτελεί η συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών στερεών σακχάρων στο διάλυμα, η οποία εκφράζεται σε μονάδες Brix, και υπολογίζεται με τη βοήθεια του διαθλασίμετρου, στους 20°C. Η συγκέντρωση αυτή, πρέπει να βρίσκεται εντός του εύρους 40-70°Bx, κατά προτίμηση εντός του στενότερου εύρους 52-65°Bx, γιατί όταν η περιεχόμενη ζάχαρη ξεπερνά τους 70°Bx, αυξάνονται οι πιθανότητες μείωσης της υγρασίας της ζύμης και κατ' επέκταση, όλο το τρόφιμο τείνει να στεγνώσει πιο γρήγορα. Από την άλλη, όταν η περιεχόμενη ζάχαρη είναι κάτω από 40°Bx, τότε η υγρασία τείνει να μεταναστεύει από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του τροφίμου, αλλοιώνοντας, έτσι, τη γεύση του (Cauvain & Young, 2009).

Ακολούθως, το χαμηλό pH του ρυθμιστικού διαλύματος επιλέχθηκε για πολλούς λόγους. Κατ' αρχάς, βοηθά τη διάλυση της σακχαρόζης σε γλυκόζη και φρουκτόζη, ενώ αποτρέπει τη δημιουργία συσσωμάτων και την κρυστάλλωση του σιροπιού (Rosenthal, Torrezan, Schmidt & Narain, 2011). Επιπλέον, αποτρέπει την ανάπτυξη πολλών αλλοιογόνων μικροοργανισμών, όπως βακτήρια και μύκητες (Rawat, 2015).

Ακόμη, συνεισφέρει στο σχηματισμό δικτύου ΒΚ, όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Τα εναιωρήματα με ΒΚ φαίνεται να παραμένουν σταθερά σε διαφορετικά pH, (Paximada, Tsouko, κ.ά., 2016). Επιπλέον, οι ίνες ΒΚ διατηρούν το αρνητικό τους φορτίο σε ένα μεγάλο εύρος pH, όπως και η πλειονότητα των κυτταρινών. Δεδομένου ότι η τιμή pK_a της κυτταρίνης είναι 4, στην ίδια τιμή pH, η πυκνότητα του φορτίου της κυτταρίνης μειώνεται, ενώ αντίθετα, σε υψηλότερες τιμές pH, η πυκνότητα του φορτίου αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει αφού η είσοδος της αρνητικά φορτισμένης κυτταρίνης, δηλαδή με περίσσεια ηλεκτρονίων, σε όξινο περιβάλλον, δηλαδή με έλλειψη ηλεκτρονίων, προκαλεί ανακατανομή των ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης του φορτίου της κυτταρίνης. Κατ' επέκταση, μειώνεται κι ο βαθμός άπωσης μεταξύ των ινιδίων κυτταρίνης, γεγονός που βοηθά στο σχηματισμό σταθερού δικτύου (Paximada, Koutinas, κ.ά., 2016).

Ένας ακόμη λόγος επιλογής συγκεκριμένου pH είναι και το γεγονός ότι η μέτρηση του ιξώδους από το ρεόμετρο, προϋποθέτει σταθερό pH μεταξύ των δειγμάτων, γι' αυτό κι όλα τα δείγματα, ανεξάρτητα αν περιέχουν ή όχι ΒΚ, χαρακτηρίζονται από το ίδιο pH.

Σχετικά με το πηκτικό μέσο που χρησιμοποιείται ως αναφορά, η πατέντα που αποτέλεσε τον οδηγό του πειραματικού αυτού σχεδιαμού, χρησιμοποιεί άγαρ. Παρόλ' αυτά, το άγαρ αντικαταστάθηκε με ίση ποσότητα ζελατίνης. Το ιδανικό θα ήταν η αντικατάσταση του ενός πηκτικού μέσου όχι με ισόποση, αλλά με ισοδύναμη ποσότητα του άλλου, αλλά αυτό δεν ήταν εφικτό, καθώς εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος των κόκκων της σκόνης άγαρ και ζελατίνης αντίστοιχα. Επιπλέον, το άγαρ που χρησιμοποιήθηκε στην πατέντα αναφέρεται ως «εμπορικά διαθέσιμο», χωρίς περαιτέρω περιγραφή. Ακόμη, μετά από βιβλιογραφική αναζήτηση, βρέθηκαν ποικίλες αναλογίες ζελατίνης προς άγαρ, χωρίς επαρκή αιτιολόγηση. Τελικά, χρησιμοποιήθηκε ίση ποσότητα ζελατίνης (1g) σε μορφή σκόνης, αλλά υπέστη διαφορετική μεταχείριση από το άγαρ.

Το άγαρ προϋποθέτει ενυδάτωση σε νερό, ή άλλο υγρό μέσο (π.χ. γάλα), και κατόπιν, θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία (95° C), αφού το άγαρ ενεργοποιείται μετά το πέρας των 85° C (Lam κ.ά., 2012). Αντίθετα, η ζελατίνη προϋποθέτει, επίσης, πλήρη ενυδάτωση σε υδατικό διάλυμα (ο απαιτούμενος χρόνος καθορίζεται από το μέγεθος των σωματιδίων της ζελατίνης, ξεκινώντας από μερικά λεπτά έως και ολόκληρη ώρα), αλλά στη συνέχεια, θέρμανση στους 50° C (Geliko LLC, 2008). Η ζελατίνη, βέβαια, αρχίζει και διαλύεται πολύ νωρίτερα, όταν η θερμοκρασία περάσει τους 30° C, αλλά μπορεί να διατηρήσει την πηκτική της ικανότητα μόνο μέχρι τους 60° C (Joly-Duhamel, Hellio, & Djabourov, 2002). Εντός του θερμοκρασιακού εύρους 50-60° C, τα διαλύματα ζελατίνης διατηρούν το 95% της πηκτικής τους ικανότητας, για δύο ώρες. Η θέρμανση, όμως, σε ακόμη υψηλότερες θερμοκρασίες, για παράδειγμα μεταξύ 80-100° C ή και παραπάνω, θα αποβεί καταστροφική για τη ζελατίνη, εάν διαρκέσει για περισσότερα από λίγα λεπτά (Geliko LLC, 2008). Γι' αυτό και η μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια προετοιμασίας του σιροπιού παρέμεινε στους 60° C, σε όλα τα δείγματα.

Τέλος, σχετικά με την επιλογή των δειγμάτων με συγκεκριμένη ποσότητα ΒΚ, οι ποσότητες αυτές (0.1g, 0.3g ή 0.5g λυοφιλωμένης ΒΚ, σε μορφή μικρών νιφάδων) προέκυψαν από το Πείραμα 2 που έγινε με σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς της πρώτης ύλης. Κατά τη διάρκεια του πειράματος αυτού, παρασκευάστηκαν όπως

περιγράφεται παραπάνω, δείγματα σιροπιού με διαφορετικές περιεκτικότητες σε ΒΚ που παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος.

Για κάθε δείγμα μετρήθηκαν το ιξώδες, το ποσοστό διαβίβασης του φωτός, καθώς και η περιεκτικότητα των διαλυμάτων σε σάκχαρα. Έτσι, βάσει των παραπάνω μετρήσεων, επιλέχθηκε το διάλυμα με 0.1g ΒΚ ως το διάλυμα με τις πλησιέστερες τιμές στις αντίστοιχες της ζελατίνης, που θεωρείται διάλυμα πρότυπο για τη συγκεκριμένη εργασία. Επιπροσθέτως, επιλέχθηκαν και δύο διαλύματα με υψηλότερες συγκεντρώσεις ΒΚ, ώστε να γίνει η σύγκριση στη συνέχεια.

Επιπλέον, στις μετρήσεις του ιξώδους των δειγμάτων εφαρμόστηκαν τρία μαθηματικά μοντέλα για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ της τάσης και του ρυθμού διάτμησης των μη Νευτώνιων ρευστών, δηλαδή των ρευστών που δεν συμπεριφέρεται σύμφωνα με το νόμο της ιξώδους ροής του Νεύτωνα που υποστηρίζει ότι το ιξώδες είναι ανεξάρτητο της πίεσης που του ασκείται (Batchelor, 1967).

Τα μοντέλα που εφαρμόστηκαν είναι το μοντέλο Herschel-Bulkley (Herschel & Bulkley, 1926), το μοντέλο Ostwald, γνωστό κι ως Power Law μοντέλο (Reiner, 1926) και το μοντέλο Bingham (Bingham, 1922), που εκφράζονται από τις εξισώσεις (1), (2) και (3), αντίστοιχα.

$$\tau - \tau_o = K\gamma^n \quad (1)$$

$$\tau = K\gamma^n \quad (2)$$

$$\tau - \tau_o = \mu_p\gamma^n \quad (3)$$

Οι παράμετροι των μοντέλων αυτών είναι η τάση διάτμησης (τ , N/m² ή Pa), η τάση υποχώρησης (τ_o , Pa), ο ρυθμός διάτμησης (γ , 1/s), ο δείκτης συνοχής (K , Pa.sⁿ), ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n , αδιάστατο), και το πλαστικό ιξώδες (μ_p , Pa.s).

Τάση διάτμησης (τ) ορίζεται ως η δύναμη που απαιτείται για την κίνηση δεδομένης περιοχής του ρευστού κι εκφράζεται σε N/m². Ρυθμός διάτμησης (γ) είναι ο ρυθμός κίνησης του υγρού σε δεδομένη περιοχή και μετριέται σε 1/s. Η αναλογία της τάσης διάτμησης προς τον ρυθμό διάτμησης ορίζεται ως ιξώδες (η), γι' αυτό και η μονάδα μέτρησής του είναι (N/m²).s, ή αλλιώς Pa.s, και είναι, ουσιαστικά, ενδεικτικό της αντιστάσεως του ρευστού στην κίνηση που του επιβάλλεται. Στις εξισώσεις (1) και (2), το ιξώδες εκφράζεται μέσω του δείκτη συνοχής K (Pa.sⁿ). Η τάση υποχώρησης (τ_o) είναι η οριακά ελάχιστη διατμητική

τάση που πρέπει να ξεπεράσουν τα ρευστά Bingham, έπειτα από την οποία συμπεριφέρονται ως Νευτώνεια ρευστά. Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n) είναι ενδεικτικός της τάσης του ρευστού στη διάτμηση (Garakani, κ.ά. 2011).

Μετά τον προσδιορισμό των συνθηκών σχετικά με τη σύνθεση και προετοιμασία του σιροπιού, καθώς και την κατάλληλη ποσότητα κυτταρίνης, έρχεται η σειρά του Πειράματος 3, κατά το οποίο παρασκευάζονται πέντε διαλύματα με βάση το απλό σιρόπι: τρία εξ αυτών περιέχουν και ενυδατώμενη κυτταρίνη (0.1g, 0.3g και 0.5g νιφάδων κυτταρίνης, αντίστοιχα), ένα περιέχει και 1g ζελατίνης, και ένα αποτελεί τον μάρτυρα, δηλαδή δεν περιέχει κανέναν επιπλέον παράγοντα. Στη συνέχεια, προετοιμάζονται τα κέικ πάνω στα οποία θα εφαρμοστούν τα παραπάνω διαλύματα.

Για την παρασκευή των κέικ χρησιμοποιήθηκαν ισοβαρή μέρη των επιμέρους υλικών: 500g αλευριού, 500g κρυσταλλικής ζάχαρης, 500g αυγών και 500g μαργαρίνης, καθώς και 20g baking powder (όξινο πυροφωσφορικό νάτριο, διττανθρακική σόδα και άμυλο σίτου).

Μετά το ψήσιμο, τα κέικ κόβονται σε κομμάτια ίσων διαστάσεων (2cm πλάτος, 10cm μήκος και 2cm ύψος), ώστε τα διαλύματα να επιστρωθούν σε ίσες επιφάνειες. Επιλέχθηκε η αναλογία πλάτους προς μήκος να είναι 1:5, ώστε κάθε δείγμα να προσεγγίζει ημιάπειρο μέσο. Λόγω, όμως, αναμενόμενων ανομοιομορφιών στο ύψος των κομματιών, το βάρος μεταξύ των δειγμάτων ποικίλει σε μικρό βαθμό, γεγονός που επηρεάζει την αρχική περιεχόμενη υγρασία και κατ' επέκταση, το ρυθμό απώλειάς της.

Για την εξομάλυνση αυτής της ποικιλομορφίας, αυξάνεται ο αριθμός των δειγμάτων κέικ που αντιστοιχεί σε κάθε διάλυμα κι έτσι, κάθε διάλυμα, σε θερμοκρασία 60°C, εφαρμόζεται σε 7 κομμάτια κέικ, με πινέλο, σχηματίζοντας λεπτή επικάλυψη και τα δείγματα μένουν σε θερμοκρασία δωματίου, εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα του εργαστηρίου, για επτά (0-6) ημέρες συνολικά.

Ένα τυπικό κέικ, που φυλάσσεται σε θερμοκρασία δωματίου, παραμένει καταναλωτικά αποδεκτό έως και τρεις ημέρες μετά την ημέρα παρασκευής του (Barry, 1979). Διπλασιάζοντας αυτήν την περίοδο από τρεις σε έξι μέρες, μας επιτρέπει να έχουμε πιο ολοκληρωμένη εικόνα των μεταβολών που πραγματοποιούνται στα κέικ κατά την αποθήκευση. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου, πραγματοποιείται καταμέτρηση

βασικών παραγόντων, όπως το βάρος των δειγμάτων, η ενεργότητα νερού και το χρώμα, καθώς και μεταβλητών που σχετίζονται με την υφή, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

Τρία τυχαία δείγματα κέικ, φυλάσσονται για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας μέσω της μέτρησης του βάρους κάθε δείγματος πριν και μετά την εξάτμιση του νερού μέσω θέρμανσης υπό ορισμένες συνθήκες. Η μέτρηση δεν έγινε την ημέρα παρασκευής των κέικ, αλλά την επομένη. Έτσι, την πρώτη μέρα έμειναν ακάλυπτα, σε θερμοκρασία δωματίου, για την εξάτμιση ενός μικρού μέρους της υγρασίας, και ως εκ τούτου, τη διευκόλυνση της διαδικασίας αποξήρανσης, που ακολούθησε.

Την επόμενη μέρα, 5g από κάθε δείγμα θρυμματίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε προζυγισμένο γυάλινο φιαλίδιο, και κατόπιν, σε συμβατικό φούρνο, στους 100°C, για 6h, μέχρι που έμεινε μόνο η στερή μάζα (Guy, 1983). Μετά το τέλος της θέρμανσης, τα φιαλίδια πωματίστηκαν αεροστεγώς, και φυλάχθηκαν σε ξηραντήρα μέχρι την επόμενη μέρα, οπότε και ζυγίστηκαν, για τον προσδιορισμό της απώλειας νερού, με τη βοήθεια της εξίσωσης (4), όπου Y είναι το ποσοστό (%) της περιεχόμενης υγρασίας του δείγματος υπό εξέταση, B_0 είναι το νωπό βάρος του δείγματος, και B_x , το βάρος του δείγματος μετά το πέρας της αποξήρανσης.

$$Y = ((B_0 - B_x) / B_0) \times 100 \quad (4)$$

Όλες οι μετρήσεις που ακολουθούν, έγιναν μία φορά την ημέρα, και κατά προσέγγιση, την ίδια ώρα, για τη μελέτη των μεταβολών που υφίστανται τα δείγματα, με το πέραςμα του χρόνου.

Για τη μέτρηση του βάρους απαιτείται ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας. Για την ενεργότητα νερού χρησιμοποιείται μετρητής ενεργότητας νερού (HygroLab C1, Rotronic AG, Switzerland). Περίπου 5g θρυμματισμένου δείγματος κέικ χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μέτρηση. Τρεις επαναλήψεις πραγματοποιήθηκαν για κάθε δείγμα.

Σύμφωνα με τον Chichester et al. (1963), η ενεργότητα νερού (a_w) ορίζεται ως ο λόγος της μερικής τάσης ατμών του νερού του τροφίμου (P) προς της μερική τάση ατμών του απιονισμένου νερού (P^0), στην ίδια θερμοκρασία, κι αποτελεί μέτρο του μη δεσμευμένου νερού του τροφίμου.

Το σπεκτροφωτόμετρο (NS800 Spectrophotometer, Shenzhen Threenh Technology Co., China) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των τιμών της

χρωματικής κλίμακας Hunter για την φωτεινότητα (L^*) από το μαύρο προς το άσπρο, και οι χρωματικές συνιστώσες a^* από το πράσινο (-) προς το κόκκινο (+), και b^* από το μπλε (-) προς το κίτρινο (+). Η εξισσορόπηση έγινε με το μαύρο υπόβαθρο. Για κάθε ομάδα δειγμάτων, οι μετρήσεις έγιναν εις τριπλούν. Η συνολική διαφορά χρώματος (ΔE) σε κάθε περίπτωση, υπολογίστηκε με τη βοήθεια της εξίσωσης των Rhim, Wu, Weller & Schnepf (1999):

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{0.5} \quad (5)$$

Τέλος, οι μετρήσεις που σχετίζονται με την υφή των κεικ γίνονται με τη χρήση του INSTRON Universal Testing Machine (UTM; Model 1011, Inston Inc., Canton, MA), ακολουθώντας τη μέθοδο των Paraskevoroulou & Kiosseoglou (1997). Τα δείγματα κόπηκαν σε κυλίνδρους (2cm ύψος x 2cm διάμετρος) και συμπίεστηκαν μία φορά (συμπίεση έως το 50% του αρχικού ύψους). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με ταχύτητα εγκάρσιας κεφαλής 100mm/min.

