



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
ΚΛΩΣΤΟΥΨΑΝΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ :
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

ΤΣΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΕΝΗ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΡΙΝΙΩΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2024

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΤΣΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΕΝΗ του ΠΑΝΤΟΛΕΩΝ, με αριθμό μητρώου 70145332 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, 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



ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
ΚΛΩΣΤΟΨΦΑΝΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ :
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

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

Α/Α	ΟΝΟΜΑΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΠΡΙΝΙΩΤΑΚΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΧΡΟΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	ΕΔΙΠ Α ΒΑΘΜΙΔΑΣ	

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	4
Περιεχόμενα Γραφημάτων	6
Περιεχόμενα Εικόνων	7
Περιεχόμενα Πινάκων	8
Περίληψη	9
Abstract	10
Κεφάλαιο 1: Η κλωστοϋφαντουργική βιομηχανία	11
Κεφάλαιο 2: Κλωστοϋφαντουργικά Απόβλητα	15
2.1 Εισαγωγή	15
2.2 Παραγωγή Αποβλήτων	16
2.3 Τρόποι Διαχείρισης	19
2.3.1 Ανάκτηση	19
2.3.2 Ανακύκλωση	20
2.3.3 Κυκλική Οικονομία	21
2.4 Μεθοδολογίες Ανακύκλωσης και Επαναχρησιμοποίησης	23
2.4.1 Ανακύκλωση	23
2.4.2 Επαναχρησιμοποίηση	25
2.4.2.1 Κομποστοποίηση	26
2.4.2.2 Αναγέννηση ινών	28
2.4.2.3 Δημιουργία Οικοδομικών Υλικών	28
2.4.2.4 Θερμική Ανάκτηση	30
2.4.3 Μέθοδοι Παραγωγής Βιοκαυσίμων	30
2.4.3.1 Αναερόβια Χώνευση	30
2.4.3.2 Ζύμωση Απορριμμάτων Κλωστοϋφαντουργίας για Παραγωγή Αιθανόλης	33

Κεφάλαιο 3: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	38
3.1 Χρήση Φυσικών Πόρων	40
3.2 Χρήση νερού	40
3.3 Ρύπανση Υδάτων	41
3.4 Χρήση γης	44
3.5 Αέρια του Θερμοκηπίου	46
3.6 Χημικές Ενώσεις	47
3.7 Ενέργεια	49
Κεφάλαιο 4: Κοινωνικοί Δείκτες	51
4.1 Εισαγωγή	51
4.2 Απασχόληση	52
4.3 Συνθήκες Απασχόλησης	53
4.4 Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ)	53
4.5 Ανάλυση Κοινωνικού Κύκλου Ζωής	54
4.5.1 Ταξινόμηση κοινωνικών δεικτών	56
4.5.2 Διαφορετικές προσεγγίσεις Αξιολόγησης Κοινωνικού Κύκλου Ζωής	57
4.5.3 Προκλήσεις στην εφαρμογή της Αξιολόγησης Κύκλου Κοινωνικής Ζωής	59
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	62
Βιβλιογραφία	64

Περιεχόμενα Γραφημάτων

Γράφημα 1: Παραγωγή φυσικών ινών 2017 – 2020, σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους (Mordor Intelligence, 2022).....	12
Γράφημα 2: Κύκλοι ένδυσης - Παραδοσιακή έναντι "Γρήγορης" Μόδας (WRI, 2017)	16
Γράφημα 3: Η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας.....	22
Γράφημα 4: Κυκλική διαδικασία στην κλωστοϋφαντουργία (Furferi et al., 2022)	23
Γράφημα 5: Διάγραμμα ροής εγκατάστασης βιοαερίου 2 βαθμίδων	32
Γράφημα 6: Ταξινόμηση οδών επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (Sandin & Peters, 2018).....	34
Γράφημα 7: Αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες της τρέχουσας κλωστοϋφαντουργίας (Ellen MacArthur Foundation, 2017).....	39
Γράφημα 8: Επιπτώσεις & Εξαρτήσεις Νερού - Εφοδιαστική Αλυσίδα Κλωστοϋφαντουργίας (Maxwell et al., 2015).....	44
Γράφημα 9: Συγκομιδή βαμβακιού	45
Γράφημα 10: Αξιολόγηση κοινωνικών δεικτών σε σχέση με τη βιωσιμότητα (Bianchini et al., 2022).....	51
Γράφημα 11: Σχέση LCA με SLCA και LCC (Zevenhoven & Khan, 2021).....	55

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Οι 15 μεγαλύτεροι εξαγωγείς υφασμάτων παγκοσμίως (δισ. €) (Euratex, 2022a).....	13
Εικόνα 2: Οι 15 μεγαλύτεροι εξαγωγείς ενδυμάτων παγκοσμίως (δισ. €) (Euratex, 2022a).....	13
Εικόνα 3: Η έννοια της "Γρήγορης Μόδας"	16
Εικόνα 4: Κλωστοϋφαντουργικά Απορρίμματα	17
Εικόνα 5: Μηχανική Ανακύκλωση Κλωστοϋφαντουργικών Προϊόντων	24
Εικόνα 6: Προετοιμασία για Κομποστοποίηση Υφασμάτων	26
Εικόνα 7: Το οικοδομικό υλικό «FabBRICK»	29
Εικόνα 8: Ετικέτα ενδύματος με ενσωματωμένο σύστημα RFID	36
Εικόνα 9: Ανακυκλωμένα Υφάσματα	37
Εικόνα 10: Ρύπανση ποταμού από βαφές κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων	42
Εικόνα 11: Υφαντικές μηχανές που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια	50

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά των απορριμμάτων βαμβακιού (Raj et al., 2009).....	31
Πίνακας 2: Βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας για την παραγωγή βιοαερίου με απόβλητα βαμβακιού.....	32
Πίνακας 3: Βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας για την παραγωγή αιθανόλης με απόβλητα βαμβακιού.....	33

Περίληψη

Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου έχουν αυξήσει την κατανάλωση ενδυμάτων και τη δημιουργία απορριμμάτων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και ρούχων. Αυτό έχει εγείρει ανησυχίες σχετικά με την απώλεια πόρων και την περιβαλλοντική ζημιά που σχετίζεται με αυτές τις ροές. Η αειφόρος ανάπτυξη της διαχείρισης κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων τόσο από περιβαλλοντική όσο και από κοινωνική άποψη αποτελεί το μέγιστο ενδιαφέρον στις μέρες μας.

Πλέον, καθώς η Κυκλική Οικονομία, κερδίζει συνεχώς έδαφος, έχουν δημιουργηθεί τεχνικές για την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, οι οποίες συμβάλλουν σημαντικά στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τόσο από τη δημιουργία νέων προϊόντων όσο και από την τελική τους διάθεση.

Η κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και ενδυμάτων συμβάλλει στην εξάντληση των υδάτινων πόρων, στη χρήση των φυσικών πόρων, στη ρύπανση του νερού και του αέρα και στην αύξηση της ποσότητας των απορριμμάτων που εισέρχονται στους χώρους υγειονομικής ταφής. Τα βιομηχανικά κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ήμισυ της συνολικής ροής κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων.

Επιπλέον ο κοινωνικός αντίκτυπος της κλωστοϋφαντουργικής βιομηχανίας, σε πρωτογενές ή δευτερογενές επίπεδο, είναι σημαντικός, καθώς απασχολεί ένα σημαντικό αριθμό εργαζομένων, με προοπτικές αύξησης, και συμβάλει σημαντικά στο ΑΕΠ των χωρών.

Στην παρούσα εργασία, εξετάζονται οι δύο αυτές πτυχές, και περιγράφονται αναλυτικά τόσο οι δυνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όσο και οι κοινωνικοί δείκτες που συνδέονται με τη βιομηχανία αυτή.

Λέξεις Κλειδιά: Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, Ανακύκλωση, Επαναχρησιμοποίηση, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις, Κυκλική Οικονομία, Διαχείριση Απορριμμάτων, Κοινωνικοί Δείκτες

Abstract

Global population growth and rising living standards have increased apparel consumption, and the generation of textile and clothing waste. This has raised concerns about lost resources and the environmental damage associated with these flows. The sustainable development of textile waste management from both environmental and social perspectives is of utmost concern nowadays.

Now, as the Circular Economy is constantly gaining ground, techniques have been created for the recycling and reuse of textile products, which significantly contribute to reducing the environmental impact, both from the creation of new products and from their final disposal.

The manufacture of textiles and clothing contributes to the depletion of water resources, the use of natural resources, the pollution of water and air, and the increase in the amount of waste entering landfills. Industrial textile waste accounts for almost half of the total textile waste stream.

In addition, the social impact of the textile industry, at a primary or secondary level, is significant, as it employs a significant number of workers, with prospects for growth, and contributes significantly to the countries' GDP.

In this paper, these two aspects are examined, and both the potential environmental impacts and the social indicators associated with this industry are described in detail.

Keywords: Textiles, Recycling, Reuse, Environmental Impact, Circular Economy, Waste Management, Social Indicators

Κεφάλαιο 1: Η κλωστοϋφαντουργική βιομηχανία

Η κλωστοϋφαντουργία είναι μια συνεχώς αναπτυσσόμενη αγορά (Mordor Intelligence, 2022), η οποία έχει εξελιχθεί πολύ από την εφεύρεση του εκκοκκιστηρίου βαμβακιού τον 18ο αιώνα. Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, είναι προϊόντα που κατασκευάζονται από ίνες, νημάτια, νήματα ή κλωστές και μπορεί να είναι τεχνικά ή συμβατικά ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται. Τα τεχνικά υφάσματα κατασκευάζονται για μια συγκεκριμένη λειτουργία. Παραδείγματα περιλαμβάνουν ένα φίλτρο λαδιού ή μια πάνα. Τα συμβατικά υφάσματα κατασκευάζονται πρώτα για αισθητικούς λόγους, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για άλλους χρηστικούς λόγους. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα μπουφάν και τα παπούτσια (TechnologyHQ, 2021).

Η κλωστοϋφαντουργία, με βάση την προέλευση των ινών, χωρίζεται σε τρεις κύριες κατηγορίες (Ananthashankar & AE Ghaly, 2013):

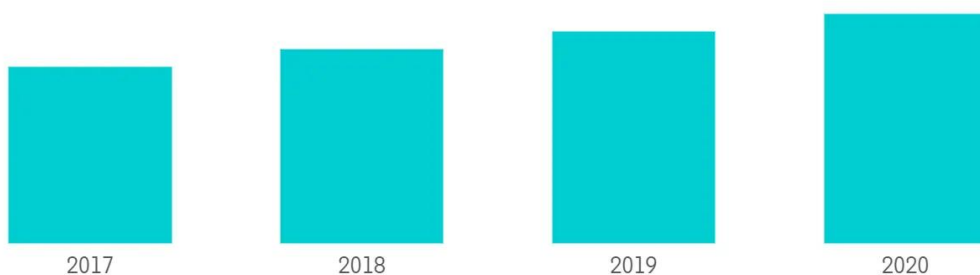
1. ίνες κυτταρίνης (βαμβάκι, ρεγιόν, λινό, ραμί, κάνναβη και Lyocell),
2. πρωτεϊνικές ίνες (μαλλί, ανγκόρα, μοχέρ, κασμίρι και μετάξι) και
3. συνθετικές ίνες (πολυεστέρας, νάιλον, spandex, οξικό, ακρυλικό, ingeo και πολυπροπυλένιο).

Από μια παγκόσμια προοπτική, η κλωστοϋφαντουργία είναι μια συνεχώς αναπτυσσόμενη αγορά, με βασικούς ανταγωνιστές την Κίνα, την Ευρωπαϊκή Ένωση, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ινδία (Mordor Intelligence, 2022; TechnologyHQ, 2021). Η Κίνα είναι ο κορυφαίος παραγωγός και εξαγωγέας στον κόσμο τόσο σε ακατέργαστα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα όσο και σε ενδύματα. Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι ο κορυφαίος παραγωγός και εξαγωγέας ακατέργαστου βαμβακιού, ενώ είναι επίσης ο κορυφαίος εισαγωγέας ακατέργαστων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και ενδυμάτων. Η κλωστοϋφαντουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιλαμβάνει χώρες όπως τη Γερμανία, την Ισπανία, τη Γαλλία, την Ιταλία και την Πορτογαλία στην πρώτη γραμμή, με αξία μεγαλύτερη από το 1/5 της παγκόσμιας

κλωστοϋφαντουργίας. Η Ινδία είναι η τρίτη μεγαλύτερη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας και είναι υπεύθυνη για περισσότερο από το 6% της συνολικής παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, παγκοσμίως (Mordor Intelligence, 2022).

Η ταχεία εκβιομηχάνιση στις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες και η εξελισσόμενη τεχνολογία βοηθούν την κλωστοϋφαντουργία να έχει σύγχρονες εγκαταστάσεις που είναι ικανές για υψηλής απόδοσης παραγωγή υφασμάτων. Αυτοί οι παράγοντες βοηθούν την κλωστοϋφαντουργία να καταγράψει περισσότερα έσοδα και αναμένεται να βοηθήσουν τη βιομηχανία περαιτέρω κατά τις μελλοντικές περιόδους (Mordor Intelligence, 2022).

Natural Fiber Production, in Million Metric Tons, 2017-2020

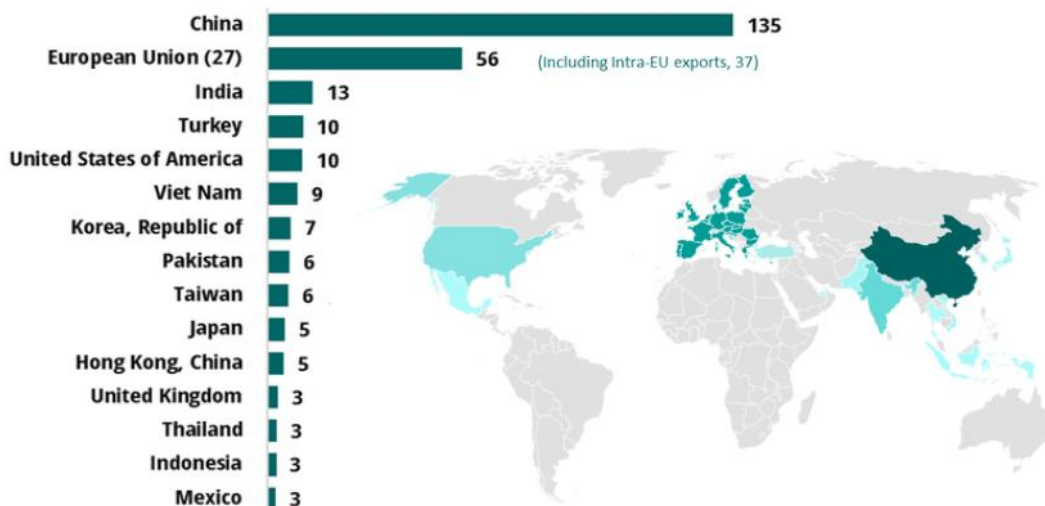


Source: Mordor Intelligence

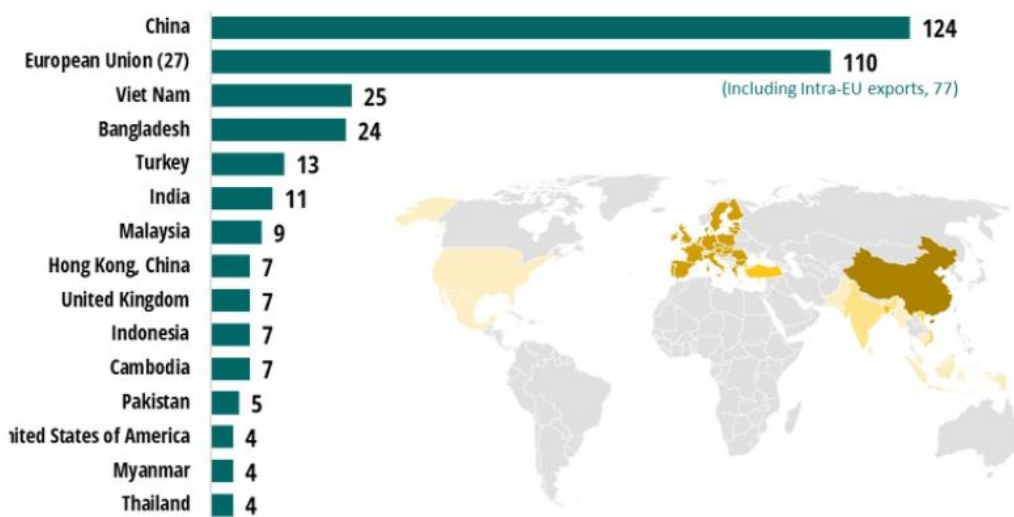


Γράφημα 1: Παραγωγή φυσικών ινών 2017 – 2020, σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους (Mordor Intelligence, 2022)

Σήμερα η αξία της παγκόσμιας κλωστοϋφαντουργίας εκτιμάται σε περίπου 920 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ και προβλέπεται να σημειωθεί ένας γενικός ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης (Compound Annual Growth Rate - CAGR) περίπου 4,4%, ο οποίος αναμένεται να φτάσει περίπου τα 1,230 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2024, σύμφωνα με μια πρόσφατη έκθεση (TechnologyHQ, 2021).



Εικόνα 1: Οι 15 μεγαλύτεροι εξαγωγείς υφασμάτων παγκοσμίως (δισ. €) (Euratex, 2022a)



Εικόνα 2: Οι 15 μεγαλύτεροι εξαγωγείς ενδυμάτων παγκοσμίως (δισ. €) (Euratex, 2022a)

Τα παραπάνω δεδομένα αποδεικνύουν πως η κλωστοϋφαντουργία αποτελεί μια τεράστια παγκόσμια αγορά που επηρεάζει κάθε χώρα στον κόσμο, είτε άμεσα είτε έμμεσα. Ενδεικτικό παράδειγμα, αποτελεί η αύξηση των τιμών του βαμβακιού στα τέλη της δεκαετίας του 2000 λόγω προβλημάτων καλλιέργειας, αλλά και η εξάντληση των αποθεμάτων του λόγω της αυξημένης πώλησής του. Η αύξηση των τιμών και η σπανιότητα αντικατοπτρίστηκε στις τιμές καταναλωτή των προϊόντων που περιείχαν βαμβάκι, οδηγώντας σε χαμηλότερες πωλήσεις. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό

παράδειγμα του πώς κάθε παίκτης στον κλάδο μπορεί να επηρεάσει άλλους (TechnologyHQ, 2021).

Η αγορά κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων γνώρισε μια φρενήρη πορεία την τελευταία δεκαετία. Λόγω των ειδικών υφέσεων των χωρών, των ζημιών στις καλλιέργειες και της έλλειψης προϊόντος, έχει υπάρξει μια ποικιλία ζητημάτων που εμποδίζουν την ανάπτυξη της κλωστοϋφαντουργίας. Μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες η κλωστοϋφαντουργία σημείωσε σημαντική ανάπτυξη τα τελευταία έξι χρόνια που άγγιξε το 14% σε αυτό το διάστημα. Αν και η απασχόληση δεν έχει αυξηθεί σημαντικά, έχει εξισορροπηθεί, κάτι που είναι μεγάλη διαφορά από τα τέλη της δεκαετίας του 2000, όταν υπήρχαν τεράστιες απολύσεις (TechnologyHQ, 2021).

Μέχρι σήμερα, υπολογίζεται ότι στην κλωστοϋφαντουργία απασχολούνται παγκοσμίως από 20 έως 60 εκατομμύρια εργαζόμενοι. Η απασχόληση στη βιομηχανία ενδυμάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική σε αναπτυσσόμενες οικονομίες όπως η Ινδία, το Πακιστάν και το Βιετνάμ. Ο κλάδος αντιπροσωπεύει περίπου το 2% του παγκόσμιου Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος και αντιπροσωπεύει ακόμη μεγαλύτερο μέρος του ΑΕΠ για τους κορυφαίους παραγωγούς και εξαγωγείς κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και ενδυμάτων στον κόσμο (TechnologyHQ, 2021).

Η πανδημία του COVID - 19 έδωσε πολλές και δραστικές προκλήσεις στη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας το 2020. Η Ασία, η οποία είναι μια από τις μεγαλύτερες αγορές για την κλωστοϋφαντουργία στον κόσμο, έχει υποφέρει από τα παρατεταμένα lockdown και τους περιορισμούς στην πλειονότητα των ασιατικών χωρών, μαζί με την ξαφνική πτώση στη διεθνή ζήτηση για τα προϊόντα τους. Η απώλεια ήταν ιδιαίτερα υψηλή σε χώρες όπου η κλωστοϋφαντουργία αντιπροσώπευε μεγαλύτερο μερίδιο των εξαγωγών. Σύμφωνα με τη μελέτη της Διεθνούς Οργάνωσης Εργασίας (ILO) το παγκόσμιο εμπόριο κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων κατέρρευσε κατά το πρώτο εξάμηνο του 2020. Επίσης, οι εξαγωγές προς τις μεγάλες αγοραστικές περιοχές στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία μειώθηκαν κατά περίπου 70%. Ο κλάδος υπέστη επίσης αρκετές διακοπές στην εφοδιαστική αλυσίδα λόγω των ελλείψεων σε βαμβάκι και άλλες πρώτες ύλες (Mordor Intelligence, 2022).

