



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ: Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού

ΤΜΗΜΑ: Γραφιστικής και Οπτικής Επικοινωνίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Ευφυής Συσκευασία. Νέες Τεχνολογίες και Marketing»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**“Το παρελθόν και το μέλλον της εύκαμπτης
συσκευασίας, υλικά και νέες εξελίξεις”**

**“The past and the future of flexible packaging, materials and new
developments”**

Κωνσταντίνος Παπαγεωργίου

A.M. 21674161

Αθήνα, 2024



ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος Κωνσταντίνος Παπαγεωργίου του Παντελεήμονα, φοιτητής του Τμήματος Γραφιστικής και Οπτικής Επικοινωνίας, της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι: «Είμαι συγγραφέας και δικαιούχος των πνευματικών δικαιωμάτων επί της πτυχιακής εργασίας και δεν προσβάλλω τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων. Για τη συγγραφή της πτυχιακής εργασίας μου δεν χρησιμοποίησα ολόκληρο ή μέρος έργου άλλου δημιουργού ή τις ιδέες και αντιλήψεις άλλου δημιουργού χωρίς να γίνεται αναφορά στην πηγή προέλευσης (βιβλίο, άρθρο από εφημερίδα ή περιοδικό, ιστοσελίδα κ.λπ.). Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του μεταπτυχιακού διπλώματος μου». Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της πτυχιακής εργασίας μου μέχρι 3 χρόνια και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη.

Ο Δηλών

Κωνσταντίνος Παπαγεωργίου

Εξεταστική επιτροπή

Όνοματεπώνυμο	Βαθμίδα / Ιδιότητα	Ψηφιακή υπογραφή
Σταματίνα Θεοχάρη	Καθηγήτρια	
Σπυρίδων Νομικός	Καθηγητής	
Ρωσσέτος Μετζητάκος	Αν. Καθηγητής	

Ημερομηνία εξέτασης: 23/05/2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στην επιβλέπουσα μου Δρ. Σταματίνα Θεοχάρη, για την υποστήριξη, την καθοδήγηση και τις ζωτικές εισηγήσεις κατά τη διάρκεια αυτού του ερευνητικού ταξιδιού. Η αφοσίωσή της στην προαγωγή της ακαδημαϊκής μου ανάπτυξης ήταν καθοριστική για την ποιότητα και την κατεύθυνση αυτής της εργασίας. Εκφράζω την εκτίμησή μου στην οικογένειά μου για τη συνεχή ενθάρρυνση, υπομονή και πίστη στις δυνατότητές μου. Επιπλέον, επιθυμώ να αναγνωρίσω τη συμβολή του αδελφού μου και των φίλων μου που παρείχαν βασική ενθάρρυνση και ηθική υποστήριξη κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να αναγνωρίσω τους πολλούς ερευνητές των προηγούμενων έργων των οποίων οι πρωτοπόρες συνεισφορές άνοιξαν το δρόμο για την έρευνά μου. Χωρίς τις καινοτόμες αυτές συνεισφορές, αυτή η εργασία δεν θα ήταν δυνατή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το χαρτί έπαιξε πρωταγωνιστικό ρόλο στην εξέλιξη της εύκαμπτης συσκευασίας ενώ η βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας του σηματοδότησε τη διεύρυνση της χρήσης του. Λόγω σημαντικών προβλημάτων, όπως η διαπερατότητά του σε αέρια και υγρασία, το χαρτί αντικαταστάθηκε από άλλα υλικά. Η χρήση της αναγεννημένης κυτταρίνης (cellorhane) άνοιξε τον δρόμο στη διάφανη εύκαμπτη συσκευασία και κυριάρχησε για δεκαετίες στην αγορά μέχρι την εμφάνιση των πετροχημικών πλαστικών μεμβρανών (φιλμ) κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Οι εξαιρετικές φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες των πλαστικών φιλμ τα κατέστησαν μία από τις βασικές επιλογές του βιομηχανικού σχεδιασμού των συσκευασιών και συνέβαλαν στην μεγάλη και ταχύτατη ανάπτυξη της εύκαμπτης συσκευασίας. Κατά το πέρασμα στον 21^ο αιώνα η τάση για πρακτικές προστασίας του περιβάλλοντος και οι ανησυχίες σχετικά με την υγεία των καταναλωτών επηρέασαν την βιομηχανία της εύκαμπτης συσκευασίας και την ώθησαν να αναζητήσει εναλλακτικά βιώσιμα υλικά σε μια προσπάθεια αντικατάστασης των συμβατικών υλικών που προέρχονταν από μη ανανεώσιμες πηγές. Καθώς στις μέρες μας η βιωσιμότητα αποτελεί βασικό μέλημα της βιομηχανίας της εύκαμπτης συσκευασίας, στην εργασία αναδεικνύονται οι σύγχρονες προσεγγίσεις για εμπορικά εφαρμόσιμα προϊόντα και λύσεις, όπως τα βιο-βασισζόμενα, τα βιο-διασπώμενα και τα ανακυκλώσιμα υλικά, που μπορούν να είναι αποτελεσματικά για προϊόντα συμβατικής και ευφυούς συσκευασίας.

