



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ  
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη του φυτού τύφα (*typha latifolia*), από την παράδοση στην καινοτομία**

Επιβλέπων Καθηγητής:	Παπανίκος Παρασκευάς
Επιτροπή:	Παπανίκος Παρασκευάς Ζαχαρόπουλος Νικόλαος Μουλιανίτης Βασίλειος
Συγγραφή:	Πιταούλη Καλλιόπη 5112005059

Σύρος, Φεβρουάριος 2023





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

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα .....	4
Πίνακας εικόνων .....	6
Πίνακας πινάκων.....	8
1 Εισαγωγή .....	10
1.1 Στόχος .....	10
1.2 Δομή .....	10
1.3 Περίληψη .....	12
1.4 Summary .....	13
2 Τυρha .....	14
2.1 Περιγραφή .....	15
2.2 Επιστημονική ταξινόμηση.....	20
2.3 Αποδεκτά είδη και φυσικά υβρίδια .....	21
2.4 Βιολογία των τύφα .....	23
2.5 Μεταβάλλοντας το οικοσύστημα .....	27
2.6 Βλάστηση .....	27
2.7 Γεωγραφική διασπορά .....	28
2.8 Προέλευση .....	30
2.9 Ιστορική βιογεωγραφία.....	31
2.10 Διαχείριση.....	31
2.11 Συγκομιδή .....	33
2.12 Πλεονεκτήματα εκμετάλλευσης .....	34
2.13 Προβλήματα υγροβιότοπων .....	35
2.15 Χημικές ιδιότητες .....	36
2.16 Οικολογικές επιπτώσεις .....	38
2.17 Χρήσεις .....	39
2.17.1 Οικιακές χρήσεις.....	39
2.17.2 Μαγειρική .....	41
2.17.3 Οικοδομικά υλικά .....	42
2.17.4 Χαρτί .....	42
2.17.5 Fiber - Ίνα .....	42
2.17.6 Επεξεργασία λυμάτων .....	43
2.17.7 Βιοενέργεια .....	44
2.17.8 Μοριοσανίδες.....	46

2.17.9 Μονωτικά υλικά .....	46
2.17.10 Άλλες χρήσεις .....	47
2.18 Μηχανικές ιδιότητες.....	48
2.19 Τρισδιάστατη μακροσκοπική μορφολογία.....	52
3  Οι φυτικές ίνες .....	62
3.1 Μπαμπού.....	66
3.2 Flax (Λινάρι) .....	67
3.3 Kenaf.....	69
3.4 Jute (Γιούτα).....	70
3.5 Hemp (Κάνναβη) .....	71
3.6 Ramie .....	72
3.7 Abaca .....	73
3.8 Sisal.....	74
3.9 Coir (Κοκοφοίνικας).....	75
3.10 Pineapple (Ανανάς).....	76
3.11 Cotton (Βαμβάκι).....	78
3.12 Λάδι Palmoilpalm .....	79
3.13 Γρασίδι Bagasse.....	79
3.14 Άχυρο.....	79
3.15 Κέλυφος ρυζιού (RiceHusk).....	80
3.16 Ίνες από ξύλο (WoodFiber) .....	81
4  Σύνθετα υλικά με φυτικές ίνες .....	82
4.1 Σύνθετα με τύφα.....	86
4.2 Καινοτόμες εφαρμογές.....	93
4.2.1 Typhaboard .....	93
4.2.2 IISD και Μανιτόμπα .....	100
4.3 Βιομηχανική εκμετάλλευση της τύφα.....	103
5  Εργαστηριακή αξιολόγηση δοκιμίων .....	105
5.1 Α΄ Φάση.....	106
5.2 Β΄ Φάση.....	109
5.3 Αποτελέσματα εργαστηριακής καταπόνησης .....	113
5.4 Συγκριτικά αποτελέσματα ως προς την ποικιλία του φυτού .....	113
5.5 Η σύγκριση των αποτελεσμάτων ως προς τον τρόπο συγκρότησης.....	114
5.6 Συμπεράσματα εργαστηριακών δοκιμών.....	115

5.7 Παρατηρήσεις εργαστηριακής έρευνας.....	118
5.8 Μελλοντική εργασία .....	118
6 Συμπεράσματα.....	119
7 Παράρτημα .....	122
7.1 Μετρήσεις δοκιμών Α' φάσης.....	122
7.2 Μετρήσεις δοκιμών Β' φάσης.....	128
Βιβλιογραφία .....	132

### Πίνακας εικόνων

Εικ 1 <i>Tyrpha</i> .....	14
Εικ 2 <i>Tyrpha angustifolia</i> .....	16
Εικ 3 (α) Ο χαρακτηριστικός καρπός τύφα, (β) Ωριμοί καρποί με το χνούδι των σπόρων της <i>tyrpha latifolia</i> .....	17
Εικ 4 Οι ρίζες τύφα απλώνονται μέσα στη λάσπη και δημιουργούν συστάδες. Δεξιά Τρισδιάστατη αναπαράσταση των ριζών .....	18
Εικ 5 Κοιλότητες <i>Aerenchyma</i> .....	19
Εικ 6 <i>Tyrpha latifolia</i> (Τύφα η πλατύφυλλη).....	20
Εικ 7 <i>Tyrpha domingensis</i> .....	24
Εικ 8 Οι σπόροι της <i>Tyrpha domingensis</i> διασκορπίζονται από τον άνεμο .....	25
Εικ 9 Ριζώνες και ρίζες τύφα (Svedarsky, 2016) .....	26
Εικ 10 Βιογεωχημικές διεργασίες τύφα: (α) Ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών και (b) ανακύκλωση άνθρακα (Bansal, και συν., 2019) .....	28
Εικ 11 Τα κυρίαρχα είδη τύφα στη Βόρεια Αμερική, στις θέσεις (κόκκινες κουκίδες) όπου έχουν ταυτοποιηθεί τα a: <i>T. latifolia</i> , b: <i>T. angustifolia</i> , c: <i>T. domingensis</i> και d: <i>T. x glauca</i> . Παραπλεύρως η διαφοροποίηση των φύλλων. (Svedarsky,2016) .....	29
Εικ 12 Ελεγχόμενη καύση τύφα .....	32
Εικ 13 Η <i>Tyrpha</i> επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα μέσα και γύρω από τον υγρότοπο .....	39
Εικ 14 Τύφα σε οικιακές χρήσεις.....	40
Εικ 15 Άλευρα από διαφορετικά είδη τύφα .....	41
Εικ 16 Υδρογεωχημεία υγροτόπων. Οι λευκές επισημασμένες περιοχές δείχνουν περιοχές αποθήκευσης θρεπτικών ουσιών σε υγρότοπο. (N = άζωτο, P = φωσφόρος, BOD = βιολογική ζήτηση οξυγόνου, TSS = ολικά αιωρούμενα στερεά) (Grosshans R. , 2014) .....	43
Εικ 17 Συμπιεσμένα σφαιρίδια pellet τύφα (Grosshans R. , 2014).....	45
Εικ 18 Μηχανικές ιδιότητες ινών προσδιορισμένες με Instron. (A) Αντιπροσωπευτική καμπύλη φορτίου έναντι επιμήκυνσης για καλώδιο ινών <i>T. x glauca</i> (B) Αντιπροσωπευτική καμπύλη στρες έναντι τάσης για καλώδιο ινών <i>T. x glauca</i> σε διατομή του καλωδίου.(Witztum & Wayne, 2014).....	48
Εικ 19 Ιδιότητες κάμψης φύλλων τύφα. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017) ...	49
Εικ 20 Η μεταβολή της διατομής του φύλλου από κούλο σε αμφίκυρτο .....	50

Εικ 21 (α) Το φυτό τύφα, (β) Τρισδιάστατη (3D) δομή του φύλλου, γ) Εγκάρσια τομή (TRA), Στεφανιαία τομή (COR) και Τοξοειδής τομή (SAG). (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017) .....	53
Εικ 22 Διαμήκης τομή της λεπίδας φύλλου του <i>T. x glauca</i> (Witztum&Wayne, 2014) .....	54
Εικ 23 Διατομή φύλλου <i>T. Domingensis</i> (Witztum & Wayne, 2014).....	56
Εικ 24 Εικόνες SEM από το μέσο τμήμα του φύλλου Τύφα : (c) Διατομή και (d) μορφολογία διαμήκους τμήματος (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017).....	57
Εικ 25 (e) Το επίμηκες τμήμα των αγγείων από τη μεγέθυνση του τεμαχίου(e) της εικόνας 3(d). (f)Κορωνική τομή στο μέσο του φύλλου. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017).....	58
Εικ 26 (g) Επιμήκεις ίνες και διαφράγματα. (h) Ο ιστός του aerenchyma του διαφράγματος και κρύσταλλοι στις επιμήκεις ίνες (λευκά τετραγωνίδια)(Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017) .....	59
Εικ 27 (A) Διαμήκης τομή που δείχνει τις επιμήκεις ίνες φύλλου <i>T. domingensis</i> .....	59
Εικ 28 Διατομή καλωδίου ινών (Witztum & Wayne, 2014) .....	60
Εικ 29 (i) Κρύσταλλοι Raphide (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017) .....	61
Εικ 30 Σχηματική διατομή φυτικών ινών .....	64
Εικ 31 Φυτά μπαμπού .....	66
Εικ 32 Προβολή εγκάρσιας τομής μπαμπού(Yusoff, Takagi, &Nakagaito, 2016).....	67
Εικ 33 Flax ( <i>Linum usitatissimum</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska) .....	68
Εικ 34 Kenaf ( <i>Hibiscus cannabinus</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska).....	69
Εικ 35 Jute ( <i>Corchorus capsularis</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska).....	70
Εικ 36 Hemp ( <i>Cannabis sativa</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska) .....	71
Εικ 37 Ramie ( <i>Boehmeria nivea</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska) .....	72
Εικ 38 Abaca ( <i>Musa textilis nee</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska) .....	73
Εικ 39 Sisal ( <i>Agave sisalana</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska) .....	74
Εικ 40 Coir ( <i>Cocos nucifera</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska) .....	75
Εικ 41 Pineapple ( <i>Ananas comosus</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska).....	77
Εικ 42 Cotton ( <i>Gossypium</i> ) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska).....	78
Εικ 43 Φάσμα FTIR της ίνας Τύφα <i>latifolia</i> (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, &Omar, 2016) .....	87
Εικ 44 (a) Φυτό τύφα (b) Ίνες τύφα χωρίς επεξεργασία (c) Ίνες τύφα επεξεργασμένες με αλκάλια 5% 1 ώρα (d) Ίνες τύφα επεξεργασμένες με αλκάλια 5% 2 ώρες.....	87
Εικ 45 Μορφολογία ίνας τύφα (a): ανεπεξέργαστη (b): 1 ώρα αλκαλιοποίησης (c):2 ώρες αλκαλιοποίησης (d):4 ώρες αλκαλιοποίησης (e):8 ώρες αλκαλιοποίησης .....	88
Εικ 46 Μηχανικές ιδιότητες ίνας Τύφα: (a) τάση εφελκυσμού (b)συντελεστής Young (c) επιμήκυνση κατά τη θραύση.....	89
Εικ 47 Μεταβολή του συντελεστή Young, σύνθετων LLDPE / <i>Typha latifolia</i> σε διαφορετική φόρτωση του <i>T. Latifolia</i> . (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, & Omar, 2016) .....	92
Εικ 48 Εξωτερική εμφάνιση του κτιρίου μετά την αποκατάσταση (Krus, Theuerkorn, Großkinsky, & Künzel, 2014).....	93
Εικ 49 Ο ξύλινος σκελετός πριν από την αποκατάσταση (αριστερά) και σχέδιο της μόνωσης (δεξιά), Φωτο:Alexandra Fritsch (Krus, Theuerkorn, Großkinsky, & Künzel, 2014).....	94
Εικ 50 Σχηματική αναπαράσταση δομής εικόνα από την Fritsch + Knodt & Klug (Krus, Theuerkorn, Großkinsky, & Künzel, 2014).....	95
Εικ 51 Τελικό προϊόν Typhaboard. (Φωτογραφία: typha techniek) (Geuder, 2013) .....	96



Εικ 52 BORA HOT SPA στο Radolfzell της Γερμανίας (TYRHABOARD) .....	97
Εικ 53 Ο ξύλινος σκελετός της κατασκευής και τα πάνελ tyrhboard.....	98
Εικ 54 Τυρha house στην έκθεση EXPO 2015 στο Μιλάνο (TYRHABOARD).....	98
Εικ 55 Τυρha house στην έκθεση EXPO 2015 Μιλάνο: εσωτερικός χώρος (TYRHABOARD) .....	99
Εικ 56 Τυρha house στην έκθεση EXPO2015 Μιλάνο: Διαδικασία τοποθέτησης πάνελ tyrhboard (TYRHABOARD) .....	99
Εικ 57 Προωθητικό φυλλάδιο προγράμματος Netley-Libau Nutrient-Bioenergy της IISD (IISD).....	100
Εικ 58 Χάρτης περιοχής του προγράμματος Netley-Libau Nutrient-Bioenergy της IISD (Grosshans R. , 2014) .....	101
Εικ 59 Η ανακύκλωση φωσφόρου στους υγροβιότοπους (GrosshansR. , 2014) .....	102
Εικ 60 Συγκομιδή τύφα.....	103
Εικ 61 Σύγκριση των φύλλων τύφα της έρευνας ως προς το μήκος τους.....	105
Εικ 62 Σύγκριση των φύλλων τύφα της έρευνας ως προς το πάχος τους.....	106
Εικ 63 Τρόποι συγκρότησης δοκιμών Α φάσης.....	106
Εικ 64 Δοκίμιο (α), στο μηχάνημα εφελκυσμού (β), και το σημείο θραύσης του (γ) .....	107
Εικ 65 Δοκίμιο (α), στο μηχάνημα εφελκυσμού (β), και το σημείο θραύσης του (γ) .....	107
Εικ 66 Δοκίμιο (α), στο μηχάνημα εφελκυσμού (β).....	108
Εικ 67 Διαγράμματα εφελκυσμού Α φάσης.....	109
Εικ 68 Δημιουργία δοκιμίου πλατύφυλλης τύφα .....	110
Εικ 69 Δημιουργία δοκιμών ποικιλίας νάνου τύφα .....	111
Εικ 70 Τα δοκίμια φύλλων τύφα .....	112
Εικ 71 Τοποθέτηση δοκιμίου στο μηχάνημα εφελκυσμού .....	112
Εικ 72 Δοκίμιο Α .....	115
Εικ 73 Διάγραμμα εφελκυσμού δοκιμίου Α.....	115
Εικ 74 Δοκίμιο Β.....	116
Εικ 75 Διάγραμμα εφελκυσμού δοκιμίου Β .....	116
Εικ 76 Δοκίμιο C.....	116
Εικ 77 Διάγραμμα εφελκυσμού δοκιμίου C .....	116
Εικ 78 Δοκίμιο D .....	117
Εικ 79 Διάγραμμα εφελκυσμού δοκιμίου D.....	117

## Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1 Classification Tyrha ( GBIF Backbone Taxonomy, 2019).....	21
Πίνακας 2 Αναγνωρισμένα είδη Tyrha ( GBIFBackboneTaxonomy, 2019).....	21
Πίνακας 3 Πίνακας θρεπτικών συστατικών τύφα .....	37
Πίνακας 4 Γεωμετρία διατομών των δειγμάτων φύλλων Τύφα (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xijuan, & Luquan, 2017) .....	51
Πίνακας 5 Παγκόσμια παραγωγή φυσικών ινών (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012) .....	62
Πίνακας 6 Χημική σύνθεση φυτικών ινών (Chakma K. , 2019) .....	63
Πίνακας 7 Μηχανικές ιδιότητες εμπορικά σημαντικών φυσικών ινών και ινών γυαλιού.....	65
Πίνακας 8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φυσικών ινών .....	83
Πίνακας 9 Μηχανικές ιδιότητες φυσικών και τεχνητών ινών (Saheb & Jog, 1999) .....	85

Πίνακας 10 Θερμική αγωγιμότητα σε διαφορετικές πυκνότητες και ποσοστά σύνθεσης τύφα -μαγνησίτη (Krus, Theuerkorn, Grobkinsky, & Künzel, 2014).....	96
Πίνακας 11 Πίνακας αποτελεσμάτων εφελκυσμού φύλλων τύφα.....	113

## 1 Εισαγωγή

### 1.1 Στόχος

Η διερεύνηση των ιδιοτήτων και των δυνατοτήτων ενός φυτού με μεγάλη διάδοση και η εξερεύνηση των χρήσεων του αποτελεί το στόχο αυτής της διπλωματικής εργασίας. Εξετάζεται η συμμετοχή της τύφα σε παραδοσιακές χρήσεις και η ένταξή της σε σύγχρονες οικολογικές επιλογές.

Η εστίαση στις μηχανικές ιδιότητες του φυτού καθώς επίσης και η συγκριτική του θέση στο χώρο των φυτικών ινών, προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες αξιοποίησής του. Η παρουσίαση καινοτόμων εφαρμογών διευρύνει τον ορίζοντα χρησιμοποίησής του και δημιουργεί μελλοντικές προσδοκίες.

Απώτερος σκοπός είναι η εκμετάλλευση των πολλαπλών και σημαντικών πλεονεκτημάτων του φυτού, το οποίο μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα πολλαπλές επιλογές αποδοτικής χρησιμοποίησής του, σε τομείς που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος, την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, την ενίσχυση της οικονομίας και την αξιοποίησή του ως εν δυνάμει μελλοντικό εναλλακτικό προϊόν.

### 1.2 Δομή

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια.

Το εισαγωγικό μέρος περιλαμβάνει τους στόχους, τη δομή και την περίληψη της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η βιολογική παρουσίαση του φυτού, η βοτανολογική του κατάταξη, οι μηχανικές του ιδιότητες, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της καλλιέργειάς του, οι χρήσεις που αξιοποιήθηκε, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και η εν γένει διάδοσή του στον κόσμο.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί μια ανασκόπηση των φυτικών ινών καθώς και συγκριτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών τους.

Στο κεφάλαιο τέσσερα αναλύονται τα σύνθετα με φυτικές ίνες υλικά, εστιάζοντας στα σύνθετα με τύφα. Παρουσιάζονται ενδεικτικές καινοτόμες εφαρμογές και χρήσεις στη βιομηχανία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται εργαστηριακός έλεγχος καταπόνησης των φύλλων του φυτού, καταγράφονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματά του, οι παρατηρήσεις και τα σχετικά συμπεράσματα.

Στο κεφάλαιο έξι αναφέρονται τα συνολικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και τέλος στο έβδομο κεφάλαιο υπάρχει η βιβλιογραφία και τα αναλυτικά στοιχεία του εργαστηριακού ελέγχου.

### 1.3 Περίληψη

Η τύφα είναι πολυετές, μονοκοτυλήδονο, ποώδες φυτό και ανήκει στην οικογένεια Typhaceae, απαριθμώντας 30 και πλέον είδη.

Διαθέτει μακριά, σπογγώδη φύλλα, ενώ τα λεπτά άνθη του συγκροτούν μαζί με τους καρπούς, καφέ κυλίνδρους. Τα φυτά διαθέτουν ένα πολύ καλά οργανωμένο σύνολο από σπογγώδεις ιστούς μέσω του οποίου διακινείται το οξυγόνο από το βλαστό προς τις ρίζες (Aerenchyma).

Φύεται σχεδόν παντού στους υγροβιότοπους ανά τον κόσμο και είναι γνωστό με πολλές ονομασίες όπως βούρλα, καλαμιώνες, ουρά της γάτας και στην Ελλάδα ως ψάθα. Αποτελεί τροφή και καταφύγιο για το ζωικό βασίλειο της περιοχής, ενώ λειτουργεί ως φίλτρο απορροής κατακρατώντας υπολείμματα λιπασμάτων και βαρέων μετάλλων.

Καλύπτει μια ευρεία σειρά χρήσεων από την κατασκευή οικιακών ειδών έως την παραγωγή αλεύρων, θεραπευτικών σκευασμάτων, πλεούμενων ενώ στη σύγχρονη εποχή ανοίγει προοπτικές για βιομάζα και χρήσεις στη βιομηχανία.

Οι φυτικές ίνες της τύφα αξιοποιούνται σε καινοτόμες εφαρμογές είτε ως μονωτικά πάνελ είτε ως βιομάζα ενώ παράλληλα συνδυάζεται με τη διαχείριση και τον καθαρισμό του νερού συνυπολογίζοντας το περιβαλλοντικό, το οικονομικό και το κοινωνικό όφελος.

Η εκμετάλλευση του φυτού παρουσιάζει αρκετά και σημαντικά πλεονεκτήματα και μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα πολλαπλές επιλογές αποδοτικής χρησιμοποίησής του, που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος, την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, την ενίσχυση της οικονομίας και την αξιοποίησή του ως εν δυνάμει μελλοντικό εναλλακτικό προϊόν.

#### 1.4 Summary

Typha is a perennial, monocotyledonous, herbal plant and belongs in the family of Typhaceae, of about 30 and more species.

It has long, spongy leaves, while its thin flowers form brown cylinders together with the fruits. Plants have a very well organized set of spongy tissues through which oxygen is transported from the shoot to the roots (Aerenchyma).

It grows almost everywhere in wetlands around the world and is known by many names such as bulrush, reedmace, cat tail and in Greece as psatha. It is food and shelter for the regional animal kingdom, while it functions as a runoff filter, retaining fertilizer residues and heavy metals.

It covers a wide range of uses from the manufacture of household goods to the production of flour, therapeutics, floatings while in modern times it opens up prospects for biomass and uses in industry.

Typha's plant fibers are utilized in innovative applications either as insulating panels or as biomass while at the same time it is combined with water management and purification taking into account the environmental, economic and social benefit.

The exploitation of the plant presents several and important advantages and can simultaneously serve multiple options for its efficient use, regarding the protection of the environment, the replacement of fossil fuels, the strengthening of the economy and its utilization as a potential future alternative product.

## 2 Typha

Η τύφα είναι το γένος πολυετών μονοκοτυλήδων ποωδών φυτών που ανήκουν στην οικογένεια Typhaceae με καταχωρημένα περισσότερα από 30 είδη.



Εκ 1 Typha

Χαρακτηρίζεται από μακρά, σπογγώδη που μοιάζουν με λουρίδες φύλλα, συστάδες λεπτών λουλουδιών, που είναι διατεταγμένα σε πυκνή κυλινδρική μορφή και τους αντίστοιχους λεπτούς καρπούς, που έχουν μορφή κυλινδρικής, καφέ, γούνινης ακίδας. Αυτά τα καλαμωτά φυτά που γονιμοποιούνται με την βοήθεια του αέρα, είναι γνωστά

ως βούρλα (bulrushes),καλαμιώνες (reedmaces), ουρά της γάτας(cattails) και στην Ελλάδα κοινώς ψάθα.

Είναι κοινά σε υγροβιότοπους σε εύκρατες και ψυχρές περιοχές τόσο του Βόρειου όσο και του Νοτίου Ημισφαιρίου.

Το όνομά του προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη τύφος που σημαίνει έλος ή καπνός.

Τα φυτά τύφα αναπτύσσονται σε παραλίμιες περιοχές και έλη, συχνά σε πυκνές αποικίες, και μερικές φορές θεωρούνται αγριόχορτα σε διαχειριζόμενους υγροτόπους. Ωστόσο, συμβάλλουν σημαντικά στην οικολογική διαχείριση των υγροτόπων, αφενός γιατί στα φυλλώματά τους φιλοξενούν πολλά έντομα, αμφίβια, πουλιά και μικρά θηλαστικά και αφετέρου γιατί το ριζικό τους σύστημα λειτουργεί ως φίλτρο απορροής, μειώνοντας την εκροή των υδάτων από τον υγρότοπο, παρακρατώντας τα θρεπτικά συστατικά και τη λάσπη, συντελώντας στην πρόληψη της διάβρωσης του εδάφους, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της λίμνης υγιούς.

Σημαντικά είναι επίσης τα άμεσα οφέλη που απολαμβάνει ο άνθρωπος από το φυτό. Τα ριζώματα, οι βάσεις των φύλλων και η γύρη είναι βρώσιμα και θρεπτικά, ενώ τα στελέχη και τα φύλλα χρησιμοποιούνται σε ένα πλήθος χρήσεων της οικιακής κυρίως οικονομίας, τη γεωργία, την ενέργεια κ.α. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αιθανόλης. (Wikipedia) (New World Encyclopedia)

## 2.1 Περιγραφή

Η τύφα είναι αυτοφυές, υδρόβιο ή ημιυδατικό, ριζωματώδες, ποώδες, πολυετές φυτό. Φύεται γύρω από λίμνες, εκβολές ποταμών ή ελώδεις περιοχές σε λασπώδη εδάφη. Τα φύλλα της είναι λεπτά μακριά άγωνα και γραμμικά σαν λωρίδες με σπογγώδη σύσταση. Τα ριζώματα είναι αμυλούχα και απλώνονται οριζόντια μέσα στο λασπώδες έδαφος όπου και βλαστάνουν νέα στελέχη του φυτού.



Το ύψος του φυτού κυμαίνεται από 1 μέχρι 7 μέτρα ενώ υπάρχουν και ποικιλίες με μέγεθος μικρότερο των 70 εκατοστών.



Εικ 2 *Typha angustifolia*

Τα άνθη του φυτού είναι είτε αρσενικά είτε θηλυκά χωρίς να αποκλείεται η ταυτόχρονη παρουσία τους στο ίδιο φυτό (μονοκοτυλήδονο φυτό). Τα αρσενικά άνθη είναι πολυάριθμα και σχηματίζουν μια λεπτή ακίδα στην κορυφή του στελέχους. Κάθε λουλούδι καταλήγει σε δύο στήμονες, που χάνονται μετά το διασκορπισμό της γύρης. Τα θηλυκά άνθη είναι μικροσκοπικά και δημιουργούν ένα πυκνό κυλινδρικό σχήμα σαν

λουκάνικο. Βρίσκονται στο ίδιο στέλεχος με το αρσενικό και ακριβώς κάτω από την αρσενική ακίδα. Στα μεγαλύτερα είδη, το μήκος του κυλίνδρου μπορεί να φτάσει τα 30 εκατοστά και το πάχος να κυμαίνεται από 1 έως 4 εκατοστά.



(α)

(β)

Εικ 3 (α) Ο χαρακτηριστικός καρπός τύφα, (β) Ώριμοι καρποί με το χνούδι των σπόρων της *typha latifolia*

Οι σπόροι είναι λεπτοί και έχουν μήκος 0,2 χιλιοστά. Συγκρατούνται από λεπτούς μίσχους. Όταν οι κεφαλές είναι ώριμες, διαλύονται σε λεπτό βαμβακερό χνούδι και διασκορπίζονται από τον αέρα για την επικονίαση.

Η τύφα αποτελεί ένα από τα πρώτα φυτά, που αποικίζει πρόσφατα δημιουργημένες λασπώδεις περιοχές. Οι πολυάριθμοι σπόροι της διαχέονται με τον αέρα και μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα αναλλοίωτοι, ξυπνώντας με την πρώτη

ηλιοφάνεια. Οι ρίζες της απλώνονται και βλαστάνουν μέσα στη λάσπη, δημιουργώντας συστάδες και διασυνδεδεμένες αποικίες. Συνήθως κυριαρχούν στους υγροτόπους λειτουργώντας ανταγωνιστικά προς τα άλλα φυτά, αποκλείοντάς τα με τη δημιουργία θόλων και πυκνών συστάδων, ενώ φύονται ταυτόχρονα διαφορετικά είδη του φυτού καλύπτοντας όλο το εύρος του βυθού.



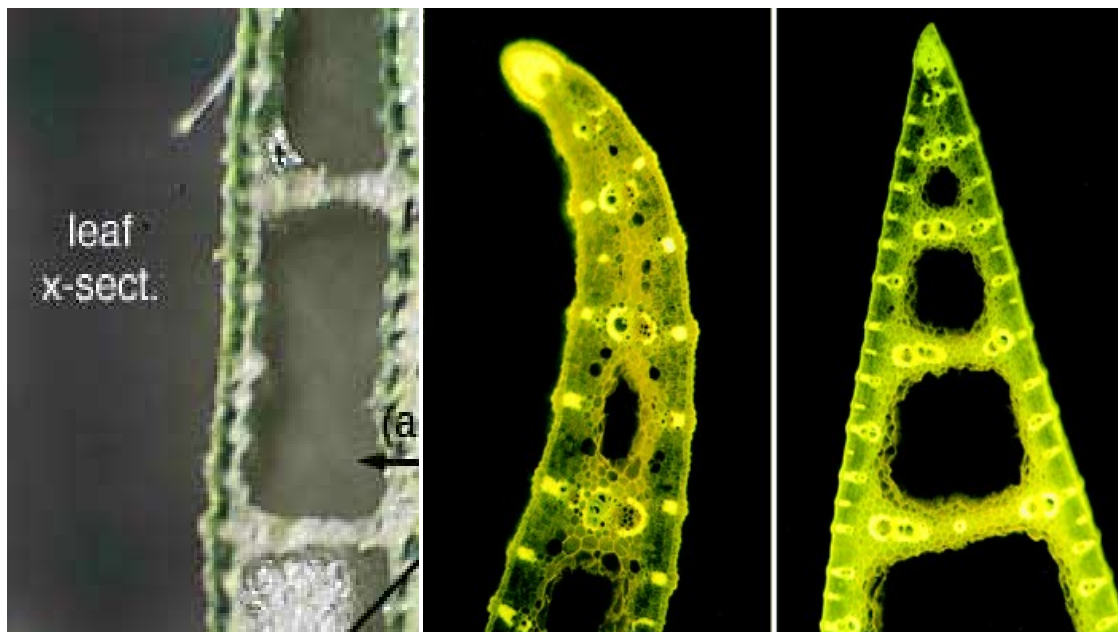
Εικ 4 Οι ρίζες τύφα απλώνονται μέσα στη λάσπη και δημιουργούν συστάδες. Δεξιά Τρισδιάστατη αναπαράσταση των ριζών

Διαθέτουν ένα πολύ ανεπτυγμένο σύστημα διακίνησης του οξυγόνου από το βλαστό προς τις ρίζες (Aerenchyma). (Wikipedia)

Πρόκειται για ένα καλά οργανωμένο σύνολο από σπογγώδεις ιστούς που σχηματίζουν αγωγούς αέρα στα φύλλα, τους μίσχους και τις ρίζες του φυτού. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα ανταλλαγής αερίων ανάμεσα στις ρίζες και στα φυλλώματα του φυτού. Αποτελείται από κοιλότητες που δημιουργούν μια εσωτερική οδό ανταλλαγής αερίων. Επιτρέπει τη μεταφορά οξυγόνου και αιθυλενίου μεταξύ των τμημάτων του φυτού, που βρίσκονται πάνω και κάτω από το νερό. Τα φυλλώματα διατηρούν αυτή την ικανότητα

ακόμη και όταν ξεραθούν και νεκρωθούν. Με τον τρόπο αυτό τα φυτά αποδεικνύονται ανθεκτικά στη βύθιση και καταφέρνουν να παρέχουν οξυγόνο στη περιοχή των ριζών. Το aerenchyma αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για την ανάπτυξη και την επικράτηση του φυτού έναντι άλλων.

Αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για τις γειτνιάζουσες χορτολιβαδικές περιοχές, τις οποίες με την πάροδο του χρόνου, καταλαμβάνουν και συρρικνώνουν.



Εικ 5 Κοιλότητες Aerenchyma

Ο έλεγχος είναι δύσκολος και η αντιμετώπιση του προβλήματος συνίσταται στο κόψιμο ή το κάψιμο των βλαστών, ώστε να καταστραφεί το aerenchyma των φυτών και η παραμονή των ριζωμάτων κάτω από την επιφάνεια του νερού με παρατεταμένη πλημμύρα.



Εικ 6 *Typha latifolia* (Τύφα η πλατύφυλλη)

Η τύφα αποτελεί τροφή για αρκετά θηλαστικά αλλά και για τους μύκητες των υγροβιότοπων, ενώ στις πυκνές συστάδες της βρίσκουν καταφύγιο και τόπο για να στήσουν τις φωλιές τους τα υδρόβια πτηνά. (Wikipedia)

## 2.2 Επιστημονική ταξινόμηση

Η τύφα αποτελεί γένος της οικογένειας Typhaceae της σειράς Poales (ποώδες) της κλάσης Liliopsida (μονοκοτυλήδονα), Phylum Tracheophyta από το βασίλειο Plantae (των φυτών). Από το Biodiversity Information Facility, παρουσιάζονται 29 είδη του φυτού. ( GBIF Backbone Taxonomy, 2019)

**Classification: Kingdom Plantae CoL**

**Phylum: Tracheophyta CoL**

**Class: Liliopsida CoL**

**Order: Poales CoL**

**Family: Typhaceae WCSP**

Πίνακας 1 Classification Typha ( GBIF Backbone Taxonomy, 2019)

Λόγω της ευρύτατης διασποράς του ανά την υφήλιο, είναι γνωστό κατά τόπους με διαφορετικά ονόματα. Ιδιαίτερα, η *Typha latifolia* (Τύφα η πλατύφυλλη) απαντάται με ονόματα όπως βόρδος, bullrush ή reedmace στα βρετανικά αγγλικά και ως ουρά της γάτας, πανκ ή χορτάρι στην Αμερική.

### 2.3 Αποδεκτά είδη και φυσικά υβρίδια

Η επιστημονική ταξινόμηση του φυτού η οποία περιλαμβάνει όλα τα έως σήμερα αναγνωρισμένα είδη παρουσιάζεται στον Πίνακα2, όπως προκύπτει από το Global Biodiversity Information Facility ( GBIF Backbone Taxonomy, 2019).

Πίνακας 2 Αναγνωρισμένα είδη Typha ( GBIF Backbone Taxonomy, 2019)

<b>Accepted scientific name:</b>	<b><i>Typha latifolia</i> L. (accepted name)</b>
<b>Synonyms:</b>	<b><i>Massula latifolia</i> (L.) Dulac (synonym)</b>
	<b><i>Typha ambigua</i> Schur ex Rohrb. (synonym)</b>
	<b><i>Typha angustifolia</i> var. <i>inaequalis</i> Kronf. (synonym)</b>
	<b><i>Typha angustifolia</i> var. <i>media</i> Kronf. (synonym)</b>
	<b><i>Typha angustifolia</i> var. <i>sonderi</i> Kronf.</b>

---

(synonym)

*Typha crassa* Raf. (synonym)

*Typha elatior* Boreau, nom. illeg. (synonym)

*Typha elatior* Raf., nom. illeg. (synonym)

*Typha elongata* (Dudley) Dudley (synonym)

*Typha engelmannii* A.Br. ex Rohrb. (synonym)

*Typha intermedia* Schur (synonym)

*Typha latifolia* var. *ambigua* Sond. (synonym)

*Typha latifolia* var. *angustifolia* Hausskn.

(synonym)

*Typha latifolia* f. *divisa* Louis-Marie (synonym)

*Typha latifolia* var. *elata* Kronf. (synonym)

*Typha latifolia* var. *elatior* Graebn. (synonym)

*Typha latifolia* var. *elongata* Dudley

(synonym)

*Typha latifolia* subsp. *eulatifolia* Graebn., not  
validly publ.(synonym)

*Typha latifolia* var. *gracilis* Godr. (synonym)

*Typha latifolia* var. *obconica* Tkachik

(synonym)

*Typha latifolia* var. *remotiuscula* (Schur)

Simonk. (synonym)

*Typha latifolia* var. *typica* Rothm. (synonym)

*Typha major* Curtis (synonym)

*Typha media* Pollini, nom. illeg. (synonym)

*Typha palustris* Bubani, nom. superfl.

(synonym)

*Typha pendula* Fisch. ex Sond. (synonym)

*Typha remotiuscula* Schur (synonym)

*Typha spathulifolia* Kronf. (synonym)

---

## 2.4 Βιολογία των τύφα

Η τύφα αποτελεί για τους απανταχού της γης υγροβιότοπους σήμα κατατεθέν. Αναπτύσσεται σε χαμηλού ή κυμαινόμενου βάθους νερά, σε ελώδεις περιοχές. Οι συστάδες με τα λεπτά φύλλα και τη σκουρόχρωμη ακίδα υποδηλώνουν το σημείο αναφοράς.

Αποτελεί «ακρογωνιαίο λίθο» για την ανάπτυξη του υγροβιότοπου, παρά το ότι η ανάπτυξή τους, μπορεί εύκολα να βρεθεί εκτός ελέγχου και είναι πολύ πιθανό να δημιουργήσει προβλήματα στη περιοχή. Πουλιά και ζώα βρίσκουν τροφή και καταφύγιο στις συστάδες. Κάτω από τη σκιά των φυλλωμάτων της, το νερό διατηρείται δροσερό για τα ψάρια ενώ οι βλαστοί και οι ρίζες αποτελούν θρεπτική τροφή για ολόκληρο το ζωικό βασίλειο. (Linde, Janish, &Smith, 1976)

Τα προσαρμοστικά χαρακτηριστικά του φυτού είναι αυτά που του δίνουν τη δυνατότητα να ευδοκιμεί σε υγροτόπους, αναπτύσσοντας πυκνή βλάστηση, ανταγωνιστική των άλλων φυτών. Η ανάπτυξή του είναι γρήγορη, συγκριτικά με άλλα είδη, επιτυγχάνοντας ρυθμό 30-40 g/m<sup>2</sup> ανά ημέρα.(GrosshansR. , 2014) (Bansal, και συν., 2019)

Οι σπόροι είναι πολύ ανθεκτικοί και βλαστάνουν εύκολα στη λάσπη. Τα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν σε βάθος 2 με 3 πόδια αλλά και στην επιφάνεια του νερού σαν επιπλέουσα ψάθα. Τα στελέχη έχουν ύψος 3 έως 10 πόδια και καλύπτονται από φύλλα που ξεφυτρώνουν από τη βάση του φυτού. Το πλάτος των φύλλων διαφέρει ανάμεσα στα διάφορα είδη.

Η *Typha latifolia* έχει τα πλατύτερα φύλλα, ενώ η *T. Angustifolia* τα στενότερα. (Bansal, και συν., 2019)

Η ταξιανθία ή ακίδα αναπτύσσεται στην κορυφή των στελεχών στο τέλος της άνοιξης ή στις αρχές του καλοκαιριού. Έχει πολύ πυκνή δομή. Όταν πρωτοεμφανίζεται είναι πράσινη για να μετατραπεί σε καφέ μετά το διασκορπισμό της γύρης.



