



# Εφαρμογές και Ιδιότητες του φυτού Luffa

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΚΙΟΚΑ ΜΑΡΙΝΑ / ΑΜ 5112009010

### ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων Παπανίκος Παρασκευάς

1ο Μέλος Ζαχαρόπουλος Νικόλαος

2ο Μέλος Κορώνης Γεώργιος

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 με όλες μου τις δυνάμεις να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την καλή χρήση αναφορών ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Παρασκευά Παπανίκο για τη βοήθεια, καθοδήγηση και συμπαράσταση που μου πρόσφερε. Ευχαριστώ την οικογένεια και τους φίλους μου για την συνεχή στήριξη έτσι ώστε να μπορέσω να φτάσω ως εδώ.

## Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΦΥΤΟ ΛΟΥΦΑ .....	7
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	7
1.1.1 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ .....	8
1.1.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ .....	8
1.1.3 ΔΙΑΔΟΣΗ .....	8
1.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ .....	9
1.2.1 ΚΛΙΜΑ .....	10
1.2.2 ΕΔΑΦΟΣ-ΠΟΤΙΣΜΑ-ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ .....	10
1.2.3 ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ .....	11
1.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΤΗΡΙΣΤΙΚΑ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΤΟΥ .....	12
1.3.1 ΩΡΙΜΟ ΦΥΤΟ .....	12
1.3.2 ΣΤΕΛΕΧΟΣ .....	12
1.3.3 ΦΥΛΛΑ .....	13
1.3.4 ΛΟΥΛΟΥΔΙΑ .....	13
1.3.5 ΚΑΡΠΟΣ .....	14
1.3.6 ΣΠΟΡΟΙ .....	14
1.4 ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	15
1.5 ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ .....	16
1.5.1 ΜΗ ΩΡΙΜΟΣ ΚΑΡΠΟΣ .....	16
1.5.2 ΧΥΜΟΣ .....	17
1.5. ΣΠΟΡΟΙ .....	17
1.6 ΑΠΟΛΕΠΙΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΦΟΥΓΓΑΡΙΩΝ LUFFA .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	21
2.1 ΙΑΤΡΙΚΗ .....	21
2.2 ΦΥΣΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΝΕΡΟΥ .....	22
2.3 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΗΧΟΥ .....	26
2.4 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ .....	28
2.4.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΙΝΩΝ LUFFA CYLINDRICA ΚΑΙ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ Sic .....	28
2.4.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ LUFFA CYLINDRICA .....	31
2.4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ LUFFA CYLINDRICA ΩΣ ΒΙΟΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ: ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ, ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ .....	32
2.4.4 ΧΡΗΣΗ ΙΝΩΝ LUFFA ΩΣ ΒΙΟΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ .....	37

2.4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΙΝΕΣ LUFFA: ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΒΙΟ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	39
2.4.6 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΦΟΥΓΓΑΡΙΩΝ LUFFA ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ .....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ .....</b>	<b>43</b>
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	43
3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ .....	44
3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ .....	46
3.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	47
3.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	47
3.4.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ .....	49
3.4.3 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	51
3.4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ LUFFA.....	52
3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΑ ΥΛΙΚΑ .....	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>57</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>58</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνειδητοποίηση για την επείγουσα ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος έχει αυξηθεί σημαντικά στον τομέα της μηχανικής. Αυτή η ανησυχία πηγάζει από την αναγνώριση των σοβαρών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας, όπως η κλιματική αλλαγή, η ρύπανση του αέρα και του νερού, και η απώλεια βιοποικιλότητας. Έτσι έχει γίνει αντιληπτή η επείγουσα ανάγκη για καινοτόμες λύσεις που θα συμβάλουν στη μείωση του αρνητικού αντίκτυπου των μηχανικών δραστηριοτήτων στο περιβάλλον.

Συνεπώς, έχει εμφανιστεί μια ευρεία προσπάθεια αναζήτησης και ανάπτυξης νέων υλικών και τεχνολογιών που να είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Αυτές οι καινοτόμες λύσεις προορίζονται να αντικαταστήσουν παραδοσιακά υλικά και τεχνολογίες που μπορεί να προκαλούν περιβαλλοντικές ζημιές και να προωθήσουν την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτή η προσέγγιση είναι ουσιώδης για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας του πλανήτη μας και για την προώθηση ενός πιο ισορροπημένου και φιλικού προς το περιβάλλον τρόπου ζωής.

Σε αυτό το πλαίσιο, μια πρωτότυπη προσέγγιση αποτελεί η μελέτη του σφουγγαριού *luffa*, ένα φυσικό υλικό με ποικίλες εφαρμογές, ως πιθανή εναλλακτική λύση που ενσωματώνει τις αρχές της βιωσιμότητας και της φιλικότητας προς το περιβάλλον. Παρά τις ελπίδες για τη βιωσιμότητα του σφουγγαριού *luffa*, πρέπει να εξετάσουμε και να κατανοήσουμε τον αντίκτυπο της επεξεργασίας του υλικού στις μηχανικές του ιδιότητες.

Ο κυρίαρχος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων του σφουγγαριού *luffa* μετά την επεξεργασία του, καθώς και η αξιολόγηση της δυνατότητάς του για χρήση σε διάφορες εφαρμογές στον τομέα της μηχανικής.

Η δομή της εργασίας περιλαμβάνει τέσσερα κεφάλαια, τα οποία παρουσιάζουν πληροφορίες για τη *Luffa*, τα στάδια ανάπτυξής της, τις διαφορετικές χρήσεις ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, και τις διαδικασίες επεξεργασίας που απαιτούνται για τη χρήση της ως σφουγγάρι, ακολουθούμενα από τις εφαρμογές του σφουγγαριού-φυτού σε πειράματα, τα αποτελέσματα και την ανάλυση αυτών. Επίσης την ανάλυση των μηχανικών ιδιοτήτων του σφουγγαριού και τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις. Μέσω αυτής της δομής, η εργασία επιδιώκει να αναδείξει το δυναμικό του σφουγγαριού *luffa* ως βιώσιμου υλικού στη μηχανική.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΦΥΤΟ ΛΟΥΦΑ

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

#### 1.1.1 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Η Luffa ή Loofah είναι μέλος της οικογένειας Cucurbitaceae, όπως το αγγούρι και η κολοκύθα, της φυλής Benincaseae και της υποφυλής Luffinae. (Yuxia Chen et al. ,2017) (Jean Nick et al. , 2014) Το όνομα «Luffa» εισήχθη στη δυτική βοτανική ονοματολογία από τον Γερμανό βοτανολόγο Johann Veslingius (1598–1649). Ενώ ένας Γάλλος βοτανολόγος, ο Joseph Pitton de Tournefort (1656–1708), εισήγαγε το επίσημο όνομα του γένους βοτανικής «Luffa» στην Ευρώπη. (2,W. M. Porterfield et al. 1955, 10) Τα είδη της Luffa φτάνουν τα 50 σε αριθμό, με 6 από αυτά να είναι τα πιο σημαντικά και πιο γνωστά: Luffa acutangula, Luffa aegyptiaca/Luffa cylindrica, Luffa operculata, Luffa sepium. Luffa Echinata. (I. O. Oboh et al, 2009) ,(Yuxia Chen et al 2017.), (Jean Nick et al., 2014)

Τα είδη που θεωρούνται «εξημερωμένα» είναι τα δύο πρώτα. Το Luffa Acutangula (εικ. 1β) (κινέζικη μπάμια), πρόκειται για μια ραβδωτή λούφα, η επιφάνεια της οποίας καλύπτεται από ραβδώσεις που διατρέχουν το μήκος της. Το δεύτερο είδος είναι το Luffa Cylindrica (εικ. 1α) (αιγυπτιακό αγγούρι), πρόκειται για μια λεία λούφα, η οποία είναι μεγαλύτερη από την Acutangula, πιο κυλινδρική, με ελαφρώς παχύτερη βάση. Οι νεαροί καρποί και των δύο ειδών μαγειρεύονται και χρησιμοποιούνται για φαγητό, ενώ οι πιο ώριμοι καρποί, με την κατάλληλη επεξεργασία χρησιμοποιούνται ως σφουγγάρια. Πιο διαδεδομένο και καταλληλότερο είδος για την παραγωγή σφουγγαριού είναι το Luffa Cylindrica (I. O. Oboh et al. 2009), (Yuxia Chen et al. 2017), (Jean Nick et al. 2014)



(α)

(β)

**Εικόνα 1:**(α) Είδος *Luffa Cylindrica* (αιγυπτιακό αγγούρι), (β) είδος *Luffa Acutangula* (κινέζικη μπάμια)

### 1.1.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Η καλλιέργεια του σφουγγαριού είναι τόσο αρχαίας προέλευσης που είναι αδύνατο να προσδιοριστεί εάν το αρχικό σπίτι ήταν στην Αφρική ή στην Ασία. Ορισμένες αρχές πιστεύουν ότι το αρχικό του σπίτι ήταν στην τροπική Ασία και ότι μπορεί να το βρει κανείς ακόμα εκεί, διευκρινίζοντας μάλιστα ότι τρεις ή τέσσερις ποικιλίες φυτρώνουν στην Ινδία. Από την άλλη, επειδή το όνομα «Luffa» είναι αραβικής προέλευσης και επειδή περιγράφηκε σε γραπτά σχετικά με την Αίγυπτο είναι πολύ εύκολο να υποστηριχθεί ότι το φυτό αυτό μπορεί να προέρχεται από τη Βόρεια Αφρική. Τα στοιχεία αποδεικνύουν καλά το γεγονός ότι, ανεξαρτήτως προέλευσης, η καλλιέργεια του φυτού λούφα συνεχίστηκε στην Κίνα, την Ιαπωνία, τη Μαλαισία, την Ινδία και τη Μέση Ανατολή από τα πρώτα χρόνια, και ότι καλλιεργούνταν κυρίως για τρόφιμα, φάρμακα και στολίδια. Αξίζει να σημειωθεί πως Πορτογάλοι εξερευνητές, και όχι Κινέζοι, στην Ασία, ήταν οι πρώτοι που ανακάλυψαν την πρακτική αξία του ινώδους ιστού που περιείχε η κολοκύθα.

### 1.1.3 ΔΙΑΔΟΣΗ

Η Luffa άρχισε να καλλιεργείται για πρώτη φορά εμπορικά μεταξύ 1890-1895. Η ιδιαίτερη καταλληλότητα του σκελετικού δικτύου της ώριμης Luffa για πολλές πρακτικές χρήσεις, ώθησε τους σφουγγαράδες και τους καλλιεργητές στην παραγωγή και εμπορευματοποίησή της. Η αυξημένη παραγωγή τους οφειλόταν στην επιτυχημένη χρήση τους ως φίλτρα σε θαλάσσιες ατμομηχανές. Πριν και κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ο σκελετός της κολοκύθας Luffa χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για φίλτρα λαδιού κινητήρα ντίζελ και φίλτρα ατμομηχανών. Πριν από το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, οι περισσότερες Luffa εισήχθησαν από την Ιαπωνία, ωστόσο, η φρικτή επίθεση στο Περλ Χάρμπορ τερμάτισε τη μαζική εισαγωγή λούφας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η ίδια καταστροφή που σταμάτησε την εισαγωγή των σφουγγαριών, αύξησε τρομερά την ανάγκη τους, αποτελώντας ταυτόχρονα το μεγαλύτερο μοναδικό ερέθισμα για την ευρύτερη διανομή και καλλιέργειά τους. Προσπάθειες για καλλιέργεια λούφας σε εμπορική κλίμακα έγιναν σε πολιτείες της Καλιφόρνια, της Αλαμπάμα και της Φλόριντα, δίχως επιτυχία, ενώ οι τροπικές χώρες στο νότο, λόγω κλίματος (Μεξικό, Αϊτή, Κούβα, Δομινικανή Δημοκρατία, Ελ Σαλβαδόρ, Γουατεμάλα) καλλιεργούσαν και εξήγαγαν στις Ηνωμένες Πολιτείες. (W. M. Porterfield et al. 1955)

Πλέον οι κύριες εμπορικές χώρες παραγωγής είναι η Κίνα, η Κορέα, η Ινδία, η Ιαπωνία και η Κεντρική Αμερική. Η Ιαπωνία είναι ένας από τους κύριους παγκόσμιους παραγωγούς και εισαγωγείς σφουγγαριών Luffa *Cylindrica* ανώτερης ποιότητας. Υπάρχει εμπόριο Luffa μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Λατινικής Αμερικής. Δεν υπάρχουν διαθέσιμες αφρικανικές στατιστικές πληροφορίες για την παραγωγή Luffa. Αναφορές από την Ινδία και την Ιαπωνία δείχνουν ότι η Luffa *Cylindrica* μπορεί να παράγει περισσότερους από 62.000 καρπούς (2)



## 1.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Η *Luffa* είναι ένα υποτροπικό αναρριχόμενο φυτό, το οποίο απαιτεί θερμές καλοκαιρινές θερμοκρασίες και μεγάλη περίοδο ανάπτυξης χωρίς παγετό όταν καλλιεργείται σε εύκρατες περιοχές. Παράγει καρπό που περιέχει ινώδες αγγειακό σύστημα. Είναι λαχανικό καλοκαιρινής περιόδου. (I. O. Oboh et al. 2009) Η απευθείας σπορά (εικ.2) και η μεταφύτευση χρησιμοποιούνται και οι δύο για την καλλιέργεια λούφα. Τα σπορόφυτα μπορούν να μεταφτετευτούν μόλις αποκτήσουν δύο ή τρία φύλλα (εικ.3).



**Εικόνα 2:** Απευθείας σπορά για την καλλιέργεια *Luffa cylindrica*



**Εικόνα 3:** Μεταφύτευση σπορόφυτων σε γλάστρα

Η απευθείας σπορά είναι γρήγορη και μπορεί να εξοικονομήσει εργατικό δυναμικό, αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πριν τελειώσει η περίοδος χωρίς παγετό. Η μεταφύτευση απαιτεί τα σπορόφυτα να είναι έτοιμα και να καταναλώνουν περισσότερο εργατικό δυναμικό, αλλά αυτή η μέθοδος μπορεί να επεκτείνει την καλλιεργητική περίοδο και να προσφέρει μια πρώιμη συγκομιδή με υψηλότερη αγοραία αξία. Η συνήθεια ανάπτυξης της λούφας είναι όπως αυτή του αγγουριού η *Luffa* απαιτεί συνθήκες υψηλής υγρασίας. Το υπερβολικό νερό είναι επιζήμιο, δυνητικά επιβραδύνοντας την ανάπτυξη και αυξάνοντας τον κίνδυνο ριζικής νόσου. Επιπλέον, η απόσβεση μπορεί να απειλήσει νεαρά σπορόφυτα που καλλιεργούνται σε ψυχρές και υγρές περιοχές. Για φύτευση ή μεταφύτευση, η απόσταση μεταξύ των φυτών είναι συνήθως 1m και η απόσταση μεταξύ των σειρών είναι 2m. Το μήκος της αμπέλου είναι μέχρι 10m. Συνιστώνται κάθετες πέργκολες (εικ.4) ύψους 2m, επειδή αυξάνουν σημαντικά την απόδοση των καρπών (Davis et al. 1994). Ένα ώριμο φυτό λούφα μπορεί να δώσει περίπου 6-7 καρπούς σε ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης.



*Εικόνα 4: Αμπέλι Luffa, σύνθετες πέργκολες*

### **1.2.1 ΚΛΙΜΑ**

Το σφουγγάρι αντέχει ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών. Είναι προσαρμοσμένο σε τροπικά και υποτροπικά κλίματα και απαιτεί θερμές καλοκαιρινές θερμοκρασίες και μια μακρά περίοδο καλλιέργειας χωρίς παγετό για μέγιστη απόδοση. Προτιμά θερμοκρασίες εδάφους μεταξύ 20 °C και 30 °C. Το φυτό *Luffa* χρειάζεται μια μακρά καλλιεργητική περίοδο από περίπου 150 έως 200 διαδοχικές ημέρες χωρίς παγετό. Οι θερμοκρασίες βλάστησης πρέπει να είναι πάνω από 12 °C και η βλάστηση βελτιώνεται καθώς οι θερμοκρασίες αυξάνονται στους 35 °C περίπου. (I. O. Oboh et al. 2009)

### **1.2.2 ΕΔΑΦΟΣ - ΠΟΤΙΣΜΑ - ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ**

Η *Luffa* προτιμά pH εδάφους περίπου 6 έως 6,8, ουδέτερο έως ελαφρώς αλκαλικό έδαφος με υγρασία και υψηλά επίπεδα καλίου και φωσφόρου (2). Το χώμα θα πρέπει να ξεραθεί

μέχρι το 10% της διαθέσιμης υγρασίας στο πρώιμο στάδιο ανάπτυξης για να αναπτυχθεί ένα καλύτερο ριζικό σύστημα. Το έδαφος πρέπει να διατηρείται υγρό από το στάδιο της ανθοφορίας και μετά (3). Για τη βέλτιστη ανάπτυξη των καλλιεργειών απαιτούνται καλά κατανεμημένες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Τόσο η ανάπτυξη όσο και η απόδοση μειώνονται σημαντικά σε περίπτωση υπερβολικής βροχόπτωσης, αυξάνοντας επίσης τον κίνδυνο ριζικής νόσου. Εξίσου επιζήμια είναι και η έλλειψη υγρασίας. Επομένως, το τακτικό πότισμα είναι απαραίτητο σε όλα τα στάδια ανάπτυξης. (I. O. Oboh et al. 2009)

### 1.2.3 ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Τα εντυπωσιακά, κίτρινα λουλούδια (εικ. 5) εμφανίζονται στα τέλη του καλοκαιριού έως τις αρχές του φθινοπώρου. Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης των λουλουδιών, σχηματίζονται επιμήκεις καρποί πάνω-κάτω στα κλήματα, σε τυχαία σημεία. Οι καρποί πρέπει να ωριμάσουν πλήρως στο αμπέλι πριν από τη συγκομιδή τους.



**Εικόνα 5:** Κίτρινα άνθη φυτού *Luffa*

Συγκομιδή για κατανάλωση: Μόνο νεαροί, μη ώριμοι καρποί περίπου δύο έως τριών μηνών μπορούν να συγκομιστούν. Ένας νεαρός καρπός πρέπει να συλλέγεται πριν σκληρύνουν οι ινώδεις αγγειακές δέσμες. Οι κολοκύθες που θερίζονται πολύ νωρίς θα έχουν λεπτές, εύθραυστες ίνες που απλώς θα σπάσουν όταν ξεφλουδιστούν ή όταν χρησιμοποιηθούν.

Συγκομιδή σφουγγαριών: Οι πρώτοι καρποί που εμφανίζονται στο αμπέλι πρέπει να αφεθούν να ωριμάσουν σε σφουγγάρια. Είναι ώριμα και έτοιμα να μαζευτούν όταν η πράσινη φλούδα γίνει σκούρο κίτρινο ή καφέ και αρχίσει να διαχωρίζεται από την εσωτερική ίνα και ο καρπός αισθάνεται ελαφρύς (15). Οι ξηροί καρποί μπορούν να συγκομιστούν σε 16 έως 20 εβδομάδες, δηλαδή τέσσερις έως πέντε μήνες μετά τη φύτευση. Οι καλλιεργητές μπορούν να αφήσουν τους καρπούς στο αμπέλι μέχρι να στεγνώσει το εξωτερικό κέλυφος και μετά να σπάσει και να ξεφλουδιστεί. Η συγκομιδή των καρπών γίνεται όταν αρχίζουν να κιτρινίζουν. (2) Καθώς ωριμάζει, ο καρπός ανοίγει σε χρώμα και χάνει βάρος νερού. Το κέλυφος σκληραίνει και αρχίζει να διαχωρίζεται από τις

εσωτερικές ίνες.(Hannah Kincaid e tal. 2011)

Για τους καλλιεργητές που ζουν σε ψυχρότερα κλίματα, οι καρποί πρέπει να συλλεχθούν αμέσως μετά τον πρώτο, ανεξάρτητα από το επίπεδο ωρίμανσης. Εάν μείνουν οι καρποί στο αμπέλι, θα αρχίσουν να σαπίζουν αντί να συνεχίσουν να ωριμάζουν.

### **1.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΤΟΥ**

#### **1.3.1 ΩΡΙΜΟ ΦΥΤΟ**

Η Luffa αναπτύσσεται γρήγορα, με μήκος αμπέλου που φτάνει τα 9m. Το ώριμο φυτό λούφα μπορεί να φέρει περίπου έξι έως επτά καρπούς σε ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης.

#### **1.3.2 ΣΤΕΛΕΧΟΣ**

Το στέλεχος είναι λείο και ραβδωτό και μπορεί να φτάσει τα 7,5m. Οι βλαστοί έχουν 3 έως 5 κλαδιά με μίσχους 5cm έως 7,5cm σε μήκος και κλαδιά 3cm έως 4cm σε μήκος (εικ.6).Απαιτείται μια πέργκολα για τη βέλτιστη παραγωγή και για καλλιέργεια.



*Εικόνα 6: Βλαστοί που τυλίγονται γύρω από κοντάρι, με σκοπό την αναρρίχηση του φυτού*

#### **1.3.3 ΦΥΛΛΑ**

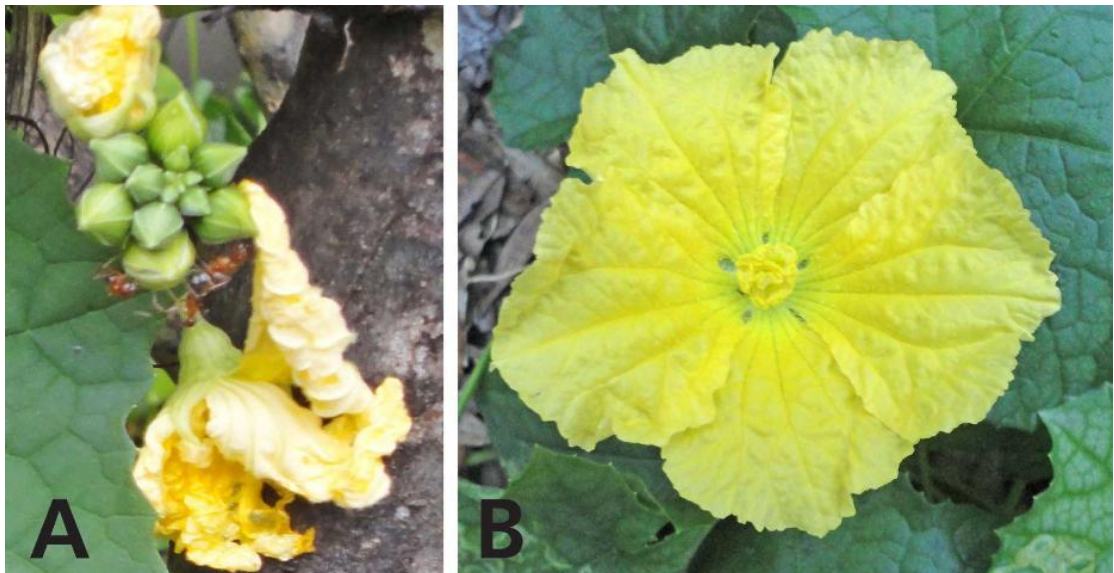
Τα φύλλα της Luffa είναι μεγάλα, λοβωτά και βαθυπράσινα με λεπτές τρίχες στην επιφάνειά τους. (εικ. 7) Είναι εναλλασσόμενα και μοιάζουν με παλάμες, ένα μοτίβο που μοιάζει με φύλλωμα φυτού κολοκύθας και κολοκύθας, ή άλλα είδη που ανήκουν στην οικογένεια των αγγουριών. Ένα πλήρως ανεπτυγμένο φύλλο έχει συνήθως πλάτος έως 26 cm και μήκος 13 cm.