Βέβαια, όλα αυτά φαίνεται πως ανήκουν πλέον στο παρελθόν, καθώς η ανάκαμψη φαίνεται να είναι γρήγορη και διαρκής.

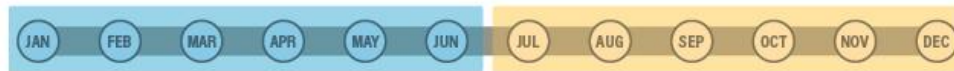
Κεφάλαιο 2: Κλωστοϋφαντουργικά Απόβλητα

2.1 Εισαγωγή

Η αύξηση του πληθυσμού, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, η αυξανόμενη ποικιλία κλωστοϋφαντουργικών υλικών και ο μειωμένος χρόνος κύκλου ζωής των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων συνέβαλαν στην παγκόσμια κατανάλωση ινών που δημιουργεί, κατά συνέπεια, σημαντική ποσότητα (Juanga-Labayen et al., 2022). Η παγκοσμιοποίηση έχει κάνει τη βιομηχανία ένδυσης να παράγει περισσότερα ρούχα με χαμηλότερο κόστος και πολλοί καταναλωτές έχουν προσαρμόσει μια τάση «ταχείας μόδας» που θεωρεί ότι τα ρούχα είναι προϊόντα μιας χρήσης (Claudio, 2007). Η γρήγορη μόδα που χαρακτηρίζεται από τη μαζική παραγωγή, την ποικιλία, την ευελιξία και την προσιτή τιμή έχει επιφέρει αύξηση της κατανάλωσης ενδυμάτων (Bukhari et al., 2018), καθώς κάνει χρήση καινοτόμων μοντέλων παραγωγής και διανομής για να συντομεύσει δραματικά τους κύκλους της μόδας, μεταφέροντας, μερικές φορές, ένα ρούχο από τον σχεδιαστή στον πελάτη σε λίγες εβδομάδες αντί για μήνες. Λόγω αυτού, ο αριθμός των εποχών μόδας έχει αυξηθεί από δύο το χρόνο – άνοιξη/καλοκαίρι και φθινόπωρο/χειμώνα – σε έως και 50 - 100 μικροεποχές (WRI, 2017).

Traditional vs. "Fast" Fashion

TRADITIONAL: 2 CYCLES PER YEAR



TYPICAL FAST FASHION: 50 CYCLES PER YEAR



Source: True Cost

 WORLD RESOURCES INSTITUTE

Γράφημα 2: Κύκλοι ένδυσης - Παραδοσιακή έναντι "Γρήγορης" Μόδας (WRI, 2017)

Οι ταχέως μεταβαλλόμενες τάσεις και οι χαμηλές τιμές, του παραπάνω μοντέλου οικονομίας, επέτρεψαν στους ανθρώπους να καταναλώνουν περισσότερο. Ο μέσος καταναλωτής αγοράζει τώρα 60% περισσότερα είδη ένδυσης σε σύγκριση με το 2000, αλλά κάθε ένδυμα διατηρείται πλέον για το μισό χρόνο (Kirchain et al., 2015; WRI, 2017).



Εικόνα 3: Η έννοια της "Γρήγορης Μόδας"

2.2 Παραγωγή Αποβλήτων

Τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα θεωρούνται ως «απορριπτόμενα» ή «ανεπιθύμητα» υλικά από την παραγωγή και τη χρήση ινών, κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και ενδυμάτων, τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις τύπους: προκαταναλωτικά, μετακαταναλωτικά και βιομηχανικά κλωστοϋφαντουργικά

απόβλητα (Caulfield, 2009). Τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα πριν από την κατανάλωση, θεωρούνται «καθαρά απόβλητα», ως υποπροϊόν κατά τη διαδικασία κατασκευής ινωδών υλικών. Τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα μετά την κατανάλωση, αποτελούνται από απορριπτόμενα ενδύματα ή υφάσματα οικιακής χρήσης (σεντόνια, πετσέτες και μαξιλαροθήκες) που έχουν φθαρεί, καταστραφεί και δεν έχουν καμία αξία για τους καταναλωτές μετά τη διάρκεια ζωής τους (Domina & Koch, 1997). Τα βιομηχανικά κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα θεωρούνται ως «βρώμικα απόβλητα» που παράγονται από εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές κλωστοϋφαντουργίας (Juanga-Labayen et al., 2022).

Η επέκταση της βιομηχανίας ένδυσης και κλωστοϋφαντουργίας καθώς και ο επιταχυνόμενος ρυθμός κατανάλωσης ρούχων έχει οδηγήσει σε δραματική αύξηση της ποσότητας των κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων (Ekström & Salomonson, 2014).



Εικόνα 4: Κλωστοϋφαντουργικά Απορρίμματα

Ειδικότερα, μια σουηδική μελέτη έδειξε ότι κάθε άτομο πετάει 8 κιλά υφασμάτων στα σκουπίδια κάθε χρόνο (Ekström & Salomonson, 2014). Εξειδικεύοντας φαίνεται ότι υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση. Στην **Κίνα**, περίπου το 45% των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων που παράγονται σπαταλάται. Περίπου 26 εκατομμύρια τόνοι (MT) ενδυμάτων αφήνονται ακατέργαστα και απορρίπτονται ετησίως, ενώ μόνο 3,5 εκατομμύρια τόνοι των συλλεγόμενων κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων ανακυκλώθηκαν και επαναχρησιμοποιήθηκαν το 2017 (Juanga-

Labayen et al., 2022). Η κλωστοϋφαντουργία της **ΕΕ** παράγει περίπου 16 εκατομμύρια τόνους απορριμμάτων ετησίως. Οι ευρωπαίοι καταναλωτές απορρίπτουν 5,8 εκατομμύρια τόνους κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων ετησίως, όπου μόνο το 26% ανακυκλώνεται, ενώ σημαντικό μέρος αυτών των απορριμμάτων απορρίπτεται σε χώρους υγειονομικής ταφής ή αποτεφρώνεται (Bukhari et al., 2018; Juanga-Labayen et al., 2022). Στις **ΗΠΑ**, η πλειονότητα των κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων, στο ρεύμα αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), προέρχεται από την απόρριψη ενδυμάτων. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) εκτιμά ότι οι Αμερικανοί πετούν πάνω από 68 λίβρες (30,8 κιλά) ρούχα και υφάσματα ανά άτομο ετησίως (Ekström & Salomonson, 2014). Το 2015 και το 2017, τα παραγόμενα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα αυξήθηκαν σε 16,1 εκατομμύρια τόνους και 16,9 εκατομμύρια τόνους, αντιπροσωπεύοντας το 6,1% και το 6,3% της συνολικής παραγωγής ΑΣΑ, αντίστοιχα. Περίπου το 85% όλων των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων στις ΗΠΑ καταλήγουν σε χωματερές και μόνο το 15% δωρίζεται ή ανακυκλώνεται (Juanga-Labayen et al., 2022). Στον **Καναδά**, εκτιμάται ότι 500.000 τόνοι κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων απορρίπτονται ετησίως. Ο μέσος Καναδός απορρίπτει μεταξύ 30 και 55 λίβρες (13,6 και 25 κιλά) υφασμάτων ετησίως, σχεδόν το 95% αυτών των ρούχων θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί (Juanga-Labayen et al., 2022). Αντίστοιχα, στο **Ηνωμένο Βασίλειο**, ένας μέσος καταναλωτής πετάει 30 κιλά ρούχα και υφάσματα ετησίως (Ekström & Salomonson, 2014).

Καθώς τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι σχεδόν 100% ανακυκλώσιμα, τίποτα στη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας και ένδυσης δεν πρέπει να πάει χαμένο, σε ένα ιδανικό σενάριο. Παρόλα αυτά, συνολικά, το 2020, λιγότερο από το 0,5% της παγκόσμιας αγοράς ινών προερχόταν από ανακυκλωμένα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, πριν και μετά την κατανάλωση (Textile Exchange, 2021).

Ωστόσο, στην πραγματικότητα περίπου το 75% των κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων απορρίπτεται σε χώρους υγειονομικής ταφής, το 25% επαναχρησιμοποιείται ή ανακυκλώνεται και λιγότερο από το 1% όλων των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων ανακυκλώνεται πίσω στα ρούχα (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

2.3 Τρόποι Διαχείρισης

2.3.1 Ανάκτηση

Σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (Οδηγία 2008/98/ΕΚ) ως **ανάκτηση** ορίζεται «οποιαδήποτε εργασία της οποίας το κύριο αποτέλεσμα είναι ότι απόβλητα εξυπηρετούν ένα χρήσιμο σκοπό αντικαθιστώντας άλλα υλικά τα οποία, υπό άλλες συνθήκες, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση συγκεκριμένης λειτουργίας, ή ότι απόβλητα υφίστανται προετοιμασία για την πραγματοποίηση αυτής της λειτουργίας, είτε στην εγκατάσταση είτε στο γενικότερο πλαίσιο της οικονομίας» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2008).

Επομένως σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούν να υπάρξουν δύο κατευθύνσεις (Atria Innovation, 2021):

Ανάκτηση υλικών των απορριμμάτων: Αυτός ο τύπος ανάκτησης βασίζεται στη λήψη υλικών ή ενώσεων ενδιαφέροντος από τα παραγόμενα απόβλητα. Αυτά τα υλικά, ή ενώσεις, ανακτώνται για να μπορούν να επανενσωματωθούν σε μια νέα διαδικασία, αντικαθιστώντας μια παρθένα πρώτη ύλη. Μέσω αυτού του τύπου ανάκτησης, ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος μειώνεται, ενώ ο οικονομικός και ενεργειακός αντίκτυπος θα εξαρτηθεί από τις ανάγκες μετασχηματισμού και όχι από τα απόβλητα για τη λήψη των ενώσεων που ενδιαφέρουν.

Ανάκτηση ενέργειας των απορριμμάτων: Στην περίπτωση αυτή, ο κύριος στόχος της ανάκτησης είναι η λήψη ενέργειας από την αποτέφρωση των απορριμμάτων. Είναι μια ενδιαφέρουσα επιλογή, ωστόσο, αυτού του είδους η αποτίμηση είναι εκτός του στρατηγικού σχεδίου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Βασικός στόχος είναι ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής, καθώς η παραγωγή ενέργειας από τα απόβλητα υπερβαίνει τα καθορισμένα όρια εκπομπών CO₂ (<100g CO₂ eq / kWh).

Γενικά, εάν τα απόβλητα το επιτρέπουν, η στρατηγική που συνίσταται είναι η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων απευθείας σε άλλη διεργασία ή χρήση, χωρίς την ανάγκη διεργασιών μετασχηματισμού. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό, συνιστάται η πραγματοποίηση του ελάχιστου αριθμού μετασχηματισμών μέχρι τη λήψη της ένωσης ενδιαφέροντος. Με αυτόν τον τρόπο το οικονομικό κόστος της ανάκτησης μειώνεται και μπορεί να ανταγωνιστεί μια παρθένα πρώτη ύλη. Τέλος, εάν

δεν είναι δυνατή η απόκτηση πολύτιμων υλικών από απόβλητα, συνιστάται η ανάκτηση ενέργειας που έχει τις μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον (Atria Innovation, 2021).

2.3.2 Ανακύκλωση

Σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (Οδηγία 2008/98/EK) ως ανακύκλωση ορίζεται: *«οποιαδήποτε εργασία ανάκτησης με την οποία τα απόβλητα μετατρέπονται εκ νέου σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες που προορίζονται είτε να εξυπηρετήσουν και πάλι τον αρχικό τους σκοπό είτε άλλους σκοπούς. Περιλαμβάνει την επανεπεξεργασία οργανικών υλικών αλλά όχι την ανάκτηση ενέργειας και την επανεπεξεργασία σε υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή σε εργασίες επίχωσης»* (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2008).

Η ανακύκλωση περιλαμβάνει ένα σύνολο διαδικασιών που μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σύμφωνα με διαφορετικές πτυχές. Αφενός ο βαθμός επεξεργασίας που λαμβάνει χώρα οδηγεί στις ακόλουθες κατηγορίες (Bartl, 2014):

- Ανακύκλωση προϊόντων
- Ανακύκλωση υλικών
- Ανακύκλωση πρώτων υλών (επίσης χημική ανακύκλωση)

Από την άλλη πλευρά, η διαδικασία κατανομής για την ανακύκλωση διακρίνει τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις (Bartl, 2014; Sandin & Peters, 2018):

- Μια διαδικασία κατανομής κλειστού βρόχου (closed-loop)
- Μια διαδικασία κατανομής ανοιχτού βρόχου (open-loop)

Η ανακύκλωση «κλειστού βρόχου» περιλαμβάνει την ανακύκλωση ενός υλικού από ένα προϊόν και την επαναχρησιμοποίησή του σε ένα περισσότερο ή λιγότερο πανομοιότυπο προϊόν. Αντίθετα, η ανακύκλωση «ανοιχτού βρόχου» συνίσταται στην ανακύκλωση ενός υλικού από ένα προϊόν και στην επαναχρησιμοποίησή του σε άλλο προϊόν (Juanga-Labayen et al., 2022).

Οι εργασίες ανακύκλωσης περιλαμβάνουν έναν τεράστιο αριθμό διαδικασιών που μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο αποτελεσματικές (Bartl, 2014).

Από τα παραπάνω, διαπιστώνεται πως η κύρια διαφορά μεταξύ ανακύκλωσης και ανάκτησης είναι το τελικό προϊόν, το οποίο είναι είτε «προϊόν, υλικό ή ουσία» ή «απόβλητο που εξυπηρετεί χρήσιμο σκοπό» (The Chemical Compliance Coach, 2021).

2.3.3 Κυκλική Οικονομία

Η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας εμφανίζει ιδιαίτερη δυναμική από τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Αρκετοί συγγραφείς, διερευνούν τα γραμμικά και ανοιχτά χαρακτηριστικά των σύγχρονων οικονομικών συστημάτων, περιγράφοντας πώς οι φυσικοί πόροι επηρεάζουν την οικονομία παρέχοντας εισροές για παραγωγή και κατανάλωση καθώς και χρησιμεύοντας ως καταβόθρα εκροών με τη μορφή αποβλήτων (Geissdoerfer et al., 2017).

Ένας ιδιαίτερα περιεκτικός ορισμός για την Κυκλική Οικονομία αναφέρει το εξής: *«Η κυκλική οικονομία περιγράφει ένα οικονομικό σύστημα που βασίζεται σε επιχειρηματικά μοντέλα που αντικαθιστούν την έννοια «τέλος του κύκλου ζωής» με τη μείωση, εναλλακτική επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών σε διαδικασίες παραγωγής / διανομής και κατανάλωσης, λειτουργώντας έτσι σε μικροεπίπεδο (προϊόντα, εταιρείες, καταναλωτές), σε μέσο επίπεδο (οικοβιομηχανικά πάρκα) και μακροοικονομικό επίπεδο (πόλη, περιοχή, έθνος κ.ά.), με στόχο την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης, που συνεπάγεται τη δημιουργία περιβαλλοντικής ποιότητας, οικονομικής ευημερίας και κοινωνικής δικαιοσύνης, προς όφελος των σημερινών και των μελλοντικών γενεών».* (Kirchherr et al., 2017)

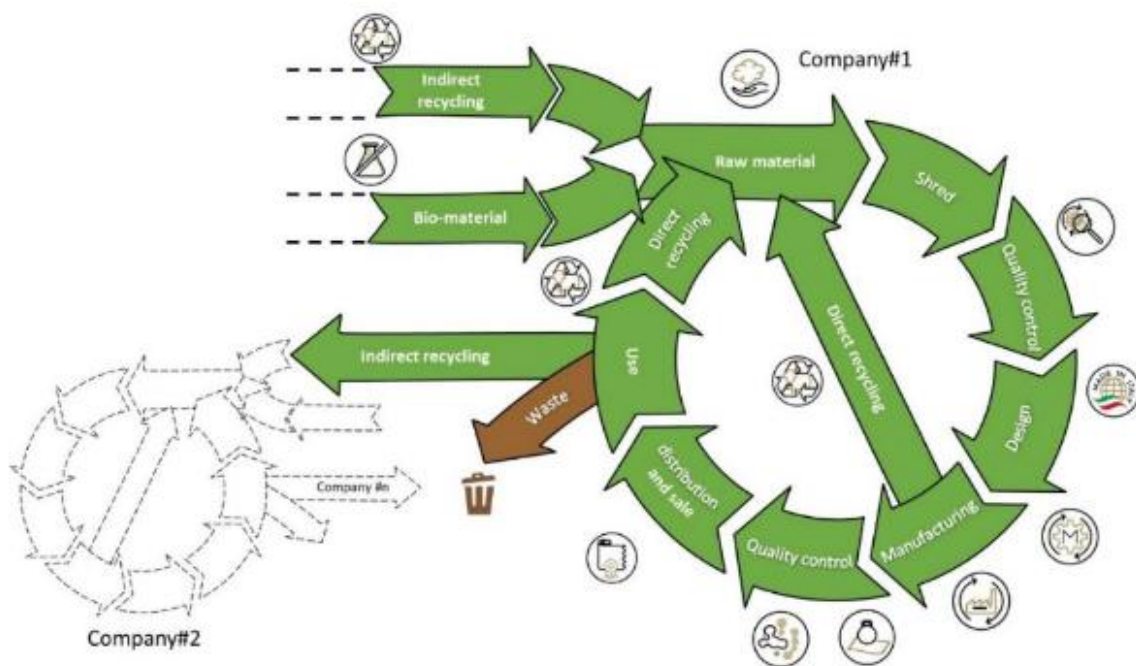


Γράφημα 3: Η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας

Ουσιαστικά η επίτευξη των παραπάνω βασίζεται σε τρία βασικά σημεία (Ellen MacArthur Foundation, 2022):

- Την εξάλειψη των απόβλητων και της ρύπανσης
- Την ανακυκλοφορία προϊόντων και υλικών (στην υψηλότερη αξία τους)
- Την αναγέννηση των φυσικών συστημάτων

Στόχος της κυκλικής οικονομίας είναι να δημιουργήσει τέλειους κύκλους αργών ροών υλικών, να προκαλέσει μια στροφή από την κατανάλωση στη χρήση και να επιτρέψει την αποσύνδεση της χρήσης πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την οικονομική ανάπτυξη. Αντίστοιχα, τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα έχουν ως στόχο τη μείωση του κόστους, την αύξηση των εσόδων και τη διαχείριση των κινδύνων, καθώς και την παροχή δυνατοτήτων στον χρηματοοικονομικό τομέα να συμβάλει στη μετάβαση στη βιωσιμότητα (Corvellec et al., 2022).



Γράφημα 4: Κυκλική διαδικασία στην κλωστοϋφαντουργία (Furferi et al., 2022)

2.4 Μεθοδολογίες Ανακύκλωσης και Επαναχρησιμοποίησης

2.4.1 Ανακύκλωση

Ως ανακύκλωση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων αναφέρεται η επανεπεξεργασία κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων, τόσο πριν από την κατανάλωση όσο και μετά, για χρήση σε νέα κλωστοϋφαντουργικά ή μη προϊόντα (Juanga-Labayen et al., 2022).

Η ανακύκλωση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων ταξινομείται συνήθως ως μηχανική ή χημική ανακύκλωση. Η **μηχανική** ανακύκλωση υποβαθμίζει τα απόβλητα προς διακοσμητικές, κατασκευαστικές, γεωργικές και κηπουρικές χρήσεις. Η **χημική** ανακύκλωση περιλαμβάνει μια διαδικασία όπου τα πολυμερή αποπολυμερίζονται (πολυεστέρας) ή διαλύονται (βαμβάκι και βισκόζη). Η χημική ανακύκλωση μπορεί να παράγει ίνες ίσης ποιότητας σε σύγκριση με τα παρθένα υλικά (Sandin & Peters, 2018). Τα διαλεγμένα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα θα μπορούσαν να υποβληθούν σε χημική επεξεργασία για την εξαγωγή πόρων όπως ίνες, με βάση τις πρωτεΐνες, για την παραγωγή συγκολλητικών για ξύλινα πάνελ και κυτταρινικές ίνες για παραγωγή βιοαιθανόλης (Juanga-Labayen et al., 2022).

