



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη υλικών από φυτικές ίνες και ανακυκλωμένο χαρτί

Μανούσκου Ελένη

5112015061

Επιβλέπων Καθηγητής| Ζαχαρόπουλος Νικόλαος

Επιτροπή| Ζαχαρόπουλος Νικόλαος, Παπανίκος Παρασκευάς, Μουλιανίτης Βασίλειος

ΣΥΡΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει, όσο είναι δυνατόν, να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την χρήση αναφορών, ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

Copyright © υπό Ελένη Μανούσκου

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.Εισαγωγή	7
1.1.Στόχοι	7
1.2.Δομή	7
1.3.Περίληψη	8
2.Χαρτί	9
2.1.Ιστορία Χαρτιού	9
2.2.Παραγωγή Χαρτιού	10
2.3.Συστατικά Χαρτιού	12
2.4.Δομή Χαρτιού	13
2.5.Χρήσεις Χαρτιού	14
3.Ανακύκλωση του χαρτιού	16
3.1.Εισαγωγή	16
3.2.Σκοπός Ανακύκλωσης	16
3.3.Ποιά Χαρτιά Ανακυκλώνονται	17
3.4.Ανακύκλωση και Διαλογή στην Πηγή	17
3.5.Διεργασίες - Στάδια Ανακύκλωσης Χαρτιού	18
3.4.Νομοθετικό Πλαίσιο και Στρατηγική της ΕΕ για Ανακύκλωση	20
3.5.Η Ανακύκλωση στην Ελλάδα	20
4.Αειφορία & Αειφόρος Ανάπτυξη	20
4.1.Κυκλική Οικονομία	21
4.2.Cradle to Cradle	22
4.3.Κίνημα zero waste	23
5.DIY	24
5.1.DIY κίνημα	25
5.2.DIY υλικά	25
5.3.Ταξινόμηση DIY Υλικών	26
5.4.Παραδείγματα Αειφόρων DIY Υλικών	29

6. Material Driven Design Ανάπτυξη Υλικού & Υλικών Εμπειριών	33
6.1. Μέθοδος MDD	33
6.2. Βήματα Μεθόδου MDD	35
7. Περιγραφή Πειράματος	38
7.1. Πρώτη ύλη	39
7.2. Διαδικασία	40
7.3. Συμπεράσματα	43
8. Μηχανικές Δοκιμές	43
8.1. Εφελκυσμός	45
8.2. Κάμψη	51
8.3. Θλίψη	54
8.4. Συμπεράσματα	57
9. Συμπεράσματα	58
9.1. Μελλοντική Έρευνα	58
Πηγές	59
Παράρτημα	63

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Μικροϊνίδια κυτταρίνης	13
Εικόνα 2. Πολυσακχαρίτες ξυλογλυκάνης	14
Εικόνα 3. Χαρτόκουτα πριν την ανακύκλωση (https://unsplash.com/)	16
Εικόνα 4. Διαδικασία παραγωγής χαρτιού και διαδικασία ανακύκλωσης	19
Εικόνα 5. Βιολογικός και τεχνικός μεταβολισμός (Braungart et al, 2002)	22
Εικόνα 6. Βιολογικός και τεχνικός κύκλος (Braungart et al, 2002)	23
Εικόνα 7. Οι 5 βασικές αρχές του zero waste	24
Εικόνα 8. Προσαρμογή ταξινόμησης για τα DIY υλικά σύμφωνα με τους Ayala, Karana, Rognoli	27
Εικόνα 9. Τα πέντε βασίλεια των DIY υλικών σύμφωνα με τους Ayala, Karana, Rognoli	27
Εικόνα 10. Τα σύνορα των βασιλείων σύμφωνα με τους Ayala, Karana, Rognoli	28
Εικόνα 11. MYX - Jonas Edvard	29
Εικόνα 12. Piñatex – Carmen Hijosa	29
Εικόνα 13. Coleoptera – Aagje Hoekstra	30
Εικόνα 14. Hair Highway – Studio Swine	30
Εικόνα 15. Oxidation Aftermath	31
Εικόνα 16. Transience X – Lex Pott	31
Εικόνα 17. Blood Bricks – Munro Studio	31
Εικόνα 18. Eggo – Sebastian Aumer	32
Εικόνα 19. FiDu – Oskar Zięta	32
Εικόνα 20. Βήματα Μεθοδολογίας MDD (Karana et al, 2015)	35
Εικόνα 21. Καλούπια που χρησιμοποιήθηκαν	39
Εικόνα 22. Φυτικές ίνες μπανάνας από μικροσκόπιο (Sharma, 2013)	40
Εικόνα 23. Φυτικές ίνες σέλερι από μικροσκόπιο (Elfwing et al., 2018)	40
Εικόνα 24. Διαδικασία για παραγωγή χαρτιού με φυτικές ίνες	42
Εικόνα 25. Διαδικασία παραγωγής χαρτιού με φυτικές ίνες για εφελκυσμό	42
Εικόνα 26. Ξήρανση υλικού	43
Εικόνα 27. Δοκίμια μπανάνας πριν υποστούν εφελκυσμό	45
Εικόνα 28. Δοκιμή εφελκυσμού για υλικό από χαρτί και φυτικές ίνες	46
Εικόνα 29. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 5 σέλερι	46
Εικόνα 30. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 7 σέλερι	47
Εικόνα 32. Δοκίμιο 8 σέλερι	48
Εικόνα 33. Δοκίμια 3 και 4 σέλερι	48

Εικόνα 34. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 2 μπανάνα	49
Εικόνα 35. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 5 μπανάνα	49
Εικόνα 36. Δοκίμια μπανάνας	50
Εικόνα 37. Δοκίμια σέλερι πριν την δοκιμή σε κάμψη	51
Εικόνα 38. Δοκιμή κάμψης τριών σημείων για το υλικό φυτικές ίνες με χαρτί	52
Εικόνα 39. Ανομοιόμορφη επιφάνεια δοκιμίου.	52
Εικόνα 40. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 4 σέλερι	52
Εικόνα 41. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 9 μπανάνα	53
Εικόνα 42. Δοκίμια μπανάνας πριν υποβληθούν σε θλίψη	54
Εικόνα 43. Δοκιμή θλίψης για το υλικό φυτικές ίνες με χαρτί	55
Εικόνα 44. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 8 σέλερι	55
Εικόνα 45. Αριστερό δοκίμιο πριν την δοκιμή θλίψης, δεξιά δοκίμιο μετά την δοκιμή θλίψης	56
Εικόνα 46. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 4 μπανάνα	56
Εικόνα 47. Αριστερό δοκίμιο πριν την δοκιμή θλίψης, δεξιά δοκίμιο μετά την δοκιμή θλίψης	57

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. Δεδομένα εφελκυσμού	51
Πίνακας 2. Δεδομένα θλίψης	54
Πίνακας 3. Δεδομένα θλίψης	57

1.Εισαγωγή

1.1.Στόχοι

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη νέων αειφόρων υλικών, αξιοποιώντας ως πρώτη ύλη χρησιμοποιημένο χαρτί σε συνδυασμό με τις φυτικές ίνες από τα απόβλητα τροφίμων. Η δημιουργία αυτή θα γίνει αξιοποιώντας την μέθοδο του DIY (Do it Yourself) και της χαρτοποιίας. Απώτερος στόχος αυτής η εργασία είναι να εστιάσει στην εύρεση, μελέτη και καταγραφή των μηχανικών συμπεριφορών των υλικών.

1.2.Δομή

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται σε οκτώ κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελείται από τους στόχους, την δομή και την περίληψη. Το δεύτερο κεφάλαιο συμπεριλαμβάνει πληροφορίες για το την ιστορία, παραγωγή, συστατικά, δομή και χρήσεις χαρτιού ενώ στο τρίτο κεφάλαιο καταγράφεται ο σκοπός της ανακύκλωσης, είδη των χαρτιών της ανακύκλωσης, οι διεργασίες και τα στάδια ανακύκλωσης και τέλος το νομοθετικό πλαίσιο για την ευρωπαϊκή ένωση και την ανακύκλωση στην Ελλάδα. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθεται έρευνα σχετικά με την αειφόρο ανάπτυξη και την σχεδίαση για αειφορία και ακολουθεί η περιγραφή του cradle to cradle της κυκλικής οικονομίας, και των κινήματων του zero waste, DIY που σχετίζονται με αυτή. Στην συνέχεια αναλύονται κάποια νέα αειφόρα υλικά και οι μέθοδοι ανάπτυξης των DIY υλικών. Στο έκτο κεφάλαιο καταγράφεται το material experience και η μεθοδολογία του material driven design, η οποία εξετάζει το υλικό μέσω δοκιμών και ομάδων συζήτησης, σε τεχνικό, μορφολογικό και αισθητικό επίπεδο. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή των φυτικών ινών που χρησιμοποιήθηκαν και στην συνέχεια περιγράφεται η προετοιμασία της πειραματικής διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε. Στο τελευταίο κεφάλαιο καταγράφονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της πειραματικής διαδικασίας με τις μηχανικές δοκιμές. Στο παράρτημα, παρατίθενται τα διαγράμματα όλων των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, με τις φωτογραφίες των δοκιμών που αντιστοιχούν σε κάθε διάγραμμα.

1.3.Περίληψη

Ο υπερκαταναλωτικός τρόπος ζωής που ακολουθούμε, τα προϊόντα με μικρή διάρκεια ζωής που χρησιμοποιούμε, το γραμμικό σύστημα παραγωγής προϊόντων και η μη αποτελεσματική διαχείριση αποβλήτων έχουν επιφέρει την παγκόσμια περιβαλλοντική, οικονομική, κοινωνική κρίση. Τα προβλήματα αυτά θέτουν την αναγκαιότητα για εφαρμογή καινούργιων κυκλικών μοντέλων ώστε σε κάθε φάση του κύκλου ζωής των προϊόντων να δημιουργούν αξία και να υπάρξει αναπροσδιορισμός στην ανθρώπινη στάση ζωής. Η ανησυχία των σχεδιαστών για ένα βιώσιμο μέλλον στράφηκε στην έρευνα και ανάπτυξη νέων αειφόρων υλικών. Τα DIY υλικά ανήκουν στο zero waste και circular economy κουλτούρας. Οι πέντε κατηγορίες των DIY είναι Kingdoms Vegetabile, Animale, Lapideum, Recuperavit, Mutantis και φορούν φυτικές, ζωικές, ορυκτές ανακυκλωμένες πρώτες ύλες και υβρίδια. Για την δημιουργία αυτών των υλικών χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του πειράματος ανήκει στο Kingdom Vegetabile από τις πέντε κατηγορίες των DIY υλικών.

Για την ανάπτυξη των DIY υλικών χρησιμοποιείται η μέθοδος του Material Driven Design (MDD). Στην συγκεκριμένη μέθοδο ο σχεδιαστής ερευνά και εξετάζει τα τεχνικά, μορφολογικά και αισθητικά χαρακτηριστικά του υλικού. Αυτό αναπτύσσεται μέσω πειραματισμού και δημιουργία ομάδων εστίασης. Έχοντας ως γνώμονα το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας, εξετάστηκαν υλικά από με συνδυασμούς πρώτων υλών για να υποβληθούν σε δοκιμές εφελκυσμού κάμψης και θλίψης, ώστε καταγραφούν οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

2.Χαρτί

2.1.Ιστορία Χαρτιού

Από τα αρχαία χρόνια βλέπουμε τον άνθρωπο να καταγράφει την ζωή και το πολιτισμό του. Αυτό το παρατηρούμε στους τοίχους σπηλαίων, ανακτόρων σε πέτρινες ή κεραμικές πλάκες, σε δέρματα ζώων. Στην Κίνα, κατά την δυναστεία των Χαν, μεταξύ της περιόδου 202π.Χ. έως 220μ.Χ., προσπάθησαν να δημιουργήσουν ένα υλικό το οποίο θα ήταν κατάλληλο για γραφή, ελαφρύ, μεγάλης αντοχής, εύκολο στη μεταφορά και την αποθήκευση και κατά κύριο λόγο να ήταν οικονομικό. Το 105μ.Χ., ο Τσάι Λουν κατάφερε να δημιουργήσει το πρώτο χαρτί χρησιμοποιώντας ίνες φλοιού μουριάς, υπολείμματα από δίχτυα ψαρέματος και ρακή. Ήταν αξιωματούχος της Αυλής και πλέον θεωρείται ο «Άγιος» που κατασκεύασε χαρτί στην Κίνα.

Το 739 μ.Χ., οι Άραβες συνέλαβαν Κινέζους στρατιώτες οι οποίοι ήταν χαρτοποιοί. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ίδρυση της πρώτης χαρτοποιίας από τον κυβερνήτη της Βαγδάτης. Από τότε το χαρτί αγαπήθηκε από πολλούς και το αναζητούσαν όλο και περισσότερο στις χώρες της Μέσης Ανατολής. Καθώς έβλεπαν ότι η ζήτηση του χαρτιού αυξανόταν, δημιουργήθηκαν και άλλες βιομηχανίες παραγωγής χαρτιού. Η Δαμασκός ήταν η μόνη χώρα που έστειλε χαρτί στην Ευρώπη και στις Μουσουλμανικές χώρες. Η χαρτοποιία έγινε πολύ γνωστή και διαδόθηκε από την Μικρά Ασία μέχρι την Βόρεια Αφρική.

Το 18^ο αιώνα, δημιουργήθηκαν πολλά προβλήματα στην παραγωγή χαρτιού. Για παράδειγμα, η έλλειψη πρώτων υλών και η οικονομική ασύμφορη μέθοδο παραγωγής. Αναγκάστηκαν να ανακαλύψουν νέες πρώτες ύλης για την δημιουργία χαρτιού και στράφηκαν στην μηχανική παραγωγή χρησιμοποιώντας ξύλο για την παραγωγή. Μερικά χρόνια αργότερα, ο Γάλλος Nicholas-Louis Robert σχεδίασε την πρώτη μηχανή για την παραγωγή χαρτιού. Στόχος του ήταν να παράγει λείο σε ρολά χαρτί και όχι μεμονωμένα φύλλα που γινόταν πριν. Δυστυχώς όμως δεν υλοποιήθηκε η ιδέα του Nicholas-Louis Robert, καθώς δεν βρέθηκαν επενδυτές. Όταν οι αδελφοί Fourdrinier άκουσαν γι' αυτήν την σχεδίαση θέλησαν να δημιουργήσουν την δική τους μηχανή παραγωγής χαρτιού, για την οποία κατοχύρωσαν παγκόσμιο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Η μηχανή παραγωγής χαρτιού που δημιούργησαν δυστυχώς δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ αλλά έμεινε στην ιστορία.

Το 1850, ο Γερμανός Friedrich Gottlob Keller σύνθλιψε ξύλο με βρεγμένη μυλόπετρα δημιουργώντας ξυλοπολτό χαμηλής ποιότητας. Η ξυλεία στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ήταν άφθονη και οικονομική, με αποτέλεσμα να λύσει το πρόβλημα της έλλειψης πρώτων υλών. Το ξύλο ήταν το κατάλληλο υλικό για την μαζική παραγωγή χαρτιού. Ο πρώτος που χρησιμοποίησε χημικά για την διάλυση ξύλου σε πολτό ήταν ο Άγγλος Hugh Burgess αναπτύσσοντας μαζί με τον Charles Watt την αλκαλική μέθοδο για το χαρτί από ξυλοπολτό. Την μέθοδο αυτή την βελτίωσε ο Αμερικανός χημικός C.B. Tilghman, το 1879, αξιοποιώντας θειικά οξέα. Ο Σουηδός C.F. Dahl, το 1879, δημιούργησε την συνταγή για την παραγωγή χαρτιού Kraft, προσθέτοντας και άλλα θειικά οξέα. Το 1907 στην Αμερική εφαρμόστηκε η μέθοδος Kraft. Αυτή η μέθοδος είχε ως αποτέλεσμα να διπλασιαστεί η μαζική παραγωγή χαρτιού ως 2,5 δισεκατομμύρια τόνους το χρόνο.

Καθώς η παραγωγή χαρτιού εξαπλωνόταν και αυξανόταν με γρήγορους ρυθμούς, οι επιστήμονες αντιλήφθηκαν ότι θα υπήρξε έλλειψη στην πρώτη ύλη (ξυλεία). Η μεγάλη χρήση του χαρτιού είχε ως αποτέλεσμα την μεγάλη χάρτινη μάζα απορριμμάτων. Σκέφτηκαν λοιπόν να αξιοποιήσουν τα χάρτινα απορρίμματα ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χαρτιού. Τέλος, διαπιστώθηκε ότι η ανακύκλωση θα μπορούσε να σώσει εκατομμύρια δέντρα ([Hunter,1974](#) , [Collings,1990](#) , [Vickerman,1995](#) , [Βλέσσας & Μαλακού,2010](#)).

2.2.Παραγωγή Χαρτιού

Κατά την παραγωγή χαρτιού, γίνεται η απελευθέρωση των ινών της κυτταρίνης από την ομοαξονική διάταξή τους μέσα στην φυτική ύλη και η διευθέτησή τους σε επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται με μηχανική ή χημική διάσπαση και μερική ή ολική απομάκρυνση της λιγνίνης και ένα μέρος της ημικυτταρίνης.

Η κυτταρίνη (cellulose) $[(C_6H_{10}O_5)_n]$ είναι πολυσακχαρίτης. Αποτελεί το κύριο συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτικών κυττάρων. Η κύρια λειτουργία της είναι να συγκροτεί τους φυτικούς ιστούς. Είναι φθινό πολυμερές κατάλληλο για την παραγωγή προϊόντων, όπως χαρτί, τεχνικό

μετάξι, συνθετικές ίνες, ραγιόν, φιλμ, εκρηκτικά, πλαστικά, βερνίκια, υφάσματα, μεμβράνες κ.α. (antoine.frostburg.edu).

Η λιγνίνη (lignum) είναι πολυμερές μεγάλου βαθμού πολυμερισμού που αποτελεί την βασική συγκολλητική ουσία του ξύλου. Η λιγνίνη είναι στενά συνδεδεμένη με την κυτταρίνη. Τα φυτά τα οποία δεν περιέχουν λιγνίνη είναι τα βρύα, λειχήνες, φύκια. Η λειτουργία της είναι να συγκρατεί τα μικροϊνίδια της κυτταρίνης ([Φιλίππου](#)).

Η παραγωγή χαρτιού χωρίζεται σε τρία στάδια, πολτοποίηση, ξήρανση φύλλων χαρτιού και φινίρισμα. Τα αρχικά στάδια αφορούν την επεξεργασία της ξυλώδους ύλης, δηλαδή την αποφλοιώση των κορμών δένδρων και τον τεμαχισμό τους σε μικρά κομμάτια. Οι φλοιοί των δένδρων δεν χρησιμοποιούνται γιατί περιέχουν μικρό ποσοστό ινών με ελάχιστη αντοχή. Επίσης, λόγω του χρώματος τους, στο τελικό προϊόν θα εμφανιστούν σκούρα στίγματα ή λεκέδες. Στη συνέχεια τα ξύλα θρυμματίζονται σε τεμάχια, με τη βοήθεια κατάλληλων μηχανημάτων. Ο τεμαχισμός έχει ως απώτερο σκοπό την αποτελεσματική χημική κατεργασία του ξύλου, δηλαδή ομοιόμορφο εμποτισμό με τα διαλύματα των αντιδραστηρίων. Τα τεμάχια ξύλου διέρχονται από κόσκινα με στόχο να απομακρυνθούν τόσο τα λεπτόκοκκα σωματίδια (σκόνη) όσο και τα μεγάλα κομμάτια ή και τα τυχόν συσσωματώματα και υπόκεινται σε πολτοποίηση. Μετά την πολτοποίηση ο πολτός υποβάλλεται σε καθαρισμό, συμπύκνωση, βελτιωτικές επεξεργασίες όπως για παράδειγμα λεύκανση και ξήρανση. Σε αυτό το στάδιο το νερό απομακρύνεται με την βοήθεια βαρυτικών δυνάμεων. Με την βοήθεια κυλίνδρων ασκείται πίεση στον ιστό των ινών για να αφυδατωθεί περισσότερο. Η μείωση της υγρασίας γίνεται μέσω της διεργασίας της ξήρανσης. Σε αυτή την διαδικασία γίνεται η διέλευση του ιστού από θερμαινόμενους κυλίνδρους. Οι ίνες της κυτταρίνης έχουν ένα χαρακτηριστικό, καθώς ξηραίνονται συγκολλούνται μεταξύ τους διότι αναπτύσσουν δεσμούς υδρογόνου ([Patt,2000](#), [Φιλιππακοπούλου,2007](#)).

Οι μέθοδοι διακρίνονται σε μηχανικές και χημικές, ανάλογα με τι μέσα (μηχανικά ή χημικά) χρησιμοποιείται για την αποϊνώση του ξύλου. Οι ιδιότητες του παραγόμενου χαρτιού καθορίζονται σύμφωνα με ποια μέθοδο πολτοποίησης έχει χρησιμοποιηθεί. Στον μηχανικό πολτό (Mechanical Pulp, MP) γίνεται ο διαχωρισμός των ινών από το ξύλο. Οι μηχανικοί πολτοί έχουν

καλύτερη απόδοση στο τελικό προϊόν από τους χημικούς πολτούς γιατί περιέχονται μεγάλες ποσότητες λιγνίνης. Όμως, το χαρτί που παράγεται είναι χαμηλότερης ποιότητας καθώς κιτρινίζει κατά την έκθεσή του στον ήλιο. Στον χημικό πολτό (Chemical Pulp, CP) διαχωρίζονται οι ίνες από το ξύλο με την βοήθεια κατάλληλων χημικών (NaOH, Na₂S, Na₂CO₃, H₂SO₃ κ.ά.), τα οποία απομακρύνουν τη λιγνίνη μεταξύ των ινών. Οι συνηθέστερες μέθοδοι παραγωγής χημικών πολτών είναι η μέθοδος θειωδών, μέθοδος σόδας, μέθοδος θειικών. Η μέθοδος θειωδών είναι όξινη και χρησιμοποιείται διθειώδες ασβέστιο και διαλυμένο διοξείδιο του θείου σε θερμοκρασίες περίπου 135°C. Στόχος είναι να μην γίνει εκτεταμένη όξινη υδρόλυση της κυτταρίνης. Η μέθοδος σόδας είναι μία αλκαλική μέθοδο στην οποία χρησιμοποιείται διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου ως χημικό πολτοποίησης. Η μέθοδος θειικών είναι η εξέλιξη της μεθόδου σόδας. Όπου χρησιμοποιείται θειούχο νάτριο εκτός από υδροξείδιο του νατρίου σε θερμοκρασίες 150 με 180°C ([Gorndon, 1996](#), [Minor, 1996](#), [Roberts, 1996](#)).

2.3.Συστατικά Χαρτιού

Τα συστατικά του χαρτιού ποικίλουν ανάλογα με την μέθοδο, την εποχή και την πρώτη ύλη που έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χαρτιού. Το 1850 το χαρτί παραγόταν από κουρέλια κυτταρικής προέλευσης, λινά, καννάβινα ή βαμβακερά. Το κολλάρισμα γινόταν με ζωική κόλλα, μια ακατέργαστη μορφή ζελατίνης. Το λινό, το καννάβι και το βαμβάκι αποτελούνται κυρίως από κυτταρίνη και περιέχουν σε μικρές ποσότητες ημικυτταρινών και λιγνίνης. Το χαρτί αυτής της περιόδου ονομάζεται χαρτί από κουρέλια ([Barrett, 1989](#), [Waterhouse & Barrett, 1991](#), [Barrett et al., 1996](#)).

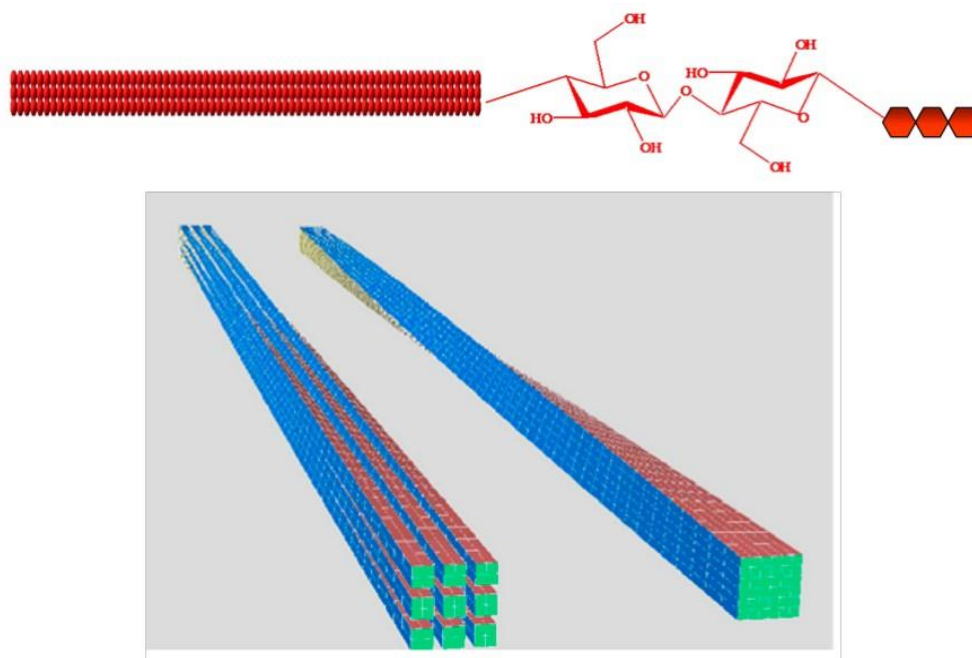
Μετά το 1850, το χαρτί που παραγόταν είχε ως πρώτη ύλη το ξύλο. Εκτός από κυτταρίνη και ημικυτταρίνες, το ξύλο περιέχει και λιγνίνη σε μεγάλες ποσότητες. Ανάλογα με ποια μέθοδο έχει παραχθεί μπορεί να περιέχει ποσότητες λιγνίνης, που το συναντάμε στον μηχανικό πολτό μέχρι ίχνη από λευκασμένο χημικό πολτό. Συνήθως περιέχει κολοφώνιο και θειικό αργίλιο, ένα συνδυασμό χημικών ουσιών που χρησιμοποιήθηκαν για την υδροφοβίωση του χαρτιού. Το χαμηλό του pH καθώς και η συνήθως υποβαθμισμένη κυτταρίνη που περιέχει, το καθιστούν χημικά ασταθές και με χαμηλή αντοχή στη γήρανση ([Wilson, 1970](#), [Wilson & Parks, 1983](#), [El-Saied et al., 1998](#)).

Μετά το 1980, η παραγωγή του χαρτιού γίνεται με την παραγωγή αλκαλικού χαρτιού. Στα σύγχρονα χαρτιά γίνεται η προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου. Αυτή η προσθήκη κάνει το χαρτί να έχει αντοχή στην γήρανση και καθιστά το χαρτί αλκαλικό. ([ISO 9706, 1994](#), [ISO 11108, 1996](#), [Cernic Letnar & Vodopivec, 1997](#), [ANSI/NISO Z39.48, R1997](#)).

2.4.Δομή Χαρτιού

Τα χάρτινα φύλλα αποτελούνται από ίνες κυτταρίνης συνδεδεμένες μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου (Εικόνα 1). Ανάλογα με πόση δύναμη τις έχουμε χτυπήσει παρουσιάζουν διάφορες διαβαθμίσεις διαχωρισμού σε ινίδια.

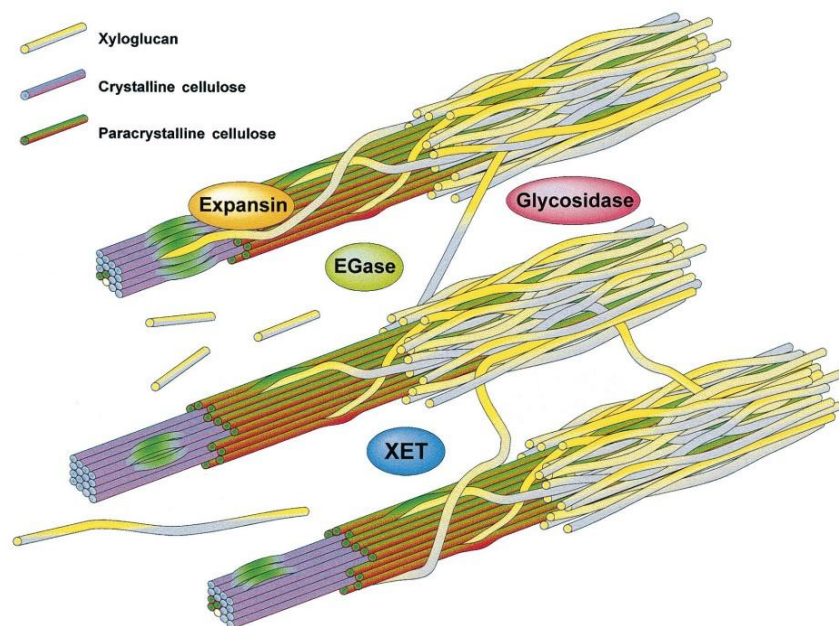
Τα πολυμερή της κυτταρίνης παρουσιάζονται ως διατεταγμένες δομές (μικροϊνίδια) και η κύρια λειτουργία τους είναι να εξασφαλίσουν την ακαμψία του κυτταρικού τοιχώματος των φυτών (Εικόνα 1). Τα μικροϊνίδια έχουν διάμετρο 2-20 nm και μήκους 100 - 40 000 nm και το καθένα περιέχει μέχρι 36 αλυσίδες κυτταρίνης.



Εικόνα 1. Μικροϊνίδια κυτταρίνης

Η ίνα της κυτταρίνης είναι ένα κύτταρο της φυτικής ύλης, που έχουμε χρησιμοποιήσει, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί διάφορα συστατικά όπως, η λιγνίνη. Λόγω της αφαίρεσης αυτού του συστατικού, δεν υπάρχει καλή σύνδεση μεταξύ των ινών. Η ίνα αποτελείται από μακρο- και μικρο-ινίδια, τα

οποία μπορούν να συνδυαστούν ανάλογα με το μέρος του κυτταρικού τοιχώματος που ανήκουν. Τα μακρο- και μικρο-ινίδια αποτελούν τις δομικές μονάδες του κυτταρικού τοιχώματος της ίνας κυτταρίνης.



Εικόνα 2. Πολυσακχαρίτες ξυλογλυκάνης

Οι πολυσακχαρίτες ξυλογλυκάνης στο πρωτεύον κυτταρικό τοίχωμα καλύπτουν τα μικροϊνίδια κυτταρίνης και συνδέονται με τα γειτονικά μικροϊνίδια. (Rose JKC & Bennett AB, 1999)

Το χαρτί έχει πόρους, τρίχες και ρωγμές. Αυτά τα συστήματα είναι χαρακτηριστικά στοιχεία της μικροδομής της κυτταρίνης. Η διόγκωση και η ξήρανση της κυτταρίνης επηρεάζουν τον συνολικό όγκο και την κατανομή των πόρων (Moropoulou & Zervos, 2003, Zervos & Barmpa, 2011).

2.5. Χρήσεις Χαρτιού

Οι χρήσεις του χαρτιού ποικίλουν, ανάλογα με την ανάγκη που έχουμε, το χαρτί αλλάζει και το είδος της χαρτόμαζας. Όλα τα προϊόντα του χαρτιού χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη φυτικές ίνες σε συνδυασμό με άλλα υλικά. Σύμφωνα με την χρήση των χαρτιών διακρίνονται σε κάποιες κατηγορίες.

Πρώτη κατηγορία είναι τα γραφικά χαρτιά. Σε αυτή την κατηγορία συναντάμε τα χαρτιά που χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση εντύπων, όπως, περιοδικά, εφημερίδες, κατάλογοι. Αυτά τα προϊόντα δημιουργούνται από ίνες ή από ανακυκλωμένα χαρτιά. Επίσης περιέχουν μηχανική χαρτόμαζα, η χημική

προστίθεται για να αυξήσει τις μηχανικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες που παρουσιάζουν πρέπει να είναι καλές για τις εκτυπώσεις και θα πρέπει να έχουν χαμηλό κόστος. Μία άλλη κατηγορία είναι τα μη επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης μηχανικής χαρτόμαζας, σε αυτά ανήκουν τα χαρτιά των τηλεφωνικών καταλόγων. Τα μη επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης χημικής χαρτόμαζας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιβλίων και φακέλων. Τα επιχρισμένα χαρτιά εκτύπωσης, μηχανικής και χημικής χαρτόμαζας, χρησιμοποιούνται για περιοδικά, καταλόγους και βιβλία και είναι υψηλής ποιότητας. Τα χαρτιά γραφείου ανήκουν και αυτά στην κατηγορία των γραφικών χαρτιών. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε εκτυπωτές και φωτοαντιγραφικά μηχανήματα. Εκτός από τα γραφεία αυτά τα συναντάμε στα σχολεία και στις δημόσιες υπηρεσίες.

Τα χαρτιά συσκευασίας και χαρτόνια διαθέτουν πολλά είδη προϊόντων χαρτιού. Σε αυτή την κατηγορία συναντάμε χαρτιά για την κατασκευή κυματοειδούς χαρτονιού και κυματοειδών χαρτοκιβωτίων μεταφοράς, χαρτοσάκων και χαρτοσακούλων τροφίμων, περγαμνοειδή χαρτιά (λαδόχαρτο, περγαμνή), χαρτιά περιτύλιξης (χαρτιά κρεοπωλείων-ιχθυοπωλείων, χαρτιά για τύλιγμα ψωμιού), προϊόντα διαμορφωμένου πολτού (αυγοθήκες, φρουτοθήκες), χαρτιά που είναι επικολλημένα σε φύλλα αλουμινίου (συσκευασίες τσιγάρων και σοκολάτας), χαρτόνια για την συσκευασία υγρών τροφίμων (συσκευασίες γάλακτος, χυμών).

Μια σημαντική κατηγορία είναι τα χαρτιά υγιεινής-καθαριότητας, χαρτιά που σχετίζονται με την οικιακή χρήση. Για παράδειγμα, χαρτί υγείας, χαρτί κουζίνας, χαρτομάντιλα, χαρτοπετσέτες, χαρτοβάμβακας, πάνες γυναικών και βρεφών, χάρτινα τραπεζομάντιλα.

Τέλος, υπάρχουν κάποιες ειδικές κατηγορίες χαρτιού και χαρτονιού. Τα χάρτινα φίλτρα οικιακής χρήσης, δηλαδή τα φίλτρα του καφέ. Επίσης, οι χάρτινοι δείκτες και αντιδραστήρια, εδώ συναντάμε το pH-μετρικά χαρτιά. Τα χαρτιά που συναντούμε στον οικοδομικό κλάδο και στην αυτοκινητοβιομηχανία όπως οι γυψοσανίδες. Χαρτιά που χρησιμοποιούνται στα προϊόντα καπνού. Χαρτί βάσης ταπετσαρίας ([Holik,2006](#), [Φιλιππακοπούλου,2007](#), [Patt,2000](#), [Asimov,2001](#), [Biermann, 1996](#), [Guo, Fu, Zhang, 2007](#)).

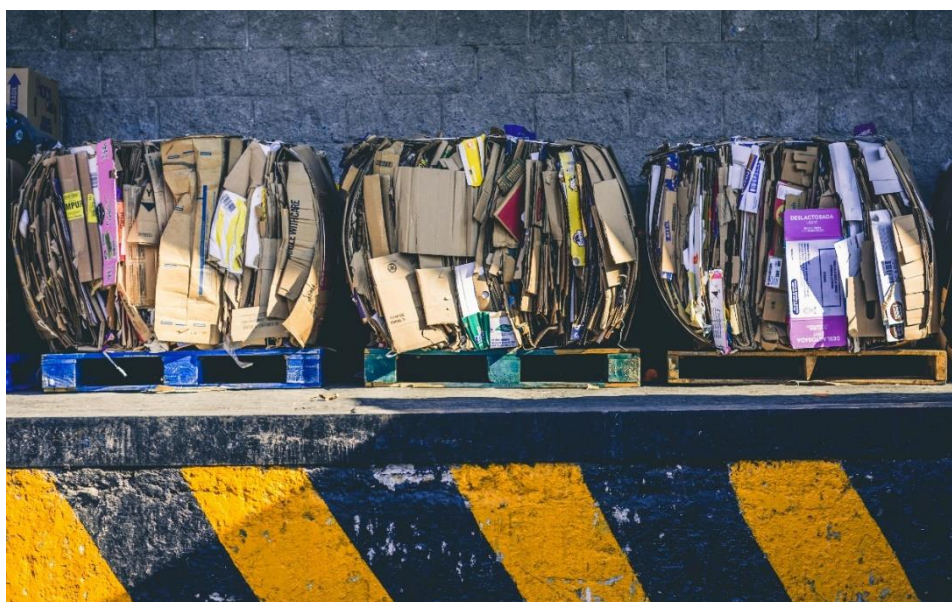
3.Ανακύκλωση του χαρτιού

3.1.Εισαγωγή

Η δυσκολία στην διαχείριση των αποβλήτων άρχισε να δημιουργείται με την βιομηχανική επανάσταση. Λόγω των μαζικών παραγωγών, της αστικοποίησης του πληθυσμού και του υπερκαταναλωτισμού μειώθηκαν οι χώροι για την απόθεση των αποβλήτων. Από τότε ξεκίνησε η δημιουργία της ανακύκλωσης και μέχρι τώρα εξελίσσεται και χρησιμοποιείται.