Λέξεις-Κλειδιά: εύκαμπτη συσκευασία, βιο-βασισζόμενα υλικά, βιο-διασπώμενα υλικά, ανακυκλώσιμα πλαστικά, βιωσιμότητα

ABSTRACT

Paper as a material had a strategic role for the development of flexible packaging, while the improvement of its production process assisted the expansion of its use. Due to significant problems, such as its permeability to gases and moisture, the paper was replaced by other materials. The use of regenerated cellulose (cellophane) paved the way for transparent flexible packaging and dominated the market for decades until the advent of petrochemical plastic films during the 20th century. The excellent physical, chemical, and mechanical properties of plastic films made them one of the main choices of industrial packaging design and contributed to the large and rapid development of flexible packaging. At the beginning of the 21st century, trends towards environmentally friendly practices and consumer health concerns influenced the flexible packaging industry and encouraged research on alternative sustainable materials. This resulted in an ongoing effort to replace conventional materials that were derived from nonrenewable sources. Sustainability is nowadays a key concern of the flexible packaging industry, this paper highlights modern approaches for commercially applicable products and solutions, such as bio-based, biodegradable, and recyclable materials, which can be applied to conventional and intelligent packaging as well.

Keywords: flexible packaging, bio-based materials, bio-degradable materials, recyclable materials, sustainability

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	11
1.1	Ιστορική αναδρομή	12
1.2	Ερευνητικά Ερωτήματα και Στόχος της Διατριβής	16
2	Χαρακτηριστικά της εύκαμπτης συσκευασίας.....	19
2.1	Τρόφιμα και Ποτά.....	19
2.2	Καθαριστικά Προϊόντα.....	20
2.3	Προσωπική Φροντίδα/Καλλυντικά-Φάρμακα	21
2.4	Κατασκευές και βιομηχανικές εφαρμογές.....	22
2.5	Ηλεκτρονικό εμπόριο (e- Commerce).....	23
3	Κατηγορίες συσκευασιών	24
3.1	Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).....	25
3.2	Πολυαιθυλένιο (PE)	25
3.3	Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET)	26
3.4	Πολυπροπυλένιο (PP).....	26
4	Διαδικασίες παραγωγής φιλμ.....	27
4.1	Φυσητό φιλμ (Blown Film)	27
4.2	Χυτό φιλμ (Cast film).....	28
4.3	Συνεξώθηση (Co-extrusion) – BOPP - BOPET	29

4.4	Φιλμ καλάνδρας.....	30
5	Διεθνείς τάσεις στην συσκευασία	32
6	Βιώσιμες λύσεις.....	36
6.1	Πολυμερή βιολογικής βάσης / Bio-based.....	38
6.2	Βιοδιασπώμενα πολυμερή / Biodegradable.....	40
6.3	Μεταβιομηχανικά και μετακαταναλωτικά ανακυκλωμένα υλικά	42
6.4	Εναλλακτική προσέγγιση - χαρτί.....	44
7	Τεχνικές ανακύκλωσης πλαστικών	45
7.1	Μηχανική ανακύκλωση.....	46
7.1.1	Στάδια μηχανικής ανακύκλωσης	47
7.2	Χημική ανακύκλωση.....	48
7.2.1	Μετατροπή των πλαστικών αποβλήτων σε πρώτες ύλες	51
7.2.2	Αποπολυμερισμός – διάσπαση πλαστικών σε βασικά δομικά στοιχεία	53
7.2.3	Διάλυση ή φυσική ανακύκλωση - Ανακύκλωση με διαλύτες	54
7.2.4	Οργανική ανακύκλωση	55
7.3	Τεχνικές για την αφαίρεση μελανιού από τυπωμένο πλαστικό φιλμ.....	57
7.4	Συμπεράσματα σχετικά με την ανακύκλωση πλαστικών	60
8	Τεχνικές ανακύκλωσης χαρτιού.....	63
8.1	Απομελάνωση και ανακύκλωση χαρτιού	66
8.2	Διαχωρισμός με επίπλευση.....	67
8.3	Συμπεράσματα σχετικά με την ανακύκλωση του χαρτιού	69

