



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



**«Βιομηχανικά οικοσυστήματα και η μετάβαση τους προς τη
βιομηχανική κυκλικότητα:**

Κλωστοϋφαντουργία, Κατασκευές, Ενεργοβόρες Βιομηχανίες»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εκπόνηση: Αθανασία Εξάρχου

Επιβλέπων Καθηγητής: Ξενοφών Σπηλιώτης

Λάρισα, Ιούνιος 2024

Εξάρχου Αθανασία
Βιομηχανικά οικοσυστήματα και η μετάβασή τους προς τη βιομηχανική κυκλικότητα:
Κλωστοϋφαντουργία, Κατασκευές, Ενεργοβόρες Βιομηχανίες

ΕΝΥΠΟΓΡΑΦΗ ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Εξάρχου Αθανασία
Βιομηχανικά οικοσυστήματα και η μετάβασή τους προς τη βιομηχανική κυκλικότητα:
Κλωστοϋφαντουργία, Κατασκευές, Ενεργοβόρες Βιομηχανίες



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**«Βιομηχανικά οικοσυστήματα και η μετάβαση τους προς τη
βιομηχανική κυκλικότητα:
Κλωστοϋφαντουργία, Κατασκευές, Ενεργοβόρες Βιομηχανίες»**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εκπόνηση: Αθανασία Εξάρχου

Επιβλέπων Καθηγητής: Ξενοφών Σπηλιώτης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ξ. Σπηλιώτης, Ομότιμος Καθηγητής Π.Θ.

..... (Υπογραφή)

.....

..... (Υπογραφή)

.....

.....(Υπογραφή)

Λάρισα, Ιούνιος 2024

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	V
ABSTRACT	VI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	VIII
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	4
3. ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	7
4. Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ ΚΛΩΣΤΟΥΨΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ	8
4.1. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΚΛΩΣΤΟΥΨΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ	8
4.1.1. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις και Επιπτώσεις στην υγεία	8
4.1.2. Κοινωνικές Επιπτώσεις	11
4.2. Ο ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ.....	12
4.3. ΤΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ.....	12
4.4. ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΚΛΩΣΤΟΥΨΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ	14
4.5. Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΚΛΩΣΤΟΥΨΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ	16
4.5.1. Ευρωπαϊκή στρατηγική.....	16
4.5.2. Ο τομέας στην Ευρώπη	21
4.5.2. Επίπεδο κυκλικότητας του τομέα στην Ευρώπη και αντίκτυπο στο περιβάλλον	23
4.5. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	25
5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	28
5.1. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	28
5.1.1. Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις.....	28
5.1.2. Απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΚΚ)	29
5.2. ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	32
5.2.1. Μετάβαση στο Κυκλικό Μοντέλο	32
5.2.2. Διαχείριση αποβλήτων και κυκλική οικονομία.....	33
5.3. ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	34
5.3.1. Ευρωπαϊκή Στρατηγική	34
5.3.2. Πολιτικές κρατών για την διαχείριση αποβλήτων	37

5.4. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ	38
5.5. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΑ	43
5.5.1. Εμπόδια στην διαχείριση αποβλήτων	43
5.5.2. Μελλοντική κατεύθυνση και έρευνα	45
6. ΕΝΕΡΓΟΒΟΡΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ	48
6.1. ΑΝΤΙΚΤΥΠΟ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	48
6.2. ΕΝΕΡΓΟΒΟΡΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΣΤΗ ΕΥΡΩΠΗ	49
6.2.1. Επισκόπηση του τομέα	49
6.2.2. Ευρωπαϊκή Ενεργειακή και Βιομηχανική Πολιτική	53
6.3. ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΠΑΛΛΑΓΗ ΑΠΟ ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΙΣ ΕΝΕΡΓΟΒΟΡΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ	56
6.3.1. Καινοτόμες Τεχνολογίες και Μέθοδοι απαλλαγής από τον άνθρακα	57
6.3.2. Ανακτημένα καύσιμα στις ενεργοβόρες βιομηχανίες	62
6.3.3. Πράσινες και Ψηφιακές Τεχνολογίες	63
6.3.4. Παράδειγμα εφαρμογής κυκλικής οικονομίας στην χαλυβουργία	64
6.4. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ	65
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
7.1. ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	67
7.2. ΚΛΩΣΤΟΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑ	69
7.3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	70
7.4. ΕΝΕΡΓΟΒΟΡΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ	72
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74

Περίληψη

Η βιομηχανική κυκλικότητα είναι μια προσέγγιση που αποσκοπεί στον επαναπροσδιορισμό των βιομηχανικών διαδικασιών, ώστε να μειώσει τα απόβλητα και να μεγιστοποιήσει την επαναχρησιμοποίηση των πόρων. Επιδιώκει να διασφαλίσει ότι οι πόροι διατηρούνται σε χρήση για όσο το δυνατόν περισσότερο, εξάγοντας τη μέγιστη αξία από αυτούς και αναγεννώντας νέα προϊόντα στο τέλος ζωής τους.

Η κλωστοϋφαντουργία, οι κατασκευές και οι ενεργοβόρες βιομηχανίες παίζουν καθοριστικό ρόλο σε αυτήν την μετάβαση, διότι ξεχωρίζουν για το μεγάλο ποσοστό αποβλήτων και την ρύπανση που προκαλούν, συγκριτικά με την συμβολή τους στη συνολική προστιθέμενη αξία της οικονομίας. Η ανάκτηση και η ανακύκλωση στους τομείς της κλωστοϋφαντουργίας και των κατασκευών περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό στην επαναχρησιμοποίηση υλικών σε εφαρμογές χαμηλότερης αξίας (down-cycling). Η επίτευξη των στόχων της Ε.Ε. απαιτεί καινοτόμες τεχνολογίες και ενσωμάτωση της κυκλικής οικονομίας σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής των προϊόντων. Από την άλλη πλευρά, οι ενεργοβόρες βιομηχανίες εξυπηρετούν διάφορες αλυσίδες αξίας σε ποικίλα βιομηχανικά οικοσυστήματα επηρεάζοντας την κυκλικότητα τους.

Τα τρία βιομηχανικά οικοσυστήματα έχουν υψηλό δυναμικό κυκλικότητας και μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων, με αύξηση της βιωσιμότητας στην παραγωγή και στην κατανάλωση. Η συγκεκριμένη εργασία κάνει μια επισκόπηση της υφιστάμενης κυκλικότητας των τριών τομέων, των διαθέσιμων τεχνολογιών και της ευρωπαϊκής στρατηγικής. Παράλληλα, επισημαίνονται τα σημαντικότερα εμπόδια και οι προκλήσεις για την συστηματική μετάβαση προς την επίτευξη της κυκλικής οικονομίας.

Λέξεις Κλειδιά: Κυκλική οικονομία, Κλωστοϋφαντουργία, Κατασκευές, Ενεργοβόρες Βιομηχανίες

Abstract

Industrial circularity is an approach that aims to redefine industrial processes to reduce waste and maximize the reuse of resources. It seeks to ensure that resources are kept in use for as long as possible, extracting maximum value from them and regenerating new products at the end of their life.

The textile industry, construction, and energy-intensive industries play a crucial role in this transition because they stand out for their high waste production and pollution levels, compared to their contribution to the total added value of the economy. Recovery and recycling in the textile and construction sectors is largely limited to the reuse of materials in lower-value applications (down-cycling). Achieving the EU's goals requires innovative technologies and the integration of circular economy principles across all phases of the product life cycle. On the other hand, energy-intensive industries serve various value chains within diverse industrial ecosystems, affecting their circularity.

The three industrial ecosystems have high circularity potential and can contribute to the development of circular business models, enhancing sustainability in production and consumption. This paper provides an overview of the current circularity in the three sectors, the available technologies, and the European strategy. Additionally, it highlights the major obstacles and challenges for the systematic transition towards achieving a circular economy.

Keywords: Circular economy, Textile industry, Construction, Energy-intensive industries

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Διάγραμμα Κυκλικής Οικονομίας (Butterfly)	4
Εικόνα 2: Δράσεις που αποσκοπούν στην αύξηση της κυκλικότητας	6
Εικόνα 3: Παγκόσμια ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων	7
Εικόνα 4: Πηγές μικροπλαστικών και οδοί απελευθέρωσης.....	11
Εικόνα 5: Το γραμμικό μοντέλο στον τομέα της ένδυσης	13
Εικόνα 6: Αρχές για μια κυκλική οικονομία	14
Εικόνα 7: Εφαρμογή εναλλακτικών κυκλικών αρχών στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας.....	15
Εικόνα 8: Απαιτήσεις διαφάνειας για την πρόσβαση στην αγορά της ΕΕ.....	18
Εικόνα 9: Διαφορετικά οικολογικά σήματα και πιστοποιήσεις σε προϊόντα	20
Εικόνα 10: Παραγωγή κατασκευαστικών αποβλήτων στην ΕΕ.....	31
Εικόνα 11: Εμποδία και κινητήριες δυνάμεις στη μετάβαση στην Κυκλική οικονομία	47
Εικόνα 12: Εγκαταστάσεις ενεργοβόρων βιομηχανιών στην Ευρώπη.....	52
Εικόνα 13: Απεξάρτηση του άνθρακα στις ενεργοβόρες βιομηχανίες.....	58

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Εξαγωγές μεταχειρισμένων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων από την ΕΕ (ΕΕ-27 και Ηνωμένο Βασίλειο) προς τον υπόλοιπο κόσμο, 2000-2019 (σε βάρος εκατ. τόνοι)	22
Διάγραμμα 2: Χρήση νερού στις αλυσίδες εφοδιασμού στην ΕΕ-27 το 2020	23
Διάγραμμα 3: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην αλυσίδα εφοδιασμού στην ΕΕ-27 το 2020	24
Διάγραμμα 4: Επεξεργασία κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων στην Ε.Ε.	25
Διάγραμμα 5: Ποσοστό ανακύκλωσης ορυκτών αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις με έμφαση σε καλές πρακτικές (Με βάσει δεδομένα από την Eurostat)	39
Διάγραμμα 6: Επίπεδο ωριμότητας διαχείρισης ΑΑΚ.....	41
Διάγραμμα 7: Ποσοστό ανάκτησης μη επικίνδυνων ΑΚΚ το 2021	42
Διάγραμμα 8: Ποσοστό υγειονομικής ταφής μη επικίνδυνων ορυκτών ΑΚΚ της ΕΕ28	43
Διάγραμμα 9: Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας ανά βιομηχανικό τομέα για το έτος 2021 στην ΕΕ	50
Διάγραμμα 10: Μερίδιο των εκπομπών CO ₂ στις συνολικές βιομηχανικές εκπομπές της ΕΕ το 2018	51
Διάγραμμα 11: Συνεισφορά των εκπομπών των ενεργοβόρων βιομηχανιών ανά κράτος-μέλος ...	51
Διάγραμμα 12 & 13: Ποσότητα αποβλήτων και ανάκτηση-ανακύκλωση στον τομέα των χημικών ουσιών και των μετάλλων στη ΕΕ	53

Κατάλογος Ακρωνυμίων και Συντομογραφιών

AKK	Απόβλητα Κατασκευών και Κατεδαφίσεων
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
NEMπ	Νέο Ευρωπαϊκό Μπάουχαους
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
BIM	Building Information Modeling
BOD	Biological Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
COP26	Conference of the Parties 26
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα
GIS	Geographic Information Systems
GPS	Global Positioning System
RDF	Refuse-Derived Fuel
PPA	Power Purchase Agreement
SRF	Solid Recovered Fuel
TDS	Total dissolved solids

1. Εισαγωγή

Από τα τέλη του 20^{ου} αιώνα η αυξανόμενη ζήτηση και κατ' επέκταση η σπατάλη των φυσικών πόρων διογκώνεται στις ανεπτυγμένες χώρες και έχει συμβάλλει στην τριπλή πλανητική κρίση, δηλαδή την κλιματική αλλαγή, την ρύπανση του περιβάλλοντος και την μείωση της βιοποικιλότητας. Το παγκόσμιο οικονομικό μοντέλο που κυριαρχεί με γραμμική προσέγγιση βασίζεται στην παραγωγή όλο και περισσότερων αγαθών από πρωτογενείς πρώτες ύλες. Εν συνεχεία τα προϊόντα αυτά μόλις εξυπηρετήσουν τον αρχικό σκοπό τους απορρίπτονται και χάνουν ένα μεγάλο μέρος της αξίας τους. Η συνεχή ζήτηση παρθένων υλικών, οι ρυπογόνες παραγωγικές δραστηριότητες, ο αυξανόμενος όγκος αποβλήτων και το αντίκτυπο τους στον πλανήτη απειλούν την κοινωνία και κατ' επέκταση ολόκληρη την ανθρωπότητα αποτελώντας τις μεγαλύτερες προκλήσεις (EEA Report 13/2023).

Η αναμενόμενη αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με την αύξηση του βιοτικού επιπέδου θα συνεχίσουν να αυξάνουν την χρήση πρώτων υλών έως το 2050, με την ανησυχία οι πόροι να μην επαρκούν για τις όλο και αυξανόμενες ανάγκες. Ένα μεγάλο ποσοστό υλικών που εξάγονται παγκοσμίως καταλήγουν ως απόβλητα, ενώ η Ευρώπη εξαρτάται σε ποσοστό άνω του 90% από εισαγωγές παρθένων υλικών. Μάλιστα η ΕΕ έχει καταγράψει 16 στρατηγικές κρίσιμες ύλες και 34 ως σημαντικές για την ασφάλεια του εφοδιασμού (European Investment Bank, 2023).

Η έννοια της αειφορίας, δηλαδή της ανάπτυξης που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τις ανάγκες των μελλοντικών γενεών, όπου η ανάπτυξη βρίσκεται σε αρμονία με το φυσικό περιβάλλον, έχει αποκτήσει πολλαπλή σημασία τα τελευταία χρόνια. Για να είναι ένας οργανισμός βιώσιμος μακροπρόθεσμα πρέπει να συνυπολογίζονται τρεις διαστάσεις για την βιωσιμότητα, δηλαδή η κοινωνική, οικολογική και οικονομική οι οποίες συχνά αναφέρονται ως άνθρωπος, πλανήτης και κέρδος. Η οικονομική διάσταση αφορά την αποτελεσματική χρήση υλικών και άυλων πόρων για την διασφάλιση της μακροπρόθεσμης επιβίωσης, ενώ η οικολογική επικεντρώνεται στο περιβάλλον και αφορά τη διαθεσιμότητα, τη χρήση και τη μεταχείριση των πόρων. Τέλος, η κοινωνική επικεντρώνεται στην ευημερία, την κοινωνία και την δικαιοσύνη (Wiegand & Wynn, 2023).

Το αναδυόμενο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας στηρίζεται στην αειφορία και την βιωσιμότητα σε όλα τα στάδια της παραγωγής, στον σχεδιασμό βιώσιμων προϊόντων με

μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και στοχεύει στην επαναχρησιμοποίηση, την επισκευή, την ανάκτηση και την ανακύκλωση των προϊόντων. Η έννοια της κυκλικής οικονομίας προσφέρει αρχές και προσεγγίσεις σχετικά με τον τρόπο που οι βιομηχανίες μπορούν να εφαρμόσουν την βιωσιμότητα (Warwas I. κ.ά., 2021).

Ο μετασχηματισμός της βιομηχανικής παραγωγής και των προτύπων κατανάλωσης αγαθών σε ένα κυκλικό μοντέλο κρίνεται ζωτικής σημασίας για το μέλλον της κοινωνίας και του φυσικού μας περιβάλλοντος. Επιστημονικά δεδομένα αποδεικνύουν πως μόνο το 8,6% των 100 δισεκατομμυρίων τόνων υλικών εισέρχονται στην παγκόσμια οικονομία ετησίως μέσω της ανακύκλωσης, γεγονός που απαιτεί την διαμόρφωση κατάλληλης στρατηγικής και πολιτικής. Δεδομένης της πίεσης για φυσικούς πόρους απαιτείται υψηλότερη απόδοση στην παραγωγή και νέες προσεγγίσεις στην κατανάλωση και ανακύκλωση των αγαθών στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας.

Ο κίνδυνος εξασφάλισης του εφοδιασμού σε συνδυασμό με απρόβλεπτα γεγονότα, όπως η πανδημία του COVID μπορούν να διαταράξουν τις αλυσίδες εφοδιασμού και την αντίστοιχη παραγωγή. Έτσι έρχεται στην επιφάνεια η αναγκαιότητα και η σημασία των πόρων, καθώς και η ανάγκη δημιουργίας κλειστού βρόγχου (European Investment Bank, 2023).

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται σε τρία βιομηχανικά οικοσυστήματα, που ξεχωρίζουν εξαιτίας του μεγάλου όγκου αποβλήτων, του σημαντικού αντίκτυπου στο περιβάλλον και του υψηλού δυναμικού κυκλικότητας που παρουσιάζουν. Συγκεκριμένα, ο τομέας της κλωστοϋφαντουργίας, των κατασκευών και των ενεργοβόρων βιομηχανιών (συμπεριλαμβανομένων των χημικών, των βιομηχανιών μετάλλων και χάλυβα και των βιομηχανιών κεραμικών) χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής και σημασίας. Οι ενεργοβόρες βιομηχανίες συμβάλλουν σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας στην ΕΕ, επηρεάζοντας την δυνατότητα τους να ενσωματώσουν πρακτικές κυκλικής οικονομίας. Σκοπός της εργασίας είναι να πραγματοποιηθεί μια ανασκόπηση των συγκεκριμένων τομέων και να αξιολογηθεί η τρέχουσα κατάσταση κυκλικότητας τους.

Η δομή της εργασίας αποτελείται από επτά κεφάλαια, τα οποία εστιάζουν στα τρία βιομηχανικά οικοσυστήματα. Αρχικά, στο πρώτο και στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στις αρχές της κυκλικής οικονομίας και στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, σύμφωνα με την ιεραρχία των αποβλήτων. Στην συνέχεια στο τέσσερα, πέντε και έξι κεφάλαιο γίνεται μια αποτύπωση της κυκλικότητας των τριών τομέων και του

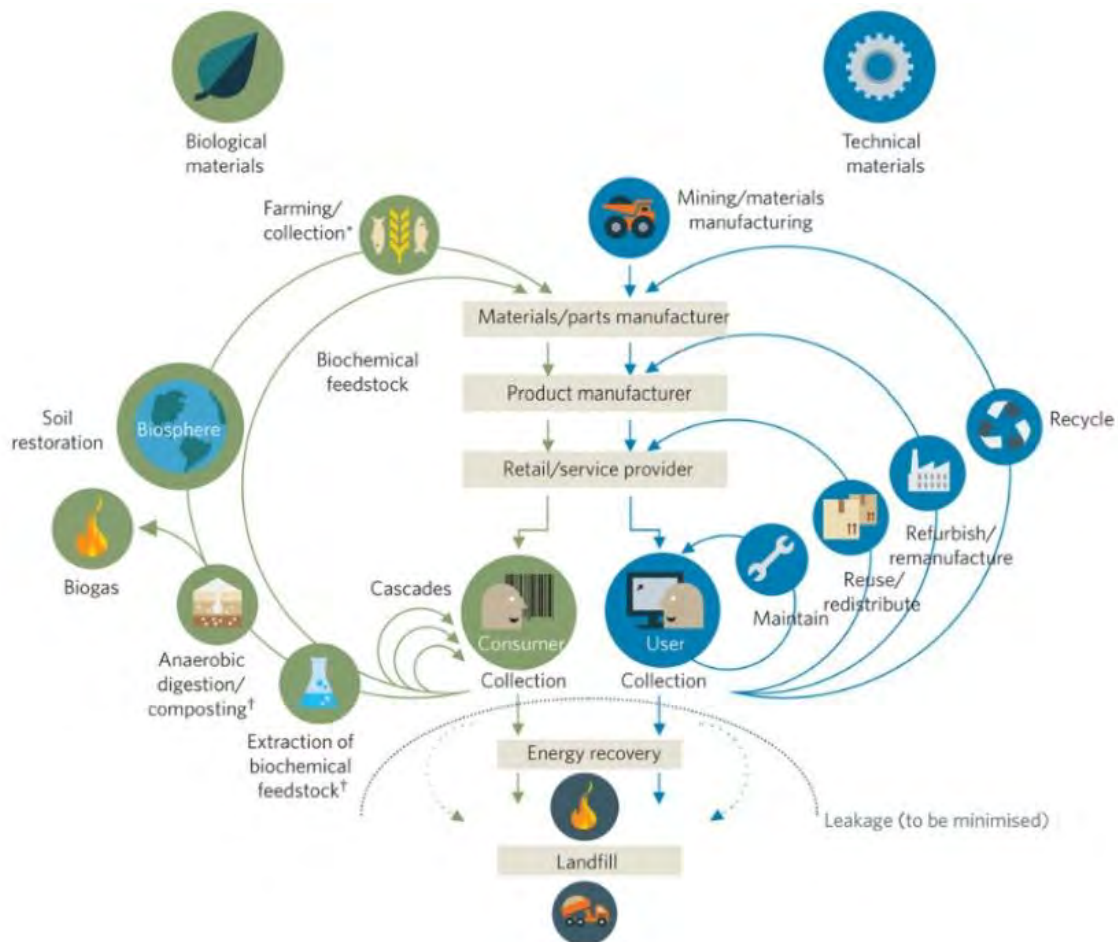
περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος. Παράλληλα, παρουσιάζεται η σχετική ευρωπαϊκή νομοθεσία και οι σημαντικότερες προκλήσεις και εμπόδια που παρουσιάζουν.

Για την εκπόνηση της εργασίας πραγματοποιήθηκε εκτενής αναζήτηση για την εύρεση σχετικής βιβλιογραφίας, που να ανταποκρίνεται στον σκοπό της. Οι βάσεις δεδομένων που επιλέχθηκαν, εκτός από την ευρωπαϊκή νομοθεσία και πολιτική, ήταν η “sciencedirect”, η “scopus”, η “scholar google”, καθώς και αντίστοιχες δημοσιεύσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η πλειοψηφία του υλικού που αξιολογήθηκε έχει ημερομηνία δημοσίευσης μετά το 2018, προκειμένου να ανταποκρίνεται σε τωρινά δεδομένα και εξελίξεις.

2. Κυκλική Οικονομία

Η απάντηση στις παγκόσμιες περιβαλλοντικές προκλήσεις, όπως η κλιματική αλλαγή, η ρύπανση και η απώλεια της βιοποικιλότητας έγκειται στον μετασχηματισμό της οικονομίας, προς την κυκλική προσέγγιση και την ενσωμάτωση των αντίστοιχων κυκλικών αρχών στην κοινωνία (EEA Report 13/2023). Η προσεχής δεκαετία είναι κρίσιμη για την καθιέρωση της κυκλικής οικονομίας σε όλες της ευρωπαϊκές κοινωνίες, καθώς και στην ευρωπαϊκή οικονομία. Σε μια πλήρη εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας τα προϊόντα και οι διαδικασίες παραγωγής είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε οι πόροι να διατηρούνται σε διαρκή ροή και να υπάρχει η λιγότερη δυνατή ποσότητα αποβλήτων, τα οποία ανακυκλώνονται ή ανακτώνται. Οι επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων δύναται να περιοριστούν και η κατανάλωση να αγγίξει τα πλανητικά όρια.

Εικόνα 1: Διάγραμμα Κυκλικής Οικονομίας (Butterfly)



Πηγή: (European Investment Bank, 2023)

Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται ο βιολογικός κύκλος, όπου τα υπολείμματα επιστρέφουν στο φυσικό περιβάλλον και ο τεχνικός κύκλος, όπου τα υλικά σχεδιάζονται και εισάγονται στην αγορά ώστε να ανακυκλώνονται, να επισκευάζονται, να επαναχρησιμοποιούνται, να ανακτώνται μειώνοντας την σπατάλη σε όλη την διάρκεια ζωής των υλικών (European Investment Bank, 2023). Στην αριστερή πλευρά απεικονίζεται ο βιολογικός κύκλος, όπου τα υπολείμματα επιστρέφουν στο φυσικό περιβάλλον, μέσω διαδικασιών όπως η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση. Στην δεξιά πλευρά απεικονίζεται ο τεχνικός κύκλος, όπου μετά την πρωτογενή χρήση τους τα προϊόντα δεν απορρίπτονται, αλλά υπεισέρχονται ξανά σε μια νέα αλυσίδα αξίας. Το μοντέλο εξαλείφει την δημιουργία αποβλήτων και οι διαφορετικές ακτίνες των κύκλων συμβολίζουν το επίπεδο αξίας του σταδίου ανάκτησης, δηλαδή όσο μικρότερος είναι ο κύκλος τόσο υψηλότερη είναι η αλυσίδα αξίας και τόσο μικρότερη η αντίστροφη αλυσίδα αξίας. Να σημειωθεί πως όσο μεγαλύτερος είναι ο κύκλος τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται για την δημιουργία νέου προϊόντος (Andreas Köhler κ.ά., 2021).

Η ενσωμάτωση δράσεων για την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας πριν την χρήση των προϊόντων εξυπηρετούν κοινωνικούς σκοπούς με την χρήση λιγότερων πόρων και μικρότερη επιβάρυνση στο περιβάλλον. Το προϊόν μπορεί να καταστεί περιττό ή να συνεχιστεί η χρήση του με διάφορους τρόπους, όπως μέσω της κοινής χρήσης και συνεπώς να επηρεαστεί η προσφορά και ζήτηση και αντίστοιχα να μειωθεί η χρήση πρωτογενών υλικών. Εφόσον έχουν χρησιμοποιηθεί πόροι για την παραγωγή προϊόντων σκοπός είναι η αύξηση της λειτουργικότητας, της μακροζωίας και η ένταση χρήσης υλικών όσο βρίσκονται ήδη στην οικονομία. Στο τέλος ζωής των υλικών, οι δράσεις στοχεύουν στην ενσωμάτωση τους εκ νέου στον κύκλο παραγωγής αντισταθμίζοντας την ζήτηση πρωτογενών υλικών και εξασφαλίζοντας πως τα υλικά δεν απορρίπτονται (EEA Report 13/2023). Στην Εικόνα 2 αναφέρονται δράσεις που αποσκοπούν στην αύξηση της κυκλικότητας των προϊόντων.

Εξάρχου Αθανασία
Βιομηχανικά οικοσυστήματα και η μετάβασή τους προς τη βιομηχανική κυκλικότητα:
Κλωστοϋφαντουργία, Κατασκευές, Ενεργοβόρες Βιομηχανίες

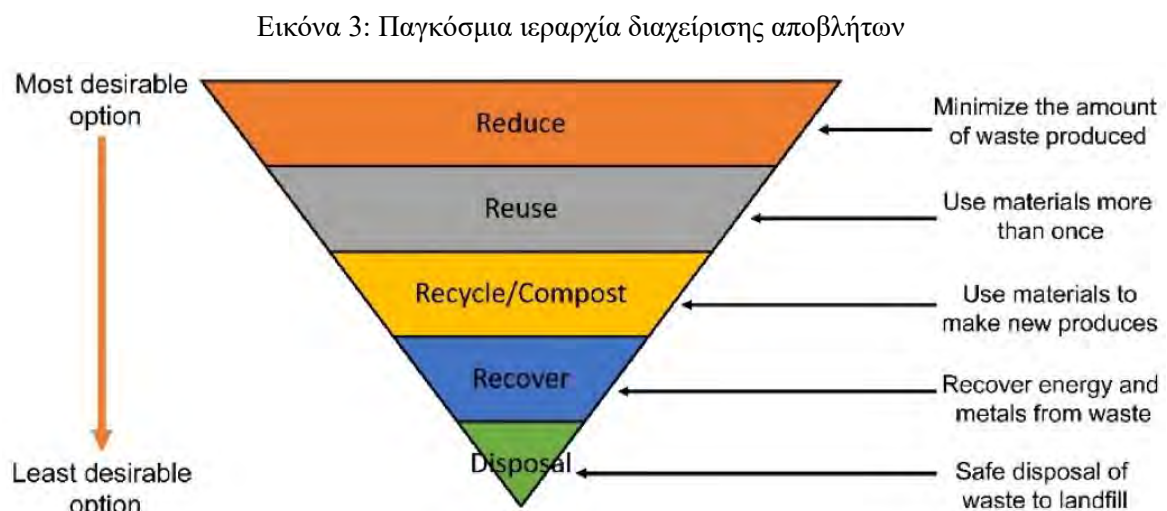
Εικόνα 2: Δράσεις που αποσκοπούν στην αύξηση της κυκλικότητας

BEFORE USE		REFUSE	Consider the necessity to acquire an additional product
		RETHINK	Design for longer lifetimes, repair and recycling or provide the function without making an additional product
		REDUCE	Produce the product with minimal environmental impact
DURING USE		RETAIN	Use and maintain existing products for a long service life
		REUSE AND SHARE	Provide products to others for further usage
		REPAIR	Fix defective products and return them to original functionality
		REMANUFACTURE	Rebuild products to deliver as-new, or upgraded, functionality
AFTER USE		RECYCLE	Process discarded products into useful, high-quality materials
		RETURN	Substitute virgin resources with secondary raw materials

Πηγή: (EEA Report 13/2023)

3. Ιεράρχηση Αποβλήτων

Ακόμη και σε μια κυκλική οικονομία τα προϊόντα φτάνουν αναπόφευκτα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, με επακόλουθο η ορθολογική διαχείριση τους να αποτελεί μια ώριμη πτυχή της κυκλικής οικονομίας. Η ιεράρχηση των αποβλήτων είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της απόδοσης και της διαχείρισης των αποβλήτων (Sharma κ.ά., 2022). Η πιο επιθυμητή τεχνική αφορά την ελαχιστοποίηση, δηλαδή την μείωση των περιττών αποβλήτων, που μπορεί να προκύψει από πιο συνειδητή χρήση υλικών και προϊόντων. Η δεύτερη επιλογή στην ιεραρχία είναι η επαναχρησιμοποίηση στο τέλος διάρκειας ζωής των προϊόντων, χωρίς σημαντικές τροποποιήσεις και η μείωση της ανάγκης για νέες πρώτες ύλες. Ακολουθεί η ανακύκλωση, που επιτυγχάνεται με την αλλαγή μορφής των υλικών για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές ή υλικά. Η τέταρτη επιλογή είναι η ανάκτηση, που αφορά την επεξεργασία με σκοπό κάποιο όφελος, όπως η ενέργεια από την καύση στερεών αστικών αποβλήτων. Ιεραρχικά η τελευταία λύση είναι η διάθεση με ασφαλή τρόπο για τα απόβλητα που δεν έχουν τρέχουσα αξία (Purchase κ.ά., 2022). Στην Εικόνα 3 απεικονίζονται τα πέντε βασικά στάδια, από την πιο επιθυμητή στην λιγότερο επιθυμητή μέθοδο διαχείρισης αποβλήτων.