Η ανακύκλωση μπορούμε να πούμε ότι μιμείται την φύση σε ένα βαθμό. Όπως στην φύση τα απόβλητα από τους οργανισμούς χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες από κάποιους άλλους, έτσι και η ανακύκλωση μέσα από κάποιες διαδικασίες δίνει ζωή στα ήδη χρησιμοποιημένα προϊόντα συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος.

Συγκεκριμένα, το χαρτί μετά την χρήση του μπορεί είτε να απορριφθεί και να γίνει ταφή ή καύση χωρίς ανάκτηση της ενέργειας, είτε να ανακυκλωθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί αφού πρώτα επεξεργαστεί.



Εικόνα 3. Χαρτόκουτα πριν την ανακύκλωση (<https://unsplash.com/>)

3.2.Σκοπός Ανακύκλωσης

Σκοπός της ανακύκλωσης είναι η προστασία του περιβάλλοντος από τα απορρίμματα που έχουν παραχθεί και η εξοικονόμηση των πόρων. Στους

πόρους περιλαμβάνονται οι πρώτες ύλες, το χρήμα και η ενέργεια. Ας πάρουμε για παράδειγμα το χαρτί, με την πολτοποίηση παλιού χαρτιού εξοικονομείται η κατανάλωση του νερού κατά 60%, της ενέργειας κατά 40%, η ρύπανση της ατμόσφαιρας κατά 74% και η μόλυνση του νερού κατά 35%. Επίσης, συμβάλει στην μείωση των απορριμμάτων που κατέληγαν στην ταφή με αποτέλεσμα να μειώνονται τα χημικά που απελευθερωνόντουσαν στο υπέδαφος ([ISWA, Σκορδίλης,1990](#), [Λέκκας,1991](#)).

3.3. Ποιά Χαρτιά Ανακυκλώνονται

Τα κυριότερα είδη χαρτιού τα οποία ανακυκλώνονται χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Τα προ-καταναλωτικά προϊόντα δηλαδή τα χαρτιά που δεν καταναλώθηκαν, όπως απύλητες εφημερίδες, ελλαττωματικά χαρτιά που προέκυψαν κατά την δημιουργία τους. Στην δεύτερη κατηγορία βρίσκονται τα προϊόντα του χαρτιού που έχουν καταναλωθεί. Σε αυτήν περιλαμβάνονται οι εφημερίδες, περιοδικά, χαρτόνια, χάρτινα υλικά συσκευασίας, τα γραφικά χαρτιά και πολλά ακόμη. Τα προϊόντα του χαρτιού που συλλέγονται και ανακυκλώνονται όπως τα χαρτοκιβώτια, εφημερίδες, χάρτινες συσκευασίες και προϊόντα που δεν έχουν καταναλωθεί είναι συνήθως χαμηλότερης ποιότητας και λειτουργικότητας από το αρχικό προϊόν (downcycling). Τα χαρτιά γραφής και εκτύπωσης, υγιεινής και καθαριότητας, περιτύλιξης τροφίμων, παρουσιάζουν προβλήματα κατά την ανακύκλωση και το 20-25% δεν μπορεί να ανακυκλωθεί. Επίσης, ακατάλληλα χαρτιά για ανακύκλωση είναι εκείνα που έχουν αυξημένους ρύπους όπως τα κερωμένα, πλαστικοποιημένα και συσκευασίες χυμών γάλακτος. Ο αριθμός των ανακυκλώσεων είναι γύρω στις πέντε φορές καθώς τα προϊόντα χαρτιού υποβάλλονται σε υποβάθμιση των ιδιοτήτων των και μείωση του μήκους των ινών. ([Masters & Ela, 2008](#))

3.4. Ανακύκλωση και Διαλογή στην Πηγή

Το πρώτο βασικό στάδιο για την ανακύκλωση είναι η Διαλογή στην Πηγή (ΔσΠ). Η Διαλογή στην Πηγή είναι ο διαχωρισμός διακριτών κατηγοριών απορριμμάτων στο σημείο παραγωγής τους (σπίτι, γραφείο, καταστήματα, εμπορικά κέντρα κ.λ.π.) με σκοπό την ξεχωριστή συλλογή και ανακύκλωσή

τους. Επισημαίνεται ότι αυτή η μέθοδος είναι πολύ σημαντική καθώς μειώνει τον όγκο των απορριμμάτων που καταλήγουν στην ταφή ή στην καύση άρα συνεπάγεται και μείωση της ρύπανσης του εδάφους, αέρα και του υδροφόρου ορίζοντα. Στην Διαλογή στην Πηγή εμπλέκεται ο καθένας από εμάς. Αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνεται με στόχο την αποδοτικότερη διαλογή άρα και ανακύκλωση (3r.teetde.gr).

Στο πλαίσιο 2008/98/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας για την διαχείριση απορριμμάτων, η Διαλογή στην Πηγή καθορίζεται ως απαραίτητη για την διαχείριση των απορριμμάτων στο στάδιο της ανακύκλωσης. Οι απαραίτητες κατηγορίες είναι το χαρτί, πλαστικό, χαρτί και μέταλλο.

3.5.Διεργασίες - Στάδια Ανακύκλωσης Χαρτιού

Η διαδικασία της ανακύκλωσης αποτελείται από επτά στάδια (παραλαβή και έλεγχος, πολτοποίηση, καθαρισμός, απομελάνωση, διασπορά, λεύκανση, χαρτοποίηση). Υπάρχει η δυνατότητα στην αύξηση του αριθμού των σταδίων σύμφωνα με την καθαρότητα του τελικού προϊόντος. Για την ανακύκλωση χαρτομάζας με στόχο την δημιουργία χαρτόκουτων χρειάζονται λιγότερα στάδια απ' ό τι για να παραχθεί λευκό χαρτί.

Για να γίνει η ανακύκλωση θα πρέπει να γίνει η συλλογή των απορριμμάτων στους κάδους της ανακύκλωσης. Έπειτα, παραλαμβάνονται και περνούν από μακροσκοπικό έλεγχο της χαρτομάζας, με αποτέλεσμα να γίνει ο διαχωρισμός με τυχόν ανεπιθύμητα υλικά. Ανάλογα με τις ιδιότητες του προϊόντος, τις διεργασίες καθαρισμού και τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθούν γίνεται η απόρριψη των ειδών του παλαιόχαρτου ([Φιλιππακοπούλου,2007](#)).

Το επόμενο στάδιο για την διαδικασία της ανακύκλωσης είναι η πολτοποίηση. Στην πολτοποίηση αναμειγνύεται το παλαιόχαρτο με μεγάλη ποσότητα νερού και εφαρμόζεται η ανάδευση. Καθώς υγροποιείται το χρησιμοποιημένο χαρτί οι δεσμοί του υδρογόνου και οι ίνες του παλαιόχαρτου δημιουργούν μεταξύ τους νέους δεσμούς. Σε αυτήν την διαδικασία χρησιμοποιείται η μηχανική ενέργεια. Η οποία βοηθά στην απελευθέρωση των ινών καθώς αυτές περιβάλλονται από τα μόρια του νερού και την μετατροπή τους σε ένα υδατικό διάλυμα ελεύθερων ινών, χωρίς να υπάρχει μηχανική καταπόνηση. Από αυτήν την διαδικασία

μπορεί να παραχθεί κατ' ευθείαν χαρτί χαμηλής ποιότητας (π.χ. χαρτόκουτα) ή θα χρειαστεί να συνεχιστούν οι υπόλοιπες διαδικασίες ([Φιλιππακοπούλου,2007](#)).

Τις περισσότερες φορές τα χρησιμοποιημένα χαρτιά περιέχουν ανεπιθύμητα υλικά. Αυτά μπορεί να είναι μέταλλα, πλαστικές κόλλες, άμμος, χώμα και άλλα. Τα υλικά αυτά δεν βοηθούν την διαδικασία της ανακύκλωσης με αποτέλεσμα να δημιουργούν προβλήματα. Στόχος της διαδικασίας είναι ο καθαρισμός και η απομάκρυνση αυτών των υλικών. Αυτό γίνεται με την βοήθεια των υδροκυκλώνων υψηλής πυκνότητας και τα κόσκινα. Με την βοήθεια της περιστροφικής κίνησης και των διαφορετικών φυγόκεντρων δυνάμεων διαχωρίζονται τα ανεπιθύμητα υλικά ([Φιλιππακοπούλου,2007](#), [Borchardt,2006](#)).

Η περαιτέρω απομάκρυνση των ρύπων (π.χ. μελάνια) γίνεται στην διαδικασία της απομελάνωσης. Αυτή η διαδικασία χωρίζεται σε τέσσερα στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η αποκόλληση του μελανιού από τις ίνες του παλαιόχαρτου. Το Δεύτερο είναι η κατάλληλη ρύθμιση μεγέθους των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των σωματιδίων του μελανιού. Τρίτον, γίνεται διαχωρισμός των διασκορπισμένων σωματιδίων του μελανιού από τις ίνες. Τέλος, ο καθαρισμός και η ανακύκλωση του νερού ([Borchardt et al.,1995](#)). Σύμφωνα με την διάμετρο των σωματιδίων του μελανιού η απομελάνωση χωρίζεται σε μεθόδους. Οι κυριότερες μέθοδοι είναι η έκπλυση, επίπλευση, φυγοκέντρωση, κοσκίνισμα.

Στην Εικόνα 4, βλέπουμε σχηματικά την παραγωγή χαρτιού και την ανακύκλωση αυτού.



Εικόνα 4. Διαδικασία παραγωγής χαρτιού και διαδικασία ανακύκλωσης

3.4. Νομοθετικό Πλαίσιο και Στρατηγική της ΕΕ για Ανακύκλωση

Στόχος της ΕΕ είναι η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων της υγειονομικής ταφής και καύσης. Οι επιχειρήσεις που παράγουν προϊόντα θα πρέπει να προσαρμοστούν με τους κανονισμούς και να διαχειριστούν τα απόβλητα σε σχέση με τα προϊόντα τους. Μέχρι το 2030 τα κράτη μέλη πρέπει να εξασφαλίσουν ότι μεγάλο ποσοστό των αστικών αποβλήτων θα ανακυκλώνονται και δεν θα γίνονται δεκτά στην υγειονομική ταφή. Τα μέτρα θα ενισχύουν την ανακύκλωση αποβλήτων και η ανακύκλωση θα συμβάλει έτσι στην κυκλική οικονομία. Τέλος, θα ενθαρρύνει την χρήση ανακυκλώσιμων και επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών και θα γίνει βελτίωση σχετικά με την διαχείριση αποβλήτων (consilium.europa.eu).

3.5. Η Ανακύκλωση στην Ελλάδα

Οι δύο βασικοί φορείς συντονισμού και οργάνωσης για την ανακύκλωση είναι η Ελληνική Εταιρία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (ΕΕΑΑ) και ο Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ). Η ΕΕΑΑ ιδρύθηκε τον Δεκέμβριο του 2001 και έχει στόχο οι εταιρίες που συσκευάζουν προϊόντα να ανταποκριθούν στη νομική υποχρέωση τους για την ανακύκλωση των αποβλήτων σύμφωνα με τους κανονισμούς της εθνικής ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Οι ΟΤΑ είναι υπεύθυνοι για την συλλογή δημοτικών αποβλήτων. Και οι δύο δρουν σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου 2393/01 ([herrco.gr](https://www.herrco.gr)).

4. Αειφορία & Αειφόρος Ανάπτυξη

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και εξελιχθεί τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα προκύπτουν από την αλόγιστη κατανάλωση φυσικών πόρων. Επίσης, οι καθημερινές ανθρωπογενείς δραστηριότητες, μεταφορές, βιομηχανία, γεωργία, τουρισμό, θέρμανση, δημιουργούν μεγάλο όγκο αποβλήτων. Όπως έχει προαναφερθεί, αυτά τα απόβλητα καταλήγουν στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος και στα υπόγεια και επιφανειακά νερά. Το ενεργειακό πρόβλημα, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η υποβάθμιση του νερού, η υποβάθμιση του εδάφους θέτουν σε κίνδυνο την βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων του πλανήτη. Εδώ και πολύ καιρό έχει

αναφερθεί ο όρος αειφορία για την υιοθέτηση ενός άλλου τρόπου ζωής και ανάπτυξης.

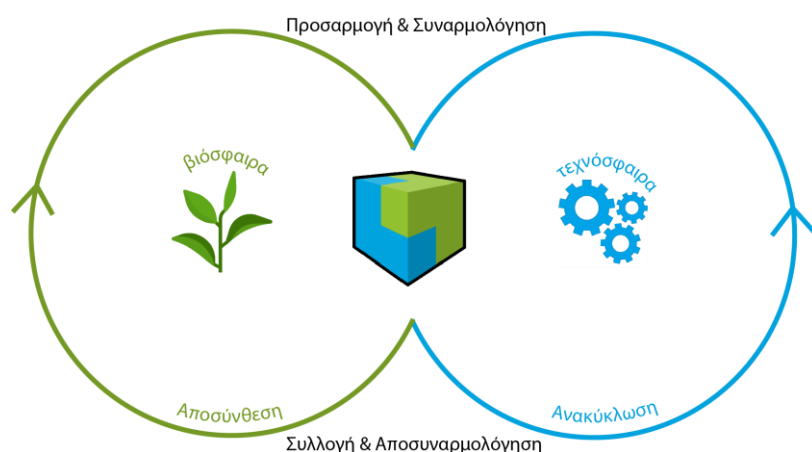
Ο όρος της αειφορίας έχει αναφερθεί για πρώτη φορά στον Σοφοκλή και έχει χρησιμοποιηθεί για την δασοπονία. Είναι μια συγκεκριμένη μέθοδο διαχείρισης του δάσους, όταν αφαιρείται από το δάσος ένας όγκος ξύλου σύμφωνα με αυτόν που έχει παραχθεί κατά το θεωρούμενο διάστημα, λέγεται ότι το δάσος αειφορεί ([Σακιώτη, 2003](#), [Αγγελίδης et al, 2004](#)). Η WCED (World Commission for the Environment and Development) ως αειφόρο ανάπτυξη ορίζει την διαδικασία που ικανοποιεί τις του παρόντος, χωρίς να μειώνει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών ανθρώπων να ικανοποιήσουν τις δικές τους ([Φλογαΐτη, 2006](#)). Οι IUCN (International Union for Conservation of Nature), UNEP (United Nations Environmental Programme), WWF (World Wildlife Fund) ως συμπλήρωμα του παραπάνω ορισμού όρισαν ότι η ανάπτυξη είναι αειφόρος όταν βελτιώνει την ποιότητα ζωής στο πλαίσιο των ορίων που θέτει η φέρουσα ικανότητα των οικοσυστημάτων που υποστηρίζουν τη ζωή. Ως φέρουσα ικανότητα δηλώνεται ο μέγιστος αριθμός ατόμων ενός δεδομένου είδους, τον οποίο το φυσικό περιβάλλον μπορεί να στηρίζει επ' αόριστο. Όταν όμως ένας πληθυσμός υπερβεί αυτόν τον μέγιστο αριθμό, οι φυσικοί πόροι αρχίζουν να φθίνουν και αργότερα θα συμβεί το ίδιο με τον πληθυσμό ([Γεωργόπουλος, 1998](#)).

4.1.Κυκλική Οικονομία

Τα τελευταία χρόνια, ο πλανήτης Γη απειλείται από την κλιματική αλλαγή καθώς παρατηρείται και μείωση φυσικών πόρων. Πλέον είναι ιδιαίτερα σημαντική η διαχείριση των αποβλήτων (στερεών, υγρών, αερίων) και η επαναχρησιμοποίηση των φυσικών πόρων. Έως κάποια χρόνια η οικονομία χρησιμοποιούσε το γραμμικό μοντέλο «παραγωγή – κατανάλωση – απόρριψη», όπου κάθε προϊόν μετά την κατανάλωση του απορριπτόταν. Η κυκλική οικονομία ήρθε να αντικαταστήσει την γραμμική οικονομία και ειδικότερα το στάδιο της απόρριψης με την επαναχρησιμοποίηση. Στόχος της κυκλικής οικονομίας είναι η μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων και η αύξηση της αποδοτικότητας των πρώτων υλών για περισσότερο χρονικό διάστημα χρήσης των προϊόντων. Ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία της κυκλικής οικονομίας είναι η ανακύκλωση ([MacArthur, 2015](#)).

4.2.Cradle to Cradle

Οι Braungart και McDonough ανέπτυξαν το Cradle to Cradle (C2C), το οποίο είναι ένα πλαίσιο σχεδίασης για αιεφορία και διακρίνει ως κύριο σημείο αλλαγής την παραγωγική διαδικασία των προϊόντων. Το C2C μπορούμε να πούμε ότι μιμείται το μοντέλο που ακολουθεί ο κύκλος ζωής της φύσης. Όπως στην φύση, οι καρποί ενός δέντρου θρέφουν άλλους οργανισμούς είτε παράγουν κάποιο άνθος, έτσι και το C2C προσπαθεί να δημιουργήσει αυτόν τον κύκλο. Στόχος του είναι η μείωση και η εξάλειψη των αποβλήτων και σκοπός του είναι η δημιουργία νέου συστήματος το οποίο θα προστατεύει το περιβάλλον και τους ανθρώπους μέσα σε αυτό. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, προτείνεται η εφαρμογή μιας ατέρμονης διαδικασίας μέσω της οποίας τα προϊόντα παραμένουν μέχρι ώστε να αποσυναρμολογηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη (Εικόνα 5) ([Braungart et al, 2002](#)).

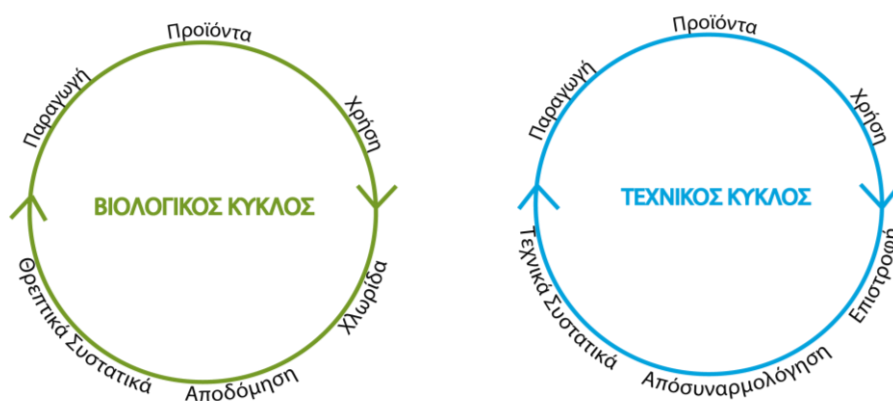


Εικόνα 5. Βιολογικός και τεχνικός μεταβολισμός ([Braungart et al, 2002](#))

Στο βιολογικό μεταβολισμό ανήκουν όλα τα υλικά των προϊόντων που έχουν καταναλωθεί, τα οποία όταν καταλήξουν σε κάποιο φυσικό σύστημα να μπορούν να διασπαστούν και να απορροφηθούν έτσι ώστε να μην δημιουργούν αρνητικό αποτέλεσμα στο περιβάλλον. Επομένως τα καταναλωτικά προϊόντα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα από βιοδιασπώμενα υλικά έτσι ώστε να γίνουν βιολογικά θρεπτικά συστατικά για βιολογικά συστήματα (Εικόνα 6).

Στο τεχνικό μεταβολισμό ανήκουν όλα τα υλικά των προϊόντων που έχουν καταναλωθεί αλλά δεν μπορούν να γίνουν θρεπτικά συστατικά για τα

βιολογικά συστήματα. Αυτά τα υλικά είναι ανθρώπινης τεχνικής, π.χ. μέταλλα, ορυκτά, πλαστικά, συνθετικά κ.α., τα οποία θα κινούνται μέσα σε έναν σύστημα κλειστού βρόχου κατασκευής-ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης χωρίς να δημιουργούν κάποιο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Στον μεταβολισμό αυτό υπάρχουν τεχνικά συστατικά, τα οποία αποτελούν πρώτη ύλη για τεχνικά συστήματα (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Βιολογικός και τεχνικός κύκλος ([Braungart et al, 2002](#))

4.3.Κίνημα zero waste

Το κίνημα zero waste δημιουργήθηκε για να διατηρήσει όλους του πόρους για πιο υπεύθυνη παραγωγή, κατανάλωση, επαναχρησιμοποίηση και αποκατάσταση των υλικών και βιολογικών κύκλων. Στο κίνημα εφαρμόζεται το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας και το cradle to cradle, με απώτερο στόχο την μηδενική (zero) ρίψη των απορριμμάτων (waste) στους χώρους της υγειονομικής ταφής ([Murray, 2002](#)).



Εικόνα 7. Οι 5 βασικές αρχές του zero waste

Άρνηση (REFUSE): Η άρνηση για την αγορά προϊόντων που δεν χρειαζόμαστε είναι πολύ σημαντική αρχή για την ελάττωση των αποβλήτων.

Ελάττωση (REDUCE): Ελαττώνουμε την αλόγιστη αγορά και κατανάλωση των προϊόντων. Η ανταλλαγή, ο δανεισμός μειώνουν τα απόβλητα.

Επαναχρησιμοποίηση (REUSE): Αντικαθιστούμε αντικείμενα που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε καθημερινή βάση. Παύουμε να χρησιμοποιούμε προϊόντα μίας χρήσης.

Ανακύκλωση (RECYCLE): Σε περίπτωση που δεν μπορούμε να εφαρμόσουμε κάποια από τις παραπάνω αρχές, τότε ανακυκλώνουμε τα προϊόντα που έχουμε χρησιμοποιήσει. Τηρώντας τους κανόνες της ανακύκλωσης.

Κομποστοποίηση (ROT): Τα οργανικά απόβλητα μπορούμε να τα κομποστοποιήσουμε. Ψάχνουμε ποια υλικά μπορούν να κομποστοποιηθούν. Τα οργανικά απόβλητα που δεν μπορούμε να τα κομποστοποιήσουμε τα τοποθετούμε στον κάδο γενικής χρήσης.

5.DIY

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν την νοοτροπία του DIY (Do it Yourself). Οι καταναλωτές το χρησιμοποιούν τόσο για τα κίνητρα αγοράς, οικονομικά οφέλη, έλλειψη ποιότητας προϊόντος, έλλειψη διαθεσιμότητας προϊόντος, όσο για την βελτίωση της ταυτότητας, τεχνογνωσία, μοναδικότητα. Από την άλλη, οι σχεδιαστές το χρησιμοποιούν για

την ανάπτυξη DIY υλικών που είναι πιο φιλικά στο περιβάλλον με στόχο τον χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Επομένως, το DIY είναι μια μέθοδος που μπορούμε να κατασκευάσουμε, τροποποιήσουμε, επισκευάσουμε προϊόντα μόνοι μας χωρίς την βοήθεια ειδικών ([Kuznetsov & Pavlos, 2010](#)).

5.1. DIY κίνημα

Ο Άγγλος ποιητής, ζωγράφος, σχεδιαστής William Morris και ο Άγγλος συγγραφέας, ζωγράφος John Ruskin ήταν οι ιδρυτές του κινήματος Arts&Crafts και της κουλτούρας του DIY. Το κίνημα Arts and Crafts δημιουργήθηκε μεταξύ 1850 και 1900 στην Αγγλία. Το DIY κίνημα θεσπίστηκε ως μέθοδο ανακαίνισης σπιτιού. Αργότερα απέκτησε περισσότερο νόημα καθώς προσπάθησε να ανατρέψει και να υπερβεί τον καπιταλισμό ενθαρρύνοντας τον κόσμο να κατασκευάσει, τροποποιήσει, επισκευάσει προϊόντα μόνοι τους. Όλο και περισσότεροι άνθρωποι ανακαλύπτουν την αξία του χειροποίητου μέσω της κουλτούρας του DIY. Επίσης, το ίντερνετ είναι ένας ακόμη παράγοντας που έχει βοηθήσει την εξάπλωση της κουλτούρας του DIY παγκοσμίως. Το DIY υπάρχει παντού γύρω μας, στην διακόσμηση σπιτιού, δημιουργία φαγητού-ρούχων – κοσμημάτων και σε πολλά άλλα. Στόχος του κινήματος είναι η ανάπτυξη της αειφορίας συνδυάζοντας τον δημιουργικό τρόπο ζωής. ([Shukaitis & Graeber 2007](#)).

5.2. DIY υλικά

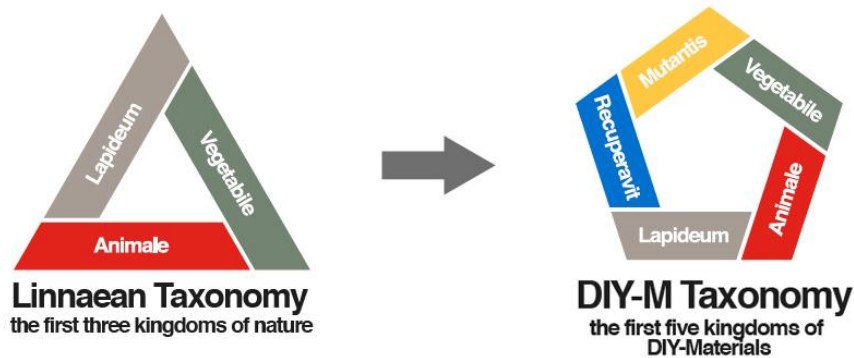
Καθώς η ζήτηση και η κατανάλωση των προϊόντων αυξάνονται έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται τα απόβλητα και μειώνονται οι πρώτες ύλες. Οι σχεδιαστές, τα τελευταία χρόνια, έχουν στόχο την ανάπτυξη νέων DIY υλικών φιλικά προς το περιβάλλον μειώνοντας τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο στα προϊόντα που δημιουργούν. Τα DIY υλικά μπορεί να είναι καινοτόμα υλικά ή αναπτυγμένες εκδόσεις των ήδη υπαρχόντων. Οι σχεδιαστές γίνονται αλχημιστές πρόθυμοι να παράγουν μόνοι υλικά ακολουθώντας την μετατροπή μίας ουσίας σε μία άλλη ([Lee, 2014](#)). Οι σχεδιαστές μπορούν να αναπτύξουν το προϊόν με το υλικό που έχουν φανταστεί, με την βοήθεια των πληροφοριών που βρίσκονται στις ανοικτές βιβλιοθήκες στο διαδίκτυο ή με την συνδρομή σε Fab Labs, όπου προσφέρουν χώρους και εργαλεία για την ανάπτυξη αυτή. Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μία διαφορετική κατεύθυνση όσο αφορά την

ανάπτυξη των καταναλωτικών προϊόντων. Μέχρι και τώρα γινόταν ως εξής, είχαμε κάποια διαθέσιμα υλικά και σύμφωνα με αυτά δημιουργούσαμε κάποια προϊόντα. Πλέον σχεδιάζουμε αειφόρα υλικά για να αναπτύξουμε προϊόντα. Άλλο στοιχείο που έχει επαναπροσδιοριστεί είναι η φόρμες των προϊόντων, στην βιομηχανική παραγωγή μπορούν να παραχθούν μεγάλες ποσότητες προϊόντων με τέλειες επιφάνειες ή φόρμες. Από την άλλη τα DIY υλικά αξιοποιούν την ατέλεια προσθέτοντας αξία, πρωτοτυπία και εξατομίκευση μέσω της έκφρασης και δημιουργίας καινοτόμων προϊόντων. Η διάδοση των νέων υλικών γίνεται πολύ γρήγορα καθώς όλο αυτό προσδίδει μια αντίδραση στην βιομηχανική – μαζική παραγωγή, μια αειφόρα εναλλακτική λύση. Τέλος, η παραγωγή αυτών των υλικών χρησιμοποιεί ως βάση την εμπειρική γνώση και γίνεται σε μικρές ποσότητες όπου ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος μειώνεται ([Rognoli et al., 2015](#)).

5.3. Ταξινόμηση DIY Υλικών

Οι Ayala, Karana, Rognoli ταξινομούν τις πρώτες ύλες για τα DIY υλικά σε πέντε κατηγορίες – βασιλεία, στο άρθρο Five Kingdoms of DIY-Materials for Design (2017). Η ταξινόμηση αυτή βοηθάει τους σχεδιαστές στην κατανόηση των ειδών των πρώτων υλών για να ξεκινήσουν την διαδικασία δημιουργίας DIY υλικών. Η προέλευση των DIY υλικών είναι από μη συμβατικές πηγές όπως, ώριμα φρούτα και λαχανικά, οργανικά και ανόργανα απόβλητα, ζωικά τμήματα. Η ταξινόμηση των πρώτων υλών στις κατηγορίες – βασιλεία δεν είναι αυστηρή καθώς, οι πρώτες ύλες μπορούν να ανήκουν σε περισσότερα από ένα βασίλειο ([Garcia et al., 2017](#)).

Οι κατηγορίες – βασιλεία ταξινόμησης DIY υλικών έχουν έλθει από τις επιστήμες τις βιολογίας, ζωολογίας και γεωλογίας. Αρχικά, η ταξινόμηση διαχωρίζει ένα αποδιοργανωμένο σύνολο σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά ([Ashby & Johnson, 2002](#)).



Εικόνα 8. Προσαρμογή ταξινόμησης για τα DIY υλικά σύμφωνα με τους Ayala, Karana, Rognoli

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε στα αριστερά την ταξινόμηση του Linnaeus από το σύστημα Naturae. Γνωστό σε όλους μας ως μοντέλο που ταξινομεί τα στοιχεία της γης και χωρίζει το βασίλειο της φύσης σε τρεις υποκατηγορίες: φυτικό (Vegetabile), ζωικό (Animale), ανόργανο- ορυκτό (Lapideum). Στο μοντέλο του Linnaeus βασίστηκαν οι Ayala, Karana, Rognoli και εμπλούτισαν με άλλες δύο κατηγορίες, έτσι προέκυψαν οι 5 κατηγορίες - βασιλεία για την ταξινόμηση των DIY:



Εικόνα 9. Τα πέντε βασίλεια των DIY υλικών σύμφωνα με τους Ayala, Karana, Rognoli

Kingdom Vegetabile

Σε αυτό το βασίλειο ανήκουν τα υλικά τα οποία έχουν ως πρώτη ύλη φυτό ή μύκητα. Η κατηγορία αυτή έχει διατηρηθεί από την αρχική ταξινόμηση του Linnaeus. Οι σχεδιαστές συνεργάζονται με αγρότες και βιολόγους προκειμένου να αναπτύξουν και να παράγουν τα DIY υλικά.

Kingdom Animale

Στο ζωικό βασίλειο ανήκουν όλες οι πρώτες ύλες που προέρχονται από ζωντανούς οργανισμούς όπως ζώα ή βακτήρια. Οι σχεδιαστές συλλέγουν τμήματα ζώων (τρίχες, οστά και άλλα) ή βακτήρια για την δημιουργία των DIY υλικών.

Kingdom Lapideum

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όλα τα υλικά των οποίων η πρώτη ύλη τους προέρχεται από ορυκτά (ανόργανη ύλη), πέτρες, άμμος, κεραμικά, άργιλος και άλλα. Μπορούν να συνδυαστούν και με υλικά που βρίσκονται στα υπόλοιπα βασίλεια, όπως υφάσματα από μαλλί ή βαμβάκι. Η κατηγορία αυτή συνδέεται άμεσα με τις παραδοσιακές τεχνικές και την χειροτεχνία.

Kingdom Recuperavit

Σε αυτήν κατηγορία ανήκουν όλες οι πρώτες ύλες που αποτελούν αντικείμενα και υλικά, όπου η κοινωνία τα θεωρεί απόβλητα. Οι σχεδιαστές τα επεξεργάζονται μεταμορφώνοντάς τα σε πολύτιμους πόρους. Συνήθως είναι οικιακά απόβλητα, παραπροϊόντα βιομηχανικής παραγωγή όπως ανόργανα απόβλητα, πλαστικό, μέταλλο, χαρτί και άλλα. Οι σχεδιαστές εμπνέονται και δημιουργούν την πρόθεση για ένα πιο βιώσιμο μέλλον.

Kingdom Mutantis

Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν τα υβριδικά υλικά ή έξυπνα υλικά, που δημιουργούνται από όλα τα προηγούμενα βασίλεια σε συνδυασμό με την τεχνολογία και αναπτύσσονται σε κάτι ξεχωριστό. Η τεχνολογία προκαλεί μετασχηματισμούς και μεταλλάξεις στα υλικά. Οι μεταλλάξεις είναι πολύ σημαντικές στις βιολογικές διαδικασίες της ζωής γιατί έτσι προκύπτει η εξέλιξη.



Εικόνα 10. Τα σύνορα των βασιλείων σύμφωνα με τους Ayala, Karana, Rognoli

Τα προαναφερθέντα βασίλεια έχουν δημιουργηθεί και ταξινομηθεί έτσι ώστε να διευκολύνουν τους σχεδιαστές για την επιλογή της πρώτης ύλης. Μερικές πρώτες ύλες εντάσσονται σε παραπάνω από ένα βασίλειο. Επομένως, οι

κατηγορίες δεν είναι κανόνας στην κατηγοριοποίηση των υλικών και τα σύνορα είναι ευέλικτα (Εικόνα 10).

5.4. Παραδείγματα Αειφόρων DIY Υλικών

1 | Kingdom Vegetabile



Εικόνα 11. MYX - Jonas Edvard

Το MYX ανήκει στο πρώτο βασίλειο. Αποτελείται από φυτικές ίνες και μανιτάρια (μύκητα). Το υλικό αναπτύσσεται σε παίρνει σχήμα σε δύο με τρεις εβδομάδες, το μυκήλιο των μανιταριών σε συνδυασμό με τις φυτικές ίνες αναπτύσσεται και δημιουργεί ένα εύκαμπτο και μαλακό ύφασμα (www.diy-materials.com).



Εικόνα 12. Piñatex – Carmen Hijosa

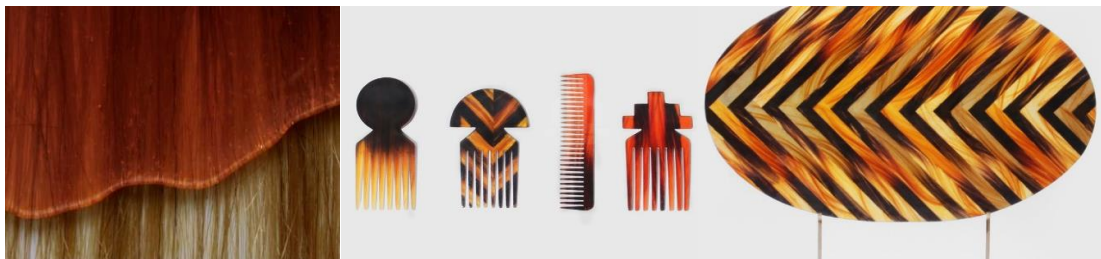
Το Piñatex ανήκει και αυτό στο πρώτο βασίλειο καθώς ως πρώτη ύλη η σχεδιάστρια χρησιμοποιεί τις ίνες ανανά σε συνδυασμό με ζάχαρη, νερό και σκόνη άγαρ. Το αποτέλεσμα είναι ένα ευέλικτο φιλικό προς το περιβάλλον ύφασμα (www.diy-materials.com).

