



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΜΣ Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Έργα

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Τίτλος : Επέκταση Λειτουργικού Κύκλου Ζωής – Προοπτικές Δεύτερης Ζωής
Πλαστικού και Γυαλιού

Κωτσαλά Κωνσταντίνα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ. Κονδύλη Αιμιλία

Cohort XI

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

This page was intentionally left blank

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Κονδύλη Αιμιλία

Καθηγήτρια

Καλδέλλης Ιωάννης

Καθηγητής

Παπαποστόλου Χριστίανα

Επίκουρη Καθηγήτρια

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε, στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Τμήματος Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Έργα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Αιμιλία Κονδύλη, όχι μόνο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου ένα καινοτόμο αντικείμενο έρευνας, αλλά και για την ουσιαστική καθοδήγησή της καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου που μου συμπαραστάθηκαν και με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπου είναι αφιερωμένη σε εκείνους.

Κωνσταντίνα Κωτσαλά

Δήλωση περί Πνευματικών Δικαιωμάτων

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κωτσαλά Κωνσταντίνα, με αριθμό μητρώου 202115 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Έργα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνει ότι, έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον Οδηγό συγγραφής διπλωματικών εργασιών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Έργα. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι προϊόν δικής μου δουλειάς και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Η δηλούσα

Κωτσαλά Κωνσταντίνα



Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε η επέκταση του λειτουργικού κύκλου ζωής του πλαστικού και του γυαλιού καθώς και οι προοπτικές δεύτερης ζωής που αφορά την περιβαλλοντική, τεχνολογική και οικονομική απόδοση αυτών των υλικών. Αρχικά, γίνεται αναφορά της κυκλικής οικονομίας και τη διαμόρφωση του μοντέλου αυτού, καθώς και την ανάγκη της χρήσης του. Έπειτα αναλύονται οι στόχοι που έχει θέσει η ΕΕ και η Ελλάδα για την αντιμετώπιση του προβλήματος των απορριμμάτων πλαστικού και γυαλιού για την ανακύκλωση των υλικών αυτών. Με την επέκταση του λειτουργικού κύκλου ζωής των υλικών αυτών δόθηκε βάση στη δεύτερη ζωή μέσω την ανακύκλωσης, της αλλαγής χρήσης και των καινοτόμων διαδικασιών μειώνοντας την ανάγκη για νέους πόρους και μετριάζοντας τα απόβλητα. Τέλος, αναλύεται η οικονομική αποδοτικότητα των μεθόδων ανακύκλωσης για τη δεύτερη ζωή του πλαστικού και του γυαλιού. Από την ενδεικτική τεχνοοικονομική ανάλυση που έγινε για τον σκοπό της εργασίας, συμπεραίνεται ότι είναι οικονομικά αποδοτικές, με μικρό χρόνο απόσβεσης. Η δεύτερη ζωή των υλικών αυτών αφορά τη δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης τους προκειμένου να μειωθεί η περιβαλλοντική τους επίπτωση και να εξοικονομηθούν φυσικοί πόροι. Τα πλαστικά, προέρχονται από ορυκτά καύσιμα όπου δημιουργούν σημαντικές οικολογικές ανησυχίες λόγω του μεγάλου χρόνου υποβάθμισής τους και της συμβολής τους στη ρύπανση. Με την ανακύκλωση και τη μετατροπή των χρησιμοποιημένων πλαστικών σε νέα προϊόντα, οι βιομηχανίες μπορούν να συμβάλλουν στον περιορισμό των πλαστικών απορριμμάτων και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή πλαστικών. Το γυαλί, σε αντίθεση με το πλαστικό, είναι πλήρως ανακυκλώσιμο χωρίς υποβάθμιση της ποιότητας, επιτρέποντάς του να ανακατασκευάζεται συνεχώς σε νέα προϊόντα. Η ανακύκλωση γυαλιού εξοικονομεί ενέργεια, πρώτες ύλες και μειώνει τις εκπομπές καθώς η δημιουργία γυαλιού από ανακυκλωμένα υλικά απαιτεί λιγότερη θερμότητα από την παραγωγή του από πρώτες ύλες. Οι εφαρμογές της δεύτερης ζωής του γυαλιού και του πλαστικού περιλαμβάνουν προηγμένες μεθόδους ανακύκλωσης, όπως η χημική ανακύκλωση για τα πλαστικά και τα συστήματα κλειστού βρόγχου για το γυαλί.

Η δυνατότητα δεύτερης ζωής για τα υλικά αυτά περιλαμβάνει επίσης την ανάπτυξη αγορών για ανακυκλωμένα προϊόντα, την προώθηση πολιτικών κυκλικής οικονομίας και την αύξηση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών. Οι καινοτομίες στην τεχνολογία ανακύκλωσης, οι υποστηρικτικοί κυβερνητικοί κανονισμοί και οι συνεργασίες μεταξύ των επιχειρήσεων είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία μιας βιώσιμης υποδομής για επαναχρησιμοποίηση υλικών. Η επέκταση αυτών των προσπαθειών μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του περιβαλλοντικού κόστους,

στη διατήρηση των πόρων και στην παροχή οικονομικών ευκαιριών στους τομείς της ανακύκλωσης και της μεταποίησης.

Λέξεις-κλειδιά: Πλαστικό, Γυαλί, Κυκλική Οικονομία, Δεύτερη Ζωή Υλικών, Επαναχρησιμοποίηση

Abstract

In this thesis, the extension of the functional life cycle of plastic and glass was developed, as well as the second life perspectives regarding the environmental, technological and economic performance of these materials. First, there is a reference to the circular economy and the formation of this model, as well as the need for its use. Then the goals set by the EU and Greece to deal with the problem of plastic and glass waste for the recycling of these materials are analyzed. By extending the functional life cycle of these materials, second life through recycling, repurposing and innovative processes has been established, reducing the need for new resources and mitigating waste. Finally, the economic efficiency of recycling methods for the second life of plastic and glass is analyzed. From the indicative techno-economic analysis made for the purpose of the work, it is concluded that they are cost-effective, with a short payback period. The second life of these materials concerns the possibility of their recycling and reuse in order to reduce their environmental impact and save natural resources. Plastics are derived from fossil fuels where they create significant ecological concerns due to their long degradation time and their contribution to pollution. By recycling and converting used plastics into new products, industries can help reduce plastic waste and reduce greenhouse gas emissions associated with plastics production. Glass, unlike plastic, is fully recyclable with no degradation in quality, allowing it to be continually remanufactured into new products. Glass recycling saves energy, raw materials and reduces emissions as creating glass from recycled materials requires less heat than producing it from raw materials. Second life applications of glass and plastic include advanced recycling methods such as chemical recycling for plastics and closed loop systems for glass.

The possibility of a second life for these materials also includes developing markets for recycled products, promoting circular economy policies and increasing consumer awareness. Innovations in

recycling technology, supportive government regulations and partnerships between businesses are critical to creating a sustainable infrastructure for materials reuse. Expanding these efforts can help reduce environmental costs, conserve resources and provide economic opportunities in the recycling and remanufacturing sectors.

Keywords: Plastic, Glass, Circular Economy, Second Life of Materials, Reuse

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2	ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ	16
2.1	ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	16
2.2	ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	20
2.3	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ.....	22
2.4	ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕΣΩ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	25
2.5	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	29
2.5.1	Κύκλος Ζωής του Πλαστικού	29
2.5.2	Κύκλος Ζωής Γυαλιού	39
3	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΕ ΓΥΑΛΙ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΑ	50
3.1	ΓΥΑΛΙ	50
3.2	ΠΛΑΣΤΙΚΟ.....	54
3.3	ΔΕΥΤΕΡΗ ΖΩΗ ΓΥΑΛΙΟΥ - ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ	58
4	ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΣΕ ΔΕΥΤΕΡΗ ΖΩΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΓΥΑΛΙΟΥ	61
4.1	ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ & ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ (ΔΕΥΤΕΡΗ ΖΩΗ)	61
4.2	ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ & ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ (ΔΕΥΤΕΡΗ ΖΩΗ).....	63
5	ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ	71
5.1	ΓΥΑΛΙ	71
5.1.1	<i>Τεχνοοικονομική Ανάλυση Επένδυσης Ανακύκλωσης κλειστού βρόγχου (closed-loop) απορριμμάτων γυαλιού.....</i>	71
5.1.2	<i>Αξιοποίηση απορριμμάτων γυαλιού και τεχνοοικονομική αξιολόγηση</i>	78
5.1.3	<i>Δυναμική Αγοράς.....</i>	80
5.1.4	<i>Περιβαλλοντικά και Κοινωνικά Οφέλη / Επιπτώσεις</i>	81
5.1.5	<i>Τεχνολογίες και Εφοδιαστική Αλυσίδα.....</i>	81
5.2	ΠΛΑΣΤΙΚΟ	82
5.2.1	<i>Τεχνοοικονομική Ανάλυση Επένδυσης Χημικής Ανακύκλωσης με Πυρόλυση των απορριμμάτων πλαστικού.....</i>	82
5.2.2	<i>Αξιοποίηση απορριμμάτων πλαστικού και Τεχνοοικονομικά Στοιχεία Επενδύσεων.....</i>	88
5.2.3	<i>Δυναμική Αγοράς.....</i>	91
5.2.4	<i>Οικονομικά Κίνητρα.....</i>	91
5.2.5	<i>Περιβαλλοντική Επίδραση και Κοινωνικά Οφέλη</i>	93
5.2.6	<i>Τεχνολογίες και Εφοδιαστική Αλυσίδα.....</i>	94
6	ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	96

6.1	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	96
6.2	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	99
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΛΥΣΕΙΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	101
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:	Γραμμική και κυκλική οικονομία.....	17
Εικόνα 2:	EoL-Επεξεργασία σύμφωνα με την ιεραρχία των αποβλήτων (Ευρωπαϊκή Ένωση).	18
Εικόνα 3:	Στρατηγικές Κυκλικότητας (πηγή: Δρ. Μιχάλης Γ. Γκούμας “ Κυκλική Οικονομία: Διεργασίες, εφαρμογές, πολιτικές και δυνατότητες χρηματοδότησης.”)	23
Εικόνα 4:	Ανακύκλωση Ρούχων (https://expro.gr).....	27
Εικόνα 5:	Παγκόσμια Παραγωγή Πλαστικών το 2022 (https://plasticseurope.org).....	32
Εικόνα 6:	Μηχανική διαδικασία ανακύκλωσης απορριμμάτων πλαστικών [21].....	35
Εικόνα 7:	Χημική Ανακύκλωση πλαστικών απορριμμάτων (https://www.greenmatch.co.uk).....	36
Εικόνα 8:	Ανακύκλωση κλειστού κύκλου γυαλιού (Closed-Loop Recycling Glass) (https://feve.org)	45
Εικόνα 9:	Θρυμματισμένο ανακυκλωμένο γυαλί και πεταμένα γυάλινα μπουκάλια	47
Εικόνα 10:	Λεπτό παράθυρο και αδρανή γυαλιού Soda-Lime και αδρανή υαλοπινάκων LCD.....	47
Εικόνα 11:	Κύκλος παραγωγής, διάθεσης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης επίπεδου γυαλιού	48
Εικόνα 12:	Ισοζύγιο μάζας που σχετίζεται με την παραγωγή μιας πράσινης γυάλινης φιάλης σύμφωνα με μια διαδικασία ανακύκλωσης κλειστού βρόχου. $g/b = g/\text{φιάλη}$	49
Εικόνα 13:	Αγοραία αξία του επίπεδου γυαλιού παγκοσμίως από το 2020 έως το 2022, με πρόβλεψη για το 2030 (https://www.statista.com).....	52
Εικόνα 14:	Ευρωπαϊκή παραγωγή πλαστικών από πολυμερή (αριστερά), Δείκτες της βιομηχανίας παραγωγής πλαστικών στην ΕΕ27 (δεξιά)	57

Εικόνα 15: (Α) Το όριο του συστήματος (παύλα) για την οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση της ανακύκλωσης κλειστού βρόχου απορριμμάτων γυαλιού, (Β) το διάγραμμα ροής των ερευνητικών προσεγγίσεων (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141155>)..... 77

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Κεφαλαιουχικές Δαπάνες (Capital Expenditure : CAPEX).....	74
Πίνακας 2: Λειτουργικές Δαπάνες (Operational Expenditure OPEX).....	75
Πίνακας 3 : Έσοδα και Τιμολόγηση προϊόντων	75
Πίνακας 4: Αρχικά κόστη επένδυσης ανακύκλωσης γυαλιού κλειστού βρόχου	80
Πίνακας 5: Κεφαλαιουχικές Δαπάνες (Capital Expenditure : CAPEX).....	85
Πίνακας 6 : Λειτουργικές Δαπάνες (Operational Expenditure OPEX).....	86
Πίνακας 7 : Έσοδα και Τιμολόγηση προϊόντων	86
Πίνακας 8: Αρχικά κόστη επένδυσης χημικής ανακύκλωσης με πυρόλυση	90

1 Εισαγωγή

Η έντονη εξάντληση των φυσικών πόρων μεγεθύνεται όλο και περισσότερο σε παγκόσμιο επίπεδο. Με την ραγδαία αύξηση του πληθυσμού στον πλανήτη, υπάρχει όλο και πιο έντονη η αύξηση της παραγωγής προϊόντων και συγκεκριμένα την παραγωγή πλαστικού και γυαλιού όπου είναι τα δύο υλικά που θα μελετηθούν και χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες. Η συνέπεια της μεγάλης αυτής παραγωγής είναι η εξάντληση των πρώτων υλών. Οι πόροι του πλανήτη εξαντλούνται με ταχύτερους ρυθμούς σε σχέση με το ρυθμό αναπλήρωσής τους και η συνεχής ανεπάρκεια οδηγεί αφενός σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος και αφετέρου στην αύξηση των τιμών των πόρων.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να υποστηρίξει τη βιώσιμη διαχείριση των υλικών μέσω της κυκλικής οικονομίας, εστιάζοντας στον τρόπο με τον οποίο το πλαστικό και το γυαλί μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, να ανακυκλωθούν ή να παρατείνουν τον κύκλο ζωής τους. Επιπλέον, με την έρευνα αυτή επιδιώκεται η ενημέρωση για τον τρόπο παράτασης του κύκλου ζωής των πλαστικών και του γυαλιού για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως τη μείωση των απορριμμάτων υγειονομικής ταφής, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή και τη μείωση της ζήτησης για παρθένα υλικά. Η αύξηση της πλαστικής ρύπανσης και η ενεργοβόρα φύση της παραγωγής γυαλιού αποτελούν βασικές ανησυχίες που αντιμετωπίζονται στο πλαίσιο αυτό. Πρωταρχικός σκοπός είναι η κυκλική οικονομία που ενθαρρύνει τη δεύτερη ζωή των υλικών για την αποφυγή της πρόωρης απόρριψής τους. Με την επέκταση του κύκλου ζωής του πλαστικού και του γυαλιού μέσω καινοτόμων μεθόδων ανακύκλωσης ή εναλλακτικών χρήσεων, εντάσσονται στις παγκόσμιες προσπάθειες για την ελαχιστοποίηση της εξόρυξης πόρων και της παραγωγής απορριμμάτων. Επίσης, διερευνώνται οι τεχνολογικές καινοτομίες όπου, επιτρέπουν την αποτελεσματική ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση αυτών των υλικών. Επιπρόσθετα, η εργασία αυτή επιδιώκει την ευαισθητοποίηση της ευθύνης των εταιρειών και των καταναλωτών για την επέκταση του κύκλου ζωής του πλαστικού και του γυαλιού, για να συμβάλουν στο βιώσιμο πρότυπο της παραγωγής και της κατανάλωσης.

Η μελέτη αυτή εστιάζει στις διαδικασίες ανακύκλωσης πλαστικών και γυαλιού, όπου περιλαμβάνεται η μηχανική ανακύκλωση (τα πλαστικά τεμαχίζονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία), η χημική ανακύκλωση (διάσπαση πολυμερών σε μονομερή ή καύσιμα) και την τήξη γυαλιού (για την παραγωγή νέων προϊόντων γυαλιού). Επίσης, εξετάζει στα εμπόδια που υπάρχουν

στην αποτελεσματική ανακύκλωση, όπως είναι η μόλυνση στα ρεύματα αποβλήτων, οι τεχνικοί περιορισμοί των σημερινών συστημάτων ανακύκλωσης και οι οικονομικές προκλήσεις όπου είναι η ζήτηση της αγοράς για ανακυκλωμένα υλικά. Επιπλέον, τους τρόπους αντιμετώπισης των πρωτοβουλιών για δεύτερη ζωή των απορριμμάτων πλαστικού και γυαλιού που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφή ή αποτεφρωτήρες. Με την επαναχρησιμοποίηση των υλικών αυτών δημιουργείται μείωση της ανάγκης για παρθένα υλικά, όπου για τα πλαστικά είναι το πετρέλαιο και για το γυαλί είναι τα ακατέργαστα ορυκτά.

Από οικονομικής πλευράς, η εργασία διερευνά την οικονομική αποδοτικότητα των υποδομών ανακύκλωσης αλλά και τη δημιουργία θέσεων εργασίας, τη μείωση του κόστους παραγωγής και τις ευκαιρίες για την αγορά των εταιρειών που ασχολούνται με προϊόντα δεύτερης ζωής. Τέλος, αναφέρονται τα ρυθμιστικά πλαίσια και η πολιτική όπου επηρεάζουν την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση του γυαλιού και του πλαστικού. Στα πλαίσια αυτά συμπεριλαμβάνονται τα προγράμματα Extended Producer Responsibility (EPR) τα οποία καθιστούν τους κατασκευαστές υπεύθυνους για τη διαχείριση των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η εργασία έχει ως αντικείμενο να προτείνει τρόπους με τους οποίους οι κυβερνήσεις και οι οργανισμοί μπορούν να διευκολύνουν τη δημιουργία μιας κυκλικής οικονομίας για το γυαλί και το πλαστικό, διασφαλίζοντας ότι τα προϊόντα δεύτερης ζωής θα γίνουν τα βασικά υλικά του βιομηχανικού και περιβαλλοντικού χώρου.

Συνοπτικά, στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει αναφορά των δράσεων και των στόχων για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας και του γενικότερου σχεδιασμού της αντιμετώπισης των αποβλήτων σχετικά με το πλαστικό και το γυαλί, αλλά και στοιχεία σχετικά με την κατάσταση της παραγωγής και της οικονομικής αποδοτικότητας της δεύτερης ζωής των προϊόντων αυτών στην ΕΕ και στην Ελλάδα.

Σε ότι αφορά την παγκόσμια παραγωγή των βασικών υλικών που θα αναλυθούν παρακάτω η παραγωγή του πλαστικού έχει μία σταθερή άνοδο μέσα στα χρόνια λόγω της ευρείας χρήσης της στη συσκευασία, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στα ηλεκτρονικά και άλλες βιομηχανίες. Από το 2021, η παγκόσμια παραγωγή πλαστικού ήταν περίπου 390 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι ετησίως, σύμφωνα με στοιχεία της Plastics Europe. Η παραγωγή αυξάνεται 3-4% ετησίως, με τις προβλέψεις να δείχνουν περαιτέρω αυξήσεις λόγω της ζήτησης για πλαστικά για διάφορες χρήσεις. [21]

Η Ασία είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός πλαστικού, συνεισφέροντας σε πάνω από το 50% της παγκόσμιας παραγωγής, συγκεκριμένα με την Κίνα μόνο να κατέχει περίπου το 30%. Από το

σύνολο του παραγόμενου πλαστικού μόνο 9% έχει ανακυκλωθεί, με το υπόλοιπο ποσοστό να καταλήγει σε χωματερές, να αποτεφρώνεται ή στο περιβάλλον. [21]

Από την άλλη, η παγκόσμια παραγωγή γυαλιού είναι σημαντική, καθώς υπάρχει ζήτηση από βιομηχανίες όπως οι κατασκευές, η αυτοκινητοβιομηχανία, οι συσκευασίες (π.χ. μπουκάλια) και η τεχνολογία (π.χ. οθόνες για συσκευές). Το 2021 η ετήσια παραγωγή γυαλιού ήταν περίπου 130 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι. Από το ποσό αυτό τα 50 εκατομμύρια ήταν γυάλινα δοχεία όπως μπουκάλια και βάζα και το υπόλοιπο ποσό χρησιμοποιήθηκε για επίπεδο γυαλί όπως παράθυρα, ίνες γυαλιού και άλλα εξειδικευμένα προϊόντα γυαλιού.[21]

Η Ευρώπη και η Κίνα συμβάλλουν σημαντικά στην παραγωγή γυαλιού. Η Ευρώπη παράγει περίπου 35-40 εκατομμύρια μετρικούς τόνους ετησίως και η Κίνα αντιπροσωπεύει περίπου το 50% της παγκόσμιας παραγωγής επίπεδου γυαλιού. Σε αντίθεση με το πλαστικό, το γυαλί έχει υψηλότερο ποσοστό ανακύκλωσης, με περίπου 30-40% του γυαλιού παγκοσμίως να ανακυκλώνεται. Στην Ευρώπη η ανακύκλωση γυαλιού ξεπερνά το 70%. [21]

Τα ερευνητικά ερωτήματα που καλείται να απάντηση η συγκεκριμένη εργασία είναι:

- Παρούσα κατάσταση και οι προοπτικές χρήσης του γυαλιού και του πλαστικού, καθώς και η αξιοποίηση τους ως υλικά.
- Υπάρχει η δυνατότητα για αξιοποίηση δεύτερης ζωής για το πλαστικό και το γυαλί ; Ποιες είναι οι περιπτώσεις υλοποίησης σχετικά με τη δεύτερη ζωή των υλικών αυτών;
- Ποιες είναι οι τεχνολογίες που έχει υλοποιηθεί η δεύτερη ζωή του πλαστικού και του γυαλιού ;
- Σε ποιες χώρες/ περιοχές αξιοποιείται η δεύτερη ζωή και με ποιον τρόπο ;
- Υπάρχουν άλλες δυνατότητες επέκτασης ζωής που δεν έχουν υλοποιηθεί ;

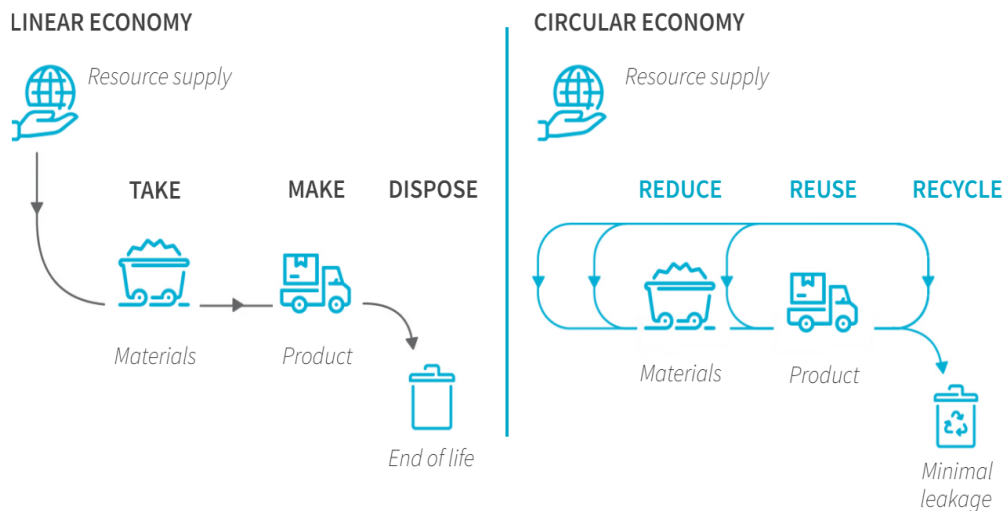
2 Βασικοί ορισμοί και εφαρμογές κυκλικής οικονομίας

2.1 Κυκλική Οικονομία

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει έντονο ενδιαφέρον γύρω από το ζήτημα της κυκλικής οικονομίας και ειδικά στην ακαδημαϊκή έρευνα, όπου υπήρξε αύξηση στις δημοσιεύσεις άρθρων στον τομέα το έτος 2015 (Lieder & Rashid, 2016). Η επίσημη χρήση του όρου της κυκλικής οικονομίας για πρώτη φορά έγινε από τους Pearce & Turner το 1990. Γενικά είχαν πραγματοποιηθεί αρκετές προσπάθειες για την απόδοση του ορισμού της κυκλικής οικονομίας επηρεαζόμενες από πολλές και διαφορετικές έννοιες. Κάποιοι συγγραφείς επέλεξαν να δημιουργήσουν τον ορισμό κατευθυνόμενο στους πόρους και συγκεκριμένα στη δημιουργία κλειστών βρόχων ροής υλικού και τη μείωση της κατανάλωσης πρωτογενών πόρων και τις επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.[3]

Η ανάλυση κύκλου ζωής ορίζεται η διαδικασία της ανάλυσης και της αξιοποίησης όλων των διαδικασιών παραγωγής ενός προϊόντος ή υλικών, ξεκινώντας από τη συγκέντρωση των πρώτων υλών από τη γη μέχρι και την επιστροφή των υλικών αυτών πίσω στη γη.[3]

Μια κυκλική οικονομία είναι μία οικονομία εναλλακτική σε σχέση με την παραδοσιακή γραμμική οικονομία (κατασκευή, χρησιμοποίηση, απόρριψη), στην οποία διατηρούμε τους πόρους σε χρήση για όσο περισσότερο χρόνο είναι δυνατό, εξάγοντας τη μέγιστη αξία από αυτούς κατά τη διάρκεια της χρήσης και μετά ανακτώντας και επαναχρησιμοποιώντας προϊόντα και υλικά. [2]



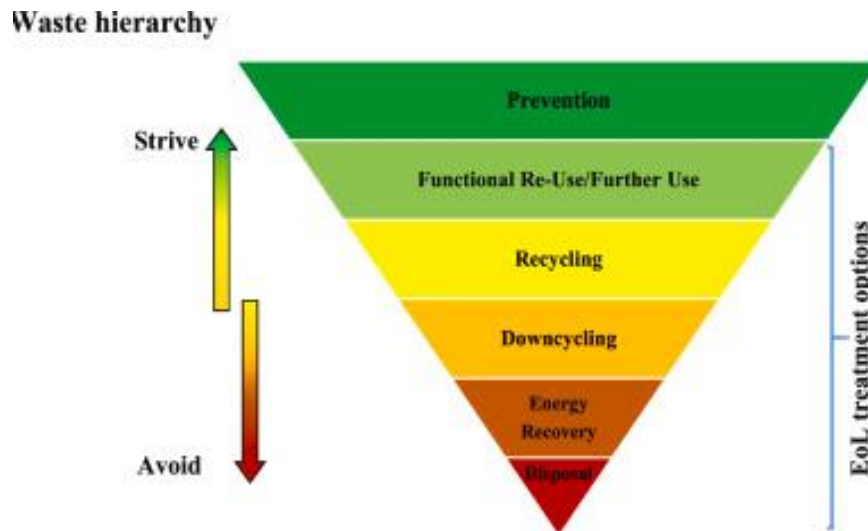
Εικόνα 1: Γραμμική και κυκλική οικονομία

Πηγή: <http://interactive.oliverwyman.com/sofs-exhibit-1/p/1>

Στη βιβλιογραφία σχετικά με την κυκλική οικονομία εμφανίζονται διαφορετικοί ορισμοί για το συγκεκριμένο θέμα. Ένας από αυτούς σύμφωνα με τον οργανισμό Ellen McArthur Foundation αναφέρει ότι η κυκλική οικονομία είναι ένα βιομηχανικό σύστημα το οποίο είναι δυνατό να αποκατασταθεί ή να αναγεννηθεί εκ προθέσεως και βάση σχεδιασμού. Αντικαθιστά την αρχή του «τέλους ζωής» με την αποκατάσταση, στρέφεται προς τη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας, εξαλείφει τη χρήση των τοξικών χημικών ουσιών, οι οποίες καταστρέφουν την επαναχρησιμοποίηση και αποσκοπεί στην εξάλειψη των αποβλήτων μέσω του ανώτερου (superior) σχεδιασμού υλικών, προϊόντων, συστημάτων και μέσω αυτού επιχειρηματικών μοντέλων. [1]

Η προέλευση της έννοιας προέρχεται από τη Γερμανία και την Ιαπωνία, όπου υπήρχε πίεση να σχηματιστεί μία πιο κλειστή κοινωνία βρόχου (Lieder & Rashid, 2016). Η Γερμανία το 1996 θέσπισε τον νόμο “Closed Substance Cycle and Waste Management Act” όπου αναδιαμορφώθηκε το 2012 ως “Circular Economy Act” (Su et al., 2013). Στη συνέχεια ακολούθησε η Ιαπωνία το 2005 με το νόμο “Basic Law for Establishing a Recycling-Based Society” (Zhang and Chen, 2014). Η χώρα που έχει υιοθετήσει πλήρως την εφαρμογή και την ανάπτυξη των εννοιών της κυκλικής οικονομίας είναι η Κίνα το 2009 με το νόμο “Circular Economy Promotion Law of the People's Republic of China” (Zhou, et al., 2014; Ghisellini, et al., 2016). Στη συνέχεια, το 2015 δημιουργήθηκε το σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σύμφωνα με την οδηγία στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα απόβλητα, την επαναχρησιμοποίηση ή την περαιτέρω χρήση ενός χρησιμοποιημένου προϊόντος. Σε περίπτωση που δεν μπορεί να γίνει κάποια από τις προαναφερόμενες ενέργειες τότε θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ανάκτηση υλικών και των

πολύτιμων ουσιών για ανακύκλωση ή μια πιο ποιοτικά κατώτερη εφαρμογή (downcycling). Όμως, η ενεργειακή ανάκτηση θα πρέπει να αποφεύγεται, σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας ή να θεωρείται το τελευταίο στάδιο της απόρριψης των απορριμμάτων, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.[2]



Εικόνα 2: EoL-Επεξεργασία σύμφωνα με την ιεραρχία των αποβλήτων (Ευρωπαϊκή Ένωση).

<https://www.sciencedirect.com/science/>

Σύμφωνα με τον οργανισμό OECD η κυκλική οικονομία περιγράφεται ως μία λύση που ενισχύει την αποδοτικότητα των πόρων και συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη, μειώνοντας την εξαγωγή πόρων και τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Επίσης, το ίδρυμα Ellen MacArthur όπου είναι ο οργανισμός που προωθεί και ορίζει το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας σε παγκόσμιο επίπεδο, βασίζεται στην εξάλειψη των αποβλήτων, τη διατήρηση των προϊόντων και υλικών σε χρήση αλλά και την αναγέννηση των φυσικών συστημάτων.

Η κυκλική οικονομία προσφέρει την προσέγγιση της οικονομικής ανάπτυξης που στοχεύει στο να ωφελήσει τις επιχειρήσεις, την κοινωνία και το περιβάλλον. Σε αντίθεση, με την παραδοσιακή γραμμική οικονομία που ίσχυε μέχρι τώρα (παίρνω, φτιάχνω, πετάω). Ο στόχος της είναι να εξαλείψει τα απόβλητα και τη ρύπανση, να διατηρήσει τα προϊόντα και τα υλικά σε χρήση και να αποκαταστήσει τα φυσικά συστήματα. [13].

Η κυκλική οικονομία δεν είναι ανακύκλωση λόγω του ότι ανακυκλώνεται σημαίνει ότι τα υλικά και τα προϊόντα παρουσιάζονται σαν μελλοντικά σκουπίδια και όχι ως ευκαιρία δημιουργίας νέων. Στην ανακύκλωση, ένα χρησιμοποιημένο προϊόν αποσυντίθεται σε πρώτες ύλες που ανακτώνται στην παραγωγή νέων προϊόντων. Από την άλλη, στην κυκλική οικονομία, το προϊόν σχεδιάζεται

εξαρχής, έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται ανακατασκευή και μεταποίηση, για να επαναχρησιμοποιηθεί ως καινούργιο. Ουσιαστικά η δεύτερη στοχεύει στην ολοκλήρωση του κύκλου ζωής των προϊόντων μέσω της επαναχρησιμοποίησης, επισκευής, ανακατασκευής και ανακύκλωσης υλικών και προϊόντων για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα, με αποτέλεσμα να μειώνει την ανάγκη για νέους πόρους.[4]

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία θεωρούν ότι ο πρώτος και πιο σημαντικός στόχος της κυκλικής οικονομίας είναι η μείωση της κατανάλωσης παρθένων πόρων, της αλόγιστης χρήσης σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής του προϊόντος και της ρύπανσης.

Ο σκοπός για την κυκλική οικονομία είναι :

- Πλήρης εικόνα για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταδίων παραγωγής και του περιβάλλοντος.
- Λήψη αποφάσεων και δράσεις για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Ενίσχυση της έννοιας της αειφόρου ανάπτυξης.

Η βιομηχανία χρειάζεται αποτελεσματικές μεθόδους για να αντιμετωπίσει τις περιβαλλοντικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει ή πρόκειται να αντιμετωπίσει. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) χρησιμοποιείται από τις αρχικές φάσεις σχεδιασμού καλύπτοντας όλο το φάσμα της παραγωγής έτσι ώστε να αποτυπωθεί όλη η έκταση των προβλημάτων και αποσκοπώντας να δοθούν συνολικές επιτυχημένες λύσεις. Η επιλογή των κατάλληλων υλικών, η διαδικασία σχεδιασμού της παραγωγικής διαδικασίας, ο βαθμός επαναχρησιμοποίησης υλικών, η εκμετάλλευση των παραπροϊόντων, καθώς και ο βαθμός ανακύκλωσης αποτυπώνονται μέσω της AKZ. Τα προϊόντα σχεδιάζονται με γνώμονα την ανθεκτικότητα, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακυκλωσιμότητα. [5]

Οι σημερινές κοινωνίες αντιμετωπίζουν πολλά προβλήματα αειφορίας, όπως η απώλεια βιοποικιλότητας, η χημική ρύπανση και η κλιματική αλλαγή (Steffen et al.,2015).Η γραμμική οικονομία βασίζεται αποκλειστικά στην εξόρυξη πόρων και δεν αποτελεί βιώσιμη λύση. Τα τελευταία χρόνια η βιωσιμότητα έχει γίνει βασική τάση με την ευαισθητοποίηση σχετικά με την ανακύκλωση των καθημερινών προϊόντων και την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας στο νοικοκυριό του μέσου καταναλωτή. Ωστόσο, το πρόβλημα της κατανάλωσης δεν θα μπορέσει να λυθεί απαραίτητα κάνοντας τα προϊόντα πιο πράσινα και βιώσιμα, αλλά βρίσκοντας τρόπους για δεύτερη ζωή των προϊόντων. Για το λόγο αυτό τα κυκλικά συστήματα περιλαμβάνουν τη μείωση ή

την εξάλειψη της χρήσης μη ανανεώσιμων πόρων και την προώθηση βιώσιμων μεθόδων παραγωγής. Τέλος η κυκλική οικονομία επιδιώκει τη δημιουργία περισσότερης αξίας από λιγότερους πόρους μέσω της καινοτομίας και της καλύτερης διαχείρισης των πόρων.[9]

Αρκετά κράτη έχουν θέσει την κυκλική οικονομία στο κέντρο της αναπτυξιακής στρατηγικής τους καθώς συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και την ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων, στον περιορισμό της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, του εδάφους και των υδάτων, την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η ενίσχυση της συνεργασίας σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα μπορεί να μειώσει τόσο τα κόστη όσο και τα απόβλητα και την περιβαλλοντική επιβάρυνση. Οι εξελίξεις στην περιβαλλοντική καινοτομία εξασφαλίζουν νέα προϊόντα, διεργασίες, τεχνολογίες και οργανωτική δομή.

Εκτός από τα οφέλη για το περιβάλλον, μπορεί να συμβάλει στην κοινωνική και οικονομική ευημερία, δημιουργώντας θέσεις απασχόλησης και να αποτελέσει πηγή ανάπτυξης και καινοτομίας. Η κυκλική οικονομία προσφέρει λύσεις για τον μετριασμό αυτών των προβλημάτων με το περιβάλλον.

2.2 Ευρωπαϊκοί στόχοι στην Κυκλική Οικονομία

Η παγκόσμια κατανάλωση υλικών (π.χ. ορυκτά καύσιμα, μέταλλα, ανόργανα συστατικά) αναμένεται να διπλασιαστεί τα επόμενα 40 χρόνια, με την ετήσια παραγωγή αποβλήτων να προβλέπεται να αυξηθεί κατά 70% έως το 2050. Το 50% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και παραπάνω από το 90% της απώλειας της βιοποικιλότητας και της πίεσης από πλευράς υδάτινων πόρων οφείλονται στην εξόρυξη και επεξεργασία των πόρων. Γι' αυτό η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία έχει οργανώσει τη στρατηγική για κλιματική ουδέτερη, αποδοτική και ανταγωνιστική οικονομία. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει στόχους στο πλαίσιο του σχεδίου δράσης της κυκλικής οικονομίας, όπου είναι μέρος της Ευρωπαϊκής Πράσινη Συμφωνίας, με σκοπό τη μετάβαση της Ευρώπης σε μία πιο βιώσιμη και αποδοτική και κυκλική οικονομία.[10]

Στους στόχους και στις επιδιώξεις είναι τα ακόλουθα :

- Μέχρι το 2035, η ΕΕ στοχεύει να ανακυκλώνει τουλάχιστον το 65% των δημοτικών αποβλήτων. Επίσης, όχι περισσότερο από το 10% των δημοτικών αποβλήτων πρέπει να καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ).
- Στόχος για 75% ανακύκλωση έως το 2030 για όλες τις συσκευασίες.

- Ανακύκλωση χαρτί 85%, σιδηρούχα μέταλλα 80%, γυαλί 75% και πλαστικό 55%

Σε ότι αφορά τα πλαστικά απόβλητα και τα πλαστικά μιας χρήσης η ΕΕ έχει θεσπίσει περιορισμούς σε ότι αφορά τα πλαστικά καλαμάκια, μαχαιροπίρουνα και πιάτα, ώστε να μειωθεί η θαλάσσια ρύπανση από την κατάληξη των πλαστικών αποβλήτων. Ο αρχικός στόχος σχετικά με τα πλαστικά είναι 50% ανακύκλωση, όμως έως το 2030 θα πρέπει να έχει αυξηθεί στο 55%. [10]

Στον τομέα των ηλεκτρονικών συσκευασιών η ΕΕ προωθεί την μακροχρόνια διάρκεια ζωής των προϊόντων μέσω της επισκευής και της επαναχρησιμοποίησης. Σε έναν άλλο βασικό τομέα που είναι η κλωστοϋφαντουργία στοχεύουν στη μείωση των αποβλήτων από και την ενίσχυση της ανακύκλωσης προτείνοντας κυκλικές πρακτικές στη βιομηχανία μέχρι το 2030. Τέλος, στον κατασκευαστικό τομέα έχει τεθεί ως στόχος της ανακύκλωσης του 70% για τα απόβλητα των κατασκευών.