*Εικόνα 7: Φύλλωμα φυτού Luffa*

#### **1.3.4 ΛΟΥΛΟΥΔΙΑ**

Τα άνθη της Luffa είναι μεγάλα, μερικές φορές έως 7cm. Τόσο τα αρσενικά όσο και τα θηλυκά άνθη είναι κίτρινα ή πορτοκαλί. (. I. O. Oboh et al 2009),(W. M. Porterfield et al. 955) (εικ.8α,β)



*Εικόνα 8: Αρσενικά μπουμπούκια και λουλούδια, (α) Αρσενικά μονήρη άνθη με περισσότερα από 10 λουλούδια, (β) Ένα αρσενικό άνθος*

### 1.3.5 ΚΑΡΠΟΣ

Οι καρποί μερικές φορές είναι επιμήκεις, ίσιοι ή ελαφρώς καμπύλοι. Οι μη ώριμοι, βρώσιμοι καρποί έχουν μήκος περίπου 10cm έως 18 cm και έχουν πράσινο χρώμα. Το εσωτερικό των ανώριμων καρπών έχει λεία αλλά τραγανή σάρκα και μικροσκοπικούς μαλακούς σπόρους. Εάν αφεθεί να αναπτυχθεί περαιτέρω, αυξάνεται γρήγορα σε μέγεθος (έως 30cm), χρώματος καφέ και αναπτύσσει ένα δίκτυο ινώδους ιστού και οι σπόροι γίνονται σκληροί και βρώσιμοι. (εικ.9α) Ένα ώριμο φρούτο λούφα περιέχει 30 ή περισσότερους σπόρους. (εικ. 9β) (I. O. Oboh et al. 2014) ,(Jean Nick et al. 2014)



(α)

(β)

*Εικόνα 9: (α) Τα διάφορα στάδια ωρίμανσης των κολοκυθών λούφα, (β) βιώσιμοι σπόροι από λούφα σε στάδιο μη ωρίμανσης*

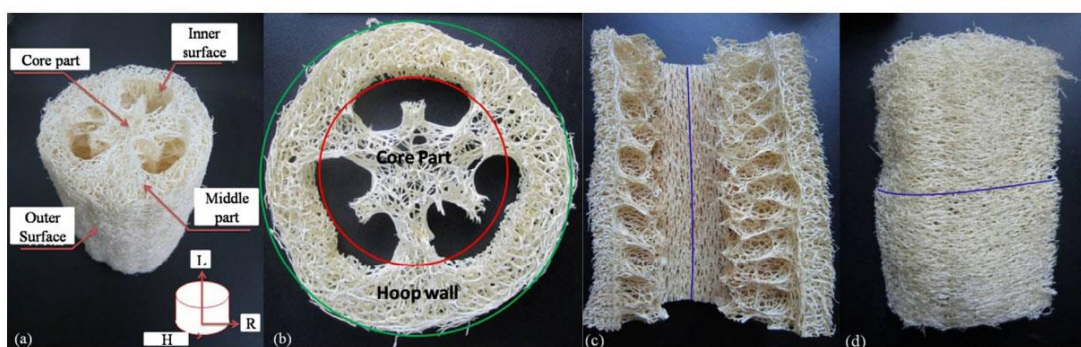
### 1.3.6 ΣΠΟΡΟΙ

Οι σπόροι Luffa είναι ελλειπτικοί ή λείοι. Οι μη ώριμοι σπόροι έχουν λευκό χρώμα, ενώ οι ώριμοι σπόροι είναι σκούρο καφέ ή μαύροι και σκληροί, που μοιάζουν με σπόρους καρπουζιού σε μέγεθος και σχήμα. Το βάρος των 1000 σπόρων είναι 70 g έως 100 g (2) (εικ.10)



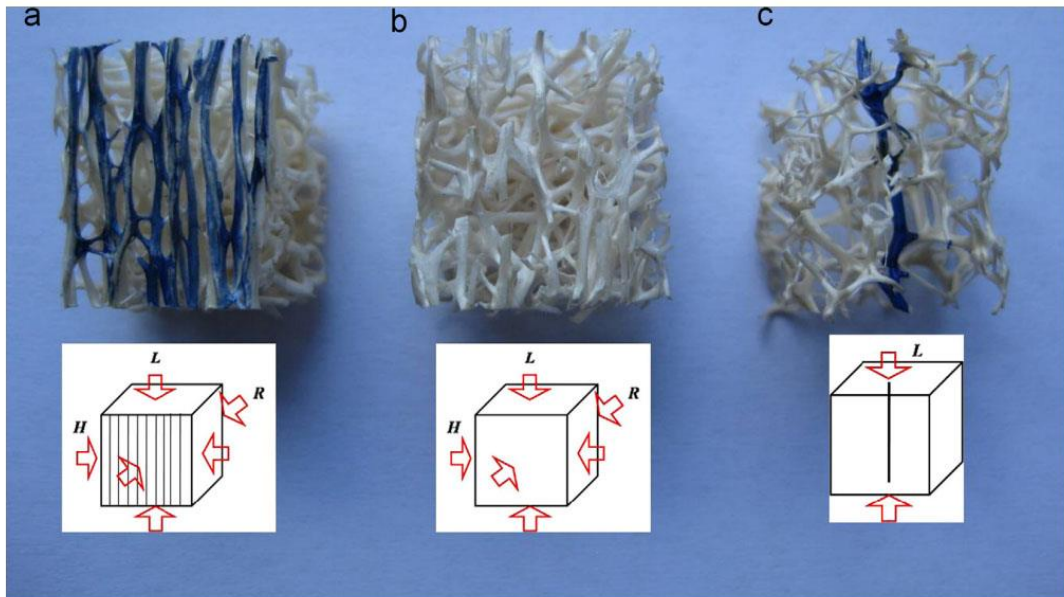
#### **1.4 ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Οι κύριες χρήσεις του βασίζονται στο κλειστό δίκτυο ινών που σχηματίζει ένα ελαστικό πλέγμα στα τοιχώματα και τον πυρήνα του καρπού, παρόμοια δομή με αυτή ενός σφουγγαριού (W. M. Porterfield e tal. 1955). Σύμφωνα με το δομικό χαρακτηριστικό του σφουγγαριού, η δομή του υποδιαιρείται σε τέσσερα μέρη (εικ. 11): εξωτερική επιφάνεια (O), μεσαίο τμήμα (M), εσωτερική επιφάνεια (I) και τμήμα πυρήνα (C). Τα πρώτα τρία μέρη σχηματίζουν το τοίχωμα στεφάνης (τμήμα μεταξύ των κύκλων και των πράσινων κύκλων στο εικ. 12b). Οι ενδιάμεσοι προσανατολισμοί των εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών απεικονίζονται στην Εικ. 12c και Εικ. 12d, αντίστοιχα.



**Εικόνα 11:** (α) Ορισμός τεσσάρων μερών του σφουγγαριού luffa, (b) Μέρος πυρήνα και στεφάνι (εξωτερική επιφάνεια, μεσαίο τμήμα και εσωτερική επιφάνεια), (c) Διαμήκης τομή, (d) Εξωτερική επιφάνεια. Οι μπλε γραμμές στο σκί d, υποδηλώνουν τραχύ προσανατολισμό των ινών στην εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια.

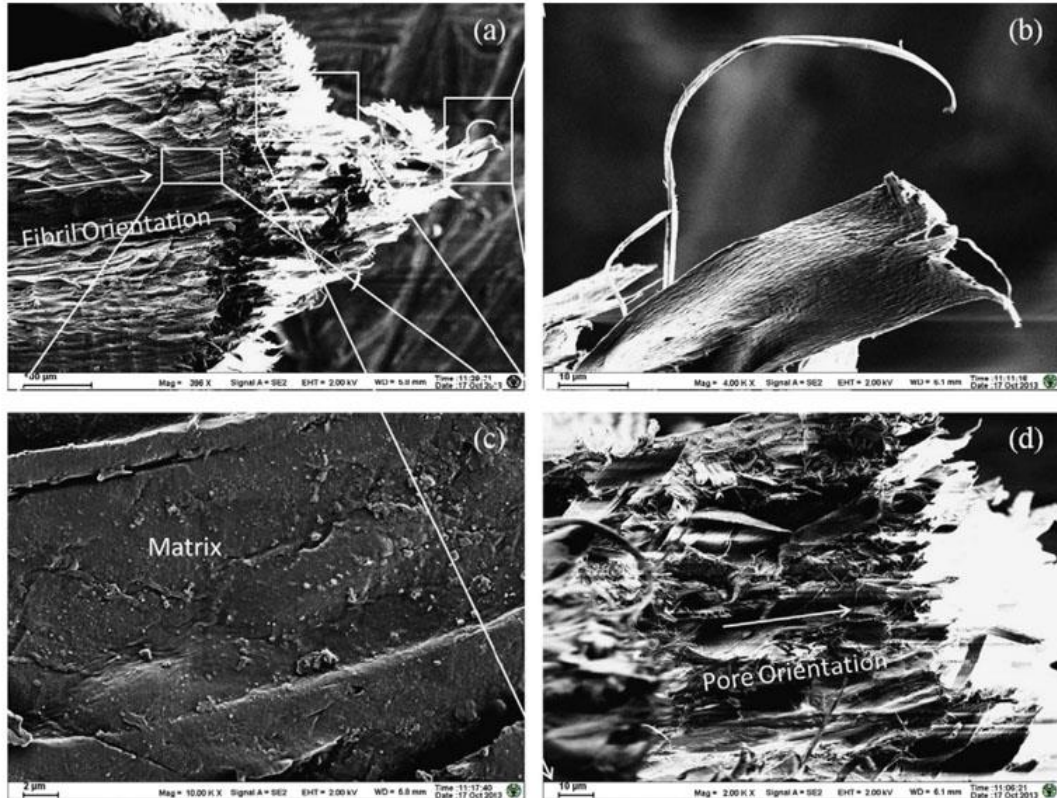
Κάθε μέρος του σφουγγαριού έχει το δικό του χαρακτηριστικό. Η εξωτερική επιφάνεια αποτελείται από ένα στρώμα λεπτών ινών με τον προσανατολισμό περίπου γύρω από το σφουγγάρι (η γραμμή στην εικ. 11c), και το στρώμα συνδέει το σφουγγάρι και το περικάρπιό του. Το μεσαίο τμήμα αποτελείται από ένα σύνθετο διακλαδισμένο δίκτυο ινών (εικ. 12b). Πολλές ίνες της εσωτερικής επιφάνειας τρέχουν κατά μήκος των καναλιών, τα οποία είναι σχεδόν παράλληλα με τον διαμήκη άξονα του σφουγγαριού και χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση των σπόρων. Σε σύγκριση με το τοίχωμα της στεφάνης, οι ίνες του τμήματος του πυρήνα είναι χαλαρά διασυνδεδεμένες μεταξύ τους και η παχιά μονή ίνα διατρέχει την κεντρική γραμμή ολόκληρου του σφουγγαριού (εικ. 12c).



**Εικόνα 12:** Εικόνες δειγμάτων μπλοκ από: (α)τοίχο στεφάνης (OI), (b)τοίχωμα στεφάνης χωρίς εσωτερική επιφάνεια (OM), (c)τμήμα πυρήνα.

Στη συνέχεια, μια μεμονωμένη σπασμένη ίνα μελετήθηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Οι εικόνες SEM (εικ. 13) δείχνουν ότι η μεμονωμένη ίνα έχει διάμετρο περίπου 0,4 mm και ο προσανατολισμός των ινιδίων κυτταρίνης είναι παράλληλος με τον διαμήκη άξονα της ίνας (εικ. 13α). Η ίνα έχει μια πορώδη σύνθετη δομή (εικ. 13b-d) που αποτελείται από ινίδιο κυτταρίνης και μήτρα λιγνίνης/ημικυτταρίνης. Επίσης, ο προσανατολισμός των πόρων είναι παράλληλος με τον διαμήκη άξονα της ίνας. Ειδικότερα, το αποσπώμενο ινίδιο κυτταρίνης φαίνεται καθαρά στην εικόνα 13b. Παρόμοια δισδιάστατη πορώδης δομή βρίσκεται στο ξύλο, στο μπαμπού και στον φοίνικα.



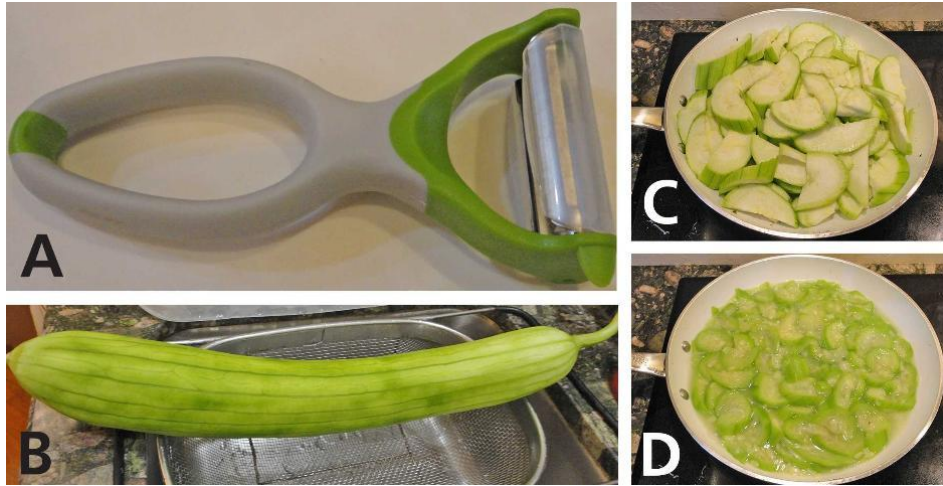


**Εικόνα 13:**(a)Τμήμα θραύσης με διαυγή επιφάνεια προσανατολισμού ινιδίων, (b) τραβηγμένο ινίδιο, (c) κρύσταλλο μήτρας, (d) προσανατολισμός πόρων

## 1.5 ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

### 1.5.1 ΜΗ ΩΡΙΜΟΣ ΚΑΡΠΟΣ

Ο καρπός που δεν είναι ακόμα ώριμος, αποτελεί ένα θρεπτικό λαχανικό και είναι δημοφιλής στην ασιατική κουζίνα (εικ. 14). Έχει παρόμοια γεύση με τα κολοκυθάκια και τα αγγούρια, με ορισμένες ποικιλίες να παρουσιάζουν πιο γλυκιά γεύση από άλλες (Yuxia Chen et al. 2017), (Yucsong Xie et al. 2016). Σε πολλά άλλα μέρη του κόσμου είναι βρώσιμα ακόμα και τα άνθη του φυτού. (W. M. Porterfield et al. 1955)



**Εικόνα 14:** Βρώσιμη λούφα σε στάδιο μη ωρίμανσης και διαδικασία μαγειρέματος

### 1.5.2 ΧΥΜΟΣ

Εάν γίνει μια τομή στο στέλεχος ενός νεαρού αμπελιού πριν από την ώρα για τη συγκομιδή των καρπών κάποια εκατοστά πάνω από το έδαφος, μπορεί να εξαχθεί ένα διαυγές υγρό για το οποίο οι Ιάπωνες λένε ότι έχει ιατρική αξία στα αναπνευστικά προβλήματα, είναι φυσικό φάρμακο για τον ίκτερο. (W. M. Porterfield e tal. 1955) Γενικότερα η λούφα είναι πλούσια σε διαιτητικές ίνες και διευκολύνει την πέψη.(2)

### 1.5.3 ΩΡΙΜΟΣ ΚΑΡΠΟΣ - ΙΝΕΣ

Τα ώριμα luffa μπορούν να αφεθούν να ωριμάσουν και να χρησιμοποιηθούν ως σφουγγάρι μπάνιου ή κουζίνας αφού υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία. Τα αποξηραμένα σφουγγάρια πρέπει να φυλάσσονται σε υφασμάτινη σακούλα για να μην σκονιστούν. να διατηρηθούν για χρόνια(2)

### 1.5.3 ΣΠΟΡΟΙ

Οι αποξηραμένοι σπόροι που συλλέγονται μπορούν να διατηρηθούν σε βάζα και να αποθηκευτούν σε δροσερές, σκοτεινές και ξηρές συνθήκες για την επόμενη καλλιέργεια.(2)

## 1.6 ΑΠΟΛΕΠΙΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΦΟΥΓΓΑΡΙΩΝ LUFFA

Όπως αναφερθήκαμε και προηγουμένως, υπάρχουν δύο στάδια συγκομιδής κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του φυτού. Όταν αυτό βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, όπου γίνεται η συλλογή του καρπού, ο οποίος καταναλώνεται ως λαχανικό και στο στάδιο της ωρίμανσης, όπου ο καρπός συλλέγεται για να δεχτεί την κατάλληλη επεξεργασία και να χρησιμοποιηθεί ως σφουγγάρι.

Για να αποφευχθεί ο τραυματισμός ή ο αποχρωματισμός των σκελετικών ινών, οι καρποί που ωριμάζουν πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή.

Οι καλλιεργητές χρησιμοποιούν δύο μεθόδους επεξεργασίας. (Lynn Kirk et al. 2006), (Karen Bertelsen et al. 2022). Το πρώτο βήμα για να αποκαλυφθεί το σφουγγάρι είναι είτε να κρεμαστούν οι καρποί σε ένα ευάερο υπόστεγο για δύο ή τρεις μέρες, ώστε το εξωτερικό κέλυφος να γίνει πιο εύκαμπτο και να σπάσει ευκολότερα, είτε να κοπούν οι ώριμοι καρποί από το στέλεχος και μετά να βυθιστούν σε δεξαμενές με τρεχούμενο νερό για πέντε έως δέκα μέρες μέχρι να διαλυθεί το εξωτερικό κέλυφος και να αφαιρεθούν εύκολα. (Jean Nick et al. 2014). Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου το κέλυφος είναι ήδη ραγισμένο, οπότε μπορεί ο καλλιεργητής να το ξεφλουδίσει με τα χέρια, διαχωρίζοντας το δέρμα από τις ίνες του σφουγγαριού. (εικ. 15α-γ).



(α)

(β)

(γ)

**Εικόνα 15:**(α) Luffa σε διαφορετικά στάδια ωρίμανσης, (β) διαδικασία ξεφλουδίσματος εξωτερικού κελύφους για αποκάλυψη σφουγγαριού, (γ) ξεφλουδισμένο σφουγγάρι

Το επόμενο βήμα, μόλις αφαιρεθεί η φλούδα είναι να ανακινηθεί το σφουγγάρι και να συλλεχθούν οι σπόροι της λούφας, με σκοπό να αποθηκευτούν για μια επόμενη καλλιέργεια. Μόνο οι μαύροι σπόροι είναι βιώσιμοι. Οι λευκοί ή ανοιχτόχρωμοι σπόροι δεν θα βλαστήσουν ούτε θα αναπτυχθούν. (εικ. 16)



**Εικόνα 16:** Ξεφλουδισμένη *Luffa* και σπόροι

Το τρίτο στάδιο είναι να πλυθεί πολύ καλά το σφουγγάρι με τρεχούμενο νερό με ή χωρίς σαπούνι. Για να είναι το σφουγγάρι απόλυτα καθαρό, δηλαδή να εξαφανιστούν οι σκούρες κηλίδες και να έχει ένα ομοιόμορφο χρώμα, μπορεί να πλυθεί με μικρή ποσότητα χλωρίνης ή λευκαντικού πλυντηρίου και να ξεπλυθεί με καθαρό νερό.

Στο τελευταίο βήμα και αφού το σφουγγάρι έχει στραγγιστεί καλά, πρέπει να στεγνώσει τελείως στον ήλιο και στον αέρα. Σε περίπτωση που δε στεγνώσει καλά, θα εμφανίσει σημάδια μούχλας και δε θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. (εικ. 17)



**Εικόνα 17:** Τελευταίο στάδιο αποξήρανσης σφουγγαριού. Πλυμένοι καρποί *Luffa* και κρεμασμένοι για να στεγνώσουν

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενείς επιπτώσεις των υλικών με βάση το πετρέλαιο στη φύση, η εύρεση και η ανάπτυξη νέων υλικών ως εναλλακτικών αυτών των χημικών υλικών καθίσταται αναγκαίο στην πράξη. Οι μελετητές τονίζουν τη σημασία της ανάπτυξης φυσικών ινών για περιβαλλοντικούς λόγους, την αναζήτηση υλικών με χαμηλό κόστος και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα βιολογικά υλικά.

Η εργασία προσφέρει μια ολοκληρωμένη ανάλυση των υλικών με βάση τη λούφα, εμβαθύνοντας στην περιπλοκότητα του φυσικού υλικού *Luffa Cylindrical*, παρέχοντας μια λεπτομερή κατανόηση των πολύπλευρων εφαρμογών του. Το σφουγγάρι *Luffa*, έχει δυνατότητα ανακύκλωσης, είναι επίσης ένα οικονομικά εφικτό και περιβαλλοντικά βιολογικό υλικό. Έχει μια αρκετά σταθερή δηλωμένη διάρκεια ζωής, αλλά θα βιοδιασπαστεί μετά την απόρριψή του σε συνθήκες κομποστοποίησης. (Muhammad Norazmin Shamsudin et al. 2022)

Στη προηγούμενη ενότητα γίνεται μια μικρή αναφορά για τη βασικότερη και πιο διαδεδομένη χρήση των ινών *Luffa Cylindrical*, σε σχέση με τον καθαρισμό και το μπάνιο διευκρινίζοντας έτσι τις πρακτικές εφαρμογές τους στην καθημερινή ζωή. Τώρα θα επεκταθούμε στη σφαίρα των ιατρικών χρήσεων, στη συμβολή του σφουγγαριού λούφα στη συμπεριφορά σύνθετων υλικών, στην αντικατάσταση υλικών που έχουν σκοπό την αποφυγή κραδασμών και απορρόφησης ήχου, καθώς και τη συμπεριφορά του *LuffaCylindrical* ως φυσικό φίλτρο νερού.

### 2.1 ΙΑΤΡΙΚΗ

Η *Luffa cylindrical* είναι ένα πολύτιμο φαρμακευτικό φυτό καθώς, έχει χρησιμοποιηθεί ιστορικά στην ανατολίτικη ιατρική για διάφορες θεραπείες, όπως για τη θεραπεία πυρετού, εντερίτιδας, οίδημάτων, δερματολογικών προβλημάτων, πρόκληση τοκετού και διαφόρων άλλων καταστάσεων (Hasan Koruk et al 2015). Η επιστημονική έρευνα έχει εντοπίσει τις φυτοχημικές του ιδιότητες, οι οποίες ήταν σημαντικό να αναλυθούν ώστε να προσδιοριστούν οι ιατρικές χρήσεις του φυτού. Η *Luffa cylindrical* παρουσιάζει πλούσιες φυτοχημικές ιδιότητες, με τα φύλλα να περιέχουν φλαβονοειδή, σαπωνίνες και τριτερπένια, μια κατηγορία οργανικών χημικών ουσιών, οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός οργανισμού. Διαφορετικά μέρη του φυτού, πέρα από τα φύλλα, ο μίσχος αλλά και ο καρπός, έχουν χρησιμοποιηθεί για τις θεραπευτικές τους ιδιότητες. (Musibau Adewuyi AZEEZ et al .2013)

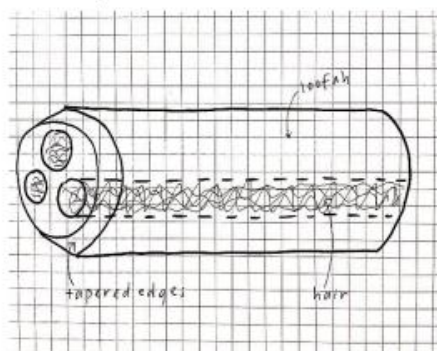
Πιο συγκεκριμένα οι ερευνητές έχουν εμβαθύνει στα λειτουργικά συστατικά που υπάρχουν στο *Luffa cylindrical*, εστιάζοντας συγκεκριμένα στη φλούδα και τον πολτό του. Η ανάλυση, που διεξήχθη χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των Kao και Chen, παρέχει πληροφορίες για τη σύνθεση διαφόρων εκχυλισμάτων. (24) Το εκχύλισμα νερού από τη φλούδα έχει αναγνωριστεί ότι έχει αρκετά μεγάλη ποσότητα ολικών φαινολικών. Τα φαινολικά είναι ενώσεις με αντιοξειδωτικές ιδιότητες και συνδέονται με διάφορα οφέλη για την υγεία, συμβάλλοντας στην αντιεμετική και αντιφλεγμονώδη δράση (Hasan Koruk et al 2015).

Σε μελέτη που έγινε στο πλαίσιο του έργου PULPING (Prima2019-08) (Hasan Koruk et al 2015).) διερευνήθηκε η σύνθεση λιπαρών οξέων, οι αντιμικροβιακές και κυτταροτοξικές δράσεις των φυτικών σπορελαίων από λιναρόσπορο, γλιστρίδα, λούφα και κολοκύθα. Το λάδι Luffa έδειξε σημαντική κυτταροτοξικότητα έναντι των καρκινικών κυτταρικών σειρών HeLa και NCI-H460. Τα έλαια λιναρόσπορου και κολοκύθας εμφάνισαν ισχυρή αντιβακτηριακή δράση. Όλα τα έλαια που δοκιμάστηκαν έδειξαν σημαντικές αντιμυκητιακές δράσεις, με το έλαιο λούφα να έχει καλύτερη απόδοση. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν πολλά υποσχόμενες αντιμικροβιακές και κυτταροτοξικές ιδιότητες σε αυτά τα έλαια.