Οι ποσοτικοποιημένες παράμετροι υφής που καταγράφηκαν, είναι η σκληρότητα, δηλαδή το μέγιστο φορτίο (N) που εφαρμόστηκε σε κάθε κύλινδρο μέχρι να σπάσει και η αντίστοιχη ενεργειακή απόδοση (J), καθώς κι η ελαστικότητα ή αλλιώς Young's modulus (Pa), που μετρά την ακαμψία ενός αντικειμένου, δηλαδή μέχρι ποιο βαθμό αντιστέκεται στην παραμόρφωση ως απάντηση στην εφαρμοζόμενη δύναμη. Η τελευταία, αυτή, μηχανική ιδιότητα ορίζει τη σχέση μεταξύ της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας και της ανάλογης παραμόρφωσης ενός υλικού (McGowan, 1999). Για κάθε δείγμα, υπήρχαν τουλάχιστον τρεις επαναλήψεις.

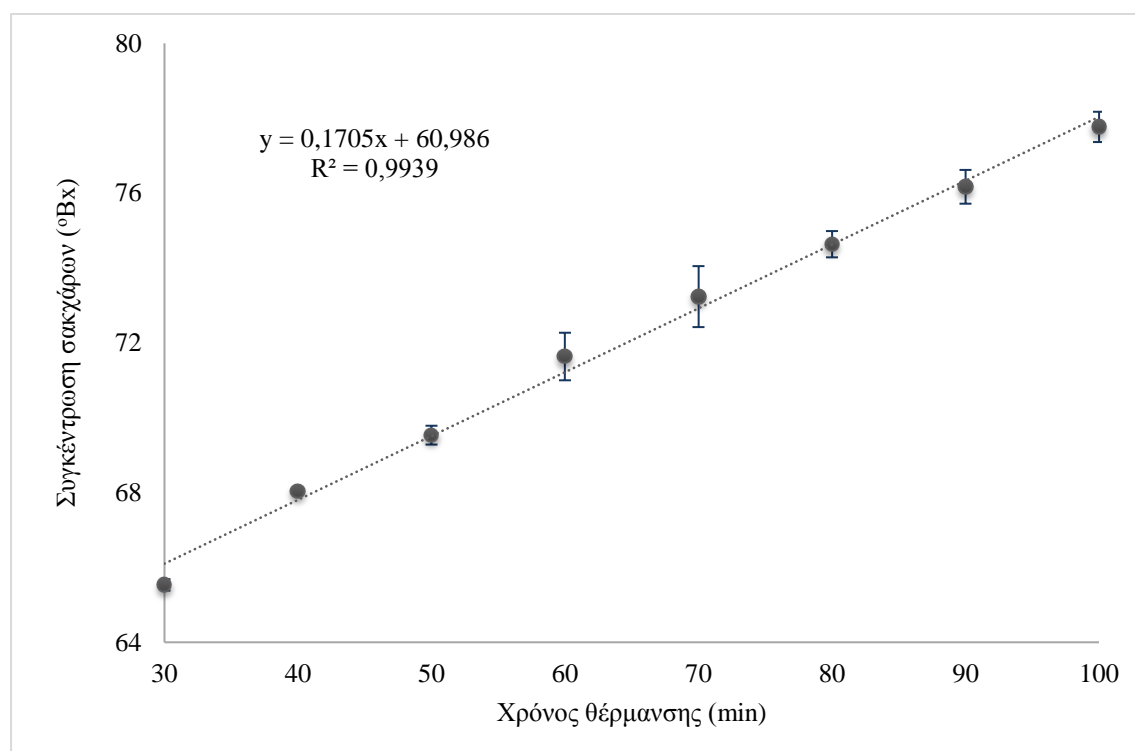
Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ανάλυσης δεδομένων Statgraphics Centurion XV (Statgraphics, Rockville, MD, USA) και εφαρμόστηκαν τεστ ANOVA με σκοπό τη σύγκριση των μέσων τιμών των μεταβλητών, με 95% βαθμό εμπιστοσύνης. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέση τιμή \pm S.D. τουλάχιστον τριών μετρήσεων.

Κεφάλαιο 3

Αποτελέσματα & Συζήτηση

3.1. Πείραμα 1: Παρασκευή διαλύματος απλού σιροπιού

Η συγκέντρωση σακχάρων του σακχαρούχου διαλύματος, εκφρασμένη σε βαθμούς Brix, καταγράφηκε έπειτα από διαφορετικούς χρόνους θέρμανσης και παρουσιάζεται γραφικά στο παρακάτω γράφημα (βλ. Διάγρ. 1). Ο αντίστοιχος Πίνακας με τις μετρήσεις βρίσκεται στο Παράρτημα (βλ. Πίν.4)



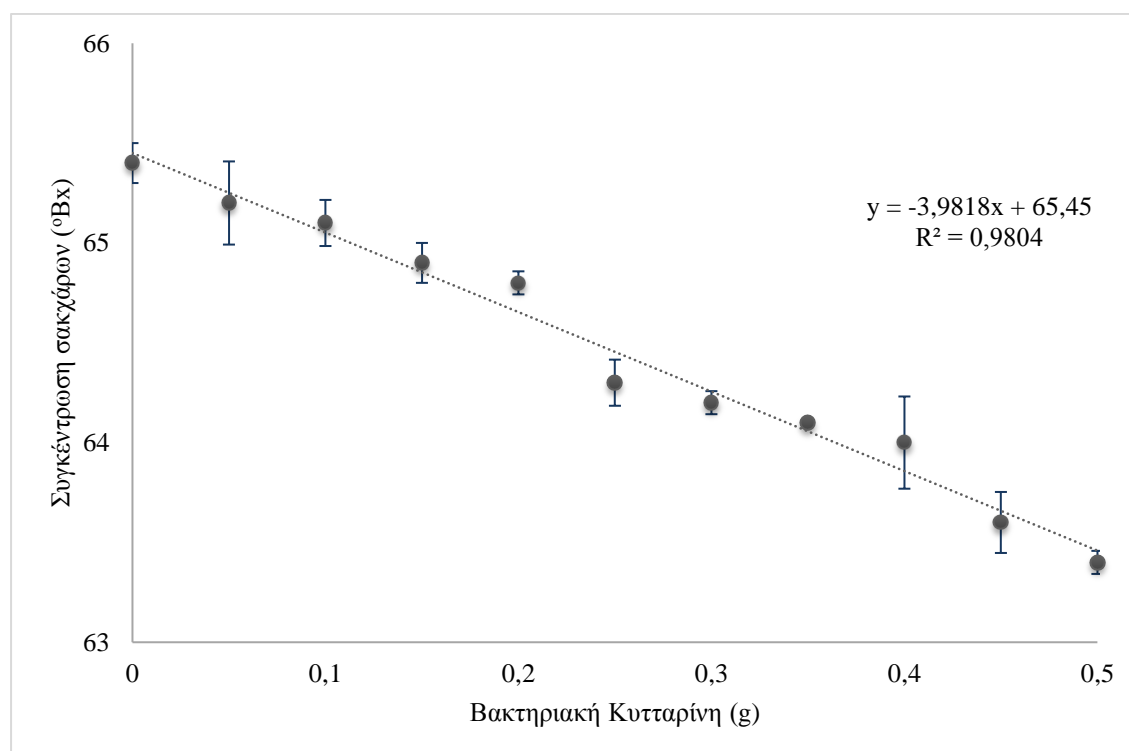
Διάγραμμα 1. Συγκέντρωση σακχάρων (°Bx) του σιροπιού συναρτήσει του χρόνου θέρμανσης (min).

Είναι εμφανές πως με την πάροδο του χρόνου, η απώλεια υδρατμών λόγω θέρμανσης, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των σακχάρων στο διάλυμα, κι ως εκ τούτου, τη γραμμική αύξηση των βαθμών Brix (βλ. Διάγρ. 1). Η κατάλληλη συγκέντρωση σακχάρων για τη συγκεκριμένη περίπτωση, επιτυγχάνεται ύστερα από 30 λεπτά θέρμανσης, κι ο χρόνος αυτός χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις παρασκευές σακχαρούχων διαλυμάτων των ακόλουθων δοκιμών.

3.2. Πείραμα 2: Μελέτη της συμπεριφοράς της ΒΚ

Η ΒΚ, ως νεοεισαχθές υλικό στις βιομηχανίες τροφίμων της Δύσης, είναι μερικώς, ακόμα, προβλέψιμη. Το γεγονός, αυτό, μας ωθεί στην περαιτέρω μελέτη των ιδιοτήτων της και της συμπεριφοράς της σε ορισμένες συνθήκες. Για την παρούσα περίπτωση του προϊόντος επίστρωσης, είναι απαραίτητο να μελετηθούν οι ιδιότητες που επηρεάζουν σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα.

Συνεπώς, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ενός μέρους αυτών, δηλαδή της συγκέντρωσης των σακχάρων, της διαβίβασης του φωτός και του ιξώδους, χρησιμοποιώντας διαφορετικές συγκεντρώσεις ΒΚ. Επιπλέον, στις μετρήσεις αυτές συμμετείχαν και τα αντίστοιχα δείγματα απλού σιροπιού και σιροπιού με ζελατίνη, για να γίνει και η σύγκριση. Τα αποτελέσματα ακολουθούν όπως φαίνεται στον Πίνακα 5 του Παραρτήματος, και στα Διαγράμματα 2 και 3, που ακολουθούν.

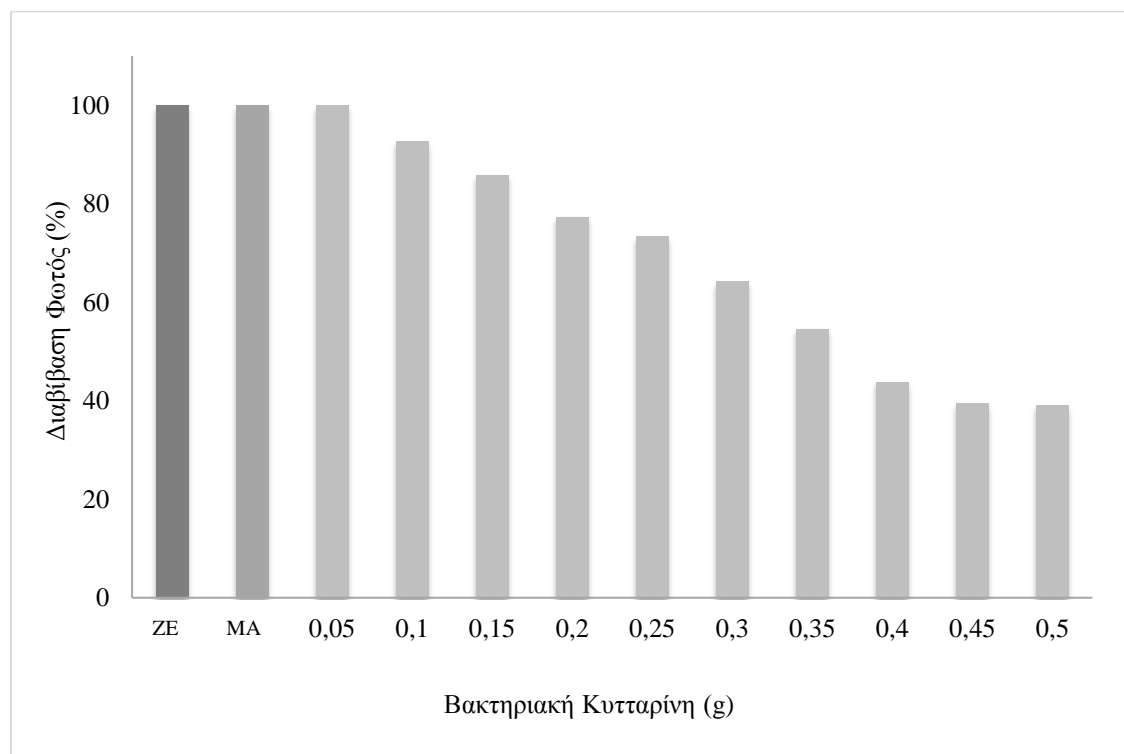


Διάγραμμα 2. Συγκέντρωση σακχάρων (°Bx) του σιροπιού συναρτήσει της περιεχόμενης ποσότητας Βακτηριακής Κυτταρίνης (g).

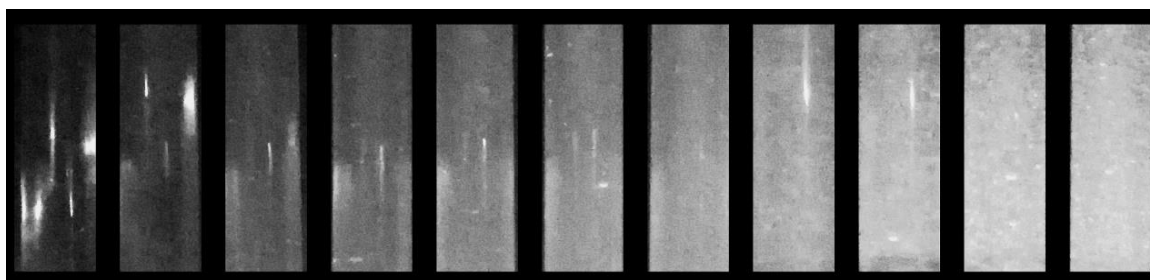
Οι νιφάδες ΒΚ ενυδατώθηκαν πριν την προσθήκη τους στο σιρόπι. Συνεπώς, όσο περισσότερη ΒΚ περιέχει το κάθε δείγμα, τόσο περισσότερο νερό προστέθηκε σε αυτό. Για την ακρίβεια, με δοκιμές που έγιναν στη συνέχεια (βλ. Πίν. 2), βρέθηκε ότι ενδεικτικά 0.1g αποξηραμένης κυτταρίνης έδωσε 0.785g ενυδατωμένης κυτταρίνης, το 98,73% του οποίου ήταν νερό. Έτσι, είναι εύλογο, η αύξηση της ποσότητας της ΒΚ να συνεπάγεται αύξηση του νερού στο σιρόπι, και τελικά μείωση της συγκέντρωσης σακχάρων σε αυτό.

Πίνακας 2. Ενυδάτωση της λυοφιλωμένης βακτηριακής κυτταρίνης (ΒΚ)

Λυοφιλωμένη ΒΚ , πριν την ενυδάτωση (g)	0,01	0,03	0,05
Λυοφιλωμένη ΒΚ , μετά την ενυδάτωση (g)	0,785	2,347	3,931
Ποσότητα νερού που απορροφήθηκε (g)	0,775	2,317	3,881
Ποσοστό νερού στην ενυδατωμένη ΒΚ (%)	98,73	98,72	98,73
Συγκέντρωση της ΒΚ στο τελικό διάλυμα (%)	0,06	0,17	0,28



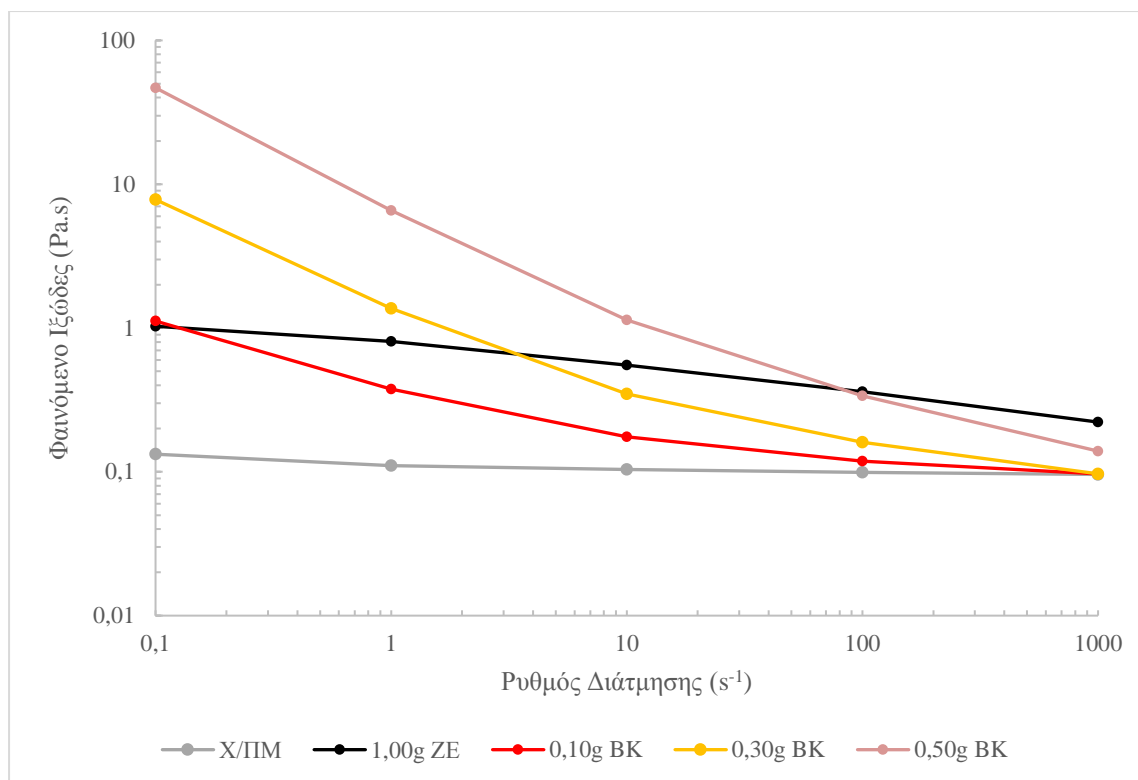
Διάγραμμα 3. Ποσοστό (%) διαβίβασης του φωτός μέσα από δείγματα σιροπιού με βακτηριακή κυτταρίνη ή με ζελατίνη (ZE) ή χωρίς πηκτικό μέσο, δηλαδή δείγμα μάρτυρας (MA), συναρτήσει της περιεχόμενης ποσότητας βακτηριακής κυτταρίνης (g).