Η μηχανική ανακύκλωση μεταχειρισμένων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων περιλαμβάνει διάφορα στάδια διαδικασίας και αποτελέσματα. Το πρώτο στάδιο είναι ο τεμαχισμός των υφασμάτων, με αποτέλεσμα κομμάτια από υφαντικές ίνες, χρησιμοποιώντας μηχανές που κόβουν μηχανικά το ύφασμα. Τα προκύπτοντα τεμάχια λαναρίζονται, πριν υποστούν επεξεργασία, με έναν από τους δύο τρόπους:

- 1) ύφανση τεμαχισμένων θραυσμάτων ή
- 2) κλώση ινωδών υλικών.

Στην πρώτη περίπτωση, είναι δυνατή η ύφανση τεμαχίων υφασμάτων χωρίς την παραγωγή νημάτων, δημιουργώντας «μη υφασμένα υφάσματα» που δεν έχουν ακριβή δομή και συγκολλούνται μέσω ειδικών επεξεργασιών, όπως η εισαγωγή με μηχανική πίεση ή η εισαγωγή θερμαινόμενων πλαστικών νημάτων. Επομένως, τα προϊόντα είναι σύνθετα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους κατασκευαστές για την κατασκευή θερμομονωτικών ή ηχοαπορροφητικών πλαισίων, όπως ταπετσαρίες, πιλήματα οροφής, επένδυση επίπλων ή μόνωση αυτοκινήτου, χρήσιμα στις βιομηχανίες κατασκευών, επίπλων ή αυτοκινήτων (Furferi et al., 2022).



Εικόνα 5: Μηχανική Ανακύκλωση Κλωστοϋφαντουργικών Προϊόντων

Η δεύτερη επιλογή είναι η «αναγέννηση υφασμάτων ινών», η οποία αποδίδει νήμα παραγωγής, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή υφασμάτων

και νέων ενδυμάτων ή ειδών οικιακής χρήσης. Συγκεκριμένα, ο κύριος στόχος εδώ είναι να επιτευχθεί ανακύκλωση από ίνες σε ίνες, που αναφέρεται επίσης με τον όρο «αναγεννημένο μαλλί» (Furferi et al., 2022).

Η ποιότητα των ανακυκλωμένων υφασμάτων είναι χαμηλότερη από εκείνη των αρχικών υφασμάτων, πράγμα που σημαίνει λιγότερη απαλότητα και γενικά λιγότερο ελκυστική εμφάνιση (Nørgup et al., 2019).

Η ανακύκλωση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων μπορεί να ταξινομηθεί με βάση τη φύση των διαδικασιών που εμπλέκονται ή το επίπεδο αποσυναρμολόγησης των ανακτημένων υλικών (Sandin & Peters, 2018). Η ανακύκλωση υφασμάτων συνίσταται στην ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση ενός υφάσματος σε νέα προϊόντα. Η ανακύκλωση ινών περιλαμβάνει την αποσυναρμολόγηση του υφάσματος αλλά τη διατήρηση των αρχικών ινών. Η ανακύκλωση πολυμερών/ολιγομερών συνίσταται στην αποσυναρμολόγηση των ινών διατηρώντας τα πολυμερή ή τα ολιγομερή. Επιπλέον, η ανακύκλωση μονομερών συνίσταται στην αποσυναρμολόγηση πολυμερών ή ολιγομερών, ενώ διατηρώντας τα μονομερή (Sandin & Peters, 2018).

Επιπλέον, οι τεχνολογίες ανακύκλωσης για ίνες μπορούν τυπικά να χωριστούν σε πρωτογενείς, δευτερογενείς, τριτογενείς και τεταρτοταγείς προσεγγίσεις. Οι πρωτογενείς προσεγγίσεις περιλαμβάνουν την ανακύκλωση βιομηχανικών απορριμμάτων. Η δευτερογενής ανακύκλωση περιλαμβάνει τη μηχανική επεξεργασία ενός προϊόντος μετά την κατανάλωση. Η τριτογενής ανακύκλωση περιλαμβάνει πυρόλυση και υδρόλυση, μετατρέποντας τα πλαστικά απόβλητα σε χημικά, μονομερή ή καύσιμα. Η τεταρτογενής ανακύκλωση αναφέρεται στην καύση των ινωδών στερεών αποβλήτων και στη χρήση της παραγόμενης θερμότητας (Ignatyev et al., 2014).

2.4.2 Επαναχρησιμοποίηση

Η επαναχρησιμοποίηση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων περιλαμβάνει διάφορα μέσα για την παράταση της ωφέλιμης ζωής των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων από τον πρώτο ιδιοκτήτη στον επόμενο. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν ενοικίαση,

εμπορία, ανταλλαγή και δανεισμό ως πρώτο μέτρο και διάφορες, πιο εξειδικευμένες, τεχνικές ως δεύτερο μέτρο.

Σήμερα, διάφορες τεχνολογίες μπορούν να επιλεγούν για την προώθηση της ανάκτησης απορριμμάτων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Κάποιες από τις πλέον διαδεδομένες είναι οι ακόλουθες:

2.4.2.1 Κομποστοποίηση

Κομποστοποίηση είναι η βιολογική αποσύνθεση των αποβλήτων που αποτελούνται από οργανικές ουσίες φυτικής ή ζωικής προέλευσης υπό ελεγχόμενες συνθήκες σε κατάσταση επαρκώς σταθερή για αποθήκευση και χρήση (Smith et al., 2015). Η κομποστοποίηση χρησιμοποιεί διάφορους μικροοργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων και μυκήτων, για να μετατρέψει πολύπλοκη οργανική ύλη σε απλούστερες ουσίες, παρουσία αέρα (Juanga-Labayen et al., 2022). Είναι ένας κύριος τύπος ανακύκλωσης οργανικών αποβλήτων για την παραγωγή χρήσιμων λιπασμάτων, όπως ο χούμος που είναι τελικό προϊόν, ευεργετικό για την ανάπτυξη των φυτών και αποτελεσματικό για την ελαχιστοποίηση των οργανικών αποβλήτων σε μικρή ή μεγάλη κλίμακα. Η διαδικασία κομποστοποίησης μπορεί να εφαρμοστεί για μια μεγάλη ποικιλία συστατικών αποβλήτων (Hussain et al., 2022).



Εικόνα 6: Προετοιμασία για Κομποστοποίηση Υφασμάτων

Τα απόβλητα βαμβακιού αποτελούν σημαντικό πρόβλημα διάθεσης απορριμμάτων στις μέρες μας, και η κομποστοποίηση θεωρείται ως εναλλακτική λύση για την

πρόληψη της άμεσης απόρριψης των απορριμμάτων αυτών. Τα απορρίμματα βαμβακιού από κομποστοποίηση και βερμικομποστοποίηση θα μπορούσαν να είναι μια εξαιρετική μακροπρόθεσμη πηγή θρεπτικών συστατικών (Mahitha et al., 2016).

Η βερμικομποστοποίηση (Vermicomposting) είναι μια βιοτεχνολογική διαδικασία κομποστοποίησης που χρησιμοποιεί γαιοσκώληκες για να μετατρέψει τα απόβλητα σε κομπόστ με βελτιωμένη γονιμότητα του εδάφους, που υπερβαίνει σημαντικά το συμβατικό κομπόστ (Hazarika & Khwairakram, 2022; Mahitha et al., 2016).

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, κάνοντας χρήση υποστρώματος απορριμμάτων βαμβακιού, ο αριθμός της βακτηριακής ποικιλότητας στα δείγματα κομπόστ και βερμικομπόστ ήταν παρόμοιος. Ωστόσο, τα δείγματα βερμικομπόστ περιέχουν μια πλούσια πυκνότητα βακτηριακών απομονώσεων σε σύγκριση με δείγματα κομπόστ τα οποία παράγουν καλύτερο εδαφοβελτιωτικό (Juanga-Labayen et al., 2022).

Στο πλαίσιο αυτό διερευνήθηκε η βερμικομποστοποίηση υπολειμμάτων υφασμάτων βαμβακιού με τη μορφή απορριμμάτων από διαχωριστές κατά τη διεργασία εκκοκκισμού (willow waste). Τα απόβλητα αυτά είναι ανεπιθύμητα για εφαρμογή σε κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και απλώς απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Στην συγκεκριμένη έρευνα, τα συλλεχθέντα απόβλητα αναμίχθηκαν με πολύ κοπριάς βοοειδών, κυτταρινάση και ένζυμα αμυλάσης (απομονωμένα από κοπριά) και ένα αποτελεσματικό διάλυμα μικροοργανισμών. Το μίγμα αναδεύεται και ραντίζονταν περιοδικά με νερό. Μετά από 20 ημέρες, τα απόβλητα αποσυντέθηκαν πλήρως και εισήχθησαν γαιοσκώληκες. Η διαδικασία της βερμικομποστοποίησης ολοκληρώθηκε όταν το μείγμα των απορριμμάτων έγινε ανοιχτό καφέ ή σκούρο καφέ μετά από 14 ημέρες. Το προκύπτον vermicompost χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την καλλιέργεια φυτών σε γλάστρες και αποκάλυψε ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο βερμικομπόστ είχαν εξαιρετικό ρυθμό ανάπτυξης σε μήκος ρίζας, μήκος βλαστών και δείκτη επιφάνειας φύλλων (Juanga-Labayen et al., 2022).

Επιπλέον, από τη δεκαετία του 1980, το υπόστρωμα απορριμμάτων βαμβακιού χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια μανιταριών στρειδιών (oyster mushroom – *Pleurotus Ostreatus*). Περισσότερο από το 90% των καλλιεργητών των εν λόγω μανιταριών έχουν χρησιμοποιήσει υποστρώματα βαμβακιού για την καλλιέργειά τους

(Oh, Sejong et al., 2004). Παράλληλα μια νέα τεχνολογία κομποστοποίησης απορριμμάτων βαμβακιού, για την καλλιέργεια αυτών των μανιταριών, έχει δείξει υψηλότερη απόδοση της καλλιέργειας κατά 65,1%, σε σχέση με το ξηρό βάρος του υποστρώματος, συγκριτικά με μια παραδοσιακή τεχνολογία φυσικής ζύμωσης, η οποία έχει απόδοση 43,6% (Phuong, 2016).

2.4.2.2 Αναγέννηση ινών

Η παραγωγή παρθένων ινών βαμβακιού απαιτεί τη χρήση εκτεταμένων πόρων, μια επιλογή που πλέον δεν θεωρείται βιώσιμη. Η αναγέννηση ινών με ανακύκλωση βαμβακερών απορριμμάτων αποτελεί μια τεχνολογία κλειστού βρόχου ανακύκλωσης για βαμβακερά απορρίμματα ενδυμάτων (Haule et al., 2016).

Η αναγέννηση των ινών περιλαμβάνει τη μετατροπή των υπολειμμάτων βαμβακερών υφασμάτων σε πολτό, τη διάλυση του πολτού με τη χρήση ενός διαλύτη και την κλώση σε ίνες. Ο διαλύτης N-methylmorpholine N-oxide (NMMO) μπορεί να διαλύσει πλήρως την κυτταρίνη χωρίς καμία αποικοδόμηση και είναι περιβαλλοντικά ασφαλής στη χρήση. Ο πολτός που ανακτάται από ενδύματα με βάση το βαμβάκι, μπορεί να αναμειχθεί με ξυλοπολτό για να παραχθούν ίνες παρόμοιες με το lyocell (Woodings, 1995).

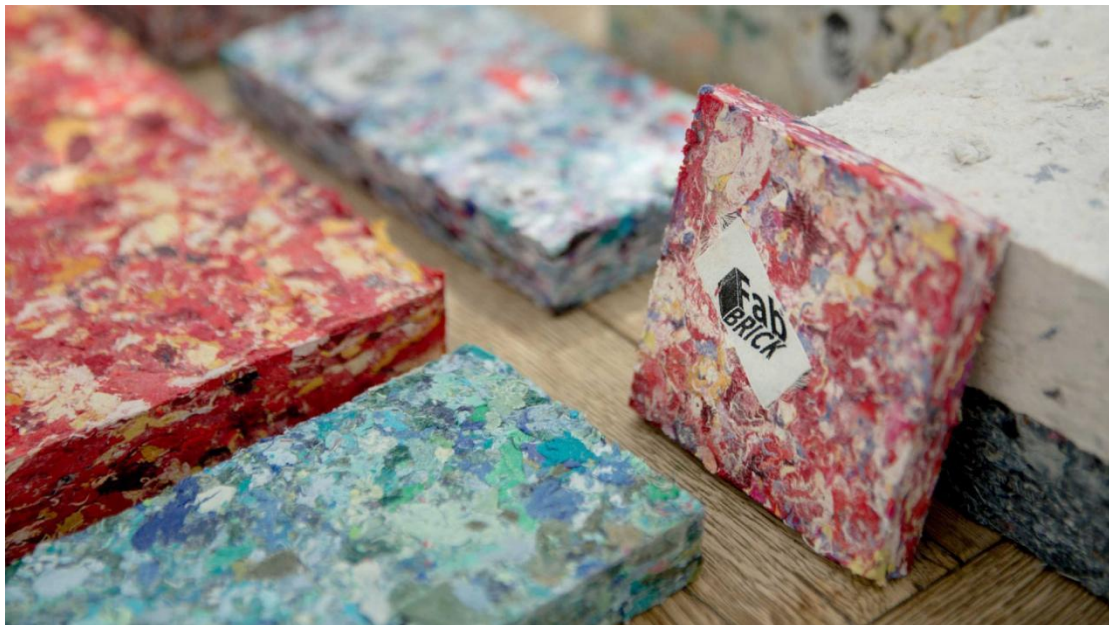
Εξίσου σημαντικό να αναφερθεί, είναι η αναγέννηση ινών από κατάλοιπα αγροτικών υποπροϊόντων. Με σκοπό την οικολογική συνείδηση, το παραπροϊόν της αγροτικής παραγωγής περνάει από τα στάδια της αναγεννημένης κυτταρίνης, μετέπειτα της ίνας, του νήματος και τέλος την δημιουργία υφάσματος. Τα κοινωνικά και οικολογικά οφέλη είναι πολλά με το προϊόν αυτό, αφού η κυτταρίνη είναι φυσική οργανική ένωση και η διαδικασία είναι φιλική προς το περιβάλλον.

2.4.2.3 Δημιουργία Οικοδομικών Υλικών

Τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα αντιπροσωπεύουν μια πηγή πρώτων υλών για τυπική εφαρμογή στις κατασκευές, όπως μονωτικά υλικά για τον θόρυβο και τη θερμοκρασία και υλικά πλήρωσης ή ενισχύσεις από σκυρόδεμα (Pichardo et al., 2018). Η μετατροπή των ινωδών απορριμμάτων χαλιών σε προϊόν προστιθέμενης αξίας ως ενίσχυση του εδάφους έδειξε ότι τα ινώδη εγκλείσματα που προέρχονται από τα απόβλητα χαλιών βελτιώνουν την αντοχή στη διάτμηση της ιλυώδους άμμου (Ghiassian et al., 2004).

Επιπλέον, το κλωστοϋφαντουργικά οπλισμένο σκυρόδεμα (TRC) είναι ένα σύνθετο υλικό σκυροδέματος που χρησιμοποιεί υφάσματα ως ενισχυτικό υλικό, και το οποίο χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων προκατασκευών, επισκευής, αποκατάστασης και δομικής ενίσχυσης υπαρχουσών κατασκευών. Το παραπάνω αποτελεί καινοτομία του κατασκευαστικού κλάδου, ο οποίος προάγει τη βιωσιμότητα στα οικοδομικά υλικά χρησιμοποιώντας απόβλητα από την κλωστοϋφαντουργία. Ειδικότερα συνδυάζει λεπτόκοκκο σκυρόδεμα και πολυαξονικά προσανατολισμένα υφάσματα που προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως λεπτό μέγεθος, καλή φέρουσα ικανότητα, αντοχή στη διάβρωση, εξαιρετική ολκιμότητα, έλλειψη μαγνητικών διαταραχών και χαμηλό βάρος (Alexander & Shashikala, 2020; Williams Portal et al., 2015).

Επιπλέον, τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χοντρών σχοινιών σχεδιασμένων για προστασία των πλαγιών από φαινόμενα ολίσθησης και διάβρωσης. Για την παραγωγή σχοινιών, έχουν χρησιμοποιηθεί υπολείμματα μονωτικών υλικών που παράγονται από μαλλί κακής ποιότητας και υπολείμματα μη υφαντών που παράγονται από μείγμα ανακυκλωμένων ινών. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν τη χρησιμότητα της τεχνολογίας για την προστασία απότομων πλαγιών (Broda et al., 2019).



Εικόνα 7: Το οικοδομικό υλικό «FabBRICK»

2.4.2.4 Θερμική Ανάκτηση

Η αποτέφρωση, μέσω της θερμικής ανάκτησης, ανεπιθύμητων υφασμάτων που δεν είναι κατάλληλα για ανακύκλωση (μοκέτες ή υφάσματα με άγνωστες ίνες), θεωρείται βιώσιμη εναλλακτική λύση για την υγειονομική ταφή. Οι ίνες ταπήτων έχουν υψηλή θερμιδική αξία που μπορεί να μειώσει την ανάγκη για καύσιμα, ενώ επιπλέον η προκύπτουσα τέφρα γίνεται πρώτη ύλη για το τσιμέντο (Wang, 2010). Το πλεονέκτημα της επιλογής αποτέφρωσης είναι ότι μπορεί να χειριστεί το πιο σημαντικό μέρος των αδιαχώριστων κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων και η ενέργεια μπορεί να ανακτηθεί από την καύση.

Ωστόσο, η καύση υφασμάτων από μόνη της, μπορεί να προκαλέσει ακανόνιστη συμπεριφορά θερμοκρασίας, ρυθμό ανάφλεξης και ποσοστό απώλειας βάρους στο στάδιο διάδοσης της ανάφλεξης. Για αυτό, τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα θα πρέπει να αναμιγνύονται με απορρίμματα χαρτονιού κατά την αποτέφρωση για να διατηρηθεί μια ομοιόμορφη συμπεριφορά καύσης των υφασμάτων αυτών (Ryu et al., 2007).

Ενδεικτικά η αποτέφρωση ενός τόνου οικιακών κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων, μπορεί να ανακτήσει 15.800 MJ ενέργειας και να παράγει 27 κιλά τέφρας (Youhanan, 2013).

2.4.3 Μέθοδοι Παραγωγής Βιοκαυσίμων

Η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων από κλωστοϋφαντουργικά υφάσματα μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την μετατροπή του σε βιοκαύσιμα. Η πρακτική αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη και σε άλλα είδη αποβλήτων, προσφέροντας μια σημαντική ποσότητα καυσίμων, που μπορούν να υποκαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα.

Για την μετατροπή αυτή χρησιμοποιούνται μεθοδολογίες όπως η αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου και η ζύμωση για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

2.4.3.1 Αναερόβια Χώνευση

Η Αναερόβια Χώνευση (Anaerobic Digestion - AD) χρησιμοποιείται ευρέως για την επεξεργασία βιοαποδομήσιμου κλάσματος οργανικών αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου (Metcalf & Eddy, 2018).

Το βαμβάκι, το οποίο χαρακτηρίζεται από περισσότερο από 50% κυτταρίνη, αποτελεί ένα πιθανό υπόστρωμα για βιολογική μετατροπή προς παραγωγή βιοαερίου (Raj et al., 2009).