9	Τεχνικές ανακύκλωσης αλουμινίου.....	71
9.1	Ανακύκλωση συσκευασιών με φιλμ αλουμινίου.....	72
10	Επαφή ανακυκλωμένων υλικών συσκευασίας με τρόφιμα	75
10.1	Ανακυκλωμένο Πλαστικό - Συσκευασία Τροφίμων.....	75
10.2	Σύμβολα ανακύκλωσης πλαστικού στην Ε.Ε.	76
10.3	Ανακυκλωμένο Χαρτί - Συσκευασία Τροφίμων.....	78
11	Συμπεράσματα.....	81
	Δημοσιεύσεις	83
	Συμμετοχές σε συνέδρια.....	83
	Αναφορές.....	84

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 Εύκαμπτη συσκευασία για τρόφιμα και ποτά.....	20
Εικόνα 2 Εύκαμπτη συσκευασία για καθαριστικά προϊόντα	21
Εικόνα 3 Εύκαμπτη συσκευασία για προϊόντα προσωπικής φροντίδας	22
Εικόνα 4 Εύκαμπτη συσκευασία για κατασκευές και βιομηχανικές εφαρμογές.....	23
Εικόνα 5 Εύκαμπτη συσκευασία για κατασκευές και βιομηχανικές εφαρμογές.....	24
Εικόνα 6. Μηχανή παραγωγής blown film.....	28
Εικόνα 7. Μηχανή παραγωγής cast film	29
Εικόνα 8. Μηχανή παραγωγής διαξονικού προσανατολισμένου φιλμ	30
Εικόνα 9. Μηχανή παραγωγής calendar film	31
Εικόνα 10. Η εξέλιξη της συσκευασίας γάλακτος.....	35
Εικόνα 11. Διάγραμμα βιοπλαστικών υλικών	38
Εικόνα 12. Ανακυκλωμένοι κόκκοι πλαστικού με μηχανική τεχνολογία	48
Εικόνα 13. Διαδικασία χημικής ανακύκλωσης πλαστικών	50
Εικόνα 14. Διάγραμμα τεχνολογιών χημικής ανακύκλωσης.....	51
Εικόνα 15. Διαδικασία μετατροπής	52
Εικόνα 16. Διαδικασία αποπολυμερισμού	53
Εικόνα 17. Διαδικασία διάλυσης ή φυσικής ανακύκλωσης	55
Εικόνα 18. Στάδια αφαίρεσης μελανιών από πλαστικά φιλμ	60
Εικόνα 19. Απομελάνωση και ανακύκλωση χαρτιού	67
Εικόνα 20. Διαδικασία έκπλυσης και επίπλυσης ανακυκλωμένου χαρτιού	68
Εικόνα 21. Η πράσινη κουκκίδα	76
Εικόνα 22. Mobius loop	77
Εικόνα 23. Mobius loop με αριθμό	77

Εικόνα 24. Ανακυκλωμένο Χαρτί - Συσκευασία Τροφίμων 79

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Σύγκριση Μηχανικής και Χημικής ανακύκλωσης 56