2 | Kingdom Animale



Εικόνα 13. Coleoptera – Aagje Hoekstra

Τα Coleoptera ανήκουν την δεύτερη κατηγορία διότι η πρώτη ύλη που έχει χρησιμοποιηθεί για να παραχθούν είναι ζώα, τα κολεόπτερα. Στην Ολλανδία, οι αλευροσκούληκες, μια προνυμφική μορφή του σκαθαριού, εκτρέφονται για την βιομηχανία ζωοτροφών. Το σκαθάρι πεθαίνει τρεις ή τέσσερις μήνες μετά την ωστοκία των αυγών, επομένως θεωρείται απόβλητο όταν βρίσκεται στο τέλος του κύκλου ζωής. Ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί το σκαθάρι ως πρώτη ύλη και δημιουργεί ένα DIY υλικό (www.diy-materials.com).



Εικόνα 14. Hair Highway – Studio Swine

Χρησιμοποιώντας την ανθρώπινη τρίχα ως πρώτη ύλη, οι σχεδιαστές δημιουργούν αντικείμενα για την βιομηχανία της ομορφιάς και όχι μόνο. Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται όλο και περισσότερο, οι ανθρώπινες τρίχες γίνονται μια άφθονη και ανανεώσιμη εναλλακτική λύση για την μείωση των πόρων (www.diy-materials.com).

3 | Kingdom Lapideum



Εικόνα 15. Oxidation Aftermath

Ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί δύο συγκεκριμένα υλικά, το θείο και το ασήμι, το ένα λειτουργεί σαν καμβάς και το άλλο επιτρέπει στα χρώματα να αναδυθούν. Τα υλικά αυτά δημιουργούν την οξείδωση. Για να διευκολυνθεί η διαδικασία αυτή στα κεραμικά, χρησιμοποιείται ειδικός πηλός από χαρτί. Όταν γίνεται η θέρμανση, το στοιχείο του χαρτιού καίγεται βοηθώντας έτσι την οξείδωση (www.diy-materials.com).



Εικόνα 16. Transience X – Lex Pott

Και σε αυτό το προϊόν χρησιμοποιείται η διαδικασία της οξείδωσης. Το στρώμα του αργύρου στους καθρέφτες οξειδώνεται αργά με την βοήθεια του οξειγόνου και του νερού. Η διαδικασία της οξείδωσης σε έναν καθρέφτη συμβαίνει τυχαία και εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Με την βοήθεια του θείου γίνεται πιο γρήγορη η διαδικασία της οξείδωσης. Στις φωτογραφίες βλέπουμε διαφορετικούς χρωματικούς τόνους αυτό οφείλεται στο χρόνο που το ασήμι αντιδρά με το θείο (www.diy-materials.com).

4 | Kingdom Recuperavit



Εικόνα 17. Blood Bricks – Munro Studio

Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για το συγκεκριμένο προϊόν είναι το αίμα ζώων. Πριν την εμφάνιση των συνθετικών κολλών, το αίμα ζώων για πολλά χρόνια αποτελούσε κύρια πηγή φυσικής κόλλας. Ο σχεδιαστής δημιούργησε ένα νέο αρχιτεκτονικό υλικό χρησιμοποιώντας το αίμα των ζώων, απόβλητο, ως παράγοντα για την στερεοποίηση της άμμου (www.diy-materials.com).



Εικόνα 18. Eggo – Sebastian Aumer

Ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί ανακυκλωμένα κομμάτια από το κέλυφος του αυγού. Το προϊόν αυτό αποσυντίθεται πλήρως καθώς έχει κατασκευαστεί από καζείνη, ξύδι και άμυλο. Το κάθε σκαμνί αποτελείται από 1000 αυγά ψημένα σε φούρνο για δύο ώρες για να επιτευχθεί αρκετά υψηλός δεσμός στο υλικό (www.diy-materials.com).

5 | Kingdom Mutantis



Εικόνα 19. FiDu – Oskar Zieta

Ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί φύλλα χάλυβα φουσκωμένα με αέρα. Συγκολλάει τα φύλλα χάλυβα μεταξύ τους και με την βοήθεια της τεχνολογίας Frei Innen Druck Umformung (Ελεύθερη Παραμόρφωση Εσωτερικής Πίεσης) μεταμορφώνει τις επίπεδες επιφάνειες σε τρισδιάστατες (www.diy-materials.com).

6. Material Driven Design | Ανάπτυξη Υλικού & Υλικών Εμπειριών

Τα υλικά ήταν πάντα στο επίκεντρο των ερευνών και των πρακτικών εφαρμογών στον τομέα της σχεδίασης προϊόντων. Πρόσφατα δημιουργήθηκε το ενδιαφέρον για τα βιώματα και την εμπειρία που αποκτά ο χρήστης με κάποιο προϊόν. Εδώ και χρόνια η επιστήμη των υλικών εξελίσσεται ολοένα και περισσότερο προσφέροντας καινοτόμα, ποιοτικά υλικά με στόχο ένα βιώσιμο μέλλον ([Karana et al, 2015](#)).

Εκτός από το να είναι λειτουργικά κατάλληλο ένα υλικό, πρέπει για την εμπορική διάδοσή του να είναι κοινωνικά και πολιτισμικά αποδεκτό και να προκαλεί απόλαυση και ευχαρίστηση στους χρήστες. Επιπλέον, το υλικό θα πρέπει να δημιουργεί εμπειρίες στους καταναλωτές. Για την δημιουργία ενός υλικού θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν τι κάνει, τι εκφράζει, πως αυτοί αλληλεπιδρούν, τα συναισθήματα που δημιουργούνται μετά την χρήση του και τι τους ωθεί να κάνουν για να αξιοποιήσουν το συγκεκριμένο υλικό ([Karana et al, 2015](#)).

6.1. Μέθοδος MDD

Στην συγκεκριμένη μέθοδος ο σχεδιαστής δημιουργεί αντικείμενα με βασικό άξονα το υλικό. Επίσης, τον παροτρύνει να μελετήσει και να ερευνήσει σε βάθος τις ιδιότητες, τους περιορισμούς που έχει το υλικό καθώς και να υπάρχει συνεχής αλληλεπίδραση με αυτό. Ο σχεδιαστής μέσα από την διαδικασία της αλληλεπίδρασης με το υλικό ακολουθεί μια πορεία όπου αφετηρία είναι ο εντοπισμός των περιορισμών και η ανακάλυψη των αισθητικών και μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού. Έπειτα, δημιουργεί όραμα για την εμπειρία του υλικού και καθορίζει τις απαιτήσεις. Στο τέλος, βρίσκεται η σχεδίαση του αντικειμένου το οποίο θα προκαλέσει μοναδικές εμπειρίες χρήσης. Η ολοκλήρωση της μεθόδου έχει ως στόχο την κατανόηση των σχέσεων ανάμεσα στους χρήστες, αντικείμενα και υλικά που είναι ικανά να δημιουργήσουν ουσιαστικές εμπειρίες ([Karana et al, 2015](#)).

Τα σενάρια της μεθοδολογίας MDD είναι τρία διαφορετικά και είναι ορισμένα σύμφωνα με την φύση του υλικού. Στόχος είναι η διευκόλυνση της διαδικασίας σχεδίασης.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Στο πρώτο σενάριο το υλικό με το οποίο αλληλοεπιδρά ο σχεδιαστής είναι γνωστό και ακολουθείτε από ένα δείγμα το οποίο έχει αναπτυχθεί πλήρως. Επίσης, γνωστές είναι οι χρήσεις και οι τεχνικές ιδιότητες του. Μπορεί στο υλικό να έχουν αποδοθεί πολλά σταθερά νοήματα, ο σχεδιαστής αναζητά νέες εφαρμογές και στόχος του είναι να εκμαιεύσει και να αποδώσει νέα νοήματα για την δημιουργία μιας μοναδικής χρηστικής εμπειρίας. Τέτοια υλικά συνήθως χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία και υλικά που έχουν ενσωματωθεί στην καθημερινότητα. Μέταλλα, ξύλα και πλαστικά είναι κάποια παραδείγματα υλικών που ανήκουν σε αυτό το σενάριο. Η υψηλή τεχνολογία, η παράδοση και η άνεση είναι κάποια από τα νοήματα στα υλικά που προαναφέρθηκαν.

ΣΕΝΑΡΙΟ 2

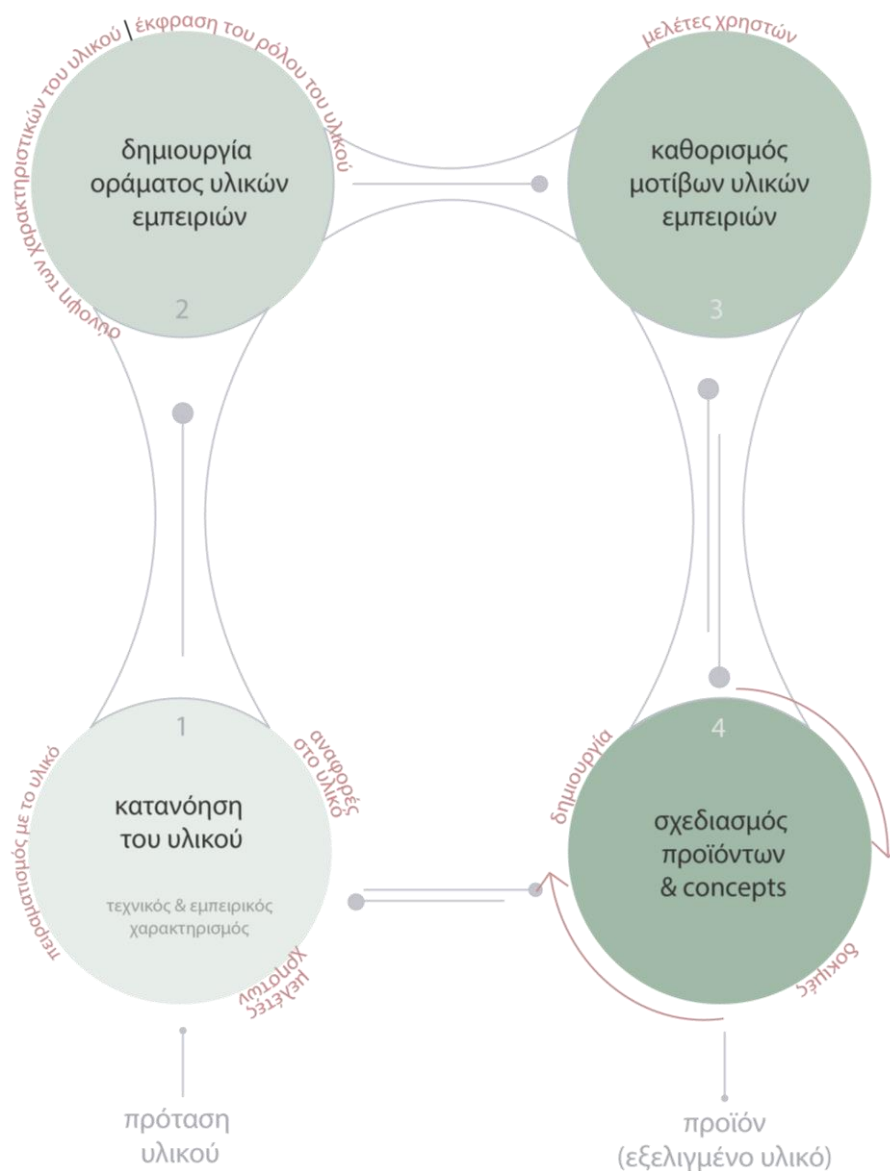
Στο δεύτερο σενάριο ο σχεδιαστής αλληλοεπιδρά με άγνωστα υλικά. Επίσης σε αυτά τα υλικά δεν έχουν αποδοθεί νοήματα. Ο σχεδιαστής έχει την ευκαιρία να ερευνήσει τους τομείς εφαρμογής του υλικού. Μέσα από αυτήν την διαδικασία θα δημιουργηθούν μοναδικές εμπειρίες χρηστών, καινούργιες αποδόσεις νοημάτων και νέοι χαρακτηρισμοί. Σε αυτό το σενάριο γίνεται η χρήση των θερμοχρωματικών υλικών, υλικά που με την αλλαγή της θερμοκρασίας αλλάζουν χρώμα, το υγρό ξύλο και άλλα υλικά τα οποία δεν είναι διαδεδομένα και οι ιδιότητές και η συμπεριφορά είναι άγνωστες.

ΣΕΝΑΡΙΟ 3

Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο ο σχεδιαστής αλληλοεπιδρά με ημιανεπτυγμένα υλικά με άγνωστες χρήσεις και τεχνικές ιδιότητες. Μέσω της σχεδιαστικής διαδικασίας, ο σχεδιαστής εξετάζει και καθορίζει τις ιδιότητες του υλικού και ορίζει έναν νέο κλάδο εφαρμογής. Τα ημιανεπτυγμένα υλικά δεν έχουν νοήματα. Επομένως, ο σχεδιαστής προτείνει ουσιαστικές εφαρμογές, μέσα από τις οποίες θα γεννηθούν μοναδικές εμπειρίες χρηστών και αποδόσεις νοημάτων. Αυτά τα υλικά έχουν ως πρώτη ύλη οργανικά απόβλητα, μύκητες, υφάσματα ή ενδέχεται να είναι διαφορετικές εφαρμογές από υλικά που υπάρχουν ήδη, παράδειγμα οι 3D εκτυπωτές και οι O-LED ευέλικτες οθόνες κ.α.

6.2.Βήματα Μεθόδου MDD

Σύμφωνα με τους Rognoli, Bianchini, Maffei και Karana, η μεθοδολογία MDD συγκροτείται από τέσσερα ιεραρχημένα και αλληλένδετα βήματα. Η διαδικασία αρχίζει από ένα υλικό ή μια πρόταση για ένα νέο υλικό, σύμφωνα με τα τρία σενάρια, και η διαδικασία θα ολοκληρωθεί όταν δημιουργεί ένα προϊόν ή ένα ανεπτυγμένο υλικό. Στην διαδικασία αυτή, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην «πορεία» του σχεδιαστή από το χειροπιαστό υλικό στο αφηρημένο, όραμα των υλικών εμπειριών, και ξανά πίσω στο χειροπιαστό, τελικό προϊόν ή ανεπτυγμένο υλικό. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα βήματα της μεθοδολογίας του MDD:



Εικόνα 20. Βήματα Μεθοδολογίας MDD (Karana et al, 2015)

ΒΗΜΑ 1 | κατανόηση υλικού

Πρωταρχικός στόχος του σχεδιαστή είναι να κατανοήσει το υλικό σε μηχανικό, τεχνικό και βιωματικό επίπεδο μέσω των πειραματισμών. Σε αυτό το βήμα περιλαμβάνεται και ο πειραματισμός με το υλικό, με αποτέλεσμα τον ορισμό των ιδιοτήτων του υλικού. Οι δοκιμές που μπορεί να υποβάλει ο σχεδιαστής στο υλικό είναι ο εφελκυσμός, η κάμψη, η καύση, η θλίψη, ο λυγισμός επίσης μπορεί να το σπάσει, να το κόψει ή να το υποβάλει σε όποια εντατική κατάσταση επιθυμεί. Οι ευκαιρίες, οι περιορισμοί αλλά και η φανέρωση των έμφυτων χαρακτηριστικών του υλικού γεννιούνται μέσα από την διαδικασία του πειραματισμού. Στο τέλος της διαδικασίας, ο σχεδιαστής έχει καταλάβει τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού και τους περιορισμούς αυτού. Επιπροσθέτως είναι ικανός να απαντήσει σε κάποια σημαντικά ερωτήματα σχετικά με το υλικό που δημιούργησε. Για τον εμπειρικό χαρακτηρισμό του, ο σχεδιαστής θα πρέπει να έχει στο μυαλό του τους τέσσερις βασικούς πυλώνες του material experience. Αυτοί οι πυλώνες είναι: sensorial (αισθητικό), interpretive (ερμηνευτικό), affective (συγκινησιακό) και performative (αποδοτικό). Οι διαφορετικές υφές και μορφές του υλικού έχουν ως στόχο την κατανόηση και καταγραφή από το κοινό των focus group σύμφωνα με τα τέσσερα επίπεδα του material experience. Επίσης, οι συμμετέχοντες θα απαντήσουν σε ερωτήσεις. Μερικές από τις ερωτήσεις είναι: "ποια είναι τα καλύτερα και χειρότερα αισθητικά χαρακτηριστικά του; προκαλεί συγκεκριμένα συναισθήματα, όπως έκπληξη, αγάπη, μίσος, φόβο; σχετίζεται με κάποιο άλλο υλικό βάσει των παρόμοιων αισθητικών χαρακτηριστικών του;".

Όστε να γίνει η καλύτερη κατανόηση των ιδιοτήτων των υλικών και των αλληλεπιδράσεων από το κοινό, γίνεται η πρόταση για την δημιουργία mind map για την καταγραφή όλων των αντιδράσεων των χρηστών που συμμετείχαν στα focus group. Το mind map βοηθάει στον εντοπισμό των αλληλοσχετίσεων μεταξύ των τεσσάρων βασικών κριτηρίων του material experience βοηθώντας τον σχεδιαστή να πάρει αποφάσεις. Τελικός στόχος του σχεδιαστή είναι να ξεχωρίσει τις εφαρμογές τους υλικού και να εντοπίσει πιθανά προβλήματα που θα υπάρξουν ώστε να τα αποφύγει.

ΒΗΜΑ 2 | δημιουργία οράματος υλικών εμπειριών

Στο επόμενο βήμα, γίνεται η καταγραφή των προθέσεων ή του οράματος από τον σχεδιαστή για την βιωματική εμπειρία που έχει προκύψει από το υλικό. Το

όραμα των υλικών εμπειριών είναι πως ο σχεδιαστής έχει οραματιστεί την λειτουργία και την δημιουργία του υλικού σύμφωνα με την απόδοση, την συνεισφορά για μια και μοναδική χρηστική εμπειρία όταν ενσωματωθεί σε κάποιο προϊόν. Επίσης, τον σκοπό που έχει σε σχέση με άλλα προϊόντα αλλά και σε ένα πιο μεγαλύτερο πλαίσιο το οποίο σχετίζεται με την αειφορία, περιβάλλον, κοινωνία και αντίκτυπος στο πλανήτη. Μέλημα του σχεδιαστή είναι να ερευνήσει τους παράγοντες που έχουν αλλάξει, εκείνους που έχουν μείνει ίδιοι, τις αξίες και τις εμπειρίες που έχουν αναδυθεί σε μία κοινωνία. Αυτό θα βοηθήσει τον σχεδιαστή να ορίσει το όραμα που έχει και ως αποτέλεσμα να το εφαρμόσει μελλοντικά. Μερικές από τις ερωτήσεις που μπορούν να βοηθήσουν τον σχεδιαστή για την κατασκευή του οράματος για την υλική εμπειρία είναι: "ποια είναι τα μοναδικά τεχνικά και βιωματικά χαρακτηριστικά στα οποία πρέπει να δοθεί έμφαση; ποια θα είναι η μοναδική συνεισφορά του; ποιος θα είναι ο ρόλος του σε ένα ευρύ πλαίσιο όπως αυτό της κοινωνίας ή του πλανήτη;".

ΒΗΜΑ 3 | καθορισμός μοτίβων υλικών εμπειριών

Το τρίτο βήμα συνδέεται με το δεύτερο. Ο σχεδιαστής διατυπώνει τις αλληλοσχετίσεις του οράματος που διατυπώθηκαν στο προηγούμενο βήμα καθώς και τις επίσημες ιδιότητες και νοήματα των νέων υλικών και καταναλωτικών προϊόντων. Η περεταίρω ανάλυση των προοπτικών και αλληλεπιδράσεων βοηθούν τον σχεδιαστή να καταλήξει στις σημασίες που έχουν αποδυθεί. Μερικές από τις ερωτήσεις που θα βοηθήσουν στον καθορισμό των μοτίβων των υλικών εμπειριών είναι: "ποιες είναι οι αλληλοσχετίσεις μεταξύ της προοπτικής για την εμπειρία του υλικού και τις επίσημες ιδιότητες των υλικών και προϊόντων; ποια είναι τα χαρακτηριστικά ενός περιστασιακού συνόλου όταν αποσπάται η επιδιωκόμενη εμπειρία; πως εκδηλώνονται τα μοτίβα της εμπειρίας χρηστών, σε σχέση με τα υλικά;".

Όστε να γίνει η καλύτερη ερμηνεία με ποιον τρόπο οι χρήστες χειρίστηκαν το υλικό και αλληλεπίδρασαν με αυτό, γίνεται η πρόταση μιας μεθόδου. Ο σχεδιαστής θα ερμηνεύσει, συγκρίνει και θα δημιουργήσει μοτίβα. Αυτή είναι η μέθοδος του Meaning Driven Materials Selection (MDMS) ([Karana and Hekkert, 2010](#)).

Στο τέλος του τρίτου βήματος, ο σχεδιαστής μέσω της διαίσθησής του θα συγκεντρώσει τα αποτελέσματα και θα τα ερμηνεύσει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σχηματιστούν σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων και των νοημάτων, ώστε να βρεθούν νοήματα μέσα των απαντήσεων. Τα συμπεράσματα των νοημάτων σχετίζονται με την απόδοση των νοημάτων που έχει δώσει ο σχεδιαστής στο υλικό.

ΒΗΜΑ 4 | σχεδιασμός προϊόντων & concepts

Στο τέταρτο βήμα, ο σχεδιαστής συγκεντρώνει όλα τα ευρήματα από τα προηγούμενα βήματα και τα ενσωματώνει σε ένα προϊόν, μέσα από μία σχεδιαστική διαδικασία που έχει ως επίκεντρο το υλικό. Όταν ο σχεδιαστής φτάνει στο τέταρτο βήμα, υπάρχει η περίπτωση να έχει ήδη μια ιδέα διαφορετικά αρχίζει η φάση του ιδεασμού, αξιοποιώντας τα ευρήματα από το material experience (βήμα 1) και τα focus group (βήμα 3). Το concept ή τα concepts με τις περισσότερες προοπτικές θα υποβληθεί ή υποβληθούν σε μηχανικές δοκιμές. Όσο για το material experience, η αξιολόγηση θα γίνει από το υλικό των focus group.

Με το πέρας αυτής της διαδικασίας, ο σχεδιαστής δεν υποχρεούται να δημιουργήσει ένα προϊόν. Αυτό εξαρτάται από τους σκοπούς και τα ενδιαφέροντα που έχει ο εκάστοτε σχεδιαστής. Είναι στην κρίση του να συνεχίζει στη δημιουργία ενός προϊόντος ή αν θα προτείνει ένα υλικό.

7.Περιγραφή Πειράματος

Σκοπός του πειράματος είναι η ανάπτυξη νέων αιεφόρων υλικών, αξιοποιώντας ως πρώτη ύλη χρησιμοποιημένο χαρτί σε συνδυασμό με τις φυτικές ίνες από τα απόβλητα τροφίμων. Η δημιουργία αυτή θα γίνει αξιοποιώντας την μέθοδο του DIY (Do it Yourself) και της χαρτοποιίας. Απώτερος στόχος αυτής η εργασία είναι να εστιάσει στην εύρεση, μελέτη και καταγραφή των μηχανικών συμπεριφορών των υλικών. Τα υλικά τα οποία δημιουργήθηκαν ανήκουν στα Vegetabile, Recuperavit βασιλεία και εντάσσονται στο σενάριο που αφορά υλικά ημι-ανεπτυγμένα από την μεθοδολογία του MDD (Material Driven Design). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία θα λειτουργήσει ως γνώμονα για την περιγραφή της διαδικασίας του πειράματος.

Αρχικά δημιουργήθηκαν 60 δοκίμια για μηχανικές δοκιμές, 20 δοκίμια για θλίψη, 20 για εφελκυσμό και 20 για κάμψη. Τα δοκίμια θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένο μέγεθος και να αποτελούνται από απόβλητα. Επομένως, χρησιμοποιήθηκαν καλούπια σιλικόνης με διαστάσεις 50 x 50 x 50 mm για θλίψη, καλούπια μακετόχαρτου με διαστάσεις 180 x 30 x 40 mm για κάμψη και για τον εφελκυσμό 160 x 35 x 3 mm. Τα απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν είναι χρησιμοποιημένο χαρτί, σημειώσεις της σχολής, και απόβλητα τροφίμων, φυτικές ίνες μπανάνας και σέλερι.



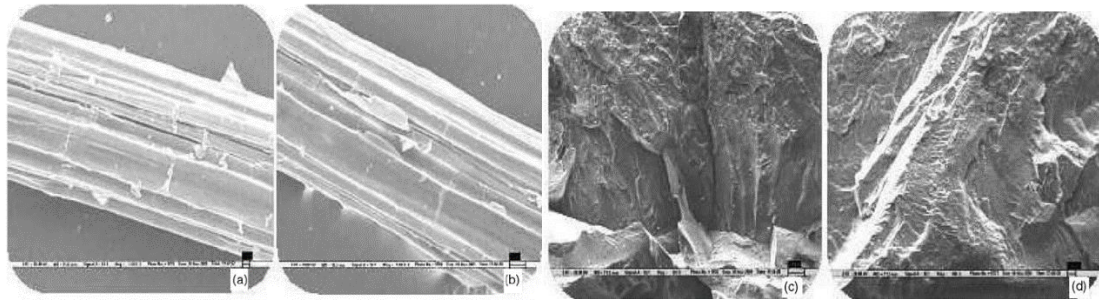
Εικόνα 21. Καλούπια που χρησιμοποιήθηκαν

Τα υλικά τα οποία δημιουργήθηκαν είναι φυσικά πολυμερή. Πολυμερή λέγονται τα υλικά που μία ουσία τους που δομείται από μόρια, βάση τα οποία σχηματίζονται με πολλαπλή επανάληψη στοιχειωδών δομικών μονάδων. Επίσης, οι ιδιότητες αλλάζουν αν προστεθούν ή αφαιρεθούν μονάδες. Τα φυσικά πολυμερή, παράγονται κυρίως από φυτά ή από ζώα και αξιοποιούνται μετά από ορισμένες διεργασίες.

7.1. Πρώτη ύλη

Φυτικές ίνες | μπανάνα

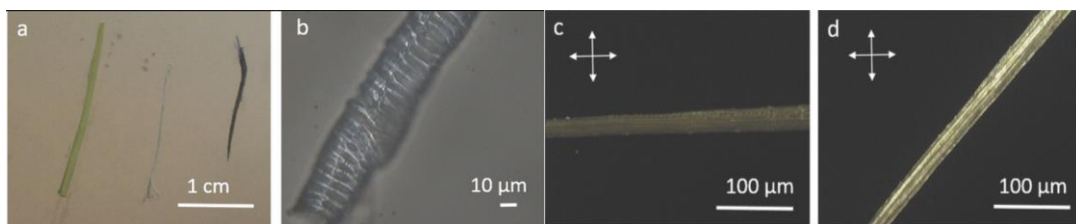
Οι ίνες της μπανάνας είναι μία από τις πιο ισχυρές φυτικές ίνες στον κόσμο. Οι συγκεκριμένες ίνες αποτελούνται από κυτταρικό ιστό με παχύ τοίχωμα, το οποίο είναι συνδεδεμένο με φυσικά κόμματα, πολυσακχαρίτες φυσικής προέλευσης, και αποτελείται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη. Το φυσικό κόμμα είναι ικανό να προκαλέσει μεγάλη αύξηση στο ιξώδες ενός διαλύματος. Θεωρείται ότι οι φυσικές ίνες μπαμπού με της μπανάνας είναι παρόμοιες. Όμως η λεπτότητα και η αντοχή σε εφελκυσμό δείχνουν ότι είναι οι καλύτερες. Στην (Εικόνα 21) παρατηρούμε τις φυτικές ίνες της μπανάνας.



Εικόνα 22. Φυτικές ίνες μπανάνας από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Sharma, 2013)

Φυτικές ίνες | σέλερι

Το σέλερι αποτελείται από μακρύ ινώδες μίσχο που λεπταίνει προς τα φύλλα. Όπως και η μπανάνα έτσι και το σέλερι αποτελείται από κυτταρίνη και λιγνίνη. Στην Εικόνα (23) παρατηρούμε τις διαστάσεις της φυτικής ίνας σέλερι.



Εικόνα 23. Φυτικές ίνες σέλερι από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Elfwing et al., 2018)

7.2. Διαδικασία

Φυτικές ίνες | σέλερι & μπανάνα

Η διαδικασία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των υλικών είναι κοινή. Αρχικά γίνεται η ξήρανση των φυτικών ινών που θα χρησιμοποιηθούν, σέλερι και μπανάνα. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, γίνεται το βράσιμο των ινών με καυστική σόδα (Εικόνα 24 - 1) για να γίνει ο διαχωρισμός της κυτταρίνης από την λιγνίνη, η κυτταρίνη είναι άμυλο και είναι από τα κύρια δομικά πολυμερή. Η περιεκτικότητα της σόδας στο διάλυμα είναι 12%, στα 100ml νερού χρειάστηκαν 12ml σόδας. Τα 100g φυτικών ινών χρειάστηκαν 2lt διαλύματος σόδας και νερού. Οι ίνες πρέπει να καλύπτονται από το διάλυμα. Προσθέτουμε το διάλυμα με τις ίνες σε ένα μαγειρικό σκεύος και το βράζουμε για μία ώρα σε μέτρια φωτιά. Όταν ολοκληρωθεί ο βρασμός, παίρνουμε ένα κόσκινο και τοποθετούμε πάνω ένα πανί, για να στραγγίσουν και να κρυώσουν

οι φυτικές ίνες που αποτελούνται μόνο από κυτταρίνη(Εικόνα 24 - 2). Το μείγμα μας θα είναι πολύ μαλακό και οι φυτικές ίνες θα είναι πιο εμφανείς. Στην συνέχεια ξεπλένουμε με κρύο νερό το μείγμα για να φύγουν τυχόν υπολείμματα σόδας. Τον πολτό, στην συνέχεια θα την επεξεργαστούμε ως εξής, θα πάρουμε ένα σφυρί και θα χτυπούμε το μείγμα μέχρι να ομογενοποιηθεί (Εικόνα 24 - 3). Η διαδικασία του χτυπήματος έχει ως στόχο τον διαχωρισμό των ινιδίων της κυτταρίνης, την μείωση του μήκους τους και την αύξηση της επιφάνειας επαφής μεταξύ των ινών.

Χαρτί | χρησιμοποιημένο χαρτί από σημειώσεις

Η διαδικασία η οποία χρησιμοποιήθηκε για το χαρτί είναι η εξής, ζυγίζουμε 100g χρησιμοποιημένο χαρτί. Το τοποθετούμε σε ένα μπολ με νερό, στόχος μας είναι το υδάτινο διάλυμα να καλύπτει το χαρτί. Καθώς υγροποιείται το χρησιμοποιημένο χαρτί οι δεσμοί του υδρογόνου και οι ίνες του παλαιού χαρτιού δημιουργούν μεταξύ τους νέους δεσμούς. Αφήνουμε το μείγμα για περίπου μισή ώρα. Παρατηρούμε ότι το νερό αλλάζει χρώμα και γίνεται το χρώμα το στυλό που χρησιμοποιήσαμε. Μετά το πέρας της μισής ώρας, στραγγίζουμε το μείγμα σε ένα σουρωτήρι και ξεπλένουμε με τρεχούμενο νερό. Στόχος είναι η καλύτερη φυσική αποχρωμάτιση του χαρτιού. Επόμενο βήμα είναι να δημιουργήσουμε τον πολτό του χαρτιού. Με την βοήθεια του μπλέντερ προσθέτουμε νερό και χαρτί. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, στο σουρωτήρι βάζουμε ένα πανί ώστε στραγγιστεί το μείγμα του χαρτιού με το νερό (Εικόνα 24 - 4).

Μίξη | χαρτί & φυτικές ίνες για θλίψη και κάμψη

Παίρνουμε ένα μπολ και τοποθετούμε μέσα τις φυτικές ίνες και το χαρτί που έχουν στραγγιστεί. Με την βοήθεια των χεριών ασκούμε κάθετες πιέσεις στο μείγμα ώστε να ομογενοποιηθεί (Εικόνα 24 – 5). Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία, χωρίζουμε το μείγμα μας στα καλούπια (Εικόνα 24 – 6).



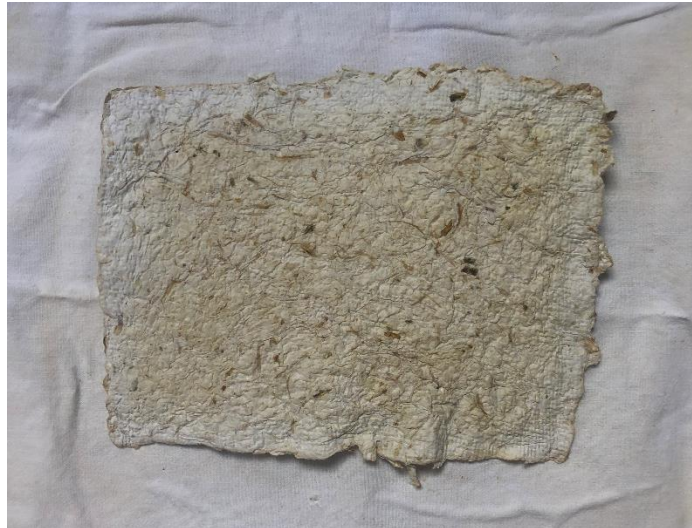
Εικόνα 24. Διαδικασία για παραγωγή χαρτιού με φυτικές ίνες

Μίξη | χαρτί & φυτικές ίνες για εφελκυσμό

Παίρνουμε ένα μπολ και τοποθετούμε μέσα τις φυτικές ίνες και το χαρτί που έχουν στραγγιστεί. Με τα χέρια ασκούμε κάθετες πιέσεις στο μείγμα ώστε να ομογενοποιηθεί (Εικόνα 24 – 5). Σε ένα μπολ τοποθετούμε 1lt νερό και προσθέτουμε 500ml από το ομογενές μείγμα μας. Ανακατεύουμε και το οδηγούμε στο τελάρο. Όταν στραγγίσει το μείγμα που βρίσκεται στο τελάρο, το μεταφέρουμε σε ένα ύφασμα για να στεγνώσει (Εικόνα 26).



Εικόνα 25. Διαδικασία παραγωγής χαρτιού με φυτικές ίνες για εφελκυσμό



Εικόνα 26. Ξήρανση υλικού

7.3. Συμπεράσματα

Καθ' όλη την διάρκεια της ανάπτυξης των υλικών από χαρτί και φυτικές ίνες κάποιοι παράμετροι επηρέασαν την υφή, δομή, ελαστικότητα και την όψη. Η υφή επηρεάστηκε από το μήκος και το πάχος των φυτικών ινών. Το χρώμα στην όψη έχει να κάνει τόσο με το αν η ξήρανση πραγματοποιήθηκε σε σκιά ή σε μέρος όπου οι ακτίνες του ηλίου ερχόντουσαν σε άμεση επαφή με το υλικό. Επίσης, η μη δημιουργία μικροοργανισμών οφείλεται στο ποσοστό της υγρασίας στο υλικό. Η ταχεία ξήρανση οφείλεται στις καιρικές συνθήκες καθώς το πείραμα αναπτύχθηκε σε σπίτι. Εντοπίζοντας αυτές τις παραμέτρους, πάρθηκε η απόφαση για αναλυτικότερη μηχανική διερεύνηση των υλικών με χαρτί και φυτικές ίνες.

8. Μηχανικές Δοκιμές

Οι μηχανικές δοκιμές διεξάχθηκαν στο εργαστήριο του ολοκληρωμένου βιομηχανικού σχεδιασμού στην Σύρο, στο τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου, με την πολύτιμη βοήθεια του καθηγητή Νικόλαο Ζαχαρόπουλο και Νικόλαο Πολιτόπουλο. Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για να τις μηχανικές δοκιμές είναι το Shimadzu AG-X plus 100 kN. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ήταν εφελκυσμός, κάμψη και θλίψη, με ρυθμό απομάκρυνση δαγκανών 5mm/min για τον εφελκυσμό, 5mm/min για την κάμψη, 1.75mm/min και 8.75mm/min για την θλίψη.

Από το πείραμα που διεξήχθη στο εργαστήριο προέκυψαν διαγράμματα δύναμης $F(N)$ – μετατόπισης $u(mm)$. Τα διαγράμματα του εφελκυσμού μετατράπηκαν σε τάσης σ (MPa) – παραμόρφωσης ϵ (mm/mm). Από αυτά τα διαγράμματα βρέθηκε το μέτρο ελαστικότητας, φέρνοντας την εφαπτόμενη ευθεία από το σημείο όπου εμφανίζεται η μεταβολή της δύναμης με την μετατόπιση.