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά των απορριμμάτων βαμβακιού (Raj et al., 2009)

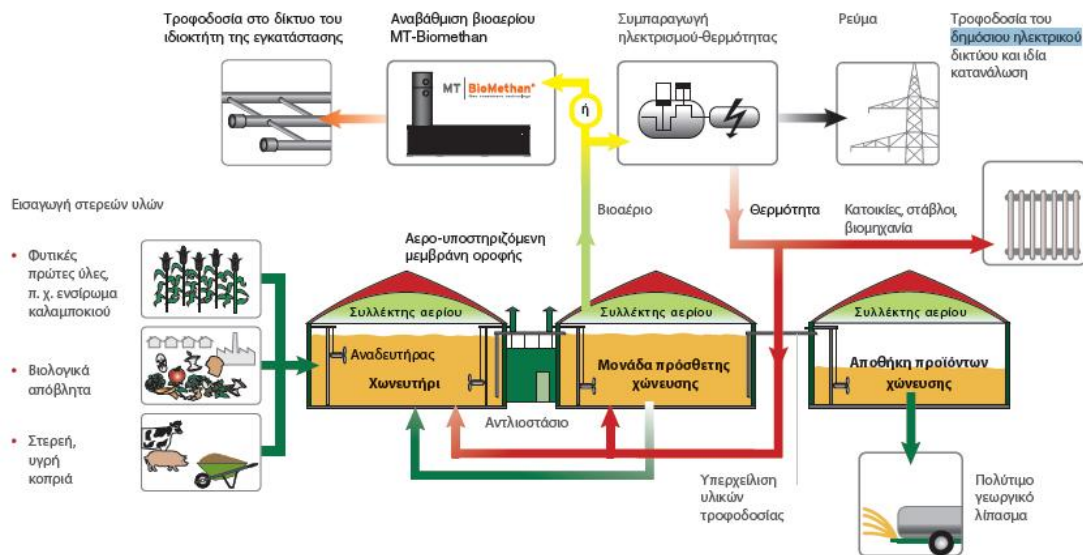
Περιεχόμενο	Ποσοστό (%)
Κυτταρίνη	54
Μη κυτταρίνη	16
Εκχυλιστικό αιθέρα	12
Υγρασία	8,8
Τέφρα	7,2
Μέταλλα και άλλα	3,2

Την τελευταία δεκαετία, έχουν διεξαχθεί μελέτες σχετικά με την Αναερόβια Χώνευση χρησιμοποιώντας απόβλητα βαμβακιού για την παραγωγή βιοαερίου πλούσιου σε μεθάνιο. Τα απόβλητα βαμβακιού (κοτσάνια βαμβακιού, φλοιός βαμβακόσπορου και μίγμα βαμβακέλαιου) μπορούν να υποβληθούν σε αναερόβια επεξεργασία για την παραγωγή βιοαερίου (Isci & Demirer, 2007). Τα απόβλητα βαμβακιού από κλωστήρια μπορούν να συμβάλλουν ως ένα πιθανό υπόστρωμα (Raj et al., 2009), ενώ η Αναερόβια Χώνευση των ιατρικών απορριμμάτων της βιομηχανίας βαμβακιού, υπό θερμοφίλες συνθήκες, με την επιπλέον χρήση κοπριάς βοοειδών, διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζει βελτιωμένη απόδοση βιοαερίου, της τάξης περίπου του 92% (Ismail & Talib, 2016).

Οι μέθοδοι προεπεξεργασίας ενισχύουν τη βιοαποικοδόμηση πολύπλοκης οργανικής ύλης σε συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της ποιότητας και της παραγωγή του βιοαερίου με μειωμένη παραγωγή βιοστερεών (Shrestha et al., 2020). Διάφορες τεχνολογίες προεπεξεργασίας, κυρίως μηχανικές, θερμικές, χημικές και βιολογικές μπορούν να επιλεγούν για την ενίσχυση της διαδικασίας χώνευσης (Shrestha et al., 2020). Έχει διαπιστωθεί πως η προεπεξεργασία πριν από την αναερόβια χώνευση των απορριμμάτων τζιν υφασμάτων (60% βαμβάκι, 40% πολυεστέρας) και των υποστρωμάτων από απορρίμματα καθαρού βαμβακιού, κάνοντας χρήση 0,5 M Na₂CO₃ στους 150 °C για

120 λεπτά, δημιουργεί μέγιστη απόδοση μεθανίου 328,9 και 361,1 mL CH₄/g VS, αντίστοιχα (Juanga-Labayen et al., 2022).

Διάγραμμα ροής μιας εγκατάστασης βιοαερίου 2 βαθμίδων



Γράφημα 5: Διάγραμμα ροής εγκατάστασης βιοαερίου 2 βαθμίδων

Κάποιες από τις βέλτιστες τεχνικές που έχουν ερευνηθεί μέχρι σήμερα, παρουσιάζονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2: Βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας για την παραγωγή βιοαερίου με απόβλητα βαμβακιού

Ρεύμα απορριμμάτων βαμβακιού	Προεπεξεργασία	Εμβολιασμός	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	Χρόνος χώνευσης (ημέρες)	Απόδοση CH ₄ (mL/g VS)	CH ₄ (%)
Απορρίματα βαμβακιού (κοτσάνια βαμβακιού, φλοιοί βαμβακόσπορων, βαμβακέλαιο)	-	Απόβλητα από αναερόβιο χωνευτή MEYA	35±2	23	65 (κοτσάνια βαμβακιού); 86 (φλοιός σπόρων βαμβακιού); 78 (βαμβακέλαιο)	60
Απορρίματα βαμβακιού από κλωστήρια	-	5–7,5% κοπριά βοοειδών/κοπριά χοίρου	30-32	50	-	77
Ιατρικά απορρίματα βαμβακιού	Αλκαλικό (Na ₂ CO ₃)	Κοπριά βοοειδών	55	90	37,57	60-70
Απορρίματα	0,5 M Na ₂ CO ₃	Απόβλητα από	37	40	328,9 (60%)	-

τζιν (60% βαμβάκι) Βαμβακερά απορρίμματα (100%)	στους 150 °C για 120 λεπτά	αναερόβιο χωνευτή MEYA			βαμβάκι); 361,08 (καθαρό βαμβάκι)	
Απορρίμματα υφασμάτων από βαμβάκι (100% βαμβάκι)	0,5 M Na ₂ CO ₃ στους 150 °C για 3 ώρες	Χωνεμένη ιλύς από αναερόβιο χωνευτή MEYA	37	15	306,73	>50

2.4.3.2 Ζύμωση Απορριμμάτων Κλωστοϋφαντουργίας για Παραγωγή Αιθανόλης

Η διερεύνηση των απορριμμάτων εκκοκκιστηρίου βαμβακιού ως πρώτης ύλης για την παραγωγή αιθανόλης ξεκίνησε το 1979 στο Texas Tech University. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει σημαντικός αριθμός μελετών αναφορικά με τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων για την παραγωγή αιθανόλης (Hamawand et al., 2016).

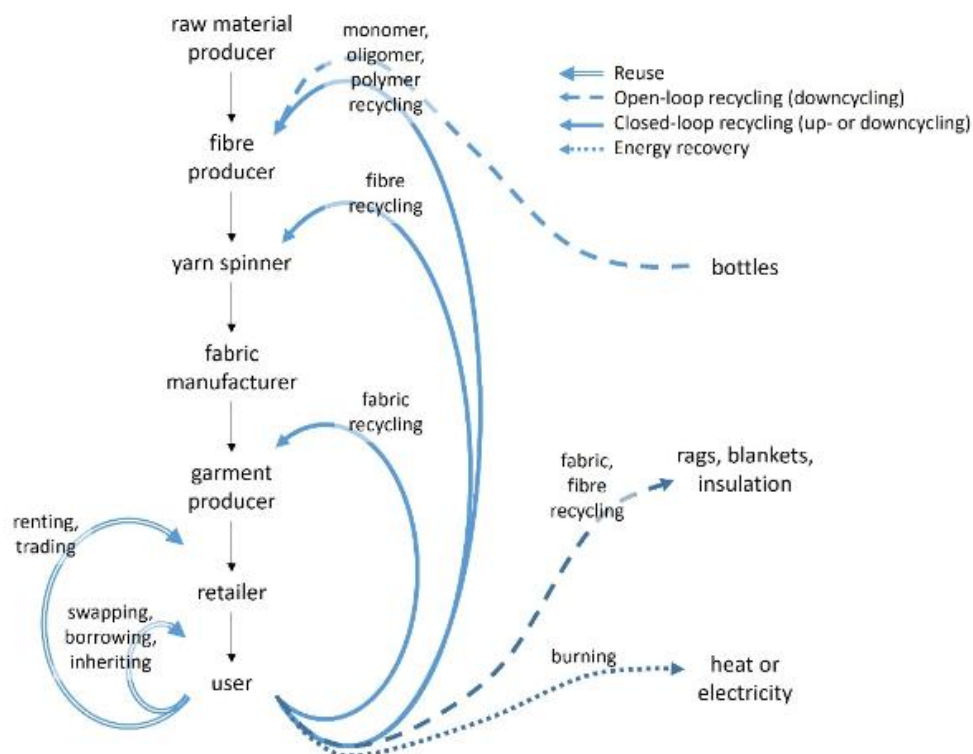
Μεταξύ των ερευνών έχει αξιολογηθεί η επίδραση της προεπεξεργασίας με αλκάλια για την ενίσχυση της παραγωγής αιθανόλης χρησιμοποιώντας ύφασμα μείγματος πολυεστέρα/βαμβακιού (πολυβαμβάκι). Η μέγιστη απόδοση αιθανόλης, με ταυτόχρονη σακχαροποίηση και ζύμωση, ήταν 70% μετά την προεπεξεργασία με NaOH/ουρία στους 20 °C, η οποία θεωρήθηκε η πλέον επιθυμητή (Juanga-Labayen et al., 2022). Σε διαφορετική έρευνα διερευνήθηκε η χρήση του βαμβακερού μέρους του απόβλητου των μπλε τζιν (40% πολυεστέρας/60% βαμβάκι) για την παραγωγή αιθανόλης, η οποία περιλαμβάνει τη διαδικασία ενζυματικής υδρόλυσης και ζύμωσης (Hasanzadeh et al., 2018). Η ενζυματική υδρόλυση μετατρέπει την κυτταρίνη σε ζυμώσιμα σάκχαρα [58]. Η επίδραση της προεπεξεργασίας μη ερυθροποιημένων και μερσερισμένων βαμβακερών υφασμάτων, ενίσχυσε τις αποδόσεις γλυκόζης και αιθανόλης, αποδεικνύοντας τις δυνατότητες του βαμβακερού υφάσματος ως εναλλακτική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης (Nikolić et al., 2017).

Ο ακόλουθος Πίνακας συνοψίζει τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας για την παραγωγή αιθανόλης.

Πίνακας 3: Βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας για την παραγωγή αιθανόλης με απόβλητα βαμβακιού

Ρεύμα	Προεπεξεργασία	Ενζυματική	Κατάσταση	Απόδοση	Απόδοση
-------	----------------	------------	-----------	---------	---------

απορριμμάτων βαμβακιού		Υδρόλυση	Ζύμωσης	γλυκόζης	αιθανόλης
Βαμβακερό μέρος από ύφασμα πολυεστέρα - βαμβάκι	NaOH/ουρία, – 20 °C, 72 h	Κυτταράση και ένζυμο β-γλυκοσιδάσης, pH 4,8, 45 °C, 72 h	<i>S. cerevisiae</i> , 36 °C, 72 h	91%	70%
Βαμβακερό ύφασμα λευκασμένο και μερσεριζέ (100% κυτταρίνη)	Προεπεξεργασία Corona βαμβακερών υφασμάτων μερσεριζέ	Ένζυμο Celluclast, 50 °C, 8 ημέρες	<i>S. cerevisiae</i> var <i>ellipsoideus</i> , pH 5, 30 °C, 100 rpm	0,94 g/g	0,9 g/L·h
Απορρίμματα τζιν (60% βαμβάκι) Βαμβάκι (αγνό)	1 M Na ₂ CO ₃ , 150 °C, 120 λεπτά	Κυτταράση και β-γλυκοσιδάση, 45 °C, 72 h, 120 rpm	<i>S. cerevisiae</i> , 36 °C, 72 h	81,7% (60% βαμβάκι) 88% (καθαρό βαμβάκι)	59,5% (60% βαμβάκι) 69,4% (καθαρό βαμβάκι)



Γράφημα 6: Ταξινόμηση οδών επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (Sandin & Peters, 2018)

Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει την ταξινόμηση των διαφόρων μορφών επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης. Η προσέγγιση ανακύκλωσης «κλειστού βρόχου» ανακτά την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός πολυμερούς προϊόντος και στη συνέχεια επανεπεξεργάζεται στο ίδιο προϊόν ισοδύναμης ποιότητας με αυτό από το παρθένο υλικό (Sandin & Peters, 2018).

Η δημιουργία ενός κλειστού βρόχου στη χρήση των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, θα απαιτήσει προηγμένες και σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένες γνώσεις σχετικά με την προέλευση, τη ροή και τη σύνθεση των απορριπτόμενων υφασμάτων. Οι τεχνολογίες παρακολούθησης, όπως οι ετικέτες RFID, QR ή NFC, αναμένεται να διαδραματίσουν ολοένα ισχυρότερο ρόλο στο μέλλον της ανακύκλωσης υφασμάτων. Η τεχνολογία Blockchain δημιουργεί μεγάλες προσδοκίες σε όλους τους τομείς, καθώς αναμένεται να φέρει επανάσταση στη διαφάνεια της εφοδιαστικής αλυσίδας και στην επαλήθευση προϊόντων. Το Blockchain επιτρέπει τη δημιουργία ενός ασφαλώς αποθηκευμένου και ελεγχόμενου αρχείου πληροφοριών σχετικά με το από πού προέρχεται ένα ένδυμα, ποια υλικά περιέχει, ποιες πιστοποιήσεις υπάρχουν και πώς μοιάζει το ταξίδι του στην αλυσίδα εφοδιασμού. Αυτή η τεχνολογία βοηθά στην προστασία των καταναλωτών από παραποιημένα ή επιβλαβή προϊόντα. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να διευκολύνει σημαντικά τη δουλειά των διαλογέων, ταξινομητών και ανακυκλωτών, καθώς τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θα φέρουν όλα ένα «διαβατήριο υλικών», επιτρέποντας την άμεση ενημέρωση μεταξύ παραγωγής, κατανάλωσης και ανακύκλωσης (Leal Filho et al., 2019).



Εικόνα 8: Ετικέτα ενδύματος με ενσωματωμένο σύστημα RFID

Γενικά, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων θα μπορούσαν να μειώσουν τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο, συμβάλλοντας στη μείωση της παραγωγής παρθένων υφαντικών ινών και την αποφυγή περαιτέρω διαδικασιών στον κύκλο ζωής του κλωστοϋφαντουργικού προϊόντος. Επιπλέον, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση υφασμάτων θεωρούνται πιο βιώσιμες πρακτικές εν συγκρίσει με την αποτέφρωση και την υγειονομική ταφή. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση θεωρείται περισσότερο ωφέλιμη από την ανακύκλωση, κυρίως όταν παρατείνεται επαρκώς η φάση επαναχρησιμοποίησης (Juanga-Labayen et al., 2022; Wang, 2010).

Βέβαια, παρά τις παραπάνω δυνατότητες για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση, είναι επίσης προφανές ότι πολλά απόβλητα κλωστοϋφαντουργίας δεν είναι κατάλληλα για επεξεργασία με καμία από αυτές τις επιλογές καθώς τα υλικά έχουν καταστραφεί από τη φθορά, μπορεί να είναι λερωμένα ή υγρά, μπορεί να έχουν επωνυμία που περιορίζει τη μεταπώληση, η σύνθεσή τους είναι ένα μείγμα διαφορετικών ινών ή ακόμη μπορεί να υπάρχουν μεταλλικά ή πλαστικά στοιχεία στο προϊόν. Με αυτά τα υλικά, το βασικό κόστος συλλογής, διαλογής και μεταφοράς ενδέχεται να μην ανακτηθεί ποτέ (Leal Filho et al., 2019).



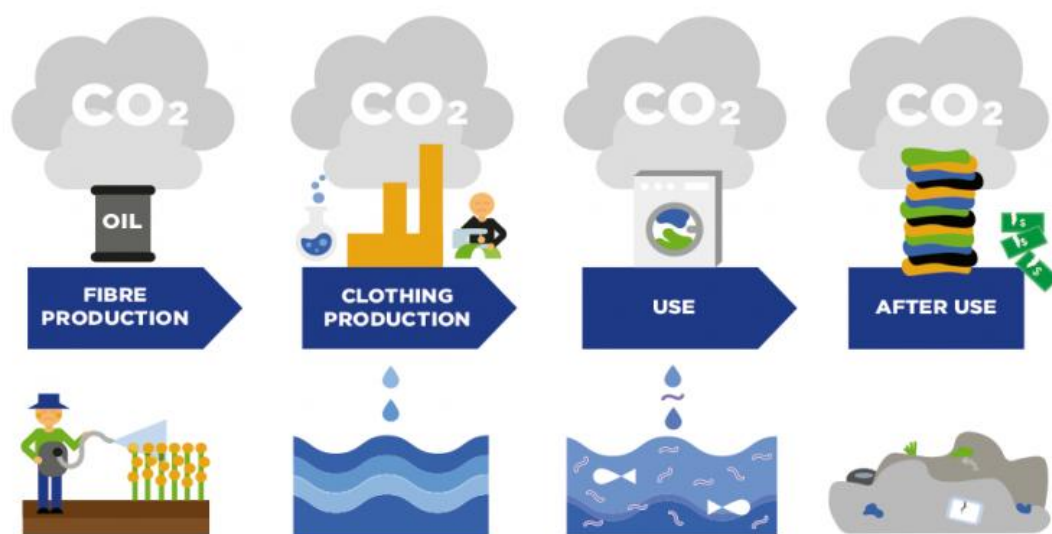
Εικόνα 9: Ανακυκλωμένα Υφάσματα

Κεφάλαιο 3: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Καθώς η παγκόσμια ζήτηση για κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα αυξάνεται σταθερά, μια τάση που ενδέχεται να συνεχιστεί, γίνεται αντιληπτό πως η κλωστοϋφαντουργία αντιμετωπίζει τεράστιες προκλήσεις αναφορικά με το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους. Το 63% των υφαντικών ινών προέρχονται από πετροχημικά των οποίων η παραγωγή και η τύχη προκαλούν σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), ενώ το υπόλοιπο 37% κυριαρχείται από το βαμβάκι (24%), ένα φυτό με σημαντικές απαιτήσεις σε νερό, υπεύθυνο για αποξήρανση και τοξική ρύπανση, λόγω της εντατικής χρήσης φυτοφαρμάκων (Sandin & Peters, 2018). Μεταγενέστερα στάδια στη διαδικασία παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων προκαλούν ακόμη μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι διαδικασίες υγρής επεξεργασίας (βαφή, φινίρισμα, εκτύπωση κ.λπ.) είναι κύριες πηγές τοξικών εκπομπών και η κλώση των νημάτων και η ύφανση/πλέξιμο υφασμάτων βασίζονται συνήθως στη χρήση ενέργειας από ορυκτά, προκαλώντας εκπομπές όπως π.χ. CO₂ και αιωρούμενα σωματίδια (Roos et al., 2015). Επομένως, οι μέχρι στιγμής έρευνες, δείχνουν ότι οι εκπομπές θερμοκηπίου, η χρήση νερού, οι τοξικές χημικές ουσίες και τα απόβλητα είναι τα κύρια περιβαλλοντικά ζητήματα που αντιμετωπίζει η κλωστοϋφαντουργία. Βάσει αυτού για αρκετές κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ο αντίκτυπος ανά χρήση ενδύματος σε μια δυτική χώρα πρέπει να μειωθεί κατά 30 – 100% έως το 2050, εάν ο κλάδος πρέπει να θεωρηθεί βιώσιμος όσον αφορά πλανητικά όρια (Sandin & Peters, 2018).

Μια πρόσφατη προσπάθεια αξιολόγησης του παγκόσμιου αντίκτυπου του κλωστοϋφαντουργικού τομέα είναι από το Ίδρυμα Ellen MacArthur. Ειδικότερα στην έκθεσή του αναφέρει στοιχεία για τη χρήση πόρων και τις αρνητικές εξωτερικές επιδράσεις που σχετίζονται με τις ροές υλικών. Ειδικότερα δίνονται τα παγκόσμια ετήσια στοιχεία για τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) (1200 εκατομμύρια τόνοι), τη χρήση νερού (93 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα), τα λιπάσματα για το βαμβάκι (8 εκατομμύρια τόνοι), τα φυτοφάρμακα για το βαμβάκι (200.000 τόνοι), τα χημικά (42 εκατ. τόνοι) και τις χρωστικές (1 εκατ. τόνοι). Για λόγους σύγκρισης, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για την παραγωγή

βαμβακιού υπολογίζονται σε 4,7 kg CO₂e/kg ινών. Για τις ίνες με βάση το πλαστικό, η παραγωγή ινών υπολογίζεται σε 11,9 kg CO₂e/kg ινών, για την παραγωγή νημάτων και υφασμάτων, συμπεριλαμβανομένης της βαφής, υπολογίζονται σε 9,6 kg CO₂e/kg ινών. Όσον αφορά τις απαιτήσεις χρήσης νερού ο αριθμός για την παραγωγή βαμβακιού εκτιμάται σε 4600 λίτρα/κιλό ινών, για την παραγωγή ινών με βάση το πλαστικό υπολογίζεται σε 38 λίτρα/κιλό ινών και για τη βαφή κλωστοϋφαντουργικών υλικών είναι 88 λίτρα/κιλό ινών (Ellen MacArthur Foundation, 2017).



