



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ**

## **Πτυχιακή Εργασία**

**«Ταυτοποίηση και χαρακτηρισμός βιολογικών  
επικαθίσεων υφασμάτινης ζώνης από το Δίκτυο  
Συλλογών Λαογραφίας – Παράδοσης Ν. Φλώρινας.  
Προτάσεις αντιμετώπισης και φύλαξης»**

**Φοιτήτρια:** Τσατσάλοβα Κριστίνα

**A.M.:** 13008

**Επιβλέπων:** Γεώργιος Παναγιάρης σε αντικατάσταση της Ελένης  
Τζιαμουράνη με αρ. πρακ. 3/26-01-2023 συνεδρίαση της συνέλευσης του  
Τμήματος

**ΑΘΗΝΑ**

**Μάρτιος 2023**





**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL OF APPLIED ARTS AND CULTURE**

**DEPARTMENT OF CONSERVATION OF ANTIQUITIES AND WORKS OF ART**

## **Thesis**

**«Identification and characterization of textile belt  
biological deposits from the Network of  
Ethnographic Collections of Florina – Greece.  
Conservation and storage proposals»**

**Student:** Tsatsalova Kristina

**R.N.:** 13008

**Supervisor:** Georgios Panagiaris in replacement of Eleni Tziamourani

(3/26-01-2023 CONS Dept. assembly)

**ATHENS**

**March 2023**



## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

«Ταυτοποίηση και χαρακτηρισμός βιολογικών επικαθίσεων υφασμάτινης ζώνης από το Δίκτυο Συλλογών Λαογραφίας – Παράδοσης Ν. Φλώρινας. Προτάσεις αντιμετώπισης, και φύλαξης».

### Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1.	Παναγιάρης Γεώργιος	Καθηγητής / Επιβλέπων	
2.	Τζιαμουράνη Ελένη	Ε.ΔΙ.Π / Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής	
3.	Ράπτη Σταυρούλα	Ε.ΔΙ.Π / Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Τσατσάλοβα Κριστίνα του Αρτίν, με αριθμό μητρώου 13008, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Τσατσάλοβα Κριστίνα





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των προπτυχιακών μου σπουδών στο Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής με κατεύθυνση τα Αρχαιολογικά και Ιστορικά Τεκμήρια.

Με αφορμή το ενδιαφέρον μου για τη βιολογική προσέγγιση της συντήρησης, ο κ. Γεώργιος Παναγιάρης Καθηγητής, με παρότρυνε να αναλάβω τη διεξαγωγή μιας μικροβιολογικής μελέτης, με καθοδήγησε με τις συμβουλές του και μεσολάβησε για τη συνεργασία με την κα. Ελένη Τζιαμουράνη, γεγονός για το οποίο είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων. Οφείλω να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην κα. Ελένη Τζιαμουράνη, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.ΔΙ.Π.) του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, που με την επιστημονική της κατάρτιση, τη συνεχή βοήθεια, υποστήριξη και μεγάλη κατανόηση, με καθοδηγούσε καθ' όλη την διάρκεια της παρούσας μελέτης. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Καραμπότσο, Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό (Ε.Τ.Ε.Π.) του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, ο οποίος συνέβαλε σημαντικά στην διεξαγωγή της μελέτης πραγματοποιώντας τις απαραίτητες αναλύσεις στο SEM-EDS σε μεγάλο όγκο δειγμάτων. Ευχαριστώ θερμά την κα. Σταυρούλα Ράπτη, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.ΔΙ.Π.) του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, για την παραχώρηση του αντικειμένου προς μελέτη, αλλά και τη συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, θέλω να επισημάνω την ιδιαίτερη συμβολή της οικογενείας μου στη διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Ο σύζυγος μου Αλεξέι, τα δύο μας παιδιά, Βαλέριο και Μαρκ, αλλά και η μητέρα μου Γκαλίνα, με μεγάλη υπομονή και κατανόηση, με στήριξαν και έκαναν τα αδύνατα δυνατά για να λειτουργήσουμε ομαδικά και να φέρω εις πέρας τους στόχους μου. Η συμμετοχή και η βοήθειά τους σε αυτή την εμπειρία, την έκαναν ιδιαίτερα ξεχωριστή και τους ευχαριστώ πολύ για αυτό.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τη μεθοδολογία της ταυτοποίησης και του χαρακτηρισμού βιολογικών επικαθίσεων υφασμάτινης ζώνης από το Δίκτυο Συλλογών Λαογραφίας–Παράδοσης Ν. Φλώρινας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζουμε τη μικροβιολογική μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην υφασμάτινη ζώνη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, προκειμένου να βρεθεί ο μικροβιακός πληθυσμός που εμπλέκεται στη διαδικασία βιοφθοράς, έτσι ώστε να μπορέσουμε να αναπτύξουμε, μια αποτελεσματική παρέμβαση, από εφαρμογή βιοκτόνων για τον έλεγχο της διάδοσης μικροβιακών κοινοτήτων που είναι υπεύθυνες για τη βιοαποικοδόμηση της ζώνης. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

- Προσδιορισμός των ινών της υφασμάτινης ζώνης (αναγνώριση υλικού κατασκευής)
- Απομόνωση και χαρακτηρισμός μικροοργανισμών (μικροβιολογική μελέτη)
- Αντιμικροβιακή και αντιμυκητιακή δράση (δοκιμή εφαρμογής βιοκτόνων In vitro)

Η ανάλυση των ινών αναφοράς και των δειγμάτων της ζώνης, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση οπτικής μικροσκοπίας (OM) και ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) μετά από διατομές των ινών. Το υλικό κατασκευής της υφασμάτινης ζώνης 100% φυσικό βαμβάκι. Τα θρεπτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη μικροβιολογική μελέτη, ήταν το Sabouraud Dextrose Agar (SDA), το Blood Agar (BL) και το Potato Dextrose Agar (PDA). Οι καλλιέργειες επώαστηκαν στους 37°C για 24-48 ώρες και στους 28° C για 5 ημέρες για να επιτραπεί η ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων αντίστοιχα. Η μικροβιολογική μελέτη έδειξε πως: από τα 62 τρυβλία (100%), που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, τα 26 (41.93%) παρουσίασαν ανάπτυξη, τα 5 (8.6%) παρουσίασαν επιμόλυνση στο θρεπτικό υλικό, και 31 (50%), δεν παρουσίασαν ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η 100% ανάπτυξη των μικροοργανισμών ταξινομήθηκε σύμφωνα με το είδος μικροοργανισμών που αναπτύχθηκαν. Τα βακτήρια (*Gram-* και *Gram+*), αποτελούν το 69.23%, οι μύκητες (*Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*), το 57.69% και τέλος το 11.53% αποτελεί η μούχλα. Η αντιμικροβιακή δράση των εμπορικών βιοκτόνων, συγκεκριμένα του Preventol PN® (2%,1,5%,1%,0,5% και 0,1%) και του NEO Desogen® (2:10 και 1:10), δοκιμάστηκαν έναντι των μυκήτων *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.* και του *Bacillus sp.* Το διάλυμα NEO Desogen® συγκέντρωσης 2:10, έδειξε να είναι το καταλληλότερο για τον καθαρισμό του δείγματος.

**Λέξεις Κλειδιά:** Βιοαποικοδόμηση, βιοδιάβρωση, βαμβάκι, μικροβιακές καλλιέργειες, μύκητες, OM, SEM/EDS, SDA, Preventol, Desogen, *Aspergillus*, *Penicillium*, Gram-positive, Gram-negative



## ABSTRACT

This work presents the methodology for the identification and characterization of biological deposits in a fabric belt from the Network of Folklore-Tradition Collections of Florina. Specifically, we present the microbiological study conducted on a 19th-century fabric belt to identify the microbial population involved in the biodegradation process. This will help us develop an effective intervention by applying biocides to control the spread of microbial communities responsible for the belt's biofouling.

The methodology followed was as follows:

- Identification of the fabric belt fibers (material identification)
- Isolation and characterization of microorganisms (microbiological study)
- Antimicrobial and antifungal action (in vitro application of biocides)

The analysis of the reference fibers and belt samples was performed using optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM). The fabric belt's construction material was identified as 100% natural cotton. The cultivation media used for the microbiological study were Sabouraud Dextrose Agar (SDA) for yeasts and molds, Blood Agar (BL) and Potato Dextrose Agar (PDA) for yeasts in general. The cultures were incubated at 37°C for 24-48 hours and at 28°C for 5 days to allow for the growth of bacteria and fungi, respectively. The microbiological study showed that out of the 62 plates (100%) examined in this study, 26 (41.93%) showed microbial growth, 5 (8.6%) showed contamination in the nutrient material, and 31 (50%) did not show microbial growth. The 100% growth of microorganisms was classified according to the type of microorganisms that developed. Bacteria (Gram-positive and Gram-negative) accounted for 69.23% of the microbiological study, fungi (*Aspergillus* sp., *Penicillium* sp.) accounted for 57.69%, and mold accounted for 11.53%. The antimicrobial activity of commercial biocides, specifically Preventol PN® (2%, 1.5%, 1%, 0.5%, and 0.1%) and NEO Desogen® (2:10 and 1:10), was tested at different concentrations against the fungi *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., and *Bacillus* sp. The solution of NEO Desogen® at a concentration of 2:10 was found to be the most suitable for cleaning the sample.

**Keywords:** Biodegradation, biodeterioration, media cultures, cotton textile, fungi, OM, SEM/EDS, SDA, Preventol, Desogen, *Aspergillus*, *Penicillium*, Gram-positive, Gram-negative

# Περιεχόμενα

Γενική εισαγωγή .....	11
Σκοπός της παρούσας εργασίας .....	13
<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....</b>	<b>14</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Βιοδιάβρωση και υποβάθμιση του υφάσματος ως υλικό συντήρησης .....</b>	<b>15</b>
1.1 Γενικά.....	15
1.2 Πηγές και χημική σύσταση υφάνσιμων ινών.....	16
1.2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΝΕΣ .....	16
1.2.2 ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΙΝΕΣ.....	16
1.2.2.1 Φυτικές ίνες.....	16
1.2.2.2 Ζωικές ίνες.....	21
1.2.3 ΑΝΟΡΓΑΝΕΣ ΙΝΕΣ .....	23
1.2.4 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΙΝΕΣ .....	24
1.2.4.1 Φυσικές ίνες .....	24
1.2.4.2 Συνθετικές ίνες .....	24
1.3 Παράγοντες φθοράς του υφάσματος .....	24
1.4 Αβιοτικοί παράγοντες.....	28
1.4.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες.....	28
1.4.1.1 Περιοριστικοί παράγοντες .....	28
1.4.1.2 Θερμοκρασία.....	30
1.4.1.3 Υγρασία.....	31
1.4.1.4 Νερό.....	31
1.4.1.5 Σκόνη και βρωμιά .....	32
1.4.2 Χημικοί παράγοντες .....	32
1.4.2.1 pH.....	32
1.4.2.2 Ρύπανση της ατμόσφαιρας .....	33
1.4.3 Φυσικοχημικοί παράγοντες .....	34
1.4.3.1 Φως.....	34
1.4.3.2 Φυσικές καταστροφές.....	35
1.5 Βιοτικοί παράγοντες.....	35
1.5.1 Μικροοργανισμοί .....	35
1.5.1.1 Μύκητες – Βακτήρια.....	35



1.5.1.2 Έντομα .....	37
1.5.2 Ανθρωπογενείς παράγοντες.....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μέθοδοι ανάλυσης και αναγνώρισης μικροβιακών κοινοτήτων και βιολογικής φθοράς σε υφάσματα λαογραφικών και ιστορικών συλλογών.....</b>	<b>39</b>
2.1 Μέθοδοι ανίχνευσης μικροοργανισμών .....	39
2.1.1 Μικροβιολογικές μέθοδοι.....	39
2.1.2 Μοριακές μέθοδοι.....	39
2.2 Μικροσκοπικές τεχνικές .....	40
2.2.1 Οπτική μικροσκοπία .....	40
2.2.1.1 Παρατήρηση υφάνσιμων ινών με OM .....	43
2.2.1.2 Παρατήρηση μικροοργανισμών με OM .....	44
2.2.2 Ψηφιακή μικροσκοπία USB / Τεχνικές απεικόνισης .....	45
2.2.2.1 Χρωματομετρία .....	46
2.2.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.....	48
2.2.3.1 Παρατήρηση υφάνσιμων ινών με SEM.....	50
2.2.3.2 Παρατήρηση μικροοργανισμών με SEM.....	51
2.3 Μέθοδοι απολύμανσης .....	53
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....</b>	<b>57</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πειραματικός σχεδιασμός για την ταυτοποίηση και το χαρακτηρισμό βιολογικών επικαθίσεων υφασμάτινης ζώνης .....</b>	<b>58</b>
3.1 Πειραματικός σχεδιασμός – Μέθοδοι και υλικά .....	58
3.2 Φωτογραφική τεκμηρίωση - Περιγραφή αντικειμένου .....	60
3.2.1 Καταγραφή παρούσας κατάστασης .....	62
3.2.1.1 Μακροσκοπική παρατήρηση – Αποτύπωση φθορών.....	62
3.2.1.2 Χρωματομετρία .....	64
3.3 Προκαταρκτική μελέτη βιολογικών επικαθίσεων.....	65
3.3.1 Επιλογή και κωδικοποίηση των περιοχών δειγματοληψίας .....	65
3.3.1.1 Μακροσκοπική παρατήρηση στο στερεοσκόπιο .....	66
3.3.1.2 Ψηφιακή μικροσκοπία USB (Dino-Lite Digital Microscope).....	67
3.4 Δειγματοληψία ινών.....	68
3.4.1 Μικροσκοπική παρατήρηση των ινών στο SEM/EDS.....	68
3.5.1 Αναγνώριση και ταυτοποίηση ινών .....	69
3.5.1.1 Διαχωρισμός ινών.....	69

3.5.1.2 Διατομές ινών (cross sections) .....	72
3.6 Μικροβιολογική μελέτη .....	74
3.6.1 Μικροβιολογικές καλλιέργειες σε στερεά θρεπτικά υλικά .....	74
3.6.2 Ταυτοποίηση και χαρακτηρισμός μικροοργανισμών .....	76
3.6.2.1 Χρώση λακτοφαινόλης (Lactophenol Cotton Blue - LPCB).....	76
3.6.2.2 Χρώση κατά Gram .....	76
3.6.2.3 Μικροσκοπική παρατήρηση με SEM.....	77
3.7 Αντιμικροβιακές δράσεις.....	78
3.7.1 Μελέτη ανθεκτικότητας σε βιοκτόνα.....	78
3.8 Εφαρμογή βιοκτόνων <i>In vitro</i> .....	79
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	82
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αποτελέσματα - Συζήτηση</b> .....	83
4.1 Αποτελέσματα καταγραφής παρούσας κατάστασης .....	83
4.1.1 Ποσοτικός προσδιορισμός χρώματος .....	83
4.2 Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης βιολογικών επικαθίσεων .....	89
4.2.1 Παρατήρηση στο στερεοσκόπιο .....	89
4.2.2 Παρατήρηση στο Vis UV και IR φάσμα .....	103
4.2.3 Παρατήρηση στο SEM/EDS .....	107
4.3 Αποτελέσματα μελέτης υλικού κατασκευής.....	114
4.4 Αποτελέσματα μικροβιολογικής μελέτης .....	118
4.5 Αποτελέσματα αντιμικροβιακών δράσεων .....	129
4.6 Αποτελέσματα εφαρμογής βιοκτόνου ( <i>in vitro</i> ) .....	130
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα – Προτάσεις αντιμετώπισης και φύλαξης του αντικειμένου</b> .	135
5.1 Συμπεράσματα .....	135
5.2 Προτάσεις αντιμετώπισης βιολογικής προσβολής.....	137
5.3 Προτάσεις φύλαξης αντικειμένου .....	138
Δημοσιεύσεις – Ανακοινώσεις .....	140
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	141
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</b> .....	148
Παράρτημα Ι.....	149
Δελτίο Καταγραφής Τεχνολογίας Κατασκευής – Κατάστασης Διατήρησης Προτεινόμενες Εργασίες Συντήρησης Υφάσματος .....	149
Παράρτημα ΙΙ.....	152



Ποσοτικός προσδιορισμός χρώματος της παρούσας κατάστασης της ζώνης .....	152
Παράρτημα III .....	158
SEM/EDS .....	158
Παράρτημα IV .....	161
Μικροσκοπική παρατήρηση εντόμων στο SEM .....	161
Παράρτημα V .....	163
Ανάπτυξη μικροοργανισμών στα στερεά θρεπτικά υλικά .....	163
Παράρτημα VI .....	167
Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών .....	167
Παράρτημα VII .....	170
Χρωματικές αποκλίσεις της επιφάνειας υφάσματος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων .....	170





## Γενική εισαγωγή

Ο όρος «ύφασμα» περιλαμβάνει όλα τα αντικείμενα που είναι κατασκευασμένα με διαπλοκή νημάτων (ινών ή κλωστών). Από την παλαιολιθική εποχή, ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε τα φυσικά αγαθά που του παρείχε το περιβάλλον, με σκοπό να καλύψει το γυμνό σώμα του. Γρήγορα ανακάλυψε τον τρόπο επεξεργασίας (αδράχτι, ρόκα, αργαλειός), των πρώτων υλών που θα του επέτρεπε να κατασκευάσει υφάσματα. Οι πρώτες ύλες μπορεί να είναι είτε ζωικής-πρωτεϊνικής προέλευσης (μαλλί, μετάξι), είτε φυτικής-κυτταρινικής προέλευσης (βαμβάκι, λινάρι κ.ά), είτε ανόργανες ίνες (αμίαντος). Αργότερα, με την εξέλιξη των εργαλείων, επιτυγχάνεται η επεξεργασία περισσότερων πρώτων υλών για την παρασκευή υφάνσιμων νημάτων. Αυτό, οδηγεί στην αύξηση της ποικιλίας των υφασμάτων, στη διάκριση της ποιότητας και της υφής τους, καθώς και στη διεύρυνση των πεδίων χρήσης τους.

Ορισμένα αντικείμενα κατασκευασμένα από μια ποικιλία υφασμάτων, εκτίθενται και αποθηκεύονται σε μουσεία σε όλο τον κόσμο. Ανάμεσά τους είναι αντικείμενα από αρχαιολογικές ανασκαφές, τάφους κ.λ.π. Αυτά τα αντικείμενα, είναι συνήθως σε κακή κατάσταση διατήρησης. Υπάρχει επίσης μια σειρά από υφάσματα ιστορικής και λαογραφικής σημασίας, όπως ταπετσαρίες, χαλιά και διακοσμητικά υφάσματα, ρούχα και εκκλησιαστικά άμφια, που χρησιμοποιήθηκαν πριν από εκατοντάδες χρόνια σε παλάτια, αρχοντικά ή εκκλησίες και τώρα αποθηκεύονται σε συλλογές μουσείων. Γενικά, η κατάσταση διατήρησης των υφασμάτων εξαρτάται από τους τύπους των υφάνσιμων ινών, τη σύνθεση της βαφής και την ηλικία του υφάσματος, καθώς και από το ιστορικό χρήσης και τις συνθήκες αποθήκευσης.

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η ταυτοποίηση και χαρακτηρισμός βιολογικών επικαθίσεων υφασμάτινης ζώνης από το Δίκτυο Συλλογών Λαογραφίας-Παράδοσης Ν. Φλώρινας. Ένα υφασμάτινο αντικείμενο ή έργο τέχνης, είναι απαραίτητο να μελετηθεί μικροσκοπικά, καθώς έτσι εξάγονται γι' αυτό πολυάριθμες πληροφορίες που δε διακρίνονται μακροσκοπικά. Οι κλασικές μικροβιολογικές μέθοδοι σε συνδυασμό με τις τεχνικές μικροσκοπικής παρατήρησης, χρησιμοποιούνται για τη ταυτοποίηση των υφάνσιμων ινών του αντικειμένου, για την ταυτοποίηση και χαρακτηρισμό των μικροοργανισμών (βακτήρια και μύκητες), ενώ παράλληλα εκτιμάται η κατάσταση διατήρησής του. Ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η βιολογική αποδόμηση

των υφασμάτων από μικροοργανισμούς ή έντομα, καθώς θεωρείται ανεπιθύμητη και μειώνει την ποιότητα των υφασμάτων. Συναντάται σε υλικά διαφορετικής χημικής σύστασης και αποικοδομείται από διαφορετικούς μικροοργανισμούς κάτω από ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, γίνεται μία ανάλυση και ταξινόμηση των υφάνσιμων ινών, με βάση τις πηγές προέλευσης και τις χημικές ιδιότητές τους. Επιπροσθέτως, γίνεται μία εκτενής αναφορά των παραγόντων φθοράς των υφασμάτων καθώς και των ειδών μικροοργανισμών που προσβάλλουν τις υφάνσιμες ίνες και προκαλούν βιοαποικοδόμηση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε όλες τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία καθώς και στη χρήση τους στα υφασμάτινα αντικείμενα πολιτισμού.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά ο πειραματικός σχεδιασμός που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, ενώ στο τέταρτο παρατίθενται όλες οι φωτογραφίες και τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, στο οποίο περιγράφονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα της μελέτης και συγκρίνονται με τη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, ταυτοποιείται το προς μελέτη υφάνσιμο δείγμα, γίνεται λόγος για την κατάσταση διατήρησης των ινών του, ενώ παράλληλα ταυτοποιούνται οι μικροοργανισμοί που το έχουν προσβάλλει. Τα δεδομένα αυτά είναι αναγκαία, καθώς λαμβάνονται πληροφορίες για την παρούσα κατάσταση του αντικειμένου, στοιχεία που θα φανούν χρήσιμα για τη σωστή επιλογή, τόσο των υλικών όσο και των διεργασιών συντήρησής του. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, αναφέρονται τα συμπεράσματα της μελέτης, και γίνεται συζήτηση για προτάσεις αντιμετώπισης της βιολογικής προσβολής και φύλαξης του αντικειμένου.

## **Σκοπός της παρούσας εργασίας**

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η διερεύνηση και ο χαρακτηρισμός των βιολογικών επικαθίσεων (μικροοργανισμοί, μύκητες κ.ά.) του αντικειμένου προς μελέτη. Αυτό θα επιτευχθεί με βιολογικές μεθόδους, όπως μικροβιακές καλλιέργειες σε στερεά θρεπτικά υλικά, καθώς και με μικροσκοπικές τεχνικές όπως οπτική και ηλεκτρονική μικροσκοπία συνοδευόμενη από φασματομέτρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων Χ (OM και SEM-EDS αντίστοιχα).

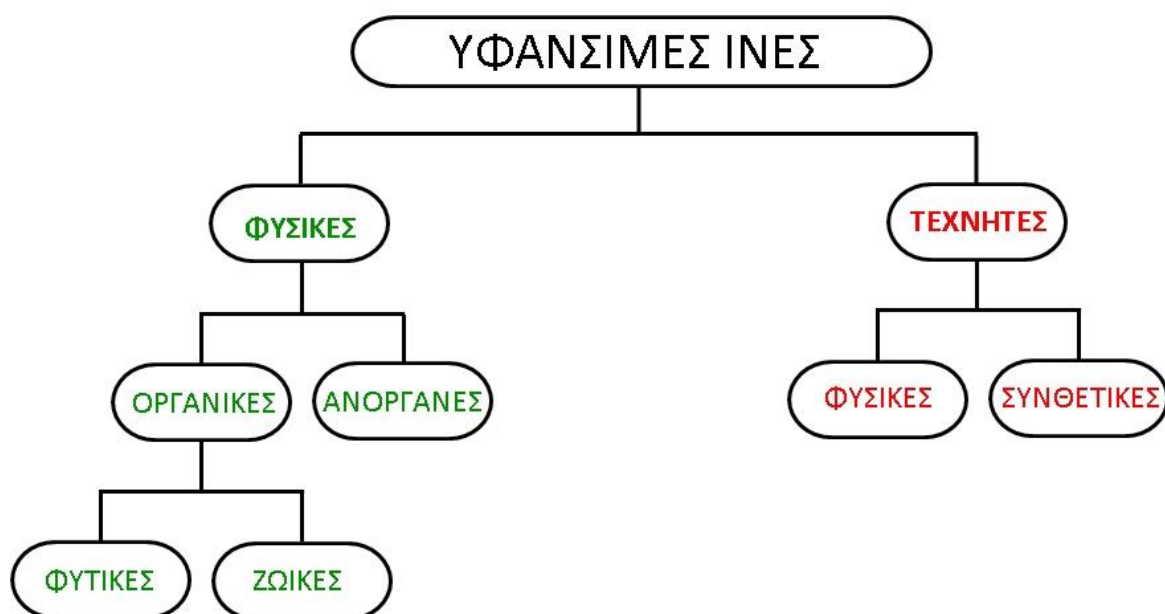
Απώτερος στόχος, είναι ο έλεγχος της ανάπτυξης των μικροοργανισμών που εμπλέκονται ενεργά στη διαδικασία βιοαποδόμησης, και η συμβολή στις προτάσεις αποκατάστασης πριν από την παρέμβαση διατήρησης. Επιπροσθέτως θα αναπτύξουμε προγράμματα αντιμετώπισης της βιολογικής προσβολής, προληπτικής παρακολούθησης και φύλαξης για να διασφαλιστεί η μακροζωία της παρέμβασης και η προστασία του αντικειμένου.

# **ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Βιοδιάβρωση και υποβάθμιση του υφάσματος ως υλικό συντήρησης

## 1.1 Γενικά

Η ταξινόμηση των υφάνσιμων ινών κατηγοριοποιείται σε κύριες ομάδες ινών με βάση την προέλευση και υποομάδες με βάση την χημική σύσταση, όπως παρουσιάζεται στο **σχ. 1.1**.



**Σχ. 1.1:** Ταξινόμηση υφάνσιμων ινών ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους και του ινώδους υλικού από το οποίο παρασκευάζονται (Τσατσάλοβα 2023).

Οι υφάνσιμες ίνες μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με τους ακόλουθους τρόπους:

- ❖ με βάση το πολυμερές
- ❖ σύμφωνα με τη βοτανική, ζωολογική ή χημική τους ονομασία
- ❖ ανάλογα με τη χρησιμότητά τους
- ❖ ανάλογα με τη θερμοπλαστική τους ιδιότητα και
- ❖ ανάλογα με την ικανότητά τους να απορροφούν την υγρασία.



## 1.2 Πηγές και χημική σύσταση υφάνσιμων ινών

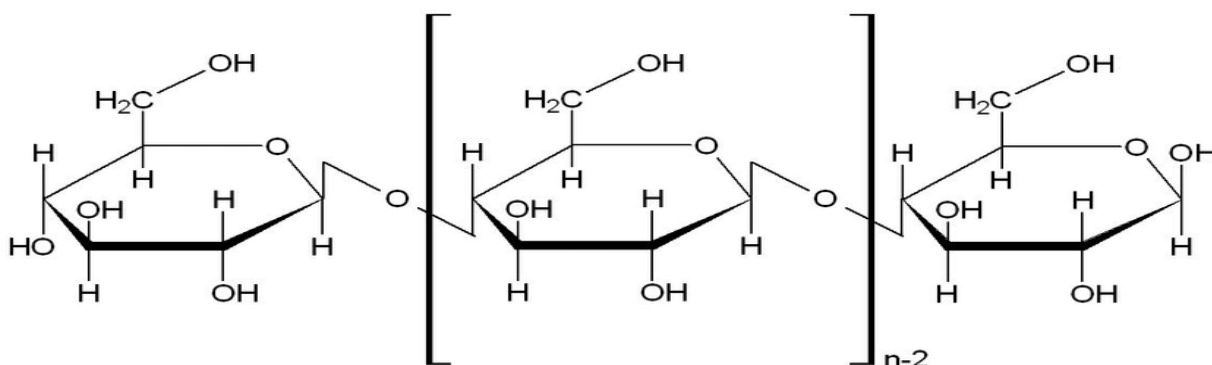
### 1.2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Οι φυσικές ίνες είναι, κατά πλειοψηφία, οργανικής φύσεως. Αυτές που παράγονται από τα φυτά όπως το βαμβάκι, το λινάρι, η κάνναβη κ.α., ονομάζονται **φυτικές ίνες**. Αυτές που παράγονται από τα ζώα όπως το μαλλί και το μετάξι ονομάζονται **ζωικές ίνες**. Πιο σπάνιες είναι οι ίνες ανόργανης φύσεως που προέρχονται από ορυκτά ή μέταλλα.

### 1.2.2 ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

#### 1.2.2.1 Φυτικές ίνες

Η κύρια χημική σύσταση των φυτικών ινών, είναι η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη, η λιγνίνη και μια μικρή ποσότητα πηκτίνης, κηρών και υδατοδιαλυτών ουσιών. Μεταξύ αυτών, η κυτταρίνη είναι το κύριο συστατικό των φυτικών ινών που είναι υπεύθυνη για την αντοχή της ίνας, ενώ η λιγνίνη, η ημικυτταρίνη και τα άλλα συστατικά, δρουν ως τσιμέντο μεταξύ των ινών (Firoz *et al.* 2021, Kozłowski *et al.* 2020). Η κυτταρίνη (σχ. 1.2), είναι ένας υδατάνθρακας που αποτελείται από άνθρακα (44,4%), υδρογόνο (6,2%) και οξυγόνο (49,4%). Σχηματίζεται από δύο συνδυασμένες μονάδες γλυκόζης, πολλές μονάδες κυτταροβιόζης που συνδυάζονται για να σχηματίσουν κυτταρίνη. Ο αριθμός των μονάδων ανυδρογλυκόζης στο μόριο της κυτταρίνης αναφέρεται ως ο βαθμός του πολυμερισμού του. Κάθε επαναλαμβανόμενη μονάδα ισούται με 2n ή δύο μονάδες ανυδρογλυκόζης. Αυτές οι μονάδες αναποδογυρίζονται καθώς συνδυάζονται μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχ. 1.2.

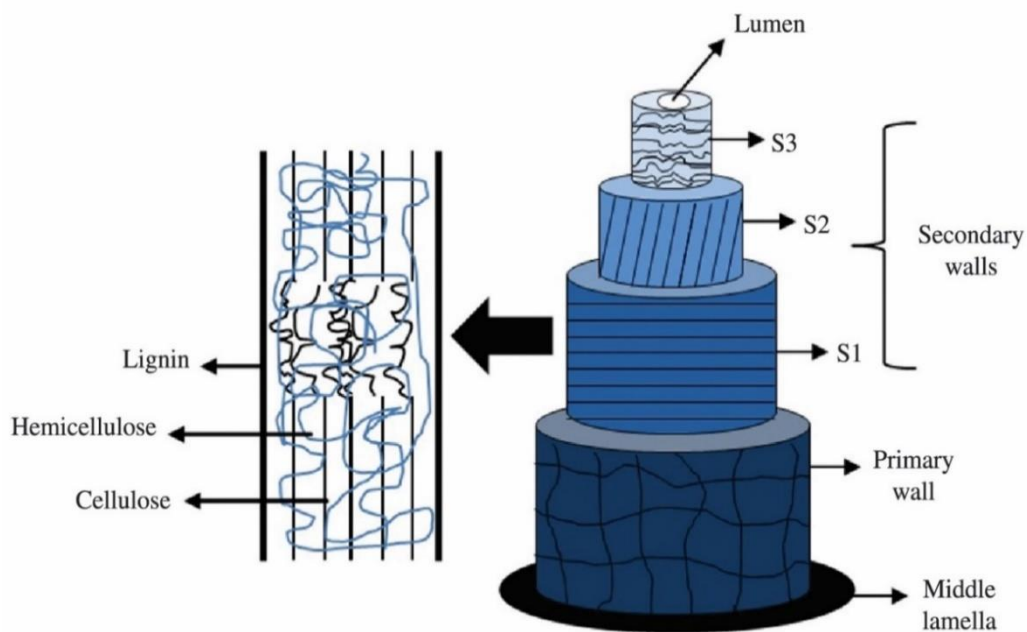


Σχ. 1.2: Χημική δομή της κυτταρίνης (Τσατσάλοβα, 2023).

Οι φυτικές ίνες, είναι δέσμες επιμηκών φυτικών κυττάρων που συγκολλώνται μεταξύ τους από πηκτίνη και άλλες μη κυτταρινικές ενώσεις. Το κυτταρικό τοίχωμα του αναπτυσσόμενου φυτικού κυττάρου, είναι το πρωτεύον τοίχωμα και αποτελείται από 90% πολυσακχαρίτες (20%–30% κυτταρίνη, η δομή των πολυσακχαριτών δεν έχει καθοριστεί πλήρως) και 10% γλυκοπρωτεΐνες. Το πρωτεύον τοίχωμα σχηματίζει μικρή αναλογία ολόκληρων ινών. Το πρωτογενές κυτταρικό τοίχωμα καθορίζει το μέγεθος, το σχήμα και τον ρυθμό ανάπτυξης του κυττάρου. Η παραγωγή των φυτικών ινών, επηρεάζεται από τις συνθήκες που επικρατούν κατά την ανάπτυξη των φυτών και από τις μεθόδους εξαγωγής ινών που χρησιμοποιούνται. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των φυτικών ινών (περιεκτικότητα σε κυτταρίνη), επηρεάζονται από το βαθμό πολυμερισμού, τον προσανατολισμό των μικρό-ινιδίων και την κρυσταλλικότητά (Bledzki and Gassan 1999). Όπως φαίνεται στο **σχ. 1.3**, οι στοιχειώδεις ίνες παρουσιάζουν ιεραρχικές μικροδομές που σχηματίζονται:

- από ένα κεντρικό κανάλι που ονομάζεται αυλός (*lumen*) και είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά νερού και θρεπτικών συστατικών κατά τη διάρκεια της ζωής τους.
- από το κυτταρικό τοίχωμα που περιβάλλει τον αυλό. Αποτελείται από πολλά στρώματα, συγκεκριμένα το δευτερεύον κυτταρικό τοίχωμα, (*secondary wall*), το πρωτεύον κυτταρικό τοίχωμα (*primary wall*) και το μεσαίο έλασμα (*middle lamella*). Το δευτερεύον κυτταρικό τοίχωμα μπορεί περαιτέρω να χωριστεί σε εξωτερικό δευτερεύον τοίχωμα (S1), μεσαίο δευτερεύον τοίχωμα (S2) και εσωτερικό δευτερεύον τοίχωμα (S3) που αποτελείται από κρυσταλλικά μικροϊνίδια κυτταρίνης που τρέχουν παράλληλα μεταξύ τους και σχηματίζουν γωνία μεταξύ μικροϊνιδίου και κατεύθυνσης της ίνας (Pereira *et al.* 2015, Khalil *et al.* 2012).

**Συγκεκριμένα:** το στρώμα S2 είναι το κύριο υπόστρωμα, αντιπροσωπεύοντας περισσότερο από το 80% του συνολικού πάχους του κυτταρικού τοιχώματος και καθορίζει τις μηχανικές ιδιότητες των φυτικών ινών που εξαρτώνται από τον βαθμό πολυμερισμού και την περιεκτικότητα σε κυτταρίνη (Zhongsen *et al.* 2020). Το πρωτεύον κυτταρικό τοίχωμα εναποτίθεται αρχικά κατά την ανάπτυξη των κυττάρων, αποτελούμενο από μια διαταραγμένη διάταξη ινιδίων κυτταρίνης που τοποθετούνται σε μια μήτρα πηκτίνης, ημικυτταρίνης, λιγνίνης και πρωτεΐνης. Το εξωτερικό στρώμα του κυτταρικού τοιχώματος, το μεσαίο έλασμα, αποτελείται κυρίως από πηκτίνη που δρα ως τσιμέντο μεταξύ των ινών, όπως προαναφέρθηκε (Pereira *et al.* 2015, Pietak *et al.* 2007).



Σχ. 1.3: Δομή της φυτικής ίνας. Προσαρμογή από Firoz και Mondal 2021<sup>1</sup>

Οι οργανικές ίνες φυτικής προέλευσης, μπορούν να ταξινομηθούν σε έξι κατηγορίες με βάση τις περιοχές των φυτών όπου λαμβάνονται. Αυτές είναι:

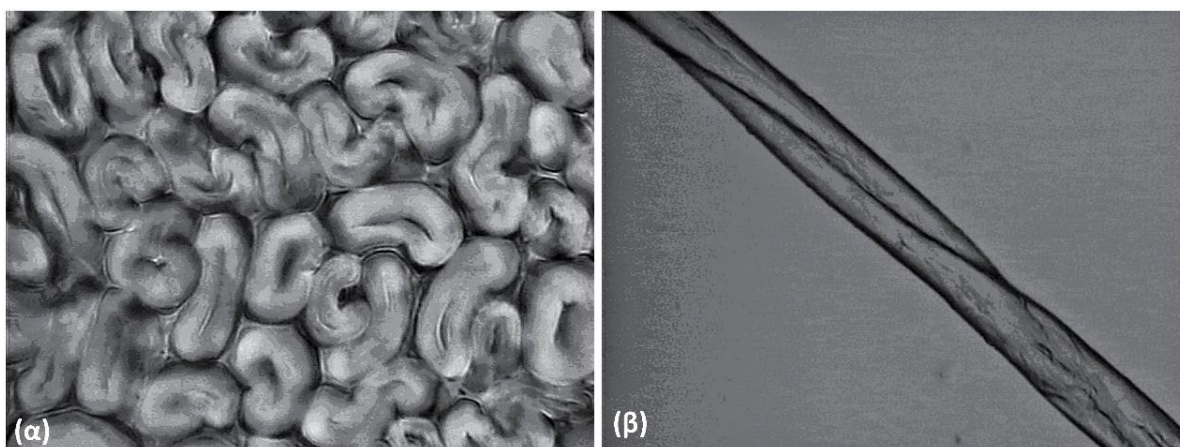
- ✓ Οι ίνες από το βλαστό των φυτών (λινάρι, κάνναβη, γιούτα, κενάφ και ραμί).
- ✓ Οι ίνες από τα φύλλα των φυτών (άμπακας και σιζάλ).
- ✓ Οι ίνες από τους σπόρους των φυτών (κοκοφοίνικας, βαμβάκι και καπός).
- ✓ Οι ίνες άχυρου (καλαμπόκι, ρύζι και σιτάρι).
- ✓ Οι ίνες χόρτου (μπαμπού).
- ✓ Οι ίνες ξύλου (μαλακό και σκληρό ξύλο).

### Βαμβάκι

Το βαμβάκι είναι μέλος της οικογένειας *Malvaceae* και ανήκει στο γένος *Gossypium*, το οποίο αποτελείται από περίπου 50 είδη θάμνων και μικρών δενδρυλλίων, που βρίσκονται παγκοσμίως τόσο σε τροπικές όσο και σε υποτροπικές περιοχές. Οι υφάνσιμες ίνες προέρχονται από την κάψα, δηλαδή τον καρπό από τους σπόρους που παραμένουν μετά την ανθοφορία. Οι κλωστικές ίνες, συνήθως έχουν μήκος 25–60 mm και διάμετρο 12–45 μm (Aslam *et al.* 2020, Κιλής 2017, Υυ 2015) και η δομή τους ακολουθεί την γενική δομή των φυτικών ινών όπως αυτή

<sup>1</sup> Άδεια χρήσης εικόνας/περιεχομένου από την Elsevier© και από το Κέντρο Εκκαθάρισης Πνευματικών Δικαιωμάτων (Copyright Clearance Center, CCC). Αρ. Άδειας χρήσης: 5506030885861

προαναφέρεται (**σχ. 1.3**). Καθώς οι ίνες αναπτύσσονται μέσα στην κάψα ενισχύονται με το κύριο συστατικό τους, την κυτταρίνη. Μετά το άνοιγμα του καρπού και την άμεση επαφή των ινών βαμβακιού με την ατμόσφαιρα, ξεκινά η ωρίμανση τους που οφείλεται στην αποβολή της περιεχόμενης υγρασίας (Rubenfeld 1991). Ανάλογα με την ωριμότητα της ίνας, ποικίλλουν οι διαστάσεις του κεντρικού αυλού και οι διατομές των ινών. Κατά την ωρίμανση, οι ίνες βαμβακιού χάνουν το αρχικό στρογγυλό σχήμα τους και η διατομή τους γίνεται νεφροειδής και ελλειπτική. Οι ώριμες ίνες, θα έχουν ένα παχύ στρώμα κυτταρίνης στο δευτερεύον τοίχωμα που οδηγεί σε ένα πολύ μικρό αυλό, ενώ οι ανώριμες ίνες έχουν λεπτό τοίχωμα και μεγάλο αυλό (**εικ. 1.1α**). Η διαμήκης όψη της ίνας βαμβακιού, εμφανίζεται ως δομή που μοιάζει με κορδέλα με περιελίξεις (περιστροφές) σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά μήκος της (**εικ. 1.1β**). Αυτές οι περιελίξεις, δίνουν στην ίνα μία ανομοιόμορφη επιφάνεια που αυξάνει την τριβή μεταξύ των ινών και επιτρέπει την κλώση. Οι χημικές και μηχανικές ιδιότητες των ινών βαμβακιού παρατίθενται στον **πιν. 1.1**.



**Εικ. 1.1:** Μικροσκοπικές εικόνες ινών βαμβακιού. **(α)** Διατομή ίνας και **(β)** διαμήκης όψη ίνας. Προσαρμογή από *Yu 2015*<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Άδεια χρήσης εικόνας/περιεχομένου από την Elsevier© και από το Κέντρο Εκκαθάρισης Πνευματικών Δικαιωμάτων (Copyright Clearance Center, CCC). Αρ. Άδειας χρήσης: 5507120215806

## Λινάρι

Το λινάρι (γνωστό και ως λιναρόσπορος), είναι μέλος του γένους *Linum Usitatissimum*, που σημαίνει «λίνον το ωφελιμότατον», και ανήκει στην οικογένεια *Linaceae*, η οποία αποτελείται από 13 γένη και 300 είδη. Το λινάρι είναι μια αυτογονιμοποιούμενη καλλιέργεια. Είναι από το παλαιότερο καλλιεργούμενο φυτό που αναπτύσσεται σε εύκρατες περιοχές. Τόσο οι σπόροι, όσο και οι ίνες που εξαγονται από το φυτό έχουν πάντα μεγάλη ζήτηση. Οι ίνες λίνου αποκτούν σημασία ως υφαντική πρώτη ύλη, λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων τους. Οι ίνες λίνου αποτελούνται από 70% κυτταρίνη και 30% μη κυτταρινικές ενώσεις (Chand 2008). Οι χημικές και μηχανικές ιδιότητες των ινών λιναριού παρατίθενται στον **πιν. 1.1**.

*Πιν. 1.1: Χημικές και μηχανικές ιδιότητες φυσικών ινών από βαμβάκι και λινάρι (Aslam et al. 2020, Chand 2008).*

<u>Χημικές ιδιότητες</u>					
Ίνες από:	Κυτταρίνη (%)	Ημικυτταρίνη (%)	Λιγνίνη (%)	Κήροι (%)	Υγρασία (%)
Βαμβάκι	85-90	5.7	-	-	-
Λινάρι	70	16.7-29.6	13	3	10-22

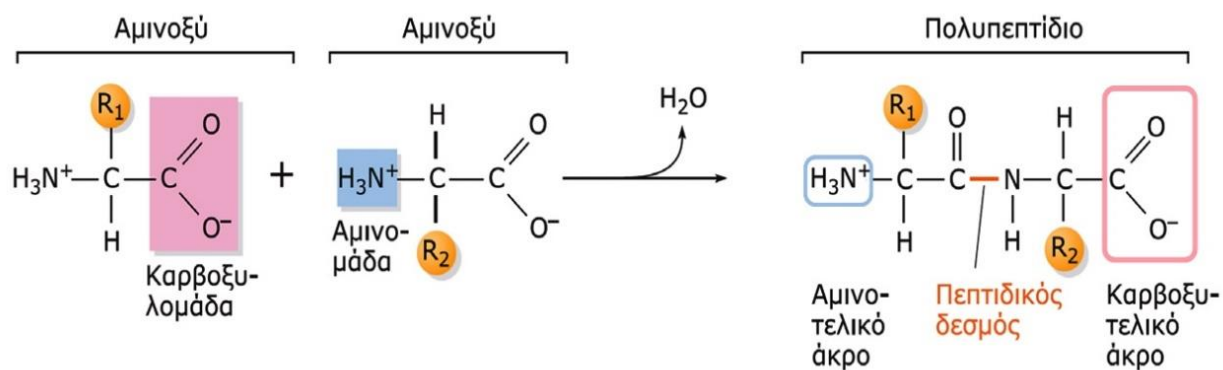
  

<u>Μηχανικές ιδιότητες</u>				
Ίνες από:	Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	Επιμήκυνση (%)	Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας Young (GPa)
Βαμβάκι	1.5-1.6	7-8	287-597	5.5-12.6
Λινάρι	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6

### 1.2.2.2 Ζωικές ίνες

Σε αντίθεση με τις φυτικές ίνες, οι ζωικές ίνες αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες. Οι πρωτεϊνικές ίνες που λαμβάνονται από ευρείες φυσικές πηγές, όπως ζώα και έντομα, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία της ζωής.

Συγκεκριμένα: διευκολύνουν την κινητικότητα, την ελαστικότητα, τη σταθεροποίηση και την προστασία των κυττάρων, των ιστών και των οργανισμών (Bhattacharyya 2015). Οι κύριες κατηγορίες πρωτεϊνικών ινών, είναι το μαλλί και το μετάξι. Οι συνολικές ιδιότητες αυτών των ινών, μπορούν να προσδιοριστούν από την αλληλουχία και τον τύπο των αμινοξέων που σχηματίζουν πολυπεπτιδικές αλυσίδες (σχ. 1.4).



**Σχ. 1.4:** Σχηματισμός πεπτιδικού δεσμού. Δύο αμινοξέα σχηματίζουν πεπτιδικό δεσμό όταν ένα μόριο νερού εξάγεται από αυτά, μέσω της ενζυμικής δράσης. Η αναλλοίωτη αμινομάδα στο ένα άκρο της πολυπεπτιδικής αλυσίδας, ονομάζεται N-άκρο και η αναλλοίωτη ομάδα καρβοξυλικού (οξέος) στο αντίθετο άκρο ονομάζεται C-άκρο. Οι συνδεδεμένες σειρές ατόμων άνθρακα, αζώτου και οξυγόνου αποτελούν την πρωτεϊνική ραχοκοκαλιά (Τσατσάλοβα 2023).



## ❖ Μαλλί

Το μαλλί είναι η πιο σημαντική ζωική ίνα που χρησιμοποιείται στην κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Προέρχεται από τρίχες προβάτων και άλλων σπονδυλωτών ζώων. Το μαλλί, αναφέρεται συχνά ως «προικισμένη ίνα του Θεού» καθώς και ως «ίνα μοντέλο» λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων που διαθέτει. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, φαίνεται να είναι η αρχαιότερη ίνα που υφάνθηκε σε ύφασμα (Firoz and Mondal 2021, Lewis and Rippon 2013). Το μαλλί είναι πρωτεΐνη γνωστή ως κερατίνη η οποία συντίθεται στα επιθηλιακά κύτταρα κυρίως σπονδυλωτών ζώων και είναι το βασικό συστατικό της επιδερμίδας του μαλλιού, των τριχών, των κεράτων, των νυχιών, των φτερών κ.α. Οι κερατίνες απαρτίζουν μία ομάδα πρωτεϊνών, οι οποίες παρουσιάζουν ποικιλία στη δομή, τη χημική σύσταση και την προέλευσή τους (Lewis and Rippon 2013). Ταξινομούνται σε α-κερατίνες ή β-κερατίνες, καθώς και σε «σκληρές» ή «μαλακές» σύμφωνα με τις απτικές τους ιδιότητες. Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των σκληρών κερατινών, όπως το μαλλί, τα κέρατα, τα νύχια, τα ράμφη και τα φτερά, είναι η υψηλότερη συγκέντρωση θείου (πάνω από 3%) από ό,τι βρίσκεται σε μαλακές κερατίνες όπως αυτές στην επιδερμίδα. Το θείο στις κερατίνες υπάρχει κυρίως με τη μορφή υπολειμμάτων του αμινοξέος κυστίνη. Οι ίνες μαλλιού έχουν δομή α-κερατίνης, ενώ τα φτερά των πτηνών και τα κέρατα των ζώων έχουν δομή β-κερατίνης. Το καθαρό μαλλί περιέχει 20 αμινοξέα (Firoz and Mondal 2021, Lewis and Rippon 2013). Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις σχετικές ποσότητες αμινοξέων στις ίνες μαλλιού, είναι τα διαφορετικά είδη (ράτσες) προβάτων, το μήκος μεμονωμένων ινών, η γενική προέλευση και η διατροφή. Τα **δομικά** και **χημικά** χαρακτηριστικά του μαλλιού παρέχουν μια πληθώρα μοναδικών ιδιοτήτων (Lewis and Rippon 2013).

## ❖ Μετάξι

Τα μετάξια είναι πρωτεΐνες που μπορούν να βρεθούν σε μια μεγάλη ποικιλία από έντομα και αράχνες. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα και χαρακτηρισμένα μετάξια, είναι από τον εξημερωμένο μεταξοσκώληκα (*Bombyx mori*) και από ορισμένες αράχνες (*Nephila clavipe* και *Araneus diadematus*). Οι πρωτεΐνες μεταξιού παράγονται συνήθως μέσα σε εξειδικευμένους αδένες. Μετά τη βιοσύνθεση από τα επιθηλιακά κύτταρα, που επενδύουν τους αδένες, οι πρωτεΐνες εκκρίνονται στον αυλό του αδένου και στη συνέχεια περιστρέφονται σε ίνες (Costa 2018). Το μετάξι αράχνης είναι ελαφρύ, εξαιρετικά ισχυρό, ελαστικό και παρουσιάζει υψηλές μηχανικές ιδιότητες (Winkler and Kaplan 2000).

Το μετάξι που λαμβάνεται από μεταξοσκώληκες, αποτελείται κυρίως από δύο κατηγορίες πρωτεϊνών, τη φιβροΐνη και τη σερικίνη. Οι φιβροΐνες οργανώνονται ως δέσμες νανοϊνιδίων που αντιστοιχούν στο 70%-75% του βάρους των ινών μεταξίου. Η υπολειπόμενη μάζα είναι η σερικίνη (20–310 kDa), μια υδατοδιαλυτή πρωτεΐνη που μοιάζει με κόλλα και συνδέει τις ινώδεις ίνες (φιβροΐνες) μεταξύ τους. Ως ύφασμα έχει άριστες φυσικές ιδιότητες, παρουσιάζει ανθεκτικότητα σε αλκαλικό περιβάλλον, σε οργανικούς διαλύτες και στη βιολογική προσβολή (Tridico 2009).

### 1.2.3 ΑΝΟΡΓΑΝΕΣ ΙΝΕΣ

Οι ίνες που προέρχονται από ορυκτά και αποτελούνται από ανόργανα συστατικά, ανήκουν στις φυσικές ίνες. Συναντώνται σπάνια, είναι ανθεκτικές στις φυσικοχημικές και βιολογικές προσβολές και χρησιμοποιούνται κυρίως στην διακόσμηση ή στην κατασκευή εξειδικευμένων υφασμάτων. Στις ανόργανες ίνες ανήκουν οι ίνες: αμιάντου, γυαλιού και οι μεταλλικές ίνες.

#### ❖ **Μεταλλικές ίνες**

Οι μεταλλικές ίνες, είναι μια ελκυστική κατηγορία ινών για σύνθετες εφαρμογές, λαμβάνοντας υπόψη τις εξαιρετικές μηχανικές τους ιδιότητες. Μπορεί να είναι κατασκευασμένες από: μέταλλο, μέταλλο με πλαστική επικάλυψη, πλαστικό με μέταλλο ή μήτρα (καλούπι) που καλύπτεται πλήρως από μέταλλο. Οποιοδήποτε όγκιμο μέταλλο, όπως ο χρυσός, ο χαλκός ή το ασήμι, μπορεί να μετατραπεί σε λεπτά νημάτια, που μπορούν να είναι στρογγυλεμένα ή επίπεδα. Τα ακριβά μέταλλα, όπως ο χρυσός και το ασήμι, μπορεί να έχουν εσωτερικούς πυρήνες κατασκευασμένους από φθηνότερα βασικά μέταλλα, π.χ. χαλκό ή πολυαμίδιο. Αυτά τα νήματα και οι κλωστές χρησιμοποιούνται κυρίως για διακόσμηση σε κεντήματα, κρόσσια, πλεξούδες ή υφαίνονται σε υφάσματα όπως μπροκάρ ή ταπισερί. Χρυσό νήμα και ασημένιο σύρμα χρησιμοποιούνται για ακριβά υφάσματα. Τα σύρματα απομίμησης χρυσού και ασημιού είναι επίσης διαδεδομένα, αλλά αμαυρώνονται εύκολα (Küster 2018).

## 1.2.4 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΙΝΕΣ

### 1.2.4.1 Φυσικές ίνες

Οι φυσικές ίνες είναι εκείνες στις οποίες η ινώδης ουσία είναι φυσική. Μεγάλες ποσότητες κυτταρίνης, διατίθενται από φυτά, αλλά μόνο ένα μικρό μέρος αυτής της κυτταρίνης χρησιμοποιείται από τη φύση για τη δημιουργία ινών όπως για παράδειγμα το βαμβάκι. Η περισσότερη κυτταρίνη προέρχεται από το δομικό υλικό των κορμών, των δέντρων, και το σκελετό των στελεχών και των φύλλων. Αυτή η κυτταρίνη είναι σχεδόν άχρηστη ως άμεση πηγή ινών για υφάσματα. Βρίσκεται σε ινώδη μορφή, αλλά περιέχει και άλλες ανεπιθύμητες ουσίες. Κατά το τελευταίο μισό του 20ου αιώνα, ο άνθρωπος έμαθε πώς να μετατρέπει αυτή τη φυσική κυτταρίνη σε μια μορφή κατάλληλη για υφάνσιμες ίνες.

### 1.2.4.2 Συνθετικές ίνες

Οι συνθετικές ίνες είναι εκείνες που έχουν παραχθεί από τον άνθρωπο και που κατασκευάζονται από χημικά πολυμερή που δεν υπάρχουν στη φύση. Αυτές οι ίνες είναι κυρίως αδιάλυτες και δεν αντιδρούν χημικά. Οι συνθετικές ίνες είναι τεχνητές ίνες, και κατασκευάζονται από συνθετικά πολυμερή, τα οποία προέρχονται από πετρέλαιο, άνθρακα και άλλες χημικές ουσίες με βάση τη βενζίνη (μονομερή). Η διαδικασία ένωσης αυτών των μονομερών είναι γνωστή ως πολυμερισμός, και στη συνέχεια τα μικτά πολυμερή περιστρέφονται (στρίβονται) σε νήματα (Gurta 2008). Οι συνθετικές ίνες, χωρίζονται σε ομάδες με βάση το πολυμερές από το οποίο κατασκευάζονται οι ίνες. Αυτές που χρησιμοποιούνται συχνότερα στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι οι ακρυλικές, οι ίνες από πολυαμίδιο (νάιλον), και οι πολυεστερικές.

## 1.3 Παράγοντες φθοράς του υφάσματος

Οι όροι «βιολογική αλλοίωση/φθορά, βιοφθορά, βιοδιάβρωση, βιοαποικοδόμηση» αναφέρονται σε οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στις ιδιότητες του υλικού, λόγω της δραστηριότητας μικροοργανισμών ή και οργανισμών, που ανήκουν σε διάφορες συστηματικές ομάδες (Sterflinger and Piňar 2013). Μεταξύ των όρων βιοφθορά (*biodeterioration*) και βιοαποικοδόμηση (*biodegradation*) ορίζεται μια σημαντική διάκριση κατά την οποία, ο πρώτος αναφέρεται σε αλλαγές που προκαλούνται από ζωτικής ανάγκης δράσεις των οργανισμών. Ενώ

ο δεύτερος συμπεριλαμβάνει αυτές τις δράσεις των οργανισμών που έχουν ως αποτέλεσμα την ολοκληρωτική κατάρρευση του υλικού (Sagar 1988). Οι βιολογικές πτυχές της συντήρησης έργων τέχνης, μπορούν να προσεγγιστούν με διαφορετικούς τρόπους. Πρώτον, με τις αρνητικές επιπτώσεις των βιολογικών πληθυσμών, οι οποίες θα πρέπει να αξιολογηθούν για πρόληψη και έλεγχο, και δεύτερον, πρέπει να ληφθεί υπόψη η πιθανή θετική συμβολή των βιολογικών πληθυσμών στις θεραπείες διάγνωσης και συντήρησης. Αυτοί οι τρόποι προσέγγισης, παρέχουν τις βασικές πληροφορίες για την κατανόηση της διαδικασίας, με την οποία ένας βιολογικός πληθυσμός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ικανότητας διάβρωσης και για την ερμηνεία των περιβαλλοντικών παραμέτρων (Cennamo *et al.* 2020).

Οι μικροοργανισμοί, συνήθως παίζουν σημαντικό ρόλο στους μηχανισμούς διάβρωσης των οργανικών και ανόργανων υλικών. Στην πραγματικότητα, μπορούν να προκαλέσουν, όχι μόνο αισθητικά ανεπιθύμητα αποτελέσματα, αλλά συνολικά, μια προοδευτική απώλεια συνοχής και μετασχηματισμό των συστατικών υλικών τους (Caneva *et al.* 1991). Οι βιολογικές αλλοιώσεις διαφέρουν ανάλογα με τις οικολογικές ιδιαιτερότητες όπως το υπόστρωμα, το είδος των μικροοργανισμών και οργανισμών που εμπλέκονται και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος όπου βρίσκεται το αντικείμενο (μικρο- και μακρο-περιβάλλον, ατμοσφαιρική ρύπανση κ.λπ.).

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες και η φύση του υποστρώματος του αντικειμένου προς συντήρηση, επηρεάζουν δραστικά την πιθανή επίθεση από βιολογικούς πληθυσμούς σε σχέση με την παρουσία ευνοϊκών ή περιοριστικών παραγόντων (μεταβολικά χαρακτηριστικά των βιολογικών πληθυσμών). Επιπλέον, η βιολογική φθορά των υλικών στη φύση, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μεμονωμένο φαινόμενο. Στην πραγματικότητα, εμφανίζεται πάντα μαζί με άλλες φυσικές, χημικές ή φυσικοχημικές διαδικασίες φθοράς, με τις οποίες συσχετίζεται αυστηρά. Η αλληλεξάρτηση αυτών των διαφόρων διαδικασιών καθώς και οι αλλαγές καιρικών συνθηκών πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη.

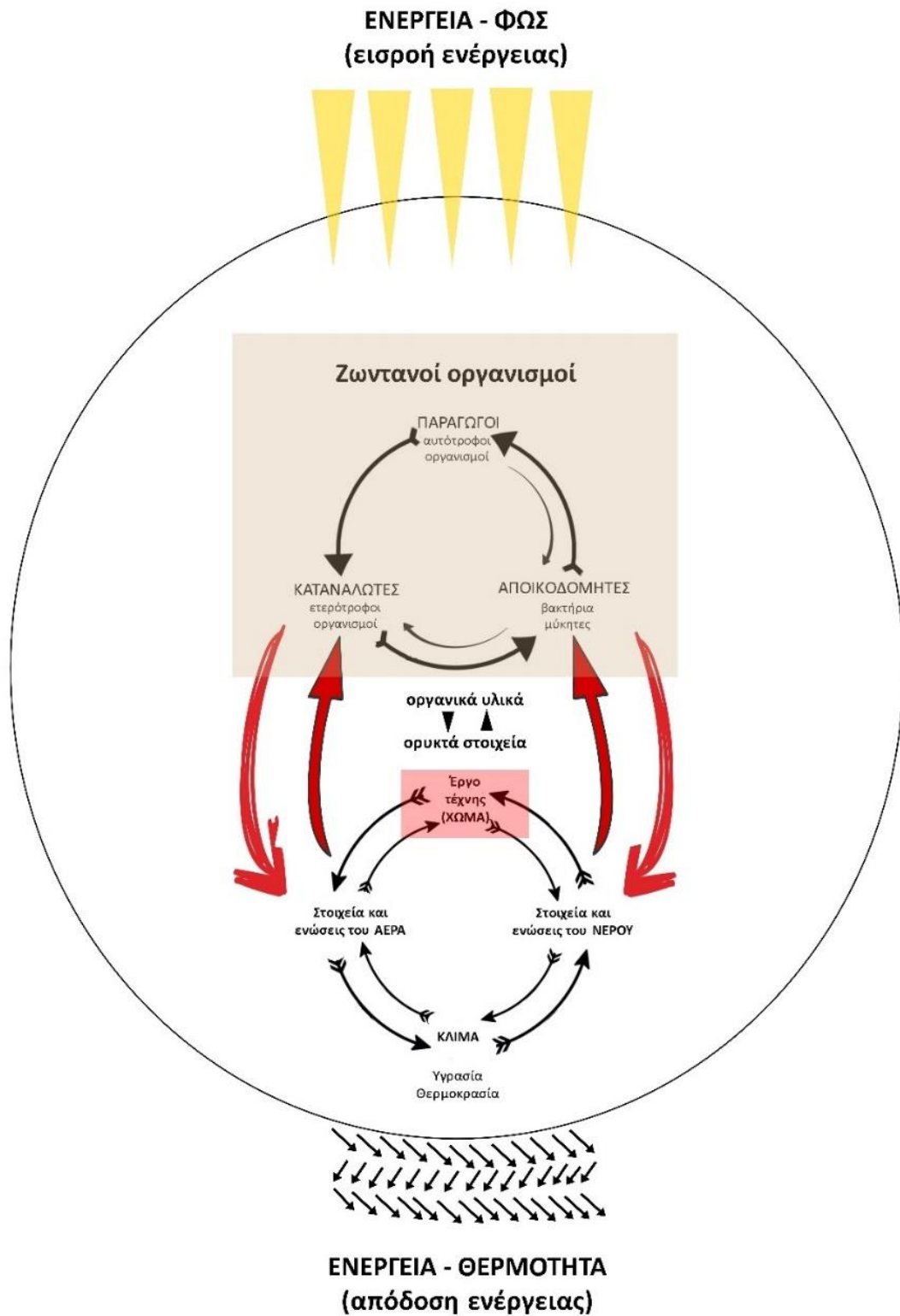
Επομένως, είναι απαραίτητη μια οικολογική προσέγγιση (οικοσύστημα), για να έχουμε μια πλήρη εικόνα των **βιοτικών** και **αβιοτικών** παραγόντων **σχ. 1.5**, και να κατανοήσουμε ποιοι από αυτούς τους παράγοντες, έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση σε μια δεδομένη κατάσταση, καθώς ο έλεγχος οποιουδήποτε παράγοντα, θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόληψη της ανάπτυξης μικροοργανισμών.