Είναι τυλιγμένη από φύλλα που στη συνέχεια ανοίγουν, για να φανούν τα αρσενικά άνθη, με τη γύρη στην κορυφή και τα θηλυκά λίγο χαμηλότερα. Είναι αυτά που θα μετατραπούν σε σπόρους μετά τη γονιμοποίηση. Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η απόσταση (> 1,5 ίντσες) μεταξύ των δύο ειδών λουλουδιών του φυτού. Τα αρσενικά άνθη διασκορπίζουν έως 420 εκατομμύρια κόκκους γύρης.



Εικ 7 *Typha domingensis*

Την άνοιξη τα συγκεντρωμένα στις ρίζες σάκχαρα ενεργοποιούνται από τη φωτοσύνθεση και αναδύονται τα νέα στελέχη. Το μήνα Απρίλιο, με την έναρξη της περιόδου, η αποθηκευμένη ενέργεια δίνει ώθηση στην ανάπτυξη, εξαντλώντας τα ριζώματα. Το καλοκαίρι η ανάπτυξη επιβραδύνεται, αναπληρώνοντας την ενέργεια, καθώς τα φύλλα ξεραίνονται. Προς το τέλος του καλοκαιριού αρχίζει η παραγωγή νέων κλώνων, οι ρίζες επεκτείνονται και οι νέοι μίσχοι προδιαγράφουν την παρουσία τους για την επόμενη άνοιξη.

Η επικονίαση γίνεται τους καλοκαιρινούς μήνες και οι σπόροι είναι έτοιμοι και διασκορπίζονται παντού ολόκληρο τον επόμενο χειμώνα έως την άνοιξη. Κάθε ταξιανθία παράγει 20 έως 700.000 σπόρους.



Εικ 8 Οι σπόροι της *Typha domingensis* διασκορπίζονται από τον άνεμο

Οι σπόροι χρειάζονται υγρασία, θερμοκρασία, φως και οξυγόνο για να έχουν μια επιτυχημένη βλάστηση. Βλαστάνουν άμεσα σε 2 έως 20 μέρες, ενώ οι σπόροι που δεν θα καταφέρουν να βλαστήσουν, παραμένουν ενεργοί στο έδαφος και λειτουργούν σαν μόνιμη τράπεζα σπόρων. (Bansal, και συν., 2019)

Εκτός από τη βλάστηση με σπόρους, η τύφα πολλαπλασιάζεται και μέσω των ριζών της. Τα φυτά σταθεροποιούνται με τα ριζώματα χωμένα στο υπόστρωμα της λάσπης και επεκτείνονται με τη δημιουργία νέων κλώνων, αποθηκεύοντας ενέργεια, γεγονός που τους επιτρέπει την απρόσκοπτη ανάπτυξη. Από τον Νοέμβριο έως τον Απρίλιο το φυτό αδρανεύει.



Εικ 9 Ριζώνες και ρίζες τύφα (Svedarsky, 2016)

Τα στοιχεία που καθορίζουν τη γρήγορη ανάπτυξη της τύφα είναι:

- Η πυκνή βλάστηση
- Η προσαρμοστικότητα
- Η κλωνική διάδοση των ριζών
- Το aerenchyma
- Η αποθήκευση υδατανθράκων στις ρίζες (Typha (Cattail) Invasion in North American Wetlands: Biology, Regional Problems, Impacts, Ecosystem Services, and Managemen, 2019)

## 2.5 Μεταβάλλοντας το οικοσύστημα

Αφότου η τύφα εγκατασταθεί σε μια περιοχή επιβάλει τους δικούς της κανόνες και η περιβαλλοντική μορφή διαφοροποιείται. Οι ρίζες εξαπλώνονται στο νερό, νέοι μίσχοι αναπτύσσονται με γρήγορο ρυθμό, οργανικά υπολείμματα συσσωρεύονται και καταλαμβάνουν το χώρο. Το φως δεν καταφέρνει να φτάσει στα βαθύτερα σημεία του νερού με αποτέλεσμα να αδυνατούν να αναπτυχθούν άλλα είδη. Η συγκέντρωση των υπολειμμάτων και η εξάπλωση των ριζών αλλάζουν τον κύκλο των θρεπτικών ουσιών, ενώ οι χαμηλού βάθους περιοχές του έλους αποξηραίνονται .

Με την πάροδο του χρόνου, επειδή τα στελέχη αναπτύσσονται γρήγορα, ενώ αποσυντίθενται αργά, επικαλύπτουν τα άλλα φυτά. Συχνά οι συνθήκες αποσύνθεσης είναι αναερόβιες, παράγοντας μεθάνιο, ενώ τα θρεπτικά συστατικά του φυτού επιστρέφουν στο οικοσύστημα.

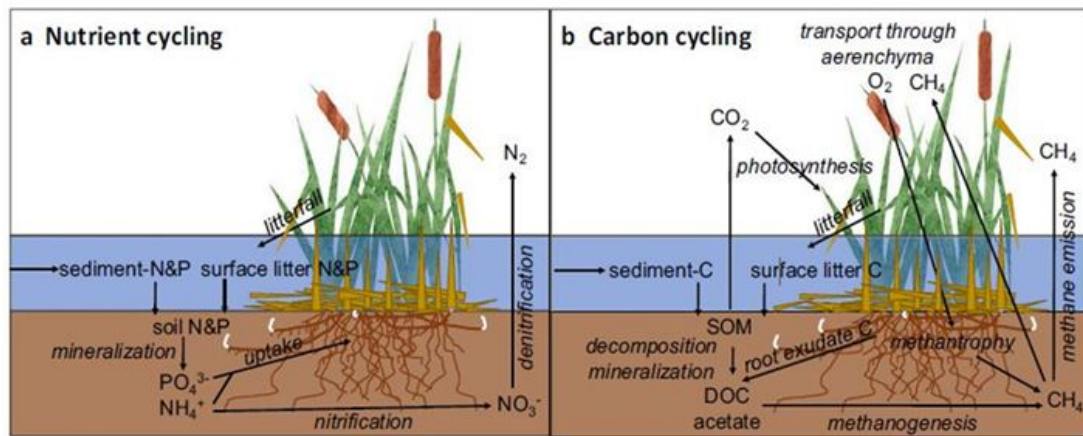
Η κυριαρχία της τύφα βασίζεται στη γρήγορη ανάπτυξη. Η αφαίρεση των ξερών φυλλωμάτων και των μίσχων δυσχεραίνει την ανάπτυξη γιατί καταστρέφει το aerenchyma, διακόπτοντας έτσι τη μεταφορά οξυγόνου στις ρίζες, με συνέπεια την αναστολή του ενεργειακού μεταβολισμού. Επειδή ως είδος είναι εξαιρετικά επιθετικό και χωροκατακτητικό, μπορεί να κυριαρχήσει στα άλλα φυτά των υγροβιότοπων πλήττοντας και μεταβάλλοντας την τοπική χλωρίδα και πανίδα. (Bansal, και συν., 2019)

Θεωρούνται ιδανικά για το φιλτράρισμα των απορροών, γιατί κατακρατούν τα ιζήματα, τα υπολείμματα των λιπασμάτων και τα βαρέα μέταλλα, αμβλύνοντας τα αρνητικές τους επιπτώσεις στο περιβάλλον.

## 2.6 Βλάστηση

Η τύφα θεωρείται αποκλειστικά φυτό υγροτόπων και αδυνατεί να επιβιώσει χωρίς νερό. Φύεται σε λίμνες, έλη, ποτάμια και λασπώδεις περιοχές και είναι ανεκτική στις

χαμηλές πλημμύρες έως 1 μέτρο. Παρατεταμένη πλημμύρα όμως εξασθενεί το φυτό και συντελεί στην εξάλειψή του.



Εικ 10 Βιογεωχημικές διεργασίες τύφα: (α) Ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών και (β) ανακύκλωση άνθρακα (Bansal, και συν., 2019)

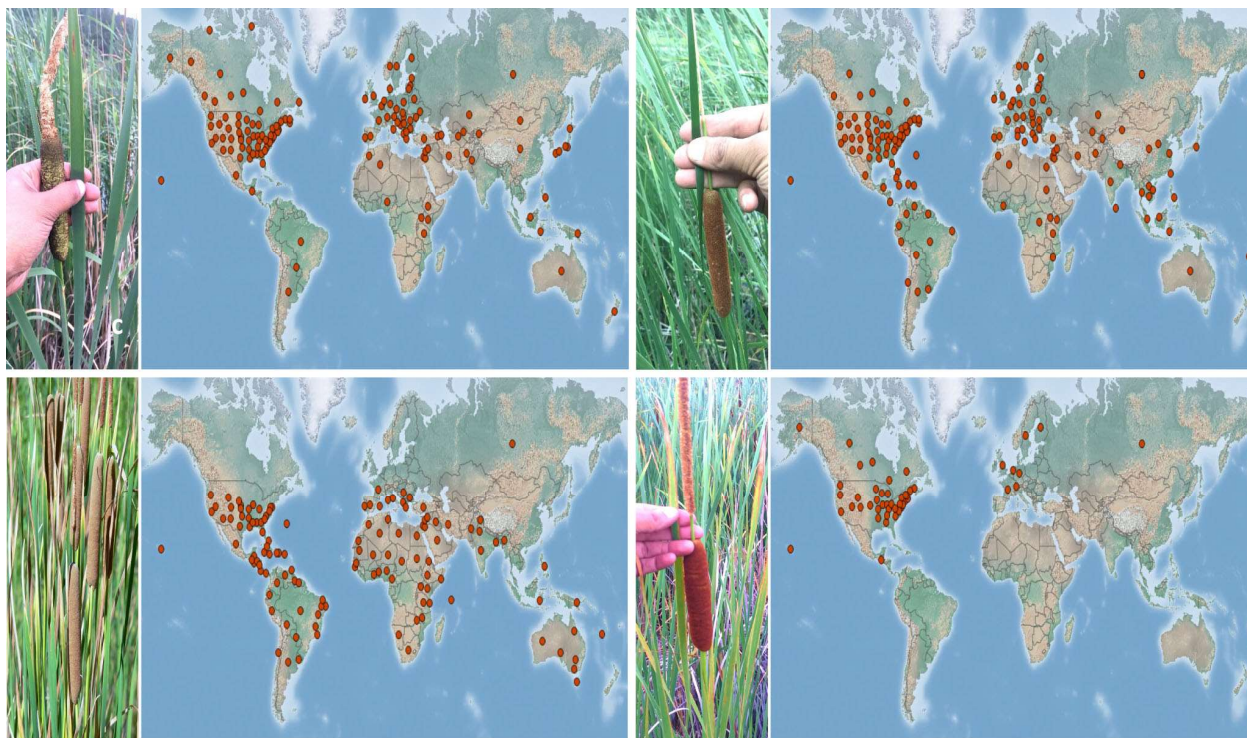
Η ανάπτυξη του φυτού επηρεάζεται σημαντικά από τη χημική σύσταση του νερού και της λάσπης. Το άζωτο (N) και ο φώσφορος (P), που βρίσκονται άφθονα στα λήμματα ή στις απορροές αγροτικών λιπασμάτων, συντελούν δραστικά στην επιθετική ανάπτυξη του φυτού, ενώ τα βαρέα μέταλλα (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb και Zn), που συγκεντρώνονται στα μολυσμένα εδάφη, δεν αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα γι' αυτήν. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση μολυσμένων περιοχών. (Manios, Stentiford, & Millner, 2003) (Bansal, και συν., 2019)

## 2.7 Γεωγραφική διασπορά

Δύο είναι οι βασικοί παράγοντες που συνετέλεσαν στην εξάπλωση του φυτού σ' ολόκληρο τον πλανήτη, με αποτέλεσμα θετικές και αρνητικές συνέπειες, για την κατά τόπους χλωρίδα και πανίδα.

- Οι ανθρωπογενείς περιβαλλοντικές μεταβολές, όπως η μεταβολή υδρολογικών δεδομένων και η αύξηση των θρεπτικών συστατικών σε υγροτόπους και
- Η υβριδίσωση και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του είδους, όπως η γρήγορη ανάπτυξη, η ανθεκτικότητα και η επιθετική επέκταση. (Bansal, και συν., 2019)

Η τύφα φύεται παντού στον κόσμο εκτός από την Ανταρκτική.



Εικ 11 Τα κυρίαρχα είδη τύφα στη Βόρεια Αμερική, στις θέσεις (κόκκινες κουκίδες) όπου έχουν ταυτοποιηθεί τα a: *T. latifolia*, b: *T. angustifolia*, c: *T. domingensis* και d: *T. x glauca*. Παραπλεύρως η διαφοροποίηση των φύλλων. (Svedarsky,2016)

Η *Typha latifolia* είναι το πιο διαδεδομένο είδος και συναντάται στο βόρειο ημισφαίριο στο εύκρατο τμήμα του και στην Αυστραλία. Το επίσης διαδεδομένο είδος *Typha angustifolia* επικρατεί στη Βόρεια Αμερική. Η *Typha domingensis* φύεται στην Νότια

Αμερική, ενώ παρουσιάζεται και στην Αυστραλία. Η *T. Orientalis* συναντάται κατά βάση στην Ασία τη Νέα Ζηλανδία και την Αυστραλία. Τέλος οι ποικιλίες *T. laxmannii*, *T. minima* και *T. shuttleworthii* εμφανίζονται κυρίως στην Ασία και τη νότια Ευρώπη. (Wikipedia)

Η *Typha angustifolia* αντίθετα δεν είναι τόσο ανθεκτική στις χαμηλές θερμοκρασίες και περιορίζεται σε μια νοτιότερη ζώνη της αμερικανικής ηπείρου, ενώ η ταυτοποίησή της ως προς το αν αποτελεί φυσικό ή εισαγόμενο είδος, παραμένει ασαφής. (Bansal, και συν., 2019)

## 2.8 Προέλευση

Η τύφα είναι ένα αρχαίο γένος με την προέλευσή της να χρονολογείται τουλάχιστον μέχρι το μέσο της Eocene (Ηώκαινος) γεωλογικής εποχής 56 με 34 εκατομμύρια χρόνια πριν (39 Mya) στην ανατολική Ευρασία. (Bansal, etal., 2019) (Zhou, Tu, Kong, Wen, & Xu, 2018)

Τα πρώτα απολιθώματα της τύφα που βρέθηκαν, ήταν σπόροι της *T. Ochraceae* (βιβλιογραφία βακτηρίων των Knobloch και Mai) καθώς και της *T. protogaea* (Knobloch και Mai) από την ύστερη Κρητιδική (Maastrichtian) γεωλογική περίοδο του μεσοζωικού αιώνα, 145 εκατομμύρια χρόνια πριν, στο Eisleben της Γερμανίας

Το παλαιότερο απολιθωμένο στοιχείο του *Sparganium* L προέρχεται από τα τέλη της Κρητιδικής περιόδου (Maastrichtian) στην Αλμπέρτα του Καναδά. Στην Κίνα, τα παλαιότερα ευρήματα που αποδίδονται στο γένος *Typhaceae*, ήταν κόκκοι γύρης, που βρέθηκαν στα ιζήματα της πρώτης περιόδου Maastrichtian (Senonian) έως την Paleocene περίοδο. Τόσο η τύφα όσο και η *Sparganium* έχουν εκτεταμένα και διακριτά στοιχεία απολιθωμάτων της Παλαιογενούς (Paleogene) περιόδου.

Από τα τεκμηριωμένα παλαιοβοτανικά αρχεία και τα απολιθωμένα ευρήματα του φυτού, προκύπτουν πληροφορίες για τη βαθμονόμηση σε μοριακές χρονολογίες και σκιαγραφείται η βιογεωγραφική ιστορία του. (Zhou, Tu, Kong, Wen, & Xu, 2018)

### 2.9 Ιστορική βιογεωγραφία.

Η Ανατολική Ευρασία θεωρείται η προγονική περιοχή του γένους τύφα και από εκεί διασκορπίστηκε στην Ασία και την Αυστραλία.

Οι γεωγραφικές περιοχές παγκόσμιας διανομής του φυτού όπως καθορίστηκαν σύμφωνα με το Μορς 56 είναι: (Α) Βόρεια Αμερική, (Β) Ινδο-Ειρηνικός, (Γ) Δυτική Ευρασία, (Δ) Ανατολική Ευρασία, (Ε) Νότια Αμερική και (Ζ) Αυστραλία. (Zhou, Tu, Kong, Wen, & Xu, 2018)

### 2.10 Διαχείριση

Ο καλύτερος τρόπος για να διαχειριστεί κάποιος ένα είδος, είναι η διερεύνηση του κύκλου ζωής του, αναζητώντας ένα τρωτό σημείο ή ένα φυσιολογικό στάδιο, ώστε συνδυάζοντάς το με καθορισμένες τεχνικές ελέγχου, να αποφέρει το σχετικό αποτέλεσμα, με τη μικρότερη δαπάνη και τοπική διαταραχή. (Svedarsky, 2016)

Για τον έλεγχο της επεμβασιμότητας και επεκτασιμότητας του φυτού, χρησιμοποιούνται φυσικές, χημικές και υδρολογικές μέθοδοι. Όμως η μεμονωμένη χρήση κάθε μεθόδου, αποδίδει πενιχρά και χωρίς διάρκεια αποτελέσματα. Αντίθετα η τακτική, κυκλική επανάληψη διαφορετικών μεθόδων, συνδυασμένη με τον ετήσιο κύκλο ανάπτυξης της τύφα, μπορεί να οδηγήσει στον έλεγχο του φυτού και να αποδώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα. (Bansal, και συν., 2019)

Η τύφα δεν καταφέρνει να επιβιώσει σε νερά με βάθος μεγαλύτερο του ενός μέτρου χωρίς ωστόσο να αντέχει και την ξηρασία. Στα δύο αυτά χαρακτηριστικά βασίζεται η



προσπάθεια διαχείρισης και ελέγχου της, με τη χρήση της υπερχείλισης των υδάτων ή της αποξήρανσης του εδάφους. Η μέθοδος αποδίδει καλύτερα αποτελέσματα, όταν συνδυάζεται με το κάψιμο ή το κούρεμα των βλαστών.

Στο τέλος της Άνοιξης, μόλις αρχίσουν να φαίνονται τα καινούργια βλαστάρια, το φυτό έχει εξαντλήσει τα ενεργειακά αποθέματά του και οι υδατάνθρακες είναι στο χαμηλότερο επίπεδο. (Linde, Janish, & Smith, 1976) Από πλευράς ελέγχου της επέκτασης και επικράτησης της τύφα, αυτή θεωρείται η πλέον κατάλληλη περίοδος, γιατί το κόψιμο των στελεχών δεν θα επιτρέψει την παραγωγή νέων σπόρων και περιορίζει τη συγκέντρωση υδατανθράκων στις ρίζες. Ο συνδυασμός του καλοκαιρινού κουρέματος με πλημμύρα την επόμενη άνοιξη, εξασθενεί το φυτό και περιορίζει την επικράτησή του. Η μέθοδος αυτή αντιμετωπίζει σημαντικές δυσκολίες εφαρμογής, όταν η στάθμη των νερών είναι υψηλή και έχουν βρει καταφύγιο στους τυφώνες άγρια ζώα. (Bansal, και συν., 2019)



Εικ 12 Ελεγχόμενη καύση τύφα

Η ελεγχόμενη καύση αποτελεί μια γενικά χρησιμοποιούμενη τεχνική για επιθετικά φυτά όπως η τύφα.

Τα ζιζανιοκτόνα είναι η χημική εκδοχή του ελέγχου του φυτού. (Svedarsky, 2016). Η αποτελεσματικότητά τους είναι χαμηλή γενικά, ενώ υφίστανται ενδείξεις για τη συνεργιστική δράση ελέγχου, μέσω της κοπής και της παράλληλης χημικής επέμβασης. (Kanatas, 2019) Η βόσκηση, το κούρεμα, η απόξεση ή η σύνθλιψη αποτελούν περιστασιακή αντιμετώπιση και δεν δίνουν ουσιαστικά αποτελέσματα. (Bansal, και συν., 2019)

Η περίπτωση των τύφα επιβεβαιώνει ότι η διαχείριση επιβλαβών, επεμβατικών φυτών σε βάθος χρόνου, απαιτεί τη συνδρομή πολλών ελέγχων, εκ παραλλήλου με τις μεθόδους και τις αγρονομικές πρακτικές, προκειμένου να αποδώσει ουσιαστικά αποτελέσματα. Θεωρείται βασικό και είναι ουσιαστικό για την πρόληψη της εγκατάστασης και της εξάπλωσης βλαβερών ζιζανίων, η ενσωμάτωση στρατηγικών διαχείρισης. (Kanatas, 2019)

### 2.11 Συγκομιδή

Προτείνεται η συγκομιδή για συνδυασμένη χρήση σε δέσμευση θρεπτικών ουσιών, παραγωγή βιοενέργειας και βιοϋλικών, αποτελεσματική διαχείριση και έλεγχο υγρατόπων. Ταυτόχρονα θα πρέπει να διερευνηθούν οι επιπτώσεις της συγκομιδής αυτής στη φυτική παραγωγή. Ο χειμώνας και η αρχή της άνοιξης αποτελούν μια καλή περίοδο για συγκομιδή πολλαπλών οφελών:

- Η διεθνής ανησυχία για την υπερθέρμανση του πλανήτη, μπορεί να μετριαστεί μέσω της βιομάζας φυτικής προέλευσης, για την παραγωγή καθαρότερης ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα με τη χρήση σύγχρονων αποδοτικών τεχνολογιών μετατροπής.
- Η φυτική βιομάζα αποτελεί πολύτιμο ανανεώσιμο πόρο. Στη βιοενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη πηγή καυσίμων. Ως βιοϋλικό είναι σημαντική στην παραγωγή τελικών προϊόντων υψηλής αξίας, αν και η κατεύθυνση αυτή δεν έχει διερευνηθεί αρκετά.

- Η συγκομιδή της τύφα έχει πολλά να προσφέρει επίσης στη ανάκτηση αποθηκευμένων θρεπτικών υλικών

Ωστόσο η αξία της βιολογικής συγκομιδής χρήζει περαιτέρω διερεύνησης τόσο για τα οφέλη όσο και για το μετριασμό των επιπτώσεων. (Grosshans R. , 2014)

## 2.12 Πλεονεκτήματα εκμετάλλευσης

Η εκμετάλλευση του φυτού παρουσιάζει αρκετά και σημαντικά πλεονεκτήματα, ενώ μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα πολλαπλές επιλογές αποδοτικής χρησιμοποίησής του.

Τα πλεονεκτήματα της τύφα αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος, την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, την ενίσχυση της οικονομίας και τη χρήση του ως εν δυνάμει μελλοντικό εναλλακτικό προϊόν.

Οι τύφα :

- Ενδυναμώνουν την άγρια πανίδα και χλωρίδα των βιοτόπων, μέσω της βελτίωσης της ποιότητας των νερών και της επαναφοράς των θρεπτικών ουσιών.
- Αναπτύσσονται σε υγροτόπους και δεν ανταγωνίζονται την καλλιεργήσιμη γη και τα δάση.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσής τους για τον καθαρισμό των λυμάτων από τα άζωτο το φώσφορο και απόβλητα καθώς χρησιμοποιούν τις ρυπογόνους ουσίες ως θρεπτικά συστατικά.
- Η εκμετάλλευσή τους ενισχύει την τοπική αγροτική οικονομία και τη γεωργία επιβίωσης.
- Αποτελούν έναν ανανεώσιμο κάθε χρόνο πόρο, συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα που απαιτούν χιλιάδες χρόνια για να δημιουργηθούν.

- Ανακυκλώνουν την θερμότητα της γης και δεν αυξάνουν το διοξείδιο του άνθρακα, σε αντίθεση με την πυρηνική ενέργεια και τα ορυκτά καύσιμα.
- Η συγκομιδή τους επιτρέπει τη διατήρηση της άγριας πανίδας και δεν απαιτούν επαναφύτευση.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμη ύλη και να αποφέρουν οφέλη από τη συνακόλουθη οικονομική δραστηριότητα.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια σειρά παραδοσιακές χρήσεις οικιακής και αγροτικής οικονομίας αλλά και ως εναλλακτικό βιομηχανικό προϊόν. (Bansal, και συν., 2019)

### 2.13 Προβλήματα υγροβιότοπων

Η ανεξέλεγκτη επέκταση της τύφα συνδέεται με ένα ευρύ φάσμα αρνητικών οικολογικών επιπτώσεων για τους υγροβιότοπους και τη γεωργία. Στην πράξη εφαρμόζονται διάφοροι τρόποι για τον περιορισμό τους οι οποίοι είναι αρκετά δύσκολο να επιτύχουν, ενώ αναδεικνύουν μια νέα σειρά προβλημάτων.

- Οι πάπιες είναι ένα είδος που αρέσκεται να ζει σε ημιβαλτώδεις περιοχές, γιατί χρησιμοποιούν τα ανοίγματα στο νερό για να κολυμπούν. Η μείωση της πυκνότητας των υγροβιότοπων, τους δίνει τη δυνατότητα να αναπαραχθούν ευκολότερα, γεγονός που προξενεί αυξημένα προβλήματα στις καλλιέργειες. Προβληματική για τις καλλιέργειες είναι επίσης η παρουσία μεγάλου αριθμού μικρών πτηνών όπως τα μαυροπούλια ( *Agelaius phoeniceus*) [*Xanthocephalus xanthocephalus*] [*Quiscalus quiscula*]
- Η συγκομιδή της τύφα για βιοενέργεια, θα μπορούσε να συνδυαστεί με τη δημιουργία συνθηκών στις βαλτώδεις περιοχές, που θα μειώνουν τους πληθυσμούς των καταστρεπτικών για τις καλλιέργειες πουλιών. (Svedarsky, 2016)

- Η εγκατάσταση τύφα χρησιμοποιείται συχνά για την απονίτρωση του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας του νερού σε επιβαρυμένες περιοχές. Η εφαρμογή της πρακτικής αυτής απαιτείται να συνυπολογίζει τις αντίστοιχες επιπτώσεις στο οικοσύστημα.
- Η αθρόα ανάπτυξη του φυτού στις λίμνες και στις ελώδεις περιοχές, λειτουργεί ανταγωνιστικά με άλλες υδροαπαιτητικές ή υποβρύχιες καλλιέργειες, όπως είναι το ρύζι, το νεροκάστανο ή το taro, επιφέροντας αρνητικές συνέπειες στην αντίστοιχη γεωργική παραγωγή.
- Οι ρίζες του φυτού λειτουργούν ως φυσικό εμπόδιο στη ροή των υδάτων, γεγονός που μπορεί να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στις αρδευόμενες περιοχές.
- Κατά τη χειμερινή περίοδο μπορεί να καθυστερήσει το λιώσιμο του χιονιού και κατά συνέπεια να εμποδίσει τις γεωργικές καλλιέργειες. Αυτός είναι και ο λόγος, που οι αγρότες συχνά καίνε τα φυτά το φθινόπωρο ή στις αρχές του χειμώνα. (Renton, Mushet, & DeKeyser, 2015)
- Παρά το ότι γενικά είναι βρώσιμο φυτό, η περιεκτικότητά του σε θρεπτικά στοιχεία είναι χαμηλή καθώς επίσης χαμηλή είναι και η γευστικότητά του. Εξαιτίας αυτού και επειδή αποδίδει χαμηλής ποιότητας ζωοτροφή μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την κτηνοτροφία. (Bansal, και συν., 2019)

### 2.15 Χημικές ιδιότητες

Από τα μέταλλα που ανιχνεύονται στην τύφα, στα φύλλα βρίσκεται κυρίως συγκεντρωμένο το νάτριο, το ασβέστιο και το μαγγάνιο, στο μίσχο το κάλιο, ενώ στις ρίζες το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, ο σίδηρος και ο χαλκός. Τα βαρέα μέταλλα όπως το νικέλιο, ο μόλυβδος και το κάδμιο εντοπίζονται στις ρίζες του. Προφανώς, το φυτό τα

αφαιρεί από τα μολυσμένα νερά μέσα από το ριζικό του σύστημα.(Nacaroglu, Demirkiran, &Tursun, 2009)

Πίνακας3 Πίνακας θρεπτικών συστατικών τύφα

**Cattail, narrow leaf shoots**

Nutritional value per 100 g (3.5 oz)		
<b>Energy</b>	100 kJ (25 kcal)	
<b>Carbohydrates</b>	5.14 g	
Sugars	0.22 g	
Dietary fiber	4.5 g	
<b>Fat</b>	0.00 g	
<b>Protein</b>	1.18 g	
<b>Vitamins</b>	<b>Quantity</b>	<b>%DV<sup>†</sup></b>
Vitamin A equiv	1 µg	0%
beta-Carotene	6 µg	0%
Thiamine (B <sub>1</sub> )	0.023 mg	2%
Riboflavin (B <sub>2</sub> )	0.025 mg	2%
Niacin (B <sub>3</sub> )	0.440 mg	3%
Pantothenic acid (B <sub>5</sub> )	0.234 mg	5%
Vitamin B <sub>6</sub>	0.123 mg	9%
Folate (B <sub>9</sub> )	3 µg	1%
Choline	23.7 mg	5%
Vitamin C	0.7 mg	1%
Vitamin K	22.8 µg	22%
<b>Minerals</b>	<b>Quantity</b>	<b>%DV<sup>†</sup></b>
Calcium	54 mg	5%
Copper	0.041 mg	2%
Iron	0.91 mg	7%
Magnesium	63 mg	18%
Manganese	0.760 mg	36%
Phosphorus	45 mg	6%
Potassium	309 mg	7%
Selenium	0.6 µg	1%
Sodium	109 mg	7%
Zinc	0.24 mg	3%
<b>Other constituents</b>	<b>Quantity</b>	
Water	92.65 g	
Units		
µg – micrograms • mg – milligrams		
IU – International units		
†Percentages are roughly approximated using US recommendations for adults.		
Source: USDA Nutrient Database <sup>23</sup>		

Στους υγροτόπους, στους βάλτους και τα έλη που αναπτύσσονται, η πρωτογενής παραγωγή των φυτών θεωρείται από τις υψηλότερες κάθε οικοσυστήματος του πλανήτη.

Η διαθεσιμότητα σε N και P αυξάνεται, μετά την εγκατάσταση της τύφα, επειδή το φυτό λειτουργεί ως μηχανισμός βιογεωχημικής ανακύκλωσης. (Bansal, και συν., 2019)

Οι φυτικές ίνες του φυτού, αποτελούνται κυρίως από κυτταρίνη σε ποσοστό 40 έως 60 %. Σε μικρότερη αναλογία περιέχονται ημικυτταρίνη, λιγνίνη, πηκτίνη και άλλα υδατοδιαλυτά υλικά όπως κεριά και τέφρα.

Η κυτταρίνη που προέρχεται από την τύφα αποτελεί μια νέα σημαντική πηγή φυτικών ινών. (Bansal, και συν., 2019)

Η τύφα παρουσιάζει υψηλό βαθμό φωτοσύνθεσης στα φύλλα και γι' αυτό οι ποσότητες του N που συγκεντρώνονται είναι υψηλές, γεγονός που συντελεί στη γρήγορη και αποδοτική ανάπτυξη.

Έχει χαμηλό S αλλά υψηλή περιεκτικότητα Ca και υψηλή αναλογία Ca:K στη βιομάζα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μειωμένη τέφρα και σκωρία κατά την καύση, να εμπλουτίζει το έδαφος με C και να αυξάνει τη γονιμότητα και τη απόδοσή του. (Ren, Eller, Lambertini, Guo, Brix, & Sorrell, 2019)

## 2.16 Οικολογικές επιπτώσεις

Η χωροκατακτητική ιδιότητα και η επεμβατική χρησιμοποίηση της τύφα επηρεάζουν συστηματικά τους υγροβιότοπους, αλλάζοντας τις επικοινωνίες μεταξύ των πουλιών και των φυτών. Στο θέμα αυτό επικεντρώνονται οι σχετικές έρευνες.



**Εικ 13 Η Τυγήα επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα μέσα και γύρω από τον υγρότοπο**

Ωστόσο για την ολοκλήρωση της εικόνας, είναι απαραίτητη η μελέτη για τις επιπτώσεις στα ψάρια, τα αμφίβια, τα ασπόνδυλα και τους επικονιαστές. (Bansal, και συν., 2019)

## 2.17 Χρήσεις

Παραδοσιακά η οικιακή οικονομία και η γεωργία επιβίωσης, χρησιμοποίησαν το φυτό σε πολυάριθμες περιπτώσεις.

Η σύγχρονη βιομηχανία αναζητά σ' αυτό, μέσω της έρευνας, εναλλακτικές λύσεις για βιοενέργεια, μορισανίδες και μονωτικά υλικά.

Η οικολογική συνείδηση των ανθρώπων προσβλέπει στην τύφα, για καθαρότερες επιλογές ενέργειας και περιβαλλοντική αναβάθμιση μολυσμένων περιοχών.

### 2.17.1 Οικιακές χρήσεις

Κατά τη διάρκεια της μακρόχρονης ιστορίας του φυτού, οι κατά τόπους ιθαγενείς έχουν εφεύρει ένα πλήθος χρήσεων, που αφορούν κυρίως την οικιακή οικονομία. Έτσι χρησιμοποιήθηκε για να γεμίσει από υποστρώματα και μαξιλάρια έως μοκασίνια και πάνες.



Οι βούρτσες και τα φύλλα του φυτού συγκομίζονται, ξηραίνονται και χρησιμοποιούνται για ψαθιά, παραγεμίσματα, καπέλα, τη δημιουργία πλεκτών καθισμάτων σε καρέκλες, σχοινιά, έπιπλα κ.α. Αλειμμένο με λίπος ή κεριά λειτουργεί ως φυτίλι, ενώ σκέτο λειτουργεί ως εντομοαπωθητικό. (Bansal, και συν., 2019)

Τα ριζώματα χρησιμοποιούνται για διάφορες φαρμακευτικές χρήσεις, όπως εντερικές παθήσεις, εγκαύματα κ.α.

Στη γεωργία, οι αποξηραμένοι σπόροι καταναλώνονται ως τροφή σε βοοειδή και κοτόπουλα επειδή περιέχουν λιπελαϊκό οξύ σε υψηλές ποσότητες, παρά το ότι υστερούν σε γευστικότητα, συγκριτικά με άλλες χορτονομές. Όμως απαιτείται προσοχή



Εικ 14 Τύφα σε οικιακές χρήσεις

στη χρήση του φυτού ως ζωοτροφή, επειδή τα μικροστοιχεία των βαρέων μετάλλων μπορεί έχουν τοξική επίδραση σε κάποια ζώα. (Nacaroglu, Demirkiran, & Tursun, 2009)

### 2.17.2 Μαγειρική

Αρκετά τμήματα του φυτού είναι βρώσιμα, θρεπτικά, εύγεστα και χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο στη μαγειρική.

Οι ρίζες είναι αμυλώδεις. Αυτούσιες καταναλώνονται όπως οι πατάτες. Η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες είναι συγκρίσιμη με αυτή του αραβοσίτου ή του ρυζιού, ενώ σε άμυλο με τα γεώμηλα. Η συγκομιδή τους γίνεται από τα τέλη του φθινοπώρου ως τις αρχές της άνοιξης. Το παραγόμενο αλεύρι δίνει 266 kcal /100 gr.

Το εσωτερικό τμήμα των νεαρών φυτών καταναλώνεται ωμό ή βρασμένο σαν σπαράγγι και αποτελεί αγαπημένο φαγητό των Κοζάκων της Ρωσίας γνωστό ως "Cossacka spragus".



Εικ 15 Άλευρα από διαφορετικά είδη τύφα

Τα τρυφερά τμήματα των φύλλων καταναλώνονται ωμά ή βρασμένα. Η θήκη των λουλουδιών συλλέγεται στις αρχές του καλοκαιριού και χρησιμοποιείται σαν καλαμπόκι. Η γύρη των αρσενικών λουλουδιών συλλέγεται και χρησιμεύει σαν συμπλήρωμα αλεύρου, καρύκευμα ή πυκνωτικό.

### 2.17.3 Οικοδομικά υλικά

Τα ιδιαίτερα δομικά χαρακτηριστικά του φυτού υποστηρίζουν τη παραγωγή δομικών υλικών. Ο συνδυασμός φορτίου με τις μονωτικές ιδιότητες, που παρουσιάζει η μάζα των φύλλων, προδιαγράφουν την καταλληλότητά του για τον σχεδιασμό καινοτόμων δομικών υλικών. (Kanatás, 2019)

Σήμερα χρησιμοποιείται ως θερμομονωτικό υλικό, αποτελώντας σημαντική, οργανική, εναλλακτική πρόταση στα συμβατικά μονωτικά όπως είναι ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας.

### 2.17.4 Χαρτί

Τα φύλλα και τα στελέχη του φυτού έχουν τη δυνατότητα να μετατραπούν σε χαρτί. Αλλά αφενός η παραγωγή χαρτοπολτού, παρουσιάζει δυσκολίες στον τρόπο λεύκανσης και επεξεργασίας, καθιστώντας το ακατάλληλο για την βιομηχανική παραγωγή γραφικού χαρτιού και αφετέρου η συγκομιδή των φύλλων, απαιτεί υψηλό κόστος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η χρήση αυτή να περιοριστεί μόνο στην παραγωγή διακοσμητικού χαρτιού.