Γράφημα 7: Αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες της τρέχουσας κλωστοϋφαντουργίας (Ellen MacArthur Foundation, 2017)

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη φάση παραγωγής περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις της καλλιέργειας φυσικών ινών, λόγω παραγόντων όπως οι αλλαγές στη χρήση γης, η εξόρυξη νερού και η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή συνθετικών ινών. Η κλώση και η διαστασιολόγηση των υφασμάτων, καθώς και το φινίρισμα και η εκτύπωση/βαφή των τελικών προϊόντων συμβάλλουν επίσης σημαντικά. Η αποστολή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων σε όλο τον κόσμο αυξάνει τις εκπομπές ρύπων από τις μεταφορές και τα απορρίμματα συσκευασίας. Οι περισσότερες επιπτώσεις που προκαλούνται κατά τη φάση χρήσης οφείλονται στη συντήρηση των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Ο τρόπος με τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν και καθαρίζουν τα ρούχα και τα υφάσματα οικιακής χρήσης – πλύσιμο, στέγνωμα και σιδέρωμα – έχει σημαντικό αντίκτυπο στο

περιβάλλον. Η συλλογή και η διαχείριση των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους έχει επίσης αντίκτυπο μέσω της μεταφοράς και της επεξεργασίας τους, για να μην αναφέρουμε τον σημαντικό όγκο κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων που τελικά αποτεφρώνονται και απορρίπτονται (Manshoven et al., 2019).

3.1 Χρήση Φυσικών Πόρων

Η κλωστοϋφαντουργία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε πόρους, τόσο ανανεώσιμους, όπως φυσικές ίνες, όσο και μη ανανεώσιμους, όπως το πετρέλαιο, για την παραγωγή συνθετικών ινών, χημικών ουσιών για βαφή και επεξεργασία και φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων για την καλλιέργεια βαμβακιού (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Για την παραγωγή όλων των ενδυμάτων, υποδημάτων και υφασμάτων οικιακής χρήσης που αγοράστηκαν, μόνο από νοικοκυριά της ΕΕ το 2017, εκτιμάται ότι χρησιμοποιήθηκαν 675 εκατομμύρια τόνοι, 1.321 kg ανά άτομο, πρωτογενών πρώτων υλών. Αυτό περιλαμβάνει όλους τους τύπους υλικών, όπως τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για συνθετικές ίνες και για την παραγωγή ενέργειας. Λιπάσματα, ορυκτά και μέταλλα που χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις παραγωγής και βιομάζα, εξαιρουμένου του νερού. Το μεγαλύτερο μέρος, το 85 τοις εκατό, της κατανάλωσης πρωτογενούς υλικού, το υψηλότερο μερίδιο όλων των τομέων κατανάλωσης των νοικοκυριών, λαμβάνει χώρα σε περιοχές μακριά από την περιοχή χρήσης του προϊόντος. Αυτό δείχνει ότι τμήματα έντασης υλικών και ενέργειας της αλυσίδας εφοδιασμού κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων εμφανίζονται κυρίως σε τρίτες χώρες, όπως η γεωργία και η παραγωγή ινών (Manshoven et al., 2019).

3.2 Χρήση νερού

Η παραγωγή υφασμάτων απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού. Η παραγωγή ινών, η παραγωγή ρούχων, η χρήση και το τέλος ζωής, καταναλώνουν τεράστια ποσότητα νερού, αφήνοντας παράλληλα ίχνη ινών και χημικών ουσιών στις πηγές νερού. Η ετήσια παραγωγή της κλωστοϋφαντουργίας, καταναλώνει περίπου 93 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού (Ellen MacArthur Foundation, 2017), ποσό που ισοδυναμεί με 37 εκατομμύρια ολυμπιακές πισίνες (Chen et al., 2021).

Η χρήση του νερού σχετίζεται κυρίως με την καλλιέργεια φυτικών ινών, όπως το βαμβάκι. Το βαμβάκι είναι η πιο κοινή φυσική ίνα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ρούχων, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 33% όλων των ινών που βρίσκονται στα υφάσματα. Το βαμβάκι είναι επίσης μια πολύ απαιτητική για νερό καλλιέργεια, καθώς απαιτεί 2.700 λίτρα νερό — ποσότητα που καταναλώνει ένας άνθρωπος σε δύομισι χρόνια — για να φτιάξει ένα βαμβακερό πουκάμισο. Σε περιοχές που ήδη αντιμετωπίζουν υδατικό στρες, η παραγωγή βαμβακιού μπορεί να είναι ιδιαίτερα επιζήμια. Στην Κεντρική Ασία, για παράδειγμα, η Θάλασσα της Αράλης έχει σχεδόν εξαφανιστεί επειδή οι βαμβακοκαλλιεργητές αντλούν υπερβολικά μεγάλες ποσότητες από τους ποταμούς Amu Darya και Syr Darya (WRI, 2017).

Αυτός ο αντίκτυπος επιδεινώνεται περαιτέρω όταν η παραγωγή βαμβακιού λαμβάνει χώρα σε τοποθεσίες με λειψυδρία και η χρήση του για τη γεωργία ανταγωνίζεται τις απαιτήσεις για πόση και υγιεινή καθώς και την παραγωγή άλλων καλλιεργειών. Ανάλογα με αυτούς και άλλους παράγοντες, όπως η ποιότητα των συστημάτων άρδευσης, το παγκόσμιο μέσο αποτύπωμα νερού 1 kg βαμβακιού είναι ελαφρώς πάνω από 10.000 λίτρα (Manshoven et al., 2019)

Επιπλέον η εν λόγω βιομηχανία χρησιμοποιεί 5 τρισεκατομμύρια λίτρα νερού κάθε χρόνο, μόνο για τη βαφή υφασμάτων, αρκετά για να γεμίσει 2 εκατομμύρια ολυμπιακού μεγέθους πισίνες (WRI, 2017).

Η κατανάλωση νερού συνεχίζεται ακόμη και κατά τη διάρκεια των διαφορετικών κύκλων χρήσης με τη μορφή καθαρισμού. Αυτή η υψηλή κατανάλωση μπορεί εύκολα να γίνει αισθητή σε περιοχές με λειψυδρία (Chen et al., 2021).

3.3 Ρύπανση Υδάτων

Ακόμη, η κλωστοϋφαντουργία εκτιμάται ότι είναι υπεύθυνη για το 20% της παγκόσμιας ρύπανσης των υδάτων ως αποτέλεσμα της βαφής και του φινιρίσματος κατά την παραγωγή (Chen et al., 2021). Ειδικότερα πολυάριθμες βαφές, χημικές ουσίες, βοηθητικές χημικές ουσίες και υλικά κολλαρίσματος χρησιμοποιούνται κατά την υγρή επεξεργασία στην κλωστοϋφαντουργία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή λυμάτων που μπορεί να δημιουργήσουν περιβαλλοντικά προβλήματα. Ως εκ τούτου, τα λύματα που παράγονται κατά την υγρή επεξεργασία πρέπει να

υποβάλλονται σε πλήρη επεξεργασία πριν απελευθερωθούν στο περιβάλλον. Η σύνθεση των λυμάτων των κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων είναι εξαιρετικά ετερογενής. Τα λύματα περιλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες τοξικών και δύσκολα επεξεργασμένων ουσιών που προέρχονται από τις διαδικασίες βαφής και φινιρίσματος. Το πιο σημαντικό πρόβλημα των λυμάτων της κλωστοϋφαντουργίας είναι η χρήση βαφής για τη μετάδοση χρώματος. Τα απόβλητα περιέχουν ένα ευρύ φάσμα ρύπων, συμπεριλαμβανομένων επιφανειοδραστικών, αλάτων, βαρέων μετάλλων, ενζύμων, οξειδωτικών και αναγωγικών παραγόντων. Η ποιότητα τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων στην περιοχή των κλωστοϋφαντουργικών εγκαταστάσεων υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου λόγω της απελευθέρωσης πολύ μολυσμένων λυμάτων (Madhav et al., 2018).

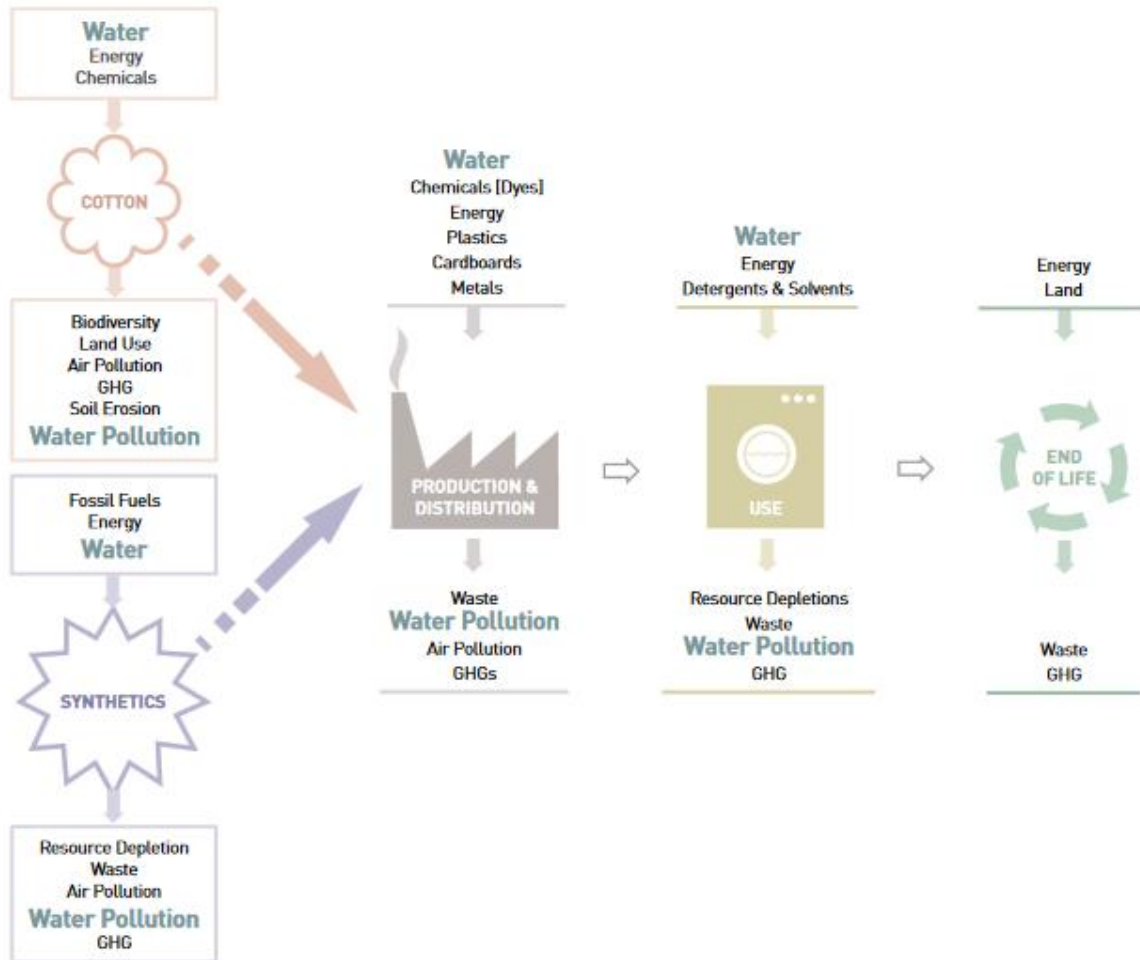


Εικόνα 10: Ρύπανση ποταμού από βαφές κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Η απελευθέρωση μη επεξεργασμένων λυμάτων από την εφαρμογή καταστροφικών, επικίνδυνων και ανθεκτικών χημικών ουσιών στην υγρή επεξεργασία είναι επιζήμια για το περιβάλλον. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι κλωστοϋφαντουργικές εργασίες εκτελούνται από εργασίες μικρής κλίμακας, οι οποίες δεν διαθέτουν τους

απαραίτητους πόρους για την επεξεργασία των αποβλήτων τους, που οδηγούν σε περιβαλλοντική ρύπανση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος (Madhav et al., 2018).

Ένα επιπλέον ζήτημα που έχουν εγείρει οι ερευνητές, σχετικά πρόσφατα, είναι η ρύπανση από πλαστικές μικροΐνες που απορρίπτονται από συνθετικά ρούχα, κυρίως κατά το πλύσιμο. Τα μικροπλαστικά στο περιβάλλον αποτελούν αντικείμενο εντατικής έρευνας καθώς αποτελούν πιθανή απειλή για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Οι πλαστικές ίνες από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έχουν αναφερθεί ως κύρια πηγή αυτού του τύπου ρύπανσης, που εισέρχονται στους ωκεανούς μέσω των λυμάτων και διαφόρων μη σημειακών πηγών. Η παρουσία τους τεκμηριώνεται και σε επίγεια δείγματα. Ενδεικτικά ,ανά ένδυμα fleece PET και ανά πλύση, υπολογίζεται ότι 110.000 μικροΐνες εισέρχονται στους ωκεανούς μέσω των λυμάτων (Carney Almroth et al., 2018). Έχει υπολογιστεί ότι ο όγκος των πλαστικών μικροϊνών στον ωκεανό θα μπορούσε να ανέλθει σε περισσότερους από 22 εκατομμύρια τόνους μεταξύ 2015 και 2050 (Ellen MacArthur Foundation, 2017).



Γράφημα 8: Επιπτώσεις & Εξαρτήσεις Νερού - Εφοδιαστική Αλυσίδα Κλωστοϋφαντουργίας (Maxwell et al., 2015)

3.4 Χρήση γης

Η φάση παραγωγής των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων κυριαρχεί στη συμβολή τους στη χρήση της γης, όσον αφορά τη γεωργική γη και τη μετατροπή της φυσική γης. Ιδιαίτερα για φυσικές ίνες όπως το βαμβάκι, η φάση καλλιέργειας έχει σημαντικό αντίκτυπο στη χρήση της γης (Manshoven et al., 2019).

Η χρήση γης στην αλυσίδα εφοδιασμού κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, για παράδειγμα των προϊόντων που αγόρασαν τα ευρωπαϊκά νοικοκυριά το 2017 είναι συγκρίσιμη με εκείνη των ποτών, των εστιατορίων και των ξενοδοχείων, τα οποία σχετίζονται τόσο με τρόφιμα όσο και σε τομείς εντατικής χρήσης γης. Το ποσό αυτό είναι 6 φορές χαμηλότερο από τη χρήση γης για τρόφιμα που καταναλώνουν τα

ευρωπαϊκά νοικοκυριά, αλλά 2-3 φορές υψηλότερο από τη χρήση γης που σχετίζεται με την αναψυχή, τον πολιτισμό και τις μεταφορές (Manshoven et al., 2019).

Σήμερα, ο αντίκτυπος στη χρήση της γης των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι σε μεγάλο βαθμό συνέπεια της καλλιέργειας μιας και μόνο φυτικής ίνας, του βαμβακιού. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η καλλιέργεια βαμβακιού καλύπτει πάνω από 31 εκατομμύρια εκτάρια, ή το 3% της καλλιεργήσιμης γης στον κόσμο (WRI, 2017) , με τους μεγαλύτερους παραγωγούς να είναι η Κίνα και η Ινδία.



Γράφημα 9: Συγκομιδή βαμβακιού

Η χρήση γης για την καλλιέργεια κλωστοϋφαντουργικών ινών έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σε ελλείμματα τροφίμων, καθώς μπορεί να παρεμποδίσει την ανάπτυξη των καλλιεργειών τροφίμων. Η χρήση παραγωγικής γης για την καλλιέργεια φυτικών ινών συμβάλλει στη σπανιότητα της διαθέσιμης γης για παραγωγή τροφίμων, μειώνοντας δυνητικά την τοπική διαθεσιμότητα τροφίμων που μπορεί, με τη σειρά της, να οδηγήσει σε υποσιτισμό. Έχει υπολογιστεί ότι στην Ινδία, για παράδειγμα, το 9% του εθνικού ποσοστού υποσιτισμού αποδίδεται στην καλλιέργεια βαμβακιού, η οποία καταλαμβάνει το 8% της καλλιεργήσιμης γης της χώρας (Ridoutt et al., 2019).

Παρά την ανθεκτικότητά τους και τις χαμηλότερες επιπτώσεις στη φάση χρήσης, οι ίνες και τα υφάσματα που προέρχονται από τα ζώα, όπως το μετάξι και το μαλλί από πρόβατα, αλλά και από κασμίρ και μαλλί από κατσίκες ανγκορά, αλπακά κ.λπ.,

δημιουργούν σημαντικό αποτύπωμα άνθρακα και γης κατά την παραγωγή, λόγω της εκτεταμένης χρήσης γης και των εκπομπών μεθανίου (Manshoven et al., 2019). Για τις ζωικές ίνες, οι πρωτοβουλίες ανακύκλωσης και δίκαιου εμπορίου έχουν αποδειχθεί ότι έχουν θετικό αντίκτυπο στη χρήση της γης (Textile Exchange, 2021).

3.5 Αέρια του Θερμοκηπίου

Η κλιματική αλλαγή είναι το αποτέλεσμα των αυξημένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της επακόλουθης υπερθέρμανσης του πλανήτη και της αντίδρασης του κλιματικού συστήματος σε αυτή την υπερθέρμανση. Λόγω της πολύπλοκης αλυσίδας εφοδιασμού της σε σχέση με τη μεταφορά υφασμάτων και ενδυμάτων από σημεία παραγωγής, συνήθως στις αναπτυσσόμενες χώρες (Chen et al., 2021) και της ενεργοβόρας παραγωγής, η κλωστοϋφαντουργία παράγει περίπου 1,2 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂, ή σχεδόν το 10% των παγκόσμιων εκπομπών GHG (Leal Filho et al., 2022), ποσό που υπερβαίνει την αντίστοιχη ποσότητα από τις διεθνείς πτήσεις και τη ναυτιλία μαζί (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Αυτές οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συμβαίνουν σε όλο τον κόσμο και από πολλούς οικονομικούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, της κλωστοϋφαντουργίας και του τομέα της διανομής. Σύμφωνα με έρευνες, το 51% της συνολικής επίδρασης των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων στην κλιματική αλλαγή συμβαίνει στη φάση της παραγωγής, το 44% στη φάση της χρήσης και το 5% οφείλεται στις μεταφορές. Ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής κατά τη φάση χρήσης προκαλείται από τη χρήση απορρυπαντικών, στεγνώματος, πλυσίματος και σιδερώματος, με το καθένα να συνεισφέρει ίσο μερίδιο περίπου 25% του συνολικού αντίκτυπου από τη φάση χρήσης (Manshoven et al., 2019).

Η παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων χαρακτηρίζεται από υψηλή ένταση αερίων θερμοκηπίου, ανάλογα με την ίνα, 15 – 35 τόνων CO₂-eq. ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος. Αυτό είναι πολύ περισσότερο από τους 3,5 τόνους CO₂-eq. που απαιτείται για την παραγωγή 1 τόνου πλαστικού ή 1 τόνου CO₂-eq. για 1 τόνο χαρτί (Ballinger & Hogg, 2015).

Η χρήση ενέργειας στην παραγωγή πρώτων υλών και στο φινίρισμα των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή, με τη βαφή να είναι ο επόμενος σημαντικότερος παράγοντας. Ο

μεγαλύτερος τύπος ινών που συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή στη φάση παραγωγής είναι το ακρυλικό ύφασμα, ακολουθούμενο από το νάιλον και τον πολυεστέρα, ενώ το μετάξι έχει τη μικρότερη επίδραση (Manshoven et al., 2019). Αυτό αντανakλά τη μεγαλύτερη επίδραση των συνθετικών ινών σε σύγκριση με τις φυσικές και τις ανακυκλωμένες. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι η αντικατάσταση του πολυεστέρα με το ανακυκλώσιμο αντίστοιχο, το rPET, θα μείωνε τις εκπομπές του CO₂ eq. έως και 40 % (Textile Exchange, 2021).

3.6 Χημικές Ενώσεις

Οι διαδικασίες παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων χρησιμοποιούν μεγάλη ποσότητα και ποικιλία χημικών ουσιών. Η παραγωγή 1 κιλού βαμβακερών μπλουζών, για παράδειγμα, απαιτεί περίπου 3 κιλά χημικών (Manshoven et al., 2019). Η χρήση βαφών, τόσο φυσικών όσο και συνθετικών, αποτελούν σημαντική πηγή χημικών στην παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (Kant, 2012). Επιπλέον, πολλές χημικές ουσίες εφαρμόζονται στα στάδια φινιρίσματος, για να προστεθούν ορισμένες ιδιότητες, όπως αποθητικά νερού και ρύπων σε ρούχα εξωτερικού χώρου, αντιρυτιδικά ή σκληρυντικά πρόσθετα και βιοκτόνα για τη μείωση των οσμών που προκαλούνται από βακτήρια ή της ανάπτυξης μούχλας κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση (Manshoven et al., 2019).