Για να μπορέσουν να πραγματοποιηθούν αυτά θα πρέπει η Ευρωπαϊκή Ένωση να συντομεύσει τις διαδικασίες για τη μετάβαση στο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας, ώστε να προχωρήσει στη διατήρηση της κατανάλωσης των πόρων του πλανήτη. Με τη μετάβαση αυτή θα μειωθεί το αποτύπωμα της κατανάλωσης και θα δημιουργηθεί διπλασιασμός του ποσοστού χρήσης κυκλικών υλικών.

Σε ότι αφορά τις επιχειρήσεις, η μη αναστρέψιμη μετάβαση σε ένα βιώσιμο οικονομικό σύστημα θα αποτελεί βασικό μέρος της νέας βιομηχανικής στρατηγικής της ΕΕ. Με την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας η ΕΕ παρέχει τη δυνατότητα αύξησης του ΑΕΠ κατά 0,5% έως το 2030, με δημιουργία 700.000 νέων θέσεων εργασίας. Οι εταιρείες όπου μεταποιούν τα υλικά δαπανούν περίπου το 40% σε υλικά, τα μοντέλα κλειστού κύκλου μπορούν να αυξήσουν την κερδοφορία τους, παρέχοντας προστασία από τη διακύμανση των τιμών.

Επιπλέον, σημαντικός κανονισμός είναι η διευρυμένη ευθύνη παραγωγού (Extended Producer Responsibility (EPR)) όπου ο παραγωγός θα είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των αποβλήτων που παράγει, με αυτό τον τρόπο ο παραγωγός θα πρέπει να καλύπτει το κόστος συλλογής, επεξεργασίας και ανακύκλωσης των αποβλήτων.

Το σχέδιο της ΕΕ βασίζεται στη θέσπιση ενός ισχυρού πλαισίου πολιτικής το οποίο θα καταστήσει συνήθη πρακτική τα βιώσιμα προϊόντα, τις βιώσιμες υπηρεσίες και τα επιχειρηματικά μοντέλα, ώστε να σχηματίσει τα καταναλωτικά πρότυπα για να μην παράγονται απόβλητα. Η ΕΕ

εξακολουθεί να δείχνει τα πλεονεκτήματα που θα υπάρχουν με την κυκλική οικονομία σε παγκόσμιο επίπεδο, χρησιμοποιώντας την επιρροή της την εμπειρία της και τους οικονομικούς πόρους για την υλοποίηση των στόχων της αειφόρου ανάπτυξης για το 2030. (https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)

2.3 Στρατηγικές και Μέθοδοι Κυκλικής Οικονομίας

Η κυκλική οικονομία βασίζεται σε διάφορες στρατηγικές και μεθόδους που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, τη μεγιστοποίηση της χρήσης πόρων και την αναγέννηση των φυσικών συστατικών.

Η κυκλική οικονομία χωρίζεται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. Ευφύεστερη χρήση και κατασκευή του προϊόντος
2. Διεύρυνση της διάρκειας ζωής του προϊόντος και των μερών του.
3. Χρήσιμη εφαρμογή των υλικών.

Σε κάθε κατηγορία περιέχονται οι στρατηγικές κυκλικότητας.

Στην 1^η κατηγορία περιέχονται οι εξής στρατηγικές:

- Refuse: ένα προϊόν γίνεται περιττό εγκαταλείποντας τη λειτουργία του ή προσφέροντας την ίδια λειτουργία με ένα εντελώς διαφορετικό προϊόν.
- Rethink: πιο εντατική χρήση του προϊόντος (π.χ. με την κοινή χρήση προϊόντος)
- Reduce: αύξηση της αποδοτικότητας στην παραγωγή ή τη χρήση του προϊόντος καταναλώνοντας λιγότερους φυσικούς πόρους και υλικά.

Στην 2^η κατηγορία περιέχονται οι εξής στρατηγικές:

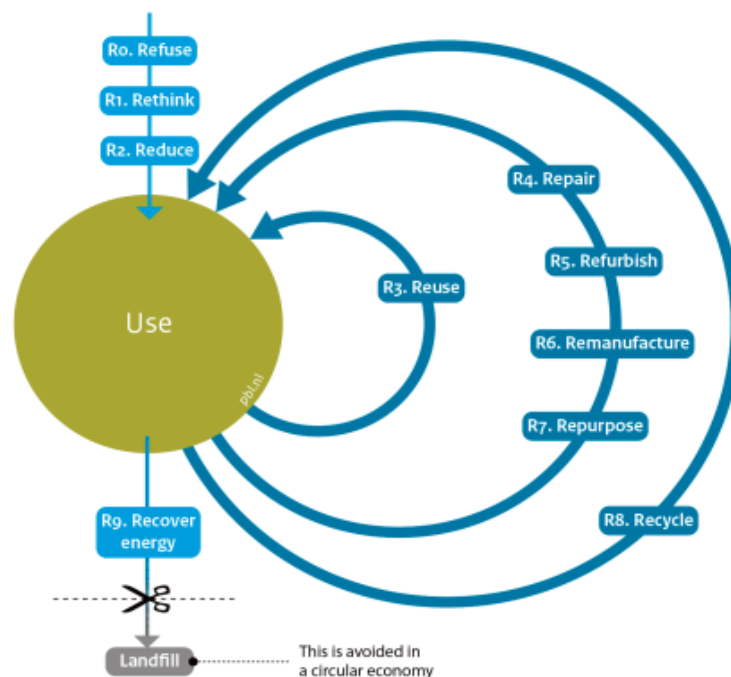
- Reuse: Επαναχρησιμοποίηση από άλλο καταναλωτή απορριπτόμενου προϊόντος, το οποίο εξακολουθεί να είναι σε καλή κατάσταση και εκπληρώνει την αρχική του λειτουργία.
- Repair: Επισκευή και συντήρηση ελαττωματικού προϊόντος ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την αρχική λειτουργία.

- Refurbish: Αποκατάσταση ενός παλιού προϊόντος και εκσυγχρονισμός του.
- Remanufacture: Χρήση τμημάτων απορριφθέντος προϊόντος σε ένα νέο προϊόν με την ίδια λειτουργία.
- Repurpose: Χρήση απορριφθέντος προϊόντος ή τμημάτων του σε ένα νέο προϊόν με διαφορετική λειτουργία.

Στην 3^η κατηγορία περιέχονται οι εξής στρατηγικές:

- Recycle: Επεξεργασία υλικών με σκοπό την επίτευξη ίδιας ή χαμηλότερης ποιότητας.
- Recover: Αποτέφρωση υλικών με ανάκτηση ενέργειας.

Οι παραπάνω στρατηγικές κυκλικότητας εμφανίζονται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3: Στρατηγικές Κυκλικότητας (πηγή: Δρ. Μιχάλης Γ. Γκούμας “Κυκλική Οικονομία: Διεργασίες, εφαρμογές, πολιτικές και δυνατότητες χρηματοδότησης.”)

Η κυκλική οικονομία βασίζεται σε ορισμένες διεργασίες ώστε να μπορεί να λειτουργήσει με διάφορες μεθόδους. Στις διεργασίες αυτές συμπεριλαμβάνεται η πραγματοποίηση της μικρότερης δυνατής χρήσης των πρωτογενών πόρων όπου η μέθοδοι που ακολουθεί είναι η ανακύκλωση, η αποδοτική χρήση των πόρων χωρίς την άσκοπη χρήση αυτών και η χρήση ανανεώσιμων πηγών

ενέργειας. Σε ότι αφορά τη διεργασία της διατήρησης της μέγιστης αξίας των υλικών και των προϊόντων ως μέθοδοι θεωρούνται η ανακατασκευή, η ανακαίνιση και η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων και των μερών που τα αποτελούν (components). Σημαντική μέθοδος για την διεργασία αυτή θεωρείται και η επέκταση της ζωής των προϊόντων, όπου είναι η μέθοδος που θα αναλυθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τέλος, για την αλλαγή των προτύπων χρήσης το προϊόν χρησιμοποιείται ως υπηρεσία, δημιουργούνται τα μοντέλα επιμερισμού και γίνεται μεταβολή στα καταναλωτικά πρότυπα. [13]

Πιο αναλυτικά, ανακύκλωση θεωρείται η χρήση των υπολειμματικών υλικών στην παραγωγική διαδικασία ώστε να διαμορφώνονται σε νέα προϊόντα. Για πολλά χρόνια αποτελούσε την παραδοσιακή εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας όπου χρησιμοποιούσε την αξία των υπαρχόντων υλικών και μείωνε τη χρήση πρωτογενών υλικών. Με τη μείωση της εξόρυξης πρωτογενών υλικών παρέχει περιβαλλοντικά οφέλη και βοηθάει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η αποδοτική χρήση των πόρων είναι η σχέση των εκροών προς τις εισροές ενός συστήματος. Για παράδειγμα στις ΗΠΑ στο σύστημα τροφίμων από αλλαγές που πραγματοποίησαν στην παραγωγή, την επεξεργασία, τη συσκευασία, τη μεταφορά και την κατανάλωση παρατηρήθηκε μείωση κατά 50% των εισροών ορυκτών καυσίμων. [5]

Επίσης, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αρκετές βιβλιογραφίες θεωρείται βασική για την κυκλική οικονομία. Τα ορυκτά καύσιμα δεν ανανεώνονται. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα 3/4 της ενεργειακής κατανάλωσης καλύπτονται από το πετρέλαιο, φυσικό αέριο και τον άνθρακα.

Τέλος, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακατασκευή και η ανακαίνιση είναι διαδικασίες όπου τα χρησιμοποιημένα προϊόντα ανακτώνται σε νέα έπειτα από τη χρήση τους και δημιουργείτε η δεύτερη ζωή. Οι διαδικασίες αυτές προσφέρουν έσοδα στις επιχειρήσεις καθώς επιτρέπουν να κερδίζουν περισσότερα έσοδα από την πώληση του προϊόντος. Για μπορέσουν να γίνουν οι παραπάνω διαδικασίες θα πρέπει οι επιχειρήσεις να δημιουργήσουν ένα σύστημα επιστροφής (takeback) των προϊόντων μετά τη χρήση και από την πλευρά των καταναλωτών να υπάρξει συνεργασία για την επιστροφή των προϊόντων. Με την ενθάρρυνση της επαναχρησιμοποίησης προϊόντων ή υλικών, έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να λειτουργήσει και αντίστροφη εφοδιαστική όπου τα συστήματα αυτά διαχειρίζονται την επιστροφή των χρησιμοποιημένων προϊόντων. [7]

Στις στρατηγικές της κυκλικής οικονομίας αντιμετώπιση του προϊόντος ως υπηρεσία, δηλαδή οι εταιρείες μπορούν να προσφέρουν διάφορες υπηρεσίες διατηρώντας όμως την ιδιοκτησία και την ευθύνη για τη συντήρηση, επισκευή και τη διαχείριση του κύκλου ζωής. Ένα παράδειγμα είναι η

μίσθωση προϊόντων όπως οχήματα, ηλεκτρονικές συσκευές από τους καταναλωτές, με αποτέλεσμα η εταιρεία να εξασφαλίζει τη μακροχρόνια χρήση και ανακύκλωσή τους.

Υιοθετώντας τις μεθόδους αυτές οι εταιρείες, οι κυβερνήσεις και οι καταναλωτές μπορούν να μειώσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των πόρων και να δημιουργήσουν βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη.

2.4 Επέκταση κύκλου ζωής των προϊόντων μέσω επαναχρησιμοποίησης και επισκευής

Η μείωση των φυσικών πόρων μεγεθύνεται σε παγκόσμια κλίμακα. Το γραμμικό μοντέλο παραγωγής, χαρακτηρίζεται από την απόρριψη του προϊόντος στο τέλος της ζωής του, είναι μία από τις κύριες αιτίες της φυσικής εξάντλησης πόρων. Το τρέχον οικονομικό μοντέλο take-make-dispose (παίρνω-φτιάχνω-διαθέτω) εξάγει πόρους από το φυσικό περιβάλλον με ταχύτερους ρυθμούς από αυτούς που μπορεί να αναπληρώσει το φυσικό περιβάλλον. Κάθε χρόνο στην ΕΕ χρησιμοποιούνται σχεδόν 15 τόνοι υλικών ανά άτομο, ενώ κάθε πολίτης της ΕΕ παράγει κατά μέσο όρο πάνω από 4,5 τόνους αποβλήτων ετησίως, εκ των οποίων πάνω από το μισό καταλήγει σε ΧΥΤΑ. [4][6][11]

Η παράταση του κύκλου ζωής των προϊόντων μέσω της επαχρησιμοποίησης και της επισκευής αποτελεί βασική αρχή της κυκλικής οικονομίας. Με την προσέγγιση αυτή μειώνονται τα απόβλητα, η εξόρυξη πρώτων υλών και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των προϊόντων. Η επαναχρησιμοποίηση περιλαμβάνει τη συνεχιζόμενη χρήση των προϊόντων για τον αρχικό σκοπό χωρίς μεγάλες αλλαγές. Για παράδειγμα, οι αγορές μεταχειρισμένων προϊόντων όπως είναι τα ρούχα. Από την άλλη, η επισκευή των προϊόντων στοχεύει στην διόρθωση των χαλασμένων αντικειμένων ώστε να παραμείνουν λειτουργικά αποφεύγοντας το στάδιο της απόρριψης, όπως για παράδειγμα τα repair café.

Η επέκταση της ζωής των προϊόντων αναφέρεται κατά βάση στο σχεδιασμό των προϊόντων και των εξαρτημάτων με στόχο να έχουν μακροχρόνια ανθεκτικότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής. Η συγκεκριμένη μέθοδος συνδέεται με τη δυνατότητα ανακατασκευής ή επαναχρησιμοποίησης. Από την άλλη, η δυνατότητα αυτή συνδέεται με το σχεδιασμό του προϊόντος.

Η διαδικασία αυτή έχει θετική περιβαλλοντική συμβολή. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί αναβάλει την διεύθυνση στην αγορά ενός νέου τεχνολογικά προηγμένου προϊόντος το οποίο θα

μπορούσε να έχει για παράδειγμα μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση (όπως στην περίπτωση οικιακών συσκευών ή αυτοκινήτων).

Ένα παράδειγμα επέκτασης κύκλου ζωής στον κτηριακό τομέα είναι στα πλαίσια των Ολυμπιακών Αγώνων του Λονδίνου το 2012 κατά τη διάρκεια της κατασκευής του Ολυμπιακού Πάρκου εφαρμόστηκαν κυκλικές προοπτικές. Ο σχεδιασμός των κτηρίων έγινε με βάση ώστε να αποδομηθούν μετά τους αγώνες. Με το συνδυασμό αυτό οδήγησε σε αλλαγή στη χρήση των υλικών, όπως για παράδειγμα με αντικατάσταση της χρήσης του σκυροδέματος με προσωρινές χαλύβδινες γέφυρες. Τα απομεινάρια σωλήνων αερίου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του Ολυμπιακού σταδίου. Η συνεργασία μεταξύ των διάφορων αλυσίδων αξίας είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση 2.500 τόνων νέου δομικού χάλυβα και τη μείωση του κόστους κατά μισό εκατομμύριο λίρες. [13]

Σε ότι αφορά τον τομέα της ένδυσης είναι αρκετές οι φορές που οι καταναλωτές μετά την αγορά νέων ρούχων καταλήγουν να πετούν τα παλιά τους ρούχα στα σκουπίδια με αποτέλεσμα να γίνονται απόβλητα και να πρέπει να παραχθούν νέες πρώτες ύλες για την κατασκευή νέων υφασμάτων.

Για παράδειγμα, μία ελληνική εταιρεία η TEXCYCLE φροντίζουν για τη συλλογή και την αξιοποίηση των συλλεχθέντων ειδών στην πορεία του κύκλου ζωής των ρούχων, εξασφαλίζοντας ότι όλα θα επαναχρησιμοποιηθούν. Η ξεχωριστή συλλογή είναι ένα από τα πιο σημαντικά στάδια για την επέκταση του κύκλου ζωής των υφασμάτων. Ο διαχωρισμός των υφασμάτων προϊόντων από τα υπολειμματικά απόβλητα, επιτρέπει την περαιτέρω διαχείριση τους όπως επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή άλλου είδους ανάκτηση. Στη συνέχεια, στη διαλογή αποφασίζεται τι αξία πρόκειται να εξαχθεί από τα υφασμάτινα προϊόντα. Γίνεται ταξινόμηση δύο σταδίων που καθορίζει τη διαλογή για επαναχρησιμοποίηση και το βαθμό ποιότητας. Μερικά από αυτά πλένονται περαιτέρω και επιδιορθώνονται για να επαναχρησιμοποιηθούν ως ρούχα. Τα επαναχρησιμοποιούμενα ρούχα πωλούνται ως μεταχειρισμένα ρούχα, που είναι ο πιο αποτελεσματικός και φιλικός προς το περιβάλλον τρόπος παράτασης της ζωής τους, αφού απαιτεί τους λιγότερους πρόσθετους πόρους και ενέργεια. Σε ότι αφορά την ανακύκλωση, ανάλογα με τη σύνθεση, τα υφάσματα ανακυκλώνονται σε νέες ίνες για κλώσιμο ή χρησιμοποιούνται στην παραγωγή μη υφασμένων προϊόντων ως μονωτικό υλικό και τσόχα.

Με την χρήση της κυκλικής οικονομίας, στοχεύουμε στο να δημιουργηθεί μία δεύτερη ζωή στα προϊόντα. Η δεύτερη ζωή θα μπορέσει να επέλθει με την επαναχρησιμοποίηση.



Εικόνα 4: Ανακύκλωση Ρούχων (<https://expro.gr>)

Η συγκεκριμένη εταιρεία στοχεύει στο ελάχιστο δυνατό ποσοστό μη ανακυκλώσιμων υλικών, το οποίο επί του παρόντος χρησιμοποιούνται για ανάκτηση ενέργειας. Τα μη χρησιμοποιήσιμα ρούχα περιλαμβάνουν μεγάλη ποικιλία υφασμάτων (ένα σημαντικό ποσοστό των οποίων είναι ανάμεικτα) και χρωμάτων, δεν έχει βρεθεί ένας κατάλληλος τρόπος ανακύκλωσης κάθε τύπου ξεχωριστά. Έτσι είναι αναγκαία η μετάβαση τους σε άλλες χρήσεις. Για παράδειγμα, η χρήση τους ως εναλλακτικό καύσιμο σε εξειδικευμένες και πιστοποιημένες εγκαταστάσεις ενεργοβόρων βιομηχανιών (όπως εργοστάσια τσιμέντου).

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να γίνεται επιτακτική ανάγκη η λειτουργία της επαναχρησιμοποίησης, Η επέκταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων αποτελεί κεντρικό παράγοντα της κυκλικής οικονομίας, καθώς η επαναχρησιμοποίηση και η ανακατασκευή των προϊόντων είναι μια από τις βασικές στρατηγικές. [16]

Η επαναχρησιμοποίηση εξοικονομεί φυσικά περιουσιακά στοιχεία πρώτων υλών και ενέργειας που ενσωματώνονται στα προϊόντα. Το 7ο Πρόγραμμα «Δράση για το Περιβάλλον» απαιτεί μέτρα για την αντιμετώπιση της αντοχής, της ικανότητας αποκατάστασης, της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και της διάρκειας ζωής των προϊόντων (European Environment Agency, 2016).

Η επαναχρησιμοποίηση και η επισκευή ενδέχεται να εφαρμοστούν ευρύτερα σε χώρες με τα χαμηλότερα εισοδήματα στην Ευρώπη για οικονομικούς λόγους και λόγω περιορισμένης πρόσβασης σε πόρους. Εντούτοις, αυτά τα πρότυπα αμφισβητούνται από την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των προϊόντων μαζί με την καινοτομία και τις ταχέως μεταβαλλόμενες τάσεις της αγοράς, οι οποίες οδηγούν σε γρήγορη απώλεια της αξίας των προϊόντων με τη πάροδο του χρόνου.

Ωστόσο, το ενδιαφέρον για επαναχρησιμοποίηση έχει αυξηθεί σημαντικά, όπως φαίνεται από πρωτοβουλίες της κοινωνίας των πολιτών. Τα αναδυόμενα επιχειρηματικά μοντέλα επιδεικνύουν διάφορους τρόπους παράτασης της διάρκειας ζωής των προϊόντων ή των εξαρτημάτων εξοικονομώντας κόστος και υλικά, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας (European Environment Agency, 2016).

Η ανακύκλωση μπορεί να θεωρηθεί ως στρατηγική πόρων που μπορεί να χωριστεί σε δύο τύπους στην:

1. Ανακύκλωση υλικών
2. Ανακύκλωση υλικών και προϊόντων

Η πρώτη θεωρείται ως επαναχρησιμοποίηση των υλικών προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους για νέα προϊόντα, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για παρθένα υλικά. Από την άλλη, η ανακύκλωση υλικών και προϊόντων θεωρείται ευρέως ως μέσο για την παράταση της αξίας των προϊόντων με την ανακαίνιση και την ανακατασκευή προϊόντων που επαναχρησιμοποιούν τα υλικά προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

Ο στόχος της είναι να μειωθεί το επίπεδο κατανάλωσης (σε σύγκριση με τις τρέχουσες τυπικές πρακτικές κατανάλωσης), να σταθεροποιηθεί η προσπάθεια των καταναλωτών και η συλλεγόμενη αξία να είναι προσανατολισμένη στα προϊόντα όπως οι υπηρεσίες που σχετίζονται με το προϊόν.

2.5 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.5.1 Κύκλος Ζωής του Πλαστικού

Ο όρος πλαστικό είναι κοινή ονομασία που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μία ευρεία ποικιλία συνθετικών ή ημισυνθετικών οργανικών στερεών υλικών.

Τα πλαστικά είναι σχεδόν αποκλειστικά πολυμερή μεγάλου μοριακού βάρους, και λόγω αυτού οφείλεται η ονομασία πολλών εξ αυτών, φέρει το πρόθεμα (πολύ-) και που μπορεί να περιέχουν πρόσθετα, οργανικά ή μη, για βελτίωση των ιδιοτήτων τους (μηχανή αντοχή, εμφάνιση, χρώμα κλπ.). Το πλαστικό αντιπροσωπεύει από μόνο του, ένα συνθετικό υλικό που αποτελείται από πολυμερή ως κύριο συστατικό. Το πλαστικό θεωρείται οργανικό υλικό όπως το ξύλο, το χαρτί, το μαλλί, το βαμβάκι κ.λπ. Η λέξη πλαστικό προέρχεται από την ελληνική λέξη πλαστικός, που σημαίνει ότι μπορεί να διαμορφώνει ή να διαμορφώνεται, κάτι που είναι κατάλληλο για πλάσιμο, για διαμόρφωση, εύπλαστο. [69]

Τα πλαστικά μπορούν να τα κατατάξουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στα θερμοπλαστικά και στα θερμοσκληρυνόμενα. Τα θερμοπλαστικά είναι πολυμερή, που αποκτούν μεγαλύτερη πλαστικότητα δηλαδή ευκολία στο να παραμορφωθούν και να αποκτήσουν το επιθυμητό σχήμα, κάθε φορά που θερμαίνονται. [69]

Τα θερμοσκληρυνόμενα κατά την πρώτη θέρμανση και ανάμιξη των συστατικών τους, προκαλείται πολυμερισμός και σκλήρυνση κατά τρόπο μη αντιστρεπτό. Δηλαδή, τα θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά, μετά την πήξη τους, δεν δύναται να μορφοποιηθούν περαιτέρω. [69]

Θερμοπλαστικά Υλικά

- Πολυπροπυλένιο (PP) : Συσκευασίες τροφίμων, οικιακές συσκευές
- Πολυαιθυλένιο (PE) : Πλαστικές σακούλες, πλαστικές φιάλες, σωλήνες
- Χλωριούχο πολυβινύλιο ή πολυβινυλοχλωρίδο (PVC) : Μόνωση ηλεκτρικών καλωδίων, δίσκοι γραμμοφώνων, κουφώματα
- Νάιλον ή Πολυαμίδες : Διακόπτες, πρίζες, τάπητες, μελανοταινίες, συνθετικά υφάσματα, πετονιά.

Θερμοσκληρυνόμενα Υλικά

- Βακελίτης : Καλές μηχανικές ιδιότητες, προφυλακτήρες αυτοκινήτων, δάπεδα.
- Εποξειδική ρητίνη : Ακριβό υλικό, κόλλες, ανθρακονήματα, σκάφη θαλάσσης.
- Πολυστερικές ρητίνες (τα πολυστερικά πλαστικά γενικά μπορεί να είναι είτε θερμοπλαστικά είτε θερμοσκληρυνόμενα ανάλογα με τη χημική σύσταση, ενώ οι ακόρεστοι πολυεστέρες ή αλλιώς πολυστερικές ρητίνες είναι θερμοσκληρυνόμενο) : Παρόμοιες εφαρμογές με την εποξειδική ρητίνη, αλλά φθηνότερη.
- Βινυλεστέρας : Μηχανικές ιδιότητες και κόστος κάπου ανάμεσα σε πολυεστέρες και εποξειδικές ρητίνες, χρησιμοποιείται εκτεταμένα σε σύνθετα ενισχυμένα με ίνες πλαστικά.

Οι πολυολεφίνες είναι ο κορυφαίος τύπος πλαστικού (ΟΕ και ΡΡ), ακολουθούμενες από PVC, PET και ΡΟR. Η συσκευασία είναι η κορυφαία εφαρμογή όσον αφορά τη ζήτηση για καθένα από αυτά τα πλαστικά, με εξαίρεση το PVC και το ΕΡC που χρησιμοποιούνται κυρίως στις κατασκευές, σε εφαρμογές όπως σωλήνες και μονώσεις. Τα πλαστικά παράγονται κατά βάση από πετροχημικά, αν και υπάρχουν τα βιοπλαστικά όπου κατασκευάζονται από ανανεώσιμες πηγές, όπως το άμυλο καλαμποκιού. [70]

Τα πλαστικά χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό των βιομηχανιών, όπως στη συσκευασία, την κατασκευή, τα ηλεκτρονικά και την αυτοκινητοβιομηχανία, λόγω του ότι είναι ελαφριά, ανθεκτικά και ευέλικτα. Όμως, μία από τις βασικές του προκλήσεις είναι ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος, καθώς πολλά είδη χρειάζονται πάρα πολλά χρόνια για να μπορέσουν να αποσυντεθούν, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ρύπανση και ιδιαίτερα στους ωκεανούς. [69]

Επίσης, τα πλαστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους και εάν αυτές οι πρώτες ύλες είναι βιώσιμες ή όχι.

Οι κύριες διακρίσεις των πλαστικών υλικών είναι εάν μπορούν να λιώσουν και να σκληρυνθούν αναστρέψιμα μέσω θέρμανσης, το οποίο είναι ιδιότητα των θερμοπλαστικών υλικών, διαφορετικά αν η διαδικασία είναι μη αναστρέψιμη, το υλικό ταξινομείται ως θερμοσκληρυνόμενο πλαστικό. Επιπλέον, ο κύκλος ζωής των πλαστικών υλικών είναι πολύπλοκος και περιλαμβάνει διάφορους τομείς εφαρμογής, διαδικασίες και πρακτικές, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εφαρμογή των οριζόντιων μέτρων. Τα πλαστικά είναι υλικά μεγάλης αξίας και εξαιρετικά χρήσιμα για τη βιομηχανία, την οικονομία και την κοινωνία συνολικά. Υπάρχουν σε όλους τους τομείς, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα. [70]

Ιστορικά :

Το 1855 ο Αλεξάντερ Παρκς παρασκεύασε το πρώτο πλαστικό πολυμερές. Όμως, η ιστορία της «επανάστασης του πλαστικού» ξεκινάει από το 1902 με την εμφάνιση της κλωστής ρεγιόν, του πρώτου συνθετικού υλικού. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1909 ο Βέλγος επιστήμονας Λέο Μπέκελαντ, όπου από πολλούς θεωρήθηκε ως ο πατέρας του πλαστικού, αφήνει μία κληρονομιά στις επόμενες γενιές, τον βακελίτη και δημιουργεί τις βάσεις για τον αιώνα του πλαστικού. [71]

Το 1925 ο Δρ. Μπράντενμπεργκ εφευρίσκει το σελοφάν, ένα υλικό που είναι λεπτό σαν ύφασμα αλλά δεν είναι ύφασμα, που μοιάζει με χαρτί αλλά δεν είναι χαρτί, που είναι διαφανές σαν γυαλί αλλά δεν είναι γυαλί, αλλά μπορεί να τυλίξει τα πάντα διατηρώντας τα καθαρά. Το 1927 ο Δρ. Σέμον εφευρίσκει το υλικό PVC. Ο Ουάλας Κάρδερς (Wallace Carothers) παρασκεύασε το συνθετικό πλαστικό νάιλον το 1935 στα εργαστήρια της εταιρείας DuPont. Το 1936 εφευρίσκεται το πλέξιγκλας, το 1938 το τεφλόν, το 1940 οι πρώτες νάιλον κάλτσες, το 1942 τα τάπερ, το 1948 ο πρώτος δίσκος βινυλίου που έδωσε πνοή και δυναμική στον κόσμο της μουσικής. [71]

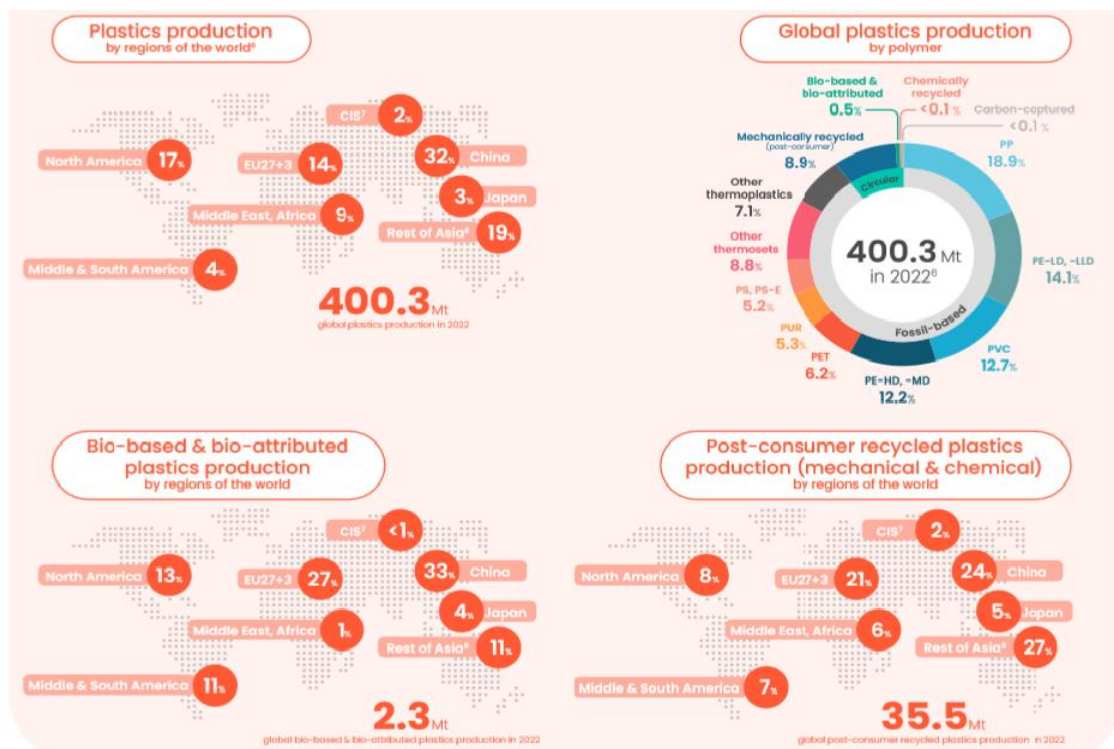
Η πρώτη μαζική παραγωγή πλαστικού έγινε στη δεκαετία του 1950, όπου η κατανάλωση πλαστικού είχε εκτοξευθεί από 1,5 εκατομμύρια τόνους το 1950 σε 460 εκατομμύρια τόνους το 2019, και αναμένεται ο τριπλασιασμός του μέχρι το 2060. Επιπλέον, η παγκόσμια παραγωγή πλαστικών αυξάνεται επίσης, από 359 εκατομμύρια τόνους το 2018 σε 390,7 εκατομμύρια το 2021, όπου το 51% έχει παραχθεί στην Ασία, με την Κίνα να κυριαρχεί στην αγορά με 32% το 2011 με μερίδιο της παγκόσμιας παραγωγής. Ωστόσο, στην Ευρώπη οι αποτελεσματικές πολιτικές κατάφεραν να περιορίσουν την πλαστική ζήτηση από 61,8 Mt το 2018 σε 55 Mt μέχρι 2020. Η κύρια τελική χρήση για τα πλαστικά είναι η συσκευασία όπου αντιπροσωπεύει το 40% της συνολικής ζήτησης στην Ευρώπη, με τον κατασκευαστικό και κτιριακό τομέα να κατατάσσεται στη δεύτερη θέση με λίγο περισσότερο από 20% της συνολικής ζήτησης

Τον 20^ο αιώνα, η παγκόσμια παραγωγή πλαστικών αυξήθηκε ραγδαία, η βιομηχανία εκμετάλλευσης και βαθιάς επεξεργασίας ορυκτών καυσίμων και φυσικού αερίου δημιούργησε τις προϋποθέσεις για μία εξαιρετική παραγωγή πλαστικών μαζών. Το πρώτο πλαστικό παράχθηκε στη Νέα Υόρκη το 1907 από τον Leo Beekland, σήμερα χρησιμοποιούνται πολλά είδη πλαστικών από τα οποία παράγονται πολυάριθμα είδη καθημερινής χρήσης. Η ανάπτυξη των πλαστικών υλικών άνησε κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα. Η κατασκευή πλαστικών υλών στον κόσμο αυξήθηκε από λιγότερο από 5 εκατομμύρια τόνους το 1997. Η κατανάλωση πλαστικών προϊόντων στη Δυτική Ευρώπη ήταν περίπου 28 εκατομμύρια τόνους το 1997, η οποία αντιπροσώπευε το 35% της παγκόσμιας παραγωγής. [71]

Τα πλαστικά απορρίμματα από συσκευασίες αντιπροσώπευαν περίπου το 60% του συνολικού ποσού των πλαστικών αποβλήτων. Στον τομέα διανομής και στον βιομηχανικό τομέα παρήγαγαν περίπου 2,6 εκατομμύρια τόνους από συνολικά 9,8 εκατομμύρια τόνους χρησιμοποιημένων συσκευασιών που παράγονται στη Δυτική Ευρώπη. Τα οικιακά απορρίμματα είναι περισσότερο από το 70% του συνόλου των πλαστικών απορριμμάτων και συσκευασιών. [19][20]

Η παγκόσμια παραγωγή φτάνει τα 50 κιλά ανά άτομο ετησίως. Για παράδειγμα, η παραγωγή αυτοκινήτων απαιτεί το 20% του βάρους να είναι πλαστικό για διάφορα είδη. Το πλαστικό χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή συσκευασιών, π.χ. στην Ινδία το 42% του πλαστικού χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό. [19][20]

Το 2022 η ετήσια παραγωγή πλαστικού παγκοσμίως ήταν 400.3 Mt, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.



Εικόνα 5: Παγκόσμια Παραγωγή Πλαστικών το 2022 (<https://plasticseurope.org>)

Τα πλεονεκτήματα του πλαστικού είναι πολλά: είναι εύκαμπτο υλικό, επεξεργάζεται εύκολα και παίρνει οποιοδήποτε σχήμα, είναι δυνατό, ελαφρύ, αδρανές, έχει χαμηλό κόστος και είναι άνετο στη χρήση. Το κύριο μειονέκτημά του είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος γιατί είναι μη διασπώμενο προϊόν. Αν και σήμερα παράγονται βιοδιασπώμενα πλαστικά, τα προβλήματα που φέρνουν τα πλαστικά στο περιβάλλον είναι μεγάλα και δαπανηρά. Το 2015, η ανακύκλωση

παρήγαγε το 19,5 % των πλαστικών ειδών , το 25,5% των πλαστικών απορριμμάτων αποτεφρώθηκε, ενώ το 55% παρέμεινε σε χωματερές, με περίπου εκατομμύρια τόνους πλαστικού να καταλήγουν στους ωκεανούς κάθε χρόνο. Τα αρνητικά προβλήματα που έφερε η χρήση πλαστικού, ανάγκασαν την επιστήμη να αναζητήσει υλικά και άλλες τεχνολογίες. Στο τέλος του κύκλου ζωής τους, τα προϊόντα από πλαστικά υλικά γίνονται απόβλητα και πρέπει να τυγχάνουν σωστής διαχείρισης και ανακύκλωσης προκειμένου να ανακτηθούν και να επανεισαχθούν στις παραγωγικές διαδικασίες ενισχύοντας έτσι τη μετάβαση προς μία κυκλική οικονομία. [22]

Υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες ανακύκλωσης, η μηχανική , η διάλυση και η χημική. Ο συνδυασμός και η συμπληρωματικότητα αυτών των τεχνολογιών αποτελούν την κινητήρια δύναμη για την επίτευξη των στόχων της ΕΕ και της βιομηχανίας για βιωσιμότητα, κυκλικότητα και κλιματική ουδετερότητα.

Τα πλαστικά απόβλητα είναι ένας από τους βασικούς περιβαλλοντικά απειλητικούς παράγοντες που δημιουργούνται σε μεγάλη ποσότητα και προκαλούν σοβαρές ζημιές τόσο στον πληθυσμό όσο και στο περιβάλλον. Τα πλαστικά απόβλητα που παράγονται στη γη καταλήγουν σε υδάτινα σώματα, με αποτέλεσμα επιζήμιες επιπτώσεις στα στον υδροφόρο ορίζοντα και γενικότερα του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Η διερεύνηση διάφορων προσεγγίσεων για τη μετατροπή των πλαστικών απορριμμάτων σε νέα προϊόντα είναι γνωστός ως ένας αποτελεσματικός τρόπος διαχείρισης τους και ενίσχυσης της βιωσιμότητας του περιβάλλοντος. [18]

Λόγω του ευρέος φάσματος οικιακών και βιομηχανικών εφαρμογών, τα πολυμερή υλικά έχουν γίνει ένα αδιάσπαστο συστατικό της τρέχουσας ζωής. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος ανέφερε ότι από τους τόνους πλαστικών απορριμμάτων που παράγονται μόνο το 7% ανακυκλώνεται ετησίως. Τα αρχεία έδειξαν ότι μόνο το 8% του πλαστικού αποτεφρώνεται και το υπόλοιπο καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής.[21]

Τα θερμοσκληρυνόμενα, τα θερμοπλαστικά και τα ελαστομερή πλαστικά απόβλητα δεν αποικοδομούνται εύκολα και θα μπορούσαν να προκαλέσουν πρωτογενή περιβαλλοντική μόλυνση. Η σωστή διαχείριση των πλαστικών είναι το κλειδί για την επίλυση περιβαλλοντικών και βιωσιμότητων ζητημάτων.