**Σχ. 1.5:** Κατηγοριοποίηση αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων. Οι αβιοτικοί παράγοντες ασχολούνται με το άψυχο υλικό και οι βιοτικοί με το έμψυχο υλικό ενός περιβάλλοντος (Τσατσάλοβα 2023).

Ως εκ τούτου, η ανάλυση των σχέσεων μεταξύ του έργου τέχνης, του αβιοτικού και του βιοτικού περιβάλλοντος, αποτελεί τη βάση μιας οικολογικής προσέγγισης του οικοσυστήματος. Αυτός ο τύπος μελέτης είναι πολύπλοκος και διεπιστημονικός επειδή λαμβάνει υπόψη τις πολυάριθμες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των βιολογικών πληθυσμών, των φυσικών και χημικών παραγόντων του περιβάλλοντος. Οι ζωντανοί οργανισμοί που υπάρχουν σε έργα τέχνης, όπως σε κάθε άλλο οικοσύστημα, μπορεί να είναι και **παραγωγοί** (αυτότροφοι) και **αποικοδομητές** ή **καταναλωτές** (ετερότροφοι). Οι παραγωγοί δε χρησιμοποιούν άμεσα τα υλικά για τις μεταβολικές τους ανάγκες, αλλά μπορούν έμμεσα να βλάψουν το υπόστρωμα από τα προϊόντα μεταβολισμού τους (δράση ενζύμων). Οι αποικοδομητές χρησιμοποιούν οργανική ύλη για τη διατροφή τους, αλλάζοντας σοβαρά τη δομή των ουσιών, λόγω της διάσπασης και της οξειδωσης των οργανικών υλικών. Η πλειοψηφία των βακτηρίων, των μυκήτων και των εντόμων που εμπλέκονται στη βιοδιάβρωση είναι αποικοδομητές. Οι καταναλωτές είναι η λιγότερο σημαντική κατηγορία σε αυτόν τον τομέα, γιατί αξιοποιούν τη ζωντανή ύλη άλλων μικροοργανισμών.

Αυτές οι αλληλεπιδράσεις, μπορούν να συνοψιστούν στο **σχ. 1.6**, όπου το έργο τέχνης (το προς συντήρηση αντικείμενο), υποθετικά ανήκει σε ένα οικοσύστημα, αντιπροσωπεύει το «χώμα», εκτίθεται σε **περιβαλλοντικούς παράγοντες** και πιθανώς μετασχηματίζεται από βιολογικούς πληθυσμούς (Cennamo *et al.* 2020).



**Σχ. 1.6:** Ένα έργο τέχνης ως οικοσύστημα. Προσαρμογή από Caneva et al. 1991<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Βιβλίο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
 Ιστοσελίδα βιβλίου: [https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-02/1991\\_caneva\\_biology\\_51352\\_light.pdf](https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-02/1991_caneva_biology_51352_light.pdf)



## 1.4 Αβιοτικοί παράγοντες

### 1.4.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

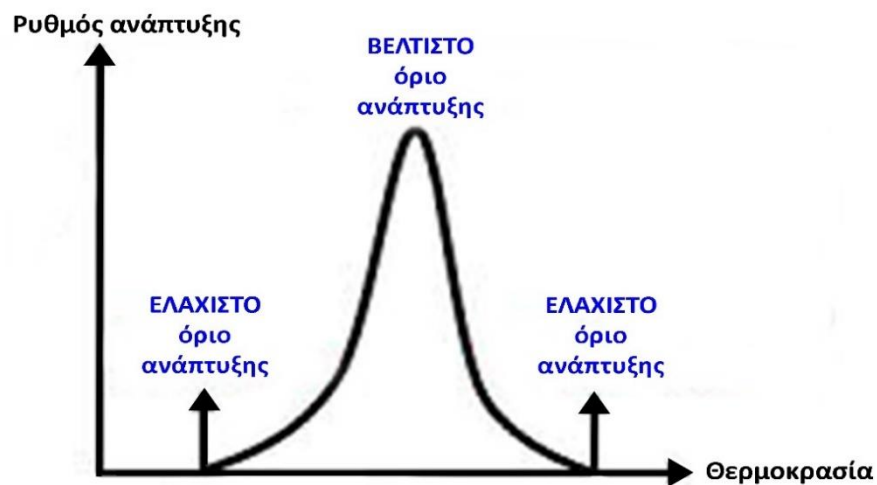
#### 1.4.1.1 Περιοριστικοί παράγοντες

Για τη βιολογική ανάπτυξη, οι παράγοντες που ρυθμίζουν και αναστέλλουν την παρουσία ενός βιολογικού είδους, είναι οι περιοριστικοί. Οποιαδήποτε παράμετρος μπορεί να γίνει περιοριστική, αρκεί οι τιμές της να είναι κοντά στο ελάχιστο ή μέγιστο, από τα όρια ανοχής ενός είδους (Cennamo *et al.* 2020). Το pH, η θερμοκρασία, η υγρασία, το φως και η αλατότητα είναι παραδείγματα περιοριστικών παραγόντων. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ περιοριστικών παραγόντων και βιολογικών πληθυσμών περιγράφονται από δύο νόμους:

- **Νόμος του Liebig** ή νόμος του ελαχίστου, ο οποίος αναφέρει ότι υπό συνθήκες σταθερής ισορροπίας του συστήματος, η ανάπτυξη ενός οργανισμού γίνεται περιοριστικός παράγοντας εάν η ποσότητα του θρεπτικού υποστρώματος είναι κοντά στο ελάχιστο. Για παράδειγμα, για ένα είδος φυκιών, η υγρασία, η περιεκτικότητα σε άλατα και η θερμοκρασία (**εικ. 1.2**) που υπάρχουν σε ένα κλειστό ή υπόγειο περιβάλλον, συνήθως δεν είναι κοντά στο ελάχιστο σε ποσότητα και, ως εκ τούτου, δεν είναι περιοριστικοί παράγοντες με αποτέλεσμα ο σχηματισμός λεκέδων και άλγη (Sterflinger and Piňar 2013).
- **Νόμος του Shelford** ή νόμος της ανοχής, ο οποίος έχει σχέση με τον προηγούμενο νόμο και αναφέρει ότι οι οργανισμοί δεν έχουν μόνο ένα ελάχιστο όριο (*minimum*), αλλά και ένα μέγιστο όριο (*maximum*) που καθορίζει το διάστημα που αντιπροσωπεύει τα όρια ανοχής τους. Ανάμεσα στα όρια αυτά, υπάρχει ένα εύρος ανοχής, στο οποίο περιλαμβάνονται και οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης του μικροοργανισμού (*optimum*) στον εκάστοτε περιβαλλοντικό παράγοντα (θερμοκρασία, pH). Η τιμή βελτιστοποίησης μπορεί να βρίσκεται κάπου ανάμεσα σε αυτές τις τιμές, και όχι απαραίτητα στην αριθμητική μέση. Οι μικροοργανισμοί μπορεί να έχουν ένα ευρύ φάσμα ανοχής για έναν παράγοντα και ένα στενό φάσμα ανοχής για έναν άλλο. Το στενό φάσμα ανοχής συνδέεται με ακριβείς συνθήκες, καθιστώντας δυνατή την ερμηνεία των τιμών των περιβαλλοντικών παραμέτρων στις οποίες είναι ευαίσθητα. Έτσι, όταν υπάρχουν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιοδείκτες (Caneva *et al.* 1991). Οι βασικές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, παρουσιάζονται στο **σχ. 1.7**.



**Εικ. 1.2:** **A.** Πράσινη άλγη από φύκια και κυανοβακτηρίδια σε επιφάνειες κονιάματος στο κάστρο Rappottenstein (Αυστρία) και **B.** Ροζ λεκέδες, χαρακτηριστικό των αλόφιλων βακτηρίων. Προσαρμογή από Sterflinger and Piňar 2013<sup>4</sup>.



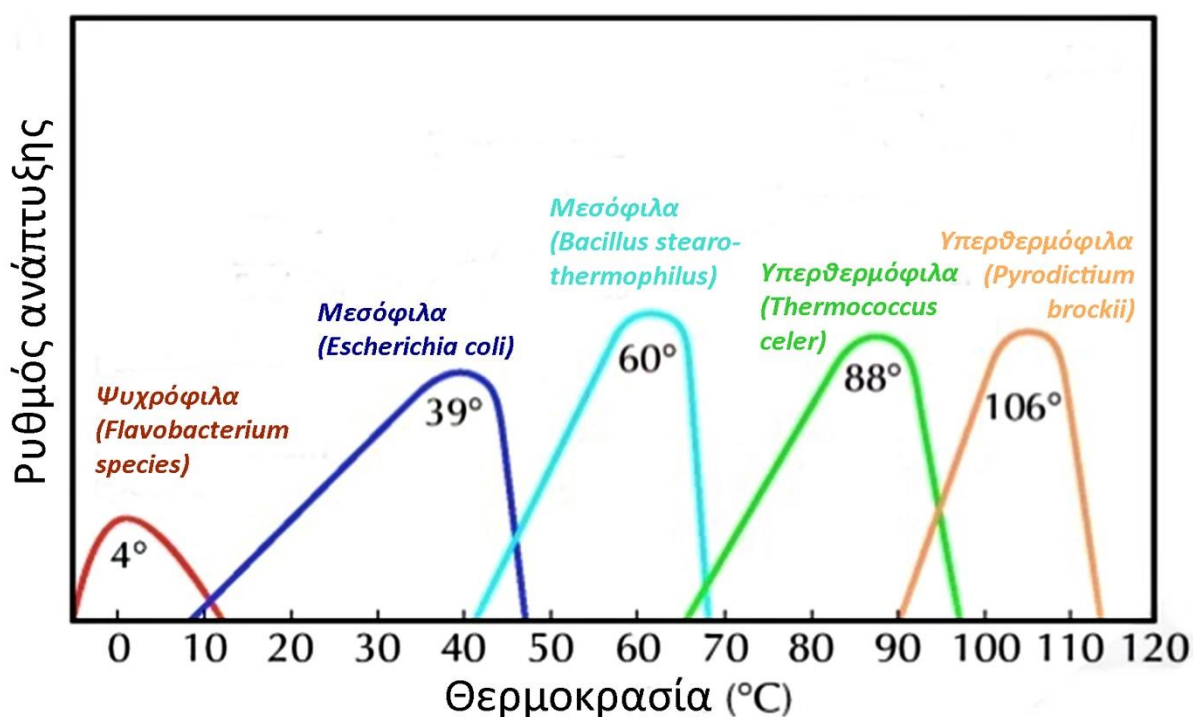
**Σχ. 1.7:** **Ελάχιστη θερμοκρασία:** Κάτω από την οποία δεν εμφανίζεται ανάπτυξη. **Βέλτιστη θερμοκρασία:** Στην οποία εμφανίζεται η ταχύτερη ανάπτυξη. **Μέγιστη θερμοκρασία:** Πάνω από την οποία δεν εμφανίζεται ανάπτυξη (Τσατσάλοβα 2023).

<sup>4</sup> Άρθρο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Σελίδα άρθρου: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-013-5283-1>

### 1.4.1.2 Θερμοκρασία

Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, η βιολογική ανάπτυξη γενικά αυξάνεται μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο, επειδή οι χημικές αντιδράσεις επιταχύνονται διπλασιάζοντας εκ νέου την ταχύτητα με κάθε αύξηση 10°C. Οι μικροοργανισμοί ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες με βάση τη βέλτιστη θερμοκρασία που χρειάζονται για τη διαίρεση και το μεταβολισμό τους (σχ. 1.8).

Η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση υφασμάτων είναι 20–35°C, αλλά το εύρος ανάπτυξης των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται σε αυτά, είναι σημαντικά μεγαλύτερο (4–50°C, εξαιρουμένων των ακραιόφιλων μικροοργανισμών). Ωστόσο τα ένζυμα, έχουν μια βέλτιστη τιμή δραστηριότητας σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες, που καθορίζει την προτίμησή τους ως προς αυτόν τον παράγοντα. Μια πολύ υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 50–60°C) είναι επικίνδυνη, γιατί προκαλεί διάφορα αρνητικά φαινόμενα, όπως ρήξη αδύναμων δεσμών, ρευστοποίηση λιπιδίων ή τροποποίηση των ενεργών θέσεων των ενζύμων (Gutarowska and Michalski 2012, Caneva *et al.* 1991).



Σχ. 1.8: Ταξινόμηση μικροοργανισμών με βάση τη θερμοκρασία (Τσατσάλοβα 2023).

Επίσης, μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας τις θερμές εποχές, όπως στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, μπορούν να γίνουν περιοριστικός παράγοντας για πολλά είδη. Η εσωτερική θερμοκρασία είναι σπάνια περιοριστικός παράγοντας για τη βιολογική ανάπτυξη, αλλά η **θέρμανση** μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη εάν άλλες περιβαλλοντικές παράμετροι (ιδιαίτερα η υγρασία) είναι πλεονεκτικές. Βέλτιστες τιμές θερμοκρασιών για τα έντομα και τους μικροοργανισμούς που βρίσκονται σε μουσεία και βιβλιοθήκες, είναι συνήθως μεταξύ 20°C και 30°C.

Οι ακραίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας ( $\leq 5^{\circ}\text{C}$  το χειμώνα και  $\geq 45^{\circ}\text{C}$  το καλοκαίρι), επηρεάζουν επίσης τις φυσικές συνθήκες των μουσείων, βιβλιοθηκών και έμμεσα, τη βιοδιάβρωση (Caneva *et al.* 1991). Επιπλέον, η θερμοκρασία επηρεάζει έντονα την σχετική υγρασία (RH) του αέρα και την περιεκτικότητα σε νερό του υποστρώματος. Η αύξηση της θερμοκρασίας, σε σταθερή περιεκτικότητα σε νερό, προκαλεί μείωση της σχετικής υγρασίας, ενώ η μείωση της θερμοκρασίας έχει το αντίθετο αποτέλεσμα (Koul and Upadhyay 2018).

#### **1.4.1.3 Υγρασία**

Η υψηλή υγρασία σε ένα ύφασμα είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η απορρόφηση του νερού από ένα ύφασμα εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από την υγροσκοπικότητα και το πορώδες του. Ένα επίπεδο σχετικής υγρασίας του υφάσματος πάνω από 65%, αυξάνει τη διόγκωση των ινών και ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών σε αυτό, ιδιαίτερα μούχλας (Szostak-Kotowa 2009).

Η ανάπτυξη βακτηρίων στο ύφασμα, απαιτεί υψηλή σχετική υγρασία (RH), πάνω από 95%. Αυτό που θα πρέπει να γίνει σαφές είναι, πως ο κρίσιμος παράγοντας για την ανάπτυξη μυκήτων είναι το μικροκλίμα ή η σχετική υγρασία στην επιφάνεια του αντικειμένου και όχι οι συνθήκες περιβάλλοντος στους χώρους αποθήκευσης. Αυτό καθορίζει την περιεκτικότητα σε υγρασία στο υπόστρωμα, το οποίο με τη σειρά του, παρέχει την απαραίτητη υγρασία για να αναπτυχθούν τα σπόρια μούχλας (Saville 1999). Η υγρασία είναι η κύρια αιτία υποβάθμισης (φυσική, χημική και βιολογική) του οικιακού υλικού, του υλικού βιβλιοθήκης, των μουσειακών αντικειμένων και της πολιτιστικής κληρονομιάς.

#### **1.4.1.4 Νερό**

Το νερό υπάρχει και στις τρεις καταστάσεις: ως στερεό, υγρό και αέριο. Επηρεάζει τα υγροσκοπικά υλικά να υποστούν αλλαγές διαστάσεων. Είναι επιζήμιο για όλων των ειδών τα αντικείμενα που φυλάσσονται ή εκτίθενται σε βιβλιοθήκες και χώρους πολιτιστικής

κληρονομιάς. Προέρχεται από φυσικές καταστροφές, ανθρώπινη αμέλεια, διαρρέουσες οροφές, ελαττωματικά υδραυλικά και ανεμιστήρες και από ανοιχτές πόρτες ή ανοιχτά παράθυρα κατά τη διάρκεια βροχών (Koul and Upadhyay 2018). Η παρουσία νερού, υποστηρίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών και μυκήτων, οδηγεί σε αλλοίωση των χαρτιών, λεκέδες μελανιού, σάπισμα υφασμάτων, δερμάτων και ξύλου και προκαλεί οξείδωση στα μεταλλικά αντικείμενα.

#### **1.4.1.5 Σκόνη και βρωμιά**

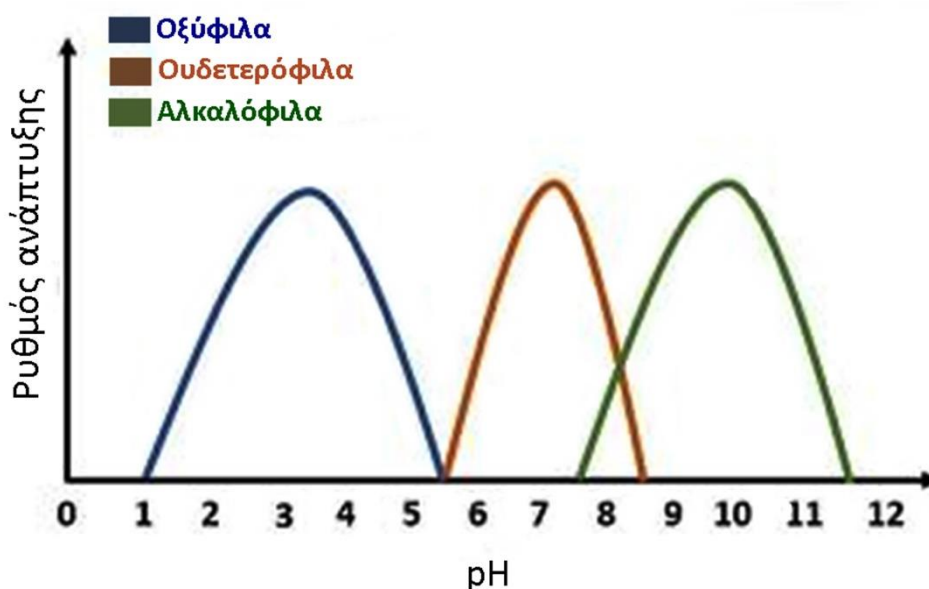
Η σκόνη αποτελείται από λεπτά και ξηρά σωματίδια οποιασδήποτε ύλης. Μεταφέρεται στον αέρα και κατακάθεται σε όλες τις επιφάνειες των αντικειμένων. Αυτά τα αερομεταφερόμενα σωματίδια της σκόνης περιλαμβάνουν μεγάλα σωματίδια (μέγεθος μεγαλύτερο από 100 μm), μεσαίου μεγέθους σωματίδια (σωματίδια στην περιοχή από 1–100 μm) και μικρά σωματίδια (μέγεθος μικρότερο από 1 μm). Η σκόνη στην επιφάνεια των αρχαιοτήτων και έργων τέχνης έχει ετερογενή και μεταβλητή σύνθεση (Koul and Upadhyay 2018, Caneva *et al.* 1991). Συνήθως περιέχει χημικά σωματίδια διαφορετικής προέλευσης και φύσης, αυγά εντόμων, σπόρια μικροοργανισμών και γύρη λουλουδιών. Σε συνθήκες υγρασίας, λόγω της υγροσκοπικής φύσης της, η σκόνη μετατρέπεται σε βρωμιά που κολλάει στην επιφάνεια των υφασμάτων και είναι δύσκολο να αφαιρεθεί. Η σκόνη και η βρωμιά ευθύνονται τόσο για τη φυσική όσο και για τη χημική φθορά των αντικειμένων της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η σκόνη παρέχει ένα θρεπτικό στρώμα για τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι μπορούν να επιβιώσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Λειτουργεί επίσης ως πυρήνας για την υγρασία, η οποία διευκολύνει την ανάπτυξη του μύκητα και τη χημική δράση του (σχηματισμός οξέων). Δεδομένου ότι η σκόνη και η βρωμιά είναι στερεά σωματίδια ποικίλου μεγέθους και σκληρότητας, ασκούν τριβή στην επιφάνεια των αντικειμένων με αποτέλεσμα την υποβάθμισή τους (Ahmed 2018).

#### **1.4.2 Χημικοί παράγοντες**

##### **1.4.2.1 pH**

Οι **μύκητες** έχουν μεταβλητές απαιτήσεις pH. Αναπτύσσονται καλύτερα σε όξινες συνθήκες (pH 5.5–6). Μερικοί μύκητες, όπως ο *Aspergillus niger*, αναπτύσσονται σε πολύ όξινο περιβάλλον όπως pH 2 (Smith and Onions 1983). Τα **βακτήρια** που αναπτύσσονται σε εύρος pH πάνω ή κάτω από την προτιμώμενη τιμή, δεν επιβιώνουν όπως τα βακτήρια στο βέλτιστο pH, παρουσιάζουν την καλύτερη ανάπτυξη σε σχεδόν ουδέτερο pH 6.5–7.5 (Koul and Upadhyay 2018). Ανάλογα με

το εύρος του pH, οι οργανισμοί μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες όπως παρουσιάζονται στο **σχ. 1.9**.



**Σχ. 1.9:** Βακτηριακή ανάπτυξη σε διαφορετικό pH. Τα οξύφιλα βακτήρια, αναπτύσσονται σε πολύ χαμηλό εύρος pH (μεταξύ 0.1-5.4). Τα ουδετερόφιλα βακτήρια, αναπτύσσονται σε φυσιολογικό εύρος pH (μεταξύ 5.4-8.5). Τα αλκαλόφιλα βακτήρια, αναπτύσσονται σε αλκαλικό εύρος pH (μεταξύ 7-12) (Τσατσάλοβα 2023).

#### 1.4.2.2 Ρύπανση της ατμόσφαιρας

Η ρύπανση είναι μια ανεπιθύμητη αλλαγή στις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του αέρα, του εδάφους ή του νερού. Οι ρύποι στον αέρα ποικίλλουν και με βάση την τρέχουσα βιβλιογραφία, οι σωματιδιακές ουσίες (υδρογονάνθρακες, πυριτικά, σπόρια, γύρες κ.λ.π.) διαφοροποιούνται από τις αέριες ενώσεις ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_2$ ). Η ανισορροπία που προκαλούν στο περιβάλλον, μπορεί να επιφέρει διαφορετικές επιπτώσεις στους βιολογικούς πληθυσμούς και στην υποβάθμιση των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς (Koul and Upadhyay 2018).

Η παρουσία οξειδίων του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), του θείου ( $\text{SO}_2$ ), του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) του υδρόθειου ( $\text{H}_2\text{S}$ ) καθώς και η υγρασία, επηρεάζουν το χαρτί, τα αρχεία βιβλιοθηκών, τα υφάσματα και τα μνημεία. Μεταξύ αυτών των οξειδίων, το  $\text{SO}_2$  είναι το πιο επιζήμιο για τις ίνες κυτταρίνης όπως το χαρτί και το ύφασμα (δημιουργία καφέ κηλίδων).

Ο πιο άφθονος ρύπος της ατμόσφαιρας, είναι το άζωτο ( $\text{NO}_2$ ) που προέρχεται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων και συνδυάζεται με οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ) και νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ) για να σχηματιστεί νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ). Αυτό το ισχυρό οξύ επηρεάζει τα υφάσματα, τα χαρτιά και τα δερμάτινα είδη. Σε συνθήκες υγρασίας, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι (όζον), καταστρέφουν τα οργανικά υλικά, ξεθωριάζουν τα χρώματα των υφασμάτων, των εξωφύλλων βιβλίων και επίσης αλλοιώνουν τα υλικά βιβλιοδεσίας όπως δέρμα, ζελατίνη και κόλλα (Caneva *et al.* 1991). Αξίζει να σημειωθεί πως: η βιολογική προσβολή από ρύπους, είναι συχνότερη σε εξωτερικούς χώρους παρά σε εσωτερικούς, και οι περισσότεροι από τους αέριους ρύπους, συχνά αναστέλλουν τη βιολογική ανάπτυξη. Οι μικροοργανισμοί δεν είναι εξίσου ευαίσθητοι. Η ευαισθησία ποικίλλει από το ένα είδος στο άλλο, για αυτό κάποιες ομάδες (ειδικά τα βρύα και οι λειχήνες), καταστρέφονται συχνότερα. Με βάση τη διαφορετική ευαισθησία και ανοχή τους, ορισμένα είδη μικροοργανισμών, χρησιμοποιούνται ως βιοδείκτες ρύπανσης (Nimis 1990).

### 1.4.3 Φυσικοχημικοί παράγοντες

#### 1.4.3.1 Φως

Το φως αντιπροσωπεύει την πρωταρχική πηγή ενέργειας, που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη όλων των φωτοσυνθετικών οργανισμών. Επιπροσθέτως, το φως μπορεί να είναι ευνοϊκός παράγοντας για ορισμένα είδη ή και αδιάφορος. Τα έντομα, για παράδειγμα, μπορούν να επηρεαστούν από την παρουσία φωτός ή σκότους. Η ανοχή στο φως ποικίλλει επίσης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Το σκοτάδι ωστόσο, συνήθως ευνοεί την ανάπτυξη των περισσότερων εντόμων και μικροοργανισμών στις βιβλιοθήκες (Gallo 1985).

Στη περίπτωση του υφάσματος, οι ίνες είναι ευαίσθητες στη φωτοοξείδωση που προκαλείται από την ακτινοβολία του φωτός (ιδιαίτερα την **υπεριώδη** και την **υπέρυθη** ακτινοβολία). Η υπεριώδης ακτινοβολία σε ίνες κυτταρίνης, όπως το **βαμβάκι**, προκαλεί θραύση της αλυσίδας κυτταρίνης και οδηγεί στην αποσύνθεσή της. Το μαλλί και το μετάξι είναι επίσης ευαίσθητα σε φωτοχημική αποικοδόμηση, ιδιαίτερα παρουσία οξυγόνου. Η δράση της υπέρυθρης ακτινοβολίας στα υφάσματα προκαλεί υπερθέρμανση της επιφάνειας και οδηγεί σε πολλές φυσικοχημικές αλλαγές (Szostak-Kotowa 2009).



### **1.4.3.2 Φυσικές καταστροφές**

Οι καταστροφές είναι απροσδόκητες και μπορεί να είναι φυσικές ή ανθρωπογενείς. Σε βιβλιοθήκες και μουσεία, υπάρχουν πιθανότητες πυρκαγιάς καθώς η πλειοψηφία των υλικών είναι οργανικής φύσεως. Αντικείμενα που δεν έρχονται σε άμεση επαφή με φλόγες, μπορεί να αλλοιωθούν από αιθάλη και καπνό. Η θερμότητα της φωτιάς, προκαλεί συρρίκνωση των δεσμών, παραμόρφωση και τήξη των πλαστικών υλικών βάσης. Το νερό, εάν χρησιμοποιηθεί για την κατάσβεση πυρκαγιών, θα προκαλέσει τεράστια ζημιά, τα εκθέματα θα απορροφήσουν το νερό μαζί με όλα τα μικροσωματίδια που θα παρασύρει, θα διογκωθούν και θα παραμορφωθούν (Canena *et al.* 1991). Εκτός από τη φωτιά, οι πλημμύρες και οι σεισμοί, είναι επίσης από τους σημαντικούς παράγοντες φθοράς των υφασμάτων.

## **1.5 Βιοτικοί παράγοντες**

### **1.5.1 Μικροοργανισμοί**

#### **1.5.1.1 Μύκητες – Βακτήρια**

Στα υλικά φυτικής προέλευσης, η ευαισθησία ή η αντοχή των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων στη βιοαποικοδόμηση, εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε κυτταρίνη, λιγνίνη και άλλα οργανικά συστατικά. Η παρουσία μη κυτταρινικών συστατικών όπως η λιγνίνη και τα κεριά μειώνει την ευαισθησία. Το φυσικό βαμβάκι περιέχει περίπου 5% μη κυτταρινικών προϊόντων, το λινάρι 15%, επομένως το βαμβάκι είναι πιο ευαίσθητο στους μικροοργανισμούς από το λινάρι. Οι ίνες με υψηλή ποσότητα λιγνίνης είναι πιο ανθεκτικές στη βιολογική προσβολή (Vigo 1977, Kowalik 1980). Η αντίσταση των υφασμάτων τροποποιεί συχνά τη διαδικασία παραγωγής. Για παράδειγμα, η γιούτα, εάν αφαιρεθεί η λιγνίνη, γίνεται πιο επιρρεπής σε αποσύνθεση από το βαμβάκι, λόγω της παρουσίας ημικυτταρινών και ορυκτών αλάτων. Η ευαισθησία αυξάνεται επίσης εάν τα υφάσματα, περιέχουν κολλάρισμα, το οποίο αποτελείται από άμυλο. Τα ακόλουθα δομικά χαρακτηριστικά των ινών και των υφασμάτων επηρεάζουν επίσης τη βιοαποικοδόμηση: βαθμός πολυμερισμού, μήκος αλυσίδας κυτταρίνης, κρυσταλλικότητα και προσανατολισμός των ινών. Η μηχανική, φωτοχημική ή άλλα είδη αποικοδόμησης αυξάνουν την ευαισθησία στη βιολογική φθορά των υφασμάτων, επειδή μειώνουν αυτά τα δομικά χαρακτηριστικά (Vigo 1980). Στην κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, ο τρόπος ύφανσης μπορεί να επηρεάσει την αντοχή στη μικροβιακή προσβολή.

Τα υφάσματα με χαλαρή πλέξη, είναι λιγότερο ανθεκτικά από τα υφάσματα με σφιχτή πλέξη, επειδή συγκρατούν περισσότερη βρωμιά και βιολογικούς ρύπους μεταξύ των νημάτων, δημιουργώντας συνθήκες υψηλότερου κινδύνου. Οι πιο δραστικοί παράγοντες φθοράς των υφασμάτων είναι οι μύκητες (ασκομύκητες και δευτερομύκητες) και τα βακτήρια κυτταρολυτικών και μη κυτταρολυτικών ειδών. Μεταξύ των δευτερομυκήτων βρίσκουμε αρκετά είδη όπως: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Memnoniella*, *Myrothecium*, *Neurospora*, *Penicillium*, *Scopulariopsis*, *Stachybotrys*, *Stemphylium* κ.λ.π.

Αρκετά συχνός και ιδιαίτερα επιβλαβής, λόγω της υψηλής κυτταρολυτικής του δραστηριότητας, είναι ο ασκομύκητας του γένους *Chaetomium* (Kowalik 1980, Vigo 1980). Ζυγομύκητες όπως το *Mucor* και το *Rhizopus*, που χρησιμοποιούν υδατάνθρακες και ενώσεις αζώτου, εμφανίζονται επίσης στα υφάσματα. Τα βακτήρια και οι ακτινομύκητες χρειάζονται υψηλή περιεκτικότητα σε νερό στα υφάσματα, συνεπώς η εμφάνισή τους στα μουσεία είναι σπάνια. Αλλά σε υγρά περιβάλλοντα ή όταν τα υφάσματα θάβονται στο έδαφος (αρχαιολογικά υφάσματα), η πιο σοβαρή αποσύνθεση της κυτταρίνης, προκαλείται από βακτήρια που ανήκουν στο είδος *Sporocytophagamyxo coccoides*. Η υποβάθμιση των υφασμάτων που εκτίθενται σε εξωτερικούς χώρους, έχει συσχετιστεί με είδη των ακτινομυκήτων, μυξομυκήτων και ενός γαλαζοπράσινου φυκιού, που ονομάζεται: *Tolypothrix byssoides* (Vigo 1980).

**Συμπερασματικά**, η βιολογική φθορά των υφασμάτων, προκαλείται κυρίως από νηματώδεις μύκητες, και σε μικρότερο βαθμό, από βακτήρια. Βάσει έρευνας της βιβλιογραφίας, οι μικροοργανισμοί που είναι ικανοί να αποικοδομούν φυσικές ίνες (βαμβάκι), παρατίθενται στον **πιν.1.2.**

**Πιν. 1.2:** Μύκητες και βακτήρια που συμβάλλουν στην βιοαποικοδόμηση υφάνσιμων ινών από βαμβάκι (Τσατσάλοβα 2023).

Μικροοργανισμοί	Δράση	Βιβλιογραφία
<b>Μύκητες:</b> <i>Aspergillus</i> sp.	Αποικοδόμηση της κυτταρίνης σε	Abdel-Kareem <i>et al.</i> 1997
<i>Penicillium</i> sp.	<u>γλυκόζη</u> από ένζυμα:	Bartley <i>et al.</i> 1984
<i>Cladosporium</i> sp.		Caneva <i>et al.</i> 1991
<i>Cheatomimum</i> sp.	1,4-ενδο-β-D-γλυκάνη	Evans 1996
<i>Alternaria</i> sp.	κελλοβιοϋδρολάση	Flannigan <i>et al.</i> 2001
<i>Trichoderma</i> sp.		
<i>Myrothecium</i> sp.	ένδο-1,4-β-D-γλυκάνη	Gutarowska and Michalski
<i>Memnoniella</i> sp.	γλυκανοϋδρολάση	2012
<i>Stachybotrys</i> sp.		
<i>Verticillum</i> sp.		Kowalik, 1980
		Kubicek <i>et al.</i> 1988
<b>Βακτήρια:</b> <i>Cytophaga</i> sp.	γλυκοϋδρολάση	Koul and Upadhyay 2018
<i>Cellulomonas</i> sp., <i>Bacillus</i> sp.,	β-D-γλυκοζιδίων	
<i>Clostridium</i> sp.		
<i>Sporocytophaga</i> sp.		

### 1.5.1.2 Έντομα

Τα υφάσματα είναι επίσης επιρρεπή, σε προσβολή από έντομα όπως **ασημόψαρα** (silverfish) και **κατσαρίδες** (cockroaches). Η πιθανότητα προσβολής αυξάνεται, εάν τα υφάσματα, περιέχουν πρωτεϊνικά συστατικά ή υδατάνθρακες όπως κόλλες από άμυλο (Harmsen P. *et al.* 2021). Οι κύριες οικογένειες εντόμων που εμπλέκονται στη βιοαποικοδόμηση των υφασμάτων, είναι οι Blattidae, Blattelidae (κατσαρίδες), Lepismatidae (ασημόψαρα) και Mastotermitidae, Hodotermitidae, Rhinotermitidae (τερμίτες). Γενικά, η επίθεσή τους, κυμαίνεται από επιφανειακή διάβρωση, έως απώλεια τμημάτων του αντικειμένου.

### **1.5.2 Ανθρωπογενείς παράγοντες**

Εκτός από τους προαναφερθέντες παράγοντες, σοβαρή αιτία υποβάθμισης των μουσειακών αντικειμένων, είναι η περιστασιακή μας στάση. Οι άνθρωποι που εργάζονται στα μουσεία, είναι άμεσα υπεύθυνοι για τη συνολική εικόνα και συντήρηση των συλλογών. Μερικές φορές όμως δεν είναι εξοικειωμένοι με τον χειρισμό, την αποθήκευση και την προσεκτική συντήρηση των συλλογών ώστε να αποφευχθούν ζημιές και βοηθούν στη στάσιμη διατήρηση. Η ακατάλληλη αποθήκευση, η ελαττωματική επισκευή ή επέμβαση, ο σκληρός χειρισμός, η σήμανση με στυλό, ο βανδαλισμός κ.λ.π., προκαλούν αλλοίωση των υλικών από τον άνθρωπο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μέθοδοι ανάλυσης και αναγνώρισης μικροβιακών κοινοτήτων και βιολογικής φθοράς σε υφάσματα λαογραφικών και ιστορικών συλλογών

### 2.1 Μέθοδοι ανίχνευσης μικροοργανισμών

#### 2.1.1 Μικροβιολογικές μέθοδοι

Η γνώση του επιπέδου μικροβιακής προσβολής και της ταυτότητας των μικροοργανισμών που κατοικούν σε υφάσματα, είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς επηρεάζουν τη στρατηγική συντήρησης και τις μεθόδους διατήρησης, απολύμανσης και αποθήκευσης αυτών. Πριν από οποιαδήποτε επέμβαση συντήρησης στο αντικείμενο, πρέπει να αναλυθεί το δυναμικό φθοράς των μικροοργανισμών (Gutarowska *et al.* 2016, Schabereiter-Gurtner *et al.* 2001).

Η καλλιέργεια σε θρεπτικά υλικά (στερεά, υγρά, ημίρρευστα), είναι η βασική μέθοδος μικροβιολογικής ανάλυσης. Περίπου το 99% των μεταβολικά ενεργών μικροβιακών στελεχών, είναι «βιώσιμοι αλλά μη καλλιεργήσιμοι» (*Viable But NonCulturable-VBNC*), λόγω της αβιοτικής τους κατάστασης. Οι μικροοργανισμοί *VBNC* είναι μεταβολικά ενεργοί, στο εργαστήριο όμως, οι μικροβιολογικές μέθοδοι, δε μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις τους για ανάπτυξη (Gutarowska *et al.* 2016, Olivier 2005, Lopez *et al.* 2013). Η σύνθεση του εργαστηριακού μέσου, δεν είναι σε θέση να αναδημιουργήσει τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, οι μέθοδοι καλλιέργειας θα πρέπει να συνδυάζονται με μοριακές μεθόδους ανάλυσης μικροβιακών κοινοτήτων σε αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς.

#### 2.1.2 Μοριακές μέθοδοι

Το πρώτο βήμα σε οποιαδήποτε μοριακή ανίχνευση μικροοργανισμών, είναι η **απομόνωση νουκλεϊκών οξέων** και η **αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (*PCR, polymerase chain reaction*)**. Οι πιο συνηθισμένοι δείκτες μοριακής ταυτοποίησης, είναι τα γονίδια που κωδικοποιεί μικρές υπομονάδες ριβοσωμικού *RNA* (rRNA): 16S rRNA (προκαρυώτες), 18S rRNA και 28S rRNA (ευκαρυώτες). Η αναγνώριση μούχλας πραγματοποιείται συνήθως με 5.8S rRNA γονίδια (Gutarowska *et al.* 2016, Dakal *et al.* 2012, Gonzalez *et al.* 2003).

Τα επιμέρους προϊόντα των PCR αντιδράσεων, μπορούν να αναλυθούν με:

- ηλεκτροφόρηση σε διαβάθμιση αποδιατακτικής πηκτής (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis - DGGE),
- ηλεκτροφόρηση σε πηκτή, με διαβάθμιση θερμοκρασίας (Temperature Gradient Gel Electrophoresis- TGGE), και
- περιοριστική ανάλυση ενισχυμένων τμημάτων ριβοσωμικού DNA (ARDRA).

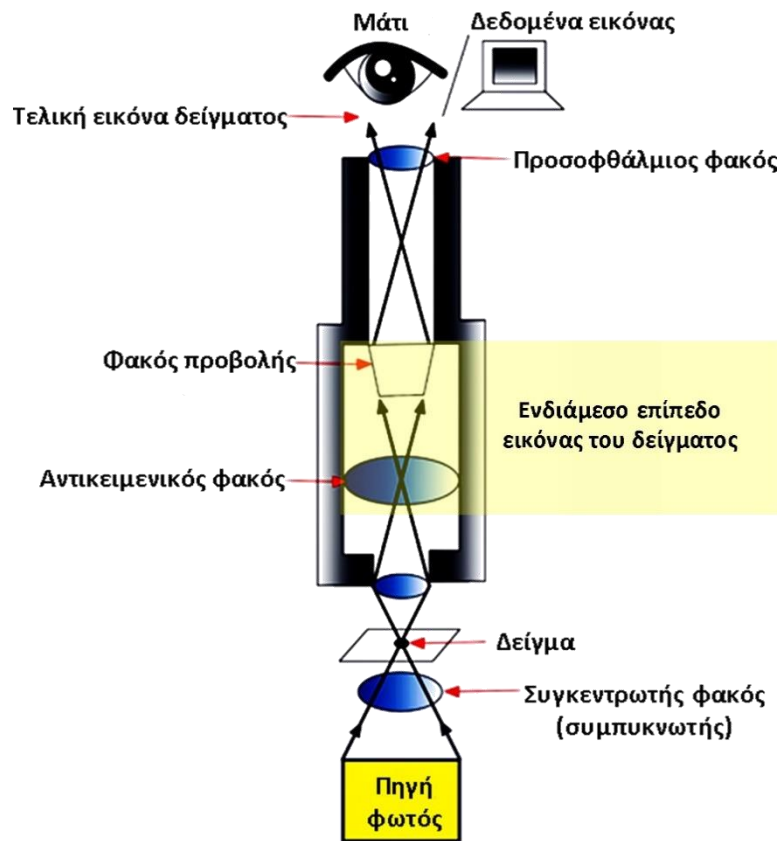
Επίσης, στις τρέχουσες μοριακές τεχνικές που εφαρμόζονται σε μελέτες βιοποικιλότητας, περιλαμβάνονται οι κατασκευές βιβλιοθηκών κλώνων (τεχνική που χρησιμοποιείται συχνότερα), και οι κατασκευές δακτυλικών αποτυπωμάτων (Otlewska *et al.* 2014).

## 2.2 Μικροσκοπικές τεχνικές

### 2.2.1 Οπτική μικροσκοπία

Στις περισσότερες μελέτες υλικών, η οπτική μικροσκοπία (*Optical Microscopy, OM*), είναι η πρώτη μέθοδος επιλογής για την προκαταρκτική διερεύνησή τους. Η OM, που αναφέρεται επίσης ως μικροσκοπία φωτός (*Light Microscopy*), χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού φάσματος με μήκη κύματος μεταξύ 400-700 nm. Στην OM, το ορατό φως, μεταδίδεται ή ανακλάται από το δείγμα μέσω ενός ή πολλαπλών φακών, δημιουργώντας μια μεγεθυμένη όψη του δείγματος. Όπως φαίνεται στο **σχ. 2.1**, το φως που παράγεται (πηγή φωτός), εστιάζεται στο δείγμα από τον συγκεντρωτή φακό (συμπυκνωτής). Το φως περνά μέσα από το δείγμα και τον αντικειμενικό φακό, προβάλλει μια πραγματική, ανεστραμμένη και μεγεθυμένη εικόνα του δείγματος σε ένα σταθερό επίπεδο εντός του μικροσκοπίου που ονομάζεται ενδιάμεσο επίπεδο εικόνας. Στη συνέχεια, δημιουργείται μεγεθυμένη ενδιάμεση εικόνα, η οποία δεσμεύεται από τον προσοφθάλμιο φακό και απεικονίζεται στον οφθαλμό (Gutarowska *et al.* 2016). Συμπερασματικά, το σύστημα απεικόνισης, συλλέγει το φως που έχει αλληλοεπιδράσει με το δείγμα, και παράγει μια μεγεθυμένη εικόνα που μπορεί να προβληθεί. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας δύο κύριες ομάδες οπτικών στοιχείων:

- τον αντικειμενικό φακό που συλλέγει όσο το δυνατόν περισσότερο φως από το δείγμα
- τον προσοφθάλμιο φακό που μεταδίδει το συλλεγμένο φως στο μάτι του παρατηρητή ή σε ένα σύστημα κάμερας.

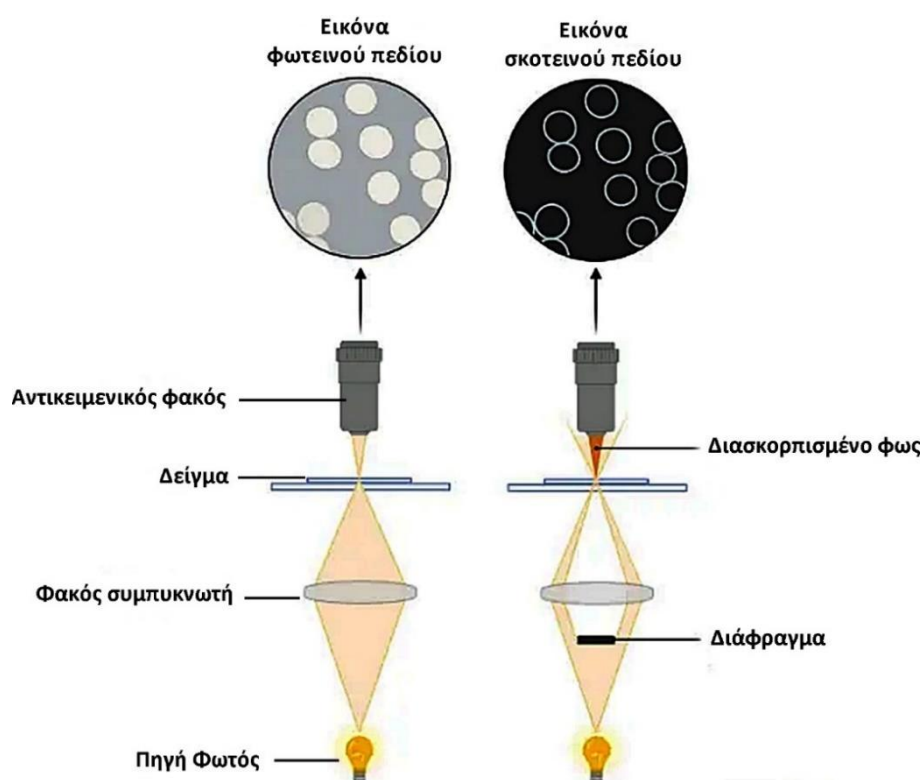


Σχ. 2.1: Διάγραμμα των φακών και πορεία του φωτός στην οπτική μικροσκοπία (Τσατσάλοβα 2023).

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τεχνικών μικροσκοπίας φωτός. Τα δείγματα μπορούν να παρατηρηθούν με το διερχόμενο φως, το ανακλώμενο φως και μέσω στερεοσκοπικού μικροσκοπίου (στερεοσκόπιο). Ο όρος "στερεοσκοπικό", σημαίνει θέαση από δύο διαφορετικές γωνίες, με σκοπό τη δημιουργία εντύπωσης βάθους και στερεότητας. Ως εκ τούτου, τα στερεοσκόπια διατίθενται μόνο σε διοφθάλμια (*Binocular*) και τριοφθάλμια (*Trinocular*) η μεγέθυνση που παρέχουν είναι 10-50x. Αυτός ο τύπος μικροσκοπίου μπορεί να παρέχει μεγάλη απόσταση εργασίας από τους φακούς για να φιλοξενήσει μεγαλύτερα αντικείμενα, και να επιτρέπει στους χρήστες να τα χειρίζονται κάτω από τη μικροσκοπική προβολή (προσοφθάλμιους φακούς). Η τρισδιάστατη εικόνα που δίνει, επιτρέπει την παρατήρηση της υφής των αντικειμένων (Gutarowska *et al.* 2016, Dakal *et al.* 2012).

Το οπτικό μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, μπορεί να οπτικοποιήσει το δείγμα με δύο διαφορετικές λειτουργίες: σε φωτεινό πεδίο και σκοτεινό πεδίο. Οι δύο αυτές λειτουργίες δίνουν διαφορετικές πληροφορίες για ένα αντικείμενο.

Στη **μικροσκοπία φωτεινού πεδίου** (*Brightfield Microscopy - BFM*), τόσο με διάθλαση (φως που διαθλάται από το δείγμα) όσο και χωρίς διάθλαση (φως που μεταδίδεται μέσω του δείγματος χωρίς απόκλιση) το φως συλλέγεται από τον αντικειμενικό φακό. Επομένως, η εικόνα του δείγματος δημιουργείται σε φωτεινό φόντο, εξού και η ονομασία «μικροσκοπία φωτεινού πεδίου». Στη **μικροσκοπία σκοτεινού πεδίου** (*Darkfield Microscopy – DFM*), η διαδρομή του φωτός κατευθύνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να περάσει από την εξωτερική άκρη του συμπυκνωτή σε ευρεία γωνία και να χτυπήσει το δείγμα υπό λοξή γωνία. Μόνο το φως που διασκορπίζεται από το δείγμα, φτάνει στον αντικειμενικό φακό για οπτικοποίηση. Όλο το άλλο φως που διέρχεται από το δείγμα θα χάσει τον στόχο, με αποτέλεσμα το δείγμα να φωτίζεται έντονα σε σκούρο φόντο. (σχ. 2.2). Εάν δεν υπάρχει δείγμα στην οπτική διαδρομή, δε συλλέγεται φως από τον αντικειμενικό φακό (Mishra and Chauhan 2016).

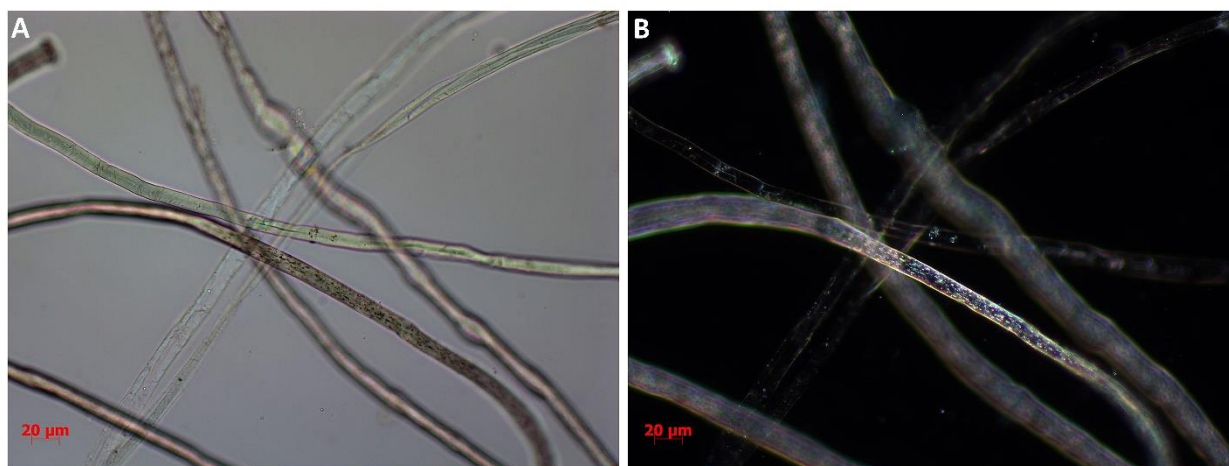


**Σχ. 2.2:** Διάγραμμα πορείας του φωτός στη μικροσκοπία φωτεινού και σκοτεινού πεδίου (Τσατσάλοβα 2023).



### 2.2.1.1 Παρατήρηση υφάνσιμων ινών με ΟΜ

Η δυνατότητα αναγνώρισης διαφορετικών ινών είναι σημαντική για τη λεπτομερή ανάλυση υφασμάτων, ζωγραφικής και άλλων ειδών μουσειακών αντικειμένων, με εφαρμογές που περιλαμβάνουν πεδία όπως η αρχαιολογία και η εγκληματολογία. Η ΟΜ χρησιμοποιείται εκτενώς για τη μελέτη της δομής των ινών, και σε κάποιο βαθμό, για τη μελέτη της βαφής και του φινιρίσματος του υφάσματος. Σε πολλές περιπτώσεις, η μεγέθυνση 400x επιτρέπει την απεικόνιση ενδιαφερόντων μοτίβων, την κατάσταση που βρίσκεται η πλέξη των ινών, τι είδους ελαττώματα ή αλλοιώσεις υπάρχουν στο ύφασμα, καθώς και τη φθορά από ρύπους ή μικροοργανισμούς (Mishra and Chauhan 2016). Τα δείγματα που λαμβάνονται από το προς παρατήρηση αντικείμενο, χρειάζονται κατάλληλη προετοιμασία. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι καταστρεπτική μέθοδος. Συμπερασματικά, η εσωτερική δομή και μορφολογία μιας ίνας είναι το άθροισμα όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών και μπορούν να απεικονιστούν όταν το δείγμα παρατηρείται με ΒFM. Με τη DFM λαμβάνονται πληροφορίες για την εξωτερική δομή της ίνας και χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της βιολογίας και της επιστήμης των υλικών. Είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τη μελέτη δειγμάτων που έχουν χαμηλή αντίθεση ή είναι δύσκολο να παρατηρηθούν με άλλους τύπους μικροσκοπίας (εικ. 2.1).



**Εικ. 2.1:** Βαμβακερές και πολυεστερικές ίνες. **A.** ΟΜ με ΒF **B.** ΟΜ με DF. Μεγέθυνση 400X. Προσαρμογή από *Conservation and Art Materials Encyclopedia Online (CAMEO)*<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Σελίδα που επιτρέπει την αναπαραγωγή φωτογραφικού υλικού σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δίκαιης/Ορθής Χρήσης: <https://www.mfa.org/about/terms-of-use>  
Σελίδα προέλευσης φωτογραφιών: <https://cameo.mfa.org/wiki/Miyake, 1981, Cotton Fibers From Dress>

### 2.2.1.2 Παρατήρηση μικροοργανισμών με OM

Τα περισσότερα βιολογικά δείγματα είναι εγγενώς διαφανή στο φως, με αποτέλεσμα την κακή αντίθεση. Για να αυξηθεί η αντίθεση της εικόνας στη μικροσκοπία BF, τα δείγματα βάφονται με βασικές χρώσεις όπως η χρώση με λακτοφαινόλη (*Lactophenol Cotton Blue - LPCB*) και η χρώση *Gram*. Επίσης η μικροσκοπία BF δε μπορεί να διακρίνει πολύ μικρά δείγματα όπως οι ιοί.

Η χρώση *Gram* είναι η πιο σημαντική και ευρέως χρησιμοποιούμενη μικροβιολογική διαφορική χρώση, που δημοσιεύτηκε από τον *Hans Christian Gram* το 1884. Επιτρέπει στα βακτήρια να διαφοροποιούνται σύμφωνα με 2 βασικά κριτήρια: το σχήμα τους (ζεύγη, τετράδες, ομάδες, αλυσίδες κ.ά.), και τη συγγενειά τους με τη χρώση (*Gram* θετικά ή *Gram* αρνητικά). Η αρχή της μεθόδου, βασίζεται στην ικανότητα των μικροοργανισμών να διατηρούν το χρώμα των χρωστικών που χρησιμοποιούνται κατά την αντίδραση χρώσης *Gram*. Τα βακτήρια με ένα παχύ, εξαιρετικά διασυνδεδεμένο στρώμα πεπτιδογλυκάνης (20-80nm), παγιδεύουν το πρωτεύον σύμπλεγμα χρωστικών, το κρυσταλλικό ιώδες και ιωδίνη (*Crystal Violet, Iodine*), και χρωματίζονται μωβ-μπλε. Αυτά τα βακτήρια χαρακτηρίζονται ως θετικά κατά *Gram*. Τα βακτήρια που έχουν ένα λεπτό στρώμα πεπτιδογλυκάνης (1-3nm) με χαμηλότερο ποσοστό διασύνδεσης, ακολουθούμενο από ένα λεπτό δεύτερο στρώμα που ονομάζεται εξωτερική μεμβράνη (7-8nm), δε διατηρούν το πρωτεύον σύμπλεγμα κατά την επεξεργασία αποχρωματισμού με οινόπνευμα (alcohol). Αυτά τα βακτήρια με το λεπτό κυτταρικό τοίχωμα, αντιχρωματίζονται με μια κόκκινη χρωστική, τη σαφρανίνη (safranin), δίνοντας ένα χρώμα κόκκινο-ροζ. Αυτά τα βακτήρια χαρακτηρίζονται ως αρνητικά κατά *Gram* βακτήρια. Τόσο η θετική όσο και η αρνητική κατά *Gram* χρώση βακτηρίων, αποκαλύπτουν τη συνολική μορφολογία των κυττάρων, έτσι ώστε τα κύτταρα να μπορούν επίσης να επισημανθούν περαιτέρω ως ράβδοι ή κόκκοι. Η μικροσκοπική παρατήρηση γίνεται με τον ελαιοκαταδυτικό φακό 100x και με χρήση ειδικού ελαίου.

Η μέθοδος χρώσης *LPCB* λειτουργεί με βάση την αρχή της υποβοήθησης της αναγνώρισης των κυτταρικών τοιχωμάτων των μυκήτων. Στους μύκητες το κυτταρικό τοίχωμα αποτελείται από πολυμερές της γλυκοζαμίνης που ονομάζεται χιτίνη, η οποία χρωματίζεται από συστατικό του διαλύματος της χρώσης. Συγκεκριμένα: Τα συστατικά της χρώσης *LPCB* όπως το γαλακτικό οξύ, δρα ως καθαριστικός παράγοντας και βοηθά στη διατήρηση των μυκητιακών δομών. Ομοίως, η φαινόλη, δρα ως απολυμαντικός παράγοντας θανατώνοντας κάθε ζωντανό οργανισμό. Το κυανό του βάμβακος (*Cotton blue*), χρωματίζει τη χιτίνη στο κυτταρικό τοίχωμα των μυκήτων (μπλε χρώμα), και η αναγνώριση των μυκήτων γίνεται από τη χαρακτηριστική μικροσκοπική

μορφολογία τους όπως το σχήμα, το μέγεθος, η διάταξη των σπορίων και οι υφές που παρέχουν χρώμα στη δομή. Η μικροσκοπία DF χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση των εσωτερικών οργάνων μεγαλύτερων κυττάρων όπως τα ευκαρυωτικά κύτταρα και για την αναγνώριση βακτηριακών κυττάρων με διακριτικά σχήματα όπως το *Treponema pallidum*. Επίσης χρησιμοποιείται για παρατηρήσεις ζωντανών μικροοργανισμών που δεν είναι ορατοί με τη μικροσκοπία BF, δε βάφονται ή διαταράσσονται από τη χρώση. Τα καταλληλότερα δείγματα για μικροσκοπία DF, είναι αυτά με διάσπαρτα διαθλαστικά αντικείμενα που χωρίζονται από κενό χώρο. Εάν υπάρχουν πάρα πολλά αντικείμενα ή εάν ένα παχύ στερεό δείγμα εκπέμπει φως (στο μικροσκόπιο), δεν υπάρχει σκοτεινό πεδίο (Gutarowska *et al.* 2016, Mishra and Chauhan 2016).

### **2.2.2 Ψηφιακή μικροσκοπία USB / Τεχνικές απεικόνισης**

Το ψηφιακό μικροσκόπιο USB, είναι ένα σύγχρονο μικροσκόπιο χειρός το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για την προκαταρκτική μελέτη της κατάστασης των υφασμάτων, χαρτώου υλικού κ.ά. Στερείται προσοφθάλμιου φακού, έχει μια ψηφιακή κάμερα όπου σε αυτή βρίσκονται ο ανιχνευτής και η συσκευή εξόδου εικόνας η οποία εμφανίζεται σε οθόνη υπολογιστή. Εν αντιθέσει με την OM, η φωτεινή πηγή του φορητού ψηφιακού μικροσκοπίου, είναι μια ενσωματωμένη πηγή LED. Προσφέρει ολοκληρωμένη αναλυτική απεικόνιση των πληροφοριών του αντικειμένου, που παρέχονται από τις περιοχές υπεριώδους (*Ultraviolet-UV*), ορατού (*Visible light-Vis*) και υπέρυθρου (*Infrared-IR*) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα 190–380nm, 380-750 nm και 700-1000 nm αντίστοιχα (Gutarowska *et al.* 2016).

Επίσης, οι τεχνικές απεικόνισης όπως, η ανάκλαση υπεριώδους (*UV-reflectance-UVR*), ο φθορισμός-UV (*UV-fluorescence-UVF*) και η υπέρυθρη φωτογραφία, αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τον εντοπισμό βιοφιλμ στα υφάσματα καθώς παρέχουν πληροφορίες, οι οποίες είναι δυσδιάκριτες στη περιοχή του ορατού λόγω επικαθίσεων ρύπων, κατεστραμμένων τμημάτων του αντικειμένου κ.λ.π. Η χρήση αυτών των τεχνικών διευκολύνει την επιλεκτική δειγματοληψία για περαιτέρω ανάλυση, η οποία μεγιστοποιεί την απόκτηση δεδομένων ενώ ελαχιστοποιεί την καταστροφή του αντικειμένου. (Baldia and Jakes 2007).