### 2.17.5 Fiber - ίνα

Οι μακριές ίνες των στελεχών, μοιάζουν με γιούτα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ακατέργαστων υφασμάτων, μετά από την απαραίτητη επεξεργασία. Από τα φύλλα του φυτού, μπορούν να παραχθούν ίνες με απόδοση 30 έως 40% και οι οποίες έχουν τη δυνατότητα, να αποτελέσουν εναλλακτική λύση στη χρήση του λινού ή του βαμβακιού στα ρούχα. (Wikipedia)

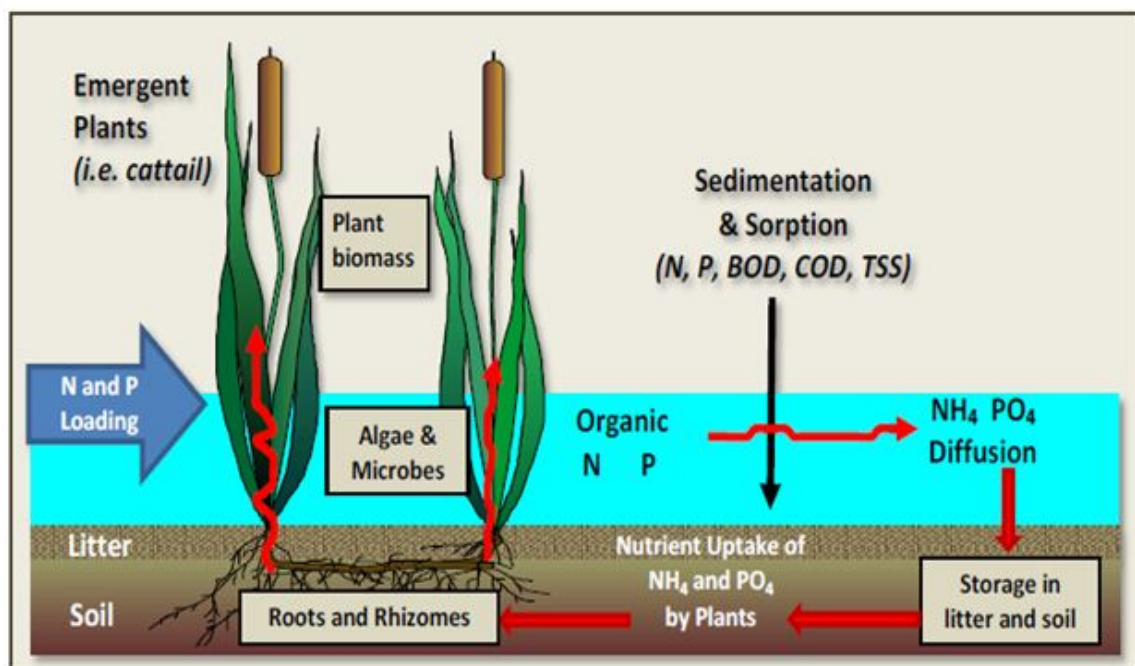
Η περιεκτικότητα των ινών σε κυτταρίνη, μπορεί να φτάσει στο 80% έναντι 90% που έχει το βαμβάκι, γεγονός που θα μπορούσε να χαρακτηρίσει τις ίνες αυτές ως υφαντικές. Η έρευνα έδειξε ότι με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να εξαχθούν

ικανοποιητικές ίνες, οι οποίες διαθέτουν κάποια ποιοτικά στοιχεία, που προσομοιάζουν αυτά του βαμβακιού, του μαλλιού ή του πολυεστέρα.

Ωστόσο θα πρέπει να αξιολογηθούν αρκετά ακόμη χαρακτηριστικά των ινών αυτών, για την κατηγορηματική κατάταξή τους ως υφαντικές. (Chakma, Cicek, & Rahman, 2017)

#### 2.17.6 Επεξεργασία λυμάτων

Η προσροφητική ικανότητα του φυτού, είναι αυτή η οποία του επιτρέπει να απορροφά το N, το P και άλλα βαρέα μέταλλα, και το καθιστά ιδανικό για την επεξεργασία λυμάτων.



Εικ 16 Υδρογεωχημεία υγροτόπων. Οι λευκές επισημασμένες περιοχές δείχνουν περιοχές αποθήκευσης θρεπτικών ουσιών σε υγρότοπο. (N = άζωτο, P = φωσφόρος, BOD = βιολογική ζήτηση οξυγόνου, TSS = ολικά αιωρούμενα στερεά) (Grosshans R. , 2014)

Η τύφα παρουσιάζει υψηλή ανθεκτικότητα στα βαρέα μέταλλα και ταυτόχρονα έχει τη δυνατότητα να τα αποθηκεύει. Η εκμετάλλευση των δύο αυτών χαρακτηριστικών της, για τα οικιακά λύματα και τα απόβλητα με χαμηλή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, θα μπορούσε να αποτελέσει το βέλτιστο συνδυασμό (Manios, Stentiford, & Millner, 2003)

Επιπλέον η επεξεργασία των αποβλήτων, απαιτεί υψηλές δαπάνες εγκατάστασης και λειτουργίας, γεγονός που καθιστά την εγκατάστασή τους σε μικρούς οικισμούς ασύμφορη. Αντίθετα η λειτουργία σηπτικών βιότοπων με την εγκατάσταση της τύφα, θα μπορούσε να αποτελέσει μια ικανοποιητική λύση. Η διαχείριση του βιότοπου μπορεί να αποφέρει τον καθαρισμό των λυμάτων και εκ παραλλήλου την συγκομιδή βιομάζας ικανής να θερμάνει ένα μέρος των κατοικιών του οικισμού, αντικαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα. (Ciria, Solano, & Soriano, 2005)

#### **2.17.7 Βιοενέργεια**

Η βιοενέργεια είναι μια πρωταρχική μορφή ενέργειας, που αξιοποιεί ανανεώσιμους πόρους, οργανικά υπολείμματα και απόβλητα και συνεισφέρει σχεδόν το 60% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας. (Bioenergy Europe, 2019) Από εμπορική πλευρά, αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. (Gravalos, et al., 2010)

Η ανάλυση της βιομάζας του φυτού έδωσε ικανοποιητική θερμαντική ικανότητα (Καθαρή θερμογόνος δύναμη (NCV) 18.117 kJ / g ), ενώ παρατηρήθηκε αυξημένη παραγωγή ενέργειας στα άνθη και στους σπόρους του, γεγονός που οφείλεται στην αυξημένη περιεκτικότητά τους σε λιπίδια. (Gravalos, και συν., 2010). Η ενέργεια που μπορούν να αποδώσουν σφαιρίδια των τύφα είναι συγκρίσιμη με τα αντίστοιχα του ξύλου στα 7.500 Btu/lb. (Grosshans R. , 2014)

Εξαιτίας της υψηλής σχετικά θερμικής του απόδοσης, μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για την παραγωγή θερμότητας (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017), ενώ οι περιοχές των τύφα θα μπορούσαν να αντιμετωπισθούν, όχι μόνο ως βιότοποι άγριας πανίδας, αλλά και σαν πηγή βιοενέργειας. (Grosshans R. , 2014)



Εικ 17 Συμπιεσμένα σφαιρίδια pellet τύφα (Grosshans R. , 2014)

Η υψηλή περιεκτικότητα της τύφα σε άμυλο, δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αιθανόλης.

Δεδομένου του έντονου προβληματισμού τα τελευταία χρόνια, σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την απεξάρτηση από τη χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έχει παρατηρηθεί μια στροφή προς καθαρές μορφές ενέργειας. Η φυτική βιομάζα που συλλέγεται αντιπροσωπεύει μια πολύτιμη, ανανεώσιμη, βιώσιμη, πρώτη ύλη για την παραγωγή καθαρότερης ενέργειας με μειωμένους ρύπους και η συλλογή της βιομάζας τύφα, έχει αξιολογηθεί ως βιοενέργεια. (Grosshans R. , 2014) Καλλιέργεια βιοενέργειας θεωρείται επίσης, για το λόγο ότι παρουσιάζει υψηλή παραγωγικότητα σε βόρειο γεωγραφικό πλάτος.

Η επιβολή περιορισμού στην άντληση πετρελαίου εκ μέρους των αραβικών κρατών, προκάλεσε μια στροφή στη χρήση υποκατάστατων ενέργειας, για την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Στις ΗΠΑ, λόγω της ύπαρξης μεγάλων εκτάσεων τύφα, η βιομάζα χρησιμοποιήθηκε ως ικανοποιητική εναλλακτική πρόταση. Όμως μετά τη λήξη του περιορισμού, επέστρεψαν στα ορυκτά καύσιμα και η ιδέα της βιομάζας υποβαθμίστηκε. Αντίθετα στη Ευρώπη συνεχίστηκε ο προβληματισμός για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ήδη σημαντικές ποσότητες βιομάζας εισάγονται στις ευρωπαϊκές χώρες από τις ΗΠΑ. (Bansal, και συν., 2019)

Τα συστήματα βιοενέργειας μικρής κλίμακας, απαιτούν γενικά χαμηλές επενδύσεις και ως εκ τούτου, είναι αναμενόμενο να αναπτυχθούν και να εξελιχθούν περαιτέρω, με γρήγορους ρυθμούς (Gravalos, και συν., 2010)

#### 2.17.8 Μοριοσανίδες

Το ξύλο αποτελούσε ανέκαθεν, την πρώτη ύλη για την κατασκευή μοριοσανίδων μέσης και υψηλής πυκνότητας. Η αναζήτηση εναλλακτικών υλικών κυτταρίνης, έχει οδηγήσει τις βιομηχανίες σε στροφή για τη χρήση των γεωργικών υπολειμμάτων, αντί του ξύλου στον τομέα αυτό, κατευθύνοντας τις έρευνες προς αυτή την κατεύθυνση.

Μια πρόσφατη μελέτη στο θέμα έδειξε ότι ένα μίγμα 75% ίνες τύφα και 25% άχυρο σίτου, εμφάνιζαν ανώτερες μέσες μηχανικές ιδιότητες, για πρακτική εφαρμογή στις μοριοσανίδες. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι οι τύφα μπορούν να αποτελέσουν ικανοποιητική εναλλακτική πρόταση, συμβάλλοντας εκ παραλλήλου στον έλεγχο των υγρασιών. (Bajwa, Sitz, Bajwa, & Barnick, 2015)

#### 2.17.9 Μονωτικά υλικά

Οι μονωτικές ιδιότητες που παρουσιάζει το φυτό δίνουν έναυσμα στην έρευνα για τη δημιουργία μονωτικών πλακών και βιοσυγκολλητικών υλικών. (Bansal, και συν., 2019)

Η έρευνα για παραγωγή μονωτικών πάνελ με τη χρήση φύλλων του φυτού και μαγνησίτη παρουσιάζει εξαιρετικά πλεονεκτήματα, όπως την υψηλή αντοχή, τη μονωτική ικανότητα, τη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, τη χαμηλή ευαισθησία στην ανάπτυξη μούχλας, την πυροπροστασία, την ηχομόνωση, την εύκολη παραγωγή και την ανακυκλωσιμότητα. (Krus, Theuerkorn, Grobkinsky, & Künzel, 2014)

#### 2.17.10 Άλλες χρήσεις

Η τύφα αποτελεί την πιο πρόσφορη λύση σε προβλήματα που έχουν να κάνουν με την καλλωπιστική διαμόρφωση λιμνών και την οικολογική αποκατάσταση υγροτόπων καθώς και την επεξεργασία λυμάτων. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

Λόγω της πολύ καλής πλευστότητάς που παρουσιάζει, χρησιμοποιήθηκε στον Β' παγκόσμιο πόλεμο από το ναυτικό του αμερικάνικου στρατού, σαν υποκατάστατο του «καροκ» για τα γιλέκα ζωής και τα αεροπορικά μπουφάν.

Στο Περού και τη Βολιβία οι φυλές γύρω από τη λίμνη Titicaca, κατασκεύαζαν σχεδίες και μικρά σκάφη από τα στελέχη του φυτού.

Στην παραδοσιακή φαρμακευτική χρησιμοποιείται ως διουρητικό, ως αλοιφή για πληγές, εγκαύματα, ψώρα και άλλες δερματικές παθήσεις. (Wikipedia)

Το αποξηραμένο φυτό χρησιμοποιείται ως διακοσμητικό.

Η δυνατότητα της τύφα να καλύπτει μεγάλες εκτάσεις με χαμηλό κόστος, τη μετατρέπει σε ακατέργαστο δυναμικό για την παραγωγή ενεργού προσροφητικού άνθρακα. (Ren, Zhang, Li, & Zhang, 2011) (Anisuzzaman, Joseph, Daud, Krishnaiah, & Yee, 2015)

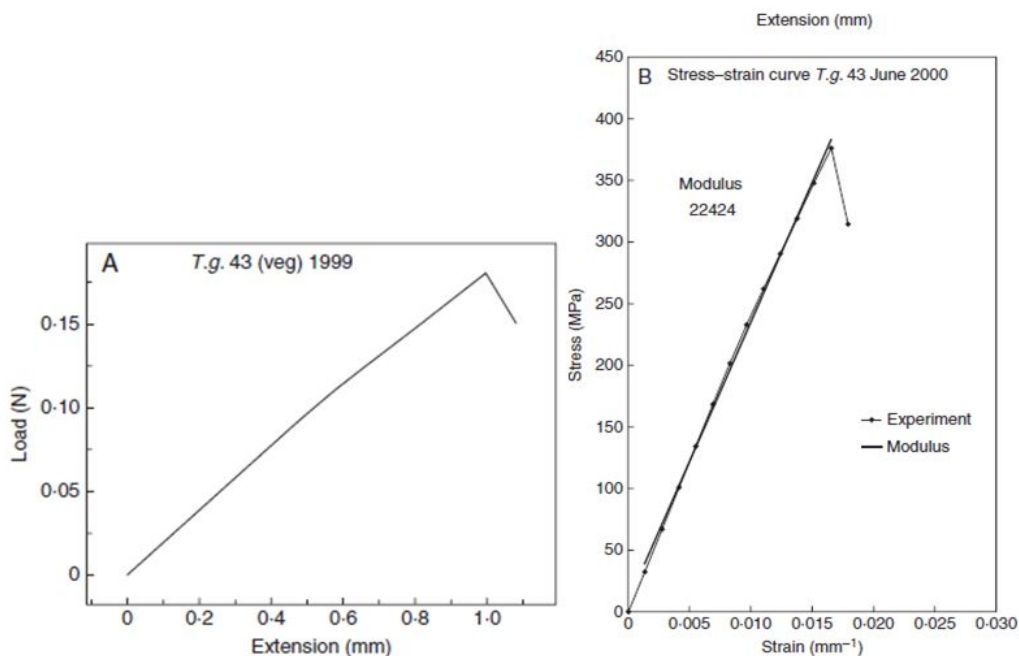
Οι τύφα μπορούν χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή αιθανόλης. Η γύρις του φυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τροφή για τροφικά έντομα και ακάρεα, ενώ επειδή είναι



πολύ εύφλεκτη χρησιμοποιείται σαν προσάναμμα ή για πυροτεχνήματα. (New World Encyclopedia).

## 2.18 Μηχανικές ιδιότητες

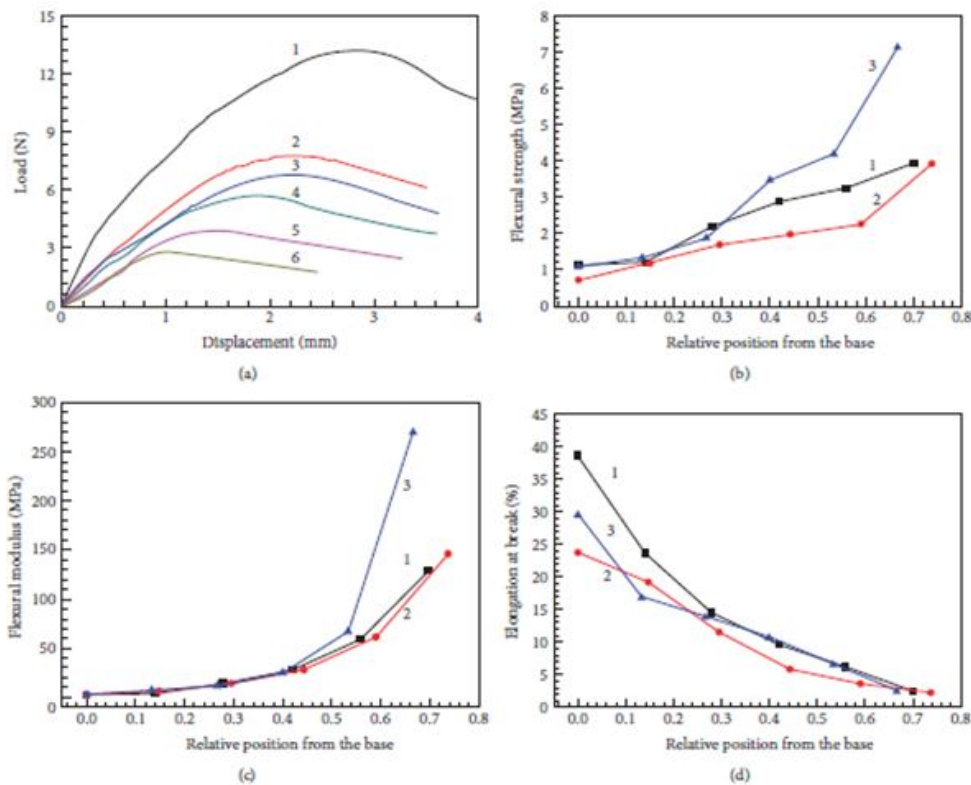
Η κάθετη ανάπτυξη των φύλλων της τύφα εξασφαλίζεται από εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, που την προστατεύουν από τη δύναμη της βαρύτητας, του ανέμου και της βροχής. Τα φύλλα των τύφα προσομοιάζουν με ελαφρά, επιμήκη, ευλύγιστη δοκό.



Εικ 18 Μηχανικές ιδιότητες ινών προσδιορισμένες με Instron. (A) Αντιπροσωπευτική καμπύλη φορτίου έναντι επιμήκυνσης για καλώδιο ινών *T. x glauca* (B) Αντιπροσωπευτική καμπύλη στρες έναντι τάσης για καλώδιο ινών *T. x glauca* σε διατομή του καλωδίου. (Witztum & Wayne, 2014)

Οι ιδιότητες κάμψης του φύλλου τύφα επηρεάζονται από παράγοντες, όπως το επίπεδο ανάπτυξης του επιδερμικού ιστού, την αγγειακή δέσμη, το μηχανικό ιστό, το σχήμα και το μέγεθος της διατομής του φύλλου. Το φορτίο κάμψης και η ροπή κάμψης στο φύλλο, παρουσιάζει μειούμενη τάση από τη βάση ως την κορυφή των φύλλων.

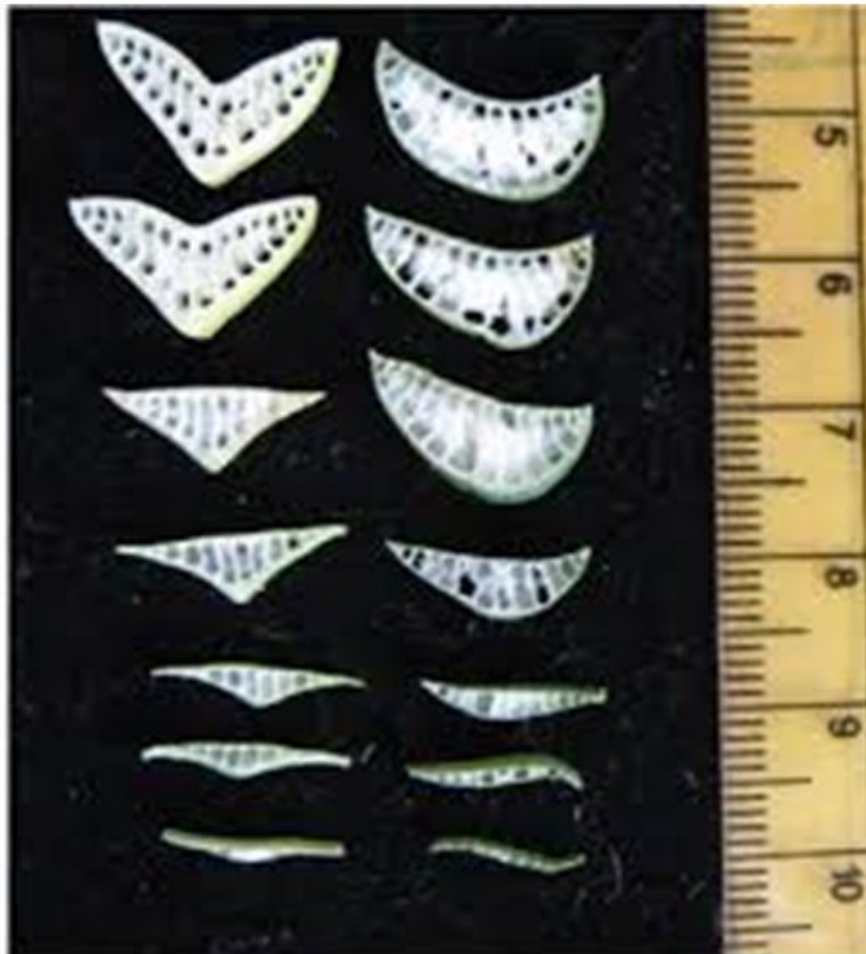
Ωστόσο, τόσο η δύναμη κάμψης όσο και ο συντελεστής κάμψης αυξάνει σημαντικά από τη βάση στην κορυφή. (Εικ 18) (Witztum & Wayne, 2014) (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)



Εικ 19 Ιδιότητες κάμψης φύλλων τύφα. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

Στην Εικ 19 σχήμα (a) απεικονίζονται έξι καμπύλες μετατόπισης δύναμης του φύλλου τύφα σε δοκιμή κάμψης τριών σημείων, όπου οι αριθμοί 1-6 είναι οι έξι θέσεις από τη βάση στην κορυφή. Στα σχήματα (b) και (c) φαίνεται ότι η αντοχή στην κάμψη και ο συντελεστής κάμψης αυξάνονται σιγά από τη βάση έως τη μέση των φύλλων ενώ από το μέσο ως την κορυφή η αύξηση ακολουθεί εντονότερο ρυθμό. Στο σχήμα (d) παρουσιάζεται η επιμήκυνση στη θραύση, η οποία στη βάση είναι πολύ μεγαλύτερη (38,62%), από ότι στην κορυφή (2,21%).








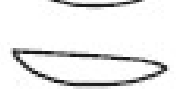
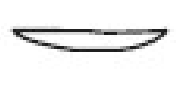

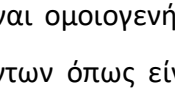
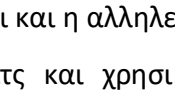
Οι τιμές για την δύναμη κάμψης των φύλλων τύφα κυμαίνονται από 0.71MPa έως 7.12MPa και για το μέτρο κάμψης από 2.16MPa έως 269,73 MPa. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)



Εικ 20 Η μεταβολή της διατομής του φύλλου από κοίλο σε αμφίκυρτο

Η διατομή του φύλλου μεταβάλλεται, από μισοφέγγαρο σε λιγότερο κοίλο σχήμα και το φύλλο τελικά είναι αμφίκυρτο στο απομακρυσμένο τμήμα του (Εικ 20). Η υψηλή αναλογία ( $\psi/\psi_A$  ratio) του σχήματος της διατομής, αποδεικνύει ότι το φύλλο τύφα παρουσιάζει έναν αρκετά σημαντικό συντελεστή κάμψης. (Πίνακας 4) (Witztum & Wayne, 2014) (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

Πίνακας 4 Γεωμετρία διατομών των δειγμάτων φύλλων Τύφα (Jingjing, Zihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017)

Specimen number	Leaf cross section	B (mm) H (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	$\Psi_A$
1-1		15.42	83.01	0.70
		7.71		
1-2		14.88	62.95	0.73
		5.81		
1-3		14.77	49.57	0.69
		4.86		
1-4		15.13	38.06	0.63
		3.99		
1-5		14.94	27.06	0.55
		3.32		
1-6		13.76	14.14	0.70
		1.47		
2-1		14.09	81.82	0.81
		7.15		
2-2		12.99	58.31	0.75
		5.95		
2-3		13.03	40.42	0.69
		4.46		
2-4		13.91	31.52	0.69
		3.27		
2-5		13.84	22.73	0.63
		2.59		
2-6		13.69	14.10	0.57
		1.81		

Ως βιοϋλικό τα φύλλα δεν είναι ομοιογενή. Η δομική τους απόκριση προσδιορίζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων όπως είναι το υλικό των ινών, η διάταξή τους, ο τρόπος που συναρμολογούνται και η αλληλεπίδραση που έχουν μεταξύ τους .

Παρουσιάζουν δομή σάντουιτς και χρησιμοποιούν συνεχώς τη συστροφή για να αντιμετωπίσουν το λύγισμα από τους ανέμους και τις καταιγίδες. Οι λεπτές ίνες στις

κοιλότητες αέρα του φύλλου, συνιστούν μια tensegrity δομή τεσσάρων διαδοχικών επιπέδων, η οποία ανακατανέμει τις τάσεις σε όλο το μήκος τους και αποδεικνύεται εξαιρετικά ισχυρή ώστε να συγκρατεί τα 1 έως 3 μέτρα ύψους φύλλα, κάθετα.

Οι έρευνες για σύνθετα υλικά με ίνες τύφα είναι σχετικά πρόσφατες. Οι φυτικές ίνες χρησιμοποιούνται ενισχυτικά στα σύνθετα υλικά προκειμένου να αυξήσουν την αντοχή εφελκυσμού και την απορρόφηση ενέργειας.

Η tensegrity δομή προσδίδει στο φυτό μηχανική σταθερότητα. Τα στοιχεία αυτά θα μπορούσαν να λειτουργήσουν αποκαλυπτικά στη δημιουργία μια νέας, ελαφριάς, βιονικής, μηχανικής δομής. (Witztum&Wayne, 2014) (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

Οι εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες των φύλλων είναι απόρροια της μιας εξαιρετικής δομής και μιας ακόμη πιο εξαιρετικής μικροδομής.

## 2.19 Τρισδιάστατη μακροσκοπική μορφολογία

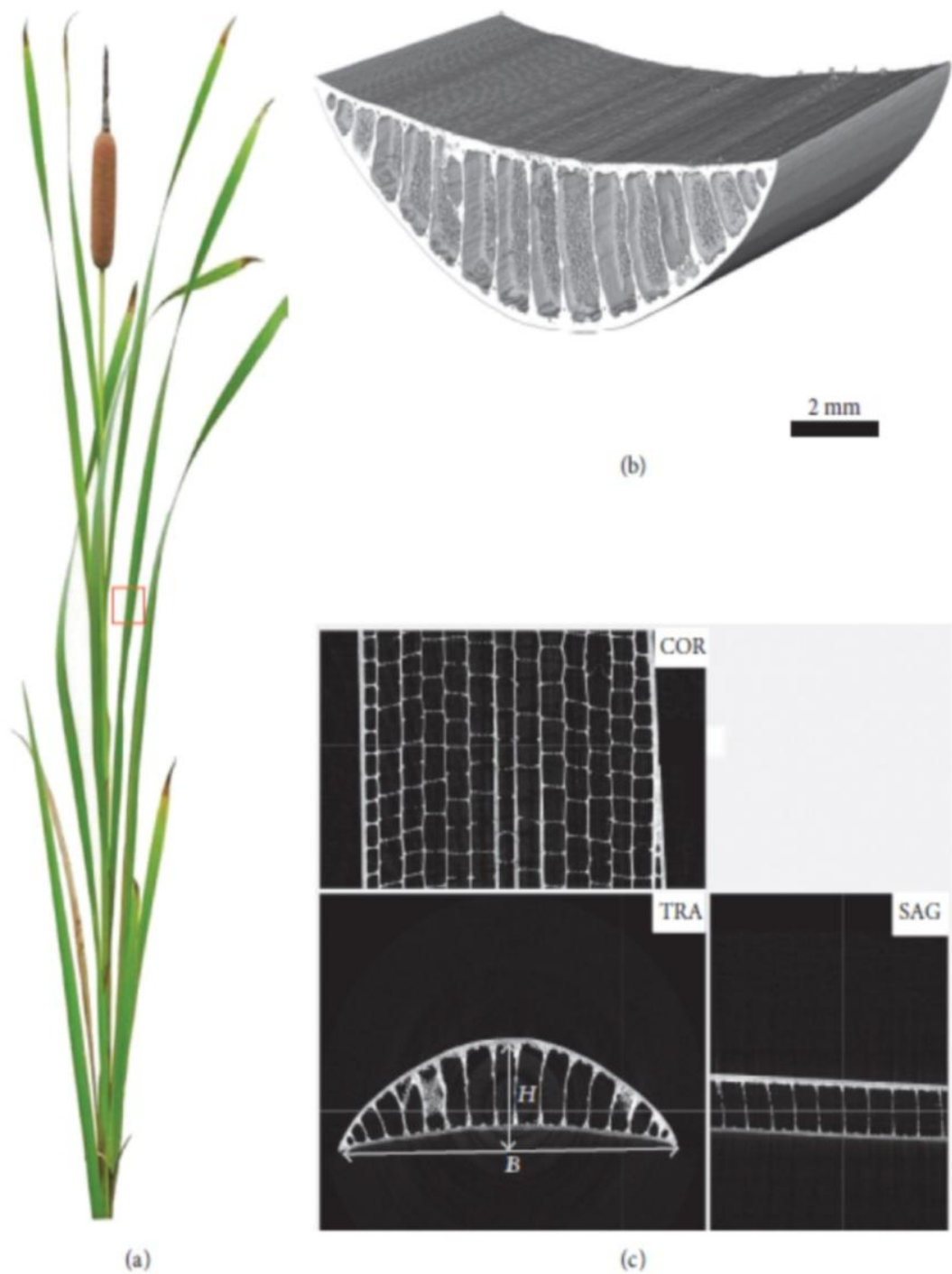
Η μορφολογική περιγραφή του φυτού σε μακροσκοπικό επίπεδο, στηρίζεται στην σύγχρονη τεχνολογία και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ενώ παράλληλα αποκαλύπτει τη λειτουργία των εξαιρετικών μηχανικών ιδιοτήτων του.

Στην Εικ 21 εμφανίζεται το φύλλο τύφα με τη χρήση CT ακτινοβολίας Synchrotron.

Το τμήμα που βρίσκεται στο μέσο ενός φύλλου και περιλαμβάνεται στο κόκκινο τετράγωνο στην (α), αναλύεται με εικόνες Micro-CT.

Συγκεκριμένα:

Το σχήμα 1 (β) δείχνει την τρισδιάστατη δομή του φύλλου. Η επιδερμίδα, το διάφραγμα και τα διαμερίσματα, δημιουργούν ένα πορώδες σύμπλεγμα και μετατρέπουν το φύλλο σε ελαφρά δοκό προβολών.

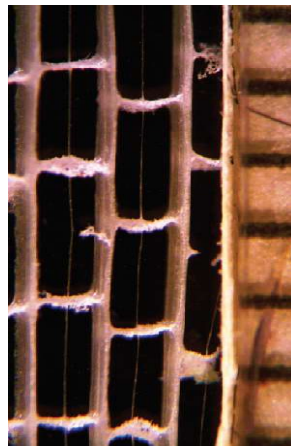


Εικ 21 (α) Το φυτό τύφα, (β) Τρισδιάστατη (3D) δομή του φύλλου, γ) Εγκάρσια τομή (TRA), Στεφανιαία τομή (COR) και Τοξοειδής τομή (SAG). (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017)

Στο σχήμα 1 (γ) παρουσιάζονται τρεις βασικές ορθογραφικές όψεις του φύλλου: Εγκάρσια τομή (TRA), στεφανιαία τομή (COR) και τοξοειδής τομή (SAG).

Το πορώδες υλικό των φύλλων ανέρχεται στο 96% και τα μετατρέπει σε ελαφριά δοκό με χαρακτηριστικά στοιχεία την υψηλή αντοχή και τη χαμηλή πυκνότητα. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

Το εγκάρσιο τμήμα (TRA), παρουσιάζει σχήμα μισοφέγγαρου, όπου Β και Η είναι το πλάτος και το πάχος της διατομής, αντίστοιχα. Οι επιφάνειες τόσο του κοίλου όσο και της ράχης διαχωρίζονται από δεκαεπτά διαμερίσματα, που συγκροτούν το aerenchyma. Τα διαμερίσματα είναι γεμάτα αέρα και έχουν τη δυνατότητα ανταλλαγής αερίων ανάμεσα στη ρίζα και στην κορυφή. Αυτός ο μετακινούμενος μεγάλος όγκος αέρα, μειώνει το βάρος των φύλλων και παράλληλα τους παρέχει πλευστότητα στην επιφάνεια του νερού.



Εικ 22 Διαμήκης τομή της λεπίδας φύλλου του *T. x glauca*(Witztum&Wayne, 2014)

Η επιφάνεια του κοίλου μέρους, της ράχης και τα διαμερίσματα αποτελούνται από δέσμες ινών και αγγείων που συντελούν στη στήριξη του φύλλου.

Η δομή του στεφανιαίου τμήματος (COR) παρουσιάζει σχήμα πλέγματος. Τα οριζόντια διαφράγματα διατάσσονται κλιμακωτά και ομοιόμορφα σε παράλληλες στήλες.

Όπως φαίνεται στο τμήμα της τοξοειδούς τομής(SAG), οι στήλες των διαφραγμάτων συνδέονται μεταξύ τους αλλά και με τις επιφάνειες της ράχης ή του κοίλου. Η διάταξη αυτή βελτιώνει την καμπτική δυνατότητα (flexural stiffness) των φύλλων.

Στην Εικ 22 παρουσιάζεται τομή κατά μήκος της λεπίδας του φύλλου *T. × glauca*. Διακρίνονται το πλέγμα των διαφραγμάτων και οι επιμήκεις ίνες, που είναι αγκιστρωμένες σ' αυτά. (Δεξιά η κλίμακα σε χιλιοστά) (Witztum & Wayne, 2014)

### **Μικροδομή**

Από την ανάλυση και παρατήρηση της μικροδομής του φύλλου τύφα προκύπτει ότι στα μορφολογικά χαρακτηριστικά του συμπεριλαμβάνονται:

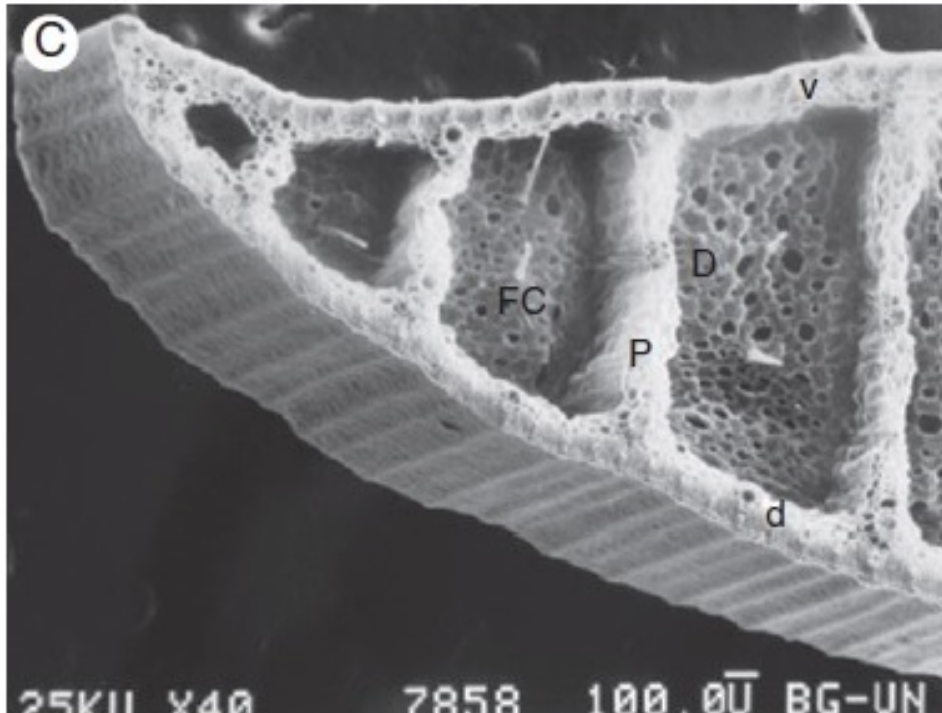
- η επιδερμίδα,
- το διάφραγμα,
- τα χωρίσματα,
- οι ίνες και
- οι αφρώδεις ιστοί

Με τη χρήση της ηλεκτρονικής σάρωσης στην Εικ 23 παρουσιάζεται μικρογραφία της διατομής φύλλου *T. Domingensis*, όπου (v) είναι η επιφάνεια του κοίλου μέρους και (d) η επιφάνεια της ράχης. Οι επιφάνειες αυτές, συνδέονται και διαχωρίζονται μεταξύ τους ταυτόχρονα, από παχιά διαχωριστικά (P) σε όλο το μήκος του φύλλου σχηματίζοντας τα διαμερίσματα. Τα διαμερίσματα με τη σειρά τους διατρέχονται κάθετα από λεπτά διαφράγματα (D). Δια μέσου των λεπτών διαφραγμάτων (D) διέρχονται πολύ λεπτές επιμήκεις ίνες (FC), οι οποίες είναι πακτωμένες πάνω σ' αυτά.

Τα διαχωριστικά (P) είναι γεμάτα νερό και είναι ισχυρά κάτω από συμπίεση. Περιέχουν ξυλώδεις δέσμες ινών (lignified fibre bundles) και ξυλώδεις αγγειακές δεσμίδες (lignified vascular bundles). Συνδέονται μεταξύ τους με τα κάθετα ευαίσθητα διαχωριστικά, που αποτελούνται από ιστούς aerenchyma. Πολύ λεπτά καλώδια ινών,



που είναι αγκυρωμένα πάνω τους, διατρέχουν τον κενό χώρο ανάμεσα στα διαχωριστικά και κάθετα προς αυτά.



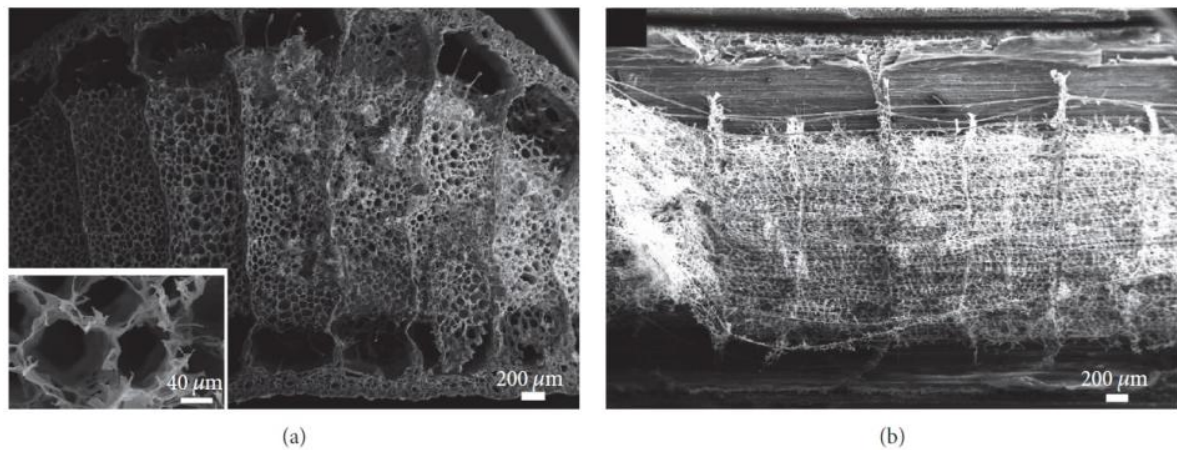
Εικ 23 Διατομή φύλλου *T. Domingensis* (Witztum & Wayne, 2014)

Τα καλώδια ινών είναι άκαμπτα κάτω από τάση και παρουσιάζονται μόνο στο κατώτερο τμήμα των φύλλων, συμβάλλοντας στην ακαμψία του, ενώ απουσιάζουν από το ανώτερο. Με τον τρόπο αυτό ενισχύουν την δυσκαμψία στα τμήματα όπου η ροπή κάμψης είναι μεγαλύτερη.