Οι τυπικές τεχνικές διαχείρισης απορριμμάτων για πλαστικά υλικά περιλαμβάνουν τη θερμική διάσπαση, τις χωματερές, τη μηχανική κονιοποίηση, την αποτέφρωση, την ανακύκλωση και τη μικροβιολογική αποσύνθεση. [23]

Το κλασικό μοντέλο χρησιμοποιεί πόρους που βασίζονται στην στρατηγική «take-make-consume-waste». Είναι απαραίτητη η μετάβαση από το γραμμικό μοντέλο σε ένα μοντέλο παραγωγής και αποκατάστασης που βασίζεται στην ιδέα της κυκλικής οικονομίας.

Το ποσοστό ανακύκλωσης πλαστικών στην Ευρώπη είναι χαμηλό, προτρέποντας τις εξελίξεις στην τεχνολογία ανακύκλωσης και τις στρατηγικές για την αύξηση της κυκλικότητας.

Για το λόγο αυτό, οι ερευνητές έχουν στρέψει την προσοχή τους σε τρόπους ανακύκλωσης όπως είναι η μηχανική, η διάλυση και η χημική ανακύκλωση.

Τεχνολογίες Ανακύκλωσης

Η μηχανική ανακύκλωση (Mechanical recycling : MC) είναι η τεχνολογία αναφοράς ανακύκλωσης εδώ και χρόνια. Η διάλυση ή SBR (solvent-based recycling) και η χημική ανακύκλωση (chemical recycling : CR) όπου αναμένεται να συμβάλουν στη βελτίωση της κυκλικότητας των πλαστικών. Αυτό το κομμάτι της χημικής ανακύκλωσης έχει σκοπό να ερευνήσει η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Η μηχανική ανακύκλωση αναφέρεται στη μηχανική επεξεργασία μέσω τεμαχισμού → πλύσης → ξήρανσης → εξώθησης πολυμερών χωρίς διάσπαση των πολυμερών αλυσίδων.

Η διάλυση ή SBR (solvent-based recycling) γνωστό ως “φυσική” ή “ υλική” ανακύκλωση, αναφέρεται στην επανεπεξεργασία υλικού μέσω διάλυσης του πολυμερούς (ή των πρόσθετων και χρωστικών) στην οποία οι ακαθαρσίες αφαιρούνται ενώ το πολυμερές ανακτάται μέσω της φάσης διήθησης ή εκχύλισης.[21]



Εικόνα 6: Μηχανική διαδικασία ανακύκλωσης απορριμμάτων πλαστικών [21]

Η χημική ανακύκλωση αναφέρεται σε τεχνολογίες επανεπεξεργασίας που διασπούν τις αλυσίδες πολυμερών και μετατρέπουν σε υλικά υψηλής προστιθέμενης αξίας, όπως ολιγομερή, μονομερή, βασικές χημικές ουσίες και υδρογονάνθρακες (στερεές, υγρές ή αέριες).

Η χημική ανακύκλωση είναι το σύνολο των τεχνολογιών που επιτρέπει τη διάσπαση των απορριμμάτων πλαστικών και άλλων πολυμερών από διαφορετικές ροές αποβλήτων στα βασικά συστατικά τους για συμπεριλαμβανομένων μονομερών και ολιγομερών που χρησιμοποιούνται ως αφετηρία για την παραγωγή νέων χημικών ουσιών και κυκλικά πολυμερή. [25][33]

Οι βασικές διαδικασίες της χημικής ανακύκλωσης είναι:

- ❖ Πυρόλυση: Θερμαίνει τα πλαστικά χωρίς την παρουσία οξυγόνου για να παραχθούν υδρογονάνθρακες που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν
- ❖ Αεριοποίηση: Διεργασίας υψηλής θερμοκρασίας που διασπά τα πλαστικά σε συνθετικό αέριο (syngas), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χημικών ή καυσίμων.
- ❖ Αποπολυμερισμός: Διεργασία που διασπά τα πλαστικά στα αρχικά τους μονομερή (π.χ. PET πλαστικά). Υποκατηγορίες περιλαμβάνουν την υδρόλυση, γλυκόλυση και μεθανόλυση.
- ❖ Θερμική πυρόλυση: Θερμαίνει πλαστικά σε υψηλές θερμοκρασίες, παράγοντας ολεφίνες και παραφίνες.

- ❖ Ενζυματική Ανακύκλωση: Χρήση ενζύμων για τη διάσπαση πλαστικών, όπως το PET, σε μονομερή με πιο ήπιες συνθήκες.

Οι μέθοδοι αυτοί προφέρουν υψηλής ποιότητας πρώτες ύλες αλλά αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως η υψηλή κατανάλωση ενέργειας και τα κόστη.



Εικόνα 7: Χημική Ανακύκλωση πλαστικών απορριμμάτων (<https://www.greenmatch.co.uk>)

Η χημική ανακύκλωση συμπληρώνει άλλες επιλογές ανακύκλωσης, όπως η μηχανική, η διάλυση και η οργανική ανακύκλωση. Η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να αντιμετωπίσει σύνθετα ρεύματα πλαστικών απορριμμάτων, όπως είναι οι μεμβράνες ή ελάσματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλαστικά απόβλητα, τα οποία διαφορετικά θα καταλήξουν σε αποτέφρωση ή υγειονομική ταφή. Το 67,5% των πλαστικών απορριμμάτων μετά την κατανάλωση καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής και ανάκτησης ενέργειας σε όλη την Ευρώπη.[36]

Η χημική ανακύκλωση διασπά τα πολυμερή στα δομικά στοιχεία τους, επιτρέπει επίσης την παραγωγή ανακυκλωμένου πλαστικού με ιδιότητες παρθένου πλαστικού. Αυτά τα νέα προϊόντα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά που προέρχονται από παρθένα υλικά και αποτελούν μια καλή ευκαιρία για την κατασκευή προϊόντων που απαιτούν υψηλές επιδόσεις και υψηλά πρότυπα ποιότητας, όπως η επαφή με τρόφιμα. Επίσης, με τη χημική ανακύκλωση μπορούν να διαχειριστούν και τα μικτά ή δυνητικά μολυσμένα πλαστικά απόβλητα όπου τοποθετούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής ή αποτεφρώνονται, καθώς δεν μπορούν να ανακυκλωθούν μηχανικά.

Στη συνέχεια, από την έρευνα που έγινε παρατηρήθηκε ότι πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν και μελέτησαν την επαναχρησιμοποίηση του πλαστικού με τη χρήση της χημικής ανακύκλωσης με ποικίλους τρόπους και μεθόδους. [38]

Ο Irdanto Sapurta Lase et al.(2023) μελέτησαν τις μελλοντικές επιλογές της χημικής ανακύκλωσης που αναμένεται να συμβάλουν στη βελτίωση της κυκλικότητας των πλαστικών. Για να μελετήσουν τις επιλογές χημικής ανακύκλωσης ακολούθησαν τη μέθοδο της ανάλυσης ροής υλικού (material flow analysis (MFA)) σε ευρωπαϊκό επίπεδο για να παρέχει ποσοτικές εκτιμήσεις της συμβολής των τεχνολογιών της χημικής ανακύκλωσης των πλαστικών, επιλέχθηκαν 10 τύποι πολυμερών όπου αυτοί ήταν, το γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LLDPE), το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυαιθυλένιο (PET), το πολυστυρένιο (PS), το διογκωμένο πολυστυρένιο (EPS), το πολύ (βινυλοχλωρίδιο) (PVC), ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρέλιο (ABS), πολυουρεθάνη (PUR), και πολυαμίδιο (PA) που χρησιμοποιούνται περισσότερο από πέντε τομείς. Οι πέντε που περιλαμβάνονται είναι της συσκευασίας, δόμηση κτιρίων, και των κατασκευών της αυτοκινητοβιομηχανίας, των ηλεκτρονικών και της γεωργίας. [75]

Σύμφωνα με τους Quanyin Tan et al.(2023) η παγκόσμια ποσότητα πλαστικών απορριμμάτων έχει αναφερθεί ότι είχε φτάσει τα 460 εκατομμύρια τόνους το 2019. Η συσκευασία είναι η μεγαλύτερη πηγή πλαστικών από τον κλάδο των καταναλωτών, όπου και αποτελείται ως επί το πλείστον από υλικά μιας χρήσης. Η ταχεία ανάπτυξη της χρήσης πλαστικών σακουλών παράδοσης μιας χρήσης (single-use plastic delivery bags SPDBs) ως συσκευασίας ταχείας παράδοσης έχει οδηγήσει σε σοβαρή εξάντληση των πόρων και περιβαλλοντική ρύπανση. Για το μετριασμό αυτών των περιβαλλοντικών απειλών, αναπτύχθηκαν επαναχρησιμοποιήσιμα πλαστικά κουτιά παράδοσης (reusable plastic delivery boxes RPDBs) ως εναλλακτική επιλογή. Η μελέτη αυτή χρησιμοποίησε τη μέθοδο της ανάλυσης κύκλου ζωής για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των RPDB και SPDB. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα RPDB προκαλούν λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα SPDB κατά την παράδοση εντός της πόλης. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την παραγωγή πλαστικών βρέθηκαν να είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας επιπτώσεων, κυρίως από την παραγωγή ορυκτής ενέργειας κατά τη διάρκεια της πρωτογενούς σφαιροποίησης πλαστικών. Η αύξηση του μέσου αριθμών κύκλων επαναχρησιμοποίησης των RPDBs σε 50, έως το 2025, θα παρήγαγε 6,24 εκατομμύρια kg CO₂-eq, αλλά θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές CO₂-eq κατά 309,3 εκατομμύρια kg και τους τόνους πλαστικών απορριμμάτων κατά 0,96 εκατομμύρια, σε σύγκριση με τη χρήση SPDB. [72]

Ο Owen et al. (2023) αναφέρθηκαν στη στρατηγική για τη μείωση της ρύπανσης από πλαστικά, όπου αναπτύχθηκαν σύνθετα υλικά προστιθέμενης αξίας από βιομηχανικά πλαστικά απόβλητα ενισχυμένα με ανακυκλωμένες ίνες νάιλον για χρήση σε εφαρμογές επίστρωσης πλακιδίων σε δάπεδο. Η μελέτη αυτή έγινε για να αντιμετωπιστούν τα μειονεκτήματα των υπαρχόντων κεραμικών πλακιδίων που είναι σχετικά βαριά, εύθραυστα και ακριβά. Οι σύνθετες κατασκευές πλακιδίων απορριμμάτων παρήχθησαν μέσω τεχνικής χύτευσης με συμπίεση σε ένα βελτιστοποιημένο σταθερό κλάσμα όγκου ινών 50 % (wt) μετά την αρχική διαλογή, καθαρισμό, ξήρανση, κονιοποίηση και ανάμειξη τήγματος. Η θερμοκρασία χύτευσης, η πίεση και ο χρόνος για τις δομές του σύνθετου υλικού ήταν 220 °C, 65 kg cm⁻³ και σε 5 λεπτά αντίστοιχα. Οι θερμικές, μηχανικές και μικροδομικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών χαρακτηριστικών σύμφωνα με τα κατάλληλα πρότυπα ASTM. Οι σύνθετες κατασκευές ενισχυμένων πλαστικών απορριμμάτων είχαν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες που υποδεικνύουν μοναδικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για πλακάκια δαπέδου. Η έρευνα αυτή ανέπτυξε σκληρά και ελαφριά σύνθετα πλακιδίων που είναι οικονομικά βιώσιμα και η εφαρμογή τους θα συμβάλλει στην ανάπτυξη των κτιριακών και κατασκευαστικών τομέων, μειώνοντας έτσι περίπου 10-15% της ετήσιας παραγωγής πλαστικών απορριμμάτων και ένα βιώσιμο περιβάλλον. [73]

Ο Huynh et al. (2023) μελέτησαν το ζήτημα των ανακυκλωμένων απορριμμάτων πλαστικών μπουκαλιών ως ανακυκλωμένης πλαστικής ίνας (recycled plastic fiber (RPF)) σε βιώσιμο απόβλητο πλαστικού σκυροδέματος ενισχυμένο με ίνες (waste plastic fiber-reinforced concrete (WPFRC)). Οι επιδράσεις διαφορετικών μηκών (30,50 και 70 mm) RPF, πλάτος (2,4 και 6 mm) και περιεχομένων (0,3 , 0,45 , και 0,6 vol%) στην απόδοση του WPFRC αξιολογήθηκαν συστηματικά μέσω μιας σειράς εργαστηριακών δοκιμών, βάρους μονάδας, αντοχές σε θλίψη και κάμψη, συρρίκνωση ξήρανσης, απορρόφησης νερού και ταχύτητα παλμών υπερήχων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη RPF είχε αμελητέα στις ανανεωμένες ιδιότητες των μιγμάτων WPFRC, ενώ ενίσχυε σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα και μείωσε τη συρρίκνωση ξήρανσης στα δείγματα WPFRC εμφάνισαν χαμηλούς ρυθμούς απορρόφησης νερού και υψηλές ταχύτητες παλμών υπερήχων, υποδεικνύοντας καλή ποιότητα και ανθεκτικότητα. Με αυτή τη μελέτη διαπίστωσαν ότι μία περιεκτικότητα RPF 0,45% κατ' όγκο, ένα μήκος RPF 70mm και ένα πλάτος RPF 2mm απέδωσαν την καλύτερη απόδοση για το WPFRC. Ως αποτέλεσμα, η ενσωμάτωση RPF στο σκυρόδεμα ευνοεί την ανάπτυξη ισχυρών, ανθεκτικών και βιώσιμων υλικών για πράσινες κατασκευές. [74]

2.5.2 Κύκλος Ζωής Γυαλιού

Το γυαλί είναι στερεό υλικό και άμορφο, δηλαδή δεν παρουσιάζει κρυσταλλική δομή. Είναι ημιδιάφανο ή διάφανο, εύθραυστο, άκαμπτο και σκληρό. Λόγω της μη κρυσταλλικότητάς του, ο όρος «ύαλος» (γυαλί) ή «υαλώδης» έχει επεκταθεί σημαίνοντας όλα τα άμορφα στερεά. Η διαφάνεια του αφορά στο ορατό φως, γιατί το κοινό γυαλί είναι αδιάφανο για την υπεριώδη ακτινοβολία. Ως υλικό είναι χημικά και βιολογικά αδρανές, πλήρως ανακυκλώσιμο και κατά συνέπεια, ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση σε κατασκευή συσκευασιών τροφίμων και ποτών.

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΥΑΛΙΟΥ

- Στερεό υψηλής σκληρότητας (7 στην κλίμακα Mohs)
- Μη κρυσταλλική δομή άμορφο υλικό
- Εύθραυστο. Τα θραύσματα του είναι οξύληκτα
- Διαφανές για το φάσμα του ορατού φωτός.
- Δυσθερμαγωγό και μονωτικό υλικό
- Αδρανές χημικά και βιολογικά.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΓΥΑΛΙΟΥ

- **Κοινό γυαλί:** Παρασκευάζεται με συλλίπασμα οξειδίου του νατρίου (12-18%) και σταθεροποιητή οξειδίου του ασβεστίου (5-12%). Ορισμένα άλλα οξείδια μπορεί να συμμετέχουν για λόγους απόδοσης χρωματισμών.

Το κοινό γυαλί είναι φθηνό στην κατασκευή του και παρουσιάζει οπτικές και φυσικές ιδιότητες κατάλληλες για την κατασκευή κοινών αντικειμένων, όπως υαλοπίνακες και οικιακά σκεύη (ποτήρια, φιάλες, δοχεία τροφίμων). Επειδή δεν είναι πορώδες, δεν συγκρατεί κανένα συστατικό και καθαρίζεται εύκολα. Δεν αντιδρά με υδατικά διαλύματα ή έλαια και λίπη, κι έτσι δεν αλλοιώνει τη σύσταση των τροφίμων και τη γεύση ή την οσμή τους. Είναι, επίσης, βιολογικά αδρανές και δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη βακτηρίων ή μυκήτων. [42]

- **Γυαλί μολύβδου (Μολυβδύαλος)** : Παρασκευάζεται με αντικατάσταση του οξειδίου του νατρίου από οξείδιο του καλίου και του οξειδίου του ασβεστίου από οξείδιο του μόλυβδου (PbO). Η περιεκτικότητα του PbO μπορεί να φθάνει και το 30%, αλλά το γυαλί με περιεκτικότητα μέχρι 24% σε PbO χαρακτηρίζεται ως *κρύσταλλο*. Έχει υψηλή ανθεκτικότητα, τα αντικείμενα που δίνει είναι εξαιρετικά στιλπνά και παρουσιάζει υψηλό δείκτη διάθλασης. Οι δύο τελευταίες ιδιότητες το κάνουν υλικό ιδιαίτερα κατάλληλο για την κατασκευή διακοσμητικών αντικειμένων αλλά και (ακριβών) ειδών οικιακής χρήσεως, όπως ποτήρια, ανθοδοχεία κτλ.
- **Γυαλί βορίου**: Είναι γνωστότερο με την εμπορική ονομασία «Pyrex». Η σύστασή του είναι οξείδιο του πυριτίου (70-80%), οξείδιο του βορίου B₂O₃ (7-13%) μικρά ποσοστά οξειδίων των αλκαλίων (4-8% Na₂O και K₂O, και 2-7% οξείδιο του αργιλίου (Al₂O₃). Η παρουσία βορίου και το μικρό ποσοστό αλκαλίων κάνουν το γυαλί αυτό ανθεκτικό στις απότομες μεταβολές θερμοκρασίας και περισσότερο δύστηκτο. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή εργαστηριακών οργάνων και συσκευών, συσκευασίες φαρμακευτικών προϊόντων, σε λαμπτήρες υψηλών αποδόσεων (π.χ. προβολέων) αλλά και για οικιακές εφαρμογές (σκεύη Pyrex, τα οποία δεν θραύονται κατά το μαγείρεμα). Παρουσιάζει, επίσης, χαμηλό συντελεστή διαστολής, πράγμα που δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων στα πειράματα.
- **Υαλόνημα**: Κατασκευάζεται από ποικίλους τύπους γυαλιού σε μορφή νήματος με πολλαπλές χρήσεις. Το κοινό γυαλί παρέχει νήματα κατάλληλα για κατασκευή μονώσεων (υαλόμαλλο), ενώ το γυαλί βορίου δίνει υαλόνημα από το οποίο κατασκευάζονται υφαντικές δομές που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση κατασκευών από πλαστικό, όπως κράνη, μικρά σκάφη, σασί αυτοκινήτων, σωληνώσεις κτλ. και είναι γνωστό με το εμπορικό όνομα Fiberglass®. Μια πιο πρόσφατη εφαρμογή του υαλονήματος είναι η κατασκευή οπτικών ινών, που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση φωτεινών σημάτων, παρακάμπτοντας το ευθύγραμμο της διάδοσης του φωτός. Χρησιμοποιούνται για ενδοσκοπήσεις οργάνων σε ζωντανούς οργανισμούς, στη διαχείριση σημάτων οδικής και σιδηροδρομικής κυκλοφορίας και στην κατασκευή ειδικών οργάνων, όπως Σόναρ, υδροφώνων κτλ. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται, επίσης, στην τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών. Χάρη στη χρήση τους αναπτύχθηκαν πολύ η τηλεφωνία, τα δίκτυα υπολογιστών και το Διαδίκτυο (ευρυζωνικές συνδέσεις).

Ιστορικά :

Η ιστορία του γυαλιού ξεκινάει από χιλιάδες χρόνια πριν, με ρίζες στους αρχαίους πολιτισμούς και εξελίσσεται σε υλικό υψηλής τεχνολογίας.

Η πρώτη αναφορά του γυαλιού χρονολογείται περίπου γύρω στο 3500 π.Χ. στη Μεσοποταμία και την Αρχαία Αίγυπτο. Η παραγωγή του γινόταν τυχαία ως υποπροϊόν μεταλλουργίας σε φούρνους υψηλής θερμοκρασίας και χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την κατασκευή μικρών αντικειμένων, όπως χάντρες και κοσμήματα. Από την άλλη, οι Αιγύπτιοι ανέπτυξαν την φαγεντιανή, ένα υαλώδες υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή αγαλματιδίων και διακοσμητικών. Γύρω στο 1500 π.Χ. οι Αιγύπτιοι άρχισαν να παράγουν τα πρώτα αληθινά γυάλινα αντικείμενα, κυρίως μικρά αγγεία. Το γυαλί ήταν ένα είδος πολυτέλειας και παραγόταν σε μικρές ποσότητες.

Στη Ρωμαϊκή εποχή, τον 1^ο αιώνα π.Χ. έγινε η ανακάλυψη του φυσήματος γυαλιού, όπου έφερε την επανάσταση στην υαλουργία, καθιστώντας την πιο προσιτή. Η τεχνική αυτή πιθανότατα ανακαλύφθηκε στη Συρία ή τη Φοινίκη, περιλάμβανε την εμφύσηση αέρα μέσω ενός σωλήνα σε λιωμένο γυαλί για να δημιουργήσει κοίλα σχήματα. Οι Ρωμαίοι διέδωσαν την υαλουργία σε όλη την αυτοκρατορία τους, παράγοντας γυαλί για καθημερινή χρήση, όπως δοχεία, παράθυρα και μωσαϊκά. Το ρωμαϊκό γυαλί ήταν συχνά διαφανές ή ανοιχτόχρωμο και χρησιμοποιήθηκε τόσο για λειτουργικούς όσο και για διακοσμητικούς σκοπούς.

Έπειτα από την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, η υαλουργία συνέχισε να ευδοκίμει στη Βυζαντινή Αυτοκρατορία και στη συνέχεια στον Ισλαμικό κόσμο. Οι Ισλαμιστές υαλουργοί, ιδιαίτερα στην Περσία, τη Συρία και την Αίγυπτο, ανέπτυξαν τη ζωγραφική με λάμψη, το κόψιμο και την επιχρύσωση για να δημιουργούν όμορφα και λεπτομερή γυάλινα αντικείμενα.

Στη μεσαιωνική Ευρώπη, η χρήση βιτρό είχε εξέχουσα θέση ειδικά στους γοθτικούς καθεδρικούς ναούς. Οι εκκλησίες χρησιμοποιούσαν μεγάλα, χρωματιστά γυάλινα παράθυρα για να απεικονίσουν θρησκευτικές ιστορίες και σύμβολα, συνδυάζοντας την τέχνη και το φως με τρόπους που μεταμόρφωσαν την εκκλησιαστική αρχιτεκτονική. Από τον 15^ο έως τον 17^ο αιώνα, η Βενετία έγινε το κέντρο της ευρωπαϊκής παραγωγής γυαλιού. Οι Βενετοί τεχνίτες ανέπτυξαν καινοτομίες όπως το κρυστάλλινο γυαλί και το γυαλί αβεντουρίνης (που περιέχει λάμπεις) και τα προϊόντα τους ήταν ιδιαίτερα περιζήτητα. Στα τέλη του 16^{ου} αιώνα, ο ενετός υαλουργός Angelo Barviera ανέπτυξε το κρύσταλλο, ένα διαφανές γυαλί.

Η Βιομηχανική Επανάσταση τον 18^ο και 19^ο αιώνα έφερε σημαντικές αλλαγές στην παραγωγή γυαλιού. Τα εργοστάσια και οι μηχανοποιημένες διαδικασίες επέστρεψαν τη μαζική παραγωγή γυαλιού. Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, η εφεύρεση της τεχνικής πεπιεσμένου γυαλιού στις Ηνωμένες Πολιτείες έφερε επανάσταση στη βιομηχανία κάνοντας τα διακοσμητικά γυάλινα σκεύη προσιτά στη μεσαία τάξη. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποίησε καλούπια για να πιέσει το λιωμένο γυαλί σε σχήματα γρήγορα και αποτελεσματικά. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα (τη δεκαετία του 1950), η εφεύρεση της μεθόδου του επίπεδου γυαλιού (float glass) από τον Sir Alastair Pilkington. Τέλος, τον 21^ο αιώνα η ανακύκλωση γυαλιού έχει γίνει βασικό μέρος της κυκλικής οικονομίας, καθώς το γυαλί μπορεί να ανακυκλωθεί απεριόριστα χωρίς απώλεια ποιότητας. (<https://glassallianceurope.eu>)

Το γυαλί διατίθεται σε μεγάλη ποικιλία τύπων και χρωμάτων, με διαφορετικές χημικές συνθέσεις. Οι διαφορετικές χημικές ιδιότητες των μικτών έγχρωμων γυαλιών είναι ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους το γυαλί δεν ανακατασκευάζεται.

Το γυαλί ως υλικό συσκευασίας στις βιομηχανίες τροφίμων έχει μία σειρά από πλεονεκτήματα:

- Είναι υλικό χημικά αδρανές και ανενεργό
- Μπορεί να παραχθεί σε διάφανη μορφή όπου μπορεί κανείς να βλέπει το προϊόν.
- Παρέχει τέλεια μόνωση από το περιβάλλον παρέχοντας ένα πλήρες φράγμα στην υγρασία, τα αέρια, τα αέρια, το οξυγόνο, τη σκόνη και τους μικροοργανισμούς.
- Μπορεί να αποστειρωθεί με θερμότητα ή χημικά μέσα (ισχυρά οξέα) χωρίς να υποστεί αλλαγές.
- Διατηρεί τις ιδιότητες του τρόφιμου για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Είναι ανακυκλώσιμο.

Στα μειονεκτήματα των γυάλινων συσκευασιών συμπεριλαμβάνεται το μεγάλο βάρος, που αυξάνει το κόστος μεταφοράς και η ευθραυστότητα.

Τα υπολείμματα γυαλιού είναι διαθέσιμα σε όλο τον κόσμο και απορρίπτονται σε μεγάλες ποσότητες σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η απόρριψη απορριμμάτων γυαλιού σε χώρους υγειονομικής είναι μία σημαντική περιβαλλοντική πρόκληση που αντιμετωπίζουν πολλές χώρες

στον κόσμο. Η ανακύκλωση γυαλιού είναι μια σημαντική διαδικασία για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την εξοικονόμηση πρώτων υλών.

Τεχνολογίες Ανακύκλωσης

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ανακύκλωση γυαλιού περιλαμβάνουν διάφορα στάδια και καινοτομίες που στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της ποιότητας του ανακυκλωμένου υλικού.

- **Επεξεργασία θρυμματισμένου γυαλιού (cullet processing):** είναι το γυαλί που έχει θρυμματιστεί και καθαριστεί για ανακύκλωση. Περιλαμβάνει τη συλλογή, διαλογή, καθαρισμό και σύνθλιψη του γυαλιού σε μικρά κομμάτια. Ως πλεονέκτημα έχει ότι το cullet λιώνει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις πρώτες ύλες, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας στην παραγωγή γυαλιού.
- **Τεχνολογία οπτικής διαλογής (Optical Sorting Technology):** Τα συστήματα οπτικής διαλογής χρησιμοποιούν υπέρυθρες και φθορισμό ακτίνων X (X-ray fluorescence (XRF)) για να διαχωρίσουν διαφορετικούς τύπους γυαλιού, χρώματα και ακαθαρσίες. Είναι εξαιρετικά αποτελεσματική τεχνολογία για την αφαίρεση ανεπιθύμητων υλικών. Επίσης η τεχνολογία Near Infrared (NIR) χρησιμοποιείται επίσης για τη διαφοροποίηση μεταξύ γυαλιού και μη γυάλινων υλικών. Ως πλεονέκτημα έχει ότι βελτιώνει την καθαρότητα του υαλοπίνακα διασφαλίζοντας υψηλότερη ποιότητα ανακυκλωμένου γυαλιού που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί.
- **Αυτοματοποιημένη ανακύκλωση φιαλών (Automated Bottle Recycling (Deposit Systems)):** Τα συστήματα επιστροφής φιαλών χρησιμοποιούν μηχανές που διαχωρίζουν και καθαρίζουν φιάλες για επαναχρησιμοποίηση χωρίς σημαντική επεξεργασία. Επίσης, υπάρχουν και τα αντίστροφα μηχανήματα αυτόματης πάλησης όπου ο καταναλωτής μπορεί να επιστρέφει τα γυάλινα μπουκάλι και να λαμβάνει επιστροφή χρημάτων. Ως πλεονέκτημα έχει τη μείωση του ποσοστού μόλυνσης του ανακυκλωμένου γυαλιού και διατηρεί την υψηλή ποιότητα των φιαλών, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.
- **Τεχνολογίες αποχρωματισμού (Decolorization Technologies):** Τεχνικές αποχρωματισμού αφαιρούν προσμείξεις ή χρωστικές από το γυαλί για την παραγωγή διαφανούς γυαλιού. Στόχος τους είναι η αφαίρεση ακαθαρσιών ή χρωστικών από μικτό χρωματιστό γυαλί. Ως

πλεονέκτημα έχει τη μείωση των περιορισμών που θέτει τα χρωματιστό γυαλί και αυξάνει την ευελιξία της χρήσης ανακυκλωμένου γυαλιού.

- **Παραγωγή Αφρώδους γυαλιού (Foam Glass Production):** Το αφρώδες γυαλί παράγεται με θέρμανση λεπτής τριμμένης σκόνης γυαλιού με έναν παράγοντα αφρισμού (συνήθως άνθρακα) για να δημιουργηθεί ένα ελαφρύ, πορώδες υλικό. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μονωτικών υλικών, φίλτρων και ελαφρών δομικών υλικών. Ως πλεονέκτημα έχει ότι μπορεί να χρησιμοποιεί ανακυκλωμένο γυαλί που μπορεί να μην είναι κατάλληλο για άλλους τύπους ανακύκλωσης, μετατρέποντας τα απόβλητα σε πολύτιμα δομικά προϊόντα.
- **Τήξη γυαλιού με μικροκύματα (Microwave Glass Melting):** Είναι μία ανερχόμενη τεχνολογία που μειώνει την ενέργεια και τον χρόνο που απαιτείται για την τήξη του γυαλιού. Η διαδικασία αυτή είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο αλλά υπόσχεται σημαντικές μειώσεις της κατανάλωσης ενέργειας. Ως πλεονεκτήματα έχει τη μείωση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους τήξης γυαλιού.
- **Ανακύκλωση κλειστού κύκλου (Closed-Loop Recycling):** Στην ανακύκλωση κλειστού κύκλου, οι γυάλινες φιάλες ανακυκλώνονται για την παραγωγή νέων φιαλών χωρίς απώλεια ποιότητας. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την τήξη του υαλοπίνακα σε έναν κλίβανο σε υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 1.700 °C), όπου μπορεί να αναδιαμορφωθεί σε νέα προϊόντα. Με τη μέθοδο αυτή διασφαλίζεται η συνεχής ανακύκλωση του γυαλιού, χωρίς υποβάθμιση της ποιότητας. Ως πλεονέκτημα έχει να διατηρεί το γυαλί σε κυκλική οικονομία, μειώνοντας την ανάγκη για νέες πρώτες ύλες και ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- **Τεχνολογίες κλιβάνων (Furnace Technologies):** Οι κλίβανοι με καθαρό οξυγόνο και οι ηλεκτρικοί κλίβανοι χρησιμοποιούνται για την τήξη γυαλιού με μειωμένες εκπομπές NOx και καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Αυτοί οι ηλεκτρικοί φούρνοι χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια αντί για ορυκτά καύσιμα για να λιώσουν το γυαλί, το οποίο μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ εάν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ως πλεονέκτημα έχει τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής γυαλιού και τη βελτίωση της βιωσιμότητας της διαδικασίας ανακύκλωσης. [42]



Εικόνα 8: Ανακύκλωση κλειστού κύκλου γυαλιού (Closed-Loop Recycling Glass) (<https://feve.org>)

Το γυαλί ως υλικό θεωρείται σημαντικό για το περιβάλλον, επειδή είναι ανακυκλώσιμο και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αρκετές φορές. Στην ανακύκλωση του εξοικονομούνται πρώτες ύλες και ενέργεια. Κάθε τόνος αποβλήτων γυαλιού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή γυαλιού εξοικονομεί 1,2 τόνους παρθένων πρώτων υλών (άμμος, ασβεστόλιθος και πυρωμένη σόδα.) Η επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων γυαλιού σε δομικό υλικό μειώνει την κατανάλωση φυσικών πόρων, ελαχιστοποιεί τις εκπομπές του θερμοκηπίου. Λόγω της αδρανούς φύσης του γυαλιού είναι ένα μη βιοαποικοδομήσιμο υλικό.

Στον τομέα της συσκευασίας προϊόντων θεωρείται ανακυκλώσιμο υλικό, το 60% της παραγωγής γυαλιού προέρχεται από την αξιοποίηση των απορριμμάτων γυαλιού από αστικούς οικισμούς. Η ανακύκλωση γυαλιού είναι καλή για το περιβάλλον. Ο χρόνος αποσύνθεσης ενός γυάλινου μπουκαλιού που φτάνει στη χωματερή μπορεί να είναι έως και 1 εκατομμύρια χρόνια. Αντίθετα, χρειάζονται μερικές ημέρες για να φύγει ένα ανακυκλωμένο γυάλινο μπουκάλι από τον κάδο ανακύκλωσης και να εμφανιστεί ξανά στο ράφι καταστήματος, ως νέο γυάλινο δοχείο. Η ανακύκλωση γυαλιού εξοικονομεί ενέργεια. [43]

Ένα από τα πρώτα βήματα στη διαδικασία ανακύκλωσης γυαλιού είναι η σύνθλιψη του γυαλιού και η λήψη του υαλοπίνακα. Στην κατασκευή προϊόντων ανακυκλωμένου γυαλιού είναι η σύνθλιψη του γυαλιού και η λήψη του υαλοπίνακα όπου καταναλώνει 40% λιγότερη ενέργεια από την

παραγωγή νέου γυαλιού από πρώτες ύλες, επειδή ο υαλοπίνακας λιώνει σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία.

Ο Οργανισμός Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών εκτιμά ότι κατά την ανακύκλωση ενός container γυαλιού εξοικονομείται ενέργεια που χρησιμοποιείται για την καύση ενός λαμπτήρα των 100 Watt στη διάρκεια τεσσάρων ωρών.

Προφανώς, η ανακύκλωση εκτρέπει υλικά από τους χώρους υγειονομικής ταφής και μειώνει σημαντικά την ποσότητα των αποβλήτων από εξαιρετικές δραστηριότητες. Η ανακύκλωση γυαλιού εξοικονομεί φυσικούς πόρους. Κάθε τόνος ανακυκλωμένου γυαλιού εξοικονομεί περισσότερο από έναν τόνο. Επιπλέον, εξοικονομεί επίσης 590 κιλά άμμου, 186 κιλά ανθρακικού νατρίου και 173 κιλά ασβεστόλιθου. Επιπλέον, η ανακύκλωση γυαλιού είναι βιώσιμη. Το γυαλί είναι ένα 100% ανακυκλώσιμο υλικό, που σημαίνει ότι μπορεί να ανακυκλωθεί επανειλημμένα χωρίς να χάσει την καθαρότητα ή την ποιότητα του.

Πολλοί ερευνητές όπως ο Mohajerani et al.(2017) έχουν μελετήσει την επαναχρησιμοποίηση θρυμματισμένων απορριμμάτων γυαλιού (crushed waste glass (CWG)) ως δομικό υλικό. Το CWG δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε εφαρμογές κατασκευής σκυροδέματος ή ασφάλτου σε ολόκληρο τον κόσμο. Επιπλέον, εξακολουθούν να υπάρχουν εμπόδια στη χρήση του CWG ως λεπτόκοκκο αδρανή στο σκυροδέμα, όπως η σοβαρότητα των διαστολών της αντίδρασης αλκαλίου-πυριτίου εντός του σκυροδέματος που αποτελείται από CWG και η έλλειψη κατανόησης αυτών των αντιδράσεων. Η βιομηχανία σκυροδέματος είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συνεισφέρουν διάφορα υπολείμματα και απορρίμματα που μπορούν να αποτελέσουν σημαντική πηγή αναπαραγωγής οικοδομικών υλικών για νέες κατασκευές.

Το 33% των συνολικών απορριμμάτων γυαλιού στις ΗΠΑ ανακτάται για ανακύκλωση κάθε χρόνο. Το 67,6% των σκουπιδιών από γυαλί που παράγονται στο Ηνωμένο Βασίλειο συλλέγονται για ανακύκλωση. Η ανακύκλωση απορριμμάτων γυαλιού ως συστατικό του σκυροδέματος μπορεί να χρησιμεύσει ως εναλλακτική λύση στα φυσικά αδρανή και να μειώσει τους πιθανούς κινδύνους για το περιβάλλον.

Από σύνολο ερευνών που έγιναν για την επαναχρησιμοποίηση του CWG ως αδρανή σε μείγματα σκυροδέματος και ασφάλτου, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το CWG μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρανή σε δομικά υλικά. Όμως, απαιτείται περισσότερη έρευνα για να διευκρινιστούν οι αντιφάσεις σχετικά με τις ιδιότητες του σκυροδέματος που περιέχει CWG ως λεπτόκοκκο αδρανή, καθώς και περαιτέρω διερεύνηση των ιδιοτήτων του αφρώδους σκυροδέματος απορριμμάτων

γυαλιού και τα εξαιρετικά ελαφρού σκυροδέματος εμπλουτισμένου με ίνες που περιέχει διογκωμένο γυαλί και η χρήση σκόνης γυαλιού ως ένα πληρωτικό στην ασφαλτο. [77]



Εικόνα 9: Θρυμματισμένο ανακυκλωμένο γυαλί και πεταμένα γυάλινα μπουκάλια

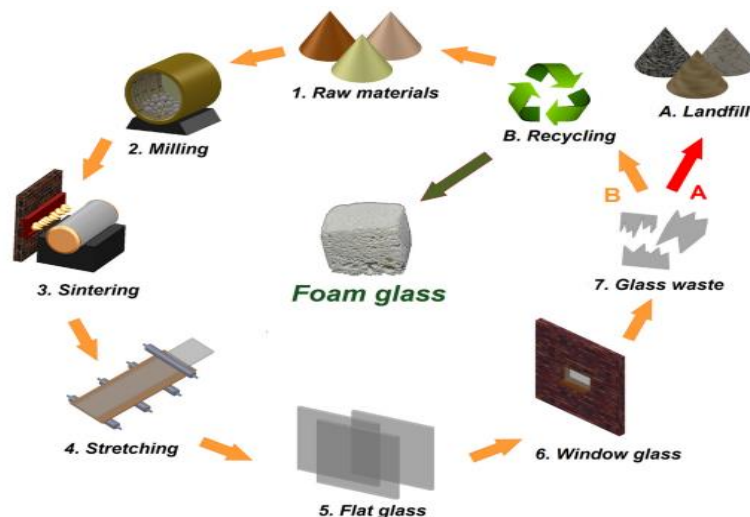


Εικόνα 10: Λεπτό παράθυρο και αδρανή γυαλιού Soda-Lime και αδρανή υαλοπινάκων LCD.