Για τον εφελκυσμό και την θλίψη υπολογίστηκαν:

$$\text{Μέγιστη τάση: } \sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A_0}$$

F_{\max} : μέγιστη δύναμη

A_0 : αρχικό εμβαδόν της επιφάνειας στην οποία ασκείται η δύναμη

$$\text{Παραμόρφωση: } \epsilon = \frac{u}{l_0}$$

u : μετατόπιση

l_0 : αρχικό μήκος δοκιμίου

Για την κάμψη υπολογίστηκαν:

$$\text{Μέγιστη τάση ορθογώνιας διατομής: } \sigma_{\max} = \frac{3FL}{2bt^2}$$

L : μήκος δοκιμίου

b : πλάτος

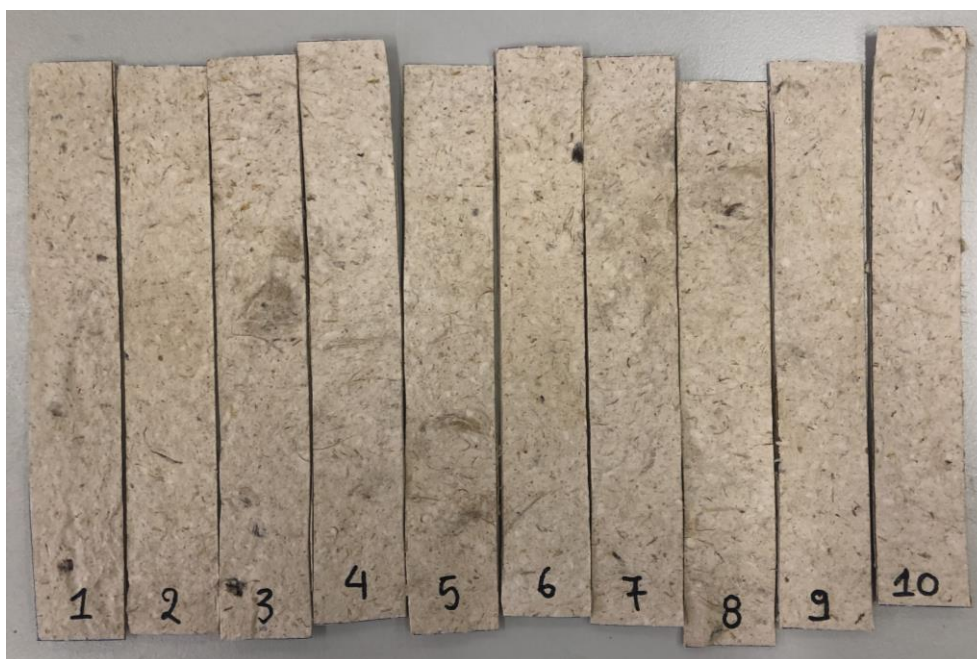
t : πάχος

$$\text{Μέση τιμή: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

$$\text{Τυπική απόκλιση: } s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

8.1.Εφελκυσμός

Η ταχύτητα με την οποία κινείται το έμβολο της μηχανής φόρτισης, κατά την εφελκυσμό, εξαρτάται από 2 παράγοντες: τον επιθυμητό ρυθμό παραμόρφωσης που θέλουμε να υποβάλουμε και το ωφέλιμο μήκος μεταξύ των δαγκανών, το ωφέλιμο μήκος ήταν $l = 100\text{mm}$ και το πάχος των δοκιμίων 1 έως 3mm. Το πόσο μετατοπίζεται το υλικό στην κατεύθυνση της δύναμης, στη μονάδα του χρόνου, ορίζεται από τον ρυθμό μετατόπισής του όπου ορίστηκε εξ' αρχής στα 5mm/min. Πραγματοποιήθηκαν 20 δοκιμές εφελκυσμού, 10 δοκιμές για το ανακυκλωμένο χαρτί με σέλερι και 10 για το ανακυκλωμένο χαρτί με μπανάνα.



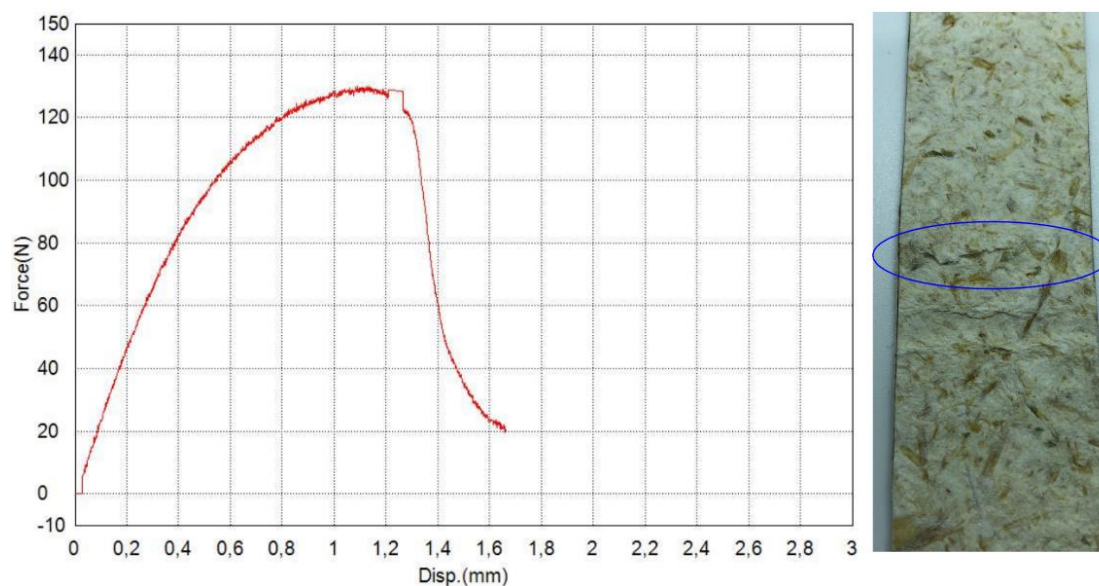
Εικόνα 27. Δοκίμια μπανάνας πριν υποστούν εφελκυσμό



Εικόνα 28. Δοκιμή εφελκυσμού για υλικό από χαρτί και φυτικές ίνες

Από τις μηχανικές δοκιμές προέκυψαν διαγράμματα δύναμης Force(N) – μετατόπισης Displacement(mm), από τα διαγράμματα αντλήσαμε πληροφορίες.

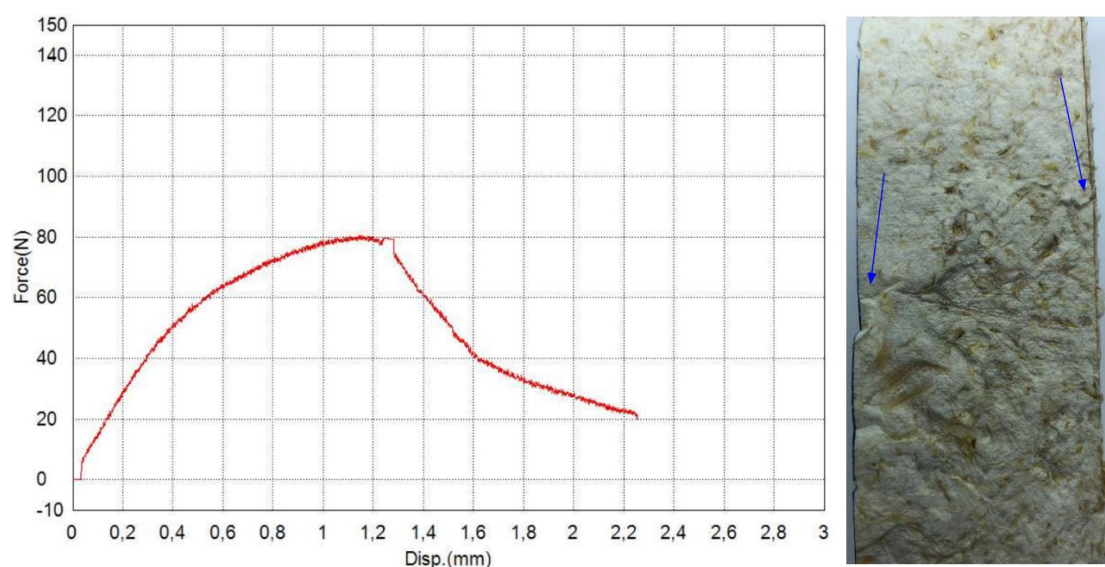
F(N) – u(mm) | σέλερι



Εικόνα 29. Διάγραμμα F(N) - u(mm), δοκιμίου 5 σέλερι

Στην Εικόνα 29, απεικονίζεται η μηχανική συμπεριφορά ενός όλκιμου υλικού (σε κανονική θερμοκρασία) κατά την δοκιμή του εφελκυσμού. Αρχικά

παρατηρούμε μία μικρή μετατόπιση, αυτό συμβαίνει διότι το δοκίμιο «γλίστρησε» από τις δαγκάνες. Καθώς μετατοπίζουμε σταθερό ρυθμό παρατηρούμε αύξηση της δύναμης και της μετατόπισης. Στην πλαστική περιοχή οι ίνες της κυτταρίνης αποκολλώνται δημιουργώντας κενά στο μητρικό υλικό. Τα κενά αυτά βοηθούν στο να δημιουργηθεί η ρωγμή. Με την διάδοση της ρωγμής ξεκινάει η αποφόρτιση. Η ρωγμή διαδίδεται σταθερά και οι ίνες του σέλερι καθυστερούν την ρωγμή. Στο συγκεκριμένο δοκίμιο η ρωγμή δεν έχει διατρέξει ολόκληρο το δοκίμιο.

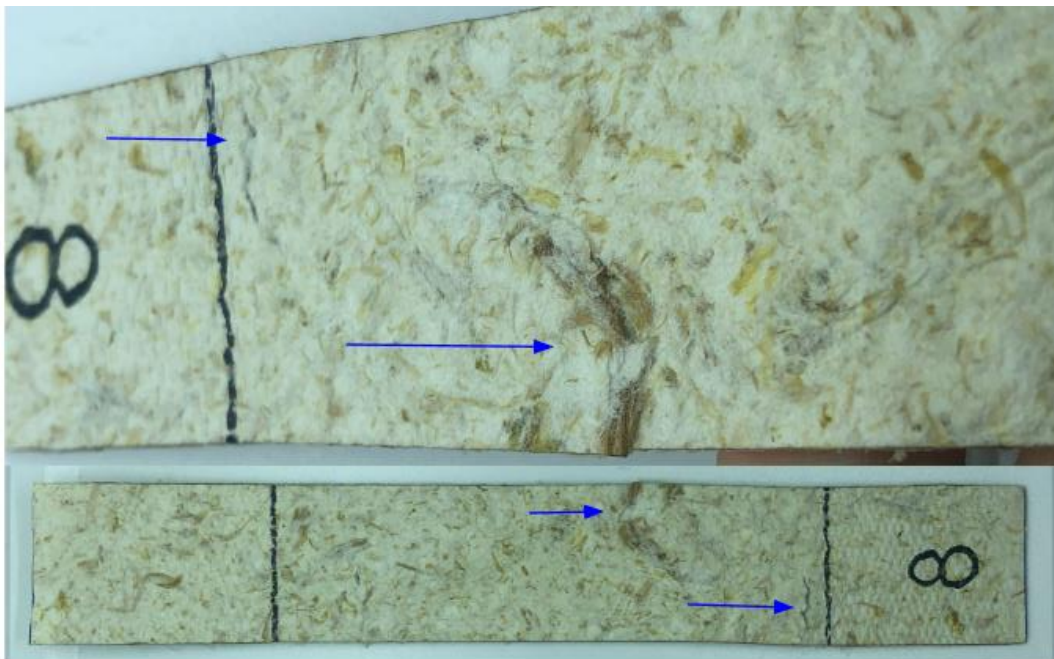


Εικόνα 30. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 7 σέλερι

Στην Εικόνα 30, αριστερά βλέπουμε τη μηχανική συμπεριφορά του δοκιμίου. Αρχικά παρατηρούμε μία μικρή μετατόπιση που οφείλεται στην μετατόπιση του δοκιμίου από τις δαγκάνες. Καθώς μετατοπίζουμε με σταθερό ρυθμό παρατηρούμε αύξηση της δύναμης. Το συγκεκριμένο δοκίμιο έφτασε μέχρι τα 80N. Μέχρι το δοκίμιο να παρουσιάσει ρωγμή η αντοχή του συνεχώς αυξάνεται. Κατά την διαδικασία της αποφόρτισης παρατηρούμε ότι αποφορτίζεται μη γραμμικά, αυτό οφείλεται γιατί η ρωγμή συναντά εμπόδια, συγκεκριμένα τις φυτικές ίνες σέλερι, και αλλάζει πορείες. Το δοκίμιο 5 έφτασε σε μεγαλύτερη δύναμη και μικρότερη μετατόπιση, ενώ το δοκίμιο 7 σε μικρότερη δύναμη και μεγαλύτερη μετατόπιση. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι η ρωγμή διέτρεξε το πλάτος του δοκιμίου.

Το δοκίμιο μας έχει διαφορετικά πάχη. Αυτό συμβαίνει διότι τα υλικά που είναι χειροποίητα παρουσιάζουν κάποια προβλήματα που δεν είναι ορατά κατά την

διάρκεια της ανάπτυξης του πειράματος. Η μεγάλη διαφορά του πάχους στο δοκίμιο είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει το αποτέλεσμα.



Εικόνα 31. Δοκίμιο 8 σέλερι

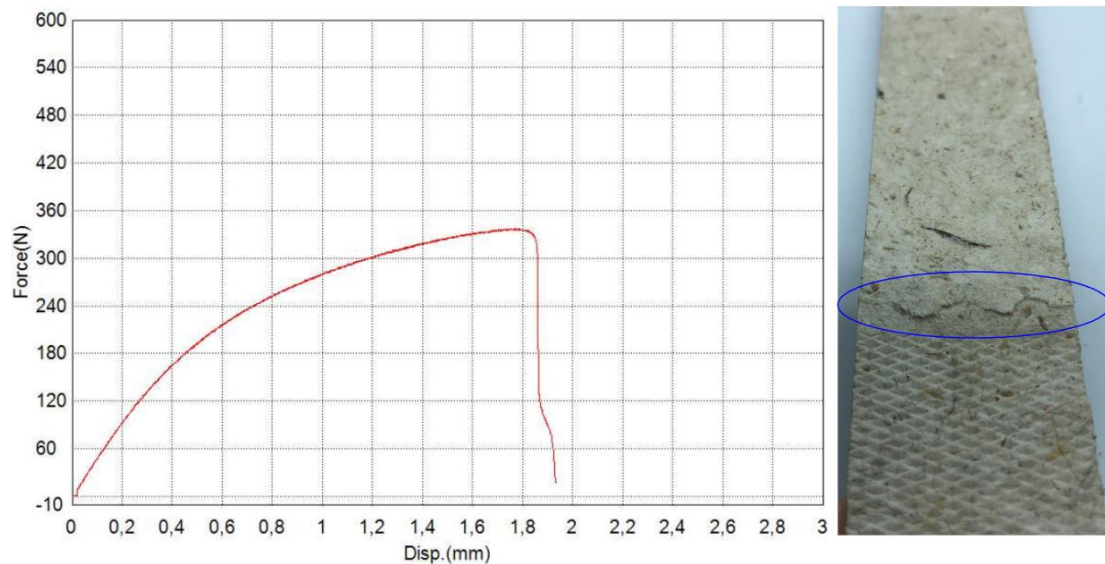
Στην Εικόνα 32, βλέπουμε το δοκίμιο 8. Στο συγκεκριμένο δοκίμιο έγινε κάτι ιδιαίτερο, δημιουργήθηκαν δύο ρωγμές. Η μία ρωγμή έγινε σε κοντά στην δαγκάνα, η άλλη ρωγμή έγινε μακριά από την δαγκάνα.



Εικόνα 32. Δοκίμια 3 και 4 σέλερι

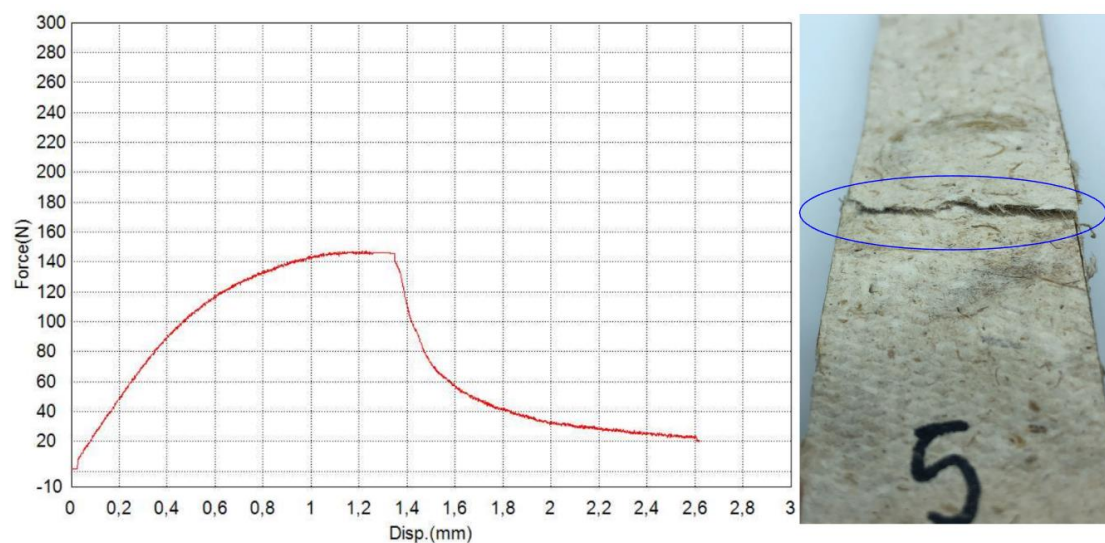
Στην Εικόνα 33, βλέπουμε τα δοκίμια 3 και 4. Τα συγκεκριμένα δοκίμια είναι τα μοναδικά όπου η ρωγμή έχει διατρέξει το πάχος του δοκιμίου.

$F(N) - u(mm)$ | μπανάνα



Εικόνα 33. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 2 μπανάνα

Στην Εικόνα 34, απεικονίζεται η μηχανική συμπεριφορά όλκιμου υλικού (σε κανονική θερμοκρασία) κατά την δοκιμή του εφελκυσμού. Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι καθώς φορτίζουμε σταθερά το δοκίμιο αυξάνεται η δύναμη σε συνάρτηση με την μετατόπιση. Η μέγιστη δύναμη που άντεξε το δοκίμιο είναι τα 320N. Μετά την δημιουργία της ρωγμής η αποφόρτιση έγινε ακαριαία, διότι οι ίνες δεν μπόρεσαν να συγκρατήσουν τα υλικά. Στο δοκίμιο παρατηρούμε ότι η ρωγή έχει δημιουργηθεί κοντά στις δαγκάνες και έχει διατρέξει όλο το δοκίμιο.



Εικόνα 34. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 5 μπανάνα

Στην Εικόνα 35, αριστερά απεικονίζεται η μηχανική συμπεριφορά του υλικού. Το συγκεκριμένο δοκίμιο έφτασε μέχρι τα 150N. Κατά την διαδικασία της αποφόρτισης παρατηρούμε ότι αποφορτίζεται μη γραμμικά. Αυτό συμβαίνει διότι η ρωγμή διαδίδεται σταθερά επειδή συναντά εμπόδια, φυτικές ίνες μπανάνας όπου συγκροτούν το υλικό. Παρατηρήθηκε ότι η ρωγμή έχει διατρέξει όλο το δοκίμιο και έχει δημιουργηθεί κοντά στις δαγκάνες.



Σε όλα τα δοκίμια της μπανάνας δημιουργήθηκαν ρωγμές, όμως δεν υπήρχε αποκόλληση κομματιών του δοκιμίου όπως τα δοκίμια 3 και 4 του σέλερι. Οι ίνες της μπανάνας άντεξαν πολύ υψηλά φορτία σε σχέση με το σέλερι. Αυτό το δεδομένο επιβεβαιώνει ότι οι ίνες της μπανάνας είναι πιο ισχυρές από το σέλερι.

Εικόνα 35. Δοκίμια μπανάνας

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μέσες τιμές μέγιστης δύναμης, τάσης, το μέτρο του Young και οι τυπικές αποκλίσεις τάσης και μέτρου Young.

	μέση τιμή μέγιστη δύναμη F(N)	μέση τιμή μέγιστη τάση σ (MPa)	τυπική απόκλιση μέγιστης τάσης S_{σ} (MPa)	μέση τιμή μέτρου Young E(MPa)	τυπική απόκλιση μέτρου Young S_E (MPa)
σέλερι	74	2.25	0.85	451.1	188.5
μπανάνα	221	4.91	2.2	855.1	379.3

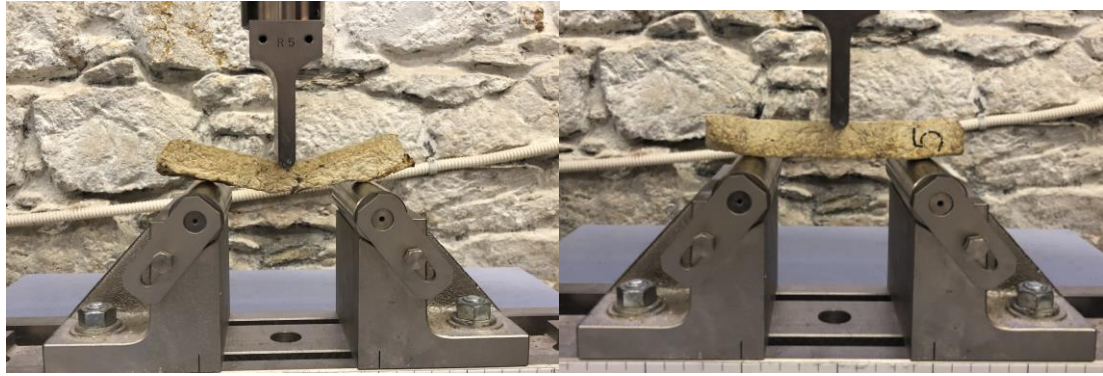
Πίνακας 1. Δεδομένα εφελκυσμού

8.2.Κάμψη

Στην κάμψη χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια ορθογώνιας διατομής. Με μήκος από 153mm έως 154mm πλάτος από 25mm έως 28mm και πάχος από 21mm έως 25mm για την μπανάνα. Για το σέλερι, το μήκος από 148mm έως 153mm πλάτος από 23mm έως 25mm και πάχος από 23mm έως 29mm. Το ωφέλιμο μήκος ήταν $l = 100\text{mm}$ και ο ρυθμός μετατόπισής του όπου ορίστηκε εξ' αρχής στα 5mm/min.



Εικόνα 36. Δοκίμια σέλερι πριν την δοκιμή σε κάμψη



Εικόνα 37. Δοκιμή κάμψης τριών σημείων για το υλικό φυτικές ίνες με χαρτί

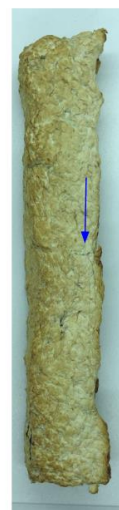
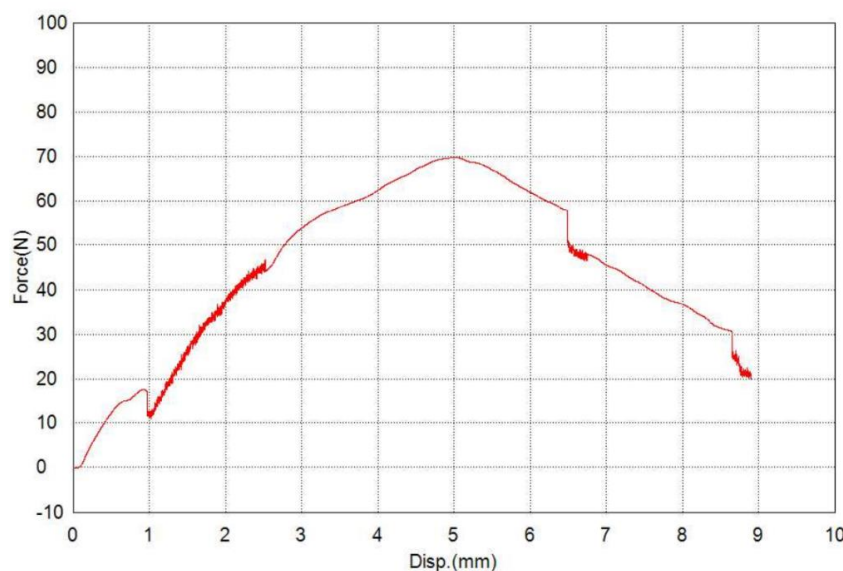


Εικόνα 38. Ανομοιόμορφη επιφάνεια δοκιμίου.

Τα δοκίμια αρχικά τοποθετήθηκαν με την ανομοιόμορφη επιφάνεια να ακουμπάει τις στηρίξεις και με την ομοιόμορφη να ακουμπάει το έμβολο. Παρατηρήθηκε ότι η ανομοιόμορφη επιφάνεια βοηθούσε την δημιουργία ρωγμής. Αποφασίστηκε οι στηρίξεις και το έμβολο να ακουμπούν την λεία επιφάνεια. Τα δοκίμια 1-4 υπέστησαν

την δοκιμή κάμψης με την ανομοιόμορφη επιφάνεια να ακουμπάει στις στηρίξεις, ενώ τα δοκίμια 5-10 υπέστησαν την δοκιμή με τις ομοιόμορφες επιφάνειες.

$F(N) - u(mm) |$ σέλερι

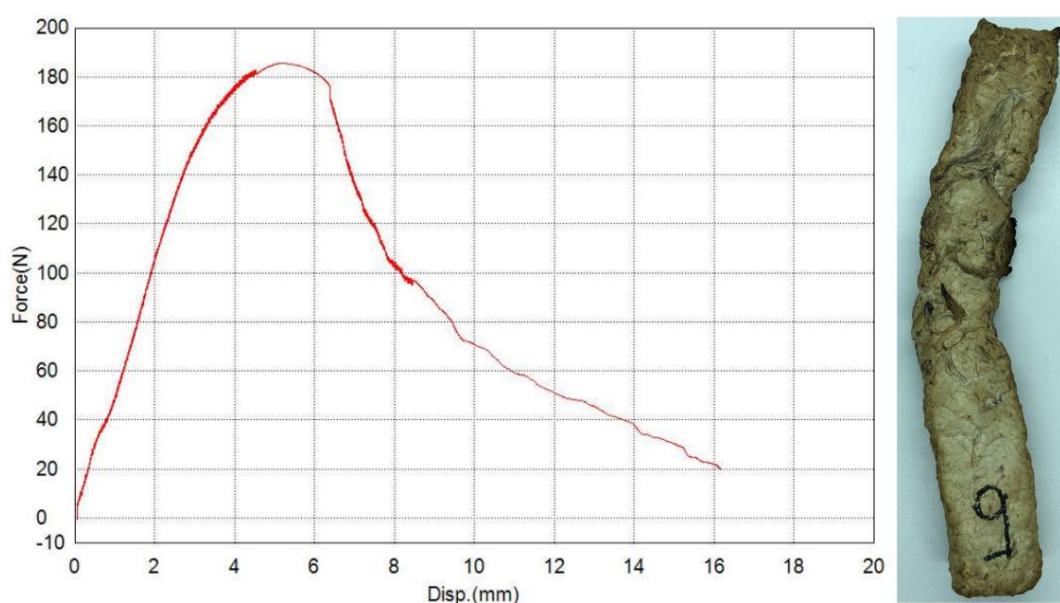


Εικόνα 39. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 4 σέλερι

Το συγκεκριμένο δοκίμιο τοποθετήθηκε με την ανομοιόμορφη επιφάνεια στις στηρίξεις. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τις απότομες διακυμάνσεις στο διάγραμμα καθώς απορροφάτε με διαφορετικό τρόπο η δύναμη. Η μέγιστη τιμή δύναμης που άντεξε το συγκεκριμένο δοκίμιο ήταν 70N. Επίσης, μετατοπίστηκε ελάχιστα και δεν υπήρχε παραμόρφωση του δοκιμίου. Η ρωγμή δεν διέτρεξε όλο το δοκίμιο.

Από τις δοκιμές κάμψης προέκυψε ότι τα δοκίμια με το ανακυκλωμένο χαρτί και τις φυτικές ίνες σέλερι άντεξαν χαμηλότερα φορτία απ' ότι τα δοκίμια με ανακυκλωμένο χαρτί και φυτικές ίνες μπανάνας.

F(N) – u(mm) | μπανάνα



Εικόνα 40. Διάγραμμα F(N) - u(mm), δοκιμίου 9 μπανάνα

Στην Εικόνα 40 παρατηρούμε ότι η καμπύλη είναι ομαλή. Η μέγιστη δύναμη που άντεξε ήταν 185N και η μετατόπιση 16mm. Επίσης, στο δοκίμιο παρατηρούμε ότι παραμορφώνεται πλαστικά, δηλαδή υπάρχει μια μόνιμη παραμόρφωση.

Από τις δοκιμές κάμψης προέκυψε ότι τα δοκίμια με το ανακυκλωμένο χαρτί και τις φυτικές ίνες μπανάνας άντεξαν υψηλότερα φορτία απ' ότι τα δοκίμια με ανακυκλωμένο χαρτί και φυτικές ίνες σέλερι.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μέσες τιμές μέγιστης δύναμης, τάσης και η τυπική απόκλιση τάσης.

	μέση τιμή μέγιστη δύναμη F(N)	μέση τιμή μέγιστη τάση σ (MPa)	τυπική απόκλιση τάσης S_{σ} (MPa)
σέλερι	54.5	0.8	0.3
μπανάνα	118.2	1.8	0.3

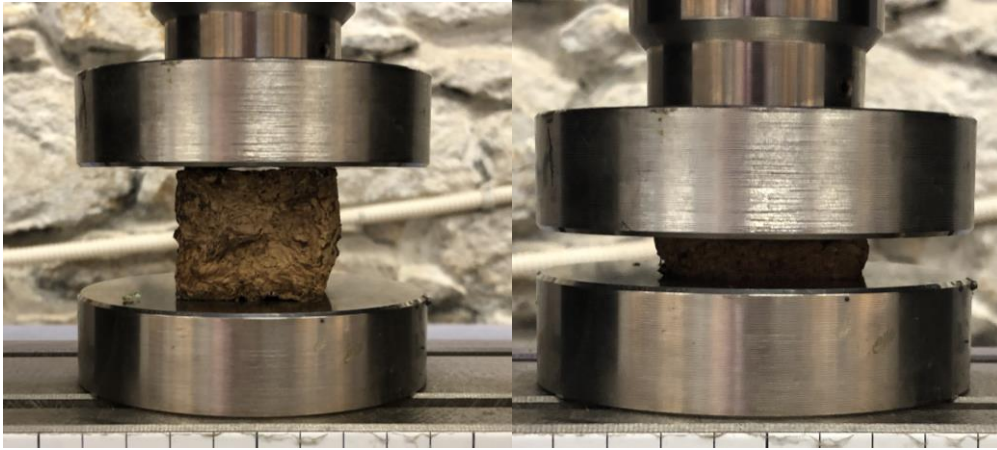
Πίνακας 2. Δεδομένα θλίψης

8.3.Θλίψη

Στην θλίψη χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια τετράγωνης διατομής. Με μήκος από 40mm έως 44mm, πλάτος από 39mm έως 44mm και πάχος από 26mm έως 33mm για την μπανάνα. Για το σέλερι, το μήκος από 41mm έως 43mm, πλάτος από 40mm έως 42mm και πάχος από 30mm έως 36mm. Ο ρυθμός μετατόπισής του όπου ορίστηκε εξ' αρχής ήταν 1,75mm/min αλλά ήταν πολύ αργός και τον αυξήσαμε σε 8,75mm/min. Επειδή τα δοκίμια είχαν πάχος περίπου 40mm, ορίστηκε ένα όριο (stroke limit) 30mm. Επίσης, η μηχανή έχει όριο τα 100.000N, στην συγκεκριμένη δοκιμή φτάσαμε το όριο της μηχανής.



Εικόνα 41. Δοκίμια μπανάνας πριν υποβληθούν σε θλίψη

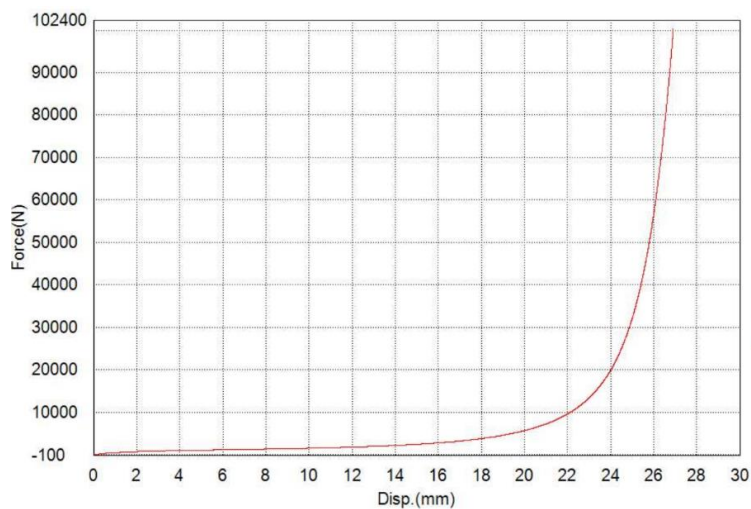


Εικόνα 42. Δοκιμή θλίψης για το υλικό φυτικές ίνες με χαρτί

Κατά την διαδικασία της φόρτισης τα δοκίμια συμπεριφέρθηκαν σαν ινώδης αφροί. Συγκεκριμένα, εσωτερικά του υλικού υπάρχουν κενά που αφήνουν αναμεσά τους οι ίνες της κυτταρίνης είναι σε διάταξη πιλήματος, τα οποία συμπιέστηκαν κατά την θλίψη. Κατά την αφαίρεση του φορτίου τα δοκίμια δεν ανέκτησαν κανένα ποσοστό του όγκου τους.

$F(N) - u(mm)$ | σέλερι

Όλα τα δοκίμια της σέλερι κατά την θλίψη είχαν ίδιες καμπύλες όπως η παρακάτω καμπύλη στο διάγραμμα.



Εικόνα 43. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 8 σέλερι

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι πολύ γρήγορα φτάνουμε για χαμηλή τάση σε μεγάλη παραμόρφωση, αφού περάσουμε όριο η αύξηση γίνεται

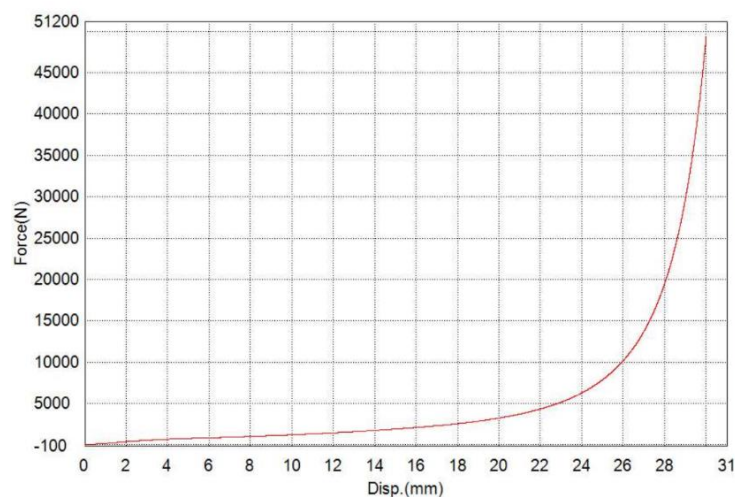
απότομα. Στο διάγραμμα παρατηρείται μία γραμμικώς ελαστική περιοχή σε θλίψη.



Εικόνα 44. Αριστερό δοκίμιο πριν την δοκιμή θλίψης, δεξιά δοκίμιο μετά την δοκιμή θλίψης

$F(N) - u(mm)$ | μπανάνα

Όλα τα δοκίμια της μπανάνας κατά την θλίψη είχαν ίδιες καμπύλες όπως η παρακάτω καμπύλη στο διάγραμμα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην ομοιότητα των δοκιμίων και στο παρόμοιο ποσοστό των ινών που είναι μέσα στο δοκίμιο.



Εικόνα 45. Διάγραμμα $F(N) - u(mm)$, δοκιμίου 4 μπανάνα

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι πολύ γρήγορα φτάνουμε για χαμηλή τάση σε μεγάλη παραμόρφωση, αφού περάσουμε όριο η αύξηση γίνεται απότομα.