Εικόνα 7. Φωτογραφική απεικόνιση της διαύγειας των δειγμάτων, από το περισσότερο διαυγές (αριστερά) έως το λιγότερο (δεξιά)

Όπως ήταν αναμενόμενο, κι επιβεβαιώνεται κι από το Διάγραμμα 3, το δείγμα μάρτυρας, που στην ουσία είναι απλό σακχαρούχο διάλυμα χωρίς κανένα πηκτικό μέσο, είναι απόλυτα διαυγές, με το ποσοστό διαβίβασης του φωτός να φτάνει το 100%. Παρομοίως, και το δείγμα που περιέχει ζελατίνη, είναι εξίσου διαυγές, αλλά και το δείγμα με τη μικρότερη ποσότητα κυτταρίνης. Όμως, με μικρή, μόνο, αύξηση της προστιθέμενης κυτταρίνης, από 0.05g σε 0.1g, το ποσοστό διαβίβασης του φωτός ελαττώνεται, και η πτωτική αυτή τάση παρατηρείται κάθε φορά που αυξάνεται η περιεχόμενη βακτηριακή κυτταρίνη. Τα δύο τελευταία δείγματα είναι ξεκάθαρα μη διαυγή πλέον (βλ. Εικ.7). Συνεπώς, δεν υπήρχε λόγος περαιτέρω αύξησης της ποσότητας της κυτταρίνης.

Στη συνέχεια, ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέτρηση του ιξώδους κάποιων βασικών δειγμάτων. Πρέπει να σημειωθεί πως μετρήθηκε το δυναμικό ή φαινόμενο ιξώδες, δηλαδή η αντίσταση του ρευστού στην παραμόρφωση, για όλα τα δείγματα που προαναφέρθηκαν και ο συγκεντρωτικός πίνακας μαζί με το αντίστοιχο γράφημα, παρουσιάζονται στο Παράρτημα (βλ. Πίν. 7, Διάγρ. 12). Το Διάγραμμα 4, όμως, περιλαμβάνει τα ιξώδη του μάρτυρα (απλό σιρόπι), του δείγματος αναφοράς (ζελατίνη), του δείγματος κυτταρίνης που πλησιάζει περισσότερο, κι άρα, μπορεί να συγκριθεί με το δείγμα ζελατίνης (0.1g BK) καθώς και δύο επιπλέον δείγματα κυτταρίνης, με υψηλότερη περιεχόμενη ποσότητα κυτταρίνης (0.3g και 0.5g BK).



Διάγραμμα 4. Το φαινόμενο ιξώδες (Pa.s) παρασκευασμάτων χωρίς πηκτικό μέσο (X/PIM), με ζελατίνη (ZE) ή βακτηριακή κυτταρίνη (BK) ως συνάρτηση του ρυθμού διάτμησης (s⁻¹)

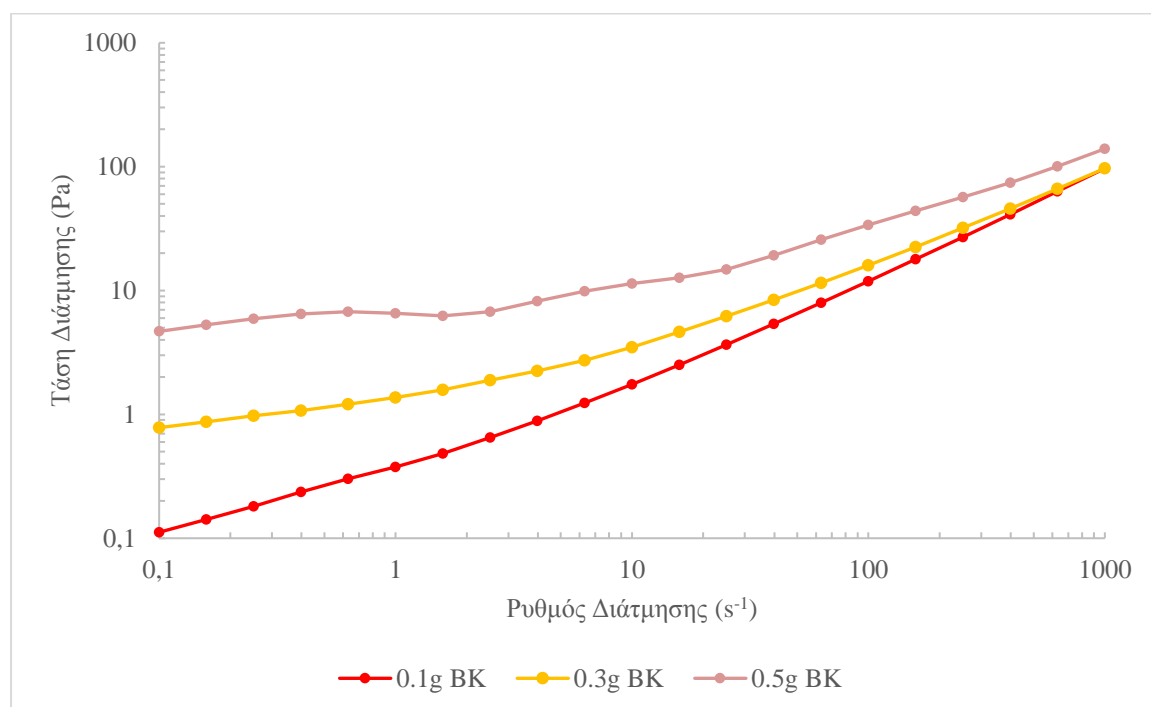
Στα Νευτώνια ρευστά, το φαινόμενο ιξώδες διατηρεί μία σταθερή τιμή, όπως φαίνεται για παράδειγμα, στο απλό σιρόπι (βλ. Διάγρ. 4) το οποίο λόγω σύνθεσης, δεν επηρεάζεται από την αύξηση του ρυθμού διάτμησης.

Παρομοίως, και το διάλυμα ζελατίνης μπορεί να θεωρηθεί Νευτώνιο, το ιξώδες του οποίου μπορεί να μην παραμένει ακριβώς στην ίδια τιμή (βλ. Διάγρ. 4), αλλά παρουσιάζει εξαιρετική αντίσταση όσο ο ρυθμός διάτμησης αυξάνεται. Οι Wulansari, Mitchell, Blanshard & Paterson (1998) προτείνουν ως εφικτή τη γενίκευση του χαρακτηρισμού των διαλυμάτων ζελατίνης ως Νευτώνια, κάτι που υιοθετείται κι εδώ. Επιπλέον, υποστηρίζουν ότι αυτό παρατηρείται, πιθανώς λόγω της μικρότερης τριβής μεταξύ των πολυμερών της πρωτεΐνης, σε αντίθεση με τα περισσότερα συστήματα πολυσακχαριτών.

Αντίθετα, για τα διαλύματα με βακτηριακή κυτταρίνη, το δίκτυο αλυσίδων κυτταρίνης σπάει λόγω πίεσης, και τότε, τα πολυμερή ξετυλίγονται και προσανατολίζονται προς την κατεύθυνση της διάτμησης (Hasan, Biak & Kamarudin, 2012). Συνεπώς, η αντίστασή τους στη ροή κι άρα, το φαινόμενο ιξώδες, μειώνεται ως συνάρτηση της μεταβολής του ρυθμού διάτμησης (βλ. Διάγρ. 4). Γι' αυτό και τα διαλύματα με βακτηριακή κυτταρίνη έχουν χαρακτηριστεί ως μη Νευτώνια ρευστά (Kouda, Yano, Yoshinaga,

Kaminoyama & Kamiwano, 1996) και πιο συγκεκριμένα, ως πλαστικά Bingham (Rui κ.ά., 2014).

Τα μη Νευτώνια ρευστά δεν ακολουθούν τον σχετικό νόμο του Νεύτωνα, κι έτσι, το φαινόμενο ιξώδες τους εξαρτάται και μεταβάλλεται από τον ρυθμό διάτμησης (shear rate). Τα πλαστικά Bingham, ένα είδος μη Νευτώνιου ρευστού, ρέουν γραμμικά μόνο όταν η τάση διάτμησης (shear stress) που ασκούνται σε αυτά, ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή, την τάση υποχώρησης (yield stress) (Batchelor, 1967). Η σχέση μεταξύ της τάσης και του ρυθμού διάτμησης, καθώς και οι τιμές των παραμέτρων των μαθηματικών μοντέλων που εφαρμόστηκαν για την περιγραφή της σχέσης αυτής σε κάθε περίπτωση, ακολουθούν στη συνέχεια, στο Διάγραμμα 5 και τον Πίνακα 3, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5. Η τάση διάτμησης (Pa) παρασκευασμάτων με διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK) ως συνάρτηση του ρυθμού διάτμησης (s^{-1})

Πίνακας 3. Οι μεταβλητές των μοντέλων Herschel-Bulkley, Ostwald και Bingham, όπου τ_0 : τάση υποχώρησης, n : δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, η : ιξώδες, και R^2 : συντελεστής παλινδρόμησης, τα οποία εφαρμόστηκαν σε παρασκευάσματα επίστρωσης με βακτηριακή κυτταρίνη (BK) διαφορετικών συγκεντρώσεων

Ποσότητα BK (g)	Συγκέντρωση BK (%)	Herschel-Bulkley				Ostwald			Bingham	
		τ_0	n	η	R^2	n	η	R^2	τ_0	R^2
0,1	0,06	0,201	0,921	0,166	0,999	0,915	0,174	0,999	0,713	0,999
0,3	0,17	0,872	0,805	0,368	0,999	0,779	0,441	0,999	2,372	0,990
0,5	0,28	4,467	0,675	1,263	0,999	0,594	2,228	0,991	8,843	0,966

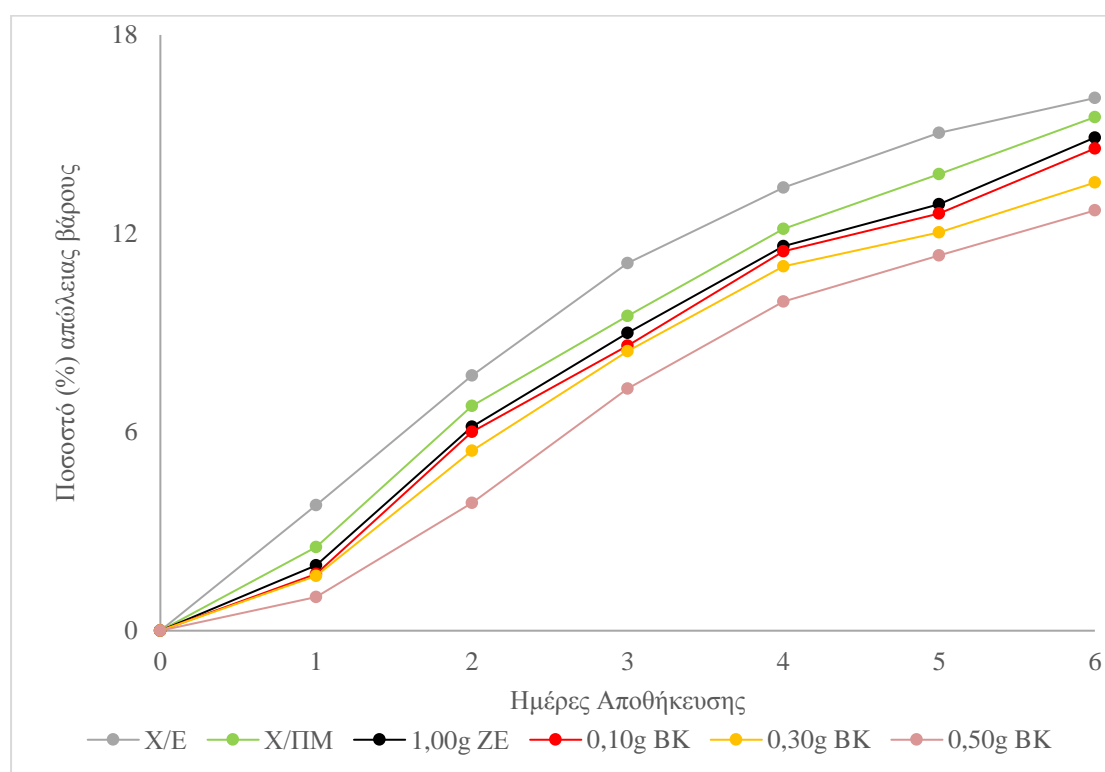
Και τα τρία μοντέλα, φαίνεται να εφαρμόζουν πολύ καλά σε κάθε περίπτωση, αφού ο συντελεστής παλινδρόμησης (R^2) είναι πολύ υψηλός, με το μοντέλο Herschel – Bulkley, να παρουσιάζει το μέγιστο συντελεστή κι άρα, τη βέλτιστη εφαρμογή. Βάσει, λοιπόν, του μοντέλου αυτού, ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n) μειώνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της κυτταρίνης στο διάλυμα. Έτσι, το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση κυτταρίνης (0.06%), πλησιάζει στη συμπεριφορά Νευτώνιου ρευστού, με δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς πολύ κοντά στη μονάδα. Από την άλλη, τα διαλύματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε κυτταρίνη (0.17% και 0.28%), δείχνουν πιο σαφή συμπεριφορά ψευδοπλαστικού ρευστού ($n < 1$). Παρόμοια αποτελέσματα ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς δίνει και το μοντέλο Ostwald ($n < 1$). Τέλος, και το μοντέλο Bingham επιβεβαιώνει το γεγονός ότι σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις η κυτταρίνη τείνει να φέρεται σαν νευτώνιο ($\tau_0 < 1$), ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, ως πλαστικό Bingham ($\tau_0 > 1$).

Ανακεφαλαιωτικά, η σύγκριση της κυτταρίνης με τη ζελατίνη, ως προς την αποτελεσματικότητά της στο ρόλο του πηκτικού παράγοντα στο παρασκεύασμα επίστρωσης υπό εξέταση είναι δυνατή, και προσδιορίστηκε η ποσότητα του 0.1g κυτταρίνης ως ανάλογη του 1g ζελατίνης (αναλογία 1:10), καθώς τα βασικά χαρακτηριστικά των διαλυμάτων που προκύπτουν από τις προαναφερθείσες ποσότητες των πηκτικών παραγόντων, είναι παρόμοια, π.χ. ιξώδες σε ρυθμό διάτμησης $0.1s^{-1}$ (βλ. Διάγρ. 4), διαύγεια διαλύματος, και συγκέντρωση σακχάρων (βλ. Πίν. 5, Πίν. 6 του Παραρτήματος).

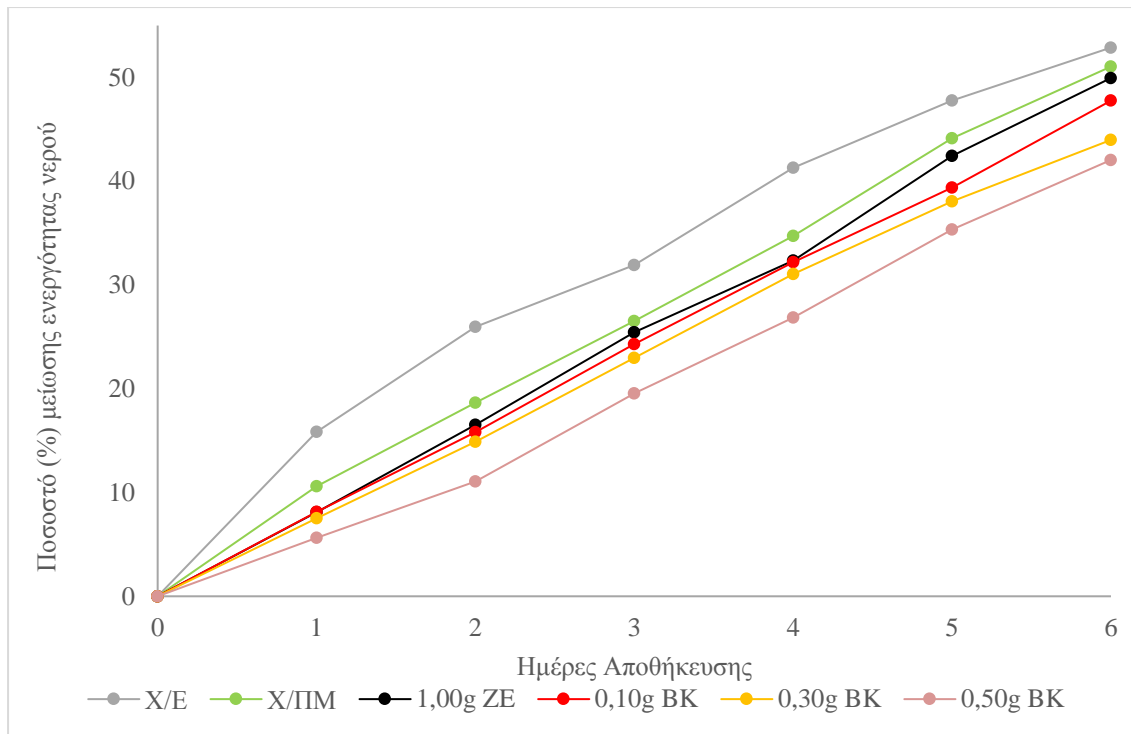
3.3. Πείραμα 3: Εφαρμογή της επίστρωσης του σακχαρούχου διαλύματος βακτηριακής κυτταρίνης σε κέικ

Ξεκινώντας, είναι σημαντικό να αναφέρουμε τη μέτρηση της αρχικής υγρασίας των δειγμάτων κέικ, η οποία βρέθηκε να είναι 27% σε υγρή βάση.