### 2.2.2.1 Χρωματομετρία

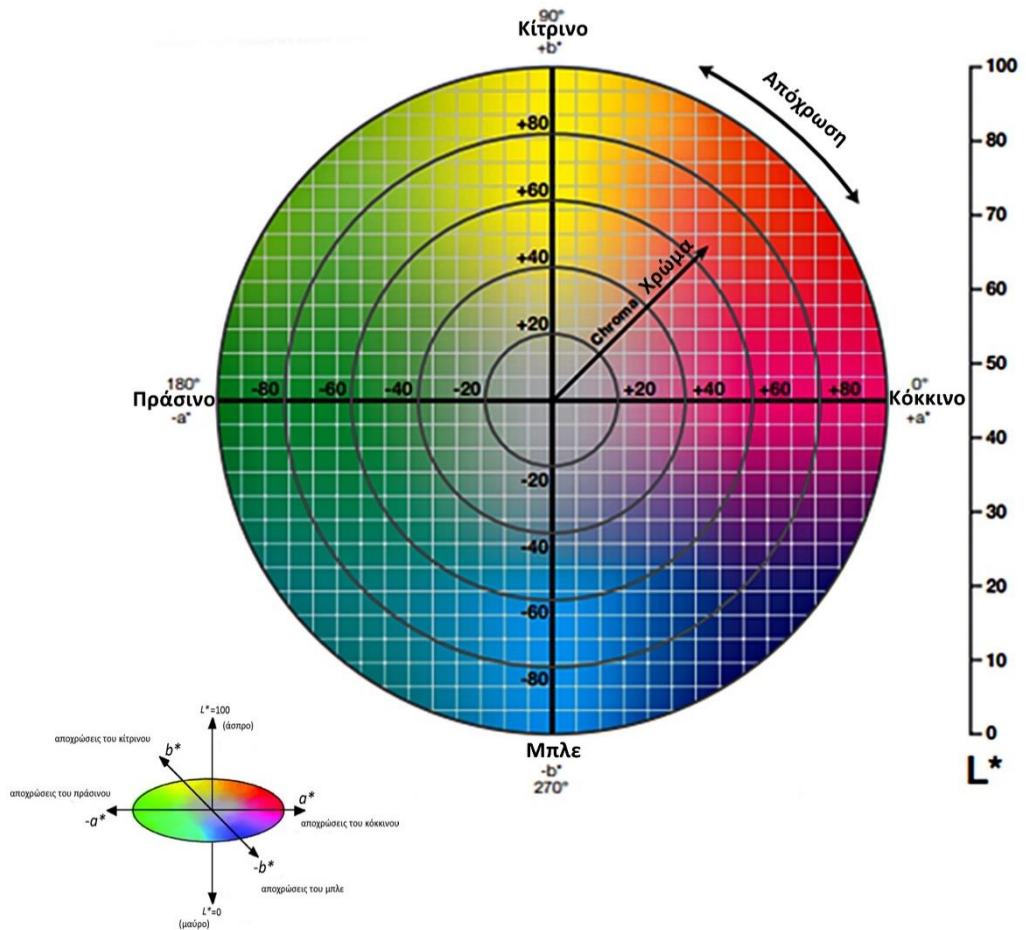
Η μέθοδος και ο όρος «χρωματομετρία» εμφανίστηκε το 1930 από την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού CIE (*Commission Internationale de L'Eclairage*) και τα χρωματομετρικά συστήματα ή αλλιώς χρωματικά μοντέλα της, είναι παγκοσμίως αποδεκτά για την μέτρηση του χρώματος. Για την ποιοτική και αντικειμενική αξιολόγηση του χρώματος, το μοντέλο που χρησιμοποιείται ευρέως, (παρουσίασε η CIE το 1976), είναι το χρωματικό μοντέλο CIE Lab ή CIE L\*a\*b\*, καθώς βασίζεται σε μια αντίληψη χρώματος, η οποία είναι παρόμοια με τις αντιληπτικές χρωματικές διαδικασίες της ανθρώπινης όρασης (Abdel-Kareem *et al.* 2010).

Στο μοντέλο CIE Lab οι χρωματικές συντεταγμένες ονομάζονται **L\***, **a\*** και **b\***, και απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Στο διάγραμμα χρωματικού χώρου, το L\* (*Lightness*), αναπαρίσταται στον κατακόρυφο άξονα με τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) και υποδηλώνει όλη την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας. Οι συντεταγμένες a\* και b\* υποδηλώνουν την πληροφορία χρώματος δηλ. της απόχρωσης χωρίς αριθμητικά όρια.

Στο **σχ. 2.3** παρουσιάζονται οι αποχρώσεις που αντιπροσωπεύουν οι θετικές και οι αρνητικές τιμές των a\* και b\* αντίστοιχα. Η αξιολόγηση της χρωματικής διαφοράς  $\Delta E^*$  ή  $DE^*$ , γίνεται με σύγκριση μεταξύ δύο χρωμάτων. Το ένα επιλέγεται ως πρότυπο (ή στόχος) και το άλλο επιλέγεται ως δείγμα. Η χρωματική διαφορά που προκύπτει, συμβολίζεται με  $\Delta E^*_{ab}$ , η οποία αντιπροσωπεύει τις αλλαγές των L\*, a\* και b\* και μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta E^*_{ab} = \left( (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

**Όπου:**  $\Delta L^*$  είναι η διαφορά της φωτεινότητας,  $\Delta a^*$  είναι η διαφορά κόκκινου/πράσινου και  $\Delta b^*$  είναι η διαφορά κίτρινου/μπλε. Η τιμή  $\Delta E^*$  μεγαλύτερη από τη μονάδα, υποδηλώνει διαφορά χρώματος που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος οφθαλμός (Gutarowska *et al.* 2016, Abdel-Kareem *et al.* 2010).



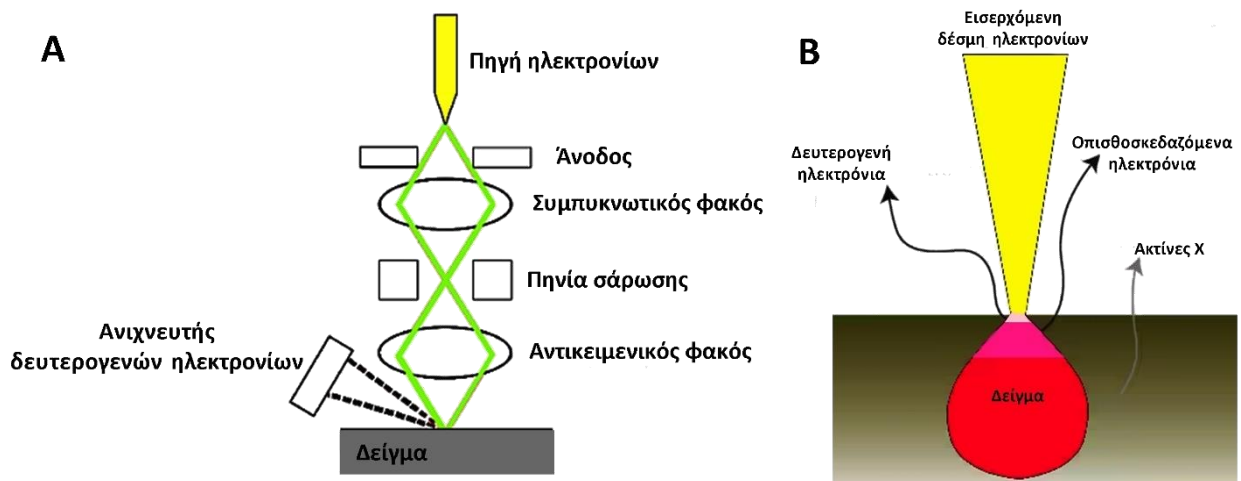
**Σχ. 2.3:** Διάγραμμα χρωματικού χώρου CIELAB. Θετικές τιμές του  $a^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου. Αρνητικές τιμές του  $a^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του  $b^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου. Αρνητικές τιμές  $b^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του μπλε. Το  $L^*$  αναπαρίσταται στον κατακόρυφο άξονα και αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα με αριθμητικές τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) (Τσατσάλοβα 2023).

### 2.2.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης

Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (**SEM - Scanning Electron Microscopy**), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της μορφολογίας των ινών με υψηλότερες μεγεθύνσεις (10x – 5000x) από αυτές της OM (4x-1000x), και με σημαντικά μεγαλύτερο βάθος εστίασης από αυτό που παρέχει η OM (0.5mm). Τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια χρησιμοποιούν ηλεκτρόνια για απεικόνιση με παρόμοιο τρόπο που τα μικροσκόπια OM χρησιμοποιούν ορατό φως. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούν τα ηλεκτρόνια που ανακλώνται ή απορρίπτονται, από την περιοχή κοντά στην επιφάνεια ενός δείγματος για να δημιουργήσουν μια εικόνα. Δεδομένου ότι το μήκος κύματος των ηλεκτρονίων είναι πολύ μικρότερο από αυτό του φωτός, η ανάλυση της SEM (1.5 nm) είναι ανώτερη από αυτή της OM (0.2 mm) (Gleba 2012). Η αρχή λειτουργία της SEM βασίζεται στα εξής: τα ηλεκτρόνια παράγονται στην κορυφή της στήλης από την πηγή ηλεκτρονίων. Παράγονται είτε με θερμιονική εκπομπή είτε από εκπομπή πεδίου. Στη συνέχεια επιταχύνονται και έλκονται από τη θετικά φορτισμένη άνοδο. Ολόκληρη η στήλη ηλεκτρονίων πρέπει να βρίσκεται υπό κενό. Όπως όλα τα τμήματα ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, έτσι και η πηγή ηλεκτρονίων είναι σφραγισμένη μέσα σε έναν ειδικό θάλαμο για να διατηρείται το κενό και να προστατεύεται από μόλυνση, δονήσεις και θόρυβο. Εκτός από την προστασία της πηγής ηλεκτρονίων από τη μόλυνση, το κενό επιτρέπει επίσης στον χρήστη να αποκτήσει μια εικόνα υψηλής ανάλυσης. Ελλείψει κενού, άλλα άτομα και μόρια μπορεί να υπάρχουν στη στήλη. Η αλληλεπίδρασή τους με τα ηλεκτρόνια προκαλεί εκτροπή της δέσμης ηλεκτρονίων και μειώνει την ποιότητα της εικόνας. Το υψηλό κενό αυξάνει επίσης την απόδοση συλλογής ηλεκτρονίων από τους ανιχνευτές που βρίσκονται στη στήλη (Akyuz *et al.* 2014). Επειδή τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να περάσουν μέσα από το γυαλί, οι φακοί που χρησιμοποιούνται είναι ηλεκτρομαγνητικοί. Αποτελούνται από πηνία συρμάτων μέσα σε τμήματα μεταλλικού πόλου. Όταν το ρεύμα διέρχεται από τα πηνία, δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο. Καθώς τα ηλεκτρόνια είναι πολύ ευαίσθητα στα μαγνητικά πεδία, η διαδρομή τους μέσα στη στήλη του μικροσκοπίου, μπορεί να ελεγχθεί από αυτούς τους ηλεκτρομαγνητικούς φακούς ρυθμίζοντας το ρεύμα που τους εφαρμόζεται (**σχ. 2.4A**). Η SEM συνήθως χρησιμοποιεί δύο φακούς. Ο συμπυκνωτικός φακός είναι ο πρώτος φακός που συναντούν τα ηλεκτρόνια καθώς «ταξιδεύουν» προς το δείγμα. Αυτός ο φακός συγκλίνει τη δέσμη πριν ανοίξει ξανά ο κώνος της δέσμης ηλεκτρονίων και συγκλίνει άλλη μια φορά από τον αντικειμενικό φακό πριν «χτυπήσει» το δείγμα (**σχ. 2.4A**). Ο συμπυκνωτικός φακός καθορίζει το μέγεθος της δέσμης ηλεκτρονίων (που καθορίζει την ανάλυση), ενώ ο κύριος ρόλος του αντικειμενικού φακού είναι να εστιάσει

τη δέσμη στο δείγμα (Gutarowska *et al.* 2016, Gleba 2012, Akyuz *et al.* 2014). Η αλληλεπίδραση των ηλεκτρονίων μέσα σε ένα δείγμα μπορεί να δημιουργήσει πολλούς διαφορετικούς τύπους ηλεκτρονίων, φωτονίων ή ακτινοβολιών. Στην περίπτωση ενός SEM, οι δύο τύποι ηλεκτρονίων που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση είναι τα οπισθοσκεδασμένα (*BSE - Backscattered Electrons*) και τα δευτερογενή ηλεκτρόνια (*SE - Secondary Electrons*). Τα BSE, ανήκουν στην κύρια δέσμη ηλεκτρονίων και ανακλώνται πίσω μετά από ελαστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της δέσμης και του δείγματος. Αντίθετα, τα SE προέρχονται από τα άτομα του δείγματος και είναι αποτέλεσμα ανελαστικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ της δέσμης ηλεκτρονίων και του δείγματος. Τα BSE και τα SE φέρουν διαφορετικούς τύπους πληροφοριών, καθώς τα BSE προέρχονται από βαθύτερες περιοχές του δείγματος, ενώ τα SE προέρχονται από περιοχές της επιφάνειας του δείγματος (σχ. 2.4B).

Οι εικόνες των BSE δείχνουν υψηλή ευαισθησία στις διαφορές στον ατομικό αριθμό. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ατομικός αριθμός, τόσο πιο φωτεινό εμφανίζεται το υλικό στην εικόνα. Η απεικόνιση των SE μπορεί να παρέχει πιο λεπτομερείς πληροφορίες για την επιφάνεια του δείγματος (Gleba 2012, Akyuz *et al.* 2014).



**Σχ.2.4:** A. Διάγραμμα των φακών και πορεία της δέσμης ηλεκτρονίων στην ηλεκτρονιοακή μικροσκοπία. B. Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της δέσμης ηλεκτρονίων και δείγματος (Τσατσάλοβα 2023).

Η SEM σε συνδυασμό με τη φασματοσκοπία ακτίνων Χ διασποράς ενέργειας (**EDS ή EDX - Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy**), δημιουργεί μια ευκρινή εικόνα των μικροσκοπικών επιφανειακών δομών ενός δείγματος και παρέχει ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη στοιχειακή του σύνθεση («δακτυλικό αποτύπωμα» του υλικού). Η ανάλυση SEM-EDX είναι κατάλληλη για σχεδόν όλα τα είδη δειγμάτων και έχει τεράστιο αριθμό εφαρμογών από τη βασική επιστημονική έρευνα έως την ανάπτυξη προϊόντων και τον ποιοτικό έλεγχο (Brookes 2018, Gleba 2012).

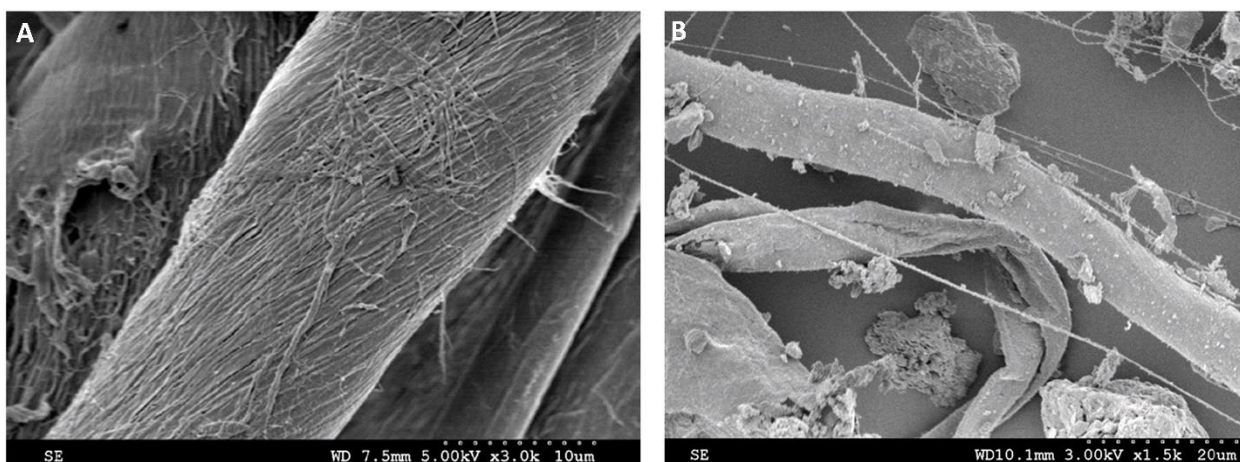
### **2.2.3.1 Παρατήρηση υφάνσιμων ινών με SEM**

Η SEM θεωρείται πως είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για μια σειρά από μελέτες των ινών όπως, η ανάλυση της επιφάνειας, η δομή, μορφολογία και προσανατολισμός, η διερεύνηση της ανάπτυξης ινών (Gleba 2012), η βιοαποικοδόμηση των ινών (Was-Gubala και Salerno-Kochan 2000) η βιοδιάσπαση του υφάσματος (Li *et al.*, 2010), τα σημεία συγκόλλησης σε μη υφασμένα υφάσματα, η ταυτοποίηση ειδικών ινών μέσω της κλίμακας ύψους, η εξέταση διατομών ινών καθώς και η ανίχνευση βακτηριακής και μυκητιακής ανάπτυξης (Brookes 2018, Gutarowska *et al.* 2016, Greaves and Saville 1995). Η SEM έχει το πλεονέκτημα υψηλής ανάλυσης και μεγάλου βάθους πεδίου, απεικονίζοντας εικόνες τραχιών επιφανειών σε ένα ευρύ φάσμα μεγεθύνσεων από εικόνες δικτύων ινών έως εικόνες υψηλής ανάλυσης επιφανειών ινών σε σχεδόν μοριακό επίπεδο. Η ανάλυση ινών με SEM, είναι βιώσιμη για μια σειρά κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων καθώς ακόμη και πολύ μικρά δείγματα (ξηρά και λεπτά), περίπου ενός χιλιοστού αρκούν για τη μελέτη SEM. Κατά τη δειγματοληψία ινών, όταν λαμβάνονται δείγματα από διαφορετικά σημεία του υφάσματος, η ανάλυση μπορεί να δώσει σύνθετες πληροφορίες για το ύφασμα στο σύνολό του. Αυτά τα δείγματα μπορούν να ληφθούν από χαλαρά νήματα ή από αυτά που συλλέγονται κατά τον καθαρισμό ή άλλες διαδικασίες (Gleba 2012). Η προετοιμασία δείγματος είναι πολύ σημαντικό στάδιο.

Παρά τα πλεονεκτήματά της μεθόδου στην απεικόνιση, τα δείγματα ινών μπορεί να είναι προβληματικά για το SEM λόγω της κακής αγωγιμότητάς τους. Επιπλέον, τα δείγματα πρέπει να στεγνώσουν (ξηραθούν) για να είναι συμβατά με το υψηλό κενό του μικροσκοπίου (Brookes 2018, Duchesne and Daniel 1999). Ένα ενδεικτικό παράδειγμα χρήσης SEM στην έρευνα κλωστοϋφαντουργίας δίνεται στην **(εικ. 2.2Α)**, όπου το δείγμα ίνας από βαμβακερό ύφασμα τοποθετήθηκε σε στέλεχος διαμέτρου 12 mm με αγωγήμνη ταινία, και επιστρώθηκε με χρυσό (σε



550 K στα 25mA για 6 min). Η **εικ. 2.2B** δείχνει τη **διαφορά μεγέθους** μεταξύ ιστού αράχνης (διάμετρος περίπου 450 nm) και βαμβακερής ίνας (10μm).



**Εικ. 2.2:** **A.** Επιφάνεια βαμβακερής ίνας. **B.** Ιστός αράχνης (διάμετρος 450nm) και βαμβακερή ίνα (10μm). Τα στερεά σωματίδια είναι σκόνη. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε SEM Hitachi S2600-N, με πηγή βολφραμίου και ανιχνευτή Everhart-Thornley σε υψηλό κενό. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε στελέχη 12 mm με αγώγιμη ταινία. Η επιστροφή με χρυσό επιτεύχθηκε σε Emitech 550K sputter coater στα 25mA για 6 λεπτά. Προσαρμογή από Brookes 2018<sup>6</sup>.

### 2.2.3.2 Παρατήρηση μικροοργανισμών με SEM

Η ανάλυση βιολογικών δειγμάτων με SEM, ιδιαίτερα των μυκήτων, απαιτεί τη βέλτιστη προετοιμασία του δείγματος. Η ταυτοποίηση μικροοργανισμών, κυρίως η ταξινομική αναγνώριση ειδών μυκήτων, γίνεται με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των σπορίων που παράγονται από αυτούς. Τα μυκητιακά κύτταρα πρέπει να αφυδατωθούν πριν εξετασθούν με SEM, καθώς οι διαδικασίες όπως η υποβολή των δειγμάτων σε διασκορπισμό ιόντων και η απεικόνιση, εκτελούνται συνήθως υπό κενό υψηλής πίεσης. Τα περισσότερα βιολογικά δείγματα δε μπορούν να καταπολεμήσουν την πίεση που δημιουργείται από το υψηλό κενό που οδηγεί σε παραμόρφωση του δείγματος (Venkatesh-Babu *et al.* 2018). Ως εκ τούτου, η προετοιμασία βιολογικού δείγματος με αφυδάτωση αποτελεί πρωταρχική απαίτηση για

<sup>6</sup> Παραχώρηση άδειας χρήσης και αναπαραγωγής εικόνων για την παρούσα πτυχιακή εργασία από τον Dr. Michael Brookes, School of Design, University of Leeds, United Kingdom

παρατήρηση. Οι τεχνικές (εκτός της απλής ξήρανσης στον αέρα), που έχουν αναπτυχθεί για την αφαίρεση της περιεκτικότητας σε υγρασία από το δείγμα, με σκοπό την ελάχιστη συρρίκνωση και τη μέγιστη δομική διατήρηση στην αρχική τους μορφή, περιλαμβάνουν την κρυοκαθήλωση που ακολουθείται από ξήρανση με κατάψυξη (λυοφιλίωση), ξήρανση κρίσιμου σημείου και διακριτούς τύπους επεξεργασιών χημικής μονιμοποίησης πριν από την αφυδάτωση των δειγμάτων (Vernon-Parry 2000). Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη η ετερογένεια στη δομή, η ανατομία και η χημική σύνθεση του κυττάρου καθώς τα υπάρχοντα πρωτόκολλα προετοιμασίας και ανάλυσης, μπορεί να χρειαστεί να προσαρμοστούν ανάλογα με τη φύση των βιολογικών δειγμάτων (Venkatesh-Babu *et al.* 2018, Refshauge *et al.* 2006). Οι διεπιστημονικές προσεγγίσεις στην έρευνα της βιολογικής φθοράς του υφάσματος μπορούν να κατευθύνουν στρατηγικές συντήρησης του αντικειμένου. Ως εκ τούτου, παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά, κάποιες από τις μεθόδους που μπορούν να συνδυαστούν με αυτές που αναφέρθηκαν καθώς και η χρήση τους στο συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο, με βάση τη βιβλιογραφία.

- **Field Emission SEM (FESEM).** Η SEM εκπομπής πεδίου, έχει το πλεονέκτημα της υψηλής ανάλυσης και του μεγάλου βάθους πεδίου, παράγοντας εικόνες υψηλής ανάλυσης επιφανειών ινών σε σχεδόν μοριακό επίπεδο (Gutarowska *et al.* 2016).
- **Environmental SEM (ESEM).** Το περιβαλλοντικό SEM, επιτρέπει την παρατήρηση υγρών δειγμάτων (ινών). Για αυτή τη μέθοδο, οι ίνες δεν απαιτούν επίστρωση με μέταλλο και μπορούν να επανεξεταστούν μετά από διαδοχικές επεξεργασίες (Donaldson 2009).
- **X-Ray Diffraction (XRD).** Η περίθλαση ακτίνων Χ, είναι μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως σε μελέτες συντήρησης, για την παρατήρηση αλλαγών στο αναλυόμενο υλικό πριν και μετά την επεξεργασία με υλικά συντήρησης, για τον εντοπισμό παθογόνων παραγόντων και της σκόνης (Ahmed 2018), ή τον υπολογισμό του δείκτη κρυσταλλικότητας (αναλογία κρυσταλλικού προς άμορφο). μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράγοντας αποδόμησης (Ahmed and Darwish 2012).
- **Size Exclusion Chromatography (SEC).** Η χρωματογραφία αποκλεισμού μεγέθους (SEC) είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος που μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη δομή των ινών και τις αλλαγές της που προκαλούνται τόσο από τη φυσική όσο και από την τεχνητή γήρανση (Pawcenis *et al.*, 2015).
- **SDS Polyacrylamide Gel Electrophoresis (Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)–PAGE).** Η ηλεκτροφόρηση γέλης πολυακρυλαμιδίου SDS, είναι μια δημοφιλής τεχνική

διαχωρισμού που μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της αποικοδόμησης πολυμερικών αλυσίδων (Horan *et al.* 2015).

- **Μηχανικές δοκιμές**, όπως οι δοκιμές αντοχής σε εφελκυσμό, χρησιμοποιούνται επίσης συχνά για την αξιολόγηση της κατάστασης των ιστορικών υφασμάτων και για τη λήψη αποφάσεων συντήρησης του αντικειμένου (Gutarowska and Michalski 2012).

## 2.3 Μέθοδοι απολύμανσης

Ο σκοπός της απολύμανσης είναι: να σταματήσει η προοδευτική βιολογική φθορά και η ενεργός ανάπτυξη των μικροοργανισμών στα ιστορικά αντικείμενα. Για την απολύμανση ιστορικών αντικειμένων μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες φυσικές και χημικές μέθοδοι, λαμβάνοντας υπόψη τις νομικές απαιτήσεις του **Κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 528/2012**<sup>7</sup> για τα βιοκτόνα ή αλλιώς χημικά απολυμαντικά, καθώς και για τη χρήση τους σε μουσεία σύμφωνα με τα **Πρότυπα της Επιτροπής Μουσείων και Γκαλερί**<sup>8</sup> (1998). Πολλές από τις ουσίες των πιστοποιημένων βιοκτόνων, παρουσιάζουν αντιμικροβιακές ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απολύμανση ιστορικών αντικειμένων, συμπεριλαμβανομένων και των ιστορικών ή αρχαιολογικών υφασμάτων. Δυστυχώς, οι μέθοδοι χημικής απολύμανσης μπορεί να αφήσουν λιπαρές μεμβράνες και να αλλάξουν το pH ή το χρώμα των υφαντικών υλικών, να προκαλέσουν υδρόλυση, και να επιτάχυνουν τη γήρανση. Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους έχουν παροπλιστεί και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν λόγω των καρκινογόνων ή μεταλλαξιογόνων ιδιοτήτων τους (φορμαλδεΰδη, EtO), καθώς είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον (π.χ. το EtO ταξινομείται στην ομάδα 1: καρκινογόνο). Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την απολύμανση των αντικειμένων. Η πρώτη προσέγγιση, **περιορίζει** τη χρήση οποιασδήποτε επεξεργασίας, λόγω των δυσμενών επιπτώσεων (φυσικών ή χημικών διεργασιών) στα ιστορικά αντικείμενα. Η δεύτερη, **επιτρέπει** τη χρήση μεθόδων απολύμανσης για την εξάλειψη των μεταβολικά ενεργών βιοφίλμ. Μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων χημικής και φυσικής απολύμανσης, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, παρουσιάζεται στον **Πιν. 2.1**.

<sup>7</sup> Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 528/2012 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 22<sup>ας</sup> Μαΐου 2012, σχετικά με τη διάθεση στην αγορά και τη χρήση βιοκτόνων.

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:167:0001:0123:EN:PDF>

<sup>8</sup> Πρότυπα για τη μουσειακή φροντίδα συλλογών κοστούμιών και υφασμάτων, Επιτροπή Μουσείων & Γκαλερί, Ηνωμένο Βασίλειο, 1998. <https://collectionstrust.org.uk/wp-content/uploads/2016/11/Standards-in-the-museum-care-of-costume-and-textile-collections.pdf>

**Πιν. 2.1: Μέθοδοι απολύμανσης υφασμάτων** (Pietrzak et al., 2016, Sequeira et al., 2012, Regulation (EU) No 528/2012, Rakotonirainy and Lavedrine 2005, Gonzalez et al., 2003, Florian 1997, Kowalik 1980). Προσαρμογή στα ελληνικά από Gutarowska et al., 2016<sup>9</sup>

Αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα						
Μέθοδοι	Βακτήρια	Μούχλα	Σπόρια	Επίδραση στις ίνες (ύφασμα)	Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον	
<b>ΧΗΜΙΚΕΣ</b>						
Αλκοόλη (π.χ.: αιθανόλη)	++	+	-	Αλλαγές στα χρώματα βαφής	Ασφαλής	
Παράγωγα φαινόλης (π.χ.: dichlorophen)	++	+	-	Αλλαγές μηχανικών και οπτικών ιδιοτήτων μετά από τεχνητή γήρανση	Προκαλεί ερεθισμό στα μάτια	
(π.χ.: orthophenylphenol)	++	+	-	Αλλαγές μηχανικών και οπτικών ιδιοτήτων μετά από τεχνητή γήρανση	Καρκινογόνος και γονιδοτοξική	
Αλκυλιωτικοί παράγοντες (π.χ. φορμαλδεΐδη)	++	++	++	Διασταυρώσεις κυτταρίνης, απώλεια ευκαμψίας*	Καρκινογόνος	
(π.χ.: ethylene oxide, EtO)	++	++	++	Μείωση μηχανικών ιδιοτήτων και βαθμού πολυμερισμού*	Καρκινογόνος, γονιδοτοξική και μεταλλαξιογόνος	
Αζόλη (π.χ.: thiabendazole)	++	+	-	Ελαφρά μείωση της φωτεινότητας*	Ασφαλής	

<i>...συνέχεια πίνακα</i>					
Αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα					
Μέθοδοι	Βακτήρια	Μούχλα	Σπόρια	Επίδραση στις ίνες (ύφασμα)	Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον
Ενώσεις τεταρτοταγούς αμμωνίου	++	+	-	Μείωση φυσικών ιδιοτήτων, pH, φωτεινότητας και περιεκτικότητας σε α-κυτταρίνη*	Ήπιος ερεθισμός του δέρματος
Θυμόλη	++	+	-	Φθορά των κυτταρινικών υφασμάτων	Γονιδοτοξική
Αιθέρια έλαια	++	+ / ++	+	Οι αλλαγές εξαρτώνται από τη χρήση αιθέριου ελαίου	Ήπιος ερεθισμός του δέρματος
Νανοδοσμάτια αργύρου (AgNPs)	++	++	+	Μικρές αλλαγές μηχανικών και οπτικών ιδιοτήτων	Κυτταροτοξική, γονοτοξική (ασφαλές σε νέφος AgNPs)
Οξείδιο τιτανίου	++	++	+	Αύξηση φωτεινότητας	Ασφαλής

<sup>9</sup> Δωρεάν Επανάχρηση (**Gratis Reuse**), από τη SAGE Publications σε συνεργασία με την υπηρεσία RightsLink του Κέντρου Εκκαθάρισης Πνευματικών Δικαιωμάτων: Χορηγείται δωρεάν άδεια χρήσης περιεχομένου σε Πτυχιακή, Μεταπτυχιακή Διατριβή ή/και Διδακτορική Διατριβή, με την επιφύλαξη συγκεκριμένων περιορισμών.

**Σελίδα άρθρου:** <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0040517516669076> **Όροι χρήσης περιεχομένου:** <https://s100.copyright.com/AppDispatchServlet#formTop>

<i>...συνέχεια πίνακα</i>		Αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα				
Μέθοδοι		Βακτήρια	Μούχλα	Σπόρια	Επίδραση στις ίνες (ύφασμα)	Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον
<b>ΦΥΣΙΚΕΣ</b>						
Υπεριώδης ακτινοβολία		++	++	-	Κιτρίνισμα, αυξημένη ευθραυστότητα	Εκφυλιστικές αλλαγές στα κύτταρα του δέρματος, ινώδη ιστό και αιμοφόρα αγγεία
Ακτινοβολία- γ		++	++	++	Μείωση μηχανικών ιδιοτήτων	Καρκινογόνος, μεταλλαξιγόνο
Πλάσμα χαμηλής θερμοκρασίας		++	++	-	Έντονο κιτρίνισμα*	Ασφαλής
Τροποποίηση στις ατμοσφαιρικές συνθήκες		-	-	-	Τροποποίηση pH*	Ασφαλής
Αφυδάτωση		-	-	-	Η ταχεία διαδικασία προκαλεί ζημιά*	Ασφαλής
Θερμοκρασία	Ψύξη/Κατάψυξη	+/-	+/-	-	Αυξημένη ευθραυστότητα/Ασφαλής	Ασφαλής

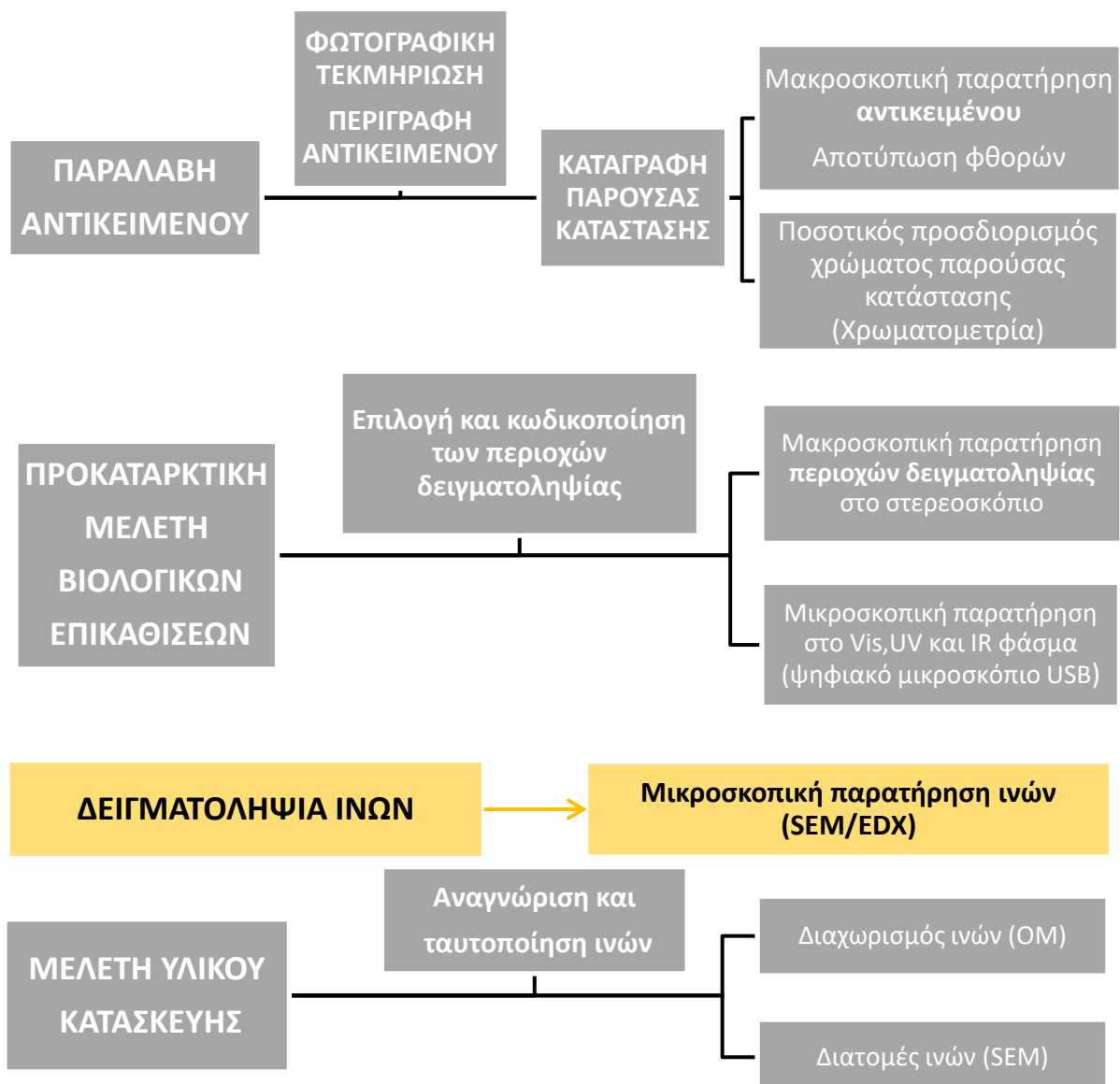
- χωρίς αποτέλεσμα + μικροβιοστατικό ++ μικροβιοκτόνο \* επίδραση στα κυτταρινικά υλικά

# **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

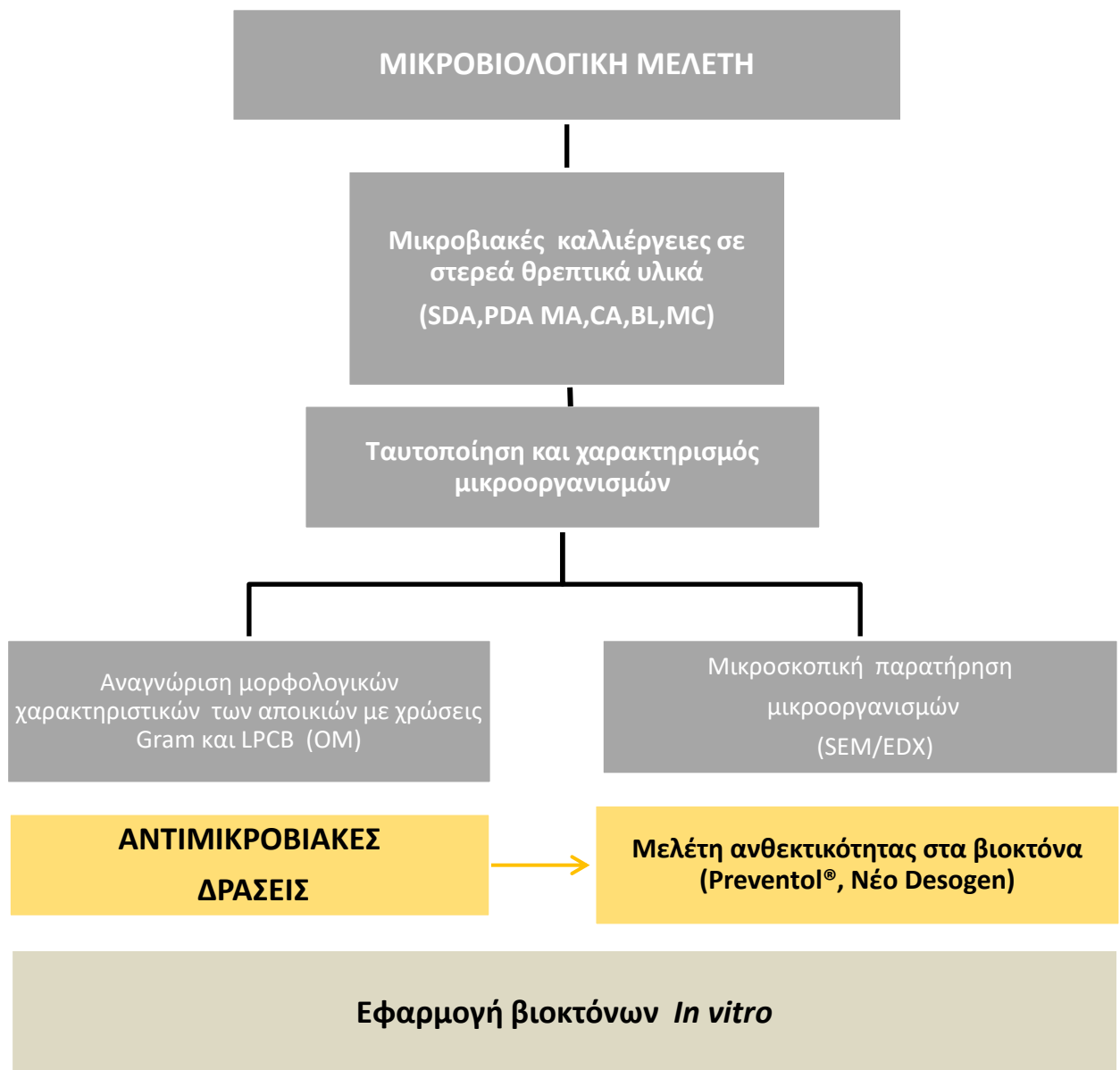
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πειραματικός σχεδιασμός για την ταυτοποίηση και το χαρακτηρισμό βιολογικών επικαθίσεων υφασμάτινης ζώνης

## 3.1 Πειραματικός σχεδιασμός – Μέθοδοι και υλικά

Ο σωστός «χειρισμός» του αντικειμένου από τη στιγμή της παραλαβής του, διευκολύνει την ανάλυσή του και τη συλλογή αποτελεσμάτων, για περαιτέρω ενέργειες στη διατήρηση και συντήρησή του. Στο **σχ. 3.1**, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.



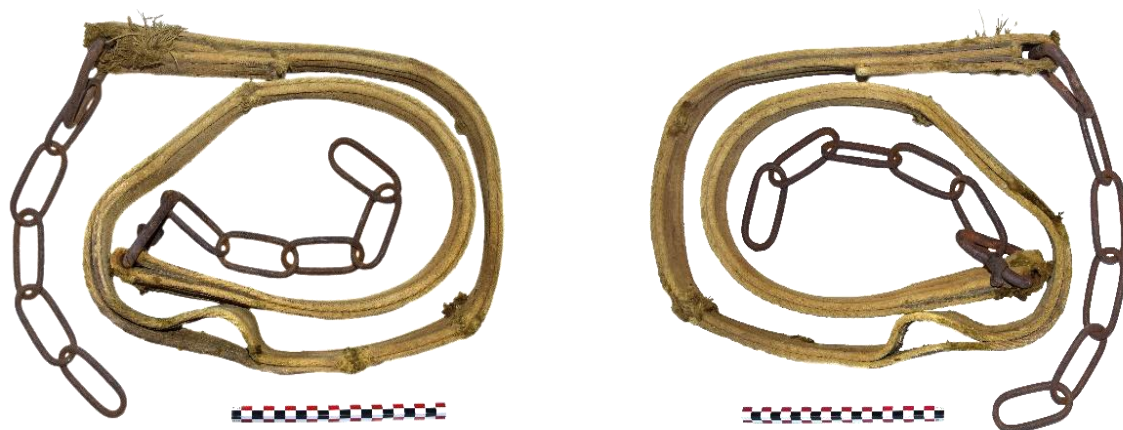




Σχ. 3.1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας της παρούσας εργασίας (Τσατσάλοβα 2023).

### 3.2 Φωτογραφική τεκμηρίωση - Περιγραφή αντικειμένου

Το αντικείμενο ανήκει στο **Δίκτυο Συλλογών Λαογραφίας - Παράδοσης Νομού Φλώρινας**<sup>10</sup> και φέρει αριθμό καταγραφής 08.24.656 (εικ. 3.1). Κατά την παραλαβή του, ήταν συσκευασμένο σε μαλακό στρώμα λεπτού αφρού, μέσα σε σακούλα πολυαιθυλενίου με τα μεταλλικά στελέχη συσκευασμένα χωριστά. Πρόκειται για μία επίπεδη υφασμάτινη ζώνη, διαστάσεων 170x4.5cm, με μεταλλικές αλυσίδες στα δυο άκρα της.



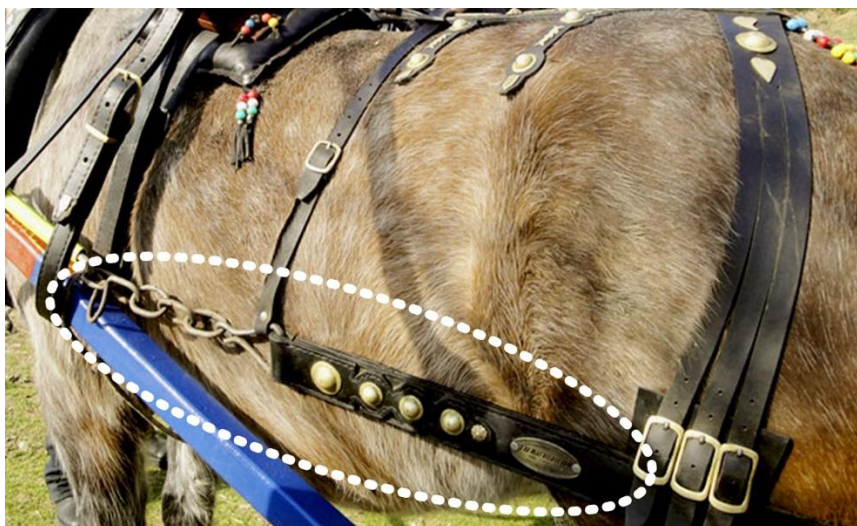
*Εικ. 3.1: Υφασμάτινη ζώνη από το Δίκτυο Συλλογών Λαογραφίας - Παράδοσης Νομού Φλώρινας (Τσατσάλοβα 2023).*

Το ύφασμα είναι παχύ και φαίνεται να έχει διπλωθεί κατά μήκος, δημιουργώντας τσακίσεις (θηλιές), όπου σε αυτές είναι παγιδευμένοι οι κύριοι μεταλλικοί κρίκοι (αυτοί που έρχονται σε επαφή με το ύφασμα). Αυτοί οι κρίκοι είναι τριγωνικοί με στρογγυλεμένες γωνίες (ένας σε κάθε άκρο της ζώνης), και συνδέονται με αλυσίδα που αποτελείται από 5 οβάλ κρίκους. Το διπλωμένο ύφασμα, που αποτελεί δύο στρώσεις του βασικού υφάσματος, είναι ραμμένο με δυο παράλληλες ραφές κατά μήκος της ζώνης, που σταματούν λίγο πριν από τις ακριανές τσακίσεις. Σε αυτήν την περιοχή, υπάρχουν δυο επιφάνειες δευτερεύοντος υφάσματος εγκλωβισμένες μεταξύ των δυο βασικών. Επίσης, στα δυο άκρα υπάρχει μια τρίτη ραφή μικρής έκτασης, όπου έχει χρησιμοποιηθεί διαφορετικό, πιο παχύ νήμα. Κατά μήκος της ζώνης εντοπίζονται

<sup>10</sup> Ιστοσελίδα Δικτύου Συλλογών Λαογραφίας - Παράδοσης Νομού Φλώρινας: <http://florinafolkmuseum.gr/>

διάσπαρτα μικρά σιδερένια καρφιά. Στο αριστερό άκρο της ζώνης, υπάρχει ένα μεταλλικό κλιπ, που παγιδεύει και συγκρατεί τα υφάσματα.

Η ύφανση είναι διαγώνια 1:1, στο στημόνι φαίνεται να έχει χρησιμοποιηθεί νήμα στρέψης S που αποτελείται από 5 κλώνους στρέψης Z. Ενώ ως υφάδι, φαίνεται να έχει χρησιμοποιηθεί νήμα στρέψης S αποτελούμενο από 9 κλώνους στρέψης Z. Μετά από έρευνα και προσωπική επικοινωνία με τον κ. Λυσσαβούδη, ο οποίος παραμένει ο τελευταίος σαγματοποιός της χώρας, επιβεβαιώσαμε πως το αντικείμενο της μελέτης μας αποτελεί τμήμα της ιπποσκευής του αλόγου. Συγκεκριμένα είναι τμήμα από τα χάμουρα που αποτελούνται από τέσσερα μέρη, την λαιμαριά, το σαμαράκι, την κεφαλούκα και την πισινέλλα. Όλα συνδέονται μεταξύ τους και φοριούνται στο άλογο για να συγκρατήσουν το κάρο το οποίο το ζώο θα τραβήξει. Το αντικείμενο που μελετάται στην παρούσα εργασία είναι η **πισινέλλα**, μια μακρόστενη ζώνη με αλυσίδες στα άκρα για να αυξομειώνεται το μήκος, ανάλογα το μέγεθος του ζώου. Οι κρίκοι των αλυσίδων, και από τις δύο πλευρές, στερεώνονται στους γάντζους του κάρου και η πισινέλλα αγκαλιάζει το ζώο περνώντας κάτω από την ουρά του (**εικ. 3.2**). Το υλικό κατασκευής αυτών των αντικειμένων συνήθως είναι το μαλακό δέρμα, παλαιότερα όμως χρησιμοποιούσαν και υφασμάτινους ιμάντες.



**Εικ. 3.2:** Τμήμα της πισινέλλας που αντιπροσωπεύει το αντικείμενο προς μελέτη της παρούσας εργασίας.

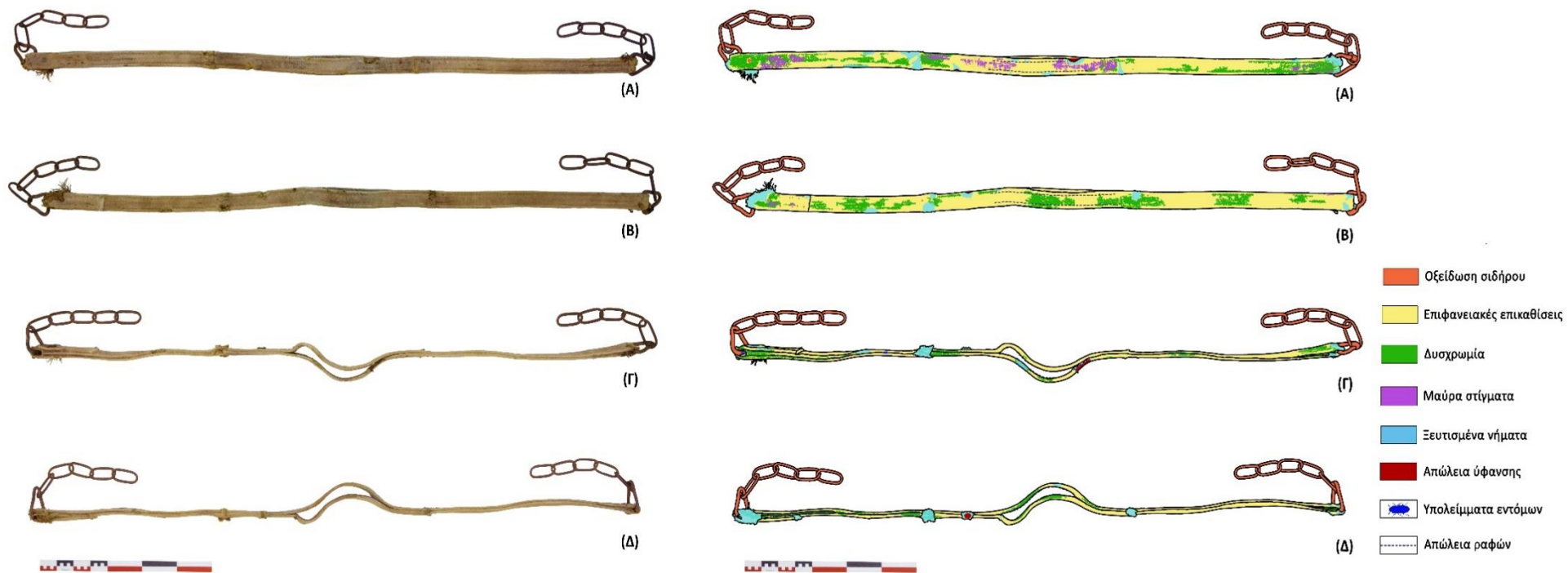
Προσαρμογή από κ. Σταύρο Λυσσαβούδη<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Παραχώρηση άδειας χρήσης και αναπαραγωγής εικόνας για την παρούσα πτυχιακή εργασία από τον κ. Σταύρο Λυσσαβούδη. Διατηρεί εργαστήριο (παραδοσιακό σαγματοποιείο) στη Θεσσαλονίκη. Ιστοσελίδα εργαστηρίου: <http://ipposkeues.gr/index.htm>

### **3.2.1 Καταγραφή παρούσας κατάστασης**

#### **3.2.1.1 Μακροσκοπική παρατήρηση – Αποτύπωση φθορών**

Το χρώμα της ζώνης, διαφέρει από σημείο σε σημείο, καθώς έχει κατά τόπους μαύρα στίγματα, καφέ κηλίδες και παρουσιάζει έντονη δυσχρωμία κατά μήκος όλης της επιφάνειάς της. Η κατάσταση διατήρησης του αντικειμένου, είναι μέτρια προς κακή και οι φθορές είναι εμφανείς (**εικ.3.3**). Η μακροσκοπική παρατήρηση και η αποτύπωση φθορών πραγματοποιήθηκε με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή DSLR (*D5300 NIKON*), και με οπτικό φακό *VR AF-S Nikkor 18-105mm 1: 3,5- 5,6 G ED*.



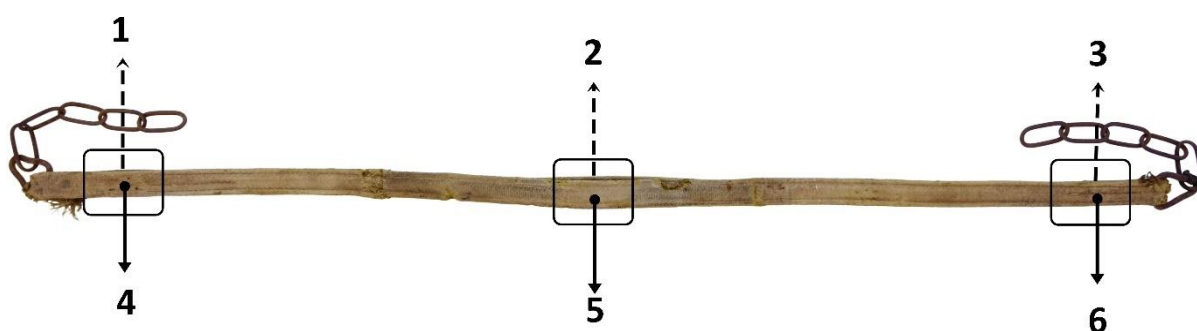
**Εικ. 3.3:** Αποτύπωση φθορών της ζώνης Δίκτυο Συλλογών Λαογραφίας - Παράδοσης Νομού Φλώρινας . (Α) Πρόσθια όψη, (Β) Οπίσθια όψη, (Γ) Πλάγια αριστερή όψη, (Δ) Πλάγια δεξιά όψη. (Τσατσάλοβα 2023).

### 3.2.1.2 Χρωματομετρία

Πραγματοποιήθηκε ποσοτικός προσδιορισμός χρώματος, προκειμένου να καταγραφεί η παρούσα χρωματική κατάσταση της ζώνης. Επιλέχθηκαν έξι περιοχές κατά μήκος της ζώνης, τρεις από την οπίσθια και τρεις από την πρόσθια όψη αντίστοιχα (εικ. 3.4). Για κάθε σημείο, έγιναν επτά μετρήσεις ( $n=7$ ) με τη χρήση φασματοφωτομέτρου με διάμετρο διαφράγματος μέτρησης 8mm (*Spectrophotometer Colorimeter CSM10, PCE Instruments UK*).

Αξιοποιήθηκαν τα χρωματικά μοντέλα CIE  $L^*, a^*, b^*$  και RGB. Επίσης, πραγματοποιήθηκε η μετατροπή των παραμέτρων τους σε άλλα μοντέλα, καθώς η τεχνολογική εξέλιξη επιτρέπει τη μετατροπή των παραμέτρων ενός συστήματος, στις παραμέτρους ενός άλλου συστήματος π.χ. CIELAB σε RGB, HSL κ.λ.π. Η **επεξεργασία** των μετρήσεων έγινε με το πρόγραμμα *Colorizer*<sup>12</sup>, και ο **χαρακτηρισμός** του χρώματος έγινε με τη χρήση του προγράμματος *HexColorPedia*<sup>13</sup>.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν προηγούμενες περιγραφές ή/και μετρήσεις χρώματος στη ζώνη, οι παράμετροι (κωδικοί), που συλλέχθηκαν (απόχρωση, τόνος, φωτεινότητα, χροιά, κορεσμός), συγκρίθηκαν κατά αντιστοιχία, με τις παραμέτρους της συλλογής πραγματικών έγχρωμων δειγμάτων *Pantone color Matching System (PMS)*<sup>14</sup> η οποία, αναφέρεται και ως χρωματολόγιο σε χαρτί και ύφασμα.



**Εικ.3.4:** Αντιπροσωπευτικές περιοχές που επιλέχθηκαν για τη μέτρηση χρώματος. **---** σημεία 1,2 και 3 από την **οπίσθια** όψη ζώνης. **—** σημεία 4,5 και 6 από την **πρόσθια** όψη ζώνης.

<sup>12</sup> Ιστοσελίδα Colorizer: <https://colorizer.org/>

<sup>13</sup> Ιστοσελίδα HexColorPedia: <https://hexcolorpedia.com/>

<sup>14</sup> Ιστοσελίδα Pantone Color Matching System: <https://www.pantone.com/>

### 3.3 Προκαταρκτική μελέτη βιολογικών επικαθίσεων

#### 3.3.1 Επιλογή και κωδικοποίηση των περιοχών δειγματοληψίας

Η επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας, έγινε με κριτήριο τις οπτικές διαφορές της επιφάνειας της ζώνης. Ταυτόχρονα όλες οι περιοχές, κωδικοποιήθηκαν προκειμένου να επιτευχθεί η ταξινόμηση ή κατηγοριοποίηση μεμονωμένων στοιχείων δεδομένων ή/και αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων. **Η κωδικοποίηση των περιοχών και εν συνεχεία των δειγμάτων, ορίστηκε ως εξής:**

- **Z\_X** όπου **Z**=Ζώνη και **X** ο αριθμός του δείγματος
- **ZE-X** όπου **Z**=Ζώνη, **E**=Έντομο και **X** ο αριθμός του δείγματος και
- **MK** = **Μεταλλικά Καρφιά**

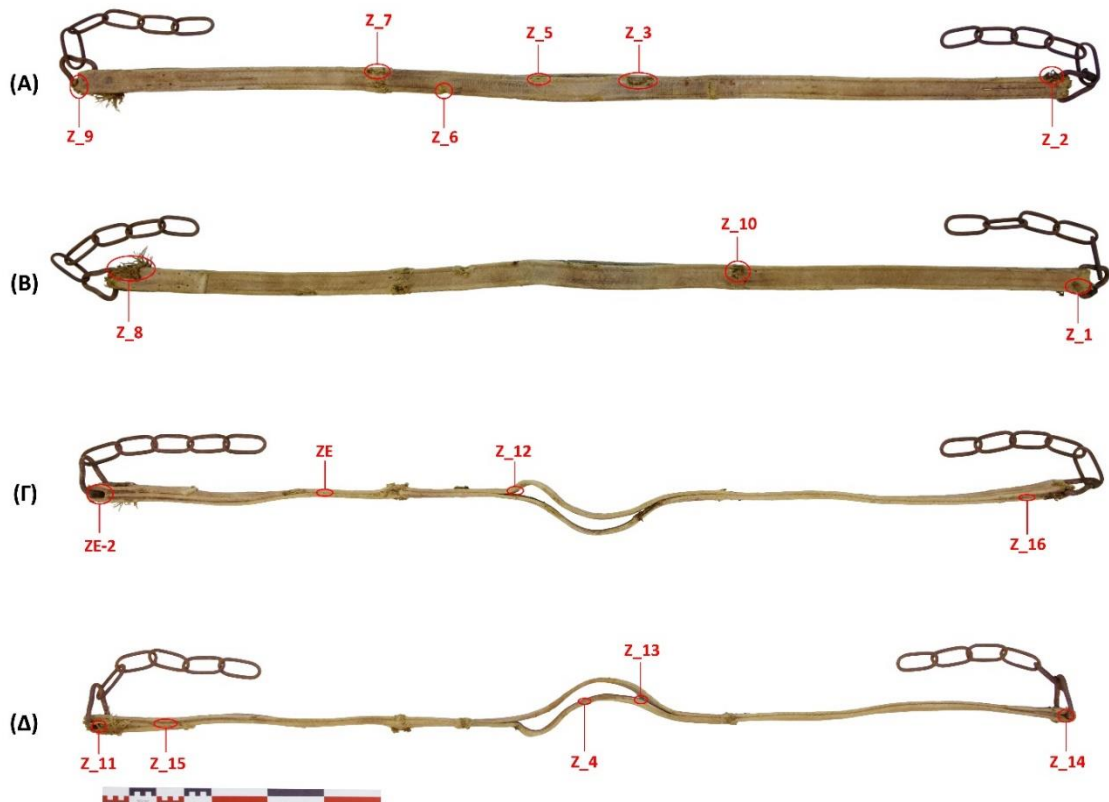
Οι περιοχές που επιλέχθηκαν και που αντιπροσωπεύουν την παρούσα κατάσταση της ζώνης (εικ. 3.5), είναι οι παρακάτω:

1. περιοχές όπου υπήρχε ήδη φθορά στο υλικό κατασκευής (πρόσθια και οπίσθια όψη της ζώνης)
2. περιοχές δίπλα στα μεταλλικά καρφιά (υλικό συμπλήρωσης)
3. περιοχές με υπολείμματα εντόμων (εγκλωβισμένα στο υλικό κατασκευής)
4. περιοχές με εμφανείς επικαθίσεις (πρόσθια και οπίσθια όψη της ζώνης)
5. περιοχές με δυσχρωμία (εμπρόσθια και οπίσθια όψη της ζώνης)

**Συμπερασματικά**, επιλέχθηκαν δεκαοκτώ (18) περιοχές για δειγματοληψία. Από αυτές, δώδεκα (12) είναι αντιπροσωπευτικές του **υλικού κατασκευής** (Z\_1, Z\_2, Z\_3, Z\_4, Z\_5, Z\_6, Z\_7, Z\_8, Z\_9, Z\_10, Z\_12 και Z\_13), τέσσερις (4) είναι αντιπροσωπευτικές του **υλικού συμπλήρωσης** (Z\_11, Z\_14, Z\_15, και Z\_16), και δύο (2) από τις περιοχές που βρέθηκαν τα υπολείμματα από σώματα εντόμων (ZE, και ZE-2).

➔ **Πριν τη δειγματοληψία**, πραγματοποιήθηκε παρατήρηση όλων των επιλεγθέντων περιοχών, με στερεοσκόπιο καθώς και με ψηφιακό μικροσκόπιο χειρός στο Vis, UV και IR φάσμα. Αυτές οι τεχνικές απεικονίζουν πληροφορίες που δεν είναι ορατές με γυμνό οφθαλμό, και διευκολύνουν τη δειγματοληψία.





**Εικ. 3.5:** Περιοχές σημείων δειγματοληψίας (Α) Πρόσθια όψη (Β) Οπίσθια όψη (Γ) Πλάγια αριστερή όψη (Δ) Πλάγια δεξιά όψη. Χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Nikon Corporation, model Nikon D530. Συνθήκες λήψης  $t: 1/125 \text{ sec.}$ ,  $f: 3.5$ ,  $ISO-250$  και εστιακή απόσταση  $18\text{mm}$ . Αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός του χώρου σε λευκό φόντο (Τσατσάλοβα 2023).

### 3.3.1.1 Μακροσκοπική παρατήρηση στο στερεοσκόπιο

Η μακροσκοπική παρατήρηση των περιοχών δειγματοληψίας, πραγματοποιήθηκε σε στερεοσκόπιο (Novex RZ Euromex, Holland) με ζεύγος προσοφθάλμιων φακών ευρέος πεδίου WF10x/22 και μεγεθύνσεις από 0,65 έως 45x. Είναι εξοπλισμένο με κάμερα (OPTIKA C-B10, New York Microscope Company) και το λογισμικό σύστημα (system software), που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση σε οθόνη υπολογιστή, ήταν το OPTIKA LITEView (OPTIKA S.r.l, Italy). Επίσης η εξωτερική πηγή φωτός που χρησιμοποιήθηκε κατά την παρατήρηση, ήταν φως LED οπτικών ινών 2 βραχιόνων (LED Light CL31, OPTIKA).