Εικόνα 46. Αριστερό δοκίμιο πριν την δοκιμή θλίψης, δεξιά δοκίμιο μετά την δοκιμή θλίψης

Από τις δοκιμές θλίψης προέκυψε ότι το πεπιεσμένο υλικό από ανακυκλωμένο χαρτί και τις φυτικές ίνες έχει διαφορετικές ιδιότητες. Καθώς συμπιέζεται το υλικό, αυξάνεται το Μέτρο του Young.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μέσες τιμές μέγιστης δύναμης, τάσης, το μέτρο του Young και οι τυπικές αποκλίσεις τάσης και μέτρου Young.

	μέση τιμή μέτρου Young E (MPa)	τυπική απόκλιση μέτρου Young S_E (MPa)
σέλερι	1856	370
μπανάνα	1785	352

Πίνακας 3. Δεδομένα θλίψης

8.4.Συμπεράσματα

Από την επεξεργασία των φυτικών ινών σέλερι και μπανάνα φάνηκε ότι έχουν διαφορετική συμπεριφορά. Μετά τον διαχωρισμό της κυτταρίνης από λιγνίνη χρειάστηκε να γίνει μια κατεργασία των ινών η οποία βοηθάει στον διαχωρισμό των ινιδίων της κυτταρίνης, στην μείωση του μήκους και στην αύξηση της επιφάνειας επαφής μεταξύ των ινών. Στην συγκεκριμένη διαδικασία οι φυτικές ίνες του σέλερι συνθλιβόντουσαν ενώ της μπανάνας αυξανόταν η επιφάνεια επαφής. Αυτό επηρέασε τα αποτελέσματα των μηχανικών ιδιοτήτων του πειραματισμού καθώς οι ίνες σέλερι δεν μπορούσαν να συγκρατήσουν την δομή με αποτέλεσμα να σπάσουν σε χαμηλές φορτίσεις. Σε αντίθεση με τις ίνες

τις μπανάνας όπου συγκροτούσαν το υλικό δημιουργώντας κάποιο είδος πλέγμα, άντεξαν μεγαλύτερες φορτίσεις.

9. Συμπεράσματα

Είναι πολύ σημαντικό για την ευημερία του πλανήτη και την ανθρώπινη ζωή να στραφούμε προς την αειφορία μέσα από την κυκλική οικονομία. Υπάρχει αναγκαιότητα αλλαγής της στάσης ζωής, εφαρμογής κυκλικού μοντέλου παραγωγής, σχεδιασμό με τρόπο που θα αυξάνει τον χρόνο ζωής των προϊόντων αξιοποιώντας υλικά με χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Τα υλικά που δημιουργήθηκαν σε αυτή την διπλωματική προωθούν την κυκλική οικονομία και ενσωματώνουν αξίες της αειφορίας. Έχουν πολλά θετικά σε σχέση με τα κοινά χαρτιά, καθώς οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν προήρθαν από τα απόβλητα. Από την άλλη, υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με την παραγωγή των υλικών που αναπτύχθηκαν και με τους τομείς εφαρμογής. Τα συγκεκριμένα υλικά μπορούν να υποστούν κάποιες κατεργασίες και να αντικαταστήσουν υπάρχοντα υλικά για διάφορες χρήσεις.

9.1. Μελλοντική Έρευνα

Η διπλωματική εργασία αφήνει τομείς που χρήζουν μελέτη. Αυτοί οι τομείς είναι οι μηχανικές ιδιότητες ως προς τα υποστρώματα και οι μορφολογικές ιδιότητες των χρωμάτων και των υφών. Προτείνεται, να γίνει περεταίρω έρευνα με περισσότερα απόβλητα τροφίμων τα οποία περιέχουν ίνες. Ενδιαφέρον θα ήταν να γινόταν δοκιμές χωρίς την προσθήκη ανακυκλωμένου χαρτιού ως απώτερο σκοπό η υποβολή σε δοκιμή εφελκυσμού, κάμψης και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με υλικά αναπτυγμένα από φυτικές ίνες και ανακυκλωμένο χαρτί. Επίσης, μπορούν να εξεταστούν διάφορες κατεργασίες, για παράδειγμα, τεχνικές χρωματισμού (πινέλο, αερογράφο, σπρέι κ.α.) αλλά και τεχνικές εκτύπωσης (μεταξοτυπία, ψηφιακή κ.α.) μέσω focus group και να γίνει συζήτηση για τις υλικές εμπειρίες μέσω αλληλεπίδρασης με το υλικό. Τέλος, προτείνεται δημιουργία και ο σχεδιασμός προϊόντων καθημερινής χρήσης.

Πηγές

- [1] R. Patt et al. (2000). *Paper and Pulp. Ullmann's Encyclopedia of Industrial.* s.l.:Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [2] Error! Reference source not found.Gordon, R. & C. G. (1996). *Glossary of rinting and papermaking terms: Tappi Press.* s.l.:s.n.
- [3] Minor, J. L. (1996). *Production of unbleached pulp. In C. Dence & D. Reeve (Eds.), Pulp bleaching.* Atlanta: GA: Tappi Press.
- [4] Φιλίππακοπούλου, Θ., (2007). *Μελέτη Λεύκανσης Απομελανωμένου Παλαιόχαρτου.* Αθήνα: s.n.
- [5] Roberts, J. C., (1996). *The chemistry of paper.* Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry
- [6] Hunter, D., (1974). *Papermaking, the history and technique of an ancient craft.* New York: Dover Publications, Inc
- [7] Collings, T., & Milner, D., (1990). A new chronology of papermaking technology. *The Paper Conservator*, 14, 58-62
- [8] Vickerman, K. D. (1995). *Papermaking: Then and Now. A History of Hand Papermaking from Its Beginning, Plus a Process for Using Natural Fibers To Make Paper*
- [9] Βλέσσας, Μ., & Μαλακού, Μ. (2010). *Ιστορία του χαρτιού: Αιώρα*
- [10] [European Papermaking Techniques 1300-1800, T. Barrett - Paper through Time: Nondestructive Analysis of 14th- through 19th-Century Papers - The University of Iowa \(uiowa.edu\)](#)
- [11] Barrett, T. D. (1989). Early European papers/contemporary conservation papers - A report on research undertaken from fall 1984 through fall 1987. *The Paper Conservator*, 13, 1-108.
- [12] Waterhouse, J. F., & Barrett, T. D. (1991). The aging characteristics of European handmade papers: 1400- 1800. *TAPPI Journal*, 74(10), 207-212
- [13] Barrett, T., Lang, P., Waterhouse, J., Cook, J., Cullison, S., Fuller, B., . . . Pullman, J. (1996). Non-destructive measurement of gelatin and calcium content of European papers: 1400 – 1800. Paper presented at the International Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials, Preprints, Erice
- [14] Wilson, K. W. (1970). Reflections on the Stability of Paper. *Restaurator*, 1(2), 79–86.

- [15] Wilson, W. K., & Parks, E. J. (1983). Historical survey of research at the National Bureau of Standards on materials for archival records. *Restaurator*, 5, 191-241
- [16] El-Saied, H., Basta, A. H., & Abdou, M. M. (1998). Permanence of paper 1: Problems and permanency of alum-rosin sized paper Sheets from wood pulp. *Restaurator*, 155-171.
- [17] ISO 9706. (1994). Information and documentation - Paper for documents. Requirements for permanence.
- [18] ISO 11108. (1996). Information and documentation - Archival paper. Requirements for permanence and durability
- [19] Cernic Letnar, M., & Vodopivec, J. (1997). Influence of paper raw materials and technological conditions of paper manufacture on paper aging. *Restaurator*, 73-91.
- [20] ANSI/NISO Z39.48. (1997). Permanence of paper for publications and documents in libraries and archives.
- [21] Rose JKC & Bennett AB, (1999). Cooperative disassembly of the cellulose–xyloglucan network of plant cell walls: parallels between cell expansion and fruit ripening
- [22] H. Holik, (2006). "Handbook of Paper and Board". WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, online edition
- [23] I. Asimov, (2001). Το Χρονικό των Επιστημονικών Ανακαλύψεων. (Απόδοση στα ελληνικά: Μπαρουξής Γ., Σταματάκης Ν.) Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο
- [24] C. J. Biermann, (1996). "Handbook of Pulping and Papermaking", 2nd Edition, Academic Press, California
- [25] Y. Guo, Y. Fu, W. Zhang, (2007). "Creep Properties and Recoverability of Double-wall Corrugated Paperboard". *Experimental Mechanics*, Vol. 48, Issue 3, p. 327-333
- [26] <https://www.iswa.org/?v=f214a7d42e0d>
- [27] Σκορδίλης Αδ., (1990). «Εισαγωγή στην επεξεργασία των απορριμμάτων», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα,
- [28] Λέκκας Θ., (1998). Πολιτική αξιοποίησης στερεών απορριμμάτων – Η κατάσταση στην Ελλάδα, στο Μουσιόπουλος Ν., Ανακύκλωση, Διάυλος, Δίκτυο Ανάκτησης Υλικών από Απορρίμματα με Έμφαση στα Πλαστικά από Συσκευασίες, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

- [29]Moropoulou, A., & Zervos, S., (2003). The immediate impact of aqueous treatments on the strength of paper. Restaurator
- [30]Zervos, S., & Barmpa, D., (2011). Investigating the causes of paper strength loss after aqueous treatments. In P. Engel, S. Joseph, R. Larsen, E. Moussakova & I. Kecskeméti
- [31]Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης <http://www.herrco.gr/>
- [32]Masters, G. M. and Ela, W. P. (2008). Introduction to Environmental Engineering and Science, 3 rd Ed., Prentice Hall, Pearson Education Inc
- [33]J. K. Borchardt, J. H. Rask, G. A. York, K. Cathie (1995). Microscopic Analysis of Toner-Printed Paper After Pulping, Progress in Paper Recycling, p. 16-25
- [34] J. K. Borchardt (2006). "Recycling, Paper". Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (online version), John Wiley & Sons, Inc
- [35]<https://www.consilium.europa.eu/el/press/press-releases/2018/05/22/waste-management-and-recycling-council-adopts-new-rules/#>
- [36]<https://www.herrco.gr/company/>
- [37]<http://3r.teetde.gr/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AE-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AE>
- [38]Αγγελίδης Ζ., Παπαδοπούλου Π., Αθανασίου Χρ. (2004). "Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: Εκπαίδευση για το Περιβάλλον και τη Βιωσιμότητα", Θεσσαλονίκη, Δ/νση Δ/θμιας Εκπ/σης Ανατ. Θεσ/νίκης, Γραφείο Π.Ε
- [39]Σακιώτης Γ. (2003). "Η δημόσια συζήτηση στην Ελλάδα για την αειφόρο ανάπτυξη", Οικοτοπία περιοδικό τεύχος 24, σελ. 74-79, Ιανουάριος-Μάρτιος 2003
- [40] Φλογαίτη, Ευ. (2006). Εκπαίδευση για το Περιβάλλον και την αειφορία, Αθήνα, Ελληνικά Γράμματα
- [41]Γεωργόπουλος, Α. (1998). Γη, Ένας Μικρός και Εύθραυστος Πλανήτης, Αθήνα
- [42] MacArthur, E. (2015). Circular Economy - Ellen MacArthur Foundation - UK, USA, Europe, Asia & South America.
- [43] Braungart Michael, McDonough William (2002). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. North Point Press
- [44] <https://antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/consumer/faq/what-is-cellulose.shtml>
- [45] Λιγνίνη, Ιωάννη Φιλίππου, ΑΠΘ, σημειώσεις μαθήματος

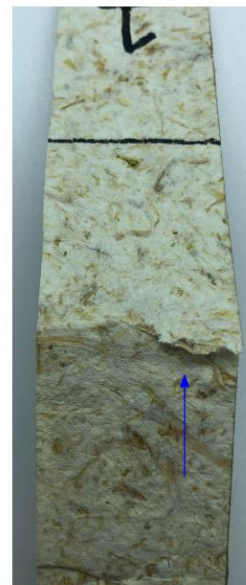
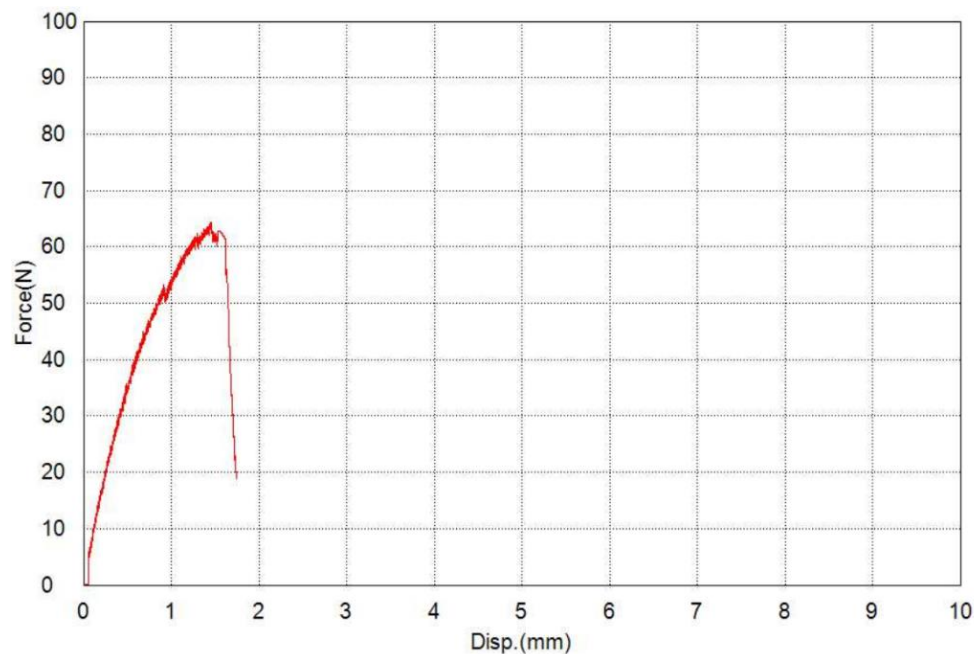
- [46] Murray, R. (2002). Zero waste. London: Greenpeace Environmental Trust
- [47] Kuznetsov S., Pavlos E. (2010). "Rise of the Expert Amateur: DIY Projects, Communities, and Cultures"
- [48] Shukaitis S., Graeber D. (2007). Constituent Imagination: Militant Investigations // Collective Theorization
- [49] Jenny Lee, (2014). Material Alchemy
- [50] Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S., & Karana, E. (2015). DIY materials. Materials and Design
- [51] Camilo, A. G., Valentina, R., & Elvin, K. (2017). Five Kingdoms of DIY Materials for Design. In International Conference 2017 of the Design Research Society Special Interest Group on Experiential Knowledge (EKSIG) (pp. 222-234). TUDelft Open
- [52] Ashby, M., & Johnson, K. (2002). Materials and Design. The Art and Science of Material Selection in Product Design. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann
- [53] Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S., & Karana, E. (2015). DIY materials. Materials and Design
- [54] Karana, E., Hekkert, P., Kandachar, P. (2010). A tool for meaning driven materials selection
- [55] Sharma, K. (2013) Studies on properties of banana fiber reinforced green composite
- [56] Elfwing, A., Ponseca, C., Ouyang, L., Urbanowicz, A., Krotkus, A., Deyu Tu, Forchheimer, R., Inganäs, O. (2018) Conducting Helical Structures from Celery Decorated with a Metallic Conjugated Polymer Give Resonances in the Terahertz Range

Παράρτημα

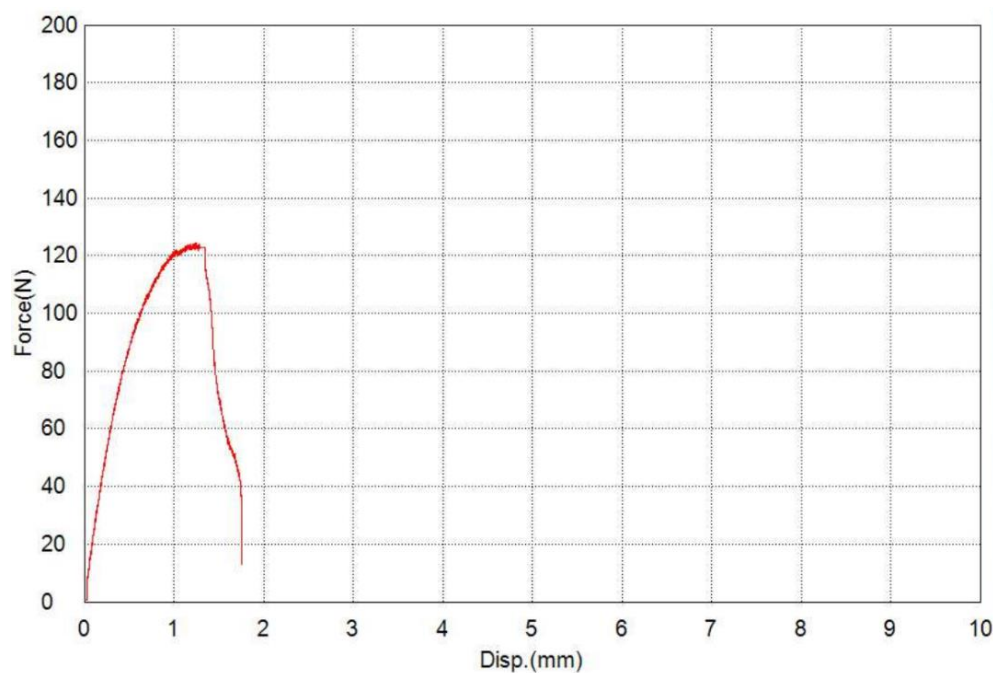
Στο παράρτημα παρατίθενται τα διαγράμματα των δοκιμών εφελκυσμού, κάμψης, θλίψης και οι φωτογραφίες των δοκιμών.

Εφελκυσμός διαγράμματα $F(N) - D(mm)$ | σέλερι

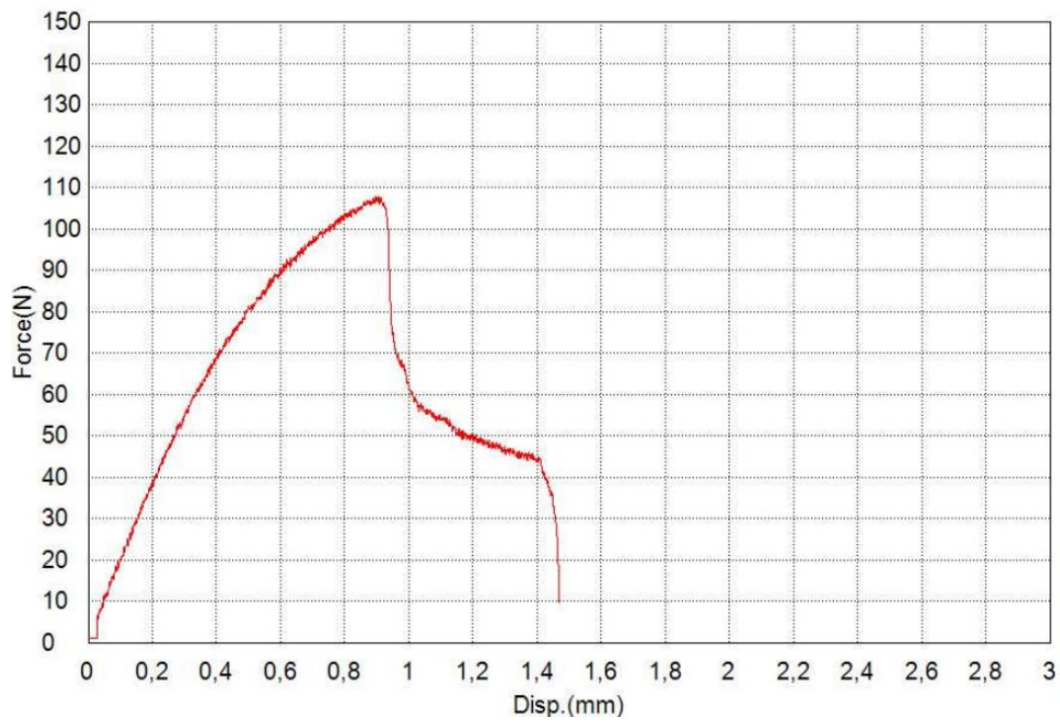
ΔΟΚΙΜΙΟ 1



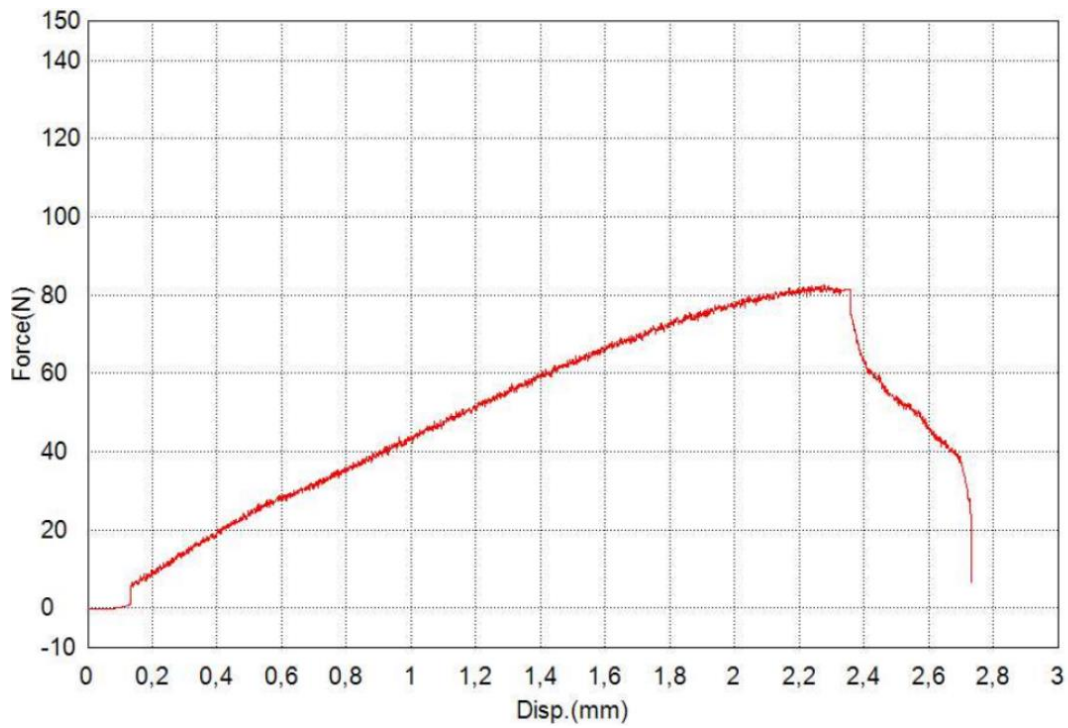
ΔΟΚΙΜΙΟ 2



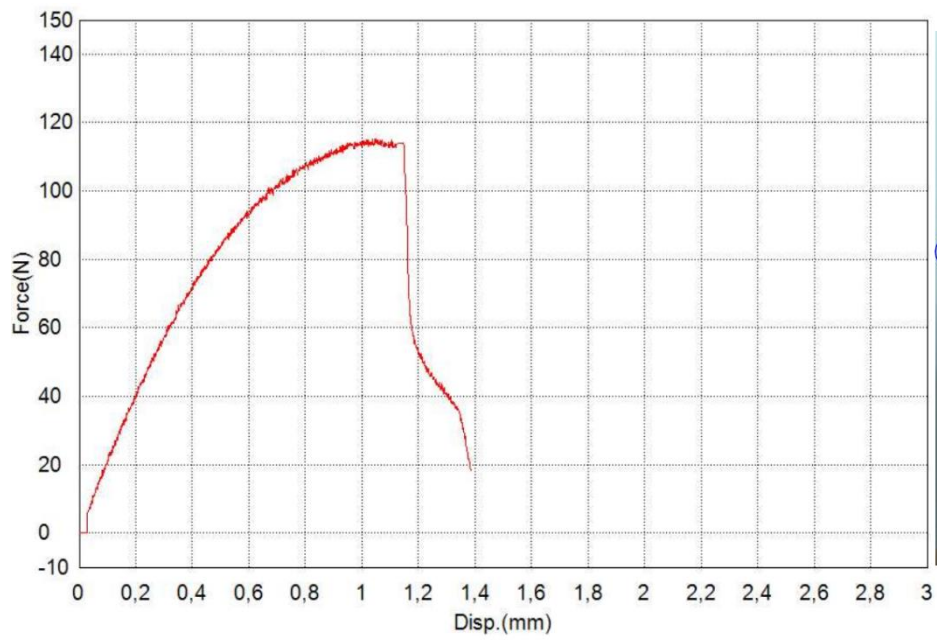
ΔΟΚΙΜΙΟ 3



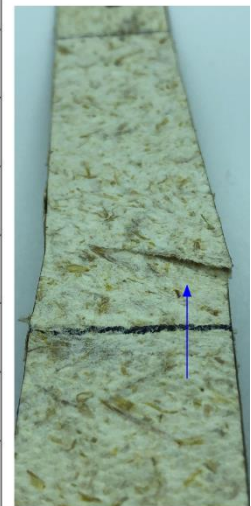
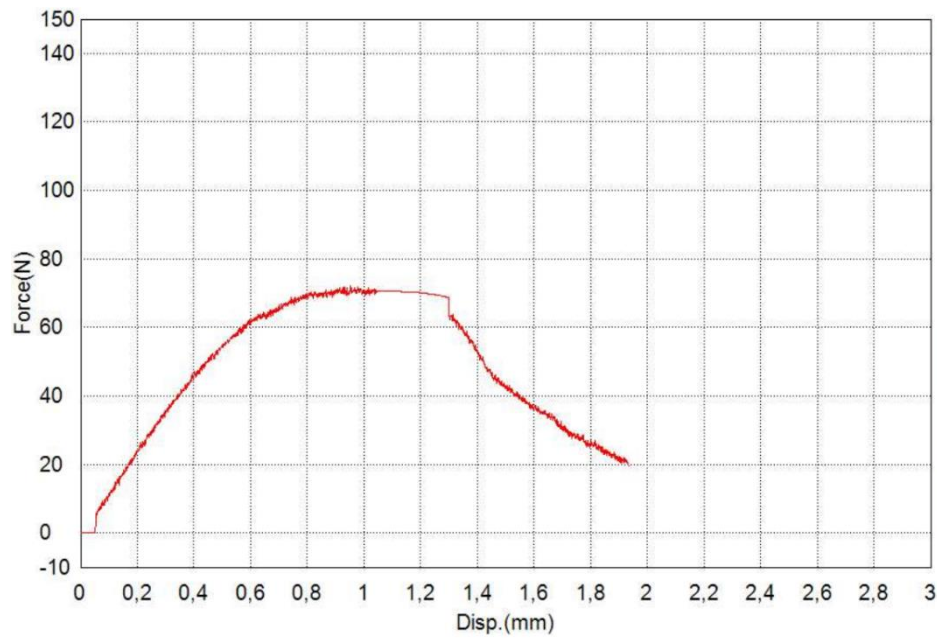
ΔΟΚΙΜΙΟ 4