## 2.2 ΦΥΣΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΝΕΡΟΥ

Η ρύπανση των υδάτων αποτελεί παγκόσμια ανησυχία και η προσρόφηση θεωρείται ως μια οικονομικά αποδοτική μέθοδος για την επεξεργασία των λυμάτων. Τα μικροπλαστικά, τα οποία είναι σωματίδια μεγέθους σουσαμιού από πηγές όπως καλλυντικά, συνθετικά υφάσματα και ελαστικά, είναι ο πιο κοινός τύπος υπολειμμάτων ωκεανού και επειδή είναι δύσκολο να αφαιρεθούν μέσω των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, καταλήγουν στον ωκεανό και κοντά στις ακτές. Είναι επιβλαβή για τα ζώα που ζουν σε μαρίνες πόλεων και μπορούν να βλάψουν και τους ανθρώπους. Ενώ έχει διεξαχθεί έρευνα για τρόπους αφαίρεσης ή πρόληψης μικροπλαστικών, οι λύσεις δεν έχουν επιτύχει τόσο σε αποτελεσματικότητα όσο και σε εφαρμογή. Παρακάτω αναφέρονται έρευνες και πειράματα που έχουν ως στόχο να γίνει κατανοητό εάν το σφουγγάρι Luffa θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως φίλτρο νερού. Η χρήση του Luffa cylindrica θεωρείται πλεονεκτική λόγω της αφθονίας, της φιλικότητας προς το περιβάλλον και της οικονομικής αποδοτικότητάς της. (Muhammad Norazmin Shamsudin et al. 2022), (Ioannis Anastopoulos et al 2020)

Η Serena Yeh ήθελε να διορθώσει ένα μεγάλο πρόβλημα, τα μικροσκοπικά κομμάτια πλαστικού, που προκαλούν προβλήματα στους ωκεανούς. Έφτιαξε ένα ειδικό εργαλείο χρησιμοποιώντας Luffa και τρίχες, βυθίζοντας το εργαλείο σε δοχείο με νερό που περιείχε μικροπλαστικά (εικ. 18). Το πείραμα περιελάμβανε ελεγχόμενες δοκιμές με διαφορετικούς τύπους πλαστικών, όπως πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας, πολυπροπυλένιο και πολυστυρένιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συσκευή, ακόμη και χωρίς επίστρωση λαδιού, αφαίρεσε με επιτυχία κατά μέσο όρο το 64% των μικροπλαστικών σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα.



**Εικόνα 18:** Τελική σχεδίαση της συσκευής Luffa, που λαμβάνει υπόψη εμπόδια και σκουπίδια

Πρόσθετα πειράματα που αφορούσαν τρίχες επικαλυμμένα με λάδι έδειξαν μια αμελητέα βελτίωση 4%, υποδηλώνοντας ότι η επίστρωση λαδιού μπορεί να είναι περιττή. Οι επιτόπιες δοκιμές σε μια λίμνη, χρησιμοποιώντας μια σχεδία από τρεις ενωμένες συσκευές λούφα, έδειξαν την αποτελεσματικότητα της συσκευής σε φυσικά περιβάλλοντα. Η συσκευή χρησιμοποιήθηκε ενεργά μέσα από το νερό για 30 λεπτά, παγιδεύοντας και αφαιρώντας με επιτυχία μικροπλαστικά. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν τις δυνατότητες της συσκευής για εφαρμογές σε πραγματικό περιβάλλον για τον καθαρισμό μικροπλαστικών στους ωκεανούς, υπογραμμίζοντας την ικανότητά της να αφαιρεί διάφορα σχήματα μικροπλαστικών χωρίς να παγιδεύει άλλους οργανισμούς. (Serena Yeh)

Οι N. A. Selamat, N. H. Mardi και N. A. Zaini, έκαναν μια έρευνα για την κατασκευή ενός φίλτρου νερού χαμηλού κόστους χρησιμοποιώντας ίνες λούφα και καρύδας (εικ. 19α,19β), με στόχο τους, να καταστεί το νερό επαναχρησιμοποιήσιμο για τους καταναλωτές.



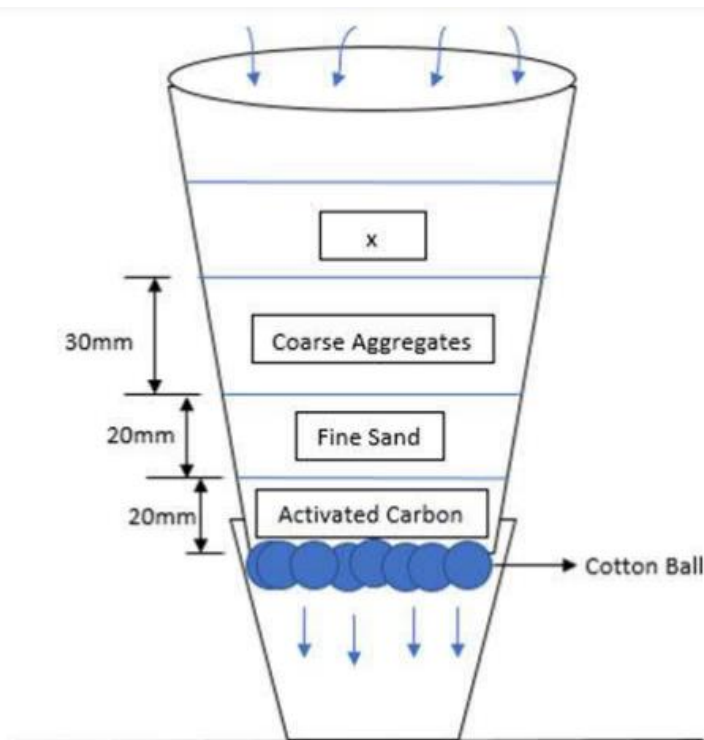
(α)



(β)

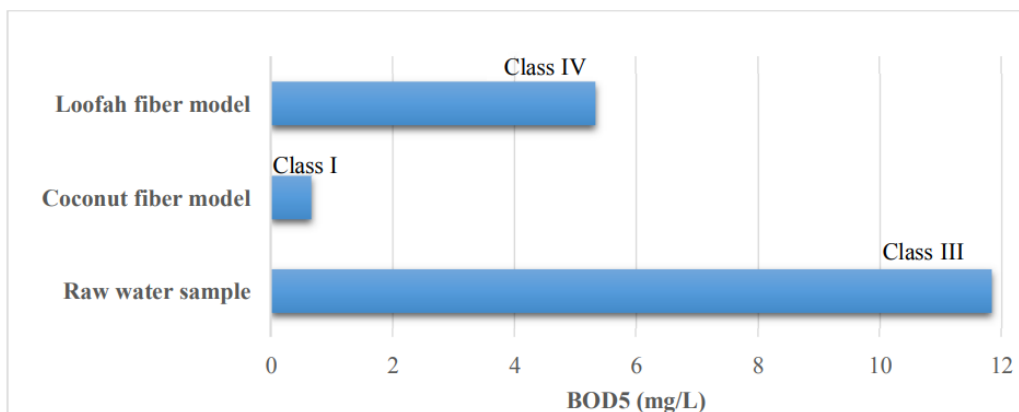
**Εικόνα 19:** (α) Αποξηραμένες ίνες λούφα, (β) Αποξηραμένες ίνες καρύδας

Η μελέτη χρησιμοποιεί ένα μοντέλο φιλτραρίσματος (εικ.20) που διαθέτει πολλαπλά στρώματα, συμπεριλαμβανομένων λεπτής άμμου, ενεργού άνθρακα, πέτρας, πρόσθετων στρωμάτων λούφα και ινών καρύδας. Στο μοντέλο περιλαμβάνεται επίσης ένα στρώμα βαμβακιού.



**Εικόνα 20:** Μοντέλο φιλτραρίσματος

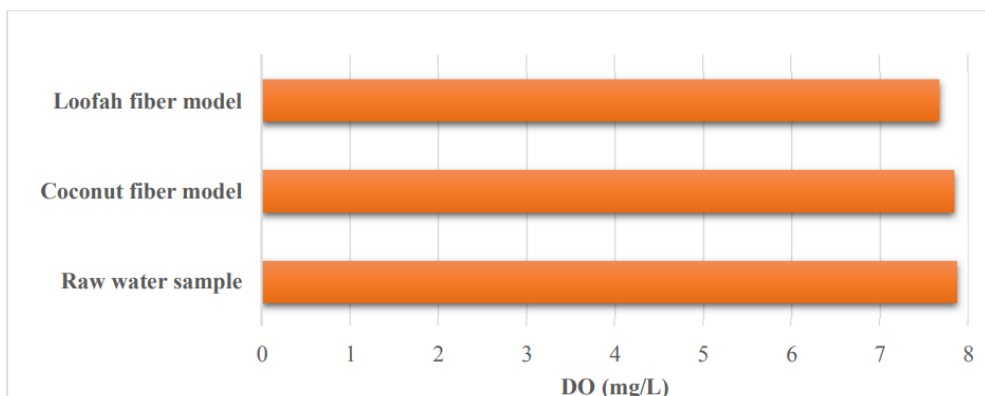
Οι εργαστηριακές δοκιμές διεξάχθηκαν με τη χρήση δειγμάτων ακατέργαστου νερού που λήφθηκαν από μια συγκεκριμένη τοποθεσία, τη λίμνη στο Univercity Tenaga Nasional. Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν εντός 24 ωρών μετά από βροχή. Το νερό ήταν λασπωμένο και υπήρχε παρουσία λαδιού. Μετά τη συλλογή έγινε έλεγχος οξυγόνου, θολότητας, χρώματος καθώς επίσης και της Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου (BOD, αφορά την οργανική ρύπανση νερού) Μετά τη συλλογή νερού, έγινε σύγκριση ανάμεσα στα δύο δείγματα, στο νερό χωρίς τη χρήση φίλτρου και σε αυτό μετά τη χρήση. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική βελτίωση στις παραμέτρους του νερού μετά την εφαρμογή ινών καρύδας και λούφας στη διαδικασία φιλτραρίσματος. Τα αποτελέσματα BOD5 υποδεικνύουν μια μετατόπιση από την κατηγορία IV στην κατηγορία I για τις ίνες καρύδας και την κατηγορία III για τις ίνες λούφα. (εικ. 21)



**Εικόνα 21:** Αποτελέσματα βιοχημικής ζήτησης οξυγόνου (BOD)

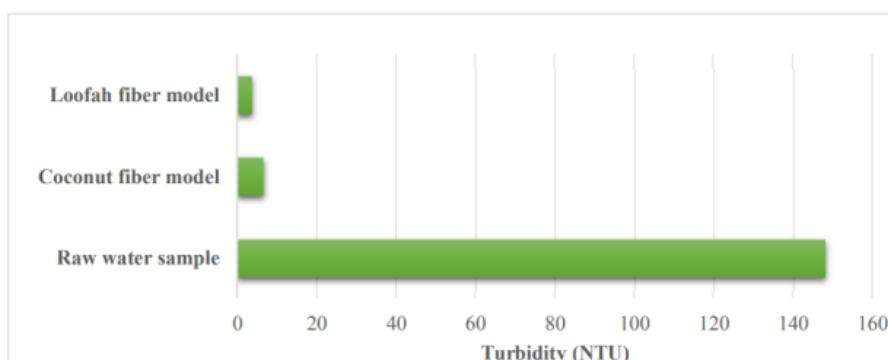


Τα αποτελέσματα του διαλυμένου οξυγόνου υποδηλώνουν θετική επίδραση στην ποιότητα του νερού. (εικ 22)

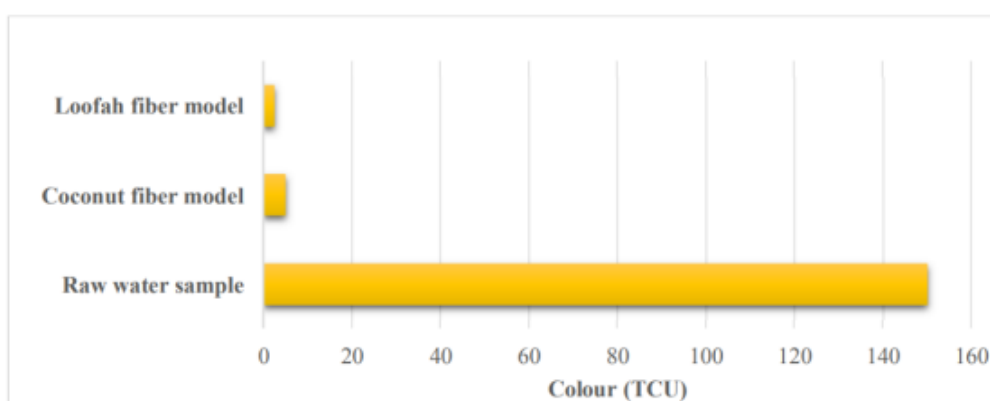


**Εικόνα 22:** Προκύπτει διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Η θολότητα μειώνεται σημαντικά μετά το φιλτράρισμα, τηρώντας τα πρότυπα ποιότητας του νερού. (εικ. 23) Τα αποτελέσματα της δοκιμής χρώματος δείχνουν επίσης σημαντική βελτίωση στη διαφάνεια του νερού (εικ. 24).



**Εικόνα 23:** Αποτελέσματα θολότητας



**Εικόνα 24:** Αποτελέσματα χρώματος

Η μελέτη καταλήγει δίνοντας έμφαση στις δυνατότητες των ινών καρύδας και λούφας στη βελτίωση των παραμέτρων του νερού, καθιστώντας τις κατάλληλες για φιλτράρισμα νερού, προτείνοντας ότι αυτά τα γεωργικά απόβλητα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε

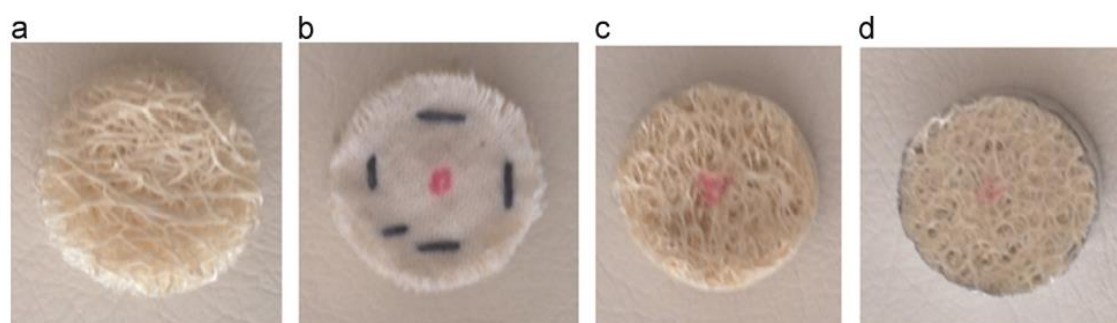
φιλικά προς το περιβάλλον φίλτρα νερού, ειδικά σε αγροτικές περιοχές όπου το καθαρό νερό είναι απαραίτητο.

### 2.3 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΗΧΟΥ

Οι ανησυχίες για την καταστροφή του περιβάλλοντος αυξάνονται και οι ερευνητές προσπαθούν ολοένα να βρουν εναλλακτικά υλικά, τα οποία θα αντικαταστήσουν υλικά επιβλαβή προς το περιβάλλον.

Οι Hasan Koguka,η , Garip Genc επικεντρώθηκαν στις βιοίνες και τα σύνθετα υλικά Luffa, αλλά και στις ακουστικές τους ιδιότητες, θέλοντας να αντικαταστήσουν υλικά με βάση το πετρέλαιο. Παρασκευάστηκαν τέσσερις τύποι δειγμάτων λούφα:

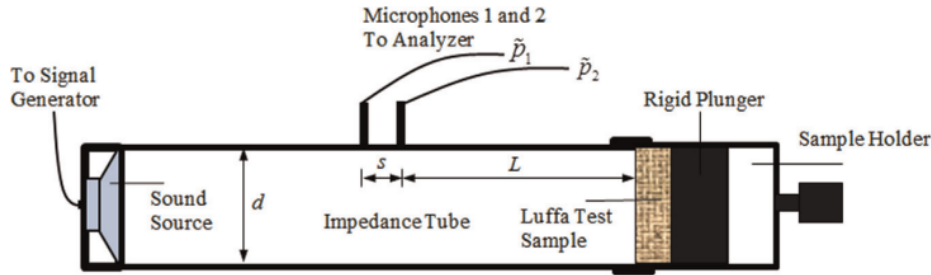
Δείγμα ινών Luffa, δείγμα ινών Luffa με διάτρητο λινό κάλυμμα, σύνθετο υλικό Luffa με κλάσμα όγκου εποξειδικού/Luffa 0,2/0,8 και σύνθετο Luffa με κλάσμα όγκου εποξειδικού/Luffa 0,4/0,6. (εικ. 25a-d)



**Εικόνα 25:** Δείγματα δοκιμής Luffa: (α)δείγμα ινών λούφα, (β)δείγμα ινών λούφα με διάτρητο λινό, (c)σύνθετα δείγματα luffa με τις τιμές του κλάσματος όγκου εποξειδικού/λούφα  $V_e/V_f=0,2/0,8$ , (d)  $V_e/V_f=0,4/0,6$

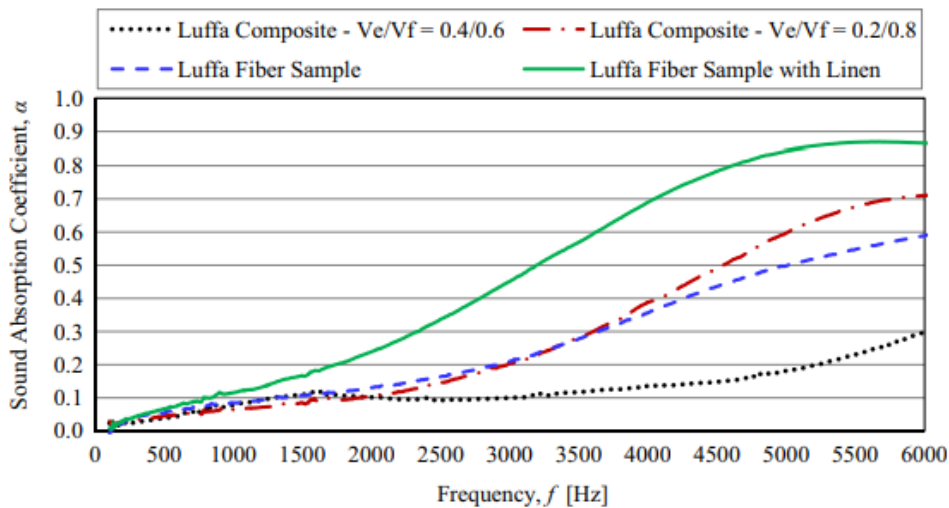
Ο ακουστικός χαρακτηρισμός περιλάμβανε τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων ηχοαπορρόφησης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του σωλήνα αντίστασης και τον προσδιορισμό των επιπέδων απώλειας μετάδοσης. Τα αποτελέσματα στη συνέχεια αξιολογήθηκαν για να τονιστεί η ακουστική απόδοση των υλικών luffa. Η μελέτη χρησιμοποιεί τη μέθοδο του σωλήνα αντίστασης για την αξιολόγηση των ακουστικών ιδιοτήτων. (εικ. 26)

Η διάταξη δοκιμής περιλαμβάνει ένα σωλήνα με συγκεκριμένες διαστάσεις, με δύο μικρόφωνα τοποθετημένα στο εσωτερικό για τη μέτρηση των ηχητικών πιέσεων.



**Εικόνα 26:** Η διάταξη δοκιμής σωλήνα σύνθετης αντίστασης όπου χρησιμοποιούνται δύο μικρόφωνα για τη μέτρηση των ηχητικών πιέσεων στο εσωτερικό του σωλήνα

Ο συντελεστής ανάκλασης κανονικής πρόσπτωσης με μιγαδική τιμή ( $R_f$ ) προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας συναρτήσεις ακουστικής μεταφοράς και υπολογισμούς αριθμού κυμάτων. Οι συντελεστές ηχοαπορρόφησης μετρώνται για διαφορετικά δείγματα λούφα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα σύνθετα υλικά luffa με υψηλότερες εποξειδικές αναλογίες παρουσιάζουν χαμηλότερους συντελεστές ηχοαπορρόφησης. Ωστόσο, τα σύνθετα υλικά με χαμηλότερη αναλογία εποξειδικών υλικών παρουσιάζουν παρόμοιους συντελεστές με την καθαρή ίνα luffa, με ελαφρές βελτιώσεις σε υψηλότερες συχνότητες. Τα επίπεδα απώλειας μετάδοσης των δειγμάτων luffa προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας το σωλήνα σύνθετης αντίστασης με τέσσερα μικρόφωνα. Τα καθαρά δείγματα ινών Luffa χωρίς και με λινό κάλυμμα παρουσιάζουν συγκρίσιμα, σχετικά χαμηλά επίπεδα απώλειας μετάδοσης (κάτω από 5 dB). Τα σύνθετα υλικά Luffa, ειδικά με αναλογία εποξειδικών 0,4/0,6, εμφανίζουν σημαντικά υψηλότερα επίπεδα απώλειας μετάδοσης (πάνω από 20 dB). (εικ. 27)



**Εικόνα 27:** Επίπεδα απώλειας μετάδοσης για διαφορετικά δείγματα luffa.

Συμπερασματικά, τα δείγματα ινών luffa, ακόμη και χωρίς μήτρα, παρουσιάζουν αξιοσημείωτους συντελεστές ηχοαπορρόφησης, ειδικά λαμβάνοντας υπόψη το σχετικά μικρό πάχος τους (12 mm). Αυτό σημαίνει ότι οι ίνες luffa από μόνες τους έχουν πολλά υποσχόμενες δυνατότητες απορρόφησης ήχου, καθιστώντας τις δυνητικά υποψήφια για ακουστικές εφαρμογές. Η προσθήκη ενός καλύμματος λινού στο δείγμα ινών luffa ενισχύει περαιτέρω τις τιμές ηχοαπορρόφησης. Αυτό υποδηλώνει ότι η επιλογή πρόσθετων υλικών ή

επικαλύψεων μπορεί να επηρεάσει και ενδεχομένως να βελτιστοποιήσει την ακουστική απόδοση των υλικών με βάση τη luffa. Η αναφορά σε πρακτικές εφαρμογές, όπως στον ακουστικό σχεδιασμό αιθουσών, τεκμαίρεται την πραγματική σημασία αυτών των ευρημάτων. Η βελτιστοποίηση της σύνθεσης της μήτρας για βελτιωμένη ακουστική απόδοση και η εξερεύνηση της επίδρασης του πάχους του δείγματος προσδιορίζονται ως τομείς για περαιτέρω διερεύνηση. Αυτό καταδεικνύει μια στραμμένη προς το μέλλον προσέγγιση, αναγνωρίζοντας την ανάγκη για συνεχή εξερεύνηση και τελειοποίηση υλικών με βάση τη luffa για ακουστικές εφαρμογές. (Hasan Koruke et al. 2015). Τα παραπάνω ευρήματα ανοίγουν δρόμους για περαιτέρω έρευνα και πιθανές εφαρμογές σε βιομηχανίες όπου η ηχοαπορρόφηση και οι ιδιότητες απομόνωσης είναι ζωτικής σημασίας. Η έμφαση στις πρακτικές επιπτώσεις και τις μελλοντικές κατευθύνσεις προσθέτει βάθος στη σημασία της μελέτης. (Tao Yanget al. 2015)

## 2.4 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Η αντικατάσταση συνθετικών υλικών με το σφουγγάρι Luffa αντιπροσωπεύει μια προσέγγιση που συνδυάζει τη βιώσιμη παραγωγή με την ανάπτυξη περιβαλλοντικά φιλικών υλικών. Το σφουγγάρι Luffa, με τη φυσική του δομή και τις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητές του, προσφέρει μια εναλλακτική λύση σε πολλές εφαρμογές, από την κατασκευή προϊόντων στον τομέα της οικοδομής έως την παραγωγή υλικών για συσκευασία και μόνωση.

Οι εφαρμογές του σφουγγαριού Luffa συνεχώς επεκτείνονται, καθώς η επιστημονική έρευνα και η τεχνολογική καινοτομία συνεισφέρουν στη βελτίωση των διαθεσίμων υλικών και την ανάπτυξη νέων εφαρμογών. Η αντικατάσταση συνθετικών υλικών με το σφουγγάρι Luffa αντικατοπτρίζει την τάση προς μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή και κατανάλωση υλικών.