Πηγή: (Purchase κ.ά., 2022)

Οι στρατηγικές μείωσης θεωρούνται οι πιο αποτελεσματικές και αποδοτικές τεχνικές, διότι μπορούν να επιφέρουν μείωση του κόστους από την αγορά λιγότερων υλικών, μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, μείωση τους κόστους μεταφοράς σε χώρους υγειονομικής ταφής και άλλα (Kabirifar κ.ά., 2020).

4. Η βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας

Ο κλάδος της κλωστοϋφαντουργίας αποτελεί έναν από τους πιο ιστορικούς και κρίσιμους τομείς της παγκόσμιας βιομηχανίας με αντίκτυπο στην οικονομική ανάπτυξη, αλλά και με αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα (Dissanayake & Weerasinghe, 2022). Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα προέρχονται από διάφορες πρώτες ύλες, όπως φυσικές, συνθετικές και μικτές ίνες και χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς (Schumacher & Forster, 2022). Οι ίνες έχουν εφαρμογή σε πολλές βιομηχανίες συμπεριλαμβανομένων των ιατρικών, γεωργικών, κατασκευαστικών, βιομηχανικών και άλλων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, όπως επίσης και στα καταναλωτικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (ενδύματα και οικιακά υφάσματα) (Saskia Hedrich κ.ά., 2022).

4.1. Επιπτώσεις από τον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας

Η βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας έχει σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, καθώς αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς ρυπαντές παγκοσμίως, απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού και ενέργειας σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και κάνει χρήση πολλών χημικών ουσιών, πολλών εκ των οποίων χαρακτηρισμένων ως επικίνδυνων από την ΕΕ (Khan & Malik, 2014).

4.1.1. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις και Επιπτώσεις στην υγεία

Ο τομέας της κλωστοϋφαντουργίας είναι ένας από τους μεγαλύτερους καταναλωτές νερού και αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης των υδάτων. Σχεδόν όλες οι φάσεις της αλυσίδας εφοδιασμού απαιτούν ορισμένη ποσότητα νερού, το οποίο μολύνεται από χημικές ουσίες, χρωστικές και άλλες βοηθητικές ουσίες που απελευθερώνονται ως απόβλητα στο τελικό στάδιο μαζί με το νερό από τις διάφορες διεργασίες. Οι τοξικές και μη ανακυκλώσιμες χημικές ουσίες είναι δύσκολο να εξαιρεθούν από το νερό, καθώς απαιτούν συνήθως τριτοβάθμια επεξεργασία και πρόσθετες επεξεργασίες για την αντιμετώπισή τους. Στη πλειονότητα των μονάδων υγρής επεξεργασίας λυμάτων από κλωστοϋφαντουργικές μονάδες, που βρίσκονται σε υποανάπτυκτες ή αναπτυσσόμενες χώρες, η επεξεργασία λαμβάνει χώρα σε μικρές εγκαταστάσεις, καθώς δεν διατίθενται οι απαιτούμενοι οικονομικοί πόροι για πλήρως εξοπλισμένες και διαστασιολογημένες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, με επακόλουθο την επισφαλή απόρριψή τους σε γειτνιάζουσες περιοχές, με το αντίστοιχο δυσμενές οικολογικό αντίκτυπο, ως αποτέλεσμα (Madhav κ.ά., 2018).

Η χρήση χημικών ουσιών εφαρμόζεται σε όλα τα στάδια και εκτιμάται πως περισσότερες από 15.000 χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται στην κλωστοϋφαντουργία, όπως χρωστικές και διάφορες άλλες βοηθητικές (Bour κ.ά., 2023). Οι επιβλαβείς ουσίες μπορούν να προκαλέσουν κίνδυνο στην ανθρώπινη υγεία, τόσο για τους εργαζομένους στη βιομηχανία όσο και για τους καταναλωτές. Οι χημικές ουσίες μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω του δέρματος, της αναπνοής και της πέψης ή να προκαλέσουν αλλεργικές αντιδράσεις (S. Khan & Malik, 2014).

Για παράδειγμα, κατά την διαδικασία του χρωματισμού το μεγαλύτερο μέρος της βαφής πραγματοποιείται με την χρήση συνθετικών βαφών που περιέχουν χημικές ενώσεις, όπως οι υπερφθοριομένες και πολυφθοριομένες αλκυλιωμένες χημικές ουσίες, φθαλικές ενώσεις, βαρέα μέταλλα, πτητικές οργανικές ενώσεις και άλλα. Η παρουσία βαρέων μετάλλων στο τελικό προϊόν πάνω από τα προβλεπόμενα όρια από πολλά πρότυπα, απαγορεύεται και η απομάκρυνση τους από τα απόβλητα είναι δύσκολη και επίπονη διαδικασία (Arputharaj κ.ά., 2016).

Τα περισσότερα υλικά βαφής είναι μη ανακυκλώσιμα και συμβάλλουν στις υψηλές τιμές BOD, COD και TDS στα λύματα. Η απόρριψη λυμάτων που περιέχουν βαφές στα λύματα είναι ανεπιθύμητη όχι μόνο εξαιτίας του χρώματος αλλά και λόγω απελευθέρωσης τοξικών, καρκινογόνων ή μεταλλαξιογόνων ουσιών κατά την περαιτέρω αποδόμηση τους. Οι δυσμενείς επιπτώσεις των βαφών στα υδάτινα οικοσυστήματα μπορεί να έχουν τοξικές επιδράσεις στα ψάρια και σε άλλες μορφές υδρόβιας ζωής, λόγω της μακροχρόνιας παραμονής τους στο περιβάλλον (Arputharaj κ.ά., 2016). Παράλληλα, οι χρωστικές και οι βαφές μπορεί να περιέχουν τοξικές ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν ορισμένα είδη καρκίνου στον άνθρωπο, ενώ ορισμένοι διαλύτες και πρόσθετα να προκαλέσουν αλλεργική δερματίτιδα, αναπνευστικά προβλήματα και άλλες χρόνιες παθήσεις (Khan & Malik, 2014).

Η κλωστοϋφαντουργία αποτελείται επίσης από πολλές εγκαταστάσεις παραγωγής και μεταποίησης, που καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Πολλές από αυτές βρίσκονται σε περιοχές του κόσμου, όπου τα ορυκτά καύσιμα κυριαρχούν στον ενεργειακό εφοδιασμό και ως εκ τούτου αποτελούν σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού απαιτεί τη διανομή των προϊόντων, με επακόλουθο η μεταφορά να αποτελεί από μόνη της μια σημαντική πηγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Schumacher & Forster, 2022).

Το βαμβάκι, η δεύτερη μεγαλύτερη κλωστοϋφαντουργική ίνα, απαιτεί μεγάλες εκτάσεις, ποσότητες νερού, φυτοφάρμακα και λιπάσματα. Παρόλο που είναι μια βιοδιασπώμενη ίνα απαιτούνται χημικές ουσίες για την διαδικασία του φινιρίσματος που υποβαθμίζουν την ποιότητα του εδάφους και των υδάτων (Koszevska, 2018). Η παγκόσμια καλλιέργεια βαμβακιού απαιτεί το 16% της συνολικής παγκόσμιας χρήσης φυτοφαρμάκων και το 4% των λιπασμάτων, ενώ πλήθος χημικών ουσιών αναλώνονται σε όλη την αλυσίδα παραγωγής (Bour κ.ά., 2023). Για την παραγωγή του πολυεστέρα και των συνθετικών ινών απαιτείται επίσης η χρήση ορυκτών καυσίμων και απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου. Τα υλικά αυτά είναι μη βιοδιασπώμενα συμβάλλοντας σε μακροπρόθεσμα περιβαλλοντικά ζητήματα. Υλικά όπως το λινό και το μαλλί είναι ενεργοβόρα και η παραγωγή τους απαιτεί επιβλαβείς χημικές ουσίες (Leal Filho κ.ά., 2024).

Τα μικροπλαστικά που προέρχονται από την κλωστοϋφαντουργία αποτελούν μία σημαντική πηγή ρύπανσης και εκτιμάται πως ευθύνονται για την παγκόσμια απόρριψη 0,2 έως 0,5 εκατομμυρίων τόνων μικροπλαστικών στους ωκεανούς κάθε χρόνο. Για την Ευρώπη όπου τα περισσότερα νοικοκυριά είναι συνδεδεμένα με σύστημα επεξεργασίας λυμάτων εκτιμάται πως 25 γραμμάρια ανά άτομο απελευθερώνονται κάθε χρόνο στα επιφανειακά ύδατα, αντιπροσωπεύοντας το 8% των συνολικών πρωτογενών απελευθερώσεων στα ύδατα. Μπορούν να προέλθουν από το πλύσιμο συνθετικών υφασμάτων, αλλά και από την κατασκευή, τη φθορά και την απόρριψη στο τέλος του κύκλου ζωής τους (European Environment Agency, 2022a).

Τα μικροπλαστικά προσλαμβάνονται από όλα τα είδη ζωντανών οργανισμών, είτε από το νερό και το έδαφος, αλλά και εισπνέοντας σωματίδια σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους. Επίσης, μικροπλαστικά έχουν αναφερθεί σε ένα ευρύ φάσμα ανθρώπινων τροφίμων και ποτών όπως θαλασσινά, πόσιμο νερό, μύρα αλάτι και ζάχαρη. Τα υψηλά επίπεδα έκθεσης σε μικροπλαστικά πιστεύεται ότι προκαλούν φλεγμονώδες αντιδράσεις και τοξικότητα, ενώ μπορεί να αποτελέσουν φορείς εξάπλωσης παθογόνων μικροοργανισμών και μικροβίων. Η μόλυνση των υδάτων από μικροπλαστικά εξαιτίας των άμεσων εκπομπών, της μεταφοράς σωματιδίων, μέσω του αέρα και των λυμάτων έχουν μεγάλη πιθανότητα να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα και να επηρεάσουν το έντερο προκαλώντας απόφραξη (European Environment Agency, 2022a). Στην Εικόνα 4 απεικονίζονται πηγές και οδοί απελευθέρωσης μικροπλαστικών.

Εικόνα 4: Πηγές μικροπλαστικών και οδοί απελευθέρωσης



Πηγή: (European Environment Agency, 2022a)

4.1.2. Κοινωνικές Επιπτώσεις

Κάθε χώρα που λαμβάνει μέρος στην παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων βιώνει αρνητικές κοινωνικές επιπτώσεις, εξαιτίας του παγκόσμιου χαρακτήρα του τομέα που συμβάλλει στην άνιση κατανομή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Από την μια πλευρά, οι χώρες χαμηλού εισοδήματος κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής και είναι περισσότερο εκτεθειμένες σε επιπτώσεις που συνδέονται με την παραγωγή. Ως εκ τούτου επωμίζονται το βάρος και για τις χώρες που αντιπροσωπεύουν μεγάλο μερίδιο στην κατανάλωση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (Schumacher & Forster, 2022).

Αναμφισβήτητα, η κλωστοϋφαντουργία αποτελεί σημαντική πηγή απασχόλησης, ιδίως για τις γυναίκες. Ωστόσο, οι χώρες παραγωγής συχνά δεν διαθέτουν κανονισμούς για την υγεία, την ασφάλεια στην εργασία και εφαρμόζουν ελάχιστες απαιτήσεις για τους μισθούς ή περιορισμούς για την παιδική εργασία (Schumacher & Forster, 2022). Η ανησυχία για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων έχει αυξηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και σχετίζεται με τις εργασιακές συνθήκες, κυρίως μετά την τραγωδία της Rana Plaza στο Μπαγκλαντές το 2013. Η κατάρρευση του κτιρίου, όπου στεγάζονταν πέντε εργοστάσια ένδυσης έφερε τον θάνατο πάνω από 1.100 ανθρώπων. Το γεγονός αυτό έγινε σύμβολο για τις συνθήκες εργασίας και διαβίωσης πολλών εργαζομένων και έδωσε ώθηση σε κινήματα για την βελτίωση των εργασιακών προτύπων, αν και πολλά εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν αντίσταση (Saha κ.ά., 2024).

4.2. Ο παγκόσμιος χαρακτήρας του τομέα

Ο τομέας της κλωστοϋφαντουργίας έχει επεκταθεί παγκοσμίως αναζητώντας πόρους, φθηνό εργατικό δυναμικό, ευκαιρίες αγοράς με την Κίνα, την Ινδία και τις ΗΠΑ να κατέχουν σημαντικούς ρόλους στην αγορά. Η Κίνα είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός, ενώ οι ΗΠΑ κυριαρχούν στις εξαγωγές πρώτων υλών και στις εισαγωγές ενδυμάτων και κλωστοϋφαντουργικών υλικών (Leal Filho κ.ά., 2024).

Ο παγκόσμιος χαρακτήρας υποδεικνύει πως η αλυσίδα αξίας ενός τυπικού ενδύματος διέρχεται από πολλές χώρες, ακόμη και ηπείρους. Για παράδειγμα, το βαμβάκι μπορεί να καλλιεργείται στην Ελλάδα, να έχει γίνει νήμα στην Τουρκία, να έχει υφανθεί σε ύφασμα στην Ινδία, να έχει ραφτεί στο Μπαγκλαντές και να αγοραστεί τελικά από ένα κατάστημα στην Γερμανία (Andreas Köhler κ.ά., 2021).

Η παγκόσμια κλωστοϋφαντουργία εκτιμήθηκε σε περίπου 920 δισεκατομμύρια δολάρια το 2018 και αναμένεται να φθάσει περίπου τα 1230 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2024 (Chand κ.ά., 2023). Σε παγκόσμιο επίπεδο η βιομηχανία ένδυσης απασχολεί παραπάνω από 300 εκατομμύρια ανθρώπους, ενώ η παραγωγή βαμβακιού αντιπροσωπεύει σχεδόν το 7% της συνολικής απασχόλησης σε ορισμένες χώρες χαμηλού εισοδήματος (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Σε χώρες όπως το Μπαγκλαντές ο τομέας κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό απασχόλησης με περίπου το 70% να εμπλέκεται στην παραγωγή μόδας χαμηλού κόστους και να αποτελείται κυρίως από γυναίκες (Saha κ.ά., 2024).

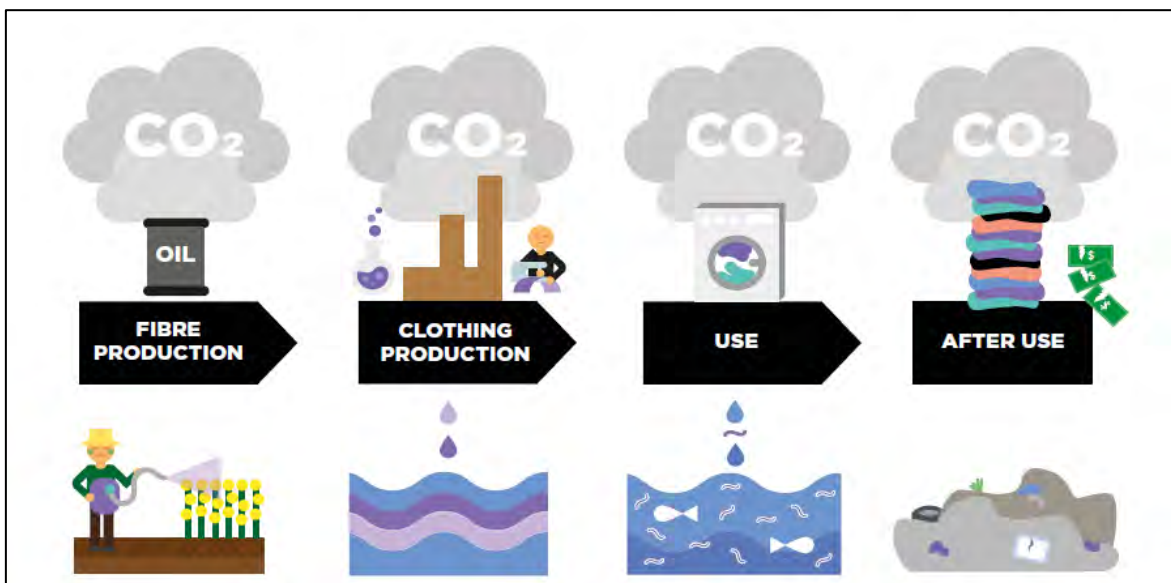
Ο παγκόσμιος χαρακτήρας της αλυσίδας αξίας καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την παρακολούθηση της χρήσης χημικών ουσιών σε όλη την αλυσίδα παραγωγής και τα στάδια που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου. Η γεωγραφική διασπορά και οι διαφορετικοί εθνικοί κανονισμοί σχετικά με τις χημικές ουσίες καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολη την σχετική πληροφόρηση στους μεταγενέστερους κατασκευαστές, για την επεξεργασία και την παρουσία χημικών ουσιών στα κλωστοϋφαντουργικά υλικά που χρησιμοποιούν (Bour κ.ά., 2023).

4.3. Το γραμμικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης

Το μέγεθος της αγοράς ενδυμάτων αυξήθηκε και τα ρούχα προορίζονται για να χρησιμοποιηθούν για σύντομο χρονικό διάστημα και στην συνέχεια να απορριφθούν, όπως υπαγορεύει το γραμμικό μοντέλο κατανάλωσης. Η εκβιομηχάνιση εισήγαγε τον

καταναλωτισμό με την στάση της απόρριψης και η οικονομική ανάπτυξη συνοδεύτηκε με την προώθηση νέων προϊόντων και αντικατάσταση των παλαιών. Το συγκεκριμένο πρότυπο παραγωγής είχε ως επακόλουθο την αυξανόμενη ζήτηση για ίνες και αυξημένες ποσότητες αποβλήτων. Το 2016 η παγκόσμια κατανάλωση ινών έφτασε τα 99 εκατομμύρια τόνους με το μεγαλύτερο ποσοστό (62,7%) να είναι συνθετικές ίνες και εν συνεχεία κυτταρινικές και πρωτεϊνικές ίνες, φυσικές και άλλες (Koszewska, 2018). Στην Εικόνα 5 δίδεται απεικόνιση του γραμμικού μοντέλου στον τομέα της ένδυσης.

Εικόνα 5: Το γραμμικό μοντέλο στον τομέα της ένδυσης



Πηγή: (Ellen MacArthur Foundation, 2017)

Οι περισσότερες άμεσες ή έμμεσες οικολογικές ανησυχίες στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας σχετίζονται με την αυξανόμενη κατανάλωση και την γρήγορα μόδα που την συνοδεύει. Η γρήγορα μόδα αναδύθηκε την δεκαετία του 1980 και τα επόμενα 5 με 10 έτη οι τιμές των καταστημάτων που τις προωθούν έγιναν πιο ανταγωνιστικές και άρχισαν να επηρεάζουν τα παραδοσιακά καταστήματα λιανικής πώλησης ενδυμάτων, με μείωση του κόστους αγοράς ενδυμάτων κατά 50%. Τα είδη ένδυσης έγιναν πιο προσιτά συγκριτικά με άλλα αγαθά, με τους καταναλωτές να αγοράζουν περισσότερα είδη και ο αριθμός των ενδυμάτων που αγοράζει ο μέσος καταναλωτής ετησίως να εκτοξεύεται κατά 60% από το 2000 έως το 2014. Σύμφωνα με εκτιμήσεις σε περίπτωση που το 80% στις αναδυόμενες οικονομίες επιτύχει μέχρι το 2025 το ίδιο επίπεδο κατανάλωσης ενδυμάτων με τον δυτικό κόσμο, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της βιομηχανίας της κλωστοϋφαντουργίας θα αυξηθεί έτι παραπάνω (Koszewska, 2018).

Το ετήσιο αποτύπωμα άνθρακα του τομέα είναι της τάξης των 3,3 δις. τόνων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ίσου με το αποτύπωμα άνθρακα των χωρών της ΕΕ συνολικά. Πιο συγκεκριμένα, η βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας και της ένδυσης ευθύνεται για το 10% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Liu κ.ά., 2024). Εκτός από την τεράστια κατανάλωση πόρων είναι υπεύθυνη και για το 5% του παγκόσμιου όγκου αποβλήτων. Πάνω από τα μισά είδη ένδυσης απορρίπτονται ετησίως με επακόλουθο τη συσσώρευση 92 εκατομμυρίων τόνων αποβλήτων. Τα ποσοστά ανακύκλωσης είναι ιδιαίτερα χαμηλά, καθώς λιγότερο από το 1% των υλικών που χρησιμοποιούνται για την ένδυση επαναχρησιμοποιείται σε νέα ρούχα. Η απώλεια υλικών εκτιμάται σε 500 δισεκατομμύρια ετησίως (Saha κ.ά., 2024). Συνεπώς, το ποσοστό των αποβλήτων που πηγαίνει στην ανακύκλωση είναι ανεπαρκές (Warwas I. κ.ά., 2021).

4.4. Βιωσιμότητα και Κυκλική οικονομία στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας

Η κυκλική οικονομία στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας στοχεύει στην μείωση του όγκου της νέας παραγωγής και την διατήρηση των προϊόντων σε κυκλοφορία για το μέγιστο χρονικό διάστημα. Σκοπός είναι η ενσωμάτωση των βασικών αρχών της κυκλικής οικονομίας για να διασφαλιστεί πως τα προϊόντα δεν θα απορριφθούν και δεν θα καταλήξουν σε υγειονομική ταφή (European Commission, 2022c). Στην Εικόνα 6 απεικονίζονται οι αρχές για μια κυκλική οικονομία

Εικόνα 6: Αρχές για μια κυκλική οικονομία



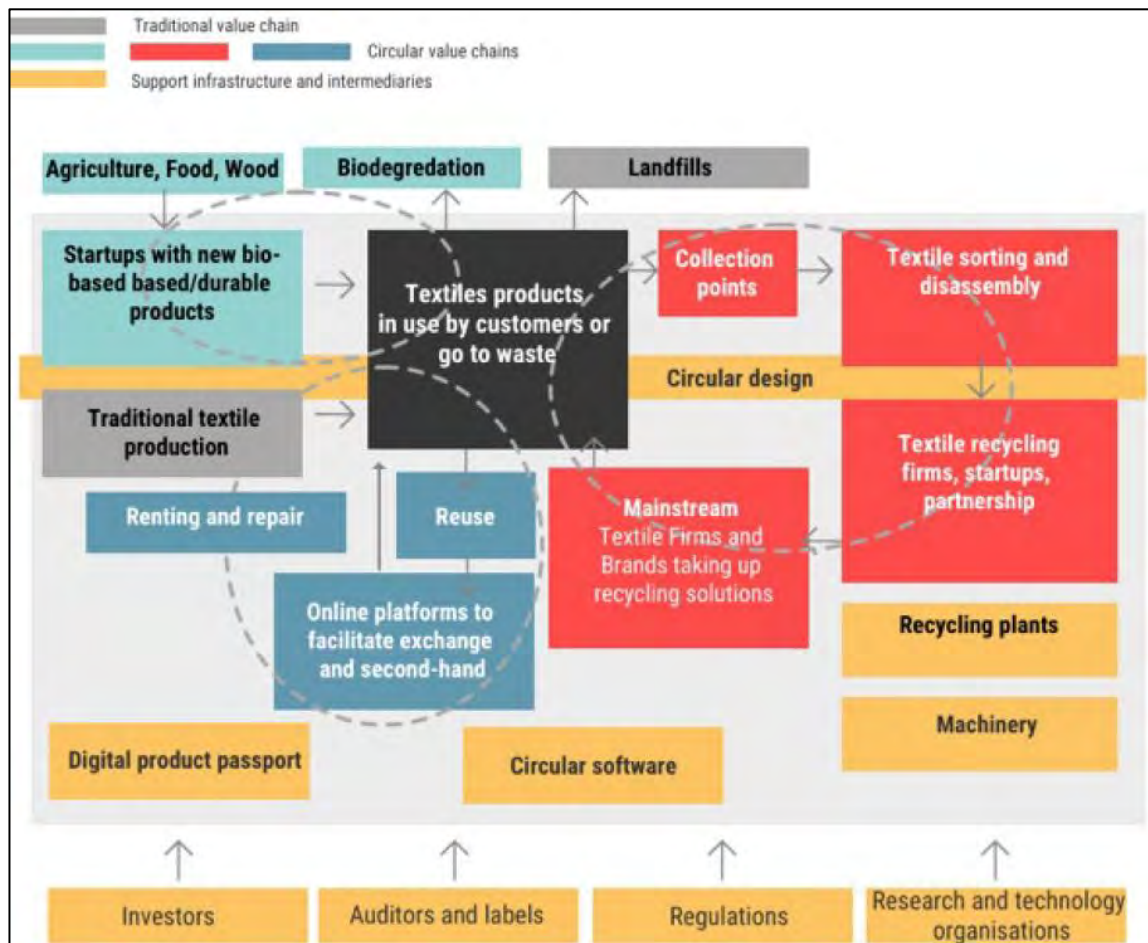
Πηγή: (Shirvanimoghaddam κ.ά., 2020)

Οι βασικές αρχές της κυκλικής οικονομίας καλύπτουν τον σχεδιασμό, την κατασκευή, την μεταφορά, την πώληση, την χρήση και την ανακύκλωση των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Η εφαρμογή των συγκεκριμένων αρχών μπορεί να οδηγήσει σε πιο βιώσιμα

προϊόντα και σε λιγότερες ποσότητες αποβλήτων και χημικών ουσιών. Ο σχεδιασμός πολλαπλών χρήσεων, η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και τα βιοδιασπώμενα προϊόντα θα μπορούσαν να συμβάλλουν σε μια βιώσιμη κοινωνία. Η χρήση τοπικών υλικών και ανθρώπινων πόρων, η εξάλειψη τοξικών χημικών ουσιών, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υλικών πρέπει να συμπεριληφθούν σε ένα κυκλικό μοντέλο ανάπτυξης. Ο παραγωγός πρέπει να λειτουργεί με βασική αρχή την επαναχρησιμοποίηση πόρων και υλικών και ο καταναλωτής με την επαναχρησιμοποίηση, ανταλλαγή, επισκευή, καθώς και με γνώμονα την ποιότητα πάνω από την ποσότητα (Shirvanimoghaddam κ.ά., 2020).

Στην Εικόνα 7 απεικονίζονται οι εναλλακτικές κυκλικές αρχές στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας

Εικόνα 7: Εφαρμογή εναλλακτικών κυκλικών αρχών στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας



Πηγή: (European Commission, 2022c)

Η βιώσιμη μόδα ενθαρρύνει την τοπική ανάπτυξη, την αποτελεσματική χρήση των πόρων, την προστασία των ανθρωπίνων δικαιωμάτων και διακρίνεται από διαφάνεια σε όλες τις

διαδικασίες και τα στάδια παραγωγής. Η συνειδητοποίηση των κοινωνικών και περιβαλλοντικών ζητημάτων συμβάλλει στην ανάπτυξη προτύπων με έμφαση στην ποιότητα και την συνειδητή κατανάλωση (Sehnem κ.ά., 2024).

4.5. Η Ευρωπαϊκή βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας

4.5.1. Ευρωπαϊκή στρατηγική

Η βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας αποτελεί βασική συνιστώσα της ευρωπαϊκής στρατηγικής και του ευρωπαϊκού σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία (Wiegand & Wynn, 2023). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναφέρει στη «Μελέτη για την τεχνική, κανονιστική, οικονομική και περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών ινών», πως με τους στόχους και τις συνιστώσες της πολιτικής, ορισμένες από τις οποίες είναι υπό διαμόρφωση, συμβάλλει στην διαμόρφωση της μελλοντικής βιομηχανικής πορείας του τομέα. Παρέχεται καθοδήγηση σχετικά με τις στρατηγικές οικολογικού σχεδιασμού και την εφαρμογή κυκλικών μοντέλων, καθώς και καθοδηγητικά βήματα για μελλοντικές νομοθετικές αλλαγές.

Η αναθεωρημένη βιομηχανική στρατηγική για την Ευρώπη και την ενίσχυση της βιομηχανικής ανθεκτικότητας, αποσκοπεί στην βελτίωση της ιχνηλασιμότητας των εμπορεύσιμων ειδών και την παρακολούθηση της δρομολόγησης τους και προβλέπει την περιοδική αξιολόγηση 14 βιομηχανικών οικοσυστημάτων, ένας εκ των οποίων τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (De Ponte κ.ά., 2023).

Η στρατηγική της ΕΕ για τις χημικές ουσίες που στοχεύει σε ένα περιβάλλον χωρίς τοξικά κεντρίζει το ενδιαφέρον στην ασφαλή ανακύκλωση και αναφέρει συγκεκριμένα την κλωστοϋφαντουργία. Η στρατηγική για την μετάβαση σε ασφαλείς και βιώσιμες χημικές ουσίες στην αρχή του κύκλου ζωής, τονίζει την ανάγκη για μη τοξικά υλικά, προς ένα βιώσιμο και κυκλικό οικονομικό και παραγωγικό σύστημα (De Ponte κ.ά., 2023).

Η αναθεώρηση της Οδηγίας για τα απόβλητα τον Μάιο του 2018 απαιτεί από τα κράτη μέλη της ΕΕ να θεσπίσουν συστήματα για την χωριστή συλλογή των κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων έως την 1^η Ιανουαρίου του 2025. Μάλιστα έως τον Δεκέμβριο του 2024 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρέπει να εξετάσει στόχους για την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των χωριστά συλλεγόμενων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (Andreas Köhler κ.ά., 2021).

Η στρατηγική της Ε.Ε. για τα βιώσιμα και κυκλικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης πολιτικής, της Πράσινης Συμφωνίας και του νέου Σχέδιου δράσης για την κυκλική οικονομία. Απαρτίζεται από ένα σύνολο κανονισμών, που παρουσιάστηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2022, προκειμένου να τεθούν τα θεμέλια για έναν κυκλικό και βιώσιμο τομέα.

Το όραμα της Επιτροπής είναι μέχρι το 2030 όλα τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα που πωλούνται στην ευρωπαϊκή αγορά να είναι μακράς διάρκειας ζωής και ανακυκλώσιμα, απαλλαγμένα από επικίνδυνες ουσίες και να έχουν παραχθεί περιορίζοντας τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Οι δράσεις αφορούν όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, με επακόλουθο τα μελλοντικά αποτελέσματα να έχουν παγκόσμιες προεκτάσεις με δεδομένο πως η πλειονότητα των ενδυμάτων κατασκευάζεται εκτός Ευρώπης (Kerll, 2023).