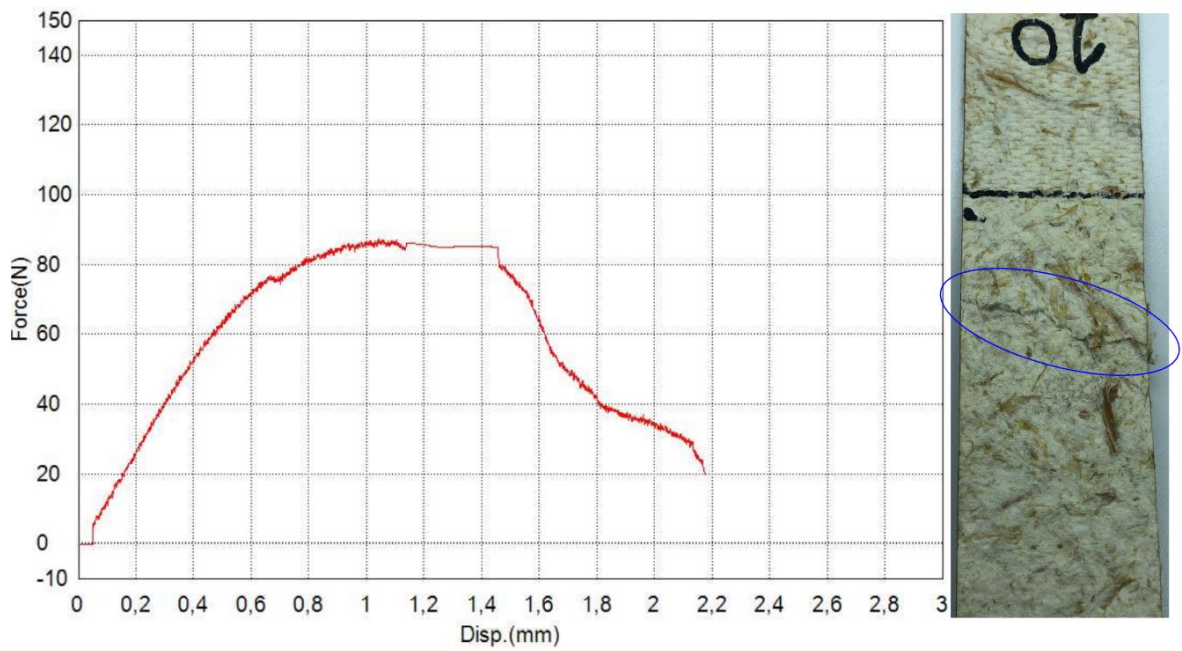
ΔΟΚΙΜΙΟ 6



ΔΟΚΙΜΙΟ 9

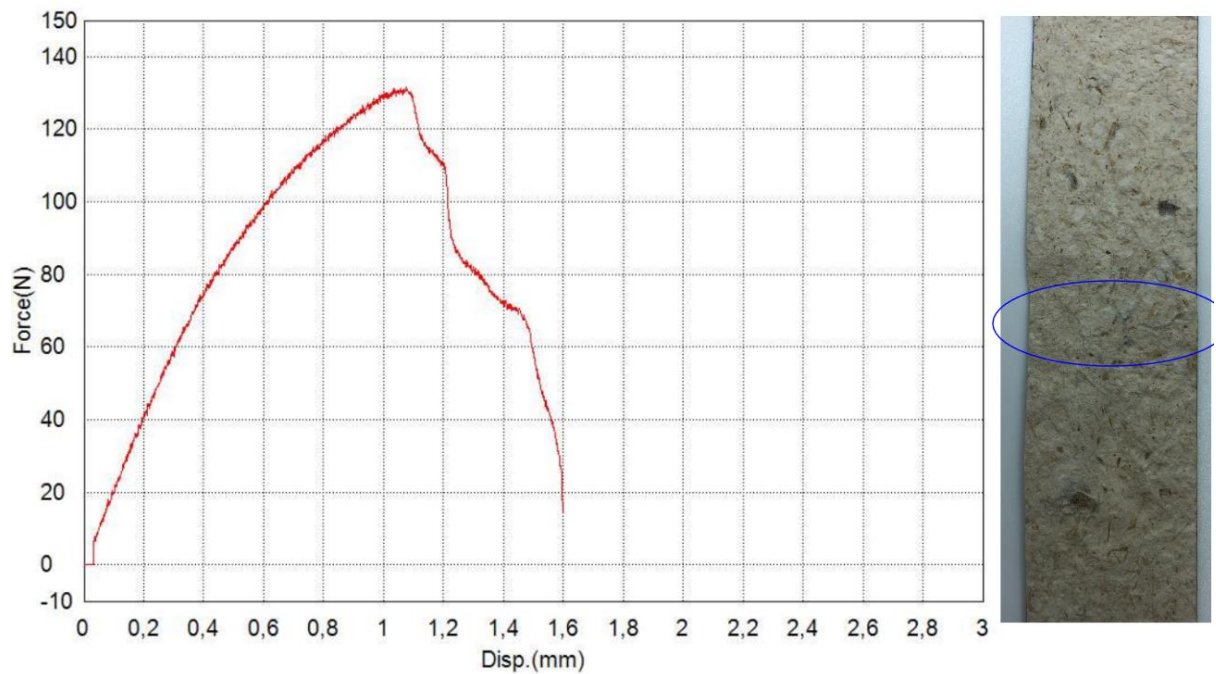


ΔΟΚΙΜΙΟ 10

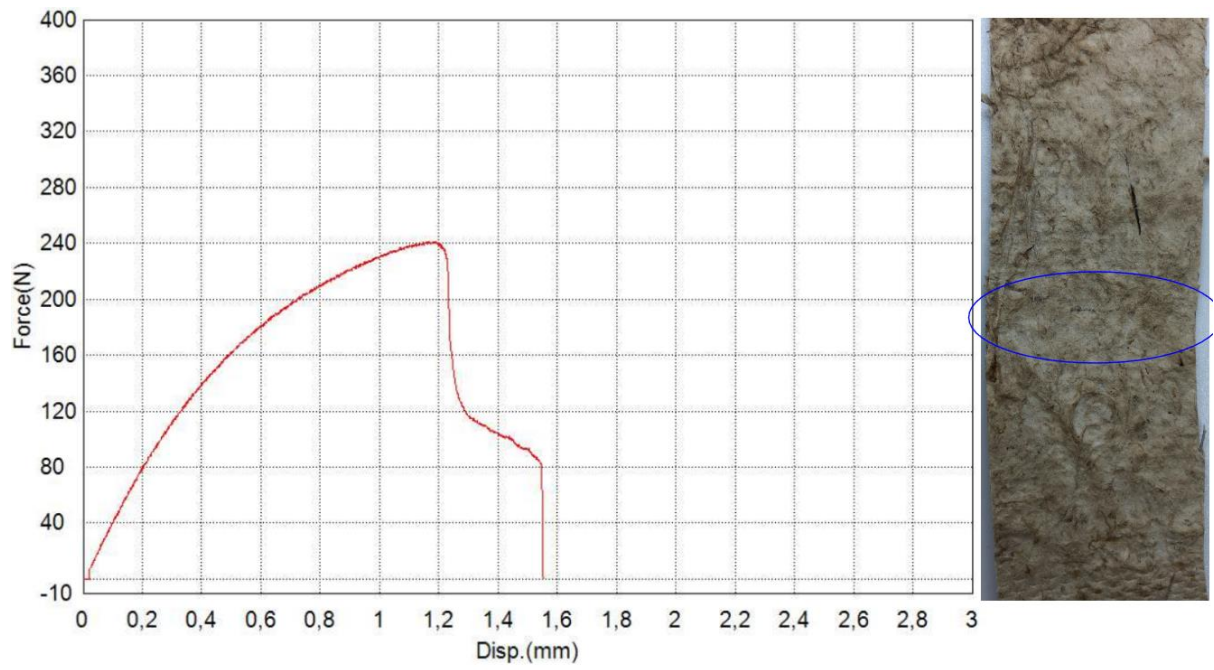


Εφελκυσμός διαγράμματα F(N) – D(mm) | μπανόνα

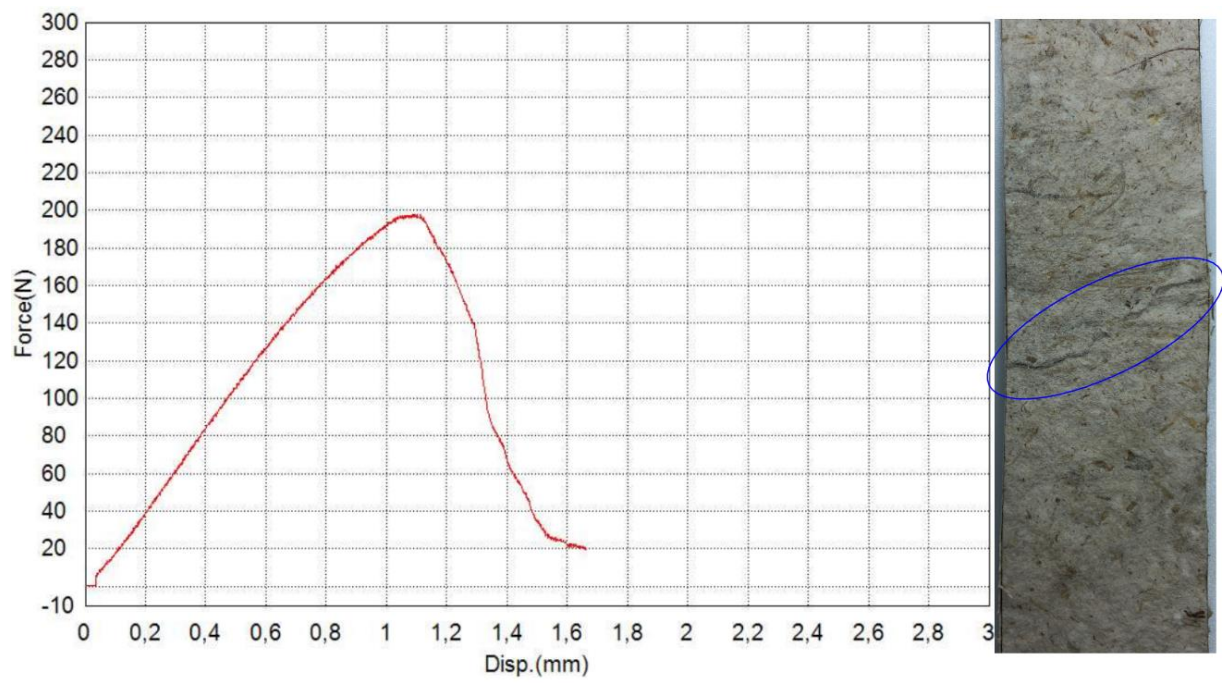
ΔΟΚΙΜΙΟ 1



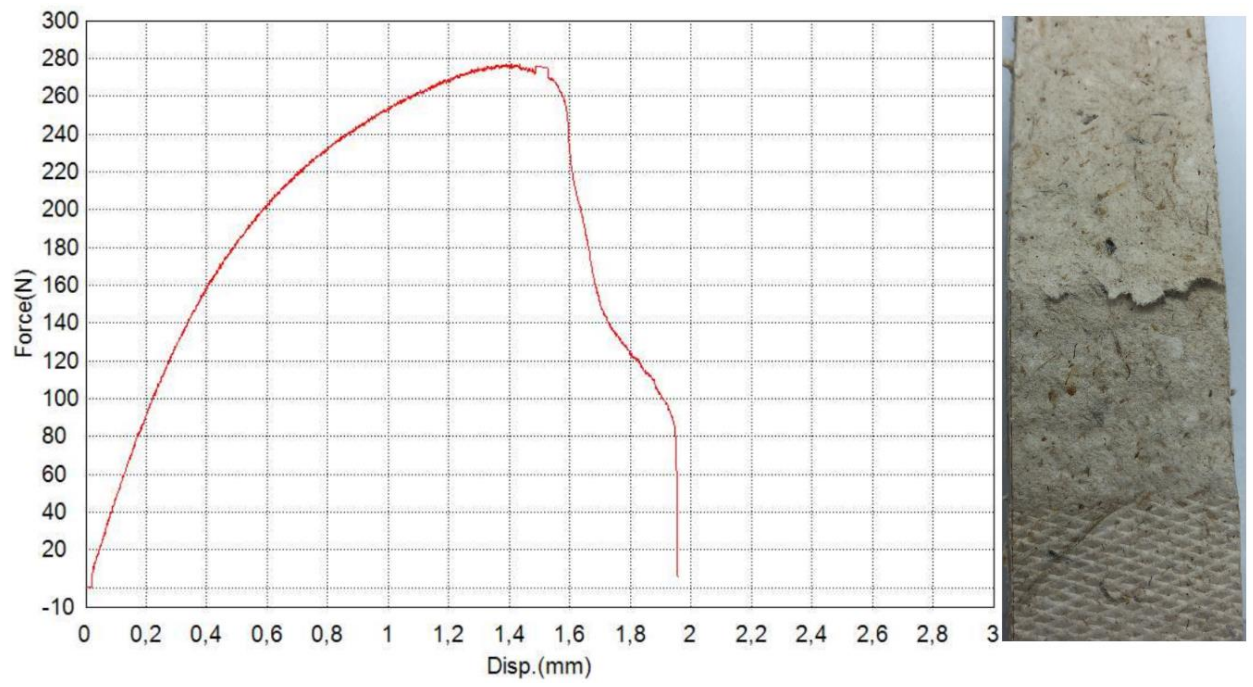
ΔΟΚΙΜΙΟ 3



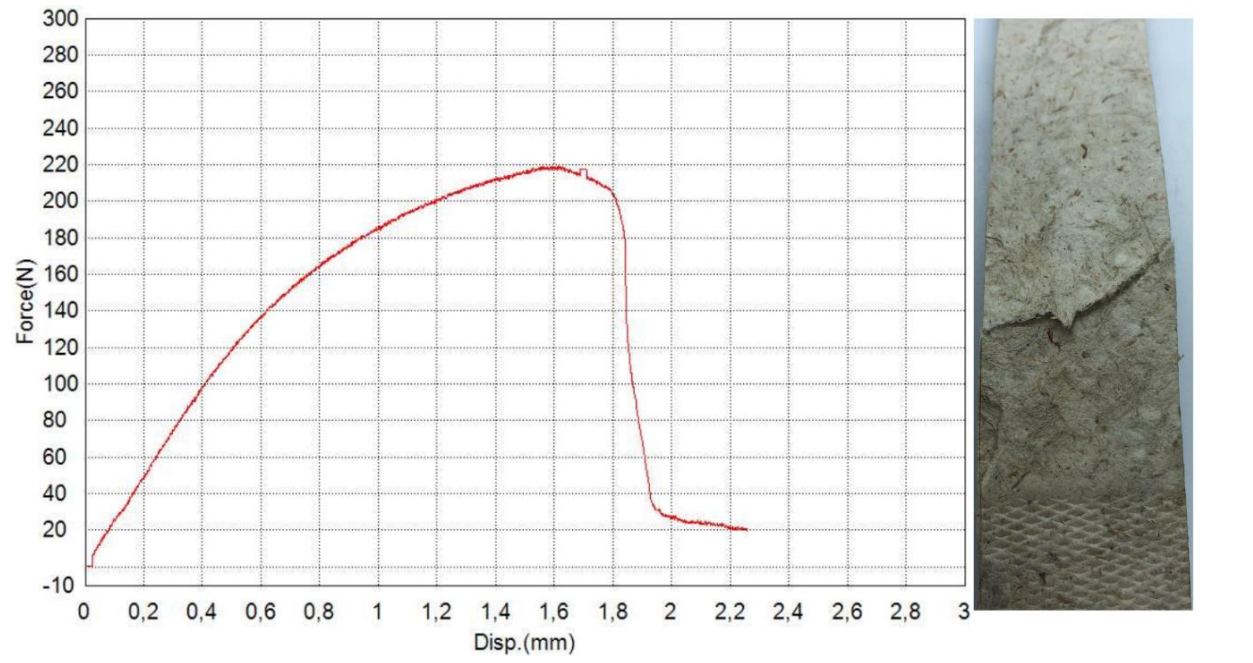
ΔΟΚΙΜΙΟ 4



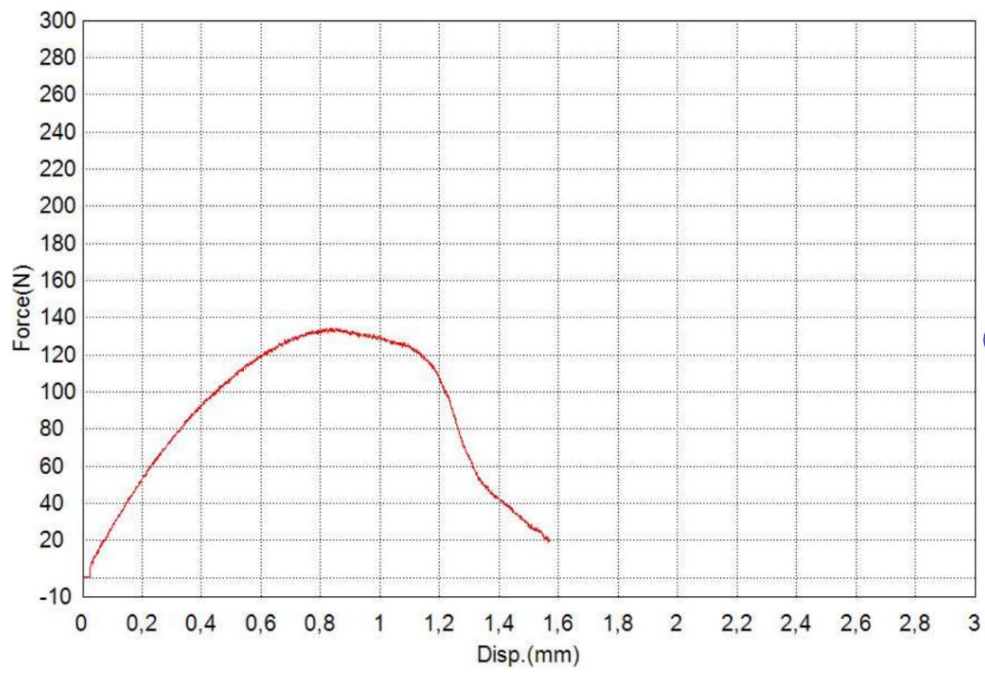
ΔΟΚΙΜΙΟ 6



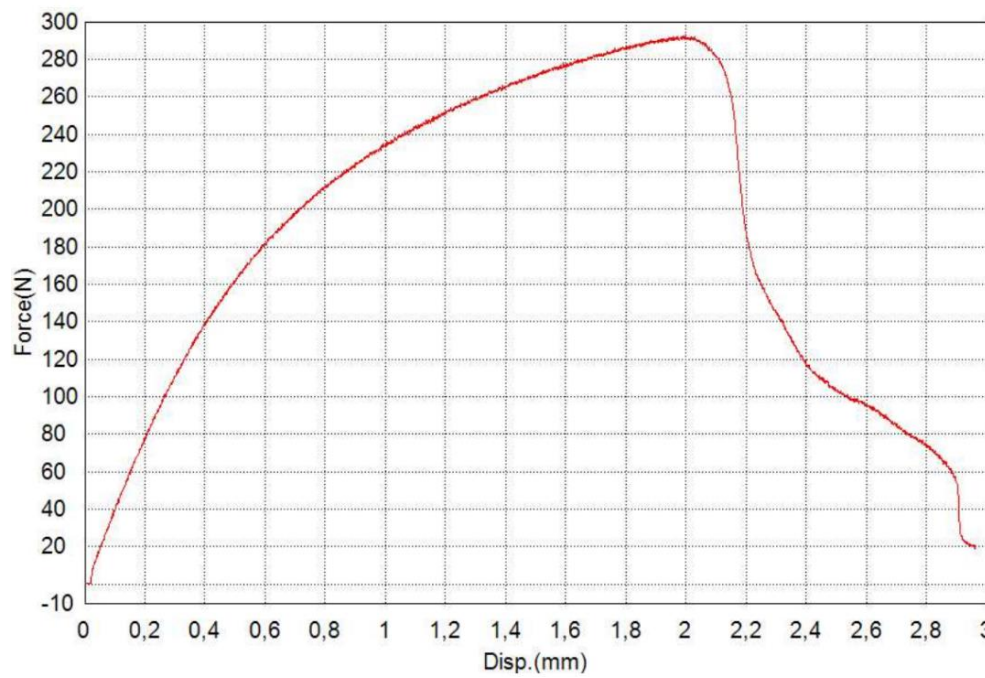
ΔΟΚΙΜΙΟ 7



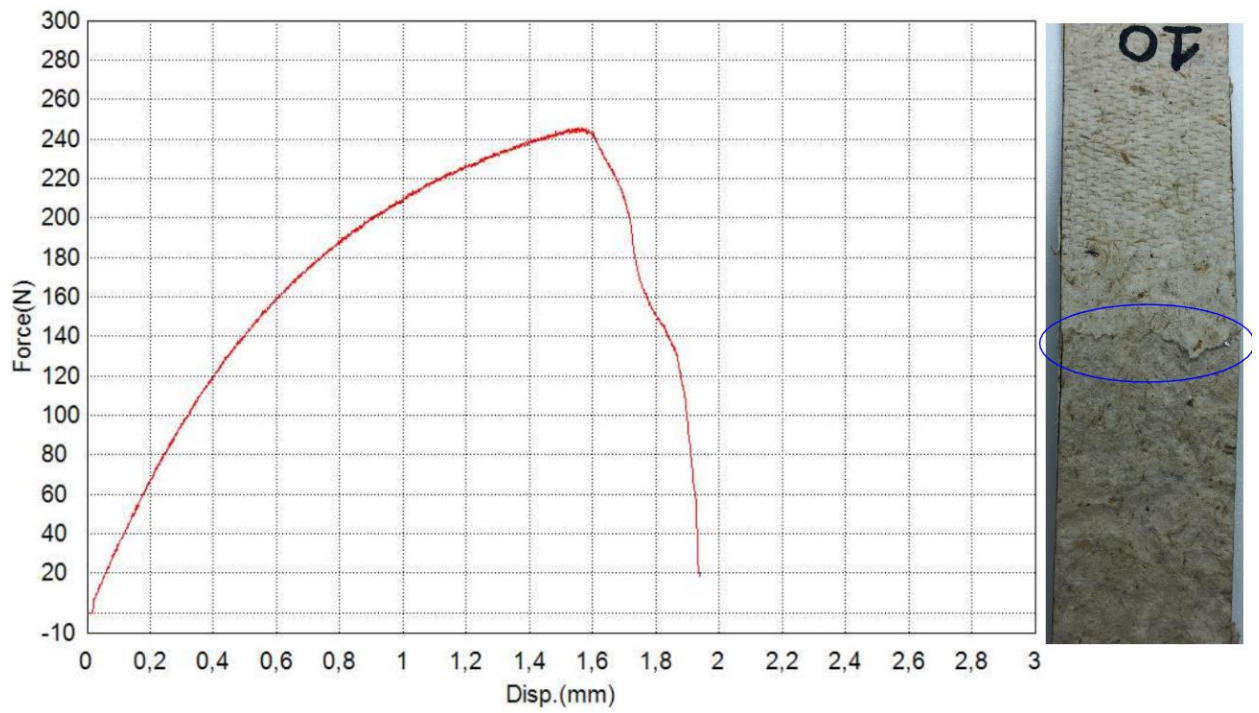
ΔΟΚΙΜΙΟ 8



ΔΟΚΙΜΙΟ 9

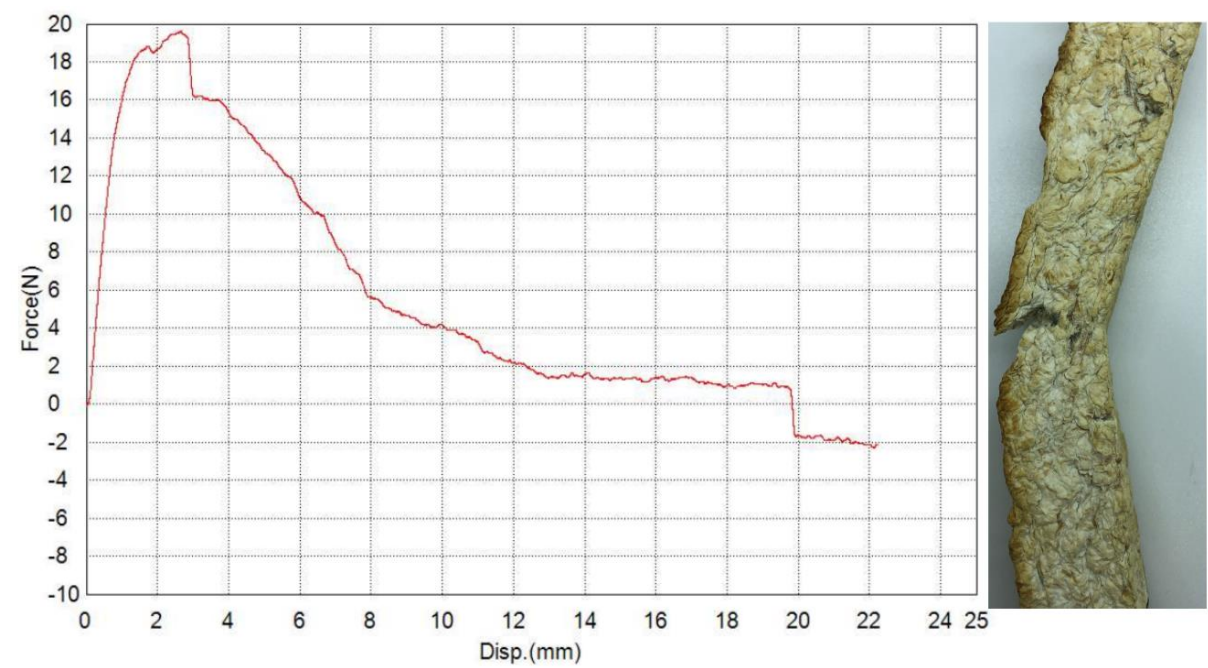


ΔΟΚΙΜΙΟ 10

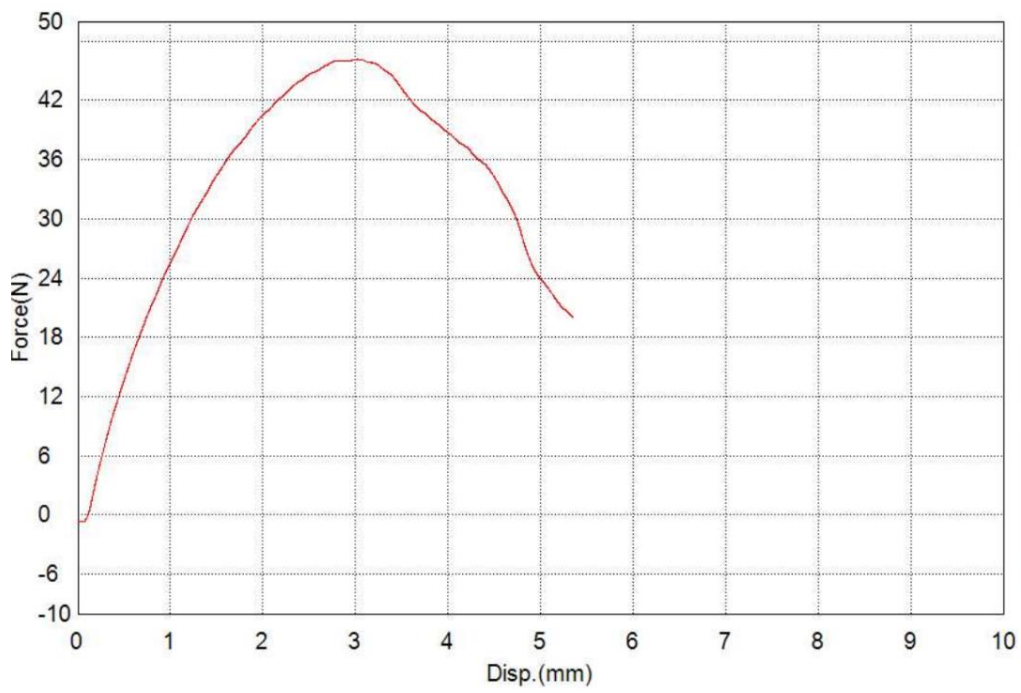


Κάμψη διαγράμματα F(N) – D(mm) | σέλερι

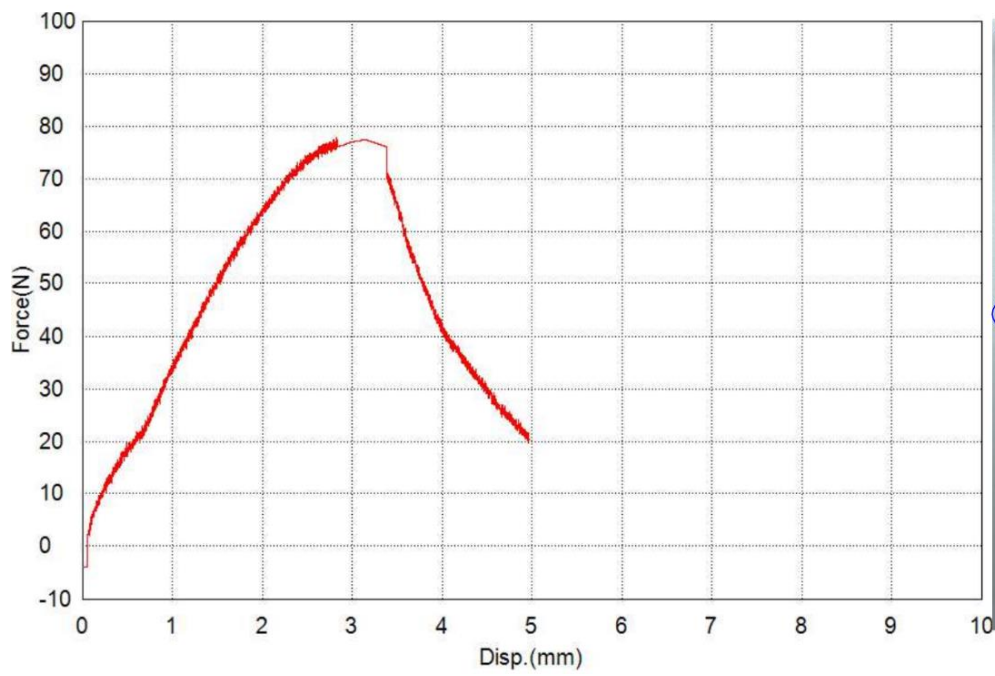
ΔΟΚΙΜΙΟ 1



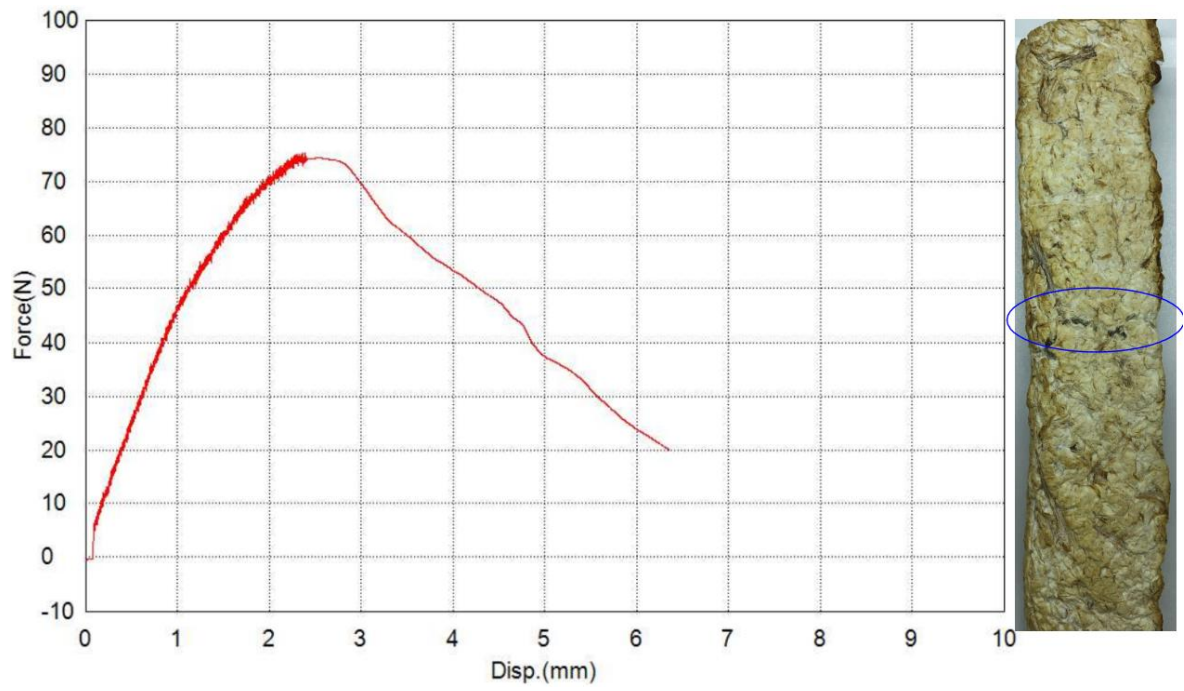
ΔΟΚΙΜΙΟ 2



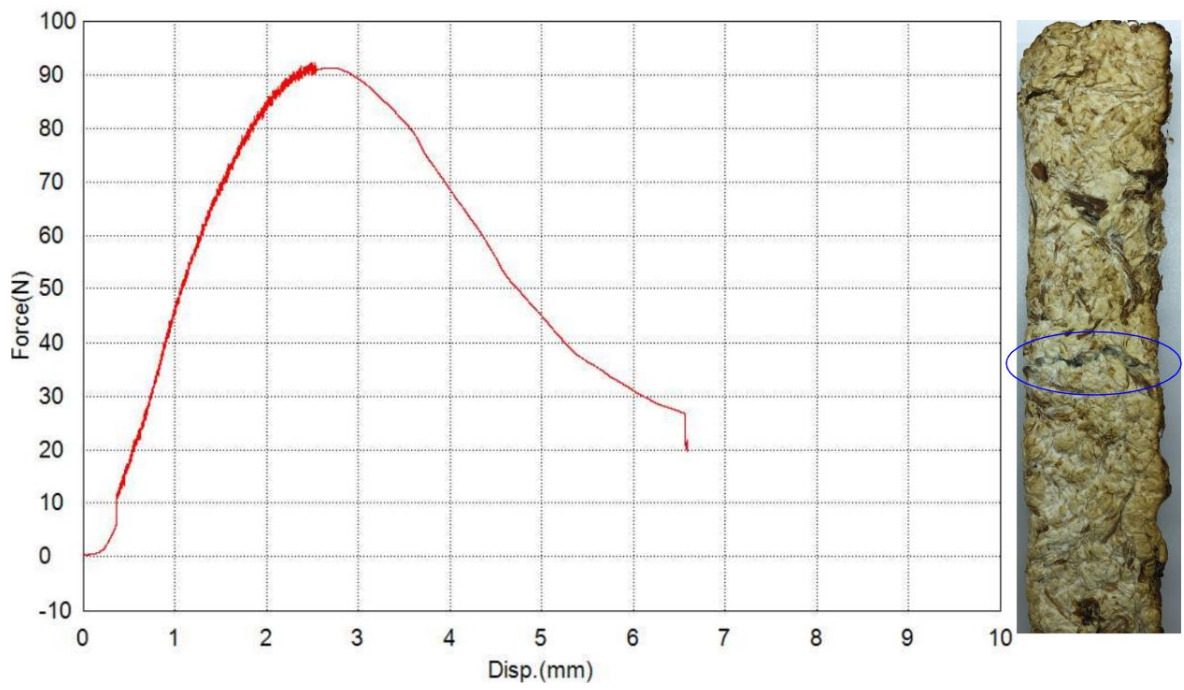
ΔΟΚΙΜΙΟ 3



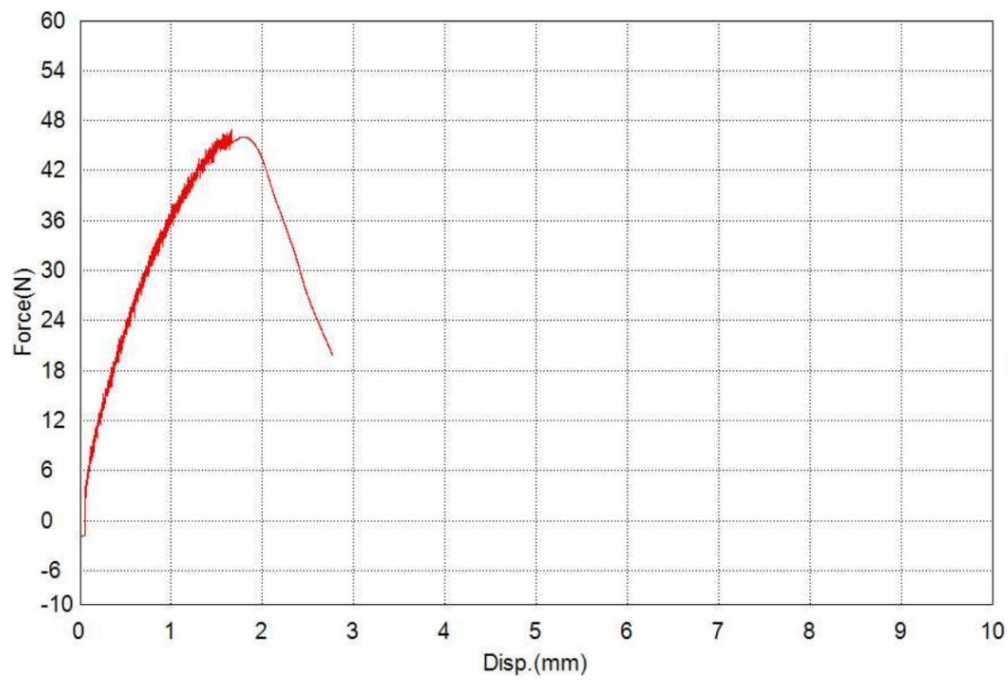