Ο Robson Couto da Silva et al. (2021) μελέτησαν τα απόβλητα γυαλιού όπου παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες ώστε να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή σανίδων αφρού γυαλιού, ένα προϊόν που χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες (πχ κατασκευαστικός τομέας). Το αφρώδες γυαλί είναι ένα υλικό που ξεχωρίζει λόγω του υψηλού επιπέδου πορώδους του, με ενδιαφέρουσες ιδιότητες για βιομηχανικές εφαρμογές. Η μελέτη βασίστηκε στο υδροξείδιο του νατρίου σε σύγκριση με άλλους κοινούς παράγοντες αφρισμού. Οι συμβατικοί αφριστικοί παράγοντες (π.χ.: αιθάλη, ανθρακικά και θειικά άλατα) στην παραγωγή σανίδων αφρώδους γυαλιού απελευθερώνουν αέρια που έχουν ως επίπτωση το φαινόμενο του θερμοκηπίου στο περιβάλλον,

όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Σε αντίθεση με το υδροξείδιο του νατρίου που απελευθερώνει μόνο ατμό κατά τη διαδικασία αφρισμού.

Η έρευνα βασίστηκε σε τέσσερις σανίδες αφρού γυαλιού που παράγονται από διαφορετικούς αφριστικούς παράγοντες το υδροξείδιο του νατρίου, την αιθάλη, το καρβίδιο του πυριτίου και δολομίτη. Τα αποτελέσματα από τις τέσσερις σανίδες αφρού γυαλιού συγκρίθηκαν με μία σανίδα διογκωμένης πολυστερίνης. Οι παράγοντες επιπτώσεων που αναλύθηκαν για την σύγκριση των υλικών ήταν το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, η οξίνιση και η ανθρώπινη τοξικότητα από τον αέρα. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής έδειξαν ότι οι σανίδες από αφρώδες γυαλί θεωρήθηκαν ως ασφαλείς (δεν εκπέμπουν τοξικά αέρια σε περίπτωση πυρκαγιάς) είναι επίσης ενδιαφέροντα υλικά για το περιβάλλον. Η χρήση απορριμμάτων γυαλιού για την παραγωγή αφρώδους γυαλιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θερμό-ακουστική μόνωση, τη μείωση της υγρασίας και πρόληψη πυρκαγιάς. Οι ιδιότητες που έχουν περιλαμβάνουν ελαφριά διαπερατότητα και ικανότητα απορρόφησης ήχου και θερμομόνωση.

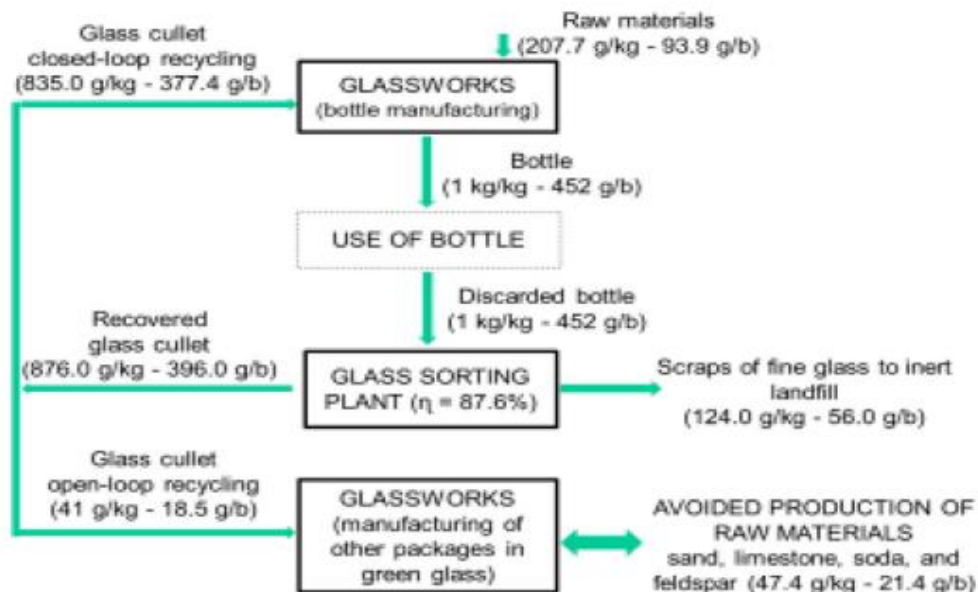


Εικόνα 11: Κύκλος παραγωγής, διάθεσης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης επίπεδου γυαλιού

Η επαναχρησιμοποίηση ειδών συσκευασίας όπως αναφέρθηκε και στα πλαστικά κατέχει βασικό ρόλο στην επίτευξη της βιώσιμης διαχείρισης των πόρων, είναι από τους βασικούς στόχους της ιδέας της κυκλικής οικονομίας. [76]

Η Tua et al. (2020) μελέτησαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής των γυάλινων μπουκαλιών που χρησιμοποιούνται για μεταλλικό νερό, όπου αξιολογήθηκαν ως συνάρτηση του αριθμού χρήσεων δηλαδή την επαναχρησιμοποίησης της γυάλινης φιάλης με τη μέθοδο της

ανάλυσης κύκλου ζωής. Η μελέτη διεξήχθη για να περιοριστεί η συμβολή της διαδικασίας επισκευής στις συνολικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής των επαναχρησιμοποιήσιμων γυάλινων φιαλών και να συγκριθούν με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις αυτού του συστήματος με εκείνες ενός συστήματος που βασίζεται σε μπουκάλι μιας χρήσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι επιπτώσεις του συστήματος RBs (Refillable glass bottles) συνδέονται κυρίως με το στάδιο διανομής, ιδίως με τη μεταφορά των φιαλών από το εργοστάσιο εμφιάλωσης στον τοπικό διανομέα (απόσταση 200 km κατά μέσο όρο). Για τον μέγιστο αριθμό χρήσεων ($n = 30$), η συμβολή του αντίκτυπου της διανομής μπορεί να φτάσει το 80% του συνολικού δείκτη. Σε σύγκριση με το σύστημα φιαλών μιας χρήσης, για μια τοπική αγορά (εντός 200 χλμ.) η χρήση επαναγεμιζόμενων φιαλών είναι κατά πολύ προτιμότερη, ξεκινώντας από δύο παραδόσεις.



Εικόνα 12: Ισοζύγιο μάζας που σχετίζεται με την παραγωγή μιας πράσινης γυάλινης φιάλης σύμφωνα με μια διαδικασία ανακύκλωσης κλειστού βρόχου. g/b = g/φιάλη.

Η παραγωγή γυαλιού στην ΕΕ επηρεάστηκε σοβαρά από τη οικονομική κρίση. Η Γερμανία είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός γυαλιού της ΕΕ (το 1/5 του όγκου της παραγωγής), ακολουθούμενη από τη Γαλλία, την Ισπανία και την Ιταλία. Οι κύριες προκλήσεις περιλαμβάνουν τον ανταγωνισμό, τη διαπραγματευτική ισχύ, τις τιμές της ενέργειας και την έλλειψη ασφάλειας εφοδιασμού, την υποκατάσταση από άλλα προϊόντα, τους φραγμούς στο εμπόριο χωρών εκτός ΕΕ και την παραποίηση ευρωπαϊκών σχεδίων. Η βιομηχανία γυαλιού της ΕΕ εκπροσωπείται από μεγάλες εταιρείες με έδρα την ΕΕ. Η διαδικασία παραγωγής είναι ενεργοβόρα και οι κατασκευαστές πρέπει να αντιμετωπίσουν υψηλό κόστος εκκίνησης και συνδεδεμένα κανάλια διανομής. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής είναι μεγάλου κεφαλαίου και απαιτούν μεγάλους επενδυτικούς κύκλους. Σε ότι αφορά

την καινοτομία, η έρευνα και ανάπτυξη διεργασιών οδήγησε σε βελτιώσεις στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος, στη μετάβαση από ορυκτά σε μη ορυκτά και ίνες γυαλιού που υποκαθιστούν μέταλλα και ξύλο μέσω σύνθετων υλικών. Το 80% περίπου του παραγόμενου γυαλιού διακινείται εντός της ΕΕ. Οι χώρες εκτός της ΕΕ με ισχυρή παραγωγή γυαλιού έχουν εισαγάγει μη δασμολογικούς φραγμούς στο εμπόριο, όπως υποχρεωτικές δοκιμές και συστήματα πιστοποίησης. Η Επιτροπή πιέζει για την εξάλειψη των δασμών αιχμής σε χώρες εκτός της ΕΕ που είναι σημαντικές για τους κατασκευαστές γυαλιού στην ΕΕ. [78]

3 Εφαρμογές Κυκλικής Οικονομίας σε Γυαλί και Πλαστικά

3.1 Γυαλί

Το γυαλί είναι ένα ευέλικτο υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως και έχει εκτιμηθεί για τη διαφάνεια, την αντοχή και την αισθητική του. Το γυαλί χρησιμοποιείται στις κατασκευές, την αυτοκινητοβιομηχανία, την καθημερινή συσκευασία και άλλες βιομηχανίες (Deng et al., 2019 , Gallucci et al., 2020). Η παγκόσμια ετήσια παραγωγή είναι περίπου 300 εκατομμυρίων τόνων, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε σημαντική παραγωγή απορριμμάτων παγκοσμίως. Η τρέχουσα κατάσταση της χρήσης γυαλιού είναι αρκετά υποσχόμενη, με σταθερή ζήτηση για προϊόντα γυαλιού σε αυτούς τους τομείς. Το γυαλί είναι πρώτο στις επιλογές ως υλικό για δοχεία τροφίμων και πότων λόγω των μη αντιδραστικών ιδιοτήτων του, διατηρώντας την ποιότητα του προϊόντος καλύτερα από πολλά πλαστικά. Η αγορά εμφιαλωμένων ποτών παραμένει το βασικό μέσο για τη ζήτηση γυάλινων δοχείων, αν και ο ανταγωνισμός από τα πλαστικά και το αλουμίνιο αυξάνεται λόγω των πλεονεκτημάτων του κόστους και του βάρους.

Στον κατασκευαστικό κλάδο το γυαλί χρησιμοποιείται ευρέως για παράθυρα, προσόψεις και στοιχεία εσωτερικού σχεδιασμού, είναι ένα κρίσιμο συστατικό της σύγχρονης αρχιτεκτονικής. Η ικανότητα του να επιτρέπει το φυσικό φως στα κτίρια παρέχοντας μόνωση και ηχομόνωση το καθιστά δημοφιλή επιλογή. Υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για ενεργειακά αποδοτικό γυαλί (όπως γυαλί χαμηλής εκπομπής ή ηλιακό έλεγχο), ο οποίο συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια. Επιπλέον, οι εξελίξεις στην τεχνολογία γυαλιού όπως το ενεργειακό αποδοτικό και το αυτοκαθαριζόμενο γυαλί έχουν αυξήσει περαιτέρω την επιθυμία του. Η ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων και η βιώσιμη κατασκευή ενίσχυσαν τη ζήτηση για ηλιακό γυαλί, απαραίτητο για φωτοβολταϊκά πάνελ σε συστήματα ηλιακής ενέργειας.

Η αυτοκινητοβιομηχανία βασίζεται επίσης στο γυαλί για το παρμπρίζ των αυτοκινήτων, παράθυρα και καθρέφτες. Με την αυξανόμενη εστίαση στην ασφάλεια και την αισθητική, η ζήτηση για προηγμένες λύσεις γυαλιού όπως το πολυστρωματικό και το σκληρυμένο γυαλί, αναμένεται να αυξηθεί. [53]

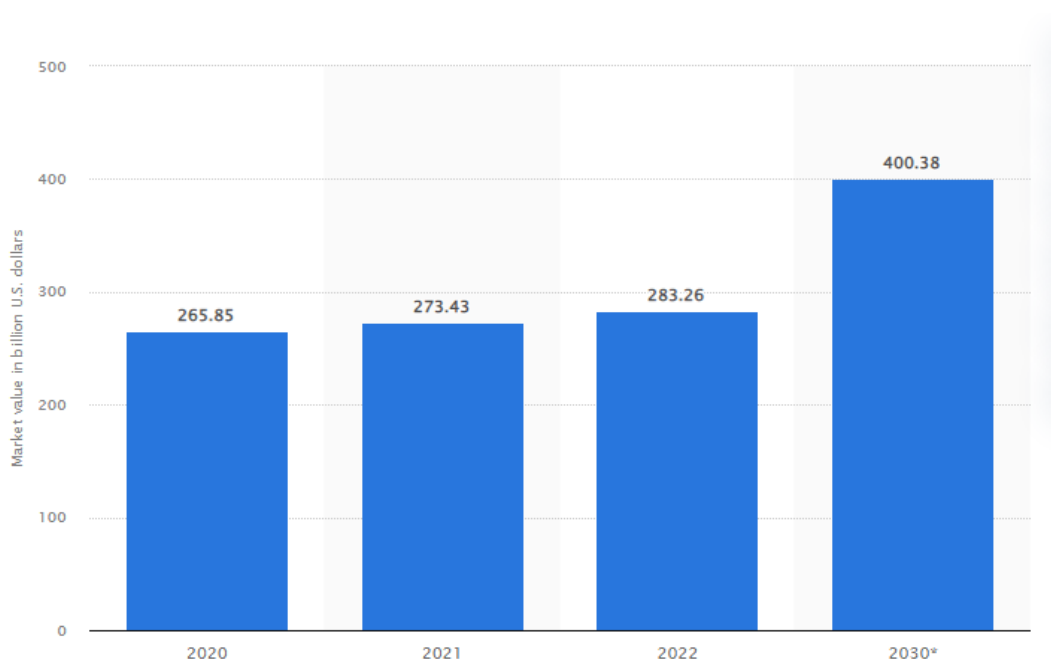
Στον τομέα των ηλεκτρονικών το γυαλί χρησιμοποιείται για οθόνες, οθόνες αφής και οπτικές ίνες. Η αυξανόμενη υιοθέτηση smartphone, tablet και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών τροφοδοτεί τη ζήτηση για εξαρτήματα γυαλιού υψηλής ποιότητας. Το γυαλί Gorilla, που χρησιμοποιείται σε οθόνες αφής, είναι μια αξιοσημείωτη καινοτομία σε αυτόν τον τομέα, παρέχοντας ανθεκτικότητα και αντοχή στις γρατσουνιές. Επιπλέον, οι οπτικές ίνες για τις τηλεπικοινωνίες και το διαδίκτυο είναι ένας άλλος διευρυμένος τομέας χρήσης γυαλιού, καθώς οι παγκόσμιες ανάγκες μετάδοσης δεδομένων αυξάνονται. Στη συνέχεια, η γυάλινη συσκευασία είναι μία άλλη σημαντική εφαρμογή, ιδιαίτερα στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών. Τα γυάλινα δοχεία προτιμώνται για την ικανότητα τους να διατηρούν τη γεύση και την ποιότητα των προϊόντων, καθώς και τη δυνατότητα ανακύκλωσής τους.

Όσον αφορά το μέλλον, οι προοπτικές για τη χρήση γυαλιού παραμένουν θετικές. Ο κατασκευαστικός κλάδος προβλέπεται να σημειώσει συνεχή ανάπτυξη, οδηγώντας τη ζήτηση για αρχιτεκτονικό γυαλί. Ο τομέας της αυτοκινητοβιομηχανίας αναμένεται επίσης να επεκταθεί, με την άνοδο των ηλεκτρικών οχημάτων και των τεχνολογιών αυτόνομης οδήγησης. [46]

Στον παγκόσμιο χάρτη, η Κίνα είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός γυαλιού. Παράγει περισσότερους από 20 εκατομμύρια τόνους απορριμμάτων κάθε χρόνο (Wang et al., 2023). Η άφθονη παραγωγή απορριμμάτων γυαλιού παγκοσμίως, μπορεί να αντιμετωπιστεί με την πολλά υποσχόμενη ανακύκλωση κλειστού βρόγχου, όπου ερευνάται για να μπορέσει να γίνει αντικατάσταση των πρώτων υλών με ανακτημένα δευτερεύοντα υλικά. Επιπλέον, η αυξανόμενη εστίαση στη βιωσιμότητα και τα φιλικά προς το περιβάλλον υλικά ευνοεί το γυαλί, καθώς είναι ανακυκλώσιμο και μπορεί να συμβάλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η ετήσια παραγωγή γυαλιού από το 2021 είναι 130 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι, με τη ζήτηση να βασίζεται στη συσκευασία (μπουκάλια, βάζα), τις κατασκευές (παράθυρα, επίπεδο γυαλί), τα αυτοκίνητα (παρμπρίζ) και την τεχνολογία (οθόνες και ηλιακά πάνελ). Η Ευρώπη και η Κίνα είναι σημαντικοί παραγωγοί. Στον παγκόσμιο χάρτη, η Κίνα είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός γυαλιού. Παράγει περισσότερους από 20 εκατομμύρια τόνους απορριμμάτων κάθε χρόνο (Wang et al., 2023). Αντίθετα, η Ευρώπη κυριαρχεί στην ανακύκλωση γυαλιού, ιδιαίτερα στη συσκευασία με τα ποσοστά ανακύκλωσης να ξεπερνούν το 70%. Σε αντίθεση με το πλαστικό, το γυαλί έχει

υψηλότερο ποσοστό ανακύκλωσης, με περίπου 30-40% του γυαλιού παγκοσμίως να ανακυκλώνεται. Τα παγκόσμια απορρίμματα γυαλιού είναι λιγότερο διαδεδομένα σε σύγκριση με το πλαστικό, κυρίως επειδή το γυαλί είναι βαρύτερο, πιο ανθεκτικό και έχει υψηλότερο ποσοστό ανακύκλωσης. Υπολογίζεται ότι το 7-10% του παραγόμενου γυαλιού γίνεται απόβλητο ετησίως.



Εικόνα 13: Αγοραία αξία του επίπεδου γυαλιού παγκοσμίως από το 2020 έως το 2022, με πρόβλεψη για το 2030 (<https://www.statista.com>)

Το γυαλί είναι ένα από τα ελάχιστα υλικά που μπορούν να ανακυκλώνονται συνεχόμενα χωρίς απώλεια ποιότητας, καθιστώντας το περιβαλλοντικά πλεονεκτικό έναντι άλλων υλικών όπως το πλαστικό. Ωστόσο, τα παγκόσμια ποσοστά ανακύκλωσης διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Στην Ευρώπη το ποσοστό ανακύκλωσης γυάλινων συσκευασιών που συλλέχθηκαν το 2022 είναι 80,2% , όπου είναι υψηλό, αλλά σε άλλες περιοχές όπως οι ΗΠΑ, το ποσοστό είναι στο 33% όπου είναι αρκετά χαμηλότερο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει φιλόδοξους στόχους, στοχεύοντας σε ποσοστό συλλογής 90% έως το 2030. Το υψηλό ποσοστό οφείλεται στις προσπάθειες για τη διατήρηση του γυαλιού σε ένα σύστημα κλειστού βρόγχου, που σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος του χρησιμοποιείται για την κατασκευή νέων γυάλινων δοχείων, καθιστώντας το υλικό εξαιρετικά βιώσιμο για επαναχρησιμοποίηση. Τα ποσοστά αυτά θα μπορούσαν να γίνουν καλύτερα με τις προσπάθειες για βελτίωση των υποδομών ανακύκλωσης γυαλιού αλλά και την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών, οι δύο αυτοί παράγοντες είναι βασικοί για την ενίσχυση της βιωσιμότητας στη

χρήση γυαλιού. Η κυκλική οικονομία για το γυαλί κερδίζει σε αρκετές χώρες, με αυξανόμενη εστίαση στη συλλογή και επεξεργασία απορριμμάτων γυαλιού για επαναχρησιμοποίηση. Οι εφαρμογές ηλιακής ενέργειας αποτελούν σημαντική προοπτική για τη βιομηχανία γυαλιού. Καθώς η ηλιακή τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, η ζήτηση για εξειδικευμένο γυαλί σε ηλιακά πάνελ και συστήματα συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά. [51]

Το μέλλον της παραγωγής αλλά και χρήσης γυαλιού θα επηρεαστεί από τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, με βασικά σημεία την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση και τη μείωση των απορριμμάτων. Οι κυβερνήσεις και οι βιομηχανίες θέτουν στόχους για την αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής γυαλιού. Η ανακύκλωση γυαλιού σε προϊόντα όπως τα δομικά υλικά και τα διακοσμητικά είδη είναι ένας μελλοντικός τομέας ανάπτυξης, ειδικά σε περιοχές με χαμηλότερη υποδομή ανακύκλωσης.

Το γυαλί εκτός από τα πλεονεκτήματα που έχει ως υλικό αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν ανταγωνιστικά υλικά. Το πλαστικό και το αλουμίνιο είναι ανταγωνιστικά υλικά για το γυαλί λόγω του ότι είναι ελαφρύτερες, φθηνότερες και συχνά πιο ευέλικτε λύσεις. Το κόστος μεταφοράς του γυαλιού είναι υψηλότερο λόγω του βάρους του και είναι πιο επιρρεπές σε θραύση. Οι καινοτομίες στις πλαστικές και μεταλλικές συσκευασίες, όπως είναι τα μπουκάλια PET και τα δοχεία αλουμινίου ενδέχεται να συνεχίσουν να επηρεάζουν το μερίδιο αγοράς του γυαλιού, ειδικά στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών.

Σχετικά με την απανθρακοποίηση της παραγωγής γυαλιού, η βιομηχανία βρίσκεται σε πίεση για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα. Η παραγωγή γυαλιού είναι ενεργοβόρα και η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί βασικό επίκεντρο για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Οι τεχνολογίες όπου είναι ουδέτερες από εκπομπή άνθρακα στην παραγωγή του γυαλιού αναμένονται να επιταχυνθούν, με διαδικασίες και επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες, όπως η χρήση ανακυκλωμένου υαλοπίνακα για τη μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή νέου γυαλιού.

Η τρέχουσα κατάσταση της χρήσης γυαλιού είναι ευνοϊκή και οι προοπτικές του είναι ελπιδοφόρες λόγω της ευελιξίας, της αντοχής και του φιλικού προς το περιβάλλον χαρακτήρα του καθώς οι βιομηχανίες συνεχίζουν να εξελίσσονται και δίνουν προτεραιότητα στην ασφάλεια, την αισθητική και τη βιωσιμότητα, το γυαλί είναι πιθανό να διατηρήσει τη σημασία του και να βρει νέες εφαρμογές στο μέλλον.

Σε σχέση με τις μελλοντικές προοπτικές είναι η ανάπτυξη βιώσιμων και έξυπνων τεχνολογιών γυαλιού, όπως το ενεργειακά αποδοτικό και ηλιακό γυαλί. Η κυκλική οικονομία προσφέρει μια σημαντική ευκαιρία για τη βελτίωση της ανακύκλωσης και της μείωσης των απορριμμάτων. Τέλος, τα ανταγωνιστικά υλικά θα συνεχίσουν να προκαλούν τη βιομηχανία γυαλιού, αλλά οι καινοτομίες στην πράσινη κατασκευή θα μπορούσαν να ενισχύσουν το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα του γυαλιού.[66]

3.2 Πλαστικό

Το πλαστικό έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητας λόγω της ευελιξίας, της οικονομικής τιμής και της ευκολίας του. Ωστόσο, η τρέχουσα κατάσταση σχετικά με τη χρήση του πλαστικού και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του είναι μία αυξανόμενη ανησυχία. Η παγκόσμια παραγωγή πλαστικού έχει μία σταθερή αύξηση με την πάροδο των χρόνων λόγω της ευρείας χρήσης της συσκευασίας, των κατασκευών, την αυτοκινητοβιομηχανία, την ηλεκτρονική και άλλες βιομηχανίες.

Σύμφωνα με τον OECD, ο κόσμος παρήγαγε 353 εκατομμύρια τόνους πλαστικών απορριμμάτων το 2019. Αυτό το ποσοστό αντιπροσώπευε το 90% της παγκόσμιας παραγωγής πλαστικών εκείνη τη περίοδο, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του πλαστικού που παράγεται να καταλήγει ως απόβλητο. Από τα απόβλητα αυτά, ο 9% ανακυκλώνεται παγκοσμίως, το 19% αποτεφρώνεται και το 50% καταλήγει σε χωματερές, το υπόλοιπο 22% υφίσταται κακή διαχείριση, καταλήγοντας συχνά ως ρύπανση σε ωκεανούς, ποτάμια και άλλα οικοσυστήματα. Το 2021, η παγκόσμια παραγωγή πλαστικού ήταν περίπου 390 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι ετησίως, σύμφωνα με τα στοιχεία της Plastics Europe. Η παραγωγή αυξάνεται κατά 3-4% ετησίως, με τις προβλέψεις να δείχνουν περαιτέρω αυξήσεις καθώς συνεχίζεται η ζήτηση για πλαστικά σε πολλούς τομείς. Η Ασία είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός πλαστικού, συνεισφέροντας σε πάνω από το 50% της παγκόσμιας παραγωγής, με την Κίνα μόνο να αντιπροσωπεύει περίπου το 30%, από το σύνολο του παραγόμενου πλαστικού, μόνο το 9% έχει ανακυκλωθεί, με το υπόλοιπο να καταλήγει σε χωματερές, να αποτεφρώνεται ή στο περιβάλλον.[51]

Το 2022, παγκόσμια παραγωγή πλαστικού έφτασε τους 400,3 εκατομμύρια τόνους (Mt), με ελάχιστη αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Τα ανακυκλωμένα πλαστικά αντιπροσώπευαν το 8,9% της συνολικής παραγωγής, όπου είναι 35,5 Mt. Η ζήτηση για ανακυκλωμένα ή βιολογικά πλαστικά αυξάνεται ραγδαία, ειδικά στην Ευρώπη, όπου αντιπροσώπευε το 21% της παγκόσμιας παραγωγής ανακυκλωμένου πλαστικού. Για τα πλαστικά το ποσοστό ανακύκλωσης είναι

χαμηλότερο από ότι το γυαλί, αλλά βελτιώνεται. Από το 2022, περίπου το 26,9% των πλαστικών απορριμμάτων ανακυκλώνονταν. Αν και αυτό σηματοδοτεί σημαντική πρόοδο, εξακολουθεί να αφήνει μεγάλο μέρος των πλαστικών απορριμμάτων είτε αποτεφρωμένο (με ανάκτηση ενέργειας) είτε σε χωματερές. Η ΕΕ πιέζει για υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης πλαστικών, με ποσοστά ανακύκλωσης πλαστικών, με στόχο το 55% έως το 2030. Τα πλαστικά μίας χρήσης, όπως οι σακούλες, τα μπουκάλια, και οι συσκευασίες, συμβάλλουν σημαντικά σε αυτό το πρόβλημα. Οι κυβερνήσεις, οι οργανισμοί και τα άτομα αναγνωρίζουν όλο και περισσότερο την ανάγκη μείωσης της κατανάλωσης πλαστικού και δημιουργία βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων. [57]

Σε ότι αφορά τις πλαστικές ύλες υψηλής προστιθέμενης αξία (High Adde Value Plastics : HAVP) αναφέρονται σε εξειδικευμένα πλαστικά με βελτιωμένες ιδιότητες, που χρησιμοποιούνται σε τομείς όπως είναι η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροναυπηγική, τα ηλεκτρικά, η υγεία και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτά τα πλαστικά προσφέρουν μοναδικά πλεονεκτήματα όπως αυξημένη ανθεκτικότητα, αντοχή στη θερμότητα, χημική σταθερότητα και ελαφρύ βάρος, καθιστώντας τα απαραίτητα σε προηγμένες εφαρμογές.

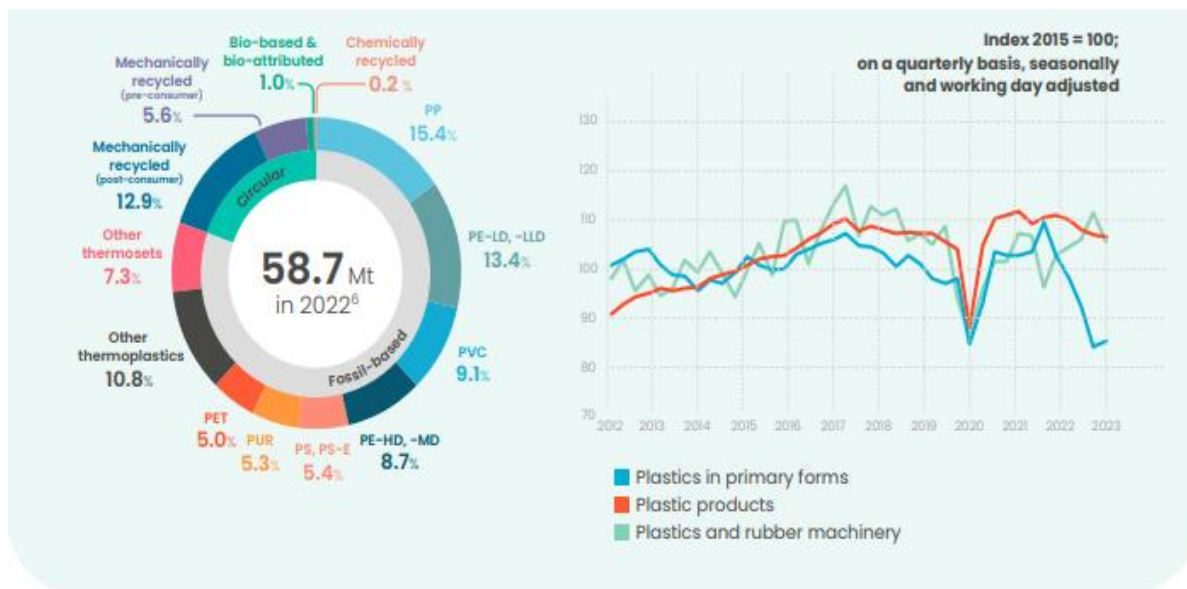
Οι κύριοι τύποι πλαστικών υλών υψηλής προστιθέμενης αξίας είναι τα μηχανικά πλαστικά, τα πολυμερή υψηλών επιδόσεων (HPPs), τα βιοπλαστικά και τα βιώσιμα πολυμερή. Τα μηχανικά πλαστικά είναι πολυμερή όπως για παράδειγμα το πολυανθρακικό (PC), το πολυαμίδιο (PA) και το ABS όπου χρησιμοποιούνται σε απαιτητικά περιβαλλοντικά λόγω των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων τους. Τα πολυμερή υψηλών επιδόσεων περιλαμβάνουν το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE), το PEEK (κετόνη πολυαιθερικού αιθέρα) και το PPS (Σουλφίδια πολυφαινυλενίου — Ακρυλικά πολυμερή), που χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική, την αυτοκινητοβιομηχανία και τις ιατρικές συσκευές λόγω της εξαιρετικής απόδοσής τους σε ακραίες συνθήκες. Τέλος, τα βιοπλαστικά και τα βιώσιμα πολυμερή είναι αναδυόμενα πλαστικά υψηλής προστιθέμενης αξίας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το PLA (πολυγαλακτικό οξύ) ή το PHA (Πολυδροξυαλκανοϊκά), όπου ανταποκρίνονται στην αυξανόμενη ζήτηση για οικολογικές εναλλακτικές στα συμβατικά πλαστικά.

Σε ότι αφορά τις εφαρμογές, στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική τα HAVPs είναι κρίσιμα για τη μείωση του βάρους των οχημάτων και τη βελτίωση της αποδοτικότητας καυσίμου. Για παράδειγμα, τα πλαστικά ενισχυμένα με ανθρακονήματα χρησιμοποιούνται σε οχήματα υψηλών επιδόσεων και αεροσκάφη λόγω του ελαφρού βάρους και της αντοχής τους. Στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική έχει αυξηθεί η χρήση ελαφριών υλικών όπως τα πλαστικά υψηλής προστιθέμενης αξίας, επειδή πληρούν τους αυστηρούς κανονισμούς εκπομπών

και βελτιώνουν την αποδοτικότητα του καυσίμου Η ζήτηση για προηγμένα πλαστικά σε μπαταρίες και ελαφριά εξαρτήματα αναμένεται να αυξηθεί λόγω της ανάπτυξης των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs). Επίσης, στις ιατρικές συσκευές χρησιμοποιούνται πλαστικά όπως το PPSU και το PEEK όπου τοποθετούνται σε εμφυτεύματα, προσθετικά και χειρουργικά εργαλεία, αντικαθιστώντας μεταλλικά εξαρτήματα λόγω της βιοσυμβατότητας τους. Στον τομέα της υγείας τα HAVP θα αποκτήσουν περαιτέρω αύξηση λόγω της χρήσης του σε βιοαποδομήσιμα ιατρικά εμφυτεύματα και υλικά 3D εκτύπωσης για εξατομικευμένη ιατρική. Επιπλέον, στα ηλεκτρικά τα πολυιμίδια και τα θερμοπλαστικά χρησιμοποιούνται σε εύκαμπτα ηλεκτρικά, μπαταρίες υψηλής απόδοσης και υλικά για εφαρμογές υψηλής τάσης. Τέλος, σε ότι αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στον τομέα της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας, τα πλαστικά με αντοχή στη θερμότητα και τα χημικά, όπως τα φθοριοπολυμερή και οι εποξειδικές ρητίνες, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ανεμογεννητριών και ηλιακών πάνελ.[62]

Τα HAVP παρά τις υψηλές επιδόσεις, αντιμετωπίζουν προκλήσεις αναφορικά με την ανακύκλωση, καθώς πολλά από αυτά τα πλαστικά είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν λόγω των πολύπλοκων χημικών δομών τους. Από την άλλη υπάρχει αυξημένη σημασία στην ανάπτυξη βιολογικών HAVP και τη βελτίωση των τεχνολογιών ανακύκλωσης, ώστε να ευθυγραμμιστούν με τους παγκόσμιους στόχους βιωσιμότητας.

Η ανάπτυξη των νανοσύνθετων υλικών και των έξυπνων πολυμερών αναμένεται να βελτιώσει περαιτέρω τις ιδιότητες των HAVP, καθιστώντας τα πιο ευέλικτα για νέες εφαρμογές σε τομείς , όπως η ρομποτική, η τεχνητή νοημοσύνη και η προηγμένη βιομηχανία. Η τεχνολογία 3D εκτύπωσης διευρύνει τις εφαρμογές των HAVP, επιτρέποντας την εξατομίκευση εξαρτημάτων σε βιομηχανίες όπως η αυτοκινητοβιομηχανία και η υγεία.



Εικόνα 14: Ευρωπαϊκή παραγωγή πλαστικών από πολυμερή (αριστερά), Δείκτες της βιομηχανίας παραγωγής πλαστικών στην ΕΕ27 (δεξιά) [55]

Τα υλικά αυτά είναι πιο ακριβά στην παραγωγή σε σύγκριση με τα συμβατικά πλαστικά και οι διαδικασίες κατασκευής τους μπορεί να είναι ενεργοβόρες. Το κόστος αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την ευρύτερη υιοθέτησή τους. Η ανάπτυξη βιοδιασπώμενων HAVP επόμενης γενιάς θα είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας, ιδιαίτερα στην καταναλωτική και κανονιστική πίεση αυξάνεται για υλικά φιλικά προς το περιβάλλον. Τα HAVP θα συνεχίσουν να έχουν ισχυρή ζήτηση σε τομείς αιχμής, αν και η πρόκληση της βιωσιμότητας θα διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση της μελλοντικής ανάπτυξης και χρήσης. [55]

Ως απάντηση σε αυτή την πρόκληση, δίνεται μία αυξανόμενη έμφαση στην ανακύκλωση και την ανάπτυξη βιοαποδομήσιμων ή κομποστοποιήσιμων πλαστικών, καταβάλλοντας προσπάθειες για τη βελτίωση των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων και την προώθηση της κυκλικής οικονομίας όπου τα πλαστικά ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται αντί να απορρίπτονται. Επιπλέον, υπάρχει μία τάση προς στη μείωση των πλαστικών συσκευασιών και την προώθηση επαναχρησιμοποιήσιμων εναλλακτικών λύσεων. Πολλές εταιρείες και καταναλωτές υιοθετούν πρακτικές φιλικές προς το περιβάλλον, όπως η χρήση υφασμάτων σακουλών, ανοξείδωτων μπουκαλιών νερού και γυάλινων δοχείων. [64]

Οι προοπτικές για τη χρήση του πλαστικού εξελίσσονται επίσης. Η έρευνα και η ανάπτυξη (R&D) επικεντρώνονται στη δημιουργία καινοτόμων υλικών που είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη βιοπλαστικών κατασκευασμένων από ανανεώσιμες πηγές όπως

το καλαμποκάλευρο ή το ζαχαροκάλαμο, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν την εξάρτηση από πλαστικά με βάση τα ορυκτά καύσιμα. Επιπρόσθετα, οι εξελίξεις στην τεχνολογία και στις διαδικασίες παραγωγής επιτρέπουν την παραγωγή πιο βιώσιμων πλαστικών προϊόντων.

Για παράδειγμα, τα ελαφριά πλαστικά χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία για τη βελτίωση στα ανακυκλωμένα πλαστικά όπου βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευών και της κλωστοϋφαντουργίας.

Η τρέχουσα κατάσταση σχετικά με τη χρήση του πλαστικού και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του είναι ανησυχητική, υπάρχει μία αυξημένη ευαισθητοποίηση και δέσμευση για την εξεύρεση βιώσιμων λύσεων. Οι προοπτικές για τη χρήση του πλαστικού βρίσκονται στην ανάπτυξη εναλλακτικών υλικών στα βελτιωμένα συστήματα ανακύκλωσης και στην στροφή προς μία πιο κυκλική οικονομία.[55]

3.3 Δεύτερη Ζωή Γυαλιού - Πλαστικού

Το γυαλί και το πλαστικό θεωρούνται δύο από τα βασικότερα υλικά όπου είναι αναπόσπαστα κομμάτια με την καθημερινότητα των ανθρώπων. Όμως, όσο σημαντικά θεωρούνται για την καθημερινότητα του ανθρώπου, τόσο επιβλαβή θεωρούνται για το περιβάλλον από την παραγωγή νέων προϊόντων από πρώτες ύλες. Υπάρχουν δυνατότητες και υλοποιήσεις για δεύτερη ζωή τόσο σε γυαλί όσο και σε πλαστικά. Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση είναι κοινές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να δώσουν σε αυτά τα υλικά μία δεύτερη ζωή.