Οι καταναλωτές θα επωφεληθούν από προϊόντα υψηλότερης ποιότητας, που έχουν κατασκευαστεί σεβόμενα την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων. Η μετάβαση θα επιτευχθεί μέσω ενός σαφούς οδικού χάρτη στόχων έως το 2030 για τον τομέα της μόδας. Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότεροι στόχοι (Kerll, 2023):

- Καθορισμός προδιαγραφών οικολογικού σχεδιασμού: Σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς τα προϊόντα που διατίθενται στην ευρωπαϊκή αγορά πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρατείνεται η διάρκεια ζωής τους μέσω της αυξημένης ανθεκτικότητας και της κυκλικότητας τους και να πληρούνται προϋποθέσεις, όπως η επαναχρησιμοποίηση, η επισκευή, η ανακύκλωση και η δυνατότητα χρήσης των ως μεταχειρισμένων. Επιπλέον, η Επιτροπή θα θέσει ορισμένα κριτήρια σχετικά με την σύνθεση και την παρουσία χημικών ουσιών στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, που δημιουργούν ανησυχία για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, ενώ αποτρέπουν και την ανακύκλωση τους (COM(2022) 141 final, 2022).
- Απαγόρευση καταστροφής μη πωληθέντων και επιστρεφόμενων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων: Σύμφωνα με τους κανονισμούς διαφάνειας οι εταιρείες υποχρεούνται να γνωστοποιούν την ποσότητα των προϊόντων που απορρίπτουν ή καταστρέφουν, ενώ παράλληλα θα τίθενται απαγορεύσεις στην καταστροφή των κλωστοϋφαντουργικών ειδών (COM(2022) 141 final, 2022).

- Ψηφιακό διαβατήριο προϊόντων: Το ψηφιακό «διαβατήριο» θα συνοδεύει κάθε προϊόν και θα παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες στους καταναλωτές, σχετικά με τις πτυχές της βιωσιμότητάς τους, τη χώρα προέλευσης, τη σύσταση και άλλα με σκοπό την ευαισθητοποίηση του κοινού και την διευκόλυνση τους στη λήψη αποφάσεων (COM(2022) 141 final, 2022). Η Εικόνα 8 απεικονίζει τις απαιτήσεις διαφάνειας για πρόσβαση στην αγορά της ΕΕ

Εικόνα 8: Απαιτήσεις διαφάνειας για την πρόσβαση στην αγορά της ΕΕ



Πηγή: (Ashraf & Karkare, 2023)

- Ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από μικροπλαστικά: Η στρατηγική της ΕΕ παρουσιάζει ορισμένα μέτρα πρόληψης και μείωσης, όπως η χρήση καινοτόμων

υλικών, φίλτρων πλυντηρίων ρούχων και πρωτοπόρων διαδικασιών διαχείρισης περιβάλλοντος (COM(2022) 141 final, 2022).

- Διευρυμένη ευθύνη παραγωγού: οικολογική διαφοροποίηση αμοιβών, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, απόβλητα: Οι κατασκευαστές κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων θα είναι υπόλογοι για τα προϊόντα τους σε όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής τους, με επακόλουθο τα απόβλητα στο τέλος της ζωής τους να συλλέγονται και να εισάγονται ξανά στην οικονομία σύμφωνα με ένα κυκλικό μοντέλο. Η διαμόρφωση των τελών παρέχει στους παραγωγούς κίνητρο για μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος, λιγότερα απόβλητα και προϊόντα που συνάδουν με τις αρχές της κυκλικότητας (COM(2022) 141 final, 2022).
- Περιβαλλοντική και κοινωνική δικαιοσύνη: Έχει τεθεί σε εφαρμογή η οδηγία για την δέουσα επιμέλεια της εταιρικής βιωσιμότητας προκειμένου να αποτρέπεται ή να αντιμετωπίζεται σε όλη την αξιακή αλυσίδα, οποιοδήποτε περιβαλλοντικό και κοινωνικό ζήτημα προκύψει σε ολόκληρο τον κόσμο. Οι εταιρείες λειτουργούν με σεβασμό στα ανθρώπινα δικαιώματα, εξασφαλίζοντας αξιοπρεπείς συνθήκες εργασίας και απαγορεύοντας την διάθεση προϊόντων που έχουν κατασκευαστεί με καταναγκαστική εργασία (COM(2022) 141 final, 2022).
- Αλλαγή του μοντέλου της υπερπαραγωγής και υπερκατανάλωσης: Η Επιτροπή με το σύνθημα «ReFashionNow», δηλαδή η γρήγορα μόδα να είναι εκτός μόδας επιδιώκει την μετάβαση από ένα γραμμικό μοντέλο υπερκατανάλωσης στο οποίο και βασίζεται η σημερινή μας κοινωνία, σε ένα νέο μοντέλο εναλλακτικών λύσεων σε αντίθεση με τους γοργούς ρυθμούς εναλλαγής των τάσεων της μόδας (COM(2022) 141 final, 2022).
- Αυστηροί κανονισμοί για την εξαγωγή αποβλήτων: Στο τέλος του κύκλου ζωής τους τα περισσότερα υφασμάτινα απόβλητα αποτεφρώνονται και καταλήγουν σε χωματερές, κυρίως σε τρίτες χώρες, όπου προκαλούν και τα αντίστοιχα περιβαλλοντικά προβλήματα. Η διαχείριση των αποβλήτων πρέπει να βελτιωθεί και οι κανονισμοί της Επιτροπής απαγορεύουν την εξαγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων σε χώρες που δεν έχουν την δυνατότητα διαχείρισης τους (Kylänlahti-Harmaala, 2023).
- Απαγόρευση του «greenwashing» και θέσπιση οικολογικών ισχυρισμών: Αρκετές εταιρείες προκειμένου να ανταποκριθούν στις αυξανόμενες απαιτήσεις των

καταναλωτών για βιώσιμα προϊόντα προωθούν είδη μέσω της διαφήμισης ή των ετικετών τους ισχυρισμούς, που παρουσιάζουν μεγαλύτερο περιβαλλοντικό όφελος από αυτό που προσφέρουν. Η σύγχυση και αβεβαιότητα των καταναλωτών είναι μια από τις μεγαλύτερες ανησυχίες που οδήγησε στην αυστηρή ρύθμιση των πράσινων ισχυρισμών και την εκπόνηση οικολογικών σημάτων της Ε.Ε. για την αποφυγή εκστρατειών μάρκετινγκ που χρησιμοποιούν ψευδείς και παραπλανητικές ετικέτες ως εργαλεία μάρκετινγκ. Η επιλογή των οικολογικών σημάτων γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη και ανάλογα με την πιστοποίηση τους, την πληροφόρηση και το περιβαλλοντικό αντίκτυπο χωρίζονται σε κατηγορίες (Kylänlahti-Harmaala, 2023). Στην Εικόνα 9 παρουσιάζονται διαφορετικά οικολογικά σήματα.

Εικόνα 9: Διαφορετικά οικολογικά σήματα και πιστοποιήσεις σε προϊόντα



Πηγή: (Kylänlahti-Harmaala, 2023)

- Ανάπτυξη δεξιοτήτων, έρευνα, καινοτομία και επενδύσεις: Το όραμα της Επιτροπής για ανθεκτικά, επισκευάσιμα και ανακυκλώσιμα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έως το 2030 απαιτεί προετοιμασία σε επίπεδο εταιρειών για επενδύσεις, ενίσχυση της έρευνας και της καινοτομίας και καθοριστικές αλλαγές. Οι επιχειρήσεις πρέπει

να είναι έτοιμες να αφομοιώσουν τις μελλοντικές αλλαγές, να γνωρίζουν τα πιθανά εμπόδια και τις προκλήσεις (Kylänlahti-Harmaala, 2023).

Η πράσινη μετάβαση εκτός από τα παραπάνω απαιτεί και εξειδικευμένους εργαζομένους με προσόντα υψηλού επιπέδου, που θα καλούνται να προσαρμόζονται στα νέα δεδομένα και εξελίξεις με συνεχή εκπαίδευση για την απόκτηση νέων δεξιοτήτων. Η δημιουργία συμπράξεων δεξιοτήτων μεταξύ των μονάδων παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, δημόσιων φορέων και μονάδων εκπαίδευσης θα συμβάλλουν στην απόκτηση δεξιοτήτων σχετικά με την πράσινη ανάπτυξη, την ψηφιοποίηση και την εξειδίκευση (COM(2022) 141 final, 2022).

4.5.2. Ο τομέας στην Ευρώπη

Η κλωστοϋφαντουργία αποτελεί σημαντικό τομέα της ευρωπαϊκής οικονομίας, με τον τομέα να κλείνει με κύκλο εργασιών ύψους 163 δισεκατομμυρίων ευρώ το έτος 2020, απασχολώντας πάνω από 4 εκατομμύρια εργαζομένους σε 67.000 επιχειρήσεις. Μεταξύ 2019 και 2020 η υγειονομική και κατ' επέκταση η οικονομική κρίση που δημιουργήθηκε από τον COVID-19 μείωσε τον κύκλο εργασιών κατά 9%, όπως έγινε και στους περισσότερους κλάδους. Το 2022 η κλωστοϋφαντουργία της ΕΕ επέστρεψε στο επίπεδο που βρισκόταν πριν την πανδημία COVID-19 με κύκλο εργασιών 167 δισεκατομμύρια ευρώ και απασχολώντας 1,3 εκατομμύρια άτομα σε 192.000 επιχειρήσεις (European Environment Agency, 2023).

Η βιομηχανία της μόδας στην Ευρώπη χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές, μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις, καθώς απασχολούν λιγότερο από 50 εργαζομένους. Οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν τον μετασχηματισμό των φυσικών ινών και συνθετικών ινών σε νήματα, υφάσματα, βιομηχανικά φίλτρα, χαλιά, ενδύματα και άλλα. Η βιομηχανία μόδας είναι η κύρια διέξοδος των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και περιλαμβάνει την παραγωγή ενδυμάτων και την διανομή στην αγορά. Πάνω από το 40% της παραγωγής συγκεντρώνεται στην Ιταλία και ακολουθούν η Γερμανία, η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Πολωνία και η Γαλλία (European Commission, 2022c).

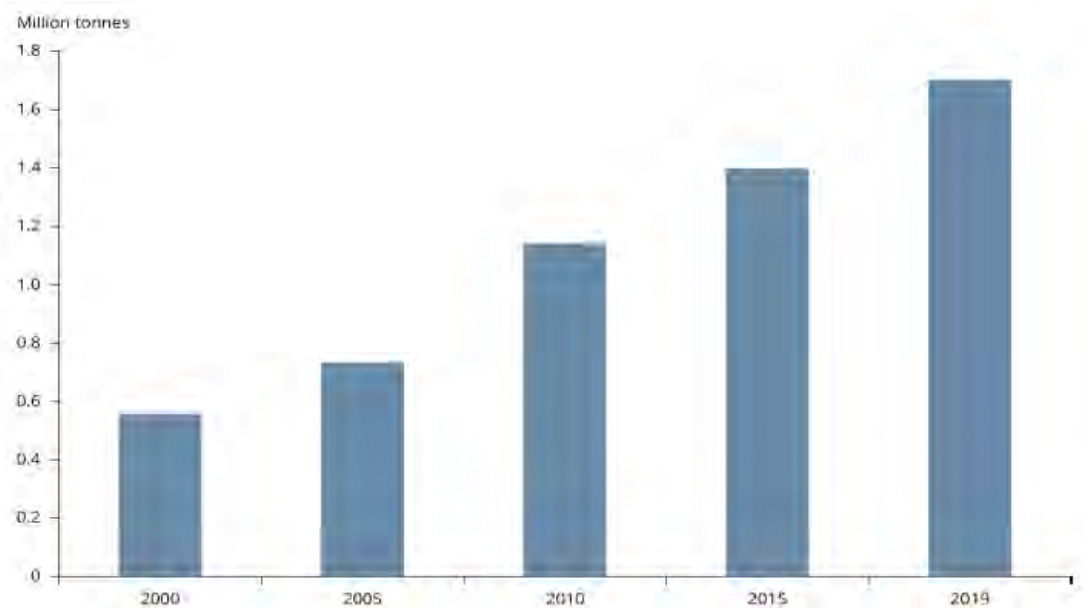
Ο τομέας στην Ευρώπη συμμετέχει σε παγκόσμιες αλυσίδες αξίας με την αξία των εισαγωγών να ανέρχεται σε 106 δις. ευρώ το 2020. Αντίθετα, οι εξαγωγές ανήλθαν σε 58 δις. Ευρώ και ανέδειξαν την ΕΕ τον δεύτερο εξαγωγέα παγκοσμίως μετά την Κίνα (European Commission, 2022c).

Αναφορικά με τις εξαγωγές μεταχειρισμένων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων της ΕΕ, μεταξύ 2000 και 2019 η ποσότητα των μεταχειρισμένων ειδών, που εξήχθησαν από την ΕΕ αυξήθηκε από 550.000 τόνους σε σχεδόν 1,7 εκατομμύρια τόνους. Το τελευταίο αντιστοιχεί σε 3,8 κιλά ανά άτομο, δηλαδή το 25% περίπου του συνόλου που καταναλώνονται ανά άτομο το 2020 (European Environment Agency, 2023).

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες η Αφρική είναι η κύρια ήπειρος που δέχεται χρησιμοποιημένα υφάσματα από την ΕΕ εισάγοντας περισσότερο από το 46% των εξαγωγών. Σημαντικό μερίδιο το 2019 έχει και η Ασία με περίπου 41%. Η τύχη των μεταχειρισμένων ειδών που εξάγονται από την ΕΕ είναι εξαιρετικά αβέβαιη και δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα δεδομένα. Στις αφρικανικές χώρες η εισαγωγή των μεταχειρισμένων ειδών φαίνεται να προορίζεται για τοπική επαναχρησιμοποίηση, διότι υπάρχει ζήτηση για φθηνά ρούχα ή να καταλήγει σε χωματερές και ανεπίσημα ρεύματα αποβλήτων. Ωστόσο, στην Ασία ταξινομούνται και επεξεργάζονται για ανακύκλωση και αυτά που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν καταλήγουν στο γενικό σύστημα διαχείρισης αποβλήτων, όπως η υγειονομική ταφή (European Environment Agency, 2023).

Στο Διάγραμμα 1 απεικονίζονται εξαγωγές μεταχειρισμένων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων από την ΕΕ προς τον υπόλοιπο κόσμο για το διάστημα 2000-2019.

Διάγραμμα 1: Εξαγωγές μεταχειρισμένων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων από την ΕΕ (ΕΕ-27 και Ηνωμένο Βασίλειο) προς τον υπόλοιπο κόσμο, 2000-2019 (σε βάρος εκατ. τόνοι)

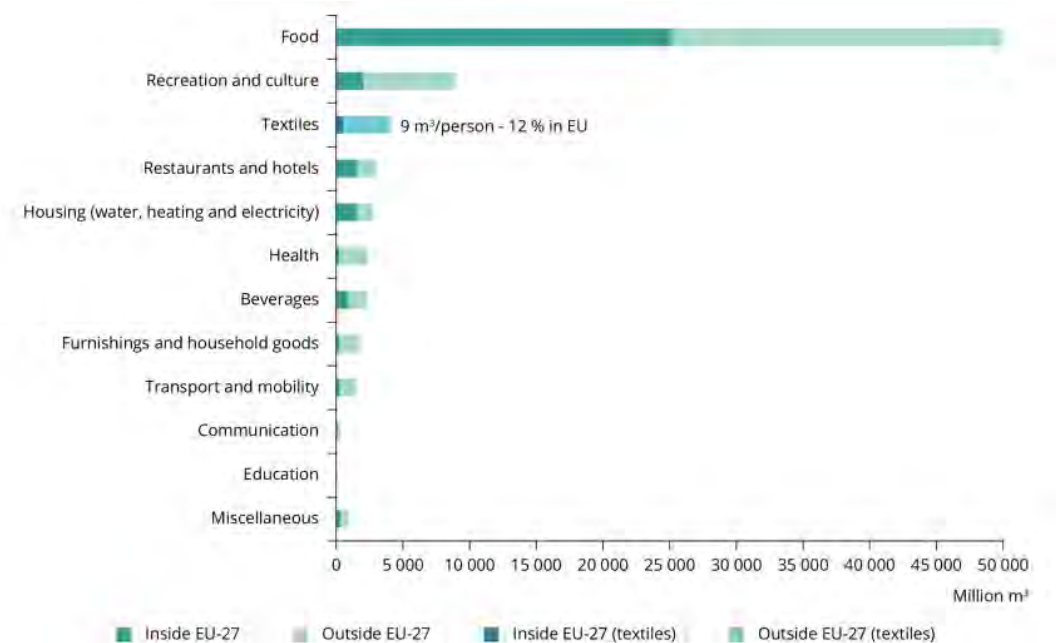


Πηγή: (European Environment Agency, 2023)

4.5.2. Επίπεδο κυκλικότητας του τομέα στην Ευρώπη και αντίκτυπο στο περιβάλλον

Για την παραγωγή όλων των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων που αγοράστηκαν από τα νοικοκυριά της Ε.Ε. το 2020 απαιτήθηκαν 4.000 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού. Η απαίτηση σε νερό κατατάσσει την κλωστοϋφαντουργία στην τρίτη μετά τα τρόφιμα, την αναψυχή και τον πολιτισμό στην Ευρώπη (European Environment Agency, 2022b). Στο Διάγραμμα 2 απεικονίζεται η χρήση νερού στις αλυσίδες εφοδιασμού στην ΕΕ-27 το 2020.

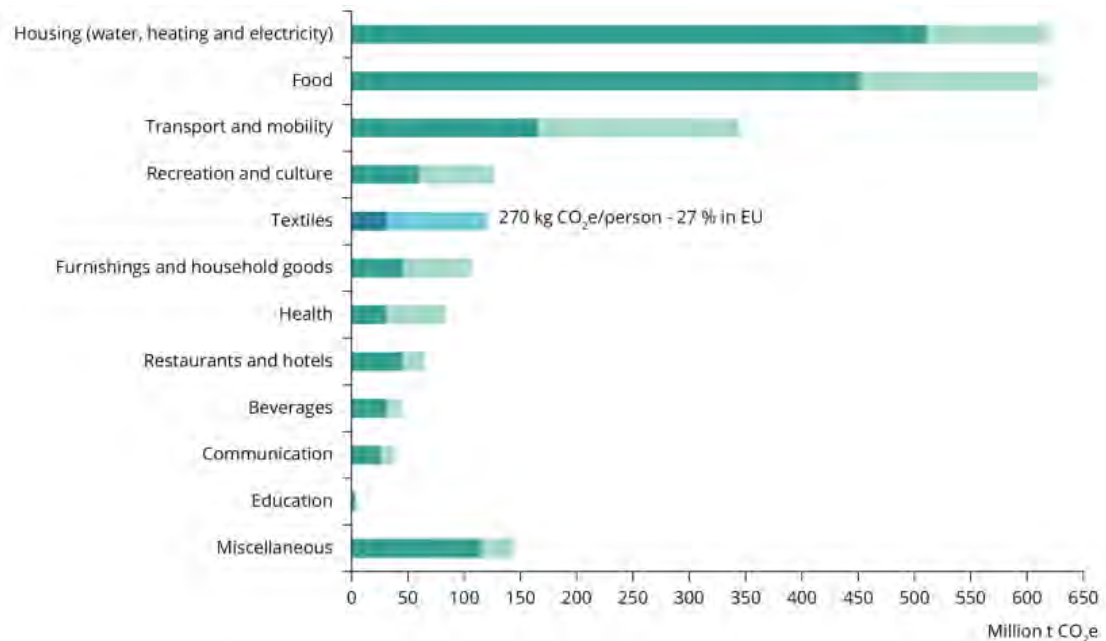
Διάγραμμα 2: Χρήση νερού στις αλυσίδες εφοδιασμού στην ΕΕ-27 το 2020



Πηγή: (European Environment Agency, 2022b)

Αντίστοιχα, η παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων που καταναλώνονται στην ΕΕ παρήγαγε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ύψους 121 εκατομμυρίων τόνων ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα και καθιστά τον τομέα πέμπτο με μεγάλο αντίκτυπο στην κλιματική αλλαγή. Να αναφερθεί πως το 75% εκλύεται εκτός Ευρώπης, κυρίως στις σημαντικές περιοχές παραγωγής τέτοιων ειδών (European Environment Agency, 2022b). Στο Διάγραμμα 3 απεικονίζονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στις αλυσίδες εφοδιασμού στην ΕΕ-27 το 2020.

Διάγραμμα 3: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην αλυσίδα εφοδιασμού στην ΕΕ-27 το 2020



Πηγή: (European Environment Agency, 2022b)

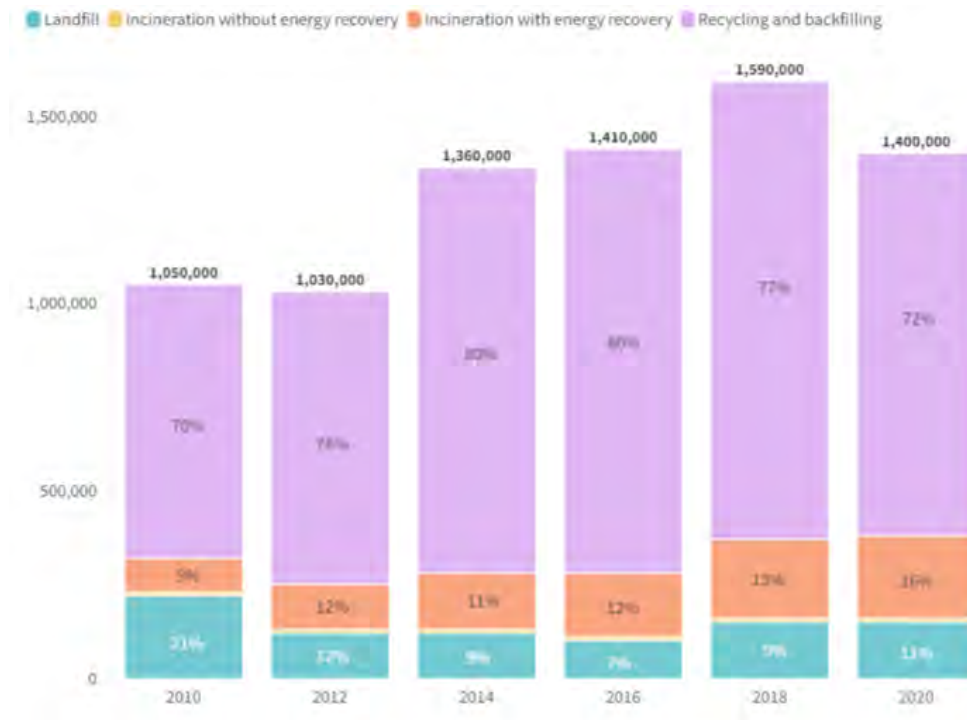
Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4 μεταξύ 2010 και 2020 κατά μέσο όρο το 76% των κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων ανακτήθηκε, είτε ανακυκλώθηκε είτε επαναχρησιμοποιήθηκε στην ΕΕ. Στα συγκεκριμένα στοιχεία δεν περιλαμβάνονται τα υφασμάτινα απόβλητα που προκύπτουν από μεικτά απόβλητα, ενώ παράλληλα τα στοιχεία αφορούν απόβλητα που έχουν υποστεί επεξεργασία εντός των ορίων της κάθε χώρας, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι εξαγωγές. Η υγειονομική ταφή μειώθηκε μεταξύ 2010 και 2020 με το ποσοστό να ανέρχεται σε 11% το 2020. Τα υψηλότερα ποσοστά υγειονομικής ταφής κατέχουν η Ισπανία, η Πολωνία, η Τσεχία, η Πορτογαλία και η Ρουμανία (Jana Deckers κ.ά., 2024).

Η ποσότητα των αποβλήτων που κατευθύνεται προς ανάκτηση ενέργειας αυξήθηκε μέχρι το 2020 με τους υψηλότερους αριθμούς να παρατηρούνται στη Γερμανία, τις Κάτω Χώρες, την Ουγγαρία, την Τσεχία και τη Λετονία (Jana Deckers κ.ά., 2024).

Υπάρχει μακρά ιστορία επαναχρησιμοποιούμενων υφασμάτων σε πολλές χώρες, η οποία πραγματοποιείται κυρίως για φιλανθρωπικούς λόγους ή από εμπορικούς φορείς καθώς υπάρχει κέρδος από την πώληση μεταχειρισμένων ειδών. Ωστόσο, δεν υπάρχει ενδιαφέρον για τα μη επαναχρησιμοποιούμενα υφασμάτινα απόβλητα, κυρίως λόγω έλλειψης βιώσιμων αγορών ανακύκλωσης. Ακόμη και η ξεχωριστή συλλογή των συγκεκριμένων υφασμάτων

δεν εξασφαλίζει την ανακύκλωση τους. Η σημερινή ανακύκλωση των κλωστοϋφαντουργικών υλικών περιορίζεται σε λύσεις, όπως βιομηχανικά μαντηλάκια, μονωτικά και άλλα (Andreas Köhler κ.ά., 2021).

Διάγραμμα 4: Επεξεργασία κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων στην Ε.Ε..



Πηγή: (Jana Deckers κ.ά., 2024)

Να σημειωθεί πως ορισμένα κράτη έχουν ήδη ενσωματώσει στη νομοθεσία τους σχετικές κατευθύνσεις για τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Για παράδειγμα, οι Κάτω Χώρες έχουν θέσει ένα φιλόδοξο στόχο, σύμφωνα με τον οποίο τα ενδύματα πρέπει να έχουν 25% ανακυκλωμένο περιεχόμενο μέχρι το 2025. Η Γαλλία θέσπισε πρόσφατα έναν νέο νόμο, ο οποίος απαγορεύει την υγειονομική ταφή και την αποτέφρωση αδιάθετων ειδών, συμπεριλαμβανομένων των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Ο νόμος στοχεύει στην μείωση της σπατάλης μα τις εταιρείες να είναι πλέον υποχρεωμένες να δωρίζουν, να ανακυκλώνουν ή να επαναχρησιμοποιούν τα προϊόντα που δεν έχουν πωληθεί αντί να τα καταστρέφουν (Klas Wetterberg κ.ά., 2022).

4.5. Προκλήσεις και μελλοντικές προοπτικές

Τα κατάλληλα μέτρα πολιτικής θα πρέπει να λάβουν υπόψη δύο βασικά μελλοντικά ζητήματα. Τα υφασμάτινα απόβλητα θα πρέπει να συλλέγονται χωριστά, ακόμα και τα κλάσματα που έχουν μειωμένη καταλληλότητα για επαναχρησιμοποίηση. Παράλληλα,

απαιτείται η μειωμένη δυνατότητα εξαγωγής σχετικών αποβλήτων σε χώρες που δεν διαχειρίζονται τα απόβλητα με περιβαλλοντικά ορθό τρόπο. Η διαχείριση των χωριστά συλλεγόμενων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων μπορεί να καταστεί μη βιώσιμη σε περίπτωση που τα έσοδα από αυτά τα προϊόντα δεν μπορούν να αντισταθμίσουν τις δαπάνες για συλλογή και διαλογή. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται πρόσθετη οικονομική στήριξη και μέτρα πολιτικής από τις δημόσιες αρχές.

Για να ανακυκλωθούν τα απόβλητα και να έχουν οικονομική αξία για τους φορείς συλλογής πρέπει να αναπτυχθούν νέες τεχνολογίες ανακύκλωσης, καθώς και τεχνολογίες διαλογής για τα απόβλητα με βάση τον τύπο και το χρώμα των ινών. Οι τεχνολογίες ανακύκλωσης θα πρέπει να περάσουν από την σημερινή πιλοτική κλίμακα στην εφαρμογή και την ανάπτυξη. Απαιτείται η εξασφάλιση επαρκούς πρώτης ύλης και η ανάπτυξη τεχνολογιών, όπως η μέθοδος «fiber to fiber», η οποία αναφέρεται στην διαδικασία σύμφωνα με την οποία τα υλικά διασπώνται και επεξεργάζονται, ώστε να δημιουργήσουν νέες ίνες για την κατασκευή νέων υφασμάτων.

Τόσο η χειροκίνητη όσο και η αυτοματοποιημένη διαλογή είναι βασικά στοιχεία για την επίτευξη της κυκλικής οικονομίας στην Ευρώπη. Η χειροκίνητη διαλογή είναι και θα παραμείνει ένα βασικό πρώτο βήμα για τον εντοπισμό, διαχωρισμό και την διαλογή των επαναχρησιμοποιούμενων υφασμάτων, προκειμένου να διοχετευτούν στις παγκόσμιες αγορές επαναχρησιμοποίησης. Οι τεχνολογίες αυτοματοποιημένης διαλογής έχουν μόλις καταστεί έτοιμες για την εισαγωγή στην αγορά και θα απαιτηθούν σημαντικές επενδύσεις, προς την επίτευξη του στόχου της ΕΕ για χωριστή διαλογή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (Andreas Köhler κ.ά., 2021).

Η παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού που χαρακτηρίζει τα κλωστοϋφαντουργικά υλικά δημιουργεί επίσης και οικονομικά εμπόδια στην ανακύκλωση. Οι πρωτογενείς πρώτες ύλες, όπως ίνες, νήματα και άλλα παράγονται σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπου υπάρχει ανησυχία σχετικά με την προστασία των ανθρωπίνων δικαιωμάτων των εργαζομένων και έχουν αρκετά χαμηλό κόστος. Συνεπώς, η εγκατάσταση σε κέντρα παραγωγής εκτός ΕΕ έχει μειώσει αρκετά την τιμή των τελικών προϊόντων και ως εκ τούτου η ανακύκλωση στην ΕΕ που συμμορφώνεται με τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά πρότυπα αντιμετωπίζει μειονέκτημα, ως προς τα έσοδα των ανακυκλωμένων ινών (Huygens, D κ.ά., 2023).

Βασικός είναι και ο σχεδιασμός με βάση την ανακύκλωση, όπως εξετάζεται και από τα οικολογικά σήματα. Ωστόσο, οι μεγάλες ποσότητες κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων που παράγονται στην Ευρώπη είναι πιθανό να υπερβούν την ικανότητα διαλογής και ανακύκλωσης μέχρι το 2025, γι' αυτό είναι αναγκαία η μείωση των ποσοτήτων και η διατήρησή τους στην κυκλοφορία όσο το δυνατόν περισσότερο (Andreas Köhler κ.ά., 2021).

Παράλληλα, πριν οι σχεδιαστές αρχίσουν να επανασχεδιάζουν τα προϊόντα με σκοπό την ανθεκτικότητα προϋπόθεση αποτελεί και η προώθηση της ζήτησης για τέτοια προϊόντα. Οι αγορές πρέπει να μετατρέψουν την επαναχρησιμοποίηση, την επισκευή και την ανακύκλωση σε ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και να προσεγγίσουν καταναλωτές που θα αναζητούν κοινωνικά και περιβαλλοντικά ορθές πρακτικές. Η ευαισθητοποίηση και η δημιουργία αγοράς είναι αλληλένδετα στοιχεία που μπορούν να οδηγήσουν στην επιτυχημένη μετάβαση προς την κυκλική οικονομία.