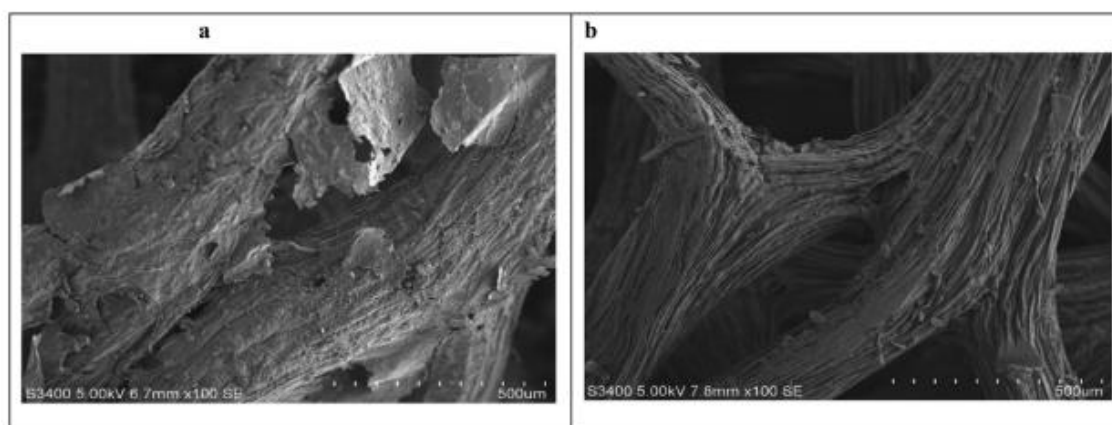
Παρακάτω ακολουθούν έξι πειράματα, στα οποία έγινε ανάλυση της μεθοδολογίας τους, των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από αυτά καθώς και της σημασίας τους στο βιομηχανικό τομέα. Η έρευνα των εφαρμογών μέσω των πειραμάτων έγινε, πρώτον γιατί δεν υπάρχουν στην πράξη εφαρμοσμένες χρήσεις του σφουγγαριού Luffa και δεύτερον για την κατανόηση των διαδικασιών που επηρεάζουν τις ιδιότητες του σφουγγαριού Luffa. Μέσω των πειραμάτων προσφέρεται ενθάρρυνση για περεταίρω έρευνα και καινοτομία στον βιομηχανικό τομέα.

### 2.4.1 Ενίσχυση Μηχανικής Αντοχής Εποξειδικών Υλικών με Χρήση Ινών Luffa Cylindrica και Σωματιδίων SiC

Η ανάπτυξη νέων υλικών με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας στον τομέα της μηχανικής. Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση φυσικών ινών ως ενίσχυσης σε σύνθετα υλικά έχει αναδειχθεί ως μία προσιτή και αποτελεσματική πρακτική. Ειδικότερα, οι ίνες του φυτού Luffa Cylindrica έχουν επιδειχθεί ως πολλά υποσχόμενες σε αυτό το πλαίσιο λόγω των φυσικών τους ιδιοτήτων και της διαθεσιμότητάς τους.

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, εξετάζεται η χρήση εποξειδικών υλικών σε συνδυασμό με ινοκατασκευές *Luffa cylindrica* και σωματιδίων καρβιδίου του πυριτίου (SiC) ως δευτερεύουσας ενίσχυσης. Το πείραμα επικεντρώνεται στη βελτίωση της μηχανικής αντοχής των υλικών αυτών και στον προσδιορισμό των βέλτιστων παραμέτρων που επιτυγχάνουν την επιθυμητή επίδοση.

Οι ερευνητές χρησιμοποιούν εποξειδικό υλικό ως υλικό μήτρας, ίνες *Luffa cylindrica* ως φυσική ενίσχυση και σωματίδια καρβιδίου του πυριτίου (SiC) ως δευτερεύουσα ενίσχυση. Το υλικό εποξειδικής μήτρας επιλέγεται για τα ευέλικτα χαρακτηριστικά του, όπως η αντοχή στη διάβρωση, η ενισχυμένη παραγωγικότητα και το χαμηλό κόστος. Οι ίνες *Luffa cylindrica* υποβάλλονται σε αλκαλική επεξεργασία με διαφορετικές συγκεντρώσεις NaOH και ποικίλες χρονικές διάρκειες. Η επεξεργασία με αλκάλια στοχεύει στη βελτίωση της μηχανικής αντοχής και στη μείωση της απορρόφησης υγρασίας των ινών *Luffa cylindrica* αφαιρώντας τη λιγνίνη και την πηκτίνη. Ο σχεδιασμός του πειράματος (DOE) με χρήση Central Composite Design (CCD) βελτιστοποιεί τη συγκέντρωση NaOH και τον χρόνο επεξεργασίας, με εικόνες SEM να επιβεβαιώνουν τη βελτιωμένη τραχύτητα της επιφάνειας μετά την επεξεργασία (εικ. 28α, 28β). Η στατιστική ανάλυση (ANOVA) και τα διαγράμματα περιγράμματος καθορίζουν τις βέλτιστες παραμέτρους, με 10% NaOH και διάρκεια 6 ωρών που αποδίδουν μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό.



**Εικόνα 28:** Εικόνες SEM των ινών *Luffa cylindrica*: (α) Πριν τη θεραπεία, (β) Μετά τη θεραπεία.

Έπειτα πρόσθεσαν μικρά σωματίδια καρβιδίου του πυριτίου για δευτερεύουσα ενίσχυση. Η μελέτη προσδιορίζει ότι η προσθήκη SiC σε 3,5 wt% είναι η βέλτιστη, λαμβάνοντας υπόψη τις αντοχές των εποξειδικών σύνθετων υλικών όσον αφορά την πρόσκρουση, την τάση και την κάμψη.

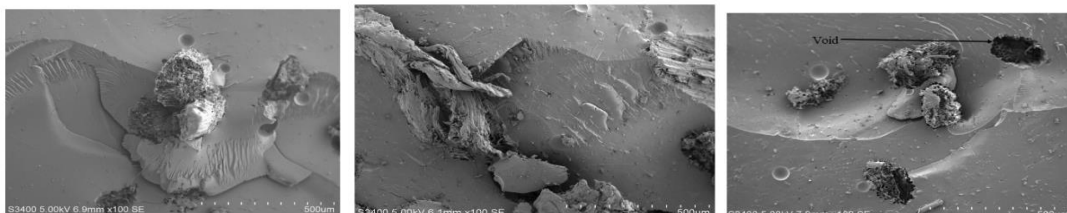
Χρησιμοποίησαν μια βασική μέθοδο (hand lay up), τοποθετώντας διπλά στρώματα ινών *Luffa cylindrica* λαμβάνοντας υπόψη στη διαδικασία κατασκευής, έβαλαν στρώματα επεξεργασμένων ινών και εποξειδικό με SiC ενδιάμεσα με σκοπό να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο η αντοχή. (εικ. 29)



**Εικόνα 29:** Handlay-urτεχνική

Τέλος έγιναν δοκιμές εφελκυσμού, κάμψης και πρόσκρουσης. Το υλικό γίνεται ισχυρότερο καθώς προστίθενται περισσότερα σωματίδια καρβιδίου πυριτίου, αλλά μόνο μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο (5,5% αυτών των σωματιδίων). Μετά την επίτευξη της μέγιστης αντοχής, η προσθήκη περισσότερων σωματιδίων κάνει το υλικό πιο αδύναμο. Αυτό συμβαίνει επειδή τα σωματίδια αρχίζουν να κολλάνε μεταξύ τους, να δημιουργούν συστάδες και να αποδυναμώνουν το υλικό. Η προσθήκη σωματιδίων SiC 3,5% δίνει στο υλικό την υψηλότερη αντοχή κρούσης. Μετά την επίτευξη της αιχμής, η προσθήκη περισσότερων σωματιδίων SiC αρχίζει να καθιστά το υλικό ασθενέστερο όσον αφορά την αντοχή σε κρούση. (S. Chethan et al. 2011)

Οι εικόνες 30, 31, 32 δείχνουν πώς φαίνεται το υλικό όταν σπάει κάτω από κρούση με διαφορετικά ποσοστά SiC. Φαίνεται ότι έως και 3,5% SiC, η δομή είναι ισχυρή, αλλά πέρα από αυτό, η συσσώρευση σωματιδίων SiC δημιουργεί κενούς χώρους, αποδυναμώνοντας το υλικό.



**Εικόνα 30:** Εικόνα SEM δοκιμίου δοκιμής πρόσκρουσης θραύσης με 1,5 wt% SiC, **Εικόνα 31:** Εικόνα SEM δοκιμίου δοκιμής κρούσης θραύσης με 3,5 wt% SiC, **Εικόνα 32:** Εικόνα SEM δοκιμίου δοκιμής κρούσης θραύσης με 5,5 wt% SiC

#### 2.4.2 Βελτιστοποίηση της Μηχανικής Απόδοσης της *Luffa cylindrica*

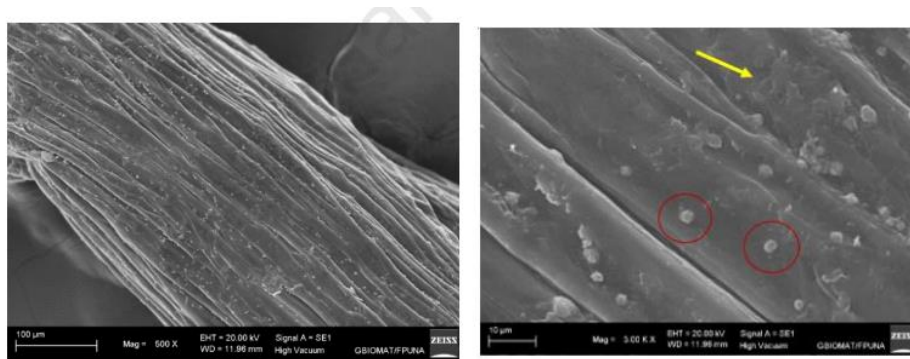
Στη συγκεκριμένη μελέτη γίνονται πειραματισμοί με σκοπό να γίνει η *Luffa cylindrica* ακόμα πιο χρήσιμη σε κατασκευαστικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές. Οι ερευνητές προσπάθησαν να προσθέσουν ίνες LC σε διαφορετικά υλικά, όπως σκυρόδεμα και πολυμερή. Διαπίστωσαν ότι παρόλο που έκανε το υλικό λίγο πιο «αδύναμο» κατά κάποιο τρόπο, το έκανε επίσης πιο ευέλικτο.

Προηγούμενες μελέτες πρόσθεσαν φυσικό LC ως πληρωτικό στην κατασκευή μπλοκ συμπίεσμνης γείωσης (CEB). Ωστόσο, η μηχανική απόδοση δεν ανταποκρίθηκε στις προσδοκίες. Αυτό οδηγεί στην τρέχουσα εστίαση σε δύο χαμηλού κόστους και χαμηλού αντίκτυπου θερμοχημικές επεξεργασίες, βραστό νερό και υδροξείδιο νατρίου, για τη βελτίωση της απόδοσης του LC ως πληρωτικών CEB.

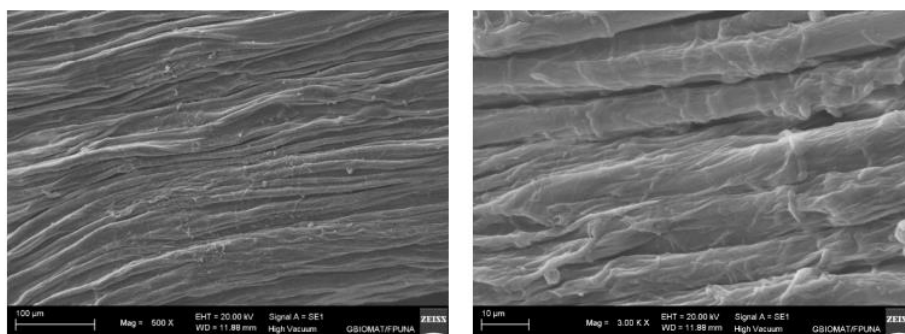
Η δομή της επιφάνειας και η χημική σύνθεση αυτών των δειγμάτων εξετάστηκαν χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές, SEM/EDS που χρησιμοποιήθηκε για την εξέταση της επιφανειακής δομής και της χημικής σύνθεσης των δειγμάτων, FTIR (Φασματοσκοπία υπέρυθρων μετασχηματισμού Fourier) για τον εντοπισμό λειτουργικών ομάδων στα δείγματα και XRD (Περιθλαση ακτίνων X), για τον προσδιορισμό των ποσοστών της κρυσταλλικής φάσης.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, στην ανάλυση SEM το φυσικό LC έχει μικρά σωματίδια και μεμβράνες. Η επεξεργασία με βρασμένο νερό αφαίρεσε τη λιγνίνη και την ημικυτταρίνη, κάνοντας τις μικροΐνες πιο ορατές. Η επεξεργασία υδροξειδίου του νατρίου βελτίωσε περαιτέρω την επιφάνεια, διατηρώντας την ακεραιότητα των ινών. (εικ 33,α,β,γ)

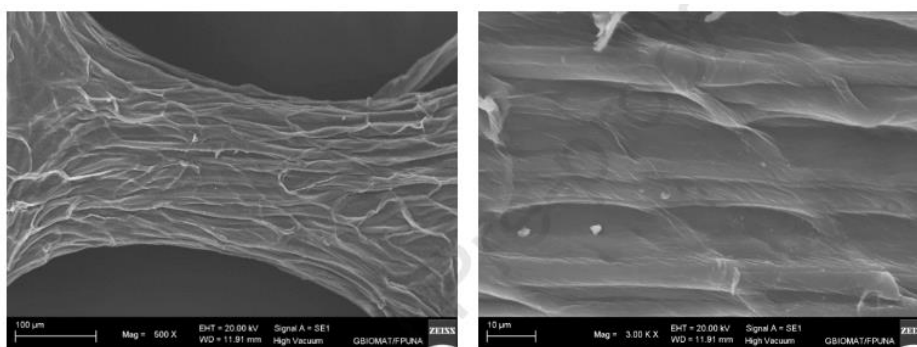
Συμπερασματικά, η επεξεργασία με υδροξείδιο του νατρίου προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στη μορφολογία της επιφάνειας και στις κρυσταλλικές δομές. Και οι δύο θεραπείες μείωσαν την κρυσταλλικότητα. Η θεραπεία με υδροξείδιο του νατρίου εμφάνισε καλύτερα αποτελέσματα, αλλά οι διακυμάνσεις στο χρόνο επεξεργασίας του νερού μπορεί να αποφέρουν παρόμοια αποτελέσματα ευνοϊκά αποτελέσματα για τη χρήση ινών LC ως πληρωτικών στο CEB. (Maria-Belen Martinez-Pavetti et al. 2021)



(α)



(β)



(γ)

**Εικόνα 33:** Μικρογραφίες SEM των ινών *Luffa cylindrica* (α) μη επεξεργασμένες (LN) και υποβλήθηκαν σε θερμοχημικές επεξεργασίες (β) βρασμένου νερού (LW) και (γ) διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου (LS). Κόκκινοι κύκλοι – σωματίδια ασβεστίου και κίτρινο βέλος – κηρώδεις και ουλώδεις ουσίες

#### 2.4.3 Ανάλυση της Χρήσης των Ινών *Luffa cylindrica* ως Βιοσυνθετικού Υλικού: Μελέτη Θερμικών, Μηχανικών και Χημικών Ιδιοτήτων

Αυτή η μελέτη εστιάζει στη διερεύνηση της πιθανής χρήσης των ινών *Luffa cylindrica* με τη μορφή βιοσύνθετου υλικού. Ο στόχος είναι να διερευνηθούν οι θερμικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες αυτών των ινών, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως αλλά δεν διαθέτουν επαρκή επιστημονικά δεδομένα.



Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το πείραμα είναι πρωτογενή υλικά, εποξειδικά (LY-5082) και σκληρυντικά (HY-5082). Αρχικά τοποθετούνται σε πλαστικό δίσκο στον οποίο προστίθεται ένα διάλυμα NaOH 2%. Οι ίνες μουλιάζουν σε αυτό το διάλυμα για 1 ώρα με σκοπό να τροποποιηθούν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των ινών. Μετά από μούσκεμα, πλένονται καλά με νερό για να απομακρυνθεί η περίσσεια NaOH και στη συνέχεια πλένονται με αποσταγμένο νερό, τέλος ξηραίνονται με ζεστό αέρα. Για την προετοιμασία του καλούπιου για τα σύνθετα υλικά, χρησιμοποιείται η τεχνική Lay-Up. Το καλούπι, κατασκευασμένο από γυαλί με διαστάσεις 300 mm × 300 mm, παρασκευάζεται με σφαιρίδια για να διατηρήσει πάχος 3 mm γύρω από τις πλάκες καλούπιών. Η μήτρα για την κατασκευή δειγμάτων ινών αποτελείται από εποξειδική ρητίνη LY-5082 αναμειγμένο με σκληρυντικό HY5082. Τα δείγματα παρασκευάζονται χρησιμοποιώντας ίνες και εποξειδική ρητίνη, με διαφορετικές διαδικασίες για γυάλινες ίνες/εποξειδική ρητίνη και Luffa Cylindrica/εποξειδική κατασκευή. Για το Luffa Cylindrica/εποξειδική ρητίνη, οι ίνες τοποθετούνται ομοιόμορφα πάνω από το καλούπι, συμπιέζονται, αφαιρούνται και επικαλύπτονται με εποξειδική ρητίνη. Το μείγμα στη συνέχεια συμπιέζεται για 24 ώρες μέχρι τη σκλήρυνσή τους. (εικ. 34, 35, 36)

Κάθε δείγμα υποβάλλεται σε τρεις τύπους μηχανικών δοκιμών: δοκιμές εφελκυσμού, κάμψης και κρούσης.



**Εικόνα 34:** Εποξειδικά σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες (90 gm) + σκληρυντικό (22,5) + κορυφογραμμή (5 gm) + ίνες γυαλιού (15 gm) υδροξειδίου του νατρίου (LS)

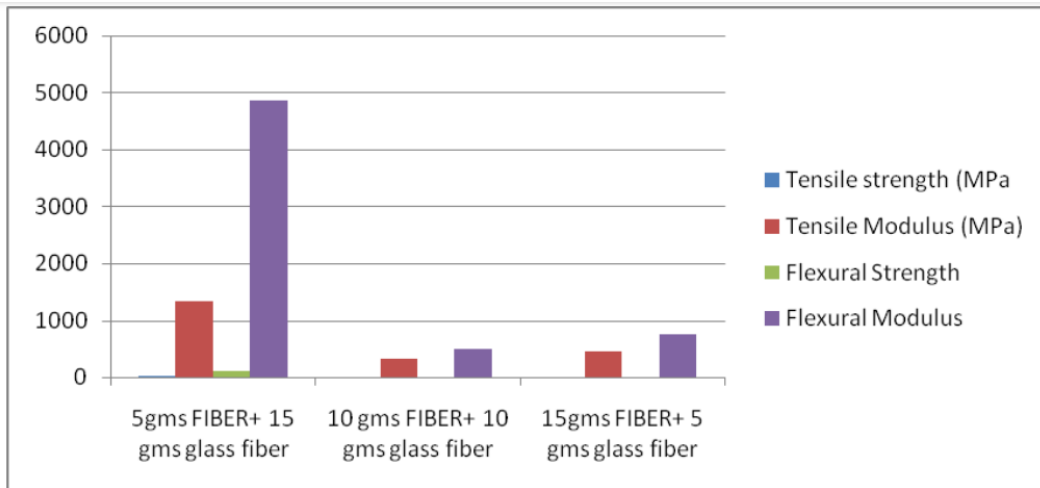


**Εικόνα 35:**Σύνθετα Ενισχυμένα με Ίνα Εποξειδικό (90 g) + Σκληρυντικό (22,5) + RidgeGourd (10 gm) + Ίνα γυαλιού (10 gm)

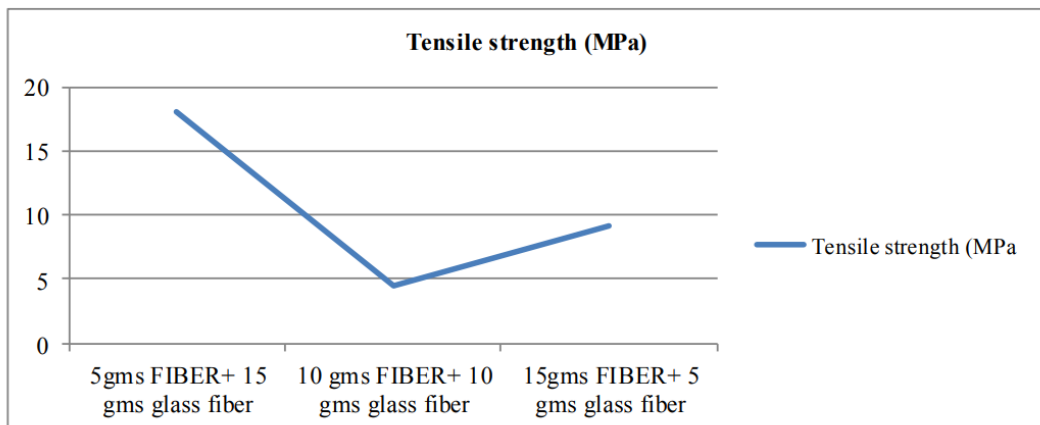


**Εικόνα 36:**Σύνθετα Ενισχυμένα με Ίνα Εποξειδικό (90 gm) + Σκληρυντικό (22,5) + RidgeGourd (15 gm) + Ίνες γυαλιού (5 gm)

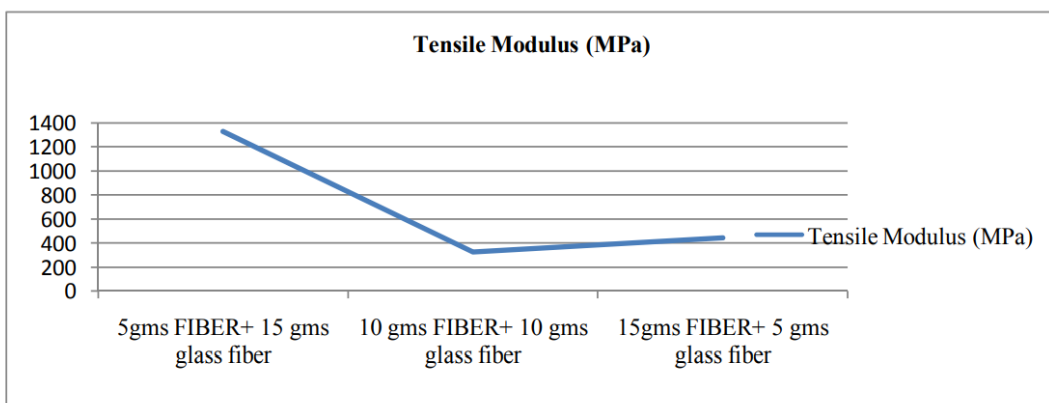
Συμπερασματικά, αφού πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες μηχανικές δοκιμές, συμπεριλαμβανομένων δοκιμών εφελκυσμού, κάμψης και κρούσης, τα αποτελέσματα έδειξαν θετική συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας των ινών *Luffa Cylindrica* και των σύνθετων υλικών (εικ. 37). Καθώς η περιεκτικότητα σε ίνες αυξανόταν, τόσο η αντοχή εφελκυσμού όσο και το μέτρο ελαστικότητας παρουσίασαν βελτίωση (εικ. 38,39). Η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας κάμψης κατέδειξαν επίσης ενίσχυση με αύξηση της περιεκτικότητας σε ίνες, υπογραμμίζοντας τη θετική επίδραση των ινών *Luffa Cylindrica* στην αντίσταση του υλικού στις δυνάμεις κάμψης (εικ. 40,41). Συγκεκριμένα η ειδική σύνθεση του εποξειδικού (90gm) γεμάτο με 5gms υβριδικού σύνθετου υλικού ενισχυμένου με ίνες *Luffa Cylindrica* έδειξε αξιοσημείωτες βελτιώσεις, ιδιαίτερα στην αντοχή στην κάμψη και στο μέτρο κάμψης. Αυτό δείχνει ότι μια σχετικά μικρή ποσότητα ινών *Luffa Cylindrica* ενισχύει σημαντικά τη συνολική απόδοση του σύνθετου υλικού.



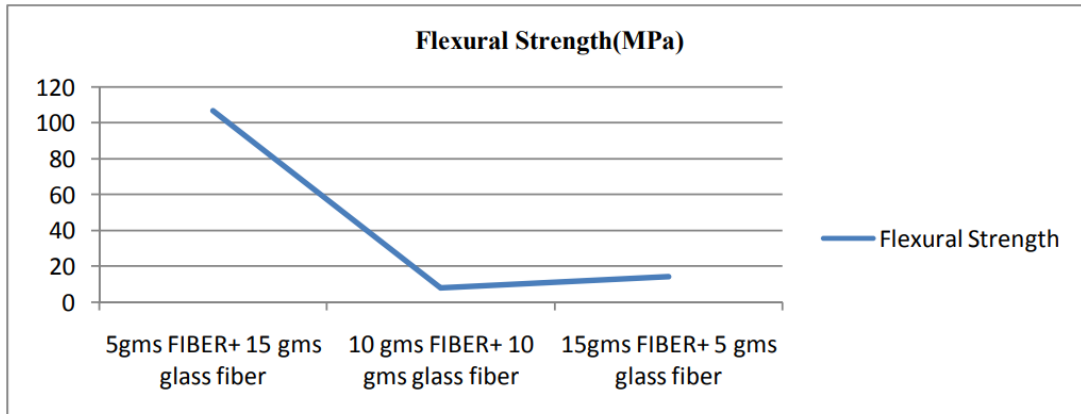
**Εικόνα 37:** Ιδιότητες των σύνθετων υλικών ενισχυμένων με ίνες.