Στην περίπτωση του γυαλιού, η ανακύκλωση είναι μία καθιερωμένη πρακτική. Το γυαλί μπορεί να συλλεχθεί, να ταξινομηθεί και να μετατραπεί σε υαλοπίνακα, το οποίο είναι θρυμματισμένο γυαλί που μπορεί να λιώσει και να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νέων προϊόντων γυαλιού. Η διαδικασία αυτή βοηθά στη διατήρηση των πόρων, στη μείωση των αποβλήτων και στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε σύγκριση με την παραγωγή γυαλιού από πρώτες ύλες. Το συγκεκριμένο υλικό μπορεί να ανακυκλώνεται συνεχώς χωρίς να χάνει την ποιότητα του, καθιστώντας το ένα από τα πιο αποτελεσματικά υλικά για μια δεύτερη ζωή. Το ανακυκλωμένο γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νέων μπουκαλιών, βάζων, παράθυρα, μονώσεις από υαλοβάμβακα ή ως αδρανή σε σκυρόδεμα, ακόμη και πάγκων. Στην Ευρώπη τα ποσοστά ανακύκλωσης γυαλιού ξεπερνούν το 70%. Το γυαλί έχει μία ισχυρή εξέλιξη δεύτερης ζωής, ειδικά με τις αυξανόμενες χρήσεις σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακούς συλλέκτες και έξυπνο γυαλί. [42]

Ως καινοτόμες χρήσεις αναφέρονται, το smart glass, όπως για παράδειγμα το φωτοβολταϊκό γυαλί, που μετατρέπει το ηλιακό φως σε ενέργεια και προσφέρουν νέα ζωή στο γυαλί σε ενεργειακά αποδοτικά κτίρια.

Επίσης, όπως έχουμε προαναφέρει είναι ο υαλοβάμβακας , όπου είναι η μετατροπή του ανακυκλωμένου γυαλιού για θερμομόνωση στις κατασκευές.

Η ανακύκλωση γυαλιού εξοικονομεί ενέργεια σε αντίθεση με την παραγωγή παρθένου γυαλιού, όμως η διαδικασία συνεχίζει να θεωρείται ενεργοβόρα. Επίσης η μεταφορά βαρέος γυαλιού μπορεί να αντισταθμίσει ορισμένα περιβαλλοντικά οφέλη.[45]

Ομοίως, η ανακύκλωση πλαστικών στοχεύει να εκτρέψει τα πλαστικά απόβλητα από τους χώρους υγειονομικής ταφής και να τους δώσει μια δεύτερη ζωή. Η ανακύκλωση των πλαστικών μπορεί να πραγματοποιηθεί με 2 τρόπους, με τη μηχανική και χημική ανακύκλωση. Η μηχανική ανακύκλωση περιλαμβάνει την τήξη και επανεξώθηση πλαστικών για επαναχρησιμοποίηση. Είναι η ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή, αλλά συχνά καταλήγει σε προϊόντα με υποκύκλωση, όπου το ανακυκλωμένο υλικό έχει χαμηλότερη ποιότητα ή αντοχή από το αρχικό. Από την άλλη, η χημική ανακύκλωση βασίζεται σε προηγμένες χημικές διεργασίες , όπως η πυρόλυση και ο αποπολυμερισμός όπου χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τη διάσπαση των πλαστικών στις βασικές τους χημικές ουσίες για ανακατασκευή. Σε αντίθεση από τη μηχανική ανακύκλωση , η χημική ανακύκλωση επιτρέπει στα πλαστικά να ανακυκλώνονται σε υλικά υψηλής ποιότητας που μπορούν να ταιριάζουν ή να υπερβαίνουν την απόδοση των παρθένων πλαστικών. [40]

Η ανακύκλωση πλαστικού περιλαμβάνει τη συλλογή, τη διαλογή, τον καθαρισμό και την επεξεργασία πλαστικών απορριμμάτων σε πέλλετ ή νιφάδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή νέων πλαστικών προϊόντων. Το ανακυκλωμένο πλαστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, όπως συσκευασία, υφάσματα, έπιπλα και υλικά κατασκευής. Τα ανακυκλωμένα πλαστικά χρησιμοποιούνται σε προϊόντα όπως σύνθετη ξυλεία, μονωτικά υλικά και εξαρτήματα οδοποιίας. Επίσης, τα μπουκάλια PET μετατρέπονται συνήθως σε ίνες ρούχων (π.χ. πολυεστέρας), χαλιά ή ακόμα και νέα πλαστικά δοχεία. Επιπλέον, σε ορισμένες εταιρείες διερευνούν τη μετατροπή πλαστικών απορριμμάτων σε καύσιμο μέσω χημικής ανακύκλωσης, δημιουργώντας μια δεύτερη ζωή για το υλικό ως πηγή ενέργειας.

Το πλαστικό έχει ισχυρές δυνατότητες για εφαρμογές δεύτερης ζωής, συνεχίζουν να υπάρχουν προκλήσεις, όπως η μόλυνση, η υποβάθμιση στη μηχανική ανακύκλωση και η περιορισμένη υποδομή για την ανακύκλωση χημικών. Όμως, οι εξελίξεις στις τεχνολογίες διαλογής και στις διαδικασίες χημικής ανακύκλωσης αντιμετωπίζουν αυτούς τους περιορισμούς.[51]

Παγκοσμίως το ποσοστό να ανακύκλωσης συνεχίζει να είναι αρκετά χαμηλό, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις είναι περίπου στο 9%. Το ποσοστό για τις εφαρμογές της δεύτερης ζωής θα αλλάξει με ισχυρότερους κυβερνητικούς κανονισμούς, τεχνολογικές βελτιώσεις και την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών. Η εστίαση στην ανάπτυξη βιοαποικοδομήσιμων πλαστικών θα μπορούσε επίσης να μεταμορφώσει τον τρόπο επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης πλαστικών υλών. [57]

Επιπλέον, γίνονται προσπάθειες για δημιουργική επαναχρησιμοποίηση υλικών από γυαλί και πλαστικό. Για παράδειγμα, τα γυάλινα μπουκάλια μπορούν να μετατραπούν σε διακοσμητικά αντικείμενα, λάμπες ή ακόμα και δομικά υλικά όπως γυάλινο τούβλο. Τα πλαστικά απόβλητα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε οικολογικά τούβλα, τα οποία είναι πλαστικά μπουκάλια γεμάτα με συμπιεσμένα πλαστικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται ως δομικά στοιχεία για κατασκευαστικά έργα. Αυτές οι πρωτοβουλίες συμβάλλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από γυαλί και πλαστικά υλικά, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής τους και μειώνοντας την ανάγκη για παρθένα υλικά. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η σωστή διαχείριση απορριμμάτων, η υποδομή ανακύκλωσης και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή εφαρμογή αυτών των πρακτικών χρήσης δεύτερης ζωής. [59]

Τέλος, τόσο το πλαστικό όσο και το γυαλί έχουν σημαντικές δυνατότητες δεύτερης ζωής, αλλά η εφαρμογή τους ποικίλλει. Η ανακύκλωση γυαλιού είναι πιο ώριμη και αποτελεσματική, ενώ η ανακύκλωση πλαστικών εξελίσσεται, ιδιαίτερα μέσω της χημικής ανακύκλωσης και της ανάπτυξης καινοτόμων προϊόντων.

4 Πρακτικές Εφαρμογές και Επενδύσεις σε Δεύτερη Ζωή Πλαστικού και Γυαλιού

4.1 Επαναχρησιμοποίηση & Ανακύκλωση Γυαλιού (Δεύτερη Ζωή)

Τα αποτελέσματα της έρευνας και οι πρακτικές εφαρμογές της δεύτερης ζωής για το πλαστικό και το γυαλί δείχνουν πολλά υποσχόμενες εξελίξεις σε διάφορους κλάδους, με γνώμονα τους στόχους της βιωσιμότητας και επενδύσεις.

Το γυαλί έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ενεργοποίηση της ιδέας της δεύτερης ζωής ή της επαναχρησιμοποίησης των υλικών. Αυτή η διαδικασία βοηθά στη διατήρηση των πρώτων υλών και της ενέργειας που διαφορετικά θα απαιτούνταν για την παραγωγή νέου γυαλιού από την αρχή. Η ΕΕ διαθέτει υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης γυαλιού 70-74% και χώρες όπως η Γερμανία και η Σουηδία έχουν εφαρμόσει αποτελεσματικά συστήματα ανακύκλωσης γυαλιού. Η έρευνα επικεντρώνεται στη βελτίωση της διαλογής και της απομάκρυνσης μόλυνσης για να καταστήσει την ανακύκλωση ακόμη πιο αποτελεσματική. Επιπλέον, το γυαλί μπορεί να ανακυκλωθεί από καλλιτέχνες και σχεδιαστές που επαναχρησιμοποιούν δημιουργικά τα πεταμένα γυάλινα αντικείμενα σε νέα και μοναδικά κομμάτια, δίνοντας τους μία δεύτερη ζωή σε νέα ως λειτουργικά ή διακοσμητικά. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το ανακυκλωμένο γυαλί (cullet) χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή νέων δοχείων και σε δομικά υλικά, π.χ. μόνωση υαλοβάμβακα και αδρανή σκυρόδεμα. Αυτή η δεύτερη χρήση του γυαλιού εκτός από ενεργειακά αποδοτική μειώνει και την ανάγκη για πρώτες ύλες. Επίσης, με τις επενδύσεις να αυξάνονται τα φωτοβολταϊκά τζάμια και τα έξυπνα παράθυρα επιτρέπουν την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας στα κτίρια. Με τις τεχνολογίες αυτές συμπεραίνεται ότι με τον τρόπο αυτό το ανακυκλωμένο γυαλί ενσωματώνεται σε μελλοντικές βιώσιμες υποδομές.[53]

Η ευελιξία και η βιωσιμότητα του γυαλιού το καθιστούν ιδανικό υλικό για την πραγματοποίηση μίας δεύτερης ζωής μέσω πρωτοβουλιών ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης. Πολλές μελέτες αναφέρουν ότι για κάθε 10% ανακυκλωμένου που χρησιμοποιείται στην κατασκευή, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φτάσει το 3%, ενώ οι εκπομπές CO₂ μπορούν να μειωθούν έως και 7%. Οι εξοικονόμηση αυτή καθιστά την ανακύκλωση γυαλιού περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμη.[48]

Σχετικά με τις δυνατότητες επέκτασης ζωής το γυαλί έχει πολλές που έχουν εξερευνηθεί και χρησιμοποιηθεί.

Μερικές από αυτές δυνατότητες περιλαμβάνουν:

1. **Ανακύκλωση** : Το γυαλί είναι εξαιρετικά ανακυκλώσιμο υλικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία νέων προϊόντων γυαλιού. Αυτή η διαδικασία συμβάλλει στη μείωση των απορριμμάτων και στην εξοικονόμηση πόρων.
2. **Επαναχρησιμοποίηση** : Το γυαλί μπορεί να επανατοποθετηθεί σε διάφορα δημιουργικά και λειτουργικά αντικείμενα. Όπως για παράδειγμα, τα παλιά γυάλινα μπουκάλια μπορούν να μετατραπούν σε διακοσμητικά βάζα ή να χρησιμοποιηθούν ως οικοδομικά υλικά σε φιλικά προς το περιβάλλον κατασκευαστικά έργα.
3. **Τέχνη και χειροτεχνίες** : Το γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καλλιτεχνικές προσπάθειες, όπως βιτρό παράθυρα, γλυπτά από γυαλί ή έργα τέχνης από λιωμένο γυαλί. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία μοναδικών και οπτικά ελκυστικών κομματιών.
4. **Εξωραϊσμός και διακόσμηση** : Το θρυμματισμένο γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διακοσμητικό στοιχείο σε έργα εξωραϊσμού, όπως μονοπάτια ή πινελιές κήπου. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δάπεδα terrazzo ή πάγκους.

Αυτές είναι μερικές από τις κοινές δυνατότητες δεύτερης ζωής για το γυαλί, μπορεί να υπάρχουν και άλλες καινοτόμες χρήσεις που δεν έχουν ακόμη υλοποιηθεί πλήρως. Καθώς η τεχνολογία και η δημιουργικότητα συνεχίζουν να προοδεύουν, υπάρχει δυνατότητα για περαιτέρω εξερεύνηση και ανακάλυψη νέων εφαρμογών για ανακυκλωμένο γυαλί.

Οι προκλήσεις για το γυαλί αφορούν τη διαδικασία όπου παραμένει ενεργοβόρα και η μεταφορά βαρέων γυάλινων υλικών είναι δαπανηρή, παρόλο που είναι ένα εξαιρετικά ανακυκλώσιμο υλικό.

Ένα παράδειγμα δεύτερης ζωής του γυαλιού είναι η πρωτοβουλία της εταιρείας O-I (Owens-Illinois), όπου θεωρείται ένας από τους μεγαλύτερους γυάλινων συσκευασιών παγκοσμίως. Η εταιρεία έχει αναπτύξει ένα κλειστό σύστημα ανακύκλωσης για γυάλινα προϊόντα, προωθώντας τη χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού (cullet) ως πρώτη ύλη στην παραγωγή νέων προϊόντων. Το πρόγραμμα αυτό αφορά τη χρήση απορριμμάτων γυαλιού (cullet) για την κατασκευή νέων γυάλινων μπουκαλιών και βάζων. Το γυαλί που συλλέγεται από καταναλωτές και επιχειρήσεις μετατρέπεται σε πρώτη ύλη για νέα προϊόντα, μειώνοντας την ανάγκη για εξόρυξη νέων υλικών. Η

διαδικασία περιλαμβάνει τη συλλογή και τη διανομή, τη σύνθλιψη και την ανακύκλωση, όπου το γυαλί συνθλίβεται σε μικρά κομμάτια (cullet) και αναμιγνύεται με πρώτες ύλες, όπως άμμο και ασβεστόλιθο, για την παραγωγή νέου γυαλιού. Τέλος, είναι η παραγωγή νέων προϊόντων, όπου το νέο προϊόν διατηρεί την ίδια ποιότητα με το αρχικό και μπορεί να ανακυκλωθεί συνεχόμενα χωρίς να χάσει τις ιδιότητές του.

Τα οφέλη από τη δράση αυτή είναι περιβαλλοντικά, η χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά περίπου 20% και την κατανάλωση ενέργειας έως και 30%. Η ανακύκλωση γυαλιού μειώνει το κόστος των πρώτων υλών και της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή νέων προϊόντων. Τέλος, το ανακυκλωμένο γυαλί δεν χάνει την ποιότητα του, καθιστώντας το ιδανικό για συνεχόμενη ανακύκλωση. Η O-I, μέσω ενσωμάτωσης ανακυκλωμένου γυαλιού σε όλα τα στάδια παραγωγής, έχει καταφέρει να μειώσει το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα, δημιουργώντας έναν πιο βιώσιμο κύκλο ζωής για τα προϊόντα της. Αυτή η προσέγγιση έχει οδηγήσει στην αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένου γυαλιού, φτάνοντας έως και το 90% σε ορισμένες μονάδες παραγωγής. Το γυαλί μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και να ανακυκλωθεί ατελείωτα, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα και στην κυκλική οικονομία. (<https://www.o-i.com/>)

4.2 Επαναχρησιμοποίηση & Ανακύκλωση Πλαστικού (Δεύτερη Ζωή)

Το πλαστικό όπως και το γυαλί, μπορεί να αποκτήσει μία δεύτερη ζωή μέσω διαφόρων διαδικασιών. Η ανακύκλωση πλαστικών είναι μία κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκτροπή των πλαστικών απορριμμάτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής πλαστικών. Η διαδικασία ανακύκλωσης περιλαμβάνει τη συλλογή, τη διαλογή και τον καθαρισμό των πλαστικών απορριμμάτων που ακολουθείται από τον τεμαχισμό και την τήξη τους για τη δημιουργία νέων πλαστικών προϊόντων. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο οι τρόποι ανακύκλωσης των πλαστικών είναι μηχανική και η χημική ανακύκλωση. Στη χημική ανακύκλωση ως προηγμένες διεργασίες θεωρούνται η πυρόλυση και ο αποπολυμερισμός, όπου έχουν κερδίσει σημαντικές επενδύσεις. Αυτές οι τεχνολογίες διασπούν τα πλαστικά στα χημικά στους συστατικά, επιτρέποντας τους να μεταμορφωθούν σε πλαστικά παρθένας ποιότητας. Αυτό βοηθάει στη διατήρηση των πόρων και στη μείωση της ανάγκης για παραγωγή παρθένων πλαστικών. Για παράδειγμα, εταιρείες όπως η Eastman Chemical έχουν επενδύσει πολλά στη κλιμάκωση των εργοστασίων ανακύκλωσης

χημικών, με στόχο να μετατρέπουν τα πλαστικά απόβλητα μετά την κατανάλωση σε πρώτες ύλες υψηλής ποιότητας για νέα παραγωγή πλαστικού.[62]

Επίσης, το πλαστικό μπορεί να ανακυκλωθεί ή να επαναχρησιμοποιηθεί σε νέα προϊόντα. Η ανακύκλωση περιλαμβάνει τη δημιουργική μετατροπή των πλαστικών απορριμμάτων σε αντικείμενα υψηλότερης αξίας με νέες λειτουργίες ή αισθητική. Για παράδειγμα, τα πλαστικά μπουκάλια μπορούν να μετατραπούν σε ζαρντινιέρες, τσάντες ή ακόμα και έπιπλα. Αυτή η διαδικασία όχι μόνο παρατείνει τη διάρκεια ζωής του πλαστικού αλλά μειώνει επίσης τη ζήτηση για νέα παραγωγή πλαστικών. Από την άλλη τα ανακυκλωμένα σύνθετα πλαστικά χρησιμοποιούνται σε ανθεκτικά δομικά υλικά όπως καταστρώματα, περιφράξεις και μόνωση κτιρίων. Στην ΕΕ οι κανονισμοί που προωθούν το ανακυκλωμένο περιεχόμενο έχουν οδηγήσει σε αυξανόμενη χρήση πλαστικών στον τομέα αυτό.[67]

Το πλαστικό ως πολυχρηστικό υλικό, προσφέρει πολλές δυνατότητες δεύτερης ζωής. Μερικά παραδείγματα για το πώς το πλαστικό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή ανακυκλωθεί:

1. **Ανακύκλωση (Upcycling)** : Τα πλαστικά αντικείμενα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν δημιουργικά σε νέα προϊόντα με προστιθέμενη αξία. Για παράδειγμα, τα πλαστικά μπουκάλια μπορούν να μετατραπούν σε ζαρντινιέρες, δοχεία αποθήκευσης ή ακόμα και εγκαταστάσεις τέχνης.
2. **Ανακύκλωση (Recycling)** : Η ανακύκλωση πλαστικού περιλαμβάνει την επεξεργασία χρησιμοποιημένου πλαστικού σε πρώτες ύλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή νέων προϊόντων. Αυτό βοηθά στη μείωση των απορριμμάτων και στην εξοικονόμηση πόρων. Το ανακυκλωμένο πλαστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μεγάλης γκάμα αντικειμένων συμπεριλαμβανομένων επίπλων, ρούχων και υλικών συσκευασίας.
3. **Υλικά κατασκευής** : Ορισμένοι τύποι πλαστικού όπως το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ανθεκτικών δοκιμών υλικών όπως η πλαστική ξυλεία, τα οποία μπορούν να αντικαταστήσουν το παραδοσιακό ξύλο σε διάφορες εφαρμογές.
4. **Ανάκτηση ενέργειας** : Σε ορισμένες περιπτώσεις τα πλαστικά απόβλητα μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια μέσω διεργασιών όπως η πυρόλυση ή η αεριοποίηση. Αυτό επιτρέπει την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτές είναι μερικές από τις υπάρχουσες δυνατότητες δεύτερης ζωής για το πλαστικό, η συνεχιζόμενη έρευνα και καινοτομία μπορεί να αποκαλύψει νέους και πιο αποτελεσματικού τρόπους επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης πλαστικών απορριμμάτων.

Οι εξελίξεις αυτές προσφέρουν ευκαιρίες για την επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας για το πλαστικό όπου τα απόβλητα ελαχιστοποιούνται και τα υλικά επαναχρησιμοποιούνται. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ενώ η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση συμβάλλουν στο να δώσουν στο πλαστικό μία δεύτερη ζωή, η μείωση της κατανάλωσης πλαστικού και η προώθηση βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων παραμένουν ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση του παγκόσμιου ζητήματος των πλαστικών απορριμμάτων. Είναι σημαντικό να διερευνηθούν βιώσιμες λύσεις για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του πλαστικού και την προώθηση μίας κυκλικής οικονομίας.

Στη βιομηχανία της μόδας, εταιρείες όπως η Patagonia και Adidas χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα PET από μπουκάλια, για τη παραγωγή ρούχων και παπουτσιών. Αυτή η τάση επεκτείνεται με τις μάρκες και τους καταναλωτές να εκτιμούν όλο και περισσότερο τη βιωσιμότητα. Στην αυτοκινητοβιομηχανία τα ανακυκλωμένα πλαστικά χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό των αυτοκινήτων και στα μέρη του αμαξώματος. Οι κατασκευαστές των αυτοκινήτων, συμπεριλαμβανομένης της Ford και της BMW, έχουν δεσμευτεί να αυξήσουν το περιεχόμενο ανακυκλωμένου πλαστικού στα οχήματα. Οι μεγάλες προκλήσεις για το πλαστικό βρίσκονται στη μόλυνση, την υποβάθμιση και τα οικονομικά ανακύκλωσης. Ενώ η χημική ανακύκλωση προσφέρει ελπίδα, όμως εξακολουθεί να είναι ακριβή και ενεργοβόρα.

Η υιοθέτηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας θα μπορούσε να όχι μόνο να ωφελήσει την Ευρώπη περιβαλλοντικά και κοινωνικά, αλλά θα μπορούσε να επίσης να αποφέρει καθαρό οικονομικό όφελος 1,8 εκατομμυρίων ευρώ έως το 2030. Το σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία έχει ωθήσει σημαντικές δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις σε υποδομές ανακύκλωσης πλαστικών, συμπεριλαμβανομένων των κανονισμών για περιεχόμενο ανακυκλωμένου πλαστικού σε νέα προϊόντα. Αυτή η ώθηση πολιτικής έχει τονώσει την έρευνα για πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες διαλογής, συλλογής και ανακύκλωσης.[69]

Οι βασικοί επενδυτικοί τομείς είναι οι κυβερνητικές και οι εταιρικές επενδύσεις. Οι δημόσιες πολιτικές και οι προσπάθειες του ιδιωτικού τομέα επικεντρώνονται όλο και περισσότερο στην επέκταση της υποδομής ανακύκλωσης και στην προώθηση της καινοτομίας σε τεχνολογίες δεύτερη ζωής τόσο για τα πλαστικά όσο και για το γυαλί. Για παράδειγμα η Coca-Cola και η Unilever έχουν

επενδύσει σε προγράμματα ανακύκλωσης για να αυξήσουν την ποσότητα του ανακυκλωμένου περιεχόμενου μετά την ανακύκλωση στις συσκευασίες.[70]

Η Interface, είναι μια μεγάλη εταιρεία παραγωγής μοκετών, όπου εφαρμόζει ένα καινοτόμο πρόγραμμα ανακύκλωσης πλαστικών απορριμμάτων από ωκεανούς. Η συγκεκριμένη εταιρεία χρησιμοποιεί τα πλαστικά απορρίμματα που συλλέγονται από ωκεανούς και ακτές, τα οποία επαναχρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή νέων προϊόντων. Η εταιρεία συνεργάζεται με τοπικές κοινότητες στις Φιλιππίνες και σε άλλες περιοχές για να συλλέγει πλαστικό που διαφορετικά θα κατέληγε στο περιβάλλον, βοηθώντας παράλληλα την ενίσχυση της τοπικής οικονομίας. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη συλλογή και τη διανομή, την ανακύκλωση και την παραγωγή όπου οι ανακυκλωμένες ίνες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μοκετών, δίνοντας δεύτερη ζωή στα πλαστικά απορρίμματα. Τα οφέλη από την δράση αυτή είναι περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά .

Οι νεοφυείς επιχειρήσεις και οι εταιρείες τεχνολογίες επενδύουν σε πιο προηγμένες εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών, καλύτερες τεχνολογίες ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τεχνική νοημοσύνη και πιο αποτελεσματικές τεχνικές.

Τα γυάλινα μπουκάλια επαναχρησιμοποιούνται κατά μέσο όρο 50 φορές σε συστήματα αναπλήρωσης και συνέχεια λιώνουν και ξαναφτιάχνονται σε νέα γυάλινα μπουκάλια. Τα επαναχρησιμοποιήσιμα πλαστικά μπουκάλια εξακολουθούν να έχουν προκλήσεις, ειδικά εάν είναι κατασκευασμένα από ορυκτά καύσιμα και όχι από ανακυκλωμένο πλαστικό.
(<https://www.interface.com/>)

Για παράδειγμα, τα μπουκάλια που αγοράζουν οι καταναλωτές ή οι καταστηματάρχες είναι από επαναχρησιμοποιήσιμο πλαστικό μπουκάλι που έχει σχεδιαστεί για περισσότερες από μία χρήσεις από πολλές μάρκες όπως η Coca-cola και μπορεί να γίνει επιστροφή τους στα καταστήματα. Για παράδειγμα, στη Βραζιλία η coca-cola ή η Fanta κυκλοφορούν σε ένα «καθολικό μπουκάλι» δηλαδή γενικής χρήσης για να μπορέσουν να επαναχρησιμοποιηθούν τα μπουκάλια αυτά έχουν ορίσει μια συγκεκριμένη διαδικασία η οποία είναι ότι όταν ο οδηγός πάει στο κατάστημα για να παραδώσει την νέα παραγγελία, θα μεταφέρει τα παλιά μπουκάλια σε μία εγκατάσταση εμφιάλωσης για να καθαριστούν, να ξαναγεμιστούν και να επιστημανθούν εκ νέου. Οι πελάτες από τη διαδικασία αυτή λαμβάνουν έκπτωση κάθε φορά που φέρνουν πίσω τα μπουκάλια, δημιουργώντας έτσι ένα κίνητρο που σημαίνει ότι τα μπουκάλια επαναχρησιμοποιούνται κατά μέσο όρο 25 φορές.

Το πρόγραμμα αυτό το ξεκίνησε η συγκεκριμένη εταιρεία το 2019, στη Βραζιλία, η εταιρεία παρήγαγε 1,8 δισεκατομμύρια μπουκάλια. Η εταιρεία μέχρι το τέλος της δεκαετίας, είχε ως στόχο την πώληση του ένα τέταρτου των ποτών της σε επαναχρησιμοποιήσιμες συσκευασίες.

Τα επαναχρησιμοποιήσιμα γυάλινα ή πλαστικά μπουκάλια χρησιμοποιούνται συνήθως σε ορισμένες χώρες, όπως οι ΗΠΑ, αντιπροσωπεύοντας ένα μικρό κλάσμα πωλήσεων. Οι εταιρείες όπως η coca-cola έχουν ως στόχο να επιτρέψουν την ευελιξία στον τρόπο με τον οποίο οι τοπικές αγορές να συμβάλλουν στον παγκόσμιο στόχο.

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι πριν κυκλοφορήσουν στην αγορά τα πλαστικά μπουκάλια μιας χρήσης, τα επαναγεμιζόμενα μπουκάλια αναψυκτικού ή ποτού ήταν κανόνας. Μεγάλο αντίκτυπο μπορεί να έχει ακόμη και μια μικρή στροφή σε επαναγεμιζόμενη συσκευασία. Μία περιβαλλοντική μη κερδοσκοπική οργάνωση, η Oceana υπολόγισε ότι έως και 34 δισεκατομμύρια πλαστικά μπουκάλια μπορεί να καταλήγουν στον ωκεανό.

Αν το ποσοστό των επαναγεμιζόμενων φιαλών αυξάνονταν κατά 10% στις παράκτιες χώρες, θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ρύπανσης των ωκεανών από πλαστικά μπουκάλια PET κατά 22%. Τα επαναγεμιζόμενα είναι ένας πολύ αξιόπιστος τρόπος για τη μείωση της ρύπανσης από τα πλαστικά. Η μεμονωμένη διαδικασία της ανακύκλωσης δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα των πλαστικών απορριμμάτων αλλά και των γυάλινων. Αρκετές χώρες έχουν ξεκινήσει τις διαδικασίες για επαναχρησιμοποίηση και δεύτερη ζωή στο πλαστικό. (<https://www.fastcompany.com/>)

Στις ΗΠΑ λιγότερο από το ένα τρίτο των πλαστικών μπουκαλιών ποτών ανακυκλώνεται. Στη Βραζιλία περίπου το 90% των επαναγεμιζόμενων φιαλών της coca-cola επιστρέφονται στο κατάστημα. Σε ένα επαναχρησιμοποιήσιμο σύστημα όπως της coca-cola κατέχουν μπουκάλια ως απόθεμα. Δηλαδή, στην πραγματικότητα είναι περιουσιακά στοιχεία στα βιβλία τους.

Από την άλλη, τα τέλη κατάθεσης φιαλών και άλλες αλλαγές πολιτικής θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη βελτίωση των ποσοστών ανακύκλωσης, τα επαναχρησιμοποιήσιμα μπουκάλια έχουν ένα δεύτερο πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν λιγότερο υλικό, συρρικνώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της συσκευασίας. Ακόμη και τα γυάλινα μπουκάλια, τα οποία χρησιμοποιούν περισσότερη ενέργεια από τα πλαστικά για την παραγωγή και τη μεταφορά, μπορούν να έχουν χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα από τα πλαστικά μπουκάλια μιας χρήσης όταν τα γυάλινα μπουκάλια επαναχρησιμοποιούνται επανειλημμένα.

Τα επαναχρησιμοποιημένα γυάλινα μπουκάλια ήταν το πρότυπο για τη συσκευασία αναψυκτικών όπου εξακολουθούν να είναι η καλύτερη επιλογή. Τα γυάλινα μπουκάλια επαναχρησιμοποιούνται κατά μέσο όρο 50 φορές σε συστήματα αναπλήρωσης και στη συνέχεια λιώνουν και ξαναφτιάχνονται σε νέα μπουκάλια. Σε αντίθεση με τα επαναχρησιμοποιήσιμα πλαστικά μπουκάλια όπου εξακολουθούν να έχουν προκλήσεις ειδικά εάν είναι κατασκευασμένα από ορυκτά καύσιμα και όχι από ανακυκλωμένο πλαστικό. Όμως, τα επαναχρησιμοποιήσιμα πλαστικά μπουκάλια εξακολουθούν να είναι μία βιώσιμη επιλογή καθώς μπορούν να μειώσουν τα απόβλητα. Ο βασικός στόχος είναι να μειωθεί η μόλυνση.

Το κύριο σύστημα των επαναχρησιμοποιήσεων συσκευασιών δεν είναι περίπλοκο για να υλοποιηθεί, όμως οι εταιρείες πρέπει να επενδύσουν στην υποδομή για τις διαδικασίες οι οποίες είναι ο καθαρισμός, η επαναχρησιμοποίηση φιαλών και η παρακολούθηση τους σε αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα. Όμως, για τις εταιρείες μπορεί να είναι πιο εύκολο να ξεκινήσουν σε μέρη όπου οι επαναγεμιζόμενες συσκευασίες είναι ήδη ευρέως διαδεδομένες, όπως στη Γερμανία ή στη Λατινική Αμερική, όπου ο νόμος απαιτεί να επαναχρησιμοποιηθεί ένα ορισμένο ποσοστό φιαλών.

Για παράδειγμα, στη Βραζιλία, η coca-cola προσφέρει στους πελάτες ένα σύστημα ψηφιακού πορτοφολιού που παρακολουθεί τις αγορές φιαλών, ώστε να μπορούν να επιστραφούν σε διαφορετικά καταστήματα για να κάνουν τη διαδικασία πιο βολική της επιστροφής για την επαναχρησιμοποίηση.

Υπάρχουν εταιρείες όπου έχουν αναλάβει μέσω διαφόρων έργων τη δραστηριότητα για τις επαναγεμιζόμενες συσκευασίες όπως για παράδειγμα στις ΗΠΑ συλλέγονται από την εταιρεία Terracycle's Loop, το οποίο πλέον πουλά κύρια προϊόντα σε επαναχρησιμοποιήσιμες συσκευασίες σε ορισμένα καταστήματα Kroger. Συνεργασία με την συγκεκριμένη εταιρεία έχει η Coca-cola για την προμήθεια επαναχρησιμοποιήσιμων μπουκαλιών για μηχανές αναψυκτικών στο Burger King στη Γαλλία.

Η εταιρεία Terracycle's Loop χρησιμοποιεί μία νέα τεχνολογία με μικροτσιπ στις μηχανές αναψυκτικών Freestyle σε πανεπιστήμια και θεματικά πάρκα και έχει αρχίσει να εφαρμόζει πιλοτικά περισσότερα προγράμματα επαναγεμιζόμενων μπουκαλιών στις ΗΠΑ.

Οι νέες πολιτικές θα μπορούσαν να βοηθήσουν τη διαδικασία να προχωρήσει πιο γρήγορα και να παρακινήσει άλλες εταιρείες να κάνουν την αλλαγή. Οι πολιτικές οι οποίες θα μπορούσαν να βοηθήσουν είναι υποχρεωτική κατάθεση των εμπορευματοκιβωτίων ή και οι « πράσινες χρεώσεις » για τις φιάλες και οι απαντήσεις για τυποποιημένες φιάλες. Εναλλακτικά, οι κυβερνήσεις θα

μπορούσαν να προχωρήσουν στην απαγόρευση των εμπορευματοκιβωτίων μιας χρήσης. (<https://www.terracycle.com/>)

Στην Ελλάδα κάποιες εταιρείες επιχειρούν να διαμορφώσουν ένα ενιαίο πλαίσιο για μία πιο βιώσιμη και πράσινη βιομηχανία χημικής ανακύκλωσης. Οι εταιρείες αυτές είναι η Nestle, Danone, Unilever και PepsiCo.

Αρκετές ανεξάρτητες αναλύσεις κύκλων ζωής αποδεικνύουν τα περιβαλλοντικά οφέλη της πολλαπλής χρήσης έναντι της πλαστικής συσκευασίας μιας χρήσης, και καθώς πολλές έρευνες δείχνουν την ετοιμότητα των πελατών, υπάρχει ένα κενό στην ανάλυση του κόστους έναντι των οφελών ενός κλιμακωμένου και βελτιστοποιημένου συστήματος επαναχρησιμοποίησης.

Σύμφωνα, με τις τρέχουσες ρυθμιστικές εξελίξεις στην Ευρώπη, οι επαναχρησιμοποιήσιμες συσκευασίες θα γίνουν πιο οικονομικά βιώσιμες με ταχύτερη απόδοση των επενδύσεων, αφού η τιμή των συσκευασιών μιας χρήσης θα αυξηθεί.

Πολλές επωνυμίες B2C και B2B κατανοούν τις δυνατότητες των επαναχρησιμοποιήσιμων για την επίτευξη των στόχων της μείωσης των πλαστικών και του CO₂.

Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές δοκιμές επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών υψηλού προφίλ από μεγάλες αλυσίδες σούπερ μάρκετ, όπως η Tesco , η Carrefour και Asda, και τοπικές δοκιμές από αλυσίδες άτυπης εστίασης (IEO) όπως τα McDonald's και Burger king.

Από την άλλη η Coca-cola έχει ανακοινώσει ότι στοχεύει να ενισχύσει τη χρήση επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών. Ο στόχος της εταιρείας είναι ότι έως το 2030 να έχει τουλάχιστον το 25% όλων των ποτών παγκοσμίως σε όλο το χαρτοφυλάκιο επωνυμιών της που πωλούνται σε επαναγεμιζόμενα / επιστρεφόμενα γυάλινα ή πλαστικά μπουκάλια ή δοχεία μέσω των κλασικών διανομών Coca-cola Freestyle.

Στην Coca-cola τα επιστρεφόμενα γυάλινα μπουκάλια και τα επαναγεμιζόμενα PET αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% των πωλήσεων προϊόντων της εταιρείας σε περισσότερες από 20 αγορές και το 25% των πωλήσεων σε άλλες 20 αγορές. Οι κλασικές επαναχρησιμοποιήσιμες συσκευασίες αντιπροσωπεύουν περίπου το 16% του συνολικού όγκου της εταιρείας το 2020. Η χρήση επαναχρησιμοποιήσιμων προϊόντων έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνεται σε αρκετές χώρες. Στη Γερμανία και σε μέρη της Λατινικής Αμερικής οι επαναχρησιμοποιήσιμες φιάλες αντιπροσωπεύουν το 27% του των συναλλαγών το 2020. Τα τελευταία χρόνια οι αγορές σε

όλο τον κόσμο έχουν αυξήσει τη λειτουργία των επαναγεμιζόμενων συσκευασιών μέσω πρωτοβουλιών που περιλαμβάνουν την επέκταση της κυκλοφορίας του «Universal Bottle» όπου παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2018 από την Coca-cola Βραζιλίας και έπειτα ακολούθησαν και άλλες χώρες όπως στην Αργεντινή, τη Χιλή, την Κολομβία, το Μεξικό, τη Γουατεμάλα και τον Παναμά.

Με την καινοτομία αυτή αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της συλλογής, του καθαρισμού και του γεμίσματος, προσφέροντας στο ίδιο επαναχρησιμοποιήσιμο μπουκάλι με ένα μόνο χρώμα, σχήμα και μέγεθος. Στη Νότια Αφρική με την επέκταση της κυκλοφορίας επαναγεμιζόμενων πλαστικών PET 2 λίτρων και 1,5 λίτρων (RefPET), τα οποία μπορούν να καθαριστούν, ξαναγεμιστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν πριν ανακυκλωθούν και γίνουν νέα μπουκάλια PET.

Όλες αυτές οι ενέργειες βιωσιμότητας θα βοηθήσουν στον παγκόσμιο στόχο επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών ο οποίος θα επιφέρει σημαντικές επενδύσεις, ιδιαίτερα σε αγορές με περιορισμένη υποδομή με δυνατότητα αναπλήρωσης / επιστροφής.