ΔΟΚΙΜΙΟ 5



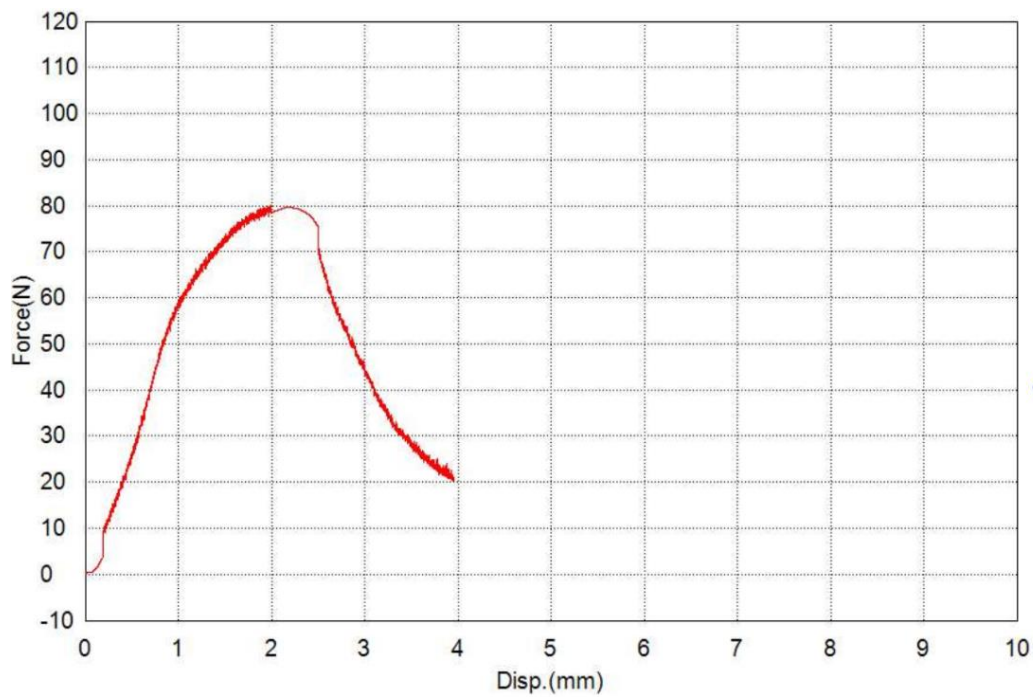
ΔΟΚΙΜΙΟ 6



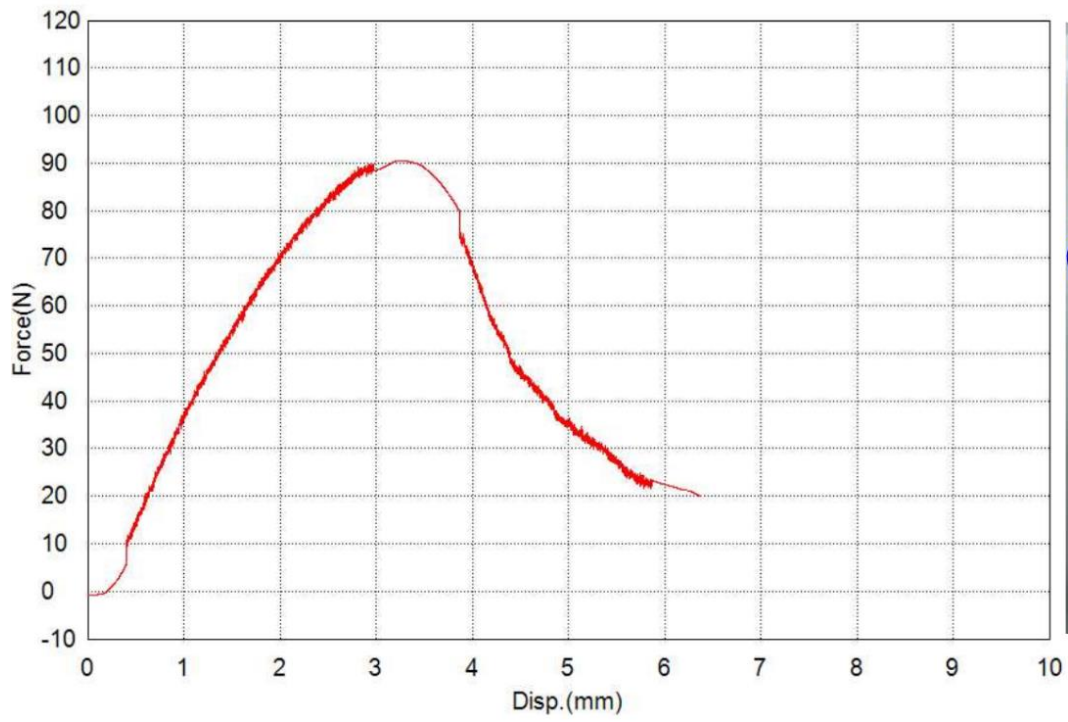
ΔΟΚΙΜΙΟ 7



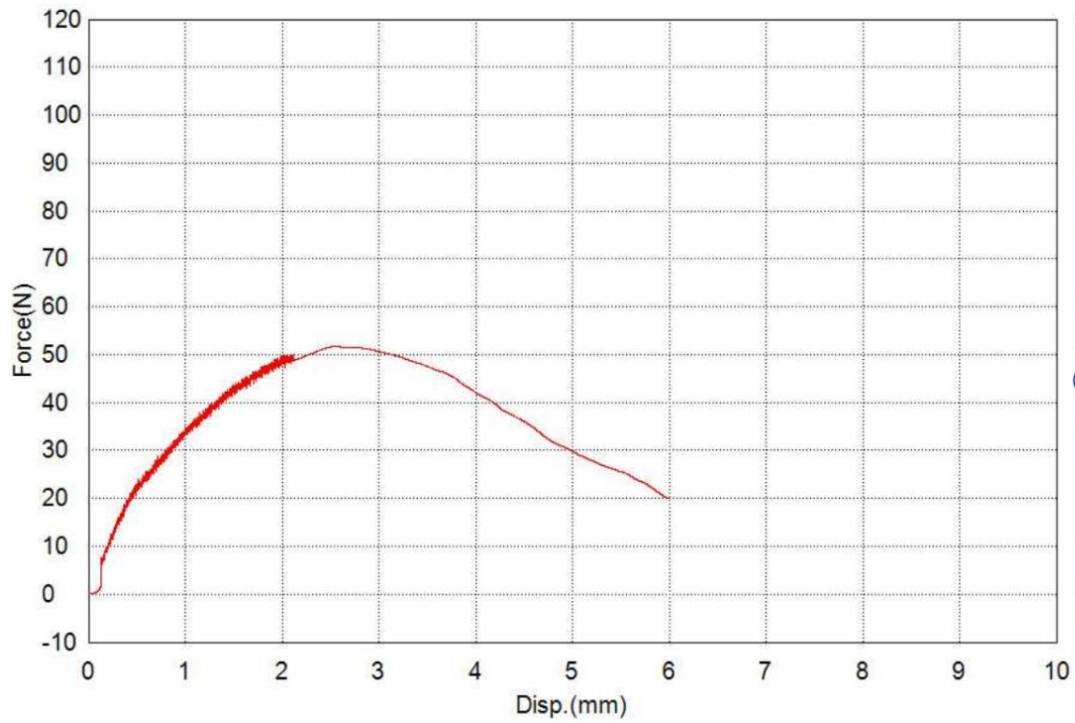
ΔΟΚΙΜΙΟ 8



ΔΟΚΙΜΙΟ 9

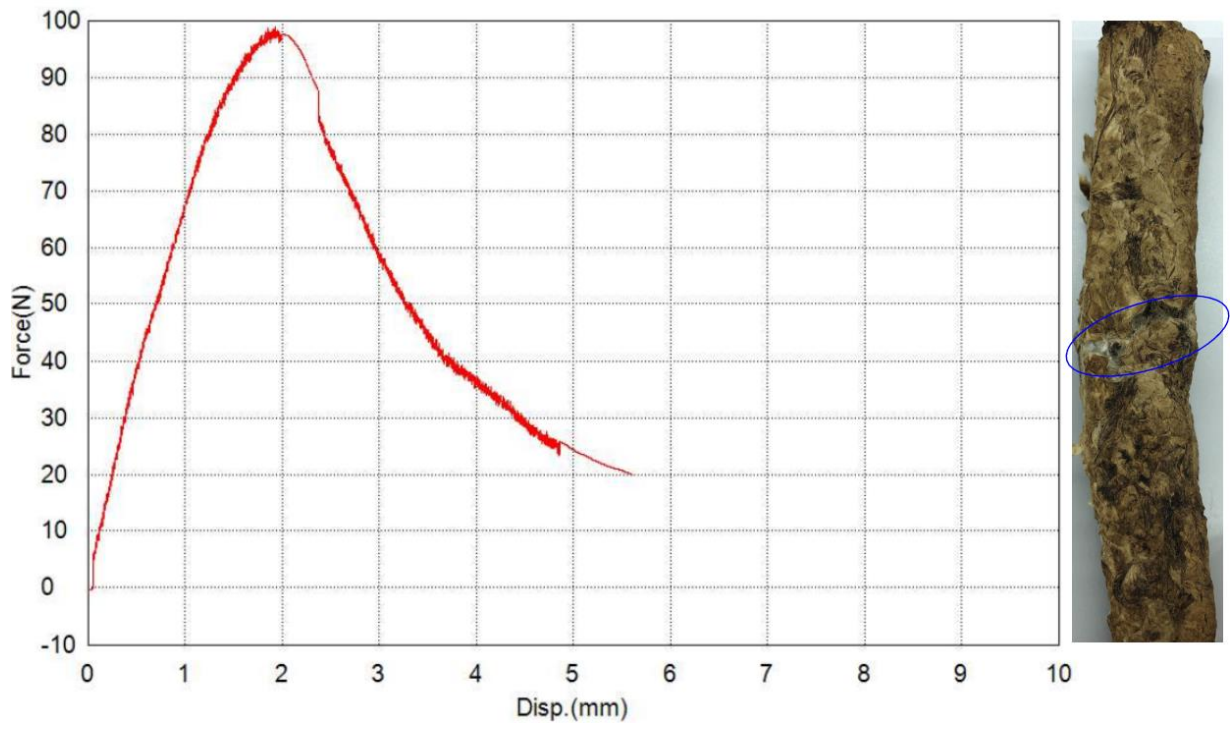


ΔΟΚΙΜΙΟ 10

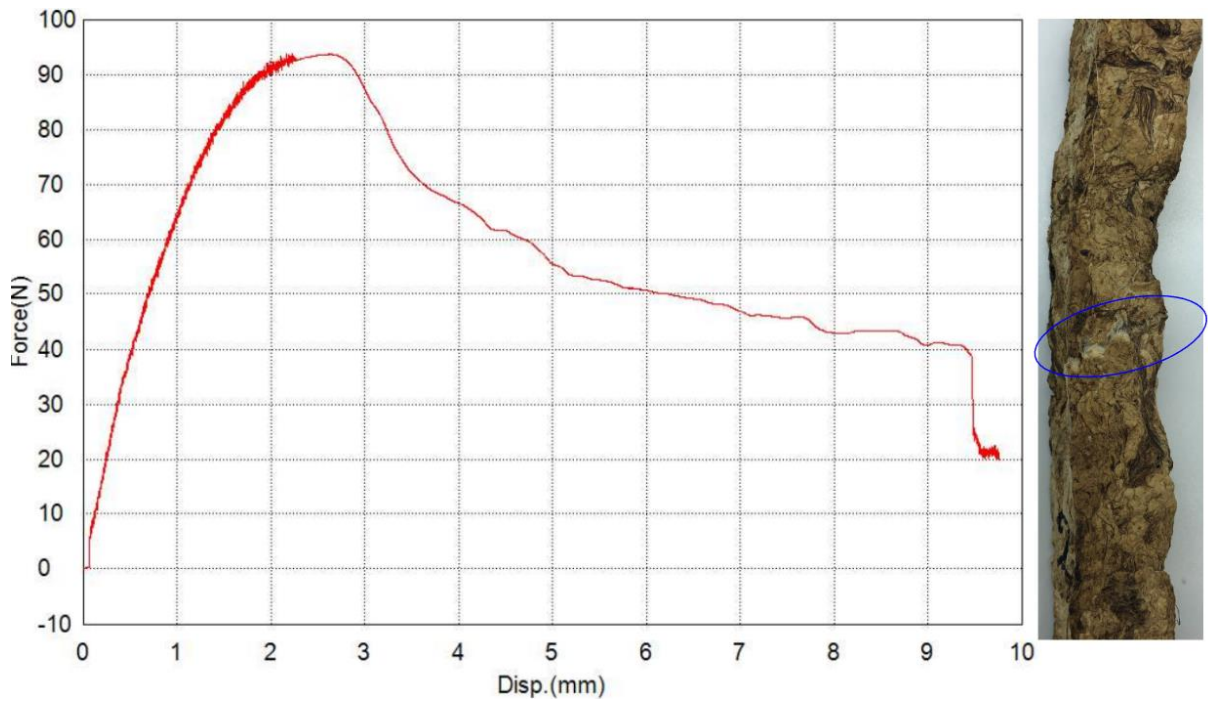


Κάμψη διαγράμματα F(N) – D(mm) | μπανάνα

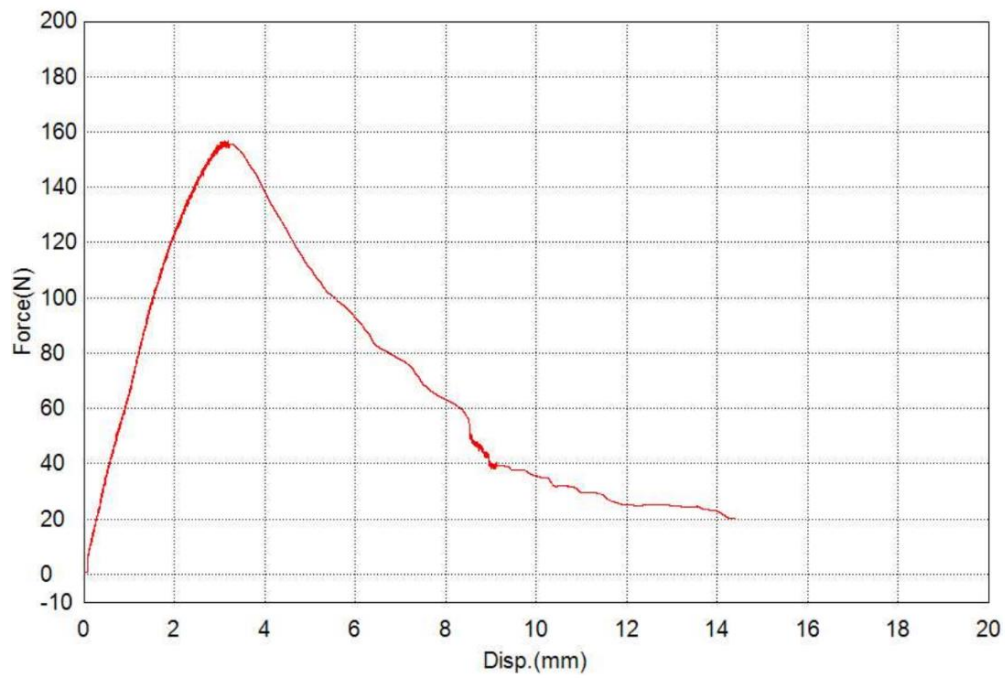
ΔΟΚΙΜΙΟ 1



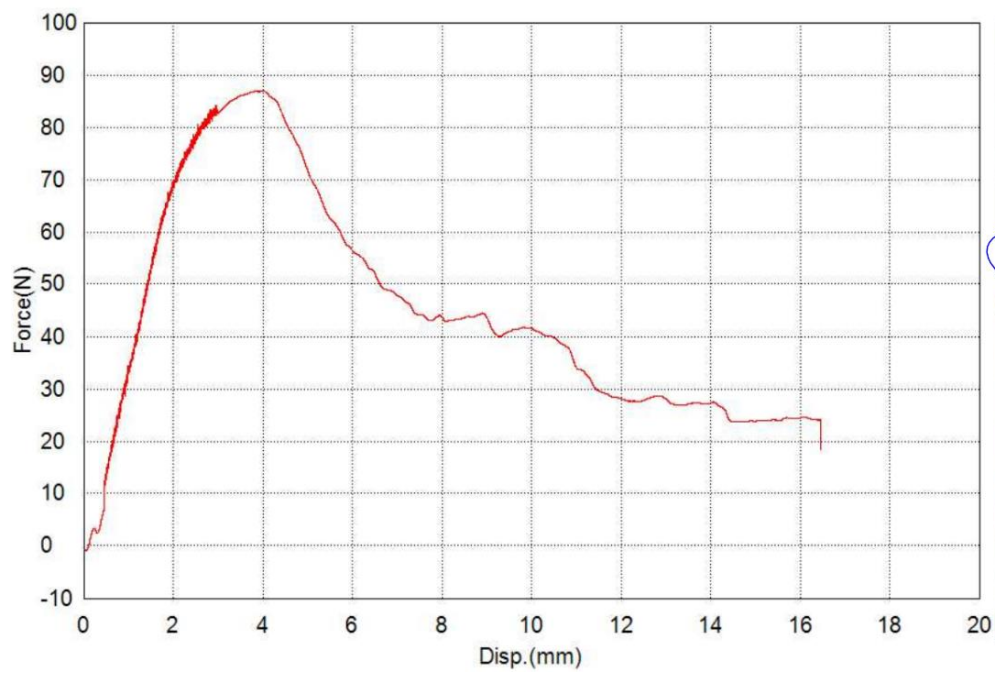
ΔΟΚΙΜΙΟ 2



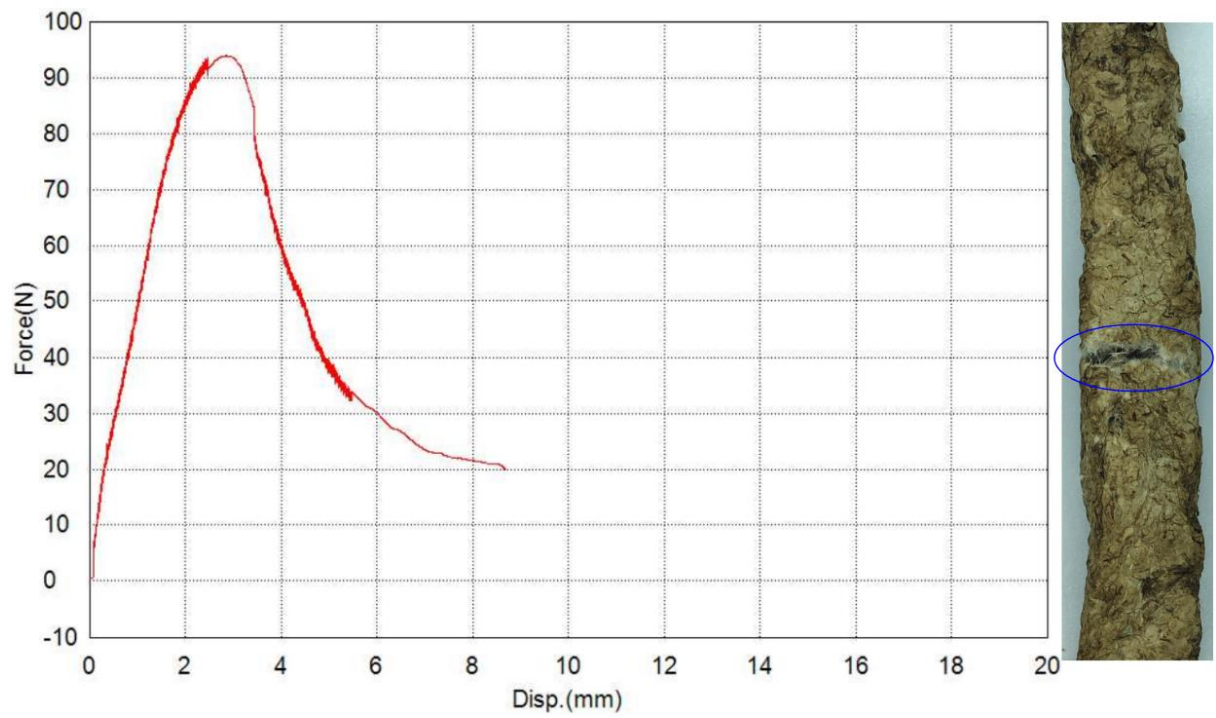
ΔΟΚΙΜΙΟ 3



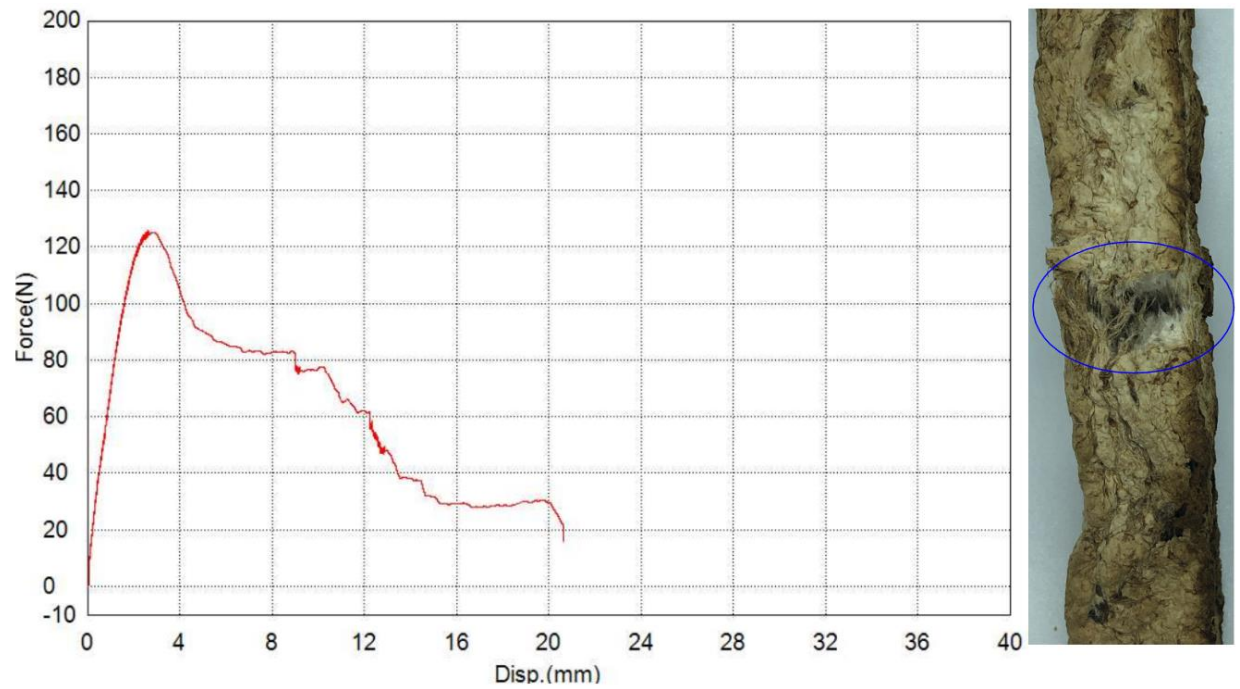
ΔΟΚΙΜΙΟ 4



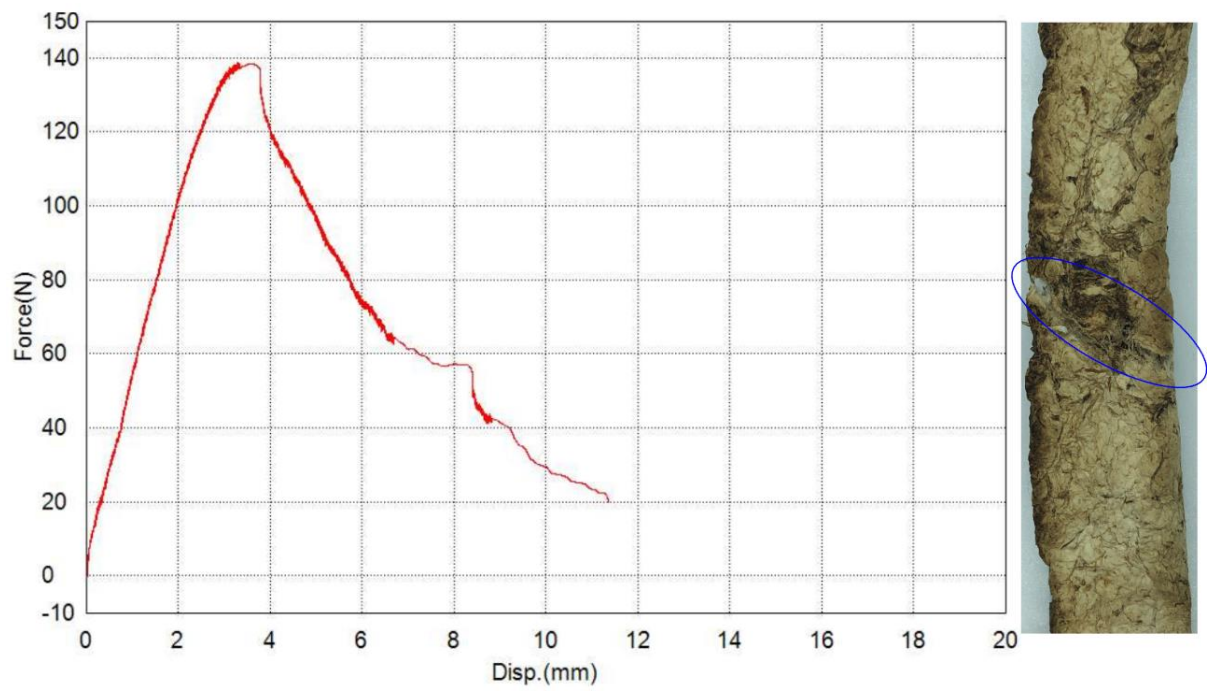
ΔΟΚΙΜΙΟ 5



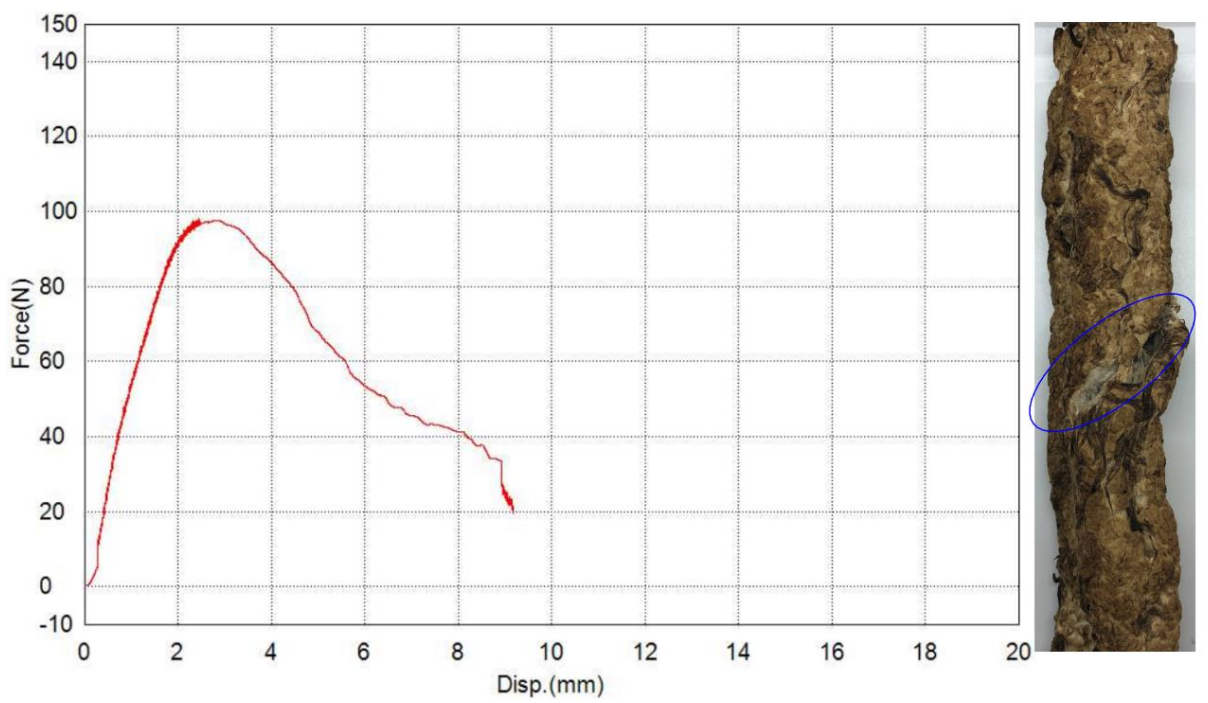
ΔΟΚΙΜΙΟ 6



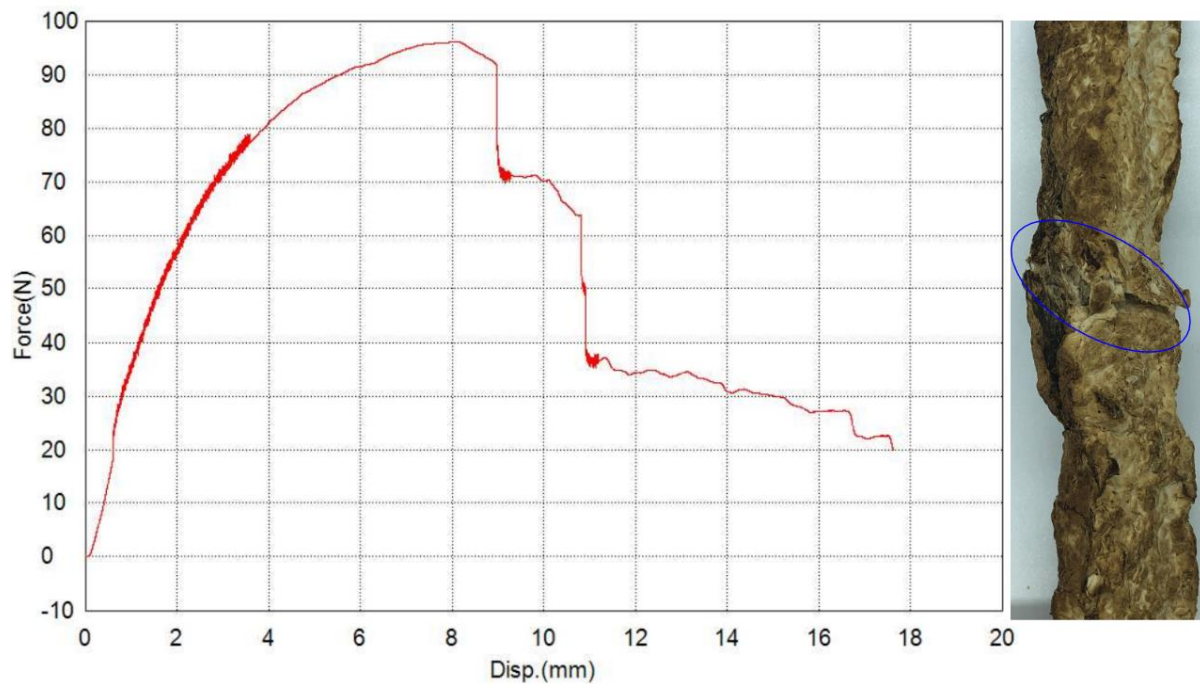
ΔΟΚΙΜΙΟ 7



ΔΟΚΙΜΙΟ 8



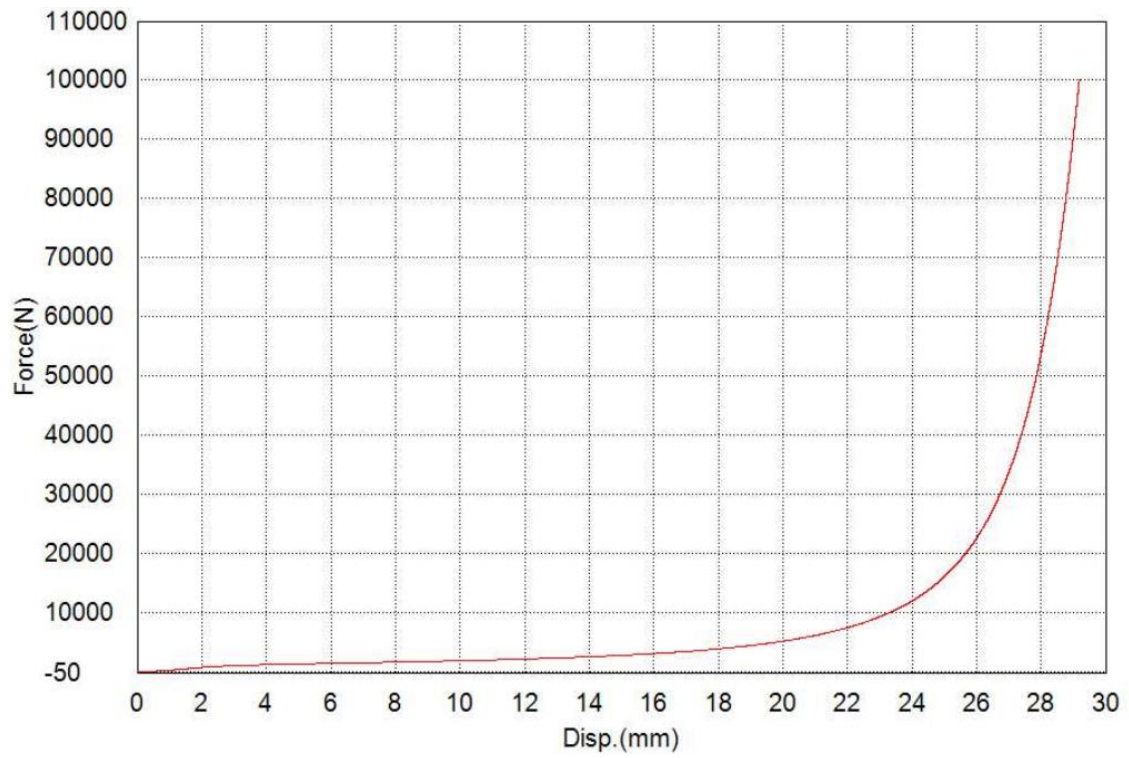
ΔΟΚΙΜΙΟ 10



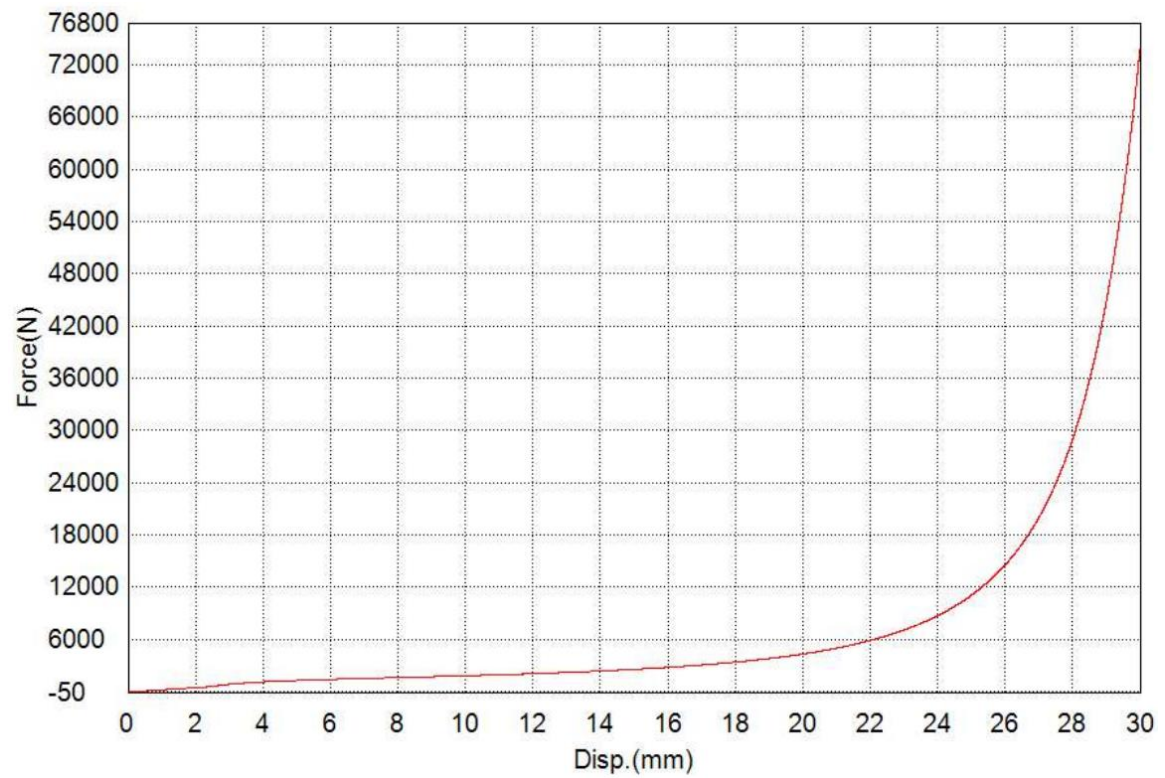
Θλίψη διαγράμματα F(N) – D(mm) | σέλερι



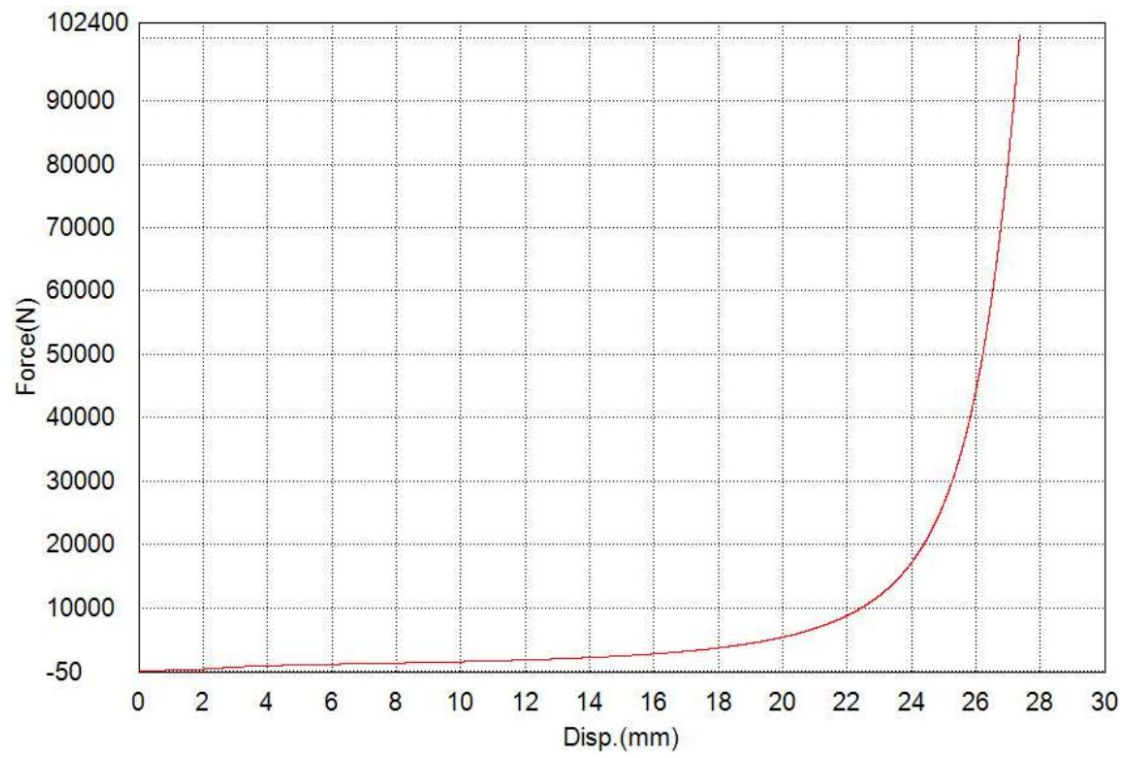