Η δομή παρουσιάζει τον εξαιρετικό συνδυασμό όπου τα παχύτερα μέρη της ράχης, του κοίλου τμήματος και των διαφραγμάτων, που είναι ισχυρά στην συμπίεση, συνδέονται μεταξύ τους με ιστούς aerenchyma και τις λεπτότατες ίνες, που είναι ισχυρές κάτω από τάση. Με τον συνδυασμό αυτό επιτυγχάνουν τη δημιουργία της tensegrity δομής. Μέσω αυτής δημιουργούνται πολλαπλές διαδρομές φορτίου, ώστε να διαμοιράζονται

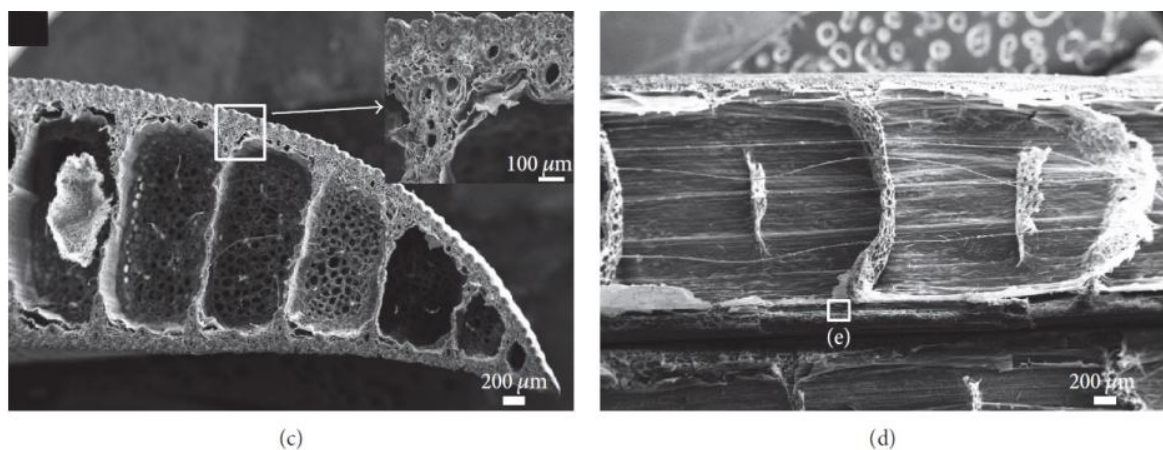
και να ανακατανέμονται οι τάσεις, με αποτέλεσμα να μην είναι αρκετά ισχυρές ώστε να επιφέρουν το λύγισμα του φύλλου.

Η μορφή αυτή της δομής, προσδίδει ομοιότητες κατασκευής σάντουιτς, παρέχοντας χαμηλή πυκνότητα στους ιστούς του φυτού. (Witztum & Wayne, 2014)



Εικ 24 (a) Διατομή και (b) μορφολογία διαμήκουσ τμήματος της βάσης του φύλλου. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

Οι εικόνες SEM 24 (a) και 24 (b) προέρχονται από τη βάση του φύλλου και παρουσιάζουν εγκάρσια και διαμήκη τομή της (Εικ 24) .

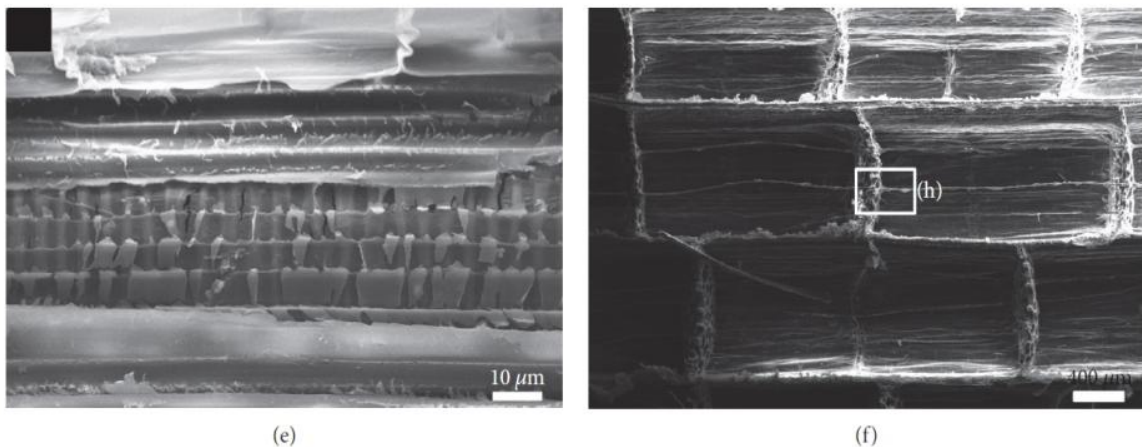


Εικ 24 Εικόνες SEM από το μέσο τμήμα του φύλλου Τύφα : (c) Διατομή και (d) μορφολογία διαμήκουσ τμήματος (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

Στις Εικ 25 (c) και (d) παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τομές στο μέσο της λεπίδας του φύλλου.

Στο τμήμα της βάσης τα μεσαία διαμερίσματα είναι γεμάτα με αφρώδεις ιστούς οι οποίοι παρουσιάζονται μειωμένοι στο μεσαίο τμήμα του φύλλου. Επίσης τα διαφράγματα είναι περισσότερα στη βάση από ότι στη μέση και λειτουργούν ως δομή προβόλου δέσμης. Η βάση του φύλλου δέχεται όλο το βάρος και παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση από ότι η κορυφή κατά την κάμψη

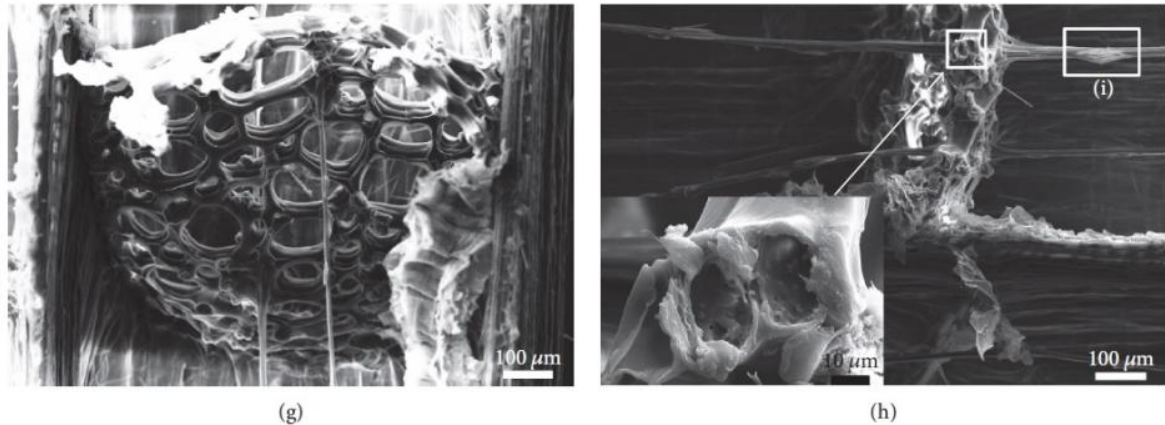
Η αυξημένη αντοχή της βάσης επιτυγχάνεται με την πάχυνση του ελαφρού πορώδους ιστού του πυρήνα, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της σταθερότητας και την αποτροπή της κάμψης κατά το λύγισμα.



Εικ 25 (e) Το επίμηκες τμήμα των αγγείων από τη μεγέθυνση του τεμαχίου(e) της εικόνας 3(d). (f)Κορωνική τομή στο μέσο του φύλλου. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

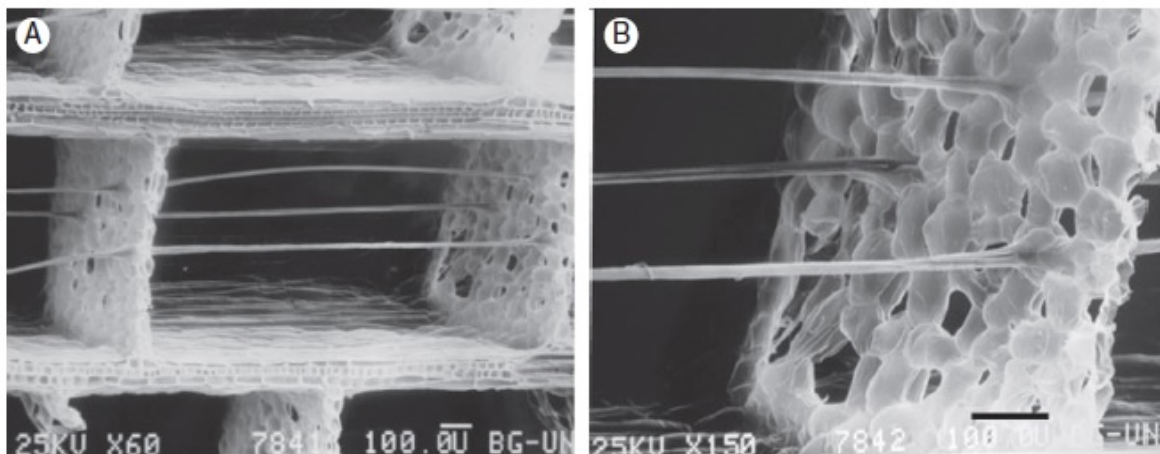
Τα φύλλα είναι άκαμπτα και για να διατηρήσουν την σταθερότητά τους όταν φυσάει ο άνεμος, διαθέτουν υποεπιδερμικά αγγεία και δέσμες ινών, που είναι κατανεμημένα στα χωρίσματα τόσο του ραχιαίου όσο και του κοίλου τμήματος της επιδερμίδας ακολουθώντας την κατεύθυνση του ύψους του φύλλου. Οι δέσμες των αγγείων είναι ίνες με μορφή ελατηρίου όπως φαίνεται στην Εικ 26 (e). Προκειμένου τα φύλλα να αντιμετωπίσουν τους ισχυρούς ανέμους, οι επιφάνειες της ράχης και του κοίλου μέρους τους, συνδέονται μεταξύ τους με την κατακόρυφη στήλη των συνεχιζόμενων

κάθετων διαμερισμάτων καθώς και μια δομή δέσμης I. Τα διαφράγματα είναι παράλληλα μεταξύ τους και διαχωρίζουν κάθετα το διαμέρισμα (Εικ 26 (f)). Η διάταξη αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των καταπονήσεων.



Εικ 26 (g) Επιμήκειες ίνες και διαφράγματα. (h) Ο ιστός του αerenchyma του διαφράγματος και κρύσταλλοι στις επιμήκειες ίνες (Λευκά τετραγωνίδια)(Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujian, & Luquan, 2017)

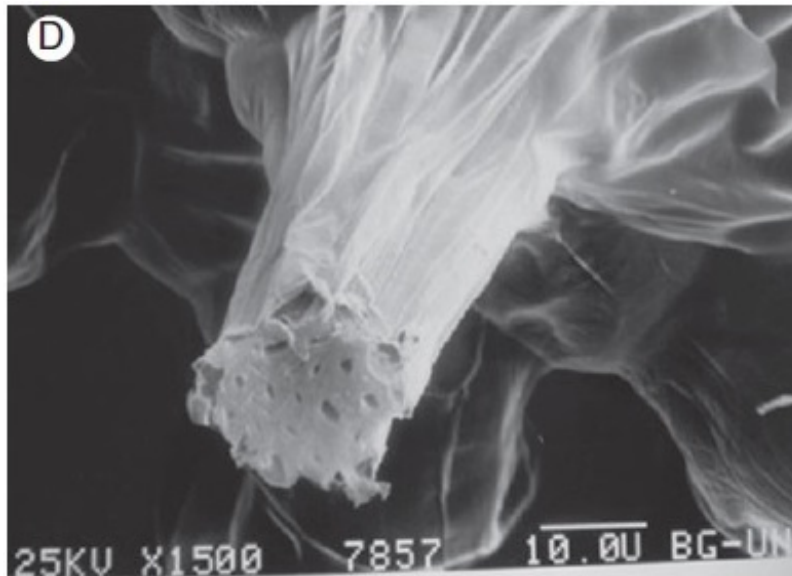
Τα διαφράγματα αποτελούνται από ιστούς αerenchyma (Εικ 27 (h)), το οποίο με τη σειρά του απαρτίζεται από δύο ή τρία στρώματα κυψελίδων με λεπτά τοιχώματα. (Εικ 27 (g)).



Εικ 27 (A) Διαμήκης τομή που δείχνει τις επιμήκειες ίνες φύλλου *T. domingensis*

(B) Σύνδεση επιμηκών ιών στον ιστό αerenchyma του διαφράγματος. (Witztum & Wayne, 2014)

Παρέχουν ακαμψία κλειστού κουτιού στο φύλλο, (Εικ 28 (A)), συντελούν στην ενίσχυση του κατά της πλευρικής διάτμησης και στη διατήρηση της καμπυλότητας της επιδερμίδας. Διασχίζονται από πολύ λεπτές ίνες, που είναι συνδεδεμένες πάνω στον ιστό *aerenchyma* (Εικ 28 (B)), μειώνουν το βάρος των φύλλων και ενισχύουν την *tensegrity* δομή τους. (Εικ 27 (h)).

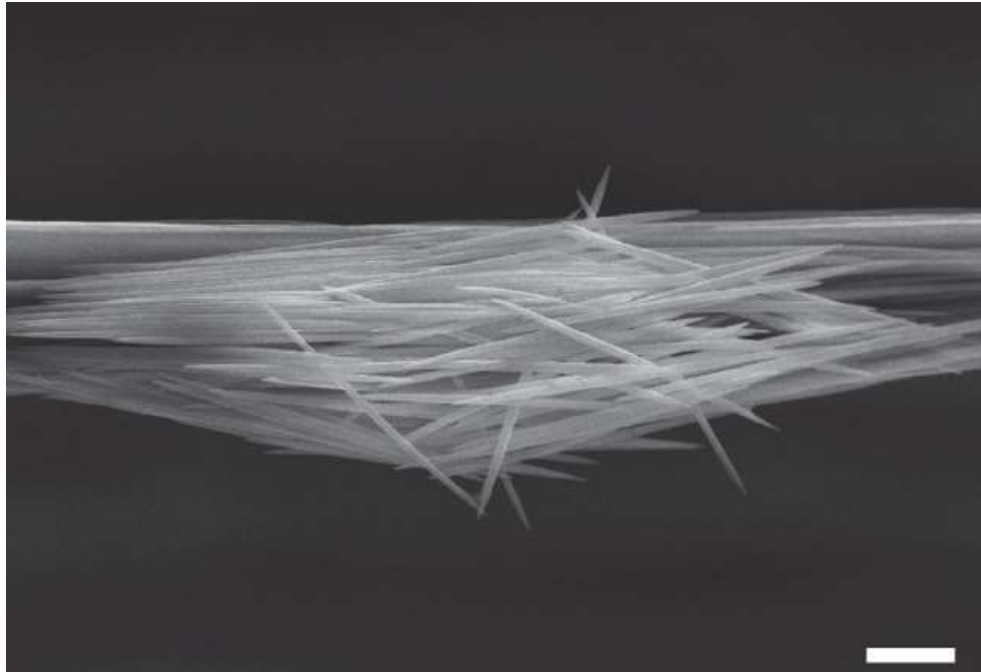


Εικ 28 Διατομή καλωδίου ινών (Witztum & Wayne, 2014)

Τα καλώδια ινών είναι δομικά στοιχεία που συμβάλουν μέσα από μια ιεραρχία 4 επιπέδων, στη δημιουργία της *tensegrity* δομής, που εξασφαλίζει τη μηχανική σταθερότητα του φύλλου. Από την παρατήρηση της διατομής ενός καλωδίου, μέσω της σάρωση ηλεκτρονικής μικρογραφίας, διαπιστώνεται ότι αποτελείται από ινώδη κύτταρα με παχύ τοίχωμα και μικρούς κυτταρικούς αυλούς. (Εικ 29) (Witztum & Wayne, 2014)

Στην εξωτερική επιφάνεια των ινών σχηματίζονται πολλοί κρύσταλλοι *Raphide* (Εικ 30 (i)). Η Εικ 30 (i) αποτελεί μεγέθυνση του αντίστοιχου λευκού παραλληλόγραμμου τμήματος (i) της Εικ 27: (h). Οι κρυσταλλικές ίνες είναι σύνθετα οξαλικού ασβεστίου.

Ο σχηματισμός τους, επηρεάζει την ισορροπία των ιόντων και την οσμωτική ρύθμιση του φύλλου. Λειτουργεί ως δομική στήριξη, συμβάλει στην αύξηση της αντοχής των ινών καθώς και της αντοχής τους σε κάμψη. Τέλος δρα αποτρεπτικά στα ζώα που αναζητούν τροφή. (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017)



Εικ 30 (i) Κρύσταλλοι Raphide (Jingjing, Zhihui, Zhenglei, Yunhong, Xiujuan, & Luquan, 2017)

Το περιφερειακό τμήμα του φύλλου είναι λεπτότερο και δεν έχει καλώδια ινών ή έχει ελάχιστα, αντιμετωπίζει τον άνεμο συστρεφόμενο και μεταβάλλοντας το σχήμα της διατομής του. Παρουσιάζει δηλαδή μια προσαρμοστικότητα στις αντίξοες συνθήκες και προφυλάσσει τα φύλλα από τις βλαβερές συνέπειες αυτών. Η χρησιμότητα των φύλλων τύφα είναι συνάρτηση της υψηλής δομικής τους ακαμψίας και της χαμηλής πυκνότητας, που προκύπτουν από την tensegrity δομή τους.

Η κατανόηση της μικρο-αρχιτεκτονικής του φυτού προσδιορίζει την πολύπλοκη σχέση ανάμεσα στη δομή και τη λειτουργία του. (Witztum & Wayne, 2014)

### 3 Οι φυτικές ίνες

Οι φυτικές ίνες που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία των σύνθετων υλικών προέρχονται από τα φύλλα, τους μίσχους, τις ρίζες, τους καρπούς και τους σπόρους φυτών, που φύονται εύκολα σε μεγάλες εκτάσεις, επεξεργάζονται οικονομικά και έχουν τις απαραίτητες μηχανικές ή χημικές ιδιότητες.

Η χημική σύνθεση καθώς και η μορφολογική μικροδομή των φυτικών ινών είναι εξαιρετικά περίπλοκη. Πρωτίστως, οι ίνες περιέχουν κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη. Το ποσοστό συμμετοχής του κάθε συστατικού στην ίνα καθορίζει και τις ιδιότητές της. (Chakma K. , 2019) Ειδικότερα η παρουσία αυξημένης κυτταρίνης συνδέεται με αυξημένες εφελκυστικές ιδιότητες, σε αντίθεση με τα μη κυτταρινικά χημικά συστατικά όπως η λιγνίνη, η πηκτίνη, η ημικυτταρίνη και ο κηρός που τις υποβαθμίζουν. (Πίνακας 6) (Fuqua, Huo, & Ulven, 2012)

Πίνακας 5 Παγκόσμια παραγωγή φυσικών ινών (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

Φυσική ίνα	Ποσότητα παραγωγής (10 <sup>3</sup> ton)
Bamboo	30,000
Sugar cane bagasse	75,000
Jute	2300
Kenaf	970
Flax	830
Grass	700
Sisal	375
Hemp	214
Coir	100
Ramie	100
Abaca	70

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τη χημική σύνθεση ινών που προέρχονται από σπόρους (Βαμβάκι), μίσχους (*corchorus*, *linum*, *boehmeria*, κάνναβη) και φύλλα (αγαύη, αβακά, τύφα). Το κύριο συστατικό όλων των ινών είναι η κυτταρίνη με το βαμβάκι να έχει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα.

Εκτός της χημικής σύστασης, οι ιδιότητες των ινών επηρεάζονται από τη δομή, τη γωνία μικροϊνιδίων, τις διαστάσεις των κυττάρων και τα ελαττώματά τους αλλά και από άλλους μη χημικούς παράγοντες όπως είναι η πηγή της ίνας, το μέγεθος, η ηλικία, η ωριμότητα, το τμήμα του φυτού απ' όπου εξάγεται και η μέθοδος επεξεργασίας τους. Ως εκ τούτου η βελτίωση των ινών επικεντρώνεται κυρίως στη διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας τους.

Πίνακας 6 Χημική σύνθεση φυτικών ινών (Chakma K. , 2019)

Fibre Name	Cellulose %	Hemicellulose %	Pectin %	Lignin %	Wax %	Ash %	Others	Reference
Cotton	92-95.00	5.7	<1.00	---	0.60	---	---	Dochia and Sirghie, as cited in Kozłowski, 2012.
<i>Corchorus</i>	61-75.50	13.6-20.4	0.20	12-13.00	0.50	---	---	Roy and Lutfar, 2012(b).
<i>Linum</i>	71-75.20	8.6-20.6	2.30	2.2-4.80	1.70	1.10	---	Kozłowski & Mackiewicz-Talarczyk, 2012.
<i>Boehmeria</i>	68-76.20	13-16.7	1.90	<0.70	1.70	1.10	---	Roy and Lutfar, 2012(a).
<i>Cannabis</i>	57-77.00	14-22.4	0.90	3.7-13.00	---	0.80	---	Li et al., 2007.
<i>Agave</i>	47-78.00	10-24.0	10.00	7-11.00	---	0.6-1.00	---	Li et al., 2007.
Abaca	56-63.70	17.5	1.00	15.1.00	---	1.10	---	Baltazar-YJimenez & Sain, 2012.
Kenaf	45-57.00	21.5	3.0-5.00	8.0-13.00	---	---	---	Nayak et al., 2012.
Cattail <sup>a</sup>	42.61	---	23.90	5.75	---	12.56	---	Sridach and Paladsongkhram, 2013.
Cattail <sup>b</sup>	51.30	---	---	22.05	4.25	3.20	3.6	Sana et al., 2016.
Cattail <sup>c</sup>	63.00	8.7	---	9.60	1.4	2.0	---	Sopit, 2007

<sup>a</sup>Narrow leaves; <sup>b</sup> Tunisian *Typha* leaf; <sup>c</sup>*Typha latifolia*



Η δομή τους αποτελείται από μικροϊνίδια κυτταρίνης πάνω σε άμορφο πλέγμα λιγνίνης και ημικυτταρίνης. Τα ινίδια διατρέχουν όλο το μήκος της ίνας και παρουσιάζουν έναν πολύπλοκο και πολυεπίπεδο σχηματισμό, που αποτελείται από ένα λεπτό τοίχωμα, το οποίο περιέχει εσωτερικά ένα παχύτερο δεύτερο στρώμα. Η γενική εικόνα είναι αυτή της ίνας ξύλου. (Rao & Rao, 2007)

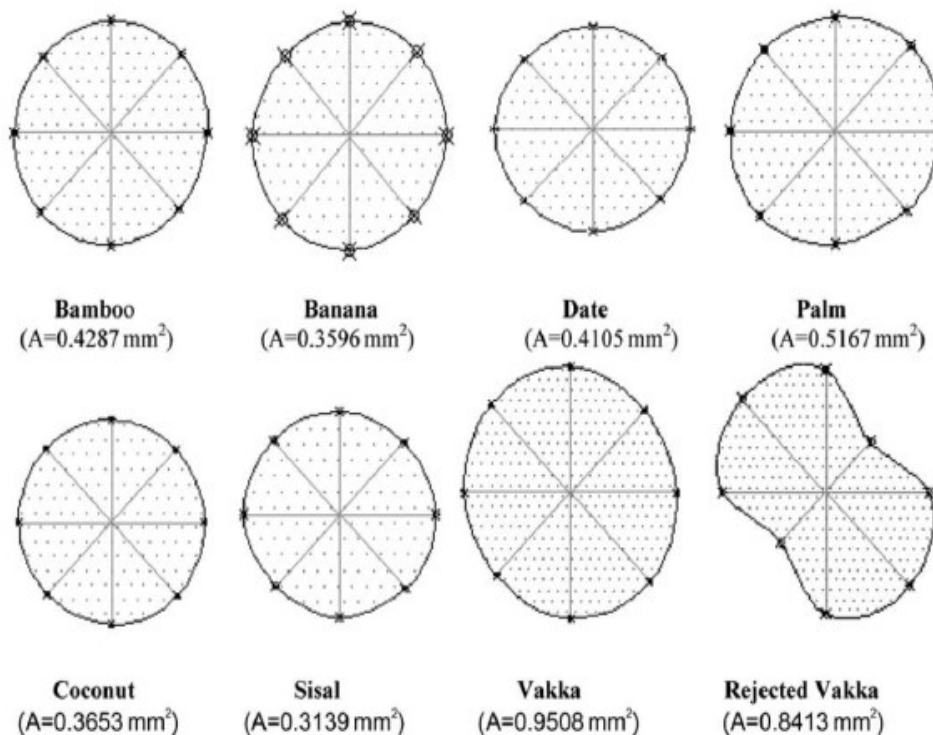


Fig. 1. Cross-sections of various fibers.

**Εικ 31 Σχηματική διατομή φυτικών ινών**

Οι μηχανικές ιδιότητες των φυτικών ινών και κυρίως η πυκνότητα, η αντοχή, η ελαστικότητα το μήκος και η διάμετρός τους είναι καθοριστικής σημασίας για την περαιτέρω χρήση τους (Πίνακας 7). Από τα στοιχεία του Πίνακα 7 προκύπτει ότι υπάρχουν φυτικές ίνες με μηχανικές ιδιότητες συγκρίσιμες με αυτές του γυαλιού (π.χ. της κάνναβης, του λιναριού, του ανανά), γεγονός που επιβεβαιώνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως ενισχυτικά σε σύνθετα υλικά.

Βασικό μειονέκτημα αποτελεί το εύρος τιμών. Αυτό οφείλεται στη διαφοροποίηση της δομής των ινών, λόγω διαφοροποίησης του φυσικού περιβάλλοντος και των συνθηκών ανάπτυξής τους. (Κωνσταντίνου, 2019) (Fuqua, Huo, & Ulven, 2012)

Πίνακας 7 Μηχανικές ιδιότητες εμπορικά σημαντικών φυσικών ινών και ινών γυαλιού

Ίνα	Πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]	Μήκος [mm]	Διάμετρος [μm]	Εφελκυστική αντοχή [MPa]	Μέτρο ελαστικότητας [MPa]
Μπαμπού	0,60-1,10	1,5-4,0	8,8-25,0	140,0-441,0	11.000,-36.000
Λινάρι	1,38	10-65	5-38	343-1,035	50,000-70,000
Κενάφ	1,20	1,4-11	12-36	295-930	22,000-60,000
Γιούτα	1,23	0,8-6	5-25	187-773	20,000-55,000
Κάνναβη	1,35	5-55	10-51	580-1,110	30,000-60,000
Ραμί	1,44	40-250	18-80	400-938	61,400-128,000
Αβάκα	1,50	4,6-5,2	10-30	430-813	31,100-33,600
Σιζάλ	1,20	0,8-8	7-47	507-855	9,000-22,000
Κοκκοφοίνικας	1,20	0,3-3	7-30	175	6,000
Ανανάς	1,5	3-8	8-41	170-1,627	60,000-82,000
Βαμβάκι	1,21	15-56	12-35	287-597	6,000-10,000
Μπανάνα	1,35	0,4-0,9	12-30	529-914	27,000-32,000
Ίνες γυαλιού	2,5	Δεν διευκρινίζεται	15-25	2,000-3,500	70,000-73,000

Πηγή (Gurunathan, Mohanty, & Nayak, 2015)

Οι ίνες που προέρχονται από κάνναβη, κινάφ, λινάρι και ραμί εξάγονται από το φλοιό του φυτού. Οι ίνες της κάνναβης παρομοιάζουν με αυτές του λινού, ενώ έχουν και παρόμοια μηχανικά χαρακτηριστικά, με την κάνναβη να έχει ισχυρότερη τάση από το λινάρι και αυτό από το γιούτα. (Schledjewski, Medina, & Schlarb, 2006)

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες φυτικές ίνες, είναι οι προερχόμενες από μπαμπού, λινάρι, κινάφ, γιούτα, κάνναβη, κοκοφοίνικα, άχυρο, μπανάνα, βαμβάκι, σιζάλ, ραμί.

### 3.1 Μπαμπού

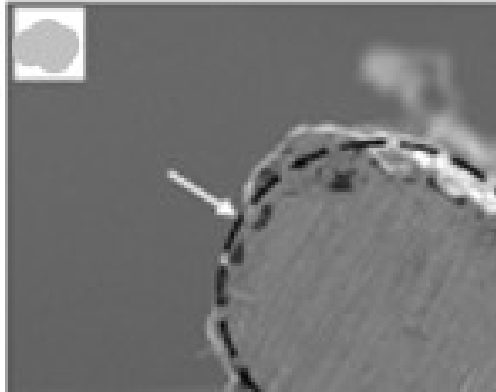
Το μπαμπού είναι φυτό της ομοιογένειας Bambuseae και της οικογένειας των Ποσειδών (Poaceae) ή Αγρωστωδών (Gramineae). Περιλαμβάνουν γύρω στα 200 είδη, εκ των οποίων τα περισσότερα ανήκουν στα γένη Βαμβούσα (Bambusa) και Αρουνδινάρια (Arundinaria). Ευδοκιμούν στην Ασία, στην Αμερική και στην Αφρική. Χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή πλοίων και ως οικοδομική ξυλεία. Αποτελεί την κύρια τροφή ζώων, όπως το γιγάντιο πάντα.



Εικ 32 Φυτά μπαμπού

Είναι πολυετή φυλλοβόρα αγρωστώδη φυτά με ύψος, που φθάνει τα 40 μέτρα. Ευδοκιμούν σε βαθιά και γόνιμα εδάφη, που είναι ελεύθερα από ψυχρούς ανέμους. Το καλάμι τους είναι πλήρες ή κοίλο εσωτερικά, όρθιο, αποξυλωμένο και σπάνια ποώδες.

Έχει επιμήκη και λογχοειδή φύλλα. Τα άνθη σχηματίζουν ταξιανθία τύπου φόβης και ο αριθμός των στημόνων ποικίλλει. Πολλαπλασιάζονται με σχίσιμο του ριζώματος και πιο σπάνια με σπορά. Ορισμένα είδη ζουν πάνω από αιώνα. (Wikipedia)



Εικ 33 Προβολή εγκάρσιας τομής μπαμπού(Yusoff, Takagi, & Nakagaito, 2016)

Το μπαμπού είναι ένα φυσικό σύνθετο υλικό, καθώς οι ίνες του στο εξωτερικό περίβλημα κατανέμονται με μεγάλη πυκνότητα, ενώ αντίθετα στο εσωτερικό η πυκνότητα κατανομής τους είναι πολύ μικρότερη. (Rao & Rao, 2007)

Οι ίνες μπαμπού περιέχουν περισσότερο από 60% κυτταρίνη και περίπου 25% λιγνίνη, ενώ η μικροϊνική γωνία κυμαίνεται μεταξύ 2 και 10°. (Fuqua, Huo, & Ulven, 2012)

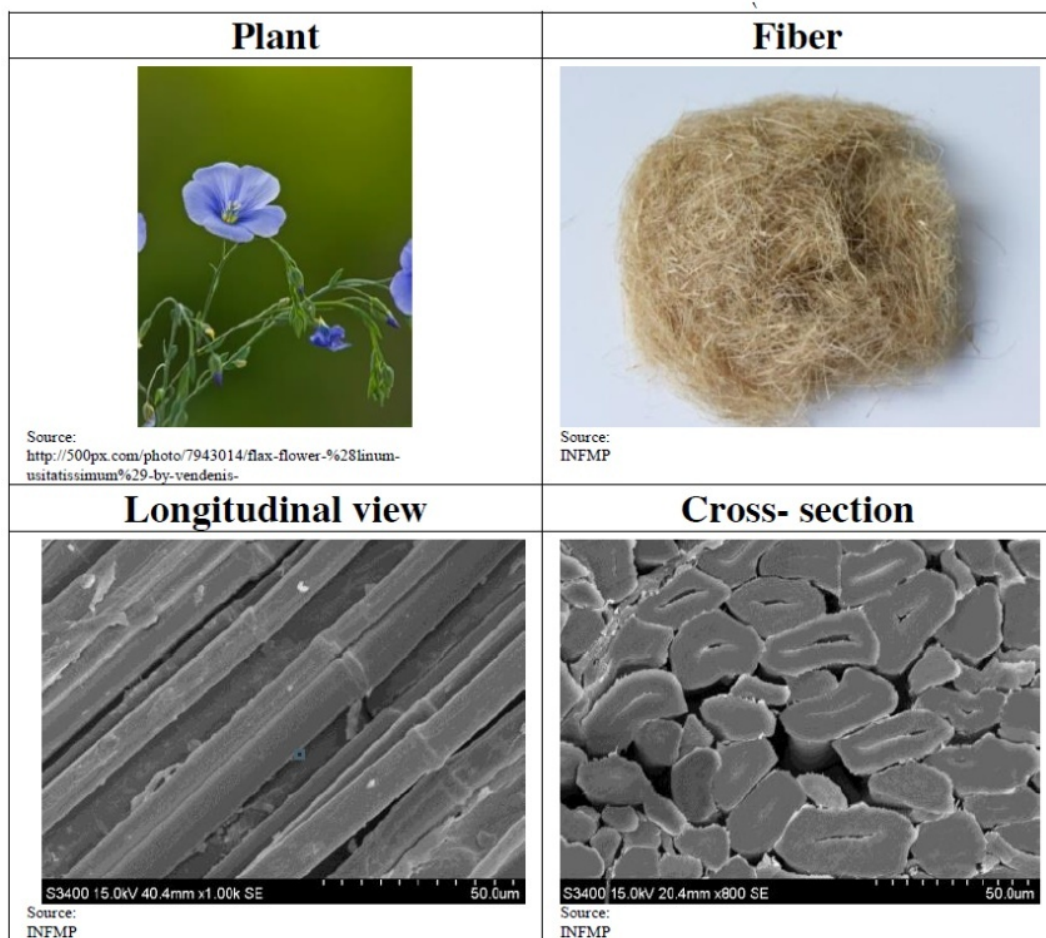
Οι ιδιότητες εφελκυσμού των ινών μπαμπού (Πίνακας 7), θέτουν την εφελκυστική αντοχή στα 140-230 MPa και το μέτρο ελαστικότητας στα 11-17 GPa.(Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.2 Flax (Λινάρι)

Το λινάρι (*Linum usitatissimum*) είναι μια από τις παλαιότερες φυτικές ίνες και μία από τις πρώτες που υφαίνεται σε ύφασμα. Παράγεται κυρίως στον Καναδά, τη Γαλλία και το Βέλγιο.

Το μέσο φυτό λίνου αυξάνεται σε ύψος 90 εκατοστά και διαθέτει ισχυρές ίνες κατά μήκος του στελέχους.

Θεωρείται κατάλληλο για ενίσχυση σε σύνθετα, καθώς έχει υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνη και υψηλό βαθμό κρυσταλλικότητας, που καθιστά τις ίνες σκληρότερες και ισχυρότερες.



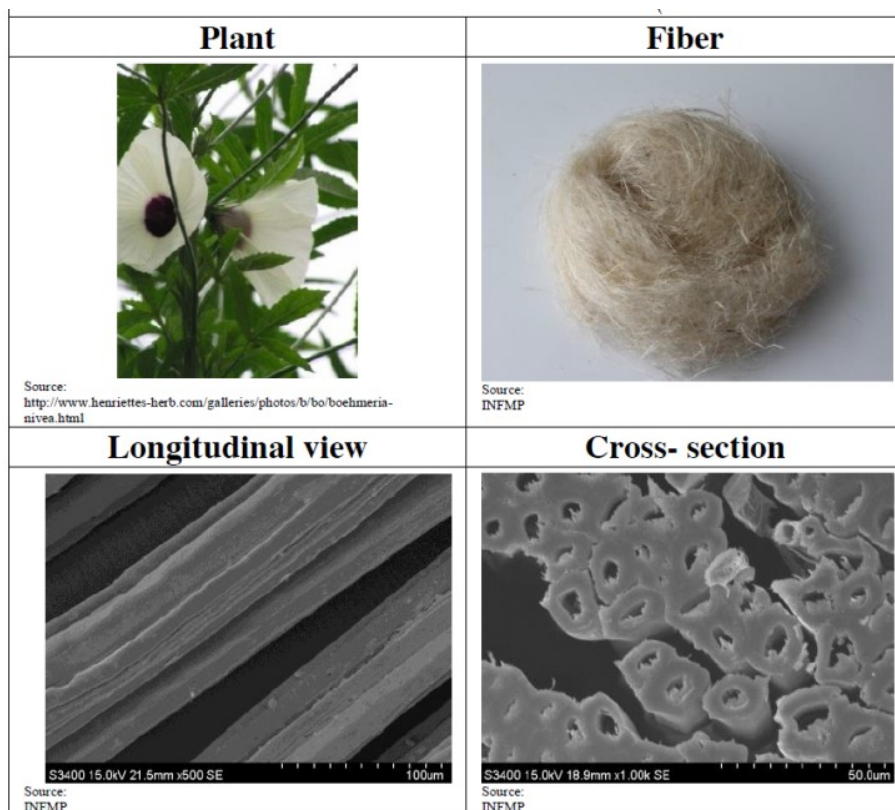
Εικ 34 Flax (*Linum usitatissimum*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

Η αντοχή εφελκυσμού της ίνας κυμαίνεται μεταξύ 345 και 1100 MPa, το μέτρο ελαστικότητας της ίνας είναι 27,6 GPa και η ποσοστιαία επιμήκυνση της ίνας είναι μεταξύ 2,7 και 3,2%. (Πίνακας 7)

Επειδή οι ίνες του λίνου παρουσιάζουν καλές εφελκυστικές ιδιότητες και υψηλή διαθεσιμότητα χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε εφαρμογές σύνθετων . Οι φυτικές ίνες του λίνου παρουσιάζουν οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη και προκαλούν το ενδιαφέρον των ερευνητών. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.3 Kenaf

Το kenaf είναι ένα ετήσιο, ανοιξιάτικο, C3 φυτό που ανήκει στο γένος *Hibiscus* της οικογένειας *Malvaceae*. Αριθμεί πάνω από τα 400 γνωστά είδη του *Hibiscus* τα οποία είναι κατανεμημένα στην τροπική και υποτροπική ζώνη των δύο ημισφαιρίων και κυρίως στην Αφρική και τη Νότια Αμερική. Στις αρχές του 20ου αιώνα καλλιεργήθηκε στην Ευρώπη για την παραγωγή σάκων από τις ίνες του.