5. Κατασκευές

Ο κατασκευαστικός κλάδος διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην οικονομία και είναι το δεύτερο μεγαλύτερο βιομηχανικό οικοσύστημα στην ΕΕ. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί πως οι κατασκευές έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, καθώς ο κλάδος καταναλώνει το ήμισυ όλων των νέων πόρων που εξορύσσονται και είναι υπεύθυνος για πάνω από το 1/3 της παραγωγής αποβλήτων στην ΕΕ. Οι κατασκευές αποτελούν τομέα προτεραιότητας στην Ευρώπη, με στόχο την μετάβαση από ένα γραμμικό σε ένα κυκλικό μοντέλο και τη διατήρηση μεγαλύτερης αξίας σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, από τα υλικά μέχρι και τα κτίρια (Jenet Andreas κ.ά., 2024).

5.1. Επιπτώσεις του κλάδου

5.1.1. Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις

Ο κλάδος των κατασκευών συμμετέχει σε μεγάλο βαθμό στην παγκόσμια χρήση ενέργειας, στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από την εξόρυξη υλικών, την κατασκευή και την ανακαίνιση κτιρίων, καθώς και στην αυξημένη χρήση υλικών και στην παραγωγή αποβλήτων (Janson κ.ά., 2023). Το οικοσύστημα των κατασκευών είναι έντασης πόρων, καθώς καταναλώνει το 40% της ακατέργαστης πέτρας, του χαλικοιού και της άμμου, καθώς και το 25% της ξυλείας κάθε χρόνο. Παράλληλα ευθύνεται για το 23% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και σωματιδίων) που συμβάλλει σημαντικά στην κλιματική αλλαγή (Paramichael κ.ά., 2023).

Η παραγωγή σκυροδέματος ανέρχεται σε περισσότερο από 30 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως, όντας υπεύθυνη για το 8% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την αυξανόμενη κατανάλωση πρώτων υλών του οδηγεί σε μη βιώσιμη εκμετάλλευση των φυσικών αδρανών υλικών. Εξαιτίας του όγκου και των ποσοτήτων των παραγόμενων αποβλήτων, καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό στους χώρους υγειονομικής ταφής και επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα, του νερού και του εδάφους. Για παράδειγμα, οι παράνομες χωματερές σε συνδυασμό με τα στραγγίσματα των αποβλήτων παράγουν ρύπους, όπως βαρέα μέταλλα, οργανικές και ανόργανες ουσίες και άλλες ενώσεις που ενέχουν κίνδυνο για τον περιβάλλοντα χώρο, τα ύδατα και τα εδάφη (Paramichael κ.ά., 2023).

Τα περισσότερα κατασκευαστικά έργα είναι σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, με αποτέλεσμα ομάδες ατόμων να υφίστανται βλαβερές επιπτώσεις στην υγεία λόγω της σκόνης, των δονήσεων και του θορύβου (Enshassi κ.ά., 2014). Δεδομένης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης η μετάβαση σε πιο βιώσιμες πόλεις και κοινότητες δυσχεραίνεται και απαιτεί υιοθέτηση κατάλληλων στρατηγικών. Τα ΑΚΚ μπορούν να δημιουργήσουν κινδύνους στην ασφάλεια των εργαζομένων, να προκαλέσουν ατυχήματα ή τραυματισμούς, ενώ η υποβάθμιση του τοπίου να συμβάλλει στην μείωση της αξίας των ακινήτων με αρνητικές επιρροές στον τουρισμό, τις τοπικές οικονομίες και την ποιότητα ζωής των κατοίκων (Paramichael κ.ά., 2023).

5.1.2. Απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΚΚ)

Ο κατασκευαστικός τομέας, όπως αναφέρθηκε είναι υπεύθυνος για σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής των κτιρίων κυρίως κατά την κατασκευή, λειτουργία και το στάδιο του τέλους ζωής τους. Αυτό οφείλεται κυρίως στη παραγωγή αποβλήτων κατά τη διάρκεια κατασκευής, συντήρησης και κατεδάφισης. Τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων αποτελούν το μεγαλύτερο ρεύμα παγκοσμίως με ποσοστό περίπου 30-40% του συνόλου των παραγόμενων στερεών αποβλήτων και αυξάνονται παράλληλα με την τρέχουσα παγκόσμια αστικοποίηση (López Ruiz κ.ά., 2020). Το ποσοστό ανάκτησης-ανακύκλωσης των παραγόμενων αποβλήτων διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ωστόσο, εκτιμάται πως το 35% των συγκεκριμένων αποβλήτων απορρίπτεται σε χώρους υγειονομικής ταφής, παρά το γεγονός πως το 75% έχει δυνητική προστιθέμενη αξία (Soto-Paz κ.ά., 2023).

Τα ΑΑΚ αποτελούνται από ποικιλία υλικών όπως σκυρόδεμα, τούβλα, ξύλο, γυαλί, μέταλλα, γύψο και πλαστικά και προέρχονται από την κατασκευή και κατεδάφιση κτιρίων και υποδομών, καθώς και από τον σχεδιασμό και τη συντήρηση δρόμων (Paramichael κ.ά., 2023). Η μέση σύνθεση στην Ευρωπαϊκή Ένωση δείχνει πως περίπου το 85% των αποβλήτων είναι σκυρόδεμα, κεραμικά και τειχοποιία και μίγματα αυτών, ανάλογα με την προέλευση τους. Η ποσότητα και η σύνθεση τους διαφέρει μεταξύ των κρατών και εξαρτάται από παράγοντες, όπως η αύξηση του πληθυσμού, η διαφορετική νομοθεσία, ο σχεδιασμός και η κατασκευαστική τους βιομηχανία. Η ποσότητα και η ποιότητα επηρεάζεται από παράγοντες, όπως η ηλικία των κατασκευών, οι τεχνολογίες κατασκευής, τα υλικά, αλλά και από παράγοντες, όπως οι τεχνολογίες κατεδάφισης, οι δυνατότητες

διαχείρισης των σχετικών αποβλήτων, η αύξηση του πληθυσμού και άλλα (Menegaki & Damigos, 2018).

Οι τρεις μεγαλύτερες οικονομίες, Κίνα, Ηνωμένες Πολιτείες και Ευρωπαϊκή Ένωση, παράγουν τα περισσότερα ΑΚΚ (Zhang κ.ά., 2022). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση αντιπροσωπεύουν το 36% των συνολικών παραγόμενων στερεών αποβλήτων το 2016 με περίπου 924 εκατομμύρια τόνους, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες το ποσοστό αυτό πλησιάζει το 67% με 534 εκατομμύρια τόνους. Στην Κίνα αναφέρονται 2,36 δισεκατομμύρια τόνους, με ποσοστό περίπου 30-40% (López Ruiz κ.ά., 2020). Το 2018 το σύνολο των αποβλήτων που παρήχθησαν στην ΕΕ ανήλθε σε 2.317 εκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων το 36% προήλθε από τον κατασκευαστικό τομέα (Moschen-Schimek κ.ά., 2023).

Συνεπώς, από τα στατιστικά στοιχεία συνεπάγεται πως υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του πληθυσμού και των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την οικονομία και την ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων, καθώς οι μεγάλες οικονομίες παγκοσμίως παράγουν και τα περισσότερα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων.

Από το 2004, η Γαλλία και η Γερμανία κατέχουν σταθερά την πρώτη θέση στην ΕΕ, όσον αφορά την παραγωγή αποβλήτων με ποσοστό 52,41% του συνόλου των αποβλήτων στην Ευρώπη. Σταδιακά η παραγωγή ΑΑΚ μειώθηκε, αντιπροσωπεύοντας το 46,69 % το 2020. Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 10 γεωγραφικά οι χώρες με την υψηλότερη παραγωγή αποβλήτων εντοπίζονται στην Κεντρική και Δυτική Ευρώπη. Το 2020 η παραγωγή ΑΚΚ στις Κάτω Χώρες παρουσίασε σημαντική πτωτική τάση κατά 19,4 % και αυτό σχετίζεται με τα αυξημένα ποσοστά επαναχρησιμοποίησης. Ωστόσο, η Αυστρία, η Μάλτα, το Βέλγιο και η Εσθονία εξακολουθούν να παρουσιάζουν ανοδική τάση (Z. Wang κ.ά., 2024)

Εικόνα 10: Παραγωγή κατασκευαστικών αποβλήτων στην ΕΕ



Πηγή: (Z. Wang κ.ά., 2024)

5.2. Κυκλική Οικονομία στον τομέα των κατασκευών

5.2.1. Μετάβαση στο Κυκλικό Μοντέλο

Η διαχείριση των αποβλήτων που προέρχονται από τον τομέα των κατασκευών και η μετάβαση από την γραμμική στην κυκλική οικονομία είναι επιτακτική για την προώθηση ενός βιώσιμου δομημένου περιβάλλοντος, με αυξημένη αποδοτικότητα πόρων και ελαχιστοποίηση των αποβλήτων. Η ενσωμάτωση της κυκλικής οικονομίας μπορεί να προσδώσει αξία σε όλο τον κύκλο ζωής των υλικών. Η επιρροή της στον τομέα έχει ως επακόλουθο την διατήρηση των φυσικών πόρων και τη μείωση της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, τη μείωση της έκτασης και του όγκου στους χώρους υγειονομικής ταφής, το μετριασμό των επιπτώσεων στην δημόσια υγεία, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την προσφορά δομικών υλικών (Soto-Paz κ.ά., 2023).

Στον κατασκευαστικό κλάδο η προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνει την εφαρμογή τεχνικών και μεθόδων σε όλη τη διάρκεια ζωής των κτιρίων, έτσι ώστε να παραμένει κλειστός ο βρόχος και να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν λιγότεροι πρωτογενείς φυσικοί πόροι. Αυτό επιτυγχάνεται με υιοθέτηση βασικών αρχών της κυκλικής οικονομίας, όπως η αύξηση της επαναχρησιμοποίησης, η μίσθωση, η επισκευή, η ανακαίνιση, η ανακύκλωση, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης ολόκληρων κτιρίων και η μείωση αποβλήτων. Η ενσωμάτωση της κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνει επίσης τον σχεδιασμό και την κατασκευή νέων βιώσιμων κτιρίων και τις ροές υλικών και προϊόντων στα κτίρια (Talla & McIlwaine, 2022).

Ο κατασκευαστικός τομέας διαθέτει υψηλό δυναμικό για την διατήρηση της υπολειμματικής αξίας των πόρων με την ενσωμάτωση καινοτόμων λύσεων σε όλη την αλυσίδα αξίας. Τα υλικά στο τέλος του κύκλου ζωής τους πρέπει να ενταχθούν εκ νέου στην αλυσίδα αξίας. Για να επιτευχθεί αυτό, η συλλογή πρέπει να πραγματοποιηθεί σε επαρκή ποσότητα κατάλληλων υλικών με υψηλή ποιότητα και με οικονομικά ωφέλιμο τρόπο. Παράλληλα, ο σχεδιασμός των κτιρίων πρέπει να ενσωματώνει εξαρχής της αρχές ανάκτησης των υλικών και την εισαγωγή τους εκ νέου στον κατασκευαστικό κλάδο (Κρητικός, 2021).

Ωστόσο, ένα από τα βασικά εμπόδια της οικονομικής αποτίμησης είναι το ιδιαίτερα αυξημένο κόστος χρήσης, δηλαδή το κόστος που προκύπτει από την συλλογή, τον διαχωρισμό, τις διάφορες τεχνολογίες κατεργασίας και του κόστους διάθεσης. Για την

επίτευξη της βιωσιμότητας του τομέα πρέπει να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη αλυσίδα εφοδιασμού υλικών, λαμβάνοντας υπόψη πως η ζήτηση και η προσφορά είναι μέρος του ίδιου κύκλου, που επιτρέπει τη βιομηχανική συμβίωση και τη δημιουργία πολύτιμων δευτερογενών προϊόντων.

5.2.2. Διαχείριση αποβλήτων και κυκλική οικονομία

Το πρόβλημα των αποβλήτων μπορεί να μετριαστεί μέχρι ένα βαθμό, μέσω της αποτελεσματικής εκμετάλλευσης των πόρων, της ανάκτησης υλικών και της εξοικονόμησης ενέργειας. Με τη χρήση μεθόδων ελαχιστοποίησης των αποβλήτων, στρατηγικές διαλογής στην πηγή και διαχείρισης πόρων θα μπορούσε να γίνει ανάκτηση 80-90% των αποβλήτων που απορρίπτονται. Η ιδέα παραπέμπει στην ιεράρχηση αποβλήτων, η οποία χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση των τεχνικών με βάση την αποτελεσματικότητα τους (Ismaeel & Kassim, 2023).

Το πρώτο βήμα για την διαχείριση αποβλήτων είναι η λήψη άδειας για τις εργασίες κατασκευής ή κατεδάφισης και η ταξινόμηση των αποβλήτων σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων. Ο κατάλογος χρησιμεύει ως βάση για την ταξινόμηση και συμπληρώνεται από ειδικούς κανονισμούς σε εθνικό επίπεδο (Colmenero Fonseca κ.ά., 2023).

Βασικές πρακτικές για την μείωση είναι ο σχεδιασμός με σκοπό την αποσυναρμολόγηση, η χρήση προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων, η χρήση υλικών με προδιαγραφές που θα ελαχιστοποιούν τις αλλαγές, καθώς και η συμβολή του αρχιτέκτονα με την χρήση κατάλληλων πρακτικών σχεδιασμού με σκοπό την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων (Ismaeel & Kassim, 2023).

Τα περισσότερα απόβλητα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μετά από εργασίες κατεδάφισης και να εξασφαλίσουν την πλήρη χρήση των προϊόντων. Διάφοροι τύποι οικοδομικών υλικών μπορούν να ανακτηθούν από εργοτάξια, ανακαινίσεις, κατεδαφίσεις και στη συνέχεια να πωληθούν ή να αποθηκευτούν για μεταγενέστερη χρήση στο τρέχον έργο ή αλλού. Να σημειωθεί πως ορισμένοι τύποι υλικών θεωρείται πως είναι τοξικοί και ταξινομούνται ως επικίνδυνα απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων υλικών που απαιτούν ιδιαίτερο χειρισμό, όπως χρώματα, κόλλες, χημικοί διαλύτες και άλλα. Ένας άλλος παράγοντας λήψης αποφάσεων για την επαναχρησιμοποίηση είναι η ηλικία των υποδομών που εμπλέκονται στην κατεδάφιση, που μπορεί να περιέχουν υλικά που δεν επιτρέπονται

πλέον, όπως ο αμίαντος. Η χρήση εξειδικευμένου προσωπικού για τη συλλογή και διαλογή, τα κίνητρα για την επαναχρησιμοποίηση, ο σχεδιασμός υλικών και η χρήση τεχνολογίας και η ανάπτυξη αγοράς για τα επαναχρησιμοποιούμενα υλικά αποτελούν βασικές πρακτικές (Kabirifar κ.ά., 2020).

Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το κόστος των υλικών αποτελεί το 50% με 60% του κόστους ενός έργου, η ελαχιστοποίηση δημιουργεί σημαντική εξοικονόμηση. Ωστόσο, η μείωση των αποβλήτων εξαρτάται και από τους συμμετέχοντες στο έργο, τον σχεδιασμό και την κατασκευή (Soto-Paz κ.ά., 2023).

Η δράση της διάσπασης των χρησιμοποιούμενων υλικών προκειμένου να παραχθούν νέα αφορά την ανακύκλωση, ωστόσο η ελλιπής διαχείριση της ανακύκλωσης σε συνδυασμό με την πρώιμη τεχνολογία και την ανώριμη αγορά αποτελούν εμπόδια στα ανακυκλωμένα προϊόντα. Τα υλικά μπορούν να ανακυκλωθούν στον χώρο του έργου αν υπάρχουν οι κατάλληλες εγκαταστάσεις ή να μεταφερθούν (Kabirifar κ.ά., 2020).

Ο καθορισμός σχεδίων διαχείρισης αποβλήτων που προέρχονται από κατασκευές και κατεδαφίσεις απαιτεί την εφαρμογή μιας αξιόπιστης μεθόδου για την μέτρηση και την παρακολούθηση των αποβλήτων που επιτρέπει την γνώση της ποσότητας και των τύπων των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν. Δίνει την δυνατότητα πρόβλεψης του μελλοντικού ρυθμού παραγωγής αποβλήτων και κατ' επέκταση την ανάπτυξη στρατηγικών ελαχιστοποίησης (Ismaeel & Kassim, 2023).

5.3. Τρέχουσες πολιτικές και Νομοθεσία

5.3.1. Ευρωπαϊκή Στρατηγική

Οι περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, καθώς και η απώλεια πολύτιμων υλικών και πόρων στην οικονομία καθιστούν τα ΑΑΚ άξονα προτεραιότητας για την χάραξη στρατηγικής. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει λάβει σαφή μέτρα για την αποτελεσματική χρήση των πόρων, συμπεριλαμβανομένης της πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων, κυρίως μέσω οδηγιών και κατευθυντήριων γραμμών, που πρέπει να μεταφερθούν σε εθνικό επίπεδο (Cristóbal García J. κ.ά., 2024).

Στην ΕΕ η διαχείριση κατευθύνεται από την οδηγία-πλαίσιο της ΕΕ για τα απόβλητα (2008/98/ΕΚ), η οποία έθεσε ως στόχο την ανάκτηση, ανακύκλωση ή επανάχρηση μη επικίνδυνων αποβλήτων κατασκευών, σε ποσοστό τουλάχιστον 70% του βάρους τους έως

το 2020 (Menegaki & Damigos, 2018). Η οδηγία ορίζει περαιτέρω απαιτήσεις για τα κράτη μέλη, σχετικά με την πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων και την προετοιμασία των αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση. Οι εθνικές αρχές υποχρεούνται να καταρτίζουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων και μέτρα πρόληψης και να διαμορφώσουν την αντίστοιχη νομοθεσία, συμπεριλαμβανομένων των ελέγχων ποιότητας για την διασφάλιση της ασφάλειας των δευτερογενών υλικών (Colmenero Fonseca κ.ά., 2023).

Η Οδηγία 2018/851 τροποποίησε την οδηγία 2008/98/EK για τα απόβλητα ενισχύοντας σημαντικά τις απαιτήσεις σχετικά με την πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων και εισήγαγε τις έννοιες της πρόληψης, της ανάκτησης και τα κριτήρια τέλους των αποβλήτων (Zhang κ.ά., 2022).

Παράλληλα, εισήγαγε και μια συχνότερη υποβολή εκθέσεων των κρατών-μελών μέσω της Eurostat. Οι κανόνες για τον υπολογισμό του ποσοστού ανάκτησης και για την συχνότητα των σχετικών εκθέσεων περιγράφεται λεπτομερώς στην 2011/753/EE της Επιτροπής, η οποία αργότερα τροποποιήθηκε στην εκτελεστική απόφαση 2019/1004/EE της Επιτροπής (Cristóbal García J. κ.ά., 2024).

Οι πολιτικές και η νομοθεσία, τόσο στην Ευρώπη όσο και παγκοσμίως, σε σχέση με τα ΑΑΚ διέπονται από την ιεραρχία ελαχιστοποίησης των αποβλήτων 3R ή 4R (Reduce, Reuse, Recycle and Restore), δηλαδή την μείωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση. Το Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία 2020 είναι η βασική πολιτική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, αναφορικά με τους στόχους της κυκλικής οικονομίας.

Το σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία αναγνωρίζει τον τομέα των κατασκευών ως μια από τις βασικές αξιακές αλυσίδες και ανακοινώνει πως για να αυξηθεί η αποδοτικότητα των υλικών, η Επιτροπή θα δρομολογήσει μια νέα ολοκληρωμένη στρατηγική για το δομημένο περιβάλλον, η οποία θα εκσυγχρονίσει τους κανονισμούς που ισχύουν από το 2011. Συγκεκριμένα αναφέρει τα παρακάτω κύρια σημεία:

- Υιοθέτηση ενός αναθεωρημένου κανονισμού για τα δομικά προϊόντα αξιοποιώντας την ευκαιρία για βελτίωση των επιδόσεων βιωσιμότητας στα υλικά κατασκευών, εισάγοντας απαιτήσεις ανακυκλωμένου περιεχομένου για ορισμένα δομικά προϊόντα.

- Προώθηση προσεγγίσεων κυκλικής οικονομίας στα βιομηχανικά οικοσυστήματα των κατασκευών και ανάπτυξη ψηφιακών ημερολογίων για κτίρια.
- Εισαγωγή του πλαισίου Level(s) για την προώθηση των βιώσιμων κτιρίων και για την ενσωμάτωση της αξιολόγησης του κύκλου ζωής στις δημόσιες συμβάσεις.
- Ενδεχόμενο αναθεώρησης της νομοθεσίας της ΕΕ για τα απόβλητα εστιάζοντας στους στόχους για την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων.
- Προώθηση πρωτοβουλιών σχετικά με το έδαφος με στόχο την «αύξηση της ασφαλούς, βιώσιμης και κυκλικής χρήσης των χωμάτων εκσκαφής» (Cristóbal García J. κ.ά., 2024).

Παράλληλα, σε επίπεδο ΕΕ έχουν δημοσιευθεί και μια σειρά μη νομοθετικών εγγράφων για καθοδήγηση, όπως το «Πρωτόκολλο της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων». Μέσω του πρωτοκόλλου προτείνονται πρακτικές σχετικά με τον διαχωρισμό στην πηγή και την συλλογή, βελτιώσεις στην διακίνηση αποβλήτων, καθοδήγηση για την επεξεργασία και διασφάλιση της ποιότητας των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων (Caro κ.ά., 2024).

Το κύμα ανακαινίσεων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το 2020 προωθεί κυκλικές εφαρμογές στην ανακαίνιση κτιρίων για την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και την μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Caro κ.ά., 2024). Στόχος της είναι ο διπλασιασμός των ετήσιων ποσοστών ενεργειακής ανακαίνισης έως το 2030.

Σύμφωνα με το εθελοντικό πλαίσιο Level(s) υποβάλλονται εκθέσεις για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των κτιρίων, μέσω συγκεκριμένων δεικτών αξιολόγησης της βιωσιμότητας (Taboada κ.ά., 2020). Τα level(s) αποτελούν ένα κοινό πλαίσιο για βιώσιμα κτίρια σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικότητας στην Ευρώπη, υποστηρίζοντας την προσπάθεια του κτιριακού τομέα για ενεργειακή απόδοση και αποδοτικότητα υλικών, μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η βελτίωση του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος και η ανακαίνιση σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής μπορούν να παρατείνουν την διάρκεια ζωής τους και την απόδοση τους θωρακίζοντας τα από την κλιματική αλλαγή (European Commission, 2023).

Το νέο Ευρωπαϊκό Μπάουχαους (NEMπ) ξεκίνησε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, με σκοπό την αναδιαμόρφωση της Ευρώπης, σύμφωνα με τις αρχές της βιώσιμης διαβίωσης, της συμμετοχικότητας και της αισθητικής. Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα είναι μια από τις βασικές αξίες του NEMπ και αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και της βιώσιμης διαβίωσης. Τα Level(s) λειτουργούν συμπληρωματικά προσφέροντας στους ενδιαφερόμενους του NEMπ του κτιριακού τομέα να προσδιορίσουν μέτρα όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των κτιρίων (European Commission, 2022a).

5.3.2. Πολιτικές κρατών για την διαχείριση αποβλήτων

Η διαχείριση των αποβλήτων επηρεάζεται από τις διάφορες πολιτικές και κανονισμούς, τα πρότυπα, τα κίνητρα και την ζήτηση της αγοράς. Ορισμένες χώρες της ΕΕ έχουν ήδη εφαρμόσει πολιτικές που οδηγούν σε υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης, όπως φόροι υγειονομικής ταφής, υποχρεωτικοί στόχοι ανακύκλωσης, πράσινες δημόσιες συμβάσεις και διευρυμένα συστήματα ευθύνης του παραγωγού. Οι πολιτικές αυτές πρέπει να συμπληρωθούν από μέτρα για την διασφάλιση της ποιότητας των ανακυκλωμένων προϊόντων και την αποτροπή δημιουργίας επικίνδυνων αποβλήτων. Από τα παραπάνω συνεπάγεται πως η διαχείριση των αποβλήτων είναι ένα πολύπλευρο και πολύπλοκο θέμα που απαιτεί ολοκληρωμένη προσέγγιση (Colmenero Fonseca κ.ά., 2023).

Ορισμένα κράτη έχουν θεσπίσει ειδική νομοθεσία, όπως για παράδειγμα η Γερμανία απαιτεί από τους παραγωγούς αποβλήτων να ταξινομήσουν, ανακυκλώσουν και να επαναχρησιμοποιούν τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων. Στην Ισπανία η εθνική νομοθεσία καθορίζει υποχρεώσεις σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι απαραίτητη η μείωση στο εργοτάξιο, μέσω της διαλογής και της ανακύκλωσης. Για παράδειγμα, σε ορισμένες χώρες εκτός Ευρώπης όπως στην Ταιβάν, τα εργοτάξια παρακολουθούνται από το 2005 και τα απόβλητα πρέπει να μεταφέρονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Στην Αυστραλία έχουν θεσπιστεί διάφορες πολιτικές που προωθούν την επιτόπια επαναχρησιμοποίηση, την εφαρμογή βιώσιμων οικοδομικών πρακτικών και άλλες. Στην Βραζιλία η χρήση ανακυκλώσιμων αδρανών υλικών σε έργα οδοποιίας είναι υποχρεωτική (Menegaki & Damigos, 2018).

Αναφορικά με την ανακύκλωση υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των χωρών. Ορισμένες χώρες, όπως η Γερμανία, η Δανία και η Ολλανδία έχουν υψηλά ποσοστά

ανακύκλωσης, ενώ άλλες όπως η Πορτογαλία, η Ελλάδα, η Ισπανία, η Ουγγαρία έχουν ποσοστά κάτω του 15%. Οι διαφορές αυτές μπορεί να οφείλονται σε έλλειψη κινήτρων και στο ιδιαίτερα αυξημένο κόστος ανακύκλωσης (Soto-Paz κ.ά., 2023).

Ως παράδειγμα αναφέρεται το εθνικό σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων στις Κάτω Χώρες, σύμφωνα με το οποίο η εφαρμογή των κανονισμών πραγματοποιείται με την συνεργασία βιομηχανίας και κυβέρνησης, με κύριο υπεύθυνο για την εφαρμογή τις τοπικές αρχές. Έχουν υπογραφεί από το 2011 διακόσες Πράσινες Συμφωνίες, δηλαδή συμφωνίες μεταξύ ιδιωτικού δικαίου και τοπικών ή περιφερειακών φορέων, και το 2016 ολοκληρώθηκε και η Πράσινη Συμφωνία για τον τομέα του σκυροδέματος. Η κύρια προσέγγιση για την τόνωση της ανακύκλωσης σκυροδέματος είναι μέσω βιώσιμων δημόσιων συμβάσεων, όπου η ολλανδική κυβέρνηση έχει αναπτύξει μια σειρά κριτηρίων βιωσιμότητας για περίπου 45 υπηρεσίες, προϊόντα και δημόσια έργα που πρέπει να θέσουν σε εφαρμογή οι ανάδοχοι. Να σημειωθεί πως το σκυρόδεμα ανακυκλώνεται σε χαμηλότερης ποιότητας από το αρχικό υλικό, γεγονός που απαιτεί να καθοριστεί ένα ελάχιστο ποσοστό ανακύκλωσης υψηλής ποιότητας (Zhang κ.ά., 2020).

5.4. Επισκόπηση της διαχείρισης των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων στις ευρωπαϊκές χώρες

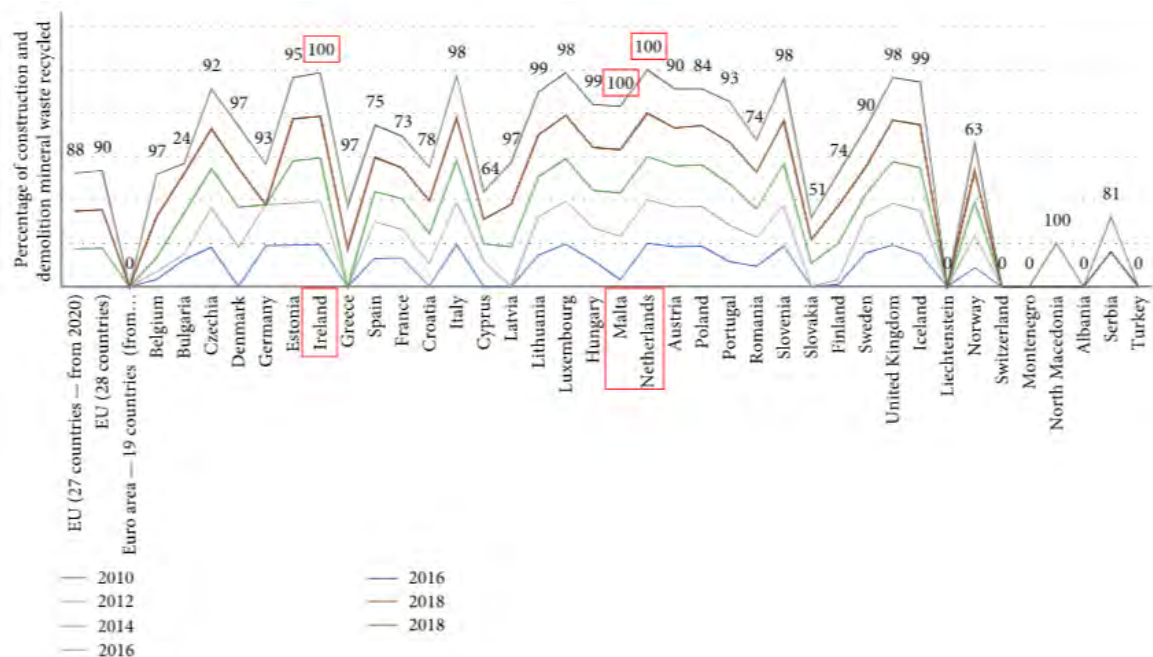
Το 2020 το ποσοστό ανάκτησης στην ΕΕ είναι σχετικά υψηλό, σε σύγκριση με άλλα ρεύματα αποβλήτων και ανέρχεται σε περίπου 89%, παρόλο που παρατηρούνται τεράστιες διαφορές μεταξύ των κρατών. Το σχετικά υψηλό ποσοστό μπορεί να είναι παραπλανητικό, διότι δεν αντιστοιχεί σε ανάκτηση προϊόντων υψηλής αξίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις το υλικό κατεδάφισης που ανακτάται επαναχρησιμοποιείται ως υλικό πλήρωσης στην οδοποιία ή ως υλικό επίχωσης. Σε αρκετές περιπτώσεις τα ανακυκλωμένα προϊόντα δεν έχουν τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το αρχικό υλικό, με αποτέλεσμα να υπεισέρχονται στην αγορά με σημαντικά χαμηλές τιμές αγοράς, χαμηλό επίπεδο κυκλικότητας, εκτόπιση της ζήτησης πρωτογενών υλικών και διαφυγόντα οφέλη από την εξοικονόμηση ενέργειας και υλικών (Caro κ.ά., 2024).