Τόσο το γυαλί όσο και το πλαστικό έχουν σημαντικές δυνατότητες για εφαρμογές δεύτερης ζωής, που υποστηρίζονται από αυξανόμενες επενδύσεις, έρευνα και πολιτικές που ενθαρρύνουν την κυκλική χρήση. Η βιομηχανία πλαστικών, έχει περιθώρια βελτίωσης, με τις τεχνολογίες ανακύκλωσης χημικών και την καινοτομία στα βιοπλαστικά που υπόσχονται να κλείσουν τον κύκλο των πλαστικών απορριμμάτων. Ωστόσο, το γυαλί συνεχίζει την καινοτομία στην ατελείωτη ανακυκλωσιμότητα και τις νέες έξυπνες εφαρμογές για ενεργειακά αποδοτικές υποδομές.

5 Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση – Επενδύσεων Δεύτερης Ζωής

Οι αρχές της κυκλικής οικονομίας μπορούν να ωφελήσουν την Ευρώπη περιβαλλοντικά και κοινωνικά, αλλά θα μπορούσε επίσης να αποφέρει καθαρό οικονομικό όφελος 1,8 τρισεκατομμυρίων ευρώ έως το 2030.

Το κόστος και τα οφέλη από τη χρήση πλαστικών και γυαλιών δεύτερης ζωής μπορεί να ποικίλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες όπως η ποιότητα του ανακυκλωμένου υλικού, η ενέργεια και ο πόρος που απαιτούνται για τη διαδικασία ανακύκλωσης και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης ανακυκλωμένων πλαστικών και γυαλιών σε σύγκριση με τα παρθένα πλαστικά και γυαλιά.

Όσον αφορά το κόστος, η χρήση πλαστικού και γυαλιού δεύτερης ζωής μπορεί να περιλαμβάνει αρχικές επενδύσεις στην ανακύκλωση της υποδομής και της τεχνολογίας, καθώς και το δυνητικό κόστος που συνδέεται με τη διαλογή, τον καθαρισμό και την επεξεργασία του ανακυκλωμένου υλικού. Ωστόσο, η χρήση ανακυκλωμένων πλαστικών και γυαλιών μπορεί επίσης να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους όσον αφορά την προμήθεια πρώτων υλών και τη διαχείριση των αποβλήτων.

Όσον αφορά τα οφέλη, η χρήση πλαστικών και γυαλιών δεύτερης ζωής μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ζήτησης για παρθένα πλαστικά και γυαλιά, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να βοηθήσουν στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την πλαστική και γυάλινη παραγωγή.

Επιπλέον, η ανακύκλωση του πλαστικού και του γυαλιού μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή των αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής, συμβάλλοντας σε μία πιο βιώσιμη και κυκλική οικονομία.

5.1 Γυαλί

5.1.1 Τεχνοοικονομική Ανάλυση Επένδυσης Ανακύκλωσης κλειστού βρόγχου (closed-loop) απορριμμάτων γυαλιού

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιηθεί μία ενδεικτική τεχνοοικονομική ανάλυση για τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας σύμφωνα με τη βιβλιογραφία που μελετήθηκε. Η τεχνοοικονομική ανάλυση θα βασιστεί στην ανακύκλωση κλειστού βρόγχου (closed-loop).

Όπως αναφέρθηκε στην παραπάνω ενότητα, η ανακύκλωση κλειστού βρόγχου είναι η χρήση ανακτημένων απορριμμάτων ως υποκατάστατο των πρώτων υλών για την παραγωγή νέου γυαλιού. Είναι βιώσιμη διαδικασία όπου περιλαμβάνει τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανακύκλωση γυάλινων υλικών σε νέα γυάλινα προϊόντα χωρίς απώλεια ποιότητας. Ο σκοπός της διαδικασίας

αυτής είναι να διατηρούνται τα γυάλινα υλικά σε έναν συνεχή κύκλο, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα απόβλητα αλλά και η ζήτηση για παρθένα πρώτη ύλη. Με την τεχνοοικονομική ανάλυση αυτή μελετάται μια εταιρεία που σχεδιάζει να επενδύσει σε μία μονάδα ανακύκλωσης γυαλιού χρησιμοποιώντας ανακύκλωση κλειστού βρόγχου, εστιάζοντας στην οικονομική σκοπιμότητα και τα οφέλη βιωσιμότητας.

Τα απορρίμματα γυαλιού υποβάλλονται στη διαδικασία της μηχανικής σύνθλιψης και διαχωρισμού, αφού πρώτα συλλεχθούν. Η συλλογή των απορριμμάτων γυαλιού είναι η εγγύηση της ποιότητας για τη σωστή χρήση των απορριμμάτων. Η συλλογή των γυάλινων αποβλήτων πραγματοποιείται από διάφορες πηγές όπως είναι τα νοικοκυριά, οι επιχειρήσεις και οι βιομηχανίες.

Σε πρώτη φάση τα απορρίμματα γυαλιού υφίστανται τεχνητή διαλογή. Σε ότι αφορά τη διαλογή, το συλλεγόμενο γυαλί διαχωρίζεται ανά χρώμα και τύπο (π.χ. δοχείων επίπεδο γυαλί). Το σημείο αυτό θεωρείται κρίσιμο λόγω του ότι τα διαφορετικά χρώματα και είδη γυαλιού έχουν διαφορετικά σημεία τήξης και χρήσεις. Επίσης, ελέγχονται για τυχόν ζημιές. Τα επαναχρησιμοποιημένα γυάλινα προϊόντα ελέγχονται για να μπορεί εξασφαλιστεί ότι δεν έχουν ραγίσματα και σπασίματα.

Σε δεύτερη φάση είναι ο καθαρισμός και η προετοιμασία όπου, γίνεται η απομάκρυνση των ρυπαντών δηλαδή το γυαλί καθαρίζεται, ώστε να διαχωριστούν τα μεγάλα χαρτιά, μεγάλα πλαστικά, μαγνητικά μέταλλα και άλλες εμφανείς ακαθαρσίες. Στη συνέχεια, είναι η διαδικασία της σύνθλιψης όπου το καθαρισμένο γυαλί συνθλίβεται σε μικρά κομμάτια όπου αναφέρονται ως cullet και είναι το βασικό υλικό που χρησιμοποιείται στη διαδικασία ανακύκλωσης γυαλιού.

Σε τρίτη φάση είναι η σύνθλιψη του cullet όπου διαχωρίζεται για να εξασφαλιστεί ομοιομορφία στο μέγεθος των σωματιδίων ώστε να πληρούν τις προδιαγραφές, έπειτα πραγματοποιείται ο έλεγχος κραδασμών, τα απορρίμματα γυαλιού συνθλίβονται σε υαλόθραυσμα, όπου περνά από στεγνωτήριο. Στη συνέχεια, η ταξινόμηση διαλογής και μαγνητικού διαχωρισμού χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό μικροσκοπικών μετάλλων και μη μεταλλικών ακαθαρσιών.

Έπειτα είναι ο οπτικός διαχωρισμός όπου χρησιμοποιείται για περαιτέρω καθαρισμό του cullet απομακρύνοντας τυχόν εναπομείναντες ρύπους και κάνει τα διαφορετικά χρώματα γυαλιού να διαχωρίζονται και λαμβάνεται το κύριο προϊόν και υποπροϊόν. Επιπρόσθετα, είναι ο ποιοτικός έλεγχος γίνεται για διασφαλιστεί ότι το cullet πληροί τα απαιτούμενα πρότυπα για την παραγωγή γυαλιού. Η υψηλή ποιότητα του cullet προσφέρει νέα προϊόντα γυαλιού χωρίς ελαττώματα.

Στην τέταρτη φάση πραγματοποιείται η φόρτωση του επεξεργασμένου cullet σε κλίβανο, όπου αναμειγνύεται με πρώτες ύλες για την επίτευξη της επιθυμητής σύνθεσης γυαλιού. Η θερμοκρασία για την τήξη του γυαλιού είναι περίπου 1.500°C (2.732°F). Με τη χρήση cullet μειώνεται σημαντικά η ενέργεια συγκριτικά με την τήξη εξ ολοκλήρου πρώτων υλών, αφού το cullet λιώνει σε χαμηλότερη θερμοκρασία.

Στην πέμπτη φάση στο σχηματισμό του γυαλιού με τη βοήθεια καλουπιών το λιωμένο γυαλί μορφοποιείται σε καινούργια γυάλινα προϊόντα. Οι μέθοδοι είναι τρεις για τη διαμόρφωση του σχήματος :

1. Φύσημα: Είναι για κοίλα αντικείμενα π.χ. μπουκάλια.
2. Συμπίεση : Είναι για γυάλινα σκεύη ή φακούς.
3. Σχίσσιμο και Κύλιση : Είναι για επίπεδα γυαλιά όπως τα παράθυρα.

Τέλος, στη φάση αυτή τα γυάλινα προϊόντα μέσω της διαδικασίας της αποπληξίας ψύχονται αργά σε φούρνο ώστε να απαλλαγούν από τις εσωτερικές τάσεις και να εξασφαλιστεί η ανθεκτικότητα.

Τα γυάλινα προϊόντα που συλλέγονται αν είναι σε καλή κατάσταση πολλές φορές μπορεί να χρειαστούν μόνο μερικές επιδιορθώσεις αποφεύγοντας την ανακατασκευή με την παραπάνω διαδικασία.

Στην έκτη φάση της διαδικασίας είναι ο οριστικός ποιοτικός έλεγχος και η επιθεώρηση όπου το τελικό προϊόν ελέγχεται για τυχόν ελαττώματα. Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένα συστήματα και χειροκίνητοι έλεγχοι. Σε περίπτωση που υπάρχει κάποιο ελάττωμα στο προϊόν γίνεται επιστροφή στην αρχική διαδικασία ως cullet εξασφαλίζοντας ότι τα απόβλητα ελαχιστοποιούνται.

Τέλος, στο έβδομο στάδιο περιλαμβάνεται η συσκευασία και η διανομή, όπου τα γυάλινα προϊόντα συσκευάζονται και προετοιμάζονται για διανομή. Με τη διανομή τα προϊόντα προωθούνται στους πελάτες ή εναλλακτικά επιστρέφουν στην αλυσίδα εφοδιασμού για επαναχρησιμοποίηση, όπου ολοκληρώνεται ο κύκλος του κλειστού βρόγχου.

Στην επένδυση αυτή ως πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται τα απορρίμματα γυαλιού μετά την κατανάλωση (υαλοπίνακες). Το εργοστάσιο έχει χωρητικότητα απορριμμάτων γυαλιού 60.000 μετρικούς τόνους ετησίως. Τα προϊόντα που παράγει είναι νέα γυάλινα μπουκάλια και δοχεία. Το 95% των εισροών ανακυκλώνεται σε νέα προϊόντα, το 5% είναι άχρηστα απόβλητα.

Σχετικά με την ανάλυση των κεφαλαιουχικών δαπανών, οι μεγαλύτερες δαπάνες αφορούν τους κλιβάνους τήξης γυαλιού, τα συστήματα οπτικής διαλογής και σύνθλιψης. Τα συστήματα ελέγχου των εκπομπών είναι επίσης σημαντικά λόγω της περιβαλλοντικής συμμόρφωσης. Τα ποσά των δαπανών παραθέτοντας στον ακόλουθο πίνακα 1.

Περιγραφή	Κόστος (€)
Εξοπλισμός σύνθλιψης και διαλογής γυαλιού (Glass crushing and screening equipment)	4.500.000
Οπτικό σύστημα ταξινόμησης (Optical sorting system)	3.200.000
Φούρνοι και κλίβανοι για το λιώσιμο γυαλιού (Furnaces and kilns for glass melting)	7.000.000
Εγκαταστάσεις αποθήκευσης πρώτων υλών (Storage facilities for raw material)	1.500.000
Μεταφορικές ταινίες, ιμάντες και βοηθητικά συστήματα (Conveyors, belts, and auxiliary systems)	1.200.000
Εξοπλισμός ελέγχου σκόνης και εκπομπών (Dust and emissions control equipment)	2.000.000
Έργα υποδομών και πολιτικών έργων (Infrastructure and civil works)	3.500.000
Σύνολο CAPEX	22.900.000

Πίνακας 1 : Κεφαλαιουχικές Δαπάνες (Capital Expenditure : CAPEX)

Τα απορρίμματα γυαλιού είναι η πρώτη ύλη, όπου το κόστος τους ανέρχεται στα 30 €/τόνο, όπου είναι η πληρωμή για τους προμηθευτές. Το εργοστάσιο απασχολεί 50 εργαζομένους, όπου ο καθένας κοστολογείται 50.000 €/έτος. Σε ότι αφορά το κόστος της ενέργειας, η ανακύκλωση γυαλιού είναι ενεργοβόρα, ιδιαίτερα στη φάση της τήξης. Η συντήρηση του εξοπλισμού και των τακτικών λειτουργιών υπολογίζεται ως το 5% του CAPEX. Παρακάτω παρουσιάζονται στον πίνακα 2 τα λειτουργικά κόστη που αναφέρθηκαν παραπάνω.[79]

Στοιχεία Κόστους	Κόστος / έτος (€)
Κόστος πρώτης ύλης (απορρίμματα γυαλιού)	30 €/τόνο
Κόστος εργασίας (50 εργαζόμενοι → 50.000 €/έτος)	2.500.000
Ενέργεια (8 MWh/ημέρα → 70 €/MWh)	204.400
Συντήρηση (5% του CAPEX)	1.145.000
Κόστος διάθεσης απορριμμάτων	150.000
Αναλώσιμα και προμήθειες	300.000
Διάφορα λειτουργικά έξοδα	200.000
Σύνολο OPEX	4.499.400

Πίνακας 2: Λειτουργικές Δαπάνες (Operational Expenditure OPEX)

Το κύριο προϊόν είναι το ανακυκλωμένο γυαλί που χρησιμοποιείται για την παραγωγή νέων φιαλών και δοχείων, σε τιμή πώλησης 450 €/τόνο. Από την άλλη τα μικρά σωματίδια και οι ρύποι πωλούνται σε βιομηχανίες 20 €/τόνο.

Προϊόν	Παραγωγή (τόνοι/έτος)	Τιμή πώλησης (€/τόνο)	Έσοδα (€/τόνο)
Ανακυκλωμένο γυαλί (νέα μπουκάλια)	57.000	450	25.650.000
Λεπτά απορριμμάτων γυαλιού (5%)	3.000	20	60.000
Συνολικά Έσοδα	–	–	15.000.000

Πίνακας 3 : Έσοδα και Τιμολόγηση προϊόντων

Για την αξιολόγηση της επένδυσης υπολογίζονται η καθαρή παρούσα αξία (NPV), ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR), η περίοδος απόσβεσης (payback period) και ο δείκτης κερδοφορίας (PI).

Σχετικά με την επένδυση αυτή το πλάνο διάρκειας είναι 15 χρόνια, με επιτόκιο αναγωγής 8%, ετήσια αύξηση εσόδων 2%, φορολογικό συντελεστή 25% και σταθερή απόσβεση για 10 χρόνια. Σε ότι αφορά την αύξηση του λειτουργικού κόστους είναι 1,5% ετησίως.

Οι υπολογισμοί των ταμειακών ροών σχετικά με το 1^ο έτος διαμορφώνεται ως εξής. Τα έσοδα για τον πρώτο χρόνο είναι 25.710.000 €, το OPEX για τον 1 χρόνο είναι 4.499.400 €. Η απόσβεση είναι 2.290.000 €. Το αρχικό κόστος της επένδυσης είναι 22.900.000 €. Τα κέρδη προ τόκων

υπολογίζονται από την αφαίρεση των Εσόδων – OPEX – Απόσβεση = 25.710.000 – 4.499.400 – 2.290.000 = 18.920.600 €

Ο φόρος είναι 25%, όπου σημαίνει ότι τα κέρδη είναι $18.920.600 * 0,25 = 4.730.150$ €. Το καθαρό εισόδημα είναι : $18.920.600 - 4.730.150 = 14.190.450$ €.

Οι ταμειακές ροές για τον 1^ο χρόνο είναι : $14.190.450 + 2.290.000 = 16.480.450$ €.

Για τον υπολογισμό του NPV, θεωρούμε ότι το επιτόκιο αναγωγής είναι 8% κι η διάρκεια ζωής του εργοστασίου 15 χρόνια. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό είναι ο εξής:

$$NPV = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t} - \text{Initial Investment (CAPEX)}$$

Όπου το C_t είναι η ταμειακή ροή του έτος t και το r είναι το επιτόκιο αναγωγής.

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) είναι το επιτόκιο αναγωγής στο οποίο το NPV (καθαρή παρούσα αξία) ισούται με μηδέν. Σχετικά με την περίοδο απόσβεσης υποδεικνύει το χρόνο που απαιτείται για την ανάκτηση της αρχικής επένδυσης από τις ταμειακές ροές.

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς το cash flow (ταμειακή ροή) είναι 16.480.450 €. Το 2^ο έτος είναι $16.480.450 + \text{ταμειακές ροές του 2^{ου} έτους (329.609 €)} = 16.810.059$ €, με αύξηση εσόδων 2%. Έτσι, απόσβεση πραγματοποιείται σε 2 χρόνια. Ο δείκτης κερδοφορία παρουσιάζεται με τον ακόλουθο τύπο :

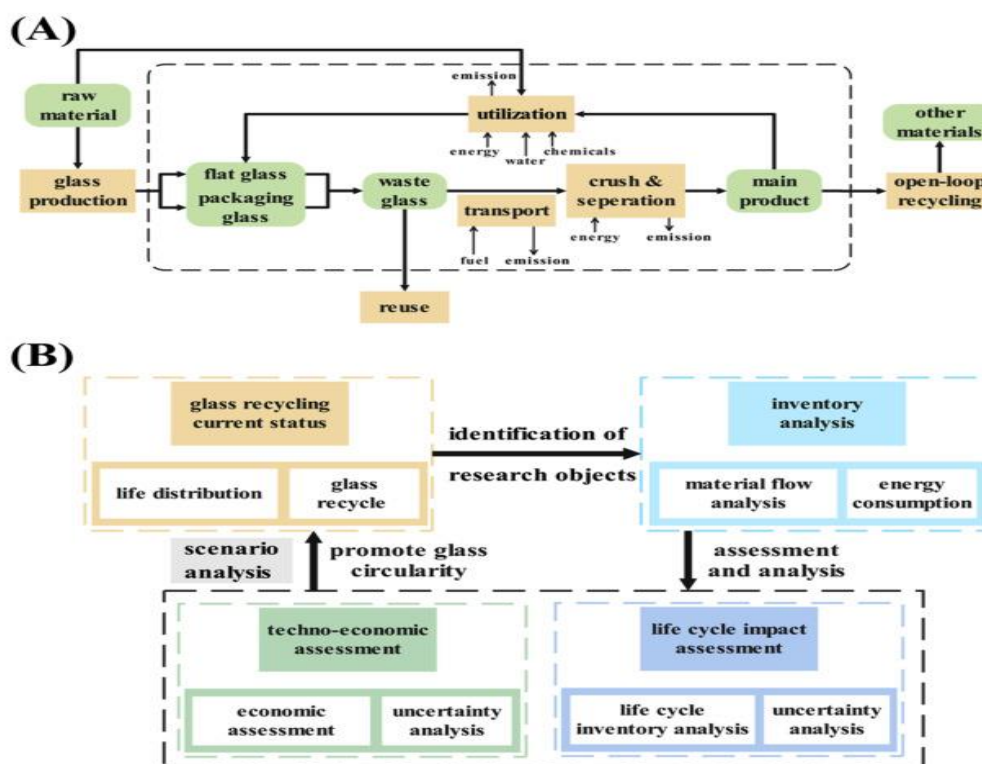
$$PI = \frac{NPV + CAPEX}{CAPEX}$$

Όταν ο δείκτης κερδοφορίας (PI) είναι μεγαλύτερος του 1 ($PI > 1$) τότε υποδηλώνεται κερδοφορία.

Η ανακύκλωση γυαλιού μέσω συστημάτων κλειστού βρόγχου χρησιμοποιεί 30% λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με την παραγωγή νέου γυαλιού από πρώτε ύλες. Επίσης, η ανακύκλωση γυαλιού μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά 20-30% σε σύγκριση με την παρθένα παραγωγή. Επιπλέον, το εργοστάσιο δημιουργεί 50 άμεσες θέσεις εργασίας, συμβάλλοντας στην απασχόληση ατόμων.

Τέλος, εκτρέπει 60.000 τόνους γυαλιού από τους χώρους υγειονομικής ταφής ετησίως, μειώνοντας σημαντικά το κόστος διαχείρισης απορριμμάτων για τους δήμους.

Η τεχνοοικονομική ανάλυση του εργοστασίου ανακύκλωσης γυαλιού με τη χρήση ανακύκλωσης κλειστού βρόγχου υποδηλώνει ισχυρή οικονομική βιωσιμότητα. Το έργο έχει θετικό NPV, υποδηλώνοντας ισχυρή κερδοφορία κατά τη διάρκεια της ζωής του. Ο IRR είναι υψηλότερος από το επιτόκιο αναγωγής του 8%, καθιστώντας αυτό μία ελκυστική επένδυση. Επίσης, το έργο επιτυγχάνει πλήρη απόσβεση σε περίπου 2 χρόνια, παρουσιάζοντας ταχεία απόδοση της επένδυσης. Συνολικά η επένδυση στην ανακύκλωση γυαλιού κλειστού βρόγχου ευθυγραμμίζεται με τους οικονομικούς στόχους και τους στόχους της βιωσιμότητας της εταιρείας, συμβάλλοντας στις πρακτικές κυκλικής οικονομίας και στην περιβαλλοντική διαχείριση.[80]



Εικόνα 15: (Α) Το όριο του συστήματος (παύλα) για την οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση της ανακύκλωσης κλειστού βρόγχου απορριμμάτων γυαλιού, (Β) το διάγραμμα ροής των ερευνητικών προσεγγίσεων

(<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141155>)

5.1.2 Αξιοποίηση απορριμμάτων γυαλιού και τεχνοοικονομική αξιολόγηση

Το προϊόν που λαμβάνεται από την παραπάνω διαδικασία της σύνθλιψης και του διαχωρισμού απορριμμάτων γυαλιού είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέου γυαλιού με αντικατάσταση πρωτογενών πρώτων υλών και τη διαδικασία χρήσης απορριμμάτων γυαλιού. Στην αρχή τα απορρίμματα γυαλιού αναμειγνύονται με τις πρώτες ύλες σε αναλογία. Στη συνέχεια, τα μείγματα λιώνουν και πλάθονται. Τέλος, ανακτώνται και μπορούν να ληφθούν νέα προϊόντα γυαλιού. Σύμφωνα με πληροφορίες που ελήφθησαν από βιβλιογραφικές επισκοπήσεις σχετικών με την ανακύκλωση κλειστού βρόγχου, αναλογία αντικατάστασης πρώτων υλών με απορρίμματα γυαλιού στη διαδικασία της αξιοποίησης είναι 30%.

Τα οφέλη της διαδικασίας ανακύκλωσης γυαλιού κλειστού βρόγχου είναι η διατήρηση πρώτων υλών αφού με την επαναχρησιμοποίηση του cullet μειώνεται η ζήτηση παρθένων πρώτων υλών, για παράδειγμα η σόδα, η άμμος και ο ασβεστόλιθος. Επιπλέον, η διαδικασία αυτή παρέχει εξοικονόμηση ενέργειας λόγω του ότι χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια σε σχέση με την παραγωγή γυαλιού από πρώτες ύλες, με αποτέλεσμα να μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης, προσφέρει μείωση αποβλήτων αφού το ανακυκλωμένο γυαλί από τη διαδικασία του κλειστού βρόγχου δεν καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής, με αποτέλεσμα τη μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου. Τέλος, εξασφαλίζει τη βιωσιμότητα, καθώς το γυαλί μπορεί να ανακυκλώνεται συνεχώς χωρίς την απώλεια ποιότητας.

Σε ότι αφορά το κομμάτι της τεχνοοικονομικής αξιολόγησης στοχεύει στην οικονομική απόδοση της ανακύκλωσης απορριμμάτων γυαλιού. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές για επιχειρήσεις που ασχολούνται με τη δραστηριότητα σύνθλιψης και διαχωρισμού, η συγκεκριμένη δραστηριότητα θεωρείται η οικονομική κινητήρια δύναμη της ανακύκλωσης.

Η οικονομική αξιολόγηση εφαρμόζεται πρώτα στο στάδιο μεταφοράς και έπειτα στο στάδιο της σύνθλιψης και του διαχωρισμού. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι για να διασφαλιστεί ότι τα απόβλητα μεταβαίνουν ομαλά στις επιχειρήσεις μέσω των αποτελεσματικών συστημάτων συλλογής και μεταφοράς με στόχο τη βελτιστοποίηση των διαδρομών για να εξασφαλιστεί η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων.

Στα οικονομικά στοιχεία σε ότι αφορά το κεφαλαιακό κόστος της επένδυσης συγκαταλέγονται οι υποδομές και η τεχνολογία. Στις υποδομές συμπεριλαμβάνονται η κατασκευή και η συντήρηση των εγκαταστάσεων ανακύκλωσης γυαλιού αλλά και του εξοπλισμού διαλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης. Στα κόστη της τεχνολογίας είναι η εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών

ανακύκλωσης, όπως για παράδειγμα είναι οι ενεργειακοί αποδοτικοί κλίβανοι και οι οπτικοί διαχωριστές.

Η κατασκευή ή η αγορά μίας εγκατάστασης χωρίζεται σε κλίμακες, δηλαδή η μικρής κλίμακας λειτουργία κοστίζει από 1 εκατ. € έως 3 εκατ.€, μεσαία κλίμακα είναι από 5 εκατ. € έως 10 εκατ. € και η μεγάλη κλίμακα ξεκινάει από 15 εκατ. € έως 30 εκατ. €.

Ο βασικός εξοπλισμός όπου περιλαμβάνει τη διαλογή, τη σύνθλιψη και τον καθαρισμό. Τα συστήματα διαλογής και καθαρισμού κοστολογούνται 500.000 € έως 2 εκατ. €. Τα μηχανήματα σύνθλιψης και μείωση μεγέθους κοστίζουν 300.000 € έως 1 εκατ. €. Για την προηγμένη τεχνολογία που είναι οι οπτικοί διαχωριστές και οι ενεργειακοί κλίβανοι το κόστος είναι από 1 εκατ. € έως 3 εκατ. €. Τέλος, οι κλίβανοι υψηλής απόδοσης για την παραγωγή κλειστού βρόγχου κοστίζουν από 2 εκατ. € έως 7 εκατ. €.[81]

Στα κόστη της επένδυσης συμπεριλαμβάνεται και η απόκτηση γης, όπου εξαρτάται το κόστος από την επιλογή της περιοχής. Στις αστικές περιοχές το κόστος κυμαίνεται από 200.000 € έως 800.000 €/στρέμμα και στις αγροτικές περιοχές κυμαίνεται από 20.000 € έως 150.000 €/ στρέμμα.

Στα λειτουργικά κόστη εντάσσονται η εργασία δηλαδή ο μισθός των εργαζομένων για τη συλλογή τη διαλογή, την επεξεργασία και τη μεταφορά του επαναχρησιμοποιημένου. Το κόστος ενέργειας όπου χρησιμοποιείται για τις λειτουργίες επεξεργασίας και μεταφοράς και η συντήρηση – επισκευές του εξοπλισμού. Οι ετήσιοι μισθοί του προσωπικού κυμαίνονται από 60.000 € έως 200.000 €/έτος. Ο ηλεκτρισμός και τα καύσιμα κυμαίνονται από 200.000 € έως 800.000 €/ έτος. Τέλος, τα ετήσια κόστη για τις συντηρήσεις και τις επισκευές είναι 150.000 € έως 400.000 €/ έτος. Τα απόβλητα γυαλιού για ανακύκλωση κοστολογούνται 15.000 έως 40.000 €/έτος.

Κατηγορία Κόστους	Περιγραφή	Εκτίμηση Κόστους (€)
Αρχική Επένδυση		
Εξοπλισμός και Μηχανές	Τεχνολογία επεξεργασίας γυαλιού	500.000 - 7.000.000
Αγορά Γης	Αστική ή Αγροτική Περιοχή	20.000 - 800.000 / στρέμμα
Υποδομές	Κατασκευή ή αγορά εγκαταστάσεων	1.000.000 -30.000.000
Μελέτες και Άδειες	Νομικές διαδικασίες και αδειοδοτήσεις	10.000 - 30.000
Λειτουργικά Κόστη		
Εργατικά Κόστη	Μισθοί υπαλλήλων	60.000 - 200.000 / έτος
Ενέργεια	Ρεύμα, νερό ,καύσιμα κλπ.	200.000 - 800.000 /έτος
Συντήρηση Εξοπλισμού	Ετήσια συντήρηση και επισκευές	150.000 - 400.000/έτος
Υλικά Ανακύκλωσης	Απόβλητα γυαλιού για ανακύκλωση	15.000 - 40.000/έτος
Συνολικά Κόστη		955.000 - 2.270.000

Πίνακας 4: Αρχικά κόστη επένδυσης ανακύκλωσης γυαλιού κλειστού βρόγχου

5.1.3 Δυναμική Αγοράς

Σημαντικό ρόλο για την επένδυση της ανακύκλωσης – επαναχρησιμοποίησης γυαλιού έχει η προσφορά και η ζήτηση, δηλαδή τη διαθεσιμότητα υπάρχει στην αγορά για ανακυκλωμένο γυαλί αλλά και τη ζήτηση έχει σαν προϊόν στο χώρο της βιομηχανίας. Επίσης, ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την επένδυση της ανακύκλωσης γυαλιού είναι ο ανταγωνισμός στην αγορά, διότι με την ύπαρξη άλλων εταιρειών ανακύκλωσης αλλά και εναλλακτικών λύσεων θα έχει ως αντίκτυπο στην τιμολόγηση και στο μερίδιο αγοράς. Για το λόγο αυτό, οι εταιρείες στοχεύουν στο σωστό μάρκετινγκ και τη διανομή, όπου τα αρχικά τους κόστη κυμαίνονται από 50.000 € έως 150.000 € και τα συνεχή κόστη κυμαίνονται από 25.000 € έως 75.000 € ετησίως.

Μέρος του κόστους μιας επένδυσης ανακύκλωσης γυαλιού κλειστού βρόγχου θεωρούνται οι άδειες και η συμμόρφωση με τους κανονισμούς σχετικά με το περιβάλλον. Η Ευρωπαϊκή Ένωση σε συνεργασία με τις κυβερνήσεις των χωρών επιβάλλουν ρυθμίσεις και κανονισμούς που πρέπει να τηρούνται από τις βιομηχανίες, όπως είναι οι υποχρεώσεις για την ανακύκλωση ή οι φόροι για τις χωματερές. Το αρχικό κόστος είναι 100.000 € έως 300.000 € αλλά σε ότι αφορά τη συνεχή συμμόρφωση και τις αναφορές το κόστος κυμαίνεται από 20.000 € ως 100.000 €/ έτος.

Η συνολική αρχική επένδυση έχει κόστος από 2 εκατ. € και μπορεί να φτάσει 40 εκατ. € ή περισσότερο ανάλογα με την κλίμακα της λειτουργίας. Η απόδοση της επένδυσης (ROI) στο

σημείο της ισορροπίας κυμαίνεται από 5 έως 10 χρόνια, αυτό όμως εξαρτάται από τις συνθήκες της αγοράς, την κλίμακα και την αποδοτικότητα. Η κερδοφορία και η απόδοση της επένδυσης εξαρτώνται από την αποδοτική λειτουργία, τη χρήση της τεχνολογίας και τη δυναμική της αγοράς. Τα περιθώρια κέρδους κυμαίνονται από 10% έως 25 %, καθώς επηρεάζονται από την αποδοτικότητα και τις τιμές της αγοράς.

Συμπερασματικά, η ανακύκλωση γυαλιού κλειστού βρόγχου προσφέρει μείωση του κόστους πρώτων υλών, έσοδα από τα τέλη διάθεσης αποβλήτων και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

5.1.4 Περιβαλλοντικά και Κοινωνικά Οφέλη / Επιπτώσεις

Η ανακύκλωση γυαλιού και ειδικότερα η ανακύκλωση γυαλιού κλειστού βρόγχου προσφέρει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε αντίθεση με την παραγωγή γυαλιού από πρώτες ύλες, με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, με την ανακύκλωση γυαλιού διατηρούνται οι φυσικοί πόροι καθώς πραγματοποιείται η μείωση της χρήσης παρθένων υλικών (άμμος, σόδα και ασβεστόλιθος). Τέλος, μειώνει την ποσότητα των γυάλινων αποβλήτων όπου τοποθετούνται σε χωματερές, με σκοπό τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Με τη δημιουργία των εταιρειών ανακύκλωσης γυαλιού προσφέρονται νέες θέσεις εργασίας για τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Από την άλλη υπάρχουν κίνδυνοι σχετικά με πιθανές βλάβες και την αναποτελεσματικότητα στις διαδικασίες ανακύκλωσης που μπορούν να αυξήσουν το κόστος. Τέλος, κίνδυνος θεωρείται και η αλλαγή των περιβαλλοντικών κανονισμών της ανακύκλωσης όπου έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του κόστους άλλα και της ζήτησης.

5.1.5 Τεχνολογίες και Εφοδιαστική Αλυσίδα

Οι επιχειρήσεις για να μπορέσουν να καταγράψουν και να ελέγξουν τη χρήση των επαναχρησιμοποιήσιμων προϊόντων έχουν δημιουργήσει συστήματα ώστε να τους βοηθήσουν στη διαδικασία αυτή. Ένα από τα συστήματα αυτά είναι των επιστρεφόμενων φιαλών, δηλαδή με τη βοήθεια των QR codes και των RFID chips μπορούν να παρακολουθούν τη χρήση και τα ποσοστά επιστροφής επαναχρησιμοποιήσιμων γυάλινων προϊόντων. Επίσης, έχουν δημιουργήσει και κλειστά κυκλώματα logistics όπου με τη σωστή χρήση τους διασφαλίζουν ότι τα επαναχρησιμοποιούμενα γυάλινα προϊόντα θα μεταφερθούν αποτελεσματικά μεταξύ των καταναλωτών, των σημείων συλλογής και κατασκευαστών, με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Σε ότι αφορά την εφοδιαστική αλυσίδα είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα οργανωμένο σύστημα συλλογής και επιστροφής. Τα συστήματα αυτά πρέπει να είναι αρκετά αποτελεσματικά ώστε κατά τη μεταφορά να αποφεύγονται τυχόν θραύσεις για να μπορέσει να μεγιστοποιηθεί ο χρόνος κύκλου ζωής των γυάλινων προϊόντων. Επιπλέον, συστήματα επαναχρησιμοποίησης πρέπει να λειτουργούν με έναν περιφερειακό συντονισμό μεταξύ των άμεσων εμπλεκομένων, δηλαδή των κατασκευαστικών, των λιανοπωλητών και των διανομέων, όπου θα εξασφαλίσουν τη μείωση του κόστους. Τέλος, στη δημιουργία ενός σωστού και ολοκληρωμένου συστήματος μπορεί να βοηθήσει η συνεργασία των διαφόρων κλάδων όπως για παράδειγμα οι αλυσίδες λιανικής, οι εταιρείες logistics κ.α.).

5.2 Πλαστικό

5.2.1 Τεχνοοικονομική Ανάλυση Επένδυσης Χημικής Ανακύκλωσης με Πυρόλυση των απορριμμάτων πλαστικού

Η τεχνοοικονομική ανάλυση θα βασιστεί στη χημική ανακύκλωση και συγκεκριμένα στη διαδικασία της πυρόλυσης. Η χημική ανακύκλωση με πυρόλυση είναι μία διαδικασία που χρησιμοποιείται για τη διάσπαση των πλαστικών απορριμμάτων σε μικρότερα μόρια για την παραγωγή πολύτιμων πρώτων υλών, όπως το πετρέλαιο, αέριο και κάρβουνο, οι οποίες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε διάφορες βιομηχανίες. Η πυρόλυση περιλαμβάνει τη θέρμανση των πλαστικών αποβλήτων απουσία οξυγόνου για να διασπαστούν σε μικρότερους υδρογονάνθρακες. Η διαδικασία παράγει ένα μείγμα αερίου, υγρού (έλαιο πυρόλυσης) και στερεών υπολειμμάτων (άνθρακας). Αυτή η μελέτη περίπτωσης παρέχει μία ολοκληρωμένη ολοκληρωμένη τεχνοοικονομική ανάλυση επενδύσεων για μια προτεινόμενη μονάδα ανακύκλωσης χημικών με βάση την πυρόλυση για μία εταιρεία που στοχεύει στην ανακύκλωση πλαστικών απορριμμάτων.

Η διαδικασία της πυρόλυσης για τη μετατροπή πλαστικών αποβλήτων σε πολύτιμα προϊόντα περιλαμβάνει διάφορα βασικά κομμάτια εξοπλισμού. Παρακάτω, παρουσιάζεται μία επισκόπηση των κύριων συνιστωσών που χρησιμοποιούνται σε ένα τυπικό εργοστάσιο πυρόλυσης.

Σύστημα Προετοιμασίας Τροφοδοσίας :

- Τεμαχιστής / Σπάστης: Για να μειωθεί το μέγεθος των πλαστικών αποβλήτων σε μικρότερα, διαχειρίσιμα κομμάτια.

- Σύστημα Μεταφορικής Ταινίας: Για τη μεταφορά των τεμαχισμένων πλαστικών στον αντιδραστήρα πυρόλυσης.

Αντιδραστήρας Πυρόλυσης:

- Αντιδραστήρας: Η κύρια μονάδα όπου λαμβάνει χώρα η θερμική αποσύνθεση των πλαστικών απουσία οξυγόνου. Μπορεί να σχεδιαστεί ως παρτίδα, ημι-παρτίδα ή συνεχές σύστημα,
- Σύστημα Θέρμανσης: Για την παροχή της απαραίτητης θερμότητας για τη διαδικασία πυρόλυσης, συνήθως μέσω καυστήρων που χρησιμοποιούν καύσιμο ή ηλεκτρικό ρεύμα.

Σύστημα Συμπύκνωσης:

- Ψυκτικός Συμπυκνωτής: Για την ψύξη των ατμών πυρόλυσης, μετατρέποντάς τους σε υγρό λάδι.
- Πύργος Ψύξης / Σύστημα Κυκλοφορίας Νερού: Για τη διαχείριση του ψυκτικού νερού που χρησιμοποιείται στους συμπυκνωτές.

Σύστημα Συλλογής Λαδιού:

- Δεξαμενές Αποθήκευσης Λαδιού: Για την αποθήκευση του υγρού λαδιού που προκύπτει από τη διαδικασία συμπύκνωσης.
- Αντλία Λαδιού: Για τη μεταφορά του συλλεγμένου λαδιού σε αποθήκευση ή περαιτέρω μονάδες επεξεργασίας.