Εικ 35 Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

Η χημική σύνθεση των ινών kenaf, έχουν την χαμηλότερη περιεκτικότητα σε κυτταρίνη (31-39%) και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιγνίνη (15-19%) μεταξύ των ινών. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

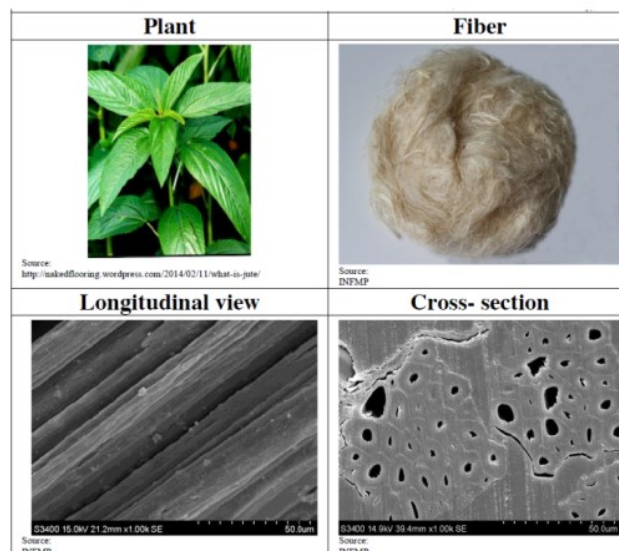
Η χημική σύσταση και οι ιδιότητες των στελεχών του, το καθιστούν κατάλληλο για την παραγωγή ινών, χαρτοπολτού και μοριοσανίδων, την παρασκευή χαλιών, μονωτικών υλικών, πλαστικών και τη διατροφή ζώων ενώ παρουσιάζει υψηλή απόδοση σε βιομάζα.

Οι ιδιότητες της ίνας kenaf είναι παρόμοιες με εκείνες των ινών γιούτας και η δομή της, είναι η ίδια με τις άλλες φυτικές ίνες. Διαθέτουν αντοχή εφελκυσμού και συντελεστή περίπου 930 MPa και 53 GPa, αντίστοιχα. Η ποσοστιαία επιμήκυνση είναι περίπου 1,6%. ( Πίνακας 7). (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

Η αξιοποίηση της καλλιέργειάς της ως ενεργειακή πρώτη ύλη για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων, παρουσιάζει θετική προοπτική. (Gaia)

### 3.4 Jute (Γιούτα)

Το φυτό της γιούτα ( *Corchorus capsularis* / *Corchorus olitorius* ) καλλιεργείται κυρίως για τις ίνες του και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες φυσικές ίνες μετά το βαμβάκι.



Εικ 36 Jute (*Corchorus capsularis*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

Είναι μία από τις φθηνότερες ίνες και καλλιεργείται σε τροπικές περιοχές.

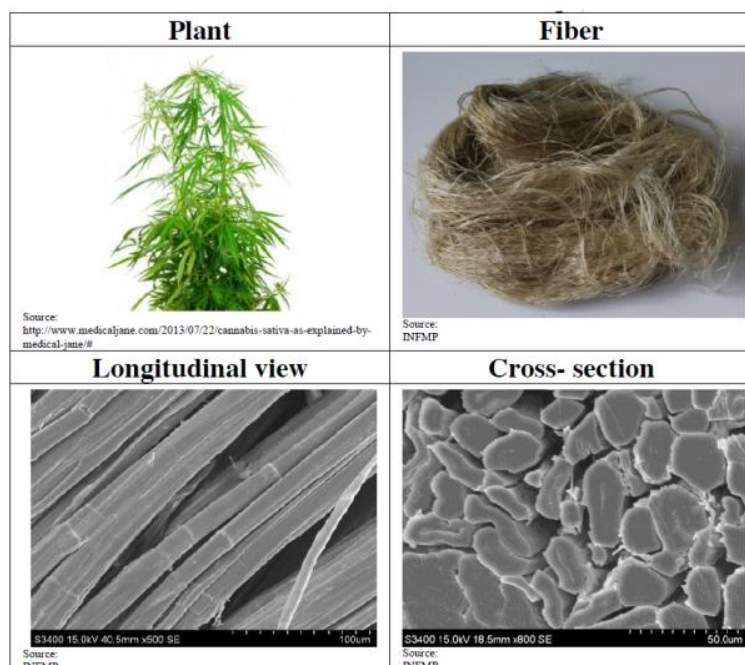
Το ύψους του φυτού γιούτα κυμαίνεται μεταξύ 2-4 μέτρων. Οι ίνες προέρχονται από τις ρίζες του φυτού και τραβιούνται κατά τη διαδικασία της συγκομιδής.

Η χημική σύνθεση των ινών γιούτα μελετήθηκε από διάφορους ερευνητές και τα αποτελέσματα δείχνουν το εύρος των κυτταρίνης περιεκτικότητας μεταξύ 61% -71,5% (Πίνακας 6).

Η αντοχή εφελκυσμού των ινών από γιούτα κυμαίνεται από 393 MPa έως 773 MPa σύμφωνα με διαφορετικούς συγγραφείς. Το μέτρο της ίνας είναι 13-26,5 MPa και η επιμήκυνση είναι 1,2-1,5% (Πίνακας 7). (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.5 Hemp (Κάνναβη)

Η κάνναβη (*Cannabis sativa*) είναι μια φυτική ίνα που παράγεται κυρίως στην Κίνα και τη Γαλλία για ίνες, λάδια και σπόρους.



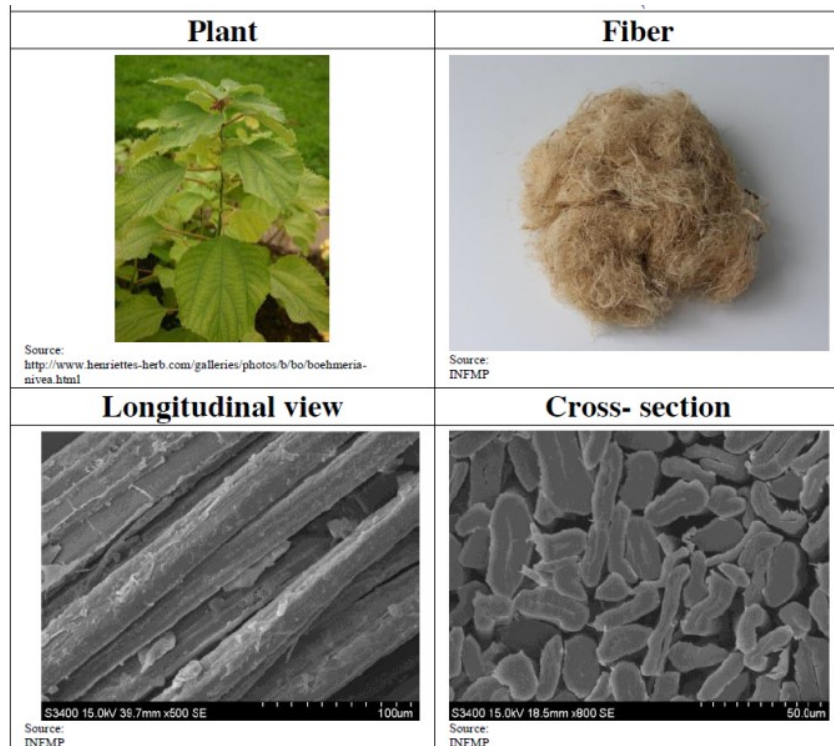
Εικ 37 Hemp (*Cannabis sativa*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)



Το μέσο ύψος της βιομηχανικής κάνναβης είναι 10 πόδια. Η περιεκτικότητα σε κυτταρίνη κυμαίνεται από 70,2% έως 74,4% ( Πίνακας 6). Εξαιτίας της υψηλής αντοχής και της ακαμψίας της, η ίνα κάνναβης χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές καθώς επίσης και ως ενισχυτικό σε βιοσυμβατά. Η αντοχή εφελκυσμού της ίνας είναι περίπου 690 MPa και το μέτρο είναι μεταξύ 30 και 60 GPa ( Πίνακας 7). Η ποσοστιαία επιμήκυνση είναι περίπου 1,6%. Η καμπύλη τάσης-καταπόνησης παρουσιάζει παρόμοια τάση με εκείνη των ινών γιούτας. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.6 Ramie

Το Ramie ( *Boehmeria nivea* ) είναι ποώδες πολυετές φυτό, που ανήκει στην οικογένεια της τσουκνίδας. Αναπτύσσεται στην Κίνα από αρχαιοτάτων χρόνων και είναι γνωστό ως "China Grass". Το ύψος του κυμαίνεται από 1 έως 2.5 μέτρα και ζει από 7 έως 20 χρόνια.



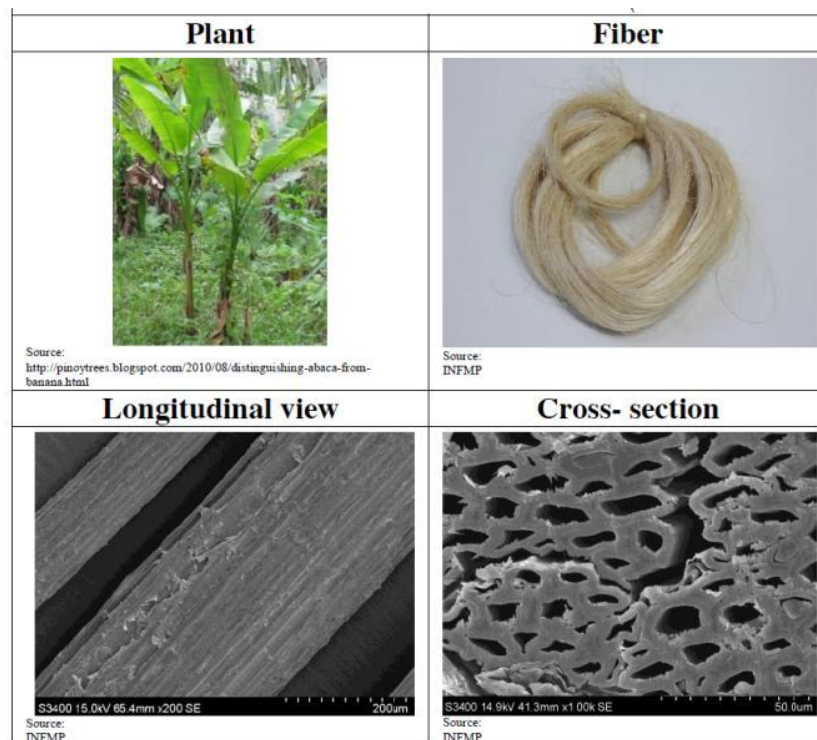
Εικ 38 Ramie (*Boehmeria nivea*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

Οι ίνες του φυτού είναι οι πιο δύσκαμπτες μεταξύ των ινών που προέρχονται από ρίζες. Η αντοχή σε εφελκυσμό και το μέτρο ελαστικότητας είναι 400-938 MPa και 61,4-128 GPa, αντίστοιχα. Η επιμήκυνση στη θραύση είναι περίπου 1,2-3,8% ( Πίνακας 7). Η περιεκτικότητα της ίνας σε κυτταρίνη κυμαίνεται μεταξύ 68,6-76,2% , ενώ έχει την χαμηλότερη τιμή λιγνίνης σε ίνες του φλοιού (0,6-0,7%) (Πίνακας 6).

Η παραγωγή του φυτού είναι χαμηλή και σε συνδυασμό με την δυσκολία καθαρισμού του, αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για τη χρήση του σε μεγάλη κλίμακα σε σύνθετα υλικά. (Fuqua, Huo, & Ulven, 2012) (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.7 Abaca

Το Abaca (*Musa textilis*) ανήκει στην οικογένεια της μπανάνας (*Musaceae*) και καλλιεργείται κυρίως στις Φιλιππίνες, τον Ισημερινό και την Κόστα Ρίκα.



Εικ 39 Abaca (*Musa textilis* nee) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

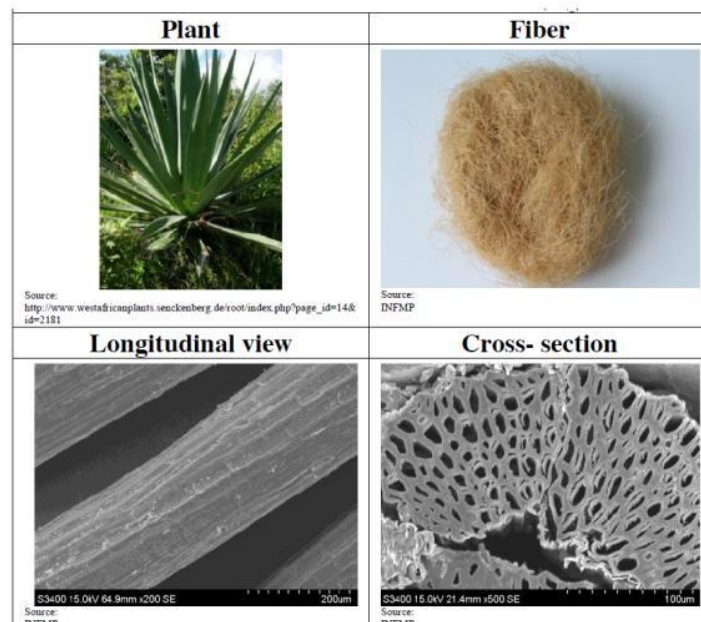
Η διάρκεια ζωής του φυτού είναι περίπου 10 χρόνια και οι ίνες συλλέγονται περιοδικά (δύο ή τρεις φορές το χρόνο) μετά την αρχική ανάπτυξη. Το ύψος του φυτού είναι περίπου 4 μέτρα. Τα φύλλα του σχηματίζονται από τον κορμό και από αυτά εξάγονται οι ίνες.

Η χημική σύνθεση των ινών της άβακα κυμαίνεται σε κυτταρίνη 56-63%, ημικυτταρίνη 20-25% και λιγνίνη 7-9% (Πίνακας 6).

Η αντοχή σε εφελκυσμό και ο συντελεστής της ίνας abaca είναι περίπου 400 MPa και 12 GPa, αντίστοιχα ( Πίνακας 7). Η εκατοστιαία επιμήκυνση είναι 3 - 10%. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.8 Sisal

Το Sisal ( *Agave sisilana* ) καλλιεργείται κυρίως στην Τανζανία, τη Βραζιλία, την Κίνα και την Κένυα. Αποτελεί εμπορική καλλιέργεια. Το ύψος του φυτού φτάνει περίπου στο 1 m.



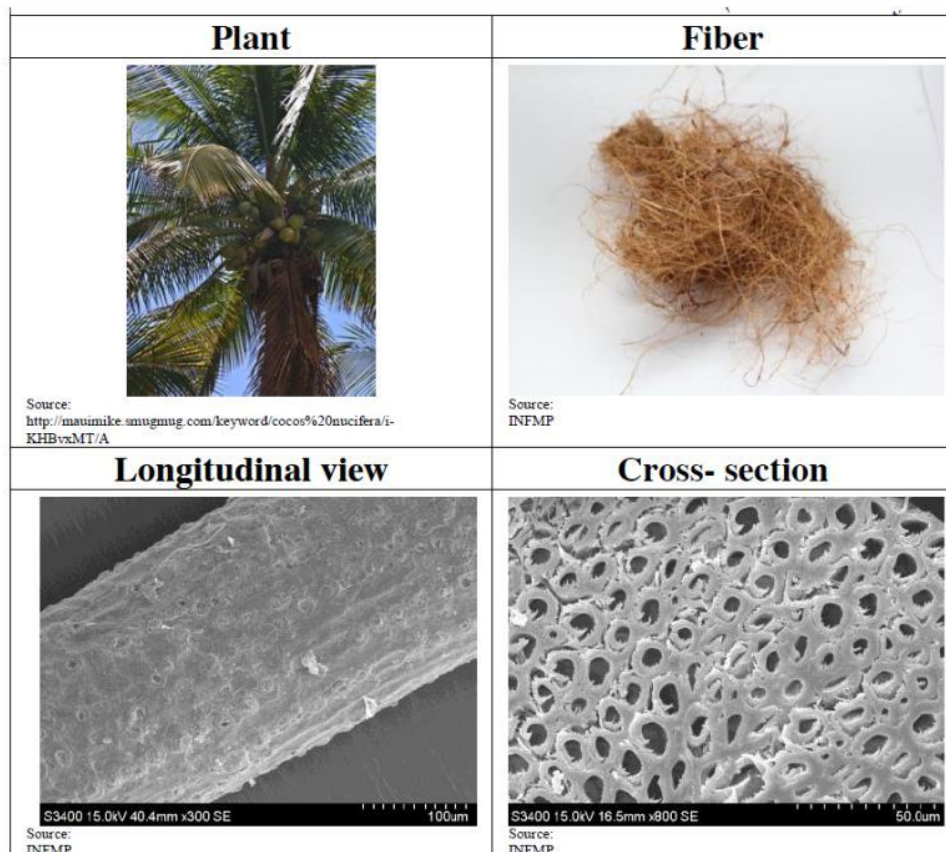
Εικ 40 Sisal (*Agave sisilana*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

Η χημική σύνθεση της ίνας του Sisal περιλαμβάνει, κυτταρίνη 67-78%, ημικυτταρίνη 10-14% και λιγνίνη 8-11%.

Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι 468-640 MPa, το μέτρο 9,4-22 GPa και επιμήκυνση 3-7%. Οι ίνες του Sisal βρίσκουν ευρεία αποδοχή ως ενισχυτικά σε σύνθετα υλικά. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.9 Coir (Κοκοφοίνικας)

Ο κοκοφοίνικας ανήκει στην οικογένεια Palmae και το επιστημονικό του όνομα είναι *Cocos nucifera* L. (Κόκος ο καρυοφόρος). Είναι ένα είδος φοίνικα και το ύψος του φτάνει έως τα 30 μέτρα.



Εικ 41 Coir (*Cocos nucifera*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

Ως φυτό είναι μονοκοτυλήδονο, αειθαλές, με μεγάλη καλλωπιστική αξία. Ο κορμός του είναι λεπτός, κυλινδρικός και εύκαμπτος. Στην κορυφή του φέρει ρόδακα φύλλων μήκους 4-6 μέτρων. Ο καρπός είναι δρύπη. Αποτελείται από το φλοιό, το ξυλώδες ενδοκάρπιο, και το ενδοσπέρμιο, το οποίο σχηματίζει κοιλότητα που με γάλα. Καλλιεργείται κυρίως στην Ινδία και τη Σρι Λάνκα.

Οι ίνες κοκοφοίνικα προέρχονται από το φλοιό της καρύδας και έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα λιγνίνης μεταξύ των φυτικών ινών. Είναι η μόνη σχετικά αδιάβροχη φυτική ίνα με χαμηλή απορροφητικότητα θαλασσινού νερού. Αποτελείται από κυτταρίνη 36-43%, ημικυτταρίνη 0,15-0,25% και λιγνίνη 41-45%. Έχει χαμηλή αντοχή εφελκυσμού 131-175 MPa και μέτρο 4-6 GPa περίπου, αλλά έχει υψηλή επιμήκυνση 15-40%. Μπορεί να τεντωθεί πέρα από το ελαστικό της όριο χωρίς ρήξη, εξαιτίας μίας μικρο-ινιδικής σπειροειδούς γωνίας 45 °. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015).

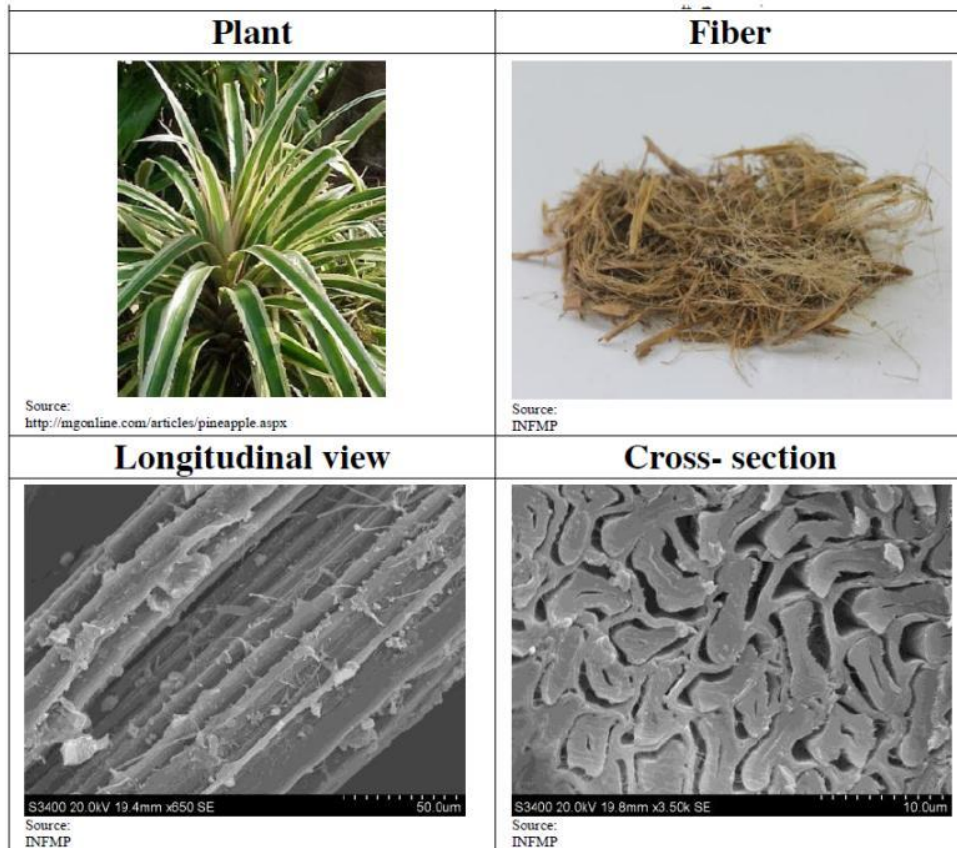
Ο κοκοφοίνικας είναι η πιο σημαντική καλλιέργεια ακροδρύων στην υφήλιο και χρησιμεύει κυρίως για την παραγωγή του φοινικέλαιου. Τα μέρη του φυτού χρησιμοποιούνται σε πολλούς διαφορετικούς σκοπούς. Από τους καρπούς του κοκοφοίνικα παράγεται γάλα, βούτυρο, λάδι, σαπούνια, καλλυντικά, κάρβουνο και υφάσματα. Ο κορμός δίνει ξυλεία καλής ποιότητας ενώ τα φύλλα του χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σκεπών και καλαθιών. (Caia) (Wikipedia)

### 3.10 Pineapple (Ανανάς)

Ο ανανάς (*Ananas comosus*) είναι ιθαγενές φυτό της Νότιας Αμερικής αλλά καλλιεργείται κυρίως στις χώρες της Νοτιοανατολικής Ασίας.

Οι ίνες ανανά (PALF) εξάγονται από τα φύλλα του φυτού. Το ύψος του φτάνει περίπου σε 1-1,5 m και τα φύλλα έχουν μήκους 30-100 cm.

Το PALF έχει περιεκτικότητα σε κυτταρίνη 70-82% και σε λιγνίνη 5-12% (Πίνακας 6).



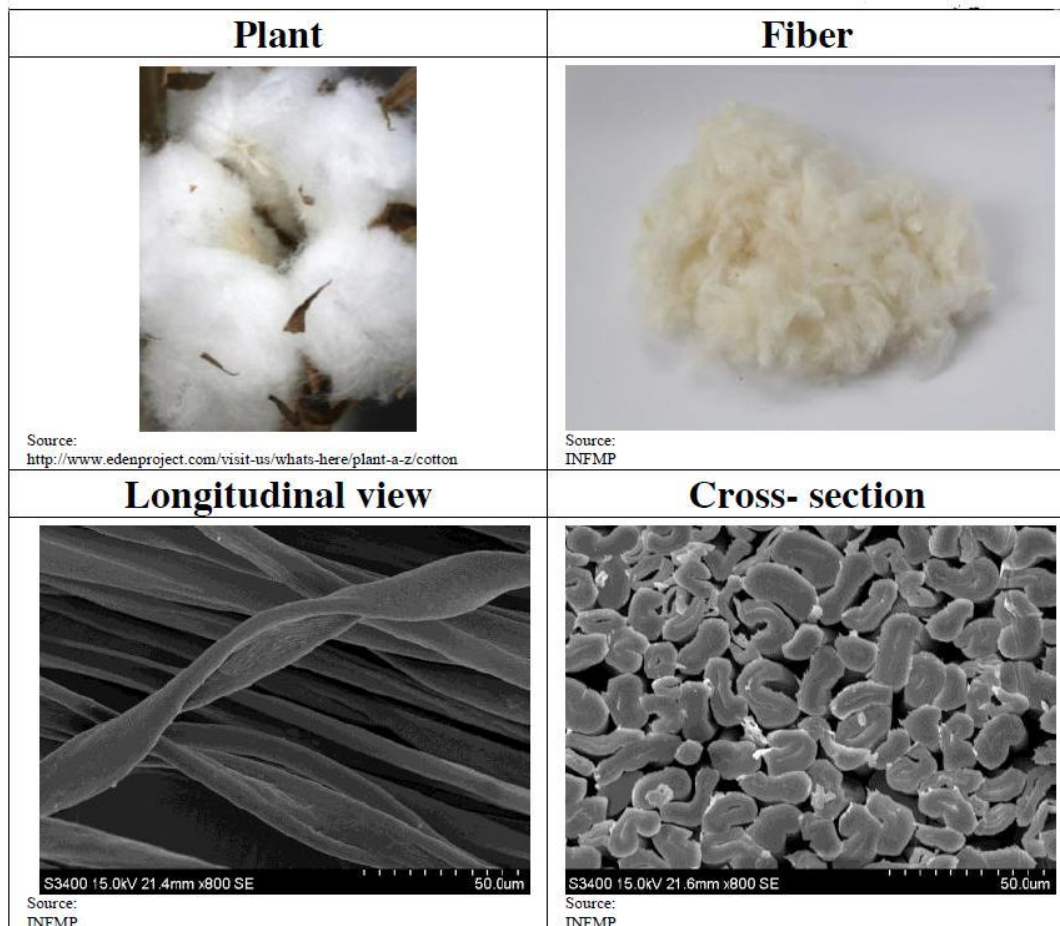
Εικ 42 Pineapple (*Ananas comosus*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

Η υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνη και η χαμηλή μικροϊνική σπειροειδής γωνία (14 βαθμοί) συνδέονται με καλές ιδιότητες εφελκυσμού: αντοχή εφελκυσμού 413-1627 MPa, μέτρο 34,5-82,5 GPa και επιμήκυνση 1,6%. Το PALF έχει την υψηλότερη τιμή σε αντοχή εφελκυσμού μεταξύ των ινών από φύλλα, γεγονός που κάνει τις ίνες του συγκρίσιμες με τις τεχνητές ίνες όπως το Aramid και το γυαλί (Πίνακας 9).

Απεναντίας το PALF έχει τη χαμηλότερη επιμήκυνση κατά τη θραύση μεταξύ των ινών φύλλων 1,6%, υψηλό βαθμό κρυσταλλικότητας 0,63 έως 0,68, χαμηλή μικροϊνική σπειροειδή γωνία 14 βαθμών και οι διηλεκτρικές ιδιότητες ήταν συγκρίσιμες με εκείνες των ινών γιούτας. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.11 Cotton (Βαμβάκι)

Το βαμβάκι (*Gossypium*) είναι η πιο γνωστή φυσική ίνα. Καλλιεργείται σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές σε όλο τον κόσμο. Η Κίνα, η Ινδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι οι τρεις μεγαλύτεροι παραγωγοί βαμβακιού στον κόσμο.



Εικ 43 Cotton (*Gossypium*) (Zimniewska & Kicińska-Jakubowska)

Η χημική σύνθεση των βαμβακερών ινών περιλαμβάνει: κυτταρίνη 82,7% και ημικυτταρίνη 5,7% (Πίνακας 6). Το βαμβάκι παράγει μία από τις πιο καθαρές μορφές κυτταρίνης γνωστές στον άνθρωπο.

Η υψηλή περιεκτικότητα των ινών σε κυτταρίνη χαρακτηρίζει τις ίνες του βαμβακιού με υψηλή υδροφιλικότητα, γεγονός που επηρεάζει τη συμμετοχή του στα σύνθετα,

καθιστώντας τη συμβατότητα μεταξύ των υδρόφιλων ινών και της υδρόφοβης μήτρας χαμηλή και απαραίτητη την χρήση τεχνικών για την τροποποίηση της επιφάνειας των ινών.

Οι ίνες του βαμβακιού έχουν αντοχή εφελκυσμού μεταξύ 287-800 MPa, μέτρο 5,5-12,6 GPa και επιμήκυνση 7-8% (Πίνακας 7). (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.12 Λάδι Palmoilpalm

Το φοινικέλαιο (*Elaeis guineensis*) είναι το ομώνυμοδέντρο της Δυτικής Αφρικής, από το οποίο και παράγεται. Η ίνα φοινικέλαιου (OPF) είναι υποπροϊόν και εξάγεται από τους χρησιμοποιημένους καρπούς. Ως ίνα είναι τραχιά και σκληρή. Έχει παρεμφερείς ιδιότητες με αυτές της ίνας κοκοφοίνικα. Η σύνθεσή της αποτελείται από περίπου 65% κυτταρίνη και 29% ημικυτταρίνη (Πίνακας 6).

Έχει αντοχή εφελκυσμού περίπου 248 MPa, συντελεστή 3.2 GPa και επιμήκυνση 25%. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.13 Γρασίδι Bagasse

Το Bagasse είναι το ινώδες κατάλοιπο του ζαχαροκάλαμου. Αποτελείται από 49% υγρασία, 48,7% ίνα, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό είναι διαλυτά στερεά. Περιέχει κυτταρίνη περίπου 55,2%, ημικυτταρίνη 16,8% και λιγνίνη 25,3% (Πίνακας 6). Η εφελκυστική αντοχή ανέρχεται σε 290 MPa και το μέτρο σε 17 GPa.

### 3.14 Άχυρο

Το άχυρο είναι ένα αγρο-υπόλειμμα ή ένα παραπροϊόν που λαμβάνεται από φυτά δημητριακών όταν έχουν απομακρυνθεί οι κόκκοι και ο χλοστάπητας:



### *Άχυρο Ρυζιού*

Το ρύζι είναι το πιο διαδεδομένο βασικό φαγητό στον κόσμο, ιδιαίτερα στις ασιατικές χώρες. Το άχυρο ρυζιού αποτελείται από 41-57% κυτταρίνη, 33% ημικυτταρίνη και 8-19% λιγνίνη (Πίνακας 6). Η αντοχή σε εφελκυσμό και ο συντελεστής των ινών ανέρχεται σε 74,6 MPa και 3,3 GPa, αντίστοιχα.

### *Άχυρο σίτου*

Το σιτάρι είναι το τρίτο πλέον παραγόμενο δημητριακό μετά το καλαμπόκι και το ρύζι και η χημική σύνθεση του άχυρού του περιλαμβάνει, κυτταρίνη 39-45%, ημικυτταρίνη 15-31% και λιγνίνη 13-20%. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### *Άχυρο κριθαριού*

Το κριθάρι αποτελεί την τέταρτη μεγαλύτερη παραγωγή δημητριακών στον κόσμο με τη Ρωσία, την Ουκρανία, τη Γαλλία και τη Γερμανία να καλλιεργούν τις μεγαλύτερες ποσότητες.

Το άχυρο του κριθαριού έχει χημική σύνθεση στην οποία η κυτταρίνη ανέρχεται σε 48,6% και η λιγνίνη σε 16,4%.

Τα σύνθετα ινών κριθαριού παρουσιάζουν χαμηλότερη αντοχή στη θλίψη από τα σύνθετα ινών σιταριού. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

### 3.15 Κέλυφος ρυζιού (RiceHusk)

Το κέλυφος του ρυζιού (ή Ricehull) είναι το σκληρό προστατευτικό κάλυμμα του κόκκου ρυζιού.

Η χημική σύνθεση του φλοιού ρυζιού είναι: κυτταρίνη (35-45%), ημικυτταρίνη (19-25%) και λιγνίνη (20%).

### 3.16 Ίνες από ξύλο (WoodFiber)

Δυο είναι τα είδη ενισχύσεων από ξύλο. Οι προερχόμενες από μαλακό ξύλο, που συνήθως είναι από κωνοφόρα μη φυλλοβόλα δένδρα και οι προερχόμενες από σκληρό ξύλο, που είναι από φυλλοβόλα δένδρα. Οι ίνες από σκληρά δένδρα είναι γενικά πυκνότερες αυτές των μαλακών, ενώ ο ρυθμός ανάπτυξης των δένδρων μαλακού ξύλου είναι γρηγορότερος από αυτόν των δένδρων σκληρού ξύλου. Οι ίνες και των δύο κατηγοριών, χρησιμοποιούνται ικανοποιητικά αλλά αυτές του μαλακού ξύλου σε μεγαλύτερο βαθμό. (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

#### *Curaua*

Το Curaua (*Ananaserectifolius*) καλλιεργείται κυρίως στις σχετικά άνυδρες περιοχές του Αμαζονίου (Βραζιλία και Βενεζουέλα). Η χημική σύνθεση της ίνας curaua είναι κυτταρίνη 73,6%, ημικυτταρίνη 9,9% και λιγνίνη 7,5% (Πίνακας 6). Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε κυτταρίνη, οι ίνες του curaua παρουσιάζουν υψηλή αντοχή και γι' αυτό χρησιμοποιούνται ως ενίσχυση σε σύνθετα υλικά. (Chakma K. , 2019)

Η αντοχή εφελκυσμού της ίνας curaua κυμαίνεται μεταξύ 500-1150 MPa, το μέτρο είναι 11,8 GPa και η επιμήκυνση ανέρχεται σε 3,7-4,3% (Πίνακας 9). (Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015)

#### 4 Σύνθετα υλικά με φυτικές ίνες

Οι φυτικές ίνες κερδίζουν όλο και πιο πολύ το ενδιαφέρον των ερευνητών, μηχανικών και επιστημόνων ως εναλλακτική ενίσχυση για τα σύνθετα πολυμερή με μη φυτικές ίνες, χάρη στο χαμηλό κόστος τους, τις καλές μηχανικές ιδιότητες, την φιλικότητα προς το περιβάλλον και την βιο-αποικοδόμηση τους. (Rizal, και συν., 2019)

Η παραγωγή συνθετικών υλικών ενισχυμένων με φυτικές ίνες αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο τομέα της επιστήμης. Η χρήση φυτικών πληρωτικών από τους ερευνητές για την ανάπτυξη νέων σύνθετων πολυμερών στοχεύει στη δημιουργία υλικών, που θα φέρουν επανάσταση στο χώρο με συνακόλουθες θετικές συνέπειες. (Saheb&Jog, 1999)

Οι φυτικές ίνες αποτελούνται από κυτταρίνη, λιγνίνη, ημικυτταρίνη και πηκτίνη. Οι επιμέρους ιδιότητες των στοιχείων συνδιαμορφώνουν τις ιδιότητες των ινών. Ειδικότερα περιεκτικότητα σε κυτταρίνη καθορίζει τις ιδιότητες και τη μηχανική απόδοση των ινών κατά τη συμμετοχή τους σε σύνθετα, ενώ η αυξημένη παρουσία μη κυτταρινικών συστατικών σχετίζεται με τη μείωση της αντοχής και της ελαστικότητας τους. (Fuqua, Huo, & Ulven, 2012)

Η ημικυτταρίνη ευθύνεται για τη βιοαποικοδόμηση, την απορρόφηση της υγρασίας και την θερμική υποβάθμιση των ινών. Σε αντίθεση η λιγνίνη παραμένει θερμικά σταθερή, ενώ αποικοδομεί την υπεριώδη ακτινοβολία. Σε γενικές γραμμές, οι φυτικές ίνες περιέχουν 60-80% κυτταρίνη, 5 - 20% λιγνίνη και έως 20% υγρασία. Η αντοχή και η ακαμψία τους οφείλεται κυρίως στους δεσμούς υδρογόνου. (Saheb & Jog, 1999)

Τα σύνθετα υλικά απαρτίζονται από ακόρεστη πολυεστερική ρητίνη ως μήτρα, που ενισχύεται με φυσικές ίνες. Η χρησιμοποίηση των φυτικών ινών προκαλεί το ενδιαφέρον των ερευνητών και όχι μόνο, λόγω του χαμηλού βάρους τους, της αυξημένης διαθεσιμότητάς τους, της αντοχής τους, του χαμηλού κόστους, της ασφαλούς χρησιμοποίησής τους, της ευχερούς ανακυκλωσιμότητάς τους, της βιωσιμότητάς τους, της ακουστικής μόνωσης, του χαμηλού ενεργειακού κόστους παραγωγής, της απεξάρτησης από το διοξείδιο του άνθρακα. (Dedeerpa, Raju, &

Kumar, 2012). Επιπλέον έχουν χαμηλή πυκνότητα, είναι βιοαποικοδομήσιμες, μη διαβρωτικές και διαθέτουν συγκεκριμένες ιδιότητες, που είναι συγκρίσιμες με αυτές των συμβατικών συνθετικών ινών.

Αρνητικό παράγοντα στη διαδικασία σύνθεσης διαδραματίζουν, η μη συμβατότητα των ινών, η τάση σχηματισμού συσσωματωμάτων στη φάση της επεξεργασίας τους και η χαμηλή αντοχή στην υγρασία. (Saheb & Jog, 1999)

Πίνακας 8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φυσικών ινών

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Χαμηλό βάρος	Υδροφιλικότητα
Αυξημένη διαθεσιμότητα	Σχηματισμός συσσωμάτων
Υψηλή αντοχή	Χαμηλή συμβατότητα
Χαμηλό κόστος	
Ασφαλής χρησιμοποίηση	
Ανακυκλωσιμότητα	
Βιωσιμότητα	
Ακουστική μόνωση	
Χαμηλό ενεργειακό κόστος παραγωγής	
Ανεξάρτητες του CO <sub>2</sub>	
Χαμηλή πυκνότητα	
Βιοαποικοδομήσιμες	
Μη διαβρωτικές	
Διαθέτουν συγκρίσιμες ιδιότητες με τις συνθετικές	

Οι μηχανικές ιδιότητες του σύνθετου εξαρτώνται από παραμέτρους, που συνδέονται τόσο με τις φυτικές ίνες όσο και τη μήτρα και συγκεκριμένα εξαρτώνται από:

- το κλάσμα όγκου συμμετοχής των ινών
- το μήκος των ινών
- την αναλογία διαστάσεων των ινών
- την πρόσφυση μήτρας - ινών,
- τον προσανατολισμό των ινών και
- τη μεταφορά τάσεων στη διεπαφή (Saheb&Jog, 1999)

Η προσθήκη φυτικών ινών στα σύνθετα, βρέθηκε ότι βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες. Ειδικότερα οι ιδιότητες εφελκυσμού του σύνθετου αυξήθηκαν μετά την προσθήκη των ινών, ενώ η πυκνότητα και η θερμική αγωγιμότητα μειώθηκαν. (Saheb&Jog, 1999)

Η θερμική αγωγιμότητα ενός σύνθετου υλικού κυμαίνεται από 0.168 w / mk έως 0.187 w / mk, ενώ καθώς αυξάνεται η προσθήκη φυτικών ινών, μειώνεται περίπου στο 11.3%. (Dedeeraya, Raju, &Kumar, 2012)

Σημαντικό ρόλο στις φυσικοχημικές ιδιότητες του σύνθετου πολυμερούς παίζει η καλή διεπαφή των ινών με τη μήτρα. Για να αποφευχθεί η αστοχία υλικού και να έχει καλή αντοχή εφελκυσμού πρέπει η δύναμη εφελκυσμού, που παρέχεται στην ίνα, να είναι χαμηλότερη της αντοχής συγκόλλησης ινών-μήτρας.