Ενώ οι περισσότερες ουσίες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και βρίσκονται σε τελικά προϊόντα είναι ασφαλείς, ορισμένες είναι ανησυχητικές ουσίες, οι οποίες υπόκεινται σε περιορισμούς ή απαγορεύσεις βάσει διαφόρων νομοθεσιών. Μέχρι σήμερα έχουν εντοπιστεί περίπου 3.500 ουσίες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, εκ των οποίων οι 750 ταξινομούνται ως επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία και οι 440 για το περιβάλλον. Διακόσιες σαράντα από αυτές τις ουσίες θεωρούνται ότι προκαλούν υψηλό δυνητικό ενδιαφέρον για την ανθρώπινη υγεία και 120 για το περιβάλλον (Manshoven et al., 2019).

Πολλές χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων. Επιπλέον, ορισμένες από τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή μπορεί να παραμείνουν, ηθελημένα ή ακούσια, στα τελικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και να επηρεάσουν την υγεία των καταναλωτών. Η αλλεργική δερματίτιδα εξ επαφής

(ACD) μπορεί να προκληθεί από χρωστικές ουσίες διασποράς, τελικούς παράγοντες και ορισμένα άλλα βοηθητικά στα υφάσματα, όπως μαλακτικά, υδατοαπωθητικά, επιβραδυντικά φλόγας, φορμαλδεΐδη, βιοκτόνα και αρώματα υφασμάτων. Ωστόσο, είναι δύσκολο να εξαχθούν σαφή συμπεράσματα σχετικά με τον επιπολασμό της δερματίτιδας εξ επαφής από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, λόγω του περιορισμένου αριθμού πρόσφατων μελετών και της έλλειψης δεδομένων για τις συγκεντρώσεις (van der Putte et al., 2013).

Τα πλαστικά από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) που χρησιμοποιούνται σε εκτυπώσεις μπλουζών, παπούτσια και τσάντες περιέχουν μαλακτικά, όπως φθαλικές ενώσεις, οι οποίες έχουν ιδιότητες μίμησης ορμονών και μπορούν να επηρεάσουν το ανθρώπινο αναπαραγωγικό σύστημα (Manshoven et al., 2019).

Το πλύσιμο των ρούχων προκαλεί επίσης εκπομπές χημικών ουσιών στα οικιακά λύματα και από εκεί σε ποτάμια και υδάτινα σώματα, όπου συμβάλλουν στη ρύπανση του νερού. Όχι μόνο οι ίδιες οι χημικές ουσίες μπορούν να έχουν επικίνδυνες επιπτώσεις, αλλά και τα προϊόντα αποδόμησης που σχηματίζονται με την πάροδο του χρόνου ή κατά την επεξεργασία των λυμάτων. Επιπλέον, η χρήση απορρυπαντικών αποτελεί σημαντική πηγή απελευθέρωσης χημικών ουσιών στα οικιακά λύματα (Manshoven et al., 2019).

Ωστόσο, καθώς οι καταναλωτές αντιμετωπίζουν συχνά δυσκολίες στην πλήρη κατανόηση των οδηγιών δοσολογίας, η υπερβολική χρήση απορρυπαντικών εξακολουθεί να συμβάλλει στη ρύπανση του νερού (Gwozdz et al., 2017).

Ενώ οι χημικές ουσίες που δεν είναι στενά συνδεδεμένες με τις ίνες – υπολείμματα, ακαθαρσίες και πρόσθετα – τείνουν να ξεπλένονται με την πάροδο του χρόνου, οι επίμονες επικίνδυνες χημικές ουσίες, που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή, μπορούν να παραμείνουν στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα καθ' όλη τη διάρκεια της χρήσης τους, ακόμα κι αν έχουν πλυθεί πολλές φορές. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ανθεκτικές χημικές ουσίες σχεδιάζονται ακόμη και για να παραμείνουν, όπως, για παράδειγμα, επιβραδυντικά φλόγας σε κλινοσκεπάσματα ή κουρτίνες. Αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις για πιθανή ανάκτηση του περιεχομένου των υφασμάτων για χρήση σε νέα προϊόντα, οδηγώντας δυνητικά στην παραμονή έμμονων χημικών ουσιών σε προϊόντα που κατασκευάζονται από ανακυκλωμένα υλικά (Schmidt et al., 2016).

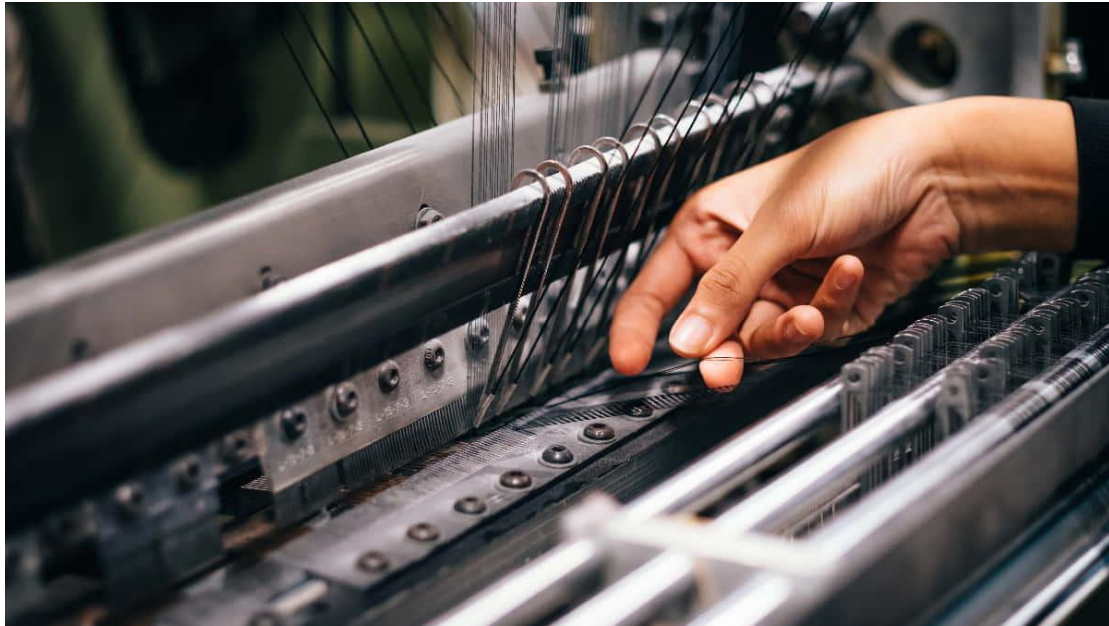
3.7 Ενέργεια

Στην κλωστοϋφαντουργία, η χρήση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας είναι η πλέον κοινή, καθώς παράγεται σε βιομηχανικό επίπεδο μέσω μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (πετρέλαιο, υγρά αερίων υδρογονανθράκων, φυσικό αέριο, άνθρακας κ.λπ.) ή λαμβάνεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Kousar et al., 2022).

Τα στάδια κατασκευής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι γνωστά ως διαδικασίες έντασης ενέργειας. Μεταξύ των ετών 1971 και 2004 η τελική χρήση ενέργειας στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας διπλασιάστηκε από 4,7 Ej/έτος σε 9,0 Ej/έτος στον κόσμο (Palamutcu, 2010, 2015). Από το ποσό αυτό, περισσότερο από το 50% της θερμικής ενέργειας και περίπου το 70% της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται σε διάφορες διεργασίες της κλωστοϋφαντουργίας (Farhana et al., 2022).

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένας από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους τύπους ενέργειας στα εργοστάσια κλωστοϋφαντουργίας και ένδυσης, που χρησιμοποιείται για την παροχή ενέργειας σε μηχανήματα κλωστοϋφαντουργίας, συστήματα ελέγχου θέρμανσης και ψύξης, φωτισμού και εξοπλισμού γραφείου. Υπολογίζεται ότι το ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, στη συνολική καταναλωμένη ενέργεια για μεμονωμένα στάδια παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, είναι 93% για την κλώση, 85% για την ύφανση, 43% για την υγρή επεξεργασία και 65% για την κατασκευή ενδυμάτων (Palamutcu, 2010).

Μεταξύ όλων των συνιστωσών του πρωτογενούς κόστους παραγωγής των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, το μερίδιο του ενεργειακού κόστους στον κλωστοϋφαντουργικό τομέα έχει αναφερθεί σε 6 – 14% το 1996, σε 8 – 10% το 2000 και σε 5 – 10% το 2007 στο συνολικό κόστος παραγωγής (Palamutcu, 2010).



Εικόνα 11: Υφαντικές μηχανές που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια

Σε σχέση με την ενεργειακή χρήση, οι εκπομπές CO₂ εμφανίζονται ως ανεπιθύμητο υποπροϊόν της κατανάλωσης ενέργειας. Το μερίδιο της βιομηχανικής ζήτησης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της κλωστοϋφαντουργίας, είναι περίπου το ένα τρίτο της συνολικής παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης, και καταναλώνεται σε μεγάλο βαθμό από τις βιομηχανίες χημικών-πετροχημικών, σιδήρου-χάλυβα, τσιμέντου, χαρτιού και αλουμινίου. Οι εκπομπές CO₂ της κλωστοϋφαντουργίας έχουν αναφερθεί ως περίπου το 2% των συνολικών βιομηχανικών εκπομπών CO₂ στον κόσμο, ποσό που εκτιμάται ότι είναι περίπου 0,18 γιγατόνοι/έτος (Palamutcu, 2015).

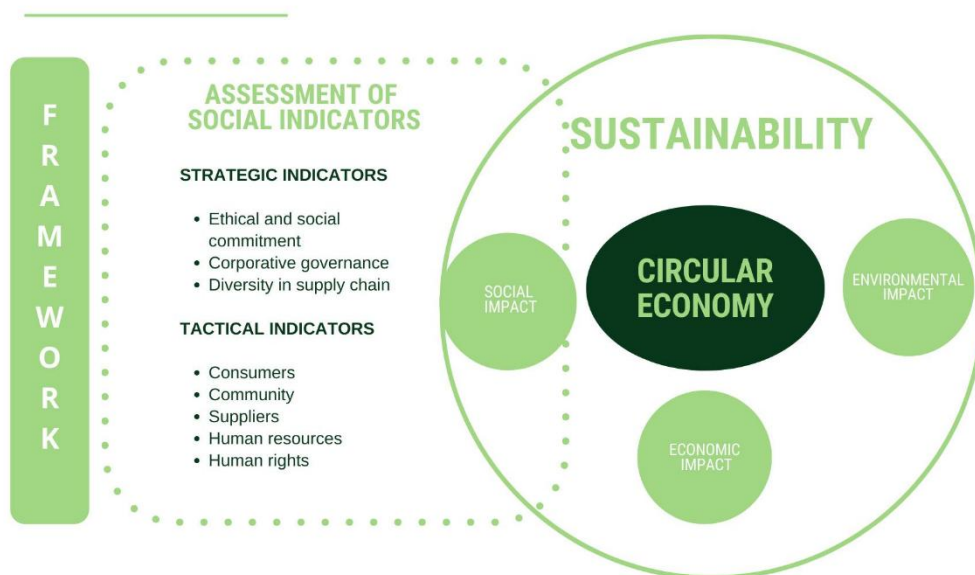
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία, οι μέχρι σήμερα έρευνες, αναφέρουν ότι η ανακύκλωση μεταχειρισμένων ρούχων θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 53%, τη ρύπανση που σχετίζεται με τη χημική επεξεργασία κατά 45% και τα επίπεδα ευτροφισμού του νερού κατά 95% (Leal Filho et al., 2019).

Κεφάλαιο 4: Κοινωνικοί Δείκτες

4.1 Εισαγωγή

Οι κοινωνικοί δείκτες είναι κοινωνικά μέτρα που αντικατοπτρίζουν τις αντικειμενικές συνθήκες των ανθρώπων σε μια δεδομένη πολιτιστική ή γεωγραφική ενότητα. Το χαρακτηριστικό των κοινωνικών δεικτών είναι ότι βασίζονται σε αντικειμενικές, ποσοτικές στατιστικές και όχι σε υποκειμενικές αντιλήψεις των ατόμων για το κοινωνικό τους περιβάλλον. Κάτω από την εννοιολογική ομπρέλα των κοινωνικών δεικτών, έχουν μετρηθεί και μελετηθεί μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα κοινωνικών τομέων (Diener & Suh, 1997).

Αναφορικά με τον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας και των ενδυμάτων, οι προσδοκίες των καταναλωτών για προϊόντα σε χαμηλές τιμές και ο ανταγωνισμός των εταιρειών στο μερίδιο αγοράς οδηγούν σε μια σειρά κοινωνικών παραβιάσεων. Μερικά από τα σημαντικά ζητήματα στην αλυσίδα αξίας κλωστοϋφαντουργίας και ένδυσης περιλαμβάνουν τους χαμηλούς μισθούς των εργαζομένων, τις διακρίσεις λόγω φύλου, τις υπερβολικές ώρες εργασίας, τις προσωρινές συμβάσεις εργασίας ή την παιδική εργασία και τους κατοίκους της περιοχής που υπόκεινται σε κινδύνους για την υγεία (Gardetti & Torres, 2017).



Γράφημα 10: Αξιολόγηση κοινωνικών δεικτών σε σχέση με τη βιωσιμότητα (Bianchini et al., 2022)

4.2 Απασχόληση

Ως «Απασχόληση», σύμφωνα με τους διεθνείς οργανισμούς, ορίζεται «ένα σύνολο εργασιών και λειτουργιών που εκτελούνται ή πρέπει να εκτελούνται από ένα μεμονωμένο άτομο για μια δεδομένη οικονομική μονάδα. Η απασχόληση αναφέρεται στην εργασία που εκτελείται σε ένα πλαίσιο συναλλαγών, όπου η αμοιβή προσφέρεται ως αντάλλαγμα για την εργασία που εκτελείται ή για ώρες ωρών λειτουργίας ή για το κέρδος που προκύπτει από την πώληση ή την ανταλλαγή αγαθών και υπηρεσιών. Η αμοιβή μπορεί να είναι σε μετρητά ή σε είδος και μπορεί να ληφθεί κατά την ίδια περίοδο αναφοράς με την εργασία που εκτελείται ή όχι» (UNESCO, 2017).

Η αλυσίδα αξίας για τα μεταχειρισμένα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα φιλοξενεί επί του παρόντος σημαντικό αριθμό και ποικιλία θέσεων εργασίας και δεξιοτήτων που αφορούν τους τομείς της συλλογής, της διαλογής, της επισκευής, της ανακατασκευής, της επαναπροώθησης και ούτω καθεξής.

Οι συλλέκτες και οι διαλογείς κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων έχουν μακρά ιστορία στη συλλογή υφασμάτων μετά από καταναλωτική χρήση και στην επανεισαγωγή τους στις αγορές μεταχειρισμένων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτές οι υπάρχουσες θέσεις εργασίας στη διαχείριση απορριμμάτων, τη μεταφορά, την επιμελητεία, τη διαλογή και τη μεταπώληση είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί ότι τα υλικά και οι πόροι διατηρούν την πορεία προς την υψηλότερη δυνατή αξία τους και η διαφύλαξη της επιχειρηματικής τους υπόθεσης είναι πρωταρχικής σημασίας, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι μια αλυσίδα αξίας κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, στο τέλος της χρήσης, μπορεί να αναπτυχθεί, διατηρώντας τις τρέχουσες θέσεις εργασίας. Επιπλέον, δραστηριότητες επισκευής εντός καταστημάτων, όπως δωρεάν υπηρεσίες επισκευής, εισέρχονται στην αγορά με μια νέα προοπτική, αξιοποιώντας αρχαίες, και πολλές φορές, υποβιβασμένες δεξιότητες τις τελευταίες δεκαετίες (Circle Economy, 2020).

Κάθε φάση του κύκλου ζωής της ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων (δηλαδή συλλογή, διαλογή, μεταφορά, ανακύκλωση) δημιουργεί θέσεις εργασίας και δίνει ευκαιρίες για μικρές ή οικογενειακές επιχειρήσεις (Leal Filho et al., 2019; Zamani, 2014)

Επί του παρόντος, υπολογίζεται ότι δημιουργούνται 20 θέσεις εργασίας για κάθε 1.000 τόνους χρησιμοποιημένων υφασμάτων που συλλέγονται και διαλέγονται για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση σε κοινωνικές επιχειρήσεις σε όλη την Ευρώπη (Circle Economy, 2020).

Επιπλέον, σύμφωνα με το ReHubs Techno Economic Master Study (TES), η βιομηχανία ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων θα μπορούσε να δημιουργήσει στην Ευρώπη περίπου 15.000 άμεσες νέες θέσεις εργασίας έως το 2030 και να αυξήσει την ανάγκη για εγκαταστάσεις εντός συνόρων, ενδυναμώνοντας τον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας (Euratex, 2022b).

Έρευνες εντός του ευρωπαϊκού χώρου, εκτίμησαν ότι κάθε επιπλέον κιλό ανακυκλωμένων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, θα μπορούσε να δημιουργήσει επιπλέον 6 - 7 θέσεις εργασίας, καθιστώντας τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα τον κλάδο ανακύκλωσης με τη μεγαλύτερη ένταση θέσεων εργασίας. Ταυτόχρονα, ο τομέας της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης αντιμετωπίζει υψηλά επίπεδα εργασιακής αβεβαιότητας με την ταχεία ρομποτικοποίηση των δραστηριοτήτων. Στην περίπτωση των μεταχειρισμένων υφασμάτων, οι αυτοματοποιημένες τεχνολογίες διαλογής κάνουν την είσοδό τους δυναμικά ενδυναμώνοντας μεν τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα στον κλάδο της κλωστοϋφαντουργίας, αλλά αποδυναμώνοντας τους εργαζόμενους (Circle Economy, 2020).

4.3 Συνθήκες Απασχόλησης

Οι συνθήκες εργασίας στους τομείς της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων αποτελούν κάποιες ακόμη σημαντικές κοινωνικές ανησυχίες. Αυτοί οι τομείς αντιμετωπίζουν προκλήσεις όσον αφορά την αντιμετώπιση των συνθηκών εργασίας στις αναπτυσσόμενες χώρες. Για παράδειγμα, στη Σενεγάλη, 24.180 άτομα έχουν πλήρη απασχόληση στον τομέα της μεταχειρισμένης ένδυσης, εκ των οποίων το 60% είναι άνδρες. Οι διακρίσεις λόγω φύλου, οι επαρκείς μισθοί, οι λογικές ώρες εργασίας, τα θέματα υγείας και ασφάλειας πρέπει να αξιολογούνται σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας του κλάδου (Zamani, 2014).

4.4 Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ)

Το ΑΕΠ είναι το τυπικό μέτρο της αξίας των τελικών αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται από μια χώρα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου αφαιρώντας την αξία των εισαγωγών. Ενώ το ΑΕΠ είναι ο μοναδικός πιο σημαντικός δείκτης για την καταγραφή αυτών των οικονομικών δραστηριοτήτων, παρέχει μόνο ένα περιορισμένο μέτρο του υλικού βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων (OECD, 2022).

Αναφορικά με το εμπόριο κλωστοϋφαντουργικών ειδών, το 2012 η αξία του αποτιμήθηκε σε 1,8 τρισεκατομμύρια δολάρια παγκοσμίως, με την Κίνα και την Ινδία να είναι οι δύο κορυφαίοι παραγωγοί (Dahlbo et al., 2017). Το 2013, ο τομέας ένδυσης και κλωστοϋφαντουργίας της ΕΕ είχε κύκλο εργασιών 166 δισεκατομμυρίων δολαρίων, αντιπροσωπεύοντας το 6% της συνολικής απασχόλησης στη μεταποίηση στην Ευρώπη (Leal Filho et al., 2019).

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, προκειμένου να επιτευχθεί ένα ποσοστό ανακύκλωσης από ίνες σε ίνες, της τάξης περίπου 18% έως 26%, έως το 2030, θα χρειαστεί επένδυση κεφαλαιουχικών δαπανών της τάξης των 6 έως 7 δισεκατομμυρίων ευρώ, ιδίως για την κλιμάκωση επαρκών υποδομών διαλογής και επεξεργασίας, και αυτό μόνο εντός του ευρωπαϊκού χώρου. Η οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική αξία που θα μπορούσε να δημιουργηθεί, δυνητικά θα έχει ετήσιο αντίκτυπο 3,5 - 4,5 δισεκατομμυρίων ευρώ έως το 2030 (Euratex, 2022b).

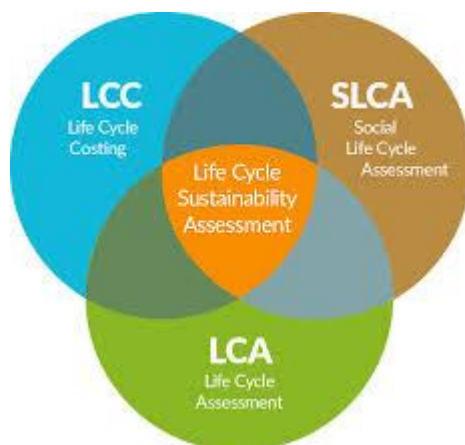
Μόλις ωριμάσει και κλιμακωθεί, η βιομηχανία ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων θα μπορούσε να καταστεί μια κερδοφόρα βιομηχανία με συνολικό μέγεθος αγοράς, αξίας 6 έως 8 δισεκατομμυρίων ευρώ και περίπου 15.000 άμεσων νέων θέσεων εργασίας έως το 2030, μόνο στην Ευρώπη (Euratex, 2022b).