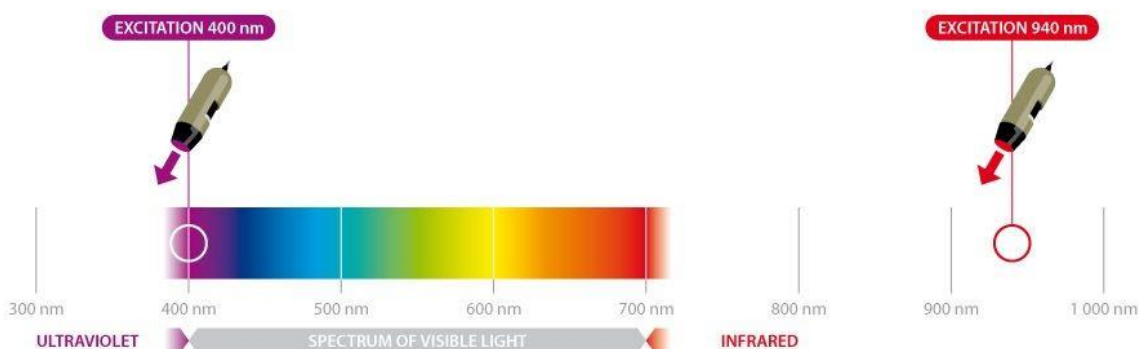


### 3.3.1.2 Ψηφιακή μικροσκοπία USB (Dino-Lite Digital Microscope)

Για της περιοχές των σημείων δειγματοληψίας, που μακροσκοπικά δεν έδωσαν σαφείς εικόνες των βιοφιλμ, πραγματοποιήθηκε ψηφιακή μικροσκοπία USB, προκειμένου να ολοκληρωθεί η προκαταρκτική μελέτη του αντικειμένου.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό μικροσκόπιο χειρός (*Dino-Lite, AD4113T-I2V*), το οποίο παρέχει τη δυνατότητα προβολής μεγεθυμένων αντικειμένων (10-50x έως 220x) κάτω από εξωτερικές πηγές φωτισμού, όπως λευκό φως, φωτισμό υπέρυθρων και υπεριώδη ακτινοβολία με απλή εναλλαγή από το ένα φωτισμό στο άλλο (σχ. 3.2). Η απόσταση εργασίας είναι σταθερή από την κατασκευάστρια εταιρεία (*Dino-Lite Digital Microscope*). Διαθέτει φωτισμό LED **UV** (400nm), **Vis** (400-700nm) και **IR** (940nm), και ο τύπος φακού του μικροσκοπίου, είναι γυαλί με αντί-ανακλαστική επίστρωση.

Οι περιοχές που παρατηρήθηκαν στα συγκεκριμένα φάσματα, ήταν τα **Z\_6, Z\_7, Z\_8, Z\_9, Z\_11, Z\_15** και **MK**, καθώς ήταν οι περιοχές, που ήταν δυσδιάκριτη η πληροφορία με το ορατό φως. Το λογισμικό σύστημα (*system software*), που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση σε οθόνη υπολογιστή, ήταν το *DinoCapture 2.0* (*Dino-Lite Digital Microscope*).



**Σχ.3.2:** Σχηματική παράσταση των φασματικών περιοχών UV (400nm), Vis (400-700nm) και IR (940nm) του ψηφιακό φορητού μικροσκοπίου *Dino-Lite AD4113T-I2V* της *Dino-Lite Digital Microscope*. Προσαρμογή από το τεχνικό δελτίο του μικροσκοπίου<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Τεχνικά χαρακτηριστικά του *Dino-Lite AD4113T-I2V* από τη *Dino-Lite Digital Microscope*: <https://www.dino-lite.eu/en/component/eshop/ad4113t-i2v?Itemid=0>

### 3.4 Δειγματοληψία ινών

Όπως προαναφέρθηκε, η επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας, έγινε με κριτήριο την ελάχιστη δυνατή επέμβαση και την αντιπροσωπευτική μελέτη όλης της επιφάνειας της ζώνης. Ως εκ τούτου, έγινε περισυλλογή των **ελευθέρα αποσπώμενων** νημάτων από τα σημεία δειγματοληψίας, και κατόπιν έγινε επέμβαση με μικροεργαλεία (*λαβίδες, νυστέρια, ψαλίδια*) στα σημεία όπου αυτό θεωρήθηκε απαραίτητο. Τα δείγματα ινών, τοποθετήθηκαν σε αριθμημένα σακουλάκια πολυαιθυλενίου, και χρησιμοποιούνταν (μέρος από αυτά), για την κάθε διαφορετική ανάλυση, σύμφωνα με τον πειραματικό σχεδιασμό της παρούσας εργασίας.

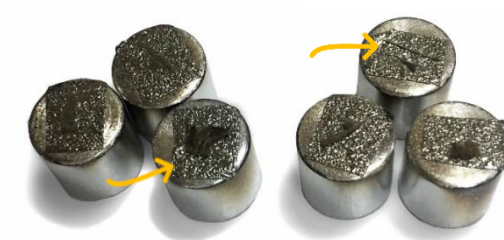
#### 3.4.1 Μικροσκοπική παρατήρηση των ινών στο SEM/EDS

Όλες οι αναλύσεις της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκαν με το Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης JEOL JSM 6510LV (*SEM, Scanning Electron Microscopy*) ρυθμιζόμενου κενού, με δυνατότητα μεγέθυνσης από 25 έως 300.000 φορές, για μορφολογική παρατήρηση γεωλογικών, μεταλλουργικών, βιολογικών, πολυμερών κ.ά. δειγμάτων και λήψη εικόνων υψηλής ευκρίνειας δευτερογενών (*Secondary Electron Images*) και οπισθοσκεδαζομένων (*Backscattered Electron Images*) ηλεκτρονίων. Συνοδεύεται από φασματομέτρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων Χ, τύπου X-act της Oxford Instruments (*EDS, Energy Dispersive Spectrometry*), για ποιοτική και ποσοτική μικροανάλυση καθώς και χαρτογράφηση κατανομής στοιχείων (*element mapping*), με λογισμικό ανάλυσης δεδομένων INCA (**εικ. 3.6**).



**Εικ. 3.6:** Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο JEOL JSM-6510 LV - SEM, Scanning Electron Microscopy (Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής) (Τσατσάλοβα 2023)..

Δείγματα νημάτων από όλες τις περιοχές δειγματοληψίας, προετοιμάστηκαν ως εξής: σε δειγματολήπτη (*Plain stubs for JOEL, 10mmx10mm Agar scientific*), εφαρμόστηκε ειδικό αυτοκόλλητο άνθρακα διπλής όψης (*Carbon stubs 9mm Agar scientific*) όπου πάνω σε αυτό, επικολλήθηκαν τα νήματα του κάθε δείγματος (**εικ.3.7**). Για να γίνουν τα δείγματα αγώγιμα, τοποθετήθηκαν στον εξαχνωτή άνθρακα (*Carbon Evaporator Model CED 030, BDL\_TEC*), με βαμβακερό νήμα άνθρακα (*Carbon fiber, Agar scientific*) για περίπου 30min. Κριτήριο για το χρόνο παραμονής των δειγμάτων στον εξαχνωτή, είναι η ικανοποιητική επικάλυψη αυτών με άνθρακα.



**Εικ.3.7:** Νήματα από δείγματα ζώνης, τοποθετημένα πάνω στο δειγματολήπτη του SEM (Τσατσάλοβα 2023).

### 3.5.1 Αναγνώριση και ταυτοποίηση ινών

Η αναγνώριση και ταυτοποίηση ινών, πραγματοποιήθηκε στα δείγματα **Z\_2**, **Z\_3**, και **Z\_8** που αντιπροσωπεύουν το βασικό υλικό κατασκευής της ζώνης, και στα δείγματα **Z\_15** και **Z\_16** από το υλικό συμπλήρωσης (πρόσθετο ύφασμα στα δυο άκρα της ζώνης). Ως **δείγματα αναφοράς**, χρησιμοποιήθηκαν υφάνσιμες ίνες βαμβακιού (*100% cotton*), λινού (*100% flax*) και κάνναβης (*100% hemp*). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν η μέθοδος διαχωρισμού και η μέθοδος διατομής ινών.

#### 3.5.1.1 Διαχωρισμός ινών

Το αναλυτικό πρωτόκολλο που εφαρμόστηκε στα δείγματα (αναφοράς και ζώνης), ήταν το TAPPI T259 OM-21 «*Species Identification of Nonwood Plant Fibers*» (*STANDARD by Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2009*), το οποίο εκτός από τη χαρτοποιία,

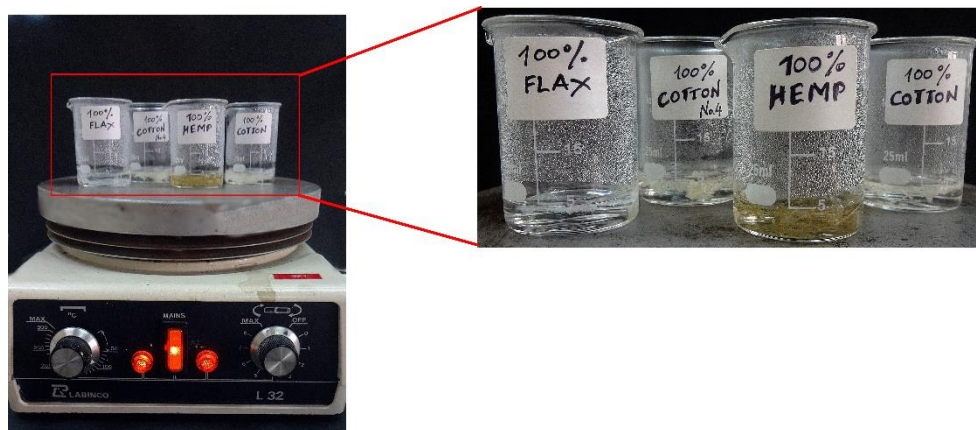
χρησιμοποιείται ευρέως για την αναγνώριση ειδών υφάνσιμων ινών με ΟΜ. Η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε ήταν η εξής:

#### ❖ Παρασκευή διαλυμάτων

- ✓ Παρασκευάστηκε διάλυμα 1% υδροξειδίου του νατρίου<sup>16</sup> (NaOH), με διάλυση 1gr NaOH (*Sodium Hydroxide Pellets, Sigma Aldrich*) σε 100mL δις απεσταγμένο νερό για εργαστηριακή χρήση (*WaterLab*).
- ✓ Παρασκευάστηκε διάλυμα 5% υδροχλωρικού οξέος<sup>17</sup> (HCl), με διάλυση 13.5mL HCl (*Hydrochloric Acid, ACS Reagent 37%, 2.5L Sigma Aldrich*) σε 100mL δις απεσταγμένο νερό.

#### ❖ Προετοιμασία δειγμάτων

- ✓ Σε ποτήρια ζέσεως (*volume 25mL*), τοποθετείται ελάχιστη ποσότητα δείγματος (2-3 νήματα). Σε καθένα από αυτά, προστίθεται 5mL διαλύματος NaOH 1% (στα πρότυπα δείγματα) και 3mL διαλύματος NaOH 1% (στα δείγματα της ζώνης). Κατόπιν, τα δείγματα προετοιμάστηκαν για ΟΜ με την παρακάτω διαδικασία:
- ✓ Τοποθέτηση των δειγμάτων στο θερμαινόμενο μαγνητικό αναδευτήρα (*Labinto L32/532, Netherlands*) με ρύθμιση θερμοκρασίας στους 90°C (χωρίς ανάδευση). Τα δείγματα θερμάνθηκαν μέχρι την παρατήρηση βρασμού (**εικ.3.8**).



**Εικ. 3.8:** Εικόνα των δειγμάτων αναφοράς κατά τη διαδικασία θέρμανσης. Η εικόνα δείχνει τα δείγματα μερικά λεπτά πριν παρατηρηθεί ο έντονος βρασμός (Τσατσάλοβα 2023).

<sup>16</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS) του **NaOH** από τη Sigma-Aldrich  
<https://www.sigmaaldrich.com/GR/en/sds/sigald/s8045>

<sup>17</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS) του **HCl** από τη Sigma-Aldrich  
<https://www.sigmaaldrich.com/GR/en/sds/SIGMA/H1758>

- ✓ Απομάκρυνση των δειγμάτων από το θερμαινόμενο μαγνητικό αναδευτήρα, και αναμονή για να επανέλθουν τα θερμά διαλύματα σε θερμοκρασία δωματίου.
- ➔ Σε αυτή τη φάση τα δείγματα αναφοράς είναι έτοιμα για μικροσκοπική παρατήρηση. Η επεξεργασία συνεχίζεται μόνο για τα δείγματα της ζώνης, καθώς πρέπει να απομακρυνθούν οι ρύποι και οι επικαθίσεις από τις ίνες με τη χρήση χημικών διαλυμάτων.
- ✓ Τα διαλύματα των δειγμάτων της ζώνης, μεταφέρθηκαν σε σωληνάρια φυγοκέντρησης (*Eppendorf tubes, 2mL*). Ακολούθησε φυγοκέντρηση επί 3 min στις 4000 rpm/min (*MicroCL 17 Centrifuge, Thermo Scientific*).
- ✓ Αφαίρεση και απόρριψη του υπερκείμενου διαλύματος (NaOH 1%).
- ✓ 1<sup>ο</sup> Πλύσιμο: Στα ιζήματα (ίνες), προστέθηκε 1mL δις απεσταγμένο νερό.
- ✓ Ανάδευση (*Minishaker -Votrex MS2, IKA-WORKS, USA*).
- ✓ Τοποθέτηση των δειγμάτων για 5min στο λουτρό υπερήχων (*Elma T310 Transsonic, Germany*). Ακολούθησε φυγοκέντρηση επί 3min στις 4000 rpm/min.
- ✓ Αφαίρεση και απόρριψη του υπερκείμενου (νερό).
- ✓ 2<sup>ο</sup> Πλύσιμο: Στο ίζημα (ίνες) προστέθηκε 1mL δις απεσταγμένο νερό.
- ✓ Ανάδευση
- ✓ Τοποθέτηση των δειγμάτων για 5min στο λουτρό υπερήχων. Ακολούθησε φυγοκέντρηση επί 3min στις 4000 rpm/min.
- ✓ Αφαίρεση και απόρριψη του υπερκείμενου (νερό).
- ✓ Στα δείγματα προστέθηκε από 1mL 0.5% HCl.
- ✓ Ανάδευση
- ✓ Τοποθέτηση των δειγμάτων για 5min στο λουτρό υπερήχων. Ακολούθησε φυγοκέντρηση επί 3min στις 4000 rpm/min.
- ✓ Αφαίρεση και απόρριψη του υπερκείμενου (0.5% HCl).
- ✓ 3<sup>ο</sup> Πλύσιμο: Στο ίζημα (ίνες) προστέθηκε 1mL δις απεσταγμένο νερό.
- ✓ (*Επανάληψη της διαδικασίας πλυσίματος επί 5 φορές*).
- ✓ Οι ίνες σε αυτή τη φάση έχουν διαχωριστεί, και είναι έτοιμες για μικροσκόπηση (**εικ. 3.9**). Αφαίρεση και απόρριψη του υπερκείμενου (νερό).
- ✓ Τα δείγματα (ίνες), αφέθηκαν να στεγνώσουν αβίαστα, σε θερμοκρασία δωματίου.



**Εικ. 3.9:** Αριστερά: αρχική κατάσταση του δείγματος πριν την επεξεργασία των νημάτων. Δεξιά: τελική κατάσταση δείγματος. Οι ίνες είναι διαχωρισμένες και έτοιμες για μικροσκοπική παρατήρηση με ΟΜ (Τσατσάλοβα 2023).

Κατόπιν, ελήφθησαν μερικές στεγνές ίνες (με λαβίδα), τοποθετήθηκαν σε αντικειμενοφόρα πλάκα (SAIL BRAND 76.2mmx25.4mm πάχους 1.2mm, China), και εγκλωβίστηκαν σε μια σταγόνα νερό. Καλύφθηκαν με καλυπτρίδα (SOFTcare Laboratories Series 20x20mm πάχους 0.13mm – 0.17mm, UK), και ακολούθησε μικροσκοπική παρατήρηση με τη χρήση του οπτικού μεταλλογραφικού μικροσκοπίου (Leica DM2700M, China), το οποίο είναι εξοπλισμένο με σύστημα κάμερας (Leica Microsystems CMS GmbH D-35578 model DFC 310 FX). Το λογισμικό σύστημα (system software), που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση σε οθόνη υπολογιστή, ήταν το Leica Application Suite (LAS). Επίσης, αξιοποιήθηκε η DFM και η BFM με διάφορες μεγεθύνσεις.

### 3.5.1.2 Διατομές ινών (cross sections)

Η μέθοδος που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, προτείνεται από την **Dr. Sandra Koch**, Φυσικών Επιστημών, Ερευνήτρια και Ειδικός Μικροσκόπος σε εργαστήρια Εγκληματολογίας<sup>18,19</sup>. Τα στάδια προετοιμασίας των δειγμάτων για την εξέταση τομής τους ήταν τα εξής:

**1<sup>ο</sup> στάδιο:** Σε πλαστικό φύλλο διατομής ινών με οπές (Plastic Fiber cross sectioning sheets 76.2mm x 25.4mm και πάχος 1mm με διάμετρο οπής 0.75 mm, McCrone Group Lab Supplies), με κλωστή (διαφορετικού χρώματος από τα δείγματα), σχηματίστηκε μια θηλιά στην οποία τοποθετήθηκαν μερικά νήματα από το κάθε δείγμα (δημιουργώντας μία δέσμη νημάτων μέσα

<sup>18</sup> Dr. Sandra Koch <https://www.mccrone.com/staff/sandra-koch/>

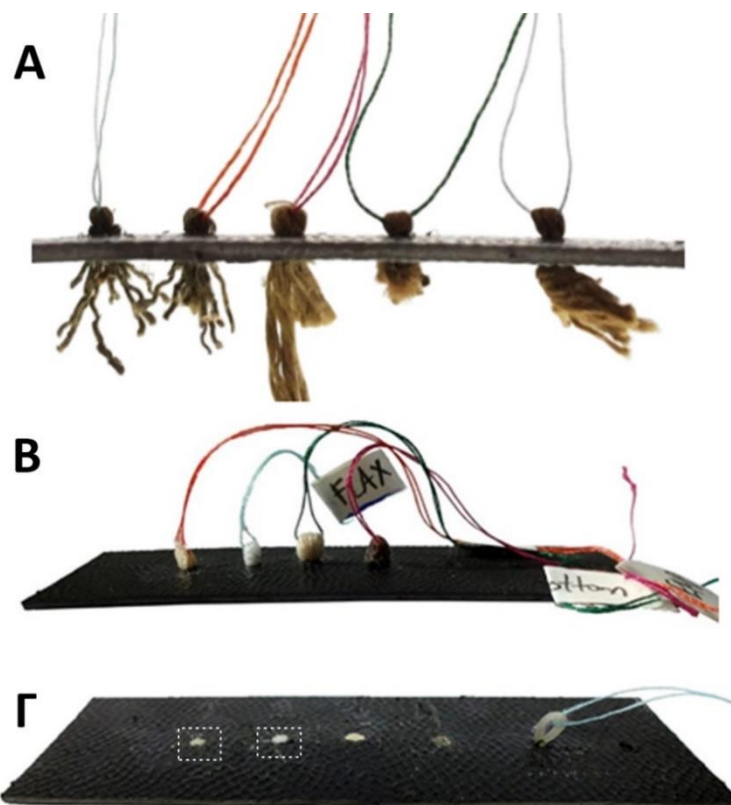
<sup>19</sup> Μέθοδος αναγνώρισης ινών: [https://www.mccrone.com/mm/splitting-hairs-4-methods-of-cross-sectioning/?fbclid=IwAR2YIgiRDSIj0fY8FYI1RdQNMNPJzVQ8TpwkYHCjPkJqD\\_ellG6hD6kf0Pc](https://www.mccrone.com/mm/splitting-hairs-4-methods-of-cross-sectioning/?fbclid=IwAR2YIgiRDSIj0fY8FYI1RdQNMNPJzVQ8TpwkYHCjPkJqD_ellG6hD6kf0Pc)



στη θηλιά). Κατόπιν, η δέσμη νημάτων εν μέσω θηλιάς, τραβιέται μέσα από την οπή με τη βοήθεια λαβίδας, έτσι ώστε ένα μέρος της δέσμης νημάτων να προεξέχει από την κάτω όψη της επιφάνειας του φύλλου διατομής (εικ.3.10Α).

**2° στάδιο:** Τα νήματα που προεξέχουν από την κάτω όψη, κόβονται με μια λεπίδα ξυραφιού κατά μήκος της διαφάνειας του φύλλου και επαλείφονται με διάφανο βερνίκι νυχιών για να σταθεροποιηθούν στη θέση τους (*Nail Top Coat Long Lasting, Essie Gel Couture*). Η δέσμη νημάτων εν μέσω θηλιάς, κόβεται επίσης με μια λεπίδα ξυραφιού κατά μήκος της διαφάνειας του φύλλου. Οι ίνες που παραμένουν στην οπή, αποτελούν το δείγμα ως προς μικροσκοπική παρατήρηση με SEM (εικ.3.10Β-Γ).

**3° στάδιο: Μικροσκοπική παρατήρηση με SEM.** Κάθε οπή κόβεται περιμετρικά (μερικά mm), έτσι ώστε να τοποθετηθεί πάνω στο δειγματολήπτη με την ταινία άνθρακα (εικ.3.10Γ). Κατόπιν, ακολουθήσε επιχρύσωση επί 1.5 min σε περιβάλλον Αργού (Argon, Ar) σε κενό  $10^{-2}$  mbar. Η μικροσκοπική παρατήρηση έγινε με SE και τάση επιτάχυνσης ηλεκτρονίων 1500 Volt.



**Εικ. 3.10:** Φωτογραφική απεικόνιση της πειραματικής διαδικασίας για τις διατομές ινών **A:** Δείγματα από τη ζώνη πριν κοπούν οι άκρες **B-Γ:** Δείγματα νημάτων αναφοράς πριν και μετά την κοπή των άκρων. Στα διαγραμμισμένα πλαίσια επισημαίνονται οι περιοχές για μικροσκοπική παρατήρηση (Τσατσάλοβα 2023).

## 3.6 Μικροβιολογική μελέτη

### 3.6.1 Μικροβιολογικές καλλιέργειες σε στερεά θρεπτικά υλικά

Για τη μικροβιολογική μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω **στερεά** θρεπτικά υλικά από τη *Liofilchem*<sup>20</sup> (Italy) και τη *Mast-Group Ltd*<sup>21</sup> (UK):

➤ **Μη εκλεκτικά**

Malt Agar - MA (Άγαρ βύνης)

Potato Dextrose Agar - PDA (Άγαρ δεξτρόζης – πατάτας)

Sabouraud Dextrose Agar - SDA (Άγαρ δεξτρόζης)

Blood Agar - BL (Αιματούχο Άγαρ)

➤ **Εκλεκτικά**

Certimide Agar - CA (κετριμίδη)

MacConkey Agar - MC

Τα τρυβλία ήταν συσκευασμένα (ένα προς ένα), για την αποφυγή επιμολύνσεων. Δύο από τα παραπάνω θρεπτικά υλικά παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο (*in vitro*) ως εξής:

➤ **Παρασκευή Θρεπτικών υλικών PDA και SDA**

- ✓ Σε ύαλο ωρολογίου (φ90mm), πραγματοποιήθηκε ζύγιση **21gr** και **31gr** σε αναλυτικό ζυγό (*Precisa 290-9221/D180A, Switzerland*) από τα αφυδατωμένα μέσα (σκόνης) **PDA** και **SDA αντίστοιχα**. Ακολουθεί μεταφορά της κάθε σκόνης σε γυάλινη ογκομετρική φιάλη (800mL).
- ✓ Διάλυση σε 500mL απεσταγμένο νερό.
- ✓ Ανάδευση υπό θέρμανση (90°C) στο θερμαντικό αναδευτήρα, έως ότου να διαλυθεί πλήρως οι σκόνης.
- ✓ Αποστείρωση σε κλίβανο (*Binder ED53, Germany*) στους 121°C για 15 min.

---

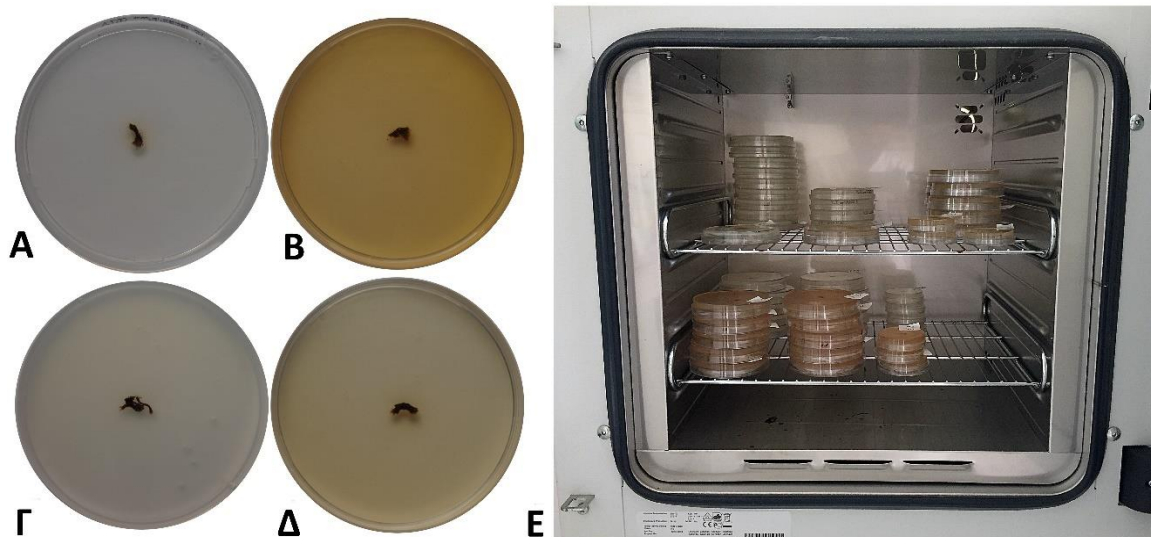
<sup>20</sup> Δελτία δεδομένων ασφαλείας των θρεπτικών υλικών MA, CA, PDA, BL και MC από τη *Liofilchem*:  
[http://www.liofilchem.net/login/pd/ifu/10029\\_IFU.pdf](http://www.liofilchem.net/login/pd/ifu/10029_IFU.pdf)

<sup>21</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας του θρεπτικού υλικού SDA από τη *Mast-Group Ltd*:  
<https://mast-group.com/uk/products/culture-media-and-supplements/dehydrated-culture-media/dm200d/>



- ✓ Έλεγχος και ρύθμιση pH του διαλύματος **PDA** με μερικές σταγόνες HCl, ώστε αυτό να προσεγγίζει το  $5.6 \pm 0.2$  στους 25°C. Για το **SDA** δε χρειάστηκε ρύθμιση παρά μόνο έλεγχος, καθώς το υλικό έχει τελικό pH  $5.3 \pm 0.2$ .
- ✓ Ανάδευση και διαμοιρασμός σε πλαστικά αποστειρωμένα τρυβλία (*Petri plates, Diachel*), διαμέτρου 90mm (15-20mL ανά τρυβλίο).

Τα έτοιμα με θρεπτικό υλικό τρυβλία, φυλάχθηκαν σε πλαστικές σακούλες στους 2-8°C και χρησιμοποιήθηκαν μετά από 24 ώρες, καθώς απαιτείται άμεση χρήση από την ημέρα παρασκευής τους. Για την παρούσα μελέτη, εμβολιάστηκαν συνολικά 66 τρυβλία (16 δείγματα). Από κάθε δείγμα, ελήφθησαν 1-2 νήματα και τοποθετήθηκαν στο τρυβλίο με τη βοήθεια λαβίδας, ασκώντας ελαφριά πίεση στην επιφάνεια θρεπτικού υλικού όπως φαίνεται στην **εικ. 3.11A-Δ**. Όλα τα τρυβλία τοποθετήθηκαν σε επωαστικό κλίβανο αναστραμμένα (το καπάκι προς τα κάτω) ώστε να αποφεύγεται η εναπόθεση των υδρατμών που δημιουργούνται κατά την επώαση, στην επιφάνεια του υποστρώματος του τρυβλίου (**εικ. 3.11E**). Επώαστηκαν με αερόβιες συνθήκες επί 24 ώρες στους 37°C για την ανάπτυξη ζυμομυκήτων και βακτηρίων, και για μέχρι 15 μέρες στους 25-28°C για την ανάπτυξη μυκήτων.



**Εικ. 3.11:** Εμβολιασμός (άμεση εναπόθεση) του δείγματος Z\_3 στα θρεπτικά υλικά **A:CA**, **B:MA**, **Γ:PDA** και **Δ:SDA**. **E:Τοποθέτηση των τρυβλίων στον επωαστικό κλίβανο σε θερμοκρασία 37°C για 24-48h** (Τσατσάλοβα 2023).

## 3.6.2 Ταυτοποίηση και χαρακτηρισμός μικροοργανισμών

### 3.6.2.1 Χρώση λακτοφαινόλης (Lactophenol Cotton Blue - LPCB)

Για την απεικόνιση της μορφολογίας και της δομής των **μυκητιακών κυττάρων**, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ιστολογικής χρώσης λακτοφαινόλης<sup>22</sup> (*Lactophenol blue solution for staining fungi, Sigma-Aldrich, Germany*). Τα δείγματα που παρουσίασαν πλήρη ανάπτυξη **μυκήτων**, ήταν τα: **Z\_3, Z\_4, Z\_7, Z\_8, Z\_9** και **Z\_15** και προετοιμάστηκαν για μικροσκοπική παρατήρηση ως εξής:

- ✓ Πάνω σε αντικειμενοφόρα πλάκα, τοποθετήθηκε μία σταγόνα λακτοφαινόλης.
- ✓ Χρησιμοποιώντας αποστειρωμένες βελόνες, ελήφθησαν μερικές υφές ή/και σπόρια από τον αναπτυγμένο μύκητα.
- ✓ Με τη βοήθεια των δύο αποστειρωμένων βελόνων, απομακρύνθηκαν απαλά οι υφές του μύκητα, ώστε να απλωθούν αραιά στη λακτοφαινόλη.
- ✓ Κατόπιν, τοποθετήθηκε καλυπτρίδα (με προσοχή για αποφυγή δημιουργίας φυσαλίδων) πάνω στο παρασκεύασμα.
- ✓ Μικροσκοπική παρατήρηση με τη χρήση ΟΜ φωτεινού πεδίου

Η παραπάνω διαδικασία, πραγματοποιήθηκε την 7<sup>η</sup> μέρα ανάπτυξης των καλλιεργειών κατά τη φάση ανάπτυξης των μυκητιακών κυττάρων.

### 3.6.2.2 Χρώση κατά Gram

Για την περιγραφή της μορφολογίας και το είδος των **βακτηριακών κυττάρων**, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της χρώσης κατά Gram<sup>23</sup> (*BioGram 4 kit, BioGnost Ltd., Croatia*). Αποικίες βακτηρίων, αναπτύχθηκαν σχεδόν σε όλα τα τρυβλία της μελέτης, και τα δείγματα προετοιμάστηκαν για μικροσκοπική παρατήρηση ως εξής:

- ✓ Επίστρωση. Με αποστειρωμένο πλαστικό κρικοφόρο στυλεό, με βρόγχο 1μL (*Kartell Labware, Italy*), μεταφέρθηκε δείγμα από τη βακτηριακή αποικία σε αντικειμενοφόρα πλάκα. Με τη χρήση 1-2 σταγόνων απεσταγμένου νερού, το δείγμα επιστρώθηκε ομοιόμορφα.

---

<sup>22</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS) της χρώσης **LPCB** από τη Sigma-Aldrich  
<https://www.sigmaaldrich.com/GR/el/sds/mm/1.13741>

<sup>23</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS) της χρώσης **Gram** (BioGram 4 kit) από τη BioGnost  
[https://www.biognost.com/wp-content/uploads/2020/01/BioGram-4-kit\\_MSDS.pdf](https://www.biognost.com/wp-content/uploads/2020/01/BioGram-4-kit_MSDS.pdf)

- ✓ Το δείγμα αφέθηκε να στεγνώσει, έτσι ώστε να στερεοποιηθεί στην πλάκα.
- ✓ Μονιμοποίηση. Το δείγμα, μονιμοποιήθηκε περνώντας την αντικειμενοφόρα πλάκα μέσα από τον κώνο της φλόγας του λύχνου Bunsen για 2-3 φορές (*Alcohol Burner, Achema Scientific Equipment, Greece*).
- ✓ Το μονιμοποιημένο δείγμα καλύφθηκε από το κρυσταλλικό ιώδες 1% για 1 min (*Gram Crystal violet 1% solution*).
- ✓ Απομάκρυνση της περίσσειας χρωστικής.
- ✓ Ξέπλυμα με το διάλυμα σταθεροποίησης (*Gram Lugol solution*).
- ✓ Σταθεροποίηση. Το δείγμα καλύφθηκε από το διάλυμα Lugol για 1 min.
- ✓ Αποχρωματισμός (*Gram Decolorizer solution*) για 5 sec.
- ✓ Ξέπλυμα με απεσταγμένο νερό.
- ✓ Το δείγμα καλύφθηκε από το διάλυμα σαφρανίνης (*Gram Safranin solution*) για 1 min.
- ✓ Ξέπλυμα με απεσταγμένο νερό.
- ✓ Στέγνωμα της αντικειμενοφόρας πλάκας.
- ✓ Στο στεγνό δείγμα, προστέθηκε μία σταγόνα κεδρέλαιο (*Immersion oil, Merck, Germany*), και ακολούθησε μικροσκοπική παρατήρηση με τη χρήση ΟΜ φωτεινού πεδίου. Η μικροσκόπηση έγινε με τον αντικειμενικό φακό 100x (καταδυτικός φακός).

Η παραπάνω διαδικασία, πραγματοποιήθηκε την 7<sup>η</sup> μέρα ανάπτυξης των καλλιιεργειών καθώς τα κύτταρα που χρωματίζονται, είναι αυτά που βρίσκονται σε φάση ανάπτυξης.

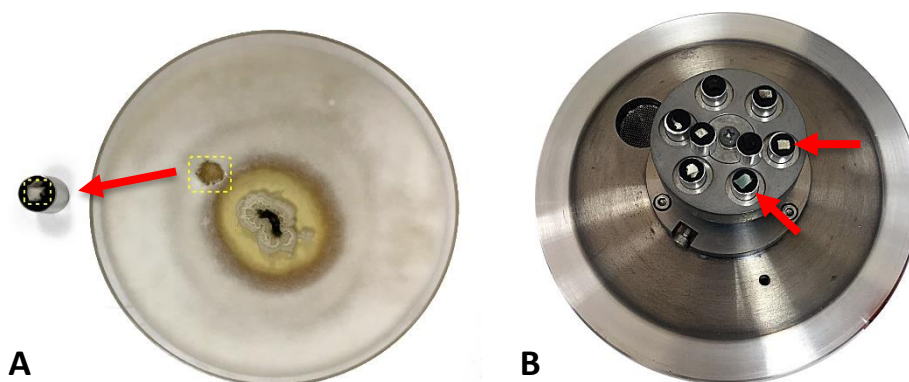
### 3.6.2.3 Μικροσκοπική παρατήρηση με SEM

Για την τελική ταυτοποίηση και χαρακτηρισμό των μικροοργανισμών, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SEM. Τα δείγματα προετοιμάστηκαν ως εξής:

- ✓ Αγωγή ταινία διπλής όψης, επικολλήθηκε στον ειδικό δειγματολήπτη (βάση stub από αλουμίνιο).
- ✓ Μέρος της αναπτυγμένης αποικίας, διαστάσεων 0.5X0.5cm, αποσπάστηκε προσεκτικά με νυστέρι και μεταφέρθηκε στο δειγματολήπτη (**εικ. 3.12A**). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε σε όλα τα δείγματα της μελέτης.
- ✓ Εν συνεχεία, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στη συσκευή εξάχνωσης για 24hr, σε περιβάλλον αργού  $10^{-2}$  mbar και έπειτα καλύφθηκαν με ένα πολύ λεπτό στρώμα χρυσού για 2 min, ώστε να γίνουν αγωγά.

- ✓ Τα πλέον αγώγιμα δείγματα, μεταφέρθηκαν στο δειγματοφορέα του θαλάμου του SEM (εικ. 3.12B).

Η ηλεκτρονική σάρωση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με σταδιακές μεγεθύνσεις από 450X μέχρι 20.000X. Η μικροσκόπηση έγινε υπό κενό αέρα  $10^{-9}$  Torr.



**Εικ. 3.12:** **A.** Απόσπαση αναπτυγμένης αποικίας, διαστάσεων 0.5X0.5cm, και μεταφορά στο δειγματολήπτη. **B.** Τοποθέτηση δειγμάτων στον ειδική βάση του δειγματοφορέα του SEM (Τσατσάλοβα 2023).

## 3.7 Αντιμικροβιακές δράσεις

### 3.7.1 Μελέτη ανθεκτικότητας σε βιοκτόνα

Η αντιμικροβιακή δράση δύο εμπορικών βιοκτόνων, συγκεκριμένα του Preventol® RI50<sup>24</sup> και του NEO Desogen<sup>®25</sup> (*IN SITU Museum & Archive Services, Greece*), αξιολογήθηκαν έναντι των κυρίαρχων μυκήτων (*Aspergillus, Penicillium*) και βακτηρίων, που απομονώθηκαν από τις **ανακαλλιέργειες** (δηλαδή τη μεταφορά τους από την υπάρχουσα καλλιέργεια σε φρέσκο θρεπτικό υλικό) των δειγμάτων **Z\_3, Z\_7, Z\_8, Z\_9, Z\_10** και **Z\_14** στο SDA. Τα βιοκτόνα, δοκιμάστηκαν σε διαφορετικές συγκεντρώσεις. Συγκεκριμένα παρασκευάστηκαν διαλύματα 2, 1.5, 1, 0.5, 0.1,% Preventol® RI50 με διάλυση 2, 1.5mL, 500 και 100μl αντίστοιχα σε 100mL

<sup>24</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS) του Preventol® RI50: [https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/6.2productosbiocidas2016/Preventol%20RI%2050\\_tec.pdf](https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/6.2productosbiocidas2016/Preventol%20RI%2050_tec.pdf)

<sup>25</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS) του NEO Desogen®: [https://www.selleckchem.com/msds/MSDS\\_S4638.pdf](https://www.selleckchem.com/msds/MSDS_S4638.pdf)

απεσταγμένο H<sub>2</sub>O, και διαλύματα 1:10 και 2:10 Desogen® με διάλυση 1 και 2mL Desogen σε 9mL και 8mL απεσταγμένο H<sub>2</sub>O αντίστοιχα.

Οι ανακαλλιέργειες κάθε μικροοργανισμού στο SDA, επώστηκαν στους 28°C για 7 ημέρες. Εναιωρήματα μυκητιακών σπορίων παρασκευάστηκαν με προσθήκη λίγων υφών και σπορίων του μικροοργανισμού, σε 15 mL διαλύματος NaCl 9%. Το εναιώρημα επιστρώθηκε με τη βοήθεια αποστειρωμένου βαμβακοφόρου στυλεού, σε κατάλληλο στερεό θρεπτικό υλικό για δοκιμές αντιμικροβιακής ευαισθησίας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το μη εκλεκτικό μέσο Mueller Hinton Agar<sup>26</sup> (MHA, συσκευασμένο σε τετράγωνο τρυβλίο 120x120cm από τη Bioprepere). Αποστειρωμένοι δίσκοι διηθητικού χαρτιού (Whatman Filter Paper, Merck Germany), με διάμετρο 5mm, τοποθετήθηκαν στο θρεπτικό υλικό και εμποτίστηκαν με 10μl βιοκτόνου με τη βοήθεια αυτόματης ρυθμιζόμενης πιπέτας μεταβλητού όγκου (Pipette 0.5-10 μl, IKA Germany). Τα τρυβλία Petri επώστηκαν στους 28°C για 4-5 ημέρες. Η αντιμικροβιακή δράση αξιολογήθηκε με βάση το όριο της ζώνης αναστολής που αναπτύχθηκε γύρω από το δίσκο. Όριο ζώνης αναστολής, είναι το σημείο όπου δεν παρατηρείται μικροβιακή ανάπτυξη με γυμνό μάτι. Οι ζώνες αναστολής μετρήθηκαν με χάρακα.

### 3.8 Εφαρμογή βιοκτόνων *In vitro*

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή εφαρμογής του βιοκτόνου NEO Desogen®, με μορφή διαλύματος και μορφή υδρογέλης, σε επιμολυσμένο δείγμα αναφοράς (100% cotton). Η δοκιμή αυτή, είχε **αρχικό σκοπό**, την τεχνητή γήρανση του επιμολυσμένου υφάσματος, σε ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη του μύκητα *Aspergillus* sp. (σχετική υγρασία 70% και θερμοκρασία 40°C), και **τελικό στόχο**, την εφαρμογή του βιοκτόνου στο επιμολυσμένο ύφασμα (καθαρισμός). Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

➤ **Επιμόλυνση δείγματος αναφοράς με *Aspergillus* sp.**

Από την ανακαλλιέργεια του μύκητα *Aspergillus* sp. στο SDA, ελήφθησαν αρκετά σπορία (50-100) καθώς και υφές του μύκητα με αποστειρωμένο κρικοφόρο στυλέο. Κατόπιν, παρασκευάστηκε εναιώρημα σε 15 mL απεσταγμένο νερό. Βαμβακερό ύφασμα (100%)

<sup>26</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS) του θρεπτικού υλικού MHA από τη Bioprepere:

<https://www.bioprepere.gr/%CE%B4%CE%B5%CE%BB%CF%84%CE%AF%CE%B1-%CE%B4%CE%B5%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CE%BD-%CE%B1%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%AF%CE%B1%CF%82.html?start=90>

διαστάσεων 20x20mm, τοποθετήθηκε μέσα σε αποστειρωμένο τρυβλίο, και διαβράχθηκε με το εναιώρημα, έτσι ώστε το ύφασμα να δώσει την αίσθηση απορρόφησης της υγρασίας.

➤ **Τεχνητή γήρανση**

Το τρυβλίο με το επιμολυσμένο δείγμα, τοποθετήθηκε σε θάλαμο τεχνητής γήρανσης (*Rumed series 4000, Germany*), και ρυθμίστηκε με θερμοκρασία (T) 40°C και σχετική υγρασία (RH) 70%, έτσι ώστε να αναπτυχθούν μέσα στο θάλαμο οι ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη του μύκητα στο ύφασμα. Το πείραμα τεχνητής γήρανσης διήρκησε 30 μέρες.

➤ **Εξέταση και παρακολούθηση του δείγματος κατά τη διάρκεια του πειράματος**

Την 15<sup>η</sup> καθώς και την 30<sup>η</sup> μέρα, αποσπάστηκε με ψαλίδι μικρή αντιπροσωπευτική επιφάνεια υφάσματος και πραγματοποιήθηκε ποσοτικός προσδιορισμός χρώματος και μικροσκοπική παρατήρηση με SEM. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις πρότυπες μετρήσεις και μικροσκοπικές εικόνες του δείγματος πριν την επιμόλυνση (0 μέρες).

➤ **Εξέταση του δείγματος μετά τη λήξη του πειράματος**

Ελήφθησαν 1-2 νήματα από το επιμολυσμένο ύφασμα, και καλλιεργήθηκαν σε στερεά θρεπτικά υλικά SDA και PDA, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η ύπαρξη του μύκητα.

➤ **Εφαρμογή βιοκτόνου**

Το εναπομείναν επιμολυσμένο ύφασμα χωρίστηκε σε δύο μικρές επιφάνειες. Ακολούθησαν 2 δοκιμές καθαρισμού των επιφανειών, με εφαρμογή του βιοκτόνου NEO Desogen®.

➤ **1<sup>η</sup> δοκιμή:** στη μία επιφάνεια πραγματοποιήθηκαν 5 επαναλαμβανόμενες πλύσεις με **διάλυμα NEO Desogen® 2:10** ως εξής: το δείγμα εμβαπτίστηκε με ταυτόχρονη ελαφριά ανάδευση σε 2mL διαλύματος. Κάθε περίπου 5min απομακρυνόταν με τη βοήθεια λαβίδας, ξεπλενόταν με νερό και η διαδικασία επαναλαμβανόταν σε φρέσκο διάλυμα (2mL NEO Desogen® συγκέντρωσης 2:10).

➤ **2<sup>η</sup> δοκιμή:** στη δεύτερη επιφάνεια εφαρμόστηκε 5% υδρογέλη από το βιοκτόνο NEO Desogen®, η οποία παρασκευάστηκε ως εξής: αρχικά, προετοιμάστηκαν 2 διαλύματα. Το πρώτο ήταν το **διάλυμα 5% NEO Desogen®** (5mL βιοκτόνου σε 100mL) και το δεύτερο ήταν το διάλυμα 20% υδροξυ-προπυλ-μεθυλοκυτταρίνης<sup>27</sup> το οποίο παρασκευάστηκε ως εξής: 20gr μεθυλοκυτταρίνης σε 100 mL απεσταγμένο νερό (*Hydroxypropyl*

---

<sup>27</sup> Δελτίο δεδομένων ασφαλείας (SDS) της υδροξυ-προπυλ-μεθυλοκυτταρίνης:

<https://www.parchem.com/siteimages/Attachment/GHS%20Hydroxypropyl%20Methylcellulose%20MSDS.pdf>

*Methylcellulose, IN SITU Museum & Archive Services, Greece*). Εν συνεχεία, σε 50 mL απεσταγμένο νερό, προστίθενται 5 mL από το διάλυμα 5% NEO Desogen® και 15 mL από το διάλυμα 20% υδροξυ-προπυλ-μεθυλοκυτταρίνης (τελικός όγκος διαλύματος 70mL). Η τελική μορφή του διαλύματος, διαμορφώθηκε σε ρευστή και ελαστική. Η εφαρμογή της υδρογέλης στη δεύτερη επιμολυσμένη επιφάνεια, έγινε σταδιακά. Η γέλη απλωνόταν με τη βοήθεια μπατονέτας και παρέμενε στην επιφάνεια επί 5min κάθε φορά. Έπειτα, η επιφάνεια καθαριζόταν επιμελώς με μπατονέτα εμποτισμένη σε νερό. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 3 φορές.

➤ **Εξέταση των δειγμάτων μετά τις δοκιμές καθαρισμού**

Μετά τις δοκιμές καθαρισμών, ελήφθησαν 1-2 νήματα από τα καθαρισμένα με τους 2 τρόπους υφάσματα, και καλλιεργήθηκαν σε στερεά θρεπτικά υλικά SDA και PDA, για να διαπιστωθεί η αναμενόμενη απουσία του μύκητα.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε μικροσκοπική παρατήρηση με SEM. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις μικροσκοπικές εικόνες που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της τεχνητής γήρανσης, προκειμένου να αξιολογηθούν οι δοκιμές καθαρισμού.

***Καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων της παρούσας εργασίας, τηρήθηκαν οι κανόνες ασφάλειας των εργαστηρίων όπου πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα, καθώς και ο Κώδικας Δεοντολογίας Επαγγέλματος Συντηρητή Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης ΦΕΚ Β' 382/2000.***

# **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αποτελέσματα - Συζήτηση

### 4.1 Αποτελέσματα καταγραφής παρούσας κατάστασης

#### 4.1.1 Ποσοτικός προσδιορισμός χρώματος

Τα χρωματομετρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον ποσοτικό προσδιορισμό, επέτρεψαν τη δυνατότητα επεξεργασίας και ανάλυσης των πληροφοριών, σε διαφορετικά συστήματα χρώματος. Χρησιμοποιήθηκαν για τη μετατροπή τους στα συστήματα RGB (HexColor και Css) CIELAB ( $L^*, a^*, b^*$ ), CMYK, και XYZ. Επίσης, μετά από επεξεργασία με τα προγράμματα *Colorizer* και *Hexcolorpedia*, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν κατά αντιστοιχία, με τις παραμέτρους της συλλογής πραγματικών έγχρωμων δειγμάτων *Pantone color Matching System (PMS)* και με το σύστημα κατάταξης χρωμάτων *Munsell*.

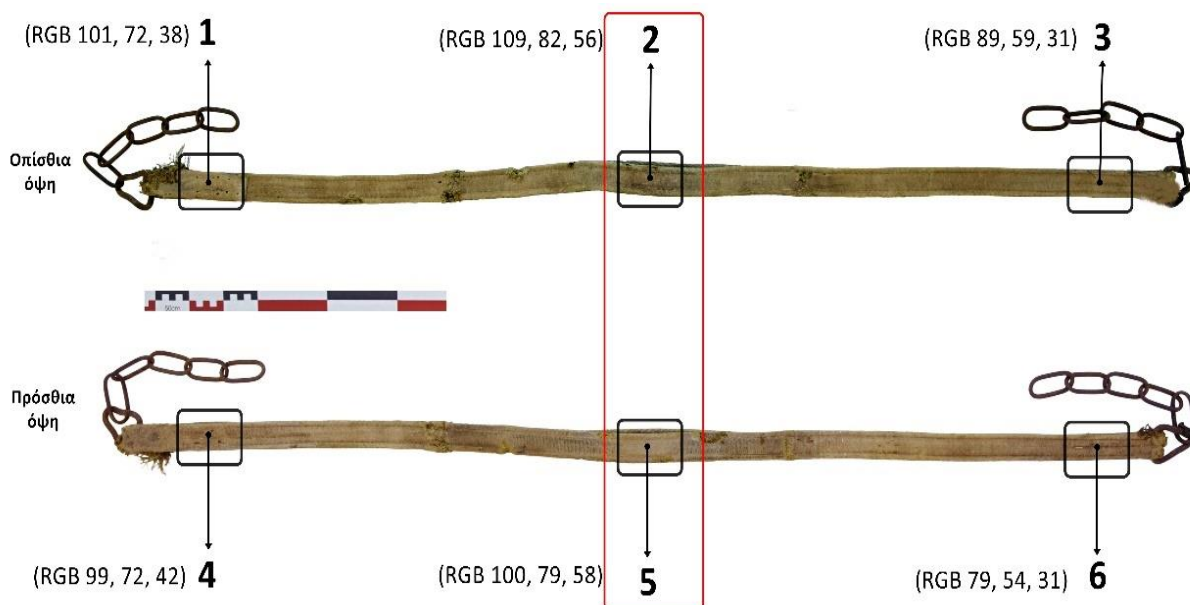
**Συγκεκριμένα:** στο χρωματικό σύστημα RGB, τα αποτελέσματα έδειξαν μικρές χρωματικές διαφορές μεταξύ των περιοχών της κάθε όψης της ζώνης. Για την οπίσθια όψη της ζώνης, τα ποσοστά (%) του κόκκινου (R), του πράσινου (G), και του μπλε (B) χρώματος της περιοχής 2, είναι μεγαλύτερα από τα ποσοστά των περιοχών 1 και 3. Ομοίως και για την πρόσθια όψη: τα ποσοστά (%) RGB της περιοχής 5, είναι μεγαλύτερα από τα ποσοστά των περιοχών 4 και 6 (**πιν. 4.1**).

*Πιν.4.1: Προσδιορισμός χρώματος (%) στο χρωματικό σύστημα RGB. Κόκκινο (R), Πράσινο (G), και μπλε (B).*

Χρωματικό σύστημα RGB				
Όψη	Περιοχή	R (%) n=7	G (%) n=7	B (%) n=7
Οπίσθια	1	39.6	28.2	14.9
	2	42.7	32.2	22
	3	34.9	23.1	12.2
Πρόσθια	4	38.8	28.2	16.5
	5	39.2	31	22.7
	6	31	21.2	12.2

Όπως διαπιστώνεται από τον παραπάνω πίνακα, εν συγκρίσει με τις πλαϊνές περιοχές της κάθε όψης, οι περιοχές 2 και 5 παρουσιάζουν μικρή χρωματική αλλαγή με μεγαλύτερο ποσοστό (%)

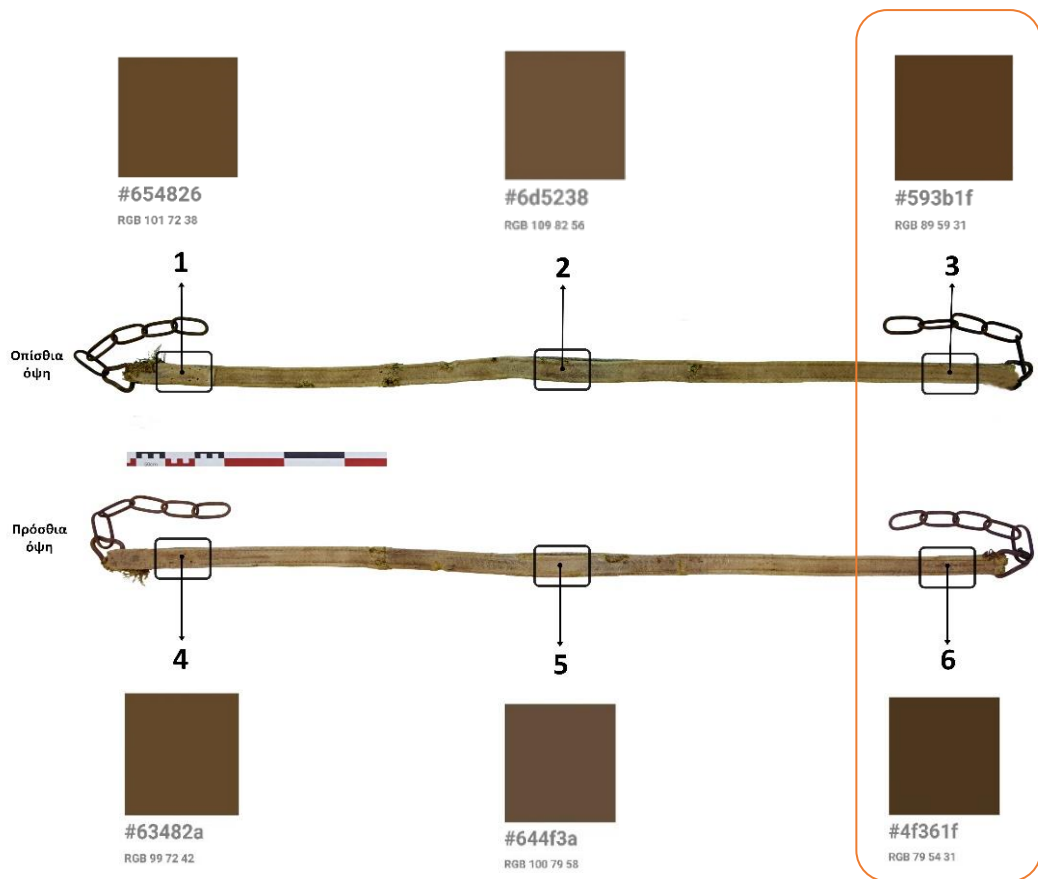
του χρωματικού συστήματος RGB. Η οπίσθια όψη της ζώνης υπολογίστηκε με 42.7% κόκκινο, 32.2% πράσινο και 22% μπλε χρώμα. Ομοίως, η πρόσθια όψη υπολογίστηκε με 39.2%, 31% και 22.7% αντίστοιχα. Αυτές οι περιοχές αφορούν το μέσο της ζώνης, το οποίο φέρει τη μεγαλύτερη φθορά (εικ.4.1).



**Εικ. 4.1:** Εικόνα των περιοχών που χρωματομετρήθηκαν. Είναι εμφανείς οι χρωματικές αλλαγές στις περιοχές 2 και 5 όπου είναι το σημείο της ζώνης που ερχόταν σε επαφή με το ζώο (Τσατσάλοβα 2013).

Τα αποτελέσματα αυτά, επιβεβαιώνουν την επαφή της ζώνης (τμήμα πεισινέλλας) με το δέρμα του ζώου, καθώς η τριβή και ο ιδρώτας, είναι ικανά να προκαλέσουν χρωματικές αλλοιώσεις στο ύφασμα. Σε σύγχρονη μελέτη (Yumei *et al.* 2018), έχει αποδειχτεί μέσα από πειράματα προσομοίωσης, όπως η έκθεση υφάσματος σε συνθήκες (τεχνητής) εφίδρωσης, πως η μοριακή δομή των φυσικών υφασμάτων (π.χ. βαμβάκι), είναι επιρρεπής στην εξασθένιση χρώματος, όταν αυτό εκτεθεί στα συστατικά που αποβάλλει ο ιδρώτας (νάτριο, κάλιο, ασβέστιο και μαγνήσιο).

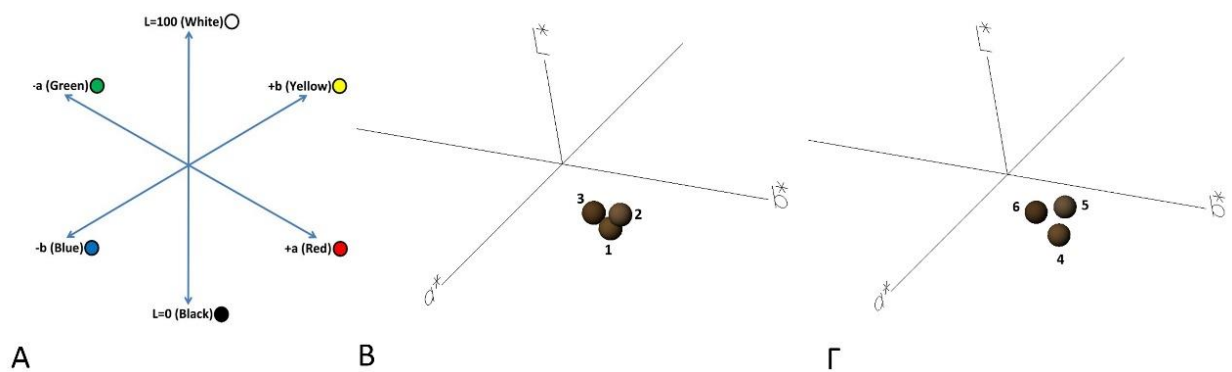
Η επεξεργασία με το πρόγραμμα *Hexcolorpedia*, έδωσε τις επιπλέον πληροφορίες χρώματος (*ColorHex*) και τους δεκαεξαδικούς κωδικούς (*hexadecimal codes*), για τις εξεταζόμενες περιοχές της ζώνης. Τα αποτελέσματα έδειξαν σχεδόν την ίδια απόχρωση για τις περιοχές 1, 2, 4, και 5 ενώ πιο σκούρα απόχρωση, παρουσιάζεται στις ακριανές περιοχές 3 και 6 (εικ. 4.2).



**Εικ. 4.2:** Πληροφορία χρώματος για κάθε εξεταζόμενη περιοχή, σύμφωνα με το Hex-Color, και τους δεκαεξαδικούς κωδικούς απόχρωσης (hexadecimal codes), για κάθε περιοχή. Περιοχές 1,2,3: #654826, #6d5238, #593b1f και περιοχές 4, 5, 6: #63482a, #644f3a, #4f361f αντίστοιχα. Οι περιοχές 3 και 6 παρουσιάζουν πιο σκούρα απόχρωση εν συγκρίσει με τις περιοχές 1, 2, 4 και 5 (Τσατσάλοβα 2023).

Το Color-hex εκτός από τις πληροφορίες που παρέχει για τα χρώματα, συμπεριλαμβανομένων των μοντέλων RGB, HSL, HSV και CMYK, δημιουργεί επίσης έναν απλό **κώδικα CSS** (Cascading Style Sheets) για το επιλεγμένο χρώμα. Το CSS χρησιμοποιεί τους *δεκαεξαδικούς κωδικούς απόχρωσης* για να καθοριστεί ένα χρώμα είτε για το προσκήνιο ενός στοιχείου ή αντικειμένου (δηλαδή το κείμενό του) είτε για το φόντο του στοιχείου/αντικειμένου. Στην παρούσα εργασία, υπολογίστηκαν τα δεδομένα αυτά, για να καθοριστεί το χρώμα του φόντου του αντικειμένου. Τα αποτελέσματα έχουν ενδιαφέρον καθώς για όλες τις περιοχές της ζώνης, το χρώμα που ορίστηκε ως φόντο, είναι το *Dark Olive Green*. Η μία και η ίδια απόχρωση φόντου, επιβεβαιώνει το αρχικό χρώμα της ζώνης που φαίνεται να ανήκει στην παλέτα των καφέ αποχρώσεων μετά από σύγκριση των συγκεκριμένων παραμέτρων κατά αντιστοιχία, με τις παραμέτρους της συλλογής πραγματικών έγχρωμων δειγμάτων *Pantone color Matching System* (πιν. 4.2). Οι

περιοχές των δειγμάτων στο χρωματικό χώρο CIELAB ( $L^*, a^*, b^*$ ), δίνουν τα εξής αποτελέσματα: οι τιμές του κεντρικού άξονα, ο οποίος απεικονίζει τη φωτεινότητα ( $L^*$ ), με τιμές μεταξύ 0, για το μαύρο, και 100 για το λευκό, κυμαίνονται από 2.02 μέχρι 5.06 για την οπίσθια όψη και από 1.89 μέχρι 5.2 για την πρόσθια όψη της ζώνης (πιν. 4.2). Η μικρή διαφοροποίηση της φωτεινότητας εντοπίζεται (και πάλι), στο μέσο της ζώνης στις περιοχές 2 και 5 με 5.06 και 5.2 αντίστοιχα. Οι εξεταζόμενες περιοχές της ζώνης έδωσαν θετικές τιμές στον άξονα  $a^*$  (κόκκινο), καθώς και στον άξονα  $b^*$  (κίτρινο). Η μικρή διαφοροποίηση του χρώματος εντοπίζεται επίσης, στο μέσο της ζώνης στις περιοχές 2 και 5 με 10.04 και 8.82 για τον άξονα  $a^*$ , και για τον άξονα  $b^*$  9.57 και 8.61 αντίστοιχα (πιν. 4.2). Στην **εικ. 4.3** απεικονίζονται σχηματικά τα αποτελέσματα των χρωμάτων της ζώνης στο χρωματικό χώρο CIELAB.