Πολλές φυσικές ίνες, όπως κάνναβης, μπαμπού, κενάφ, λιναριού σιζάλ, μπανάνας, γιούτας έχουν γίνει αντικείμενο μελέτης, για την επίδρασή τους στις μηχανικές, θερμικές και μορφολογικές ιδιότητες των σύνθετων. (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, &Omar, 2016)

Mechanical properties of some natural and man-made fibers.<sup>11–12,16,60,62,70–71,75–78</sup>

Fiber	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile Strength (MPa)	E-Modulus (GPa)	Elongation at break (%)
<b>Bast</b>				
Flax	1.5	345–1100	27.6	2.7–3.2
Hemp	—	690	30–60	1.6
Jute	1.3–1.4	393–773	13.0–26.5	1.2–1.5
Kenaf	—	930	53.0	1.6
Ramie	1.5	400–938	61.4–128.0	1.2–3.8
<b>Leaf</b>				
Abaca	1.5	400	12.0	3.0–10.0
Curaua	1.4	500–1150	11.8	3.7–4.3
Pineapple	—	413–1627	34.5–82.5	1.6
Sisal	1.4	468–640	9.4–22.0	3.0–7.0
<b>Seed/Fruit</b>				
Coir	1.1	131–175	4.0–6.0	15.0–40
Cotton	1.5–1.6	287–800	5.5–12.6	7.0–8.0
Oil Palm	0.7–1.55	248	3.2	25.0
<b>Grass</b>				
Bagasse	1.25	290	17	—
Bamboo	0.6–1.1	140–230	11–17	—
<b>Man-made</b>				
Aramid	1.4	3000–3150	63.0–67.0	3.3–3.7
Carbon	1.7	4000	230–240	1.4–1.8
E-glass	2.5	2000–3500	70.0	2.5
S-glass	2.5	4570	86.0	2.8

© Wiley. Reproduced by permission of Wiley. Permission to reuse must be obtained from the rights holder.

Υπό το πρίσμα της σύγκρισης των φυτικών ινών σε σχέση με τις ίνες γυαλιού, διαπιστώνεται ότι ενώ οι πρώτες έχουν χαμηλότερη αντοχή εφελκυσμού από τις δεύτερες, η σύγκριση της ειδικής ακαμψίας, παρουσιάζει αντίστροφα, μεγαλύτερες τιμές. Το γεγονός αυτό αποτελεί το σημαντικότερο πλεονέκτημα, για τη χρήση των φυτικών ινών στα σύνθετα, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτείται μειωμένο βάρος. (Saheb & Jog, 1999)

Πλεονεκτήματα των φυσικών πληρωτικών σε σχέση με τα συμβατικά υλικά:

- Χαμηλό κόστος
- Μικρό βάρος (ελαφρύτερα)
- Μεγάλη διαθεσιμότητα
- Ευκολία διαχωρισμού
- Μηχανική αντοχή
- Βιοδιασπασιμότητα
- Φυσικές ανανεώσιμες πηγές
- Φιλικά προς το περιβάλλον
- Υλικά του μέλλοντος
- Η μερική λύση σε πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα (Saheb&Jog, 1999)

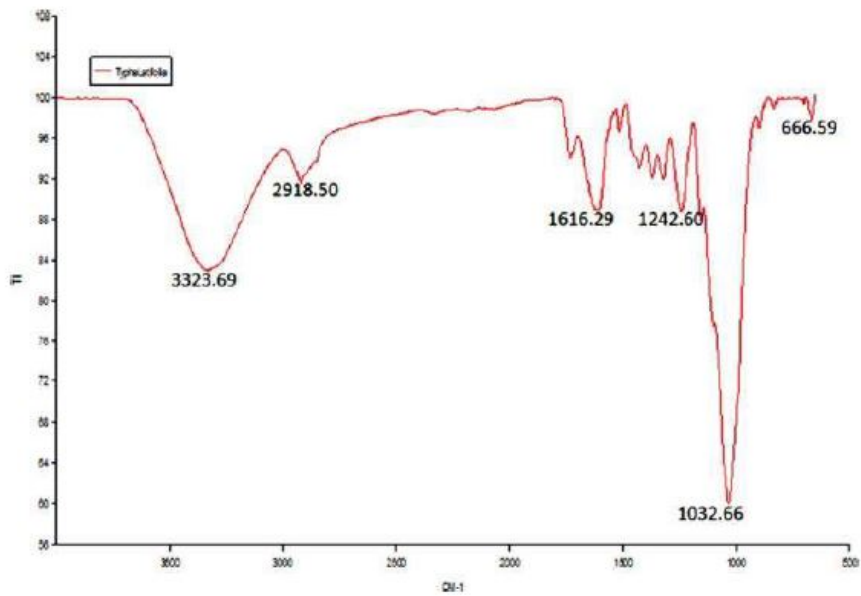
Τα σύνθετα αποτελούν ένα πολλά υποσχόμενο υλικό του μέλλοντος, που ταυτόχρονα συμβάλουν θετικά, στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων του πλανήτη. (Saheb&Jog, 1999)

#### 4.1 Σύνθετα με τύφα

Οι ίνες της τύφα ξεχωρίζουν ανάμεσα στις υπόλοιπες φυτικές ίνες γιατί το συγκεκριμένο φυτό βρίσκεται σε αφθονία ανά τον κόσμο. (Rizal, και συν., 2019)

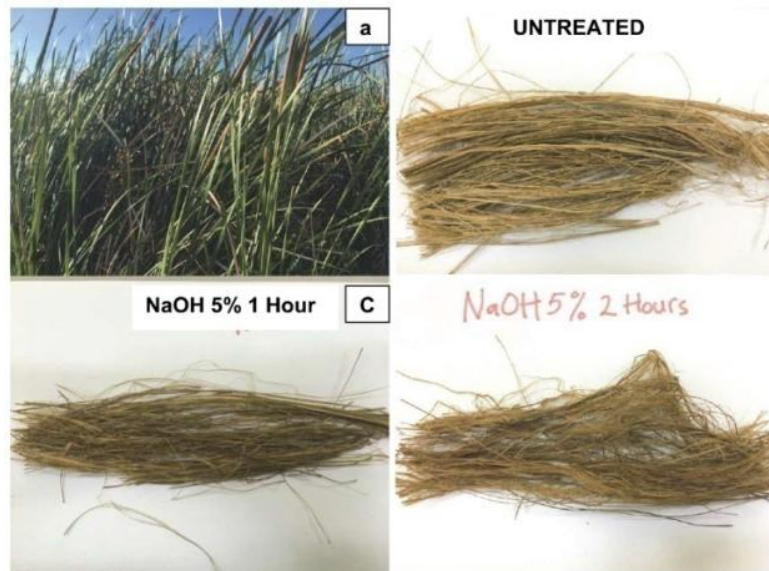
Αποτελούνται κατά βάση από ίνες κυτταρίνης, πολυφαινόλη, λιγνίνη και ημικυτταρίνη.

Ως υλικό έχει χαμηλή πυκνότητα. Η μεγάλη περιεκτικότητά της σε πολυφαινόλες, της προσδίδει την εξαιρετική ιδιότητα της αντοχής στη μούχλα και στις βακτηριακές λοιμώξεις. (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, &Omar, 2016)



Εικ 44 Φάσμα FTIR της ίνας Τύφα *latifolia* (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, &Omar, 2016)

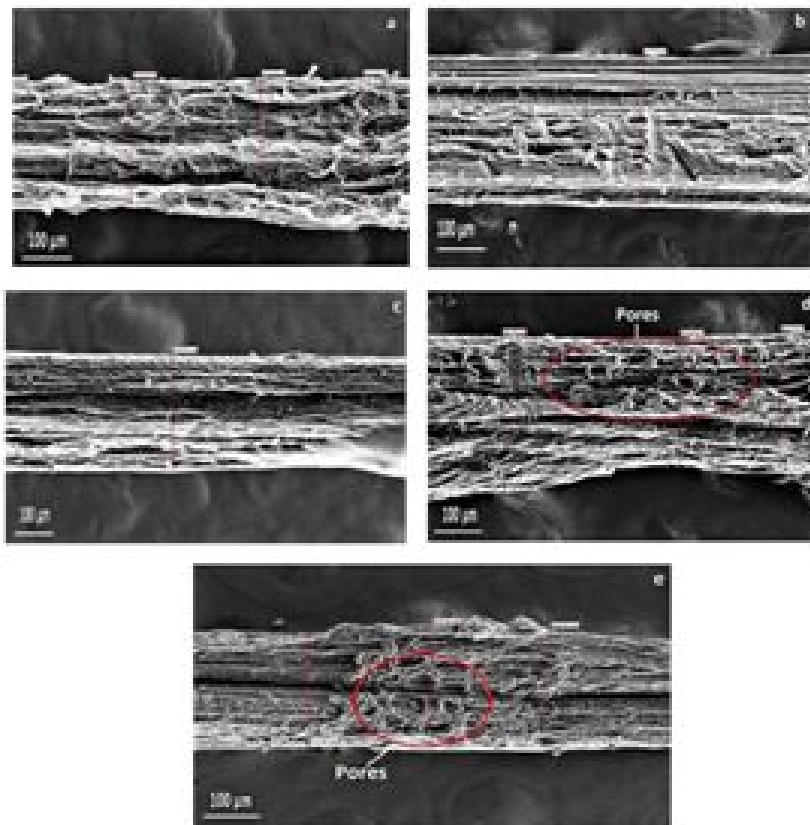
Στη μελέτη της ίνας *T. Latifolia* με Φασματοσκοπία Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier (FTIR) παρουσιάζονται πέντε κορυφές, που δείχνουν την παρουσία κυτταρίνης και λιγνίνης (Εικ 44).



Εικ 45 (α) Φυτό τύφα (β) Ίνες τύφα χωρίς επεξεργασία (γ) Ίνες τύφα επεξεργασμένες με αλκάλια 5% 1 ώρα (δ) Ίνες τύφα επεξεργασμένες με αλκάλια 5% 2 ώρες

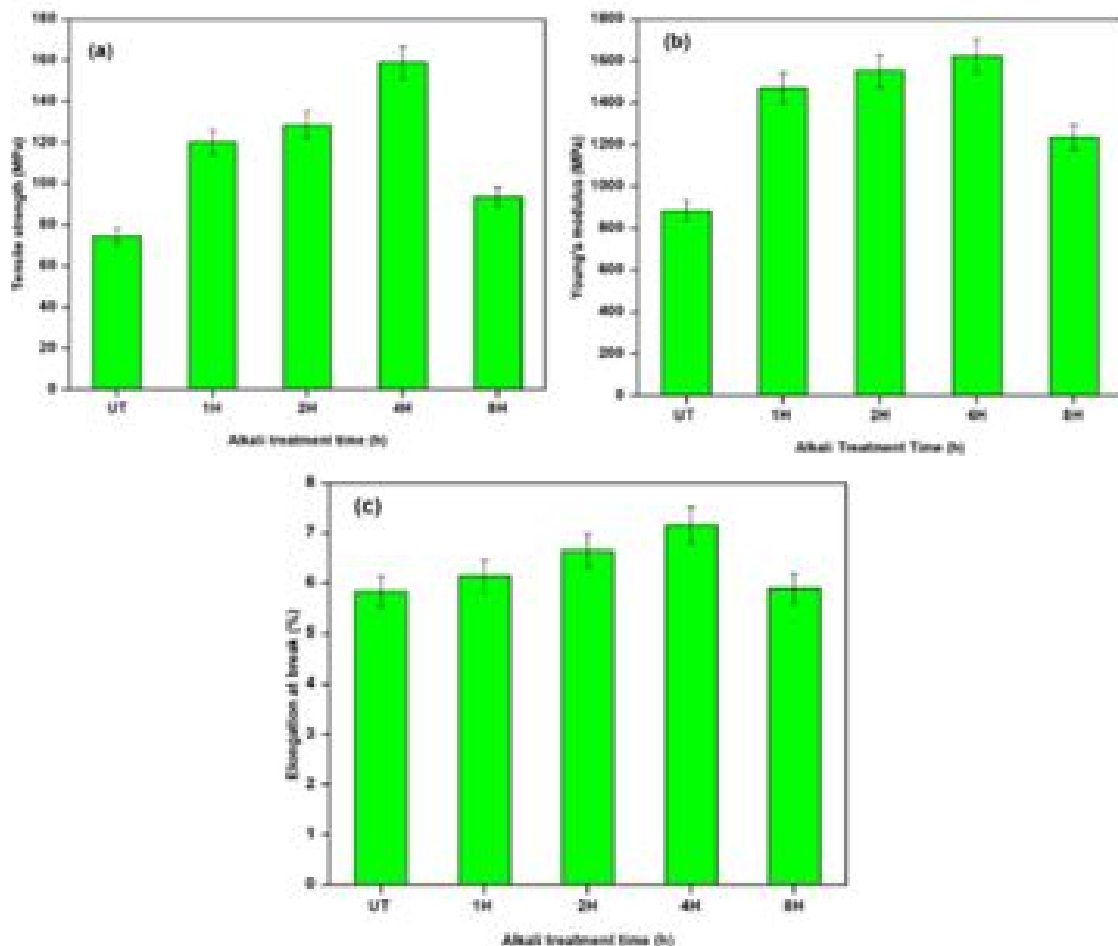


Η λιγνίνη και η ημικυτταρίνη λειτουργούν αρνητικά και θεωρούνται επιβαρυντικά στη δημιουργία των σύνθετων υλικών. Η απομάκρυνσή τους γίνεται με αλκαλική επεξεργασία, η οποία είναι η φθηνότερη και συχνότερη μέθοδος για την αύξηση της δύναμης των δεσμών με τα πολυμερή, καθώς και το καθάρισμα τους από στοιχεία όπως η πηκτίνη, η λιγνίνη και η ημικυτταρίνη, που δεν χρειάζονται στην αναλογία στη οποία βρίσκονται. Με τον τρόπο αυτό συντελείται η βελτιστοποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων και της ενδοεπιφανειακής δύναμης διάτμησης του σύνθετου πολυμερούς, αυξάνεται η διαβρεξιμότητα, η σκλήρυνση και ο δείκτης κρυσταλλικότητας των ινών, διευκολύνοντας το μηχανισμό συγκόλλησης της ίνας με την πολυμερή μήτρα. (Dedeeraga, Raju, & Kumar, 2012) (Rizal, και συν., 2019).



Εικ 46 Μορφολογία ίνας τύφα (a): ανεπεξέργαστη (b): 1 ώρα αλκαλιοποίησης (c):2 ώρες αλκαλιοποίησης (d):4 ώρες αλκαλιοποίησης (e):8 ώρες αλκαλιοποίησης

Σε σχετική έρευνα για την βελτιστοποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων της τύφα με αλκαλική κατεργασία για 1,2,4 και 8 ώρες, παρατηρήθηκε ότι η μορφολογία αλλάζει αφαιρώντας τις προσμίξεις στην επιφάνεια των ινών. Συγκεκριμένα κατά τη χρήση αλκαλίων μέχρι 2 ώρες, αυξήθηκε η σκληρότητα της επιφάνειας και βελτιώθηκε η διεπαφή ινών-μήτρας και ο δείκτης κρυσταλλικότητας, ενώ στις περιπτώσει 4 και 8 ωρών, οι ίνες καταστράφηκαν λόγω της δημιουργίας πόρων, γεγονός που είχε αρνητικές συνέπειες στον μηχανισμό διαβροχής και συγκόλλησης ινών-μήτρας (Εικ 46).



Εικ 47 Μηχανικές ιδιότητες ίνας Τύφα: (α) τάση εφελκυσμού (β) συντελεστής Young (γ) επιμήκυνση κατά τη θραύση

Διαπιστώθηκε επίσης ότι οι μηχανικές ιδιότητες ως προς την μέση αντοχή σε εφελκυσμό, το μέσο συντελεστή Young και τη μέση επιμήκυνση στη θραύση, βελτιώνονται μέχρι τις 4 ώρες, ενώ ο μηχανισμός συγκόλλησης παρουσιάζει βελτιστοποίηση ακόμα και μέχρι τις 8 ώρες, όπου παρατηρήθηκε το υψηλότερο IFSS. (Rizal, και συν., 2019)

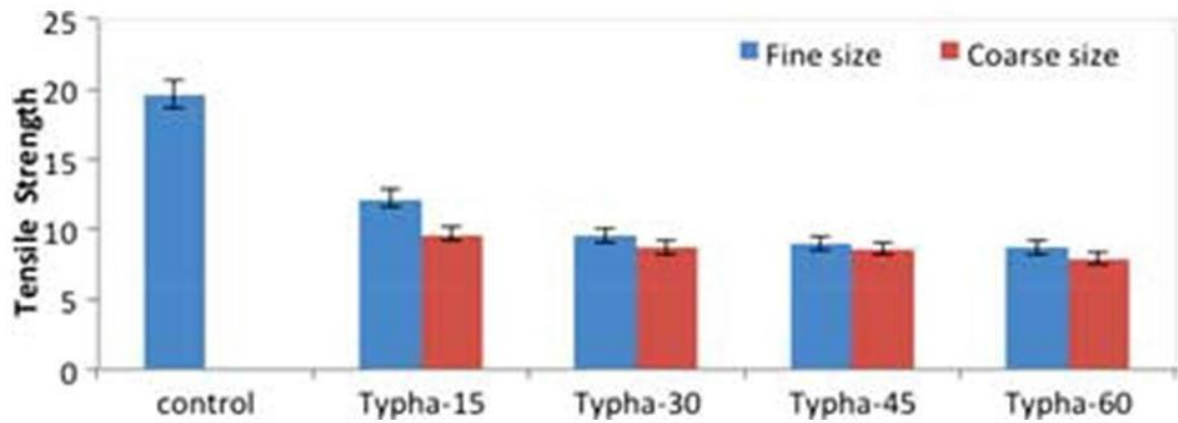
Αν και τα σύνθετα πολυμερή με φυτικές ίνες έχουν μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη πυκνότητα, σε σχέση με τα αντίστοιχα με μη φυτικές ίνες, δεν προτιμούνται γιατί οι φυτικές ίνες είναι συνήθως υδρόφιλες σε αντίθεση με τα υδρόφοβα πολυμερή, οδηγώντας συνήθως στην αδυναμία προσκόλλησης μεταξύ τους. (Rizal, και συν., 2019)

Τα σύνθετα πολυεστέρα με ίνες τύφα διαθέτουν βελτιωμένες μηχανικές και μονωτικές ιδιότητες. (Dedeeraga, Raju, & Kumar, 2012) Συγκεκριμένα οι ιδιότητες εφελκυσμού σύνθετων υλικών με ίνες *T. Angustifolia* είναι υψηλότερες από αυτές της μήτρας (Εικ 47, Εικ 48 Εικ 49). (Dedeeraga, Raju, & Kumar, 2012)

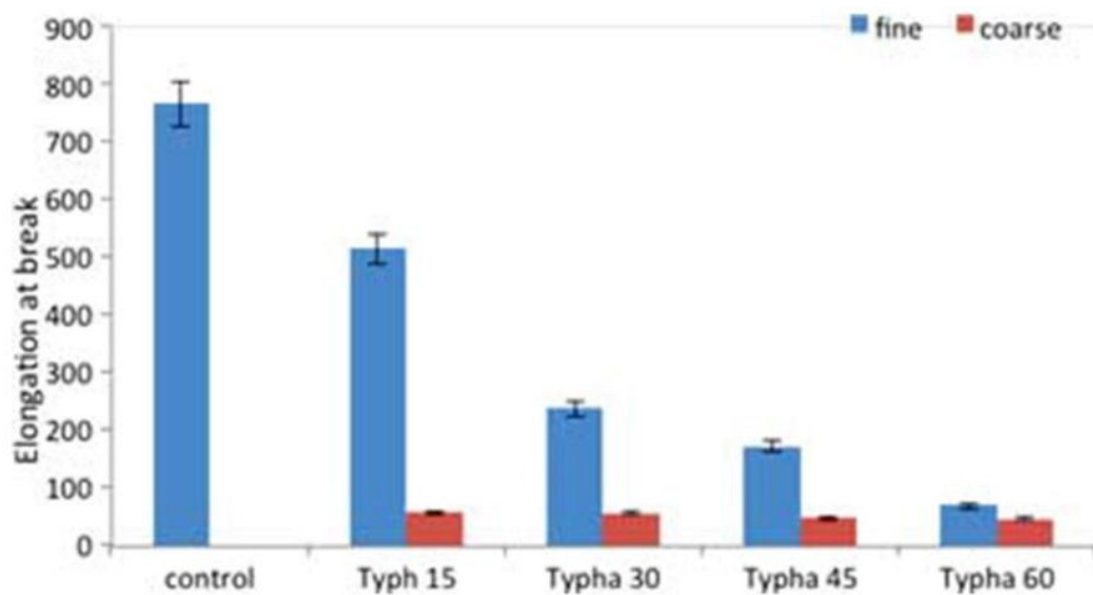
Σημαντικό στοιχείο στην αλληλεπίδραση των ινών του φυσικού πληρωτικού και της πολυμερούς μήτρας, αποτελεί το μέγεθος της ίνας.

Σύμφωνα με μελέτη των Balaed, Noriman, Omar, Dahham, Sam, Hamzah & Omar (2016) αποδείχθηκε ότι λεπτοκομμένο μέγεθος ινών *T. Latifolia* με συμμετοχή 15%, σε μήτρα LLDPE, έχει συνολικά καλύτερες ιδιότητες, από ότι χονδροκομμένο μέγεθος ίνας ή μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής και συντελεί θετικά στην αύξηση της εφελκυστικής αντοχής (Εικ 47), στην επιμήκυνση κατά τη θραύση (Εικ 48) και του συντελεστή Young (Εικ 49).

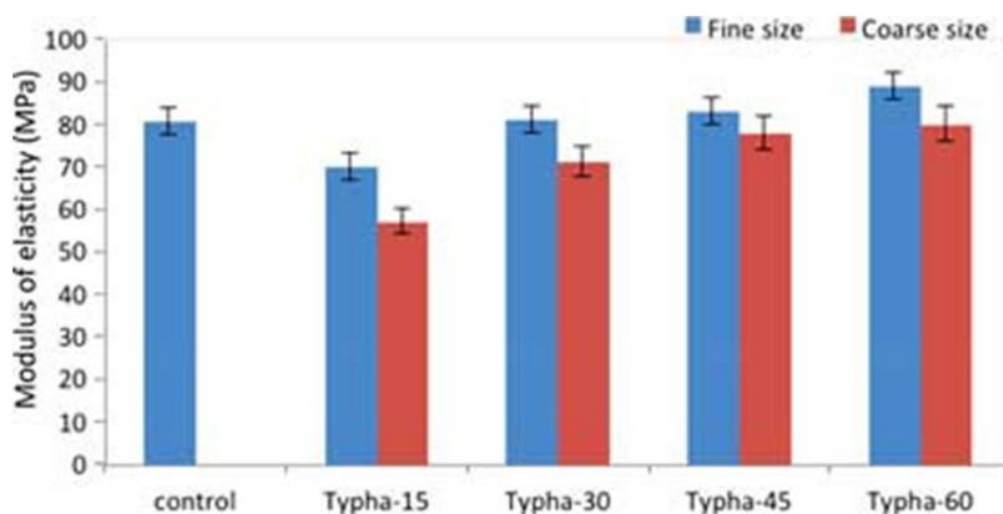
Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ισχυρή διεπιφανειακή σύνδεση των φυσικών ινών στη μήτρα και επιβεβαιώνει, ότι οι ιδιότητες των σύνθετων πολυμερών επηρεάζονται από το μέγεθος του πληρωτικού υλικού. (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, & Omar, 2016)



Εικ 47 Μεταβολή της αντοχής εφελκυσμού των συνθέτων LLDPE / T. Latifolia σε διαφορετική φόρτιση T. Latifolia .  
(Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, & Omar, 2016)

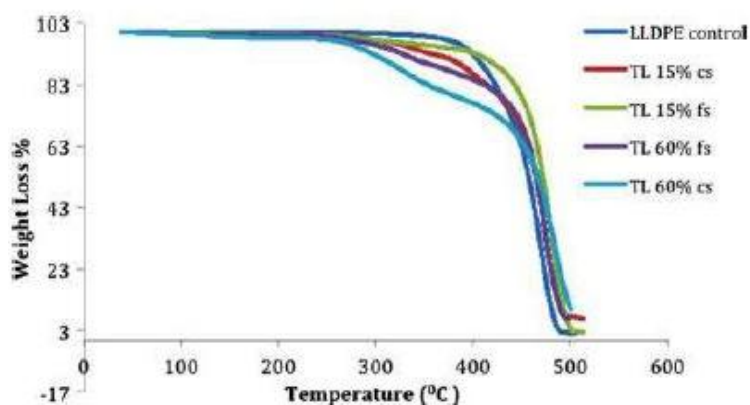


Εικ 48 Μεταβολή επιμήκυνσης κατά τη θραύση συνθέτων LLDPE / Typha latifolia σε διαφορετική φόρτιση T. Latifolia. (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, & Omar, 2016)



Εικ 48 Μεταβολή του συντελεστή Young, σύνθετων LLDPE / Typha latifolia σε διαφορετική φόρτωση του T. Latifolia. (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, & Omar, 2016)

Επιπλέον η πυκνότητα και η θερμική αγωγιμότητα αυτών των σύνθετων υλικών παρουσιάζει μείωση μετά την προσθήκη των ινών, (Εικ 49) γεγονός που σημαίνει ότι τα σύνθετα υλικά από ίνες T. angustifolia –polyester έχουν μικρότερο βάρος, βελτιωμένες μηχανικές και μονωτικές ιδιότητες. (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, & Omar, 2016)



Εικ 50 Θερμοδιαγράμματα DTG σύνθετων υλικών LLDPE/T latifolia (Balaed, Noriman, Dahham, Sam, Hamzah, & Omar, 2016)

## 4.2 Καινοτόμες εφαρμογές

### 4.2.1 Typhaboard

Το Ινστιτούτο Fraunhofer για τη Φυσική Οικοδομών της Γερμανίας (Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, Holzkirchen, Germany) διερεύνησε τη δημιουργία δομικής σανίδας από τύφα και μαγνησίτη με σκοπό να χρησιμοποιηθεί στην επισκευαστική διαδικασία ακινήτων:

#### *Περίπτωση A: Επισκευή ιστορικού κτιρίου στη Νυρεμβέργη*

Η μελέτη χρησιμοποίησε για επισκευή, ένα ιστορικό κτίριο της Pfeiffergasse στη Νυρεμβέργη, με ασύμμετρη σχεδίαση και ανεπαρκές ξύλινο δομικό πλαίσιο στήριξης.



Εικ 49 Εξωτερική εμφάνιση του κτιρίου μετά την αποκατάσταση (Krus, Theuerkorn, Großkinsky, & Künzel, 2014)

Αρχικά ο σκελετός του κτιρίου απογυμνώθηκε και έγινε εμφανής σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο και τις ιστορικές ανάγκες συντήρησης μνημείων (Εικ 51).

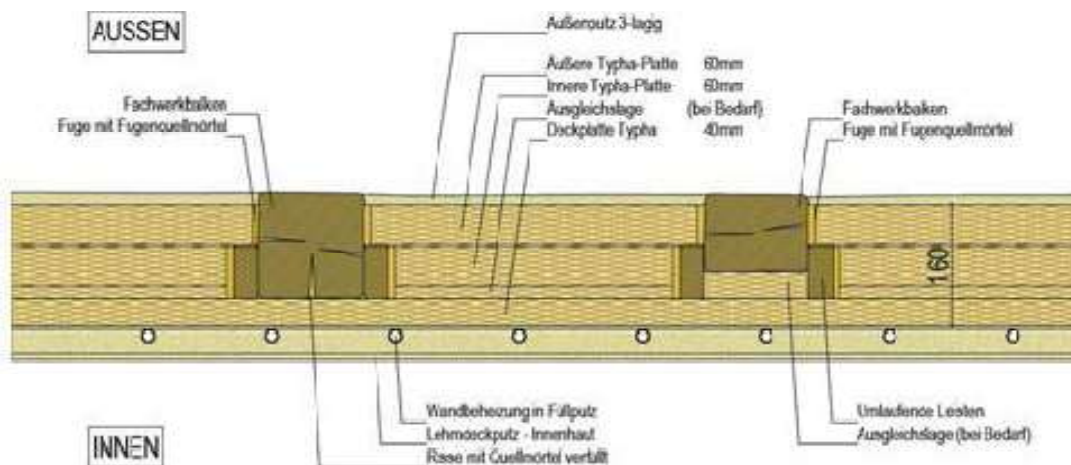


Εικ 50 Ο ξύλινος σκελετός πριν από την αποκατάσταση (αριστερά) και σχέδιο της μόνωσης (δεξιά),  
Φωτο:Alexandra Fritsch (Krus, Theuerkorn, Großkinsky, & Künzel, 2014)

Τα ξύλινα πλαίσια καλύφθηκαν με πηγάκια από ξύλο, πάνω στα οποία στερεώθηκαν με βίδες, τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά, πάνελ τύφα πάχους 60mm. Για να ενισχυθεί η αντοχή, το ενδιάμεσο κενό πληρώθηκε με ένα σύνθετο υλικό με τύφα. Οι αρμοί καλύφθηκαν και εξομαλύνθηκαν. Ένα πρόσθετο πάνελ τύφα πάχους 40mm χρησιμοποιήθηκε για να ενοποιήσει τον εσωτερικό τοίχο. Πάνω στη επιφάνεια των πάνελ στερεώθηκαν με στηρίγματα οι σωληνώσεις θέρμανσης(Εικ 51). Για το τελικό επίχρισμα της κατασκευής, χρησιμοποιήθηκε ένα είδος πηλού με σπόρους τύφα. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η αντοχή στις ρωγμές χωρίς περαιτέρω επένδυση με ύφασμα.

Στο κτίριο τοποθετήθηκαν αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της υγρασίας του ξύλου και της ροής της θερμότητας, προκειμένου να καταγραφεί η λειτουργική ικανότητα της κατασκευής.

Η χρήση πάνελ τύφα ως μονωτικού πλήρωσης και εσωτερικής μόνωσης ταυτόχρονα, είχε ως αποτέλεσμα συντελεστή μεταφοράς θερμότητας περίπου  $0,35 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$  σε τοίχο συνολικού πάχους 20 εκατοστών συμπεριλαμβανομένων των σωληνώσεων θέρμανσης. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται εξαιρετικό για ένα ξύλινο κτίριο (Εικ 52).



Εικ 51 Σχηματική αναπαράσταση δομής εικόνα από την Fritsch + Knodt & Klug (Krus, Theuerkorn, Grobksinsky, & Künzel, 2014)

Το ισόγειο του κτιρίου ήταν κατασκευασμένο από μεγάλους τοίχους και για την ενεργειακή αποκατάστασή του, τοποθετήθηκαν εσωτερικά πάνελ τύφα - μαγνησίτη πάχους 40mm επικαλυμμένα με κονίαμα ενισχυμένο με ίνες. Τα πάνελ κάλυψαν ολόκληρη την εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού τοίχου.

Τόσο οι μετρήσεις από τους αισθητήρες της πρώτης κατασκευής, όσο και τα υπολογιστικά αποτελέσματα της δεύτερης έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η υγρασία μετρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα και η ροή θερμότητας επιβεβαίωσε τις θετικές υπολογιστικές προβλέψεις. Η πιθανότητα ανάπτυξης μούχλας είναι πολύ χαμηλή.

Η διαδικασία παραγωγής του πάνελ είναι απλή:

Τα τεμαχισμένα φύλλα του φυτού τοποθετούνται παράλληλα με το επίπεδο του πίνακα και συγκρατούνται μεταξύ τους με μαγνησίτη. Η τύφα ως φυτό και ο μαγνησίτης ως ορυκτό είναι πλήρως λιπασματοποιήσιμα υλικά. Το προϊόν διαθέτει αντοχή στη θλίψη κατά μήκος του πάνελ, θερμική αγωγιμότητα περίπου 0,055 W / mK, ιδιότητες διάχυσης του ατμού και θερμική προστασία τους θερινούς μήνες. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του το καθιστούν κατάλληλο για επίλυση τόσο ενεργειακών όσο και στατικών προβλημάτων.



Οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται από την αναλογία τύφα μαγνησίτη (Πίνακας 10).

Πίνακας 10 Θερμική αγωγιμότητα σε διαφορετικές πυκνότητες και ποσοστά σύνθεσης τύφα -μαγνησίτη  
(Krus, Theuerkorn, Großkinsky, & Künzel, 2014)

Type	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Magnesite part [%]	Bearing load [N/mm <sup>2</sup> ]	Heat conductivity* [W/Km]
1a	257	50	0,54	0,055
1b	283	60	0,46	0,058
1c	233	40	0,34	0,053
2a	237	50	0,36	-
2b	243	60	0,36	-
2c	217	40	0,29	0,048
3a	318	50	1,01	-
3b	346	60	0,76	0,061

\* orientative, not normative measurement

Η σανίδα τύφα – μαγνησίτη παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Είναι ανανεώσιμο δομικό υλικό με πολύ υψηλή αντοχή στην ανάπτυξη μούχλας
- Εξασφαλίζει ταυτόχρονα πυροπροστασία, ηχομόνωση και θερμομόνωση
- Παράγεται με απλή επεξεργασία και με κοινά εργαλεία
- Η κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή του είναι χαμηλή
- Σχετικά ανοιχτή διάχυση και ενεργή τριχοειδής
- Παρουσιάζει συγκριτικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα 0,055 W / mK
- Ως φυσικό προϊόν χωρίς χημικά πρόσθετα έχει πλήρη ανακυκλωσιμότητα



Εικ 52 Τελικό προϊόν Typhaboard. (Φωτογραφία: typha technik) (Geuder, 2013)

Στο σύνολό της, η διαδικασία μόνωσης με πάνελ τύφα και μαγνησίτη απέδωσε θετικά και μπορεί να θεωρηθεί αποτελεσματική λύση για την φυσική και ιστορική συντήρηση κτιρίων. (Krus, Theuerkorn, Grobkinsky, & Künzel, 2014)

#### *Περίπτωση Β: Κατασκευή BORAHOTSPA στο Radolfzell*

Μετά από συνεργασία ερευνητικών, αρχιτεκτονικών, τεχνικών και κατασκευαστικών εταιρειών το 2013, δημιουργήθηκε το BORAHOTSPA στο Radolfzell της Γερμανίας. Η κατασκευή αποτελεί υποδειγματικό παράδειγμα χρησιμοποίησης του πάνελ Typhaboard.



**Εικ 53 BORA HOT SPA στο Radolfzell της Γερμανίας (TYPHABOARD)**

Για την κατασκευή του κτιρίου δημιουργήθηκε ξύλινος σκελετός και τα πάνελ typhaboard στερεώνονται πάνω στο πλαίσιο με βίδες (Εικ 56). (Φωτογραφία: typha technik) (Geuder, 2013)



Εικ 54 Ο ξύλινος σκελετός της κατασκευής και τα πάνελ tygha board

Το 2015 τα πάνελ tygha board παρουσιάστηκαν στην έκθεση EXPO 2015 στο Μιλάνο της Ιταλίας. Ο χώρος για την προώθηση του προϊόντος αποτέλεσε ενδεικτική εφαρμογή των tygha board (Εικ 57,Εικ 58,Εικ 59 ).



Εικ 55 Tygha house στην έκθεση EXPO 2015 στο Μιλάνο (TYGHABOARD)



Εικ 56 Typha house στην έκθεση EXPO 2015 Μιλάνο: εσωτερικός χώρος (TYPHABOARD)



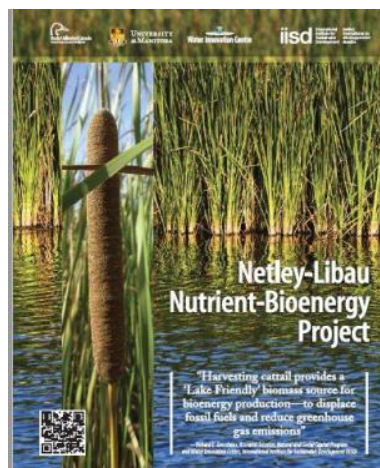
Εικ 57 Typha house στην έκθεση EXPO2015 Μιλάνο: Διαδικασία τοποθέτησης πάνελ typhaboard (TYPHABOARD)

Εκμεταλλεούμενοι τα θετικά αποτελέσματα οι ερευνητές του Ινστιτούτου Φυσικής Κτιρίων Fraunhofer, αναπτύσσουν ένα πάνελ για την μόνωση δοκών και επεξεργάζονται τη δημιουργία αντίστοιχου προϊόντος για μόνωση στέγης. (BINE.info, 2017)

#### 4.2.2 IISD και Μανιτόμπα

Στην πόλη Winnipeg του Καναδά το International Institute for Sustainable Development (IISD) πραγματοποίησε ένα περιβαλλοντικό πρόγραμμα για την ποιότητα του νερού, την ανάπτυξη της βιοενέργειας και την παραγωγή κομπόστ, χρησιμοποιώντας καινοτόμες μεθόδους και φυτικά υλικά της περιοχής.