4.5 Ανάλυση Κοινωνικού Κύκλου Ζωής

Η αξιολόγηση κοινωνικού ή κοινωνικοοικονομικού κύκλου ζωής (SLCA) είναι μια μέθοδος για την αξιολόγηση των κοινωνικών και κοινωνικοοικονομικών πτυχών των προϊόντων και των πιθανών θετικών και αρνητικών επιπτώσεών τους σε όλο τον κύκλο ζωής τους. Παρόμοια με την παραδοσιακή Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ - Life Cycle Assessment - LCA), οι διαφορετικές φάσεις της αλυσίδας αξίας ενός προϊόντος λαμβάνονται υπόψη στο SLCA, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης και επεξεργασίας πρώτων υλών, της κατασκευής, της διανομής, της χρήσης, της επαναχρησιμοποίησης, της συντήρησης, της ανακύκλωσης και της τελικής διάθεσης.

Κάθε μία από αυτές τις φάσεις σχετίζεται με μια γεωγραφική τοποθεσία στην οποία επηρεάζονται διαφορετικοί τύποι ενδιαφερόμενων μερών (Zamani, 2014).

Η SLCA συμπληρώνει την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού κύκλου ζωής (LCA) με κοινωνικές και κοινωνικοοικονομικές πτυχές και μπορεί να εφαρμοστεί είτε μόνη της είτε σε συνδυασμό με μια AKZ (UNEP, 2009).



Γράφημα 11: Σχέση LCA με SLCA και LCC (Zevenhoven & Khan, 2021)

Σύμφωνα με τις πρόσφατες κατευθυντήριες γραμμές UNEP/SETAC, η μεθοδολογία SLCA βασίζεται στη μεθοδολογία αξιολόγησης του περιβαλλοντικού κύκλου ζωής που αποτελείται από τέσσερα επαναληπτικά βήματα (UNEP, 2009):

1. **Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής:** Ο στόχος της εφαρμογής SLCA μπορεί να είναι: σύγκριση προϊόντος ή διαδικασίας ή προσδιορισμός δυνατοτήτων βελτίωσης προϊόντος ή διαδικασίας. Οι στόχοι της μελέτης και τα όρια του συστήματος προσδιορίζονται σε έναν ορισμό του πεδίου εφαρμογής. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της λειτουργικής μονάδας που περιγράφει τη λειτουργία και την κοινωνική χρησιμότητα του προϊόντος. Πρέπει επίσης να καθοριστούν τα όρια του συστήματος. Σε αυτές τις πτυχές, μια SLCA δεν διαφέρει από μια LCA.
2. **Ανάλυση αποθέματος κύκλου ζωής:** Σε αυτή τη φάση, συλλέγονται σχετικά δεδομένα για ιεράρχηση προτεραιοτήτων, αξιολόγηση hotspot, αξιολόγηση και εκτίμηση επιπτώσεων. Το πρώτο βήμα είναι να προσδιοριστεί ο τύπος των δεδομένων που σχετίζεται με τον στόχο και το εύρος. Το δεύτερο βήμα είναι μια ανάλυση hotspot, η οποία είναι μια επισκόπηση των σημαντικών κοινωνικών ζητημάτων εντός των καθορισμένων γεωγραφικών ορίων,

προκειμένου να αποφασιστεί ποια συγκεκριμένα δεδομένα πρέπει να συλλεχθούν.

Το επόμενο βήμα σχετίζεται με τη συλλογή των κύριων δεδομένων για μια εκτίμηση επιπτώσεων και την αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων. Ένα σύστημα προϊόντος ή υπηρεσίας αποτελείται από διαφορετικές μηχανικές διαδικασίες στην αλυσίδα αξίας του. Όταν εκτελείται μια ΑΚΖ, υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ αυτών των διαδικασιών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς η περιβαλλοντική εκτίμηση βασίζεται σε μια απογραφή εισροών και εκροών για τις διεργασίες. Από την άλλη πλευρά, οι περισσότερες κοινωνικές επιπτώσεις δεν σχετίζονται άμεσα με τις μηχανικές διαδικασίες εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας, αλλά μάλλον με τη συμπεριφορά της εταιρείας ως διαχειριστή ανθρώπινου δυναμικού. Αυτό σημαίνει ότι η ανάλυση του αποθέματος θα πρέπει να επικεντρωθεί στα κοινωνικά χαρακτηριστικά των εταιρειών που εμπλέκονται στο σύστημα προϊόντων προκειμένου να εκτιμηθεί ο κοινωνικός αντίκτυπος, ωστόσο, ορισμένες μέθοδοι δίνουν έμφαση στις μηχανικές διαδικασίες ως βάση για την αξιολόγηση.

3. **Αξιολόγηση επιπτώσεων στον κύκλο ζωής:** Τα κύρια βήματα αυτού του μέρους είναι:
 - a. Επιλογή των κοινωνικών κριτηρίων,
 - b. Ταξινόμηση των δεδομένων απογραφής με συσχέτιση με τα κοινωνικά κριτήρια, και
 - c. Χαρακτηρισμός με υπολογισμό των αποτελεσμάτων για κάθε κοινωνικό κριτήριο.
4. **Ερμηνεία κύκλου ζωής:** Αυτή η ενότητα εντοπίζει σημαντικά κοινωνικά ζητήματα, αξιολογείται η συνέπεια και η πληρότητα της μελέτης και τα συμπεράσματα και οι συστάσεις γίνονται με βάση ευρήματα.

4.5.1 Ταξινόμηση κοινωνικών δεικτών

Η βάση του SLCA είναι οι κοινωνικοί δείκτες που αξιολογούνται. Αυτά τα κριτήρια μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με (Zamani, 2014):

1. τον τύπο του ενδιαφερομένου που επηρεάζεται από την αλυσίδα εφοδιασμού προϊόντων και
2. Το είδος του κοινωνικού αντίκτυπου που θα έχει το προϊόν σε διαφορετικούς ενδιαφερόμενους.

Αυτό οδηγεί σε υποκατηγορίες όπως τα ανθρώπινα δικαιώματα, η υγεία και η ασφάλεια, οι συνθήκες εργασίας, η διακυβέρνηση, η πολιτιστική κληρονομιά και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις.

Οι επιπτώσεις της κοινωνικής βιωσιμότητας είναι συνέπειες θετικών ή αρνητικών πιέσεων σε κοινωνικά τελικά σημεία, όπως η ευημερία των ενδιαφερομένων, επομένως, ο αντίκτυπος της κοινωνικής βιωσιμότητας μπορεί να ερμηνευθεί ως αντίκτυπος στην ανθρώπινη ευημερία (Zamani, 2014).

4.5.2 Διαφορετικές προσεγγίσεις Αξιολόγησης Κοινωνικού Κύκλου Ζωής

Επί του παρόντος, οι τρεις κύριες μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων που προτείνονται περιλαμβάνουν: τη μέθοδο UNEP/SETAC Taskforce, τη μέθοδο Hunkeler και τη μέθοδο Weidema. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από καθεμία από τις μεθόδους θα παρέχει διαφορετικούς τύπους πληροφοριών σχετικά με τα κοινωνικά ζητήματα που σχετίζονται με τα προϊόντα (Parent et al., 2010).

Στη μέθοδο UNEP/SETAC Taskforce, αναπτύσσεται ένα «σημείο αναφοράς απόδοσης» για να βοηθήσει στην κατανόηση του μεγέθους και της σημασίας των δεδομένων απογραφής. Το σημείο αναφοράς απόδοσης «μπορεί να είναι διεθνώς καθορισμένα κατώφλια, στόχοι ή στόχοι σύμφωνα με συμβάσεις και βέλτιστες πρακτικές». Χρησιμοποιώντας τα σημεία αναφοράς απόδοσης, τα δεδομένα αποθέματος μπορούν να αξιολογηθούν και να μεταφραστούν σε ημιποσοτικές μορφές. Για παράδειγμα, μία από τις υποκατηγορίες που προτείνονται στις κατευθυντήριες γραμμές του UNEP είναι ο «δίκαιος μισθός», μπορεί να εκτιμηθεί συγκρίνοντας τα δεδομένα του αποθέματος με το σημείο αναφοράς απόδοσης και να ερμηνευθεί σε ημιποσοτικές τιμές (UNEP, 2009).

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Hunkeler (2006), μπορούν να αξιολογηθούν τα κοινωνικά οφέλη που μπορούν να αποδοθούν στις διαδικασίες του κύκλου ζωής του προϊόντος. Η διαδικασία του προτεινόμενου S-LCA είναι παρόμοια με μια συμβατική

LCA. Πρώτον, απαιτείται ένα γεωγραφικά συγκεκριμένο απόθεμα κύκλου ζωής για κάθε διαδικασία μονάδας. Δεδομένου ότι οι προτεινόμενοι κοινωνικοί δείκτες εξαρτώνται περιφερειακά, η μέθοδος Hunkeler απαιτεί τον καθορισμό της γεωγραφικής κατανομής των ωρών εργασίας σε όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος στη φάση της απογραφής του κύκλου ζωής. Επιπλέον, πρέπει να υπολογιστούν οι ώρες εργασίας που απαιτούνται για κάθε μονάδα διαδικασίας σε κάθε σχετική γεωγραφική περιοχή. Χρησιμοποιώντας τους περιφερειακούς παράγοντες χαρακτηρισμού, οι απαιτούμενες ώρες εργασίας σε κάθε διαδικασία μετατρέπονται στην ικανότητα του μισθωτού να αποκτήσει κοινωνικές ανάγκες όπως στέγαση, υγειονομική περίθαλψη, εκπαίδευση και άλλα παρόμοια (Jørgensen et al., 2008).

Εναλλακτικά, ο Weidema (2006) προσφέρει μια μέθοδο στην οποία οι κοινωνικές επιπτώσεις μετρούνται με όρους μείωσης της ευημερίας. Όπως ορίζεται από τον Weidema (2006), υπάρχουν έξι κατηγορίες ζημιών που πρέπει να προσδιοριστούν υπό τον τίτλο της ανθρώπινης ζωής και ευημερίας. Αυτά περιλαμβάνουν ζωή και μακροζωία, υγεία, αυτονομία, ίσες ευκαιρίες, συμμετοχή και επιρροή, ασφάλεια και ηρεμία. Για να μπορέσει να μετρήσει τις κοινωνικές επιπτώσεις με όρους μείωσης της ευημερίας, ο Weidema προτείνει τον ποσοτικό όρο «Ποιοτικά Προσαρμοσμένα Έτη Ζωής» (Quality Adjusted Life Years) (Weidema, 2006). Η πρόθεση του Weidema με αυτόν τον ποσοτικό όρο είναι να δημιουργήσει μονοπάτια επιπτώσεων που συνδέουν ποσοτικά στοιχεία αποθέματος με κατηγορίες ζημιών (Parent et al., 2010).

Η διάκριση στις μεθόδους έγκειται στα αποτελέσματα των δεικτών. Σύμφωνα με τη μέθοδο UNEP/SETAC Taskforce, το σημείο αναφοράς απόδοσης χρησιμοποιείται για την εξαγωγή της κατάστασης μιας διάστασης του κοινωνικού πλαισίου, ενώ, χρησιμοποιώντας τις άλλες προσεγγίσεις, μπορούν να μετρηθούν οι κοινωνικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τα δεδομένα απογραφής.

Τόσο ο Hunkeler όσο και ο Weidema προσφέρουν μεθόδους σύμφωνα με τις οποίες ένας δείκτης δείχνει την επίδραση μιας λειτουργικής μονάδας σε ποσοτική μορφή. Ωστόσο, στη μέθοδο Taskforce, η σχετική σημασία κάθε μονάδας περιβάλλοντος για το σύστημα προϊόντων, φαίνεται καθορίζοντας έναν παράγοντα μεριδίου που αντιπροσωπεύει «τη δεδομένη βαρύτητα στο κοινωνικό προφίλ μιας εταιρείας στη συνάντηση των κοινωνικών επιπτώσεων κατά μήκος της αλυσίδας του προϊόντος» (Dreyer et al., 2006).

4.5.3 Προκλήσεις στην εφαρμογή της Αξιολόγησης Κύκλου Κοινωνικής Ζωής

Μία από τις προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή της SLCA είναι η επιλογή κοινωνικών δεικτών. Λόγω του τεράστιου αριθμού πιθανών κοινωνικών δεικτών για ανάλυση, το έργο της επιλογής των δεικτών που θα μελετηθούν σε βάθος, είναι σημαντικό.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη και συνεπής αξιολόγηση βιωσιμότητας, προτείνονται διάφορες αρχές από διαφορετικές κατευθυντήριες γραμμές. Σύμφωνα με τους Lundie et al. (2008), οι διαφορετικές αρχές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε αξιολόγηση βιωσιμότητας είναι οι ακόλουθες (Lundie et al., 2008):

- **Όρια του συστήματος:** πρέπει να καλύπτονται όλες οι σχετικές κοινωνικές επιπτώσεις. επομένως δεν θα πρέπει να υπάρχει κίνδυνος παραμέλησης ενός κριτηρίου.
- **Περιεκτικότητα:** Οι επιλεγμένοι δείκτες πρέπει να είναι ολοκληρωμένοι για να μπορούν να παρακολουθούν και να μετρούν όλα τα υπό μελέτη συστήματα. Η επιλογή θα πρέπει να επιτρέπει την παρατήρηση ενός προβλήματος, την εναλλαγή μεταξύ κριτηρίων και την αποφυγή διπλής καταμέτρησης.
- **Εφαρμογή:** δυνατότητα εξέτασης των αποτελεσμάτων κάθε δείκτη εφαρμόζοντας την ίδια μέθοδο.
- **Διαφάνεια:** η διαδικασία επιλογής και εξαίρεσης οποιουδήποτε δείκτη πρέπει να αιτιολογείται με σαφήνεια.
- **Ποιότητα δεδομένων:** η ποιότητα των δεδομένων παίζει σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή ουσιαστικών συμπερασμάτων από τα ληφθέντα αποτελέσματα. Η ποιότητα των δεδομένων πρέπει να είναι συνεπής σε όλους τους δείκτες.
- **Πρακτικότητα:** οι επιλεγμένοι δείκτες πρέπει να είναι σύμφωνοι με το υπό μελέτη σύστημα, το εφαρμοσμένο εργαλείο αξιολόγησης και την πολυπλοκότητα του συστήματος, προκειμένου να καλύπτουν όλες τις πτυχές της βιωσιμότητας.

- **Χρονικές - χωρικές πτυχές:** δεδομένου ότι η αξιολόγηση του κοινωνικού κύκλου ζωής έχει μια προοπτική πλήρους διάρκειας ζωής, όλοι οι δείκτες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα ίδια χρονικά και γεωγραφικά όρια.

Οι Rowley et al. (2012) προτείνουν παρόμοιες αρχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή κριτηρίων στην πολυκριτηριακή ανάλυση απόφασης, αλλά τις εκφράζουν πιο μαθηματικά. Ειδικότερα τα κριτήρια θα πρέπει να είναι (Rowley et al., 2012):

- **Εξαντλητικά:** όλες οι διαφορετικές πτυχές βιωσιμότητας θα πρέπει να καλύπτονται για το υπό μελέτη σύστημα.
- **Ελάχιστα:** ο αριθμός των επιλεγμένων κριτηρίων θα πρέπει να είναι εύλογος για να είναι δυνατή η ερμηνεία και η συγκέντρωση των σχετικών κριτηρίων.
- **Σωρευτικά:** το υπό μελέτη σύστημα μπορεί να αξιολογηθεί είτε από ένα υποσύνολο δεικτών είτε από έναν μόνο δείκτη.
- **Ανεξάρτητα:** τα επιλεγμένα κριτήρια πρέπει να έχουν ανεξάρτητες λειτουργίες.
- **Μονοτονικά:** υπάρχει μια σταθερή τάση για τοπικές και παγκόσμιες προτιμήσεις.

Δεν θα ήταν δυνατό να ληφθούν υπόψη όλες αυτές οι πτυχές κατά την επιλογή των δεικτών. Ωστόσο, τόσο οι Lundie et al. (2008) και Rowley et al. (2012) τονίζουν την επιλογή ενός σημαντικού αριθμού δεικτών που περιλαμβάνουν όλες τις διαφορετικές πτυχές εντός του καθορισμένου τα όρια του συστήματος. Αυτή είναι επίσης η προτεραιότητα των Spillemaeckers et al. (2004), οι οποίοι τονίζουν ρεαλιστικά πως θα πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα ως βασικές αρχές (Spillemaeckers et al., 2004):

1. Μετρησιμότητα,
2. συνάφεια με το συγκεκριμένο προϊόν,
3. σκοπιμότητα σε σχέση με τους διαθέσιμους πόρους,
4. δυνατότητα εφαρμογής στο συγκεκριμένο έργο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μία από τις προκλήσεις για τη μέτρηση της κοινωνικής βιωσιμότητας του κύκλου ζωής ενός προϊόντος είναι η επιλογή των σχετικών κοινωνικών δεικτών. Αυτό αποτελεί πρόκληση, καθώς επί του παρόντος δεν υπάρχει

παγκοσμίως αποδεκτό σύνολο δεικτών (Jørgensen et al., 2008). Για να αντιμετωπιστεί αυτό και να καλύψουν τις απόψεις και τις αξίες όλων των ενδιαφερομένων, ορισμένες έρευνες έχουν εφαρμόσει τη διαδικασία εμπλοκής των ενδιαφερομένων στην επιλογή και την αξιολόγηση των δεικτών (Zamani, 2014).

Η πολυπλοκότητα της βιομηχανίας κλωστοϋφαντουργίας και ένδυσης έχει καταστήσει δύσκολη την αξιολόγηση των κοινωνικών ζητημάτων κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι ισχυρισμοί των αναδυόμενων οικολογικών σημάτων για κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα καλύπτουν μια ποικιλία διαφορετικών δεικτών. Μερικά παραδείγματα δεικτών είναι η διαχείριση φυσικών πόρων (π.χ. Global Organic Textile Standard, Textile Exchange and Soil Association), ο περιορισμός στη χρήση χημικών (π.χ. Μπλε Σήμα, Svanen και EU Ecolabel), οι βελτιωμένες συνθήκες εργασίας στη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας και μόδας (Fair Wear Foundation) και θέματα υγείας για τους καταναλωτές (π.χ. OEKO-Tex). Κάθε ετικέτα δεν καλύπτει όλους τους δείκτες, αλλά τα κύρια οικολογικά ζητήματα λαμβάνονται υπόψη από τις περισσότερες ετικέτες (Zamani, 2014).

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Η κλωστοϋφαντουργία αποτελεί πυλώνα της ευρωπαϊκής οικονομίας και αναμένεται να αναπτυχθεί στο μέλλον χάρη στην τόνωση της γρήγορης μόδας και των τιμών των προϊόντων, που ενθαρρύνουν τους πελάτες να αγοράζουν και να κατέχουν μεγαλύτερες ποσότητες ρούχων. Δυστυχώς, η παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων έχει ισχυρό αντίκτυπο στο περιβάλλον τόσο λόγω της υπερκατανάλωσης όσο και της πρακτικής των διαδικασιών παραγωγής που απαιτούν τη χρήση ουσιών για την κατασκευή, επεξεργασία και βαφή υφασμάτων (Furferi et al., 2022).

Η γραμμική αλυσίδα αξίας του καθιστά την αλυσίδα αξίας κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων ένα από τα πιο ρυπογόνα και με ένταση πόρων συστήματα παραγωγής και κατανάλωσης, ειδικά στη φάση παραγωγής και χρήσης (Manshoven et al., 2019).

Η εξάντληση των υλικών και των υδάτων, η χρήση γης, η κλιματική αλλαγή και η τοξικότητα των χημικών είναι μερικές μόνο από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις οποίες συμβάλλει σημαντικά ο κλάδος της κλωστοϋφαντουργίας (Manshoven et al., 2019).

Όσον αφορά τα στάδια παραγωγής των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, έχει δοθεί έμφαση στις οικολογικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τη γεωργία βαμβακιού, όπως η απώλεια βιοποικιλότητας λόγω της χρήσης φυτοφαρμάκων και άλλων τοξικών ουσιών καθώς και η εξάντληση του νερού. Ενώ οι διαδικασίες βυρσοδεψίας και βαφής επηρεάζουν δυσμενώς το έδαφος, το νερό και τα ατμοσφαιρικά συστήματα λόγω της απελευθέρωσής τους από τοξικούς ρύπους όπως οι χλωριωμένες φαινόλες και το χρώμιο, το φινίρισμα και η επίστρωση τείνουν να περιλαμβάνουν επικίνδυνες ουσίες που επηρεάζουν την υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος, για παράδειγμα την εφαρμογή επιβραδυντικών φλόγας και υδατοαπωθητικών φινιρισμάτων. Η κλωστοϋφαντουργία επιβαρύνει σοβαρά τα οικοσυστήματα και ιδιαίτερα την παροχή γλυκού νερού. Ενδεικτικά εκτιμάται ότι παγκοσμίως, το 20% της ρύπανσης των βιομηχανικών υδάτων προέρχεται από τη βαφή και την επεξεργασία κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (Leal Filho et al., 2019).