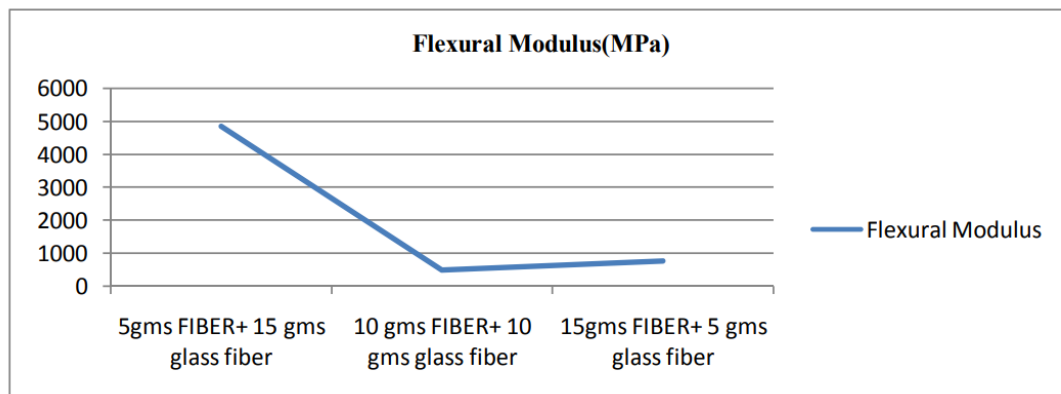
**Εικόνα 38:** Αντοχή σε εφελκυσμό



**Εικόνα 39:** Μέτρο ελαστικότητας



**Εικόνα 40:** Αντοχή σε κάμψη



**Εικόνα 41:** Μέτρο ελαστικότητας κάμψης

Αυτά τα ευρήματα υπογραμμίζουν τη δυνατότητα των ινών *Luffa cylindrica* ως ενισχυτικού στοιχείου σε εποξειδικά σύνθετα υλικά. Οι χημικές θεραπείες συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της συμβατότητας της ίνας με την εποξική μήτρα, οδηγώντας σε βελτιωμένη συνολική μηχανική απόδοση.

Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι με την προσθήκη ινών *Luffa Cylindrica* σε σύνθετα υλικά, δημιουργούνται υποκατάστατα για πολυμερικά πλαστικά υλικά ενισχυμένα με συνθετικές ίνες. Αυτά τα πράσινα σύνθετα παρουσιάζουν πολλά υποσχόμενα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές, ειδικά στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας και της γενικής μηχανικής. Παραδείγματα πιθανών εφαρμογών περιλαμβάνουν την κατασκευή εξαρτημάτων όπως καπάκια, προστατευτικά καλύμματα σε ταμπλό καμπίνας, καθώς και καλύμματα και στηρίγματα στήριξης για μπουλντόζες εξόρυξης και πάνελ εκσκαφών. (D. Mohana krishnudu et al. 2018)

#### 2.4.4 Χρήση Ινών *Luffa cylindrica* ως Βιοσύνθετου Υλικού

Στο προηγούμενο πείραμα οι ερευνητές εστίασαν διερεύνηση των ιδιοτήτων των ινών *Luffa cylindrica* και την πιθανή τους χρήση σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής σύνθετων υλικών. Ωστόσο, παρά την υπάρχουσα επιστημονική προσπάθεια, εξακολουθούν να υπάρχουν κενά σχετικά με τις θερμικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες αυτών των ινών, καθιστώντας απαραίτητη τη συνέχιση της έρευνας στον τομέα αυτόν. Στο πλαίσιο αυτό, το παρόν πείραμα επιδιώκει να συνεισφέρει στη συμπλήρωση αυτών των κενών, εξετάζοντας τη χρήση των ινών *Luffa cylindrica* ως βιοσυνθετικού υλικού και τις επιπτώσεις της επεξεργασίας τους στις μηχανικές ιδιότητες των συνθετικών υλικών. Μέσω αυτής της προσέγγισης, στόχος είναι η ανάδειξη του δυναμικού των ινών *Luffa cylindrica* στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών σύνθετων υλικών, με την ελπίδα να αναδειχθούν νέες εφαρμογές σε βιομηχανικό επίπεδο.

Στη συγκεκριμένη μελέτη οι ερευνητές προσπαθούν να δημιουργήσουν ισχυρά υλικά χρησιμοποιώντας ίνες από *Luffa*. Η υδρόφοβη φύση της μήτρας (το πλαστικό υλικό) και η συμπεριφορά απορρόφησης του νερού των φυσικών ινών δημιουργούν προβλήματα συμβατότητας. Αυτό δυσκολεύει τη σύνδεση μεταξύ της μήτρας και των ινών, επηρεάζοντας την αντοχή και την ικανότητα μεταφοράς τάσης του σύνθετου υλικού, έτσι πρωταρχικός στόχος είναι η ενίσχυση των ιδιοτήτων αυτών των σύνθετων υλικών. Για να το πετύχουν αυτό, οι ερευνητές εισάγουν ίνες άνθρακα ως πρόσθετο ενισχυτικό υλικό, δημιουργώντας υβριδικά σύνθετα υλικά. Η προσθήκη ανθρακονημάτων αναμένεται να βελτιώσει τη συνολική αντοχή των σύνθετων υλικών, ειδικά σε φορτία κάμψης και κρούσης.

Σε αυτό το πείραμα, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ίνες από το φυτό λούφα και τις συνδύασαν με ίνες άνθρακα για να δημιουργήσουν ένα μοναδικό και ισχυρό υλικό.

Οι ίνες του φυτού *Luffa*, περιέχουν κυτταρίνη, λιγνίνη και ημικυτταρίνη. Αυτές οι ίνες, είναι γνωστές για την αντοχή και την ακαμψία τους. Από την άλλη, τα ανθρακονήματα, ένα ελαφρύ και απίστευτα ισχυρό υλικό, έχει ορισμένα μειονεκτήματα, όπως κακή αντοχή στη θερμότητα, ευθραυστότητα και σχετικά υψηλό κόστος.

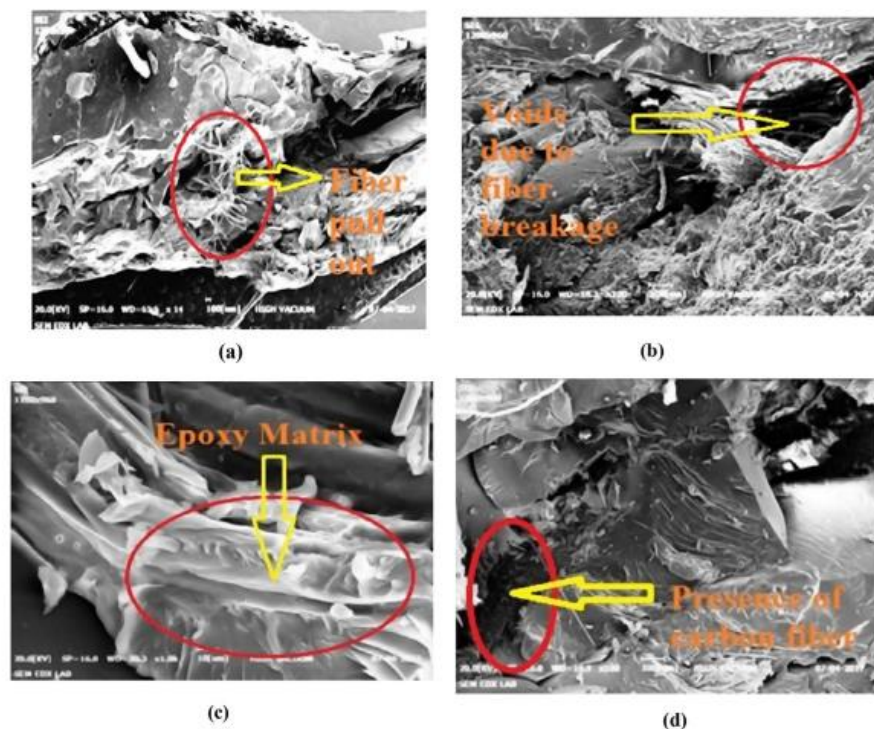
Στη συνέχεια του πειράματος οι ίνες λούφας, γνωστές για την αντοχή και την ακαμψία τους, κόπηκαν σε μικρά κομμάτια, μήκους περίπου 2 mm, υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με μια χημική ουσία, συγκεκριμένα 5% NaOH, για να ενισχυθεί η αντοχή τους. Έπειτα το μείγμα τοποθετήθηκε σε ένα καλούπι, σε ειδικό σχήμα, και πιέστηκε με ένα βάρος για να δώσει την επιθυμητή μορφή. Μετά από 24 ώρες κάτω από αυτό το βάρος, το υλικό αφέθηκε να σκληρυνθεί στο φως του ήλιου για μια επιπλέον ημέρα, ενισχύοντας περαιτέρω το σύνθετο υλικό. Για να διευκολυνθεί η αφαίρεση από το καλούπι, ψεκάστηκε η κοιλότητα του καλουπιού με χλωριούχο πολυβινύλιο πριν από την τοποθέτηση του μίγματος ίνας-μήτρας. Τέλος το σύνθετο υλικό κόπηκε στις απαιτούμενες διαστάσεις. Το τελικό προϊόν ήταν ένα πολυστρωματικό υλικό με σύνθεση από ίνες λούφα και άνθρακα, που παρουσίαζε έναν συνδυασμό της φυσικής αντοχής των φυτικών ινών και της ενισχυμένης σκληρότητας των ινών άνθρακα. Αυτή η λεπτομερής διαδικασία είχε ως στόχο τη δημιουργία ενός σύνθετου υλικού με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες για διάφορες εφαρμογές.

Έπειτα ξεκίνησαν οι δοκιμές εφελκυσμού, συμπίεσης, κάμψης και σκληρότητας. Για τη δοκιμή εφελκυσμού, παρασκευάστηκαν δείγματα με διαστάσεις 165 mm x 13 mm x 3 mm, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D638. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μιας μηχανής γενικής δοκιμής (UTM) και δημιουργήθηκαν πέντε σετ δειγμάτων από κάθε πολυστρωματικό υλικό. Το δείγμα τοποθετήθηκε μεταξύ των σιαγόνων και ρυθμίστηκε χειροκίνητα ώστε να εφαρμόζει φορτίο με ταχύτητα χιαστί 1 mm/min. Το φορτίο αυξήθηκε μέχρι να σπάσει το δείγμα και καταγράφεται η μέση αντοχή εφελκυσμού.

Για το τεστ κάμψης και συμπίεσης, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε μηχανική επεξεργασία με διαστάσεις 12,7 mm x 12,7 mm x 3 mm και αφού παρασκευάστηκαν πέντε σετ δειγμάτων από κάθε φύλλο πολυμερούς μήτρας, τοποθετήθηκαν μεταξύ των σιαγόνων και εφαρμόστηκε φορτίο μέχρι να σπάσει το δείγμα στη μια περίπτωση και μέχρι να παραμορφωθεί στην άλλη.

Τέλος μέσω της ανάλυσης SEM έγινε μελέτη της δομής και των χαρακτηριστικών των επιφανειών που έχουν αποτύχει κατά τη δοκιμή εφελκυσμού. (εικ 42a-d)

Η ανάλυση SEM των αποτυχημένων επιφανειών παρείχε λεπτομερείς πληροφορίες για τους μηχανισμούς αποτυχίας. Το δείγμα C5, παρά το γεγονός ότι αντιμετώπισε θραύση μήτρας-ίνας, έδειξε συνολικά υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες. Συνοπτικά, η ενσωμάτωση ανθρακονημάτων, ειδικά σε μεγαλύτερους όγκους όπως φαίνεται στο δείγμα C5, βελτίωσε σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες των υβριδικών σύνθετων υλικών. Οι παρατηρούμενες βελτιώσεις στις αντοχές εφελκυσμού, θλίψης και κάμψης, μαζί με αυξημένη σκληρότητα, υποδηλώνουν τη δυνατότητα αυτών των σύνθετων υλικών για εφαρμογές που απαιτούν ισορροπία αντοχής και ακαμψίας.



Εικόνα 42:(α) Μικρογραφία SEM του δείγματος C2. (β) Δείγμα C3, (γ) Δείγμα C4, (δ) Δείγμα C5.

Περαιτέρω βελτιστοποίηση της σύνθεσης των ινών θα μπορούσε να οδηγήσει σε προσαρμοσμένα υλικά με συγκεκριμένες μηχανικές ιδιότητες για διάφορες εφαρμογές.

Συμπερασματικά, αυτή η μελέτη παρουσιάζει μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τη δημιουργία υβριδικών σύνθετων υλικών με συνδυασμό ινών άνθρακα και λούφα μέσω προσιτών μεθόδων κατασκευής. Οι θετικές μηχανικές ιδιότητες καθιστούν αυτά τα υλικά συγκρίσιμα με εναλλακτικές λύσεις υψηλής απόδοσης. Ωστόσο, επιπρόσθετη έρευνα για τη θερμική σταθερότητα είναι απαραίτητη πριν εξεταστεί η παραγωγή μεγάλης κλίμακας. (K.G. Ashok et al. 2020)

#### ***2.4.5 Ανάλυση της Θερμικής Συμπεριφοράς και Μηχανικών Ιδιοτήτων Συνθετικών Υλικών από Ίνες Λούφας: Προοπτικές για Βιο-Κατασκευαστικές Εφαρμογές***

Οι ερευνητές συνέλεξαν ίνες λούφα και χρησιμοποίησαν έναν ειδικό τύπο ρητίνης για να δημιουργήσουν ένα μείγμα. Επεξεργάστηκαν τις ίνες με χημικές ουσίες για να τις κάνουν καλύτερες για το πείραμα. Στη συνέχεια, έφτιαξαν σύνθετα υλικά χρησιμοποιώντας τις ίνες και τη ρητίνη. Αυτά τα σύνθετα υλικά δοκιμάστηκαν για να διαπιστωθεί πόσο ισχυρά και ευέλικτα είναι. Έκαναν διάφορες δοκιμές όπως δοκιμές κάμψης, κρούσης και σκληρότητας στα σύνθετα υλικά. Εξέτασαν επίσης πώς συμπεριφέρονταν τα σύνθετα υλικά όταν άλλαζε η θερμοκρασία.

Συγκεκριμένα για την κατανόηση του τρόπου συμπεριφοράς του υλικού σε αλλαγές θερμοκρασίας. Τα δείγματα δοκιμάστηκαν σε λειτουργία κάμψης τριών σημείων από 20–250 °C με ρυθμό θέρμανσης 2 °C/min και συχνότητα 1 Hz. Αυτή η ανάλυση παρείχε πληροφορίες για το πώς το υλικό ανταποκρίνεται στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπου συμβαίνουν αλλαγές θερμοκρασίας. Έπειτα διερευνήθηκε ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται το βάρος των σύνθετων υλικών με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η θερμοβαρομετρική ανάλυση διεξήχθη από θερμοκρασία δωματίου έως 1000 °C με ρυθμό θέρμανσης 20 °C/min υπό ατμόσφαιρα αζώτου.

Οι μέθοδοι θερμικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη παρέχουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα σύνθετα υλικά ανταποκρίνονται στις αλλαγές θερμοκρασίας. Αυτή η γνώση είναι κρίσιμη για εφαρμογές στις οποίες αυτά τα σύνθετα υλικά μπορούν να υποβληθούν σε ποικίλες θερμοκρασίες, διασφαλίζοντας τη σταθερότητα και την απόδοσή τους κάτω από διαφορετικές θερμικές συνθήκες.

Πιο αναλυτικά η θερμοβαρομετρική ανάλυση (TGA/DTG) αποκάλυψε βασικές πτυχές της θερμικής συμπεριφοράς. Συμπερασματικά, η θερμική σταθερότητα και η συμπεριφορά των σύνθετων ινών luffa επηρεάστηκαν από τις επιφανειακές επεξεργασίες, προσφέροντας πολύτιμες γνώσεις για πιθανές εφαρμογές σε περιβάλλοντα με συγκεκριμένες θερμικές απαιτήσεις. Η μελέτη θέτει το στάδιο για περαιτέρω έρευνα για τη βελτιστοποίηση των θερμικών ιδιοτήτων αυτών των σύνθετων υλικών για διαφορετικές εφαρμογές. (G. Kalusuraman et al. 2020)

#### 2.4.6 Βιομηχανική Αξιοποίηση Σφουγγαριών *Luffa* με Μεταλλική Επεξεργασία

Ο κύριος στόχος αυτής της έρευνας είναι η δημιουργία υλικών με ιδιότητες εμπνευσμένες από τη δομή των σφουγγαριών *Luffa*, ενσωματώνοντας μέταλλα σε σφουγγάρια *Luffa* χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που ονομάζεται μεταλλική ηλεκτροχημική εναπόθεση. Η μελέτη επιδιώκει να εξετάσει και να περιγράψει τις δομές αυτών των σύνθετων υλικών από επινικελωμένα σφουγγάρια λούφα σε διάφορες κλίμακες. Για να αξιολογήσουν την αντοχή και την απόδοσή τους, οι ερευνητές σχεδιάζουν να πραγματοποιήσουν δοκιμές που περιλαμβάνουν τη συμπίεση αυτών των υλικών σε μία μόνο κατεύθυνση. Ο απώτερος στόχος είναι να αποκτήσουμε μια λεπτομερή εικόνα του τρόπου με τον οποίο αυτά τα τεχνητά υλικά στοιβάζονται ενάντια στα φυσικά σφουγγάρια λούφα και άλλα υλικά με συγκρίσιμα χαρακτηριστικά.

Αναλυτικά στο πείραμα, ως πρώτες ύλες χρησιμοποιήθηκαν σφουγγάρια *Luffa* από την επαρχία Zhejiang της Κίνας. Αυτά υποβλήθηκαν σε επεξεργασία αφαιρώντας το δέρμα και τους σπόρους, κόπηκαν σε δείγματα στήλης μήκους ~40 mm, έπειτα ξεπλύθηκαν με νερό και εμποτίστηκαν για να αφαιρεθούν οι ακαθαρσίες. Οι διαστάσεις των σφουγγαριών κυμαίνονται σε διάμετρο 53,3 έως 69,8 mm και ύψος από 35,0 έως 41,4 mm.

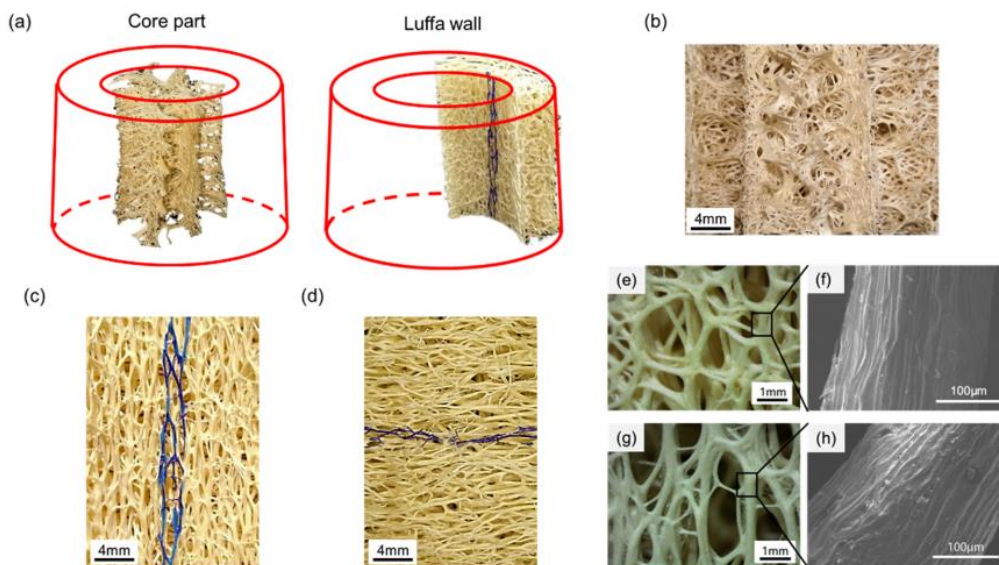
Στη συνέχεια, εφάρμοσαν μια διαδικασία που ονομάζεται ηλεκτροχημική εναπόθεση, όπου έβαλαν νικέλιο στα σφουγγάρια *Luffa*. Πριν από αυτό, έγινε μια επεξεργασία με αλκάλια για να γίνουν οι ίνες καλύτερες για τη διαδικασία. Τα επινικελωμένα δείγματα είχαν διαφορετικές πυκνότητες ανάλογα με τη διάρκεια που ήταν επιμεταλλωμένα.

Ομαδοποίησαν τα δείγματα σε κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους: αυθεντικά σφουγγάρια λούφα, σφουγγάρια λούφα επεξεργασμένα με αλκάλια, σφουγγάρια λούφα με ηλεκτρολυτική επεξεργασία, ηλεκτρολυμένα σφουγγάρια λούφα και επιμεταλλωμένα με αλκάλια σφουγγάρια λούφα.

Για να μάθουν περισσότερα για τα υλικά που δημιούργησαν, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν μικροσκόπια για να εξετάσουν τα σχήματά τους. Αυτό τους βοήθησε να δουν τις λεπτομέρειες των υλικών σε πολύ μικρό επίπεδο (εικ. 43). Επιπλέον, χρησιμοποίησαν μια τεχνική που ονομάζεται περίθλαση ακτίνων X για να μάθουν από ποιες ουσίες αποτελούνται τα υλικά. Μετά από αυτές τις εξετάσεις, πραγματοποίησαν δοκιμές στα δείγματα. Άσκησαν πίεση στα υλικά για να δουν πόσο βάρος ή δύναμη μπορούσαν να αντέξουν. Αυτή η δοκιμή έγινε χρησιμοποιώντας μια μηχανή γνωστή ως Instron 2345. Ωστόσο, έπρεπε να είναι προσεκτικοί με την ταχύτητα με την οποία πίεζαν τα υλικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένες από τις επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν στις στήλες *Luffa* τις έκαναν λιγότερο ανθεκτικές ή άκαμπτες, επομένως η ταχύτητα δοκιμής προσαρμόστηκε ανάλογα.

Τα σφουγγάρια *Luffa* παρουσίαζαν μια πολύπλοκη εσωτερική δομή, με κενά κατανεμημένα σε ένα ινώδες δίκτυο. Η επεξεργασία των σφουγγαριών με αλκάλια οδήγησε σε εξευγενισμένες ίνες χωρίς σημαντική ζημιά. Η εσωτερική επιφάνεια του τοιχώματος λούφα παρουσίαζε ευδιάκριτα μορφολογικά χαρακτηριστικά, με τις αξονικές ίνες να είναι πιο σκληρές και πιο άκαμπτες από τις περιφερειακές ίνες στην εξωτερική επιφάνεια.