Σύστημα Καθαρισμού και Συλλογής Αερίων:

- Καθαριστήρας: Για τον καθαρισμό των αερίων που δεν μπορούν να συμπυκνωθούν, αφαιρώντας τις ακαθαρσίες και τα σωματίδια.
- Δεξαμενή Αποθήκευσης Αερίων: Για την αποθήκευση των καθαρών αερίων που δεν μπορούν να συμπυκνωθούν.
- Καυστήρας Αερίου ή Κινητήρας Αερίου: Για τη χρήση των αερίων που δεν μπορούν να συμπυκνωθούν για τη θέρμανση του αντιδραστήρα ή για την παραγωγή ενέργειας.

Σύστημα Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων:

- Σύστημα Απομάκρυνσης: Για την απομάκρυνση των στερεών υπολειμμάτων (κάρβουνο) που απομένουν μετά τη διαδικασία πυρόλυσης.
- Συλλέκτης Κάρβουνου: Για τη συλλογή και αποθήκευση του κάρβουνου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παραπροϊόν.

Σύστημα Ασφάλειας και Ελέγχου Εκπομπών:

- Βαλβίδες Ασφαλείας: Για την απελευθέρωση της υπερβολικής πίεσης και την πρόληψη ατυχημάτων.
- Μονάδες Ελέγχου Εκπομπών: Για τη διαχείριση και τη μείωση των εκπομπών από τη διαδικασία πυρόλυσης, εξασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς.

Βοηθητικά Συστήματα:

- Δεξαμενή Καυσίμου και Σύστημα Παροχής: Για την παροχή καυσίμου για το σύστημα θέρμανσης, εάν δεν χρησιμοποιείται το παραγόμενο αέριο.
- Αεροσυμπιεστής: Για διάφορες πνευματικές λειτουργίες εντός του εργοστασίου.
- Σύστημα Παροχής Αδρανούς Αερίου: Για τον καθαρισμό του αντιδραστήρα και την πρόληψη της οξειδωσης.

Αυτές οι διαδικασίες συνεργάζονται ώστε να εξασφαλίσουν την αποδοτική, ασφαλή και φιλική προς το περιβάλλον μετατροπή των πλαστικών αποβλήτων σε χρήσιμα προϊόντα όπως πυρόλυσης έλαιο, αέριο και κάρβουνο.

Στη συγκεκριμένη επένδυση ως πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται τα μικτά πλαστικά απόβλητα όπως είναι το πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο και πολυστυρένιο. Σχετικά με τη χωρητικότητα του εργοστασίου είναι 30.000 μετρικοί τόνοι (Mt) πλαστικών απορριμμάτων ετησίως. Τα προϊόντα του είναι το λάδι πυρόλυσης όπου το 70% της συνολικής παραγωγής χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη διωλιστηρίου ή για την παραγωγή νέων πλαστικών. Επίσης, προϊόν είναι το αέριο σύνθεσης όπου το 20% μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας για εσωτερικές διεργασίες και τέλος είναι το char 10% όπου χρησιμοποιείται ως πηγή άνθρακα ή σε υλικά κατασκευής. [82]

Το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει τον αντιδραστήρα πυρόλυσης, τα συστήματα επεξεργασίας αερίου, τις μονάδες απόσταξης, τις μονάδες παραγωγής ενέργειας με χρήση αερίου σύνθεσης και το κόστος κατασκευής της εγκατάστασης.

Περιγραφή	Κόστος (€)
Αντιδραστήρας Πυρόλυσης (Pyrolysis reactor)	5.000.000
Σύστημα χειρισμού πρώτης ύλης (Feedstock handling system)	1.500.000
Καθαρισμός αερίου και φιλτράρισμα (Gas scrubbing and filtering)	2.000.000
Απόσταξη και διαχωρισμός (Distillation and separation)	1.500.000
Μονάδα παραγωγής ενέργειας (Power generation unit)	2.500.000
Αποθήκευση και διαχωρισμός (Storage and transportation)	1.000.000
Βοηθητικός εξοπλισμός (Auxiliary equipment)	1.000.000
Πολιτική κατασκευή και εγκατάσταση (Civil construction and setup)	4.000.000
Σύνολο CAPEX	18.500.000

Πίνακας 5: Κεφαλαιουχικές Δαπάνες (Capital Expenditure : CAPEX)

Το εργοστάσιο αγοράζει 30.000 μετρικούς πλαστικών απορριμμάτων ετησίως προς 100 €/τόνο. Το προσωπικό που απασχολείται στο εργοστάσιο είναι 30 εργαζόμενοι και ο μέσος μισθός υπολογίζεται σε 60.000 € ετησίως. Σε ότι αφορά την ενέργεια, κάποια ποσότητα ενέργειας ανακτάται από τη διαδικασία, αλλά εξακολουθεί να απαιτείται εξωτερική ισχύς. Εκτιμάται ότι είναι το 5% των κεφαλαιακών δαπανών (CAPEX) για τακτική συντήρηση, χημικά και κόστος καταλύτη.

Στοιχεία Κόστους	Κόστος / έτος (€)
Κόστος πρώτη ύλης (πλαστικά απόβλητα)	100/τόνο
Εργασία (30 εργαζόμενοι → 60.000 €/έτος)	1.800.000
Κόστος ενέργειας (10 MWh/ημέρα → 70 €/MWh)	255.500
Συντήρηση (5% του CAPEX)	925.000
Καταλύτες, πρόσθετα και χημικά	300.000
Κόστος διάθεσης απριμμάτων	150.000
Σύνολο OPEX	3.530.500

Πίνακας 6 : Λειτουργικές Δαπάνες (Operational Expenditure OPEX)

Τα έσοδα από την πυρόλυση είναι από την πώληση του κύριου προϊόντος όπου κοστίζει 700 €/τόνο. Το Char όπου είναι το υποπροϊόν πωλείται ως πηγή άνθρακα ή υλικό πώλησης.

Προϊόν	Παραγωγή (τόνοι/έτος)	Τιμή πώλησης (€/τόνο)	Έσοδα (€/τόνο)
Λάδι πυρόλυσης	21.000	700	14.700.000
Syngas (χρησιμοποιείται για εσωτερική ενέργεια)	–	–	–
Char	3.000	100	300.000
Συνολικά Έσοδα	–	–	15.000.000

Πίνακας 7 : Έσοδα και Τιμολόγηση προϊόντων

Για την αξιολόγηση της επένδυσης υπολογίζονται η καθαρή παρούσα αξία (NPV), ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR), η περίοδος απόσβεσης (payback period) και ο δείκτης κερδοφορίας (PI).

Σχετικά με την επένδυση αυτή το πλάνο διάρκειας είναι 15 χρόνια, με επιτόκιο αναγωγής 10%, ετήσια αύξηση εσόδων 2%, φορολογικό συντελεστή 25% και σταθερή απόσβεση για 10 χρόνια. Σε ότι αφορά τους ταμειακούς υπολογισμούς (cash flow calculations), η ετήσια αύξηση εσόδων είναι 2%, η ετήσια αύξηση δαπανών είναι 1,5%.

Τα έσοδα της επένδυσης ξεκινούν από 15.000.00 € και αυξάνονται κατά 2% ετησίως. Το λειτουργικό κόστος ξεκινά από 3.530.500 € και αυξάνεται κατά 1,5% ετησίως. Η απόσβεση είναι σταθερή για 10 χρόνια στα 1.850.000 €/έτος.[83]

Σύμφωνα με τον υπολογισμό του NPV, IRR και της περιόδου απόσβεσης με δεδομένο τα 15 χρόνια προκύπτει ότι τον 1^ο χρόνο τα έσοδα θα είναι 15.000.000 €, το λειτουργικό κόστος 3.530.500 €, η απόσβεση 1.850.000 € και το σύνολο των κερδών προ τόκων και φόρων υπολογίζονται από την αφαίρεση των Εσόδων – Λειτουργικού Κόστους – Απόσβεσης, όπου είναι= 15.000.000 – 3.530.500 – 1.850.000 = 9.619.500 €.

Ο φόρος είναι 25% όπου υπολογίζεται 2.404.875 €. Το καθαρό εισόδημα είναι 9.619.500 – 2.404.875 = 7.214.625 €. Η προστιθέμενη απόσβεση είναι 1.850.000 € και οι ταμειακές ροές το άθροισμα του καθαρού εισοδήματος με την προστιθέμενη απόσβεση 7.214.625 + 1.850.000 = 9.064.625 €.

Ο τύπος υπολογισμού της Καθαρά Παρούσας Αξίας είναι ο εξής:

$$NPV = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t} - CAPEX$$

Όπου:

- C_t = Ταμειακές ροές το έτος t
- r = Επιτόκιο αναγωγής 10%
- Αρχική Επένδυση = 18.500.000 €

Δεδομένου ότι έχουμε θετικές ταμειακές ροές το ποσό για τον 1^ο χρόνο είναι 9.064.625 €, όπου αυξάνεται κατά 2% ετησίως, έτσι πραγματοποιείται ο υπολογισμός του NPV.

Ο IRR είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο στο οποίο το NPV του έργου γίνεται μηδέν. Η περίοδος από είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ανάκτηση της αρχικής επένδυσης. Το 1^ο έτος η ταμειακές ροές είναι 9.064.625 €, μετά το 2^ο : 9.064.625 + 9.245.917 = 18.310.542 €. Με αποτέλεσμα να

επιστρέφεται το ποσό της επένδυσης μεταξύ του 1^{ου} και του 2^{ου} χρόνου, δηλαδή η περίοδος απόσβεσης είναι περίπου 2 χρόνια.

Συμπερασματικά, το έργο εμφανίζει θετικό NPV, υποδεικνύοντας ότι είναι οικονομικά βιώσιμο. Ο IRR είναι πάνω από το επιτόκιο αναγωγής της εταιρείας 10%, υποδηλώνοντας ισχυρή κερδοφορία. Τέλος, σχετικά με την περίοδο απόσβεσης, το αρχικό κεφάλαιο ανακτάται εντός 2 χρόνων, εμφανίζοντας γρήγορες αποδόσεις.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, ένα εργοστάσιο ανακύκλωσης χημικών με βάση την πυρόλυση μπορεί να είναι μια κερδοφόρα επιχείρηση για μία εταιρεία που εστιάζει σε πρωτοβουλίες βιωσιμότητας και κυκλικής οικονομίας.

5.2.2 Αξιοποίηση απορριμμάτων πλαστικού και Τεχνοοικονομικά Στοιχεία Επενδύσεων

Η συλλογή των πλαστικών γίνεται από τις επιχειρήσεις, τις βιομηχανίες και τα νοικοκυριά, η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη συλλογή από τους ειδικούς κάδους που είναι τοποθετημένοι στους δρόμους, από κέντρα συλλογής ή από βιομηχανικά συστήματα ανάκτησης.

Σε ότι αφορά τη διαδικασία της διαλογής τα απορρίμματα πλαστικού χωρίζονται με βάση τον τύπο τα χρώματα και το επίπεδο μόλυνσης. Είναι μια από τις σημαντικότερες διαδικασίες καθώς θα διασφαλίσει τη σωστή ποιότητα του ανακυκλωμένου πλαστικού. Η διαδικασία της διαλογής πραγματοποιείται με τη χειρωνακτική διαλογή, τους ιμάντες μεταφοράς, τον αεροδιαχωρισμό και την οπτική διαλογή.

Στη συνέχεια, με τη διαδικασία του πλυσίματος απομακρύνουν τους ρύπους π.χ. κόλλες και ετικέτες. Έπειτα από τον καθαρισμό, τα σπάνε σε μικρότερα κομμάτια ή νιφάδες για να μπορέσει να γίνει πιο εύκολα η επεξεργασία. Με τη θραύση βοηθούν την ομοιόμορφη επεξεργασία και τη βελτίωση της αποδοτικότητας.

Τα τελικά προϊόντα είναι η ανακυκλωμένη ρητίνη όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέων πλαστικών προϊόντων. Η ανακυκλωμένη ρητίνη χρησιμοποιείται σε οικοδομικά υλικά, συσκευασίες και εξαρτήματα αυτοκινήτων. Τέλος, παράγονται και σύνθετα προϊόντα όπου με τον συνδυασμό άλλων υλικών μπορούν να δημιουργήσουν νέα προϊόντα με αυξημένη ανθεκτικότητα .

Η οικονομική βιωσιμότητα είναι η ανάλυση του κόστους της επένδυσης της χημικής ανακύκλωσης. Σε ότι αφορά την ίδρυση των εγκαταστάσεων για την χημική ανακύκλωση αυτό που απαιτείται είναι η αρχική κεφαλαιακή επένδυση για μηχανήματα, υποδομές και την ενσωμάτωση της τεχνολογίας.

Η κεφαλαιακή επένδυση, υπολογίζεται από 20 εκατομμύρια έως 150 εκατομμύρια €, αυτό εξαρτάται από το μέγεθος και την τεχνολογία που έχει επιλεγεί για το εργοστάσιο.

Στην αρχική κεφαλαιακή επένδυση εντάσσεται ο εξοπλισμός και μηχανήματα όπου αφορούν τις διαδικασίες αποπολυμερισμού, πυρόλυσης ή αεριοποίησης. Ο συγκεκριμένος εξοπλισμός κοστολογείται από 5 εκατ. έως 50 εκατ. €.

Σημαντικός τομέας της επένδυσης είναι η έρευνα και ανάπτυξη, όπου βοηθούν για τη βελτίωση των διαδικασιών και της αποδοτικότητας.

Επιπλέον, τα λειτουργικά κόστη, περιλαμβάνουν το κόστος εργασίας, ενέργειας, συντήρησης και μεταφοράς. Η χημική ανακύκλωση αναφέρεται ότι έχει υψηλότερα λειτουργικά κόστη σε αντίθεση με τη μηχανική ανακύκλωση λόγω των ενεργειακών απαιτήσεων.

Στα λειτουργικά κόστη εντάσσεται η ενεργειακή κατανάλωση. Η χημική ανακύκλωση θεωρείται μία αρκετά ενεργοβόρα διαδικασία, συγκεκριμένα το ενεργειακό κόστος για τη διαδικασία της πυρόλυσης μπορεί να κυμαίνεται από 0,10 έως 0,15 €/kg που επεξεργάζεται. Στη συνέχεια, είναι η προετοιμασία της πρώτης ύλης. Στο στάδιο αυτό είναι το κόστος προ επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένου του διαχωρισμού, του καθαρισμού και του τεμαχισμού των πλαστικών αποβλήτων, συνήθως είναι περίπου 0,05 έως 0,10 €/kg .

Σε ότι αφορά το κόστος εργασίας, απαιτείται ένα εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων χημικής ανακύκλωσης. Για το λόγο αυτό, το εργασιακό κόστος υπολογίζεται από 1 εκατομμύριο έως 3 εκατομμύρια €/έτος, ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης.

Στα πλαίσια του λειτουργικού κόστους του εργοστασίου συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καταλυτών και των χημικών που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία ανακύκλωσης, το κόστος αυτό υπολογίζεται συχνά από 0,10 έως 0,20 €/kg πλαστικού που επεξεργάζεται. Τέλος, είναι η τακτική συντήρηση του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων όπου μπορεί να κοστίζει περίπου το 5-10 % της κεφαλαιακής επένδυσης ετησίως. [84]

Σε επενδύσεις όπως αυτή που μελετάτε δεν γίνεται να παραληφθούν τα μεταβλητά κόστη. Το κόστος της πλαστικής πρώτης ύλης διαφέρει ανάλογα με τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα, συνήθως οι τιμές είναι μεταξύ 0,05 και 0,15 €/ kg .

Στα μεταβλητά κόστη συμπεριλαμβάνονται οι υπηρεσίες κοινή ωφέλειας, όπου είναι το κόστος για το νερό, την ηλεκτρική ενέργεια και άλλες υπηρεσίες κοινής ωφέλειας που είναι απαραίτητες για τις διαδικασίες της ανακύκλωσης που μπορεί να προστεθεί στο συνολικό κόστος 0,10 έως 0,20 €/kg.

Τέλος, είναι η διαχείριση των αποβλήτων όπου συγκαταλέγονται η απόρριψη των υπολειμμάτων και μη ανακυκλώσιμων υλικών όπου επιφέρουν ένα πρόσθετο κόστος όπου κυμαίνεται στα 0,02 έως 0,05 €/ kg.

Κατηγορία Κόστους	Περιγραφή	Εκτίμηση Κόστους (€)
Αρχική Επένδυση		
Εξοπλισμός Πυρόλυσης	Μηχανές και εξοπλισμός επεξεργασίας	5.000.000 - 50.000.000
Υποδομές	Κατασκευή ή αγορά εγκαταστάσεων	150.000 - 1.000.000
Μελέτες και Άδειες	Νομικές διαδικασίες και αδειοδοτήσεις	20.000 - 40.0000
Λειτουργικά Κόστη		
Εργατικά Κόστη	Μισθοί υπαλλήλων	1.000.000 - 3.000.000/ έτος
Ενεργειακό κόστος	Διαδικασία Πυρόλυσης	0,10 - 0,15 / kg
Κόστος επεξεργασίας	Προετοιμασία πρώτης ύλης	0,05 - 0,10 / kg
Κόστος πρώτης ύλης	Πλαστική πρώτη ύλη	0,05 - 0,15 / kg
Κόστος Καταλυτών και χημικών	Ενέργεια	0,10 -0,20 / kg
Συντήρηση Εξοπλισμού	Ετήσια συντήρηση και επισκευές	2.000.000 - 15.000.000
Μεταβλητά Κόστη		
Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας		0,10 - 0,20 /kg
Υλικά Ανακύκλωσης	Απόβλητα πλστικού για πυρόλυση	0,02 - 0,05 /kg
Συνολικά Κόστη		8.170.001 - 96.400.001

Πίνακας 8: Αρχικά κόστη επένδυσης χημικής ανακύκλωσης με πυρόλυση

Η απόδοση των διαδικασιών της χημικής ανακύκλωσης κυμαίνεται από 70-90%, το οποίο ποσοστό αφορά την εισερχόμενη ποσότητα πλαστικού που μετατρέπεται σε χρήσιμα προϊόντα.

Σε αφορά τα παραγόμενα προϊόντα της χημικής ανακύκλωσης , όπου είναι τα καύσιμα , οι μονομερείς ή τα νέα προϊόντα πλαστικού, οι τιμές της αγοράς που μπορούν να πουληθούν είναι διάφορες. Για παράδειγμα, οι ανακυκλωμένοι μονομερείς κοστολογούνται από ένα 1,00 έως 2,00 €/kg, σε αντίθεση με τα καύσιμα και τα άλλα χημικά όπου η τιμή τους καθορίζεται από τις συνθήκες της αγοράς.

Σημαντικό κομμάτι είναι και η ανάπτυξη προϊόντων όπου συνάδει με την απόδοση των προϊόντων. Τα πλαστικά δεύτερης ζωής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές. Για παράδειγμα, σε μέρη αυτοκινήτων, συσκευασίες, υλικά κατασκευής αλλά και καταναλωτικά αγαθά. Με τις ραγδαίες εξελίξεις τα τελευταία χρόνια στα υλικά, παρατηρείται ότι με την ανάπτυξη των πλαστικών δεύτερης ζωής οι ιδιότητες μπορούν να ανταποκριθούν αλλά και να υπερβούν αυτές των παρθένων πλαστικών αυξάνοντας τις εφαρμογές τους.[84]

5.2.3 Δυναμική Αγοράς

Η προφορά και η ζήτηση είναι οι δυο κυριότεροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις τιμές της αγοράς του ανακυκλωμένου πλαστικού. Με την προώθηση διάφορων πολιτικών για την ανακύκλωση αλλά και οι επιλογές των καταναλωτών για βιώσιμα προϊόντα μπορούν να δημιουργήσουν την αύξηση της ζήτησης. Ο καταναλωτής έχει μεγάλη επίδραση στην δυναμική της αγοράς.

Σε ότι αφορά την τιμολόγηση των πλαστικών δεύτερης ζωής στην αγορά, η τιμή πρέπει να ανταγωνιστική σε σχέση με την τιμή των παρθένων υλικών πλαστικών. Σημαντικό είναι με τις διάφορες καινοτομίες να δημιουργείται μείωση του κόστους παραγωγής αλλά και να βελτιώνουν τι ιδιότητες των υλικών, για να μπορούν να εξασφαλίσουν τον ανταγωνισμό της αγοράς.

5.2.4 Οικονομικά Κίνητρα

Σε αρκετές χώρες οι κυβερνήσεις προσφέρουν οικονομική υποστήριξη σε επιχειρήσεις για την υποστήριξη πρωτοβουλιών χημικής ανακύκλωσης. Η υποστήριξη αυτή περιέχει επιδοτήσεις, επιχορηγήσεις, φορολογικά κίνητρα, όπου με αυτή τη βοήθεια μπορούν να μειώσουν σημαντικά τόσο τα κεφαλαιακά όσο και τα λειτουργικά κόστη. Από την άλλη κίνητρο για επιχειρήσεις είναι και μερικοί από τους κανονισμούς, όπου προωθούν την ανακύκλωση ώστε να ενισχύσουν την

οικονομική βιωσιμότητα των πλαστικών δεύτερης ζωής. Με τη δημιουργία των κανονισμών όπως είναι η Επέκταση Ευθύνης Παραγωγού, υποχρεώνουν τους παραγωγούς να διαχειρίζονται τις απορρίψεις των προϊόντων τους, με τον τρόπο αυτό δίνουν τη δυνατότητα όλο και σε περισσότερες εταιρείες να ανακυκλώνουν.

Όμως, ένας βασικός κανονισμός είναι η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Για τον λόγο αυτό οι επιχειρήσεις υιοθετούν τις πρακτικές της κυκλικής οικονομίας και στοχεύουν στη βιωσιμότητα των επενδύσεων για τα πλαστικά δεύτερης ζωής, ώστε να μπορέσουν να ακολουθήσουν τις ρυθμιστικές απαιτήσεις.

Οι επιχειρήσεις με σκοπό τη μείωση των εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου κερδίζουν πιστωτικές μονάδες άνθρακα, δηλαδή μπορούν να πουλήσουν ή να ανταλλάξουν για να παράγουν επιπλέον έσοδα. Σε αρκετές χώρες του πλανήτη έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν τα συστήματα εμπορίας εκπομπών (ETS), ώστε να ορίσουν μια τιμή στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και να μπορέσουν να δοθούν κίνητρα στις επιχειρήσεις για να επενδύσουν σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα και να μπορέσουν να συμβάλλουν για την επίτευξη των στόχων για το κλίμα.

Το 2023 σημειώθηκε ότι 12,5 δις μετρικούς τόνους άνθρακα στις παγκόσμιες αγορές εκπομπών ρύπων, όσες και το 2022. Ωστόσο οι πιο υψηλές τιμές καταγράφηκαν σε αρκετές αγορές όπως στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική όπου ανέβασαν τη συνολική αξία των συναλλαγών.

Η μεγαλύτερη σε αξία αγορά άνθρακα στον κόσμο, το ETS της ΕΕ, παρουσίασε το 2023 αύξηση κατά 2%, σε σύγκριση με το 2022, όπου έφτασε στα 770 δις € αντιπροσωπεύοντας το 87% της παγκόσμιας αγοράς. [83]

Ένα πρόσφατο παράδειγμα είναι η επένδυση της Eastman Chemical Company σε μια μεγάλη μονάδα χημικής ανακύκλωσης, η οποία αναμένεται να κοστίσει περίπου 250 εκατ. €. Από την άλλη, η Agilyx, μια εταιρεία που ειδικεύεται στην χημική ανακύκλωση πλαστικών, έχει κατασκευάσει εργοστάσια με επενδύσεις που κυμαίνονται από 20 εκατ. € έως 60 εκατ. €. Λόγω της ποικιλίας στα κόστη με βάση διάφορους παράγοντες, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μια λεπτομερής μελέτη σκοπιμότητας και να συμβουλευτείτε ειδικούς του κλάδου για να λάβετε μια πιο ακριβή εκτίμηση για ένα συγκεκριμένο έργο.

Τέλος, στην οικονομική βιωσιμότητα και συγκεκριμένα στα οικονομικά κίνητρα εντάσσονται και οι εταιρικές πρωτοβουλίες, όπου τα τελευταία χρόνια έχουν την τάση οι εταιρείες να υιοθετούν πρακτικές κυκλικής οικονομίας με στόχο την βιωσιμότητα, με αποτέλεσμα να επενδύουν στα

πλαστικά δεύτερης ζωής για να καταφέρουν να μειώσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και να προσαρμοστούν με τις ρυθμιστικές απαιτήσεις.

5.2.5 Περιβαλλοντική Επίδραση και Κοινωνικά Οφέλη

Σύμφωνα με έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί οι διαδικασίες της χημικής ανακύκλωσης συνήθως καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από ότι η μηχανική ανακύκλωση. Όμως, η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας από τη μείωση της παραγωγής των παρθένων πλαστικών μπορεί να αντισταθμίσει το κόστος των διαδικασιών.

Σε ότι αφορά τις εκπομπές αερίων, οι διαδικασίες ανακύκλωσης δημιουργούν την παραγωγή εκπομπών, όμως είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με την παραγωγή παρθένων πλαστικών. Με τις καινοτομίες των διαδικασιών για ην αποδοτικότητα μπορεί να μειωθεί η παραγωγή των εκπομπών.

Με την ανακύκλωση των πλαστικών μειώνεται η ζήτηση για πρώτες ύλες όπου είναι από πετρέλαιο διατηρώντας μη ανανεώσιμους πόρους. Τα πλαστικά δεύτερης ζωής βοηθούν στη μείωση των αποβλήτων καθώς αποτρέπουν τη ρίψη απόβλητων στις χωματερές και μειώνουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Τα πλαστικά δεύτερης ζωής είναι βασικά για τη βιωσιμότητα του υλικού αυτού καθώς συμβάλλουν στην κυκλική οικονομία ολοκληρώνοντας τον κύκλο χρήσης των πλαστικών και προωθώντας την αποδοτικότητα των πόρων.

Η χημική ανακύκλωση προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη, βοηθάει στη μείωση των πλαστικών αποβλήτων, στις χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στη διατήρηση των πόρων όπου συμβάλλουν στη θετική περιβαλλοντική επίδραση. Επίσης, με την παραγωγή ανακυκλωμένων πλαστικών γίνεται χρήση λιγότερης ενέργειας και συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Η ευρεία απορρόφηση επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών έχει τη μεγαλύτερη δυνατότητα μείωσης παραγωγής πλαστικών. Η ζήτηση των επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών και γενικά των υλικών αυξάνεται στις επιχειρήσεις λόγω των πιέσεων των επερχόμενων κανονισμών αλλά και από την υπερβολική χρήση του πλαστικού.

Όμως, υπάρχουν αρκετές επιχειρήσεις του κλάδου που διστάζουν στη διαδικασία των επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών, προφασίζονται αμφιβολίες για την περιβαλλοντική αξιοπιστία, την αποδοχή των πελατών, την απαραίτητη αλλαγή συμπεριφοράς και κόστους.

Σε ότι αφορά τους καταναλωτές για τη διατήρηση της εμπιστοσύνης του προς τα επαναχρησιμοποιήσιμα πλαστικά, οι εταιρείες φροντίζουν τα επαναχρησιμοποιημένα πλαστικά να πληρούν τα πρότυπα ασφαλείας που έχουν οριστεί. Επιπρόσθετα, οι κυβερνήσεις προσφέρουν κίνητρα ώστε να προωθήσουν την επαναχρησιμοποίηση του πλαστικού.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία που αναφέρθηκαν βοηθούν στην κατανόηση των παραγόντων που εμπλέκονται με την παραγωγή επαναχρησιμοποιήσιμου πλαστικού, δίνοντας βάση στο σχεδιασμό, στους οικονομικούς παράγοντες, στα περιβαλλοντικά οφέλη και τη συμμετοχή των καταναλωτών για την επίτευξη των εφαρμογών της επαναχρησιμοποίησης.

5.2.6 Τεχνολογίες και Εφοδιαστική Αλυσίδα

Στην επαναχρησιμοποίηση των πλαστικών έχει παρατηρηθεί καινοτομία στις τεχνολογίες και βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Συγκεκριμένα, σε ότι αφορά τη χημική ανακύκλωση με τις νέες τεχνολογίες της πυρόλυσης, της αεριοποίησης και τη διαλυτόποιηση που μετατρέπουν τα πλαστικά απόβλητα σε πρώτες ύλες. Όμως, να μπορέσουν να επιτευχθούν οι διάφορες τεχνολογίες θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα οργανωμένο σύστημα για την συλλογή των πλαστικών αποβλήτων. Σε αρκετές χώρες για να ενισχύσουν τη συλλογή πλαστικών απορριμμάτων έχουν δημιουργήσει συστήματα επιστροφής και κέντρα ανακύκλωσης.

Στη διαδικασία της διαλογής έχουν ένταξη τεχνολογίες όπως είναι η ΑΙ αναγνώριση των υλικών, την αυτόματη ανίχνευση χρώματος και ρομποτικά συστήματα διαλογής, ώστε να εξασφαλίζεται αποτελεσματικά η ανακύκλωση. Επίσης, έχουν δημιουργηθεί για τη σωστή μεταφορά συστήματα όπου μέσω τεχνολογιών μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τη μεταφορά των πλαστικών απορριμμάτων στα κέντρα ανακύκλωσης. Από την άλλη υπάρχει η αντίστροφη εφοδιαστική όπου οι καταναλωτές επιστρέφουν τα πλαστικά χρησιμοποιημένα προϊόντα, με αποτέλεσμα να βοηθούν στην ολοκλήρωση του κύκλου της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Πολλές μεγάλες εταιρείες, δημιουργούν κλειστά συστήματα εφοδιαστικής, δηλαδή επιλέγουν να ανακυκλώνουν και να επαναχρησιμοποιούν στις ίδιες διαδικασίες παραγωγής, ώστε να μειώνεται η ανάγκη για πρώτες ύλες. Τη μέθοδο αυτή τη χρησιμοποιούν η Coca-Cola και η Unilever.

Στην εφοδιαστική αλυσίδα έχει ενταχθεί η τεχνολογία blockchain όπου γίνεται παρακολούθηση του κύκλου ζωής των πλαστικών και ελέγχεται η ποσότητα που περιέχει σε ανακυκλωμένο πλαστικό το προϊόν.

Οι τεχνολογικές καινοτομίες έχουν βοηθήσει στη βελτίωση της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης του πλαστικού, σε συνδυασμό με την εφοδιαστική αλυσίδα όπου περιλαμβάνει αποτελεσματικά συστήματα για τη βιωσιμότητα. Με την αυξημένη ζήτηση για ανακυκλωμένα πλαστικά οι καινοτομίες και οι διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι καθοριστικές για την επαναχρησιμοποίηση των πλαστικών και τη μείωση των πλαστικών αποβλήτων. [84]

6 Παρούσα Κατάσταση & Προοπτικές στην Ελλάδα

6.1 Ανακύκλωση Γυαλιού στην Ελλάδα

Η κατάσταση της δεύτερης ζωής του γυαλιού στην Ελλάδα έχει βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια, αν και υπάρχουν ακόμη προκλήσεις που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν. Η Ελλάδα έχει πραγματοποιήσει πρόοδο στην ανακύκλωση γυαλιού, με αρκετές πόλεις να διαθέτουν ειδικούς κάδους για τη συλλογή γυάλινων αποβλήτων. Οι διαδικασίες ανακύκλωσης έχουν βελτιωθεί και το ποσοστό ανακύκλωσης γυαλιού έχει αυξηθεί. Σε ότι αφορά την πολιτική και τη νομοθεσία, υπάρχουν ευρωπαϊκές οδηγίες που προωθούν την ανακύκλωση και τη μείωση των αποβλήτων, στις οποίες ακολουθεί και η Ελλάδα. Η πολιτική στοχεύει στην ενίσχυση της ανακύκλωσης και στη δημιουργία μιας κυκλικής οικονομίας.

Στην Ελλάδα, υπάρχουν πολλές πρωτοβουλίες από εταιρείες και ΜΚΟ που προωθούν την ανακύκλωση του γυαλιού, καθώς και συνεργασίες με δήμους για την ευαισθητοποίηση του κοινού. Επίσης, υπάρχουν προγράμματα εκπαίδευσης για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με τη σημασία της ανακύκλωσης του γυαλιού και την ορθή διαδικασία απορρίψεως.

Σε ότι αφορά τα ποσοστά ανακύκλωσης στην Ελλάδα παρόλο που υπάρχει βελτίωση συνεχίζουν να παραμένουν χαμηλά σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα, το 2022 το ποσοστό ανακύκλωσης γυαλιού στην Ελλάδα υπολογιζόταν περίπου στο 30%, σε σύγκριση, ο μέσος όρος ανακύκλωσης γυαλιού στην Ευρωπαϊκή Ένωση φτάνει περίπου το 76% με δεδομένα του 2019.

Αν και η ανακύκλωση του γυαλιού έχει προχωρήσει, υπάρχουν ακόμα προκλήσεις, όπως η έλλειψη υποδομών σε ορισμένες περιοχές και η ανάγκη για μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση και συμμετοχή του κοινού. Συνολικά, η Ελλάδα έχει κάνει σημαντικά βήματα για την προώθηση της δεύτερης ζωής του γυαλιού, αλλά η συνεχιζόμενη προσπάθεια και η συνεργασία όλων των φορέων είναι κρίσιμη για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων.

Στην Ελλάδα, το κόστος χρήσης γυαλιού δεύτερης ζωής μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα ανακυκλωμένου γυαλιού, το κόστος μεταφοράς και η ζήτηση για ανακυκλωμένα υλικά στην τοπική αγορά. Γενικά, η χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτική σε σύγκριση με νέα προϊόντα γυαλιού λόγω της μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας και πόρων στη διαδικασία ανακύκλωσης.

Με την ανακύκλωση του γυαλιού στην Ελλάδα θα υπάρξουν πιθανά οφέλη, όμως η βιωσιμότητα είναι εξαρτώμενη από διάφορους παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οικονομικοί παράγοντες, οι υποδομές αλλά και η αποδοχή των καταναλωτών.

Σε ότι αφορά τους περιβαλλοντικούς παράγοντες η Ελλάδα είναι μία χώρα όπου έχει πλούσια φυσική ομορφιά και τοπία, η ανακύκλωση γυαλιού μειώνει την ανάγκη για πρώτες ύλες, με αποτέλεσμα να μπορεί να μειώσει την εξορυκτική διαδικασία και να διατηρήσει τα φυσικά υλικά. Επίσης, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο με την ανακύκλωση του γυαλιού θα μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, γιατί χρειάζεται να παραχθεί λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με την παραγωγή νέου γυαλιού από πρώτες ύλες. Δεδομένου ότι η Ελλάδα, είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωση, σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς και τους στόχους οφείλει να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η ανακύκλωση γυαλιού είναι φιλική προς το περιβάλλον. Επιπλέον, στην Ελλάδα υπάρχει σε μεγάλο βαθμό η δημιουργία χώρων υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ), όπου έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπως η Αθήνα. Το γυαλί δεν είναι βιοδιασπώμενο υλικό οπότε παραμένει στους ΧΥΤΑ, για το λόγο αυτό η ανακύκλωση γυαλιού θα βοηθήσει στη μείωση της ρύψης των απορριμμάτων γυαλιού στους ΧΥΤΑ.

Στον οικονομικό τομέα, γενικά η ανακύκλωση γυαλιού θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα όταν το κόστος συλλογής, διαλογής και επεξεργασίας είναι συγκρίσιμο ή λιγότερο με την παραγωγή από παρθένα υλικά. Η οικονομική απόδοση είναι εξαρτώμενη από την απόδοση του συστήματος. Η Ελλάδα σε σύγκριση με άλλες χώρες δεν είναι τόσο ανεπτυγμένη με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί αύξηση του κόστους. Από την άλλη, με την εξοικονόμηση ενέργεια από την ανακύκλωση γυαλιού μπορεί να έχει χαμηλότερο κόστος παραγωγής, βοηθώντας τις βιομηχανίες γυαλιού. Τέλος, με τη δραστηριοποίηση στην ανακύκλωση γυαλιού η χώρα μπορεί να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας, δεδομένου ότι η Ελλάδα είναι μία χώρα που αντιμετωπίζει προβλήματα στην απασχόληση εργαζομένων.

Στον τομέα των υποδομών για την ανακύκλωση γυαλιού η Ελλάδα έχει παρατηρηθεί ότι τα τελευταία χρόνια έχει βελτίωση προς την ανακύκλωση αλλά σε σύγκριση με άλλες χώρες θεωρείται υποανάπτυκτη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Ελλάδα αντιμετωπίζει έλλειψη διαλογής, έλλειψη δημόσιας ευαισθητοποίησης και το βασικότερο έλλειψη εγκαταστάσεων όπου να μπορούν να συλλέξουν και να επεξεργαστούν τους μεγάλους όγκους γυαλιού. Σύμφωνα, με τους κανονισμούς που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση σε ότι αφορά την ευθύνη που έχουν οι παραγωγοί εφαρμόζονται και στην Ελλάδα, όμως δεν τηρούνται πάντα λόγω ασυνέπειας από την πλευρά των

παραγωγών. Σε περίπτωση που οι παραγωγοί αναλάβουν εξ ολοκλήρου τον κύκλο ζωής των γυάλινων προϊόντων τότε η χώρα θα έχει πιο ισχυρά συστήματα ανακύκλωσης. Η Ελλάδα για τη σωστή λειτουργία της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης γυαλιού χρειάζεται εκσυγχρονισμένα συστήματα. Αυτό θα επιτευχθεί με την τοποθέτηση περισσότερων κάδων ανακύκλωσης, συγχρόνων εγκαταστάσεων διαλογής και οργανωμένα δίκτυα μεταφοράς. Όμως, όλα αυτά μπορεί να είναι δαπανηρά, βέβαια μακροπρόθεσμα θα προσφέρουν οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες για την έλλειψη ανακύκλωσης γυαλιού στην Ελλάδα είναι οι καταναλωτές. Στην Ελλάδα υπάρχει έλλειψη της νοοτροπίας και της φιλοσοφίας σε ότι αφορά τη διαδικασία ανακύκλωσης. Οι καταναλωτές δεν είναι σωστά ενημερωμένοι και εκπαιδευμένοι ώστε να έχουν αυξημένη τη δημόσια ευαισθητοποίηση, αυτό θα αποφευχθεί με εκπαιδευτικές πρωτοβουλίες και συμμετοχή σε προγράμματα, ώστε να βοηθήσει τους καταναλωτές να αλλάξουν συμπεριφορά προς τη διαδικασία της ανακύκλωσης. Το κράτος θα πρέπει να δημιουργήσει ένα σύστημα επιστροφής καταθέσεων όπου οι καταναλωτές θα επιστρέφουν τις γυάλινες συσκευασίες για ανακύκλωσης, με αποτέλεσμα τη βελτίωση των ποσοτήτων ανακύκλωσης γυαλιών στην Ελλάδα.