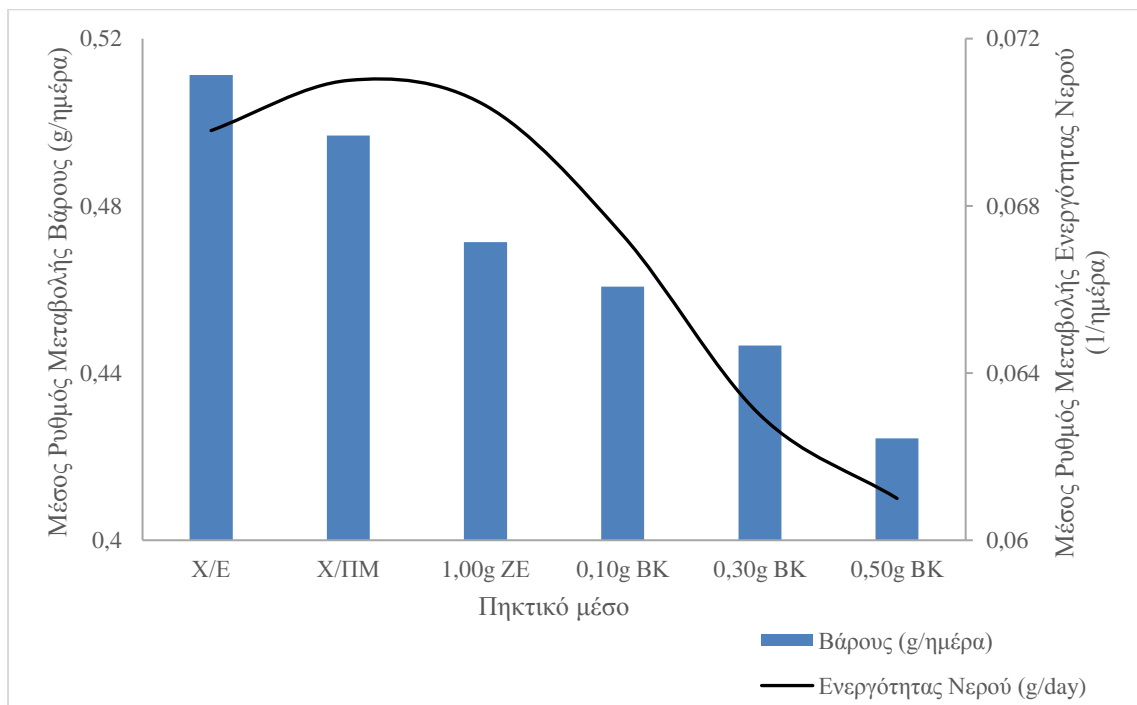
Η μελέτη των μεταβολών των δειγμάτων κέικ κατά τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης, οδήγησε στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια στα Διαγράμματα 6-11, ενώ οι αντίστοιχοί Πίνακες 8-14, βρίσκονται στο Παράρτημα.



Διάγραμμα 6. Το ποσοστό απώλειας του βάρους, σε σχέση με το αρχικό, των δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με απλό σιρόπι χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK) ως συνάρτηση του χρόνου αποθήκευσης



Διάγραμμα 7. Το ποσοστό της μείωσης της ενεργότητας νερού, σε σχέση με την αρχική, των δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με απλό σιρόπι χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK) ως συνάρτηση του χρόνου αποθήκευσης



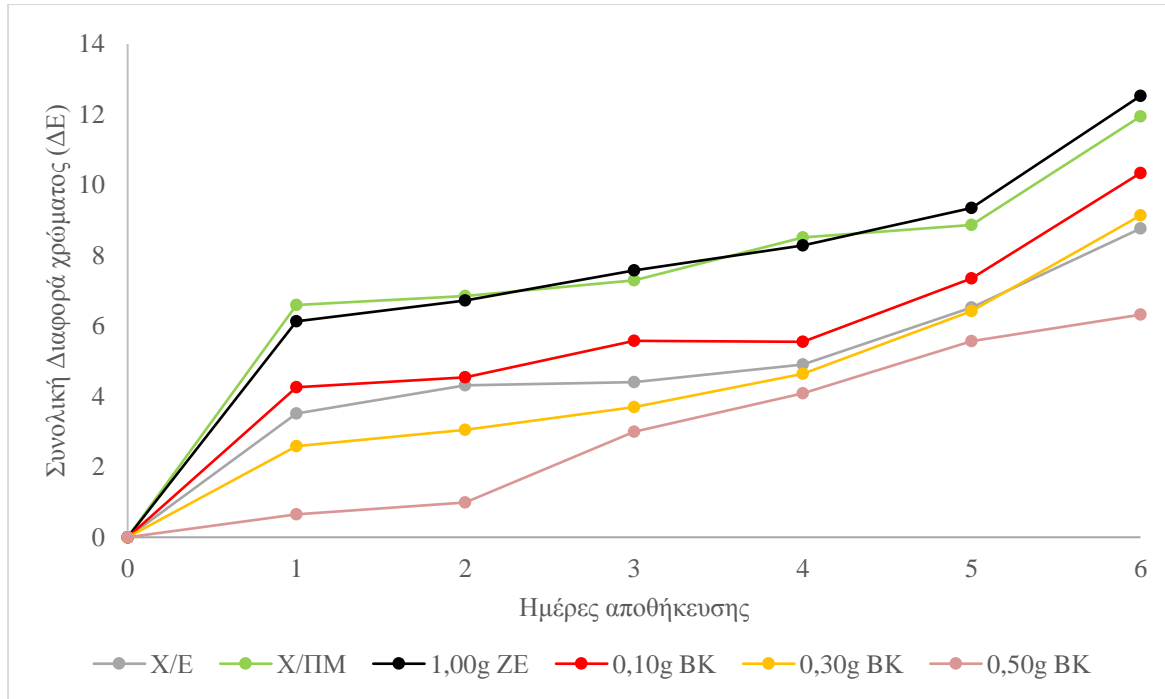
Διάγραμμα 8. Μέσος ρυθμός μεταβολής βάρους δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με απλό σιρόπι χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές συγκεντρώσεις βακτηριακής κυτταρίνης (BK) σε συνδυασμό με το μέσο ρυθμό μεταβολής της ενεργότητας νερού των ίδιων δειγμάτων

Τα κομμάτια κέικ χωρίς καμία επίστρωση (X/E), λόγω χαμηλότερης αρχικής περιεχόμενης υγρασίας αλλά και λόγω απουσίας προστατευτικής επίστρωσης, παρουσίασαν τις πιο απότομες μεταβολές όσον αφορά στην απώλεια βάρους λόγω εξάτμισης του νερού, και κατ' επέκταση στη μείωση της ενεργότητας νερού, όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 6 και 7. Αντίθετα, τα κέικ με την πυκνότερη επίστρωση (0,5g BK) έφεραν τη μεγαλύτερη αντίσταση στην εξάτμιση, κι όλα τα υπόλοιπα βρέθηκαν σε μία ενδιάμεση κατάσταση.

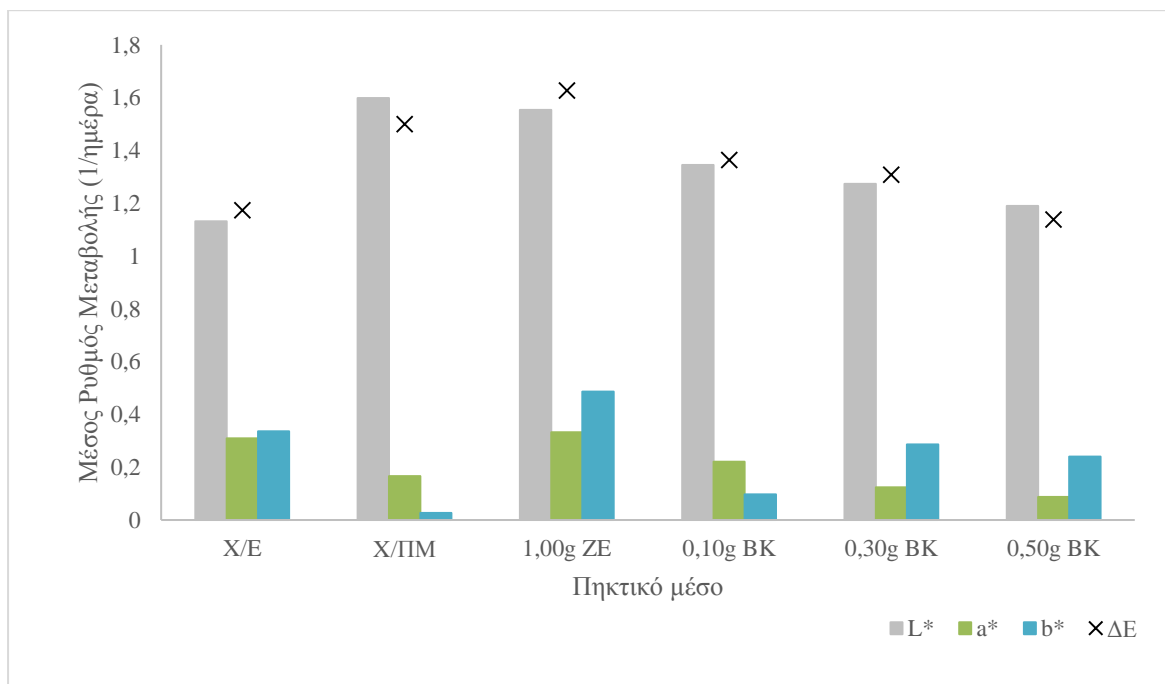
Κι ενώ, η σύγκριση των πειραματικών δεδομένων του συνόλου των δειγμάτων οδηγούν σε στατιστικά σημαντικές αποδείξεις ότι το μέσο βάρος των δειγμάτων κέικ επηρεάζεται από το είδος παρασκευάσματος και από τον χρόνο αποθήκευσης, η σύγκριση μόνο των δειγμάτων με ζελατίνη ή βακτηριακή κυτταρίνη δε επιβεβαιώνει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τελευταίων, όσον αφορά στην απώλεια βάρους (βλ. σελ. 60-61). Το γεγονός αυτό δεν μπορεί να επιβεβαιώσει την υπόθεση πως οι διαφορετικές ποσότητες προστιθέμενης βακτηριακής κυτταρίνης στο παρασκεύασμα επίστρωσης επηρεάζουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό το βάρος των δειγμάτων κέικ.

Αντιθέτα, η ανάλυση δεδομένων της ενεργότητας νερού, επιβεβαίωσε αρχικά πως και οι δύο παράγοντες, είδος παρασκευάσματος και χρόνος αποθήκευσης, συμβάλλουν στη μείωση της ενεργότητας νερού, αλλά και πως τα τρία δείγματα με βακτηριακή κυτταρίνη διαφέρουν μεταξύ τους σε βαθμό σημαντικότητας 0.05 (βλ. σελ.62-63).

Ακόμη μία μεταβλητή που μελετήθηκε ήταν το χρώμα των κέικ. Σύμφωνα με το Διάγραμμα 10, η φωτεινότητα (L^*) φαίνεται να σημειώσει πιο έντονες μεταβολές σε σχέση με τις χρωματικές συνιστώσες a^* και b^* , αυξάνοντας, έτσι, το βαθμό συμβολής της στη συνολική διαφορά χρώματος (ΔE), η οποία απεικονίζεται στο Διάγραμμα 9, συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως και οι δύο παράγοντες, είδος παρασκευάσματος και χρόνος αποθήκευσης, επηρεάζουν σημαντικά τη μεταβολή του χρώματος των κέικ, καθώς κι ότι τα δείγματα με βακτηριακή κυτταρίνη διαφέρουν μεταξύ τους.



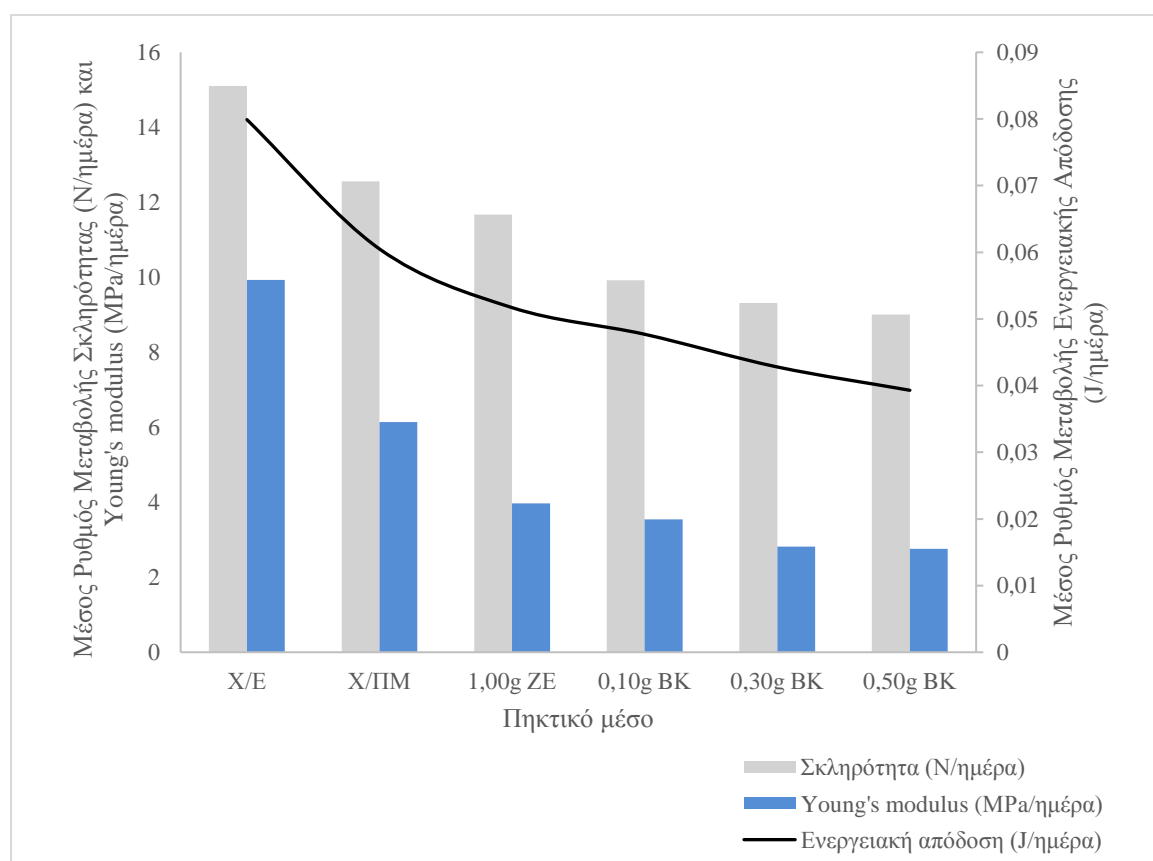
Διάγραμμα 9. Η συνολική διαφορά χρώματος (ΔΕ) των δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με απλό σιρόπι χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK) ως συνάρτηση του χρόνου αποθήκευσης



Διάγραμμα 10. Ο μέσος ρυθμός μεταβολής (1/ημέρα) της φωτεινότητας (L*) και των χρωματικών συνιστώσεων a* (πράσινο-κόκκινο) και b* (μπλε-κίτρινο), καθώς και της συνολικής διαφοράς χρώματος (ΔΕ) των δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με απλό σιρόπι χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK)

Στη συνέχεια, η μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των δειγμάτων κέικ, σκληρότητα και ελαστικότητα, οδηγεί στη διάκριση των δειγμάτων χωρίς επίστρωση από όλα τα υπόλοιπα δείγματα, καθώς στη δικιά τους περίπτωση, η ελαστικότητα χάνεται πολύ γρήγορα, και σε μεγάλο βαθμό, γίνονται πολύ σκληρά και κατ'επέκταση, απαιτείται πολλή περισσότερη ενέργεια για να σπάσουν. Συνεπώς, η επίστρωση, ανεξάρτητα από την παρουσία ή μη, πηκτικού μέσου, μπορεί να συμβάλλει στη διατήρηση της αντιληπτής φρεσκάδας, για περισσότερο χρόνο.

Η προσθήκη βακτηριακής κυτταρίνης στο παρασκεύασμα επίστρωσης κατέληξε σε καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με το απλό σιρόπι ή το παρασκεύασμα ζελατίνης, καθώς τα τρία δείγματα με κυτταρίνη σημείωσαν τους χαμηλότερους μέσους ρυθμούς μεταβολής της σκληρότητας (N/ημέρα), του Young's modulus (MPa/ημέρα) και της ενεργειακής απόδοσης (J/ημέρα), όπως παρουσιάζει το Διάγραμμα 11.



Διάγραμμα 11. Ο μέσος ρυθμός μεταβολής της σκληρότητας (N/ημέρα) και του Young's modulus (MPa/ημέρα) σε συνδυασμό με το μέσο ρυθμό μεταβολής της ενεργειακής απόδοσης (J/ημέρα) των δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με απλό σιρόπι χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΙΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK)

Κάθε δείγμα είναι διακριτό από τα άλλα, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, βάσει της πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης. Επιπροσθέτως, εστιασμένες αναλύσεις έδειξαν πως οι διαφορετικές ποσότητες προστιθέμενης βακτηριακής κυτταρίνης στο παρασκεύασμα επίστρωσης ασκούν επιρροή σε στατιστικά σημαντικό βαθμό στη σκληρότητα, την αντίστοιχη απόδοση ενέργειας, αλλά και στην ελαστικότητα, δηλαδή πως οι αντίστοιχες καμπύλες τους διαφέρουν (βλ. σελ. 65-68).

Καλύτερη μεν, παρόμοια δε, επίδοση φαίνεται πως είχαν τα δείγματα με επίστρωση που περιείχε 0.3g ή 0.5g βακτηριακής κυτταρίνης. Αυτό πιθανώς, οφείλεται στο μεγαλύτερο ιξώδες των διαλυμάτων επίστρωσης, κι έτσι, στη ισχυρότερη αντίσταση στην απώλεια νερού μέσω εξάτμισης.