Στο πλαίσιο αυτό, η εύρεση νέων τρόπων και λύσεων για τη μετατροπή των χρησιμοποιημένων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων σε υποπροϊόντα ή εισροές

παραγωγής αποτελεί ατού για το μέλλον του κλάδου της κλωστοϋφαντουργίας (Furferi et al., 2022).

Μέσω της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης, ορισμένες από αυτές τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί να μειωθούν. Οι τρέχουσες διαθέσιμες τεχνολογίες επιτρέπουν τόσο στις κυβερνήσεις όσο και στις επιχειρήσεις αφενός, αλλά και στους καταναλωτές αφετέρου, να ασκούν την ανακύκλωση με τρόπο που την καθιστά περιβαλλοντικά ορθή, ηθικά δίκαιη και οικονομικά αποδεκτή (Leal Filho et al., 2019).

Υπάρχει μεγάλη δυνατότητα για τον τομέα της ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων να συμβάλει στην κυκλική οικονομία (Leal Filho et al., 2019).

Οι κορυφαίες οικονομίες θα πρέπει να διαχειρίζονται τα κλωστοϋφαντουργικά τους απόβλητα με μια κυκλική προσέγγιση κλειστού βρόχου, κυρίως όταν η εξαγωγή κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων σε αναπτυσσόμενες χώρες είναι παράνομη. Διάφορα ρεύματα τεχνολογιών ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών είναι διαθέσιμα και συνεχίζουν να καινοτομούν νέες ιδέες με την πρόοδο της βιοτεχνολογίας απαραίτητη (Juanga-Labayen et al., 2022).

Μπορεί να μειώσει την παραγωγή νέων υφασμάτων από παρθένα υλικά και ως εκ τούτου να μειώσει τη χρήση νερού, ενέργειας και χημικών στην αλυσίδα παραγωγής (Dahlbo et al., 2017). Ωστόσο, η ανακύκλωση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων εξακολουθεί να αντιμετωπίζει μια σειρά από προκλήσεις, όπως περιορισμένες πρακτικές τεχνολογίες για την ανακύκλωση διαφόρων τύπων ινών (Zamani, 2014), τεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με την πολυπλοκότητα των ρούχων και ανώριμες αγορές. Το μέγεθος των αγορών δεν είναι αρκετά μεγάλο για να απορροφήσει τον όγκο του υλικού που θα προερχόταν από την ολοκληρωμένη ανακύκλωση ρούχων και η χρήση παρθένων υλικών όπως το βαμβάκι και το αργό πετρέλαιο είναι ακόμα πιο οικονομική από ανακύκλωση υφαντικών ινών (Leal Filho et al., 2019).

Η εφαρμογή ολιστικών τεχνολογιών, και η μη βασιζόμενη σε μία μόνο τεχνολογία, για τη διαχείριση σύνθετων κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων κρίνεται απαραίτητη (Juanga-Labayen et al., 2022).

Βιβλιογραφία

- Alexander, A. E., & Shashikala, A. P. (2020). Sustainability of Construction with Textile Reinforced Concrete- A State of the Art. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 936(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/936/1/012006>
- Ananthashankar, R., & AE Ghaly. (2013). Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 05(01). <https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000182>
- Atria Innovation. (2021). *Recovery of industrial waste*. <https://www.atriainnovation.com/en/recovery-of-industrial-waste/>
- Ballinger, A., & Hogg, D. (2015). *The Potential Contribution of Waste Management to a Low Carbon Economy*. Eunomia Research & Consultin. https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2019/10/zero_waste_europe_report_The-potential-contribution-of-waste-management-to-a-low-carbon-economy_en.pdf
- Bartl, A. (2014). Moving from recycling to waste prevention: A review of barriers and enables. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 32(9_suppl), 3–18. <https://doi.org/10.1177/0734242X14541986>
- Bianchini, A., Guarnieri, P., & Rossi, J. (2022). A Framework to Assess Social Indicators in a Circular Economy Perspective. *Sustainability*, 14(13), 7970. <https://doi.org/10.3390/su14137970>
- Broda, J., Przybyło, S., Gawłowski, A., Grzybowska-Pietras, J., Sarna, E., Rom, M., & Laszczak, R. (2019). Utilisation of textile wastes for the production of geotextiles designed for erosion protection. *The Journal of The Textile Institute*, 110(3), 435–444. <https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1486684>
- Bukhari, M. A., Carrasco-Gallego, R., & Ponce-Cueto, E. (2018). Developing a national programme for textiles and clothing recovery. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 36(4), 321–331. <https://doi.org/10.1177/0734242X18759190>

- Carney Almroth, B. M., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., & Persson, N.-K. (2018). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1191–1199. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0528-7>
- Caulfield, K. (2009). *Sources of Textile Waste in Australia*. Apical International Pty Ltd. <https://studylib.net/doc/18791293/sources-of-textile-waste-in-australia>
- Chen, X., Memon, H. A., Wang, Y., Marriam, I., & Tebyetekerwa, M. (2021). Circular Economy and Sustainability of the Clothing and Textile Industry. *Materials Circular Economy*, 3(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s42824-021-00026-2>
- Circle Economy. (2020). *Unwanted clothes, happy workers: Exploring the potential for circular textiles to have a positive impact on work and workers*. <https://www.circle-economy.com/blogs/unwanted-clothes-happy-workers-exploring-the-potential-for-circular-textiles-to-have-a-positive-impact-on-work-and-workers>
- Claudio, L. (2007). Waste Couture: Environmental Impact of the Clothing Industry. *Environmental Health Perspectives*, 115(9). <https://doi.org/10.1289/ehp.115-a449>
- Corvellec, H., Stowell, A. F., & Johansson, N. (2022). Critiques of the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 26(2), 421–432. <https://doi.org/10.1111/jiec.13187>
- Dahlbo, H., Aalto, K., Eskelinen, H., & Salmenperä, H. (2017). Increasing textile circulation—Consequences and requirements. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.06.005>
- Diener, E., & Suh, E. (1997). MEASURING QUALITY OF LIFE: ECONOMIC, SOCIAL, AND SUBJECTIVE INDICATORS. *Social Indicators Research*, 40(1/2), 189–216. <https://doi.org/10.1023/A:1006859511756>
- Domina, T., & Koch, K. (1997). The Textile Waste Lifecycle. *Clothing and Textiles Research Journal*, 15(2), 96–102. <https://doi.org/10.1177/0887302X9701500204>
- Dreyer, L., Hauschild, M., & Schierbeck, J. (2006). A Framework for Social Life Cycle Impact Assessment (10 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 88–97. <https://doi.org/10.1065/lca2005.08.223>

- Ekström, K. M., & Salomonson, N. (2014). Reuse and Recycling of Clothing and Textiles—A Network Approach. *Journal of Macromarketing*, *34*(3), 383–399. <https://doi.org/10.1177/0276146714529658>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*. Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>
- Ellen MacArthur Foundation. (2022). *What is a circular economy?* <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Euratex. (2022a). *FACTS & KEY FIGURES 2022 OF THE EUROPEAN TEXTILE AND CLOTHING INDUSTRY*. Euratex. https://euratex.eu/wp-content/uploads/EURATEX_FactsKey_Figures_2022rev-1.pdf
- Euratex. (2022b). *ReHubs 2022: Circulating textile waste into value*. <https://euratex.eu/139/rehubs-2022-circulating-textile-waste-into-value/>
- Farhana, K., Kadirgama, K., Mahamude, A. S. F., & Mica, M. T. (2022). Energy consumption, environmental impact, and implementation of renewable energy resources in global textile industries: An overview towards circularity and sustainability. *Materials Circular Economy*, *4*(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s42824-022-00059-1>
- Furferi, R., Volpe, Y., & Mantellasi, F. (2022). Circular Economy Guidelines for the Textile Industry. *Sustainability*, *14*(17), 11111. <https://doi.org/10.3390/su141711111>
- Gardetti, M. A., & Torres, A. L. (Eds.). (2017). *Sustainability in Fashion and Textiles: Values, Design, Production and Consumption* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351277600>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Ghiassian, H., Poorebrahim, G., & Gray, D. H. (2004). Soil Reinforcement with Recycled Carpet Wastes. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, *22*(2), 108–114. <https://doi.org/10.1177/0734242X04043938>
- Gwozdz, W., Kristian Steensen Nielsen, & Müller, T. (2017). An Environmental Perspective on Clothing Consumption: Consumer Segments and Their

- Behavioral Patterns. *Sustainability*, 9(5), 762.
<https://doi.org/10.3390/su9050762>
- Hamawand, I., Sandell, G., Pittaway, P., Chakrabarty, S., Yusaf, T., Chen, G., Seneweera, S., Al-Lwayzy, S., Bennett, J., & Hopf, J. (2016). Bioenergy from Cotton Industry Wastes: A review and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 435–448. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.033>
- Hasanzadeh, E., Mirmohamadsadeghi, S., & Karimi, K. (2018). Enhancing energy production from waste textile by hydrolysis of synthetic parts. *Fuel*, 218, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.035>
- Haule, L. V., Carr, C. M., & Rigout, M. (2016). Preparation and physical properties of regenerated cellulose fibres from cotton waste garments. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4445–4451. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.086>
- Hazarika, J., & Khwairakpam, M. (2022). Valorization of industrial solid waste through novel biological treatment methods – integrating different composting techniques. In *Advanced Organic Waste Management* (pp. 77–93). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85792-5.00012-5>
- Hussain, C. M., Paulraj, M. S., & Nuzhat, S. (2022). Source reduction, waste minimization, and cleaner technologies. In *Source Reduction and Waste Minimization* (pp. 23–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824320-6.00002-2>
- Ignatyev, I. A., Thielemans, W., & Vander Beke, B. (2014). Recycling of Polymers: A Review. *ChemSusChem*, 7(6), 1579–1593. <https://doi.org/10.1002/cssc.201300898>
- Isci, A., & Demirer, G. N. (2007). Biogas production potential from cotton wastes. *Renewable Energy*, 32(5), 750–757. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.018>
- Ismail, Z. Z., & Talib, A. R. (2016). Recycled medical cotton industry waste as a source of biogas recovery. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4413–4418. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.069>
- Jørgensen, A., Le Bocq, A., Nazarkina, L., & Hauschild, M. (2008). Methodologies for social life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 96–103. <https://doi.org/10.1065/lca2007.11.367>

- Juanga-Labayen, J. P., Labayen, I. V., & Yuan, Q. (2022). A Review on Textile Recycling Practices and Challenges. *Textiles*, 2(1), 174–188. <https://doi.org/10.3390/textiles2010010>
- Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, 04(01), 22–26. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>
- Kirchain, R., Olivetti, E., Reed Miller, T., & Greene, S. (2015). *Sustainable Apparel Materials*. Massachusetts Institute of Technology. <https://matteroftrust.org/wp-content/uploads/2015/10/SustainableApparelMaterials.pdf>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kousar, S., Shafqat, U., Kausar, N., Pamucar, D., Karaca, Y., & Salman, M. A. (2022). Sustainable Energy Consumption Model for Textile Industry Using Fully Intuitionistic Fuzzy Optimization Approach. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/5724825>
- Leal Filho, W., Ellams, D., Han, S., Tyler, D., Boiten, V. J., Paço, A., Moora, H., & Balogun, A.-L. (2019). A review of the socio-economic advantages of textile recycling. *Journal of Cleaner Production*, 218, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.210>
- Leal Filho, W., Perry, P., Heim, H., Dinis, M. A. P., Moda, H., Ebhuoma, E., & Paço, A. (2022). An overview of the contribution of the textiles sector to climate change. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 973102. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.973102>
- Lundie, S., Ashbolt, N., Livingston, D., Lai, E., Kärman, E., Blaikie, J., & Anderson, J. (2008). *Sustainability Framework* (WSAA Occasional Paper No.17). WSAA. https://water360.com.au/wp-content/uploads/2022/02/200807_WSAA_Occasional_Paper_17_PP040_Sustainability_Framework.pdf
- Madhav, S., Ahamad, A., Singh, P., & Mishra, P. K. (2018). A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods. *Environmental Quality Management*, 27(3), 31–41. <https://doi.org/10.1002/tqem.21538>

- Mahitha, U., Devi, G. D., Sabeena, M. A., Shankar, C., & Kirubakaran, V. (2016). Fast Biodegradation of Waste Cotton Fibres from Yarn Industry using Microbes. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 925–929. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.070>
- Manshoven, S., Christis, M., Vercauteren, A., Arnold, M., Nicolau, M., & Lafond, E. (2019). *Textiles and the environment in a circular economy*. European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy. https://ecodesign-centres.org/wp-content/uploads/2020/03/ETC_report_textiles-and-the-environment-in-a-circular-economy.pdf
- Maxwell, D., McAndrew, L., & Ryan, J. (2015). *The State of the Apparel Sector 2015 Special Report—Water*. The Global leadership award in Sustainable apparel (GlaSa). https://sustainablefashionacademy.org/wp-content/uploads/2022/06/GLASA_StateofApparelSector_SpecialReport_Water_Final_151001.pdf
- Metcalf & Eddy. (2018). *Μηχανική Υγρών Αποβλήτων* (4η). Τζιόλας.
- Mordor Intelligence. (2022). *Textile Industry—Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2022—2027)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-textile-industry---growth-trends-and-forecast-2019---2024>
- Nikolić, S., Lazić, V., Veljović, Đ., & Mojović, L. (2017). Production of bioethanol from pre-treated cotton fabrics and waste cotton materials. *Carbohydrate Polymers*, 164, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.090>
- Nørup, N., Pihl, K., Damgaard, A., & Scheutz, C. (2019). Evaluation of a European textile sorting centre: Material flow analysis and life cycle inventory. *Resources, Conservation and Recycling*, 143, 310–319. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.010>
- OECD. (2022). *GDP and spending* [Data set]. OECD.
- Oh, Sejong, Park, Jeong-Sik, Shin, Pyung-Gyun, & Yoo, Young-Bok. (2004). An Improved Compost Using Cotton Waste and Fermented Sawdust Substrate for Cultivation of Oyster Mushroom. *Mycobiology*, 32(3), 115–118. <https://doi.org/10.4489/MYCO.2004.32.3.115>
- Palamutcu, S. (2010). Electric energy consumption in the cotton textile processing stages. *Energy*, 35(7), 2945–2952. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.029>

- Palamutcu, S. (2015). Energy footprints in the textile industry. In *Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing* (pp. 31–61). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100169-1.00002-2>
- Parent, J., Cucuzzella, C., & Revéret, J.-P. (2010). Impact assessment in SLCA: Sorting the sLCIA methods according to their outcomes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *15*(2), 164–171. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0146-9>
- Phuong, T. T. (2016). Development of a New Cotton Waste Composting Technology for Cultivation of Oyster Mushroom (*Pleurotus Ostreatus*). *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, *11*(21), 12607–12613.
- Pichardo, P. P., Martínez-Barrera, G., Martínez-López, M., Ureña-Núñez, F., & Ávila-Córdoba, L. I. (2018). Waste and Recycled Textiles as Reinforcements of Building Materials. In E. Günay (Ed.), *Natural and Artificial Fiber-Reinforced Composites as Renewable Sources*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70620>
- Raj, C. S., Arul, S., Sendilvelan, S., & Saravanan, C. G. (2009). Bio Gas from Textile Cotton Waste—An Alternate Fuel for Diesel Engines. *The Open Waste Management Journal*, *2*(1), 1–5. <https://doi.org/10.2174/1876400201002010001>
- Ridoutt, B., Motoshita, M., & Pfister, S. (2019). An LCA impact assessment model linking land occupation and malnutrition-related DALYs. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *24*(9), 1620–1630. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01590-1>
- Roos, S., Sandin, G., Zamani, B., & Peters, G. M. (2015). *Environmental Assessment of Swedish Fashion Consumption. Five Garments – Sustainable Futures*. Mistra Future Fashion.
- Rowley, H. V., Peters, G. M., Lundie, S., & Moore, S. J. (2012). Aggregating sustainability indicators: Beyond the weighted sum. *Journal of Environmental Management*, *111*, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.004>
- Ryu, C., Phan, A. N., Yang, Y., Sharifi, V. N., & Swithenbank, J. (2007). Ignition and burning rates of segregated waste combustion in packed beds. *Waste Management*, *27*(6), 802–810. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.013>

- Sandin, G., & Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 353–365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>
- Schmidt, A., Watson, D., Roos, S., Askham, C., & Poulsen, P. B. (2016). *Gaining benefits from discarded textiles*. Nordic Council of Ministers. <https://doi.org/10.6027/TN2016-537>
- Shrestha, B., Hernandez, R., Fortela, D. L. B., Sharp, W., Chistoserdov, A., Gang, D., Revellame, E., Holmes, W., & Zappi, M. E. (2020). A Review of Pretreatment Methods to Enhance Solids Reduction during Anaerobic Digestion of Municipal Wastewater Sludges and the Resulting Digester Performance: Implications to Future Urban Biorefineries. *Applied Sciences*, 10(24), 9141. <https://doi.org/10.3390/app10249141>
- Smith, J. L., Collins, H. P., Crump, A. R., & Bailey, V. L. (2015). Management of Soil Biota and Their Processes. In *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (pp. 539–572). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415955-6.00018-9>
- Spillemaeckers, S., Vanhoutte, G., Taverniers, L., Lavrysen, L., Van Braeckel, D., Mazijn, B., & Duque Rivera, J. (2004). *Ecological, Social and Economical Aspects of Integrated Product Policy—Integrated Product Assessment: The Development of the Label 'Sustainable Development' for Products*. Belgian Science Policy. https://www.bernardmazijn.be/fileadmin/pdf/sd-label_products_bernardmazijn.pdf
- TechnologyHQ. (2021). *Global Textile Industry Overview: China, The U.S. And Europe Dominates The Market*. <https://www.technologyhq.org/global-textile-industry-overview-china-the-u-s-and-europe-dominates-the-market/>
- Textile Exchange. (2021). *Preferred Fiber & Materials Market Report 2021*. Textile Exchange. https://textileexchange.org/app/uploads/2021/08/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf
- The Chemical Compliance Coach. (2021). *What is the difference between recovery and recycling?* <https://thechemicalcompliancecoach.com/what-is-the-difference-between-recovery-and-recycling/>
- UNEP. (2009). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7912/->

- Guidelines%20for%20Social%20Life%20Cycle%20Assessment%20of%20Pr
oducts-20094102.pdf?sequence=3&%3BisAllowed=
- UNESCO. (2017). *Compilation of the main indicators for analysis of the relationship between education/training and employment*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000259488>
- van der Putte, I., Qi, S., Affourtit, F., de Wolf, K., Devaere, S., & Albrecht, E. (2013). *Study on the Link Between Allergic Reactions and Chemicals in Textile Products*.
- Wang, Y. (2010). Fiber and Textile Waste Utilization. *Waste and Biomass Valorization*, 1(1), 135–143. <https://doi.org/10.1007/s12649-009-9005-y>
- Weidema, B. P. (2006). The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(S1), 89–96. <https://doi.org/10.1065/lca2006.04.016>
- Williams Portal, N., Lundgren, K., Wallbaum, H., & Malaga, K. (2015). Sustainable Potential of Textile-Reinforced Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(7), 04014207. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001160](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001160)
- Woodings, C. R. (1995). The development of advanced cellulosic fibres. *International Journal of Biological Macromolecules*, 17(6), 305–309. [https://doi.org/10.1016/0141-8130\(96\)81836-8](https://doi.org/10.1016/0141-8130(96)81836-8)
- WRI. (2017). *The Apparel Industry's Environmental Impact in 6 Graphics*. <https://www.wri.org/insights/apparel-industrys-environmental-impact-6-graphics>
- Youhanan, L. (2013). *Environmental Assessment of Textile Material Recovery Techniques—Examining Textile Flows in Sweden* [Master's Thesis, Royal Institute of Technolog]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:630028/FULLTEXT01.pdf>
- Zamani, B. (2014). *Towards Understanding Sustainable Textile Waste Management: Environmental impacts and social indicators*. Chalmers University of Technology.
- Zevehoven, R., & Khan, U. (2021). *Monitoring tools such as LCA / LCC / SLCA*. <https://www.estep.eu/assets/Uploads/ESTEP-Zevehoven-24nov2021.pdf>

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2008). *ΟΔΗΓΙΑ 2008/98/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών.*