ΔΟΚΙΜΙΟ 1



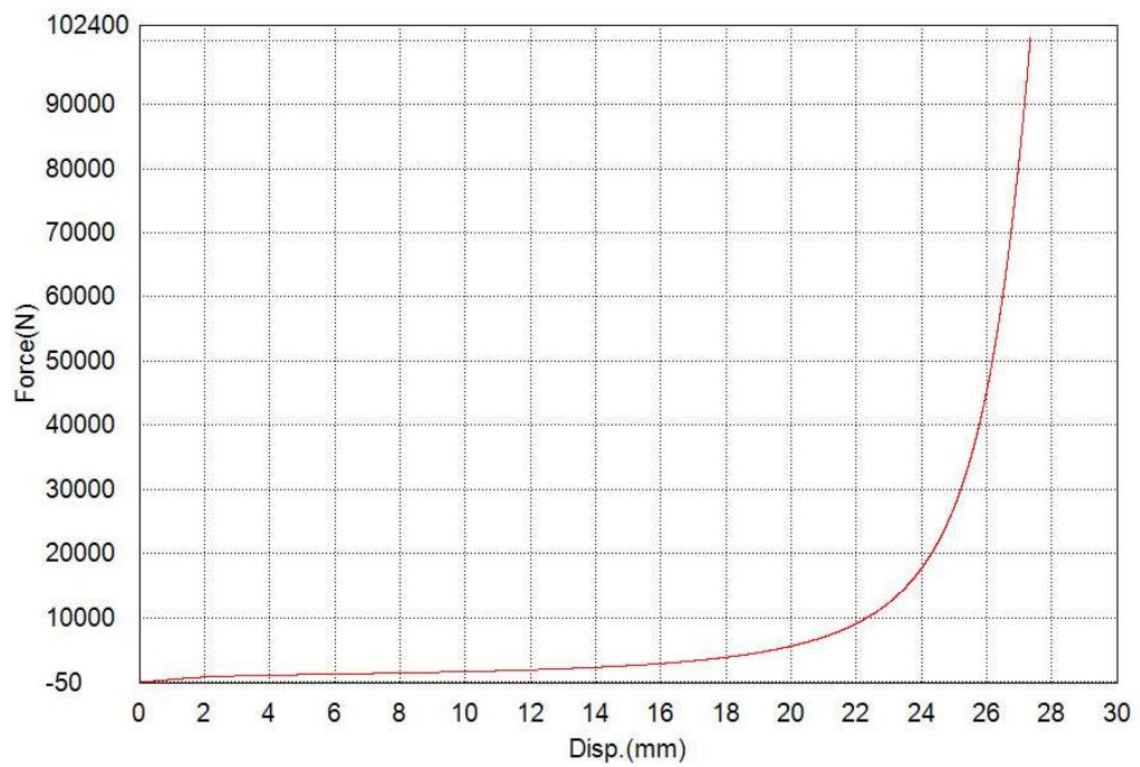
ΔΟΚΙΜΙΟ 2



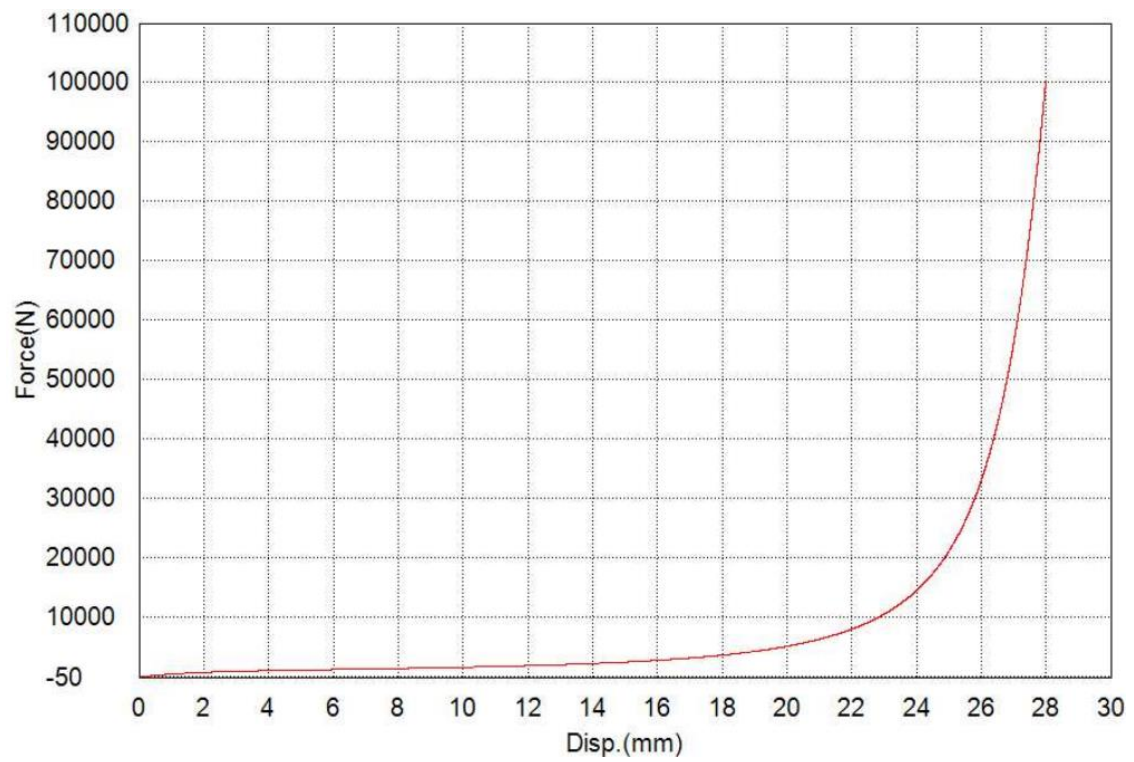
ΔΟΚΙΜΙΟ 3



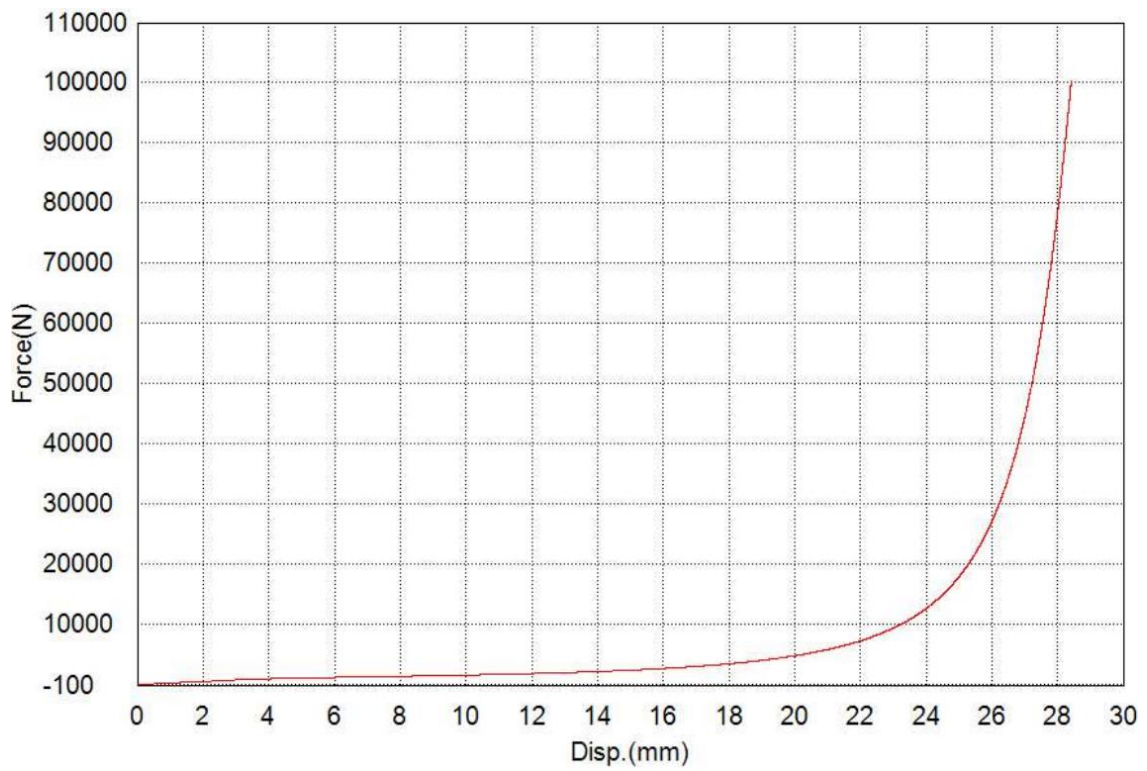
ΔΟΚΙΜΙΟ 4



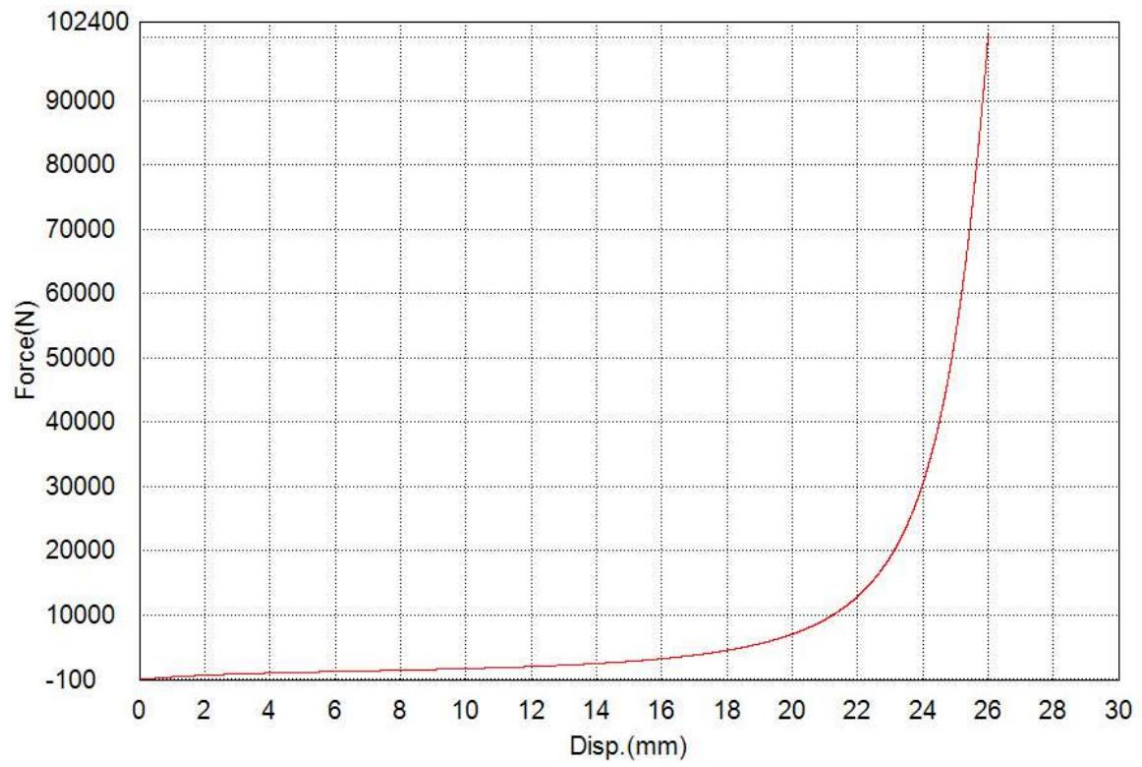
ΔΟΚΙΜΙΟ 5



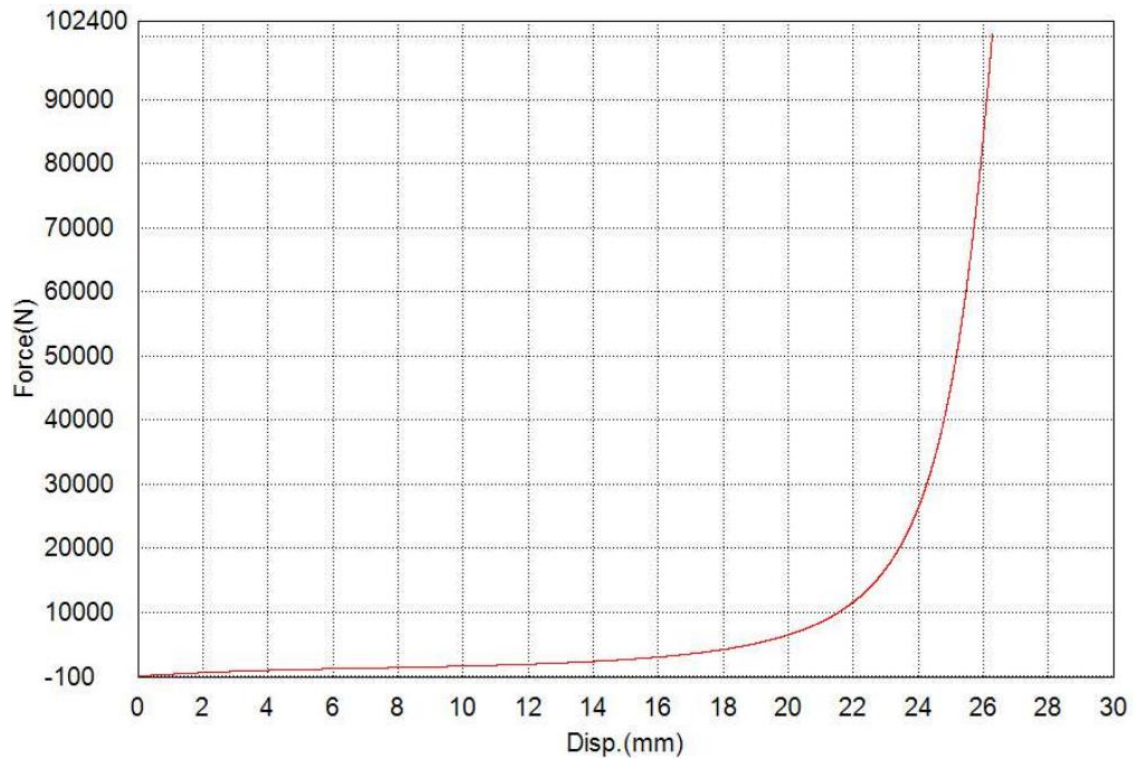
ΔΟΚΙΜΙΟ 6



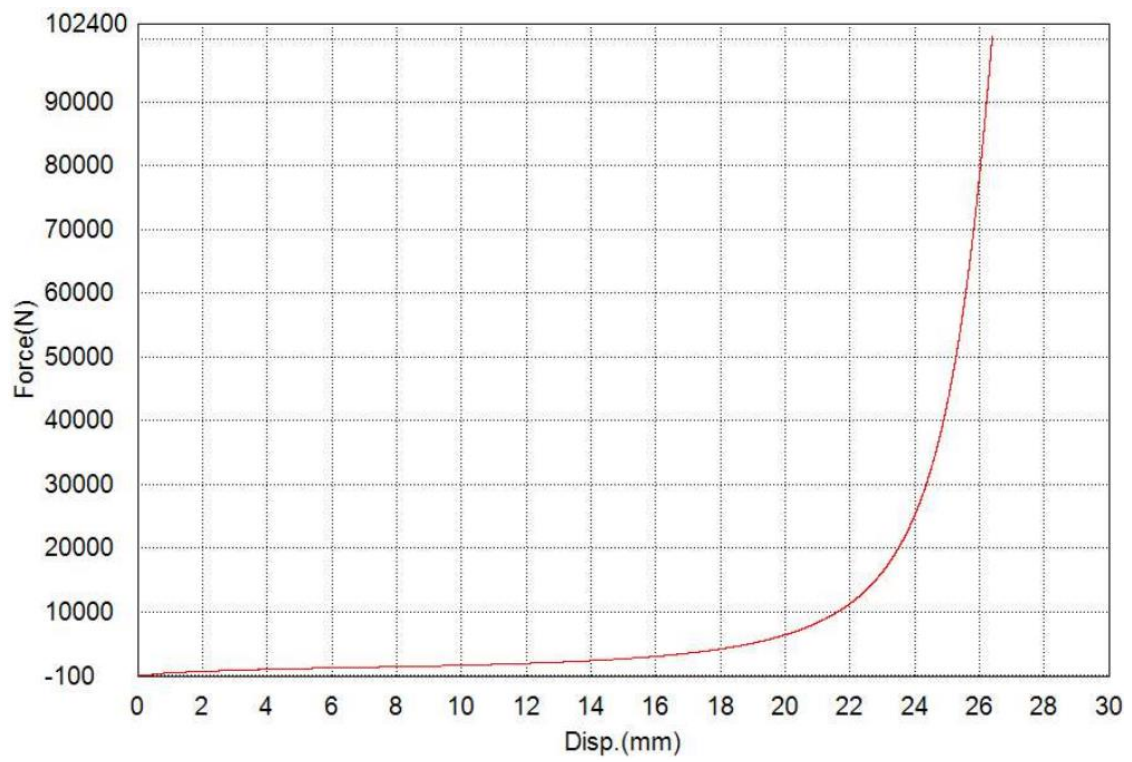
ΔΟΚΙΜΙΟ 7



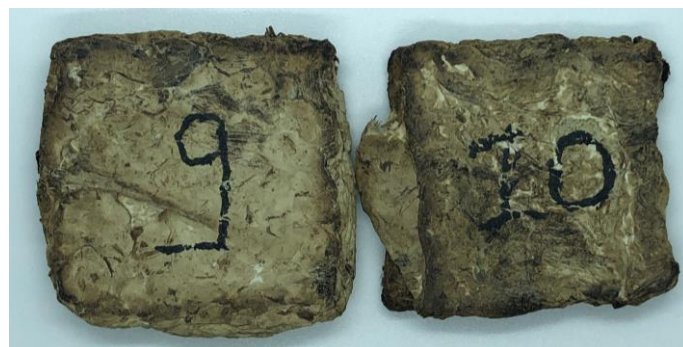
ΔΟΚΙΜΙΟ 9



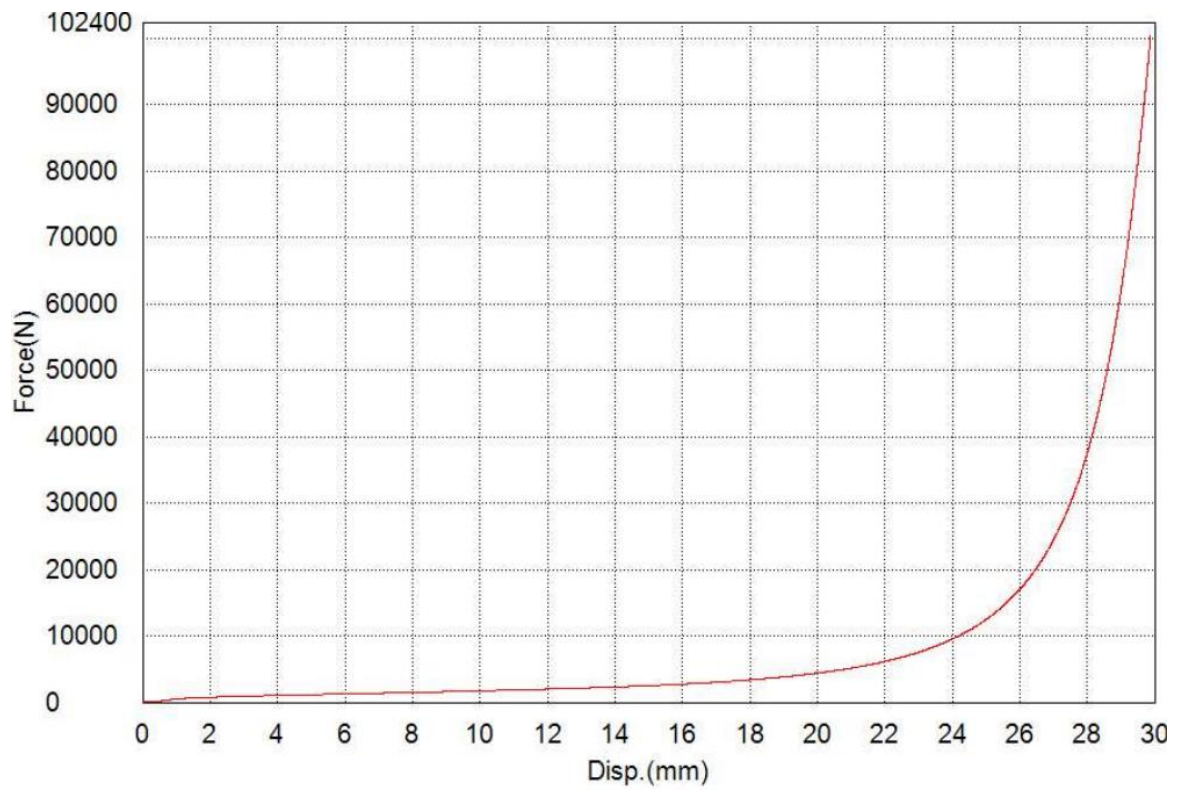
ΔΟΚΙΜΙΟ 10



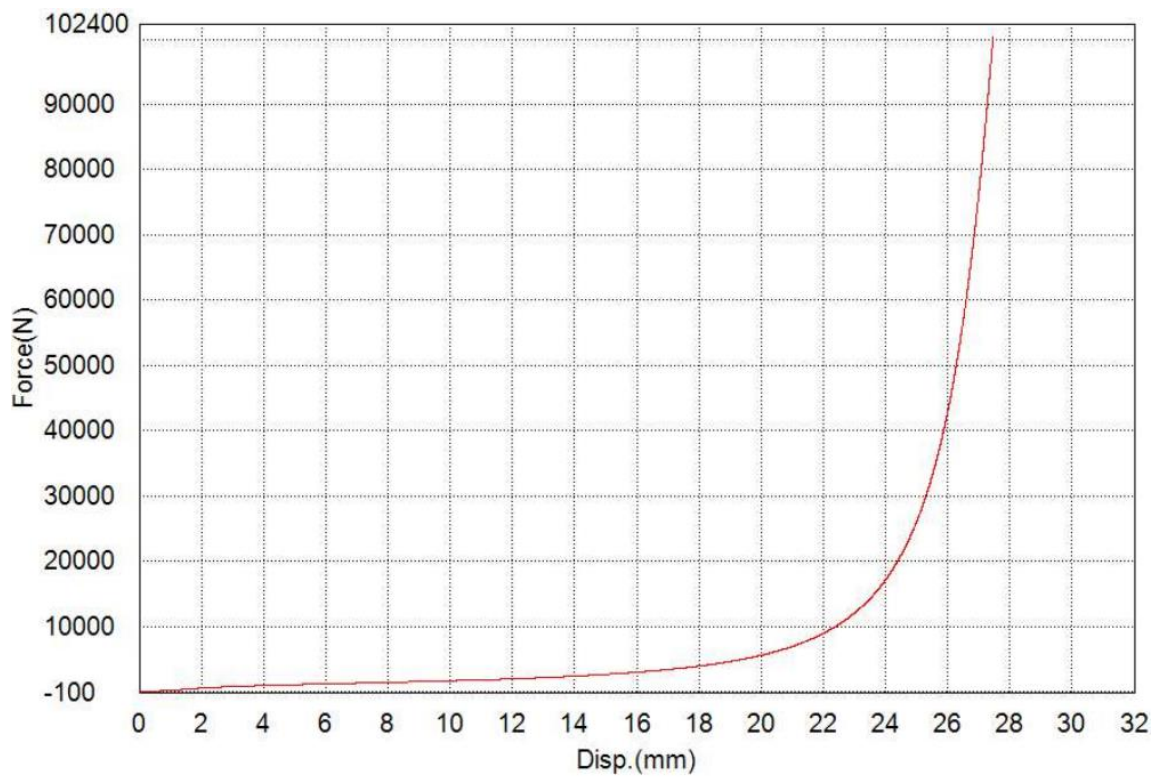
Θλίψη διαγράμματα F(N) – D(mm) | μπανάνα



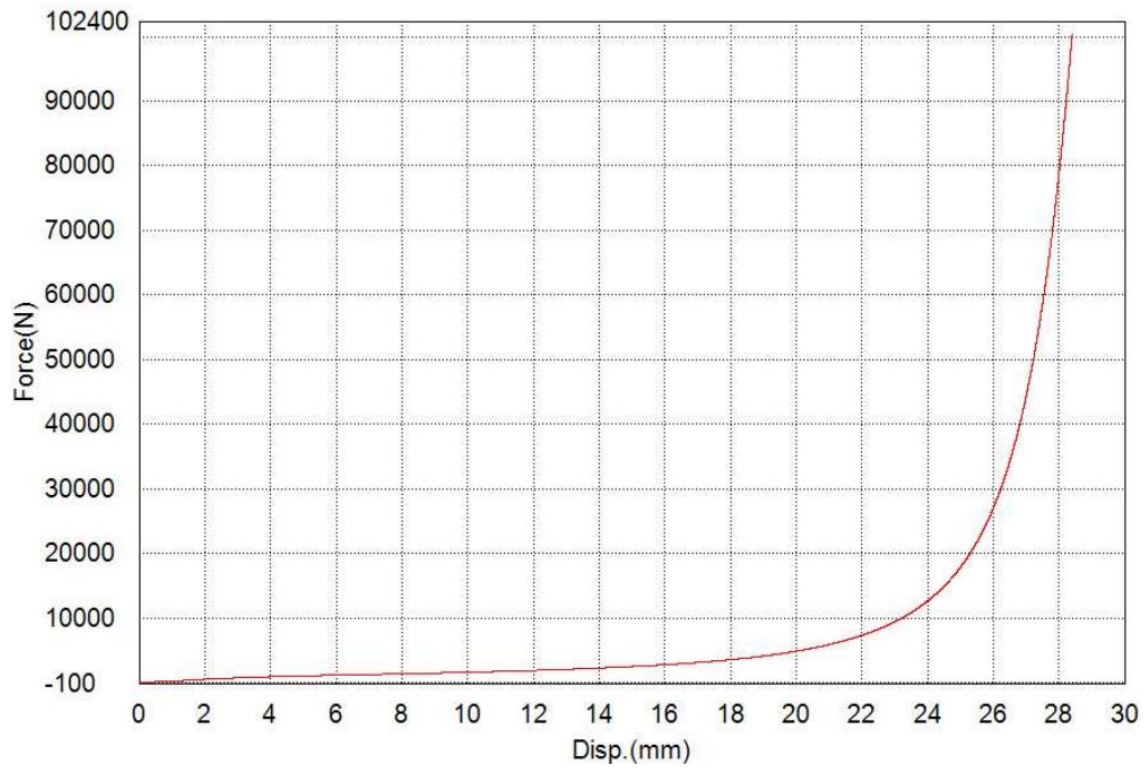
ΔΟΚΙΜΙΟ 1



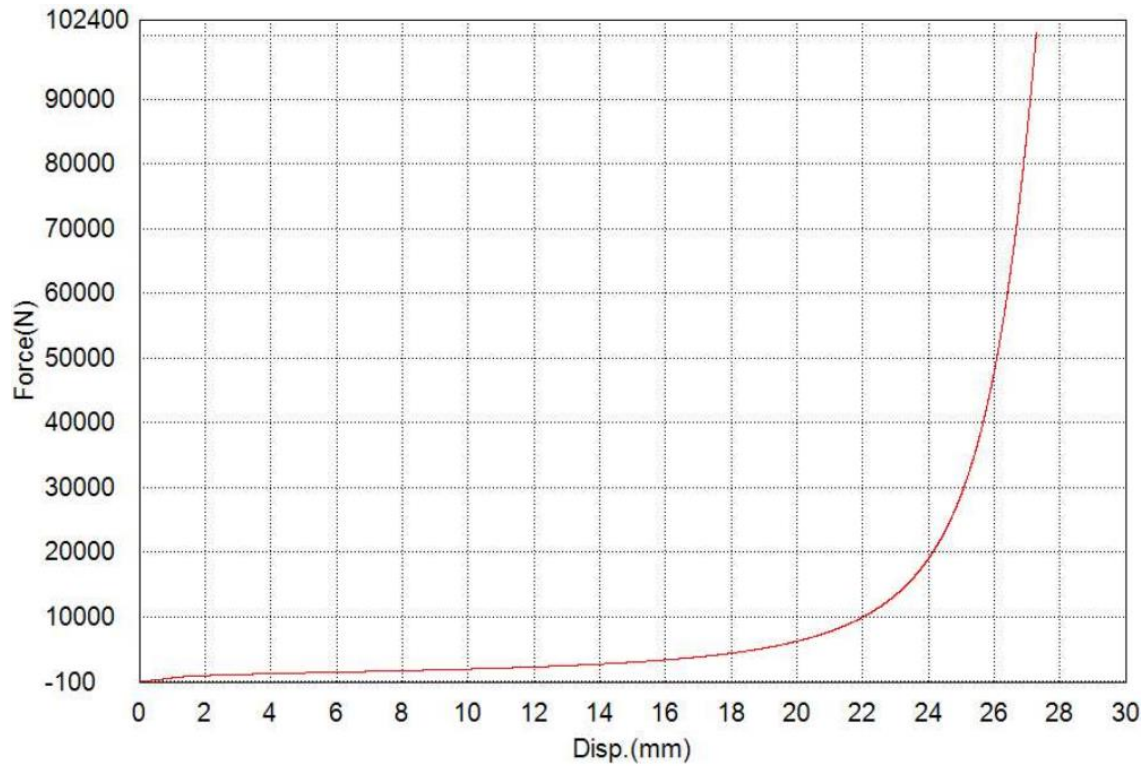
ΔΟΚΙΜΙΟ 2



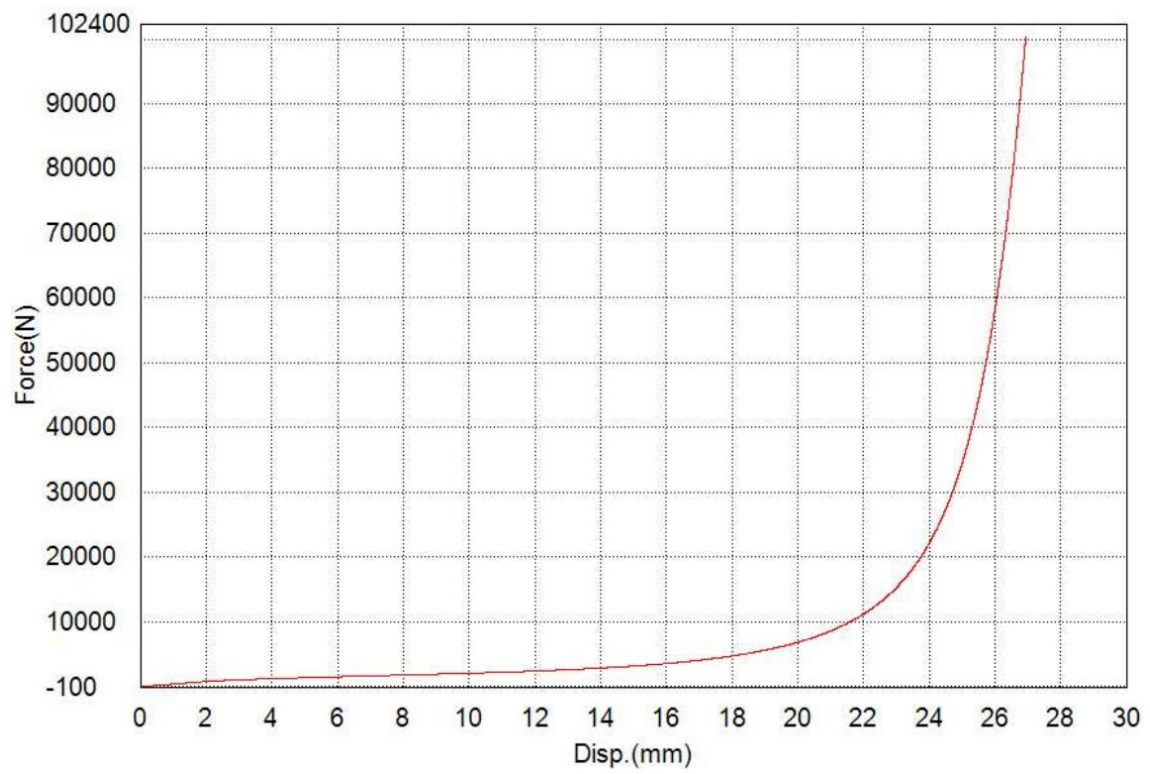
ΔΟΚΙΜΙΟ 3



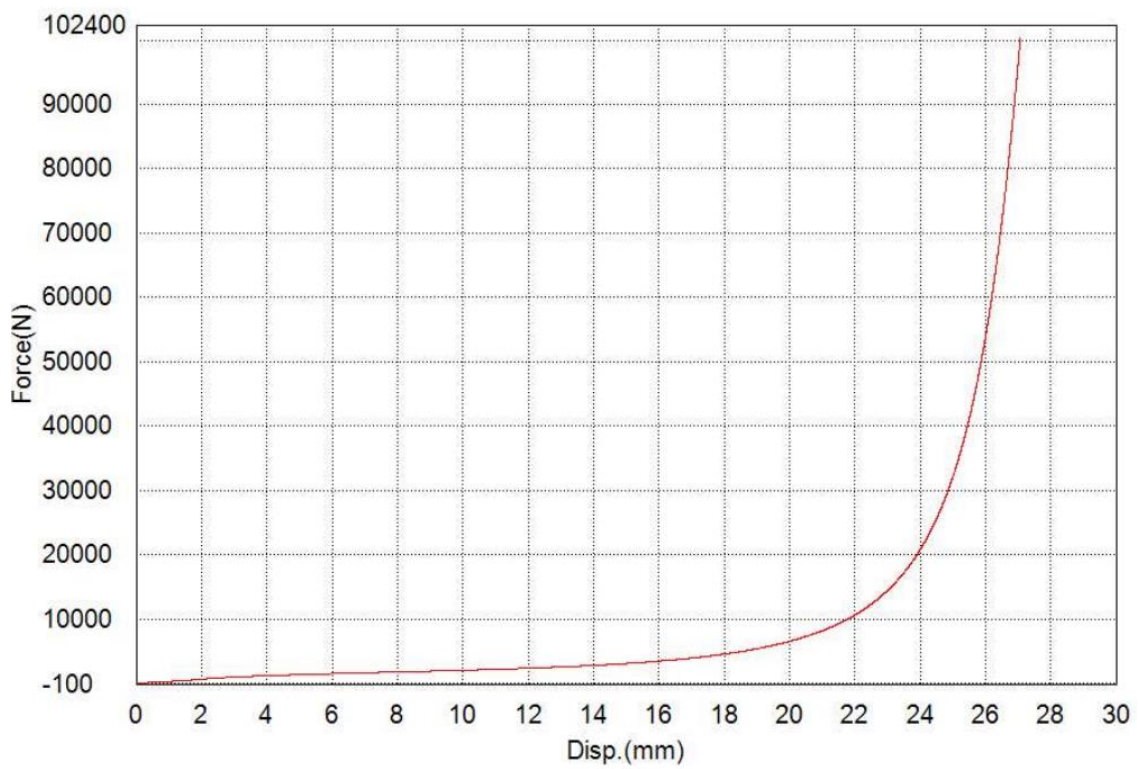
ΔΟΚΙΜΙΟ 5



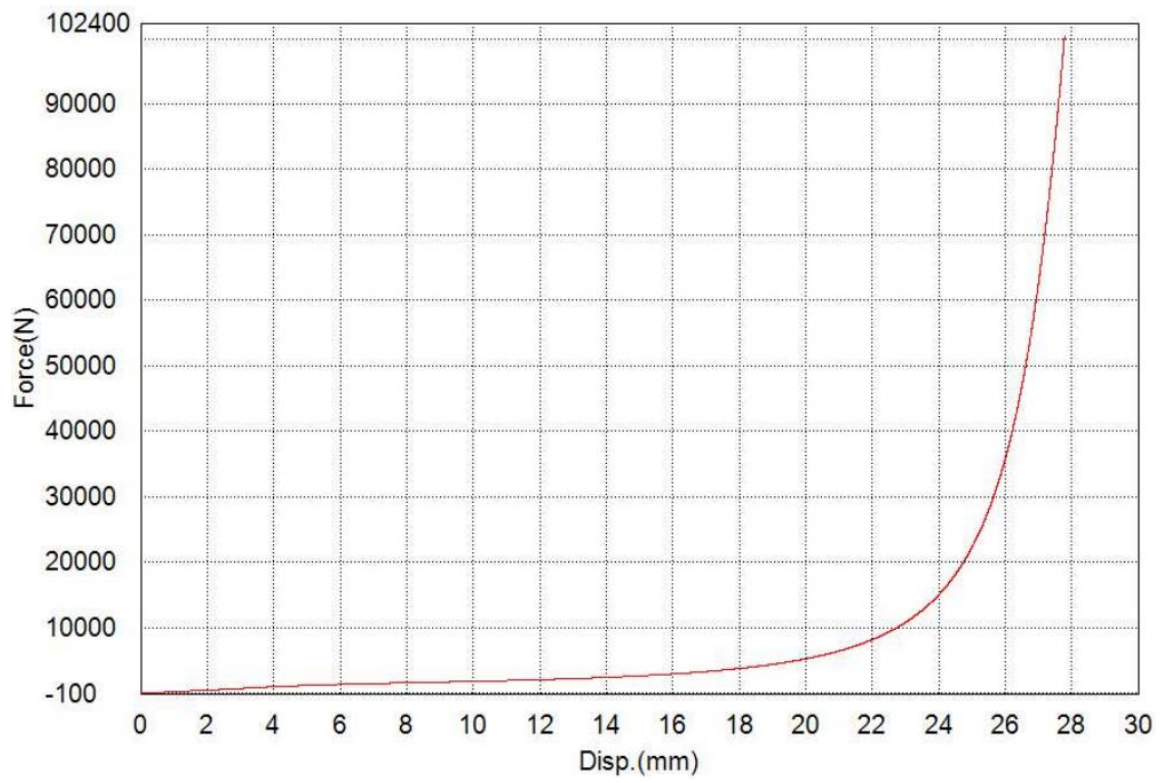
ΔΟΚΙΜΙΟ 6



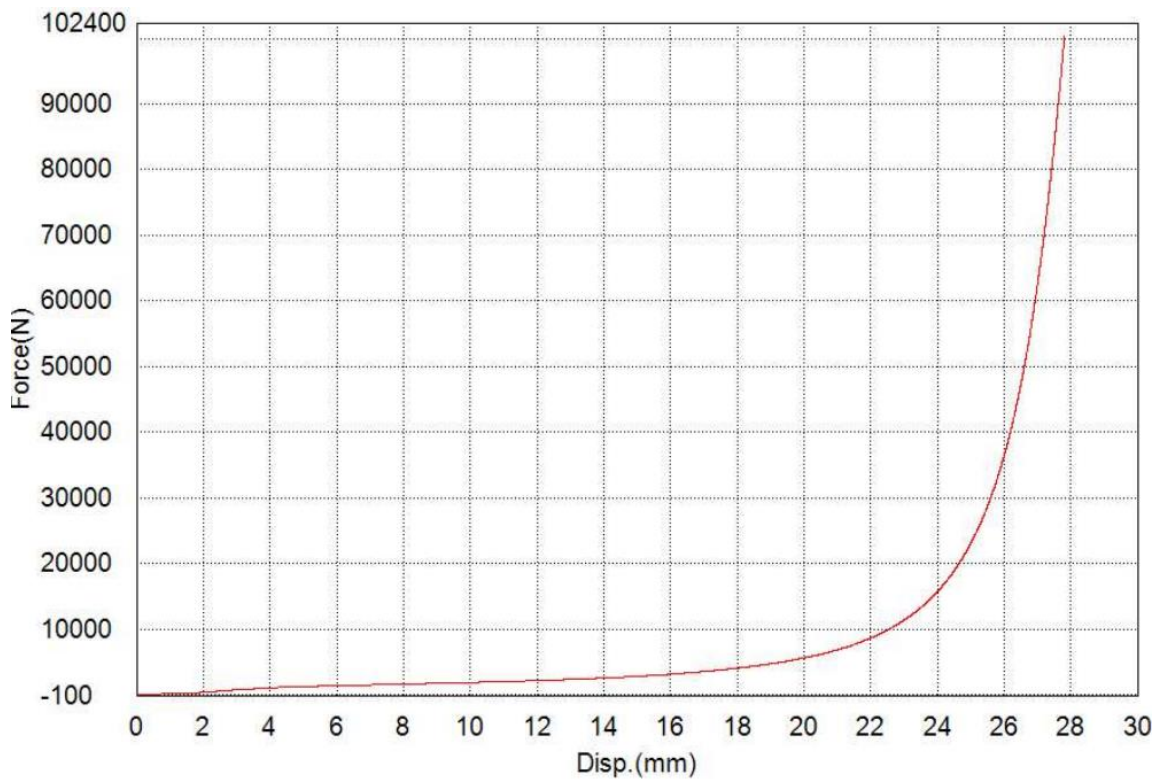
ΔΟΚΙΜΙΟ 7



ΔΟΚΙΜΙΟ 8



ΔΟΚΙΜΙΟ 9



ΔΟΚΙΜΙΟ 10