Σύμφωνα με την Οδηγία-Πλαίσιο για τα απόβλητα 2008/98/ΕΚ ο στόχος για το 2020 ήταν να επιτευχθεί ποσοστό ανάκτησης 70% για τα ΑΑΚ. Στο Διάγραμμα 5 φαίνεται πως ο συγκεκριμένος στόχος έχει ξεπεραστεί σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες. Μεταξύ 2010 και 2018 η ανακύκλωση ορυκτών αποβλήτων σημείωσε πρόοδο, καθώς αυξήθηκε από 20% σε

περίπου 80% στις περισσότερες χώρες. Συγκεκριμένα, η Ιρλανδία, η Μάλτα και οι Κάτω Χώρες ξεχώρισαν επιτυγχάνοντας ποσοστό ανακύκλωσης 100% (Colmenero Fonseca κ.ά., 2023).

Παρόλο που το ποσοστό ανάκτησης της ΕΕ για το έτος 2020 ανέρχεται σε 89%, η ανάκτηση αυτή αφορά κυρίως ανακυκλωμένα αδρανή χαμηλής ποιότητας για χρήση στην οδοποιία και ως υλικό επιχωμάτωσης. Υλικά όπως είναι το τσιμέντο που απαιτούν την απαλλαγή από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δεν ανακτώνται καθόλου, ενώ υλικά με υψηλή αγοραστική αξία όπως τούβλα, κεραμικά, ξύλο, δεν επαναχρησιμοποιούνται ή ανακυκλώνονται για την ίδια εφαρμογή, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις ανακτώνται ως αδρανή υλικά.

Διάγραμμα 5: Ποσοστό ανακύκλωσης ορυκτών αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις με έμφαση σε καλές πρακτικές (Με βάσει δεδομένα από την Eurostat)



Πηγή: (Colmenero Fonseca κ.ά., 2023)

Στις Κάτω Χώρες το υψηλό ποσοστό μπορεί να οφείλεται στην απαγόρευση της υγειονομικής ταφής που εφαρμόστηκε το 1997. Τα ΑΑΚ το έτος 2015 χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε υποδομές δρόμων και σε περιορισμένο βαθμό για σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα ανακυκλώνεται κυρίως ως χαμηλής ποιότητας δευτερογενές προϊόν, αλλά με κατάλληλο ποιοτικό έλεγχο το σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή θα μπορούσε να συγκριθεί με το παρασκευασμένο με φυσικά αδρανή (Zhang κ.ά., 2020).

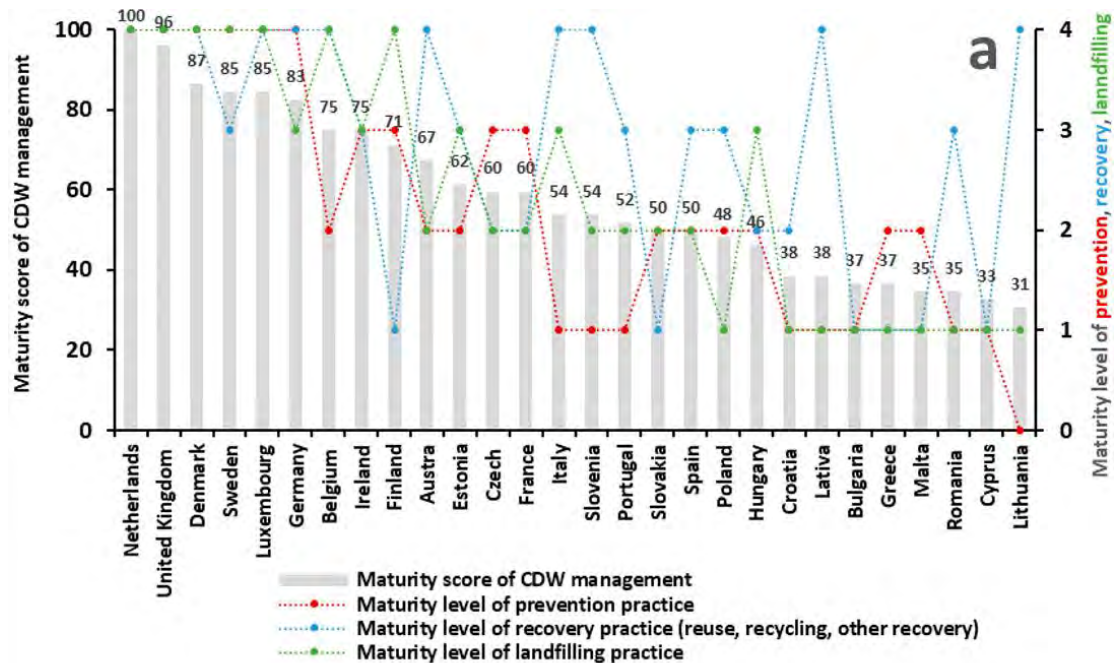
Στην τελευταία θέση της κατάταξης βρίσκονται η Βουλγαρία με ποσοστό 24%, η Σλοβακία με 51% και η Νορβηγία με 63%. Στις συγκεκριμένες χώρες τα αποτελέσματα μπορεί να οφείλονται σε παράγοντες, όπως η εκτεταμένη παρουσία παράνομων χώρων υγειονομικής ταφής (π.χ. Βουλγαρία) (Colmenero Fonseca κ.ά., 2023).

Ορισμένοι μελετητές υιοθέτησαν δείκτες, λαμβάνοντας υπόψη την νομοθεσία σχετικά με την διαχείριση των ΑΚΚ, την πολιτική για τα απόβλητα, την διαχείριση των χώρων υγειονομικής ταφής, την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση και την πρόληψη για να αξιολογήσουν συνολικά το επίπεδο διαχείρισης των ΑΚΚ σε κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε.. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τα κράτη μέλη της βόρειας και δυτικής Ευρώπης έχουν καλύτερες τιμές υποδεικνύοντας καλύτερη πρακτική διαχείρισης σε σχέση με άλλα κράτη μέλη (Zhang κ.ά., 2022).

Οι δείκτες που σχετίζονται με δράσεις στην ιεραρχία αποβλήτων, δηλαδή την πρόληψη, την ανάκτηση και την υγειονομική ταφή διαφέρουν μεταξύ των κρατών και απεικονίζονται στο Διάγραμμα 6. Οι Κάτω Χώρες, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Δανία και το Λουξεμβούργο θεωρούνται ότι βρίσκονται στο ανώτατο επίπεδο με καλές πρακτικές στις συγκεκριμένες κατηγορίες (Zhang κ.ά., 2022).

Να σημειωθεί πως υπάρχει ένα εύρος φόρων υγειονομικής ταφής που εφαρμόζονται μεταξύ των κρατών. Στις Κάτω Χώρες παρατηρούνται οι υψηλότεροι φόροι και το καλύτερο επίπεδο ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης (Caro κ.ά., 2024).

Διάγραμμα 6: Επίπεδο ωριμότητας διαχείρισης ΑΑΚ



Πηγή: (Zhang κ.ά., 2022) (Για τη βαθμολογία ωριμότητας στον αριστερό άξονα: η αρχική βαθμολογία είναι συνολικά 52 η οποία αναβαθμίστηκε σε 100 στην παρούσα μελέτη. Για το επίπεδο ωριμότητας στον δεξιό άξονα: Το επίπεδο 0 υποδηλώνει "μη διαθέσιμες πληροφορίες", το επίπεδο 1 αντιπροσωπεύει το "αρχικό επίπεδο", το επίπεδο 2 υποδηλώνει το "αναπτυσσόμενο επίπεδο", το επίπεδο 3 υποδηλώνει το "εφαρμοσμένο επίπεδο", το επίπεδο 4 εκδηλώνει το "επίπεδο βελτίωσης και βελτιστοποίησης")

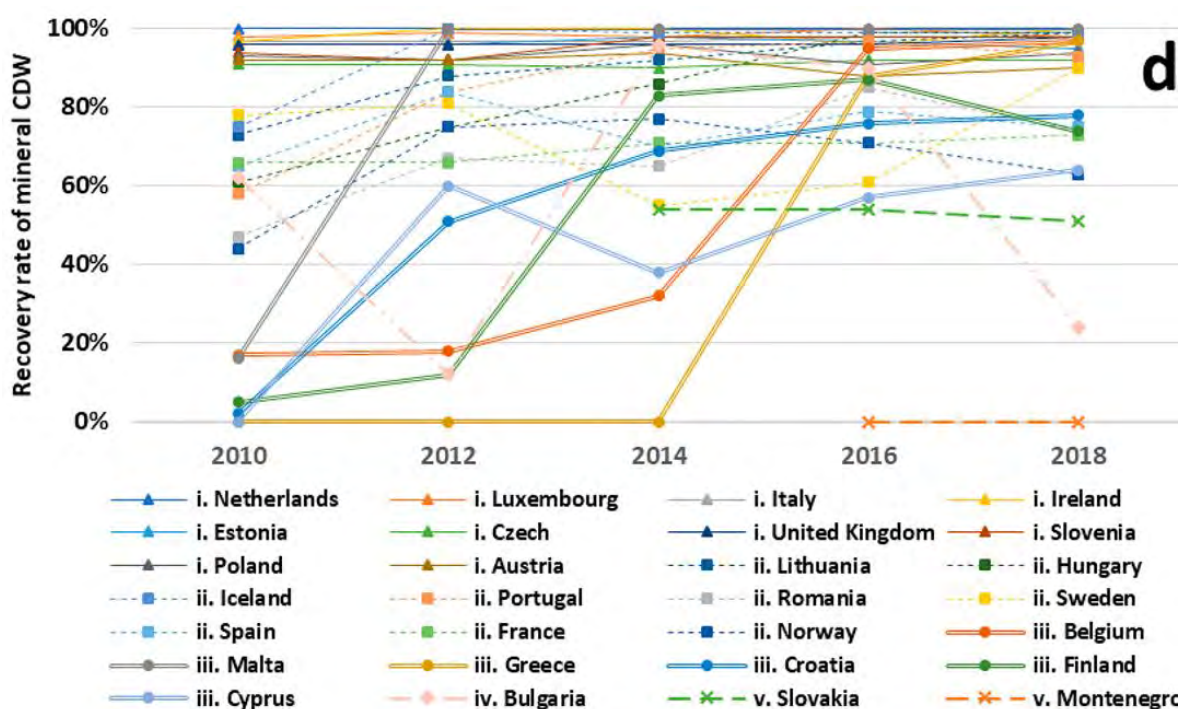
Το ποσοστό ανάκτησης στις 28 ευρωπαϊκές χώρες παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 7, όπου οι ευρωπαϊκές χώρες μπορούν να κατηγοριοποιούνται σε πέντε τύπους σχετικά με το ποσοστό ανάκτησης, στις πολύ ανεπτυγμένες, στις ανεπτυγμένες, στις ταχέως αναπτυσσόμενες, στις κυμαινόμενες και στις αργά αναπτυσσόμενες. Οι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες χώρες έχουν ποσοστά ανάκτησης άνω του 90% από το 2010 (Κάτω Χώρες, το Λουξεμβούργο, η Ιταλία, η Ιρλανδία και το Ηνωμένο Βασίλειο). Οι πολύ ανεπτυγμένες αντιπροσωπεύουν 10 από τις 28 χώρες (Zhang κ.ά., 2022).

Οι ανεπτυγμένες χώρες αντιπροσωπεύουν ποσοστά ανάκτησης μεταξύ 40%-80% το 2010 και αυξήθηκαν σε 60%-100% το 2018 (Ισλανδία, Γαλλία και Σουηδία). Μια ταχέως αναπτυσσόμενη χώρα δηλώνει το ποσοστό ανάκτησης ενός κράτους, που ήταν κάτω του 20% το 2010 και αυξήθηκε ραγδαία στο 60% το 2018, όπως για παράδειγμα το Βέλγιο, η Φινλανδία, η Ελλάδα και άλλες. Η μόνη χώρα με διακυμάνσεις είναι η Βουλγαρία της οποίας το ποσοστό ανάκτησης κυμάνθηκε κάτω από 20% και 90% κατά την περίοδο 2010-2018.

Οι αργά αναπτυσσόμενες χώρες, όπως η Σλοβακία, και το Μαυροβούνιο παρέμειναν σε ποσοστά κάτω του 60% μέχρι το 2018 (Zhang κ.ά., 2022).

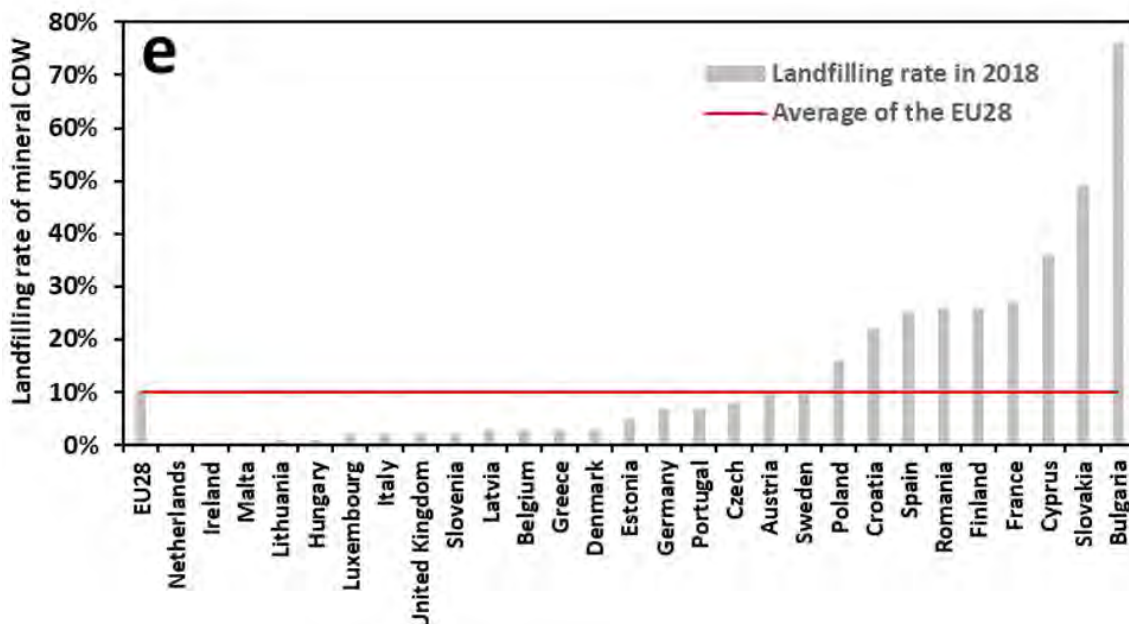
Για την απόρριψη και κατ' επέκταση την υγειονομική ταφή που είναι και η λιγότερο προτιμώμενη μέθοδος λόγω έλλειψης στοιχείων γίνεται εκτίμηση σύμφωνα με το διάγραμμα 7. Συνεπώς θεωρείται πως το ποσοστό που δεν έχει ανακτηθεί διατίθεται για υγειονομική ταφή (Διάγραμμα 8). Συμπερασματικά οι περισσότερες χώρες έχουν ένα επιθυμητό έλεγχο της υγειονομικής ταφής με μέσο ποσοστό 10%, με εξαίρεση την Κύπρο, τη Σλοβακία και την Βουλγαρία που είχαν ιδιαίτερα αυξημένα ποσοστά.

Διάγραμμα 7: Ποσοστό ανάκτησης μη επικίνδυνων ΑΚΚ το 2021



Πηγή: (Zhang κ.ά., 2022)(Συμπεριλήφθηκαν 28 ευρωπαϊκές χώρες, 25 κράτη μέλη της ΕΕ και τρεις ευρωπαϊκές χώρες εκτός των κρατών μελών Ισλανδία, Μαυροβούνιο και Νορβηγία)

Διάγραμμα 8: Ποσοστό υγειονομικής ταφής μη επικίνδυνων ορυκτών ΑΚΚ της ΕΕ28



Πηγή: (Zhang κ.ά., 2022)(το ποσοστό υγειονομικής ταφής εκτιμάται με βάση το ποσοστό ανάκτησης των ευρωπαϊκών χωρών το 2018)

5.5. Προκλήσεις και εμπόδια

Το κυκλικό μοντέλο στον τομέα των κατασκευών με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας και της ανθεκτικότητας των πόρων είναι μια βιώσιμη επιλογή, που ωστόσο παραμένει σε αρχικό στάδιο. Η μετάβαση απαιτεί μεταρρυθμίσεις στην οικονομική δομή και τροποποιήσεις, που θα βασίζονται σε ένα όραμα βασισμένο στην κυκλικότητα. Τα επιχειρηματικά μοντέλα και οι μηχανισμοί της αγοράς θα πρέπει να ενθαρρύνουν την χρήση ανακυκλωμένων προϊόντων. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις η τιμή του είναι υψηλότερη από την τρέχουσα τιμή των αντίστοιχων πρωτογενών υλικών, εξαιτίας των φτωχών οικονομιών κλίμακας (Illankoon & Vithanage, 2023).

5.5.1. Εμπόδια στην διαχείριση αποβλήτων

- Εμπόδια Διακυβέρνησης: Σε αρκετές ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες υπεύθυνοι για την εφαρμογή των πλαισίων είναι ρυθμιστικοί φορείς, που πρέπει να ακολουθήσουν πολύπλοκες ιεραρχίες λήψης αποφάσεων και χρονοβόρες διαδικασίες έγκρισης. Τα διάφορα πλαίσια περιβαλλοντικής διαχείρισης υπολειτουργούν εξαιτίας ανεπαρκούς παρακολούθησης από τις αρμόδιες αρχές, αναποτελεσματική ή ανώριμη νομοθεσία, έλλειψη κοινών κατευθυντήριων γραμμών με αποτέλεσμα την ανεπαρκή διαχείριση αποβλήτων (Islam κ.ά., 2024).

Η έλλειψη προτύπων για τα ανακτημένα υλικά και οι αντίστοιχες πολιτικές αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια στον κατασκευαστικό κλάδο. Η κοινή κατεύθυνση σε παγκόσμιο και περιφερειακό επίπεδο σχετικά με την κατηγοριοποίηση των αποβλήτων, την διαθεσιμότητα και προσβασιμότητα των δεδομένων και τον καθορισμό προτύπων απαιτούν συντονισμό και κατάλληλες πολιτικές (Ababio & Lu, 2023).

- Εμπόδια εισαγωγής στην αγορά: Τα βασικά εμπόδια σχετίζονται με την έλλειψη στρατηγικών μάρκετινγκ για την εισαγωγή εκ νέου δευτερογενών υλικών και την έλλειψη κινήτρων για την επαναχρησιμοποίηση ανακυκλωμένων υλικών, καθώς και το υψηλό τους κόστος, σε σύγκριση με το χαμηλό των πρωτογενών υλικών. Η χρήση δευτερογενών προϊόντων εξαρτάται από την προσφορά και την ζήτηση, τον έλεγχο προέλευσης, τη διασφάλιση ποιότητας, τις προδιαγραφές και πιστοποίηση των προϊόντων, καθώς και την πρόσβαση τους στη αγορά. Η έλλειψη οικονομικών κινήτρων και το υψηλό αρχικό κόστος της επένδυσης σε συνδυασμό με την μακροπρόθεσμη απόσβεση των κυκλικών δομών, το υψηλό κόστος περιβαλλοντικών πιστοποιήσεων για δομικά υλικά και η έλλειψη ζήτησης στην αγορά αποτελούν κρίσιμα εμπόδια (Munaro & Tavares, 2023).
- Έλλειψη πληροφόρησης: Η έλλειψη πληροφόρησης, η αρνητική αντίληψη και η έλλειψη γνώσης σχετικά με την διάδοση των κυκλικών δράσεων στην κοινωνία οδηγεί σε έλλειψη ευαισθητοποίησης και ζήτησης δευτερογενών υλικών. Τα καταναλωτικά πρότυπα προωθούν την αυθεντικότητα των πρωτογενών υλικών και προϊόντων (Munaro & Tavares, 2023).
- Τεχνολογικά εμπόδια και οικονομικά εμπόδια: Η έλλειψη υποδομών ανακύκλωσης ή υποδομών που στερούνται νέες τεχνολογίες και καινοτομίες, σε συνδυασμό με το χαμηλό επενδυτικό ενδιαφέρον του ιδιωτικού τομέα δυσχεραίνουν την επίτευξη οικονομιών κλίμακας. Η στέρηση σε υφιστάμενες τεχνολογίες ανακύκλωσης και η ανεπάρκεια έρευνας, ανάπτυξης και προώθησης νέων τεχνολογιών αποτελούν τροχοπέδη στην ενίσχυση της κυκλικότητας του τομέα (Illankoon & Vithanage, 2023). Ορισμένες κυκλικές στρατηγικές απαιτούν σημαντικό αρχικό κόστος για να καταστεί δυνατή η μελλοντική επαναχρησιμοποίηση των εισροών. Οι υποδομές, οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης και οι διαδικασίες πιστοποίησης απαιτούν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, με επακόλουθο οι στενοί δημοσιονομικοί

περιορισμοί να αποτρέπουν την υιοθέτηση κυκλικών στρατηγικών. Η διαχείριση των αποβλήτων στερείται την επαρκή χρήση προγραμμάτων, όπως GPS ή GIS για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση διακίνησης των αποβλήτων. Συνεπώς δεν έχει καθιερωθεί μία ενιαία πλατφόρμα συλλογής δεδομένων και παρακολούθησης των αποβλήτων. Αναγκαία είναι και η χρήση της εφαρμογής BIM ή παρόμοιων εφαρμογών στο στάδιο του σχεδιασμού για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων πριν την έναρξη του έργου. Τα περισσότερα εργαλεία εκτίμησης αποβλήτων είναι προσαρμοσμένα σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές με αποτέλεσμα να μην είναι καθολικά εφαρμόσιμα και λόγω του υψηλού ποσοστού της ανθρώπινης συμμετοχής στην διαχείριση αποβλήτων να προκύπτουν σφάλματα. Απαιτείται περισσότερη έρευνα ενσωμάτωσης τέτοιων τεχνολογιών στην βιώσιμη διαχείριση των αποβλήτων (Islam κ.ά., 2024).

- Εμπόδια στην ανακύκλωση: Η ανακύκλωση σε πολλά κράτη δεν είναι διαδεδομένη εξαιτίας διαφόρων εμποδίων, όπως το διαφορετικό νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο κάθε κράτους. Αν και η επιλεκτική κατεδάφιση, δηλαδή η οργανωμένη απομάκρυνση υλικών, έχει αποδειχθεί πως συμβάλλει στο περιβαλλοντικό όφελος δεν υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις για την εφαρμογή της σε ολόκληρη την Ε.Ε.

5.5.2. Μελλοντική κατεύθυνση και έρευνα

Παρά την στροφή προς την κυκλική οικονομία και την υιοθέτηση των αντίστοιχων πρακτικών υπάρχουν ορισμένοι τομείς που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση και καινοτομίες που θα μπορούσαν να προσαρμόσουν την κυκλικότητα σε όλο τον κύκλο ζωής των κτιρίων. Απαιτείται η εξέταση και κατανόηση των οικονομικών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων της επαναχρησιμοποίησης, της ανάκτησης και της ανακύκλωσης των δομικών υλικών για μια παρατεταμένη διάρκεια ζωής σε ένα κατασκευαστικό έργο.

Η θέσπιση υποχρεωτικών απαιτήσεων για την χρήση ενός ελάχιστου ποσοστού ανακυκλωμένων υλικών σε έργα θα μπορούσε να ενισχύσει την χρήση δευτερογενών προϊόντων στις κατασκευές. Η συγκεκριμένη πρακτική θα μπορούσε να ενισχύσει το επενδυτικό ενδιαφέρον και να συμβάλλει στην δημιουργία αντίστοιχων υποδομών ανακύκλωσης μακροπρόθεσμα. Ο ρόλος των κυβερνήσεων είναι καθοριστικός με την παροχή κινήτρων και υποστηρικτικές πολιτικές τόσο στις επιχειρήσεις, όσο και στους καταναλωτές (Illankoon & Vithanage, 2023).

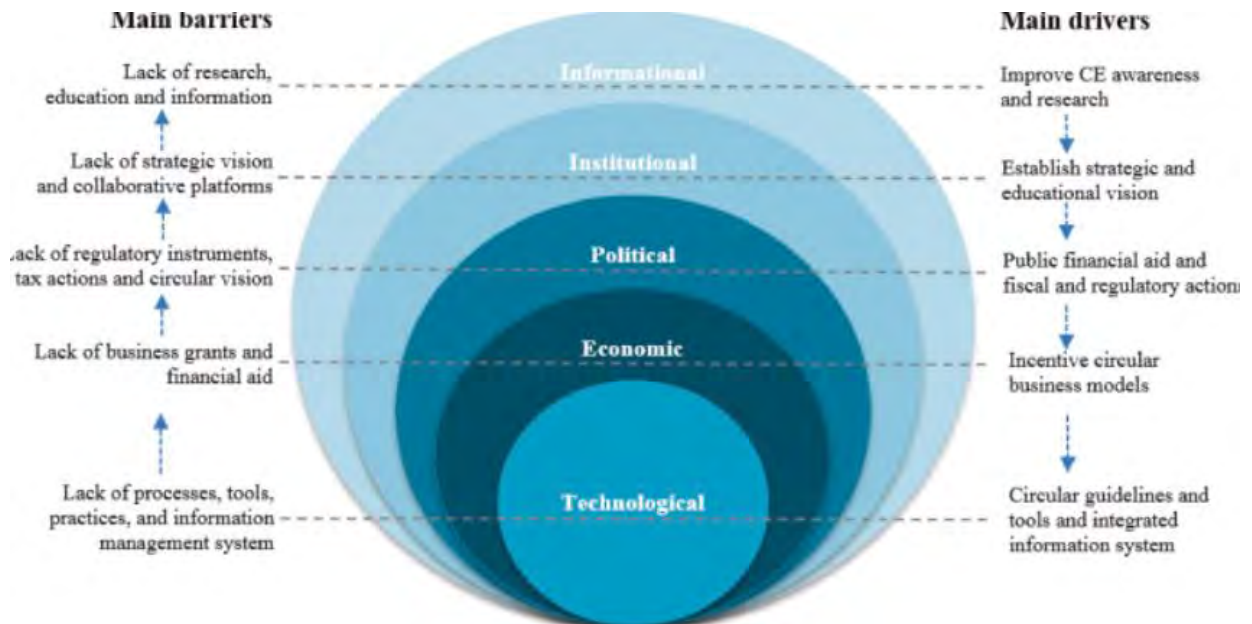
Αν και έχει δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στην διαχείριση ΑΑΚ, απαιτείται πρόσθετη έρευνα όσον αφορά κυρίως την εκτίμηση, τον εντοπισμό και την λήψη αποφάσεων για την προώθηση εφαρμογών κυκλικής οικονομίας. Μελλοντική έρευνα θα πρέπει να διεξαχθεί για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού και την εφαρμογή των διαφόρων πρακτικών και αξιολόγηση και από την οικονομική σκοπιά (Illankoon & Vithanage, 2023).

Η εφαρμογή των τεχνολογιών της βιομηχανίας 4.0, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και άλλα στον περιορισμό των ΑΑΚ είναι ακόμη περιορισμένη, όπως και οι αντίστοιχες ερευνητικές προσπάθειες. Η μετάβαση στην κυκλική οικονομία στον βιομηχανικό τομέα απαιτεί την εισαγωγή καινοτόμων τεχνολογιών και συγκεκριμένα στον κατασκευαστικό κλάδο μπορούν να ενσωματωθούν βιώσιμες τεχνολογίες, σε όλο τον κύκλο ζωής του κτιρίου. Η μείωση της κατανάλωσης πόρων και ο τρόπος εισαγωγής αυτών των τεχνολογιών απαιτούν περαιτέρω ερευνητική προσπάθεια (Oluleye κ.ά., 2022).

Η ευαισθητοποίηση και η ενημέρωση, αλλά και η μετάδοση της γνώσης είναι επιτακτική ανάγκη για την επίτευξη των αλλαγών. Η μη ολοκληρωμένη διαχείριση των γνώσεων της κυκλικής οικονομίας στον κατασκευαστικό κλάδο, η περιορισμένη έρευνα κρατάνε στο σκοτάδι ορισμένες χώρες. Απαιτείται περισσότερη έρευνα, διαχείριση και μετάδοση της γνώσης, ευαισθητοποίηση του κοινού και ενημέρωση για την διαδικασία, το περιεχόμενο, τις στρατηγικές σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των κτιρίων (Oluleye κ.ά., 2022).

Στην Εικόνα 11 απεικονίζονται τα εμπόδια και οι κινητήριες δυνάμεις κατά τη μετάβαση στην Κυκλική Οικονομία.

Εικόνα 11: Εμποδία και κινητήριες δυνάμεις στη μετάβαση στην Κυκλική οικονομία



Πηγή: (Munaro & Tavares, 2023)

6. Ενεργοβόρες Βιομηχανίες

Σημαντικό μερίδιο της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα συνδέονται με τις ενεργοβόρες βιομηχανίες, τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο, με επακόλουθο να είναι στο επίκεντρο των προσπαθειών απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές. Η μετάβαση από το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο ή τον άνθρακα είναι επιτακτική, αλλά και δύσκολη, καθώς οι περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλη ζήτηση ενέργειας. Για την απαλλαγή του άνθρακα οι ενεργοβόρες βιομηχανίες πρέπει να προχωρήσουν σε ουσιαστικό μετασχηματισμό και ριζικές αλλαγές.

6.1. Αντίκτυπο στο περιβάλλον

Η οικονομική ανάπτυξη, δηλαδή η αύξηση του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την μείωση της φτώχειας, της ανεργίας, την αύξηση του προσδόκιμου ζωής και την καλύτερη εκπαίδευση. Η οικονομική ανάπτυξη φαίνεται πως συνδέεται με τη γενική κατανάλωση ενέργειας, η οποία συσχετίστηκε αρνητικά με το παγκόσμιο ΑΕΠ και τις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά θετικά με τις ανεπτυγμένες (Chen κ.ά., 2021).