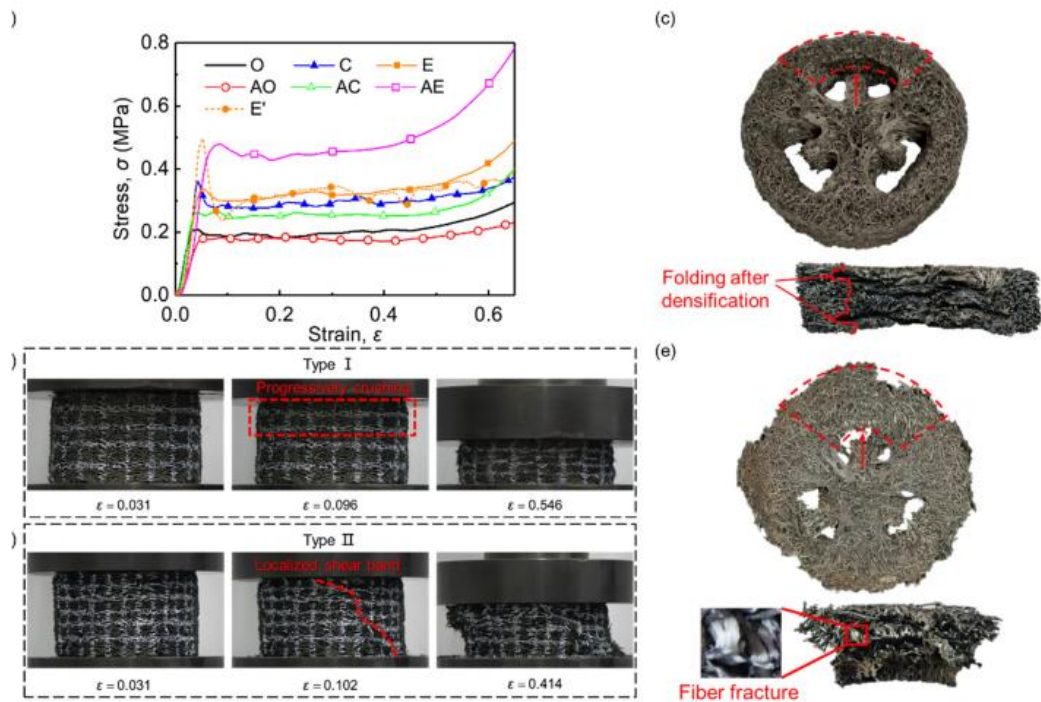


**Εικόνα 43:** (a) Απεικόνιση του τμήματος πυρήνα και του τοιχώματος λούφα του σπόγγου λούφα. Μορφολογία του (b) τμήματος πυρήνα (c) της εσωτερικής επιφάνειας και (d) της εξωτερικής επιφάνειας του τοιχώματος λούφα. Οπτικές μικρογραφίες και μικρογραφίες SEM για μορφολογία εσωτερικής επιφάνειας (e-f) σπόγγου λούφα και (g-h) σπόγγου λούφα που έχει υποστεί επεξεργασία με αλκάλια.

Η διαδικασία ηλεκτρολυτικής επιμετάλλωσης αντιμετώπισε προκλήσεις στην ομοιόμορφη εναπόθεση νικελίου στις εσωτερικές επιφάνειες του τοιχώματος luffa. Αυτός ο περιορισμός επηρέασε τις μηχανικές ιδιότητες, καθώς τα επιμεταλλωμένα δείγματα εμφάνισαν τραχιές επιφάνειες με ενδείξεις συσσωματωμάτων σωματιδίων νικελίου. Οι μηχανικές ιδιότητες, ιδιαίτερα η ακαμψία και η αντοχή, ενισχύθηκαν σημαντικά μετά την εναπόθεση νικελίου, με τα επεξεργασμένα με αλκάλια σφουγγάρια να παρουσιάζουν ανώτερη απόδοση. (εικ. 44)

Οι μηχανικές ιδιότητες ακολούθησαν έναν νόμο κλιμάκωσης ισχύος με πυκνότητα, που μοιάζουν με υλικά που κυριαρχούν στην κάμψη. Η επεξεργασία με αλκάλια έπαιξε κρίσιμο ρόλο στην επίτευξη των καλύτερων μηχανικών ιδιοτήτων, τονίζοντας τη σημασία του αποκλεισμού της πολυπλοκότητας των συστατικών για τη διερεύνηση των σχέσεων μηχανικής ιδιότητας-δομής. Η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας των επινικελωμένων σφουγγαριών luffa σημείωσε σημαντική αύξηση, ειδικά για δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με αλκάλια. Τα επεξεργασμένα με αλκάλια σφουγγάρια παρουσίασαν την υψηλότερη απόδοση βελτίωσης στην απορρόφηση ενέργειας. Αυτά τα ευρήματα υπογράμμισαν τη σημασία των επιφανειακών επεξεργασιών στη βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων απορρόφησης ενέργειας.

Συμπερασματικά, το στρώμα νικελίου αύξησε την αντοχή των σφουγγαριών luffa. Όσο πιο παχύ είναι το στρώμα, τόσο καλύτερη είναι η αντοχή, αλλά εξετάσαμε επίσης πόσο βελτιώθηκε η αντοχή σε σύγκριση με το επιπλέον βάρος. (Sha Yin et al. 2019)



**Εικόνα 44:**(α) Τυπικές καμπύλες θλιπτικής τάσης-παραμόρφωσης των επινικελωμένων σφουγγαριών *luffa*, σε σύγκριση με εκείνες για τα φυσικά σφουγγάρια. Ιστορικά παραμόρφωσης και οι αντίστοιχοι τρόποι στοχίας δύο τύπων δειγμάτων: (b–c) τύπου I (d–e) τύπου II.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το σφουγγάρι Luffa είναι ένα από τα εμπορικά βιώσιμα και περιβαλλοντικά αποδεκτά βιολογικά υλικά που προέρχονται από καρπούς του φυτού Luffa Cylindrica (LC) και έχουν ικανότητα ανακύκλωσης και βιοαποδομησιμότητας. Οι καρποί του έχουν ένα ινώδες αγγειακό σύστημα που μοιάζει με δίχτυ. Όταν έρθει η ώρα της ωρίμανσης και ο καρπός είναι έτοιμος αποξηρανό, η δομή του ινώδους δικτύου χρησιμεύει σαν ένα ανοιχτό κυτταρικό αφρό. Έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό υλικό για τεχνητά κυτταρικά υλικά. Η σημασία των βιολογικών υλικών όπως το σφουγγάρι luffa αυξάνεται καθώς αναζητούνται βιώσιμες λύσεις χρησιμοποιώντας νέα υλικά.

Μόνο περιορισμένος αριθμός ερευνών έχει διεξαχθεί σχετικά με το σφουγγάρι luffa ως πηγή βιοϊνών και βιοσύνθετων υλικών. Οι έρευνες έδειξαν ότι είναι πιθανό εναλλακτικό υλικό για συσκευασία και επεξεργασία λυμάτων. Οι ίνες λούφα χρησιμοποιήθηκαν επίσης ως ενισχυτικές ίνες για άλλα υλικά. Το λάδι που εξάγεται από το LC βρίσκει αυξανόμενη χρήση στην παραγωγή βιοντίζελ, το οποίο τώρα κερδίζει ευρεία αποδοχή λόγω των χαμηλών εκπομπών CO<sub>2</sub> και άλλων παραμέτρων. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη επιστημονικών δεδομένων σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού σπόγγου luffa επειδή μέχρι τώρα η κύρια πρακτική του χρήση είναι το scrub σώματος στο μπάνιο. Λόγω της έλλειψης πειραματικών αποδείξεων, των πολύπλοκων ιεραρχικών μικροδομών τους και άλλων κοινών περιορισμών των βιολογικών υλικών, οι πιθανές εφαρμογές δεν έχουν εφαρμοστεί στην πράξη για υλικό σπόγγου λούφα καθώς και για ίνες λούφα.

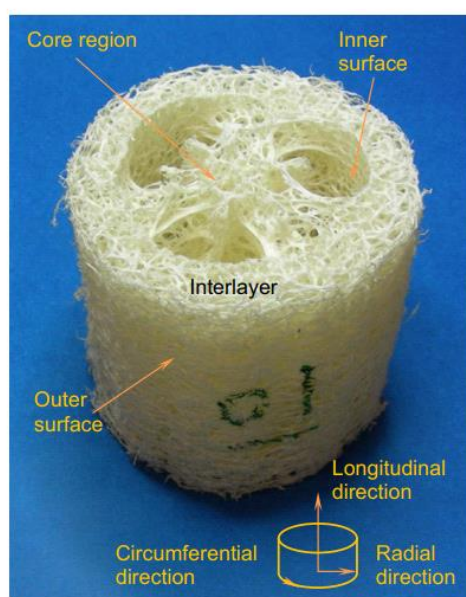
Έτσι διεξήχθη μια σειρά δοκιμών συμπίεσης για να εξεταστούν τα χαρακτηριστικά ακαμψίας, αντοχής και απορρόφησης ενέργειας του υλικού σπόγγου. Το μέτρο του Young, η αντοχή σε θλίψη, η παραμόρφωση συμπύκνωσης, η τάση plateau και η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας του υλικού σφουγγαριού Luffa αποκτήθηκαν για πρώτη φορά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει ένας περιορισμός δηλαδή, το υλικό LC που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα λευκάνθηκε και συνθλίφτηκε πλευρικά αρχικά. Η επίδραση μιας τέτοιας προεπεξεργασίας στις μηχανικές ιδιότητες του σφουγγαριού luffa βρίσκεται υπό περαιτέρω διερεύνηση.

### 3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το σφουγγάρι luffa που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα ελήφθη από φαρμακεία στην Αυστραλία το οποίο πωλήθηκε ως σφουγγάρι μπάνιου. Ο προμηθευτής παρείχε σύντομη διαδικασία επεξεργασίας για την κατασκευή αυτών των σφουγγαριών μπάνιου από φυσικά φυτά λούφα. Οι καρποί της λούφα συγκομίστηκαν αφού ήταν πλήρως ώριμοι με το δέρμα τους να γίνεται καφέ. Τα αποξηραμένα φρούτα της λούφα συνθλίβονταν ελαφρά πλευρικά για να ραγίσουν και να αφαιρεθεί η φλούδα. Στη συνέχεια κόπηκαν οι δύο άκρες των καρπών της λούφα και αφαιρέθηκαν οι σπόροι. Τα αρχικά σφουγγάρια luffa λευκάνθηκαν με χρήση υγρού λευκαντικού χλωρίου (4%) για περίπου 1 ώρα για να βελτιωθεί η εμφάνισή τους καθιστώντας τα πιο λευκά. Μετά από αυτό, μουλιάστηκαν σε καθαρό νερό για μισή

ώρα και στη συνέχεια στέγνωσαν στον ήλιο. Η χημική σύνθεση του σφουγγαριού luffa εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η φυτική προέλευση, οι καιρικές συνθήκες, το έδαφος, η προεπεξεργασία.

Η μετρηθείσα μέγιστη διάμετρος για κάθε δείγμα ξηρών σφουγγαριών luffa που δοκιμάστηκε ήταν εντός του εύρους 55–86 mm. Για το μεγαλύτερο μέρος της στήλης σφουγγαριού luffa, η περιοχή κοπής στα δύο άκρα του δείγματος είναι διαφορετική, έτσι κόπηκαν δύο λεπτές στρώσεις από φέτες σφουγγαριού luffa σε κάθε άκρο. Οι φέτες μέτρησης (πάχους περίπου 5 mm) και από τα δύο άκρα κόπηκαν με τη χρήση μηχανής κοπής πριονιού. Μετά την αρχική κοπή, τα δείγματα επεξεργάστηκαν περαιτέρω για να γίνουν οι δύο ακραίες επιφάνειες λείες και παράλληλες. Για τον υπολογισμό, το εμβαδόν διατομής λήφθηκε ως κλειστό τμήμα (αγνοώντας τυχόν εσωτερικά κενά). Επειδή η διατομή για τα περισσότερα δείγματα δεν ήταν τέλειος κύκλος, το πραγματικό εμβαδόν διατομής προσδιορίστηκε από φωτογραφίες που τραβήχτηκαν από κάθε κομμάτι μέτρησης και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας το λογισμικό εικόνας Photoshop. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος της πραγματικής επιφάνειας διατομής από τις δύο τομές μέτρησης. (εικ. 45, 46) Μια ισοδύναμη διάμετρος υπολογίστηκε από τη μέση επιφάνεια. Αυτή η ισοδύναμη διάμετρος ήταν εντός της περιοχής 42–81 mm. Συνολικά εξετάστηκαν 26 δείγματα.



**Εικόνα 45:** Ένα κυλινδρικό δείγμα luffa για δοκιμή συμπίεσης: Διαφορετικές περιοχές.

### 3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Μετά την κοπή των δειγμάτων, παρατηρήθηκαν τρεις διαφορετικές τοπολογίες πυρήνα. Η διακύμανση στη διάμετρο του δείγματος και την περιοχή διατομής φαίνεται στο (εικ.43). Η στήλη σπόγγου λούφα αποτελείται από ίνες λούφα. Αυτές οι ίνες διασυνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν δίκτυα με μικρο-δικτυώματα. Το μήκος αυτών αντιπροσωπεύει το

μήκος κυψέλης του υλικού σφουγγαριού luffa. Μια πρόχειρη μέτρηση δείχνει ότι το μέσο μήκος αυτών των microtrusses είναι στην κλίμακα του χιλιοστού (1–5 mm). Ο κύριος προσανατολισμός αυτών των ινών λούφα στη στήλη luffa sponge παρουσιάζει ένα κανονικό σχέδιο. Σύμφωνα με διαφορετικό προσανατολισμό τέσσερις περιοχές, δηλαδή, η εσωτερική επιφάνεια, η εξωτερική επιφάνεια, το ενδιάμεσο στρώμα και ο πυρήνας όπως φαίνεται στο (εικ.45). Στην εσωτερική επιφάνεια, η παχύτερη ίνα λούφα αναπτύσσεται κατά μήκος των κατευθύνσεων. Ενώ στην εξωτερική επιφάνεια, η παχύτερη ίνα λούφα αναπτύσσεται κατά τις περιφερειακές κατευθύνσεις. Στην περιοχή του πυρήνα, η ισχυρότερη ίνα λούφα είναι κατά μήκος της ακτινικής κατεύθυνσης. Στο ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας, η ίνα αναπτύσσεται και στις τρεις κατευθύνσεις όπως φαίνεται στο (εικ. 46).

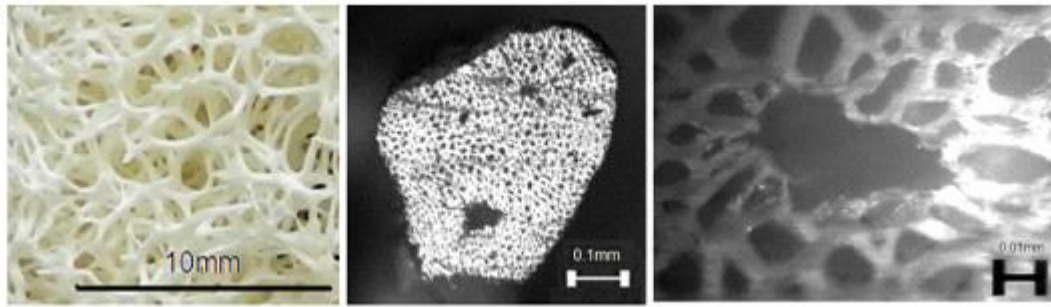


*Εικόνα 46: Προσανατολισμός ινών λούφα (αριστερά: εσωτερική επιφάνεια, μέση: εξωτερική επιφάνεια, δεξιά: διατομή).*



*Εικόνα 47: Τοπολογία πυρήνα (εμφανίζονται τρία διαφορετικά μοτίβα, συγκεκριμένα δύο σύνδεσμοι, τρεις σύνδεσμοι και τέσσερις σύνδεσμοι)*

Το σφουγγάρι Luffa είναι υλικό με ιεραρχικές αρχιτεκτονικές σε διάφορες κλίμακες μήκους. Σε κάθε ιεραρχικό επίπεδο, υπάρχει μια αντίστοιχη πυκνότητα. Παρατηρώντας τρία επίπεδα, δηλαδή τη στήλη σφουγγαριού luffa (50 mm), την ίνα luffa (1 mm) και το κυτταρικό τοίχωμα της ίνας luffa (0,01 mm) όπως φαίνεται στην (εικ. 44). Η πυκνότητα της στήλης luffa sponge είναι 25-65 kg/m<sup>3</sup>. Η πυκνότητα για τις ίνες luffa είναι 350–650 kg/m<sup>3</sup> και η πυκνότητα για το κυτταρικό τοίχωμα της ίνας luffa είναι 820–920 kg/m<sup>3</sup>.

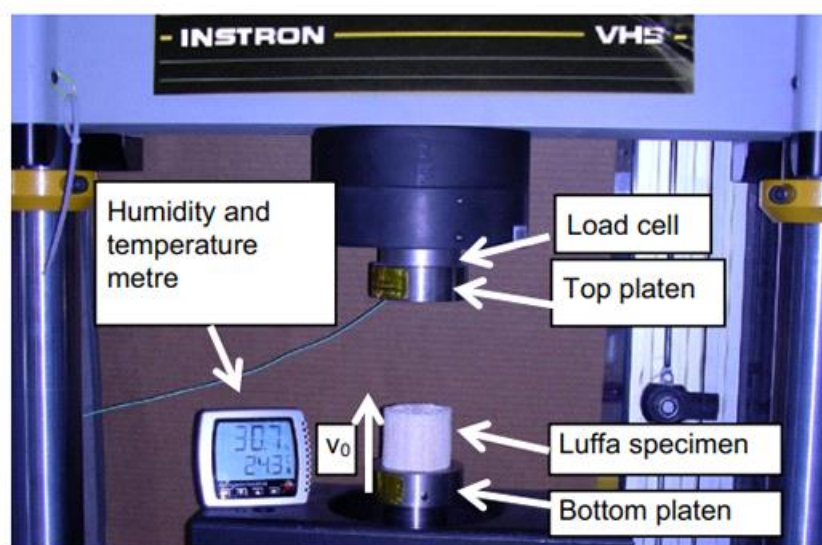


**Εικόνα 48:** Μικροδομές ινών λούφα (αριστερά: ίνα λούφα σε 1 mm, μέση: διατομή ίνας λούφα σε  $10^{-1}$  mm, δεξιά: διατομή ίνας λούφα σε  $10^{-2}$  mm)

Όπως και με άλλα κυψελωτά υλικά, οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού σπόγγου luffa σχετίζονται στενά με την πυκνότητά του και όχι με άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Έτσι τα δείγματα ομαδοποιήθηκαν μόνο σύμφωνα με την πυκνότητά τους προκειμένου να ληφθεί μια αξιόπιστη εμπειρική φόρμουλα που να αντιπροσωπεύει τη μηχανική τους απόδοση. Η επίδραση του μεγέθους του δείγματος και της τοπολογίας του πυρήνα στις μηχανικές του ιδιότητες αγνοήθηκε στην τρέχουσα μελέτη.

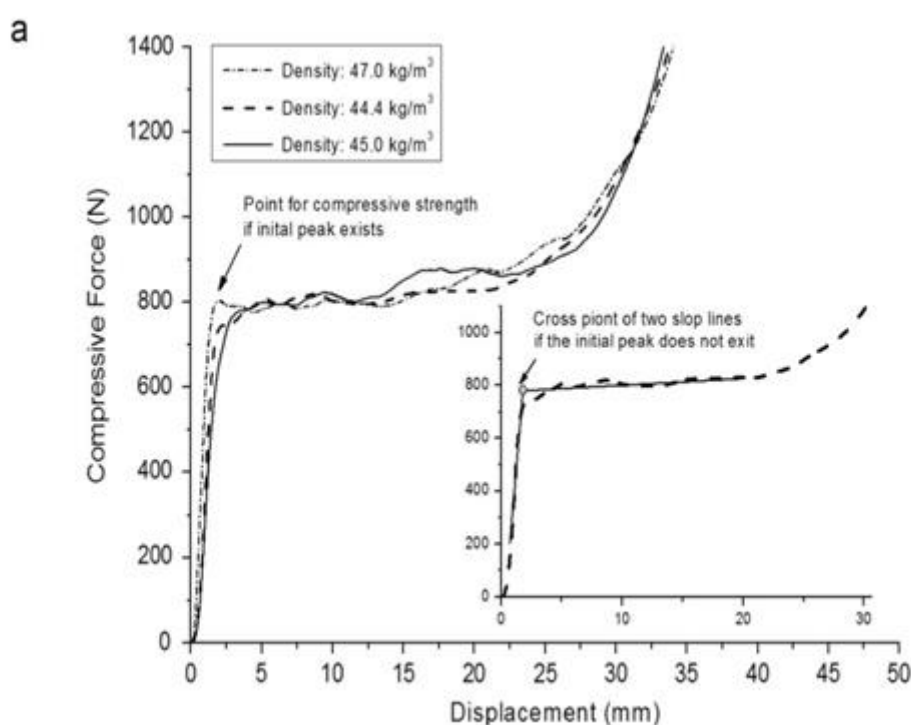
### 3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

Διεξήχθησαν μονοαξονικές δοκιμές συμπίεσης σε πολύ χαμηλές ταχύτητες παραμόρφωσης, συγκεκριμένα,  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$ , για να ληφθούν οι μηχανικές ιδιότητες (εικ. 49). Οι καμπύλες μετατόπισης και φορτίου καταγράφηκαν και η μέση θλιπτική δύναμη, η παραμόρφωση συμπίκνωσης και η απορρόφηση ενέργειας μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας μια μέθοδο ενεργειακής απόδοσης. Ένας μετρητής θερμοκρασίας και υγρασίας χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας γύρω από τα δοκίμια κατά τη διάρκεια των δοκιμών.



**Εικόνα 49:** Πειραματική διάταξη στατικής δοκιμής στήλης σφουγγαριού luffa.

Οι μηχανικές ιδιότητες του σφουγγαριού *luffa* επηρεάζονται επίσης από την υγρασία. Έτσι η υγρασία κατά τη διάρκεια της δοκιμής παρακολουθήθηκε. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο δωμάτιο δοκιμής για τουλάχιστον 2 ώρες πριν από τη δοκιμή συμπίεσης για να εξαιρεθεί η διαφορά θερμοκρασίας και υγρασίας. Η θερμοκρασία στο δωμάτιο δοκιμής ήταν από 20°C έως 28°C, αλλά κατά τη διάρκεια κάθε δοκιμής η διακύμανσή της ήταν μικρότερη από 1°C. Η υγρασία ήταν μεταξύ 30 % και 44%, αλλά κατά τη διάρκεια κάθε δοκιμής η διακύμανσή του ήταν μικρότερη από 1.0%. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της δοκιμής ημιστατικής συμπίεσης κάθε 30 δευτερόλεπτα που αντιστοιχούσε σε διάστημα μετατόπισης 1.5 mm για τη χρησιμοποιούμενη ταχύτητα δοκιμής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για το δεύτερο δείγμα, χρησιμοποιήθηκε ισχυρό φως για να φωτίσει το δείγμα για να ληφθούν καλύτερες φωτογραφίες. Η συνέπεια αυτής της ενέργειας ήταν ότι η θερμοκρασία αυξήθηκε από 21.5°C σε 28.5°C και η υγρασία έπεσε από 39% σε 33% κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής. Δεν βρέθηκε προφανής μεταβολή της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης για αυτήν τη δοκιμή όπως φαίνεται στο (εικ. 50).



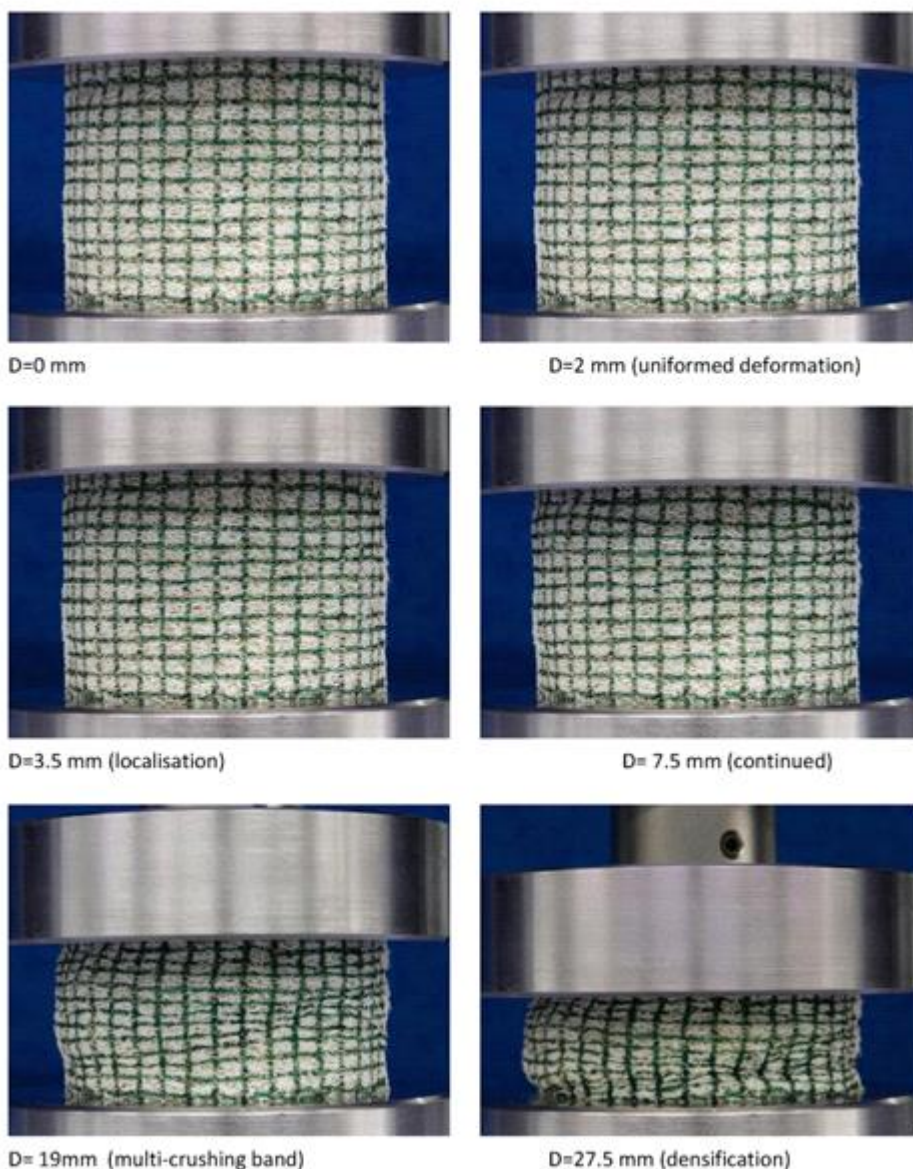
**Εικόνα 50:** Χαρακτηριστικά παραμόρφωσης στηλών σφουγγαριού *luffa* που συνθλίβονται αξονικά: καμπύλες δύναμης-μετατόπισης δειγμάτων παρόμοιας πυκνότητας.