Κεφάλαιο 4

Συμπεράσματα

Το διάλυμα με 0.1g βρέθηκε να έχει παρόμοιο ιξώδες, σε ρυθμό διάτμησης 0.1 s^{-1} , χρώμα αλλά και συγκέντρωση σακχάρων, με το διάλυμα με 1g ζελατίνης, το οποίο χρησιμοποιείται ως αναφορά. Γι' αυτό και εξετάσθηκε το ενδεχόμενο δυνατότητας αντικατάστασης του πρώτου από το δεύτερο. Αυτό έγινε με την εφαρμογή των διαλυμάτων αυτών με πινέλο, σε ισάριθμα δείγματα κέικ και κατόπιν, την αποθήκευση για επτά μέρες και την τακτική ημερήσια καταγραφή παραμέτρων βασικών για την εκτίμηση της ποιότητας του κέικ, όπως το βάρος, η μεταβολή του οποίου είναι απόρροια της απώλειας νερού λόγω εξάτμισης, το χρώμα, η ενεργότητα νερού, η ελαστικότητα, η σκληρότητα και η αντίστοιχη απόδοση ενέργειας. Επιπλέον, δοκιμάστηκαν παρομοίως, και διαλύματα με αυξημένη ποσότητα κυτταρίνης (0.3g και 0.5g), αν και τα ιξώδη τους ήταν διακριτά υψηλότερα από τα δύο πρώτα διαλύματα. Και τέλος, υπήρχαν και δείγματα στα οποία δεν εφαρμόστηκε κανένα διάλυμα, τα οποία αποτέλεσαν και τον μάρτυρα ελέγχου.

Οι παράγοντες που τέθηκαν υπό εξέταση ήταν ο διαφορετικός τύπος διαλύματος επίστρωσης και ο χρόνος αποθήκευσης. Μετά από πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης, βρέθηκε πως και οι δύο αυτοί παράγοντες έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή σε όλες τις μεταβλητές που μελετήθηκαν.

Κατόπιν, όπως ήταν αναμενόμενο, οι μάρτυρες ελέγχου παρουσίασαν τη μικρότερη αντίσταση στην απώλεια νερού λόγω εξάτμισης, κι έτσι, τις πιο απότομες μεταβολές στις τιμές κάθε παραμέτρου. Συνεπώς, διακρίθηκαν από τις υπόλοιπες ομάδες δειγμάτων με στατιστικά σημαντικά διαφορές, και στη συνέχεια, αγνοήθηκαν, ώστε να γίνει σύγκριση των υπόλοιπων ομάδων μεταξύ τους.

Έτσι, η δεύτερη σύγκριση, μόνο των δειγμάτων με επίστρωση (ζελατίνης ή κυτταρίνης), φανέρωσε διαφορές μεταξύ αυτών. Επιπλέον, η σύγκριση μόνο των δειγμάτων με επίστρωση βακτηριακής κυτταρίνης ανέδειξε τις τιμές των τριών δειγμάτων, ως διαφορετικές σε στατιστικά σημαντικό βαθμό, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, σε όλες τις περιπτώσεις εκτός από τη σύγκριση των μετρήσεων βάρους. Παρόλ' αυτά, διακρίνουμε μία τάση αυξανόμενης ανθεκτικότητας των δειγμάτων στο πέρασμα του χρόνου, όσο αυξάνεται το ιξώδες και η ποσότητα πηκτικού μέσου (0.1g, 0.3g και 0.5g βακτηριακής

κυτταρίνης και 1g ζελατίνης), αλλά αυτή δε φαίνεται να επιβεβαιώνεται σε κάθε μεταβλητή που μελετάται.

Το γεγονός αυτό είναι πιθανό να οφείλεται σε πειραματικά σφάλματα κατά τη διάρκεια των δοκιμών και στο μικρό αριθμό δειγμάτων, αλλά η μεγαλύτερη ευθύνη ίσως πέφτει στη συγκεκριμένη σύσταση αλλά και εφαρμογή του σακχαρούχου διαλύματος, καθώς δε βοήθησε στο σχηματισμό διακριτής επίστρωσης επάνω στην επιφάνεια των δειγμάτων. Οπότε, ο ρόλος της κυτταρίνης που προστέθηκε περιορίστηκε στην αύξηση του ιξώδους του διαλύματος και με αυτόν τον τρόπο στην αύξηση της αντίστασης στην απώλεια του νερού.

Τελικά, η μελέτη της συμπεριφοράς της κυτταρίνης προσέφερε ενθαρρυντικά αποτελέσματα για τις ικανότητές της ως πιθανή εδώδιμη επικάλυψη, δίνοντας ώθηση σε επόμενες, πιο λεπτομερείς σχετικές μελέτες. Θα μπορούσε, για παράδειγμα, να μελετηθεί η ενσωμάτωση της βακτηριακής κυτταρίνης σε διάλυμα διαφορετικής σύστασης και η εφαρμογή αυτού, με περισσότερους τρόπους, περιλαμβάνοντας και την εφαρμογή με πινελό λόγω ευρείας χρήσης στη βιομηχανία.

Επιπλέον, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι δυνατό να αυξηθεί με την χρησιμοποίηση περισσότερων δειγμάτων ανά ομάδα διαλύματος δοκιμής. Επιπρόσθετα, θα ήταν χρήσιμο να προστεθούν κι άλλα προϊόντα αρτοποιίας ως βάσεις εφαρμογής των δειγμάτων, διότι η μεγάλη ποικιλομορφία των προϊόντων αυτών συνεπάγεται διαφορετικά χαρακτηριστικά και κατ' επέκταση, διαφορετική απόκριση και αποτελεσματικότητα του ίδιου διαλύματος επικάλυψης.

Κλείνοντας, στην παρούσα εργασία, λήφθηκαν υπ' όψη μερικές μόνο μεταβλητές που περιγράφουν την ποιότητα ενός τροφίμου. Συστήνεται η μελέτη περισσότερων μεταβλητών για μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα, στην οποία μπορεί να συμμετέχει και πάνελ δοκιμαστών, καθώς έχουν τη δυνατότητα διάκρισης και περιγραφής οπτικών (σχήμα, χρώμα, εμφάνιση), οσμητικών, γευστικών και ακουστικών (π.χ. τραγανό) χαρακτηριστικών, αλλά και παροχής πληροφοριών σχετικά με την υφή (π.χ. συνοχή, ευκολία μάσησης), την υγρασία, την αντιληπτή αίσθηση φρεσκάδας, κτλ. Η συμβολή ενός πάνελ, βέβαια, είναι θεμιτό να έρθει μόνο μετά την κατάληξη σε ικανοποιητικά προϊόντα, ο δρόμος για τα οποία, είναι ακόμα μακρύς.

Κεφάλαιο 5
Βιβλιογραφία

- Barry, L. (1979). Chapter 5. Establishing open dates. In *Open shelf-life dating of food*. Diane Publishing Co.
- Batchelor, G. K. (1967). An Introduction to Fluid Dynamics. In *Cambridge Mathematical Library* series, Cambridge University Press
- Bingham, E.C., (1922). Fluidity and Plasticity. New York, McGraw-Hill.
- Brown, A.J. (1886). XLIII. - On an acetic ferment which forms cellulose. In *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 49, 432–439.
- Castro, C., Zuluaga, R., Putaux, J. L., Caro, G., Mondragon, I., & Gañán, P. (2011). Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter swingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.10.072>
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2009). *More Baking Problems Solved*. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2010). 13 - Chemical and physical deterioration of bakery products. In *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages* (pp. 381–412). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1533/9781845699260.3.381>
- Chawla, P. R., Bajaj, I. B., Survase, S. A., & Singhal, R. S. (2009). Microbial cellulose: Fermentative production and applications. *Food Technology and Biotechnology*.
- Coles, R., & Kirwan, M. (2011). Food and Beverage Packaging Technology, Second Edition, pp. 137–156. Ανακτήθηκε από <https://leseprobe.buch.de/images-adb/45/82/4582a88d-dc39-4bfb-93ea-07eac1ea0724.pdf>
- Dahman, Y., Jayasuriya, K. E., & Kalis, M. (2010). Potential of biocellulose nanofibers production from agricultural renewable resources: Preliminary study. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 162(6), 1647–1659. <https://doi.org/10.1007/s12010-010-8946-8>
- Esa, F., Tasirin, S. M., & Rahman, N. A. (2014). Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Italian Oral Surgery*, 2, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.017>

- Farahnaki, A., Ansari, S. & Majzobi, M. (2009). Effect of Glycerol and Glucose Syrup on Sugar Crystallization in Figs. *Journal of Water and Soil Science*, 13(48), 263-271. Διαθέσιμο στο <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1005-en.html>
- Garakani, A. H. K., Mostoufi, N., Sadeghi, F., Hosseinzadeh, M., Fatourehchi, H., Sarrafzadeh, M. H. and Mehrnia, M. R. (2011). Comparison between different models for rheological characterization of activated sludge. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 8(3), 255-264.
- Guy, C. E., R. (1983). Factors affecting the staling of Madeira slab cake. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 477-491.
- Han, J. H. (2014). Edible Films and Coatings. In *Innovations in Food Packaging*, 213–255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00009-6>
- Hasa, N., Biak, D. R. A. & Kamarudin, S. (2012). Application of Bacterial Cellulose (BC) in Natural Facial Scrub. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 2(4). <https://doi.org/10.18517/ijaseit.2.4.201>
- Herschel, W.H. & Bulkley, R., (1926). Konsistenzmessungen von Gummi-Benzollösungen. *Kolloid Zeitschrift*, **39**: 291-300.
- Iguchi, M., Yamanaka, S., & Budhiono, A. (2000). Bacterial cellulose - a masterpiece of nature's arts. *Journal of Materials Science*, 35(2), 261–270. <https://doi.org/10.1023/A:1004775229149>
- Jang, W. D., Hwang, J. H., Kim, H. U., Ryu, J. Y., & Lee, S. Y. (2017). Bacterial cellulose as an example product for sustainable production and consumption. *Microbial Biotechnology*. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12744>
- Jarray, A., Gerbaud, V. and Hemati, M. (2016). Polymer-plasticizer compatibility during coating formulation: A multi-scale investigation. *Progress in Organic Coatings*, 101, 195-206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.08.008>
- Joly-Duhamel, C., Hellio, D., & Djabourov, M. (2002). All gelatin networks: 1. Biodiversity and physical chemistry. *Langmuir*, 18(19), 7208–7217. <https://doi.org/10.1021/la020189n>
- Keshk, S., & Sameshima, K. (2006). Influence of lignosulfonate on crystal structure and productivity of bacterial cellulose in a static culture. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(1), 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.07.037>
- Kouda, T., Yano, H., Yoshinaga, F., Kaminoyama, M. & Kamiwano, M. (1996). Characterization of Non-Newtonian Behavior during Mixing of Bacterial Cellulose in a Bioreactor. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 82(4), 382-386,

[https://doi.org/10.1016/0922-338X\(96\)89155-0](https://doi.org/10.1016/0922-338X(96)89155-0)

- Krochta, J. (2002). Proteins as Raw Materials for Films and Coatings: Definitions, Current Status, and Opportunities. In *Protein-Based Films and Coatings* (pp. 1–41). <https://doi.org/10.1201/9781420031980.ch1>
- Lam, P.-L., Lee, K. K.-H., Kok, S. H.-L., Cheng, G. Y.-M., Tao, X.-M., Hau, D. K.-P., ... Wong, R. S.-M. (2012). Development of formaldehyde-free agar/gelatin microcapsules containing berberine HCl and gallic acid and their topical and oral applications. *Soft Matter*, 8(18), 5027. <https://doi.org/10.1039/c2sm07236j>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. Food science texts series.* <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Manley, D. (2011). *Manley's technology of biscuits, crackers and cookies: Fourth edition. Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies: Fourth Edition.* <https://doi.org/10.1533/9780857093646>
- Manzocco, L., Calligaris, S., & Nicoli, M. C. (2011). The stability and shelf life of coffee products. In *Food and Beverage Stability and Shelf Life* (pp. 615–640). <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-701-3.50021-9>
- Manzocco, L., Valoppi, F., Lagazio, C., Calligaris, S., Anese, M., & Nicoli, M. C. (2017). Shelf life validation by monitoring food on the market: The case study of sliced white bread. *Italian Journal of Food Science*, 29(1), 100–111.
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food Packaging - Roles, Materials, and Environmental Issues. *Journal of Food Science*, 72(3), R39–R55. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>
- McGowan, C. (1999). Elasticity. In *A Practical Guide to Vertebrate Mechanics* (pp. 21–34). Cambridge University Press.
- Nieto, M. B. (2009). Structure and Function of Polysaccharide Gum-Based Edible Films and coatings. In *Edible Films and Coatings for Food Applications* (pp. 57–112). https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_1
- Okiyama, A., Motoki, M., & Yamanaka, S. (1993). Bacterial cellulose III. Development of a new form of cellulose. *Topics in Catalysis*, 6(6), 493–501. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80073-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80073-8)
- Olivas, G. I., Davila-Avina, J. E., Salas-Salazar, N. A., & Molina, F. J. (2008). Use of edible coatings to preserve the quality of fruits and vegetables during storage. *Stewart Postharvest Review*, 3(6). <https://doi.org/10.2212/spr.2008.3.6>

- Paraskevopoulou, A. & Kiosseoglou, V. (1997). Texture Profile Analysis of Heat-formed Gels and Cakes Prepared with Low Cholesterol Egg Yolk Concentrates. *Journal of Food Science*, 62(1), 208-211.
- Parreidt, T. S., Schott, M., Schmid, M. and Muller, K. (2018). Effect of Presence and Concentration of Plasticizers, Vegetable Oils, and Surfactants on the Properties of Sodium-Alginate-Based Edible Coatings. *International Journal Of Molecular Sciences*, 19(3), 742. <https://doi.org/10.3390/ijms19030742>
- Pavlat, A. E., & Orts, W. (2009). Edible Films and Coatings: Why, What, and How? In *Edible Films and Coatings for Food Applications* (pp. 1–23). https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_1
- Paximada, P., Dimitrakopoulou, E. A., Tsouko, E., Koutinas, A. A., Fasseas, C., & Mandala, I. G. (2016). Structural modification of bacterial cellulose fibrils under ultrasonic irradiation. *Carbohydrate Polymers*, 150, 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.125>
- Paximada, P., Koutinas, A. A., Scholten, E. & Mandala, I. G. (2016). Effect of Bacterial cellulose addition on physical properties of WPI emulsions. Comparison with common thickeners. *Food Hydrocolloids*, 54(B), 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.014>
- Paximada, P., Tsouko, E., Kopsahelis, N., Koutinas, A. A., & Mandala, I. (2016). Bacterial cellulose as stabilizer of o/w emulsions. *Food Hydrocolloids*, 53, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.003>
- Petersen, K., Væggemose Nielsen, P., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M. B., Nilsson, N. H., & Mortensen, G. (1999). Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science and Technology*. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00019-9)
- Rawat, S. (2015). Food Spoilage: Microorganisms and their prevention. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 5(4), 47-56.
- Reiner, M., (1926). *Kolloid Zeitschrift*, **39**: 80-87.
- Richardson, S. M. (2011). Non-Newtonian Fluids. Διαθέσιμο στο thermopedia.com. https://doi.org/10.1615/AtoZ.n.non-newtonian_fluids
- Rosenthal, A., Torrezan, R., Schmidt, F. L. & Narain, N. (2011). 11 - Preservation and processing of tropical and subtropical fruits. In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. (pp. 419-484) <https://doi.org/10.1533/9780857093622.419>

- Rui, L., Shuangkui, D., Zhixi, L., Zhengli, C., Yanxia, Q. & Yuhong, J. (2014). Rheological properties of aqueous suspension of bacterial cellulose. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30(11), 285-292.
- Salgado, P. R., Ortiz, C. M., Musso, Y. S., Di Giorgio, L., & Mauri, A. N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.09.004>
- Schramm, M., & Hestrin, S. (1954). Factors affecting Production of Cellulose at the Air/Liquid Interface of a Culture of *Acetobacter xylinum*. *Journal of General Microbiology*, 11(1), 123–129. <https://doi.org/10.1099/00221287-11-1-123>
- Shi, Z., Zhang, Y., Phillips, G. O., & Yang, G. (2014). Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.012>
- Soliva-Fortuny, R., Rojas-Graü, M. A., & Martín-Belloso, O. (2012). Polysaccharide coatings. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality* (Vol. 6, pp. 103–136). [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)88935-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)88935-9)
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2000). Plasticizer effect on oxygen permeability of β -lactoglobulin films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 6298–6302. <https://doi.org/10.1021/jf000836l>
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2005). Plasticizers in edible films and coatings. In *Innovations in Food Packaging* (pp. 403–433). <https://doi.org/10.1016/B978-012311632-1/50055-3>
- Sousa-Gallagher, M. J., Tank, A., & Sousa, R. (2016). *The Stability and Shelf Life of Food*. *The Stability and Shelf Life of Food*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00014-9>
- Sulaeva, I., Henniges, U., Rosenau, T., & Potthast, A. (2015). Bacterial cellulose as a material for wound treatment: Properties and modifications: A review. *Biotechnology Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.009>
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- Tischer, P. C. S. F., Sierakowski, M. R., Westfahl, H., & Tischer, C. A. (2010). Nanostructural reorganization of bacterial cellulose by ultrasonic treatment. *Biomacromolecules*, 11(5), 1217–1224. <https://doi.org/10.1021/bm901383a>
- Tsouko, E., Kourmentza, C., Ladakis, D., Kopsahelis, N., Mandala, I., Papanikolaou, S., ... Koutinas, A. (2015). Bacterial cellulose production from industrial waste and by-

- product streams. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(7), 14832–14849.
<https://doi.org/10.3390/ijms160714832>
- Wang, Y., Dong, M., Guo, M., Wang, X., Zhou, J., Lei, J., ... Qin, C. (2017). Agar/gelatin bilayer gel matrix fabricated by simple thermo-responsive sol-gel transition method. *Materials Science and Engineering C*, 77, 293–299.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.254>
- Wulansari, R., Mitchell, J. R., Blanshard, J. M. V. & Paterson, J. L. (1998). Why are gelatin solutions Newtonian? *Food Hydrocolloids*, 12, 245-249.
- Wüstenberg, T. (2014). Cellulose. In *Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry* (pp. 91–142). <https://doi.org/10.1002/9783527682935.ch03>
- Yam, K. L. (2009). *The Wiley encyclopedia of packaging technology*. Wiley, A John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1017/S2042169900004284>