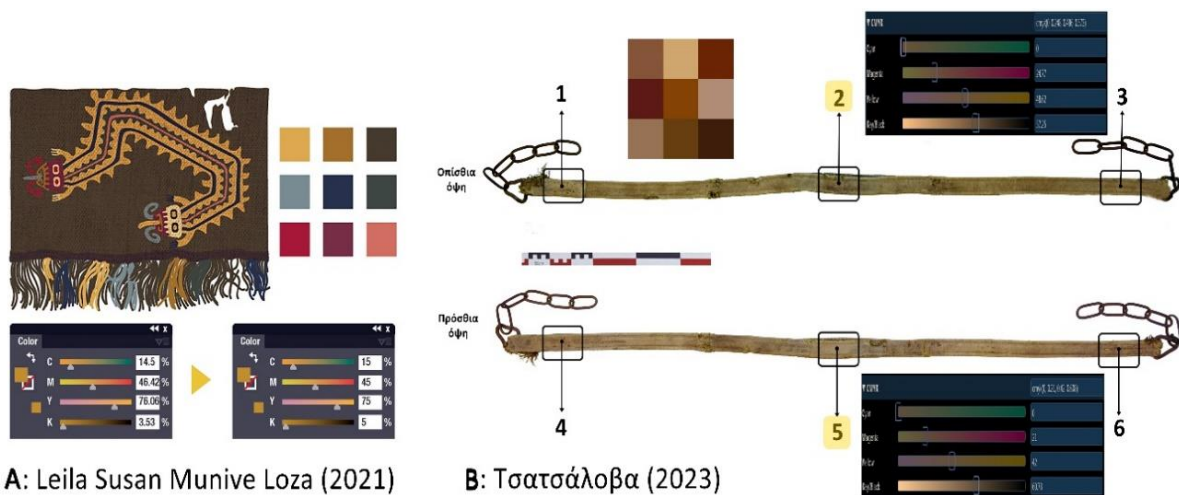
**Εικ. 4.3:** Τρισδιάστατη παρουσίαση των χρωμάτων στο σύστημα  $L^*, a^*, b^*$ . **A:** Τρισσορθογώνιο σύστημα του χρωματικού χώρου CIELAB με άξονες τα μεγέθη  $L^*, a^*, b^*$  **B:** Χρωματικός χώρος περιοχών 1,2,3 για την οπίσθια όψη ζώνης. **Γ:** Χρωματικός χώρος περιοχών 4,5,6 για την πρόσθια όψη ζώνης (Τσατσάλοβα 2023).

**Πιν. 4.2:** Προσδιορισμός χρώματος στο χρωματικό σύστημα CIELAB ( $L^*, a^*, b^*$ ). Αντιστοίχιση των χρωματικών παραμέτρων με τις παραμέτρους της συλλογής πραγματικών έγχρωμων δειγμάτων Pantone color Matching System, και πληροφορίες χρώματος στο σύστημα ColorHex και Css, μετά από επεξεργασία δεδομένων (Τσατσάλοβα 2023).

Όψη	Περιοχή	Χρωματικό σύστημα CIELAB ( $L^*, a^*, b^*$ )			Pantone color Matching System		ColorHex και hexadecimal codes			Cascading Style Sheets	
		$L^*$ (n=7)	$a^*$ (n=7)	$b^*$ (n=7)	Κωδικός Pantone	Απόχρωση	Κωδικός Hex	Απόχρωση	Χαρακτηρισμός	Κωδικός Css	Απόχρωση
Οπίσθια	1	2.87	8.09	7.54	4485 C		#654826		Cafe Royale	Dark Olive Green	
	2	5.06	10.04	9.57	2321 C		#6d5238		Bison	Dark Olive Green	
	3	2.02	5.93	5.35	161 C		#593b1f		Brown Bramble	Dark Olive Green	
Πρόσθια	4	3.21	7.88	7.45	462 C		#6348a		Dallas	Dark Olive Green	
	5	5.2	8.82	8.61	7532 C		#644f3a		Tobacco	Dark Olive Green	
	6	1.89	4.79	4.4	4625 C		#4f361f		Dark Wood Grain	Dark Olive Green	

Όλοι οι παραπάνω συνδυασμοί των χρωματικών μοντέλων, των πρότυπων ψηφιακής εικόνας και οι μετατροπές των χρωματικών δεδομένων, έγιναν για την όσο το δυνατόν πιο αντικειμενική αντίληψη του χρώματος της παρούσας κατάστασης του αντικειμένου (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II).

Σε σύγχρονη μελέτη, η Munive Loza L.S. (2021), **απέδειξε** πως η χρωματική καταγραφή προκολομβιανών υφασμάτων από τη νότια ακτή του Περού (καθώς δεν υπήρχε ακριβή χρωματική περιγραφή κατά τη στιγμή της καταχώρισης και της συντήρησης των υφασμάτων στο μουσείο), χρησίμευσε ως «εργαλείο» για την ενίσχυση της πολιτιστικής ταυτότητας σε σχεδιαστικά έργα, στην αρχαιολογία, στην αρχιτεκτονική και άλλους σχετικούς κλάδους. Το άρθρο αφηγείται τη σημασία του χρώματος ως στοιχείου ταυτότητας και θεμελιώδους συνιστώσας στην οπτική επικοινωνία, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ταυτότητα ορισμένων πολιτισμών έχει ρίζες στα χρώματα που ξεχώρισαν την τέχνη τους σε όλη την ιστορία. Οι συνδυασμοί των πρότυπων ψηφιακής εικόνας, καθώς και οι μετατροπές παραμέτρων από ένα χρωματικό σύστημα σε ένα άλλο, επέτρεψαν τη δημιουργία του χρωματικού καταλόγου «*Peru Color*» που αφορά τα προ-κολομβιανά υφάσματα. Στην **εικ. 4.4** παρουσιάζουμε στάδια κατά τη χρωματική ανάλυση της Munive Loza L.S. και της παρούσας εργασίας αντίστοιχα, με το ίδιο χρωματικό μοντέλο.



A: Leila Susan Munive Loza (2021)

B: Τσατσάλοβα (2023)

**Εικ. 4.4: A.** Μελέτη Leila Susan Murine Loza. Παρουσιάζεται η χρωματική παλέτα του υφάσματος καθώς και οι παράμετροι στο χρωματικό μοντέλο CMYK (cyan, magenta, yellow) Προσαρμογή από Murine Loza L.S.<sup>28</sup> (2021). **B.** Παρούσα εργασία. Παρουσιάζεται η χρωματική παλέτα της ζώνης καθώς και οι παράμετροι στο χρωματικό μοντέλο CMYK (Τσατσάλοβα, 2023).

## 4.2 Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης βιολογικών επικαθίσεων

### 4.2.1 Παρατήρηση στο στερεοσκόπιο

Όλες οι επιλεγμένες περιοχές δειγματοληψίας, φέρουν επικαθίσεις ρύπων και μηχανικές φθορές (πιν. 4.3). Στις περιοχές των εντόμων ZE\_1, ZE\_2, δεν έγινε δειγματοληψία νημάτων. Τα τμήματα από τα σώματα των εντόμων που ήταν εγκλωβισμένα (ZE\_1), και αυτά που ήταν συντετριμμένα από τον μεταλλικό κρίκο (ZE\_2), αποσπάστηκαν με λαβίδα και παρατηρήθηκαν στο SEM (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ).

<sup>28</sup> Άρθρο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Σελίδα άρθρου: <http://148.202.248.171/zincografia/index.php/ZC/article/view/119>



**Πιν. 4.3:** Μακροσκοπική παρατήρηση περιοχών δειγματοληψίας. Μεγέθυνση στο στερεοσκόπιο: 2.5x (Τσατσάλοβα 2023).

Κωδ.	Περιοχή Δειγματοληψίας	Λεπτομέρεια
------	------------------------	-------------



Z\_1



**Περιγραφή:** Ξεφτισμένα, κομμένα και ξηλωμένα νήματα, λόγω της τριβής τους με το μεταλλικό κρίκο. Συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων (σωματίδια σκόνης, βρωμιά) και υπολείμματα από ξεραμένα χόρτα (σανό).

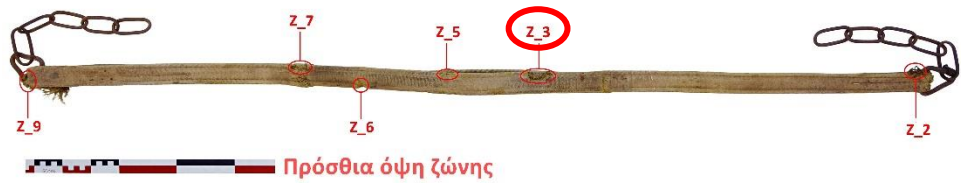


Z\_2

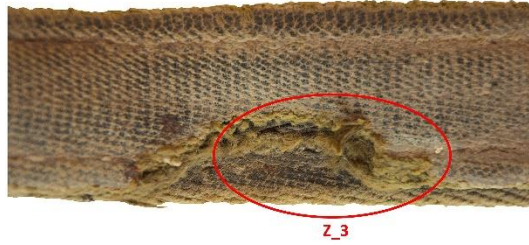


**Περιγραφή:** Τα νήματα στημονιού παρουσιάζουν έντονο ξέφτισμα. Τα νήματα υφαδιού είναι ξηλωμένα αλλά διατηρούν τη συνοχή και στρέψη τους. Δύσκαμπτα λόγω συγκέντρωσης σωματιδίων των ρύπων.

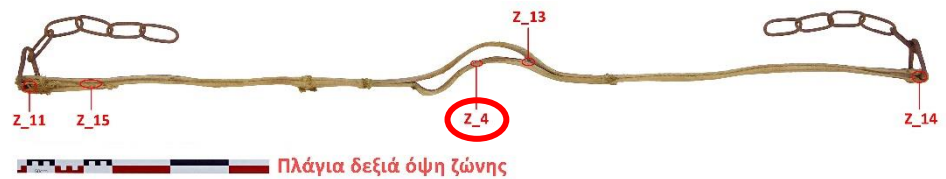




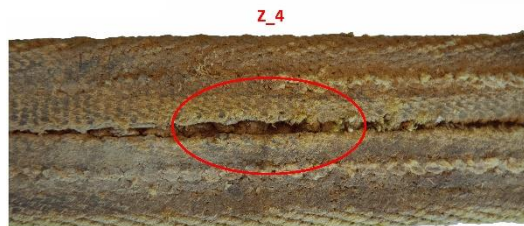
Z\_3



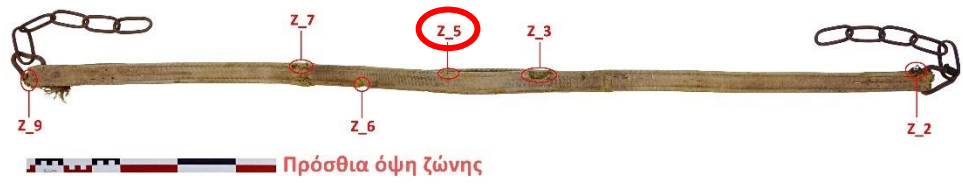
**Περιγραφή:** Απώλεια ύφανσης με έντονα ξεφτισμένες ακμές. Συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων (σωματίδια σκόνης, βρωμιά). Λεκέδες καστανού και λευκού χρώματος. Παρουσία μαύρων στιγμάτων με λιπαρή υφή στην ανάγλυφη επιφάνεια της ύφανσης.



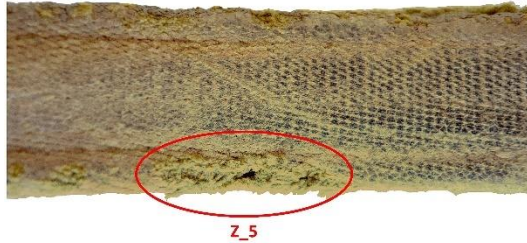
Z\_4



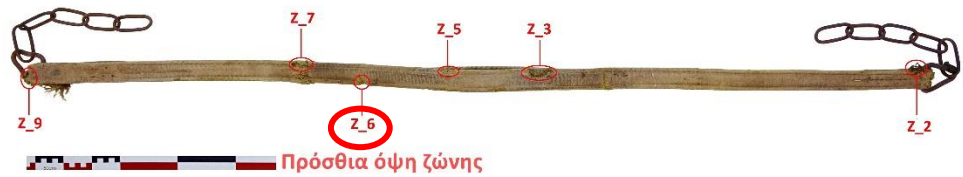
**Περιγραφή:** Παραμόρφωση και δυσκαμψία υφάσματος. Παρουσία κρούστας από συγκέντρωση σωματιδίων των ατμοσφαιρικών ρύπων (σκόνης και βρωμιά). Υπολείμματα από ξεραμένα χόρτα (σανό).



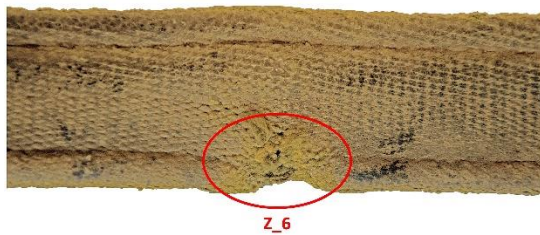
Z\_5



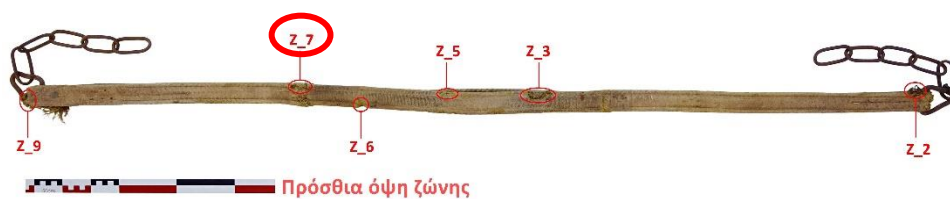
**Περιγραφή:** Ξεφτισμένη περιοχή. Παρουσία σωματιδίων των ατμοσφαιρικών ρύπων (σκόνης και βρωμιά). με μεγάλη συγκέντρωση ρύπων. Αποδυναμωμένες και εύθρυπτες ίνες.



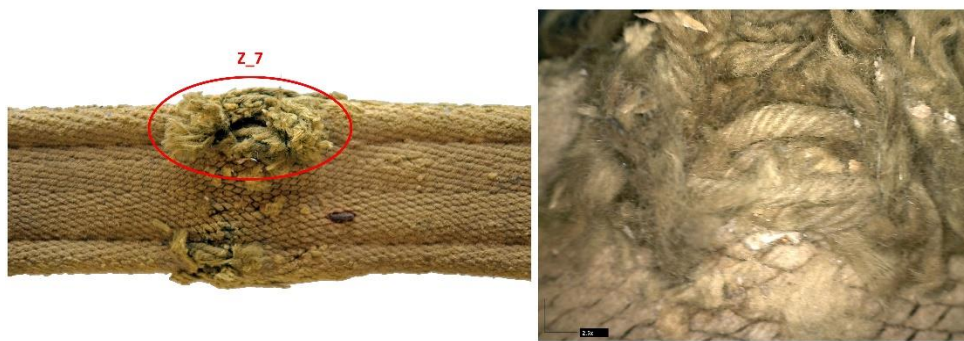
Z\_6



**Περιγραφή:** Απώλεια ύφανσης με ξεφτισμένα, αποδυναμωμένα και εύθρυπτα νήματα στις ακμές. Παρουσία σωματιδίων των ατμοσφαιρικών ρύπων (σκόνης και βρωμιά).



Z\_7



**Περιγραφή:** Νήματα κομμένα, ξηλωμένα, ξεφτισμένα και νήματα που έχουν υποστεί χαλάρωση λόγω τσάκισης του υφάσματος. Παρουσία σωματιδίων των ατμοσφαιρικών ρύπων (σκόνης και βρωμιά).



Z\_8



**Περιγραφή:** Ξεφτισμένα, κομμένα και ξηλωμένα νήματα λόγω τριβής τους με το μεταλλικό κρίκο. Διατήρηση συνοχής και στρέψης μερικών νημάτων. Παγιδευμένη σκόνη και βρωμιά. Δυσχρωμία.





Z\_9



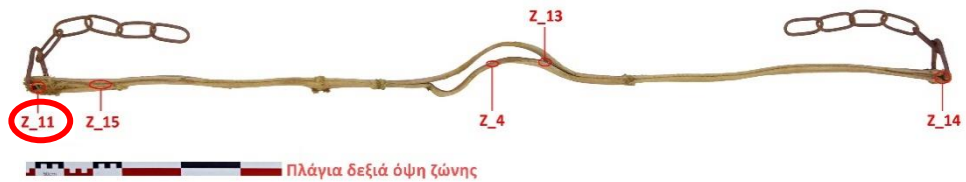
**Περιγραφή:** Ξεφτισμένα, κομμένα και ξηλωμένα νήματα λόγω τριβής τους με το μεταλλικό κρίκο.



Z\_10



**Περιγραφή:** Νήματα κομμένα, ξηλωμένα, ξεφτισμένα και νήματα που έχουν υποστεί χαλάρωση λόγω τσάκισης του υφάσματος. Μεταξύ των χαλαρωμένων νημάτων διακρίνονται ρύποι (σκόνη και βρωμιά).



Z\_11



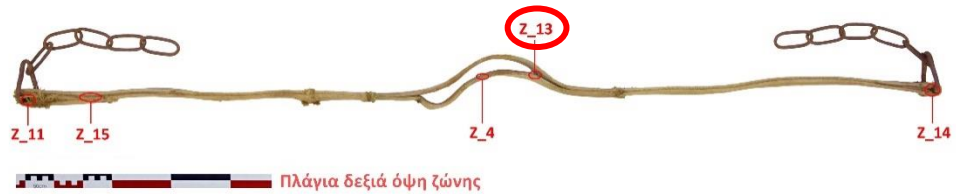
**Περιγραφή:** Το υλικό συμπλήρωσης φαίνεται ταλαιπωρημένο από την τριβή με το μεταλλικό κρίκο. Προσκολλημένο σε αυτό, μικρό τμήμα μη υφασμένου υφάσματος.



Z\_12



**Περιγραφή:** Παραμόρφωση και δυσκαμψία υφάσματος. Παρουσία κρούστας από συγκέντρωση σωματιδίων των ατμοσφαιρικών ρύπων (σκόνης και βρωμιά). Προεξέχει αποδυναμωμένη και εύθραπτη ραφή.



Z\_13



**Περιγραφή:** Παραμόρφωση και δυσκαμψία υφάσματος. Παρουσία κρούστας από συγκέντρωση σωματιδίων των ατμοσφαιρικών ρύπων (σκόνης και βρωμιά). Υπολείμματα από ξεραμένα χόρτα (σανό). Προεξέχει αποδυναμωμένη και εύθρυπτη ραφή.

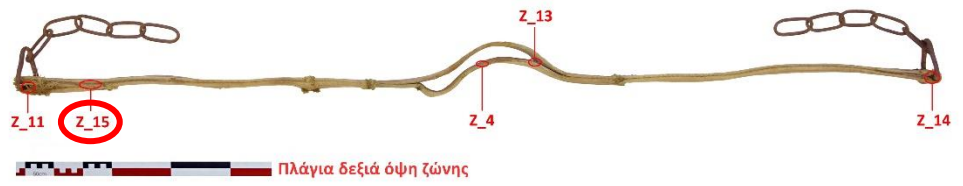


Z\_14



**Περιγραφή:** Το υλικό συμπλήρωσης παρουσιάζεται ταλαιπωρημένο από την τριβή με το μεταλλικό κρίκο. Συγκέντρωση ρύπων στα κενά της ύφανσης.





Z\_15



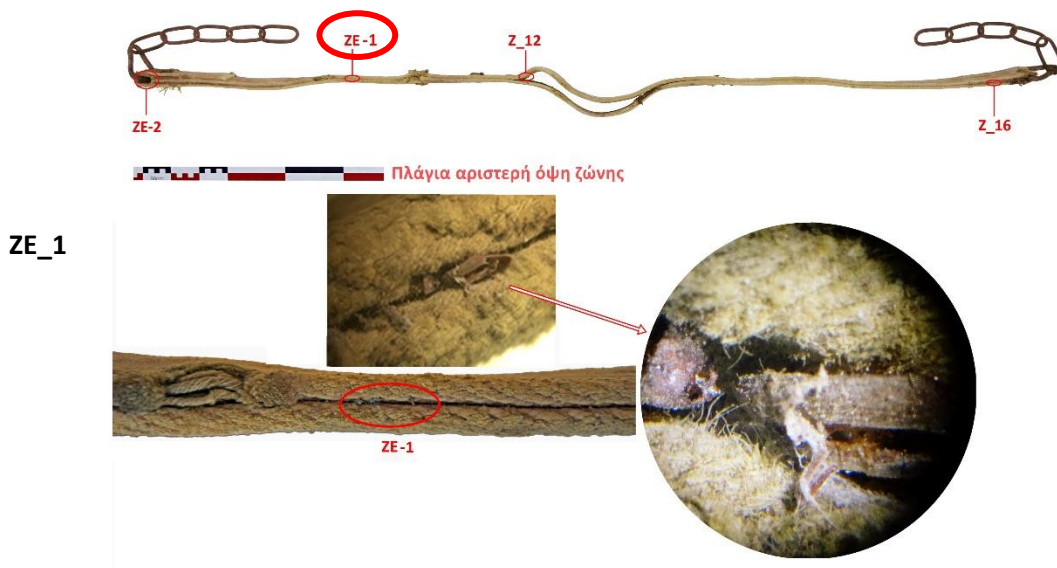
**Περιγραφή:** Παγιδευμένοι ρύποι



Z\_16



**Περιγραφή:** Παγιδευμένοι ρύποι (σκόνη, βρωμιά).



**Περιγραφή:** Έντομο παγιδευμένο μεταξύ δυο υφασμάτων.



**Περιγραφή.** Στο εσωτερικό της θηλιάς παρατηρήθηκαν: μπόγος ιστού εντόμου με παγιδευμένα υπολείμματα από ξεραμένα χόρτα (σανό), σκόνη, βρωμιά, τμήματα από κελύφη εντόμων και ιριδίζοντα φτερά. Τα έντομα ήταν συντετριμμένα από τον μεταλλικό κρίκο.



Όπως διαπιστώνεται από τον παραπάνω πίνακα, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς οι περισσότερες φθορές, στις περιοχές που εξετάστηκαν, προέρχονται από διαφορετικές αιτίες.

**Συγκεκριμένα:** οι περιοχές της **οπίσθιας όψης** (Z\_1, Z\_10 και Z\_8), καθώς και οι περιοχές στο μέσο της ζώνης (Z\_4, Z\_12 και Z\_13), παρουσιάζουν δυσκαμψία, μαύρες κρούστες, μαύρα στίγματα και αλλοίωση χρώματος. Αυτές οι φθορές και η παρουσία βιοφίλμ σε όλα τα δείγματα, προδίδουν την παρουσία της ξηρής σήψης (**dry rot**). Η ξηρή σήψη εμφανίζεται όταν ένα ύφασμα εκτίθεται σε υγρασία και δεν έχει στεγνώνει εντελώς. Επίσης, μπορεί να προκληθεί από την επανειλημμένη έκθεση στην υγρασία από μια μικρή ποσότητα νερού. Τα μικροσκοπικά σπόρια μούχλας παρασύρονται από τον αέρα και όταν οι συνθήκες υγρασίας είναι κατάλληλες, εγκαθίστανται στο ύφασμα και αναπτύσσονται. Τα σπόρια διασπών τις ίνες κυτταρίνης και μπορούν να αποικοδομηθούν αργά με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η μακροχρόνια, αργή (αλλά αμείλικτη) φθορά και αποδυνάμωση των ινών, οδηγεί σε ενδεχόμενη ζημιά που μπορεί να εντοπιστεί ως σκίσιμο ή άλλη δομική βλάβη στο ύφασμα. Το πρόβλημα με τη ξηρή σήψη, είναι ότι συνήθως ανακαλύπτεται πολύ αργά για να αποκατασταθεί η ζημιά. Μπορεί να χρειαστούν μερικά χρόνια για να εκδηλωθεί ή μπορεί να χρειαστούν δεκαετίες.

*Αξίζει να σημειωθεί πως ο όρος «ξηρή σήψη», είναι κάπως παραπλανητικός, καθώς η διαδικασία αποσύνθεσης απαιτεί στην πραγματικότητα υγρασία, αλλά ονομάζεται "ξηρή" επειδή οι ίνες του βαμβακιού μπορεί να φαίνονται ξηρές και εύθραυστες, παρόλο που το ύφασμα μπορεί να αποσυντεθεί εντελώς.*

Σε σύγχρονη έρευνα, η Lisa Wagner (2023), **απέδειξε** πως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλει στη ξηρή σήψη, είναι τα υπολείμματα ακαθαρσιών στο ύφασμα, από τα κατοικίδια ζώα. Η συσσώρευση αλάτων ουρίας από τους λεκέδες των ακαθαρσιών κατοικίδιων, γίνεται υγροσκοπική ή/και «προσελκύει την υγρασία», διατηρώντας το τμήμα του υφάσματος, ελαφρώς υγρό για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτή η υγρασία στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, μπορεί να προκαλέσει τη συνεχή απορρόφηση υγρασίας από τον αέρα, και τη συσσώρευση υγρασίας στο ύφασμα με αποτέλεσμα την αργή, αλλά συνεχής διαδικασία ανάπτυξης βακτηρίων και επιδείνωσης των προσβεβλημένων ινών. Το άρθρο της Lisa Wagner αφηγείται μελέτες περιπτώσεων ξηρής σήψης, από διαφορετικές αιτίες, σε μάλλινα χαλιά με βαμβακερή βάση. Εκτός από την υγρασία λόγω πλημμυρών, διαρροών ή υψηλής υγρασίας με έλλειψη εξατμίσις λόγω ενός εμποδίου, όπως η πλαστική μεμβράνη, τα

κατοικίδια είναι η πιο σοβαρή αιτία ξηρής σήψης, καθώς τα άλατα των υγρών ακαθαρσιών τους, μπορούν να κρατήσουν τις πιο εσωτερικές ίνες βαμβακιού υγρές για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ό,τι το απλό νερό, και ως αποτέλεσμα υπάρχει η τάση να δημιουργηθούν δύσκαμπτες και σάπιες περιοχές (μόνιμη βλάβη). Επίσης η Lisa Wagner εξηγεί τη δράση των υγρών ακαθαρσιών, από τη στιγμή που θα έρθουν σε επαφή με το ύφασμα: όταν οι ακαθαρσίες εναποτίθενται για πρώτη φορά σε ένα ύφασμα, έχουν pH περίπου 5 ή 6, το οποίο βρίσκεται στην όξινη πλευρά της κλίμακας pH. Είναι πιο εύκολο να αφαιρεθεί ο λεκές που θα δημιουργηθεί αμέσως μετά την επαφή (όταν είναι φρέσκο). Αν στεγνώσει ο λεκές πάνω στο ύφασμα, το pH γίνεται αλκαλικό (μεταξύ 10 και 12), και είναι δύσκολο να αφαιρεθεί. Η ζεστή όξινη κατάσταση των ακαθαρσιών, προσφέρει ένα τέλειο έδαφος αναπαραγωγής για τα βακτήρια, τα οποία αρχίζουν να πολλαπλασιάζονται σχεδόν αμέσως. Σε αυτήν την αρχική όξινη κατάσταση, οι ακαθαρσίες αρχίζουν να οξειδώνονται και να αντιδρούν με το ύφασμα, για να δημιουργήσουν μια αλλαγή χρώματος η οποία θα γίνει μόνιμη εάν οι ακαθαρσίες δεν αφαιρεθούν αμέσως. Μέρος αυτής της αλλαγής χρώματος μπορεί να αποδοθεί στην ισχυρή αμμωνία που σχηματίζεται καθώς οι ακαθαρσίες περνούν από βακτηριακές και χημικές αλλαγές. Εάν αφεθεί για μέρες ή εβδομάδες, ανάλογα με το ύφασμα, θα αλλάξει τη δομή του, προκαλώντας έτσι μόνιμο λεκέ. Ακόμη και αν αφαιρεθούν οι διαλυτές εναποθέσεις, η ζημιά στη δομή των ινών μπορεί να έχει ήδη γίνει. Στην **εικ. 4.5** παρουσιάζουμε τη φθορά από ξηρή σήψη: στα δείγματα της ζώνης και στα δείγματα από τη μελέτη της Lisa Wagner σε βαμβακερό υπόστρωμα χαλιού και μάλλινο χαλί αντίστοιχα.



**A.** Παρούσα εργασία (Τσατσάλοβα 2023) **B.** Mold and Dry Rot in Rugs and cotton textiles (Lisa Wagner 2023)

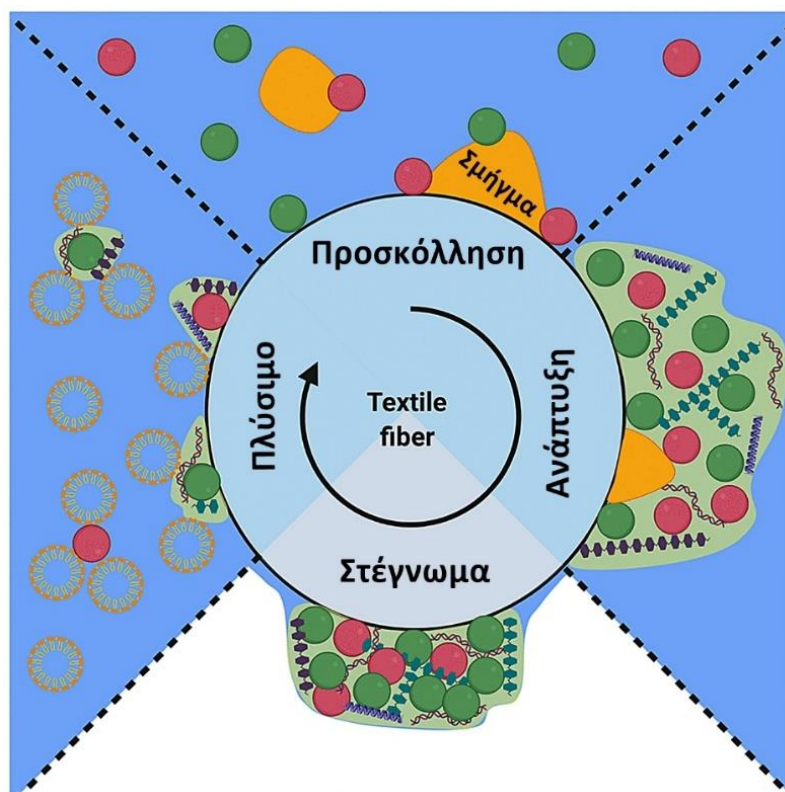
**Εικ. 4.5:** **A.** Παρούσα εργασία. (Τσατσάλοβα, 2023). Οι συγκεκριμένες περιοχές της ζώνης ανήκουν στο μέσο και παρουσιάζουν την πιο έντονη φθορά **B.** Μελέτη Lisa Wagner. Χαλί με βαμβακερές ίνες θεμελίωσης. Ορατά σημάδια μούχλας και ξηρής σήψης στην οπίσθια και στην πρόσθια όψη του χαλιού. Προσαρμογή από Lisa Wagner<sup>29</sup> (2023).

Οι περιοχές της **πρόσθιας όψης** (Z\_2, Z\_3, Z\_5, Z\_6, Z\_7 και Z\_9), παρουσιάζουν απώλεια ύφανσης, ξέφτισμα και ξεθώριασμα στην επιφάνεια αλλά και στα νήματα, λεκέδες καστανού και λευκού χρώματος καθώς και ανάγλυφη επιφάνεια της ύφανσης η οποία έχει καλυφθεί από λιπαρή μαύρη κρούστα (Z\_3). Οι ίνες σε αυτές τις περιοχές είναι αποδυναμωμένες και εύθρυπτες. Αυτές οι φθορές και η παρουσία βιοφίλμ σε όλα τα δείγματα, μας παραπέμπουν στις φθορές από ιδρώτα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (§ 4.1.1), η τριβή και ο ιδρώτας, είναι ικανά να προκαλέσουν χρωματικές αλλοιώσεις στο ύφασμα (Yumėi *et al.* 2018). Οι πρωταρχικές αιτίες της εφίδρωσης είναι η άσκηση, η σωματική δραστηριότητα, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, ο φόβος και ο πυρετός. Επίσης το ύφασμα τείνει στην αλλοίωση του χρώματος, όταν υπάρχει υπερβολική τριβή. Αυτή η τριβή αυξάνεται λόγω της υδαρής κατάστασης του ιδρώτα.

Σε σύγχρονη μελέτη (Møllebjerg *et al.* 2021), **έχει αποδειχτεί** πως η κύρια θρεπτική πηγή βακτηρίων στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, είναι ο αποκρινικός ιδρώτας που εισάγεται στις ίνες κατά την εφίδρωση. Ο Møllebjerg και οι συνεργάτες του, εξηγούν πως ο βακτηριακός αποικισμός και η ανάπτυξή τους στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, είναι δυναμικά φαινόμενα που υφίστανται περιοδικά στάδια

<sup>29</sup> Άρθρο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Σελίδα άρθρου: <https://rugchick.com/mold-and-dry-rot-in-rugs/>

ανάπτυξης, καθώς το ύφασμα φθείρεται, στεγνώνει, πλένεται και ξαναφοριέται (εικ. 4.6). Στο πρώτο στάδιο, τα βακτήρια του δέρματος εισάγονται στο ύφασμα κατά τη διάρκεια έντονης εφίδρωσης. Ο ιδρώτας διοχετεύεται στο ύφασμα και μεταφέρει τα αιωρούμενα βακτήρια μαζί του. Τα βακτήρια μπορούν στη συνέχεια να προσκολληθούν στις υφαντικές ίνες. Μετά την προσκόλληση, η ανάπτυξη βιοφίλμ, περιορίζεται από τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών.



**Εικ.4.6:** Σχηματική παράσταση του κύκλου ζωής ενός βακτηριακού βιοφίλμ σε μια υφαντική ίνα. Τα βακτήρια υφίστανται συνεχώς εναλλασσόμενα και περιοδικά στάδια προσκόλλησης, ανάπτυξης, ξήρανσης και πλύσης. Προσαρμογή από Møllebjerg<sup>30</sup> et al. (2021).

Η σύνθεση του αποκριτικού ιδρώτα είναι ένα μίγμα του υδατικού εκκριτικού ιδρώτα και του λιπιδικού σμήγματος του δέρματος. Σε αυτό το μίγμα, το σμήγμα θεωρείται ότι είναι η κύρια πηγή θρεπτικών συστατικών των βακτηρίων. Ο τύπος υφασμάτων που απορροφά περισσότερο σμήγμα, αναμένεται να περιέχει περισσότερα ενεργά βακτήρια. Η επαναλαμβανόμενη χρήση του υφάσματος θα έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση βακτηριακής βιομάζας, τη μείωση της ποιότητας του υφάσματος. Είναι

<sup>30</sup> Άρθρο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Σελίδα άρθρου: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/Spectrum.01185-21>

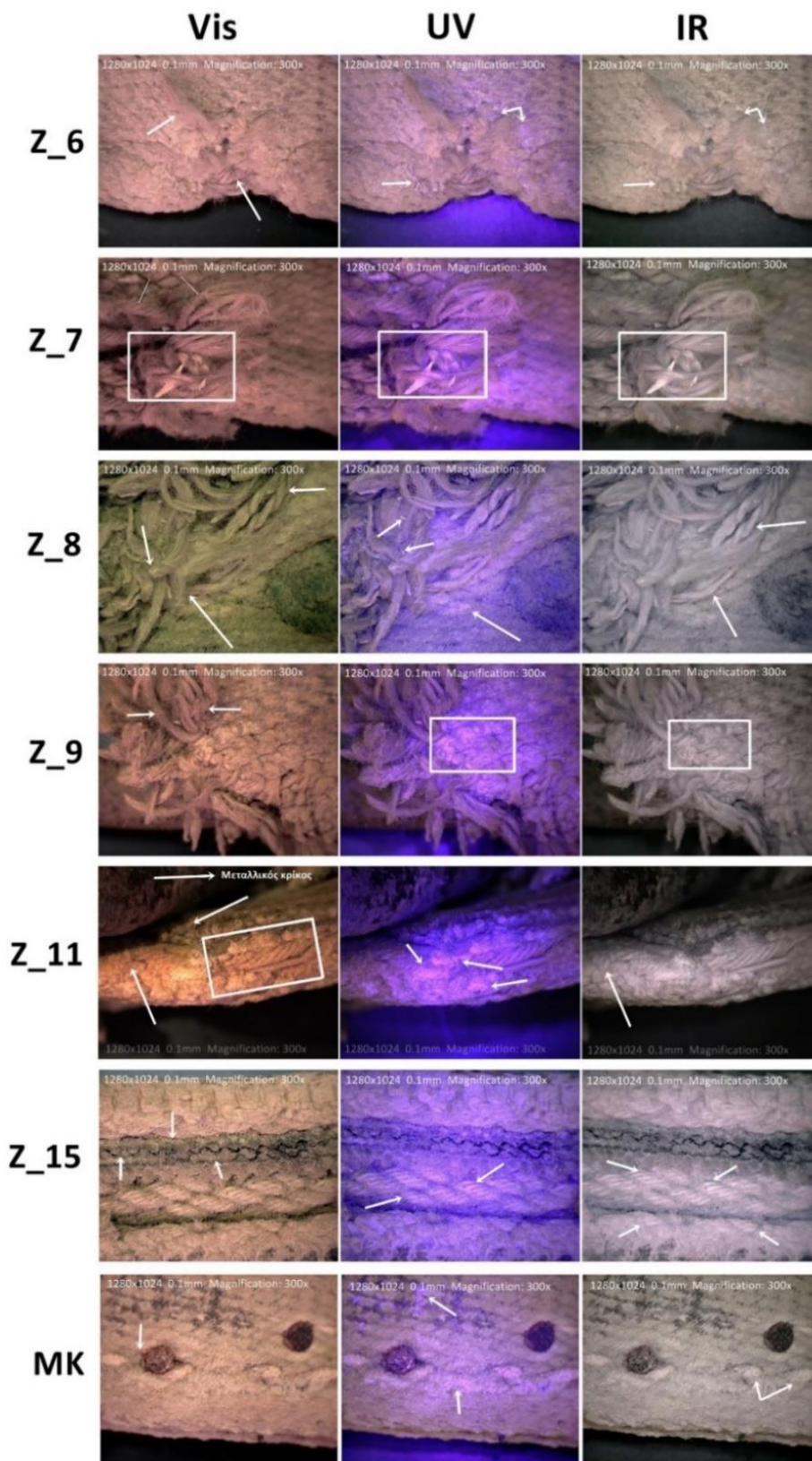
σημαντικό να σημειωθεί ότι τα στάδια δεν συμβαίνουν σε σαφώς καθορισμένες χρονικές περιόδους για όλα τα βακτήρια, και ορισμένες από τις διεργασίες στα διαφορετικά στάδια, συμβαίνουν ταυτόχρονα.

Συγκρίνοντας τα βιβλιογραφικά δεδομένα με τα μέχρι τώρα αποτελέσματά μας, θα μπορούσαμε να πούμε πως η ζώνη (τμήμα πιασινέλλας), έχει υποστεί βιολογικές φθορές από την τριβή, τον ιδρώτα και τις ακαθαρσίες του ζώου, καθώς αυτή ήταν σε επαφή με το δέρμα του.

#### **4.2.2 Παρατήρηση στο Vis UV και IR φάσμα**

Προκειμένου να ολοκληρωθεί η προκαταρκτική μελέτη του αντικείμενου και να επιτευχθεί η δειγματοληψία με την όσο δυνατόν μικρότερη επέμβαση στο αντικείμενο, πραγματοποιήθηκε ψηφιακή μικροσκοπία USB σε τρεις φασματικές περιοχές: UV (400nm), Vis (400-700nm) και IR (940nm). Τα δείγματα που παρατηρήθηκαν στα συγκεκριμένα φάσματα, ήταν τα: Z\_6, Z\_7, Z\_8, Z\_9, Z\_11, Z\_15 και το K. Αυτές οι περιοχές των συγκεκριμένων δειγμάτων, παρουσιάζουν ξεθωριασμένα και ταλαιπωρημένα νήματα καθώς και απώλεια ύφανσης. Στην **εικ. 4.7**, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα.





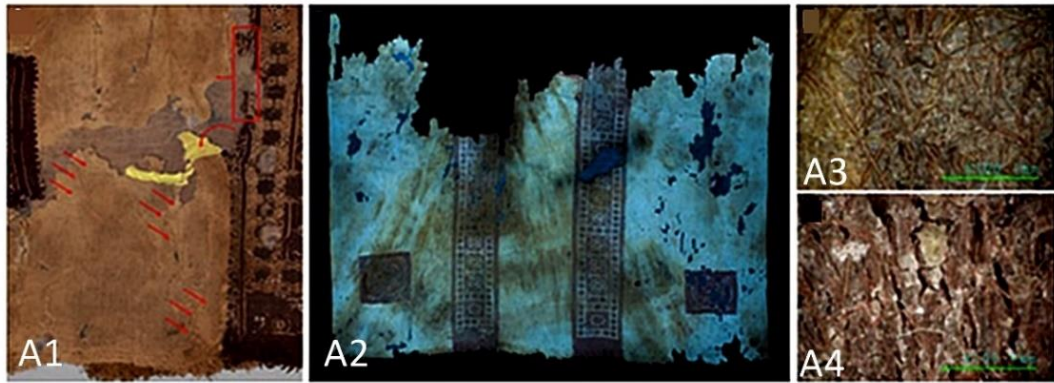
**Εικ. 4.7:** Μικροσκοπική παρατήρηση με το μικροσκόπιο *Dino Light* στο υπεριώδες (UV, 400nm), στο ορατό (Vis, 400-700nm) και στο υπέρυθρο (IR, 940nm) φάσμα. (Τσατσάλοβα 2023).

Όπως διαπιστώνεται από την παραπάνω εικόνα, στο UV και το IR γίνονται διακριτές οι επικαθίσεις, οι φθορές στην επιφάνεια του υφάσματος καθώς και ο σχηματισμός του βιοφίλμ.

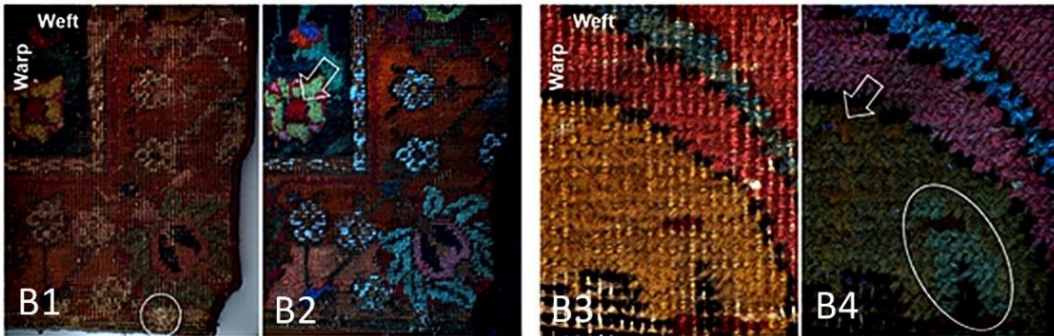
**Συγκεκριμένα:** Οι περιοχές της πρόσθιας όψης της ζώνης (Z\_6, Z\_7 και Z\_9), δίνουν έντονο φθορισμό στο UV, ο οποίος κάνει ορατές τις επικαθίσεις και τις βιολογικές φθορές. Επίσης στο IR, αυτές οι φθορίζουσες περιοχές, παρουσιάζονται λευκότερες και επιβεβαιώνουν την παρουσία του βιοφίλμ. Στην περιοχή Z\_8 (οπίσθια όψη της ζώνης), είναι ορατά τα σημεία της έντονης βιολογικής προσβολής και βιοφίλμ στα ξηλωμένα νήματα. Στην περιοχή της πλάγιας δεξιάς όψης της ζώνης Z\_11, στο UV είναι ορατό το βιοφίλμ που έχει σχηματιστεί γύρω από την απώλεια ύφανσης, ενώ στο IR φαίνεται η ανάγλυφη επιφάνεια της ύφανσης και τα σημεία που το ύφασμα έχει εξασθενήσει από την βιολογική προσβολή. Η περιοχή Z\_15, αφορά το υλικό συμπλήρωσης. Όπως φαίνεται στο UV και στο IR, το υλικό κατασκευής είναι πιο επιρρεπές στη βιολογική προσβολή. Τέλος, η περιοχή που αφορά τα μεταλλικά καρφιά (MK) δείχνει να φθορίζει στο UV η επιφάνεια που έχει φθαρεί, ενώ στο IR είναι ορατή η εξασθένηση κάποιων νημάτων από το σύνολο της ύφανσης.

Σε σύγχρονη μελέτη (Serrano *et al.* 2021), **έχει αποδειχτεί** πως οι μη επεμβατικές τεχνικές απεικόνισης μπορούν να υποστηρίξουν τη συμβατική οπτική παρατήρηση, προσφέροντας βαθύτερες γνώσεις για τα αντικείμενα, και μπορούν να βοηθήσουν στην επιλεκτική δειγματοληψία. Επίσης, ενθαρρύνεται η περαιτέρω διερεύνηση τεχνικών πληροφοριών, καθώς μπορεί να βοηθήσει στη διάκριση των ανωμαλιών χαρακτηριστικών της επιφάνειας του υφάσματος, στον πολύπλοκο αριθμό κόμβων και νημάτων, και τελικά, να συμβάλει στην αξιολόγηση του πλαισίου στο οποίο κατασκευάστηκαν τα αντικείμενα από ύφασμα (**εικ. 4.8B**).

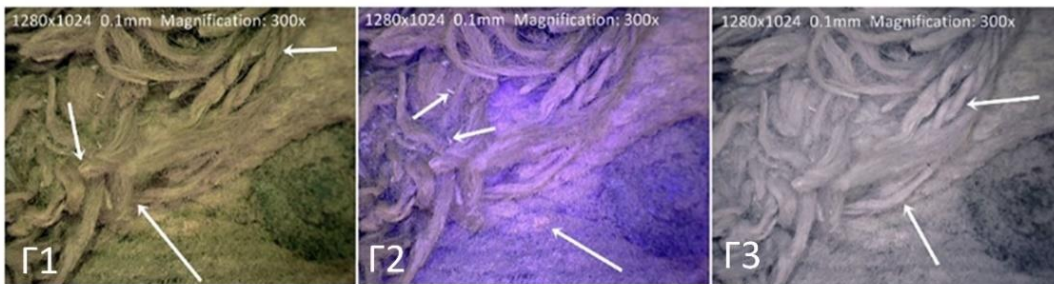
Σε άλλη, σύγχρονη έρευνα, οι Mazzoli and Pessione (2021), **απέδειξαν πως** οι διάφορες φωτογραφικές μέθοδοι που εφαρμόζονται στην συντήρηση κλωστοϋφαντουργικών υλικών για την μελέτη κατάστασης διατήρησης αυτών, είναι δυνατόν να εντοπίσουν τις βλάβες από προηγούμενες λανθασμένες επεμβάσεις αποκατάστασης (**εικ. 4.8A**).



A. Mazzoli and Pessione (2021)



B. Serrano *et al.* (2021)



Γ. Παρούσα εργασία (Τσατσάλοβα 2023)

**Εικ. 4.8:** **A1-A2:** Ορατές φθορές στην οπίσθια όψη του κοπτικού χιτώνα του Αιγυπτιακού Μουσείου του Τορίνο (Ιταλία). **A3-A4:** Λεπτομέρειες των φθορών λόγω εφαρμογής κόλλας στο ύφασμα. Προσαρμογή από Mazzoli and Pessione<sup>31</sup> (2021). Εικόνες από την πρόσθια όψη των θραυσμάτων χαλιού A και B, με ορατό φως (**B1** και **B3**) και φωτισμό UV (365 nm) (**B2** και **B4**). Σημειώνονται: η κατανομή των χρωμάτων, η φορά του σωρού και η επισκευασμένη περιοχή. Προσαρμογή από Serrano<sup>32</sup> *et al.* (2021). **Γ1-Γ2:** Περιοχή Z\_8. Παρούσα εργασία (Τσατσάλοβα 2023).

<sup>31</sup> Άρθρο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Σελίδα άρθρου: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69411-1\\_9#Sec2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69411-1_9#Sec2)

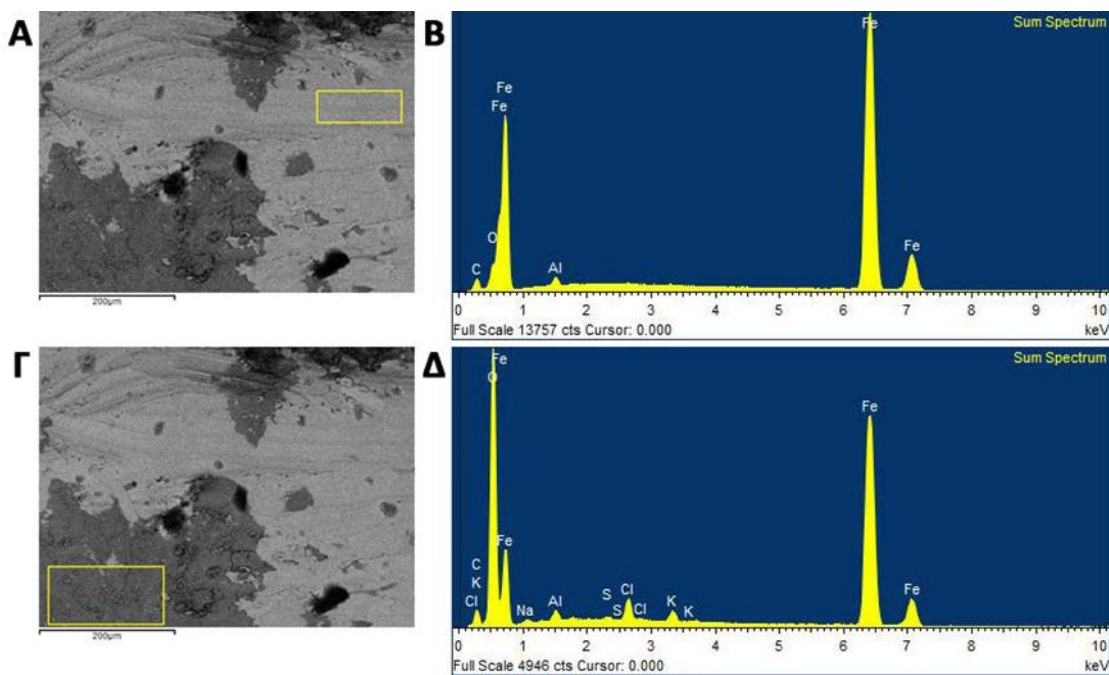
<sup>32</sup> Άρθρο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Σελίδα άρθρου: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207420304519?via%3Dihub>



### 4.2.3 Παρατήρηση στο SEM/EDS

Η μικροσκοπική παρατήρηση των νημάτων με SEM, η ποιοτική και ποσοτική μικροανάλυση καθώς και χαρτογράφηση κατανομής στοιχείων με το φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων Χ (SEM/EDS), επιβεβαίωσε τη βιολογική φθορά των ινών. Η στοιχειακή ανάλυση πραγματοποιήθηκε στα δείγματα των περιοχών που φέρουν επικαθίσεις (Z\_1, Z\_2, Z\_3, Z\_4, Z\_5, Z\_7, Z\_8, Z\_9, Z\_10), και σε δύο περιοχές του μεταλλικού καρφιού (MK), καθώς η συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζει σημειακά -και όχι σε όλη την επιφάνεια- φθορά οξείδωσης (εικ. 4.9).

Τα αποτελέσματα σε όλα τα δείγματα, δείχνουν να περιέχουν τα ίδια στοιχεία σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV). Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα της μελέτης μας, είναι των δειγμάτων: Z\_2, Z\_5, Z\_8 και Z\_9 και παρουσιάζονται στην **εικ. 4.11**.

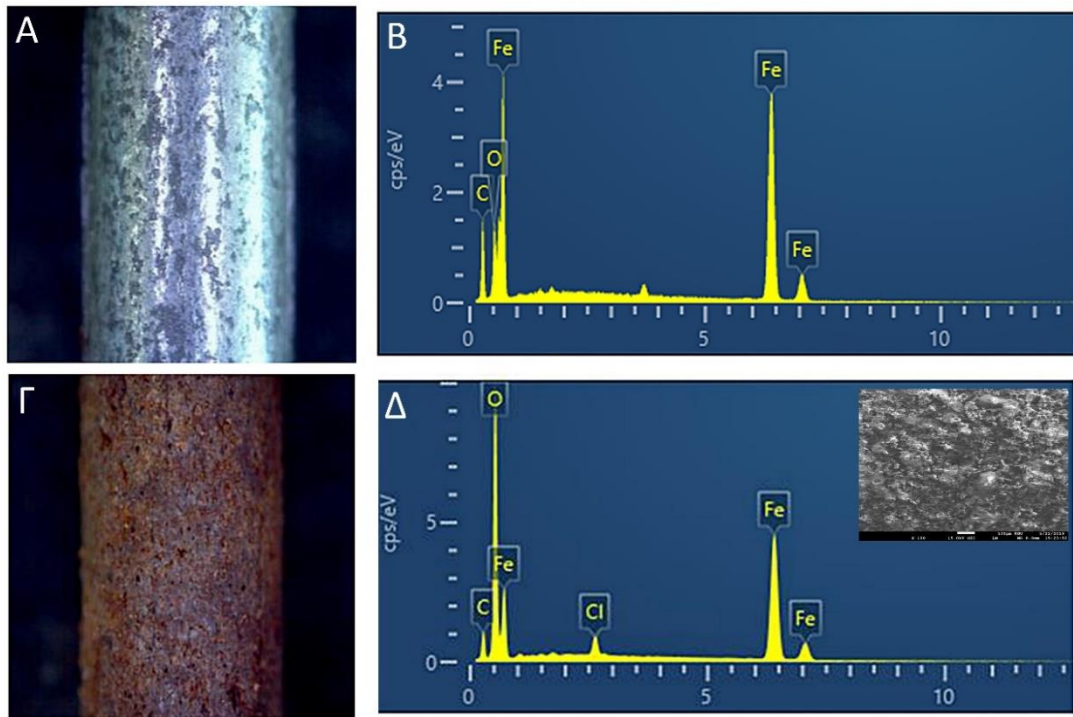


**Εικ. 4.9:** Χαρτογράφηση κατανομής στοιχείων με το φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων Χ (SEM/EDS) του μεταλλικού καρφιού (MK). **A-B:** περιοχή που δεν παρουσιάζει οξείδωση. **Γ-Δ:** περιοχή που παρουσιάζει οξείδωση (Τσατσάλοβα 2023).

Όπως διαπιστώνεται από την παραπάνω εικόνα, τα μεταλλικά καρφιά που βρίσκονται κατά μήκος της ζώνης, είναι κατασκευασμένα από κράματα σιδήρου-άνθρακα (χάλυβας).

**Συγκεκριμένα:** Στη λιγότερο οξειδωμένη περιοχή του καρφιού ανιχνεύθηκαν σίδηρος (Fe), άνθρακας (C), καθώς και οξυγόνο (O), με περιεκτικότητα κατά βάρος: 86.41%, 8,26% και 4,31% αντίστοιχα. Ενώ στην οξειδωμένη περιοχή του καρφιού, παρατηρείται μείωση στη περιεκτικότητα του άνθρακα κατά 63,8% (5,27%) και αύξηση του οξυγόνου κατά 10,57% (40,75%). Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τη διάβρωση/οξείδωση του μεταλλικού καρφιού ή αλλιώς, σκουριά. Η σκουριά είναι μια γενική ονομασία για ένα σύμπλεγμα οξειδίων (FeO) και υδροξειδίων του σιδήρου (FeOH<sub>2</sub>), που εμφανίζονται όταν ο σίδηρος ή ορισμένα κράματα που περιέχουν σίδηρο, εκτίθενται σε οξυγόνο και υγρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα (η σκουριά σχηματίζεται από την αντίδραση Fe και O).

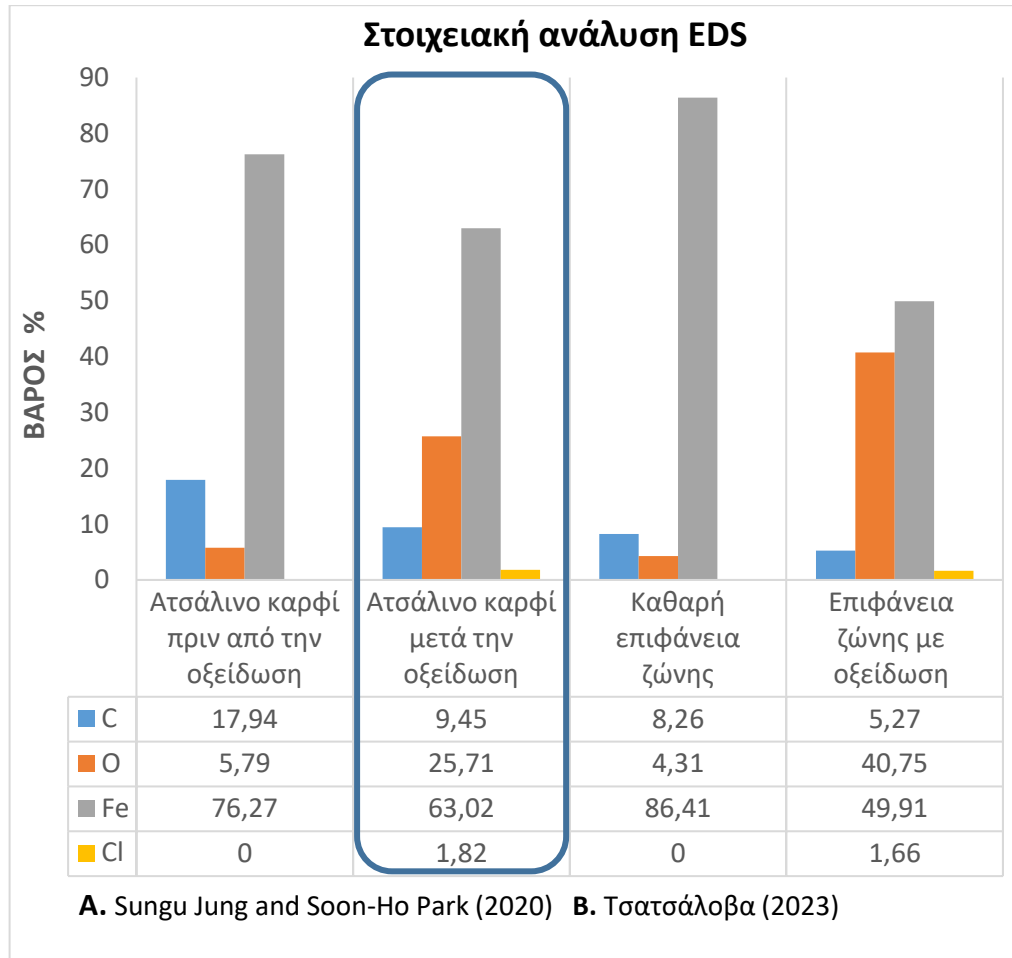
Σε σύγχρονη μελέτη (Sunyu Jung and Soon-Ho Park, 2020), **έχει αποδειχτεί** πως οι δύο ώρες (2h), είναι η βέλτιστη διάρκεια της αντίδρασης οξείδωσης σε μεταλλικά καρφιά. Το άρθρο αφηγείται την απόδοση αφαίρεσης βαρέων μετάλλων (Αρσενικό, As), της σκουριάς οξειδίου του σιδήρου μέσα από πειράματα προσομοίωσης. Το στρώμα οξειδίου του σιδήρου, παρατηρήθηκε σε διάφορους χρόνους οξείδωσης: μετά από 30 λεπτά οξείδωσης είχαν σχηματιστεί επιφάνειες οξειδίου του σιδήρου, αλλά μετά από 1 ώρα, το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του σιδήρου είχε καλυφθεί με το στρώμα οξειδίου. Μετά από 2 ώρες το στρώμα οξειδίου έχει καλύψει πλήρως την επιφάνεια και δεν παρατηρήθηκε περαιτέρω οξείδωση (**εικ. 4.10**).



**Εικ. 4.10:** Το στρώμα οξειδίου του σιδήρου σε διάφορους χρόνους. **A-B:** Μετά από 30 λεπτά οξείδωσης, έχουν σχηματιστεί στην επιφάνεια του μεταλλικού καρφιού, «νησίδες» οξειδίου του σιδήρου. **Γ-Δ:** Μετά από 2 ώρες το στρώμα έχει καλύψει πλήρως την επιφάνεια και δεν παρατηρήθηκε περαιτέρω οξείδωση. Στις στοιχειακές αναλύσεις EDS, παρουσιάζονται αυξημένες οι αναλογίες των στοιχείων Fe και O μετά την τεχνητή οξείδωση, σχηματίζοντας οξείδια του σιδήρου (σκουριά). Προσαρμογή από Sunyu Jung and Soon-Ho Park<sup>33</sup> (2020).

Τα αποτελέσματα ανάλυσης EDS της παρούσας εργασίας έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα ανάλυσης EDS των Sunyu Jung and Soon-Ho Park (2020), καθώς υποδηλώνουν την ταυτότητα του σχηματιζόμενου οξειδίου του σιδήρου στις περιοχές των μεταλλικών καρφιών. Στο **σχ. 4.1** παρουσιάζονται συγκριτικά, οι στοιχειακές αναλύσεις EDS της παρούσας εργασίας και της μελέτης των Sunyu Jung and Soon-Ho Park (2020).