### 3.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Τυπικές καμπύλες δύναμης-μετατόπισης δίνονται στο Εικ.50 με παρόμοια πυκνότητα. Δείχνει ξεκάθαρα μια αρκετά σταθερή θλιπτική δύναμη σε μια μεγάλη διαδρομή, η οποία αντιπροσωπεύει ένα ιδανικό χαρακτηριστικό απορρόφησης ενέργειας. Γενικά, η

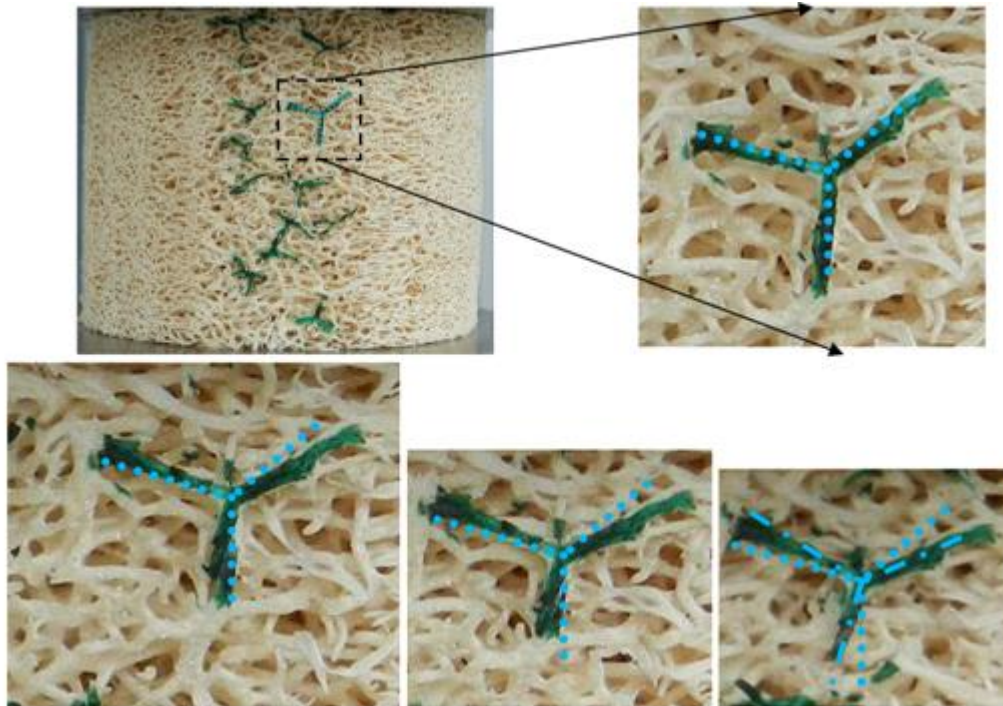
παραμόρφωση μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις περιοχές, συγκεκριμένα, μια ταχέως αυξανόμενη ελαστική περιοχή, μια σχετικά ομαλή περιοχή κατάρρευσης (plateau) και μια περιοχή συμπίκνωσης με απότομη αύξηση της δύναμης έναντι της μετατόπισης που φαίνεται στην (εικ. 50). Η διαδικασία παραμόρφωσης φαίνεται στην (εικ. 51). Αυτές οι φωτογραφίες επιβεβαιώνουν ότι η συνολική τάση συμπίεσης του δείγματος είναι αξονική κατά τη διαμήκη κατεύθυνση (φόρτωσης) αντί για αναδίπλωση του τοιχώματος του δείγματος. Η παραμόρφωση είναι ομοιόμορφη στην ελαστική περιοχή.



**Εικόνα 51:** Τυπική διαδικασία παραμόρφωσης υλικού σφουγγαριού *luffa* (Πυκνότητα:  $52,3 \text{ kg/m}^3$ , Μήκος:  $51,3 \text{ mm}$ ). Η παραμόρφωση ήταν ομοιόμορφη έως ότου η παραμόρφωση φτάσει τα  $3,5 \text{ mm}$ , στη συνέχεια εμφανίστηκε εντοπισμένη ζώνη σύνθλιψης στο μεσαίο τμήμα του δείγματος

Σε μικρότερη κλίμακα, οι ίνες λούφα εμφάνισαν αξονική συμπίεση και τάση καθώς και παραμορφώσεις και περιστροφές σε επίπεδο μικροσκοπίου που ήταν παρόμοιες με τους μεταλλικούς αφρούς ανοιχτής κυψέλης όπως φαίνεται στην (εικ. 52).





**Εικόνα 52:** Χαρακτηριστικά παραμόρφωσης στηλών σφουγγαριού *luffa* που συνθλίβονται αξονικά: (α) καμπύλες δύναμης-μετατόπισης δειγμάτων παρόμοιας πυκνότητας. β) Περιστροφή και κάμψη ινών λούφα σε επίπεδο μικροδοκών. (Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν τον αρχικό προσανατολισμό της ίνας και οι γραμμές με κουκκίδες στη δεξιά φωτογραφία αντιπροσωπεύουν περιστρεφόμενες αρχικές ίνες. Μπορεί να φανεί ότι η ίνα έχει επίσης παραμόρφωση κάμψης.

### 3.4.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Η αντοχή σε θλίψη του υλικού σπόγγου *luffa* θεωρείται ως η αρχική μέγιστη τάση αν υπάρχει. Εάν δεν υπάρχει τέτοια τάση κορυφής, η τάση στη διασταύρωση θεωρείται ως η θλιπτική αντοχή. Οι δύο κλίσεις είναι η κλίση για την αρχική φόρτιση και αυτή για το οροπέδιο τάσεων. Έχει βρεθεί από άλλους ερευνητές (Ashby et al. 2000) ότι η αντοχή σε θλίψη των κυτταρικών υλικών υπακούει σε έναν νόμο ισχύος με σχετική πυκνότητα:

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_{yf}} = A \left( \frac{\rho_0}{\rho_f} \right)^B \quad (1)$$

όπου  $\sigma_{yf}$  είναι η τάση διαρροής του υλικού βάσης,  $\rho_f$  είναι η πυκνότητα του υλικού βάσης,  $\sigma_0$  και  $\rho_0$  είναι η αντοχή σε θλίψη και η πυκνότητα του σπόγγου λούφα, τα A και B είναι δύο σταθερές που καθορίζονται από την τοπολογία και τα πρότυπα αστοχίας του κυτταρικού υλικού. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού σε ίνες λούφα έδειξαν ότι η πυκνότητα και η αντοχή σε εφελκυσμό των ινών λούφα διέφεραν πολύ με διαφορετικούς προσανατολισμούς στο ίδιο σφουγγάρι λούφα και με διαφορετικά δείγματα για τον ίδιο προσανατολισμό. Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μεγάλη ποσότητα δοκιμών για να

ληφθούν ακριβείς μέσες τιμές για τις μηχανικές ιδιότητες των ινών λούφα. Έτσι οι εμπειρικοί τύποι δίνονται στην ακόλουθη μορφή :

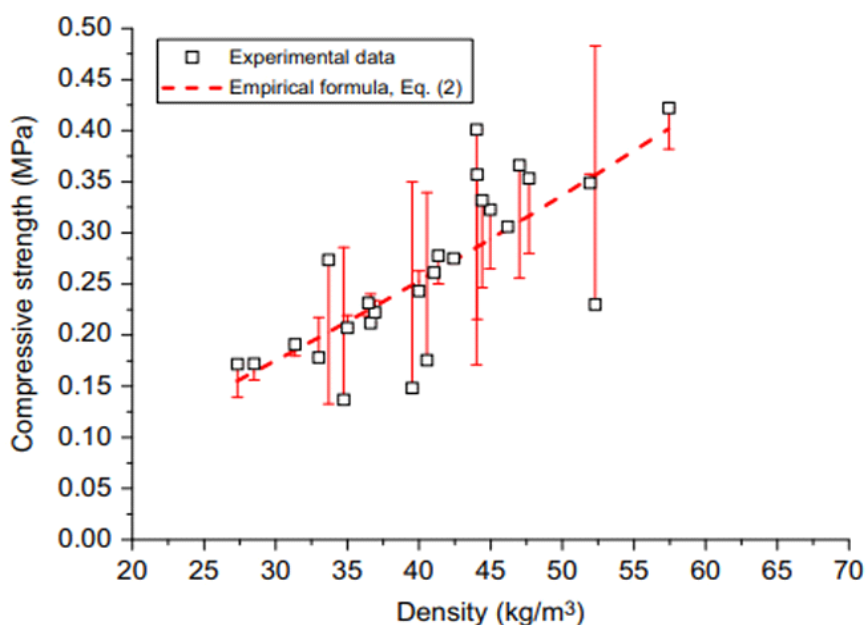
$$\sigma_0 = A\rho_0^B \quad (2)$$

Οι άγνωστες ιδιότητες του βασικού υλικού περιλαμβάνονται στους συντελεστές A και B. Με την προσαρμογή στην Εξ. (2) χρησιμοποιώντας τα στατικά δεδομένα στο πείραμα, οι παράμετροι A και B είναι  $2,25 \times 10^3$  και 1,28 αντίστοιχα, εάν η μονάδα τάσης είναι Pa και η πυκνότητα είναι kg/m<sup>3</sup>. Οι παράμετροι προσαρμογής παρατίθενται στον Πίνακα 1. Για υλικό με μοτίβο παραμόρφωσης δικτυώματος αναμένεται ένας εκθέτης 1 για την διαρροή και 2 για τον ελαστικό λυγισμό. Για αφρούς ανοικτών κυψελών με κυρίαρχο μοτίβο παραμόρφωσης κάμψης, ο εκθέτης έχει τιμές 1,5-2. Τα πειραματικά αποτελέσματα και η εμπειρική πρόβλεψη φαίνονται στην εικόνα 53.

Table 1 - Fitting parameters for empirical formulae of strength, densification strain and plateau stress.				
Mechanical parameter	A(C) error	B(D) error	Correlation coefficient	Standard derivation
Strength	0.38	0.24	0.74	0.095
Plateau stress	0.18	0.11	0.89287	0.0587
Densification strain	0.02172	$5.38 \times 10^{-4}$	-0.48172	0.02467

Linear fit ( $y=A+Bx$ ) was used for all experimental data. Data for strength and plateau stress were converted to logarithmic scales before fitting. "A error" is the standard error for A.

Πίνακας 1



**Εικόνα 53:** Αντοχή σε θλίψη του υλικού σφουγγαριού *luffa*. Τα τετράγωνα σύμβολα αντιπροσωπεύουν τα πειραματικά δεδομένα, οι γραμμές σφαλμάτων δείχνουν την εξαγωγή των πειραματικών δεδομένων από τις εμπειρικές τους τιμές.

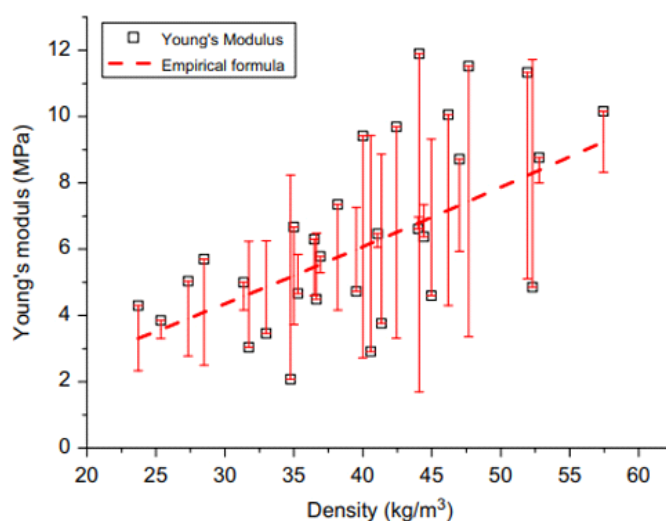
Εάν η κάμψη είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός παραμόρφωσης για τις ίνες luffa, περισσότερα πειραματικά δεδομένα θα αυξήσουν την τιμή αυτού του εκθέτη. Από την άλλη πλευρά, εάν η αξονική παραμόρφωση και συμπίεση της ίνας λούφα είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός παραμόρφωσης, περισσότερα πειραματικά δεδομένα θα μειώσουν την τιμή αυτού του εκθέτη.

### 3.4.3 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Παρόμοια με τους μεταλλικούς αφρούς (Ashby et al.2000), η κλίση του αρχικού τμήματος φόρτωσης της καμπύλης είναι μικρότερη από εκείνη της καμπύλης αποφόρτισης. Υποδεικνύει ότι υπάρχει τοπική πλαστική παραμόρφωση στο δείγμα σε επίπεδα τάσης πολύ χαμηλότερα από αυτά της αντοχής σε θλίψη του υλικού σπόγγου luffa που μειώνει την κλίση της καμπύλης φόρτωσης. Ωστόσο, οι καμπύλες επαναφόρτισης μετά την αποφόρτιση είναι περίπου κοντά στις καμπύλες αρχικής φόρτισης. Ως αποτέλεσμα, η μέτρηση του συντελεστή του Young έγινε από την κλίση της αρχικής καμπύλης φόρτισης στην τρέχουσα μελέτη. Έτσι, η κλίση μεταξύ 25% και 75% της αντοχής σε θλίψη λαμβάνεται ως μέτρο ελαστικότητας του υλικού LC. Ακολουθώντας το ίδιο επιχείρημα για τη θλιπτική αντοχή, για το μέτρο του Young, με εμπειρικό τύπο:

$$E = 1.48 \times 10^6 \rho_0^{1.16} \quad (3)$$

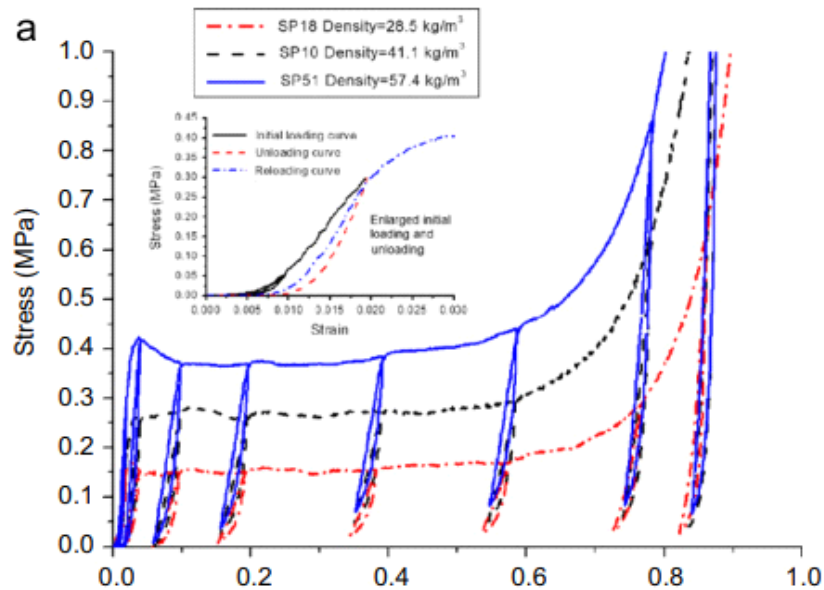
όπου E είναι ο συντελεστής του Young στο σφουγγάρι luffa. Η μονάδα τάσης είναι Pa, και αυτή της πυκνότητας είναι  $\text{kg m}^{-3}$ . Τα πειραματικά αποτελέσματα και οι εμπειρικές προβλέψεις φαίνονται στην εικόνα 51. Παρόμοια με τη θλιπτική αντοχή, ο εκθέτης, 1,16, συγκρίνεται ευνοϊκά με εκείνους των. (Gibson, L.J., Ashby, M.F., Harley, B.A., 2010) 1.5. Ωστόσο, για μεταλλικό αφρό με βάση στερεό υλικό, αυτός ο εκθέτης είναι εντός του εύρους 1–2 που βρέθηκε σε άλλες πειραματικές εργασίες (. Gibson, L.J., Ashby, M.F., Harley, B.A., 2010). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τυπική παραγωγή του υλικού σφουγγαριού luffa είναι αρκετά μεγάλη. Αυτό μπορεί επίσης να συμβάλει στον χαμηλό εκθέτη.



**Εικόνα 54:** Ο συντελεστής Young από υλικό σφουγγαριού Luffa. Τα τετράγωνα σύμβολα αντιπροσωπεύουν τα πειραματικά δεδομένα, οι γραμμές σφαλμάτων δείχνουν την εξαγωγή των πειραματικών δεδομένων από τις εμπειρικές τους τιμές.

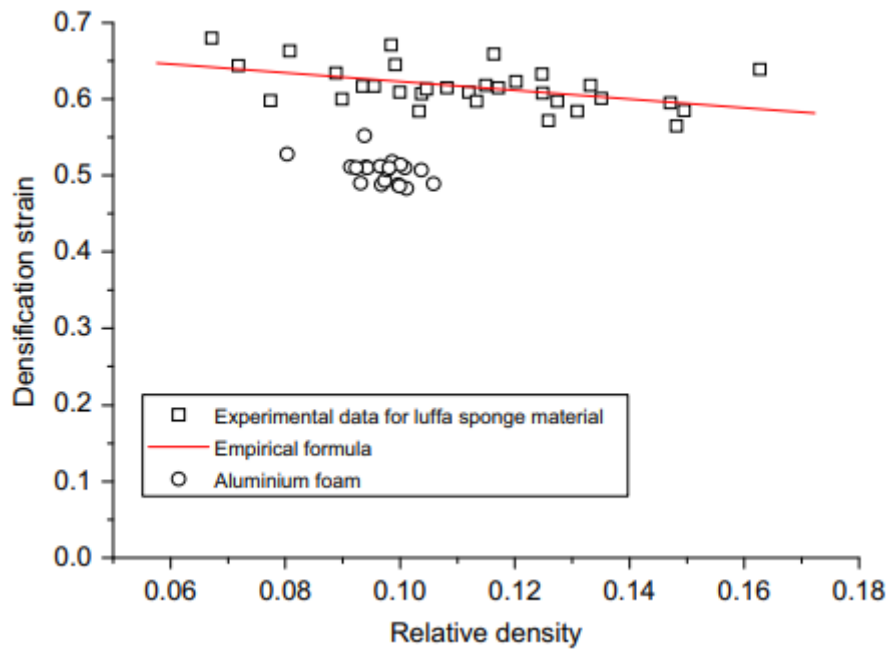
#### 3.4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΦΟΥΓΓΑΡΙΟΥ

Το σφουγγάρι luffa έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όσον αφορά την απορρόφηση και απελευθέρωση ενέργειας, καθιστώντας το κατάλληλο για ορισμένες εφαρμογές όπου απαιτείται μη αναστρέψιμη απορρόφηση ενέργειας. Στην εικόνα 55 φαίνονται οι καμπύλες αποφόρτισης και επαναφόρτισης σε διαφορετικά επίπεδα συμπίεσης. Η κλίση των καμπυλών αποφόρτισης υποδηλώνει ότι το υλικό σφουγγαριού Luffa έχει σχετικά μικρή αποθηκευμένη ελαστική ενέργεια. Λόγω της μικρής απώλειας ενέργειας στον βρόχο υστέρησης, το σφουγγάρι luffa είναι κατάλληλο για καταστάσεις όπου απαιτείται μη αναστρέψιμη απορρόφηση ενέργειας. Η καμπύλη αποφόρτισης δεν είναι γραμμική και είναι πιο απότομη στην αρχή, ενώ η καμπύλη επαναφόρτισης είναι σχεδόν γραμμική. Αυτό το φαινόμενο υποδεικνύει την υστέρηση του υλικού του σπόγγου luffa με ρυθμό παραμόρφωσης  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$ . Η υστέρηση (διαφορά μεταξύ φόρτισης και αποφόρτισης) είναι πιο αισθητή σε μεγαλύτερες θλιπτικές παραμορφώσεις. Οι καμπύλες αποφόρτισης και επαναφόρτισης τέμνονται στο ακριβές σημείο αποφόρτισης.

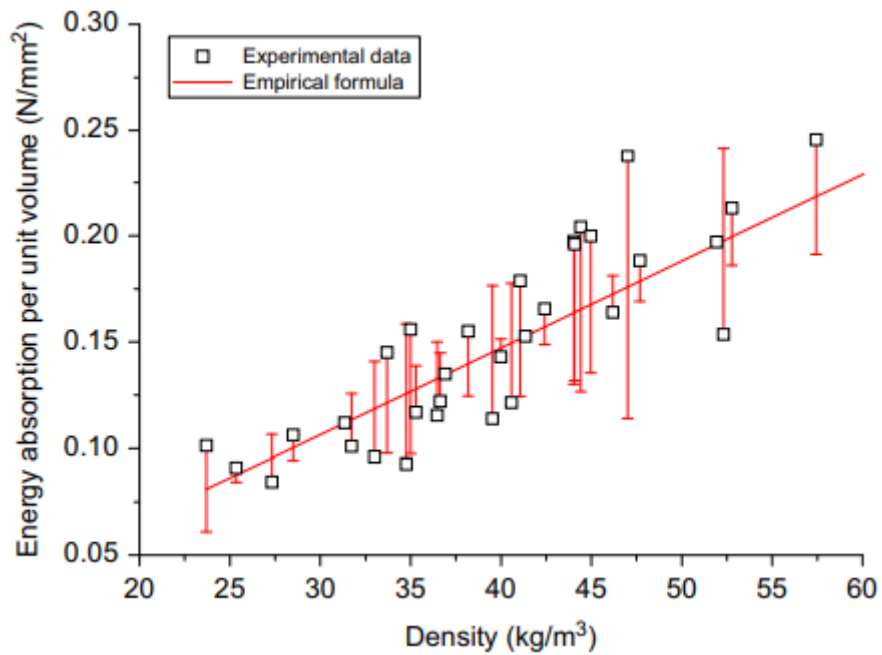


**Εικόνα 55:** Χαρακτηριστικά αποφόρτισης και επαναφόρτισης του σπογγώδους υλικού luffa

Η σχέση μεταξύ της τάσης συμπίκνωσης και της σχετικής πυκνότητας παρουσιάζεται στην Εικ. 56, ενώ η σχέση μεταξύ της απορρόφησης ενέργειας και της πυκνότητας φαίνεται στην Εικ. 57.



Εικόνα 56: Παραμόρφωση συμπίκνωσης για δείγματα σπόγγων luffa

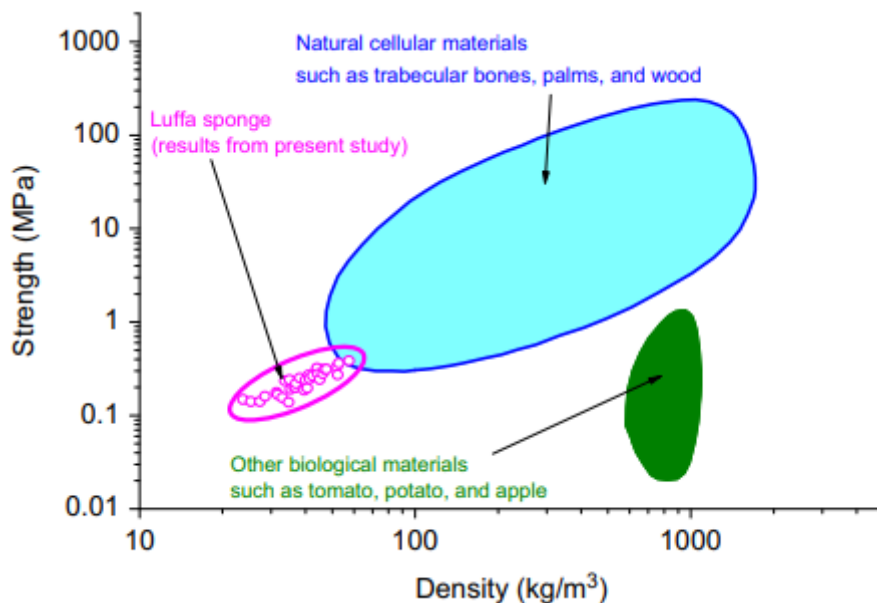


Εικόνα 57: Απορρόφηση ενέργειας ανά μονάδα αρχικού όγκου σε σχέση με τη πυκνότητα.