Παράρτημα

Πίνακας 4. Συγκέντρωση σακχάρων (°Bx) του σακχαρούχου διαλύματος με αυξανόμενο χρόνο θέρμανσης

Χρόνος θέρμανσης (min)	Συγκέντρωση σακχάρων (°Bx)	Τυπική απόκλιση
30	65,53	0,15
40	68,03	0,06
50	69,53	0,25
60	71,3	0,64
70	73,23	0,81
80	74,63	0,35
90	76,17	0,45
100	77,77	0,40

Πίνακας 5. Η συγκέντρωση σακχάρων (°Bx) παρασκευασμάτων επίστρωσης με διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK) ή ζελατίνη (ZE) ή μάρτυρας (MA)

Πηκτικό μέσο	Ποσότητα (g)	Συγκέντρωση σακχάρων (°Bx)	Τυπική απόκλιση
ZE	1,00	65,40	0,06
MA	-	65,40	0,10
BK	0,05	65,20	0,21
BK	0,10	65,10	0,12
BK	0,15	64,90	0,10
BK	0,20	64,80	0,06
BK	0,25	64,30	0,12
BK	0,30	64,20	0,06
BK	0,35	64,10	0,01
BK	0,40	64,00	0,23
BK	0,45	63,60	0,15
BK	0,50	63,40	0,06

Πίνακας 6. Το ποσοστό (%) διαβίβασης φωτός παρασκευασμάτων επίστρωσης με διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK) ή ζελατίνη (ZE) ή μάρτυρας (MA)

Πηκτικό μέσο	Ποσότητα (g)	Διαβίβαση φωτός (%)
ZE	1,00	100,00
MA	-	100,00
BK	0,05	100,00
BK	0,10	92,65
BK	0,15	85,81
BK	0,20	77,33
BK	0,25	73,39
BK	0,30	64,28
BK	0,35	54,62
BK	0,40	43,79
BK	0,45	39,44
BK	0,50	39,03

Πίνακας 7. Τάση διάτμησης (Pa) και ρυθμός διάτμησης (s^{-1}) και ιξώδες (Pa.s) των σακχαρούχων διαλυμάτων χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), με ζελατίνη (ZE) και με διαφορετικές ποσότητες βακτηριακή κυτταρίνης (BK)

X/ΠΜ			1,00g ZE			0,05g BK		
Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)	Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)	Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)
0,013	0,100	0,133	0,110	0,107	1,028	0,028	0,100	0,276
0,021	0,158	0,131	0,167	0,168	0,993	0,037	0,158	0,233
0,041	0,251	0,123	0,250	0,265	0,945	0,049	0,251	0,196
0,046	0,398	0,115	0,373	0,415	0,897	0,071	0,398	0,178
0,070	0,631	0,111	0,552	0,652	0,846	0,103	0,631	0,163
0,110	1,000	0,110	0,827	1,025	0,807	0,147	1,000	0,147
0,176	1,585	0,111	1,219	1,610	0,757	0,217	1,585	0,137
0,273	2,512	0,109	1,785	2,528	0,706	0,321	2,512	0,128
0,424	3,981	0,106	2,583	3,972	0,650	0,480	3,981	0,120
0,663	6,310	0,105	3,741	6,236	0,600	0,723	6,310	0,115
1,038	10,000	0,104	5,408	9,798	0,552	1,097	10,000	0,110
1,627	15,849	0,103	7,805	15,383	0,507	1,675	15,849	0,106
2,552	25,119	0,102	11,259	24,169	0,466	2,569	25,119	0,102
4,006	39,811	0,101	16,243	37,977	0,428	3,956	39,811	0,099
6,291	63,096	0,100	23,425	59,621	0,393	6,113	63,096	0,097
9,897	100,000	0,099	33,712	93,602	0,360	9,481	100,000	0,095
15,580	158,489	0,098	48,390	147,067	0,329	14,751	158,489	0,093
24,548	251,189	0,098	69,139	231,085	0,299	23,008	251,189	0,092
38,717	398,107	0,097	98,284	362,787	0,271	35,977	398,107	0,090
61,026	630,958	0,097	139,785	570,011	0,245	56,284	630,957	0,089
95,876	1000,000	0,096	198,285	1000,000	0,222	88,006	1000,000	0,088

Πίνακας 7. Τάση διάτμησης (Pa) και ρυθμός διάτμησης (s^{-1}) και ιξώδες (Pa.s) των σακχαρούχων διαλυμάτων χωρίς πηκτικό μέσο (Χ/ΠΜ), με ζελατίνη (ZE) και με διαφορετικές ποσότητες βακτηριακή κυτταρίνης (BK) (Συνέχεια)

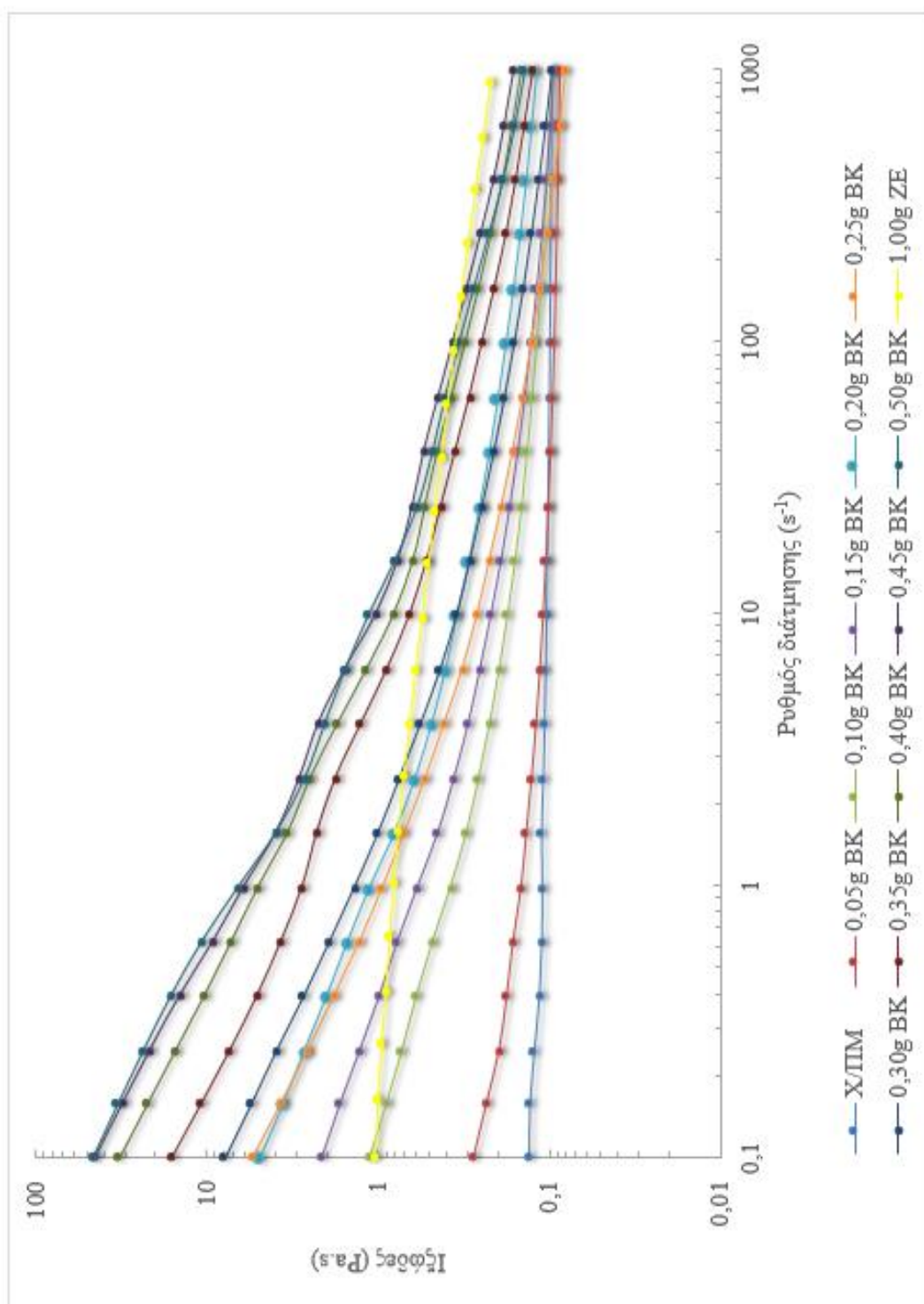
0,10g BK			0,15g BK			0,20g BK		
Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)	Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)	Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)
0,112	0,100	1,118	0,214	0,100	2,142	0,485	0,100	4,849
0,142	0,158	0,893	0,265	0,158	1,669	0,562	0,158	3,547
0,181	0,251	0,721	0,321	0,251	1,277	0,668	0,251	2,660
0,237	0,398	0,595	0,391	0,398	0,983	0,785	0,398	1,973
0,302	0,631	0,478	0,486	0,631	0,770	0,942	0,631	1,493
0,377	1,000	0,377	0,589	1,000	0,589	1,108	1,000	1,108
0,483	1,585	0,305	0,709	1,585	0,447	1,259	1,585	0,794
0,649	2,512	0,258	0,908	2,512	0,362	1,518	2,512	0,604
0,888	3,981	0,223	1,189	3,981	0,299	1,929	3,981	0,484
1,239	6,310	0,196	1,610	6,310	0,255	2,538	6,310	0,402
1,751	10,000	0,175	2,203	10,000	0,220	3,436	10,000	0,344
2,511	15,849	0,158	3,046	15,849	0,192	4,655	15,849	0,294
3,650	25,119	0,145	4,283	25,119	0,171	6,374	25,119	0,254
5,367	39,811	0,135	6,117	39,811	0,154	8,871	39,811	0,223
7,960	63,096	0,126	8,833	63,096	0,140	12,516	63,096	0,198
11,885	100,000	0,119	12,855	100,000	0,129	17,844	100,000	0,178
17,865	158,489	0,113	18,881	158,490	0,119	25,648	158,489	0,162
27,034	251,189	0,108	27,914	251,188	0,111	37,135	251,189	0,148
41,213	398,107	0,104	41,634	398,107	0,105	54,165	398,108	0,136
63,169	630,958	0,100	62,657	630,957	0,099	79,934	630,959	0,127
96,724	1000,000	0,097	94,704	1000,000	0,095	118,840	1000,000	0,119

Πίνακας 7. Τάση διάτμησης (Pa) και ρυθμός διάτμησης (s^{-1}) και ιξώδες (Pa.s) των σακχαρούχων διαλυμάτων χωρίς πηκτικό μέσο (Χ/ΠΜ), με ζελατίνη (ΖΕ) και με διαφορετικές ποσότητες βακτηριακή κυτταρίνης (ΒΚ) (Συνέχεια)

0,25g ΒΚ			0,30g ΒΚ			0,35g ΒΚ		
Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)	Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)	Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)
0,545	0,100	5,450	0,782	0,100	7,818	1,613	0,100	16,133
0,587	0,158	3,702	0,870	0,158	5,491	1,716	0,158	10,824
0,649	0,251	2,586	0,977	0,251	3,888	1,837	0,251	7,313
0,715	0,398	1,797	1,074	0,398	2,699	2,023	0,398	5,081
0,807	0,631	1,279	1,208	0,631	1,914	2,322	0,631	3,680
0,938	1,000	0,938	1,369	1,000	1,369	2,774	1,000	2,774
1,104	1,585	0,697	1,580	1,585	0,997	3,608	1,585	2,276
1,324	2,512	0,527	1,885	2,512	0,751	4,445	2,512	1,769
1,631	3,981	0,410	2,245	3,981	0,564	4,976	3,981	1,250
2,024	6,310	0,321	2,735	6,310	0,433	5,562	6,310	0,881
2,628	10,000	0,263	3,479	10,000	0,348	6,505	10,000	0,650
3,522	15,849	0,222	4,623	15,849	0,292	8,186	15,849	0,517
4,748	25,119	0,189	6,205	25,119	0,247	10,715	25,119	0,427
6,473	39,811	0,163	8,397	39,811	0,211	14,019	39,811	0,352
8,971	63,096	0,142	11,527	63,096	0,183	18,382	63,096	0,291
12,583	100,000	0,126	16,027	100,000	0,160	24,543	100,000	0,245
17,838	158,489	0,113	22,510	158,490	0,142	32,905	158,489	0,208
25,541	251,189	0,102	32,021	251,189	0,127	44,456	251,189	0,177
36,955	398,108	0,093	45,884	398,107	0,115	61,761	398,108	0,155
54,087	630,957	0,086	66,434	630,957	0,105	87,287	630,958	0,138
79,608	1000,000	0,080	96,819	1000,000	0,097	123,305	1000,000	0,123

Πίνακας 7. Τάση διάτμησης (Pa) και ρυθμός διάτμησης (s^{-1}) και ιξώδες (Pa.s) των σακχαρούχων διαλυμάτων χωρίς πηκτικό μέσο (Χ/ΠΜ), με ζελατίνη (ΖΕ) και με διαφορετικές ποσότητες βακτηριακή κυτταρίνης (ΒΚ) (Συνέχεια)

0,40g ΒΚ			0,45g ΒΚ			0,50g ΒΚ		
Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)	Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)	Τάση διάτμησης (Pa)	Ρυθμός διάτμησης (s^{-1})	Ιξώδες (Pa.s)
3,249	0,100	32,493	4,475	0,100	44,753	4,678	0,100	46,782
3,533	0,158	22,292	4,922	0,158	31,055	5,277	0,158	33,298
3,816	0,251	15,193	5,346	0,251	21,285	5,906	0,251	23,512
4,123	0,398	10,357	5,664	0,398	14,228	6,481	0,398	16,280
4,541	0,631	7,198	5,739	0,631	9,096	6,760	0,631	10,714
5,033	1,000	5,033	6,009	1,000	6,009	6,560	1,000	6,560
5,363	1,585	3,384	6,181	1,585	3,900	6,260	1,585	3,950
6,278	2,512	2,499	7,173	2,512	2,856	6,753	2,512	2,688
6,873	3,981	1,726	8,820	3,981	2,216	8,196	3,981	2,059
7,367	6,310	1,168	9,728	6,310	1,542	9,847	6,310	1,561
8,151	10,000	0,815	10,226	10,000	1,023	11,373	10,000	1,137
9,946	15,849	0,628	12,040	15,849	0,760	12,642	15,849	0,798
13,419	25,119	0,534	15,714	25,119	0,626	14,814	25,119	0,590
18,065	39,811	0,454	21,341	39,811	0,536	19,204	39,811	0,482
23,665	63,096	0,375	27,863	63,096	0,442	25,760	63,096	0,408
31,092	100,000	0,311	36,241	100,000	0,362	33,785	100,000	0,338
41,213	158,489	0,260	47,506	158,489	0,300	43,891	158,489	0,277
54,940	251,189	0,219	62,490	251,189	0,249	56,842	251,189	0,226
74,666	398,107	0,188	83,096	398,107	0,209	74,219	398,107	0,186
104,044	630,958	0,165	114,341	630,957	0,181	100,614	630,958	0,159
146,318	1000,000	0,146	159,782	1000,000	0,160	139,369	1000,000	0,139



Διάγραμμα 12. Το G' (Pa.s) των σακχαρούχων διαλυμάτων χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠIM), με ζελατίνη (ZE) και με διαφορετικές ποσότητες βακτηριακή κυτταρίνης (BK), ως συνάρτηση του ρυθμού διάτμησης (s^{-1})

Πίνακας 8. Το μέσο βάρος (g), με την αντίστοιχη τυπική απόκλιση, και το ποσοστό (%) απώλειας βάρους σε σχέση με το αρχικό, των δειγμάτων κέικ χωρίς επίστρωση (X/E), με επίστρωση χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ) και με επίστρωση με ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK), ύστερα από 0-6 ημέρες αποθήκευσης

Πηκτικό μέσο	Ημέρες αποθήκευσης	Βάρος (g)	Τυπική απόκλιση	Ποσοστό (%) απώλειας βάρους
X/E	0	18,710	0,956	0,00
	1	18,001	0,848	3,79
	2	17,267	0,754	7,71
	3	16,633	0,724	11,10
	4	16,205	0,760	13,39
	5	15,895	0,861	15,05
	6	15,699	0,922	16,09
X/ΠΜ	0	18,690	0,938	0,00
	1	18,217	0,919	2,53
	2	17,420	0,889	6,80
	3	16,913	0,972	9,51
	4	16,421	0,756	12,14
	5	16,112	0,779	13,79
	6	15,790	0,567	15,52
1,00g ZE	0	18,330	0,379	0,00
	1	17,969	0,756	1,97
	2	17,201	0,939	6,16
	3	16,681	1,020	9,00
	4	16,201	0,791	11,61
	5	15,968	0,671	12,89
	6	15,599	0,568	14,90
0,10g BK	0	18,540	0,834	0,00
	1	18,223	0,639	1,71
	2	17,426	0,779	6,01
	3	16,944	0,706	8,61
	4	16,415	0,843	11,46
	5	16,204	0,936	12,60
	6	15,839	0,539	14,57
0,30g BK	0	18,680	0,627	0,00
	1	18,371	0,556	1,65
	2	17,665	0,627	5,43
	3	17,102	0,631	8,45
	4	16,623	0,581	11,01
	5	16,432	0,758	12,03
	6	16,151	0,835	13,54
0,50g BK	0	18,320	0,369	0,00
	1	18,133	0,393	1,02
	2	17,613	0,350	3,86
	3	16,981	0,433	7,31
	4	16,499	0,665	9,94
	5	16,243	0,753	11,34
	6	15,994	0,821	12,70

Πίνακας 9. Η μέση ενεργότητα νερού , με την αντίστοιχη τυπική απόκλιση, και το ποσοστό (%) απώλειας ενεργότητας νερού σε σχέση με την αρχική, των δειγμάτων κέικ χωρίς επίστρωση (X/E), με επίστρωση χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ) και με επίστρωση με ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK), ύστερα από 0-6 ημέρες αποθήκευσης