Επιπρόσθετα, στην Ελλάδα υπάρχει ένα σημαντικό ζήτημα σχετικά με τη μεταφορά και τα logistics του ανακυκλωμένου γυαλιού, λόγω του ότι η χώρα έχει αρκετά νησιά και απομακρυσμένες περιοχές. Τα προϊόντα γυαλιού είναι βαριά και εύθραυστα με αποτέλεσμα να δυσκολεύει τη μεταφορά τους από απομακρυσμένες περιοχές και να έχει επιπλέον επιβάρυνση κόστους.

Τέλος, σχετικά με το νομοθετικό πλαίσιο, η Ελλάδα ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης υποχρεούται να επιτύχει τους στόχους ανακύκλωσης σύμφωνα με την Οδηγία Πλαισίου για τα απόβλητα και το Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία. Με τη σειρά τους οι κυβερνήσεις πρέπει να προσφέρουν κίνητρα μέσω επιδοτήσεων και επενδύσεων σε υποδομές άλλα και κυρώσεις σχετικά με την υπερβολική παραγωγή απορριμμάτων.

Τα οφέλη από τη χρήση γυαλιού δεύτερης ζωής στην Ελλάδα είναι παρόμοια με αυτά σε άλλες περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, της διατήρησης των πόρων και της μείωσης των απορριμμάτων. Με την ενσωμάτωση ανακυκλωμένου γυαλιού σε δομικά υλικά, συσκευασίες ή άλλα προϊόντα, οι επιχειρήσεις και τα άτομα στην Ελλάδα μπορούν να συμβάλουν σε μια κυκλική οικονομία και να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα. [47]

Συμπερασματικά, έπειτα από την παράθεση των παραπάνω παραγόντων η ανακύκλωση γυαλιού αξίζει στην Ελλάδα αλλά χρειάζεται αύξηση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών, βελτίωση των υποδομών και παροχή κρατικής υποστήριξης. Σε ότι αφορά τα περιβαλλοντικά κι οικονομικά οφέλη είναι σαφή. Όμως, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν επενδύσεις για τα συστήματα logistics και την σχετική εκπαίδευση των καταναλωτών, ώστε η Ελλάδα να είναι βιώσιμη και οικονομικά αποδοτική σε ότι αφορά την ανακύκλωση γυαλιού. Με την διευθέτηση των παραπάνω ζητημάτων η Ελλάδα μπορεί να φτάσει τους στόχους για τη βιωσιμότητα και τις πρωτοβουλίες της ΕΕ για την κυκλική οικονομία.

6.2 Ανακύκλωση Πλαστικού στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, όπως και πολλές άλλες χώρες, βρίσκεται σε μία κρίσιμη καμπή όσον αφορά τη διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη προσπάθεια για την προώθηση της ανακύκλωσης και της δεύτερης ζωής των πλαστικών υλικών.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, η Ελλάδα έχει υιοθετήσει τις ευρωπαϊκές οδηγίες για τη μείωση των πλαστικών αποβλήτων, όπως η απαγόρευση των πλαστικών καλαμακίων και άλλων προϊόντων μίας χρήσης. Σχετικά με την ανακύκλωση υπάρχουν προγράμματα που έχουν αναπτυχθεί σε πολλές περιοχές, αν και η αποτελεσματικότητά τους ποικίλλει. [50]

Από τη άλλη, η ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τη σωστή ανακύκλωση είναι σε εξέλιξη, στόχο την αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης. Υπάρχουν άλλες πρωτοβουλίες από ΜΚΟ και τοπικούς φορείς που προωθούν τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών και την επαναχρησιμοποίηση πλαστικών προϊόντων. Όμως, παρά τις προσπάθειες η διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η έλλειψη υποδομών για την ανακύκλωση και η γενική απουσία κουλτούρας ανακύκλωσης σε κάποιες περιοχές αλλά και την έλλειψη πλήρους διαλογής των αποβλήτων στην πηγή. Τέλος, τα προγράμματα εκπαίδευσης και οι εκστρατείες ενημέρωσης στοχεύουν στη βελτίωση της κατανόησης του κοινού για τη σημασία της ανακύκλωσης και της σωστής διαχείρισης των πλαστικών.

Σε ότι αφορά το ποσοστό ανακύκλωσης του πλαστικού είναι επίσης σχετικά χαμηλό σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα το 2020 το ποσοστό ανακύκλωσης του πλαστικού κυμαινόταν στο 24-25%. Ο ευρωπαϊκός μέσος όρος για την ανακύκλωση πλαστικού είναι περίπου 32,5%. Η ανακύκλωση πλαστικού σε πολλά ζητήματα ταυτίζεται με την ανακύκλωση

του γυαλιού. Τα δύο αυτά υλικά έχουν κοινούς παράγοντες όπου καθορίζουν το αν αξίζει ή όχι η ανακύκλωση στην Ελλάδα, όπου αναφέρθηκαν αναλυτικά στην προηγούμενη ενότητα.

Οι κοινοί παράγοντες είναι το κόστος της υποδομής της ανακύκλωσης, το περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε ότι αφορά τη μείωση των ΧΥΤΑ, την εξοικονόμηση ενέργειας και τη διατήρηση πόρων. Επίσης, στα οικονομικά οφέλη για τη δημιουργία θέσεων εργασίας, την εξοικονόμηση κόστους καθώς και τα έσοδα από ανακυκλωμένα υλικά με την πώλησή τους σε κατασκευαστές. Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο και σε αυτό το υλικό έχει η συμμετοχή των καταναλωτών και η σωστή ενημέρωση και εκπαίδευσή τους.

Σε ότι αφορά τις προκλήσεις, η ζήτηση στην αγορά για τα ανακυκλωμένα πλαστικά δεν είναι σταθερή. Με τις διάφορες διακυμάνσεις της ζήτησης και έπειτα στις τιμές επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των προγραμμάτων ανακύκλωσης. Όπως και στο γυαλί έτσι και στο πλαστικό η ποιότητα των ανακυκλωμένων υλικών έχει σημαντικό ρόλο στην μείωση της αξίας της αγοράς σε περίπτωση χαμηλότερης ποιότητας. [54]

Επιπρόσθετα, οι κανονισμοί και τα κίνητρα που μπορούν να προσφέρουν οι κυβερνήσεις μέσω προγραμμάτων ανακύκλωσης μπορούν να βοηθήσουν στην προώθηση της ανακύκλωσης πλαστικών. Επίσης, οι παραγωγοί θα πρέπει να αναλαμβάνουν την ευθύνη για τον κύκλο ζωής των πλαστικών προϊόντων και των αποβλήτων αυτών. Τέλος, η Ελλάδα έχει σημειώσει αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης πλαστικού αλλά θα πρέπει να γίνουν βελτιώσεις στα συστήματα ανακύκλωσης. Η χώρα θα πρέπει να επενδύσει για τις υποδομές και την τεχνολογία ώστε να επιτύχει αποτελεσματική ανακύκλωση πλαστικών. Επιπλέον, είναι σημαντική η δημόσια ευαισθητοποίηση.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν σε αυτή την ενότητα, η ανακύκλωση πλαστικών αξίζει στην Ελλάδα οικονομικά και περιβαλλοντικά αλλά αυτό χρειάζεται συνεχείς επένδυση διαχείριση και συμμετοχή των πολιτών. Με τη διαδικασία της ανακύκλωσης πλαστικών η χώρα οδηγείται στη μείωση των ΧΥΤΑ, στη διατήρηση πόρων και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Με την υποστήριξη των κυβερνήσεων, την κοινωνική ευαισθητοποίηση και προγράμματα, η Ελλάδα μπορεί να συμβάλει στη βιωσιμότητα σχετικά με την ανακύκλωση των πλαστικών.

Η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει έναν πιο βιώσιμο κύκλο ζωής για το πλαστικό και το γυαλί μέσω στρατηγικών που προάγουν την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση. Η πολιτική βούληση, η καινοτομία και η ενεργός συμμετοχή της κοινωνίας είναι κρίσιμες για την επίτευξη αυτών των στόχων.

7 Συμπεράσματα – Λύσεις Προτάσεις

Ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχίζει τη ραγδαία αύξηση για τη ζήτηση πρώτων υλών, για το λόγο αυτό είναι επιτακτική ανάγκη για τη δημιουργία μίας κυκλικής οικονομίας. Η κυκλική οικονομία προσφέρει μία πολυεπίπεδη προσέγγιση σχετικά με την παραγωγή και την κατανάλωση, δίνοντας βάση στη βιωσιμότητα, τη μείωση των αποβλήτων και στην αποδοτικότητα των πόρων. Παράγει την καινοτομία συμβάλλοντας σημαντικά πλεονεκτήματα περιβαλλοντικά και οικονομικά. Με την σωστή οργάνωση των κυβερνήσεων, των τεχνολογιών και τη υποστήριξη-συμμετοχή του κοινού η κυκλική οικονομία μπορεί να αντιμετωπίσει τις παγκόσμιες προκλήσεις, συμβάλλοντας σε ένα βιώσιμο μέλλον.

Σε ότι αφορά την ανακύκλωση γυαλιού και πλαστικού μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι πρώτες ύλες που μειώνονται από την ανακύκλωση γυαλιού είναι η άμμος και ο ασβεστόλιθος, ενώ με την ανακύκλωση πλαστικών μειώνεται η χρήση πετρελαίου. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία η ανακύκλωση γυαλιού εξοικονομεί έως και 30% της ενέργειας και η ανακύκλωση πλαστικού 50-60% από την παραγωγή νέων προϊόντων από παρθένα υλικά.

Στις προκλήσεις της ανακύκλωσης του γυαλιού όσο και του πλαστικού σημειώνεται η μόλυνση. Δηλαδή, η παρουσία άλλων ή βρώμικων υλικών με αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητας του ανακυκλωμένου προϊόντος. Στα πλαστικά αντιμετωπίζεται μεγάλο πρόβλημα λόγω του ότι υπάρχουν διαφορετικοί τύποι πλαστικών και πρέπει να γίνει σωστή διαλογή.

Επιπλέον, με την καινοτομία των τεχνολογιών η ανακύκλωση των δύο υλικών είναι πιο αποτελεσματική. Σε ότι αφορά το γυαλί με τις νέες τεχνολογίες τήξης έχουν την τάση να βελτιώνουν την ποιότητα του ανακυκλωμένου γυαλιού. Επίσης, οι τεχνολογίες χημικής ανακύκλωσης στα πλαστικά μπορούν να διασπάσουν τα πλαστικά απόβλητα στα μονομερή τους, προσφέροντας υψηλότερη ποιότητα. Και για τα δύο υλικά η βασικές προκλήσεις είναι η έλλειψη υποδομών ανακύκλωσης, η χαμηλή συμμετοχή των πολιτών και οι ελλείψεις στην εκπαίδευση σχετικά με τη σωστή διαχείριση απορριμμάτων.

Σύμφωνα με τους στόχους της ΕΕ στο πλαίσιο της στρατηγικής της για τη μείωση των αποβλήτων και την προώθηση της κυκλικής οικονομίας. Οι στόχοι αυτοί περιλαμβάνονται κυρίως στην Οδηγία για τα Απόβλητα και στην Οδηγία για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας. Σε ότι αφορά το γυαλί οι στόχοι της ΕΕ για την ανακύκλωση είναι το 65% του γυαλιού που

χρησιμοποιείται σε συσκευασίες θα πρέπει έως το 2025 να έχουν ανακυκλωθεί και τι 75% έως το 2030. Σε ότι αφορά το γυαλί η ΕΕ έχει θέσει πιο αυστηρούς στόχους για την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση των πλαστικών υλών, λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πλαστικών απορριμμάτων. Ο στόχος είναι τουλάχιστον το 50% των πλαστικών απορριμμάτων συσκευασίας θα πρέπει να ανακυκλωθεί έως το 2025. Το 55% είναι ο στόχος για το 2030.

Από την άλλη, η στρατηγική της ΕΕ στο πλαστικό αναφέρει ότι μέχρι το 2030 όλες οι πλαστικές συσκευασίες που τοποθετούνται στην αγορά της ΕΕ θα πρέπει να είναι επαναχρησιμοποιήσιμες ή ανακυκλώσιμες. Στόχος είναι να μειωθεί η χρήση πλαστικών μίας χρήσης και να προωθηθούν λύσεις που θα μειώσουν τα πλαστικά απόβλητα, ενθαρρύνοντας παράλληλα τη χρήση πλαστικών στην παραγωγή. Τέλος, η ΕΕ στοχεύει στη μείωση των απορριμμάτων της συσκευασίας κατά 5% έως το 2030 και 15% έως το 2040, μέσω της επαναχρησιμοποίησης της ανακύκλωσης και άλλων μορφών ανάκτησης υλικών. Αυτοί οι στόχοι εντάσσονται σε μία συνολική προσπάθεια να μειωθούν τα περιβαλλοντικά αποτυπώματα των υλικών και να προωθηθούν οι αρχές της κυκλικής οικονομίας σε ολόκληρη την ΕΕ.

Επίσης, η ελληνική κοινωνία και οι επιχειρήσεις αναγνωρίζουν όλο και περισσότερο την ανάγκη για βιώσιμες πρακτικές. Η ευαισθητοποίηση σχετικά με την πλαστική ρύπανση και την ανάγκη ανακύκλωσης έχει οδηγήσει σε πέσεις για τη υιοθέτηση πρακτικών που προάγουν την επαναχρησιμοποίηση. Η κυβέρνηση με τη σειρά της προχωρά σε πολιτικές που ενθαρρύνουν την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση πλαστικών και γυαλιού. Η εφαρμογή στόχων ανακύκλωσης, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, έχει θετικές προοπτικές για την ανάπτυξη της αγοράς. Οι ευκαιρίες για τη δεύτερη ζωή του πλαστικού περιλαμβάνουν ην ανακύκλωση σε νέα προϊόντα και την ανάπτυξη βιοδιασπώμενων υλικών. Όμως, απαιτείται σημαντική υποδομή για την αποτελεσματική διαλογή και επεξεργασία. Από την άλλη, το γυαλί είναι εύκολα ανακυκλώσιμο και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σχεδόν απεριόριστα χωρίς απώλεια ποιότητας. Η ανάπτυξη προγραμμάτων συλλογής και επεξεργασίας γυαλιού μπορεί να αυξήσει τη χρήση του ανακυκλωμένου γυαλιού σε βιομηχανίες όπως η τροφή και το ποτό.

Με την επέκταση του λειτουργικού κύκλου ζωής των υλικών μπορεί να δημιουργήσει νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες, από startups που ασχολούνται με την επαναχρησιμοποίηση έως μεγάλες βιομηχανίες που επενδύουν στην ανακύκλωση. Η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών που διευκολύνουν τη διαδικασία της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης είναι κρίσιμη. Η επένδυση σε έρευνα και ανάπτυξη μπορεί να βελτιώσει τις διαδικασίες και να μειώσει τα κόστη.

Επιπρόσθετα, και για τα δύο υλικά η ανακύκλωση τους θεωρείται οικονομικά βιώσιμη. Με βάση τις τεχνοοικονομικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν και για τα δύο υλικά συμπεραίνουμε ότι η ανακύκλωση γυαλιού με τη μέθοδο close loop (κλειστού κύκλου) προσφέρει μείωση του κόστους των πρώτων υλών διότι η χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού (cullet) μειώνει σημαντικά την ανάγκη για πρώτες ύλες που απαιτούνται για την παραγωγή γυαλιού από παρθένα υλικά. Η ενέργεια που απαιτείται για την τήξη ανακυκλωμένου γυαλιού είναι πολύ μικρότερη, γεγονός που μειώνει και το ενεργειακό κόστος. Για κάθε 10% αύξηση της χρήσης cullet στην παραγωγή, παρατηρείται μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την τήξη κατά περίπου 2-3%. Σε πολλές χώρες υπάρχουν κρατικά κίνητρα, όπως φοροαπαλλαγές ή επιδοτήσεις, για την ανακύκλωση υλικών, συμπεριλαμβανομένου του γυαλιού. Αυτό μπορεί να ενισχύσει τη βιωσιμότητα του συστήματος close loop.

Σε ότι αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη η ανακύκλωση γυαλιού μειώνει σημαντικά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Μια πλήρης χρήση cullet μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά 30-50% σε σχέση με την παραγωγή γυαλιού από παρθένα υλικά. Η ανακύκλωση γυαλιού μειώνει την ποσότητα των απορριμμάτων που καταλήγουν στις χωματερές. Το γυαλί είναι υλικό που δεν βιοδιασπάται και παραμένει στις χωματερές για αόριστο χρονικό διάστημα.

Στις προκλήσεις εντάσσεται το υψηλό κόστος συλλογής και διαλογής, οι αναπτυγμένες υποδομές, όπου θα πρέπει να υπάρξει επένδυση σε υποδομές όπως σταθμοί διαλογής, κέντρα επεξεργασίας και μεταφοράς είναι σημαντική για τη λειτουργία του συστήματος. Η αξία του ανακυκλωμένου γυαλιού (cullet) μπορεί να επηρεαστεί από τις διακυμάνσεις στην αγορά πρώτων υλών και ενέργειας, κάνοντάς το λιγότερο ανταγωνιστικό σε κάποιες περιπτώσεις.

Στον κοινωνικό τομέα το γυαλί και το πλαστικό έχουν κοινά πλεονεκτήματα όπου είναι η δημιουργία θέσεων εργασίας και τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Η ανακύκλωση γυαλιού με τη μέθοδο του κλειστού κύκλου έχει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, ειδικά σε τομείς όπως η εξοικονόμηση ενέργειας, η μείωση των εκπομπών CO₂ και η μείωση των απορριμμάτων στις χωματερές. Ωστόσο, υπάρχουν προκλήσεις που σχετίζονται με το κόστος των υποδομών και της διαλογής, καθώς και με την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών. Με τις σωστές επενδύσεις και πολιτικές, το σύστημα close loop μπορεί να αποτελέσει βιώσιμη λύση για τη διαχείριση των γυάλινων απορριμμάτων στην κυκλική οικονομία.

Τα αποτελέσματα της τεχνοοικονομικής ανάλυσης της χημικής ανακύκλωσης πλαστικών μέσω της διαδικασίας της πυρόλυσης παρέχει σημαντικά στοιχεία. Η πυρόλυση μετατρέπει τα πλαστικά απορρίμματα σε υγρά καύσιμα, αέρια και στερεά κατάλοιπα, όπως το πυρολυτικό λάδι (pyrolysis oil), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή νέων πλαστικών ή ως

καύσιμο. Αυτή η διαφοροποίηση στα προϊόντα βελτιώνει την οικονομική βιωσιμότητα της διαδικασίας, παρέχοντας έσοδα από διάφορες αγορές. Επιπλέον υπάρχει μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και αξιοποίηση μικτής ροής, δηλαδή η πυρόλυση μπορεί να επεξεργαστεί μικτές ροές πλαστικών, μειώνοντας το κόστος της προεπεξεργασίας και αυξάνοντας τη συνολική απόδοση ανακύκλωσης.

Στα περιβαλλοντικά οφέλη περιλαμβάνεται η μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η ανακύκλωση δύσκολων πλαστικών και η ανάκτηση ενέργειας. Σχετικά με τις προκλήσεις έχει υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, υψηλό ενεργειακό κόστος και πρόκληση στην ποιότητα των προϊόντων. Η αστάθεια αυτή στην ποιότητα μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα εμπορικής αξιοποίησης των προϊόντων. Τέλος, οι προοπτικές της είναι οι καινοτομίες στην τεχνολογία της πυρόλυσης και η συνεργασία με τη βιομηχανία.

Η πυρόλυση ως μέθοδος χημικής ανακύκλωσης έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα για την αντιμετώπιση των πλαστικών απορριμμάτων που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν με άλλες μεθόδους. Προσφέρει οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Τέλος, σημαντικό για την ανακύκλωση και τη επαναχρησιμοποίηση του γυαλιού και του πλαστικού είναι η ευαισθητοποίηση και η συμμετοχή των καταναλωτών ώστε να επιτύχουν τα σχετικά προγράμματα. Από την άλλη, οι βιομηχανίες πραγματοποιούν επενδύσεις για τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών για τη συσκευασία και την κατασκευή.

ΛΥΣΕΙΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Καλύτερος σχεδιασμός των πλαστικών και γυάλινων προϊόντων.
2. Υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης πλαστικών και γυάλινων αποβλήτων για την επίτευξη της επαναχρησιμοποίησης των υλικών.
3. Καλύτερων ποιότητας θα βοηθήσουν στην ενίσχυση της αγοράς ανακυκλωμένων πλαστικών και γυαλιών.
4. Ενημέρωση και εκπαίδευση των καταναλωτών.
5. Κίνητρα στους πολίτες αλλά και στις βιομηχανίες.
6. Ανάπτυξη των υποδομών ώστε να μπορέσουν να καλύψουν τις ανάγκες για την ανακύκλωση των υλικών.

7. Καινοτόμες τεχνολογίες .

Η στρατηγική αυτή θα πρέπει να συμβάλει στη επίτευξη των στόχων της Αειφόρου Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών , των παγκόσμιων δεσμεύσεων για το κλίμα και των στόχων της Ε.Ε. για τη βιομηχανική πολιτική.

Σε ότι αφορά την ανάλυση κόστους-οφέλους της επαναχρησιμοποίησης γυαλιού περιλαμβάνει την αξιολόγηση των οικονομικών επιπτώσεων της ενσωμάτωσης ανακυκλωμένου γυαλιού στις διαδικασίες παραγωγής σε σύγκριση με τη χρήση νέων υλικών γυαλιού.

Η επαναχρησιμοποίηση γυαλιού μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη, όπως μειωμένο κόστος πρώτων υλών, εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, όπως μείωση των απορριμμάτων και χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα. Ωστόσο, ενδέχεται να υπάρχουν αρχικά κόστη που σχετίζονται με τη συλλογή, τη διαλογή και την επεξεργασία ανακυκλωμένου γυαλιού.

Για τη διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης κόστους-οφέλους της επαναχρησιμοποίησης γυαλιού, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως το κόστος των πρώτων υλών, η κατανάλωση ενέργειας, η μεταφορά, η επεξεργασία και η πιθανή εξοικονόμηση πόρων από τα μειωμένα τέλη διάθεσης απορριμμάτων.

Επιπλέον, τα περιβαλλοντικά οφέλη της ανακύκλωσης γυαλιού, όπως οι μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η διατήρηση των φυσικών πόρων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην ανάλυση.

Η κυκλική οικονομία προσφέρει μια μετασχηματιστική προσέγγιση στην παραγωγή και κατανάλωση, εστιάζοντας στη βιωσιμότητα, την αποδοτικότητα των πόρων και τη μείωση των αποβλήτων. Παρέχει σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα, προάγοντας την καινοτομία, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την ανθεκτικότητα. Με την υποστήριξη αποτελεσματικών πολιτικών, τεχνολογικών εξελίξεων και της συμμετοχής του κοινού, η μετάβαση προς μια κυκλική οικονομία μπορεί να αντιμετωπίσει παγκόσμιες προκλήσεις που σχετίζονται με την εξάντληση των πόρων, τη ρύπανση και την κλιματική αλλαγή, συμβάλλοντας σε ένα πιο βιώσιμο και ευημερούν μέλλον.

8 Βιβλιογραφία

- [1]. Ellen McArthur Foundation, “Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition” (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org>)
- [2]. Mitchell, P., “Employment and the circular economy – Job Creation through resources efficiency in London”, Report produced by WRAP for the London Sustainable Development Commission , the London Waste and Recycling Board and the Greater London Authority, 2015.
- [3]. Georg Prochatzki, Ralph Mayer, Josephin Haenel, Anja Schmidt, Uwe Götze, Martin Ulber, Anne Fischer, Marlen Gabriele Arnold, “ A critical review of the current state of circular economy in the automotive sector” , Journal of Cleaner Production, vol 425, 2023.
- [4]. Jing Li, Jiali Shao, Xilong Yao, Jiashuo Li, “Life cycle analysis of the economic costs and environmental benefits of photovoltaic module waste recycling in China”, Resources, Conservation and Recycling, vol 196, 2023.
- [5]. Samuele Abagnato, Lucia Rigamonti, Mario Grosso, “Life cycle assessment applications to reuse, recycling and circular practices for textiles: A review”, Waste Management, vol. 182, pp 74-90, 2024
- [6]. Ellen MacArthur Foundation (2013), "Towards the Circular Economy Vol. 1: An Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition." *Ellen MacArthur Foundation*. (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org>).
- [7]. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. "The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm?" Journal of Cleaner Production, vol. 143, pp 757-768, 2017.
- [8]. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. "Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions." Resources, Conservation and Recycling, vol. 127, pp 221-232, 2017.
- [9]. Stahel, W. R, "The Circular Economy." Nature, vol. 531(7595), pp 435-438, 2016
- [10]. European Commission (2020). "A New Circular Economy Action Plan: For a Cleaner and More Competitive Europe." European Commission. (<https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>).

- [11]. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S., "A Review on Circular Economy: The Expected Transition to a Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems." *Journal of Cleaner Production*, vol. 114, pp 11-32, 2016.
- [12]. Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J., "Circular Economy: The Concept and Its Limitations." *Ecological Economics*, vol. 143, pp 37-46, 2018.
- [13]. Δρ. Μιχάλης Γ. Γκούμας, Μηχανικός Μεταλλείων-Μεταλλουργός ΕΜΠ «Διεργασίες, εφαρμογές, πολιτικές και δυνατότητες χρηματοδότησης.», *Κυκλική Οικονομία*, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>
- [14]. Brandon S. Byers, Deepika Raghu, Adama Olumo, Catherine De Wolf, Carl Haas, "From research to practice: A review on technologies for addressing the information gap for building material reuse in circular construction", *Sustainable Production and Consumption*, vol. 45, pp 177-191, 2024.
- [15]. Rafael Laurent, Deniz Demirer Demir, Göran Finnveden, "Analyzing the relationship between product waste footprints and environmental damage – A life cycle analysis of 1,400+ products", *Science of the Total Environment*, vol. 859, 2023.
- [16]. Shouheng Sun, Qi Wu, Xuejiao Tian, "How does sharing economy advance cleaner production? Evidence from the product life cycle design perspective", *Environmental Impact Assessment Review*, vol.99, 2023.
- [17]. Martin F. Borner, Moritz H. Frieges, Benedikt Spath, Kathrin Spatz, Heiner H. Heimes, Dirk Uwe Sauer, and Weihai Li, "Challenges of second-life concepts for retired electric vehicle batteries", 2022
- [18]. American Chemistry Council (ACC), *Plastic Recycling: Key Facts and Insights*, 2021 <https://www.americanchemistry.com/>
- [19]. European Plastics Recyclers (EuPR), *Plastics Recycling: European Industry Overview*, 2022 <https://www.plasticsrecyclers.eu/>
- [20]. Environmental Protection Agency (EPA), *Plastic Recycling: A Comprehensive Guide*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. 2020 , <https://www.epa.gov/recycle>
- [21]. Green Blue., *The Life Cycle of Plastic: From Production to Recycling*. Charlottesville: GreenBlue. 2019, <https://greenblue.org/>

- [22]. PlasticsEurope. (2023). Plastics – The Facts 2023: An Analysis of the European Plastics Industry. <https://plasticseurope.org/>
- [23]. Sabzoi Nizamuddin, Yeong Jia Boom, Filippo Giustozzi, “Sustainable Polymers from Recycled Waste Plastics and Their Virgin Counterparts as Bitumen Modifiers: A Comprehensive Review”,2021
- [24]. Waste and Resources Action Programme (WRAP). Plastics Recycling: Best Practices and Economic Analysis. 2021 , <https://wrap.org.uk/>
- [25]. National Recycling Coalition. Understanding Plastic Recycling: Processes, Challenges, and Opportunities. 2022, <https://nationalrecyclingcoalition.org/>
- [26]. Zero Waste Europe. Plastic Waste Management and Recycling Strategies. Brussels: Zero Waste Europe. 2021, <https://zerowasteurope.eu/>
- [27]. International Solid Waste Association (ISWA). (2020). Global Waste Management Outlook: Focus on Plastics, 2020, <https://www.iswa.org/>
- [28]. Society of Plastics Engineers (SPE). (2022). Advances in Plastic Recycling Technology: Innovations and Trends. <https://www.4spe.org/>
- [29]. T. L. Vomiero et al, "Economic Feasibility of Chemical Recycling of Plastics: A Review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021
- [30]. T. W. Lee, H. T. Kim, S. Park, and Y. S. Yoon, “"Life Cycle Assessment of Plastic Recycling Systems: Comparative Analysis of Mechanical and Chemical Recycling", Journal of Cleaner Production, 2016,
- [31]. N. Papong, S. Malakul, C. Trungkavashirakun, S. Wenunun, and M. Wibulpolprasert, “Life Cycle Assessment of Polyethylene Terephthalate (PET) Recycling: A Case Study for Greece", Resources, Conservation and Recycling, 2014.
- [32]. G. T. Morawski, “**Greenhouse Gas Emissions and Energy Use of Plastics in the United States**", Environmental Science & Technology, 2006.
- [33]. J. Shen, E. Worrell, and M. Patel, “Global Environmental Impacts of the Production and Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET): A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment", Environmental Science & Technology, 2010.
- [34]. R. J. White and T. S. Connor, "Energy and Environmental Assessment of Plastic Waste Management Options: A Review", Journal of Environmental Management, 2020.

- [35]. A. Zhang, G. Kumar, D. A. Champagne, "Life Cycle Assessment of Waste Plastic Conversion to Fuel" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017.
- [36]. Magdalena Klotz, Christopher Oberschelp, Cecilia Salah, Luc Subal, Stefanie Hellweg, "The role of chemical and solvent-based recycling within a sustainable circular economy for plastics", *Science of The Total Environment*, vol. 906, 2024.
- [37]. Wei Wu, Hui Xu, Bin Shi, Po-Chih Kuo, "Techno-economic analysis of plastic wastes-based polygeneration processes", *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 184, 2023
- [38]. Jijiang Huang, Andrei Veksha, WeiPing Chan, Apostolos Giannis, Grzegorz Lisak, "Chemical recycling of plastic waste for sustainable material management: A prospective review on catalysts and processes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 154, 2022.
- [39]. Williams, P. T. *Waste Treatment and Disposal*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons., 2013.
- [40]. Clark, G., & Timms, W. *Sustainable Materials Management and Recycling: A Business Perspective*. New York: Routledge, 2018.
- [41]. Pires, A., & Martinho, G. "Economic Viability of Recycling: The Case of Glass." *Journal of Cleaner Production*, vol. 213, pp 567-579, 2019 .
- [42]. Karam, M. "Life-Cycle Analysis of Glass Recycling in Waste Management." *Waste Management Research*, vol. 38(7), pp 562-570, 2020.
- [43]. European Commission. (2020). *Guidelines on the Economic Assessment of Glass Recycling*. Brussels: European Commission. <https://ec.europa.eu/green-deal>
- [44]. Market Research Future. (2023). *Techno-Economic Analysis of the Global Glass Recycling Industry*. [Market Research Future](https://www.mrfuture.com)
- [45]. Grand View Research. (2022). *Glass Recycling Market Size, Share & Trends Analysis Report*. [Grand View Research](https://www.grandviewresearch.com)
- [46]. Friends of Glass. (2022). The Benefits of Glass Recycling: Environmental and Economic <https://www.friendsofglass.com/>
- [47]. Hellenic Ministry of Environment and Energy. (2019). National Strategy for Waste Management. Athens: Hellenic Ministry of Environment and Energy. (www.ypen.gr)
- [48]. Friends of Glass. The Benefits of Glass Recycling: Environmental and Economic (2022). <https://www.friendsofglass.com/>
- [49]. Hellenic Ministry of Environment and Energy. National Strategy for Waste Management. Athens: Hellenic Ministry of Environment and Energy (2019). (ypen.gr)
- [50]. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Life Cycle Assessment of Glass Recycling: Energy Savings and Environmental Benefits. (2016). <https://www.nrel.gov/>
- [51]. OECD, Extended Producer Responsibility: Updated Guidance for Efficient Waste Management. OECD Publishing, Paris (2021). <https://www.oecd.org/>

- [52]. Searcy, E., & Flynn, P. "Economic Implications of Glass Recycling in Southern Europe: A Case Study of Greece. *Journal of Environmental Management* "t, 225, 95-105, 2018.
- [53]. Waste & Resources Action Programme (WRAP), Glass Recycling: Best Practices and Economic Analysis, 2020 <https://wrap.org.uk/>
- [54]. Greek Recycling Organization, Recycling Statistics and Initiatives in Greece, (2022). <https://greekrecycling.org/>
- [55]. PlasticsEurope. Plastics – The Facts 2021: A Detailed Analysis of the Plastic Industry, 2021 <https://www.plasticseurope.org/>
- [56]. Waste and Resources Action Programme (WRAP) Economic Benefits of Plastic Recycling: Case Studies and Insights, 2021. <https://wrap.org.uk/>
- [57]. National Recycling Coalition (NRC). (2022). *Plastic Recycling: An Economic and Environmental Analysis*. <https://nationalrecyclingcoalition.org/>
- [58]. GreenPeace. (2021). *The Impact of Plastic Pollution and Recycling in Europe*. <https://www.greenpeace.org/>
- [59]. Eunomia Research & Consulting. (2020). *Economic and Environmental Impacts of Plastic Waste Management*. <https://www.eunomia.co.uk/>
- [60]. Zero Waste Europe. (2021). *Plastics Waste Management: Strategies for Improvement*. Brussels: Zero Waste Europe.
- [61]. International Solid Waste Association (ISWA). (2020). *Global Waste Management Outlook: Focus on Plastic Recycling*. <https://www.iswa.org/>
- [62]. Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. , "Plastics Recycling: Challenges and Opportunities." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126, 2009.
- [63]. Wagner, T. P., & Toews, P., "Assessing the Use of Infrastructure and Policy to Increase Recycling Rates." *Journal of Cleaner Production*, 199, 217-226, 2018.
- [64]. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L., "Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made." *Science Advances*, 3(7), e1700782, 2017.
- [65]. Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K., "Open-Loop Recycling: A LCA Case Study of PET Bottle-to-Fibre Recycling." *Resources, Conservation and Recycling*, 55(1), 34-52, 2010.
- [66]. Glass Packaging Institute, "Glass Recycling Facts." GPI.org. Retrieved from <https://www.gpi.org/glass-recycling-facts> (2018)
- [67]. Bartl, A., . "Plastics Recycling." *Waste Management*, 34(2), 220-222, 2014

- [68]. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., et al., "Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean." *Science*, 347(6223), 768-771, 2015
- [69]. "Life Cycle of a Plastic Product". *Americanchemistry.com*. Archived from the original on March 17, 2010. Retrieved July 1, 2011.
- [70]. Andrady AL, Neal MA, "Applications and societal benefits of plastics". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 364 (1526): 1977–84, 2009.
- [71]. Antonis Vlasopoulos, Jurgita Malinauskaite, Alina Żabnieńska-Góra, Hussam Jouhara, "Life cycle assessment of plastic waste and energy recovery", *Energy*, vol. 277, 127576, 2023.
- [72]. Quanyin Tan, Liyao Yang b,**, Fan Wei, Yuan Chen, Jinhui Li, "Is reusable packaging an environmentally friendly alternative to the single-use plastic bag? A case study of express delivery packaging in China", *Resources, Conservation & Recycling*, vol.190, 106863, 2023.
- [73]. Macaulay M. Owen, Emmanuel O. Achukwu, Ahmad Zafir Romli, Abdul Halim Bin Abdullah, Muhammad Hanif Ramlee, Solehuddin Bin Shuib, "Thermal and mechanical characterization of composite materials from industrial plastic wastes and recycled nylon fibers for floor paving tiles application", *Waste Management*, Volume 166, 1 July 2023, Pages 25-34.
- [74]. Trong-Phuoc Huynh, Tri Ho Minh Le, Nguyen Vo Chau Ngan, "An experimental evaluation of the performance of concrete reinforced with recycled fibers made from waste plastic bottles", *Results in Engineering*, vol 18, 2023.
- [75]. Irdanto Saputra Lase, Davide Tonini, Dario Caro, Paola F. Albizzati, Jorge Cristobal, Martijn Roosen, Marvin Kusenber, Kim Ragaert, Kevin M. Van Geem, Jo Dewulf, Steven De Meester, "How much can chemical recycling contribute to plastic waste recycling in Europe? An assessment using material flow analysis modeling", *Resources, Conservation & Recycling*, vol 192, 2023
- [76]. Robson Couto da Silva, Fabio Neves Puglieri, Daiane Maria de Genaro Chiroli, Guilherme Antonio Bartmeyer, Evaldo Toniolo Kubaski, Sergio Mazurek Tebcherani, "Recycling of glass waste into foam glass boards: A comparison of cradle-to-gate life cycles of boards with different foaming agents", *Science of The Total Environment*, Vol 771, 2021, 145276.

- [77]. Abbas Mohajerani, John Vajna, Tsz Ho Homan Cheung, Halenur Kurmus , Arul Arulrajah, Suksun Horpibulsuk, “Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review”, *Construction and Building Materials*, V156, 2017, pp 443-467
- [78]. Camilla Tua, Mario Grosso, Lucia Rigamonti, “Reusing glass bottles in Italy: A life cycle assessment evaluation”, *Procedia CIRP*, Vol 90, 2020, pp 192-197.
- [79]. Shen, L., & Patel, M., “Economic Evaluation of Recycling Technologies for Glass and Other Packaging Materials”, *Journal of Industrial Ecology*, 24(3), 611–624, 2020.
- [80]. Ghysels, B., & Vandervelde, P., “Techno-Economic Analysis of Glass Waste Recycling in Europe”, *Journal of Environmental Management*, 192, 1–10, 2017
- [81]. Davis, G., & Hall, D., “The Circular Economy and Glass Recycling: Opportunities and Challenges”, *Waste Management*, 75, 145–150, 2018.
- [82]. De Tura, P., & Aristizábal, C., “Techno-economic Analysis of Waste-to-Energy Pyrolysis Plants for Plastic Recycling”, *Journal of Sustainable Engineering*, 14(3), 124–134, 2021.
- [83]. Singh, R. K., Ruj, B., & Jana, A., “Thermal Pyrolysis of Plastic Waste for Sustainable Resource Recovery: A Techno-Economic Assessment”, *Journal of Cleaner Production*, 247, 119115, 2020.
- [84]. Tsiamis, D. A., & Castaldi, M. J., “A Techno-Economic Analysis of Pyrolysis and Gasification for Energy Production from Waste Plastics”, *Journal of Energy Resources Technology*, 140(2), 1–12, 2018