Πίνακας 2. Τύποι πλαστικών που χρησιμοποιούνται συνήθως για ανακύκλωση 78

Συντομογραφίες

OTR: Oxygen Transmission Rate

WVTR: Water Vapor Transmission Rate

PIR: Post Industrial Recycled

PCR: Post Consumer Recycled

PET: Polyethylene Terephthalate

PA/PE: Polyamide / Polyethylene

ICI: Imperial Chemical Industries

TD: Transverse Direction

MD: Machine Direction

DIP: De-Ink Pulp

FCMs: Food Contact Materials

NIAS: Non-Intentional Added Substances

1. Εισαγωγή

Η εύκαμπτη συσκευασία είναι ένα είδος συσκευασίας που κατασκευάζεται από λεπτές μεμβράνες υλικών, όπως χαρτί, πλαστικό, αλουμίνιο. Είναι ένα από τα πιο δημοφιλή είδη συσκευασίας στον κόσμο, καθώς χρησιμοποιείται για μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων, από τρόφιμα και ποτά έως καλλυντικά και φάρμακα. Η ιστορία της εύκαμπτης συσκευασίας ξεκινά από την αρχαιότητα, όταν οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν φυσικά υλικά, όπως φύλλα, καλάμια και δέρμα, για να συσκευάζουν τα προϊόντα τους. Ωστόσο, η σύγχρονη εύκαμπτη συσκευασία αναπτύχθηκε στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα, με την εφεύρεση νέων υλικών και μεθόδων παραγωγής. Η εύκαμπτη συσκευασία προσφέρει μια σειρά πλεονεκτημάτων σε σχέση με άλλα είδη συσκευασίας. Έχει μειωμένο βάρος και είναι εύκολα διαμορφώσιμη, γεγονός που διευκολύνει τη μεταφορά και την αποθήκευση των προϊόντων. Μπορεί επίσης να είναι αδιάβροχη και αεροστεγής, γεγονός που προστατεύει τα προϊόντα από την υγρασία, τη σκόνη και τη φθορά. Επιπλέον, η εύκαμπτη συσκευασία μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της ασφάλειας των τροφίμων, καθώς μπορεί να αποτρέψει την επιμόλυνση των προϊόντων από βακτήρια και άλλους ρύπους. Επίσης, διαθέτει μια σειρά πλεονεκτημάτων τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους παραγωγούς και αναμένεται να συνεχίσει να αναπτύσσεται τα επόμενα χρόνια. Για παράδειγμα, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της σπατάλης τροφίμων, καθώς τα προϊόντα μπορούν να συσκευαστούν και να αποθηκευτούν πιο αποτελεσματικά. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά την καθιστούν πιο ελκυστική στους καταναλωτές και επομένως, μπορεί να συμβάλει στην αύξηση των πωλήσεων των προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, η εύκαμπτη συσκευασία έχει αποδειχτεί ένα σημαντικό εργαλείο για την βιομηχανία των τροφίμων και ποτών. Η αυξανόμενη ζήτηση για τρόφιμα και ποτά, καθώς και για καλλυντικά και φάρμακα, αναμένεται να οδηγήσει σε περαιτέρω αύξηση της ζήτησης της εύκαμπτης συσκευασίας. Η παραγωγή της εύκαμπτης συσκευασίας αναμένεται να συνεχίσει την ανάπτυξή της τα επόμενα χρόνια, ιδιαίτερα εάν αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τα αδύνατα σημεία της, όπως το γεγονός ότι κάποιες φορές είναι πιο ακριβή από άλλα είδη συσκευασίας και ότι είναι πιο δύσκολο να ανακυκλωθεί όταν κατασκευάζεται από συνδυασμό διαφορετικών υλικών (PA/PE) (de Mello Soares et al., 2022; Sanchez-Rivera et al., 2023).

Επομένως, φαίνεται ότι στις μέρες μας, η βιομηχανία της εύκαμπτης συσκευασίας αντιμετωπίζει μια σειρά προκλήσεων. Η κυριότερη αφορά την αύξηση της ζήτησης για βιώσιμα προϊόντα, γεγονός που έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων, ανακυκλώσιμων και βιοδιασπώμενων υλικών για εφαρμογές στην εύκαμπτη συσκευασία (Meritaine da Rocha et al., 2018; Ahmad Qamar et al., 2020; Chisenga et al., 2020).

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία της συσκευασίας αποτελεί ένα συναρπαστικό ταξίδι μέσα στο χρόνο, ξεκινώντας από την αρχαιότητα και φτάνοντας μέχρι τις σύγχρονες καινοτομίες. Στην ανάλυση που ακολουθεί, θα εξεταστεί πώς η εξέλιξη της συσκευασίας έχει επηρεάσει την ασφάλεια και την προστασία των προϊόντων, τις καταναλωτικές συνήθειες και τον τρόπο ζωής των ανθρώπων.