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι και τα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία είναι υποπροϊόντα των οικονομικών δραστηριοτήτων και της κατανάλωσης ενέργειας αποτελούν συνεχή απειλή για την ανθρώπινη υγεία και τον περιορισμό της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης. Η ενέργεια ως κινητήρια δύναμη για τις οικονομικές λειτουργίες τροφοδοτεί τις οικονομικές δραστηριότητες και συνδέεται άμεσα με τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου (H. Wang & Luo, 2023).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει αναφερθεί πως ευθύνεται για την μείωση της βιοποικιλότητας, την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια, τους φυσικούς κινδύνους. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν καταγραφεί τα θερμότερα έτη με την ανησυχία να αυξάνεται, καθώς πληθαίνουν φαινόμενα όπως πλημμύρες, ξηρασίες, πυρκαγιές, καταιγίδες, ενώ η στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει και οι ασθένειες επιδεινώνονται (Papadis & Tsatsaronis, 2020). Ωστόσο, η κατανάλωση ενέργειας και η οικονομική ανάπτυξη τροφοδοτούν έντονα η μία την άλλη, με επιτακτική ανάγκη την ανάπτυξη νέων ενεργειακών πόρων ή νέων τεχνολογιών που θα βελτιώσουν την αποδοτικότητα της χρήσης ενέργειας (Chen κ.ά., 2021).

Η κατανάλωση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα είναι αρκετά υψηλότερη συγκριτικά με τους υπόλοιπους, ανερχόμενη περίπου στο 54% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Καθώς ο βιομηχανικός τομέας είναι ο κύριος καταναλωτής ενέργειας απαιτείται επαναπροσδιορισμός της οικονομικής ανάπτυξης και ανακατεύθυνση προς την βιώσιμη κατανάλωση ενέργειας (Chen κ.ά., 2021). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2021 ο τομέας της βιομηχανίας αντιπροσώπευε το 25,6% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, καθιστώντας τον τρίτο μεγαλύτερο καταναλωτή μετά τις μεταφορές και τα νοικοκυριά (Eurostat, 2024).

6.2. Ενεργοβόρες Βιομηχανίες στη Ευρώπη

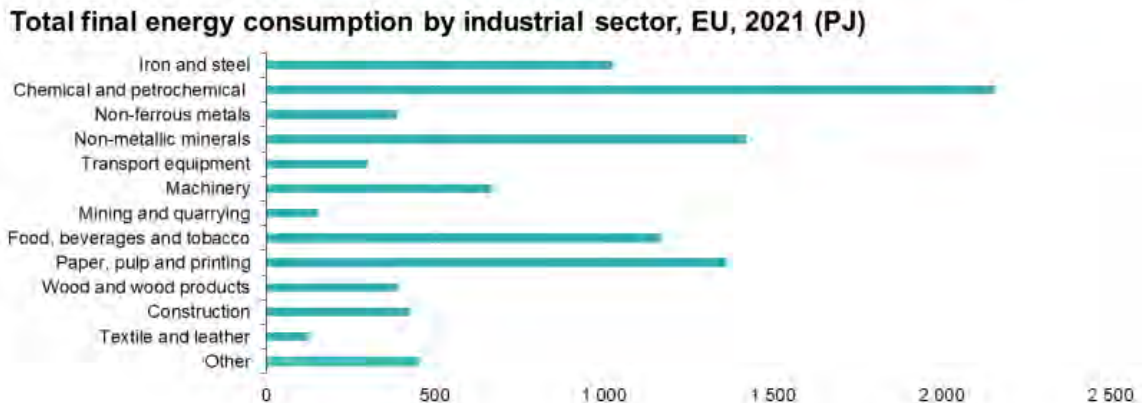
6.2.1. Επισκόπηση του τομέα

Οι ενεργοβόρες βιομηχανίες, όπως η βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα, χημικών, τσιμέντου, κεραμικών, χαρτιού και χαρτοπολτού, γυαλιού και πλαστικών καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Η παραγωγή σε αυτές τις βιομηχανίες απαιτεί μεγάλες ποσότητες θερμότητας στις διάφορες διεργασίες και χρησιμοποιούνται κυρίως ορυκτά καύσιμα με υψηλή θερμογόνο δύναμη (Gerres κ.ά., 2019).

Διαφορά χαρακτηριστικά στις συγκεκριμένες βιομηχανίες δυσχεραίνουν την απαλλαγή του τομέα από εκπομπές άνθρακα, όπως στην περίπτωση των εργοστασίων τσιμέντου το υψηλό αρχικό κόστος με διάρκεια απόσβεσης τα 50 έτη ή η μεγάλη διάρκεια ζωής για τον σχεδιασμό μεμονωμένου εξοπλισμού άνω των 20 ετών, όπως στην περίπτωση κλιβάνων για τη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα (Gerres κ.ά., 2019).

Στο Διάγραμμα 9 παρουσιάζονται οι μεγαλύτεροι βιομηχανικοί καταναλωτές ενέργειας στην ΕΕ για το 2021. Μεγάλη κατανάλωση φαίνεται ότι έχουν η χημική και πετροχημική βιομηχανία, ακολουθούμενη από τους τομείς των μη μεταλλικών ορυκτών, την βιομηχανία χαρτιού και την βιομηχανία τροφίμων και ποτών.

Διάγραμμα 9: Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας ανά βιομηχανικό τομέα για το έτος 2021 στην ΕΕ



Πηγή: (Eurostat, 2024)

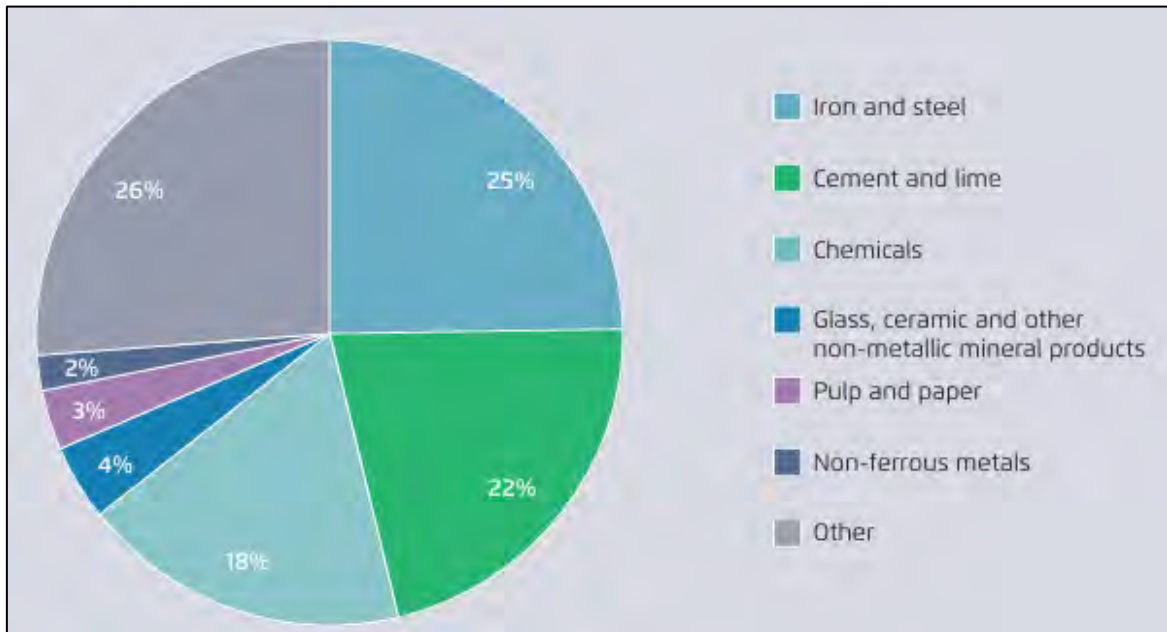
Οι ενεργοβόρες βιομηχανίες απασχολούν 7,8 εκατομμύρια άτομα στην Ευρώπη και παρέχουν προστιθέμενη αξία 549 δισεκατομμύρια ευρώ, δηλαδή το 4,55% του συνόλου της ΕΕ. Το 2019 ήταν υπεύθυνες για το 22% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη (SWD(2021) 277 final). Παράγουν βασικά υλικά που χρησιμοποιούνται από άλλες βιομηχανίες στα επόμενα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού, αντιπροσωπεύοντας το 1%-6% της αξίας του προϊόντος του τελικού χρήστη (Kaniappan Chinnathai & Alkan, 2023).

Οι εκπομπές μεταξύ των τομέων διαφέρουν αρκετά, με τα μη μεταλλικά ορυκτά καύσιμα, τα βασικά μέταλλα και τη χημική βιομηχανία να ευθύνονται για σημαντικό ποσοστό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Μετά την Κίνα, η Ευρώπη είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός χάλυβα με ποσοστό 53% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής το 2019. Οι πέντε μεγαλύτεροι παραγωγοί έχουν θέσει στόχους για ουδέτερο ή σχεδόν ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα. Όσον αφορά το χημικό τομέα, κατέχει την δεύτερη θέση μετά την Κίνα με ποσοστό στην παγκόσμια αγορά 14,8% το 2019 και τις εγκαταστάσεις παραγωγής να συγκεντρώνονται στην Γερμανία, την Γαλλία, την Ιταλία, τις Κάτω Χώρες και το Βέλγιο. Η τσιμεντοβιομηχανία είναι ο τρίτος παραγωγός μετά την Κίνα και την Ινδία με ποσοστό 4,3% με τις περισσότερες εκπομπές να προέρχονται από τη Γερμανία, Γαλλία, Ισπανία, Ιταλία και Πολωνία (European Commission, 2022b).

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 10 οι βιομηχανίες σιδήρου, χάλυβα, τσιμέντου και βασικών χημικών προϊόντων (πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πλαστικών) αντιπροσωπεύουν περίπου το 65% των εκπομπών CO₂ των ενεργοβόρων βιομηχανιών στην

ΕΕ το 2018. Ο χάλυβας αποτελεί σημαντικό υλικό κατασκευών και ο σίδηρος χρησιμοποιείται ως ενδιάμεσο υλικό (Perathoner κ.ά., 2021).

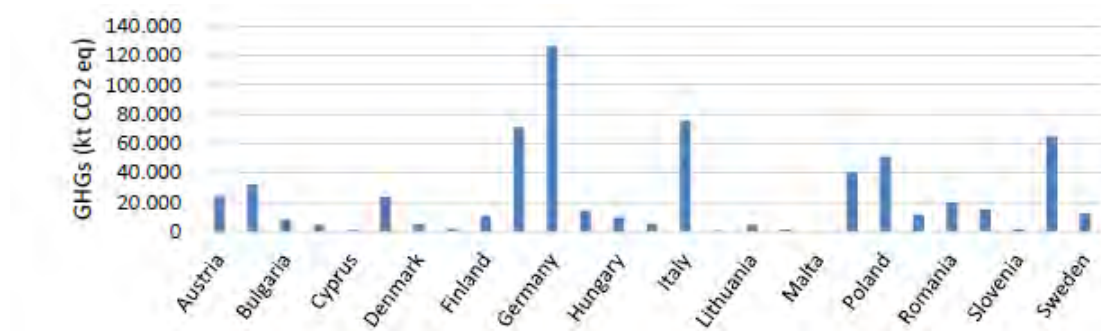
Διάγραμμα 10: Μερίδιο των εκπομπών CO₂ στις συνολικές βιομηχανικές εκπομπές της ΕΕ το 2018



Πηγή: (Oliver Sartor κ.ά., 2022)

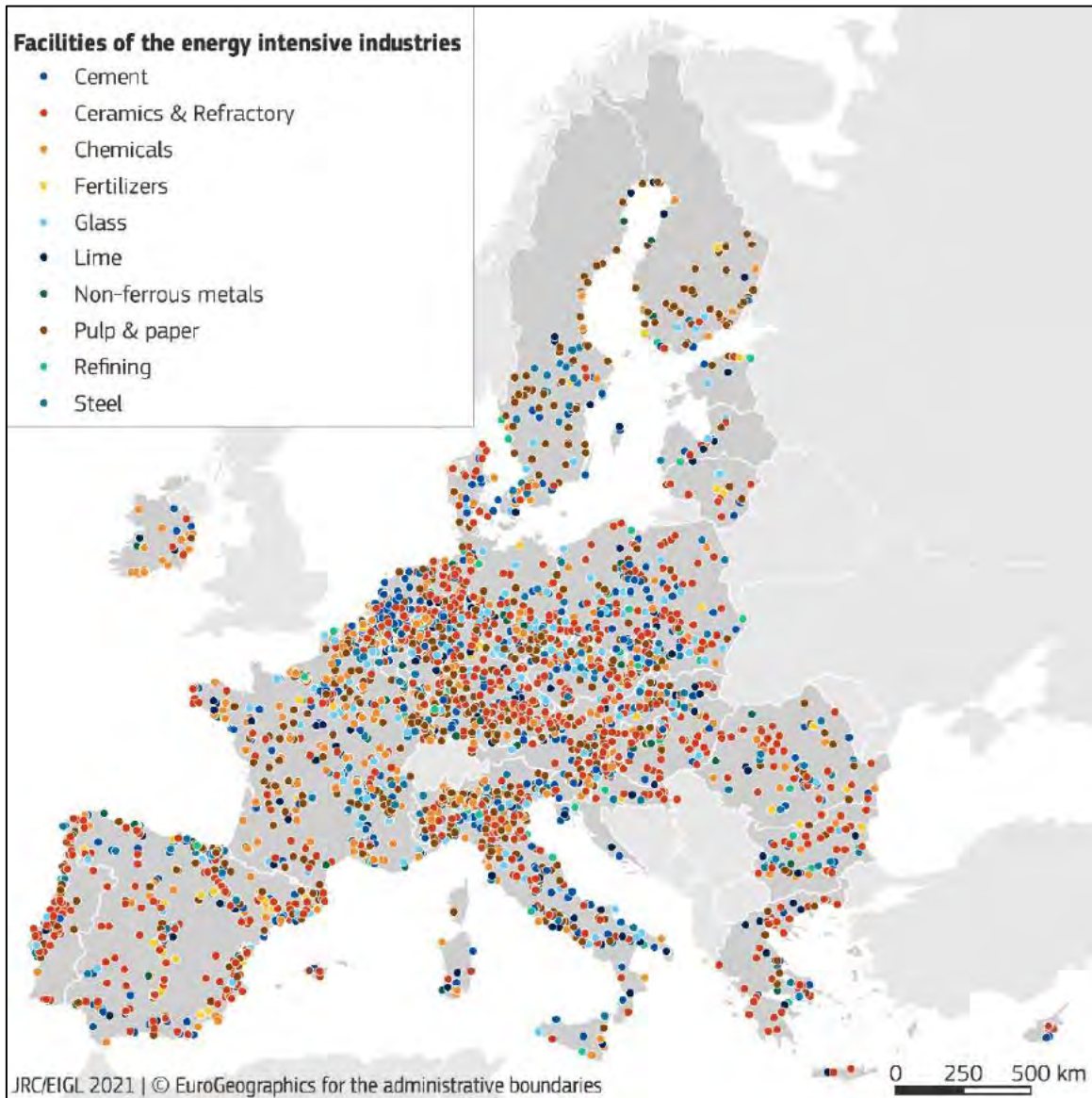
Για το σύνολο των εκπομπών που παράγονται από όλα τα κράτη μέλη στην Ε.Ε., οι χώρες που ευθύνονται για την μεγαλύτερη ένταση εκπομπών είναι η Γερμανία, η Γαλλία, η Ιταλία, η Ισπανία, οι Κάτω Χώρες και η Πολωνία με επακόλουθο να αντιπροσωπεύουν περίπου τα 2/3 των συνολικών εκπομπών της ΕΕ. Στην Εικόνα 12 παρουσιάζεται η κατανομή των ενεργοβόρων βιομηχανιών στην Ευρώπη, ενώ στο Διάγραμμα 11 δίδονται οι συνεισφορές εκπομπών CO₂ των ενεργοβόρων βιομηχανιών σε κράτη μέλη της ΕΕ κατά το 2022.

Διάγραμμα 11: Συνεισφορά των εκπομπών των ενεργοβόρων βιομηχανιών ανά κράτος-μέλος



Πηγή: (European Commission, 2022b)

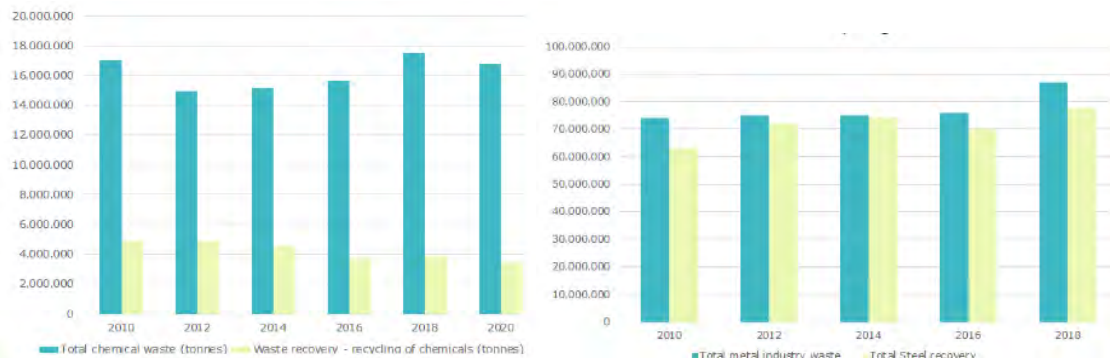
Εικόνα 12: Εγκαταστάσεις ενεργοβόρων βιομηχανιών στην Ευρώπη



Πηγή: (European Commission, 2022b)

Η ανάκτηση χημικών αποβλήτων σύμφωνα με το Διάγραμμα 12 μειώθηκε κατά 30% κατά το διάστημα 2010 έως 2020, ενώ η ποσότητα των χημικών αποβλήτων παρουσιάζει διακυμάνσεις με την πάροδο των ετών. Ωστόσο, στον τομέα των μετάλλων (Διάγραμμα 13) ο όγκος των αποβλήτων αυξήθηκε με παράλληλη αύξηση της ανάκτησης και της ανακύκλωσης (European Commission, 2022c).

Διάγραμμα 12 & 13: Ποσότητα αποβλήτων και ανάκτηση-ανακύκλωση στον τομέα των χημικών ουσιών και των μετάλλων στη ΕΕ



Πηγή:(European Commission, 2022c)

6.2.2. Ευρωπαϊκή Ενεργειακή και Βιομηχανική Πολιτική

Στην εποχή των ενεργειακών κρίσεων και της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, οι ενεργειακές πολιτικές έχουν γίνει πιο σημαντικές από ποτέ. Οι ανεπτυγμένες χώρες έχουν εισαγάγει διάφορες ενεργειακές στρατηγικές για την εξασφάλιση των ενεργειακών πόρων και την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η Συμφωνία του Παρισιού, η οποία στοχεύει να περιορίσει την αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο κάτω από 2°C περιοριζόμενη στον 1,5°C, επικυρώθηκε από την Ε.Ε. τον Οκτώβριο του 2016, με δέσμευση να περιορίσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% έως το 2030, συγκριτικά με το 1990 στο πλαίσιο της ευρύτερης ενεργειακής στρατηγικής. Το Νοέμβριο του 2018 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το όραμα της για μια σύγχρονη, ανταγωνιστική και κλιματικά ουδέτερη οικονομία έως το 2050, ενδυναμώνοντας τις πολιτικές σε βασικούς τομείς, όπως η βιομηχανία με γνώμονα παράλληλα την κοινωνική δικαιοσύνη και την δίκαιη μετάβαση. Το πλαίσιο υποστηρίζεται από το Επενδυτικό Σχέδιο για την βιώσιμη Ευρώπη, που θα κινητοποιήσει δημόσιες επενδύσεις και θα συμβάλλει στην απελευθέρωση ιδιωτικών κεφαλαίων μέσω χρηματοδοτικών μέσων της ΕΕ (Sander de BRUYN κ.ά., 2020).

Τα κράτη μέλη της Ε.Ε. θέτουν τους δικούς τους εθνικούς στόχους για την επίτευξη του γενικότερου στόχου, μεταξύ των οποίων οι σκανδιναβικές χώρες που είναι πρωτοπόρες στην πράσινη ενεργειακή μετάβαση. Για παράδειγμα, η Σουηδία έχει αναγνωριστεί ως μια από τις κορυφαίες χώρες στην ενεργειακή μετάβαση με ένα καλά λειτουργικό ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Nurdiawati & Urban, 2021).

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποτελεί τη νέα ατζέντα της Ευρώπης για τη βιώσιμη ανάπτυξη και περιλαμβάνει τη βιώσιμη διαχείριση υλικών και πόρων μέσω ορθολογικών πρακτικών στα απόβλητα και την ανακύκλωση. Στοχεύει στην επίτευξη κοινωνικής ευημερίας, στην αποδοτικότητα των πόρων και στην οικονομική ανταγωνιστικότητα της ΕΕ (Branca κ.ά., 2021). Παράλληλα, δίνονται κατευθύνσεις και δεσμεύσεις που αφορούν τις ενεργοβόρες βιομηχανίες, όπως ο στόχος μηδενικής ρύπανσης και η ανακοίνωση μιας νέας βιομηχανικής στρατηγικής για την ευρωπαϊκή βιομηχανία (European Commission, 2019).

Η πανδημία του COVID-19 επηρέασε την ζήτηση σε ορισμένους τομείς, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία και οι κατασκευές, με επακόλουθο να μειωθεί αρκετά η ετήσια παραγωγή στις ενεργοβόρες βιομηχανίες από τον Μάρτιο του 2020. Το 2021 τα πακέτα ανάκαμψης οδήγησαν σε άνθιση ορισμένων τομέων, όπως τα δομικά υλικά, με τους παραγωγούς να επωφελούνται από την συγκεκριμένη ζήτηση και ταυτόχρονα οι ενεργοβόρες βιομηχανίες να έρχονται αντιμέτωπες με δυσκολίες στην εξασφάλιση πρώτων υλών και του ενεργειακού εφοδιασμού τους (SWD(2021) 277 final).

Η πανδημία έφερε στην επιφάνεια την ανάγκη διασφάλισης της αυτονομίας, της ασφάλειας του εφοδιασμού και της ζήτησης της βιομηχανικής παραγωγής, σε συνδυασμό με την απεξάρτηση στρατηγικών τομέων από τις παγκόσμιες αγορές. Συνεπώς, η «Επικαιροποίηση της νέας βιομηχανικής στρατηγικής για το 2020» ποσοτικοποίησε τις ξένες εξαρτήσεις και παρουσίασε τα πιθανά μέτρα πολιτικής. Εντοπίστηκαν 137 προϊόντα για τα οποία η Ε.Ε. παρουσιάζει μεγάλη εξάρτηση, από τα οποία τα 99 συνδέονται με τις ενεργοβόρες βιομηχανίες, ενώ 16 από αυτά είναι κρίσιμες πρώτες ύλες (SWD(2021) 277 final).

Η στρατηγική της ΕΕ για το υδρογόνο τον Ιούλιο του 2020 και η ευρωπαϊκή συμμαχία τον Νοέμβριο του ίδιου έτους για το καθαρό υδρογόνο δίνουν έμφαση στην χρήση του, στην βιομηχανία και τις μεταφορές, καθώς και στο εξισορροπητικό του ρόλο στην ενσωμάτωση μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το υδρογόνο που προέρχεται από ΑΠΕ θεωρείται η κύρια πορεία προς τα εμπρός αν και η αγορά αναπτύσσεται και κλιμακώνεται σταδιακά ανάλογα και με το κόστος, που με το πέρασμα του χρόνου θα μειώνεται (Natalia Atria κ.ά., 2022).

Η COP26, η 26^η Διάσκεψη για την Κλιματική αλλαγή των Ηνωμένων Εθνών πραγματοποιήθηκε στη Γλασκώβη το Νοέμβριο του 2021 και αποτελεί βασικό βήμα για την

υλοποίηση των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού, για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας. Υπήρξαν σημαντικές ανακοινώσεις και δεσμεύσεις με σκοπό την μείωση εκπομπών CO₂ σε βασικές βιομηχανικές μονάδες. Οι δεσμεύσεις αυτές περιλαμβάνουν προμήθεια ή πώληση υλικών, όπως ο χάλυβας και το τσιμέντο, τα οποία παράγονται με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και είναι κρίσιμα υλικά σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές (Oliver Sartor κ.ά., 2022).

Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία τον Φεβρουάριο του 2022 και η ενεργειακή κρίση που ακολούθησε κατέστησε σαφές πως η ενεργειακή εξάρτηση της Ευρώπης από την Ρωσία αποτελούσε σοβαρό στρατηγικό ζήτημα. Στις 18 Μαΐου του 2022 η Ευρωπαϊκή Ένωση ανακοίνωσε το σχέδιο «REPowerEU» που αποσκοπεί στην απεξάρτηση της Ευρώπης από το ρωσικό φυσικό αέριο και επιδιώκει τη διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού και την προώθηση των ΑΠΕ σε διάφορους τομείς της οικονομίας, συμπεριλαμβανομένης της βιομηχανίας (Horváth κ.ά., 2023).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή την 1^η Φεβρουαρίου του 2023 δημοσίευσε το Βιομηχανικό Σχέδιο για την Πράσινη Συμφωνία, το οποίο περιλαμβάνει κατευθύνσεις για την βιομηχανία της ΕΕ προς την μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα (Horváth κ.ά., 2023). Τον Μάρτιο του 2023 η πράξη για τη βιομηχανία με καθαρό ισοζύγιο προωθεί τεχνολογίες καθαρής ενέργειας και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας από τις οποίες θα εξαρτώνται οι ενεργοβόρες βιομηχανίες.

Η απεξάρτηση από τον άνθρακα στη βιομηχανία θα εξελιχθεί με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε χώρας. Οι επιλογές απεξάρτησης μπορούν να επηρεαστούν άμεσα από την διαθεσιμότητα της βιομάζας, την ηλεκτρική ενέργεια, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συνεπώς διαφορετικές στρατηγικές για τις εκπομπές άνθρακα (Nurdiawati & Urban, 2021).

Βασική συνιστώσα στην πολιτική της ΕΕ για το κλίμα είναι η ανάγκη κοινής πολιτικής, σχετικά με τον περιορισμό εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και του κινδύνου μετεγκατάστασης ενεργοβόρων βιομηχανιών σε περιοχές με χαμηλά επίπεδα τιμολόγησης του άνθρακα. Σε περίπτωση που μια χώρα υιοθετήσει φιλόδοξους στόχους για το κλίμα και οι υπόλοιπες παραμείνουν στην υφιστάμενη κατάσταση, το πιθανότερο είναι οι ενεργοβόρες βιομηχανίες να μεταφερθούν σε περιοχές με ασθενέστερους περιβαλλοντικούς

κανονισμούς, που θα ελαχιστοποιούν το κόστος τους σχετικά με τον άνθρακα (Fragkos κ.ά., 2021).

6.3. Κυκλική Οικονομία και απαλλαγή από ανθρακούχες εκπομπές στις Ενεργοβόρες Βιομηχανίες

Η άμεση σύνδεση των ενεργοβόρων βιομηχανιών με τους υπόλοιπους τομείς, μέσω των υλικών που χρησιμοποιούνται σε όλες τις οικονομικές δραστηριότητες, απαιτούν την μετάβαση προς τη βιωσιμότητα, τη στροφή στην κυκλική οικονομία και την απεξάρτηση από τον άνθρακα. Η πράσινη μετάβαση προϋποθέτει ριζική αναδιάρθρωση στις παραδοσιακές παραγωγικές διαδικασίες, επιχειρηματικά μοντέλα και τη δημιουργία νέων αλυσίδων αξίας.

Η κυκλική οικονομία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο δεδομένου του κρίσιμου ρόλου των ενεργοβόρων βιομηχανιών στις κρίσιμες αλυσίδες αξίας. Οι ενεργοβόρες βιομηχανίες μπορούν να λάβουν μέρος στην επίτευξη διαφόρων στόχων της ΕΕ, που σχετίζονται με τα απόβλητα, την υγειονομική ταφή, τις συσκευασίες και άλλα. Η κυκλικότητα των κρίσιμων πρώτων υλών θα συμβάλλει στη απεξάρτηση από ξένα υλικά και την δημιουργία μιας νέας αγοράς δευτερογενών πρώτων υλών, μέσω της ανακύκλωσης και της αξιοποίησης του ενεργειακού περιεχομένου τους.

Η κυκλική οικονομία στις ενεργοβόρες βιομηχανίες μπορεί να εφαρμοστεί εν μέρει και με έμμεσο τρόπο. Για παράδειγμα, στο τομέα της χαλυβουργίας η κοινή χρήση οχημάτων μπορεί να μειώσει την ζήτηση καινούργιων και κατ' επέκταση να οδηγήσει σε χαμηλότερη ζήτηση πρωτογενούς χάλυβα. Η παραγωγή πρωτογενών υλικών εξαρτάται και από την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας σε άλλους τομείς. Οι κυκλικές στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοστούν στις ενεργοβόρες βιομηχανίες και στην πρωτογενή παραγωγή εστιάζουν κυρίως στην ανακύκλωση μετάλλων και παραπροϊόντων, στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στην επαναχρησιμοποίηση ενέργειας, καθώς και στη βιομηχανική συμβίωση (Sander de BRUYN κ.ά., 2020).

Για παράδειγμα, η μηχανική ανακύκλωση των πλαστικών μπορεί να συμβάλλει στην επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων πλαστικών με μικρή απώλεια ποιότητας. Τα συνθετικά υλικά ή τα πολύ μολυσμένα ρεύματα αποβλήτων προορίζονται για χημική ανακύκλωση,

αλλά απαιτείται προσπάθεια ακόμα για την παραγωγή ίδιας ποιότητας δευτερογενών υλικών με τα πρωτογενή (Sander de BRUYN κ.ά., 2020).

Ωστόσο, είναι σημαντικό να γίνει διάκριση στην ανακύκλωση υψηλής αξίας και στις πιο υποβαθμισμένες λύσεις ανακύκλωσης χαμηλότερης ποιότητας. Στην ανακύκλωση υψηλής ποιότητας τα υλικά που προκύπτουν πληρούν υψηλά πρότυπα ποιότητας και οι ιδιότητες τους τα καθιστούν κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση σε απαιτητικές εφαρμογές. Σε αντίθεση, η ανακύκλωση χαμηλής ποιότητας έχει περιορισμένα περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς μπορεί να απαιτείται επιπλέον επεξεργασία ή να μην είναι κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση. Μάλιστα τα υλικά μπορεί να καταλήγουν ως απόβλητα λόγω μειωμένης ανθεκτικότητας (Oliver Sartor κ.ά., 2022).

6.3.1. Καινοτόμες Τεχνολογίες και Μέθοδοι απαλλαγής από τον άνθρακα

Η ενεργειακή κρίση ανάδειξε την σημασία της πράσινης μετάβασης, την προώθηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, την αποδοτικότητα των υλικών και τη μετάβαση από τις διαδικασίες παραγωγής με βάση τους υδρογονάνθρακες σε αντίστοιχες χωρίς άνθρακα, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το 2030 και το 2050.