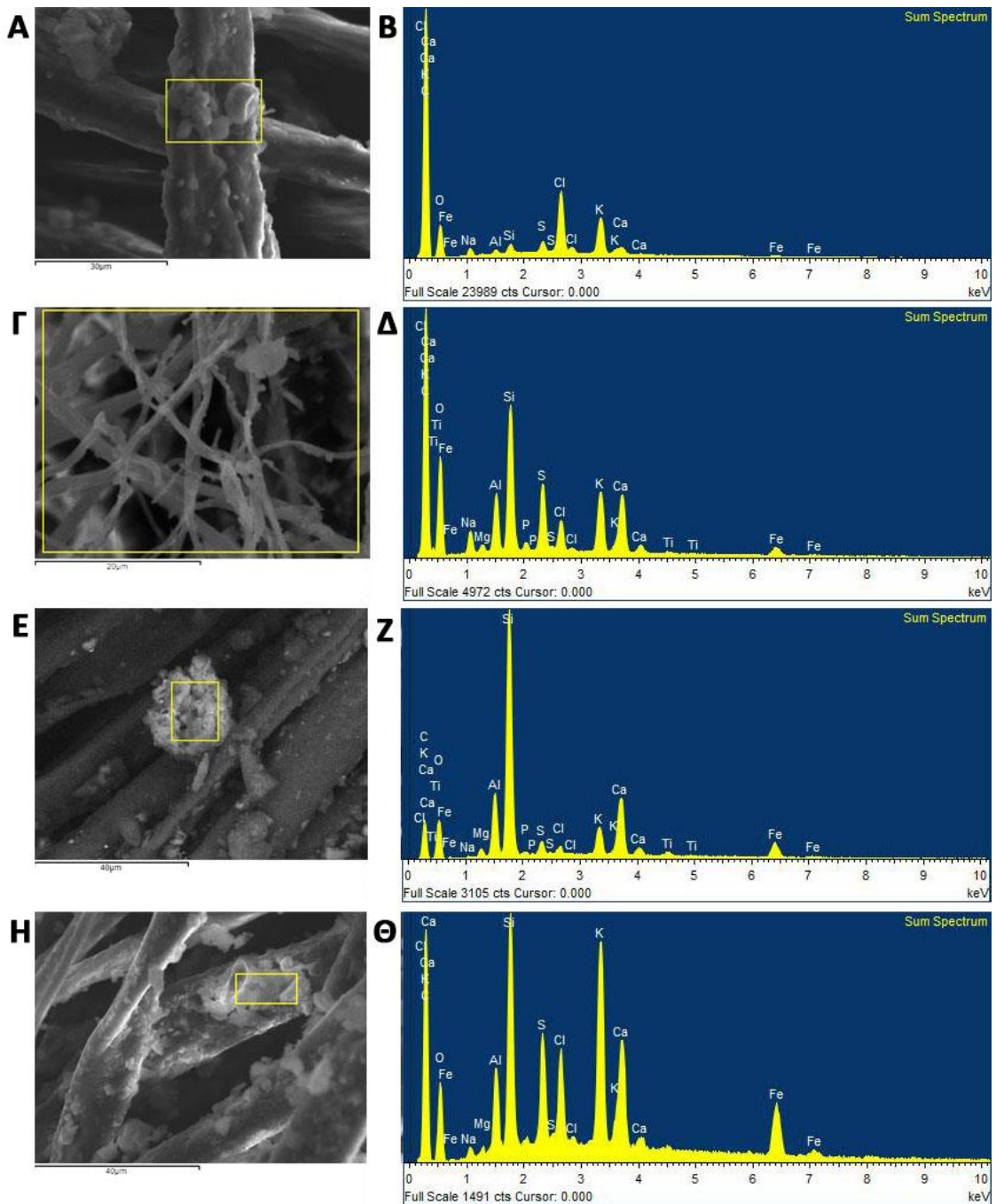
<sup>33</sup> Άρθρο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Σελίδα άρθρου: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/18/e3sconf\\_icepp2020\\_04005/e3sconf\\_icepp2020\\_04005.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/18/e3sconf_icepp2020_04005/e3sconf_icepp2020_04005.html)



**Σχ. 4.1: A:** EDS ανάλυση μεταλλικών καρφιών πριν και μετά την οξείδωση. Πριν από την οξείδωση με υπεροξικό οξύ, ο Fe στην επιφάνεια του καρφιού περιέχει περίπου 11% οξείδωση (λόγω οξείδωσης στον αέρα). Ανιχνεύθηκε C, πιθανώς λόγω του υλικού επιστρώσεως στα καρφιά, σχεδιασμένο να αποτρέπει διάβρωση. Μετά από την τεχνητή οξείδωση η αναλογία του O αυξήθηκε (25.71%). Προσαρμογή από Sungu Jung and Soon-Ho Park<sup>34</sup> (2020).

**B:** EDS ανάλυση μεταλλικών καρφιών της ζώνης. Ομοίως παρατηρείται αύξηση του O (40.75%), ενώ μειώνονται οι αναλογίες του Fe και του C. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τη διάβρωση/σκουριά των μεταλλικών καρφιών της ζώνης (Τσατσάλοβα 2023).

<sup>34</sup> Άρθρο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Σελίδα άρθρου: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/18/e3sconf\\_icepp2020\\_04005/e3sconf\\_icepp2020\\_04005.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/18/e3sconf_icepp2020_04005/e3sconf_icepp2020_04005.html)



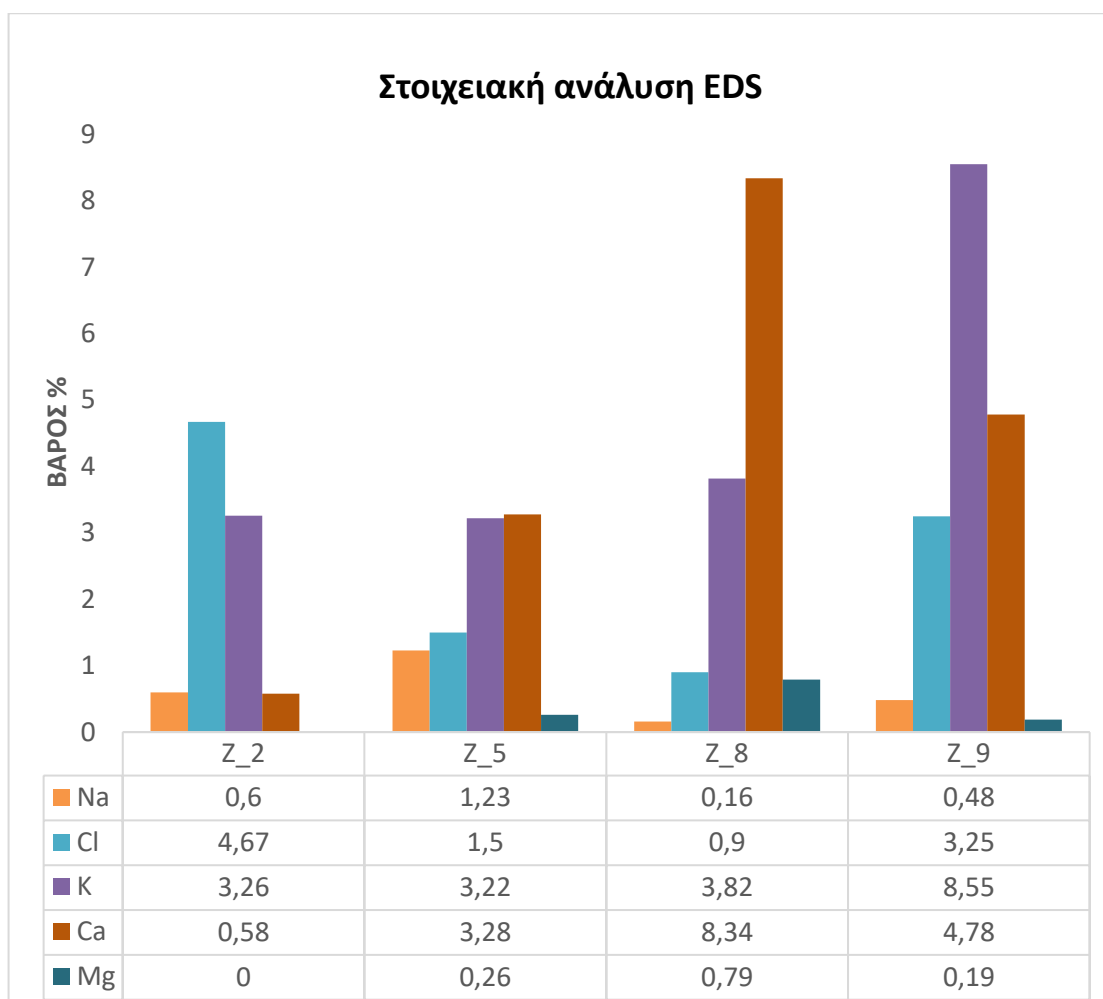
**Εικ. 4.11:** Αποτελέσματα στοιχειακής ανάλυσης επικαθίσεων στα δείγματα **A-B**: Δείγμα Z\_2, από την πρόσθια όψη της ζώνης. **Γ-Δ**: Δείγμα Z\_5, από την πρόσθια όψη της ζώνης. **E-Z**: Z\_8, από την οπίσθια όψη της ζώνης και **H-Θ**: Z\_9, από την πρόσθια όψη της ζώνης. (Τσατσάλοβα 2023).

Από την παραπάνω εικόνα (στοιχειακή ανάλυση), προκύπτει πως ο άνθρακας, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε όλα τα δείγματα και αντιπροσωπεύει την οργανική σύσταση τους. Το 3% αυτής της συγκέντρωσης, προστίθεται στη φάση επανθράκωσης κατά την προετοιμασία του δείγματος. Επίσης σε σημαντική αναλογία (%) παρατηρούνται τα στοιχεία: O, K, Ca, Mg, Al, Si και Cl.

**Συγκεκριμένα:** Οι σημαντικές αναλογίες των στοιχείων C, O, S, Al και Si, 25.47-69.44%, 19.77-30.24%, 0.68-3.42%, 0.19-4.66% και 0.47-20.50% αντίστοιχα, ανήκουν στο ευρύ φάσμα των στοιχείων, ενώσεων και σωματιδίων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ανάλογα με τις συγκεκριμένες πηγές και τους τύπους ρύπων που υπάρχουν στον αέρα. Να σημειωθεί πως το O δε θεωρείται ρύπος από μόνο του, μπορεί να εμπλέκεται στο σχηματισμό άλλων ρύπων, όπως του όζοντος (O<sub>3</sub>) και της φωτοχημικής αιθαλομίχλης. Επίσης τα σωματίδια PM (*Particulate Matters*), είναι ένα σύνθετο μίγμα μικροσκοπικών σωματιδίων και σταγονιδίων που μπορεί να περιλαμβάνει στοιχεία όπως C, S και μέταλλα.

Τα στοιχεία O και Fe, ομοίως παρουσιάζονται σε όλα τα δείγματα σε διαφορετικές αναλογίες, και προκύπτουν από την οξείδωση των μεταλλικών αντικειμένων που συνδέονται με το υφασμάτινο μέρος της ζώνης (αλυσίδες, καρφιά). Η αναλογία των συγκεκριμένων στοιχείων για τα δείγματα Z\_8 και Z\_9, τα οποία έρχονται σε άμεση επαφή με τη μεταλλική αλυσίδα, είναι για το O: 27.61 και 19.95% και για το Fe: 5.19 και 6.34% αντίστοιχα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αναλογίες των στοιχείων Na, K, Ca, Cl, και Mg. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (§ 4.1.1), τα συστατικά που αποβάλλει ο ιδρώτας των αλόγων είναι: Na, K, Ca, Cl, και Mg. Επιπροσθέτως, οι ακαθαρσίες των αλόγων αποτελούνται κυρίως από νερό, με μικρές ποσότητες από ηλεκτρολύτες (όπως Na, K, Cl). Μερικά από τα συγκεκριμένα συστατικά των ακαθαρσιών του αλόγου μπορεί να περιλαμβάνουν κυτταρίνη, λιγνίνη, ημικυτταρίνη, P, Ca, Mg και S. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάστηκαν σε όλα τα δείγματα της ζώνης και ως εκ τούτου επιβεβαιώνεται η προέλευση της βιολογικής προσβολής. Στο **σχ. 4.2** παρουσιάζονται οι σχετικές αναλογίες (%) των συγκεκριμένων στοιχείων, των δειγμάτων που αναλύθηκαν.



**Σχ. 4.2:** EDS ανάλυση των δειγμάτων της ζώνης. Τα συγκεκριμένα στοιχεία περιέχονται στον ιδρώτα, στα βιοφίλμ καθώς και στις ακαθαρσίες του ζώου (Τσατσάλοβα 2023).

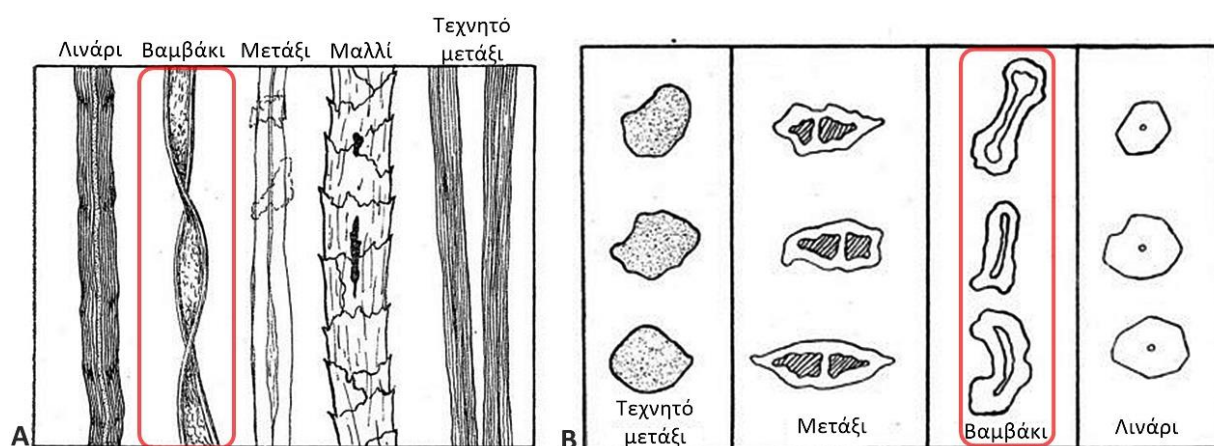
Τα στοιχεία που ανιχνεύθηκαν στην παρούσα μελέτη, και η σχετική αφθονία τους, επιβεβαιώνει, εκτός από τις συνθήκες του ιδρώτα και των ακαθαρσιών, την ύπαρξη μικροοργανισμών. Καθώς δε γνωρίζουμε τις συνθήκες ανάπτυξής τους, οι συγκεκριμένες αναλογίες που αναλύθηκαν, μπορεί να ποικίλλουν επί το συνολικό ποσοστό των στοιχείων. Επίσης, παίζει ρόλο και το είδος του βακτηρίου που αναλύεται. Ωστόσο, στα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης των δειγμάτων (βλ. Παράρτημα IV), παρουσιάστηκαν σε σημαντικές αναλογίες, μερικά από τα κοινά στοιχεία που μπορεί να ανιχνευθούν σε βακτήρια. Αυτά είναι: Ca, O, S, P, K, Ca, Mg, και Cl.



### 4.3 Αποτελέσματα μελέτης υλικού κατασκευής

Προκειμένου τα αποτελέσματα της αναγνώρισης και ταυτοποίησης του υλικού υφάσματος, να είναι αντιπροσωπευτικά, επιλέχθηκαν πέντε δείγματα κατά μήκος του αντικειμένου. Τα τρία ήταν από το υλικό κατασκευής (Z\_2, Z\_3, Z\_8) και δύο από τα υλικό συμπλήρωσης στα άκρα της ζώνης (Z\_15, Z\_16). Στα παραπάνω δείγματα της ζώνης, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός και διατομή ινών.

Χρησιμοποιήθηκαν δείγματα αναφοράς (ίνες από βαμβάκι, λινάρι και κάνναβη 100%) καθώς και ο άτλαντας «*Microscopy in forensic fibre examinations - A practical photo atlas and training tool*». Ο χαρακτηρισμός, η αναγνώριση και η ταυτοποίηση των ινών, έγινε με τη χρήση του άτλαντα (εικ. 4.12), καθώς και με τη σύγκριση των μορφολογικών χαρακτηριστικών μεταξύ των δειγμάτων της ζώνης, και των δειγμάτων αναφοράς.



**Εικ. 4.12: A.** Σχηματική απεικόνιση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των ινών από: λινάρι, βαμβάκι, μαλλί και τεχνητό μετάξι. Στο κόκκινο πλαίσιο παρουσιάζονται τα μοναδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά της βαμβακερής ίνας. **B.** Μορφολογικά χαρακτηριστικά των διατομών των ινών από: τεχνητό μετάξι, μετάξι, βαμβάκι και λινάρι. Στο κόκκινο πλαίσιο παρουσιάζονται τα μοναδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά της διατομής της βαμβακερής ίνας. Προσαρμογή από Kris De Wae<sup>35</sup> (2021)

<sup>35</sup> Βιβλίο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
Ιστοσελίδα βιβλίου (Επιλογή φωτογραφιών από το Κεφάλαιο 2): <https://www.cobaltbluecoaching.be/fibre-microscopy-atlas>



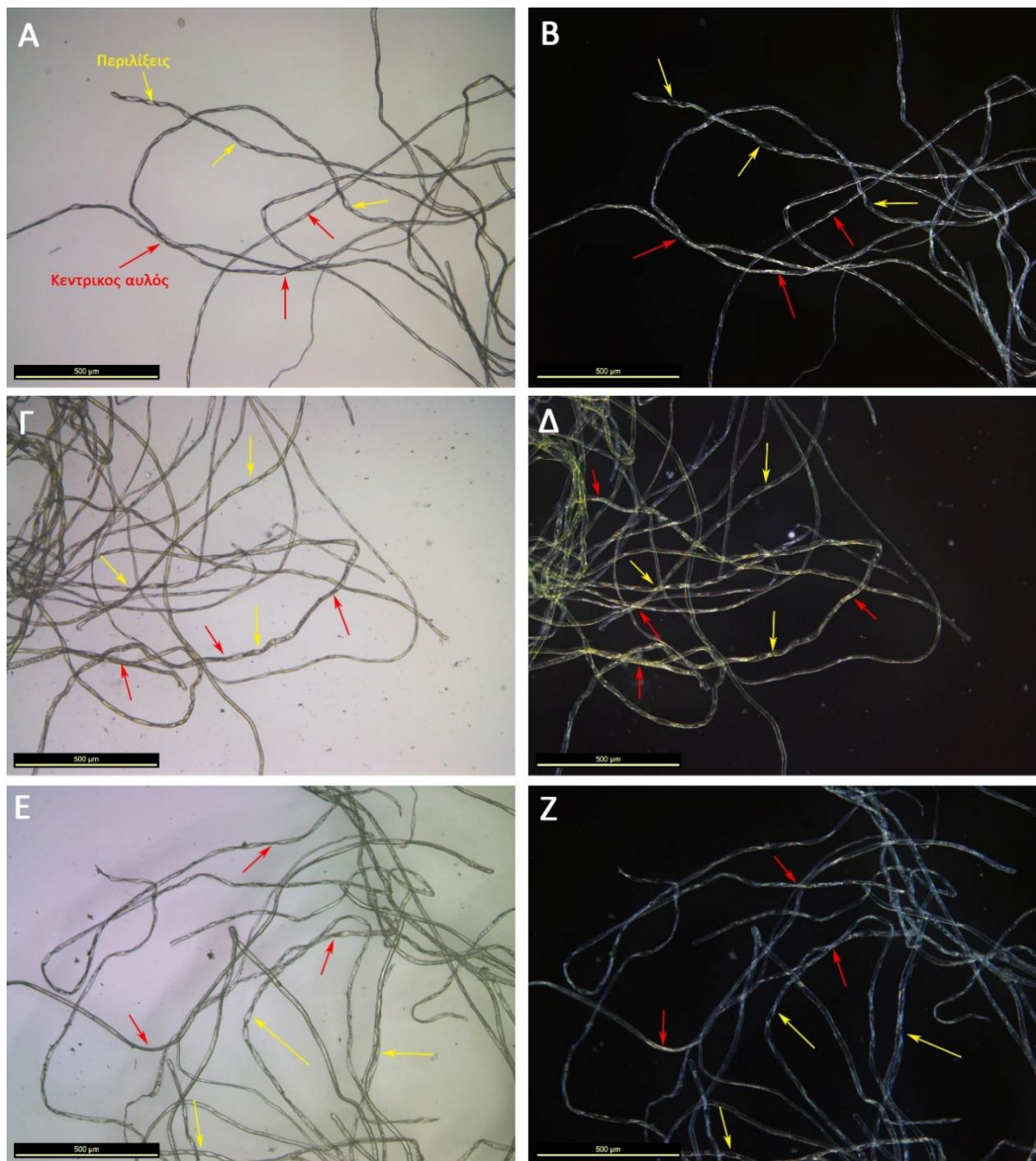
Τα αποτελέσματα της παρατήρησης των δειγμάτων που προαναφέρθηκαν επιβεβαιώνουν πως το υλικό κατασκευής της ζώνης, είναι 100% από βαμβακερές ίνες. **Συγκεκριμένα:**

#### ❖ Διαχωρισμός ινών

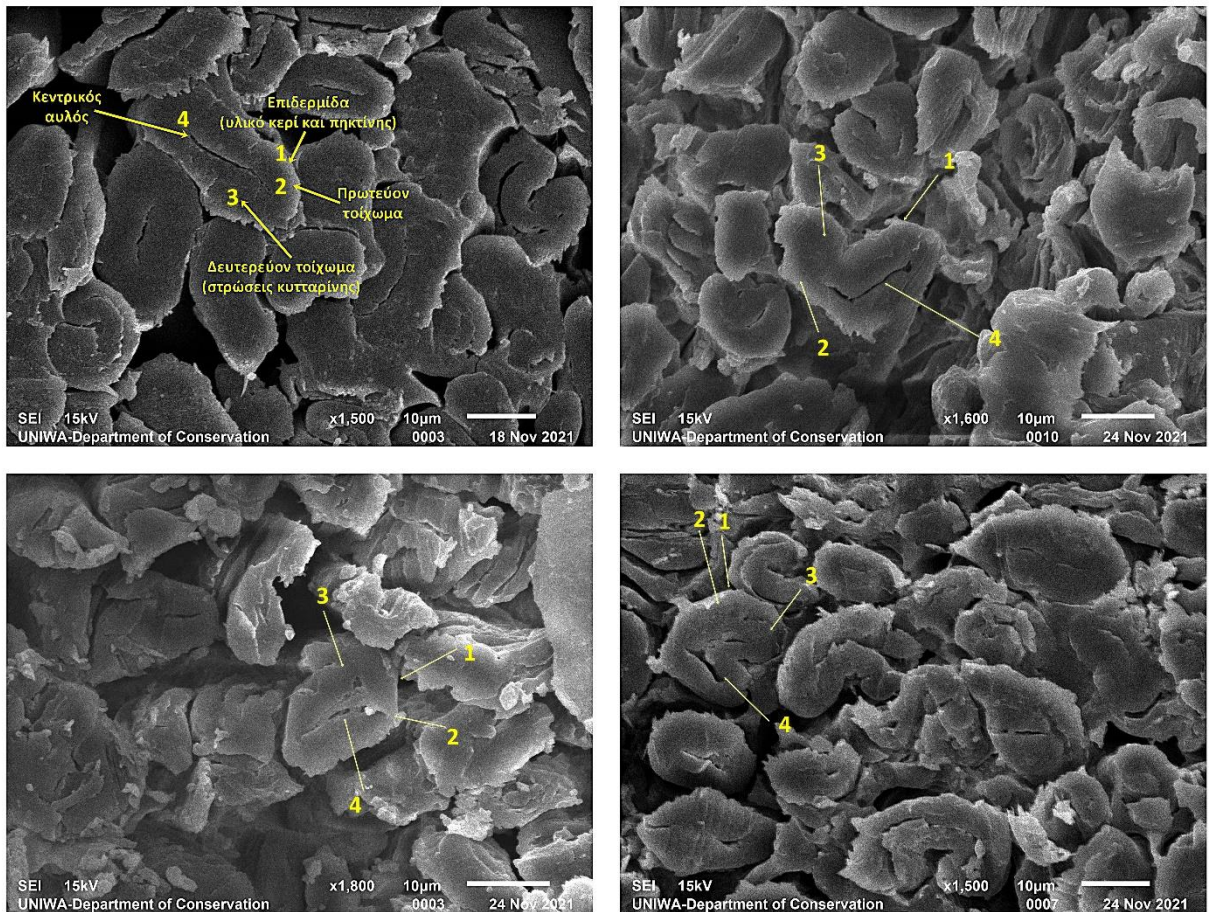
Κατά την μικροσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων με OM, στο φωτεινό (BF) και σκοτεινό πεδίο (DF), ταυτοποιήθηκαν τα μοναδικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των βαμβακερών ινών, όπως: *το σχήμα*, οι ίνες βαμβακιού είναι γενικά επιμήκεις και πεπλατυσμένες με σχήμα σαν κορδέλα, *τον αυλό (Lumen)*, οι ίνες βαμβακιού έχουν έναν κοίλο πυρήνα, που ονομάζεται αυλός και εκτείνεται κατά μήκος της ίνας, και τα *χαρακτηριστικά της επιφάνειας* των βαμβακερών ινών, η οποία καλύπτεται από μικροσκοπικά λέπια ή έλικες, που δίνουν στις ίνες μια χαρακτηριστική «στριμμένη» εμφάνιση (**εικ. 4.13**).

#### ❖ Διατομή ινών

Κατά την μικροσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων με SEM, ταυτοποιήθηκαν τα μοναδικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των διατομών των βαμβακερών ινών, όπως: *το σχήμα*, η διατομή της ίνας βαμβακιού έχει σχήμα, κατά προσέγγιση, κυκλικό ή ελλειπτικό, *το κυτταρικό τοίχωμα* των ινών βαμβακιού το οποίο είναι παχύ και αποτελείται κυρίως από κυτταρίνη, και *τον αυλό (Lumen)* των ινών βαμβακιού, ο οποίος είναι σχετικά μικρός, καταλαμβάνοντας μόνο το 5-10% του συνολικού όγκου της ίνας (**εικ. 4.14**).



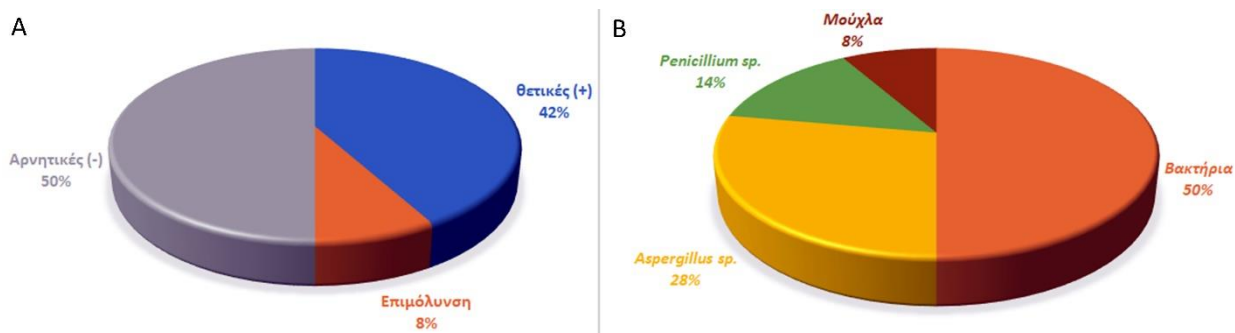
**Εικ. 4.13:** Οπτική μικροσκοπία (ΟΜ) ινών σε φωτεινό (αριστερά) και σκοτεινό (δεξιά) πεδίο. **A-B:** δείγμα αναφοράς βαμβακερής ίνας **B-G:** δείγμα Z\_2 από το ύφασμα κατασκευής της ζώνης και **E-Z:** δείγμα Z\_15 από το ύφασμα συμπλήρωσης στη ζώνη. Μεγέθυνση 5x. Στη μικροσκοπία ινών βαμβακιού, η μικροσκοπία φωτεινού πεδίου χρησιμοποιείται συχνά για να εξετάσει τη συνολική δομή της ίνας, συμπεριλαμβανομένου του μήκους, του πλάτους και της διαμέτρου του αυλού της, ενώ η μικροσκοπία σκοτεινού πεδίου χρησιμοποιείται συνήθως για την ανίχνευση επιφανειακών ελαττωμάτων και ρύπων που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα της βαμβακερής ίνας (Τσατσάλοβα 2023).



**Εικ. 4.14:** Εικόνες SEM διατομών ινών **A:** διατομή βαμβακερών ινών (δείγμα αναφοράς). **Β-Γ:** διατομή των δειγμάτων Z\_2 και Z\_8, (ύφασμα κατασκευής) και **Δ:** διατομή δείγματος Z\_15 (ύφασμα συμπλήρωσης), (Τσατσάλοβα 2023).

## 4.4 Αποτελέσματα μικροβιολογικής μελέτης

Στην **εικ.4.15**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μικροβιολογικής μελέτης μετά από στατιστική επεξεργασία.



**Εικ. 4.15:** Στατιστική επεξεργασία **A:** συνολικών αποτελεσμάτων της μικροβιολογικής μελέτης και **B:** αποτελεσμάτων θετικών καλλιεργειών (Τσατσάλοβα 2023).

Όπως διαπιστώνεται από την παραπάνω εικόνα, το 50% της μελέτης **δεν** έδωσε αποτελέσματα για μικροοργανισμούς, ενώ το υπόλοιπο μισό, έδωσε ενδιαφέροντα αποτελέσματα, καθώς υπήρξαν **ταυτόχρονες αναπτύξεις μικροοργανισμών** στο ίδιο τρυβλίο.

**Συγκεκριμένα:** Από τα 62 τρυβλία (100%), που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, τα 26 (41.93%) παρουσίασαν ανάπτυξη μικροοργανισμών, τα 5 (8.6%) παρουσίασαν επιμόλυνση στο θρεπτικό υλικό, και 31 (50%), δεν παρουσίασαν ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η 100% ανάπτυξη των μικροοργανισμών ταξινομήθηκε σύμφωνα με το είδος μικροοργανισμών που αναπτύχθηκαν. Τα βακτήρια (*Gram-* και *Gram+*), αποτελούν το 69.23% της μικροβιολογικής μελέτης, οι μύκητες (*Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*), το 57.69% και τέλος το 11.53% αποτελεί η μούχλα. Στον **πιν. 4.4**, παρουσιάζονται αναλυτικά τα είδη μικροοργανισμών που ταυτοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

**Πιν. 4.4:** Παρουσίαση των ειδών μικροοργανισμών που ταυτοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία (Τσατσάλοβα 2023).

Μικροοργανισμοί	Τρυβλία*	Ταυτοποίηση
Βακτήρια	18	Gram+ 38.46%
		Gram- 30.77%
Μύκητες	15	<i>Aspergillus</i> sp. 38.46%
		<i>Penicillium</i> sp. 19.23%
Μούχλα	3	11.53%
*Ταυτόχρονη ανάπτυξη μικροοργανισμών στα περισσότερα τρυβλία της μελέτης.		

Η επιλογή των στερεών θρεπτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, βασίστηκε στη βιβλιογραφία και σε παρόμοιες μελέτες όπως: η διερεύνηση βιοφιλμ σε ιστορικά υφάσματα, μελέτες παραγόντων, όπως η ηλικία και η κατάσταση των υφασμάτων, καθώς και οι συνθήκες αποθήκευσης οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν τον τύπο και την αφθονία των μικροοργανισμών. Στο **πιν. 4.5**, παραθέτουμε τα πρόσφατα βιβλιογραφικά δεδομένα όπου πραγματεύονται τη διερεύνηση επικαθίσεων σε δείγματα πολιτιστικής κληρονομιάς, με μικροβιολογικές μελέτες.

Στον **πιν. 4.6** παρουσιάζουμε την πορεία ανάπτυξης μικροοργανισμών σε αερόβιες συνθήκες στα θρεπτικά υλικά που επιλέχθηκαν για την παρούσα μελέτη.



**Πιν. 4.5:** Βιβλιογραφικά δεδομένα επί των μικροβιακών μελετών (καλλιέργειες σε στερεά θρεπτικά υλικά), για τη διερεύνηση επικαθίσεων μικροοργανισμών και μυκήτων σε δείγματα πολιτιστικής κληρονομιάς.

Δείγμα	Θρεπτικά υλικά	Ταυτοποίηση	Βιβλιογραφία
Παραδοσιακό χειροποίητο ανδρικό παλτό από την κουλάδα Mara, της Ρουμανίας	SDA	<i>Aspergillus</i> sp. <i>Mucor</i> sp. <i>Penicillium</i> sp.	Ilies <i>et al.</i> 2021
Αρχαιολογικά κλωστοϋφαντουργικά είδη από το Εθνικό Μουσείο Sohag της Αιγύπτου	SDA PDA	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Trichoderma</i> sp. <i>Penicillium</i> sp. <i>Alternaria</i> sp.	Abo Elmaaref <i>et al.</i> 2020
Γυναικείο παραδοσιακό πουκάμισο, από την ιστορική περιοχή Μαραμούρες της Ρουμανίας	SDA	<i>Penicillium</i> sp. <i>Fusarium</i> sp. <i>Alternaria</i> sp. <i>Candida</i> sp.	Marcu <i>et al.</i> 2020
Ιστορικά υφάσματα από το Αιγυπτιακό Μουσείο και το Κοπτικό Μουσείο Καΐρου	CZA	<i>Alternaria</i> sp. <i>Aspergillus</i> sp. <i>Penicillium</i> sp.	Abdel-Kareem, 2010
Ανάπτυξη μυκήτων στα υφάσματα των διαστημικών στολών του Apollo (Εθνικό Μουσείο Αεροπορίας και Διαστήματος των ΗΠΑ Smithsonian Institution)	MSM	<i>Cladosporium</i> sp. <i>Paecilomyces</i> sp.	Breuker <i>et.al.</i> , 2003
<b>Ταυτοποίηση και χαρακτηρισμός βιολογικών επικαθίσεων υφασμάτινης ζώνης από το Δίκτυο Συλλογών Λαογραφίας-N. Φλώρινας</b>	SDA PDA CA BL	<i>Aspergillus</i> sp. <i>Bacillus</i> sp. <i>Penicillium</i> sp.	<b>Τσατσάλοβα, 2023</b>

**CA:** Cetrimide Agar, **SDA:** Sabouraud Dextrose Agar, **PDA:** Potato Dextrose Agar, **BL:** Blood agar, **MC:** Mac Conkey agar, **CZA:** Principle of Czapek's Agar, **MSM:** Mineral Salts Medium.

**Πιν. 4.6:** Πορεία ανάπτυξης μικροοργανισμών σε αερόβιες συνθήκες. Χρόνος παρακολούθησης μικροβιακών καλλιεργειών: 15 μέρες (Τσατσάλοβα Χριστίνα).

Δείγμα	Θρεπτικά υλικά	Επώαση 37° C			Επώαση 28° C		
		24hr	48hr	4 μέρες	7 μέρες	11 μέρες	15 μέρες
<b>Z_1</b>	CA	-	-	-	-	-	+
	SDA	-	-	-	-	-	+(E)
	PDA	-	-	-	-	-	+(E)
	MA	-	-	-	-	-	-
<b>Z_2</b>	CA	-	-	-	-	-	-
	SDA	-	-	-	+(E)	+(E)	+(E)
	PDA,MA	-	-	-	-	-	-
<b>Z_3</b>	CA	-	-	-	+	+	+
	SDA	-	+	+	+	+	+
	PDA, MA	-	-	-	-	-	-
<b>Z_4</b>	CA	-	-	-	-	-	+
	SDA	-	+	+	+	+	+
	PDA,MA	-	-	-	-	-	-
	MC	-	-	-	+(E)	+(E)	+(E)
	BL	+	+	+	+	+	+
<b>Z_5</b>	CA	-	-	-	+	+	+
	SDA	-	-	-	+(E)	+(E)	+(E)
	PDA,MA	-	-	-	-	-	-
<b>Z_6</b>	CA, PDA, MA	-	-	-	-	-	-
	SDA	-	+	+	+	+	+
<b>Z_7</b>	CA, PDA, MA	-	-	-	-	-	-
	SDA	-	+	+	+	+	+
	BL	+	+	+	+	+	+



<b>Z_8</b>	CA	-	-	+	+	+	+
	SDA	-	+	+	+	+	+
	PDA	-	-	+	+	+	+
	MA	-	-	-	-	-	-
	BL	+	+	+	+	+	+
<b>Z_9</b>	CA, PDA, MA	-	-	-	-	-	-
	SDA	-	-	+	+	+	+
<b>Z_10</b>	CA	-	-	+	+	+	+
	SDA	-	+	+	+	+	+
	PDA, MA	-	-	-	-	-	-
<b>Z_11</b>	CA, PDA, MA	-	-	-	-	-	-
	SDA	-	+	+	+	+	+
<b>Z_12</b>	CA	-	+	+	+	+	+
	SDA	-	+	+	+	+	+
	PDA, MA	-	-	-	-	-	-
<b>Z_13</b>	CA	-	+	+	+	+	+
	SDA	-	+	+	+	+	+
	PDA, MA	-	-	-	-	-	-
<b>Z_14</b>	CA	-	-	+	+	+	+
	SDA	-	-	+	+	+	+
	PDA, MA	-	-	-	-	-	-
<b>Z_15</b>	MC	-	-	-	+	+	+
	BL	-	-	+	+	+	+

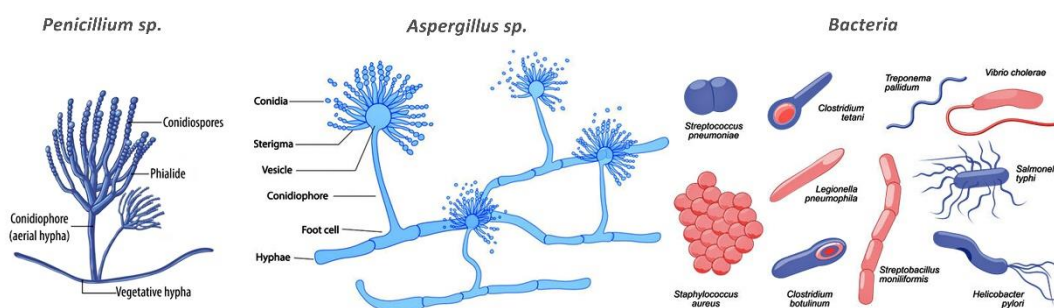
(E): επιμόλυνση θρεπτικού υλικού, **CA**: Cetrimide Agar, **SDA**: Sabouraud Dextrose Agar, **PDA**: Potato Dextrose Agar, **MA**: Malt Agar, **BL**: Blood agar, **MC**: Mac Conkey agar.

Όπως διαπιστώνεται από τον παραπάνω πίνακα, οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται σε διαφορετικούς χρόνους σε ένα θρεπτικό μέσο. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες.

**Συγκεκριμένα:** κάθε μικροοργανισμός έχει μοναδικό ρυθμό ανάπτυξης και βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης. Για παράδειγμα, ορισμένα βακτήρια απαιτούν περιβάλλοντα πλούσια σε οξυγόνο

(αερόβιες συνθήκες) για ανάπτυξη, ενώ άλλα απαιτούν αναερόβιες συνθήκες (έλλειψη οξυγόνου). Επιπλέον, ορισμένοι μικροοργανισμοί απαιτούν συγκεκριμένα θρεπτικά συστατικά, pH, θερμοκρασία και επίπεδα αλατότητας για την ανάπτυξή τους και αυτές οι συνθήκες μπορεί να μην είναι οι βέλτιστες στο θρεπτικό μέσο. Ένας άλλος παράγοντας, είναι το αρχικό μέγεθος πληθυσμού των μικροοργανισμών στο θρεπτικό μέσο το οποίο μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό ανάπτυξής τους. Όταν το αρχικό μέγεθος του πληθυσμού είναι μικρό, οι μικροοργανισμοί έχουν πρόσβαση σε περισσότερα θρεπτικά συστατικά και χώρο για να αναπτυχθούν, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερους ρυθμούς ανάπτυξης. Αντίθετα, ένα μεγαλύτερο αρχικό μέγεθος πληθυσμού, μπορεί να οδηγήσει σε ανταγωνισμό για θρεπτικούς πόρους και βραδύτερους ρυθμούς ανάπτυξης. Τέλος, ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών μπορεί να επηρεαστεί και από την παρουσία άλλων μικροοργανισμών στο θρεπτικό μέσο. Μερικοί μικροοργανισμοί μπορούν να παράγουν ανασταλτικές ενώσεις που περιορίζουν την ανάπτυξη άλλων μικροοργανισμών, ενώ άλλοι μπορεί να σχηματίσουν σχέσεις συνεργασίας που ενισχύουν την ανάπτυξη.

Στον **πιν 4.7**, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των μικροβιακών καλλιεργειών. Ο χαρακτηρισμός, η αναγνώριση και η ταυτοποίηση των μικροοργανισμών, έγινε με τη χρήση του άτλαντα *Atlas of Clinically Important Fungi* (**εικ. 4.16**).



**Εικ. 4.16:** Σχηματική απεικόνιση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των μυκήτων *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.* και βακτηρίων. Προσαρμογή από Carmen V. and Sciortino Jr.<sup>36</sup> (2017).

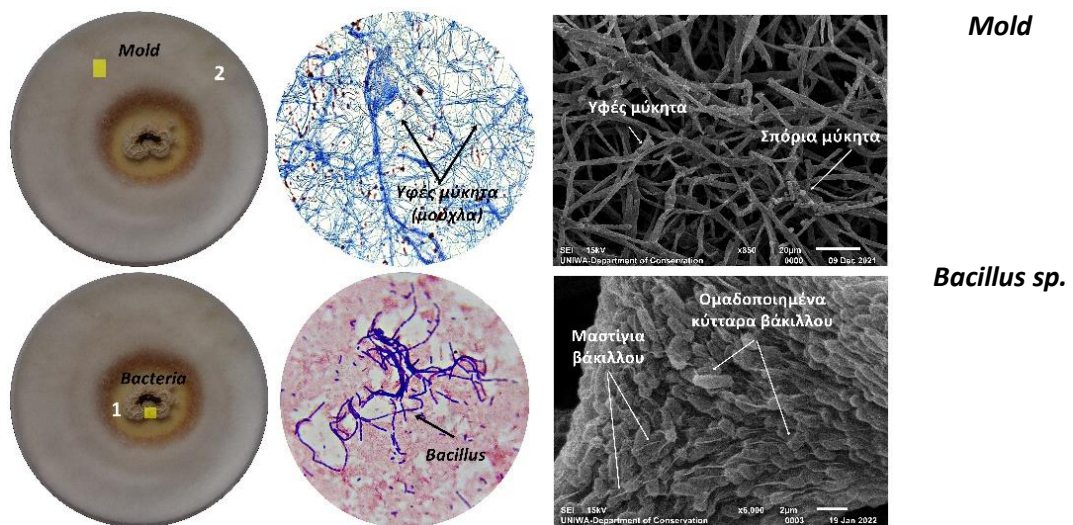
<sup>36</sup> Βιβλίο ανοιχτής πρόσβασης (Open Access) που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της Άδειας Δημόσιας Χρήσης Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/?lang=el>  
 Ιστοσελίδα βιβλίου: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781119069720>

**Πιν.4.7:** Παρουσίαση αποτελεσμάτων μικροβιακών καλλιεργειών σε διάφορα στερεά θρεπτικά. Μικροσκοπική και μακροσκοπική παρατήρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών των μικροοργανισμών με στερεοσκόπιο, OM και SEM. Χαρακτηρισμός μυκήτων με *Lactophenol Cotton Blue (LPCB)*, μεγέθυνση: 40x. Χαρακτηρισμός βακτηρίων με χρώση κατά *Gram*, μεγέθυνση: 100x. Μεγέθυνση στο στερεοσκόπιο: 7x (Τσατσάλοβα 2023).

Μικροσκοπική παρατήρηση			
Αποικίες	OM	SEM	Ταυτοποίηση

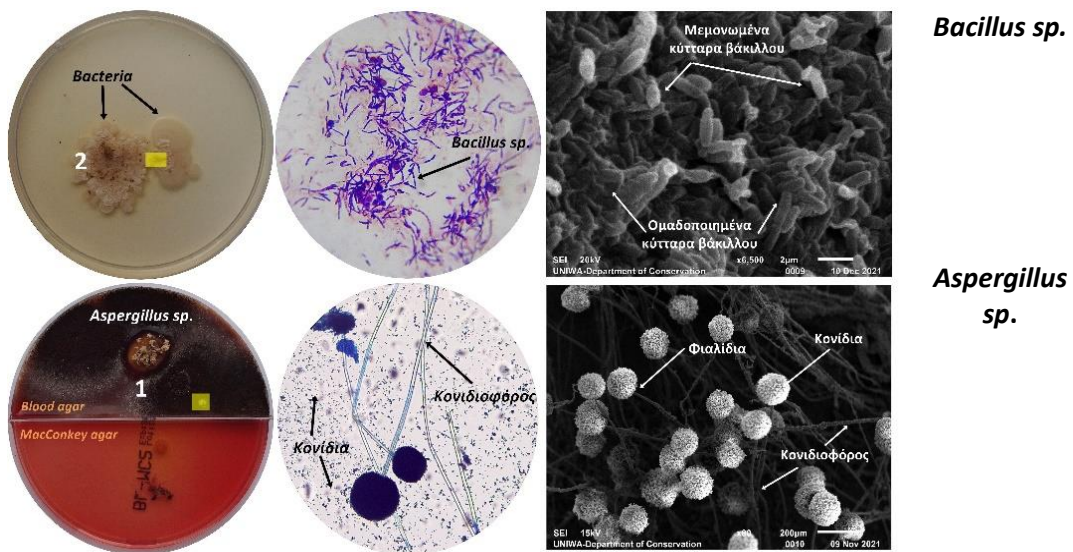
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Δείγμα Z\_3. Θρεπτικό υλικό : SDA.

1,2: Μακροσκοπική παρατήρηση αποικιών την 7<sup>η</sup> μέρα επώασης (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI).



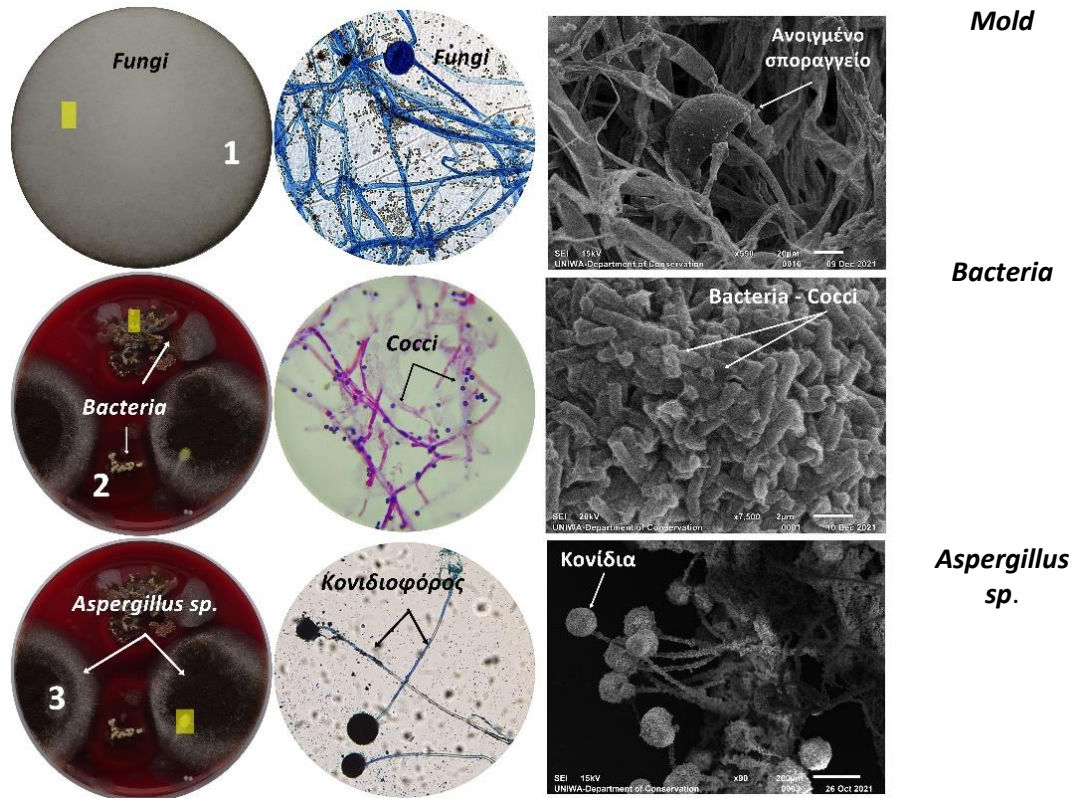
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Δείγμα Z\_4. Θρεπτικά υλικά: SDA και BL.

1,2: Μακροσκοπική παρατήρηση αποικιών την 15<sup>η</sup> μέρα και 7<sup>η</sup> μέρα επώασης αντίστοιχα (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI).

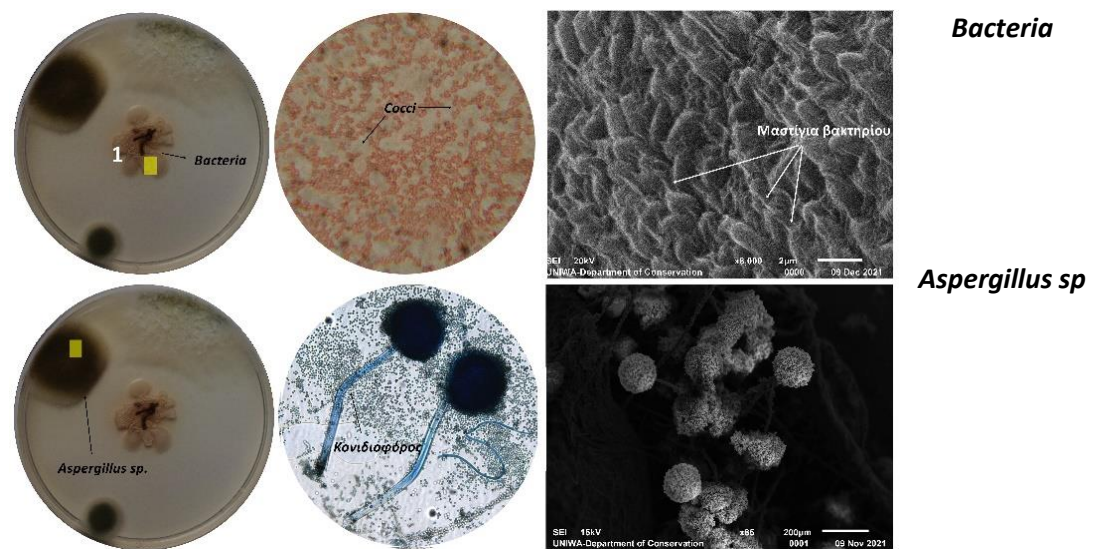




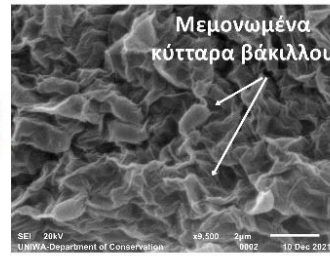
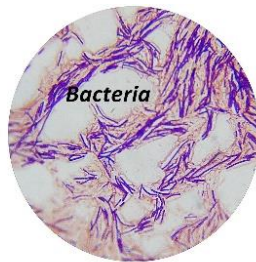
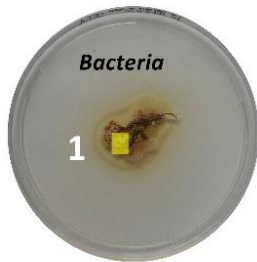
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Δείγμα Z\_7. Θρεπτικά υλικά: SDA και BL.  
 1,2,3: Μακροσκοπική παρατήρηση αποικιών την 7<sup>η</sup> μέρα και 15<sup>η</sup> μέρα  
 επώσης αντίστοιχα (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI).



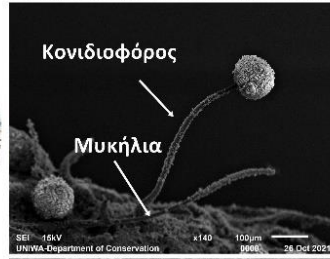
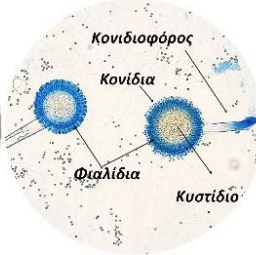
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Δείγμα Z\_10. Θρεπτικό υλικό : SDA.  
 1: Μακροσκοπική παρατήρηση αποικιών την 7<sup>η</sup> μέρα επώσης  
 (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI).



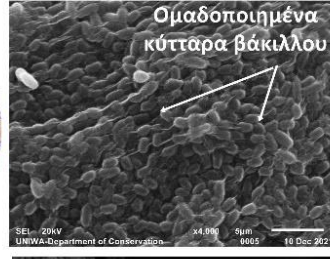
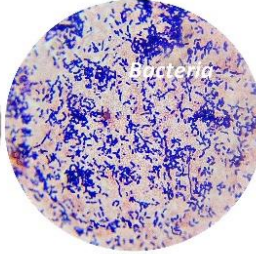
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Δείγμα Z\_8. Θρεπτικά υλικά: CA, SDA και PDA. 1: Μακροσκοπική παρατήρηση αποικιών την 7<sup>η</sup> μέρα επώασης (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI).



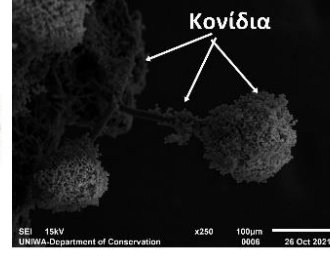
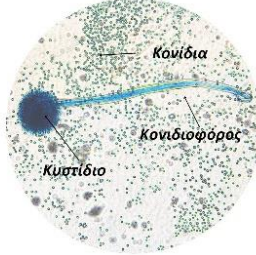
*Bacillus* sp.



*Aspergillus* sp.

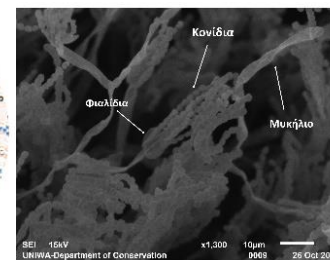
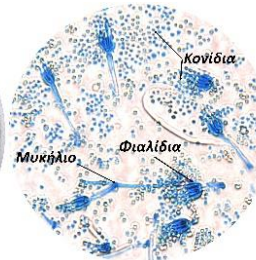


*Bacillus* sp.



*Aspergillus* sp.

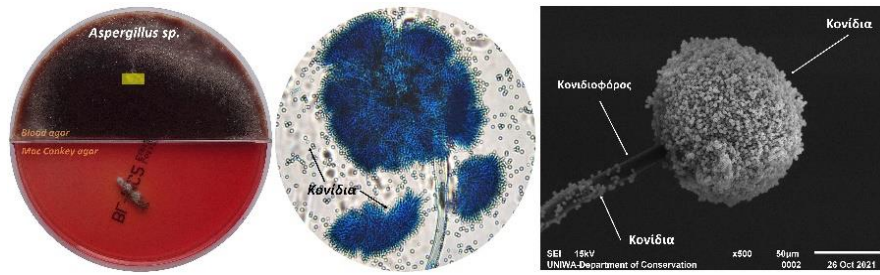
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Δείγμα Z\_9. Θρεπτικό υλικό : SDA. Μακροσκοπική παρατήρηση αποικίας την 15<sup>η</sup> μέρα επώασης (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI).



*Penicillium* sp.

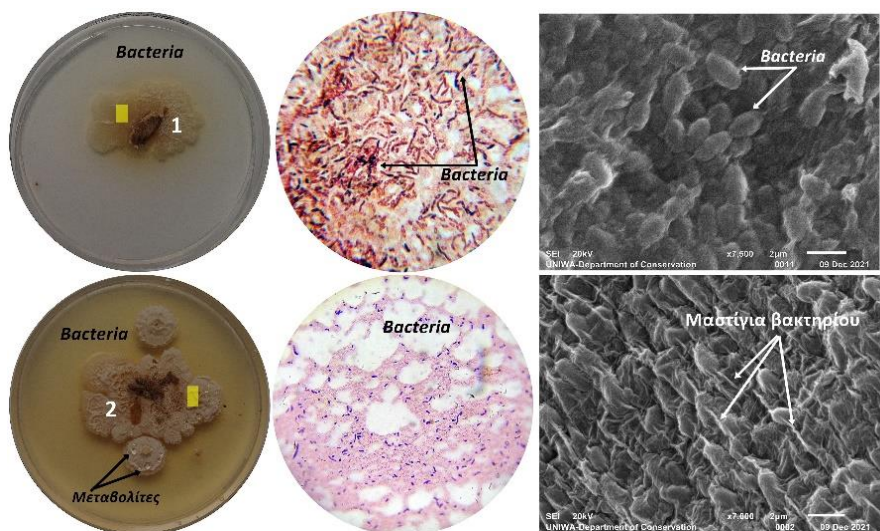


**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Δείγμα Z\_15. Θρεπτικό υλικό : BL.  
Μακροσκοπική παρατήρηση αποικίας την 7<sup>η</sup> μέρα επώασης  
(βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI).



***Aspergillus*  
sp.**

**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** Δείγμα Z\_13. Θρεπτικά υλικά: CA και SDA.  
1,2: Μακροσκοπική παρατήρηση αποικιών την 7<sup>η</sup> μέρα επώασης  
(βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI).



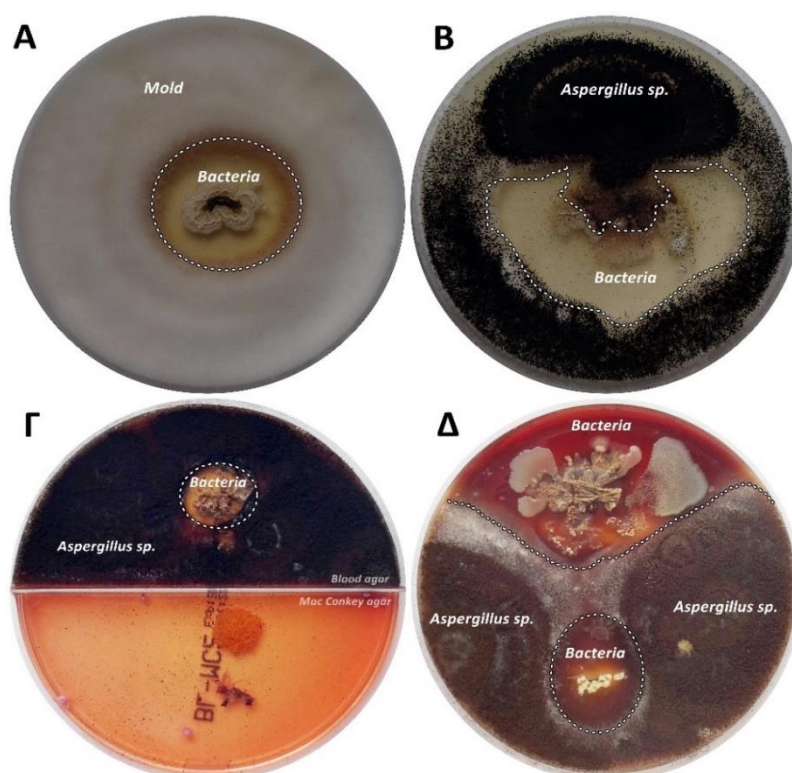
***Bacteria***

***Bacteria.***

Όπως διαπιστώνεται από τον παραπάνω πίνακα, κάποια βακτήρια μπορούν να αναστείλουν την ανάπτυξη μυκήτων στα βαμβακερά υφάσματα μέσω πολλών μηχανισμών. Ένας πιθανός μηχανισμός είναι ο ανταγωνισμός για θρεπτικά συστατικά και χώρο στο θρεπτικό υλικό.

**Συγκεκριμένα:** τα βακτήρια μπορούν να καταναλώσουν τα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται από τους μύκητες, αφήνοντάς τους λιγότερους θρεπτικούς πόρους για να αναπτυχθούν και να αναπαραχθούν. Επιπλέον, τα βακτήρια μπορούν να παράγουν μεταβολίτες και ένζυμα που αναστέλλουν την ανάπτυξη μυκήτων, όπως αντιβιοτικά ή αντιμυκητιακές ενώσεις. Ένας άλλος πιθανός μηχανισμός είναι η παραγωγή βιοφίλμ. Τα βιοφίλμ που προσκολλώνται στις επιφάνειες και παράγουν μια προστατευτική μήτρα, μπορεί να εμποδίσουν φυσικά την ανάπτυξη άλλων μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των μυκήτων.

Τέλος, ορισμένα βακτήρια μπορούν επίσης να παράγουν πηκτικές ενώσεις που έχουν αντιμυκητιακές ιδιότητες. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να διαχέονται μέσω του αέρα και να αναστέλλουν την ανάπτυξη μυκήτων σε κοντινές επιφάνειες. Συνολικά, η αναστολή της ανάπτυξης μυκήτων από βακτήρια σε βαμβακερά υφάσματα είναι πιθανότατα το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού αυτών των μηχανισμών. Στην **εικ. 4.17** παρουσιάζουμε τα δείγματα της πισινέλλας που ανέπτυξαν στο ίδιο τρυβλίο βακτήρια και μύκητες. Τα βακτήρια φαίνεται να μπορούν να αναστείλουν την ανάπτυξη του μύκητα *Aspergillus* sp.



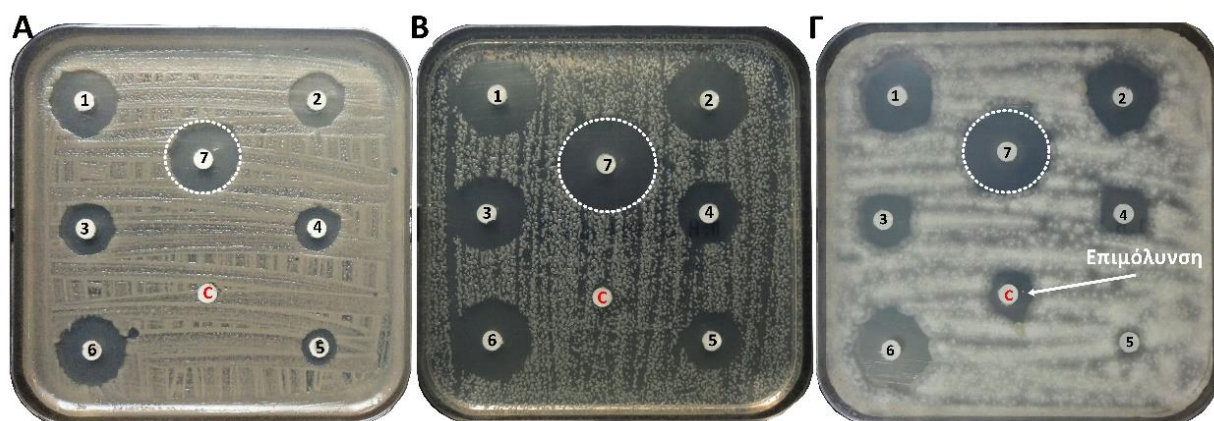
**Εικ. 4.17:** Ανασταλτική δράση των βακτηρίων έναντι του μύκητα *Aspergillus* sp. **A.** Δείγμα Z\_3 στο SDA, μετά από 7 μέρες επώασης. **B.** Δείγμα Z\_8 στο PDA, μετά από 15 μέρες επώασης. **Γ.** Δείγμα Z\_4 στο BL, μετά από 15 μέρες επώασης. **Δ.** Δείγμα Z\_8 στο BL, μετά από 15 μέρες επώασης (Τσατσάλοβα 2023).