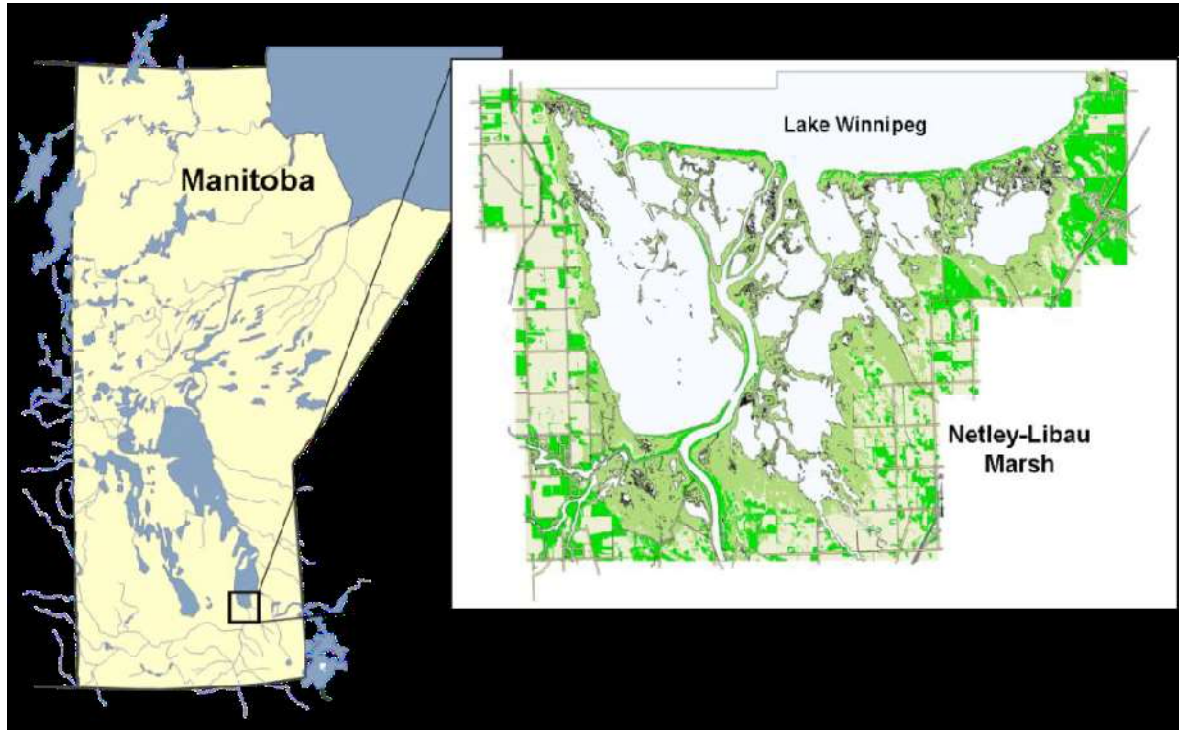
Η πρωταρχική αιτία ήταν η ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας των νερών της λίμνης Winnipeg καθώς και των γύρω αστικών περιοχών. Ο προβληματισμός εντοπιζόταν στο φώσφορο και τα πολυπληθή φύκια της λίμνης.



Εικ 58 Προωθητικό φυλλάδιο προγράμματος Netley-Libau Nutrient-Bioenergy της IISD (IISD)

Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 2013 με την περισυλλογή των τύφα που αφθονούν στην περιοχή (Εικ 60). Το υλικό αποξηράνθηκε και συμπιέστηκε σε σφαιρίδια βιοκαυσίμων, που χρησιμοποιούνται στις σόμπες pellet της πόλης για θέρμανση. Επιπρόσθετα το

2015-2016 η περισυλλογή επεκτάθηκε στις αστικές τάφρους και στη μονάδα μεγάλης κλίμακας κομποστοποίησης της πόλης.



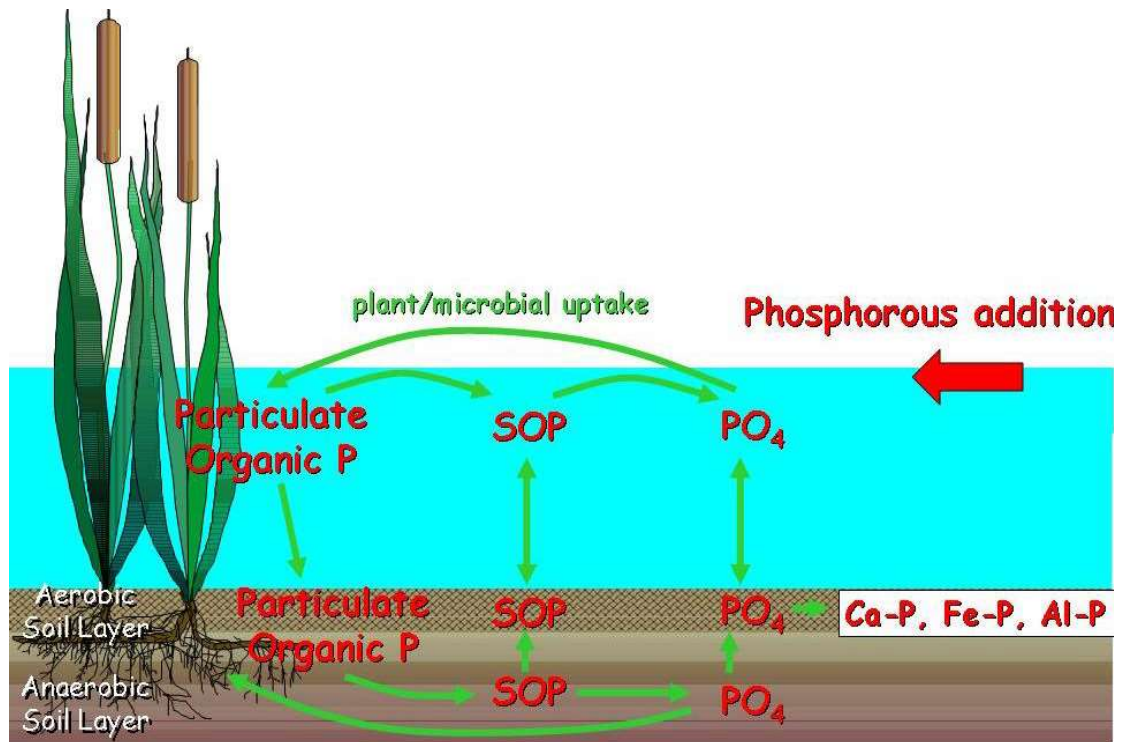
Εικ 59 Χάρτης περιοχής του προγράμματος Netley-Libau Nutrient-Bioenergy της IISD (Grosshans R. , 2014)

Η καινοτομία του προγράμματος δεν ήταν στην συγκομιδή αυτή καθ' αυτή ή μεμονωμένα στο κόστος, αλλά στην σφαιρική αντιμετώπιση, συνυπολογίζοντας το περιβαλλοντικό, το οικονομικό και το κοινωνικό όφελος. (IISD)

Στην ουσία τα τύφα καθαρίζουν τα νερά από το φώσφορο (Εικ 59), συγκομίζονται σε μεγάλη κλίμακα με κοινά εργαλεία και με ελάχιστες επιπτώσεις και μετατρέπονται σε βιώσιμη ενέργεια και άλλα προϊόντα υψηλότερης αξίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον καθαρισμό των νερών, την έλεγχο της ανάπτυξη των τύφα και την αποκατάσταση του βιότοπου της άγριας πανίδας

Με την πρόοδο του προγράμματος διερευνήθηκαν επιπρόσθετα προϊόντα υψηλής αξίας όπως βιοχρωστικές ουσίες, βιοαιθανόλη, αναερόβια χώνευση και βιοαέριο, ίνες, στερεά προϊόντα συμπιεσμένου καυσίμου. Η έρευνα επεκτάθηκε σε καινοτόμους

τρόπους βιοαποικοδόμησης, όπου δημιουργήθηκαν επιπλέον πλατφόρμες φυτών για την επεξεργασία των συστημάτων λιμνοθάλασσας με προοπτική να επεκταθούν σε μολυσμένες από πετρέλαιο περιοχές ή σε χώρους υγειονομικής ταφής. (Grosshans R. )



Εικ 60 Η ανακύκλωση φωσφόρου στους υδροβιότοπους (GrosshansR. , 2014)

Σημαντικό βήμα στην όλη διαδικασία ήταν να πεισθούν οι άνθρωποι, ότι αυτό είναι πραγματοποιήσιμο, δηλαδή οι κάτοικοι να στραφούν στη βιοενέργεια για θέρμανση και οι τοπικοί άρχοντες να ενισχύσουν τη διαδικασία. Καθοριστικό στοιχείο ήταν η απαγόρευση της χρήσης άνθρακα για θέρμανση χώρων, στη Μανιμπότα, γεγονός που έστρεψε τους κατοίκους στη χρήση βιομάζας. Έτσι επιτεύχθηκε η εμπορική καταξίωση του εγχειρήματος καθώς η αγορά βιομάζας στη πολιτεία αυτή έχει αποκτήσει ανοδική δυναμική. Πραγματοποιήθηκε στροφή των τοπικών κυβερνήσεων στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και την προστασία των πόρων του γλυκού νερού.



Εικ 61 Συγκομιδή τύφα

Η έρευνα του IISD έφερε σαν αποτέλεσμα την ενσωμάτωση της συγκομιδής βιομάζας στις πρακτικές διαχείρισης των επιφανειακών υδάτων της Μανιτόμπα και στα πρωτόκολλα διαχείρισης των έργων κατακράτησης νερού στη Μινεσότα και τη Βόρεια Ντακότα. Η ανάπτυξη της τύφα συνδυάζεται αρμονικά με τη διαχείριση και τον καθαρισμό του νερού.

Το IISD συνεργάζεται για ανάλογες έρευνες στη Γερμανία και στις Κάτω Χώρες με απώτερο στόχο την διάδοση της έννοιας της βιοοικονομίας σε διεθνές επίπεδο. Κι ενώ το υπόβαθρο είναι κοινό και αφορά την τύφα ή άλλα χωροκατακτητικά φυτά, ο στόχος διαφέρει.

Στην Μανιτόμπα η έρευνα επικεντρώθηκε στη χρήση φωσφόρου και βιομάζας, στη Γερμανία, στη βιοποικιλότητα και τη βιώσιμη βιομάζα, στην Κίνα, στο φώσφορο, τον πολτό και το χαρτί και στην Αφρική στην εναλλακτική ενέργεια, τη διατήρηση των υδάτων και την οικονομική ανάπτυξη. (IISD)

#### 4.3 Βιομηχανική εκμετάλλευση της τύφα

Η εκμετάλλευση του φυτού σε χαμηλή κλίμακα, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες απαιτήσεις και τα όποια προβλήματα προκύπτουν, αντιμετωπίζονται είτε με παραδοσιακές μεθόδους είτε «εκ των ενόντων». Όμως η βιομηχανική εκμετάλλευση για την παραγωγή οικοδομικών ή άλλων υλικών, με βάση την τύφα, απαιτεί ορισμένες



προϋποθέσεις, που έχουν να κάνουν με τον βιολογικό κύκλο του φυτού, τις καιρικές συνθήκες, τη συγκομιδή, το σύστημα μεταφορά και διανομής κ.α., καθώς και την ορθή και σαφή αντιμετώπιση των προβλημάτων.

Ειδικότερα τρία είναι τα κρίσιμα στοιχεία για την εκμετάλλευση του φυτού σε ευρεία κλίμακα.

- Πρωταρχικής σημασίας είναι σταθερή προσφορά πρώτης ύλης. Είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί μια σταθερή ροή της βιομάζας καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και από έτος σε έτος. Επειδή ο κάθε βιότοπος συγκομίζεται μία φορά το χρόνο είναι αναγκαίο να εξασφαλιστεί η προσφορά καθ' όλο το έτος. Επιπλέον σ' ένα έτος με ξηρασία η πρόσβαση στη βιομάζα τύφα είναι ευκολότερη, απ' ό,τι σε ένα έτος με πολλές βροχές. Προκειμένου να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της διαθεσιμότητας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν γεωργικές εκτάσεις για συμπληρωματική παραγωγή βιομάζας.
- Δεύτερο κριτήριο είναι ο τρόπος και ο χρόνος συγκομιδής. Η βιομάζα μετά τη συγκομιδή της, δεν μπορεί να μεταφερθεί σε πολύ μεγάλη απόσταση, γιατί το κόστος μεταφοράς θα αντισταθμίσει το όποιο οικονομικό όφελος. Το συγκρότημα επεξεργασίας θα πρέπει να διαθέτει ικανούς αποθηκευτικούς χώρους, κατά κύριο λόγο στεγασμένους για να μην απορροφά υγρασία η πρώτη ύλη.
- Τρίτο προαπαιτούμενο είναι η δημιουργία ενός ανταγωνιστικού οικονομικά προϊόντος.

Συνοπτικά δηλαδή, απαιτούνται η ποσότητα της βιομάζας, η ποιότητα του υλικού και η συγκριτική ανταγωνιστική οικονομική αξία του τελικού προϊόντος.

Είναι βασικό επίσης ο τελικός καταναλωτής να είναι κοντά στο παραγόμενο τελικό προϊόν και να είναι θετικά προδιατεθειμένος για την εναλλακτική ενέργεια. (Bansal, και συν., 2019)

## 5 Εργαστηριακή αξιολόγηση δοκιμών

Προκειμένου να ολοκληρωθεί ο κύκλος της έρευνας για την τύφα και τις δυνατότητες του αυτή επεκτάθηκε και στον εργαστηριακό έλεγχο της αντοχής του φυτού στον



εφελκυσμό. Για το σκοπό δοκίμια από δύο διαφορετικά είδη τύφα που ήταν συγκροτημένα με δύο διαφορετικούς τρόπους το κάθε ένα υποβλήθηκαν σε εφελκυσμό.

Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν δύο είδη με εκ διαμέτρου αντίθετα χαρακτηριστικά ως προς τις διαστάσεις μεγέθους και τον τόπο προέλευσης.

Το πρώτο είδος τύφα που χρησιμοποιήθηκε ήταν μια αυτοφυής ποικιλία των Κυκλάδων (Κύθνος) με μεγάλα επιμήκη φύλλα μήκους πέραν των 2 μέτρων (*typhalatifolia*). Στην Κύθνο απ' όπου συλλέχθηκε είναι γνωστή ως ψαθί και χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή «των στρατουριών» δηλαδή του βασικού υποστρώματος του σαμαριού των γαϊδουριών, αλλά και ως ζωτροφή των αιγοπροβάτων.

Το δεύτερο είδος προέρχεται από μια χαμηλή μίνι ποικιλία με πολύ λεπτά φύλλα μήκους 50 – 60 cm, με προέλευση την Ινδία.

Εικ 62 Σύγκριση των φύλλων τύφα της έρευνας ως προς το μήκος τους



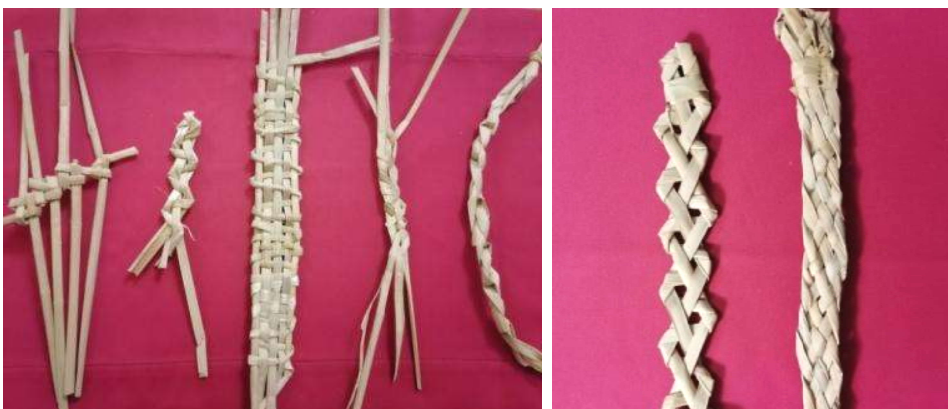
Εικ 63 Σύγκριση των φύλλων τύφα της έρευνας ως προς το πάχος τους

Η έρευνα έγινε σε δύο φάσεις.

#### 5.1 Α΄ Φάση

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν πρωτόμαθη και χωρίς προηγούμενη εμπειρία.

Επειδή και τα δύο είδη ήταν ήδη αποξηραμένα, βράχηκαν και πλέχτηκαν σε επιμήκεις λωρίδες με διάφορες πλέξεις. Δεν έγινε κανενός είδους επιλογή υλικού. Το υλικό χρησιμοποιήθηκε αυτούσιο και χωρίς διαλογή.



Εικ 64 Τρόποι συγκρότησης δοκιμών Α φάσης

Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στο μηχάνημα εφελκυσμού – θλίψης και υποβλήθηκαν σε έλεγχο αντοχής εφελκυσμού με την εφαρμογή αξονικής δύναμης.



(α)



(β)



(γ)

Εικ 65 Δοκίμιο (α), στο μηχάνημα εφελκυσμού (β), και το σημείο θραύσης του (γ)



(α)



(β)



(γ)

Εικ 66 Δοκίμιο (α), στο μηχάνημα εφελκυσμού (β), και το σημείο θραύσης του (γ)



(α)

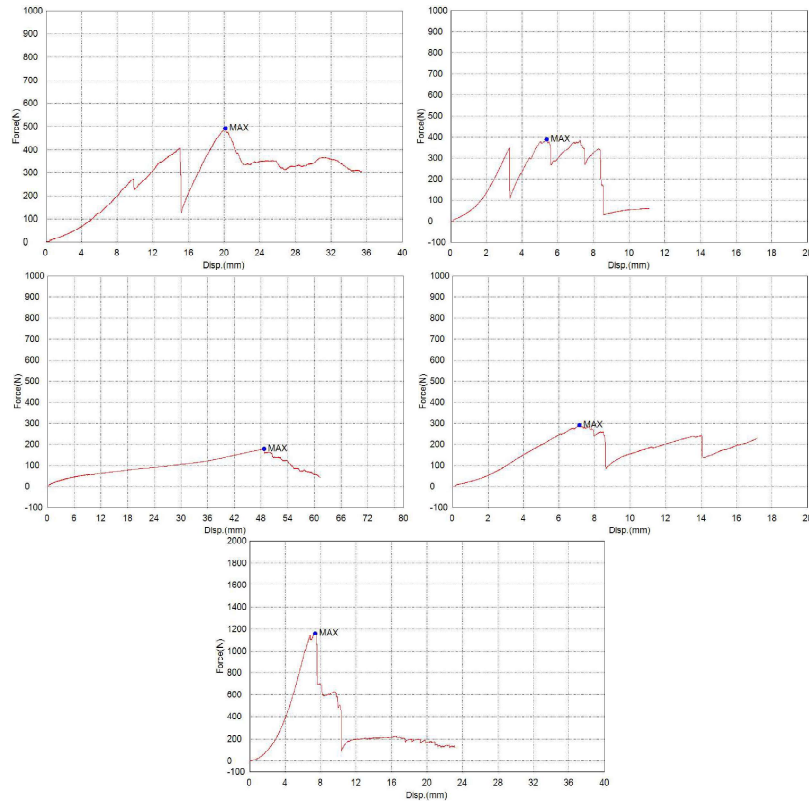
(β)

Εικ 67 Δοκίμιο (α), στο μηχάνημα εφελκυσμού (β)

Τα αποτελέσματα της πρώτης φάσης επιβεβαίωσαν την κοινή λογική: τα δοκίμια παρουσίαζαν αντοχή ανάλογα με τον τρόπο συγκρότησής τους (πλέξη) και την ποιότητα του συγκεκριμένου υλικού κατασκευής τους. Δηλαδή οι πιο στιβαρές και πυκνές πλέξεις παρουσίαζαν μεγαλύτερους δείκτες αντοχής από τις πιο αραιές και λεπτές. Επίσης επειδή η επιλογή του υλικού ήταν τυχαία αυτό είχε σαν αποτέλεσμα κάποια τμήματα να σπάνε με την ελάχιστη εφαρμογή δύναμης ενώ άλλα να αντέχουν πολλαπλάσια δύναμη.

Αυτές ήταν οι βασικές αιτίες που η Α φάση απέδωσε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα αντοχής ανά δοκίμιο.

Η ακολουθία των διαγραμμάτων παρουσιάζει τις διαφορετικές συμπεριφορές μεταξύ των δοκιμίων και επιβεβαιώνει τα παραπάνω αναφερόμενα.



Εικ 68 Διαγράμματα εφελκυσμού Α φάσης

Η πρώτη αυτή δοκιμή όμως δεν στερείται χρησιμότητας. Δημιούργησε το απαραίτητο εμπειρικό υπόβαθρο και υπήρξε καθοριστική για την περαιτέρω επιλογή των δοκιμών.

## 5.2 Β' Φάση

Έχοντας ως γνώμονα την εμπειρία και τα αποτελέσματα της Α φάσης, η μελέτη προχώρησε σε δεύτερη φάση με σαφέστερα κριτήρια.

Επιλέχθηκαν δύο διαφορετικές πλέξεις για τα φύλλα του τύφα οι οποίες όμως ήταν αρκετά πυκνές και δημιουργούσαν ένα πιο στιβαρό και συμπαγές αποτέλεσμα. Η επιλογή των φύλλων για την δημιουργία των δοκιμών ήταν προσεκτική και όχι τυχαία. Για την μεν πρώτη ποικιλία (*typha latifolia*) επιλέχθηκαν φύλλα συμπαγή και γερά

παρεμφερούς μεγέθους μεταξύ τους. Τα φύλλα τοποθετήθηκαν σε νερό για να μαλακώσουν. Συγκρατήθηκαν από ένα πλαστικό μανταλάκι και ακολούθως σχηματίστηκε από αυτά το πλεκτό μοτίβο.



Εικ 69 Δημιουργία δοκιμίου πλατύφυλλης τύφα

Για την μίνι ποικιλία δημιουργήθηκαν μικρές δεσμίδες φύλλων με σχετικά ίδιο μέγεθος, συγκρατήθηκαν με κολλητική ταινία και πλέχθηκαν στα αντίστοιχα μοτίβο.

Δημιουργήθηκαν εναλλακτικά δοκίμια και από τις δύο ποικιλίες και με τις δύο πλέξεις.



Εικ 70 Δημιουργία δοκιμίων ποικιλίας νάνου τύφα

Με αυτό τον τρόπο τα δείγματα είχαν κατά το δυνατόν παρεμφερή ποσότητα υλικού, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο διαθέσιμες ποικιλίες του φυτού. Δηλαδή δημιουργήθηκαν δοκίμια από το ίδιο φυτό αλλά με διαφορετική πλέξη καθώς και δοκίμια από διαφορετικό φυτό και με την ίδια πλέξη.





Εικ 71 Τα δοκίμια φύλλων τύφα

Καταγράφηκε το μήκος τους και τοποθετήθηκαν στο μηχάνημα εφελκυσμού.







Εικ 72 Τοποθέτηση δοκιμίου στο μηχάνημα εφελκυσμού

Ασκήθηκε δύναμη μέχρι την ολική θραύση τους και η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την καταγραφή των αποτελεσμάτων, τόσο αναλυτικά όσο και σε διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης.

### 5.3 Αποτελέσματα εργαστηριακής καταπόνησης

Τα αποτελέσματα της αντοχής τους καταγράφηκαν με την χρήση του μηχανήματος Shimadzu AG-XPLUS 100Kn, τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε εφελκυσμό και αποτυπώθηκαν σε αντίστοιχα διαγράμματα.

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Disp.	Max_Strain	
	Calc. at Entire Areas N	Calc. at Entire Areas N/mm2	Calc. at Entire Areas mm	Calc. at Entire Areas mm	Calc. at EntireAreas %	
A	1057,6	10,6	20,7	20,7	8,2	
B	396,9	3,9	17,1	17,1	6,8	
C	681,8	10,0	29,8	29,8	19,2	
D	704,3	6,7	11,2	11,2	5,1	

Πίνακας 11 Πίνακας αποτελεσμάτων εφελκυσμού φύλλων τύφα

Τα αποτελέσματα της δεύτερης φάσης είναι μεν ευκρινέστερα από αυτά της πρώτης ωστόσο δεν είναι απολύτως σαφή ή επαρκή.

### 5.4 Συγκριτικά αποτελέσματα ως προς την ποικιλία του φυτού

Τα δοκίμια που αποτελούνται από φύλλα της μίνι ποικιλίας, είναι αυτά που παρουσιάζουν τις υψηλότερες επιδόσεις. Το δοκίμιο A αντέχει περισσότερο από τα

υπόλοιπα και η θραύση του επέρχεται στα 10,6 MPa ενώ το δοκίμιο C υπερτερεί των άλλων ως προς την επιμήκυνση λόγω παραμόρφωσης που ανέρχεται σε 19,3 % του αρχικού του μήκους.

Η υψηλότερη αντοχή, που παρουσιάζει το δοκίμιο A προφανώς οφείλεται στο ότι αποτελείται από πέντε δεσμίδες φύλλων, έναντι τριών του δοκιμίου C και επομένως θα ήταν αναμενόμενο και λογικό να είναι ανθεκτικότερο στις καταπονήσεις. Αντίθετα τη μεγαλύτερη παραμόρφωση μεταξύ των δύο παρουσιάζει το δοκίμιο με τις τρεις δεσμίδες. Το γεγονός δικαιολογείται, από το ότι το δοκίμιο A αποτελείται από μεγαλύτερη ποσότητα υλικού, που το κάνει πιο συγκροτημένο και στιβαρό, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την ελαστικότητά του. Αντίθετα το C με τη μικρότερη ποσότητα υλικού, παρουσιάζει συγκριτικά μικρότερη αντοχή στον εφελκυσμό αλλά διατηρεί την ελαστικότητά του, η οποία του επιτρέπει την μεγαλύτερη παραμόρφωση.

Μεταξύ των δοκιμών της ποικιλίας *typha latifolia* η αντοχή του D είναι σαφώς μεγαλύτερη αυτής του B και παρά το ότι το δοκίμιο B συγκροτείται από πέντε φύλλα τύφα έναντι τριών του δοκιμίου D. Αντίθετα η παραμόρφωση είναι μεγαλύτερη στο δοκίμιο B από εκείνη του δοκιμίου D.

Δηλαδή και στα δύο ζεύγη δοκιμών από το ίδιο υλικό το δοκίμιο με την μεγαλύτερη αντοχή είναι αυτό με τη μικρότερη παραμόρφωση και το δοκίμιο με την μικρότερη αντοχή είναι αυτό που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη παραμόρφωση.

#### 5.5 Η σύγκριση των αποτελεσμάτων ως προς τον τρόπο συγκρότησης

Για τα δοκίμια που αποτελούνται από πέντε δεσμίδες φύλλων η σύγκριση δίνει υψηλότερες τιμές στο δοκίμιο A έναντι του B, τόσο στην αντοχή στον εφελκυσμό όσο και στην παραμόρφωση. Δηλαδή το δοκίμιο της μίνι ποικιλίας υπερέχει αυτού της ποικιλίας *typha latifolia*.

Για τα δοκίμια που αποτελούνται από τρεις δεσμίδες φύλλων, το D υπερτερεί του C στην αντοχή στον εφελκυσμό, ενώ αντιθέτως ως προς τη μετατόπιση το C υπερτερεί του D.

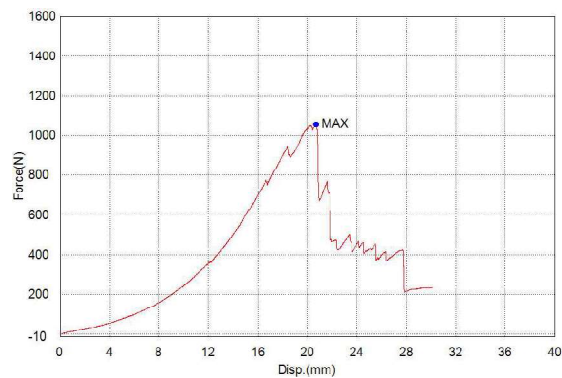
### 5.6 Συμπεράσματα εργαστηριακών δοκιμών

Αν θα μπορούσε να βγει κάποιο υποτυπώδες γενικό συμπέρασμα αυτό είναι ότι:

- Η μίνι ποικιλία παρουσιάζει γενικά υψηλότερη αντοχή εφελκυστικής καταπόνησης.
- Η παραμόρφωση που παρουσιάζει ένα δοκίμιο είναι αντιστρόφως ανάλογη του αριθμού των φύλλων που συγκροτείται αυτό.



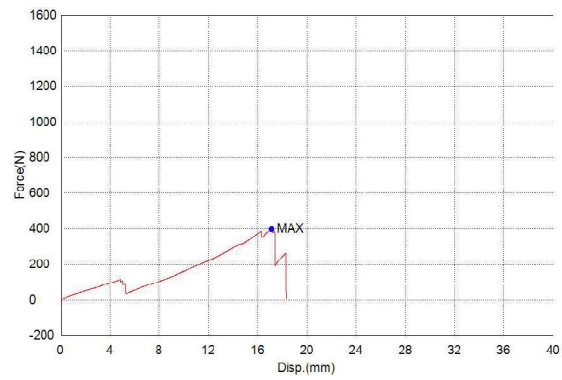
Εικ 73 Δοκίμιο A



Εικ 74 Διάγραμμα εφελκυσμού δοκιμίου A



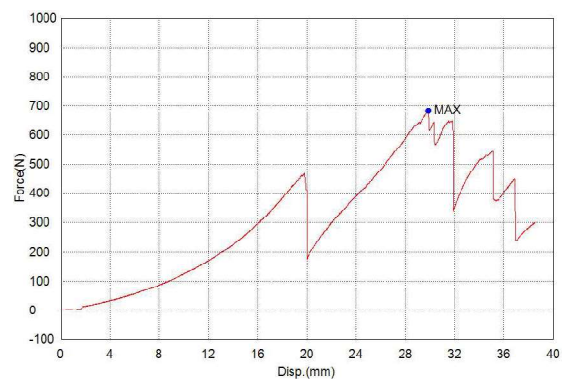
Εικ 75 Δοκίμο Β



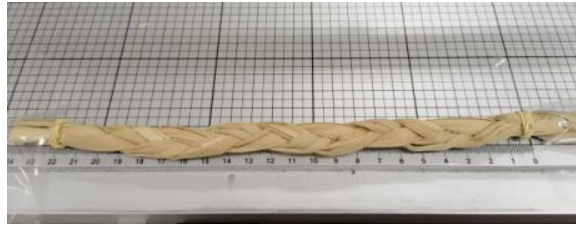
Εικ 76 Διάγραμμα εφελκυσμού δοκιμίου Β



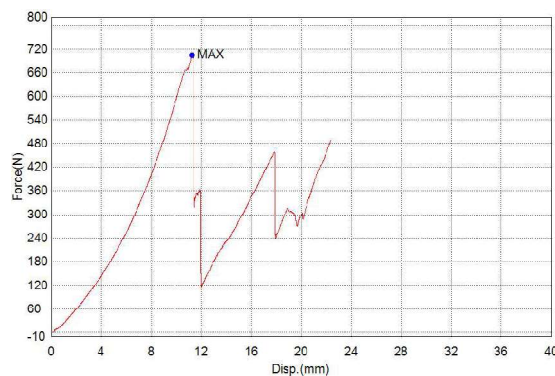
Εικ 77 Δοκίμο C



Εικ 78 Διάγραμμα εφελκυσμού δοκιμίου C



Εικ 79 Δοκίμο D



Εικ 80 Διάγραμμα εφελκυσμού δοκίμιου D

Στη Β' φάση ενδιαφέρον παρουσιάζει το τμήμα της καμπύλης πριν τη γραμμική συμπεριφορά. Η ανοδική πορεία της καμπύλης είναι εμφανής και συνήθως αδιάσπαστη μέχρι την προσέγγιση του μέγιστου σημείου της. Ακολουθείται από μικρές απότομες πτώσεις και επαναφορές, έως ότου υπερκεράσει τις δυνάμεις συνοχής που αναπτύσσονται μεταξύ των σωματιδίων της ύλης και να καταλήξει στην λύση της συνέχειας του δηλαδή τη θραύση. (Δρ Βουθούνης, 1993)

Και τα δύο είδη του φυτού παρουσίασαν σημαντική αντοχή στον εφελκυσμό ενώ η μετατόπιση ακολουθεί ανάλογα την αυξητική πορεία της δύναμης. Το σημαντικότερο στοιχείο που παρατηρείται είναι ότι κατά τη διάρκεια του εφελκυσμού, παρά το ότι σε κάποιο σημείο το δοκίμιο παρουσιάζει θραύση αυτή δεν είναι ολική αλλά το δοκίμιο επανέρχεται και συνεχίζει να αντέχει φτάνοντας στο μέγιστο σημείο. Μετά το μέγιστο σημείο το δοκίμιο εξακολουθεί να παρουσιάζει την ίδια καμπύλη με τις απότομες πτώσεις και τις επαναφορές αλλά με πτωτική γενικά πορεία. Ωστόσο το τμήμα γύρω από το μέγιστο σημείο αντοχής είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον και αποκαλύπτει την

δυνατότητα του φυτού να αντέχει σε υψηλές καταπονήσεις χωρίς να παρουσιάζει απότομη και καθολική ρήξη. Η ιδιότητα αυτή το καθιστά χρήσιμο και κατάλληλο για συστήματα ασφάλειας ή failsafe κατασκευές.

### 5.7 Παρατηρήσεις εργαστηριακής έρευνας

- Η συλλογή του φυτού θα πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη εποχή, αυτή της συγκομιδής της, ώστε τα φύλλα να είναι στην καλύτερη συνθήκη τους
- Η διαλογή των ισχυρών φύλλων για την δημιουργία των δοκιμών αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα αντοχής.
- Η επεξεργασία του είναι καλύτερα να γίνεται ενόσω το φυτό είναι φρέσκο γιατί τότε πλέκεται ευκολότερα και δεν καταστρέφονται οι ίνες του.
- Το βρέξιμο των κομμένων φύλλων του φυτού, στην περίπτωση που είναι ήδη αποξηραμένο, καθιστά το πλέξιμο του ευκολότερο καθώς το κάνει πιο μαλακό και ευλύγιστο και δεν καταστρέφει τα δομικά του στοιχεία.
- Η πιο πυκνή πλέξη είναι πιο ανθεκτική στην παραμόρφωση
- Η πλέξη με τα περισσότερα και λεπτότερα φύλλα έχει καλύτερα αποτελέσματα από την πλέξη με τα λιγότερα και φαρδύτερα φύλλα

### 5.8 Μελλοντική εργασία

Προσδοκώντας πληρέστερα αποτελέσματα πάνω στο θέμα της αντοχής στην καταπόνηση των φύλλων τύφα, και λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις της εργαστηριακής έρευνας, προκύπτει η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, η οποία χρειάζεται να επεκταθεί, τόσο σε διαφορετικά είδη του φυτού, όσο και στον τρόπο της συγκρότησης των δοκιμών.

Για να έχουν αυτά τα αποτελέσματα εγκυρότητα και ασφάλεια θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν μεγαλύτερη ποικιλία από φύλλα ή και μίξη φύλλων διαφορετικών ποικιλιών του φυτού και τρόπων συγκρότησης των δοκιμών. Ο ικανός αριθμός των δοκιμών θα συντελέσει ουσιαστικά στην αξιοπιστία της έρευνας.

## 6 Συμπεράσματα

Η μελέτη του φυτού τύφα στην παρούσα εργασία έχει σκοπό να αναδείξει τις εξαιρετικές του ιδιότητες. Αυτές βασίζονται στο aerenchyma, ένα ανεπτυγμένο σύστημα διακίνησης του οξυγόνου από τον βλαστό προς τις ρίζες, το οποίο αποτελείται από σπογγώδεις ιστούς, που επιτρέπουν την ανταλλαγή αερίων. Το συγκεκριμένο σύστημα, σε συνδυασμό με τη σφιχτή και σταθερή (tensegrity) δομή του φυτού, το καθιστά ανθεκτικό, γρήγορα αναπτυσσόμενο και επεκτατικό, προσδίδοντάς του συγκριτικά πλεονεκτήματα, έναντι άλλων, που φύονται σε μεγάλες εκτάσεις και των οποίων οι φυτικές ίνες χρησιμοποιούνται επίσης σε σύνθετα υλικά.

Η εύκολη και ευρεία βλάστηση του φυτού ανά τον κόσμο το καθιστά, εκατοντάδες χρόνια τώρα, ένα από τα δημοφιλέστερα φυτά, με μεγάλη ποικιλία χρήσεων, όπως είναι η κατασκευή ειδών οικιακής χρήσης, καλαθιών, καρεκλών, ψαθών και σκιάστρων, η χρησιμοποίηση του στη μαγειρική και τη φαρμακευτική, η εκμετάλλευσή του στη γεωργία και την κτηνοτροφία, αλλά και τη ναυσιπλοΐα, τη διακόσμηση κ.α.

Στη σύγχρονη εποχή, χρησιμοποιείται ως θερμομονωτικό υλικό, δημιουργώντας μια ελπιδοφόρα, οργανική, εναλλακτική πρόταση για τα συμβατικά μονωτικά δηλαδή του υαλοβάμβακα και του πετροβάμβακα.

Η καταλληλότητα του για το σχεδιασμό καινοτόμων δομικών υλικών, στηρίζεται στο χαρακτηριστικό, που παρουσιάζει η μάζα των φύλλων, συνδυάζοντας την αντοχή φορτίου με τις μονωτικές ιδιότητες. (Kanatas, 2019)

Τα σύνθετα υλικά με τύφα εκτός των άλλων ιδιοτήτων τους, ξεχωρίζουν λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας τους σε πολυφαινόλες, οι οποίες τους προσδίδουν ιδιαίτερη αντοχή στη μούχλα και στις βακτηριακές λοιμώξεις

Η τύφα συγκέντρωσε το ενδιαφέρον των επιστημόνων και μελετήθηκε με σκοπό τη δημιουργία σύνθετων δομικών υλικών με φυτικές ίνες όπως είναι οι μοριοσανίδες. Η παρουσίασή τους σε εκθεσιακές κατασκευές, η εφαρμογή αυτών στην επισκευή παραδοσιακών κτιρίων και τέλος στην ανέγερση νέων οικοδομημάτων, απέφερε



αξιόλογα αποτελέσματα, που οδήγησαν στην κατοχύρωση τους, ως πατέντα, με το όνομα «tyrhaboard». Η δημιουργία και χρήση του συγκεκριμένου προϊόντος το οποίο περιορίζει στο ελάχιστο το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, διαθέτει εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες, εκ παραλλήλου με προσιτό κόστος, σηματοδοτεί την καινοτομία στο χώρο των θερμομονωτικών προϊόντων και αποσκοπεί στην αντικατάσταση των ορυκτών πόρων, που απαιτούνται στην κατασκευαστική βιομηχανία.

Επίσης η ανάγκη περιορισμού της επεκτασιμότητας της, καθώς πρόκειται για ένα χωροκατακτητικό είδος, ο προβληματισμός για τη διατήρηση της αειφορίας και της βιωσιμότητας των υγροβιότοπων και η αναζήτηση καθαρότερων μορφών ενέργειας, είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη της εναλλακτικής χρήσης του φυτού ως βιομάζα.