Οι επιλογές απεξάρτησης από τον άνθρακα και η μείωση των βιομηχανικών εκπομπών μπορεί να επιτευχθεί με μείωση της ζήτησης, βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων και πρώτων υλών με πηγές χαμηλών εκπομπών άνθρακα, εξηλεκτρισμό, δέσμευση-αξιοποίηση-αποθήκευση άνθρακα και χρήση κατάλληλων τεχνολογιών (Nurdiawati & Urban, 2021), όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 13.

Εικόνα 13: Απεξάρτηση του άνθρακα στις ενεργοβόρες βιομηχανίες



Πηγή: (Carmona-Martínez κ.ά., 2023)

Ενεργειακή Απόδοση

Η ενεργειακή απόδοση είναι το πρώτο βήμα για την εξοικονόμηση ενέργειας, δηλαδή παραγωγή των ίδιων προϊόντων με λιγότερη ενέργεια. Μπορούν να ενσωματωθούν διάφορα μέτρα, όπως η επαναχρησιμοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας, η χρήση φωτισμού LED, η καλύτερη μόνωση, αποδοτικότερες ηλεκτρικές μονάδες και άλλα. Η εφαρμογή αντίστοιχων μέτρων είναι εύκολα εφαρμόσιμη, καθώς δεν επηρεάζει την ίδια την παραγωγή. Ωστόσο, τα μέτρα τις περισσότερες φορές είναι εντάσεως κεφαλαίου και ανταγωνίζονται άλλες επενδύσεις (Sander de BRUYN κ.ά., 2020).

Εξηλεκτρισμός, Υδρογόνο, Βιομεθάνιο

Το υδρογόνο είναι απαλλαγμένο από τον άνθρακα και αποτελεί ενεργειακή πηγή, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική πηγή ενέργειας. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν υδρογόνο είναι ελκυστικές για την μετάβαση σε μια οικονομία ουδέτερη στον άνθρακα. Σήμερα χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη ή αντιδραστήριο σε βιομηχανικές διεργασίες της χημικής βιομηχανίας και για την παραγωγή ουσιών, όπως η αμμωνία (Sander de BRUYN κ.ά., 2020).

Ωστόσο, σε παγκόσμιο επίπεδο το φυσικό αέριο παραμένει το κύριο καύσιμο για την παραγωγή υδρογόνου, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται αναμόρφωση του μεθανίου με ατμό (SMR). Το 60% του υδρογόνου παράγεται με αυτό το καύσιμο και με τη

συγκεκριμένη μέθοδο που είναι πιο διαδεδομένη (Natalia Aria κ.ά., 2022). Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη χαλυβουργία ως αναγωγικό μέσο, στη χημική βιομηχανία για την παραγωγή αμμωνίας και σε άλλες εφαρμογές στις ενεργοβόρες βιομηχανίες, μειώνοντας σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων. Να σημειωθεί πως ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής του, το υδρογόνο έχει και αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το υδρογόνο που παράγεται μέσω της μεθόδου SMR χρησιμοποιεί ως καύσιμο φυσικό αέριο και παράγει διοξείδιο του άνθρακα. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής πράσινου υδρογόνου όπως αποκαλείται, μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ. Το πράσινο υδρογόνο αντιπροσωπεύει μια βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική λύση για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα στις ενεργοβόρες βιομηχανίες και την ευρύτερη οικονομία, αν και η παραγωγή του είναι προς το παρόν πιο δαπανηρή (Κορέ κ.ά., 2023).

Στην Ευρώπη η Γερμανία διαθέτει την μεγαλύτερη παραγωγική ικανότητα υδρογόνου με 20% του ευρωπαϊκού συνόλου και ακολουθούν οι Κάτω Χώρες με 14%, η Πολωνία με 11%, η Ισπανία με 7%, η Ιταλία με 7% και η Γαλλία με 6%. Η χρήση υδρογόνου σε διυλιστήρια πετρελαίου είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής υδρογόνου στην Ευρώπη και ακολουθεί η χημική βιομηχανία με την παραγωγή αμμωνίας. Η Γερμανία είναι ένας από τους μεγαλύτερους επενδυτές σε τεχνολογίες υδρογόνου και έχει αναπτύξει ένα εκτεταμένο δίκτυο σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου, που προορίζονται κυρίως για μεμονωμένους μεγάλους καταναλωτές (Natalia Aria κ.ά., 2022).

Το βιομεθάνιο και το υδρογόνο μπορούν να παρέχουν πραγματικά υψηλές θερμοκρασίες, αλλά οι τεχνολογίες βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο. Το βιομεθάνιο λαμβάνεται από την βιομάζα που απαιτεί χώρο, υψηλό κόστος επένδυσης και δεν μπορεί να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα της. Το υδρογόνο απαιτεί την αλλαγή των συστημάτων θέρμανσης που έχουν ως βάση το φυσικό αέριο και η μεταφορά και η αποθήκευση του κοστίζουν περισσότερο σχέση με το φυσικό αέριο (Sgaravatti κ.ά., 2023).

Ο εξηλεκτρισμός αποτελεί μία από τις κύριες προκλήσεις για την εντατική απεξάρτηση των ενεργοβόρων βιομηχανιών από τον άνθρακα. Οι τρέχουσες τεχνολογίες επιτρέπουν στις βιομηχανικές επιχειρήσεις να αντικαταστήσουν περίπου το 20% της χρήσης φυσικού αερίου με ηλεκτρισμό. Όσον αφορά τις υψηλότερες θερμοκρασίες, πάνω από περίπου 400 °C οι διαθέσιμες τεχνολογίες επιδέχονται βελτιώσεις σχετικά με την ενεργειακή απόδοση, το

σχεδιασμό και την αποδοτικότητα. Ακόμη και αν συνυπολογιστεί το κόστος μείωσης των εκπομπών η ηλεκτροδότηση εξακολουθεί να μην είναι ανταγωνιστική. Η ανάπτυξη πιο αποδοτικών τεχνολογιών ηλεκτροδότησης και η μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ απαιτεί λύσεις για την αντιμετώπιση των υφιστάμενων κενών (Perathoner κ.ά., 2021).

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η χρήση ανανεώσιμης ενέργειας από διάφορες πηγές, όπως η ηλιακή ή η αιολική έχει γίνει αρκετά ανταγωνιστική με τις τιμές να μειώνονται σταθερά, συγκριτικά με ορυκτές πηγές ενέργειας, όπως οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα που τείνουν να έχουν υψηλότερο λειτουργικό κόστος. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από καθαρές ανανεώσιμες πηγές, μπορεί να εφαρμοστεί στις ενεργοβόρες βιομηχανίες, κυρίως μέσω συμφωνιών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (PPA) (Carmona-Martínez κ.ά., 2023).

Η ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προϋποθέτει την βελτίωση στην αδειοδοτική διαδικασία, την επέκταση και ενίσχυση του δικτύου, καθώς και την ευελιξία στη ζήτηση, με την δυνατότητα αποθήκευσης. Η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο και το υδρογόνου σε χαμηλότερες τιμές όπου είναι εφικτό (Sgaravatti κ.ά., 2023).

Η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ένα σημαντικό βήμα για την ενεργειακή μετάβαση με οικονομικές ευκαιρίες, αλλά και με πολλές μελλοντικές προκλήσεις. Η ανάπτυξη τους δεν απαιτεί καύσιμα, απαιτεί σε μεγάλο βαθμό υλικά για την κατασκευή και την λειτουργία σε σύγκριση με την παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, τα επόμενα χρόνια ο τομέας των ΑΠΕ θα είναι αντιμέτωπος με ένα «τσουνάμι αποβλήτων» που θα παραχθούν μέχρι το 2050, με το μεγαλύτερο μέρος της αξίας των κρίσιμων υλικών να χάνεται στο τέλος ζωής τους. Για παράδειγμα, ανακυκλώνονται κυρίως το αλουμίνιο και ο χαλκός στα φωτοβολταϊκά πάνελ, αλλά όχι ο άργυρος και το πυρίτιο (Trevor Hutchings κ.ά., 2023).

Η ενσωμάτωση της κυκλικής οικονομίας στον τομέα διασφαλίζει πως ο εξοπλισμός, τα υλικά και τα εξαρτήματα διατηρούνται στη μέγιστη αξία τους και επανεισάγονται στην οικονομία, χωρίς να καταλήγουν απόβλητα. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής είναι αρμόδιοι να εισάγουν την ευθύνη του παραγωγού για ολόκληρο τον τομέα ΑΠΕ και να εξασφαλιστεί

η επεξεργασία των υλικών στο τέλος ζωής των υλικών. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός για μακροζωία, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα. Οι επενδυτές από πλευρά τους οφείλουν να αξιολογούν τις επενδύσεις, σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, λαμβάνοντας υπόψη πιθανούς κινδύνους εφοδιασμού και περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τομέα (Trevor Hutchings κ.ά., 2023).

Βιομηχανική Συμβίωση

Οι ενεργοβόρες βιομηχανίες προμηθεύουν βασικά υλικά με επακόλουθο να είναι στενά συνδεδεμένες και με άλλους τομείς ή με προμηθευτές ενέργειας ή με βιομηχανίες αποβλήτων και ανακύκλωσης. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας μπορούν να συμβάλλουν στην περαιτέρω ενίσχυση αυτών των διασυνδέσεων (SWD(2021) 277 final).

Με τον όρο βιομηχανική συμβίωση αναφερόμαστε στην επαναχρησιμοποίηση υπολειμματικών υλικών, νερού και ενέργειας μιας παραγωγικής διαδικασίας και την χρήση τους ως εισροές στην ίδια εταιρεία ή σε διαφορετικές. Η βιομηχανική συμβίωση μπορεί να συμβάλλει στην μείωση τους κόστους παραγωγής δημιουργώντας περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη για τις εμπλεκόμενες εταιρείες, συμβάλλοντας στην μετάβαση προς την κυκλική οικονομία. Η συνεργασία μεταξύ των εταιρειών μπορεί να διευκολυνθεί όχι μόνο από οικονομικούς παράγοντες, όπως η μείωση του κόστους των πρώτων υλών, αλλά και από γεωγραφικούς, νομοθετικούς, πολιτικούς, λειτουργικούς, υλικοτεχνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες (Branca κ.ά., 2021).

Σε ορισμένες περιπτώσεις μεγάλες παραγωγικές εγκαταστάσεις βρίσκονται στην ίδια βιομηχανική ζώνη με άλλες, με επακόλουθο να μοιράζονται εγκαταστάσεις, υποδομές και πόρους. Για παράδειγμα, στον τομέα της χαλυβουργίας ορισμένα υπολείμματα από την διαδικασία παραγωγής μπορούν να ανακυκλωθούν εσωτερικά ή να χρησιμοποιηθούν σε άλλους τομείς. Οι σκωρίες σιδήρου και χάλυβα συνήθως επαναχρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντου, ενώ οι σκωρίες χάλυβα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε εδαφοβελτωτικά ή μαλακά εδάφη βελτιώνοντας τις φυσικές τους ιδιότητες. Η βιομηχανία αλουμινίου συμβαδίζει απόλυτα με τεχνικές ανακύκλωσης, καθώς το αλουμίνιο δεν χάνει τις αρχικές του ιδιότητες και μπορεί να επιτύχει υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης (Branca κ.ά., 2021).

Δέσμευση, αξιοποίηση και αποθήκευση άνθρακα (CCUS)

Η συγκεκριμένη τεχνολογία αφορά τη δέσμευση του CO₂ σε εγκαταστάσεις, όπου παράγεται το αέριο και όχι από την ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, μπορεί να μεταφερθεί μέσω αγωγών σε υπόγειους χώρους αποθήκευσης, όπως υπεράκτιες γεωτρήσεις. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει την δυνατότητα ευρείας χρήσης στην βιομηχανία, ειδικά σε αυτές με υψηλές εκπομπές που δεν υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις. Η παραγωγή τσιμέντου είναι μια τέτοια βιομηχανία, όπου περισσότερο από 60% των εκπομπών παράγεται από την επεξεργασία ασβεστόλιθου στην οποία δεν υπάρχουν πολλές διαθέσιμες λύσεις (Κορεΐ κ.ά., 2023).

Η μέθοδος εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα υποδομών για την μεταφορά και αποθήκευση του δεσμευμένου CO₂. Στη συνέχεια μέρος αυτού μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε άλλες βιομηχανικές διεργασίες, όπως στην παραγωγή πλαστικών ή στη γεωργία. Ωστόσο, η ζήτηση για το διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή συγκριτικά με τις ποσότητες που παράγονται από την βιομηχανία (Κορεΐ κ.ά., 2023).

6.3.2. Ανακτημένα καύσιμα στις ενεργοβόρες βιομηχανίες

Η εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας δεν μπορεί να αποτρέψει εξ'ολοκλήρου την παραγωγή αποβλήτων με την πρόληψη, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση. Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατές οι παραπάνω εφαρμογές τότε θα πρέπει να επιλέγονται λύσεις μετατροπής των αποβλήτων σε ενέργεια. Η ενεργειακή αξία των υλικών ανακτάται και εισάγεται εκ νέου στον κύκλο σύμφωνα με τα πρότυπα της κυκλικής οικονομίας (Mateus κ.ά., 2023).

Ένα μεγάλο μέρος αποβλήτων, κυρίως αστικών αλλά και άλλων, τα οποία δεν διατίθενται για ανακύκλωση και επανάχρηση απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Τα απόβλητα αυτά είναι υλικά όπως πλαστικά, χαρτί, υφάσματα και ξύλο, υψηλής θερμιδικής αξίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας και αναφέρονται συνήθως με τον όρο “RDF”. Το RDF αντιστοιχεί στον γενικότερο όρο που δίνεται στα καύσιμα που προέρχονται από αστικά απόβλητα, βιομηχανικά μη επικίνδυνα απορρίμματα, απόβλητα κατασκευών και άλλα. Το RDF μπορεί να υποστεί και περαιτέρω επεξεργασία για να ικανοποιεί συγκεκριμένες προδιαγραφές και να μετατραπεί για παράδειγμα σε στερεό (SRF), εφόσον πληρούνται συγκεκριμένα πρότυπα ποιότητας. Ορισμένες χώρες

ενσωματώνουν στην νομοθεσία τους επιπλέον εθνικά πρότυπα για το τέλος ζωής των αποβλήτων, όπως στην Αυστρία και την Ιταλία (European Investment Bank, 2024).

Οι ενεργοβόρες βιομηχανίες, όπως οι τσιμεντοβιομηχανίες είναι οι πιο αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις για την χρήση της ανακτώμενης θερμικής ενέργειας του RDF. Η περαιτέρω χρήση του RDF στις βιομηχανίες εξαρτάται από διάφορους οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες. Το ενεργειακό περιεχόμενο, η περιεκτικότητα σε υγρασία, μολυσματικά και ρυπογόνα στοιχεία και οι φυσικές απαιτήσεις καθορίζουν και τις αντίστοιχες βιομηχανικές χρήσεις ανάλογα με τον τομέα, την διεργασία και την τεχνολογία. Απαιτούμενο είναι το χαμηλότερο κόστος συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα, η ποιότητα, το κόστος μεταφοράς, η ασφάλεια εφοδιασμού και διάφορα οικονομικά κριτήρια, όπως φόροι ή τέλη. Για παράδειγμα, υψηλότερα τέλη για την απόρριψη σε ΧΥΤΑ και υψηλότερες τιμές αγοράς εκπομπών CO₂ μπορεί να έχουν θετικό αντίκτυπο στην υιοθέτηση RDF (European Investment Bank, 2024).

Η διαλογή και απομάκρυνση των απορριμμάτων είναι βασικά βήματα για την διασφάλιση της ποιότητας παραγωγής RDF. Στις βιομηχανίες τσιμέντου η παραγωγή RDF θα πρέπει να περιλαμβάνει θραύσεις και τεμαχισμό, ώστε να διασφαλίζεται η μείωση του μεγέθους των σωματιδίων. Ανάλογα με τα υλικά εισόδου, το μέγεθος των σωματιδίων, την τεχνολογία παραγωγής η σύνθεση και η μορφή του RDF ποικίλλει. Η χρήση RDF ως επιπλέον καύσιμο σε τσιμεντοκλιβάνους, σε σύγκριση με άλλες διεργασίες καύσης έχει ορισμένα θετικά, όπως μηδενικά απόβλητα, μείωση χρήσης ορυκτών καυσίμων με ταυτόχρονη ανάκτηση υλικών, ενώ η υπολειμματική τέφρα ενσωματώνεται στο τελικό προϊόν και η οξείδωση των τοξικών ρύπων είναι πλήρης (Chaves κ.ά., 2022).

Έχει αποδειχθεί πως το αποτύπωμα άνθρακα στην παραγωγή τσιμέντου μπορεί να μειωθεί με την χρήση RDF από μη ανακυκλωμένα απόβλητα που προορίζονταν για υγειονομική ταφή. Τα απόβλητα αποκτούν αξία και συμβαδίζουν με την κυκλική οικονομία, καθώς μειώνεται η διάθεση αποβλήτων και αντίστοιχα οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Chaves κ.ά., 2022).

6.3.3 Πράσινες και Ψηφιακές Τεχνολογίες

Οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα ωριμότητας και η εξέλιξη τους αποτελεί κομβικό σημείο για την επίτευξη των

στόχων του 2030 και 2050. Οι τεχνολογίες ανακύκλωσης είναι απαραίτητες για την πράσινη μετάβαση, καθώς θα εισάγουν δευτερογενείς πρώτες ύλες για την παραγωγή νέων προϊόντων. Για παράδειγμα, στην χημική βιομηχανία μπορούν να ανακυκλωθούν μικτά και μολυσματικά απόβλητα με διάφορους τρόπους.

Η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών είναι βασική συνιστώσα για τον βιομηχανικό μετασχηματισμό μέσω επίτευξης της αυτοματοποίησης, της αποδοτικότητας των πόρων και της ρύθμισης της ζήτησης. Η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάπτυξη τεχνολογιών «blockchain» μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα, τη βιωσιμότητα των διεργασιών, την παρακολούθηση της αλυσίδας εφοδιασμού και του αποτυπώματος άνθρακα των υλικών και να εισάγουν την διαφάνεια (European Commission, 2019).

Η ψηφιοποίηση έχει την δυνατότητα να συμβάλλει στην αλλαγή των καταναλωτικών προτύπων με τα ψηφιακά διαβατήρια προϊόντων να επιτρέπουν στους καταναλωτές να γνωρίζουν τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των προϊόντων που επιλέγουν. Οι εταιρείες μπορούν να διαφοροποιούνται ανάλογα με περιβαλλοντικό αποτύπωμα και να αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα στην αγορά.

6.3.4. Παράδειγμα εφαρμογής κυκλικής οικονομίας στην χαλυβουργία

Η εταιρεία «ArcelorMittal» στο Λουξεμβούργο είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής χάλυβα στον κόσμο και αποτελεί παράδειγμα βιομηχανικού οικοσυστήματος, που συνδυάζει την παραγωγή υψηλής ποιότητας χάλυβα με εφαρμογή πρακτικών της κυκλικής οικονομίας και εφαρμογή της βιομηχανικής συμβίωσης. Η εταιρεία έχει θέσει στόχους για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 30% έως το 2030 και επίτευξη ουδετερότητας άνθρακα έως το 2050 (ArcelorMittal Integrated, 2023).

Η ανακύκλωση χάλυβα υψηλής ποιότητας αποτελεί κεντρική στρατηγική της εταιρείας, έτσι ώστε να μειωθεί η ανάγκη για πρωτογενή υλικά. Ο χάλυβας προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως τις κατασκευές ή απόβλητα από άλλες βιομηχανίες. Έτσι επιτυγχάνεται η παραγωγή ανακυκλωμένου χάλυβα με λιγότερη ενέργεια και μικρότερες εκπομπές CO₂, σε σχέση με τον πρωτογενή χάλυβα. Παράλληλα, τα παραπροϊόντα από την παραγωγή αποτελούν εισροές σε άλλες βιομηχανίες. Για παράδειγμα, η σκωρία δύναται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τσιμέντου ή άλλων οικοδομικών υλικών μειώνοντας την ανάγκη εξόρυξης πρωτογενών πόρων.

Στα πλαίσια της βιομηχανικής συμβίωσης η πλεονάζουσα θερμότητα από τις διάφορες διεργασίες διοχετεύεται σε κοντινές βιομηχανίες και οικιστικές περιοχές. Επίσης, η ίδια η βιομηχανία ως εναλλακτική πηγή ενέργειας αξιοποιεί την βιομάζα με σκοπό την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

Ο ανακυκλωμένος χάλυβας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς, όπως στον κλάδο των κατασκευών, όπου θεωρείται επιτακτική ανάγκη η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης στα πλαίσια της παγκόσμιας ενεργειακής μετάβασης υπάρχει μια τεράστια ζήτηση για εξοπλισμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά που απαιτούν νέες μορφές χάλυβα υψηλής αντοχής. Η εταιρεία αναπτύσσει μια σειρά νέων προϊόντων με ανακυκλωμένο περιεχόμενο, που διαθέτουν κατάλληλες προδιαγραφές για να εξυπηρετήσουν τις συγκεκριμένες αγορές (ArcelorMittal Integrated, 2023).

6.4. Προκλήσεις και μελλοντικές τάσεις

Η υιοθέτηση και ενσωμάτωση των τεχνολογιών για την μείωση των εκπομπών στις βιομηχανίες την προσεχή δεκαετία συνεπάγεται υψηλούς τεχνολογικούς κινδύνους, μεγάλες κεφαλαιακές απαιτήσεις και πολλές φορές υψηλότερο λειτουργικό κόστος από τις ήδη υπάρχουσες συμβατικές τεχνολογίες. Οι συγκεκριμένες χρηματοδοτικές προκλήσεις απαιτούν ένα συντονισμένο πλαίσιο ευκαιριών σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο, για την προσέλκυση επενδύσεων και την οικονομική στήριξη μέσω φορολογικών και άλλων μέτρων (European Commission, 2019).

Το κόστος των τεχνολογιών των ορυκτών καυσίμων είναι τις περισσότερες φορές χαμηλότερο, σε σχέση με τεχνολογίες ουδέτερου ισοζυγίου άνθρακα. Η διαφορά εντείνεται στις περιπτώσεις που οι υφιστάμενες μονάδες έχουν ήδη αποσβέσει την επένδυση και οι επενδυτές διστάζουν, εξαιτίας της αβεβαιότητας της επένδυσης και του υψηλού αρχικού κόστους. Απαραίτητη είναι και η δημιουργία νέων και διευρυμένων υποδομών για τον εξηλεκτρισμό, την παραγωγή και διανομή υδρογόνου και για την αποθήκευση ή επαναχρησιμοποίηση άνθρακα. Η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών των συγκεκριμένων τεχνολογιών απαιτεί και την επέκταση του δικτύου και την τοποθέτηση πρόσθετων μετασχηματιστών πλησίον των εγκαταστάσεων. Μάλιστα για την μεταφορά του υδρογόνου και του CO₂ χρειάζονται αγωγοί, που οι περισσότερες περιοχές δεν διαθέτουν (Sander de BRUYN κ.ά., 2020).

Ο τομέας του σιδήρου και του χάλυβα, όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι μια βιομηχανία εντάσεως ενέργειας με μεγάλο αποτύπωμα άνθρακα, στον οποίο η χρήση του υδρογόνου στην παραγωγή χάλυβα θα μπορούσε να συμβάλλει στην απαλλαγή του τομέα από τον άνθρακα. Η κύρια πρόκληση είναι η απεξάρτηση του τομέα από τον άνθρακα, χωρίς την αποβιομηχάνιση και την διατήρηση της ανταγωνιστικότητας με την ενσωμάτωση πράσινων τεχνολογιών. Ωστόσο, η επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου προϋποθέτει οικονομικά κίνητρα και πολιτικές. Η ηλεκτρική ενέργεια και το κόστος παραγωγής του «πράσινου χάλυβα» θα καθορίσουν και την αγορά. Η ηλεκτρόλυση του υδρογόνου είναι διεργασία υψηλής έντασης ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτούνται μαζικές και μεγάλες επενδύσεις σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με χαμηλές εκπομπές. Ο κίνδυνος αποβιομηχάνισης είναι μεγάλος, όπως και η αναδιάρθρωση του τομέα γι' αυτό πρέπει να εφαρμοστούν πολιτικές και σε εθνικό και σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Natalia Aria κ.ά., 2022).

Μια άλλη σημαντική πρόκληση είναι ο διεθνής χαρακτήρας του κλάδου, με επακόλουθο τομείς όπως ο χάλυβας, τα χημικά και άλλοι να διακινούνται στις παγκόσμιες αγορές σε διεθνείς τιμές και να ματοκυλίζεται άμεσα το κόστος στους πελάτες ανάλογα τις εξελίξεις στις παγκόσμιες αγορές (Els Van de Velde κ.ά., 2024).

Η επίτευξη της μέγιστης δυνατής κυκλικότητας και της μεγιστοποίησης της χρήσης εναλλακτικών πόρων προερχόμενα από απόβλητα παρουσιάζει εμπόδια, διότι οι διαθέσιμες τεχνολογίες δεν είναι οικονομικά εφικτές. Η μείωση του κόστους μέσω οικονομιών κλίμακας, η πρόσβαση σε απόβλητα, η ανάπτυξη περαιτέρω διαθέσιμων επιλογών θα συμβάλλουν στην αξιοποίηση του μέγιστου δυνατού της κυκλικής οικονομίας. Προϋπόθεση είναι η καλύτερη δυνατή συλλογή και διαλογή των ρευμάτων αποβλήτων (European Commission, 2019). Η παραγωγή RDF έχει σχετικά υψηλό κόστος και οι παραγωγοί δεν μπορούν να βασίζονται σε σταθερή αγορά, καθώς το κόστος ποικίλλει ανάλογα με τη διαθεσιμότητα βιομηχανικών μονάδων είτε άλλων παραγόντων, όπως η υγειονομική ταφή.

Η υιοθέτηση αυστηρότερων στόχων για την υγειονομική ταφή σε συνδυασμό με μεγαλύτερα ποσοστά ανακύκλωσης και η ενσωμάτωση τεχνολογιών στις μελλοντικές εγκαταστάσεις, όπως η τεχνητή νοημοσύνη αποτελούν καθοριστικές μελλοντικές συνιστώσες.

7. Συμπεράσματα

7.1. Σύνδεση των τριών βιομηχανικών οικοσυστημάτων

Για τον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη απαραίτητη είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που συνεπάγεται την ορθολογική κατανάλωση πόρων και την μείωση της σπατάλης. Η εφαρμογή καινοτόμων κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων, η ανακύκλωση, η επαναχρησιμοποίηση, η αποδοτικότητα των υλικών μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε διάφορες βιομηχανίες όπως ο χάλυβας, το πλαστικό, το τσιμέντο, το αλουμίνιο, αλλά και τις εκπομπές στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας και των κατασκευών.

Η κλιματική αλλαγή και η κατανάλωση ενέργειας είναι αλληλένδετες, καθώς η παραγωγή και η χρήση ενέργειας αποτελούν μία από τις κύριες πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, που συμβάλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Και οι τρεις τομείς είναι γνωστοί για την υψηλή ενεργειακή τους κατανάλωση και για τις ενεργοβόρες παραγωγικές τους διαδικασίες. Μάλιστα, η τελευταία ενεργειακή κρίση που ήρθε στην επιφάνεια εξαιτίας του πολέμου Ουκρανίας-Ρωσίας τόνισε την κρίσιμη θέση της ενέργειας και δημιούργησε την ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, που θα αντικαταστήσουν την χρήση ορυκτών καυσίμων με οικονομικά επωφελή τρόπο και θα συμβάλλουν στην μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η ενσωμάτωση των αποβλήτων πίσω στην οικονομία ως ανακυκλωμένα υλικά αποτελεί βασικό κομμάτι της κυκλικής οικονομίας και απαιτεί συνεργασία κατά μήκος ολόκληρης της αλυσίδα αξίας. Για παράδειγμα, απόβλητα γυαλιού που μπορεί να προέρχονται από τον κλάδο των κατασκευών μπορούν να συλλεχθούν και κατόπιν επεξεργασίας να χρησιμοποιηθούν ως δευτερογενή πρώτη ύλη για την παραγωγή νέου γυαλιού. Η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του ίδιου υλικού είναι μικρότερη από την ενέργεια που απαιτείται από πρωτογενή υλικά.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης κατεύθυνσης δύναται και η μετατροπή αποβλήτων σε ενέργεια με σκοπό την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή αποβλήτων και την εξασφάλιση βιώσιμης ενέργειας, στα πλαίσια επίτευξης της κυκλική οικονομίας. Το σημερινό σύστημα διαχείρισης κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων και ΑΑΚ είναι ανεπαρκές στον να διαχειριστεί τον αυξανόμενο όγκο αποβλήτων. Το μη ανακυκλώσιμο τμήμα των αποβλήτων αναπόφευκτα θα καταλήξει σε χώρους υγειονομικής

ταφής. Στην κατεύθυνση της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, αλλά και της ιεράρχησης αποβλήτων η ΕΕ ενθαρρύνει μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων, που βρίσκονται υψηλότερα στην ιεραρχία, με επακόλουθο η διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής να αποτελεί την τελευταία λύση. Η απόρριψη αποτελεί απώλεια πολύτιμων πόρων που θα μπορούσαν να συμβάλλουν σημαντικά στην μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Στους συγκεκριμένους τομείς η ελαχιστοποίηση της υγειονομικής ταφής ή της αποτέφρωσης θα μπορούσε να επιτευχθεί με την ενεργειακή αξιοποίηση των παραγόμενων αποβλήτων και την χρήση της ενέργειας στις ενεργοβόρες βιομηχανίες. Για την παραγωγή RDF εκτός από τα αστικά απόβλητα, που είναι η κύρια πηγή περιλαμβάνονται και άλλα απόβλητα όπως χαρτί, υφάσματα, ξύλο και άλλα. Τα υφασμάτινα απόβλητα με μηχανική επεξεργασία έχουν υψηλή θερμογόνο δύναμη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή RDF.

Για παράδειγμα, η τσιμεντοβιομηχανία αποτελεί μια από τις πιο ενεργοβόρες βιομηχανίες παγκοσμίως, διότι απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες στους κλιβάνους που επιτυγχάνονται με την καύση σημαντικών ποσοτήτων καυσίμων, όπως το φυσικό αέριο ή τα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, το βαμβάκι, οι συνθετικές ίνες και άλλα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα μπορούν να συλλεχθούν και να υποβληθούν σε διάφορες διαδικασίες για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, που θα χρησιμοποιηθεί στους κλιβάνους παραγωγής τσιμέντου.