Πηκτικό μέσο	Ημέρες αποθήκευσης	Ενεργότητα νερού	Τυπική απόκλιση	Ποσοστό (%) απώλειας ενεργότητας νερού
X/E	0	0,821	0,004	0,00
	1	0,691	0,007	15,85
	2	0,608	0,004	25,96
	3	0,559	0,004	31,93
	4	0,482	0,001	41,31
	5	0,429	0,005	47,76
	6	0,387	0,003	52,87
X/ΠΜ	0	0,840	0,006	0,00
	1	0,751	0,005	10,60
	2	0,683	0,003	18,64
	3	0,617	0,007	26,50
	4	0,548	0,009	34,72
	5	0,469	0,003	44,13
	6	0,411	0,002	51,04
1,00g ZE	0	0,841	0,003	0,00
	1	0,773	0,009	8,09
	2	0,702	0,005	16,53
	3	0,627	0,007	25,45
	4	0,569	0,018	32,34
	5	0,484	0,003	42,45
	6	0,421	0,002	49,94
0,10g BK	0	0,848	0,004	0,00
	1	0,779	0,005	8,14
	2	0,714	0,003	15,80
	3	0,642	0,004	24,29
	4	0,575	0,009	32,19
	5	0,514	0,009	39,39
	6	0,443	0,003	47,76
0,30g BK	0	0,843	0,004	0,00
	1	0,779	0,005	7,53
	2	0,717	0,007	14,90
	3	0,649	0,004	22,97
	4	0,581	0,002	31,04
	5	0,522	0,012	38,04
	6	0,472	0,006	43,98
0,50g BK	0	0,849	0,008	0,00
	1	0,801	0,006	5,64
	2	0,755	0,013	11,06
	3	0,683	0,013	19,54
	4	0,621	0,002	26,85
	5	0,549	0,010	35,33
	6	0,492	0,001	42,04

Πίνακας 10. Η φωτεινότητα (L*) από το μαύρο προς το άσπρο, και οι χρωματικές συνιστώσες a* από το πράσινο (-) προς το κόκκινο (+), και b* από το μπλε (-) προς το κίτρινο (+), καθώς και η συνολική διαφορά χρώματος (ΔE) των δειγμάτων κέικ χωρίς επίστρωση (X/E), με επίστρωση χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ) και με επίστρωση με ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK), ύστερα από 0-6 ημέρες αποθήκευσης

Πηκτικό μέσο	Ημέρες αποθήκευσης	L*	a*	b*	ΔE
X/E	0	64,483	10,147	32,623	0,000
	1	65,980	8,220	30,093	73,174
	2	66,945	8,725	29,378	73,501
	3	67,990	8,798	30,335	73,892
	4	68,160	7,958	30,228	73,883
	5	69,323	8,560	28,553	74,374
	6	72,413	7,290	30,233	75,885
X/ΠΜ	0	57,040	9,300	30,140	0,000
	1	62,438	10,575	33,708	66,073
	2	62,678	10,735	33,755	66,072
	3	64,070	9,963	31,967	66,667
	4	65,400	9,920	31,590	67,268
	5	65,737	9,000	31,807	67,373
	6	68,853	9,070	31,876	69,016
1,00g ZE	0	55,137	7,590	28,257	0,000
	1	59,510	9,303	32,193	63,720
	2	60,182	9,782	32,109	63,957
	3	61,275	9,915	32,028	64,431
	4	62,068	10,067	32,045	64,778
	5	63,187	10,247	32,197	65,321
	6	66,560	9,970	32,813	67,154
0,10g BK	0	59,150	9,837	31,827	0,000
	1	63,313	9,050	32,275	67,588
	2	63,402	8,461	31,037	67,507
	3	64,463	8,153	31,740	67,901
	4	64,680	9,650	31,453	67,913
	5	66,430	8,887	31,480	68,699
	6	69,204	7,493	31,313	70,075
0,30g BK	0	60,527	8,713	31,243	0,000
	1	62,945	9,008	32,113	68,760
	2	63,093	8,843	32,883	68,723
	3	63,945	8,153	32,528	69,033
	4	64,977	9,427	32,349	69,453
	5	66,871	8,573	32,227	70,332
	6	69,162	7,650	34,017	71,475
0,50g BK	0	60,617	8,787	30,787	0,000
	1	60,380	9,328	31,063	67,903
	2	60,650	9,320	31,615	67,914
	3	63,510	8,923	30,038	69,128
	4	64,486	9,530	31,870	69,519
	5	66,067	9,537	31,647	70,238
	6	66,650	9,390	32,557	70,486

Πίνακας 11. Η σκληρότητα (N) και η αντίστοιχη απόδοση ενέργειας (J), καθώς και το Young's modulus (MPa) των δειγμάτων κέικ χωρίς επίστρωση (X/E), με επίστρωση χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ) και με επίστρωση με ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK), ύστερα από 0-6 ημέρες αποθήκευσης

Πηκτικό μέσο	Ημέρες αποθήκευσης	Σκληρότητα (N)	Young's modulus (MPa)	Απόδοση ενέργειας (J)
X/E	0	6,97	0,62	0,02
	1	10,55	1,87	0,04
	2	17,90	2,72	0,07
	3	49,73	7,83	0,13
	4	70,30	19,50	0,24
	5	90,50	43,96	0,40
	6	121,00	59,61	0,47
X/ΠΜ	0	8,00	0,76	0,02
	1	10,05	0,85	0,03
	2	11,05	1,39	0,04
	3	34,33	3,10	0,10
	4	49,55	5,17	0,17
	5	66,70	16,50	0,27
	6	98,40	27,70	0,38
1,00g ZE	0	9,00	0,72	0,02
	1	10,10	1,08	0,03
	2	13,00	0,80	0,05
	3	18,73	1,51	0,06
	4	37,00	3,99	0,14
	5	58,00	17,71	0,24
	6	78,00	25,63	0,29
0,10g BK	0	9,00	0,70	0,02
	1	11,00	0,90	0,03
	2	14,43	1,26	0,05
	3	32,00	0,86	0,06
	4	48,00	2,75	0,15
	5	62,00	15,01	0,26
	6	81,00	23,88	0,32
0,30g BK	0	11,00	0,69	0,02
	1	14,15	1,12	0,03
	2	16,00	1,63	0,04
	3	21,07	1,65	0,06
	4	38,00	2,36	0,14
	5	52,00	10,70	0,20
	6	71,00	20,37	0,28
0,50g BK	0	11,00	0,76	0,02
	1	11,90	1,01	0,02
	2	14,00	1,59	0,04
	3	19,00	1,60	0,06
	4	38,00	2,01	0,13
	5	48,00	11,76	0,19
	6	63,00	19,16	0,25

Πίνακας 12. Μέσος ρυθμός μεταβολής βάρους (g/ημέρα) δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με επίστρωση χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (0,06%, 0,17% και 0,28% BK)

Πηκτικό μέσο	Μέσος Ρυθμός Μεταβολής	
	Βάρους (g/ημέρα)	Ενεργότητας Νερού (1/ημέρα)
X/E	0,5113	0,0698
X/ΠΜ	0,4968	0,0710
1,00g ZE	0,4713	0,0673
0,10g BK	0,4607	0,0630
0,30g BK	0,4466	0,0610
0,50g BK	0,4244	0,0704

Πίνακας 13. Μέσος ρυθμός μεταβολής (1/ημέρα) της φωτεινότητας (L) από το μαύρο προς το άσπρο, και οι χρωματικές συνιστώσες a* από το πράσινο (-) προς το κόκκινο (+), και b* από το μπλε (-) προς το κίτρινο (+), καθώς και της συνολικής διαφοράς χρώματος (ΔE) δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με επίστρωση χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK)

Πηκτικό μέσο	Μέσος ρυθμός μεταβολής (1/ημέρα)			
	L*	a*	b*	ΔE
X/E	1,1318	0,3092	0,3357	1,1744
X/ΠΜ	1,5986	0,1662	0,0271	1,5006
1,00g ZE	1,5539	0,3326	0,4862	1,628
0,10g BK	1,3456	0,2203	0,0969	1,3642
0,30g BK	1,2729	0,1241	0,2862	1,3092
0,50g BK	1,1896	0,0871	0,2405	1,1387

Πίνακας 14. Μέσος ρυθμός μεταβολής σκληρότητας (N/ημέρα), Young's modulus (MPa/ημέρα) και Ενεργειακής απόδοσης (J/ημέρα) δειγμάτων κέικ, χωρίς επίστρωση (X/E), με επίστρωση χωρίς πηκτικό μέσο (X/ΠΜ), και με επίστρωση που περιέχει ζελατίνη (ZE) ή διαφορετικές ποσότητες βακτηριακής κυτταρίνης (BK)

Πηκτικό μέσο	Μέσος Ρυθμός Μεταβολής		
	Σκληρότητας (N/ημέρα)	Young's modulus (MPa/ημέρα)	Ενεργειακής απόδοσης (J/ημέρα)
X/E	15,107	9,9262	0,0799
X/ΠΜ	12,556	6,1393	0,0605
1,00g ZE	11,671	3,9715	0,0517
0,10g BK	9,9179	3,5445	0,0477
0,30g BK	9,3109	2,82	0,0428
0,50g BK	9,0071	2,7553	0,0393

Τεστ ANOVA για τα δεδομένα βάρους των δειγμάτων

Πριν προχωρήσουμε σε έλεγχο ANOVA, πρέπει να ελέγξουμε αν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις του:

I. Όλα τα δείγματα (μετρήσεις των δειγμάτων X/E, X/ΠΑ, 1.00g ZE, 0.10g BK, 0.30g BK, 0.50g BK, για 0-6 ημέρες) είναι ανεξάρτητα και τυχαία αφού όλες οι παρατηρήσεις είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες.

II. Κάθε δείγμα προέρχεται από κανονικό πληθυσμό καθώς ο συντελεστής λοξότητας και ο συντελεστής κύρτωσης του καθενός, είναι εντός του εύρους τιμών που αναμένεται από μία κανονική κατανομή, δηλαδή από -2 έως 2.

Πίνακας 15. Συντελεστής λοξότητας και κύρτωσης των δειγμάτων έπειτα από στατιστική ανάλυση των μετρήσεων βάρους

	X/E	X/ΠΜ	1.00g ZE	0.10g BK	0.30g BK	0.50g BK
Συντελεστής λοξότητας	1,267	0,856	0,517	0,328	-0,123	-0,731
Συντελεστής κύρτωσης	-1,015	-0,749	-1,725	-1,227	-0,653	-1,149

III. Οι διασπορές των δειγμάτων είναι ίσες αφού και οι τυπικές αποκλίσεις είναι ίσες. Αυτό το συμπέρασμα προέκυψε μετά από σύγκριση δειγμάτων ανά δύο (σύγκριση των τυπικών τους αποκλίσεων). Σε κάθε F-test ($H_0: \sigma_i = \sigma_j$ και $H_1: \sigma_i \neq \sigma_j$) βρέθηκε p-value > 0.05, άρα η ισότητα των τυπικών αποκλίσεων, και κατά συνέπεια, των διασπορών, δεν μπορεί να απορριφθεί.

Οπότε, έχοντας καλύψει τις παραδοχές της ANOVA, συνεχίζουμε στο τεστ πολυπαραγοντικής ανάλυσης της διακύμανσης (Two-way ANOVA) για τον έλεγχο της κύριας επίδρασης του παράγοντα «είδος παρασκευάσματος» :

H_{0a} : ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

H_{1a} : ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Και για την κύρια επίδραση του παράγοντα «χρόνος αποθήκευσης» :

H_{0b} : ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

H_{1b} : ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Πίνακας 16. Αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης για το 6*7 παραγοντικό πείραμα με πάνω από μία παρατηρήσεις ανά επέμβαση για τα δεδομένα βάρους

Πηγή μεταβλητότητας	Βαθμοί ελευθερίας (Df)	Άθροισμα τετραγώνων (SS)	Μέσο άθροισμα τετραγώνων (MS)	Κριτήριο F (F-Ratio)	P-value
Είδος παρασκευάσματος	5	5,91712	1,18342	2,38	0,0392
Χρόνος αποθήκευσης	6	266,125	44,3542	89,04	0,0000
Κατάλοιπα	282	140,482	0,498162		
Σύνολο	293	412,524			

Η επίδραση του κάθε παράγοντα υπολογίζεται χωριστά, μη λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδραση του άλλου παράγοντα (Type III Sums of Squares). Συνεπώς, το P-value δείχνει τη στατιστική σημαντικότητα της επίδρασης του αντίστοιχου παράγοντα αν επιδρούσε μόνος του.

Επειδή, $P\text{-value} < 0.05$ σε κάθε περίπτωση, και οι δύο μηδενικές υποθέσεις που κάναμε παραπάνω ($H_{0\alpha}$, $H_{0\beta}$) απορρίπτονται, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05. Αυτό σημαίνει ότι τα πειραματικά δεδομένα δίνουν στατιστικά σημαντικές αποδείξεις ότι το μέσο βάρος των δειγμάτων κέικ επηρεάζεται από το είδος παρασκευάσματος και από τον χρόνο αποθήκευσης. Η πιθανότητα το συμπέρασμα αυτό να είναι λάθος είναι το πολύ 5% - πιο συγκεκριμένα και βασιζόμενοι στα αντίστοιχα P-values, μπορούμε να πούμε ότι για την πρώτη περίπτωση η πιθανότητα να κάνουμε λάθος είναι το πολύ 0.0392, και για τη δεύτερη περίπτωση 0.0000.

Στα δεδομένα που εξετάστηκαν, περιλαμβάνονται και οι μετρήσεις των δειγμάτων μάρτυρα (X/E) που δεν επικαλύφθηκαν με κανένα επίστρωμα, και το γεγονός αυτό μπορεί να επηρέασε τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης αφού αναμένεται εκ των προτέρων η διαφορά μεταξύ των δειγμάτων χωρίς επίστρωση και με επίστρωση. Γι' αυτό τον λόγο, επαναλαμβάνεται το τεστ αλλά αυτή τη φορά χωρίς τα δεδομένα των δειγμάτων χωρίς επίστρωση και προκύπτει πως και πάλι και οι δύο παράγοντες επηρεάζουν το βάρος των δειγμάτων κέικ. Σε αυτή την περίπτωση, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» έχει P-value ίσο με 0.0403, ενώ ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχει P-value σταθερό στο 0.0000.

Δεύτερος μάρτυρας θεωρείται και το παρασκεύασμα χωρίς κανένα πηκτικό μέσο. Για την εξάλειψη της επίδρασής του στα αποτελέσματα, γίνεται επανάληψη του τεστ αλλά αυτή τη φορά με τη συμμετοχή μόνο των μετρήσεων των δειγμάτων που επικαλύφθηκαν με παρασκεύασμα που περιείχε ζελατίνη ή βακτηριακή κυτταρίνη. Εδώ, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» έχει P-value ίσο με 0.0125, ενώ ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχει P-value σταθερό στο 0.0000, γεγονός που επιβεβαιώνει την επίδραση και των δύο.

Στο τελευταίο τεστ ANOVA συμμετείχαν μόνο τα δείγματα με παρασκεύασμα που περιείχε βακτηριακή κυτταρίνη. Σε αυτή την περίπτωση, μόνο ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» φαίνεται να επιδρά σε στατιστικά σημαντικό βαθμό ($P\text{-value} = 0.000$), αφού το P-value του παράγοντα «είδος παρασκευάσματος» ξεπερνά το 0.05 ($P\text{-value} = 0.2229$). Έτσι, ο ισχυρισμός ότι οι διαφορετικές ποσότητες προστιθέμενης βακτηριακής κυτταρίνης στο παρασκεύασμα επίστρωσης επηρεάζει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό το βάρος των δειγμάτων κέικ, δεν επιβεβαιώνεται με αυτά τα δεδομένα.

Τέλος, η ομοιότητα των καμπυλών των δειγμάτων ζελατίνης και 0.10g κυτταρίνης (βλ. Διάγρ. 6) επιβεβαιώνεται και από τη μεταξύ τους σύγκριση αφού η σύγκριση μεταξύ των μέσων, των τυπικών αποκλίσεων και των διαμέσων έδωσε $P\text{-value} > 0.05$, γεγονός που μας εμποδίζει να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση ισότητας των δύο καμπυλών ως προς τους μέσους, τις τυπικές αποκλίσεις και τους διαμέσους, αντίστοιχα.

Τεστ ANOVA για τα δεδομένα ενεργότητας νερού των δειγμάτων

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως και προηγουμένως, δηλαδή πριν τον έλεγχο ANOVA ελέγχουμε αν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις του:

I. Όλα τα δείγματα (μετρήσεις των δειγμάτων X/E, X/ΠΑ, 1.00g ZE, 0.10g BK, 0.30g BK, 0.50g BK, για 0-6 ημέρες) είναι ανεξάρτητα και τυχαία αφού όλες οι παρατηρήσεις είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες.

II. Κάθε δείγμα προέρχεται από κανονικό πληθυσμό καθώς ο συντελεστής λοξότητας και ο συντελεστής κύρτωσης του καθενός, είναι εντός του εύρους τιμών που αναμένεται από μία κανονική κατανομή, δηλαδή από -2 έως 2.

Πίνακας 17. Συντελεστής λοξότητας και κύρτωσης των δειγμάτων έπειτα από στατιστική ανάλυση των μετρήσεων βάρους

	X/E	X/ΠΜ	1.00g ZE	0.10g BK	0.30g BK	0.50g BK
Συντελεστής λοξότητας	0,892	0,035	-0,201	0,035	0,137	-0,256
Συντελεστής κύρτωσης	-0,789	-1,172	-1,188	-1,172	-1,247	-1,277

III. Οι διασπορές των δειγμάτων είναι ίσες αφού και οι τυπικές αποκλίσεις είναι ίσες. Αυτό το συμπέρασμα προέκυψε μετά από σύγκριση δειγμάτων ανά δύο (σύγκριση των τυπικών τους αποκλίσεων). Σε κάθε F-test ($H_0: \sigma_i = \sigma_j$ και $H_1: \sigma_i \neq \sigma_j$) βρέθηκε p-value > 0.05, άρα η ισότητα των τυπικών αποκλίσεων, και κατά συνέπεια, των διασπορών, δεν μπορεί να απορριφθεί.