Δεδομένης της ύπαρξης επιτυχών εφαρμογών με σύνθετα υλικά από τύφα, η μελλοντική έρευνα οφείλει να εστιάσει στη βελτιστοποίηση αυτών καθώς οι ιδιότητες της τύφα έχουν μελετηθεί επαρκώς από τους επιστήμονες. Επιπροσθέτως, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επεκταθεί στην περαιτέρω εκμετάλλευση των θερμομονωτικών ιδιοτήτων του φυτού, αλλά και της χαμηλής αστοχίας, μία ακόμη ενδιαφέρουσα ιδιότητα που παρουσιάζει το φυτό (failsafe).

Το συμπέρασμα που εξήχθη στο διεθνές συνέδριο του 2017 “Renewable resources from wet and rewetted peatlands” για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από τους υγροβιότοπους ήταν:

*“Peatlands must be wet: for the climate, for the land, for the people, for ever and Typha biomass has a key role”*(Sorrell, Eller, Lambertini, Ren, Guo, & Brix, 2017),

τουτέστιν: *“Οι υγροβιότοποι πρέπει να παραμένουν πάντοτε υγροί για το κλίμα, τη γη, τον άνθρωπο και η βιομάζα τύφα έχει ένα ρόλο κλειδί”.*

Πρόκειται για μια νέα, πρωτοποριακή αντίληψη ως προς τη χρήση του φυτού, η οποία αποφέρει οφέλη περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά.

Η υποχρέωση του σεβασμού του περιβάλλοντος και η ανάγκη δημιουργίας συνθηκών αειφορίας στην ανθρωπογενή παραγωγική διαδικασία καλούν σε νέους τρόπους σκέψης και δράσης τους σχεδιαστές. Η τύφα είναι ένα φυτό που μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμο για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, παρέχοντας τη βάση για τη δημιουργία καινοτόμων ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων.

## 7 Παράρτημα

### 7.1 Μετρήσεις δοκιμών Α' φάσης

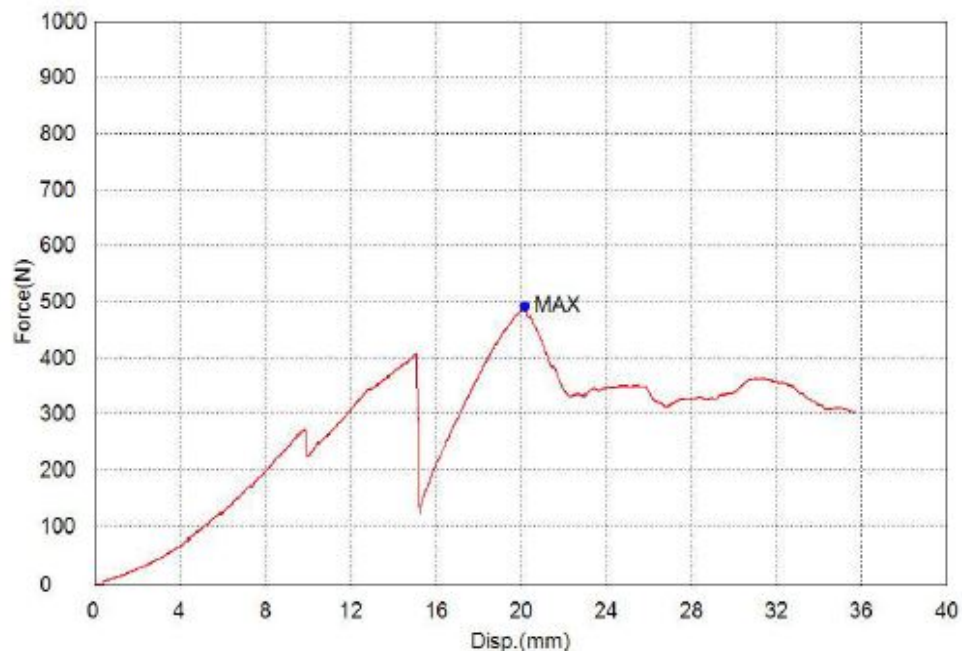
#### 7.1.1 Apli

Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	pitaouli.xmak
Report Date	1/3/2022	Test Date	1/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	0,5mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters Unit	Max_Force Calc. at Entire Areas N	Max_Stress Calc. at Entire Areas N/mm2	Max_Stroke Calc. at Entire Areas mm	Max_Displ. Calc. at Entire Areas mm
1_1	492,303	7,23974	20,1268	20,1268

Name Parameters Unit	Max_Strain Calc. at Entire Areas %
1_1	12,9851



Comment

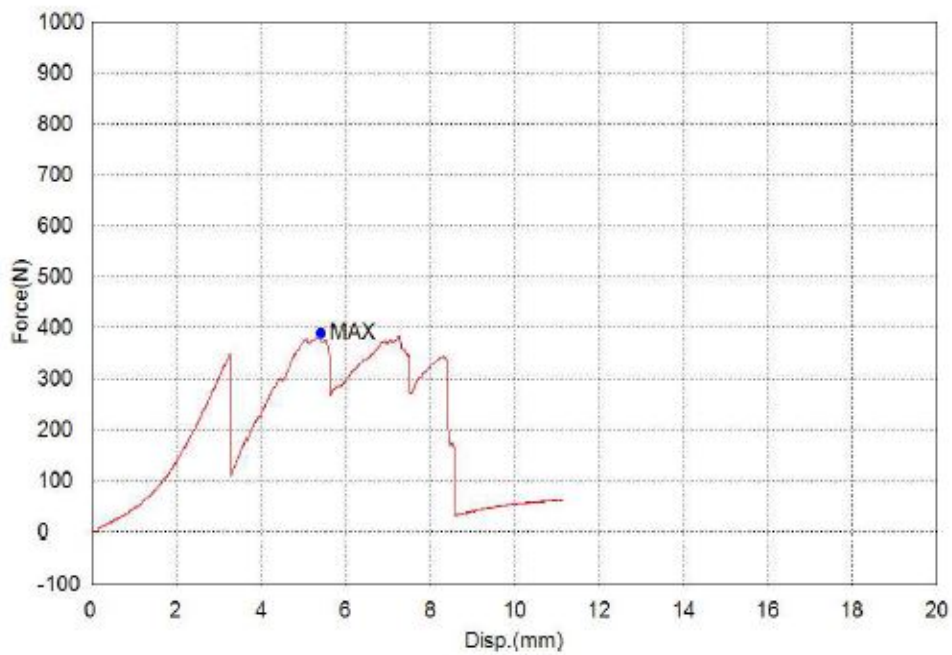
### 7.1.2 Apli\_short

## Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	
Report Date	1/3/2022	Test Date	1/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	0,5mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Displ. Calc. at Entire Areas Unit
1 _ 1	389,226 N	5,72392 N/mm2	5,38702 mm	5,38702 mm

Name Parameters	Max_Strain Calc. at Entire Areas Unit
1 _ 1	3,47550 %



Comment

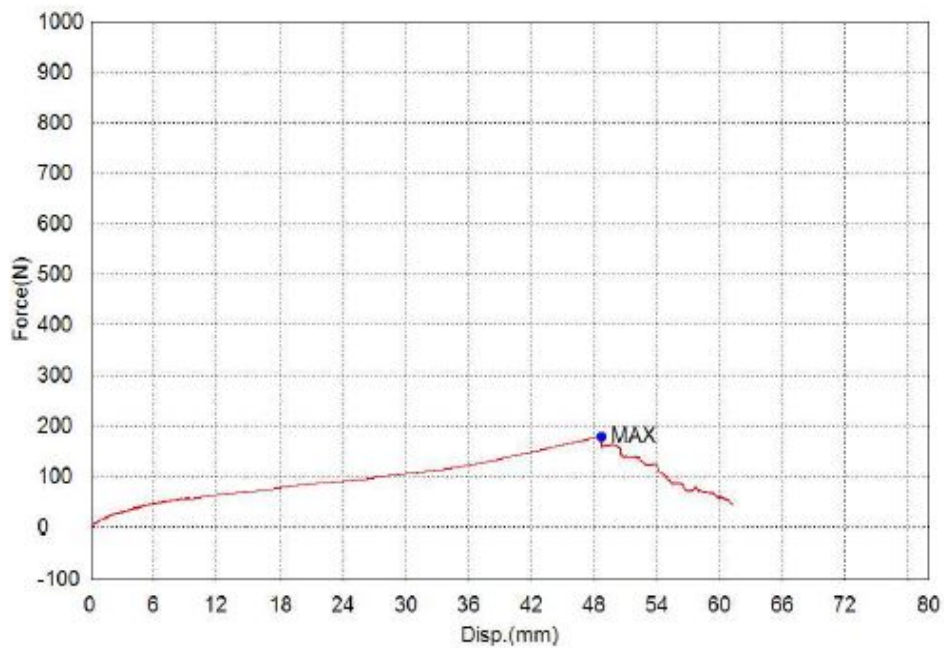
### 7.1.3 Apli2

## Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	
Report Date	1/3/2022	Test Date	1/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	0,5mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Displ. Calc. at Entire Areas Unit
1_1	176,605 N	2,59713 N/mm2	48,6265 mm	48,6265 mm

Name Parameters	Max_Strain Calc. at Entire Areas Unit
1_1	31,3720 %



Comment

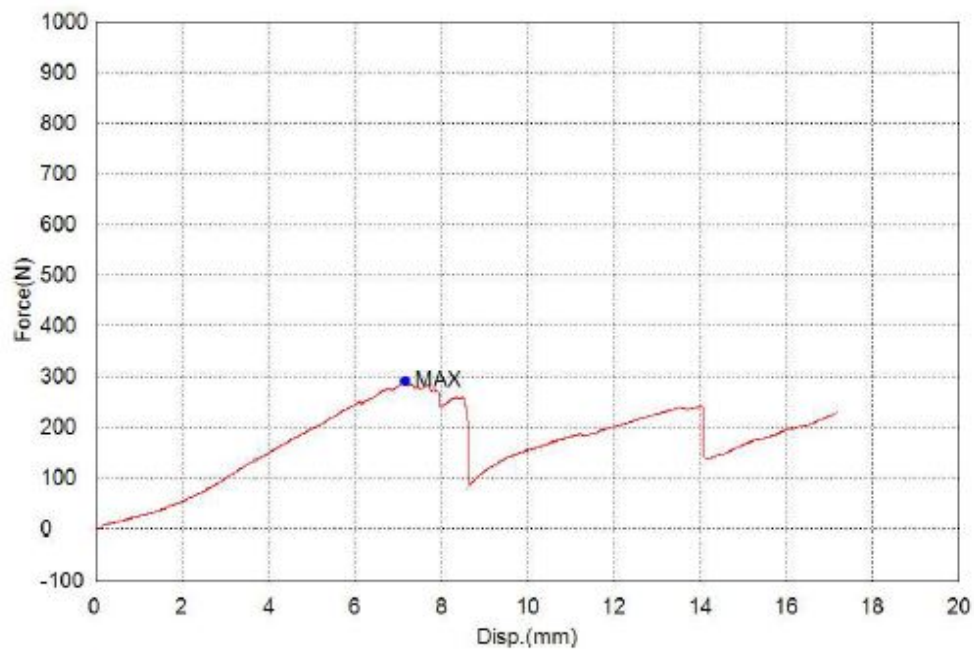
### 7.1.3 Apli2\_1

## Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	
Report Date	1/3/2022	Test Date	1/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	0,5mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas	Max_Stress Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Calc. at Entire Areas	Max_Displ. Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm <sup>2</sup>	mm	mm
1_1	291,014	4,27961	7,14700	7,14700

Name Parameters	Max_Strain Calc. at Entire Areas
Unit	%
1_1	4,61097



Comment

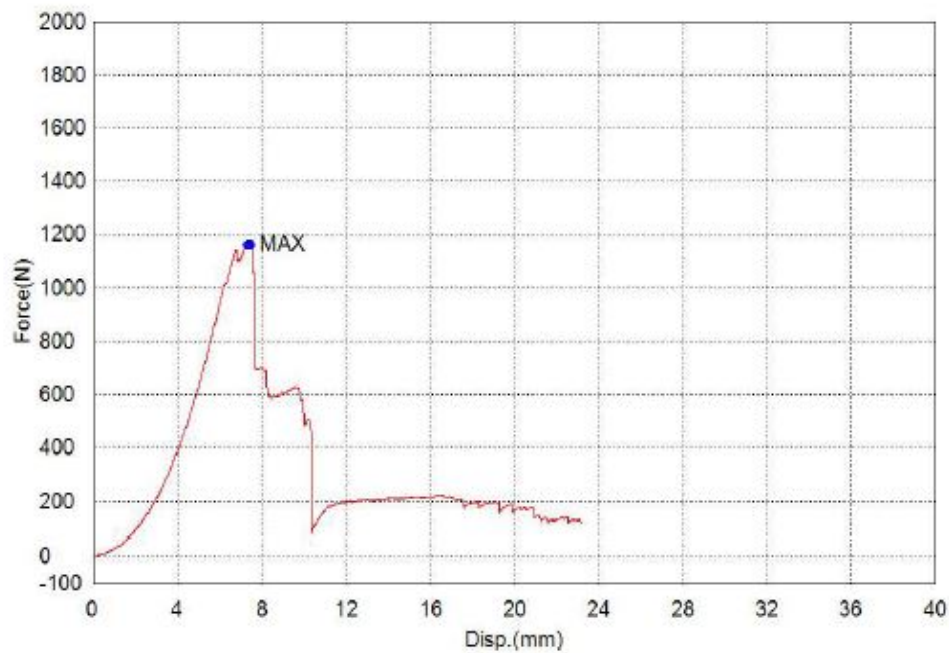
### 7.1.5 Apli3

## Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	
Report Date	1/3/2022	Test Date	1/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	0,5mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas	Max_Stress Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Calc. at Entire Areas	Max_Displ. Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	mm
1 _ 1	1161,42	17,0797	7,38200	7,38200

Name Parameters	Max_Strain Calc. at Entire Areas
Unit	%
1 _ 1	4,76258



Comment

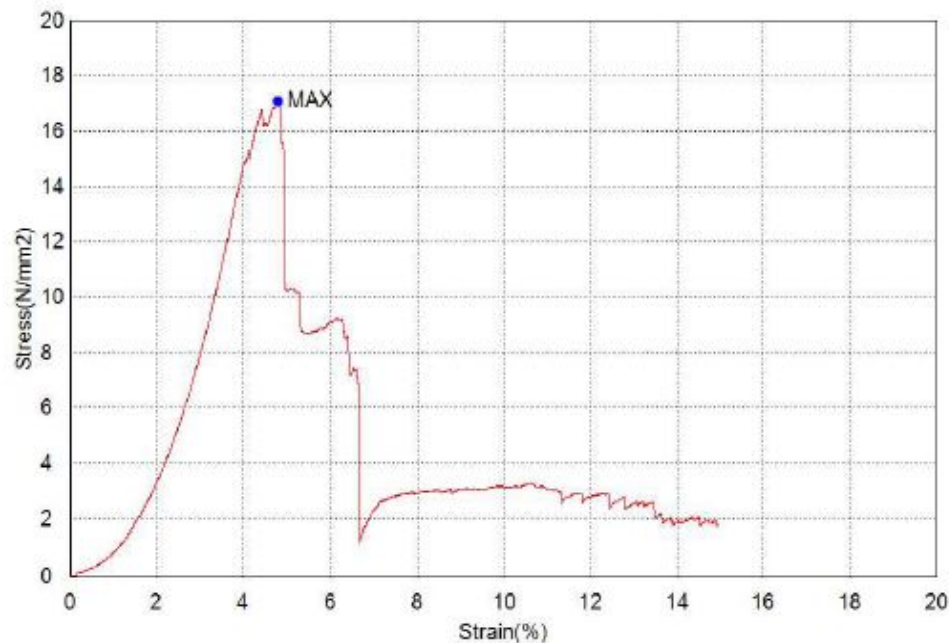
### 7.1.6 Apli3\_stress\_strain

Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	
Report Date	1/3/2022	Test Date	1/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	0,5mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Displ. Calc. at Entire Areas Unit
1_1	N 1161,42	N/mm2 17,0797	mm 7,38200	mm 7,38200

Name Parameters	Max_Strain Calc. at Entire Areas Unit
1_1	% 4,76258



Comment



## 7.2 Μετρήσεις δοκιμών Β' φάσης

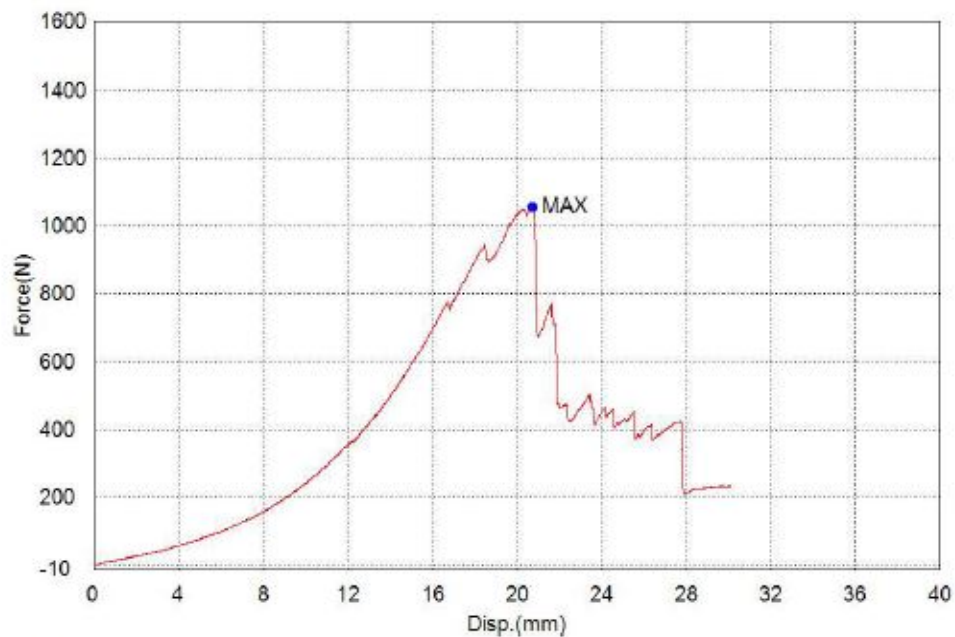
### 7.2.1 Spec\_A

#### Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	kalliopi_specimens_21032022.xmak
Report Date	21/3/2022	Test Date	21/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	1mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters Unit	Max_Force Calc. at Entire Areas N	Max_Stress Calc. at Entire Areas N/mm2	Max_Stroke Calc. at Entire Areas mm	Max_Stroke Strain Calc. at Entire Areas %
1_1	1057,61	10,5761	20,7058	8,28233

Name Parameters Unit	Max.Disp. Calc. at Entire Areas mm	Max_Strain Calc. at Entire Areas %
1_1	20,7058	8,28233



Comment

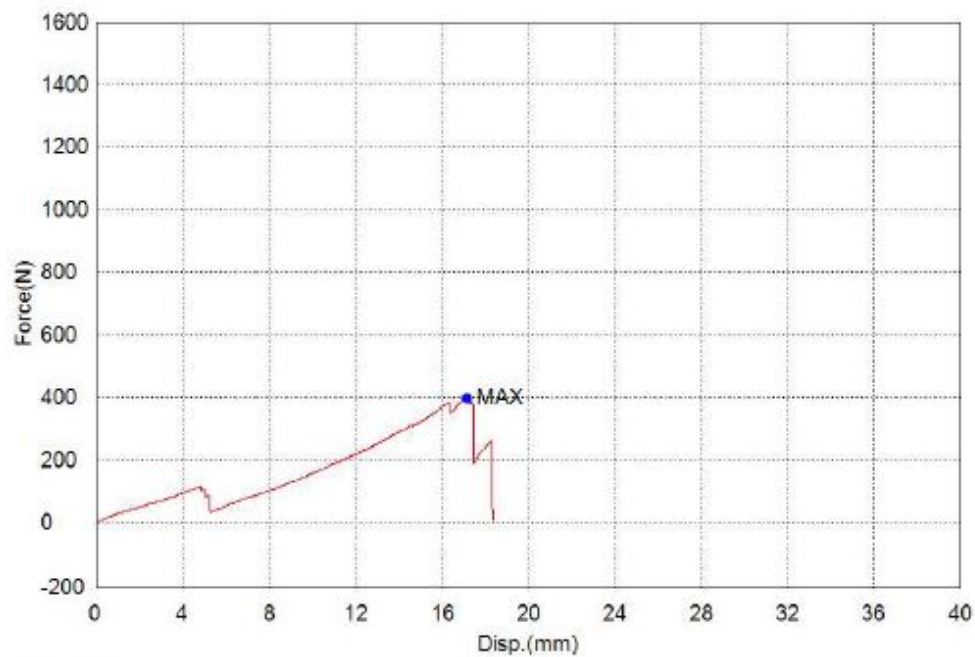
## 7.2.2 Spec\_B

### Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	
Report Date	21/3/2022	Test Date	21/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	1mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas	Max_Stress Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Strain Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm <sup>2</sup>	mm	%
1_1	396,999	3,96999	17,1159	6,84635

Name Parameters	Max_Displ. Calc. at Entire Areas	Max_Strain Calc. at Entire Areas
Unit	mm	%
1_1	17,1159	6,84635



Comment

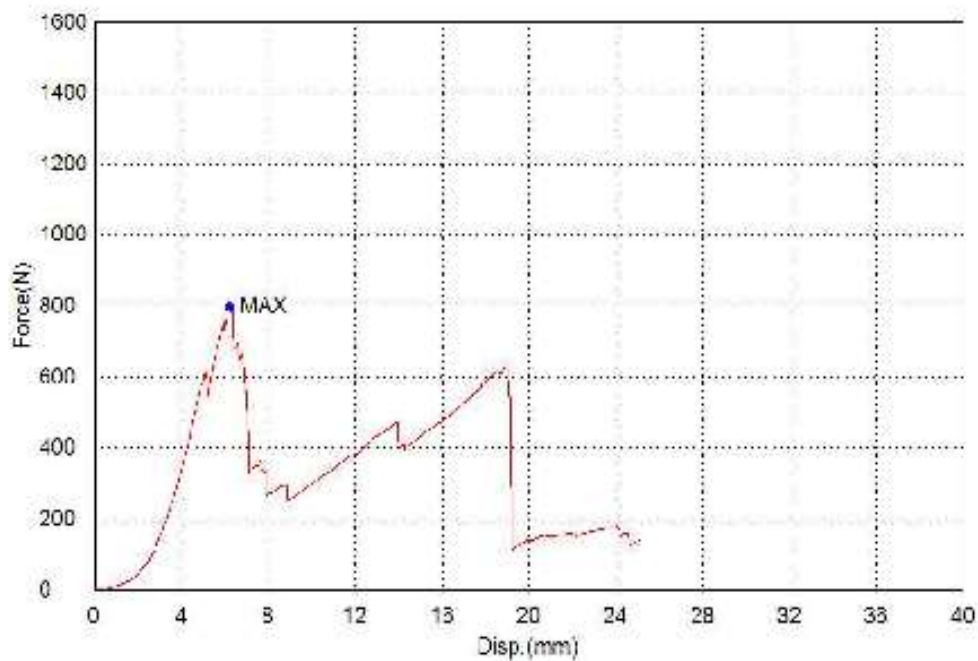
### 7.2.3 Spec\_C

## Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	kalliopi_specimens_21032_022.xmak
Report Date	21/3/2022	Test Date	21/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	1mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas	Max_Stress Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Strain Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_1	798,337	9,67681	6,24600	4,16400

Name Parameters	Max_Displ. Calc. at Entire Areas	Max_Strain Calc. at Entire Areas
Unit	mm	%
1_1	6,24600	4,16400



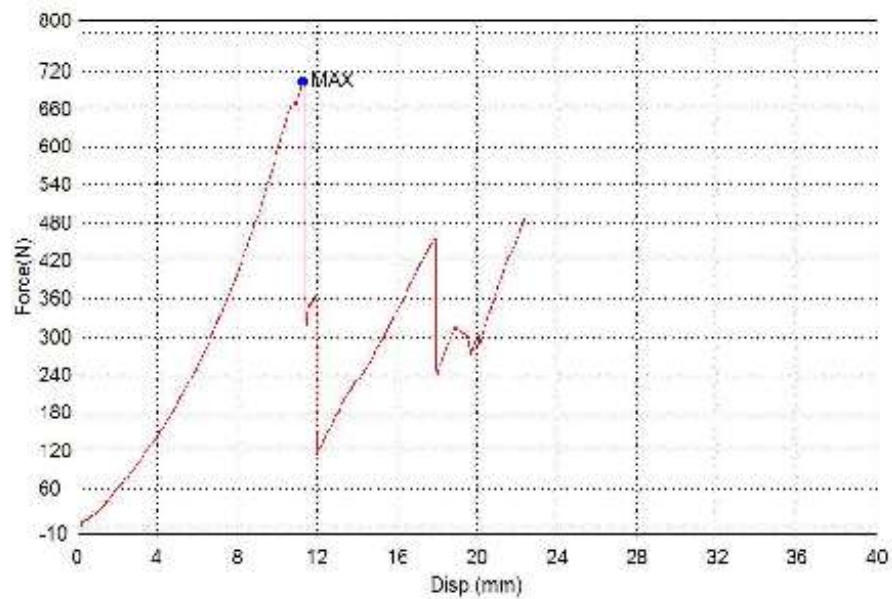
## 7.2.4 Spec\_D

### Title

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	kalliopi_specimens_21032_022.xmak
Report Date	21/3/2022	Test Date	21/3/2022
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	1mm/sec	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas	Max_Stress Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Strain Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_1	704,320	6,70781	11,2360	5,10725

Name Parameters	Max_Disp. Calc. at Entire Areas	Max_Strain Calc. at Entire Areas
Unit	mm	%
1_1	11,2360	5,10725



Comment

## Βιβλιογραφία

GBIF Backbone Taxonomy. (2019). Ανάκτηση από *Typha latifolia* L. in GBIF Secretariat: Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org

Anisuzzaman, S. M., Joseph, C. G., Daud, W. M., Krishnaiah, D., & Yee, H. S. (2015). Preparation and characterization of activated carbon from *Typha orientalis* leaves. *International Journal of Industrial Chemistry Volume 6, Number 1*, σσ. 9-21.

Bajwa, D., Sitz, E., Bajwa, S., & Barnick, A. (2015). *Evaluation of cattail (Typha spp.) for manufacturing composite panels, Industrial Crops and Products, Volume 75, Part B, Pages 195-199, ISSN0926-6690*. Ανάκτηση από <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.029>.

Balaed, K., Noriman, N. Z., Dahham, O. S., Sam, S. T., Hamzah, R., & Omar, M. F. (2016). Characterization and properties of low-linear-density polyethylene/*Typha latifolia* composites. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization, 21(7)*, .

Bansal, S., Lishawa, S., Newman, S., Tangen, B., Wilcox, D., Albert, D., και συν. (2019). *Typha (Cattail) Invasion in North American Wetlands: Biology, Regional Problems, Impacts, Ecosystem Services, and Managemen Article in Wetlands • June 2019 DOI: 10.1007/s13157-019-01174-7*.

BINE.info. (2017, Nov 2). Ανάκτηση Feb 7, 2020, από <http://www.bine.info/newsuebersicht/news/aufdachdaemmung-aus-rohrkolben-in-entwicklung/?cHash=302a1132723cc3f696f928e61741c55b&type=333>

Bioenergy Europe. (2019, Nov 18). *BIOENERGY NEWS*. Ανάκτηση από Ευρωπαϊκή και Ελληνική Ημέρα Βιοενέργειας: <http://www.europeanbioenergyday.eu/newsroom/general-press-release-english/>

*Cai*. (n.d.). Ανάκτηση Feb 26, 2020, από Κοκοφοίνικας: <http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9A%CE%BF%CE%BA%CE%BF%CF%86%CE%BF%CE%AF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CF%82>

Chakma, K. (2019). Extraction efficiency, quality and characterization of *Typha latifolia* L. fibres for textile applications.

Chakma, K., Cicek, N., & Rahman, M. (2017). Fiber extraction efficiency, quality and characterization of cattail fibres for textile applications. *Proceedings of the Canadian Society for Bioengineering Conference (CSBE), Winnipeg, Canada*.

Ciria, P., Solano, M. L., & Soriano, P. (2005, Dec). Role of Macrophyte *Typha latifolia* in a Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Assessment of Its Potential as a Biomass Fuel. *Biosystems Engineering DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2005.08.007* .

- Dedeepya, M., Raju, T., & Kumar, T. (2012). Effect of alkaline treatment on mechanical and thermal properties of *Typha Angustifolia* fiber reinforced composites. *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering (IJMIE)*, ISSN, (2231-6477).
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in polymer science*, 37(11), σσ. 1552-1596.
- Fuqua, M. A., Huo, S., & Ulven, C. A. (2012). Natural Fiber Reinforced Composites. *Polymer Reviews*, 52(3), 259-320 .
- Gaia. (n.d.). Κενάφ φυτό. Ανάκτηση Feb 26, 2020, από Gaia: [http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9A%CE%B5%CE%BD%CE%AC%CF%86\\_%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9A%CE%B5%CE%BD%CE%AC%CF%86_%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C)
- Geuder, T. (2013, Nov 26). *german-architects.com*. Ανάκτηση από <https://www.german-architects.com/de/pages/praxis/praxis-48-13>
- Gravalos, I., Kateris, D., Xyradakis, P., Gialamas, T., Loutridis, S., Augousti, A., και συν. (2010). A study on calorific energy values of biomass residue pellets for heating purposes. In *Proceedings on Forest Engineering: Meeting the*.
- Grosshans, R. (2014). *Cattail (Typha spp.) biomass harvesting for nutrient capture and sustainable bioenergy for integrated watershed management*. Ανάκτηση Nov 26, 2019, από University of Manitoba Libraries MSpace: <https://mspace.lib.umanitoba.ca/handle/1993/23564>
- Grosshans, R. (n.d.). *Cattails Into Clean Energy: Where to from here?* Ανάκτηση Feb 11, 2020, από iisd: <https://www.iisd.org/library/cattails-clean-energy-where-here>
- Gurunathan, T., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2015). A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77, 1-25 .
- IISD. (n.d.). *Cattail for Clean Community Waterways: Turning urban plants into compost and bioenergy*. Ανάκτηση Feb 11, 2020, από iisd: <https://www.iisd.org/project/cattail-clean-community-waterways-turning-urban-plants-compost-and-bioenergy>
- IISD. (n.d.). *Netley-Libau Nutrient-Bioenergy Project*. Ανάκτηση Feb 11, 2020, από IISD: <https://www.iisd.org/library/netley-libau-nutrient-bioenergy-project>
- IISD. (n.d.). *Water and Land Management in the Bioeconomy*. Ανάκτηση Feb 11, 2020, από IISD: <https://www.iisd.org/project/water-and-land-management-bioeconomy>
- Jingjing, L., Zhihui, Z., Zhenglei, Y., Yunhong, L., Xiujian, L., & Luquan, R. (2017). *The Structure and Flexural Properties of Typha Leaves*. Ανάκτηση Nov 25, 2019, από Hindawi Applied Bionics

and Biomechanics Volume 2017, Article ID 1249870, 9 pages:

<https://doi.org/10.1155/2017/1249870>

Kanatas, P. (2019). Combined use of mowing and chemical control for the efficient control of the noxious invasive species *Typha* spp. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences* DOI: 10.31015/jaefs.2019.3.5 , σσ. 144-149.

Krus, M., Theuerkorn, W., Großkinsky, T., & Künzel, H. (2014). *New sustainable and insulating building material made of cattail Full papers - NSB 2014*. Ανάκτηση Dec 1, 2019, από <https://wufi.de/literatur/Krus,%20Theuerkorn%20et%20al%202014%20-%20New%20sustainable%20and%20insulating%20building.pdf>

Linde, A. F., Janish, T., & Smith, D. (1976). Cattail [*Typha* spp.] - the significance of its growth, phenology and carbohydrate storage to its control and management. *Technical Bulletin, Wisconsin Department of Natural Resources , No 94 , σ. 27 .*

Manios, . T., Stentiford, E., & Millner, P. (2003). Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. *Chemosphere*, 53(5), 487-494. *Chemosphere*, 53(5) , σσ. 487-494.

Nacaroglu, M., Demirkiran, A. R., & Tursun, N. (2009, December). Determination of Some Chemical Properties of Common Cattail (*Typha latifolia* L.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(12), 2719-2726.

*New World Encyclopedia*. (n.d.). Ανάκτηση Dec 11, 2019, από <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Typha>

Ramamoorthy, S. K., Skrifvars, M., & Persson, A. (2015). A review of natural fibers used in biocomposites: plant, animal and regenerated cellulose fibers. *Polymer Reviews*, 55(1), 107-162.

Rao, K. M., & Rao, K. M. (2007). *Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. Composite structures*, 77(3), 288-295. Ανάκτηση Feb 17, 2020, από [https://scholar.google.com/scholar?hl=el&as\\_sdt=0%2C5&q=Extraction+and+tensile+properties+of+natural+fibers+Vakka%2C+date+and+bamboo&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=el&as_sdt=0%2C5&q=Extraction+and+tensile+properties+of+natural+fibers+Vakka%2C+date+and+bamboo&btnG=)

Ren, L., Eller, F., Lambertini, C., Guo, W. Y., Brix, H., & Sorrell, B. K. (2019). Assessing nutrient responses and biomass quality for selection of appropriate paludiculture crops. *Science of the Total Environment*, 664 , σσ. 1150-1161.

Ren, L., Zhang, J., Li, Y., & Zhang, C. (2011). "Preparation and evaluation of cattail fiber-based activated carbon for 2,4 dichlorophenol and 2,4,6-trichlorophenol removal,". *Chemical Engineering Journal*, vol. 168, no. 2, , σσ. 553–561.

Renton, D., Mushet, D., & DeKeyser, E. (2015). Climate change and prairie pothole wetlands: Mitigating water-level and hydroperiod effects through upland management. *U.S Geological Survey Scientific Investigations Report 2015–5004* .

Rizal, S., Gopakumar, D., Huzni, S., Thalib, S., Syakir, M., Owolabi, F., και συν. (2019). Tailoring the Effective Properties of Typha Fiber Reinforced Polymer Composite via Alkali Treatment. *BioResources*, 14(3), 5630-5645 .

Saheb, D. N., & Jog, J. P. (1999). Natural Fiber Polymer Composites: A Review. *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*, 18(4) , σσ. 351-363.

Schledjewski, R., Medina, L., & Schlarb, A. K. (2006). *Mechanical and morphological characterization of selected natural fibres*. *Advanced Composites Letters*, 15(2), 096369350601500202. Ανάκτηση Feb 17, 2020, από [https://scholar.google.com/scholar?hl=el&as\\_sdt=0%2C5&q=mechanical+and+morphological+characterization+of+selected+natural+fiber&oeq=mechanical+and+morphological+characterization+of+selected+natural+fi](https://scholar.google.com/scholar?hl=el&as_sdt=0%2C5&q=mechanical+and+morphological+characterization+of+selected+natural+fiber&oeq=mechanical+and+morphological+characterization+of+selected+natural+fi)

Sorrell, B., Eller, F., Lambertini, C., Ren, L., Guo, W., & Brix, H. (2017). \*Concluding statement of the International Conference “Renewable resources from wetland rewetted peatlands” 26th to 28th of September 2017. Greifswald, Germany.

Svedarsky, D. B.-F. (2016). *Cattail management in the northern great plains: implications for wetland wildlife and bioenergy harvest*. Ανάκτηση από Cattail management in the northern great plains: implications for wetland wildlife and bioenergy harvest. University of Minnesota, Minneapolis, U.

(2019). *Typha (Cattail) Invasion in North American Wetlands: Biology, Regional Problems, Impacts, Ecosystem Services, and Management*.

TYPHABOARD. (n.d.). Ανάκτηση από <https://typhaboard.com/>: <https://typhaboard.com/references/#typhahouse>

Wikipedia. (n.d.). Ανάκτηση Nov 20, 2019, από Aerenchyma: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aerenchyma>

Wikipedia. (n.d.). Ανάκτηση Nov 20, 2019, από Typha: <https://en.wikipedia.org/wiki/Typha>

Wikipedia. (n.d.). *Κοκοφοίνικας*. Ανάκτηση Feb 26, 2020, από Wikipedia: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CE%BA%CE%BF%CF%86%CE%BF%CE%AF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CF%82>

Wikipedia. (n.d.). Μπαμπού. Ανάκτηση Feb 26, 2020, από Wikipedia: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CF%80%CE%B1%CE%BC%CF%80%CE%BF%CF%8D>



Witztum, A., & Wayne, R. (2014). Fibre cables in the lacunae of Typha leaves contribute to a tensegrity structure. *Annals of botany*. 113. 10.1093/aob/mcu002.

Yusoff, R. B., Takagi, H., & Nakagaito, A. N. (2016). Tensile and flexural properties of polylactic acid-based hybrid green composites reinforced by kenaf, bamboo and coir fibers. *Industrial Crops and Products*, 94, , σσ. 562-573.

Zhou, B., Tu, T., Kong, F., Wen, J., & Xu, X. (2018). *Revised phylogeny and historical biogeography of the cosmopolitan aquatic plant genus Typha (Typhaceae)*. Ανάκτηση Nov 25, 2019, από Scientific reports, 8(1), 8813.

Zimniewska, M., & Kicińska-Jakubowska, A. (n.d.). Vegetable fibers sheet. Institute of Natural Fibres & Medicinal Plants. Ανάκτηση από [https://www.google.gr/search?sxsrf=ALeKk02HIVBI2-a3fGLr9CkNM51khQ4JW%3A1583652499731&source=hp&ei=k55kXrrBKym8kwXMyqDwAw&q=Vegetable+fibers+sheet&oq=Vegetable+fibers+sheet&gs\\_l=psy-ab.3..33i160l3.10064.10064..15189...1.0..0.136.136.0j1.....0....2j1..gws](https://www.google.gr/search?sxsrf=ALeKk02HIVBI2-a3fGLr9CkNM51khQ4JW%3A1583652499731&source=hp&ei=k55kXrrBKym8kwXMyqDwAw&q=Vegetable+fibers+sheet&oq=Vegetable+fibers+sheet&gs_l=psy-ab.3..33i160l3.10064.10064..15189...1.0..0.136.136.0j1.....0....2j1..gws)

Δρ Βουθούνης, Π. Α. (1993). *Τεχνική Μηχανική Αντοχή των Υλικών*. Αθήνα.

Κωνσταντίνου, Ν. (2019, Ιούλιος). Εφαρμογή των βιοβασισμένων θερμομονωτικών υλικών στη θερμομονωτική προστασία των κτιρίων. Η περίπτωση του υλικού κάνναβης - ασβέστη. Θεσσαλονίκη.