## 4.5 Αποτελέσματα αντιμικροβιακών δράσεων

Τα μυκητοκτόνα NEO Desogen® και Preventol PN® επιλέχθηκαν σύμφωνα με τις σχετικές αναφορές στη βιβλιογραφία που έχουν επιβεβαιώσει ότι αυτά τα μυκητοκτόνα είναι κατάλληλα και αποτελεσματικά για τη θεραπεία τεχνουργημάτων από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα κατά της φθοράς των μυκήτων (Rosado *et al.* 2017, Otlewska *et al.* 2014, Abdel-Kareem and Radwan 2004).

Τα αποτελέσματα των αντιμικροβιακών δράσεων, έδειξαν πως το NEO Desogen® σε συγκέντρωση 2:10 έδωσε την καλύτερη απόδοση και αποτελεσματικότητα από το Preventol PN® σε διάφορες συγκεντρώσεις (εικ. 4.18).



**Εικ. 4.18:** Αντιμικροβιακές δράσεις – Ζώνες αναστολής των εμπορικών βιοκτόνων NEO Desogen® και Preventol PN® σε διαφορετικές συγκεντρώσεις. **A:** Δείγμα Z\_3 *Aspergillus* sp. **B:** Δείγμα Z\_3 *Bacillus* sp. **Γ:** Δείγμα Z\_8 *Penicillium* sp. (Τσατσάλοβα 2023).

Όπως διαπιστώνεται από την παραπάνω εικόνα, το δισκίο 7 το οποίο είναι εμποτισμένο με NEO Desogen® σε συγκέντρωση 2:10, έχει σχηματίσει τη μεγαλύτερη ζώνη αναστολής έναντι στη δράση των *Aspergillus* sp. και *Penicillium* sp., καθώς αναστέλλει επίσης, σε ικανοποιητικό επίπεδο και την ανάπτυξη των βακτηρίων. Στην περίπτωση του μύκητα *Penicillium* sp., (εικ. 4.18Γ), το δισκίο C (control), επιμολύνθηκε με διάλυμα βιοκτόνου και έδωσε μικρή ζώνη αναστολής η οποία δεν επηρέασε τα αποτελέσματα, και δε λήφθηκε υπόψη στα συμπεράσματά μας. Στον **πιν. 4.8**, παρουσιάζεται αναλυτικά η δράση των βιοκτόνων έναντι των μυκήτων και του *Bacillus* sp. που ταυτοποιήθηκαν από τις καλλιέργειες των δειγμάτων της ζώνης.

**Πιν.4.8:** Αντιμικροβιακές δράσεις του NEO Desogen® και του Preventol PN® σε διάφορες συγκεντρώσεις (Τσατσάλοβα 2023).

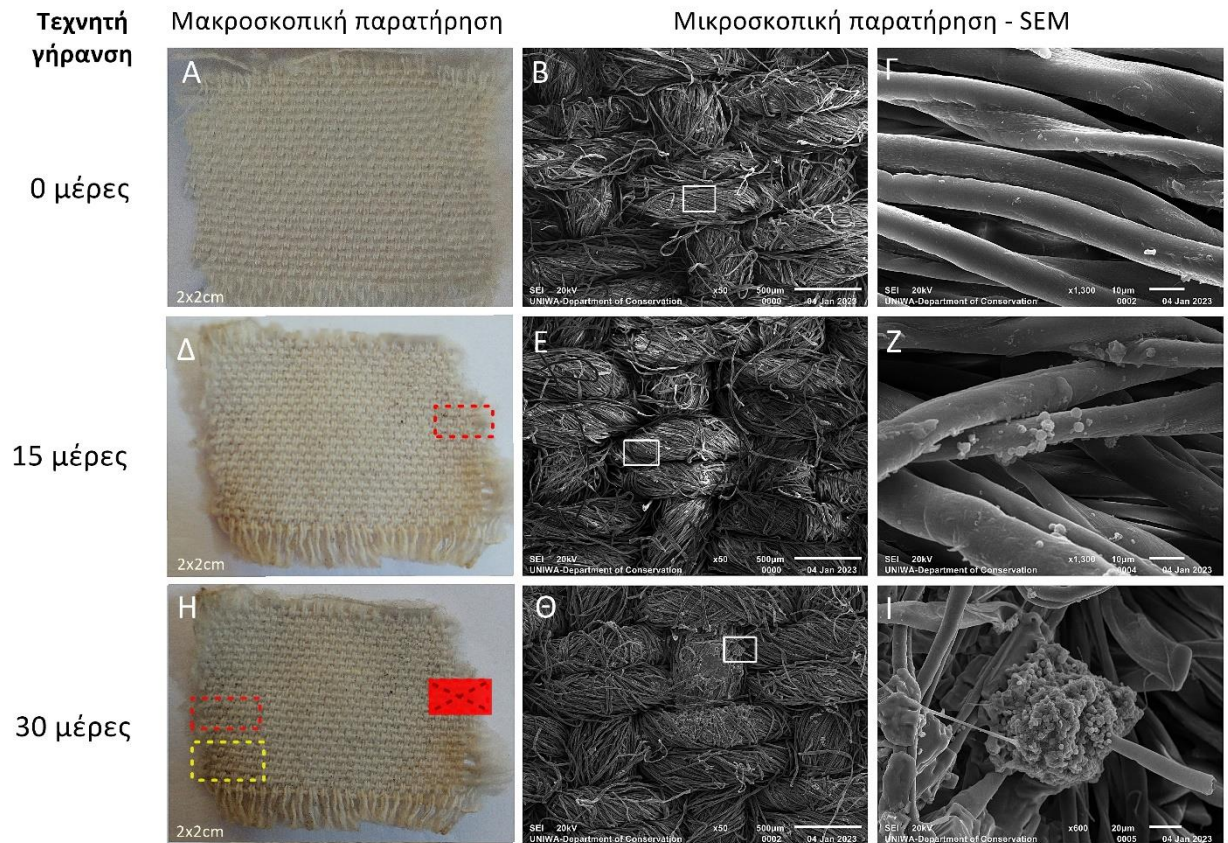
Νούμερο Δίσκου	Βιοκτόνο	Ζώνη αναστολής (mm)		
		Z_3 ( <i>Aspergillus</i> sp.)	Z_3 ( <i>Bacillus</i> sp.)	Z_8 ( <i>Penicillium</i> sp.)
1	Preventol PN® 2%	21	27	26
2	Preventol PN® 1,5%	18	27	24
3	Preventol PN® 1%	16	22	18
4	Preventol PN® 0,5%	14	20	16
5	Preventol PN® 0,1%	10	17	8
6	NEO Desogen® 1:10	21	23	27
<b>7</b>	<b>NEO Desogen® 2:10</b>	<b>22</b>	<b>33</b>	<b>30</b>
<b>c</b>	<b>Control</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Επιμόλυνση</b>

#### 4.6 Αποτελέσματα εφαρμογής βιοκτόνου (*in vitro*)

Η επιλογή των συνθηκών τεχνητής γήρανσης του δείγματος αναφοράς για την ανάπτυξη του μύκητα, βασίστηκε στη βιβλιογραφία καθώς οι πρόσφατες έρευνες έχουν επιβεβαιώσει ποιες είναι οι μέθοδοι για να αποτραπεί η φθορά των υφασμάτων, πως πρέπει να αποθηκεύονται και ποιες είναι οι συνθήκες που ελαχιστοποιούν τη μικροβιακή δραστηριότητα.

**Συγκεκριμένα:** ο Wolf S.J. (2002) στο *Εγχειρίδιο του Μουσείου* συνιστά ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών όπως 18–24°C και RH όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο 50%. Ο Hamilton (2016) προτείνει: τα κλωστοϋφαντουργικά αντικείμενα να αποθηκεύονται σε ένα σκοτεινό μέρος με RH 50% ή λιγότερο, ενώ ο Eri (2004), προτείνει θερμοκρασία 18–20°C και RH 55–60%. Γενικά, η υψηλή υγρασία μπορεί να προάγει την ανάπτυξη μικροοργανισμών, κυρίως μυκήτων.

Στην **εικ. 4.19**, παρουσιάζουμε την πορεία τεχνητής γήρανσης του δείγματος αναφοράς (ύφασμα cotton 100%) με στόχο την επιμόλυνσή του με τον μύκητα *Aspergillus niger*. Μετά από 15 μέρες σε συνθήκες θερμοκρασίας 40°C και σχετικής υγρασίας (RH) 70%, παρατηρούνται στις ίνες του υφάσματος, τα σπόρια του μύκητα. Μετά από 30 μέρες ο μύκητας έχει αναπτυχθεί πλήρως και έχει προσβάλλει τις ίνες.

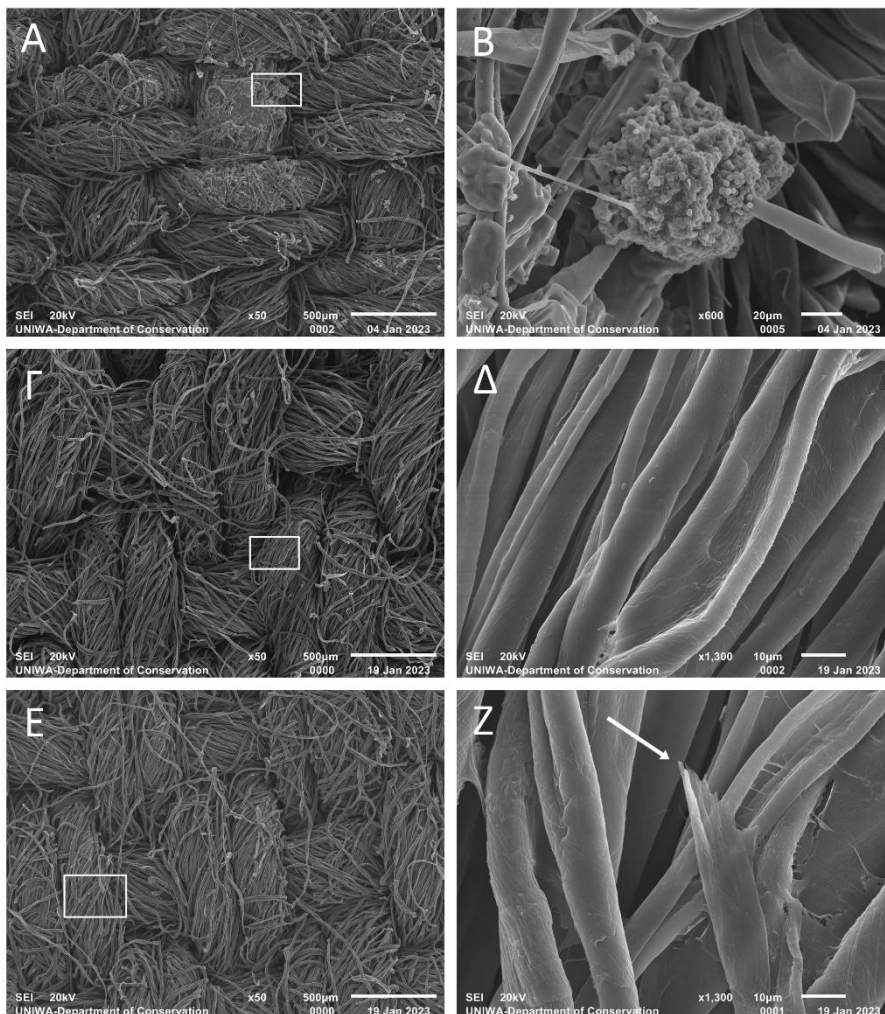


**Εικ. 4.19:** Επιμόλυνση βαμβακερού υφάσματος με τον μύκητα *Aspergillus niger*. Τεχνητή γήρανση επί 30 μέρες σε θερμοκρασία 40°C και σχετική υγρασία (RH) 70%. Το ύφασμα μετά από 15 μέρες γήρανσης έχει αρχίσει και κιτρινίζει στις άκρες. Στο SEM φαίνονται καθαρά τα σπόρια του μύκητα. Μετά από 30 μέρες το ύφασμα μακροσκοπικά φαίνεται ταλαιπωρημένο, ενώ στο SEM φαίνεται πλήρως αναπτυγμένος ο μύκητας ανάμεσα στις ίνες. Το κίτρινο πλαίσιο υποδηλώνει την περιοχή δειγματοληψίας για τη μικροβιακή καλλιέργεια των ινών σε στερεά θρεπτικά υλικά, η οποία επιβεβαίωσε την ύπαρξη του μύκητα (Τσατσάλοβα 2023).

Οι δοκιμές καθαρισμού με το NEO Desogen® (διάλυμα συγκέντρωσης 2:10 και σε μορφή υδρογέλης 5% με μεθυλοκυτταρίνη), εφαρμόστηκαν σε δύο τμήματα του επιμολυσμένου υφάσματος. Και στις δυο περιπτώσεις καθαρισμού, παρατηρήθηκε σε μεγάλο ποσοστό η ανασταλτική δράση του βιοκτόνου. Όμως, κατά την εφαρμογή και αφαίρεση της υδρογέλης, το ύφασμα φαίνεται να καταπονείται προκαλώντας στις ίνες μηχανικές φθορές. Στην εικ. 4.20, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δύο δοκιμών καθαρισμού.

## Μικροσκοπική παρατήρηση - SEM

Επιμολυσμένο ύφασμα  
με *Aspergillus* sp.



Εφαρμογή με διάλυμα  
NEO Desogen 2:10

Εφαρμογή με υδρογέλη  
NEO Desogen 5%

**Εικ. 4.20:** Δοκιμές καθαρισμού με NEO Desogen® (διάλυμα συγκέντρωσης 2:10 και σε μορφή υδρογέλης 5% με μεθυλοκυτταρίνη). Ο καθαρισμός με το διάλυμα, είναι ικανοποιητικός και οι ίνες φαίνονται να μην έχουν υποστεί φθορές κατά το ξέπλυμα με νερό. Ο καθαρισμός με την υδρογέλη είναι επίσης ικανοποιητικός. Μειονέκτημα είναι το εξής: αφαιρείται δύσκολα από το ύφασμα με αποτέλεσμα να προκαλεί μηχανικές φθορές στις ίνες. Η μικροβιακή καλλιέργεια μετά τον καθαρισμό ήταν αρνητική και επιβεβαίωσε τη δράση του βιοκτόνου (Τσατσάλοβα 2023).

Χρησιμοποιώντας την **εξ. 2.1** (βλ. § 2.2.2.1), προσδιορίστηκε η χρωματική διαφορά ( $\Delta E^*$ ), του δείγματος αναφοράς, όπως προέκυψε από την τεχνητή γήρανση κατά τη διαδικασία της επιμόλυνσης (**πιν. 4.9**).



**Πιν. 4.9:** Ποσοτικός προσδιορισμός χρώματος στο σύστημα CIE  $L^*, a^*, b^*$  κατά τη διάρκεια της τεχνητής γήρανσης και μετά τον καθαρισμό με το βιοκτόνο (Τσατσάλοβα 2023).

Τεχνητή γήρανση (επιμόλυνση με μύκητα)				
Μέρες	$L^*$ (n=7)	$a^*$ (n=7)	$b^*$ (n=7)	$\Delta E^*$
0	4.46	3.33	5.43	-
15	4.11	0.86	2.43	3.9
30	3.01	0.52	1.56	4.97

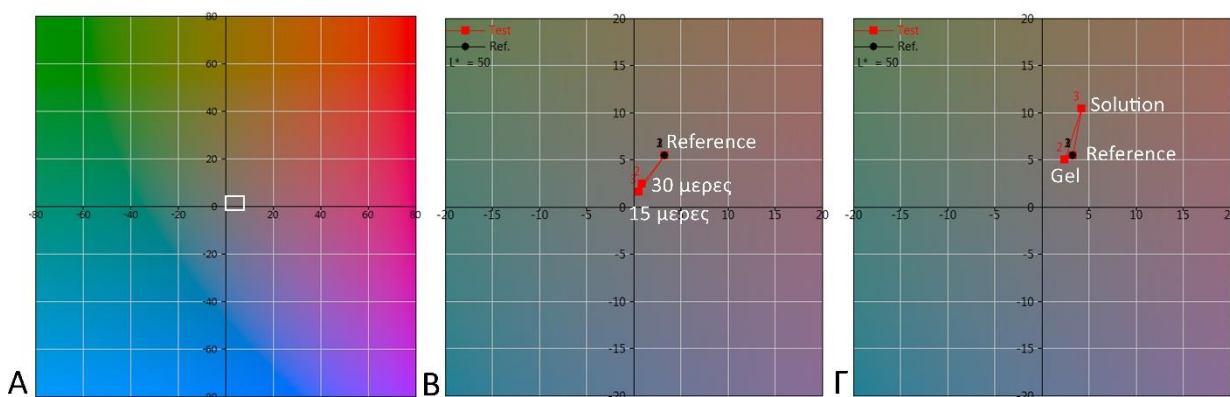
Δοκιμές καθαρισμού				
NEO DESOGEN	$L^*$ (n=7)	$a^*$ (n=7)	$b^*$ (n=7)	$\Delta E^*$
REFERENCE	4.46	3.33	5.43	-
GEL	6.1	2.44	5.03	1.9
SOLUTION	6.1	4.2	10.41	5.3

Όπως διαπιστώνεται από τον παραπάνω πίνακα, τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλη απόκλιση από την αρχική απόχρωση του υφάσματος ενώ η φωτεινότητα διατηρήθηκε περίπου στα ίδια επίπεδα.

**Συγκεκριμένα:** η αρχική απόχρωση του δείγματος αναφοράς ήταν 3.33 και 5.43 για το  $a^*$  και  $b^*$  αντίστοιχα. Μετά από 15 μέρες η απόχρωση ήταν 0.86 και 0.52, και μετά από 30 μέρες 2.43 και 1.56 με  $\Delta E^*$  3.9 και 4.97 αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές είναι σχετικά μεγαλύτερες από τη μονάδα, και υποδηλώνουν διαφορά χρώματος που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος οφθαλμός. Στην **εικ. 4.21B** φαίνεται η χρωματική απόκλιση των δειγμάτων (15 και 30 μέρες) εν συγκρίσει με το δείγμα αναφοράς (reference).

Επίσης η χρωματική διαφορά ( $\Delta E^*$ ), των δειγμάτων μετά τον καθαρισμό, έδωσαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Ενώ ο καθαρισμός με το διάλυμα NEO Desogen® 2:10, δεν προκάλεσε μηχανική φθορά στις ίνες, η χρωματική διαφορά έχει μεγαλύτερη απόκλιση από αυτή με τον καθαρισμό με την υδρογέλη NEO Desogen® 5% με μεθυλοκυτταρίνη. Στην **εικ. 4.21Γ** φαίνεται η χρωματική απόκλιση των δειγμάτων μετά από καθαρισμό με διάλυμα NEO Desogen 2:10 και υδρογέλη NEO

Desogen 5% εν συγκρίσει με το δείγμα αναφοράς (reference). Όλες οι χρωματικές αποκλίσεις παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VII.



**Εικ. 4.20:** Χρωματικές αποχρώσεις στο σύστημα CIE L\*a\*b\*. **A.** Ο χρωματικός χώρος που ανιχνεύθηκαν οι χρωματικές αποκλίσεις των δειγμάτων (άσπρο πλαίσιο). **B.** Πείραμα επιταχυνόμενης γήρανσης: η αρχική απόχρωση του δείγματος αναφοράς είναι 3.33 και 5.43 για το  $a^*$  και  $b^*$  αντίστοιχα. Μετά από 15 μέρες η απόχρωση είναι 0.86 και 0.52, και μετά από 30 μέρες 2.43 και 1.56. **Γ.** Μετρήσεις χρώματος πριν και μετά τον καθαρισμό: η αρχική απόχρωση του δείγματος αναφοράς είναι 3.33 και 5.43 για το  $a^*$  και  $b^*$  αντίστοιχα. Μετά από τον καθαρισμό με το διάλυμα NEO Desogen® 2:10 η απόχρωση είναι 4.2 και 10.41, ενώ μετά τον καθαρισμό με την υδρογέλη NEO Desogen® 5% (gel), η απόχρωση είναι 2.44 και 5.03. Αυτές οι τιμές είναι κοντά στις τιμές απόχρωσης του πρότυπου δείγματος (Τσατσάλοβα 2023)..

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα – Προτάσεις αντιμετώπισης και φύλαξης του αντικειμένου

### 5.1 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση και ο χαρακτηρισμός των βιολογικών επικαθίσεων του και απώτερος στόχος, η συμβολή στις προτάσεις αντιμετώπισης της βιολογικής προσβολής, καθώς και στην περαιτέρω φύλαξης του αντικειμένου.

Το αντικείμενο που μελετήθηκε, αποτελεί τμήμα της υποσκευής του αλόγου και ονομάζεται **πισινέλλα**. Η **πισινέλλα**, είναι μια μακρόστενη ζώνη με αλυσίδες στα άκρα για να αυξομειώνεται το μήκος, ανάλογα το μέγεθος του ζώου. Συγκεκριμένα είναι τμήμα από τα *χάμουρα* που αποτελούνται από τέσσερα μέρη, την λαϊμαριά, το σαμαράκι, την κεφαλούκα και την **πισινέλλα**. Όλα συνδέονται μεταξύ τους και φοριούνται στο άλογο για να συγκρατήσουν το κάρο το οποίο το ζώο θα τραβήξει.

Το υλικό κατασκευής του αντικειμένου είναι από 100% βαμβάκι.

Από την καταγραφή της παρούσας κατάστασης, καθώς και από την προκαταρκτική μελέτη, διαπιστώθηκε πως το αντικείμενο είναι σε άσχημη κατάσταση διατήρησης. Οι χρωματικές αλλοιώσεις (αποχρωματισμός), η ευθραυστότητα, η εμφάνιση κρουστών και μαύρων σιγμάτων στην επιφάνεια του υφάσματος και οι φθορές (σκισίματα, τάλαιπωρημένες ίνες) κατά μήκος της ζώνης, οφείλονται σε συνδυασμό φυσικών, χημικών, βιολογικών και μηχανικών δράσεων.

Στις στοιχειακές αναλύσεις (EDS) των δειγμάτων βρέθηκαν σημαντικές αναλογίες (%): Na, K, Ca, Cl, και Mg. Αυτά είναι συστατικά που αποβάλλει ο ιδρώτας των αλόγων. Επιπροσθέτως, οι ακαθαρσίες των αλόγων αποτελούνται κυρίως από νερό, με μικρές ποσότητες από ηλεκτρολύτες (όπως Na, K, Cl). Επίσης βρέθηκαν τα στοιχεία: P, Ca, Mg και S. Τα παραπάνω στοιχεία ανιχνεύθηκαν σε όλα τα δείγματα της ζώνης και η σχετική αφθονία τους επιβεβαιώνει, εκτός από τις συνθήκες του ιδρώτα και των ακαθαρσιών, την ύπαρξη μικροοργανισμών.

Τα αποτελέσματα της μικροβιολογικής μελέτης, έδειξαν πως τα βακτήρια (Gram- και Gram+), αποτελούν το 69.23% της βιολογικής φθοράς του αντικειμένου, οι μύκητες (*Aspergillus* sp., *Penicillium* sp.), το 57.69% και τέλος το 11.53% η μούχλα. Τα βακτήρια και οι μύκητες είναι και οι δύο τύποι μικροοργανισμών που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα βαμβακερά υφάσματα, συμπεριλαμβανομένης της ξηρής σήψης.



Η ταυτόχρονη ανάπτυξη μικροοργανισμών σχεδόν σε όλα τα τρυβλία, έδειξε πως τα βακτήρια αναστέλλουν την ανάπτυξη του μύκητα *Aspergillus* sp., μέσω των παρακάτω συνδυαστικών μηχανισμών:

- του ανταγωνισμού για θρεπτικά συστατικά και χώρο στο θρεπτικό υλικό.
- της παραγωγή βιοφίλμ. Τα βιοφίλμ που προσκολλώνται στις επιφάνειες και παράγουν μια προστατευτική μήτρα, μπορεί να εμποδίσουν φυσικά την ανάπτυξη άλλων μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των μυκήτων.
- της παραγωγής πτητικών ενώσεων που έχουν αντιμυκητιακές ιδιότητες.

Η άμεση επαφή και η συνεχής τριβή του κυτταρινικού υφάσματος με τον ιδρώτα και τις ακαθαρσίες του ζώου, η επαναλαμβανόμενη έκθεση στην υγρασία, οι επικαθίσεις περιβαλλοντικών ρύπων, οι μεταβαλλόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, η έκθεση στην ακτινοβολία, δημιούργησαν ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη βακτηρίων με αποτέλεσμα να διασπασούν την οργανική ύλη και να παράγουν ένζυμα που διασπούν τις ίνες κυτταρίνης του βαμβακιού.

Οι δοκιμές καθαρισμού με τα μυκητοκτόνα NEO Desogen® και Preventol PN®, στα πρότυπα δείγματα βαμβακερού υφάσματος, έδειξαν αποτελεσματικότητα ως προς το βιοκτόνο NEO Desogen® σε μορφή διαλύματος συγκέντρωσης 2:10 και σε μορφή υδρογέλης 5% με μεθυλοκυτταρίνη. Και στις δυο περιπτώσεις καθαρισμού, παρατηρήθηκε σε μεγάλο ποσοστό η ανασταλτική δράση του συγκεκριμένου βιοκτόνου. Όμως, κατά την εφαρμογή και την αφαίρεση της υδρογέλης, το ύφασμα φαίνεται να καταπονείται προκαλώντας στις ίνες μηχανικές φθορές. Αντιθέτως, ο καθαρισμός με το διάλυμα NEO Desogen 2:10, δεν προκάλεσε μηχανική φθορά στις ίνες.

Η χρωματική διαφορά ( $\Delta E^*$ ), των υφασμάτων πριν και μετά τον καθαρισμό, έδειξε μεγαλύτερη απόκλιση με τον καθαρισμό με το διάλυμα 2:10, από αυτή με τον καθαρισμό με την υδρογέλη NEO Desogen® 5% με μεθυλοκυτταρίνη. Επομένως το διάλυμα NEO Desogen® 2:10, δεν προκαλεί μηχανικές φθορές στις ίνες, ο καθαρισμός είναι αποτελεσματικός αλλά διατηρεί το χρώμα της αρχικής φθοράς επάνω στην επιφάνεια του υφάσματος.

Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων απαιτείται μεγάλος αριθμός πειραμάτων επιταχυνόμενης γήρανσης και δοκιμών καθαρισμού.

## 5.2 Προτάσεις αντιμετώπισης βιολογικής προσβολής

Η φθορά που έχει προκληθεί στο ύφασμα, είναι μη αναστρέψιμη και δεν υπάρχει καμία διαβεβαίωση ότι η ξηρή σήψη δεν θα εμφανιστεί ξανά στις ίδιες, ή σε άλλες περιοχές του αντικειμένου, καθώς αυτός ο τύπος σήψης συμβαίνει όταν οι ίνες βαμβακιού εκτίθενται σε υψηλή υγρασία ή υγρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Πρέπει να προηγηθεί η επιλογή της μεθόδου απολύμανσης, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της καθεμίας με στόχο να σταματήσει η προοδευτική βιοφθορά και η ενεργός ανάπτυξη μικροοργανισμών.

Τα υδατικά διαλύματα και οι αλκοόλες πρέπει να αποφευχθούν. Οι αλκοόλες έχουν βιοστατικό, παρά βιοκτόνο αποτέλεσμα. Ωστόσο, μπορούν να ενεργοποιηθούν τα κονίδια του μύκητα, και να προκληθεί η εκ νέου ανάπτυξη του μικροοργανισμού. Επίσης το νερό είναι απαραίτητο για τη μικροβιακή ανάπτυξη.

Η αντιμετώπιση της βιολογικής προσβολής του αντικειμένου που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία μπορεί να επιτευχθεί με:

- **Τη χρήση των νανοσωματιδίων αργύρου (AgNPs).** Τα AgNPs έχουν αποδειχθεί ότι έχουν αντιμικροβιακές ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απολύμανση βαμβακερών υφασμάτων, να βοηθήσουν στην πρόληψη της μικροβιακής ανάπτυξης και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής του υφάσματος. Οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα AgNPs για την απολύμανση βαμβακερών υφασμάτων, είναι ο *εμποτισμός* (μπορούν να εμποτιστούν σε βαμβακερά υφάσματα για να παρέχουν μακροχρόνια αντιμικροβιακή προστασία), η *επικάλυψη* (μπορούν να επικαλυφθούν στην επιφάνεια των βαμβακερών υφασμάτων για να παρέχουν ένα προστατευτικό φράγμα κατά της μικροβιακής ανάπτυξης), το *πλύσιμο* (μπορούν να προστεθούν σε απορρυπαντικά για να παρέχουν αντιμικροβιακή προστασία κατά τη διαδικασία πλύσης) και με το *ψεκασμό* (μπορούν να ψεκαστούν σε βαμβακερά υφάσματα που δεν μπορούν να πλυθούν, όπως ευαίσθητα ή αντίκες υφάσματα υφάσματα με σύστημα ομίχλης).
- **Καθαρισμό με ένζυμα** μετά τη θεραπεία με AgNPs . Ο ενζυματικός καθαρισμός χρησιμοποιεί ένζυμα για τη διάσπαση και την αφαίρεση λεκέδων και ρύπων από τα υφάσματα. Δεν προκαλούν περεταίρω ζημιά ή αποχρωματισμό και δρουν ως καταλύτες για να επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις.

### 5.3 Προτάσεις φύλαξης αντικειμένου

Η φύλαξη βαμβακερών υφασμάτων σε μουσεία και σε λαογραφικές συλλογές, απαιτεί προσεκτική παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που μπορούν να επηρεάσουν τη μακροζωία του υφάσματος, συμπεριλαμβανομένου του κινδύνου βιολογικής προσβολής. Για την πρόληψη της βιολογικής προσβολής, μπορούν να εφαρμοστούν οι ακόλουθες προτάσεις:

*Τακτικός καθαρισμός:* Τα βαμβακερά υφάσματα πρέπει να καθαρίζονται τακτικά για να αφαιρείται τυχόν σκόνη ή βρωμιά που μπορεί να προσελκύσουν μικροοργανισμούς. Αυτό μπορεί να γίνει με ξεσκόνισμα ή χρησιμοποιώντας ηλεκτρική σκούπα.

*Ελεγχόμενη υγρασία και θερμοκρασία:* Ο χώρος αποθήκευσης βαμβακερών υφασμάτων θα πρέπει να έχει ελεγχόμενη υγρασία και θερμοκρασία για την αποφυγή μικροβιακής ανάπτυξης. Στην ιδανική περίπτωση, το επίπεδο υγρασίας θα πρέπει να διατηρείται μεταξύ 40% και 60%, και η θερμοκρασία θα πρέπει να διατηρείται μεταξύ 20°C και 25°C. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού, και κλιματισμού (*Heating, ventilation, and air conditioning-HVAC*) και αφυγραντήρες.

*Φιλτράρισμα αέρα:* Ο αέρας στον χώρο αποθήκευσης θα πρέπει να φιλτράρεται για να αφαιρεθούν τυχόν ατμοσφαιρικοί ρύποι, όπως σπόρια και σωματίδια σκόνης. Τα φίλτρα HEPA (*High-Efficiency Particulate Absorbing*) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτελεσματική αφαίρεση αυτών των ρύπων από τον αέρα.

*Χρήση προστατευτικών καλυμμάτων:* Τα βαμβακερά υφάσματα πρέπει να καλύπτονται με προστατευτικά καλύμματα για την αποφυγή προσβολής από σκόνη, βρωμιά και έντομα. Τα καλύμματα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικά χωρίς οξύ που δεν απελευθερώνουν επιβλαβείς χημικές ουσίες.

*Σφραγισμένα δοχεία αποθήκευσης:* Το βαμβακερό ύφασμα πρέπει να φυλάσσεται σε σφραγισμένα δοχεία για να αποτρέπεται η έκθεση σε τυχόν μικρόβια που υπάρχουν στο περιβάλλον. Τα δοχεία πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικά που δεν περιέχουν επιβλαβείς χημικές ουσίες και δεν πρέπει να εκπέμπουν πτητικές οργανικές ενώσεις (*Volatile Organic Compounds-VOCs*) που θα μπορούσαν να βλάψουν το ύφασμα.

*Απομόνωση μολυσμένων αντικειμένων:* Εάν διαπιστωθεί ότι κάποιο βαμβακερό ύφασμα είναι μολυσμένο με μικροοργανισμούς, θα πρέπει να απομονωθεί από άλλα υφάσματα για να

αποφευχθεί η εξάπλωση της μόλυνσης. Το μολυσμένο ύφασμα μπορεί να υποστεί επεξεργασία χρησιμοποιώντας κατάλληλες τεχνικές απολύμανσης πριν αποθηκευτεί ξανά.

*Τακτική παρακολούθηση:* Τα βαμβακερά υφάσματα πρέπει να παρακολουθούνται τακτικά για σημάδια προσβολής ή ζημιάς. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας οπτική επιθεώρηση ή χρησιμοποιώντας μη επεμβατικές τεχνικές όπως η θερμική απεικόνιση ή το υπεριώδες φως.

*Χρήση φυσικών εντομοαπωθητικών:* Φυσικά εντομοαπωθητικά όπως λεβάντα, δεντρολίβανο ή κέδρος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απώθηση εντόμων που μπορεί να βλάψουν τα βαμβακερά υφάσματα. Αυτά μπορούν να προστεθούν στον αποθηκευτικό χώρο ή να ενσωματωθούν στα προστατευτικά καλύμματα.

Επιπλέον, είναι απαραίτητο να τεκμηριώνονται οι συνθήκες αποθήκευσης και τυχόν προληπτικά μέτρα που λαμβάνονται για να διασφαλιστεί ότι το ύφασμα θα παραμείνει σε καλή κατάσταση.

# Δημοσιεύσεις – Ανακοινώσεις

Μέρος της παρούσας μελέτης, παρουσιάστηκε με αναρτημένη ανακοίνωση (poster) στο 5<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο: *Innovation in Art Research and Technology - In Art* τον Ιούνιο 2022 στο Παρίσι, με τίτλο “*Isolation and identification study of fungal deterioration and biodegradation of fabric belt from Ethnographic Collections at Florina-Greece*”.



## Isolation and identification study of fungal deterioration and biodegradation of fabric belt from Ethnographic Collections at Florina-Greece

Tziamourani Eleni, Tsatsalova Christina

*Faculty of Applied Arts and Culture, Department of Antiquities and Works of Art Conservation, University of West Attica*



**INTRODUCTION:** This paper presents the biological deposition research methodology used for the fabric belt by the Network of Folklore and Tradition Collections at Florina-Greece. Fungi play an important role in the degradation of cultural heritage. Due to their enormous enzymatic activity and their ability to grow at low water activity ( $a_w$ ) values, fungi can inhabit and decompose paintings, textiles, paper, parchment, leather, and other materials used for historical art objects. In museums and warehouses, climate control, regular cleaning, and microbiological monitoring are essential to prevent fungal infection. Although the literature refers to problems of this work related to bacterial degradation in Cultural Heritage, this issue remains pending.

**AIM:** In this article, we present a report on the study of microbiological damage found in the fabric-textiles of the 19th-century belt, in order to find the microbial population involved in the biodegradation process, and to assist and develop an efficient intervention, by biocides application to control the propagation of microbial communities responsible for biodegradation of belt.

### METHODOLOGY

The methodology followed was as follows:

- Identification of the fibers of the fabric belt and fiber content**



**Figure 1:** Photomicrograph shows the fabric belt by the Network of Folklore and Tradition Collections at Florina-Greece.

The fiber analysis of reference textiles samples and of fabric belt samples was performed using Optical Microscopy (OM) after the application of the TAPPI Test Method T259 sp-08 “Species identification of non wood plant fibers” (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) and Scanning Electron Microscopy (SEM) after fiber cross-sections of the reference sample and from the fabric belt.

- Microorganisms isolation and characterization**



**Figure 2:** Samples along the belt were collected under aseptic conditions from sampling areas then were pressed on Petri dishes. Photomicrograph shows sampling spots (red circles) and some Petri dishes with developed fungi.

Fifteen samples (45 cultures 15 samples for each medium) were collected for microbiological studies. Samples along the belt were collected under aseptic conditions from sampling areas then were pressed on Petri plates. The culture media used for this study were the Sabouraud Dextrose Agar (SDA) medium for yeasts and molds, Blood Agar/sheep blood (BA) for culturing a wide variety of pathogenic microorganisms, and Potato Dextrose Agar (PDA) a general-purpose medium for yeasts and molds.

### RESULTS

#### Identification of the fibers of the fabric belt and fiber content



**Figure 3:** Optical Microscopy images of chemically purified cotton fibers after TAPPI Test Method T259 sp-08 treatment. **A-B:** Light Microscopy / Polarized Light Microscopy (PLM) of cotton reference sample. **C-D:** PLM of authentic sample from belt (Z-2). The blue and yellow arrows show the characteristic morphological features of the cotton fiber.

#### Biofilms



**Figure 5:** Existing development of microbial/bacterial biofilm on the surface of the zone (Sample Z-9). **A:** The sample under visible light. **B:** Under UV light and **C** under IR light. **D:** Scanning Electron Microscopy (SEM) micrograph showing attachment and formation of fungi and bacteria biofilm in sample Z-9.

#### Microorganisms isolation and characterization



**Figure 6:** Photomicrographs shows: **A-D:** Sample Z-3. Colonies (white) of Gram positive bacteria on PDA plate (**A** observe and **B** reverse) after 7 days of incubation at 28°C (all cultures were incubated at 37°C for 24-48h, and at 28°C for 5 days); viewed by OM (100X) after GRAM staining (**C**) and by SEM (**D**). **E-H:** Sample Z-3. Mycelial growth on SDA plate (**E** observe and **F** reverse) after 7 days of incubation at 28°C; fungal hyphae under phase contrast microscope (40X), stained with lactophenol cotton blue (**G**) and by SEM (**H**). **I-L:** Sample Z-8. Colonies of *Aspergillus* sp. on PDA plate (**I** observe and **J** reverse) after 7 days of incubation at 28°C (viewed by OM after LPCB (40X) (K) staining and by SEM (**L**)). **M-P:** Sample Z-9. Colonies of *Penicillium* sp. on PDA plate (**M** observe and **N** reverse) after 7 days of incubation at 28°C viewed by OM after LPCB (40X) (**O**) staining and by SEM (**P**). The sampling points from the fabric belt are shown on the left.

#### Antimicrobial and antifungal activities

**Table 1:** Effect of commercial compounds against different fungal strains isolated from fabric belt (Z3a-*Aspergillus* sp. Z3b-*Bacteria* sp. Z8-*Penicillium* sp.).

Disc		Inhibition halo (mm)		
		Z3a	Z3b	Z8
1	Preventol 2%	21	27	26
2	Preventol 1.5%	18	27	24
3	Preventol 1%	16	22	18
4	Preventol 0.5%	14	20	16
5	Preventol 0.1%	10	17	8
6	Desogen 1:10	21	23	27
7	Desogen 2:10	22	33	30

**Acknowledgments.** The authors wish to thank Mr. Karampous conservator, for supervision and technical assistance in the SEM- EDX facility of the UNIWA and Dr. George Panagari, Professor at the Department of Antiquities and Works of Art Conservation of UNIWA, for providing access and assisting with the fabric belt by the Network of Folklore and Tradition Collections at Florina-Greece.

Corresponding author: Eleni Tziamourani  
 Email address: eleni@uniwa.gr

### CONCLUSIONS

The results shown that The content of the fabric belt show 100% natural cotton. The fungal species isolated were *Aspergillus* sp. (40%), *Penicillium* sp. (13.33%), mold and fungi (28.66%), and Gram-positive and negative bacteria (20%). Due to the wide microbial diversity present in this sample, it was necessary to develop a combined application of biocides to prevent efficiently their proliferation. The antimicrobial activity of commercial biocides, namely Preventol PNH® (2%, 1.5%, 1%, 0.5% and 0.1%) and Desogen® (2:10 and 1:10), were tested at different concentrations against several fungal isolates (*Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. and *Bacteria* sp.). The greatest efficacy against fungi was obtained for formulations with Preventol 2% and Desogen 2:10. In conclusion, to efficiently eliminate and control the development of the microorganisms actively involved in the biodegradation process it is crucial to have a deep knowledge of the decay processes and remediation solutions before the conservation, restoration intervention, and, on the other hand, to develop preventive monitoring programs to ensure the longevity of the intervention and the safeguard of the artwork.

**References**

[1] M. Montanari et al. (2012) Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves. International Biodeterioration & Biodegradation 75 63-68.  
 [2] Rosado, T. et al. (2017) Microorganisms and the integrated conservation-intervention process of the renaissance mural paintings from Casas Pintadas in Évora – Know to act, act to preserve. Journal of King Saud University – Science.



InArt 2022: 5th International Conference on Innovation in Art Research and Technology  
28 Jun-1 Jul 2022 Paris (France)

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**A**hmed H.E., (2018), Conservation Strategies of a Rare Historical Carpet in Cairo University, A case study. *International Journal of Fashion Technology and Textile Engineering*, England **1**(1): 1-6 pp.

Ahmed H.E., and Darwish S.S., (2012), Effect of museum conditions on historical dyed silk fabric with madder dye, *Journal of Polymers and the Environment*. **20**: 596–606.

Abdel-Kareem O.M.A., Szostak-Kot J., Barabasz W., Paśmionka I. and Galus A., (1997), Fungal biodeterioration of ancient Egyptian textiles. Part I. Surveying study for the most dominant fungi on ancient Egyptian Textiles In: *Microorganisms in environment, occurrence, activity and significance*. *Agricultural University in Kraków Publ*, Kraków, Poland. 279-290 pp.

Abdul-Khalil H.P.S.,Bhat A.H.,Yusra A.F.I., (2012), Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: a review, *Carbohydrate Polymers*. **87**(2): 963–979 pp.

Akyuz S., Akyuz T., Cakan B., et al., (2014), Investigations of the historic textiles excavated from Ancient Ainos (Enez - Turkey) by multiple analytical techniques, *Journal of Molecular Struction*. **1073**: 37–43 pp.

Aslam S., Khan S.H., Ahmed A., Dandekar A.M., (2020), The Tale of Cotton Plant: From Wild Type to Domestication, Leading to Its Improvement by Genetic Transformation, *American Journal of Molecular Biology*. **10**: 91-127 pp.

**B**aldia C.M.. and Jakes K.A., (2007), Photographic methods to detect colourants in archaeological textiles, *Journal of Archaeological Science*. **34**: 519–525 pp.

Bartley T., Waldrom C., and Eveleigh D., (1984), A cellobiohydrolase from thermophilic actinomycete *Micrbiospora bispora*, *Applied Biochemical Biotechnology*. **9**: 337.

Bhattacharyya D., (2015), Multifunctionality of Polymer Composites, *Natural fibers*. 102–143 pp.

Bledzki A.K., Gassan J., (1999), Composites reinforced with cellulose based fibres, *Elsevier*. **24**(2): 221–274 pp.

Brookers M.,(2018), An Investigation into the Use of Scanning Electron Microscopy in Textile Research, *In Focus ISSUE*. **51**: 39-56 pp.

**C**aneva Giulia, Maria Pia Nugari, Ornella Salvadori (1991) "Biology in the conservation of works of art" , *ICCROM* 20-60 pp.

Cennamo P., Ebbreo M., Quarta G., et al., (2020), UV-C Irradiation as a Tool to Reduce Biofilm Growth on Pompeii Wall Paintings, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. **17**(22): 8392.

Chand N., (2008), Tribology of Natural Fiber Polymer Composites : 1. Natural fibers and their composites, *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*. 1–58 pp.

Costa F., Silva R., and Boccaccini A.R., (2018), Peptides and Proteins as Biomaterials for Tissue Regeneration and Repair : 7. Fibrous protein-based biomaterials (silk, keratin, elastin, and resilin proteins) for tissue regeneration and repair, *Woodhead Publishing*. 175–204 pp.

Cox, R. (2005). Synthetic Fibres || *Acrylic fibres*. 167–234 pp.

**D**akal T.C., and Arora P.K., (2012), Evaluation of potential of molecular and physical techniques in studying biodeterioration, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. **11**: 71–104 pp.

Degani O., Gepstein S., and Dosoretz C.G., (2002), Potential use of cutinase in enzymatic scouring of cotton fiber cuticle, *Applied Biochemistry and Biotechnology - Part A Enzyme Engineering and Biotechnology*. **102**: 277-290 pp.

Donaldson L.A., (2009), Analysis of fibres using microscopy, *Handbook of Textile Fibre Structure*. 121–153 pp.

**E**ast, A.J. (2005). Synthetic Fibres || *Polyester fibres*. 95–166 pp.

Evans E.T., (1996), Biodegradation of cellulose, *Biodeterioration Abstracts*. **10**(30): 275-285 pp.

**F**iroz A., and Ibrahim H.M., (2021), Fundamentals of Natural Fibres and Textiles: 1. Introduction to natural fibres and textiles, *The Textile Institute Book Series*. 1-32 pp.

Flannigan B., Samson R.A. and Miller J.D., (2001), Microorganisms in home and indoor work environments. Diversity, health impacts, investigation and control, *Taylor and Francis Publishing*, London, New York. 49-96 pp.

Florian M-LE., (1997). *Heritage eaters - insects & fungi in heritage collections*. London: James & James Ltd.



**G**allo F., (1985), Biological Factors in Deterioration of Paper. Rome, *ICCROM*.

Gleba M., (2012), From textiles to sheep: investigating wool fibre development in pre-Roman Italy using scanning electron microscopy (SEM), *Journal of Archaeological Science*. **39**: 3643–3661 pp.

Gonzalez J.M., Ortiz-Martinez A., Gonzalez-del Valle M.A., et al., (2003), An efficient strategy for screening large cloned libraries of amplified 16S rRNA sequences from complex environmental communities. *Journal of Microbiological Methods*. **55**(2): 459–463 pp.

Greaves P. and Saville B., (1995), Microscopy of Textile Fibres, *Royal Microscopy Society Microscopy Handbooks*. **32**: 59-67 pp.

Gupta B.S., (2008), Friction in Textile Materials: 1. Textile fiber morphology, structure and properties in relation to friction, *Friction in Textile Materials*. 3–36 pp.

Gutarowska B., Michalski A.. (2012), Microbial Degradation of Woven Fabrics and Protection Against Biodegradation, *Woven Fabrics*, Poland. **10**: 267-296 pp.

Gutarowska B., Pietrzak K., Machnowski W., and Milczarek J.M., (2016), Historical textiles - a review of microbial deterioration analysis and disinfection methods, *Textile Research Journal*. **87**(19): 2388-2406 pp.

**H**amilton DL. (2016). Methods of conserving underwater archaeological material culture. Conservation Files: ANTH 605, *Conservation of cultural resources I*. Nautical Archaeology Program, Texas A&M University.

Horan R.L., Antle K., Collette A.L., et al., (2005) In vitro degradation of silk fibroin. *Biomaterials*. **26**: 3385–3393 pp.

**K**halil H.P.S.A., Bhat A.H., Yusra A.F.I., (2012). Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: a review. *Carbohydr. Polym.* **87** (2), 963–979 pp.

Kılınç A.Ç., Durmuşkahya C., and Seydibeyoğlu M.Ö., (2017), Natural fibers, *Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites*. 209–235 pp.

Koul B., and Upadhyay H., (2018), Fungi-Mediated Biodeterioration of Household Materials, Libraries, Cultural Heritage and Its Control, *Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspective*. **32**: 597–615 pp.

Kowalik (1980b). "Microbiodecomposition of basic organic library materials. Microbiodegradation of library materials". Part 2, *Restaurator*, **4** (3-4). 135-219 pp.

Kowalik R., (1980), Microbiodecomposition of basic organic library materials. Part 2: Microbiodegradation of library materials, *Restaurator*. **4**(3-4): 135-219 pp.

Kozłowski R.M., Mackiewicz-Talarczyk, M., (2020), Introduction to Natural Textile Fibres. *In Handbook of Natural Fibres, Elsevier:Amsterdam, The Netherlands*. 1–13 pp.

Kris De Wael (2021), Microscopy in forensic fibre examinations. *A practical photo atlas and training tool*. Chapter 2. Edition from Cobalt blue coaching.

Kubicek C.P., Munhlbauer G., Klotz M., John E. and Kubicek-Pranz E., (1988), Properties of conidial-bound cellulose enzyme system from trichoderma reesei. *Journal General Microbiology*. **134**: 1215-1222 pp.

Küster K., et al., (2018), Inorganic and Composite Fibers: III. Metal Fibers—Steel, *Woodhead Publishing*. 219–241 pp.

**L**ewis D.M., and Rippon J.A., (2013), The Coloration of Wool and other Keratin Fibres, *Society of Dyers and Colourists*.

Li L., Frey M., and Browning K. J., (2010), Biodegradability Study on Cotton and Polyester Fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. **5**(4).

Lopez-Miras M., Martín-Sánchez I., Yebra-Rodríguez A., et al., (2013), Contribution of the microbial communities detected on an oil painting on canvas to its biodeterioration, *PLoS ONE*. **8**(11).

**M**ahlting B., (2018), Inorganic and Composite Fibers: Introduction to Inorganic Fibers, *Elsevier*, 1–29 pp.

Mazzoli Roberto and Pessione Enrica (2021). "Ancient Textile Deterioration and Restoration: Bio-Cleaning of an Egyptian Shroud Held in the Torino Museum" Chapter 9, 199-216 pp.

Mishra M., and Chauhan P., (2016), Applications of Microscopy in Bacteriology, *Microscopy Research*. **4**: 1-9 pp.

Møllebjerg A, Palmén LG, Gori K, Meyer RL., (2021). The bacterial life cycle in textiles is governed by fiber hydrophobicity. *Microbiol Spectr*. **9**:e01185-21.

Munive Loza L.S., (2022), "Chromatic record of pre-Columbian textiles from the south coast of Peru to strengthen the development of design and archeology projects". *Zincografía - referente*, No. **11**.

Museums & Galleries Commission. Standards in the museum care of costume and textile collections, Museums & Galleries Commission, UK, 1998.

**N**imis P.L., (1990), Air quality indicators and indices - The use of plants as bioindicators and bioaccumulators for monitoring air pollution, Workshop on Indicators and Indices for *Environmental Impact Assessment and Risk Analysis*. **1**: 22 pp.

**O**livier J.D., (2005), The viable but nonculturable state in bacteria, *Journal of Microbiology*. **43**: 93–100 pp.

Otlewska A., Adamiak J., and Gutarowska B., (2014), Application of molecular techniques for the assessment of microorganism diversity on cultural heritage objects, *Acta Biochimica Polonica*. **61**: 217–225 pp.

**P**athan A.K., Bond J., and Gaskin R.E., (2009), Sample preparation for SEM of plant surfaces, *Materials Today*. **12**: 32–43 pp.

Pawcenis D., Thomas J.L., Lojewski T., et al., (2015), Towards determination of absolute molar mass of cellulose polymer by size exclusion chromatography with multiple angle laser light scattering detection, *Journal of Chromatography A*. **1409**: 53–59 pp.

Pereira P.H.F., Rosa M.D., Cioffi M.O.H., Benini K.C.C.D., Milanese A.C., Voorwald H.J.C., (2015), Vegetal fibers in polymeric composites: a review, *Polimeros*. **25**(1): 9–22 pp.

Pidwirny M., (2006), Introduction to the Ecosystem Concept, *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*.

Pietak A., Korte S., Tan E., Downard A., and Staiger M.P., (2007), Atomic force microscopy characterization of the surface wettability of natural fibres, *Applied Surface Science*. **253**(7): 3627–3635 pp.

**R**akotonirainy M and Lavedrine B., (2005). Screening for antifungal activity of essential oils and related compounds to control the biocontamination in libraries and archives storage areas. *Int Biodeterior Biodegrad* **55**: 141–147 pp.

Refshauge S., Watt M., McCully M.E., and Huang C.X., (2006), Frozen in time: A new method using cryo-scanning electron microscopy to visualize root-fungal interactions: Methods, *New Phytologist Foundation*. **172**: 369–374 pp.

Regulation (EU) No 528/2012 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. Text with EEA relevance.

Richards, A.F. (2005). Synthetic Fibres || *Nylon fibres*. 20–94 pp.

**S**aville B.P., (1999), Physical testing of textiles, *Woodhead Publishing Limited*, England, 344 pp.

Schabereiter-Gurtner C., Pinar G., Lubitz W., et al., (2001), An advanced strategy to identify bacterial communities on art objects, *Journal of Microbiological Methods*. **45**(2): 77–87 pp.

Sequeira S, Cabrita EJ and Macedo MF., (2012). Antifungals on paper conservation: an overview. *Int Biodeterior Biodegrad* **74**: 67–86.

Serrano Ana, Suzan Meijerc, Rick R. van Rijnd, Sophia Bethany Cobane, Birgit Reisslanda, Erma Hermensc, Kees Joost Batenburge, Maarten van Bommela (2021). A non-invasive imaging approach for improved assessments on the construction and the condition of historical knotted-pile carpets. *Journal of Cultural Heritage* **47**:79–88 pp.

Stefan Winkler, David L Kaplan (2000). *Molecular biology of spider silk*. **74**(2), 0–93 pp.

Sterflinger K., Piñar G., (2013), Microbial deterioration of cultural heritage and works of art — tilting at windmills. *Applied Microbiology and Biotechnology*. **97**: 9637–9646 pp.

Sunyu Jung and Soon-Ho Park (2020), Characteristics of iron oxide rust prepared by peracetic acid and its removal of heavy metals in water, *E3S Web of Conferences* **158**.

Szostak-Kotowa J., (2009), Biodeterioration of cultural heritage artefacts. Microbiological aspects of conservation. *Proceedings of V Symposium of Microbial Corrosion of Technical Materials*. 75-84 pp.

Sozstak-Kotowa J.. (2004), Biodeterioration of textiles, *International Biodeterioration and Biodegradation*, *Elsevier Ltd.*. **53**: 165-170 pp.

**T**APPI T259 OM-21 (2009), «*Species Identification of Nonwood Plant Fibers*» STANDARD by Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

Tridico S.R., (2009), Natural animal textile fibres: structure, characteristics and identification, *Australian Federal Police*, Australia. **3**: 27-67 pp.

**V**enkatesh Babu, Gopal Perumal, Palani Muthu, Sakthivel Pichai, Sridhar Sankar Narayan, Karthik Malairaj Sathuvan (2018). Enhanced method for High Spatial Resolution surface imaging and analysis of fungal spores using Scanning Electron Microscopy. *Scientific Reports*, **8**(1), 16278.

Vernon-Parry K.D., (2000), Scanning electron microscopy: an introduction, *III-Vs Review*. **13**(4): 40–44 pp.

Vigo T.L., (1980), Protection of textiles from biodeterioration, *Conservazione e Restauro dei Tessili*, Convegno Internazionale, Como. 18-26 pp.

Vigo, T.L., (1977), Preservation of natural textile fibers - Historical perspectives, Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value, *Advances in Chemistry*, American Chemical Society, Washington. **164**: 189-207 pp.

**W**as-Gubala J. and Salerno-Kochan R., (2000), The biodegradation of the fabric of soldiers' uniforms, *Science and Justice*, Cracow, Poland. **40**: 15–20 pp.

Wolf SJ. *Appendix K of NPS Museum Handbook*. Part I. National Park Service, USA, 2002.

**Y**u C., (2015), Textiles and Fashion: 2. Natural Textile Fibres, *Elsevier*. 29–56 pp.

Yumei Jia, Zhang Liyuan, Liu Kai, Chen Ruoyang, Zhang Caiqian, Yin Juliang, Shen Wei, He Jinxin (2018). Effects of the perspiration on the photo-fading of reactive dyes. *Textile Research Journal*.