Μετά την ικανοποίηση των παραδοχών της ANOVA, προχωράμε στο τεστ πολυπαραγοντικής ανάλυσης της διακύμανσης (Two-way ANOVA) για τον έλεγχο της κύριας επίδρασης του παράγοντα «είδος παρασκευάσματος» :

H_{0a} : ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

H_{1a} : ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Και για την κύρια επίδραση του παράγοντα «χρόνος αποθήκευσης» :

H_{0b} : ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

H_{1b} : ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Πίνακας 18. Αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης για το 6*7 παραγοντικό πείραμα με πάνω από μία παρατηρήσεις ανά επέμβαση για τα δεδομένα ενεργότητας νερού

Πηγή μεταβλητότητας	Βαθμοί ελευθερίας (Df)	Άθροισμα τετραγώνων (SS)	Μέσο άθροισμα τετραγώνων (MS)	Κριτήριο F (F-Ratio)	P-value
Είδος παρασκευάσματος	5	0,148	0,029	138,13	0,0000
Χρόνος αποθήκευσης	6	1,269	0,378	1769,33	0,0000
Κατάλοιπα	114	0,024	0,000		
Σύνολο	125	2,441			

Η επίδραση του κάθε παράγοντα υπολογίζεται χωριστά, μη λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδραση του άλλου παράγοντα (Type III Sums of Squares). Συνεπώς, το P-value δείχνει τη στατιστική σημαντικότητα της επίδρασης του αντίστοιχου παράγοντα αν επιδρούσε μόνος του.

Τα πειραματικά δεδομένα δίνουν στατιστικά σημαντικές αποδείξεις ότι τη μέση ενεργότητα νερού των δειγμάτων κέικ επηρεάζεται από το είδος παρασκευάσματος και από τον χρόνο αποθήκευσης, αφού το P-value ισούται με 0,000, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05.

Σε παρόμοιο τεστ χωρίς τα δείγματα X/E, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» και ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχουν και οι δύο, P-value ίσο με 0.000. Σε παρόμοιο τεστ χωρίς τα δείγματα X/E και τα δείγματα X/ΠΜ, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» και ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχουν και οι δύο, P-value ίσο με 0.000. Και, τέλος, σε παρόμοιο τεστ μόνο με τα δείγματα με παρασκευάσμα που περιείχε βακτηριακή κυτταρίνη, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» και ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχουν και οι δύο, P-value ίσο με 0.000. Συνεπώς, ο ισχυρισμός ότι οι διαφορετικές ποσότητες προστιθέμενης βακτηριακής κυτταρίνης στο παρασκευάσμα επίστρωσης επηρεάζει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό την ενεργότητα νερού των δειγμάτων κέικ, επιβεβαιώνεται με αυτά τα δεδομένα.

Ακόμη, οι καμπύλες των δειγμάτων ζελατίνης και 0.10g κυτταρίνης (βλ. Διάγρ. 7) δεν διαφέρουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό, συμπέρασμα που προκύπτει από τη μεταξύ τους σύγκριση. Συγκεκριμένα, η σύγκριση των μέσων, των τυπικών αποκλίσεων και των διαμέσων των δύο δειγμάτων οδήγησε σε P-value > 0.05, δηλαδή δεν μπορούμε να απορρίψουμε την υπόθεση ότι είναι ίσα.

Τεστ ANOVA για τα δεδομένα χρώματος των δειγμάτων

Παρομοίως, γίνεται έλεγχος των προϋποθέσεων εφαρμογής του τεστ ANOVA:

I. Όλα τα δείγματα (μετρήσεις των δειγμάτων X/E, X/ΠΑ, 1.00g ZE, 0.10g BK, 0.30g BK, 0.50g BK, για 0-6 ημέρες) είναι ανεξάρτητα και τυχαία αφού όλες οι παρατηρήσεις είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες.

II. Κάθε δείγμα προέρχεται από κανονικό πληθυσμό καθώς ο συντελεστής λοξότητας και ο συντελεστής κύρτωσης του καθενός, είναι εντός του εύρους τιμών που αναμένεται από μία κανονική κατανομή, δηλαδή από -2 έως 2.

Πίνακας 19. Συντελεστής λοξότητας και κύρτωσης των δειγμάτων έπειτα από στατιστική ανάλυση των μετρήσεων διαφοράς χρώματος (ΔΕ)

	X/E	X/ΠΜ	1.00g ZE	0.10g BK	0.30g BK	0.50g BK
Συντελεστής λοξότητας	-0,303	-1,302	-0,989	-0,217	0,488	0,211
Συντελεστής κύρτωσης	0,745	1,635	1,274	0,829	0,301	-0,989

III. Οι διασπορές των δειγμάτων είναι ίσες αφού και οι τυπικές αποκλίσεις είναι ίσες. Αυτό το συμπέρασμα προέκυψε μετά από σύγκριση δειγμάτων ανά δύο (σύγκριση των τυπικών τους αποκλίσεων). Σε κάθε F-test ($H_0: \sigma_i = \sigma_j$ και $H_1: \sigma_i \neq \sigma_j$) βρέθηκε $p\text{-value} > 0.05$, άρα η ισότητα των τυπικών αποκλίσεων, και κατά συνέπεια, των διασπορών, δεν μπορεί να απορριφθεί.

Έπειτα, ορίζουμε υποθέσεις για τον έλεγχο της κύριας επίδρασης του παράγοντα «είδος παρασκευάσματος» :

$H_{0\alpha}$: ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

$H_{1\alpha}$: ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Και για την κύρια επίδραση του παράγοντα «χρόνος αποθήκευσης» :

$H_{0\beta}$: ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

$H_{1\beta}$: ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Πίνακας 20. Αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης για το 6*7 παραγοντικό πείραμα με πάνω από μία παρατηρήσεις ανά επέμβαση, για τα δεδομένα διαφοράς χρώματος

Πηγή μεταβλητότητας	Βαθμοί ελευθερίας (Df)	Άθροισμα τετραγώνων (SS)	Μέσο άθροισμα τετραγώνων (MS)	Κριτήριο F (F-Ratio)	P-value
Είδος παρασκευάσματος	5	100,041	20,008	26,26	0,0000
Χρόνος αποθήκευσης	6	335,495	55,916	73,39	0,0000
Κατάλοιπα	30	22,857	0,762		
Σύνολο	41	458,393			

Η επίδραση του κάθε παράγοντα υπολογίζεται χωριστά, μη λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδραση του άλλου παράγοντα (Type III Sums of Squares).

Έτσι, καταλήγουμε σε στατιστικά σημαντικές αποδείξεις ότι τη μέση διαφορά χρώματος (ΔE) των δειγμάτων κέικ επηρεάζεται από το είδος παρασκευάσματος και από τον χρόνο αποθήκευσης, αφού το P-value ισούται με 0,000, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05.

Σε παρόμοιο τεστ χωρίς τα δείγματα X/E και σε άλλο χωρίς τα δείγματα X/ΠΜ, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» και ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχουν P-value ίσο με 0.000, σε κάθε περίπτωση. Σε παρόμοιο τεστ μόνο με τα δείγματα με παρασκευάσμα που περιείχε βακτηριακή κυτταρίνη, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» και ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχουν P-value ίσο με 0.003 και 0.0000, αντίστοιχα. Συνεπώς, οι διαφορετικές ποσότητες προστιθέμενης βακτηριακής κυτταρίνης στο παρασκευάσμα επιστροφής ασκούν επιρροή σε στατιστικά σημαντικό βαθμό στο χρώμα των δειγμάτων κέικ.

Τεστ ANOVA για τα δεδομένα σκληρότητας των δειγμάτων

Οι παραδοχές της ANOVA ικανοποιούνται αφού:

I. Όλα τα δείγματα (μετρήσεις των δειγμάτων X/E, X/ΠΑ, 1.00g ZE, 0.10g BK, 0.30g BK, 0.50g BK, για 0-6 ημέρες) είναι ανεξάρτητα και τυχαία αφού όλες οι παρατηρήσεις είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες.

II. Κάθε δείγμα προέρχεται από κανονικό πληθυσμό καθώς ο συντελεστής λοξότητας και ο συντελεστής κύρτωσης του καθενός, είναι εντός του εύρους τιμών που αναμένεται από μία κανονική κατανομή, δηλαδή από -2 έως 2.

Πίνακας 21. Συντελεστής λοξότητας και κύρτωσης των δειγμάτων έπειτα από στατιστική ανάλυση των μετρήσεων σκληρότητας

	X/E	X/ΠΜ	1.00g ZE	0.10g BK	0.30g BK	0.50g BK
Συντελεστής λοξότητας	0,674	1,271	1,535	0,849	1,584	1,338
Συντελεστής κύρτωσης	-1,245	-0,762	-0,667	-1,200	-0,558	-0,967

III. Οι διασπορές των δειγμάτων είναι ίσες αφού και οι τυπικές αποκλίσεις είναι ίσες. Αυτό το συμπέρασμα προέκυψε μετά από σύγκριση δειγμάτων ανά δύο (σύγκριση των τυπικών τους αποκλίσεων). Σε κάθε F-test ($H_0: \sigma_i = \sigma_j$ και $H_1: \sigma_i \neq \sigma_j$) βρέθηκε p-value > 0.05, άρα η ισότητα των τυπικών αποκλίσεων, και κατά συνέπεια, των διασπορών, δεν μπορεί να απορριφθεί.

Έπειτα, ορίζουμε υποθέσεις για τον έλεγχο της κύριας επίδρασης του παράγοντα «είδος παρασκευάσματος» :

H_{0a} : ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

H_{1a} : ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Και για την κύρια επίδραση του παράγοντα «χρόνος αποθήκευσης» :

H_{0b} : ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

H_{1b} : ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Πίνακας 22. Αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης για το 6*7 παραγοντικό πείραμα με πάνω από μία παρατηρήσεις ανά επέμβαση, για τα δεδομένα σκληρότητας

Πηγή μεταβλητότητας	Βαθμοί ελευθερίας (Df)	Άθροισμα τετραγώνων (SS)	Μέσο άθροισμα τετραγώνων (MS)	Κριτήριο F (F-Ratio)	P-value
Είδος παρασκευάσματος	5	0,008	0,002	23,84	0,0000
Χρόνος αποθήκευσης	6	0,089	0,015	216,62	0,0000
Κατάλοιπα	114	0,008	0,000		
Σύνολο	125	0,105			

Η επίδραση του κάθε παράγοντα υπολογίζεται χωριστά, μη λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδραση του άλλου παράγοντα (Type III Sums of Squares).

Η μέση σκληρότητα των δειγμάτων κέικ επηρεάζεται από το είδος παρασκευάσματος και από τον χρόνο αποθήκευσης, αφού το P-value ισούται με 0,000, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05.

Σε όλα τα υπόλοιπα τεστ ANOVA που εφαρμόστηκαν, δηλαδή σε ένα χωρίς τα δείγματα X/E, σε άλλο χωρίς τα δείγματα X/ΠΜ, και τέλος, σε ένα μόνο με τα δείγματα κυτταρίνης, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» και ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχουν P-value ίσο με 0.000, σε κάθε περίπτωση. Άρα, οι διαφορετικές ποσότητες προστιθέμενης βακτηριακής κυτταρίνης στο παρασκεύασμα επίστρωσης ασκούν επιρροή σε στατιστικά σημαντικό βαθμό στη σκληρότητα των δειγμάτων κέικ.

Τεστ ANOVA για τα δεδομένα Young's modulus των δειγμάτων

Κατά τον έλεγχο των προϋποθέσεων της ANOVA, παρατηρήσαμε πως ο συντελεστής λοξότητας και ο συντελεστής κύρτωσης βρίσκονται σε πολλές περιπτώσεις εκτός του εύρους -2 έως +2, γεγονός ενδεικτικό των αποκλίσεων των τιμών από την κανονικότητα. Κατά συνέπεια, εφόσον οι τιμές δεν προέρχονται από κανονικές κατανομές, το τεστ ANOVA δεν μπορεί να θεωρηθεί έγκυρο.

Πίνακας 23. Συντελεστής λοξότητας και κύρτωσης των δειγμάτων έπειτα από στατιστική ανάλυση των μετρήσεων Young's modulus

	X/E	X/ΠΜ	1.00g ZE	0.10g BK	0.30g BK	0.50g BK
Συντελεστής λοξότητας	1,732	2,354	2,169	2,367	2,738	2,457
Συντελεστής κύρτωσης	-0,729	0,0789	-0,378	-0,052	0,648	0,106

Παρόλ' αυτά θα οδηγούσε σε P-value = 0.0000, και για τους δύο παράγοντες, για όλα τα τεστ ANOVA που έγιναν, αντίστοιχα, στις προηγούμενες αναλύσεις.

Τεστ ANOVA για τα δεδομένα ενεργειακής απόδοσης των δειγμάτων

Οι παραδοχές της ANOVA ικανοποιούνται αφού:

I. Όλα τα δείγματα (μετρήσεις των δειγμάτων X/E, X/ΠΑ, 1.00g ZE, 0.10g BK, 0.30g BK, 0.50g BK, για 0-6 ημέρες) είναι ανεξάρτητα και τυχαία αφού όλες οι παρατηρήσεις είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες.

II. Κάθε δείγμα προέρχεται από κανονικό πληθυσμό καθώς ο συντελεστής λοξότητας και ο συντελεστής κύρτωσης του καθενός, είναι εντός του εύρους τιμών που αναμένεται από μία κανονική κατανομή, δηλαδή από -2 έως 2.

Πίνακας 24. Συντελεστής λοξότητας και κύρτωσης των δειγμάτων έπειτα από στατιστική ανάλυση των μετρήσεων ενεργειακής απόδοσης

	X/E	X/ΠΜ	1.00g ZE	0.10g BK	0.30g BK	0.50g BK
Συντελεστής λοξότητας	1,101	1,996	1,288	1,349	1,407	1,295
Συντελεστής κύρτωσης	-1,233	-0,520	-1,156	-1,038	-0,879	-1,036

III. Οι διασπορές των δειγμάτων είναι ίσες αφού και οι τυπικές αποκλίσεις είναι ίσες. Αυτό το συμπέρασμα προέκυψε μετά από σύγκριση δειγμάτων ανά δύο (σύγκριση των τυπικών τους αποκλίσεων). Σε κάθε F-test ($H_0: \sigma_i = \sigma_j$ και $H_1: \sigma_i \neq \sigma_j$) βρέθηκε p-value > 0.05, άρα η ισότητα των τυπικών αποκλίσεων, και κατά συνέπεια, των διασπορών, δεν μπορεί να απορριφθεί.

Στη συνέχεια, ορίζουμε μηδενικές υποθέσεις για τον έλεγχο της κύριας επίδρασης του παράγοντα «είδος παρασκευάσματος» :

H_{0a} : ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

H_{1a} : ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Και για την κύρια επίδραση του παράγοντα «χρόνος αποθήκευσης» :

H_{0b} : ο παράγοντας δεν επιδρά (δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 6 μέσων του παράγοντα)

H_{1b} : ο παράγοντας επιδρά (τουλάχιστον 2 μέσοι του παράγοντα διαφέρουν)

Πίνακας 25. Αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης για το 6*7 παραγοντικό πείραμα με πάνω από μία παρατηρήσεις ανά επέμβαση, για τα δεδομένα απόδοσης ενέργειας

Πηγή μεταβλητότητας	Βαθμοί ελευθερίας (Df)	Άθροισμα τετραγώνων (SS)	Μέσο άθροισμα τετραγώνων (MS)	Κριτήριο F (F-Ratio)	P-value
Είδος παρασκευάσματος	5	0,115	0,023		0,0000
Χρόνος αποθήκευσης	6	1,557	0,259	16,11	0,0000
Κατάλοιπα	114	0,163	0,001	181,04	
Σύνολο	125				

Η μέση απόδοση ενέργειας των δειγμάτων κείκ επηρεάζεται από το είδος παρασκευάσματος και από τον χρόνο αποθήκευσης, αφού το P-value ισούται με 0,000, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05.

Σε άλλα τεστ ANOVA που εφαρμόστηκαν, δηλαδή σε ένα χωρίς τα δείγματα X/E και σε άλλο χωρίς τα δείγματα X/ΠΜ, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» και ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχουν P-value ίσο με 0.000, και στις δύο περιπτώσεις. Και τέλος, σε τεστ μόνο με τα δείγματα κυτταρίνης, ο παράγοντας «είδος παρασκευάσματος» και ο παράγοντας «χρόνος αποθήκευσης» έχουν P-value ίσο με 0.033 και 0.000, αντίστοιχα. Άρα, οι διαφορετικές ποσότητες προστιθέμενης βακτηριακής κυτταρίνης στο παρασκεύασμα επίστρωσης ασκούν επιρροή σε στατιστικά σημαντικό βαθμό στην απόδοση ενέργειας που απαιτείται για τον τεμαχισμό των δειγμάτων κείκ.

Κλείνοντας, έγινε ακόμα ένα τεστ (βλ. Πίν. 26) μόνο για τα δείγματα με βακτηριακή κυτταρίνη το οποίο κατέταξε τα δείγματα 0.3g BK και 0.5g BK σε όμοιες ομάδες, βάσει δύο εκ των τριών μηχανικών ιδιοτήτων, ενώ βάσει της σκληρότητας, τα τρία δείγματα διαφέρουν σαφώς.

Πίνακας 26. 95% Least significant difference (LSD) τεστ των δειγμάτων κυτταρίνης σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες των δειγμάτων κέικ (σκληρότητα (N), Young's modulus (MPa) και απόδοση ενέργειας (J))

Δείγμα	Σκληρότητα (N)	Young's modulus (MPa)	Απόδοση ενέργειας (J)
0.1g BK	X	X	X
0.3g BK	X	X	X
0.5g BK	X	X	X