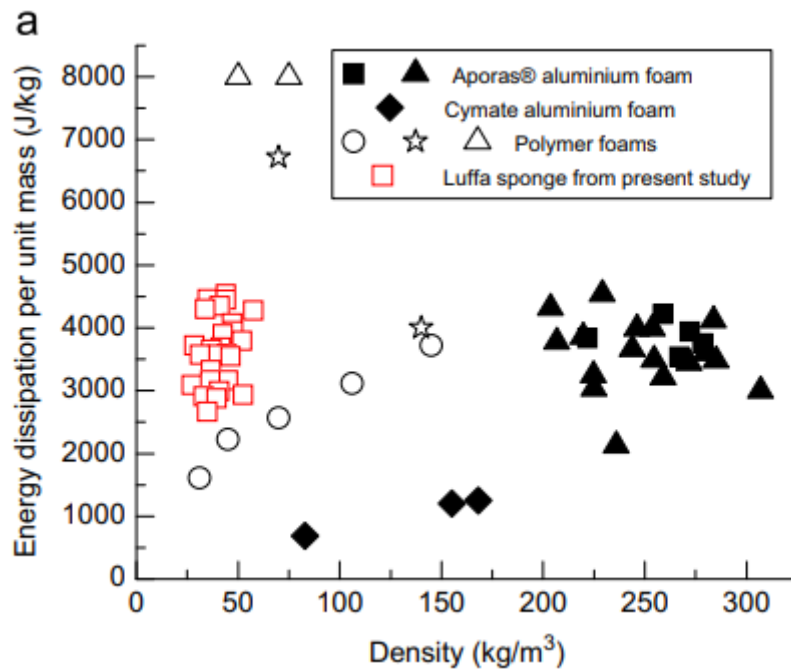
### 3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΆΛΛΑ ΥΛΙΚΑ

Δίνοντας έμφαση στις περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με πολλά τεχνητά υλικά και λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα των πειραμάτων σε σχέση με την αντοχή, ανοίγεται ο δρόμος για την εξέταση του σφουγγαριού *Iuffa* ως βιώσιμης εναλλακτικής λύσης, συγκρίνοντάς το με άλλα υλικά, δείχνοντας την αξία του σφουγγαριού εκτός από τα βιώσιμα χαρακτηριστικά του.

Ως κυψελωτό υλικό, το σφουγγάρι *Iuffa* είναι εξαιρετικά ελαφρύ όπως φαίνεται στην εικόνα 58. Σε λιγότερο από  $50 \text{ kg/m}^3$ , η πυκνότητά του είναι περίπου το ένα πέμπτο αυτής ενός τυπικού αφρού αλουμινίου (*Alporass*). Για παρόμοια πυκνότητα ( $25\text{--}65 \text{ kg/m}^3$ ), υπάρχουν επί του παρόντος πολύ λίγα υλικά όπως ο αφρός αλουμινίου *Cymat* ( $\geq 70 \text{ kg/m}^3$ ), Ni-P microlattices ( $\geq 0,9 \text{ kg/m}^3$ ), αερογέλη πυριτίου ( $\geq 1,0 \text{ kg/m}^3$ ), αερογέλη νανοσωλήνων άνθρακα ( $\geq 4,0 \text{ kg/m}^3$ ) και πολυμερικοί αφροί ( $\geq 8,0 \text{ kg/m}^3$ ). Ωστόσο, τα αποτελέσματα της έρευνάς μας δείχνουν ότι, όταν το σφουγγάρι *Iuffa* συμπιέζεται κατά μήκος, η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ανά μονάδα μάζας είναι συγκρίσιμη με αυτή του αφρού αλουμινίου (και των περισσότερων πολυμερικών αφρών, όπως φαίνεται στην εικόνα 59α). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο αφρός αλουμινίου *Alporass* έχει ανώτερη ειδική απορρόφηση ενέργειας από άλλους μεταλλικούς αφρούς όταν η πυκνότητά τους είναι μικρότερη από  $300 \text{ kg/m}^3$  (Ashby et al., 2000). Η καλή ειδική απορρόφηση ενέργειας του σφουγγαριού *Iuffa* αποδίδεται εν μέρει στο ελαφρύ υλικό βάσης του καθώς και σε υψηλότερη παραμόρφωση συμπίκνωσης. Λόγω της υψηλής αναλογίας αντοχής προς βάρος κυψελωτών υλικών, το σφουγγάρι *Iuffa* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καλό υλικό συσκευασίας και εξαιρετικό υλικό απαγωγής ενέργειας.



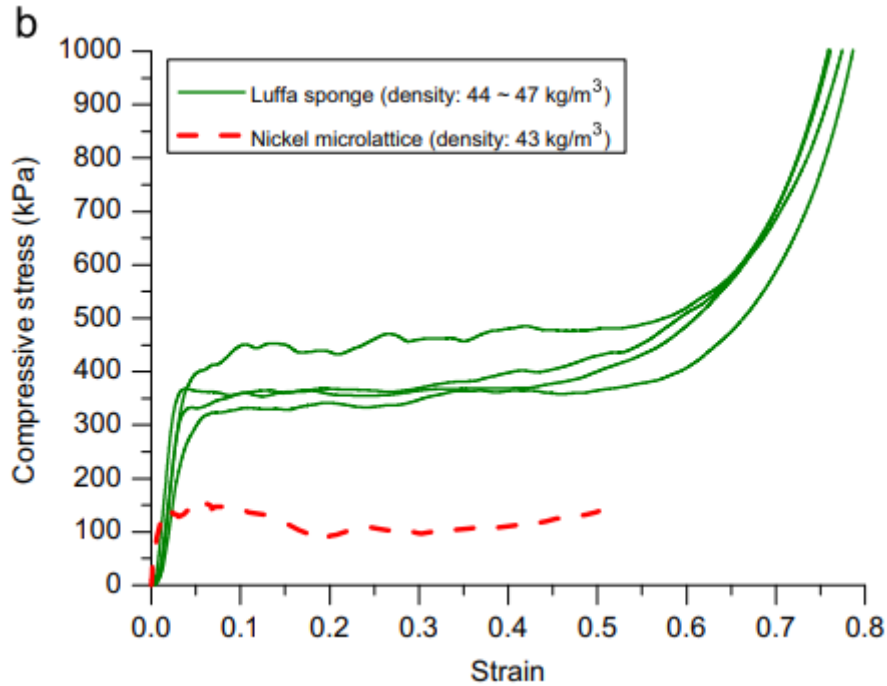
Εικόνα 58: Σύγκριση μεταξύ σφουγγαριού *Iuffa* και άλλων φυσικά υλικά (Gibson et al., 2010)



**Εικόνα 59:** Σύγκριση ικανότητας απορρόφησης ενέργειας ανά μονάδα μάζας μεταξύ σφουγγαριού luffa και: (α) άλλων τεχνητών αφρού

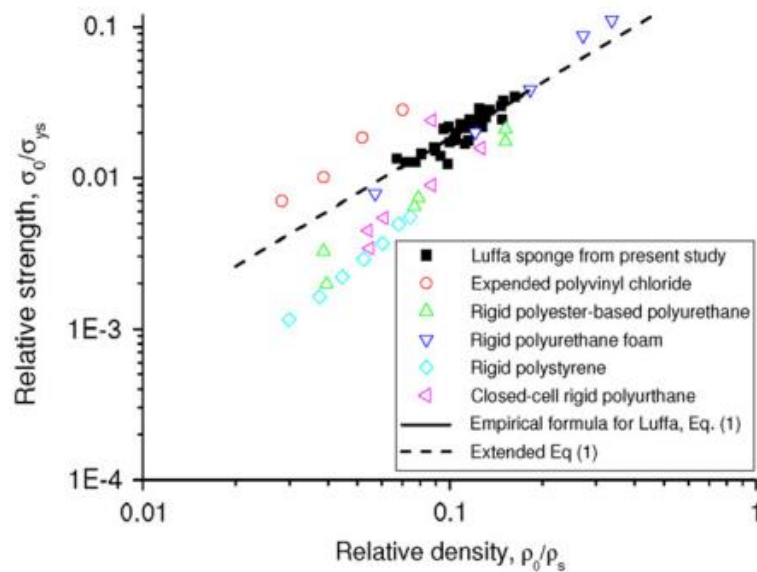
Η μέση τάση plateau του αφρού αλουμινίου είναι 4-5 φορές υψηλότερη από το υλικό σφουγγαριού luffa. Για να φανεί η αποτελεσματικότητα των μικροδομών του υλικού σφουγγαριού luffa, έγινε σύγκριση της απόδοσης του σφουγγαριού luffa με άλλα κυτταρικά υλικά με παρόμοια πυκνότητα. Ο αφρός Cymat έχει αντοχή 40 kPa σε πυκνότητα  $70 \text{ kg m}^{-3}$  (Ashby et al., 2000). Τα αερογέλη παρουσιάζουν συνεχή αύξηση της τάσης έναντι της καταπόνησης υπό συμπίεση, η οποία δεν είναι συγκρίσιμη με το υλικό σφουγγαριού luffa. Ο αφρός εξαντλημένου πολυστυρενίου έχει αντοχή 200 kPa σε πυκνότητα  $45 \text{ kg m}^{-3}$  (Avalle et al., 2001). Το πολυαμίδιο ενισχυμένο με τροποποιημένο αφρό πολυφαινυλενίου και πολυστυρενίου έχει αντοχή 800 kPa σε πυκνότητας  $45 \text{ kg m}^{-3}$ .

Ως σημαντικό παράδειγμα, η σύγκριση με ένα μεταλλικό μικροπλέγμα παρόμοιας πυκνότητας δείχνει ότι η μέση τάση plateau του σπόγγου luffa (περίπου 350 kPa) είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή του μικροπλέγματος Ni-P (περίπου 120 kPa), όπως φαίνεται στην εικόνα 60. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αντοχή μειώνεται με την πυκνότητα για κάθε είδους κυτταρικά υλικά. Αυτές οι συγκρίσεις υποδεικνύουν ότι το υλικό luffa έχει καλύτερη αντοχή σε θλίψη, σε σχέση με τον αφρό αλουμινίου Cymat, τους αφρούς πολυστυρενίου και τα μικροπλέγματα Ni-P.



**Εικόνα 60:** Σύγκριση ικανότητας απορρόφησης ενέργειας ανά μονάδα μάζας μεταξύ σφουγγαριού luffa και Μικροπλέγμα Ni-P

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το υλικό σπόγγου luffa είναι ακυτταρικό υλικό με δομική ιεραρχία.. Παρόμοια με άλλα φυσικά κυτταρικά υλικά με παρόμοια συστατικά, τα κυτταρικά τοιχώματα αυτών των μικρο-σηράγγων μπορεί να είναι ινώδη και να αποτελούνται από προσανατολισμένα νανοϊνίδια κυτταρίνης σε μια μήτρα ημικυτταρίνης και λιγνίνης. Με μια χονδρική εκτίμηση, η πυκνότητα είναι περίπου  $353 \text{ kg/m}^3$  με συντελεστή Young  $1332 \text{ MPa}$  ( $\pm 35\%$ ) και αντοχή εφελκυσμού  $11,1 \text{ MPa}$  ( $\pm 85\%$ ). Η ληφθείσα σχετική τάση σε σχέση με τη σχετική πυκνότητα συγκρίθηκε με άλλα πολυμερή (εικ. 61).



**Εικόνα 61:** Σύγκριση σχετικής τάσης plateau μεταξύ luffa σφουγγάρι και άλλα πολυμερή υλικά (Gibson και Ashby, 1982).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα μελέτη επιδιώκει να διερευνήσει τις πιθανές εφαρμογές των ινών λούφας σε διάφορους τομείς, βασιζόμενη σε πειραματικά αποτελέσματα και τις ιδιότητες αυτού του υλικού. Κύριος στόχος είναι η ανάλυση της δυνατότητας βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών μέσω της προσθήκης ινών λούφας και η αξιολόγηση της επίδρασής τους σε πειραματικές δοκιμές, όπως εφελκυσμό, κάμψη και κρούση.

Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η ποσότητα των ινών λούφας σε σύνθετα υλικά συνδέεται θετικά με τις μηχανικές ιδιότητές τους. Κατά τη διάρκεια των μηχανικών δοκιμών, όπως εφελκυσμός, κάμψη και κρούση, παρατηρήθηκε αύξηση της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας καθώς η περιεκτικότητα σε ίνες λούφας αυξανόταν. Επίσης, η αντοχή και η καμπτική ακαμψία ενισχύθηκαν με την αύξηση της ποσότητας των ινών, υπογραμμίζοντας τη θετική επίδραση των ινών λούφας στην αντοχή του υλικού στις δυνάμεις κάμψης. Ειδικότερα, η σύνθεση του εποξειδικού με υβριδικό σύνθετο υλικό ενισχυμένο με ίνες λούφας έδειξε σημαντικές βελτιώσεις, ιδιαίτερα στην αντοχή στην κάμψη και στην καμπτική ακαμψία. Αυτό υποδεικνύει ότι ακόμη και μικρές ποσότητες ινών λούφας μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά τη συνολική απόδοση του συνθετικού υλικού. Ωστόσο, παρά την ελπιδοφόρα προοπτική, υπογραμμίζεται η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, ιδίως όσον αφορά τη θερμική σταθερότητα των υλικών. Η κατανόηση των θερμικών ιδιοτήτων είναι κρίσιμη προτού μπορέσει να εξεταστεί η παραγωγή αυτών των υλικών σε μεγάλη κλίμακα. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης σε αυτόν τον τομέα, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση και η ευρεία χρήση αυτών των υλικών σε διάφορους τομείς εφαρμογών.

Επιπλέον, η δυνατότητα απορρόφησης ήχου των ινών λούφας, ακόμη και χωρίς μήτρα, την καθιστά ιδανική για χρήση σε ακουστικά πάνελ και στούντιο ηχογράφησης, όπου η ακουστική απόδοση είναι κρίσιμη. Επιπλέον, η ικανότητά της να προσφέρει φυσική φιλτράρισμα νερού την καθιστά κατάλληλη για χρήση σε φίλτρα νερού και αντιρρυπαντικά υλικά, επιτρέποντας τη διέλευση του νερού ενώ ταυτόχρονα απορροφά τα ρύπανση.

Η ποικιλία αυτών των εφαρμογών αναδεικνύει τη λούφα ως ένα πολύπλευρο υλικό με δυνατότητα προσαρμογής σε διάφορες ανάγκες και περιβάλλοντα.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Culture-plantes-alimentaires/FICHES\\_PLANTES/luffa/Luffa\\_Wikipedia\\_English.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Culture-plantes-alimentaires/FICHES_PLANTES/luffa/Luffa_Wikipedia_English.pdf)
2. [https://www.dalrrd.gov.za/phocadownloadpap/Brochures\\_and\\_Production\\_Guidelines/Luffa%20gourd%20production%20guideline.pdf](https://www.dalrrd.gov.za/phocadownloadpap/Brochures_and_Production_Guidelines/Luffa%20gourd%20production%20guideline.pdf)
3. I. O. Oboh, Emmanuel Aluyo (August 2009) *Luffa cylindrica - an emerging cash crop*. African Journal of Agricultural Research Vol. 4 (8), pp. 684-688.  
<https://doi.org/10.5897/ajar.9000476>
4. W. M. Porterfield, (Jul. - Sep., 1955), Jr., *Loofah: The Sponge Gourd*. Vol. 9, No. 3 , pp. 211-223. <https://doi.org/10.1007/BF02859814>
5. Y. Laidani, S. Hanini, G. Mortha, G. Heninia (December 2012), *Study of a Fibrous Annual Plant, Luffa Cylindrica for Paper Application Part I: Characterization of the Vegetal*. Agricultural and Food Sciences, Materials Science Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering-international English Edition. <https://doi.org/10.30492/IJCCCE.2012.5935>
6. *Origin, area, production, varieties, package of practices for RIDGE GOURD*. Tamil Nadu Agricultural University. <http://eagri.org/eagri50/HORT281/lec08.html>
7. Charles B. Heiser, Jr., and Edward E. Schilling (1990), *The Genus Luffa: A Problem in Phytogeography*. Cornell University Press. <https://doi.org/10.7591/9781501745447-012>
8. Yuxia Chen, Na Su, Kaiting Zhang, Shiliu Zhu, Lei Zhao, Fei Fang, Linyan Ren and Yong Guo (29 April 2017), *In-Depth Analysis of the Structure and Properties of Two Varieties of Natural Luffa Sponge Fibers*. College of Forest and Garden, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China. <https://doi.org/10.3390/ma10050479>
9. Yucong Xie, Guodong Liu, Yuncong Li, and Kati Migliaccio (September 2016), *LUFFA—AN ASIAN VEGETABLE EMERGING IN FLORIDA*. Horticultural Sciences Department, UF/IFAS Extension. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1285>
10. *How to grow a loofah*. <https://www.nhm.ac.uk/>
11. Lynn Kirk (November 2016). *LUFFA: PLANT THEN EXFOLIATE*, <https://richmond.com>
12. Hannah Kincaid (March 2011), *How to make a luffa sponge*, Organic Gardening Articles. <https://www.motherearthnews.com>
13. Karen Bertelsen (March 2022), *Growing Your Own Loofah Sponge - Step-by-step*, Vegetable Gardening. <https://www.theartofdoingstuff.com/>
14. Jean Nick (October 2014), *How to grow your own Loofah sponge*. <https://www.goodhousekeeping.com>

15. Qiang Chen, Quan Shi, Stanislav N. Gorb ,Zhiyong Li (February 2014), *A multiscale study on the structural and mechanical properties of the luffa sponge from Luffa cylindrica plant*. Journal of Biomechanics 47 (2014) 1332–1339. doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.02.010
16. Hasan Koruk, Garip Genc (2015), *Investigation of the acoustic properties of bio luffa fiber and composite materials*. Materials Letters Volume 157, 15 October 2015, Pages 166-168. doi.org/10.1016/j.matlet.2015.05.071
17. Hasan Koruk, Garip Genc (2019), *Acoustic and mechanical properties of luffa fiber-reinforced biocomposites*. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering 2019, Pages 325-341. doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00017-5
18. Tao Yang, Lizhu Hu, Xiaoman Xiong, Michal Petrů, Muhammad Tayyab Noman, Rajesh Mishra and Jiří Militký (2020), *Sound Absorption Properties of Natural Fibers: A Review*. Special Issue Sustainable Acoustic Materials. doi.org/10.3390/su12208477
19. T. Karthik & P. Ganesan (2016), *Characterization and analysis of ridge gourd (Luffa acutangula) fibres and its potential application in sound insulation*. The Journal of The Textile Institute, 10.1080/00405000.2015.1114792
20. Muhammad Norazmin Shamsudin, Noor Aliza Ahmad (2022), *The Effectiveness of Natural Luffa Sponge as a Rainwater Filter*, Shamsudin et al. . Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment Vol. 3 No. 1 (2022) p. 1068-1078. doi.org/10.30880/rtcebe.2022.03.01.122
21. Serena Yeh, *The Design and Modification of an Innovative Loofah Sponge Device for the Removal of Aquatic Microplastics*. <https://www.vanderbilt.edu/>
22. N. A. Selamat, N. H. Mardi, Nuratiah Zaini (2018), *Preliminary study on the application of loofah fiber and coconut fiber in water filtration*. AIP Conference Proceedings 2030, 020262.10.1063/1.5066903
23. Musibau Adewuyi AZEEZ, Olugbenga Solomon BELLO\*, Adewumi Omobola ADEDEJI (2013), *Traditional and medicinal uses of Luffa cylindrica : a Review*. Journal of Medicinal Plants Studies. [www.plantsjournal.com](http://www.plantsjournal.com)
24. S. Chethan, S. Suresha (2021), *Effect of SiC particulates as secondary reinforcement on mechanical characteristics of epoxy composites with treated Luffa Cylindrica fibres*. Materials Today: Proceedings, Volume 44, Part 1, 2021, Pages 1755-1760. doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.956
25. Ioannis Anastopoulos, Ioannis Pashalidis (2020), *Environmental applications of Luffa cylindrica-based adsorbents*. Journal of Molecular Liquids 319 (2020) 114127. doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114127
26. Maria-Belen Martinez-Pavetti, Lucas Medina, Magdalena Espínola, Magna Monteiro (2021), *Study on two eco-friendly surface treatments on Luffa cylindrica for development of reinforcement and processing materials*. Journal of Materials Research and Technology. doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.141

27. D. Mohana krishnudu, D.Sreeramulu, N.Ramesh (2018), *Synthesis, Characterization, and Properties of Epoxy Filled Luffa cylindrica reinforced composites*. Materials Today: Proceedings 5 (2018) 3835–3841.[doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.637](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.637)
28. Anil Dhanola, Anand singh Bisht, Anil Kumar, and Aman Kumar(2018), *Influence of natural fillers on physico-mechanical properties of luffa cylindrica/ polyester composites*. Materials Today: Proceedings 5 (2018) 17021–17029.[doi.org/10.1016/j.matpr.2018.04.107](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.04.107)
- 29.D. Kocak, S.I. Mistik, M. Akalin, N. Merdan (2014), *The use of Luffa cylindrica fibres as reinforcements in composites*. Biofiber Reinforcements in Composite Materials 2015, Pages 689-699.[doi.org/10.1533/9781782421276.5.689](https://doi.org/10.1533/9781782421276.5.689)
30. K.G. Ashok, K. Kalaichelvan, V. Elango, Ajith Damodaran, B. Gopinath, M. Raju (2020), *Mechanical and morphological properties of luffa/carbon fiber reinforced hybrid composites*. Materials Today: Proceedings Volume 33, Part 1, 2020, Pages 637-641.[doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.716](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.716)
31. Abdalbasit Adam Mariod, Mohamed Elwathig Saeed Mirghani, Ismail Hussein (2017), *Chapter 21 - Luffa cylindrica Loofah, Sponge Gourd*. Unconventional Oilseeds and Oil Sources 2017, Pages 117-123.[doi.org/10.1016/B978-0-12-809435-8.00021-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809435-8.00021-4)
32. Hasan Koruk, Garip Genc (2015), *Investigation of the acoustic properties of bio luffa fiber and composite materials*. Materials Letters Volume 157, 15 October 2015, Pages 166-168.[doi.org/10.1016/j.matlet.2015.05.071](https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.05.071)
33. Sha Yin, Huitian Wang, Jiani Li, Robert O. Ritchie, Jun Xu (2019), *Light but tough bio-inherited materials: Luffa sponge based nickel-plated composites*. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials Volume 94, June 2019, Pages 10-18.[doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.02.029](https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.02.029)
34. Aura-Cătălina Mocanu, Florin Miculescu Marian Miculescu, Robert Cătălin Ciocoiu, Andreea Mădălina Pandele, George E. Stan, Anișoara Cîmpean, Ștefan Ioan Voicu, Lucian-Toma Ciocan (2021), *Comprehensive analysis of compatible natural fibre as sacrificial porogen template for tailored ceramic 3D bioproducts destined for hard tissue reconstruction*. Ceramics International Volume 47, Issue 4, 15 February 2021, Pages 5318-5334.[doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.10.113](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.10.113)
35. Vijay Chaudhary, Furkan Ahmad (2020), *A review on plant fiber reinforced thermoset polymers for structural and frictional composites*. Polymer Testing Volume 91, November 2020, 106792.[doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106792](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106792)
36. Jianhu Shen, Yi Min Xie, X. Huang, Shiwei Zhou (2012), *Mechanical properties of luffa sponge*. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials 15C:141-152.[doi.org/10.1016/j.jmbbm.2012.07.004](https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2012.07.004)
37. Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W., Wadley, H.N.G., 2000. *Metal Foams: A Design Guide*. Butterworth-Heinemann, Warrendale

38. Gibson, L.J., Ashby, M.F., 1982. *The mechanics of three-dimensional cellular materials*. Proceedings of the Royal Society of London Series A 382, 43–59
39. Gibson, L.J., Ashby, M.F., Harley, B.A., 2010. *Cellular Materials in Nature and Medicine*. Cambridge University Press, Cambridge
40. G. Kalusuraman, I. Siva, Yashwant Munde, Chithirai Pon Selvan, S. Anand Kumar e , Sandro C. Amico, 2020. *Dynamic-mechanical properties as a function of luffa fibre content and adhesion in a polyester composite*. PolymerTestingVolume 87, July 2020, 106538. doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106538