**Z**hongsen Z., Shenming C., Yan L., Zhen W., Yu L., Tao Y., and Yiou S., (2020), High performances of plant fiber reinforced composites. A new insight from hierarchical microstructures, *Composites Science and Technology*. **194**: 108-151 pp.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## Παράρτημα Ι

### Δελτίο Καταγραφής Τεχνολογίας Κατασκευής – Κατάστασης Διατήρησης Προτεινόμενες Εργασίες Συντήρησης Υφάσματος

<b>Στοιχεία Αντικειμένου</b>	
Προέλευση:	Δίκτυο Συλλογών Λαογραφίας-Παράδοσης
Τόπος:	Νομός Φλώρινας
Τύπος αντικειμένου:	Εξάρτημα από την ιπποσκευή αλόγου (χάμουρα), τμήμα πισινέλλας
Χρονολόγηση:	19 <sup>ος</sup> αιώνας
Αρ. Καταγραφής:	08.24.656
Διαστάσεις:	170x4.5 cm (υφασμάτινο τμήμα)
Σχήμα αντικειμένου:	Επίπεδο - Δισδιάστατο
Χρηστικότητα:	Η πισινέλλα φοριέται στο πίσω μέρος του ζώου και περνά κάτω από την ουρά του. Οι μεταλλικές αλυσίδες στα άκρα, εξυπηρετούν στην αυξομείωση του μήκους της ζώνης ανάλογα το μέγεθος του ζώου, αλλά και στη στερέωση του κάρου για να συγκρατείται σε κατηφορικές πορείες.
Λοιπά Στοιχεία:	Κατά την παραλαβή, η ζώνη ήταν ελαφρώς τυλιγμένη και συσκευασμένη σε λεπτό αφρό και σακούλα πολυαιθυλενίου. Οι μεταλλικές αλυσίδες στα δύο άκρα ήταν συσκευασμένες χωριστά.
Ημ. Παραλαβής:	29/10/2008
Ημ. Έναρξης:	04/10/2021
Ημ. Παράδοσης:	-
<b>Τεχνολογία και Τεχνική Κατασκευής</b>	
Πρωτεύον Υλικό	Υφασμα
Δευτερεύον Υλικό	Μέταλλο
Περιγραφή Τεχνικής Κατασκευής:	Υφασμάτινος ιμάντας πλάτους 9cm, έχει διπλωθεί κατά μήκος από τις δύο πλευρές, έτσι ώστε τα δύο άκρα να συναντώνται και να εφάπτονται στο κέντρο του. Έπειτα, διπλώθηκε στα δυο έτσι ώστε: το ένα άκρο να είναι λίγο μεγαλύτερο του άλλου και να διπλωθεί πάνω από αυτό. Στις δύο τσακίσεις που σχηματίστηκαν στα άκρα, έχουν τοποθετηθεί όμοιες μεταλλικές αλυσίδες που αποτελούνται από έναν τριγωνικό κρίκο με στρογγυλεμένες γωνίες και πέντε οβάλ κρίκους. Ομοίως στα άκρα έχουν τοποθετηθεί μικρά κομμάτια δευτερεύοντος υφάσματος μεταξύ του βασικού. Η ζώνη έχει ραφτεί με δυο παράλληλες ραφές κατά μήκος που σταματούν πριν από τις ακριανές τσακίσεις και μια τρίτη ραφή μικρής έκτασης στα άκρα, όπου έχει χρησιμοποιηθεί διαφορετικό, πιο παχύ νήμα. Κατά μήκος της ζώνης υπάρχουν διάσπαρτα μεταλλικά καρφάκια σε διάφορα σημεία, με μεγαλύτερη συγκέντρωση στο αριστερό άκρο. Ομοίως στο αριστερό άκρο υπάρχει κεντρικά ένα μεταλλικό κλιπ που παγιδεύει και συγκρατεί όλα τα στρώματα υφάσματος.
<b>Τεχνολογία και Τεχνική ανά Υλικό</b>	
Υλικό (Υφασμα)	Βαμβάκι
Υφανση:	Διαγώνια 2:1
Νήμα στο Στημόνι:	Νήμα στρέψης S από 9 κλώνους στρέψης Z
Νήμα στο Υφάδι:	Νήμα στρέψης S από 5 κλώνους στρέψης Z
Διακόσμηση	Όχι
Υλικό (Μέταλλο)	Χάλυβας από κράμα σιδήρου – άνθρακα

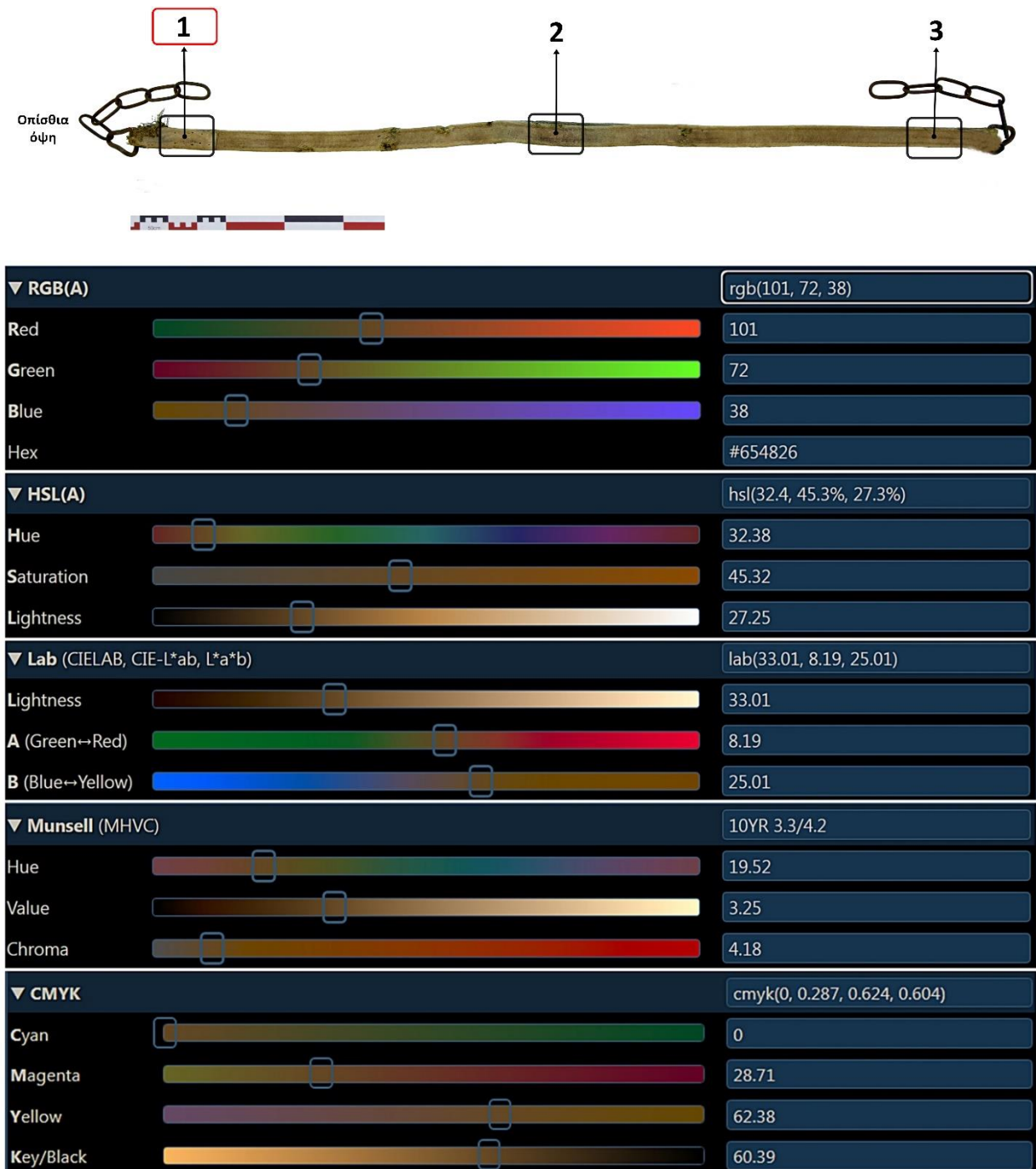


<b>Κατάσταση Διατήρησης Αντικειμένου</b>	
Γενική Κατάσταση	Κακή
Περιβάλλον Έκθεσης	Μη ελεγχόμενο
Προηγούμενες Επεμβάσεις Συντήρησης:	Δεν εντοπίζονται
Επισκευές:	Χρήση μεταλλικών καρφιών και δευτερεύοντος υφάσματος.
<b>Φθορές</b>	
Υφασμάτινο μέρος:	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Έντονη παραμόρφωση</li> <li>➤ Ακαμψία/Μείωση Πλαστικότητας</li> <li>➤ Απώλεια ραφών</li> <li>➤ Ξήλωμα νημάτων</li> <li>➤ Ξέφτισμα νημάτων</li> <li>➤ Απώλεια ύφανσης</li> <li>➤ Μαύρα στίγματα</li> <li>➤ Επιφανειακές επικαθίσεις</li> <li>➤ Σχηματισμός βιοφίλμ</li> <li>➤ Εγκλωβισμός εντόμων</li> <li>➤ Λεκέδες</li> </ul>
Μεταλλικοί κρίκοι:	➤ Προϊόντα οξείδωσης σιδήρου
<b>Αποτελέσματα Μεθόδων Ανάλυσης και Τεκμηρίωσης</b>	
Παρούσα χρωματική κατάσταση	Χρησιμοποιήθηκαν τα συστήματα RGB (HexColor και Css) CIELAB (L*,a*,b*), CMYK, και XYZ. Επίσης, μετά από επεξεργασία με τα προγράμματα Colorizer και Hexcolorpedia, τα αποτελέσματα <u>συγκρίθηκαν</u> κατά αντιστοιχία, με τις παραμέτρους της συλλογής πραγματικών έγχρωμων δειγμάτων Pantone color Matching System (PMS) και με το σύστημα κατάταξης χρωμάτων Munsell, και <u>καταγράφηκαν</u> όλες οι χρωματικές αποχρώσεις.
Στερεοσκοπική Εξέταση:	Η ζώνη εξετάστηκε περιμετρικά και παρατηρήθηκαν τα εξής: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Επικαθίσεις διαφόρων ειδών ρύπων στην επιφάνεια</li> <li>➤ Συγκέντρωση ρύπων σε ασυνέχειες και στα κενά της ύφανσης</li> <li>➤ Σχηματισμός βιοφίλμ</li> <li>➤ Αποδυνάμωση και καταστροφή των ινών</li> <li>➤ Δυσχρωμίες και λεκέδες</li> <li>➤ Παγιδευμένα έντομα</li> </ul>
Παρατήρηση στο Vis, UV, IR:	Πραγματοποιήθηκε ψηφιακή μικροσκοπία USB σε τρεις φασματικές περιοχές: UV (400nm), Vis (400-700nm) και IR (940nm). Στο UV και το IR γίνονται διακριτές οι επικαθίσεις, οι φθορές στην επιφάνεια του υφάσματος καθώς και ο σχηματισμός του βιοφίλμ.
Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης SEM/EDX:	Από την παρατήρηση στο SEM και τη στοιχειακή ανάλυση των επικαθίσεων ανιχνεύθηκαν τα στοιχεία: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Άνθρακας (C)</li> <li>➤ Φώσφορος (P)</li> <li>➤ Πυρίτιο (Si)</li> <li>➤ Θείο (S)</li> <li>➤ Αργίλιο (Al)</li> <li>➤ Νάτριο (Na)</li> <li>➤ Κάλιο (K)</li> <li>➤ Χλώριο (Cl)</li> <li>➤ Ασβέστιο (Ca)</li> <li>➤ Σίδηρος (Fe)</li> <li>➤ Οξυγόνο (O)</li> </ul>
Μικροβιολογική Μελέτη:	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Gram-θετικά και Gram-αρνητικά βακτήρια 69.23%</li> <li>➤ Μύκητες (<i>Aspergillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp.) 57.69%</li> <li>➤ Μούχλα 11.53%</li> </ul>

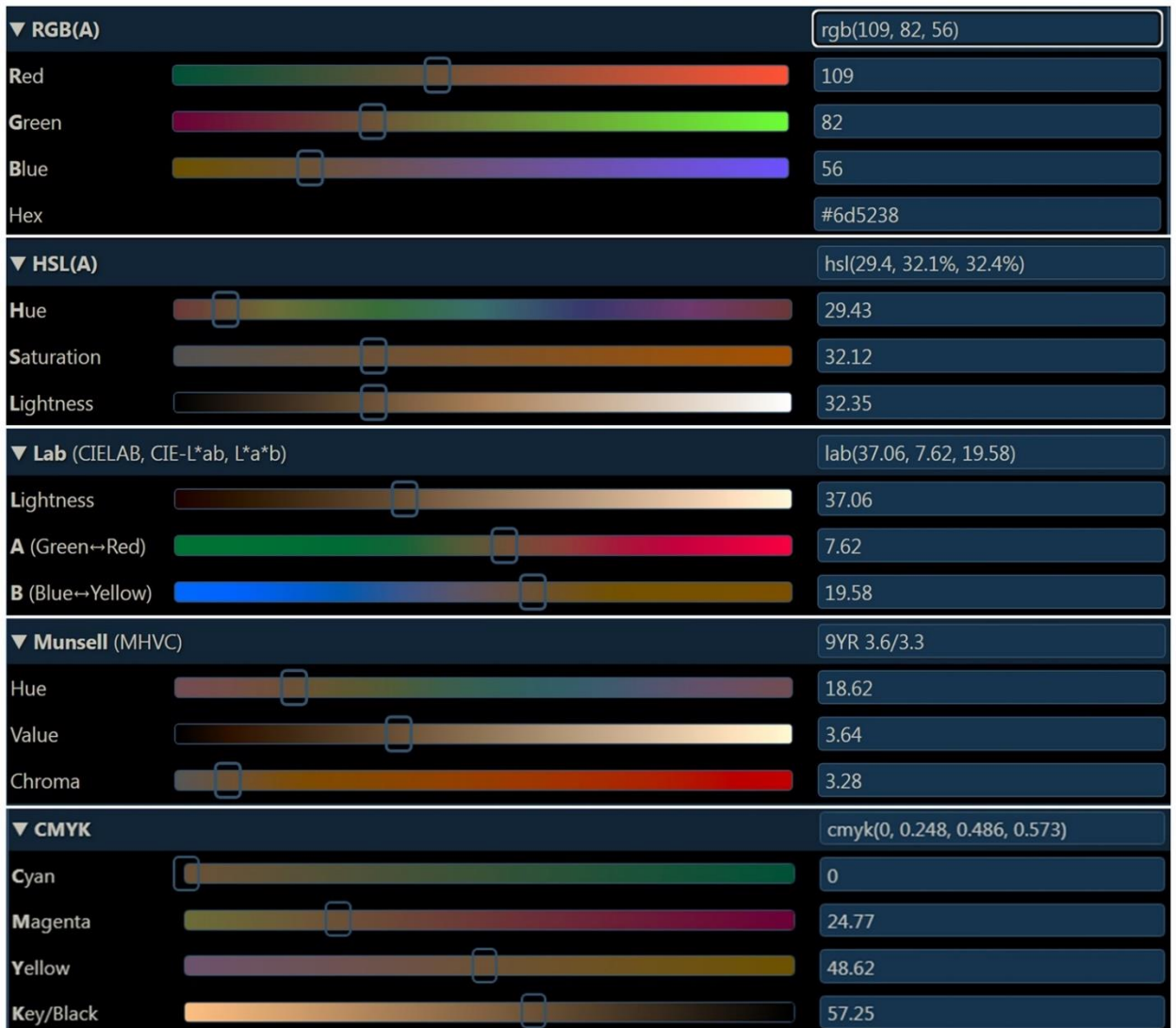
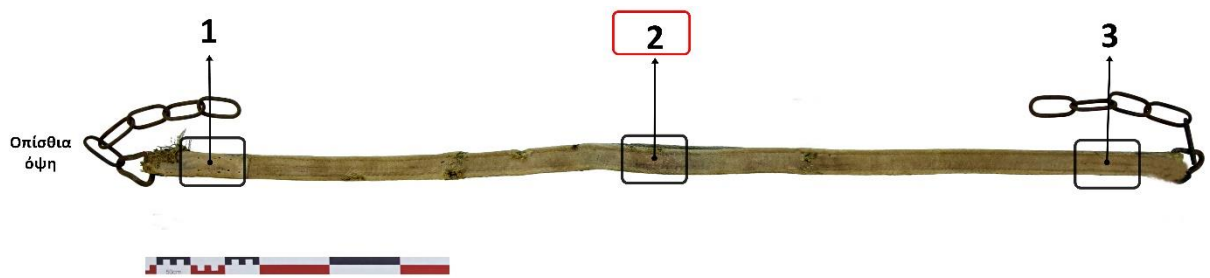
<b>Προτεινόμενες Επεμβάσεις Συντήρησης</b>	
<b>Καθαρισμός:</b>	➤ <i>Εν ξηρό - μηχανικός καθαρισμός</i>
<b>Αντιμετώπιση Βιολογικής Προσβολής:</b>	➤ <i>Απολύμανση με νανοσωματίδια αργύρου (AgNPs)</i> ➤ <i>Ενζυματικός καθαρισμός</i>
<b>Επεμβάσεις Συντήρησης Υφάσματος:</b>	➤ <i>Συμπλήρωση ραφών</i> ➤ <i>Στερέωση ξηλωμένων νημάτων με στερεωτικές βελονιές</i>
<b>Άλλα:</b>	➤ <i>Απομάκρυνση και αντικατάσταση μεταλλικών καρφιών με ανοξείδωτα υλικά</i> ➤ <i>Συντήρηση σιδερένιας αλυσίδας</i> ➤ <i>Μόνωση του υφάσματος από την τριβή με τον σιδερένιο κρίκο</i>
<b>Φύλαξη Αντικειμένου</b>	
<b>Υλικά Συσκευασίας:</b>	➤ <i>Ανθεκτικά στη βιοπροσβολή</i> ➤ <i>Ρύθμιση σχετικής υγρασίας</i> ➤ <i>Έλεγχος pH</i>
<b>Κλίμα Αποθηκευτικού Χώρου:</b>	<i>Για τον προσδιορισμό της κατάλληλης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του αποθηκευτικού χώρου για φύλαξη της υφασμάτινης ζώνης, απαιτούνται πειράματα προσομοίωσης ανάπτυξης βακτηρίων σε βαμβακερά υφάσματα υπό διαφορετικές συνθήκες.</i>
<b>Ειδικές Οδηγίες:</b>	<i>Ο αποθηκευτικός χώρος να διατηρείται καθαρός και να πραγματοποιείται τακτικός έλεγχος της κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου.</i>

## Παράρτημα II

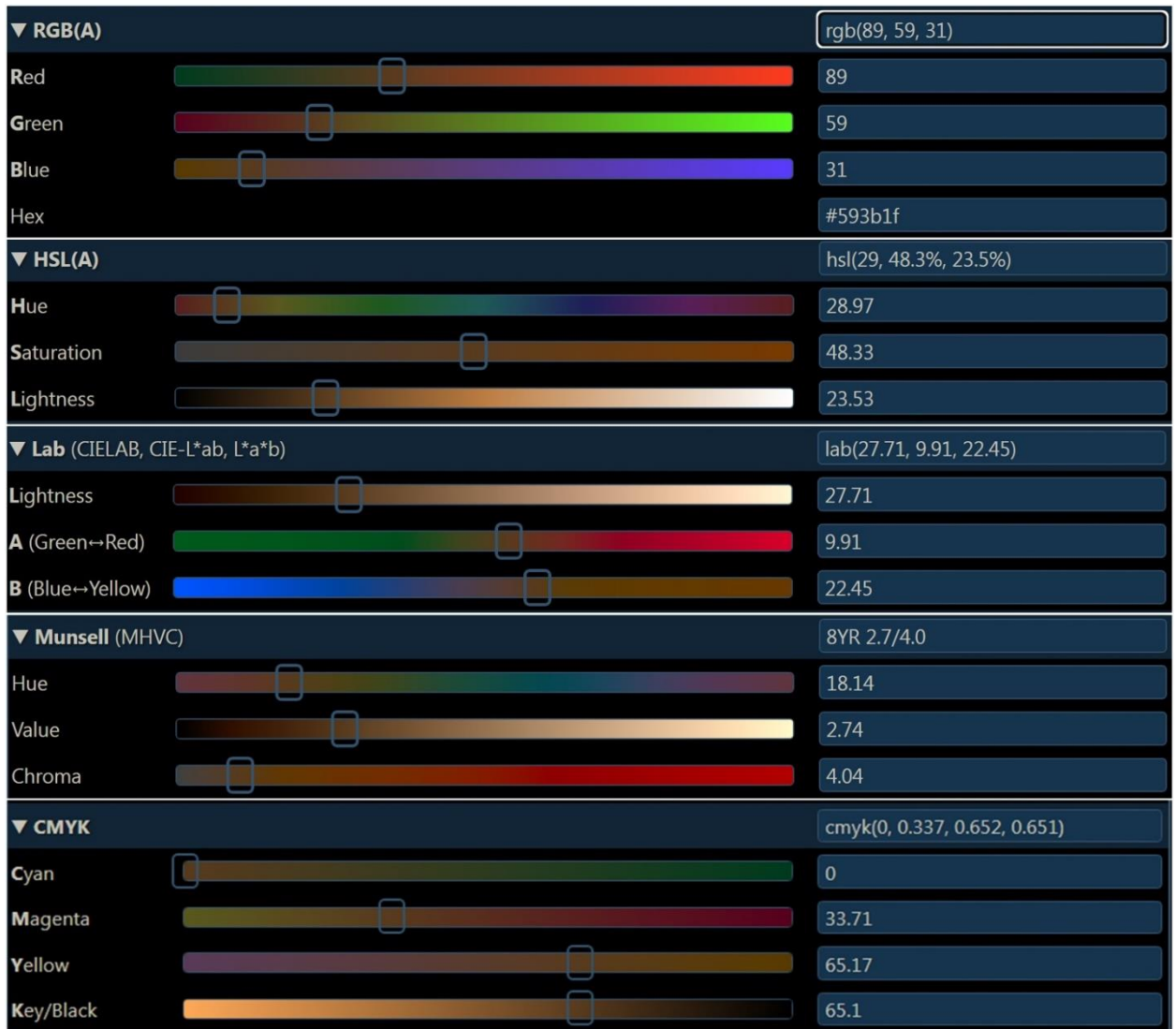
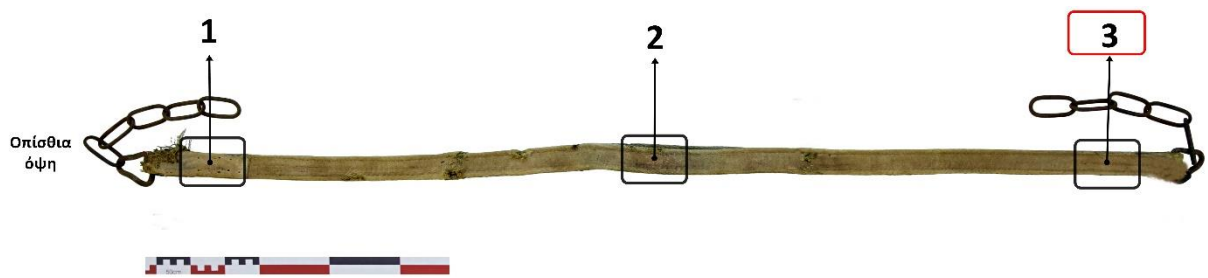
Ποσοτικός προσδιορισμός χρώματος της παρούσας κατάστασης της ζώνης



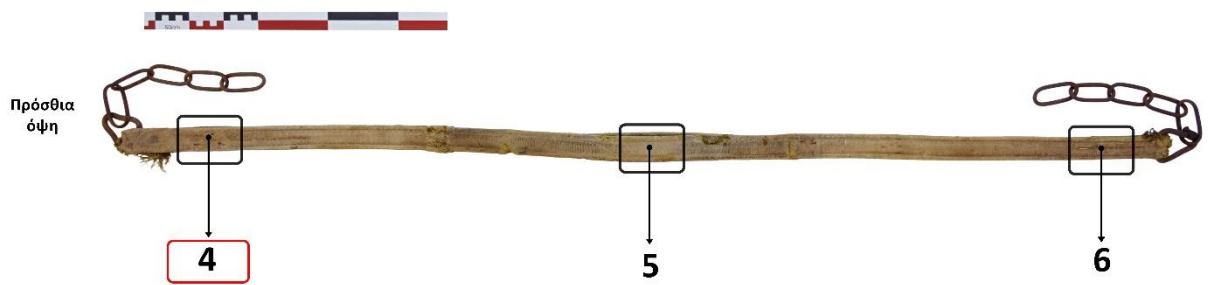
**Εικ.ΙΙ.1:** Προσδιορισμός χρώματος περιοχής 1 (οπίσθια όψη ζώνης), στα χρωματικά μοντέλα: RGB (Red,Green,Blue), HSL (Hue, Saturation, and Lightness), CIE L\*a\*b\*, Munsell, και CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, and key Black).



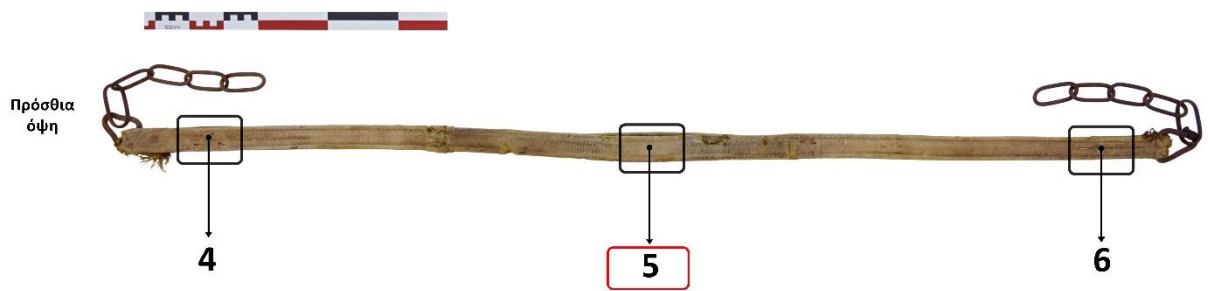
**Εικ.ΙΙ.2:** Προσδιορισμός χρώματος περιοχής 2 (οπίσθια όψη ζώνης), στα χρωματικά μοντέλα: RGB (Red,Green,Blue), HSL (Hue, Saturation, and Lightness), CIEL\*a\*b\*, Munsell, και CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, and key Black).



**Εικ.ΙΙ.3:** Προσδιορισμός χρώματος περιοχής 3 (οπίσθια όψη ζώνης), στα χρωματικά μοντέλα: RGB (Red,Green,Blue), HSL (Hue, Saturation, and Lightness), CIEL\*a\*b\*, Munsell, και CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, and key Black).



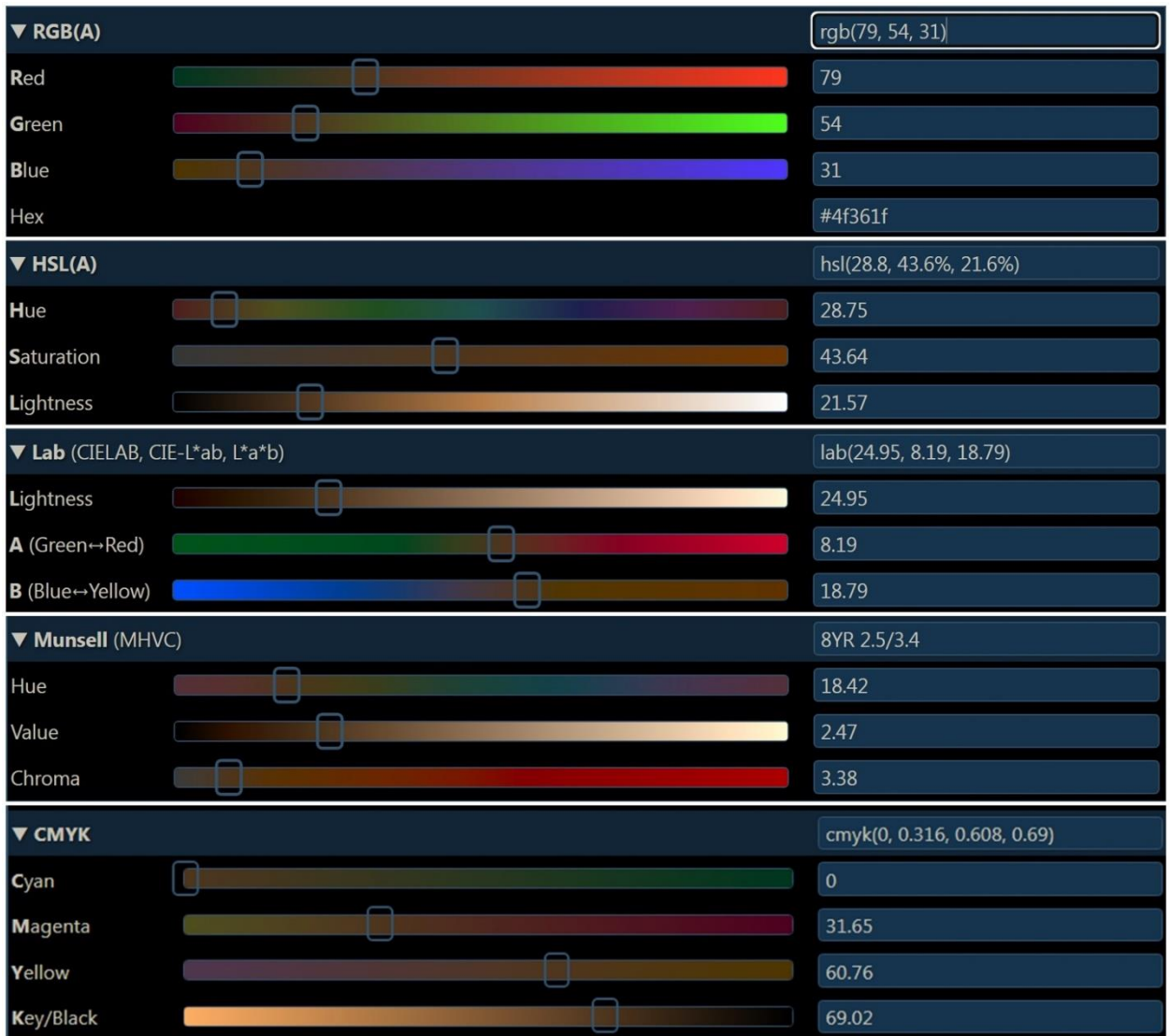
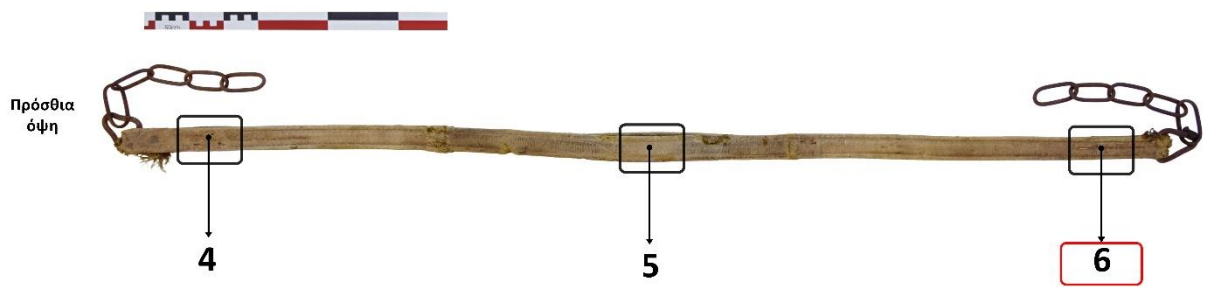
**Εικ.ΙΙ.4:** Προσδιορισμός χρώματος περιοχής 4 (πρόσθια όψη ζώνης), στα χρωματικά μοντέλα: RGB (Red,Green,Blue), HSL (Hue, Saturation, and Lightness), CIE-L\*a\*b\*, Munsell, και CMYK (Cyan, Magenta,Yellow, and key Black).



▼ RGB(A)		rgb(100, 79, 58)
Red	<input type="range" value="100"/>	100
Green	<input type="range" value="79"/>	79
Blue	<input type="range" value="58"/>	58
Hex		#644f3a
▼ HSL(A)		hsl(30, 26.6%, 31%)
Hue	<input type="range" value="30"/>	30
Saturation	<input type="range" value="26.6"/>	26.68
Lightness	<input type="range" value="31"/>	30.98
▼ Lab (CIELAB, CIE-L*a*b, L*a*b)		lab(35.22, 5.57, 15.74)
Lightness	<input type="range" value="35.22"/>	35.22
A (Green→Red)	<input type="range" value="5.57"/>	5.57
B (Blue→Yellow)	<input type="range" value="15.74"/>	15.74
▼ Munsell (MHVC)		9YR 3.5/2.6
Hue	<input type="range" value="19.22"/>	19.22
Value	<input type="range" value="3.47"/>	3.47
Chroma	<input type="range" value="2.59"/>	2.59
▼ CMYK		cmyk(0, 0.21, 0.42, 0.608)
Cyan	<input type="range" value="0"/>	0
Magenta	<input type="range" value="21"/>	21
Yellow	<input type="range" value="42"/>	42
Key/Black	<input type="range" value="60.78"/>	60.78

**Εικ.ΙΙ.5:** Προσδιορισμός χρώματος περιοχής 5 (πρόσθια όψη ζώνης), στα χρωματικά μοντέλα: RGB (Red,Green,Blue), HSL (Hue, Saturation, and Lightness), CIEL\*a\*b\*, Munsell, και CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, and key Black).





**Εικ.ΙΙ.6:** Προσδιορισμός χρώματος περιοχής 6 (πρόσθια όψη ζώνης), στα χρωματικά μοντέλα: RGB (Red,Green,Blue), HSL (Hue, Saturation, and Lightness), CIEL\*a\*b\*, Munsell, και CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, and key Black).

## Παράρτημα III

### SEM/EDS

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	116.89	0.7458	69.44	0.29	78.92
O K	15.53	0.3481	19.77	0.25	16.87
Na K	1.34	0.8975	0.66	0.02	0.39
Al K	0.39	0.9011	0.19	0.01	0.10
Si K	1.01	0.9614	0.47	0.02	0.23
S K	1.51	0.9915	0.68	0.02	0.29
Cl K	8.86	0.8408	4.67	0.05	1.80
K K	7.55	1.0275	3.26	0.04	1.14
Ca K	1.24	0.9495	0.58	0.02	0.20
Fe K	0.51	0.7799	0.29	0.03	0.07
Totals			100.00		

*Εικ.ΙΙΙ.1: Στοιχειακή ανάλυση δείγματος Z\_2.*

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	96.86	0.5578	49.31	0.89	62.00
O K	45.33	0.4257	30.24	0.62	28.54
Na K	3.63	0.8417	1.23	0.05	0.81
Mg K	0.71	0.7665	0.26	0.03	0.16
Al K	5.43	0.8639	1.79	0.05	1.00
Si K	15.48	0.9141	4.81	0.10	2.59
P K	1.56	1.2501	0.36	0.03	0.17
S K	8.47	0.9281	2.59	0.07	1.22
Cl K	4.21	0.7954	1.50	0.05	0.64
K K	11.69	1.0305	3.22	0.08	1.24
Ca K	11.02	0.9539	3.28	0.08	1.24
Ti K	0.49	0.7887	0.18	0.04	0.06
Fe K	3.47	0.7912	1.25	0.07	0.34
Totals			100.00		

*Εικ.ΙΙΙ.2: Στοιχειακή ανάλυση δείγματος Z\_5.*

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	19.47	0.3184	25.47	3.44	40.12
O K	30.44	0.4591	27.61	1.44	32.65
Na K	0.32	0.8345	0.16	0.06	0.13
Mg K	1.48	0.7803	0.79	0.08	0.62
Al K	9.81	0.8764	4.66	0.25	3.27
Si K	43.97	0.8929	20.50	0.98	13.81
P K	1.03	1.0412	0.41	0.09	0.25
S K	2.69	0.8172	1.37	0.12	0.81
Cl K	1.61	0.7406	0.90	0.10	0.48
K K	9.35	1.0184	3.82	0.22	1.85
Ca K	19.06	0.9512	8.34	0.42	3.94
Ti K	1.47	0.7904	0.77	0.12	0.30
Fe K	10.16	0.8145	5.19	0.32	1.76
Totals			100.00		

**Εικ.ΙΙΙ.3:** Στοιχειακή ανάλυση δείγματος Z\_8.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	31.66	0.4519	45.09	1.24	62.93
O K	11.76	0.3792	19.95	0.68	20.90
Na K	0.60	0.8124	0.48	0.06	0.35
Mg K	0.23	0.7573	0.19	0.04	0.13
Al K	2.68	0.8610	2.01	0.08	1.25
Si K	8.47	0.9153	5.96	0.17	3.55
S K	4.98	0.9375	3.42	0.12	1.79
Cl K	4.06	0.8027	3.25	0.12	1.54
K K	13.78	1.0373	8.55	0.23	3.67
Ca K	6.97	0.9392	4.78	0.16	2.00
Fe K	7.92	0.8047	6.34	0.23	1.90
Totals			100.00		

**Εικ.ΙΙΙ.4:** Στοιχειακή ανάλυση δείγματος Z\_9.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	24.19	0.4418	8.26	0.33	27.06
O K	34.96	1.2228	4.31	0.18	10.61
Al K	3.43	0.5136	1.01	0.06	1.47
Fe K	553.03	0.9659	86.41	0.35	60.86
Totals			100.00		

*Εικ.ΙΙΙ.5: Στοιχειακή ανάλυση περιοχής μεταλλικών καρφιών (MK), χωρίς οξείδωση.*

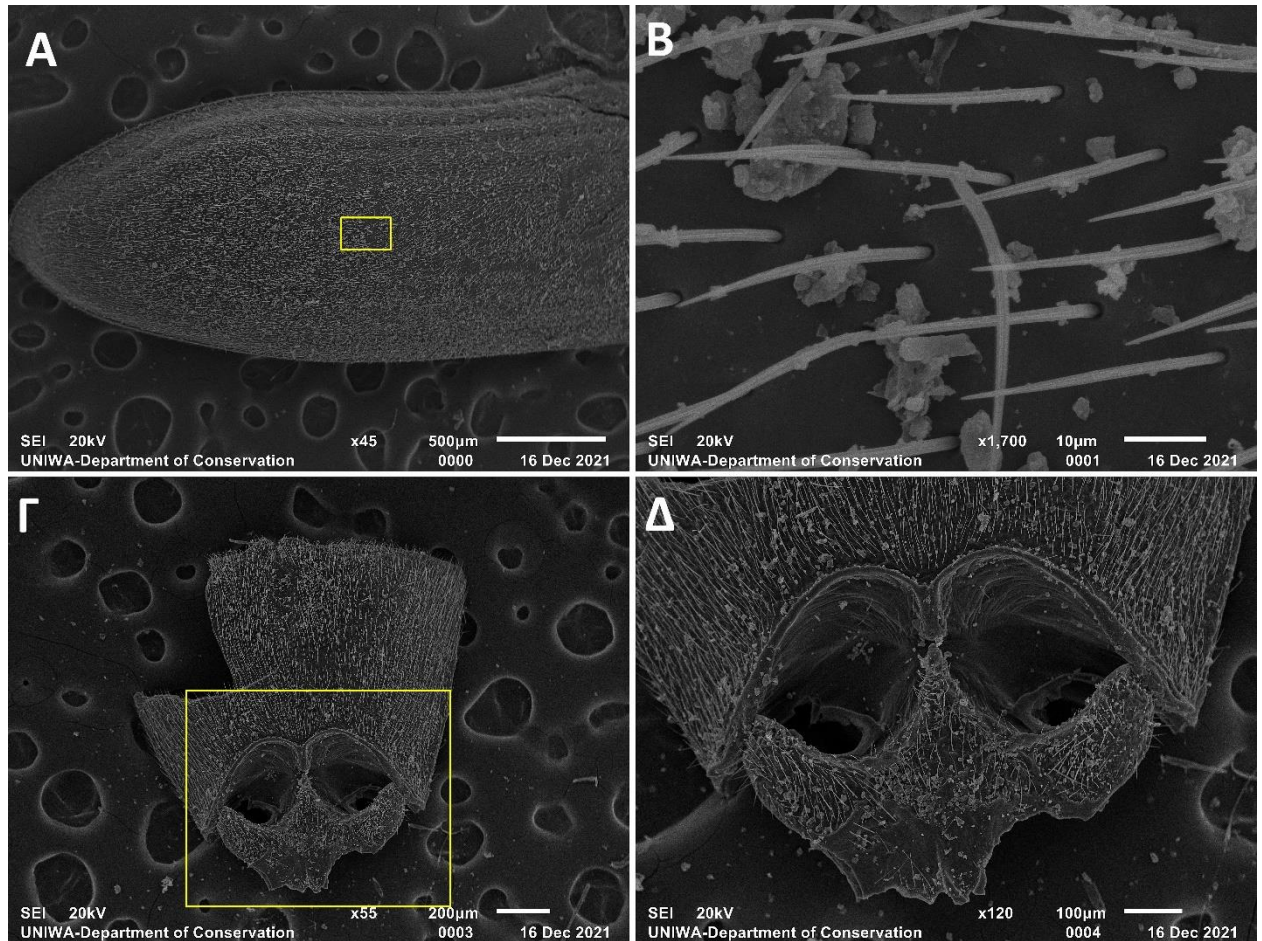
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	14.00	0.4754	5.27	0.73	10.95
O K	321.51	1.4122	40.75	0.43	63.54
Na K	1.37	0.4430	0.55	0.11	0.60
Al K	2.67	0.5806	0.82	0.06	0.76
S K	1.11	0.8819	0.23	0.05	0.18
Cl K	7.49	0.8062	1.66	0.07	1.17
K K	4.99	1.1031	0.81	0.05	0.52
Fe K	249.03	0.8931	49.91	0.47	22.30
Totals			100.00		

*Εικ.ΙΙΙ.6: Στοιχειακή ανάλυση περιοχής μεταλλικών καρφιών (MK), με οξείδωση.*

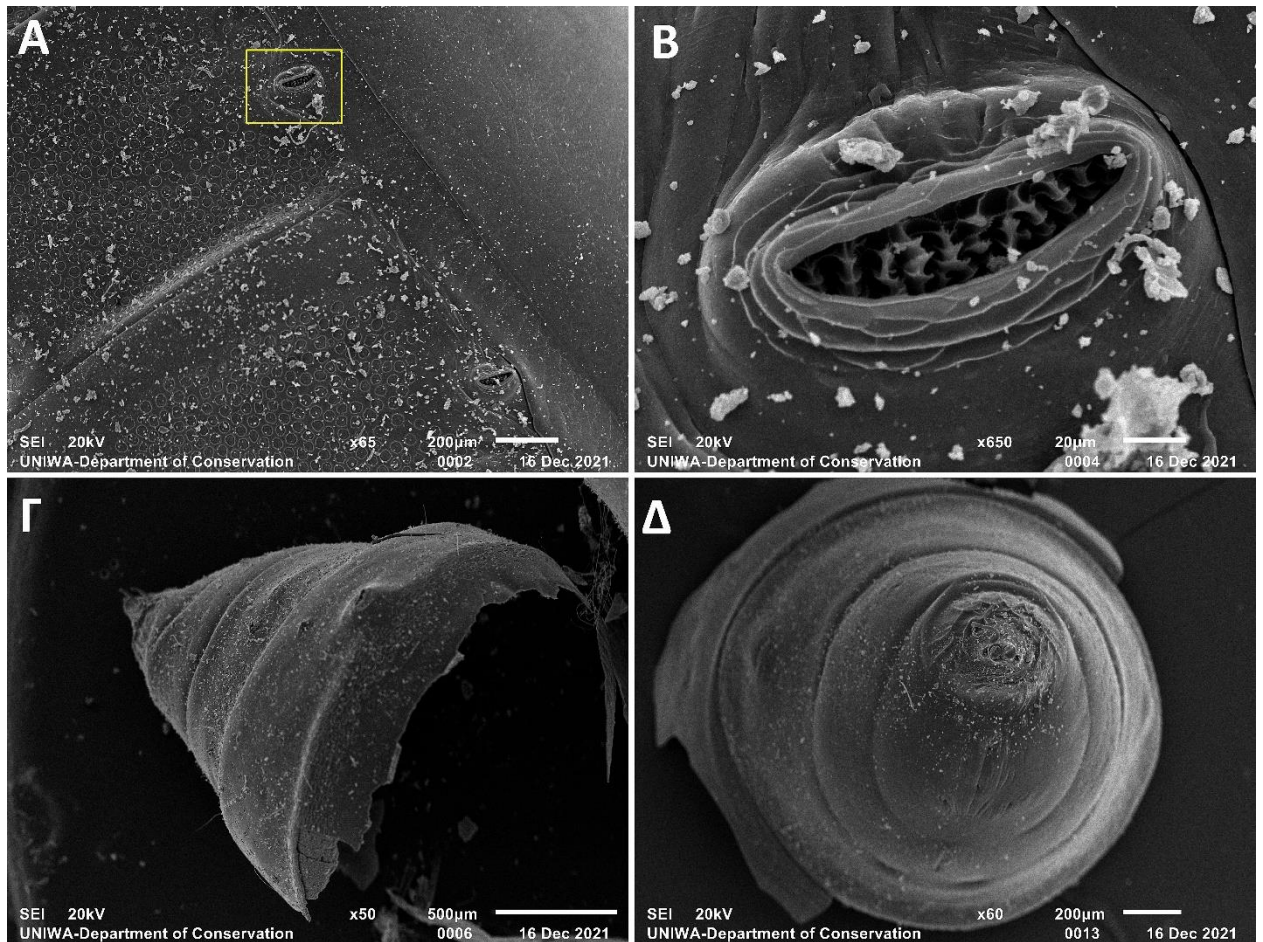


## Παράρτημα IV

### Μικροσκοπική παρατήρηση εντόμων στο SEM



**Εικ.ΙV.1:** Μικροσκοπικές εικόνες περιοχής της ζώνης με παγιδευμένα έντομα. Δείγμα ZE\_1. **A.** Φτερό εντόμου. **B.** Μεγέθυνση περιοχής φτερού. **Γ.** Κεφάλι εντόμου. **Δ.** Μεγέθυνση περιοχής κεφαλιού (Τσατσάλοβα 2023).



**Εικ.ΙV.2:** Μικροσκοπικές εικόνες περιοχής της ζώνης με παγιδευμένα έντομα. Δείγμα ZE\_2. **A.** Τμήμα περιοχής σώματος εντόμου, φαίνονται οι αναπνευστικοί οδοί του εντόμου. **B.** Μεγέθυνση αναπνευστικού συστήματος του εντόμου. **Γ.** Σώμα εντόμου σε πλάγια όψη. **Δ.** Σώμα εντόμου σε πρόσθια όψη (Τσατσάλοβα 2023).



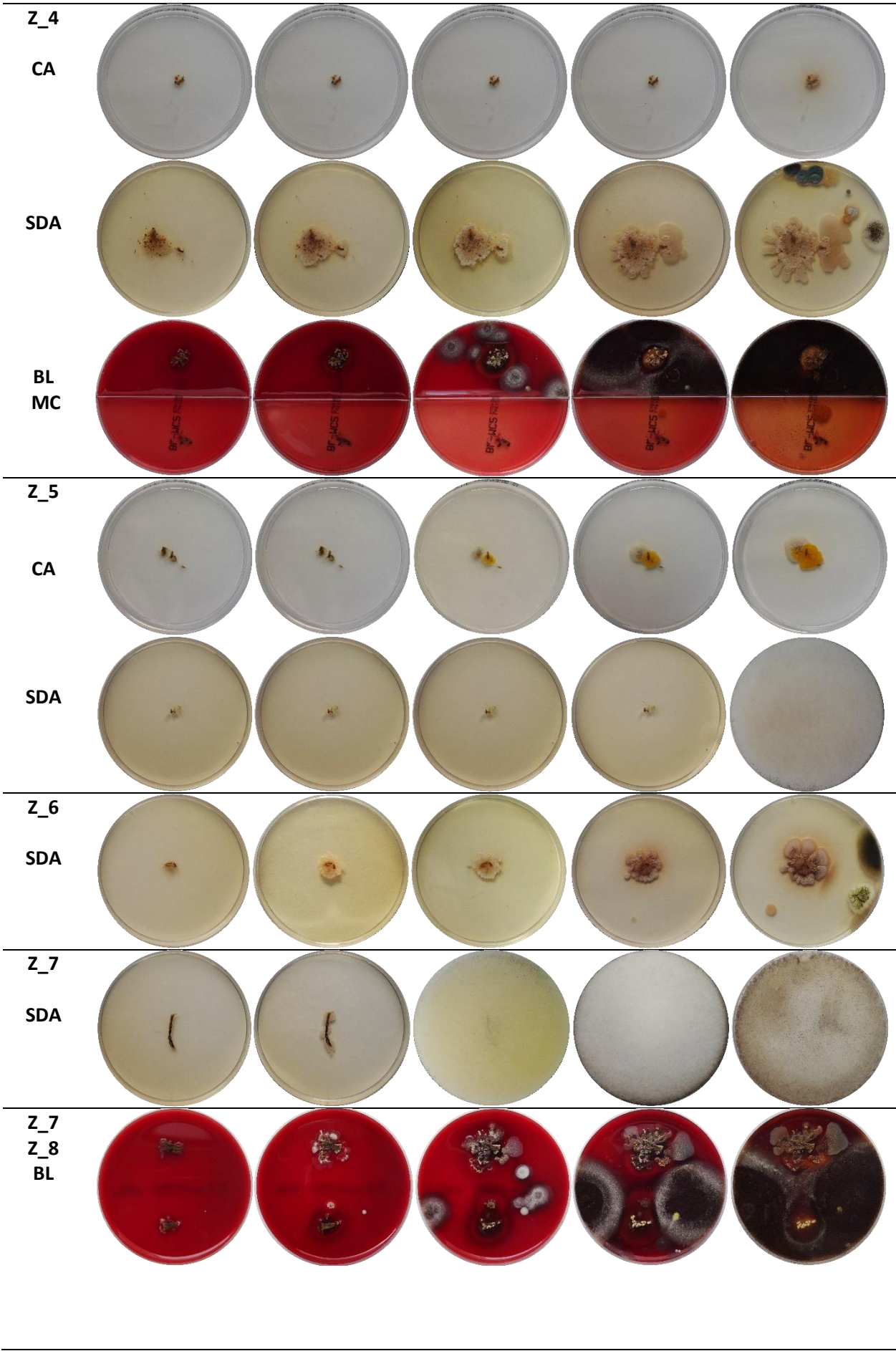
## Παράρτημα V

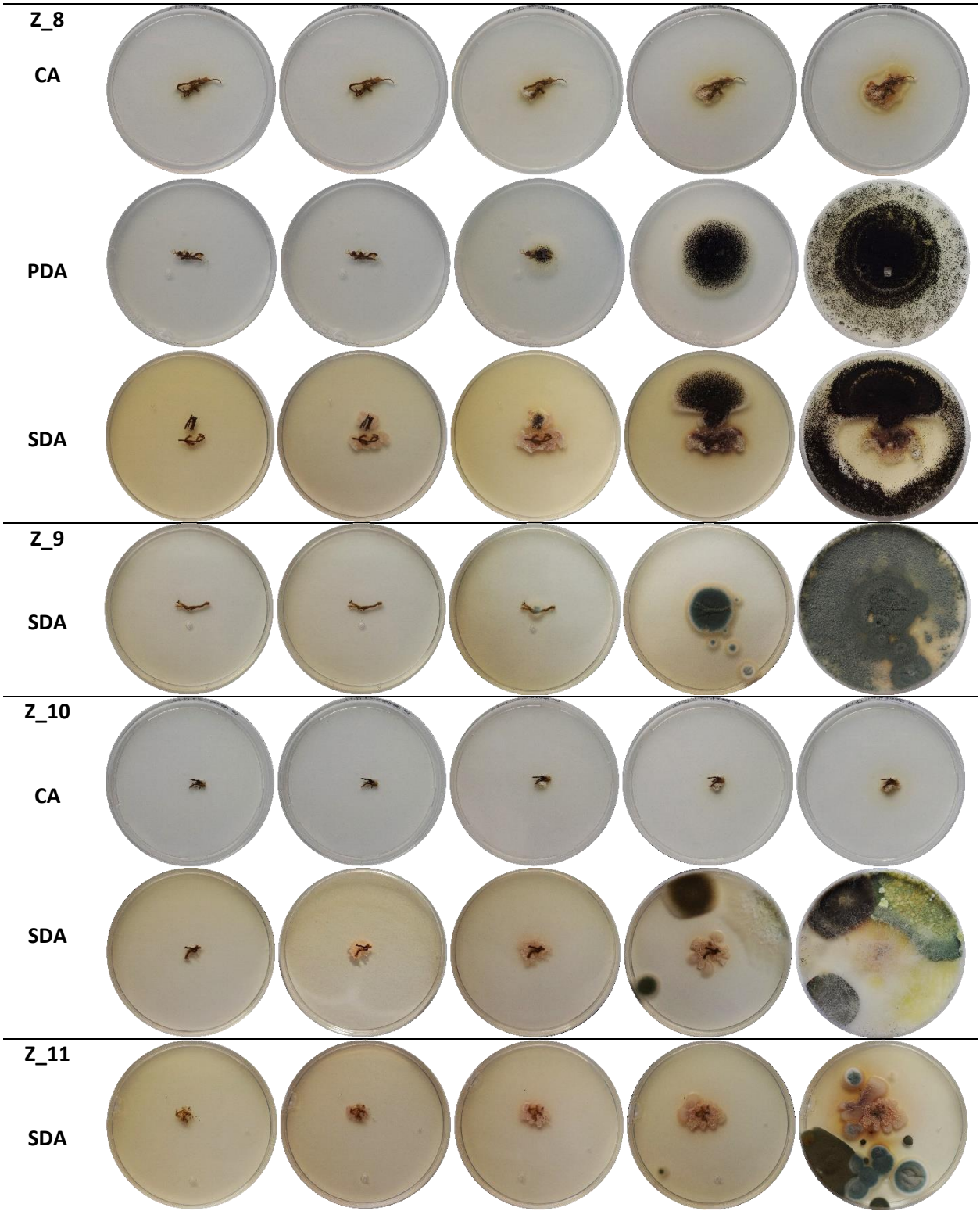
### Ανάπτυξη μικροοργανισμών στα στερεά θρεπτικά υλικά

Πιν. V.1: Πορεία ανάπτυξης μικροοργανισμών της παρούσας μελέτης, σε αερόβιες συνθήκες. Χρόνος παρακολούθησης μικροβιακών καλλιεργειών: 15 μέρες (Τσατσάλοβα 2023).

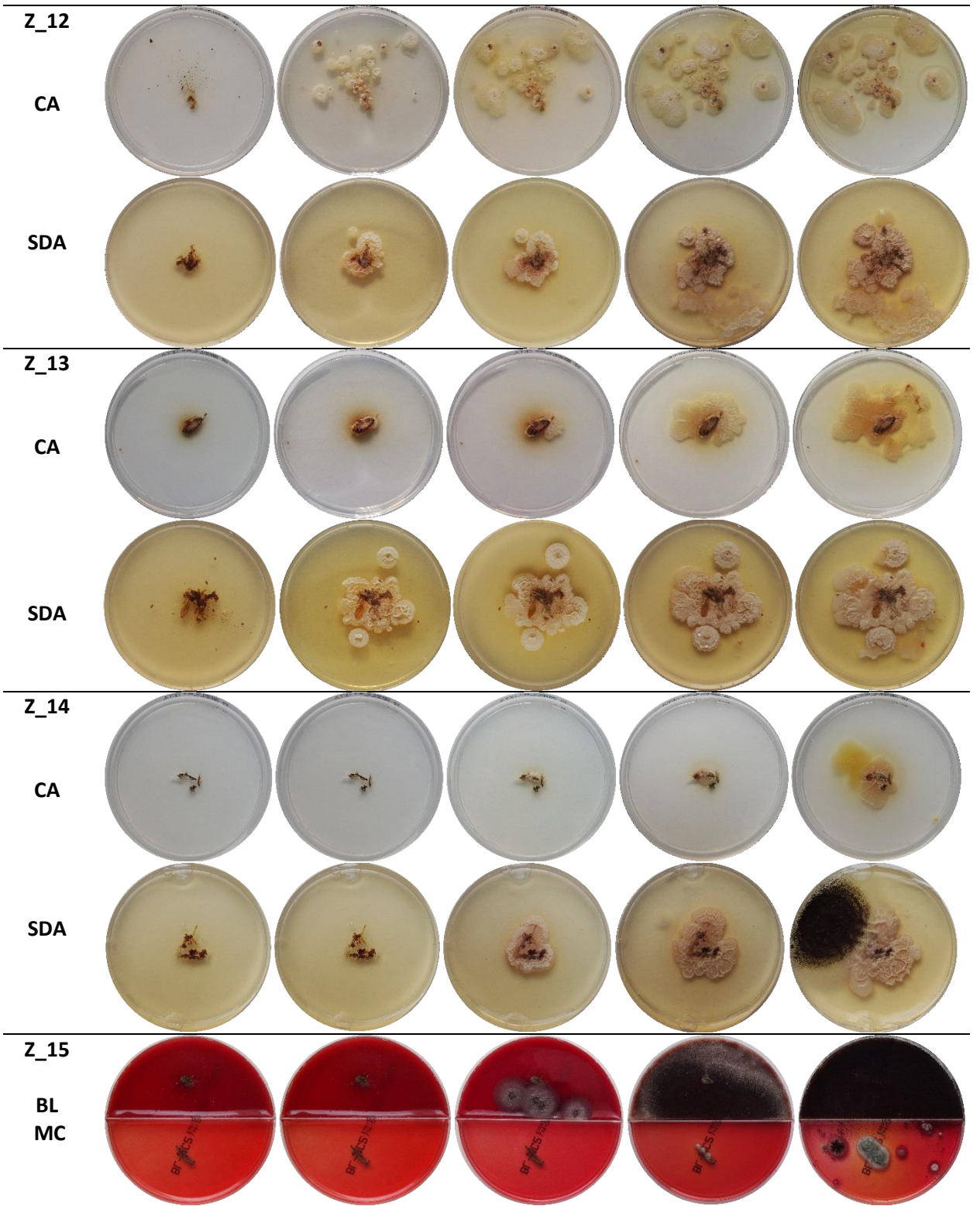
Δείγμα και Θρεπτικό Υλικό	Επώαση 28°C		Επώαση 37°C		
	24hr	48hr	4 μέρες	7 μέρες	15 μέρες
Z_1 CA					
PDA					
Z_1 Z_2 SDA					
Z_3 CA					
SDA					











## Παράρτημα VI

### Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών



Μορφολογικά χαρακτηριστικά βακτηριακών αποικιών

Μέγεθος: μεγάλο.  
Σχήμα: ακανόνιστο και νηματώδες.  
Χρώμα: κρεμ.  
Υφή: κρεμώδης (γυαλιστερή).  
Ανύψωση: αποικίες ανυψωμένες.  
Άκρη: κυματοειδής.



Μορφολογικά χαρακτηριστικά μύκητα

Χρώμα: άσπρο.  
Υφή: τραχιά και τριχωτή.  
Μοτίβο ανάπτυξης: ριζοειδές.

Εικ.VI.1: Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών δείγματος Z\_3 (Τσατσάλοβα 2023).



Μορφολογικά χαρακτηριστικά μύκητα

Παραγωγή κονιδίων (σπορίων) στην επιφάνεια της αποικίας.  
Χρώμα: μαύρο.  
Υφή: τραχιά.  
Μοτίβο ακτινικής ανάπτυξης.



Μορφολογικά χαρακτηριστικά βακτηριακών αποικιών

Μέγεθος: μεγάλο.  
Σχήμα: ακανόνιστο και νηματοειδές.  
Χρώμα: κρεμ.  
Υφή: τραχιά.  
Ανύψωση: αποικίες ανυψωμένες.  
Άκρη: κυματοειδής.

Εικ.VI.2: Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών δείγματος Z\_4 (Τσατσάλοβα 2023).



Μορφολογικά χαρακτηριστικά μύκητα

Διακλαδιζόμενες νηματοειδείς δομές που αποτελούν το σώμα του μύκητα.

Χρώμα: άσπρο  
Μοτίβο ανάπτυξης: ριζοειδής και ανάμεικτη (με υφές από άλλες αποικίες).  
Υφή: τραχιά ή τριχωτή.



Μορφολογικά χαρακτηριστικά βακτηριακών αποικιών

Μέγεθος: μικρό.  
Σχήμα: ακανόνιστο.  
Χρώμα: άσπρη.  
Υφή: τραχιά.  
Ανύψωση: αποικίες ανυψωμένες.  
Άκρη: ακανόνιστη.



Μορφολογικά χαρακτηριστικά μύκητα

Παραγωγή κονιδίων (σπορίων) στην επιφάνεια της αποικίας.  
Χρώμα: μαύρο.  
Υφή: τραχιά.  
Μοτίβο ακτινικής ανάπτυξης.

Εικ.VI.3: Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών δείγματος Z\_7 (Τσατσάλοβα 2023).

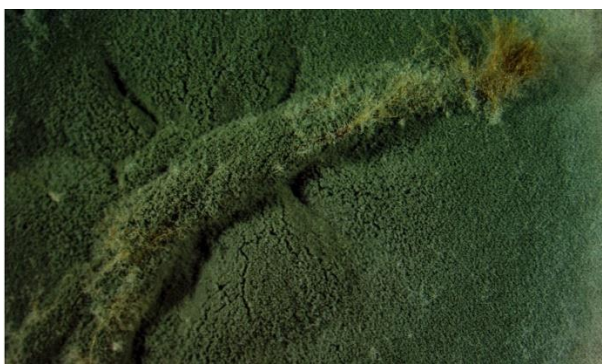




**Μορφολογικά χαρακτηριστικά  
βακτηριακών αποικιών**

**Μέγεθος:** μικρό.  
**Σχήμα:** ακανόνιστο και νηματοειδές.  
**Χρώμα:** κρεμ.  
**Υφή:** τραχιά.  
**Ανύψωση:** αποικίες ανυψωμένες.  
**Άκρη:** κυματοειδής.

*Εικ.VI.4: Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών δείγματος Z\_8 (Τσατσάλοβα 2023).*



**Μορφολογικά χαρακτηριστικά  
μύκητα**

**Αποικία** χνουδωτή περιφερειακά  
και κεντρικά πράσινη-τιρκουάζ,  
λίγο υπερυψωμένη.  
**Χρώμα:** πράσινο.  
**Υφή:** τραχιά.  
**Μοτίβο** ακτινικής ανάπτυξης.

*Εικ.VI.5: Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών δείγματος Z\_9 (Τσατσάλοβα 2023).*



**Μορφολογικά χαρακτηριστικά  
βακτηριακών αποικιών**

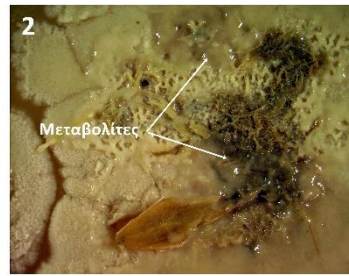
**Σχήμα:** ακανόνιστο.  
**Χρώμα:** μπεζ.  
**Υφή:** κρεμώδης.  
**Άκρη:** κυματοειδής.  
**Διακρίνονται** οι δευτερογενείς  
μεταβολίτες που παράγονται  
από βακτήρια και εκκρίνονται  
στο περιβάλλον τους.

*Εικ.VI.6: Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών δείγματος Z\_10 (Τσατσάλοβα 2023).*



Μορφολογικά χαρακτηριστικά βακτηριακών αποικιών

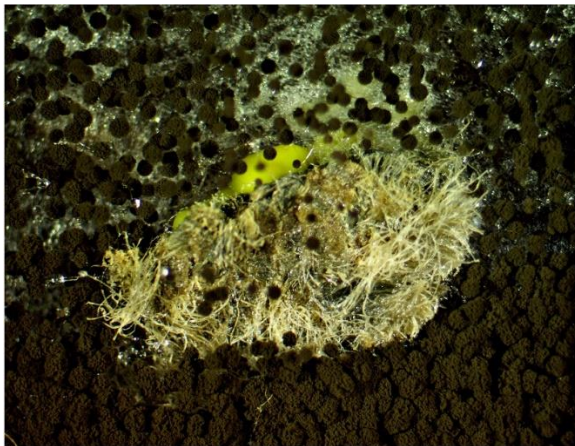
Μέγεθος: μεγάλο.  
Σχήμα: ακανόνιστο.  
Χρώμα: κρεμ.  
Υφή: τραχιά.  
Ανύψωση: αποικίες ανυψωμένες.  
Άκρη: κυματοειδής.



Μορφολογικά χαρακτηριστικά βακτηριακών αποικιών

Μέγεθος: μεγάλο.  
Σχήμα: ακανόνιστο.  
Χρώμα: κρεμ.  
Υφή: τραχιά.  
Ανύψωση: αποικίες ανυψωμένες.  
Άκρη: κυματοειδής.  
Διακρίνονται οι δευτερογενείς μεταβολίτες (οργανικά μόρια που παράγονται από βακτήρια).

*Εικ. VI.7: Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών δείγματος Z\_13 (Τσατσάλοβα 2023).*



Μορφολογικά χαρακτηριστικά μύκητα

Παραγωγή κονιδίων (σπορίων) στην επιφάνεια της αποικίας.  
Χρώμα: μαύρο.  
Υφή: τραχιά.  
Μοτίβο ακτινικής ανάπτυξης.

*Εικ. VI.8: Μορφολογικά χαρακτηριστικά αποικιών δείγματος Z\_15 (Τσατσάλοβα 2023).*

## Παράρτημα VII

### Χρωματικές αποκλίσεις της επιφάνειας υφάσματος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων (In Vitro)

**Πιν.VII.1:** Χρωματικές αποκλίσεις στο σύστημα CIEL\*a\*b\* της επιφάνειας υφάσματος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων (In Vitro). **Όπου:** L\* (Lightness), είναι η φωτεινότητα, οι συντεταγμένες a\* και b\* υποδηλώνουν την πληροφορία χρώματος δηλ. της απόχρωσης χωρίς αριθμητικά όρια. ΔL\* είναι η διαφορά της φωτεινότητας, Δa\* είναι η διαφορά κόκκινου/πράσινου και Δb\* είναι η διαφορά κίτρινου/μπλε. Η τιμή ΔE\* μεγαλύτερη από τη μονάδα, υποδηλώνει διαφορά χρώματος που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος οφθαλμός. Από τις παρακάτω τιμές, διαπιστώνεται πως η μικρότερη χρωματική απόκλιση που έχει υποστεί το πρότυπο δείγμα κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων πειραμάτων, είναι αυτή με ΔE\* 1.9098 (μπλε πλαίσιο), και αφορά τον καθαρισμό του υφάσματος με υδρογέλη NEO Desogen® 5% (Τσατσάλοβα 2023).

Μέρες γήρανση	Πείραμα τεχνητής γήρανσης (επιμόλυνση)			Reference			Πείραμα τεχνητής γήρανσης (επιμόλυνση)			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*
0	4,4614	3,3327	5,4369	4,4614	3,3327	5,4369	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
15	4,1181	0,8634	2,4355	4,4614	3,3327	5,4369	-0,3433	-2,4693	-3,0014	<b>3,9018</b>
30	3,0811	0,524	1,5662	4,4614	3,3327	5,4369	-1,3803	-2,8087	-3,8707	<b>4,9776</b>
Δείγματα	Εφαρμογή βιοκτόνου NEO Desogen®			Reference			Εφαρμογή βιοκτόνου NEO Desogen®			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*
Δ. αναφοράς	4,4614	3,3327	5,4369	4,4614	3,3327	5,4369	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Υδρογέλη 5%	6,1	2,44	5,03	4,4614	3,3327	5,4369	1,6386	-0,8927	-0,4069	<b>1,9098</b>
Διάλυμα 2:10	6,1	4,2	10,41	4,4614	3,3327	5,4369	1,6386	0,8673	4,9731	<b>5,3074</b>