Στον κατασκευαστικό κλάδο αφού προηγηθεί η συλλογή και διαλογή των αποβλήτων σε οργανικά υλικά, όπως το ξύλο και μη οργανικά υλικά όπως το σκυρόδεμα, το τσιμέντο και άλλα, μπορούν να αξιοποιηθούν αντιστοίχως με σκοπό την προώθηση της κυκλικής οικονομίας. Υλικά προερχόμενα από το ξύλο, αφού καθαριστούν από υπολείμματα άλλων υλικών μπορούν να τεμαχιστούν και μέσω της καύσης να παράγουν θερμική ενέργεια που απαιτείται στις τσιμεντοβιομηχανίες. Η βιομάζα ως πηγή καυσίμου έχει ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα και μπορεί να αντικαταστήσει τα παραδοσιακά καύσιμα, όπως το φυσικό αέριο. Επίσης, το σκυρόδεμα αφού καθαριστεί από τυχόν άλλα υπολείμματα και αποκτήσει το κατάλληλο μέγεθος μέσω του τεμαχισμού μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή τσιμέντου.

Επιπλέον, να σημειωθεί πως και τα τρία βιομηχανικά οικοσυστήματα συνδέονται με κρίσιμες πρώτες ύλες που είναι ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια, ανεξαρτησία και ανθεκτικότητα της Ευρώπης. Η εξάρτηση από υλικά που προέρχονται από άλλες περιοχές,

όπως η Κίνα, το Μαρόκο, η Ρωσία μπορούν να επηρεάσουν την αλυσίδα εφοδιασμού και να έχουν αντίκτυπο στην οικονομία και στις αντίστοιχες βιομηχανίες. Τόσο οι ενεργοβόρες βιομηχανίες, όσο και οι κατασκευές ξεχωρίζουν για το υψηλό δυναμικό κυκλικότητας των κρίσιμων πρώτων υλών. Η ενίσχυση της κυκλικότητας των κρίσιμων πρώτων υλών και η δημιουργία αγοράς δευτερογενών πρώτων υλών μπορεί να εξασφαλίσει την απαραίτητη σταθερότητα, αυτονομία και βιωσιμότητα των συγκεκριμένων υλικών.

Οι ενεργοβόρες βιομηχανίες συνδέονται στενά με τους υπόλοιπους οικονομικούς τομείς μέσω της αλυσίδας αξίας, καθώς αποτελούν θεμέλια κρίσιμων και στρατηγικών αλυσίδων αξίας που καθιστούν δυνατή την οικονομία και την κοινωνία της ΕΕ. Για παράδειγμα, στον τομέα των κατασκευών η απαλλαγή από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί με εναλλακτικές λύσεις στα υλικά. Η ΕΕ θα πρέπει να καθορίσει ελάχιστο ανακυκλωμένο περιεχόμενο σε δευτερογενή μέταλλα, πλαστικά και άλλα υλικά που εμπλέκονται σε βασικές αλυσίδες αξίας.

Ωστόσο, είναι ζωτικής σημασίας να σημειωθεί πως η ζήτηση για παρθένα υλικά μπορεί να περιοριστεί, σε περίπτωση που αυξηθούν τα δευτερογενή υλικά υψηλής ποιότητας, ισάξιας με το αρχικό υλικό. Μια βασική συνιστώσα της κυκλικής οικονομίας είναι η διατήρηση της αξίας των αποβλήτων για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Παρόλο που η οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα απαιτεί από τα κράτη μέλη την ανακύκλωση υψηλής ποιότητας δεν δίνεται συγκεκριμένο όριο ή μέθοδος.

7.2. Κλωστοϋφαντουργία

Ο τομέας της κλωστοϋφαντουργίας συμπεριλαμβανομένης της βιομηχανίας της μόδας έχει σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, που αποτυπώνεται σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, από την παραγωγή των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων έως και τη διανομή, τη χρήση και την τελική διαχείριση των αποβλήτων. Η φύση του οικοσυστήματος χαρακτηρίζεται από παγκόσμιες και πολύπλοκες αλυσίδες αξίας, με εκατομμύρια παραγωγούς και δισεκατομμύρια καταναλωτές σε όλο τον κόσμο.

Οι καταναλωτές στη Ευρώπη αγοράζουν ολοένα και περισσότερα ενδύματα, με την ταχεία μόδα να οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή και κατανάλωση, με επακόλουθο την συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων, που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής ή καίγονται με σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η ανακύκλωση υφασμάτων στην

Ευρώπη παραμένει περιορισμένη, με τις περισσότερες ανακυκλωμένες ύλες να χρησιμοποιούνται για προϊόντα χαμηλότερης αξίας (down-cycling).

Η αγορά κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων στην Ευρώπη έχει αρχίσει να αναθεωρείται με την ΕΕ να καταβάλλει τεράστιες προσπάθειες μέσω διαφόρων πολιτικών και πρωτοβουλιών, και υποστηρίζοντας την έρευνα και την καινοτομία, μέσω χρηματοδοτικών έργων που στοχεύουν στην βελτίωση των τεχνολογιών ανακύκλωσης και στην μείωση της χρήσης πόρων. Έχουν υιοθετηθεί κυκλικά μοντέλα, όπως η επαναχρησιμοποίηση, η επισκευή και η παροχή μίσθωσης ρούχων.

Ωστόσο, για την επίτευξη του βασικού σεναρίου της ΕΕ για το 2030 απαιτείται να συμπληρωθούν πολλά κενά σε όλη την αλυσίδα αξίας. Η συλλογή των κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων μπορεί να χρειαστεί να διπλασιαστεί, η ικανότητα διαλογής να αυξηθεί δύο έως τρεις φορές, σε σύγκριση με την σημερινή κατάσταση. Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων είναι μια από τις κύριες λύσεις, σε συνδυασμό με την αποφυγή δημιουργίας αποβλήτων και την επέκταση της διάρκειας ζωής των ενδυμάτων.

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών είναι κρίσιμη για την επίτευξη της κυκλικής οικονομίας. Νέες μέθοδοι ανακύκλωσης, όπως η χημική ανακύκλωση, έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την ποιότητα των ανακυκλωμένων ινών και να διευκολύνουν την επαναχρησιμοποίησή τους σε προϊόντα υψηλότερης αξίας.

7.3. Κατασκευές

Η κυκλική οικονομία στον τομέα των κατασκευών, συγκριτικά με άλλους τομείς είναι αρκετά πρόσφατη με τεράστιες δυνατότητες και τεχνικές που είναι ακόμη σε εξέλιξη. Η επαρκής εφαρμογή της έχει υιοθετηθεί από ορισμένες ανεπτυγμένες χώρες και τις υπόλοιπες να προσπαθούν να κατανοήσουν τις δυνατότητες της. Το κανονιστικό πλαίσιο, η πιστοποίηση ποιότητας, η τιμολόγηση ανακυκλωμένων υλικών, οι υποδομές και οι διαθέσιμες τεχνολογίες, οι οικονομικές συνθήκες, όπως οι διαθέσιμες χρηματοδοτήσεις και η ευαισθητοποίηση των ενδιαφερόμενων μερών μπορούν να διαφέρουν σημαντικά με αποτέλεσμα να αποτελούν και τις σημαντικότερες προκλήσεις του τομέα.

Οι πολιτικές, οι ρυθμίσεις και οι κανονισμοί που ισχύουν σε κάθε χώρα, τα κίνητρα και η ώθηση διαφέρουν σημαντικά, όπως και η αντίστοιχη εφαρμογή τους, με αποτέλεσμα σε

ορισμένες το σύστημα επεξεργασίας και ανακύκλωσης να είναι καλύτερα οργανωμένο, σε ορισμένες οι φόροι υγειονομικής ταφής να είναι ψηλότεροι και σε άλλες η αγορά δευτερογενών πρώτων υλών να είναι περισσότερο δομημένη. Συνεπώς, σε ορισμένες χώρες επιβάλλεται η θέσπιση υποχρεωτικών απαιτήσεων, ενώ σε άλλες που η παράνομη απόρριψη συνεχίζεται θα πρέπει η πολιτική να στηρίζεται σε δράσεις μείωσης του συγκεκριμένου φαινομένου.

Αναφορικά με την ανακύκλωση το δυναμικό που προέρχεται από τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων είναι τεράστιο. Τα οικοδομικά υλικά που ανακυκλώνονται είναι το σκυρόδεμα, το γυαλί, ο πηλός, το τσιμέντο και άλλα, με το υλικό που έχει ανακυκλωθεί περισσότερο να είναι το σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα μπορεί εύκολα να ανακυκλωθεί σε τοποθεσία κοντά στο εργοτάξιο μειώνοντας αρκετά το κόστος. Ωστόσο, η διαδικασία μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις που τα απόβλητα απαιτούν πρόσθετη επεξεργασία το κόστος αυξάνεται σημαντικά. Οι τρέχουσες εφαρμογές για τα ανακυκλωμένα αδρανή υλικά αφορούν χαμηλές χρήσεις. Τα διεθνή πρότυπα περιορίζουν την χρήση ανακυκλωμένων αδρανών σε σκυρόδεμα για δομική χρήση, κυρίως λόγω των χαρακτηριστικών τους, όπως η σύνθεση, η ξηρή πυκνότητα, η απορρόφηση νερού και η επιθυμητή κατηγορία αντοχής.

Σε αντίθεση, η επαναχρησιμοποίηση παρέχει ταχύτερα αποτελέσματα με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και μικρότερο κόστος. Ωστόσο, η ζήτηση για δευτερογενή υλικά είναι συνήθως χαμηλή εξαιτίας της ανασφάλειας για την ποιότητα των προϊόντων, της ανεπάρκειας των προτύπων ποιότητας για δευτερογενή υλικά και της έλλειψης πληροφόρησης.

Η ασταθής ζήτηση ανακυκλωμένων αδρανών υλικών και η απουσία κριτηρίων ΕοW (αποχαρκτηρισμού) αποτελούν τροχοπέδη στην ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων και αποτελούν και ένα αρκετά αμφιλεγόμενο ζήτημα. Είναι στην ευχέρεια της κάθε χώρας να καθορίσει τα δεσμευτικά εθνικά της κριτήρια για τον αποχαρκτηρισμό για συγκεκριμένες ροές αποβλήτων. Συνεπώς, παρατηρείται έλλειψη κοινής πολιτικής και συνοχής σχετικά με τις προσεγγίσεις της κάθε χώρα, την διαφορετική προσέγγιση και τα διαφορετικά καθιερωμένα κριτήρια.

Είναι απαραίτητο να ευθυγραμμιστεί η πολιτική για τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων και η ερμηνεία από τα κράτη μέλη να είναι κοινή. Να δημιουργηθεί μια ενιαία

βάση δεδομένων με δεδομένα από όλες τις χώρες, που θα ελέγχει την εφαρμογή των κατά περίπτωση ΑΚΚ, ώστε οι τοπικές αρχές να λαμβάνουν καθοδήγηση και να ξεπερνούν οποιαδήποτε εμπόδια προκύπτουν.

7.4. Ενεργοβόρες Βιομηχανίες

Η Ευρώπη ιστορικά αποτελεί εισαγωγέα ενέργειας με υπερβολική εξάρτηση στις ρωσικές ενεργειακές προμήθειες. Η απεξάρτηση από τις ανθρακούχες εκπομπές μέσω της επίτευξης ενεργειακού μείγματος, θα επιτρέψει στις βιομηχανίες να παραμείνουν ανταγωνιστικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ενεργειακό κόστος είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που θα μπορούσε να επηρεάσει την ανταγωνιστικότητα των ευρωπαϊκών ενεργοβόρων βιομηχανιών στις παγκόσμιες αγορές.

Για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου απαιτείται η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας και πρώτων υλών με ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα σε ανταγωνιστικές τιμές. Δεδομένης της μεγάλης ποσότητας ενέργειας απαιτείται μια διατομεακή προσέγγιση, που θα μπορεί να εξασφαλίσει ενέργεια με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα από εναλλακτικές πρώτες ύλες, όπως η βιομάζα και τα απόβλητα. Η αξιοποίηση των αποβλήτων θα εισάγει δευτερογενή υλικά, ενώ τα απαέρια θα αντικαταστήσουν ορισμένα καύσιμα και θα χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες για την παραγωγή υλικών.

Κρίσιμη είναι και η αναθεώρηση εθνικών και ευρωπαϊκών προτύπων, που παρεμποδίζουν την υιοθέτηση νέων και αποδοτικών υλικών που είναι κατασκευασμένα από ανακυκλωμένα υλικά. Τα τρέχοντα πρότυπα για το σκυρόδεμα, ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα οικοδομικά υλικά, έχουν καθοριστεί πριν χρόνια και ενδεχομένως δεν λαμβάνουν υπόψη τεχνολογικές εξελίξεις που επιτρέπουν την αυξημένη χρήση ανακυκλωμένων υλικών. Επίσης, τα τρέχοντα πρότυπα για τα πλαστικά συχνά περιορίζουν την ποσότητα των ανακυκλωμένων υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτά.

Ορισμένες τεχνολογίες εναλλακτικής ενέργειας είναι ήδη διαθέσιμες και με το πέρασμα του χρόνου γίνονται όλο και πιο ανταγωνιστικές. Ορισμένες θα είναι διαθέσιμες κατά την μετάβαση προς το 2050 με τον εξηλεκτρισμό να αποτελεί το κλειδί για την απαλλαγή από τον άνθρακα. Η συμβολή των ανανεώσιμων αερίων, όπως το βιομεθάνιο και το πράσινο υδρογόνο αναμένεται να είναι ουσιαστική τα επόμενα χρόνια. Η απεξάρτηση από το φυσικό

αέριο μπορεί να είναι επιτεύξιμη, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής αντίστοιχων ποσοτήτων υδρογόνου με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα.

Η υιοθέτηση στρατηγικών απεξάρτησης από τον άνθρακα θα συμβάλλει στην πράσινη μετάβαση στον βιομηχανικό τομέα και τις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, η προσπάθεια θα είναι δαπανηρή για την ευρεία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που δυνητικά θα μπορούσαν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην ουδετερότητα ως προς τον άνθρακα. Το υψηλό κόστος επένδυσης και οι λειτουργικές δαπάνες αποτελούν το βασικότερο εμπόδιο και την μεγαλύτερη πρόκληση που θα έχει αντίκτυπο και στην τιμή του τελικού προϊόντος. Οι επενδύσεις σε υποδομές και δίκτυα που δεν δύναται να χρηματοδοτηθούν από τις εταιρείες πρέπει να υλοποιηθούν από τις αντίστοιχες κυβερνήσεις.

8. Βιβλιογραφία

Κρητικός Ε. (2021). *ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΕΞΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ*. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ-ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.

Στρατηγική της ΕΕ για βιώσιμα και κυκλικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, COM(2022) 141 final (2022).

Ababio, B. K., & Lu, W. (2023). Barriers and enablers of circular economy in construction: A multi-system perspective towards the development of a practical framework. *Construction Management and Economics*.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446193.2022.2135750>

Andreas Köhler, David Watson, Steffen Trzepacz, Clara Löw, Ran Liu, & Jennifer Danneck. (2021). *Circular economy perspectives in the EU Textile sector*. Publications Office of the European Union.

ArcelorMittal Integrated. (2023). *Preparing for the future- Smarter steels for people and planet*. <https://corporate.arcelormittal.com/>

Arputharaj, A., Raja, A. S. M., & Saxena, S. (2016). Developments in Sustainable Chemical Processing of Textiles. Στο S. S. Muthu & M. A. Gardetti (Επιμ.), *Green Fashion: Volume 1* (σσ. 217–252). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0111-6_9

Ashraf, N., & Karkare, P. (2023). *Circular threads: What EU policies mean for sustainable textile exports from Kenya*.

Bour, A., Budde Christensen, T., Hunka, A. D., Palmqvist, A., Skjold, E., & Syberg, K. (2023). Implications of circular textile policies for the future regulation of hazardous substances in textiles in the European Union. *Science of The Total Environment*, 896, 165153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165153>

Branca, T. A., Colla, V., Fornai, B., Petrucciani, A., Pistelli, M. I., Faraci, E. L., Cirilli, F., & Schröder, A. J. (2021). Current state of Industrial Symbiosis and Energy Efficiency in the European energy intensive sectors. *Matériaux & Techniques*, 109(5–6), Article 5–6. <https://doi.org/10.1051/mattech/2022014>

- Carmona-Martínez, A. A., Fresneda-Cruz, A., Rueda, A., Birgi, O., Khawaja, C., Janssen, R., Davidis, B., Reumerman, P., Vis, M., Karampinis, E., Grammelis, P., & Jarauta-Córdoba, C. (2023). Renewable Power and Heat for the Decarbonisation of Energy-Intensive Industries. *Processes*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/pr11010018>
- Caro, D., Lodato, C., Damgaard, A., Cristóbal, J., Foster, G., Flachenecker, F., & Tonini, D. (2024). Environmental and socio-economic effects of construction and demolition waste recycling in the European Union. *Science of The Total Environment*, 908, 168295. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168295>
- Chand, S., Chand, S., & Raula, B. (2023). Textile and apparel industries waste and its sustainable management approaches. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25(6), 3132–3143. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01761-1>
- Chaves, G. de L. D., Siman, R. R., Ribeiro, G. M., & Chang, N.-B. (2022). The Potential of Refuse-Derived Fuel Production in Reducing the Environmental Footprint of the Cement Industry. Στο S. S. Muthu (Επιμ.), *Environmental Footprints of Recycled Products* (σσ. 35–64). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8426-5_2
- Chen, X., Shuai, C., Wu, Y., & Zhang, Y. (2021). Understanding the sustainable consumption of energy resources in global industrial sector: Evidences from 114 countries. *Environmental Impact Assessment Review*, 90, 106609. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106609>
- Colmenero Fonseca, F., Cárcel-Carrasco, J., Preciado, A., Martínez-Corral, A., & Salas Montoya, A. (2023). Comparative Analysis of the European Regulatory Framework for C&D Waste Management. *Advances in Civil Engineering*, 2023, e6421442. <https://doi.org/10.1155/2023/6421442>
- Cristóbal García J., Caro D., Foster G., Pristerà G., Gallo F., & Tonini D. (2024). *Techno-economic and environmental assessment of construction and demolition waste management in the European Union*.
- De Ponte, C., Liscio, M. C., & Sospiro, P. (2023). State of the art on the Nexus between sustainability, fashion industry and sustainable business model. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32, 100968. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.100968>

- Dissanayake, D. G. K., & Weerasinghe, D. (2022). Towards Circular Economy in Fashion: Review of Strategies, Barriers and Enablers. *Circular Economy and Sustainability*, 2(1), 25–45. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00090-5>
- EEA Report 13/2023. (2024). *Accelerating the circular economy in Europe State and outlook 2024*. European Environment Agency.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A NEW TEXTILES ECONOMY: REDESIGNING FASHION'S FUTURE*.
- Els Van de Velde, Daniela Kretz, & Laura Lecluyse. (2024). *Monitoring the twin transition of industrial ecosystems- ENERGY INTENSIVE INDUSTRIES*. Publications Office of the European Union.
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). *An evaluation of environmental impacts of construction projects*. 29(3), 234–254.
- European Commission. (2019). *Masterplan for a Competitive Transformation of EU Energy-intensive Industries Enabling a Climate-neutral, Circular Economy by 2050—Report*. : Publications Office of the European Union.
- European Commission. (2022a). *Level(s) and the new European Bauhaus*. Publications Office of the European Union.
- European Commission. (2022b). *ERA industrial technology roadmap for low-carbon technologies in energy-intensive industries*. Publications Office of the European Union.
- European Commission. (2022c). *ERA industrial technology roadmap for circular technologies and business models in the textile, construction and energy-intensive industries*. Publications Office of the European Union.
- European Commission. (2023). *Level(s), What's in it for building renovations?* Publications Office of the European Union. European Commission
- European Environment Agency. (2022a). *Microplastics from textiles: Towards a circular economy for textiles in Europe*.

European Environment Agency. (2022b). *Textiles and the environment: The role of design in Europe's circular economy*. <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-and-the-environment-the>

European Environment Agency. (2023). *EU exports of used textiles in Europe's circular economy*.

European Investment Bank. (2023). *The EIB Circular Economy Guide- Supporting the circular transition*.

European Investment Bank. (2024). *Managing refuse-derived and solid recovered fuels-Best practice options for EU countries*. European Investment Bank.

Eurostat. (2024, Μάιος). *Final energy consumption in industry—Detailed statistics*. Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Final_energy_consumption_in_industry_-_detailed_statistics

For a resilient, innovative, sustainable and digital energy-intensive industries ecosystem: Scenarios for a transition pathway. (2021).

Fragkos, P., Fragkiadakis, K., & Paroussos, L. (2021). Reducing the Decarbonisation Cost Burden for EU Energy-Intensive Industries. *Energies*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/en14010236>

Gerres, T., Chaves Ávila, J. P., Llamas, P. L., & San Román, T. G. (2019). A review of cross-sector decarbonisation potentials in the European energy intensive industry. *Journal of Cleaner Production*, 210, 585–601. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.036>

Horváth, Á., Papp, A. T., Lipták, K., Musinszki, Z., & Markovics, K. S. (2023). Climate and Energy Issues of Energy-Intensive Sectors. *Amfiteatru Economic*, 25(64), 813–829. <https://doi.org/10.24818/EA/2023/64/813>

Huygens, D, Foschi, J., Caro, D., Caldeira, C., Faraca, G., Foster, G., Solis, M., Marschinski, R., Napolano, L., Fruergaard Astrup T., & Tonini, D. (2023). *Techno-scientific assessment of the management options for used and waste textiles in the European Union*. Publications Office of the European Union.

- Illankoon, C., & Vithanage, S. C. (2023). Closing the loop in the construction industry: A systematic literature review on the development of circular economy. *Journal of Building Engineering*, 76, 107362. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107362>
- Islam, N., Sandanayake, M., Muthukumaran, S., & Navaratna, D. (2024). Review on Sustainable Construction and Demolition Waste Management—Challenges and Research Prospects. *Sustainability*, 16(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/su16083289>
- Ismaeel, W. S. E., & Kassim, N. (2023). An environmental management plan for construction waste management. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(12), 102244. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102244>
- Jana Deckers, Tom Duhoux, & Sanna Due. (2024). *Textile waste management in Europe's circular economy*. European Environment Agency.
- Janson, U., Richter, J. L., Milios, L., & Johansson, D. (2023). Towards a Circular Building Industry. Στο W. Leal Filho, A. M. Azul, F. Doni, & A. L. Salvia (Επιμ.), *Handbook of Sustainability Science in the Future* (σσ. 1787–1810). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04560-8_148
- Jenet Andreas, Lamperti Tornaghi Marco, Tsionis Georgios, Sejersen Amanda, & Moseley Philippe. (2024). *Circular technologies in construction- Putting science into standards*. Joint Research Centre.
- Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C., & Tam, V. W. Y. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265>
- Kaniappan Chinnathai, M., & Alkan, B. (2023). A digital life-cycle management framework for sustainable smart manufacturing in energy intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, 419, 138259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138259>
- Kerll, L. (2023). *Towards a redesign of the fashion and textile industry? : Corporate perspectives on the EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles* [Master thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås]. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/3076807>

- Khan, S., & Malik, A. (2014). Environmental and Health Effects of Textile Industry Wastewater. Στο A. Malik, E. Grohmann, & R. Akhtar (Επιμ.), *Environmental Deterioration and Human Health: Natural and anthropogenic determinants* (σσ. 55–71). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7890-0_4
- Klas Wetterberg, Jack Barrie, Patrick Schröder, & Chatham House. (2022). *THE EU'S CIRCULAR ECONOMY TRANSITION FOR PLASTICS AND TEXTILES: Opportunities and challenges for trade partners in emerging markets*. UNITED NATIONS-INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION.
- Kopeć, J., Kulbacki, M., Stefaniak, S., & Hetmański, M. (2023). *Decarbonisation of energy-intensive industries in context*.
- Koszevska, M. (2018). Circular Economy—Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Research Journal*, 18(4), 337–347. <https://doi.org/10.1515/aut-2018-0023>
- Kylänlahti-Harmaala, M. (2023). *The perspectives of economic actors on EU Strategy for Sustainable and Circular Textile* [fi=Ylempi AMK-opinnäytetyö|sv=Högre YH-examensarbete|en=Master's thesis]. <http://www.theseus.fi/handle/10024/815001>
- Leal Filho, W., Dinis, M. A. P., Liakh, O., Paço, A., Dennis, K., Shollo, F., & Sidsaph, H. (2024). Reducing the carbon footprint of the textile sector: An overview of impacts and solutions. *Textile Research Journal*, 00405175241236971. <https://doi.org/10.1177/00405175241236971>
- López Ruiz, L. A., Roca Ramón, X., & Gassó Domingo, S. (2020). The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119238>
- 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>
- Mateus, M. M., Cecílio, D., Fernandes, M. C., & Neiva Correia, M. J. (2023). Refuse derived fuels as an immediate strategy for the energy transition, circular economy, and sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 32(6), 3915–3926. <https://doi.org/10.1002/bse.3345>

- Menegaki, M., & Damigos, D. (2018). A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>
- Moschen-Schimek, J., Kasper, T., & Huber-Humer, M. (2023). Critical review of the recovery rates of construction and demolition waste in the European Union – An analysis of influencing factors in selected EU countries. *Waste Management*, 167, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.05.020>
- Munaro, M. R., & Tavares, S. F. (2023). A review on barriers, drivers, and stakeholders towards the circular economy: The construction sector perspective. *Cleaner and Responsible Consumption*, 8, 100107. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2023.100107>
- Natalia Aria, Fabien Couderc, Alexandre Fleuret, Raquel Barreiros, & Dara Jouanneaux. (2022). *Hydrogen for the de-carbonization of the Resources and Energy Intensive Industries (REIIs)*. The European Economic and Social Committee (EESC).
- Nurdiawati, A., & Urban, F. (2021). Towards Deep Decarbonisation of Energy-Intensive Industries: A Review of Current Status, Technologies and Policies. *Energies*, 14(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/en14092408>
- Oliver Sartor, Nelly Azaïs, Helen Burmeister, Paul Münnich, Camilla Oliveira, & Wido Witecka. (2022). *Mobilising the circular economy for energy- intensive materials*. Agora Industry.
- Oluleye, B. I., Chan, D. W. M., Saka, A. B., & Olawumi, T. O. (2022). Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131927. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131927>
- Papadis, E., & Tsatsaronis, G. (2020). Challenges in the decarbonization of the energy sector. *Energy*, 205, 118025. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118025>
- Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., & Zorpas, A. A. (2023). Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management & Research*, 41(12), 1728–1740. <https://doi.org/10.1177/0734242X231190804>

- Perathoner, S., Geem, K. M. V., B. Marin, G., & Centi, G. (2021). Reuse of CO₂ in energy intensive process industries. *Chemical Communications*, 57(84), 10967–10982. <https://doi.org/10.1039/D1CC03154F>
- Purchase, C. K., Al Zulayq, D. M., O'Brien, B. T., Kowalewski, M. J., Berenjian, A., Tarighaleslami, A. H., & Seifan, M. (2022). Circular Economy of Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Lessons, Challenges, and Benefits. *Materials*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/ma15010076>
- Saha, K., Dey, P. K., & Kumar, V. (2024). A comprehensive review of circular economy research in the textile and clothing industry. *Journal of Cleaner Production*, 444, 141252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141252>
- Sander de BRUYN, Chris JONGSMA, Bettina KAMPMAN, Benjamin GÖRLACH, & Jan-Erik THIE. (2020). *Energy-intensive industries-Challenges and opportunities in energy transition*. Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies Directorate-General for Internal Policies.
- Saskia Hedrich, Jonatan Janmark, Moa Strand, Nikolai Langguth, & Karl-Hendrik Magnus. (2022). *Scaling textile recycling in Europe—turning waste into value*. McKinsey Apparel, Fashion & Luxury Group.
- Schumacher, K. A., & Forster, A. L. (2022). Textiles in a circular economy: An assessment of the current landscape, challenges, and opportunities in the United States. *Frontiers in Sustainability*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.1038323>
- Sehnem, S., Troiani, L., Lara, A. C., Guerreiro Crizel, M., Carvalho, L., & Rodrigues, V. P. (2024). Sustainable fashion: Challenges and barriers for advancing the circular economy. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 4097–4118. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02872-9>
- Sgaravatti, G., Tagliapietra, S., & Zachmann, G. (2023). *Adjusting to the energy shock: The right policies for European industry* (Research Report 11/2023). Bruegel Policy Brief. <https://www.econstor.eu/handle/10419/274225>

- Sharma, N., Kalbar, P. P., & Salman, M. (2022). Global review of circular economy and life cycle thinking in building Demolition Waste Management: A way ahead for India. *Building and Environment*, 222, 109413. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109413>
- Shirvanimoghaddam, K., Motamed, B., Ramakrishna, S., & Naebe, M. (2020). Death by waste: Fashion and textile circular economy case. *Science of The Total Environment*, 718, 137317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137317>
- Soto-Paz, J., Arroyo, O., Torres-Guevara, L. E., Parra-Orobio, B. A., & Casallas-Ojeda, M. (2023). The circular economy in the construction and demolition waste management: A comparative analysis in emerging and developed countries. *Journal of Building Engineering*, 78, 107724. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107724>
- Taboada, G. L., Seruca, I., Sousa, C., & Pereira, Á. (2020). Exploratory Data Analysis and Data Envelopment Analysis of Construction and Demolition Waste Management in the European Economic Area. *Sustainability*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/su12124995>
- Talla, A., & McIlwaine, S. (2022). Industry 4.0 and the circular economy: Using design-stage digital technology to reduce construction waste. *Smart and Sustainable Built Environment*, 13(1), 179–198. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2022-0050>
- Trevor Hutchings, Joan MacNaughton, Tushita Ranchan, Robin Teverson, & Peter Young. (2023). *FOR A CIRCULAR ENERGY TRANSITION ACTION PLAN FOR INDUSTRY, POLICYMAKERS AND INVESTORS*. Green Purposes Company Limited.
- Wang, H., & Luo, J. (2023). Study of the impact of industrial restructuring on the intensity of air pollutant and greenhouse gas emissions from high-energy-consuming sectors: Empirical data from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 7801–7812. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22735-0>
- Wang, Z., Hu, T., & Liu, J. (2024). Decoupling economic growth from construction waste generation: Comparative analysis between the EU and China. *Journal of Environmental Management*, 353, 120144. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120144>

Warwas I., Podgórnjak-Krzykacz A., Przywojska J., & Kozar Ł. (2021). *Going Green and Socially Responsible – Textile Industry in Transition to Sustainability and a Circular Economy*. 3(147), 8–18.

Wiegand, T., & Wynn, M. (2023). Sustainability, the Circular Economy and Digitalisation in the German Textile and Clothing Industry. *Sustainability*, 15(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su15119111>

Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., & Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of The Total Environment*, 803, 149892. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892>

Zhang, C., Hu, M., Yang, X., Miranda-Xicotencatl, B., Sprecher, B., Di Maio, F., Zhong, X., & Tukker, A. (2020). Upgrading construction and demolition waste management from downcycling to recycling in the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121718>