Αρχαίοι χρόνοι: Η πρακτική της συσκευασίας χρονολογείται από τους αρχαίους χρόνους, όπου οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν φυσικά υλικά, όπως φύλλα φυτών, κοχύλια, ξύλο και δέρματα για να συσκευάσουν τρόφιμα και άλλα αντικείμενα. Σε αυτήν την πρώιμη περίοδο, η συσκευασία δεν ήταν ένας καθοριστικός παράγοντας για το εμπόριο, καθώς τα εμπορεύματα καταναλώνονταν συνήθως αμέσως ή μεταφέρονταν σε κοντινές αποστάσεις από το σημείο παραγωγής. Με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη του εμπορίου, αναδείχθηκε η ανάγκη για πιο αποτελεσματική συσκευασία. Αυτή η εξέλιξη σηματοδότησε τη μετάβαση από την απλή διατήρηση σε φύλλα και κοχύλια προς τη χρήση δοχείων που κατασκευάζονταν επίσης από φυσικά υλικά, αποτελώντας έναν πρώιμο τύπο συσκευασίας (Ρούπα & Χεκίμογλου, 2018).

Μεσαίωνας και Αναγέννηση: Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα, οι ταξιδιώτες και οι ναυτικοί βασίζονταν σε διάφορα είδη συσκευασίας για τη μεταφορά εμπορευμάτων και τροφίμων σε απομακρυσμένα μέρη. Κάθε περιοχή είχε τις δικές της παραδόσεις και τεχνικές συσκευασίας, ενισχύοντας την ανάπτυξη διαφορετικών μορφών και υλικών ανάλογα με τις κλιματολογικές και γεωγραφικές συνθήκες κάθε περιοχής. Κατά την περίοδο της Αναγέννησης, η τέχνη της συσκευασίας αποτέλεσε αντικείμενο ενδιαφέροντος και φιλοδοξίας για τους καλλιτέχνες. Από εκείνη τη στιγμή, η

συσκευασία έπαψε να αποτελεί απλώς πρακτική ανάγκη, αλλά άρχισε να λειτουργεί και ως ένα μέσο επικοινωνίας και προβολής των αγαθών. Καλλιτέχνες και χειροτέχνες άρχισαν να αναπτύσσουν νέες τεχνικές και σχεδιαστικές προσεγγίσεις για τη συσκευασία προϊόντων, ενθαρρύνοντας την εμφάνιση διαφορετικών στυλ και διακοσμητικών στοιχείων. Η προσοχή στη λεπτομέρεια και η χρήση υψηλής ποιότητας υλικών κατέστησαν τη συσκευασία μια εκδήλωση τέχνης και πολυτέλειας, παράλληλα με τη λειτουργικότητά της (Ρούπα & Χεκίμογλου, 2018).

Βιομηχανική Επανάσταση: Η εμπορική συσκευασία εισήχθη για πρώτη φορά στην Αγγλία από τον Δρ. Robert James το 1746, ο οποίος συσκεύασε τη "Σκόνη Πυρετού" (Fever-Powder) σε ένα κουτί για το λιανεμπόριο (Rennert-Ariev, 2009). Ο Yardley στο Λονδίνο συσκεύασε το διάσημο νερό λεβάντας σε γυάλινες φιάλες, ενώ οι Crosse και Blackwell τοποθέτησαν το λάδι ελιάς και την μουστάρδα επίσης σε γυάλινα βάζα (Rennert-Ariev, 2009). Η μέθοδος συσκευασίας για τη διατήρηση των τροφίμων ξεκίνησε στο τέλος του 16ου αιώνα. Το 1795, όταν ξεκίνησε ο Γαλλικός Πόλεμος, δημιουργήθηκε η επείγουσα ανάγκη για διατήρηση των τροφίμων για τους στρατιώτες που πολεμούσαν, οπότε τα τρόφιμα έπρεπε να τοποθετηθούν σε κονσέρβες. Ο Napoleon Bonaparte, αντιλαμβανόμενος την κρισιμότητα της κατάστασης, προσέφερε ανταμοιβή σε όποιον μπορούσε να παράσχει λύσεις σε αυτές τις απαιτήσεις. Το 1809, ο Nicholas Appert εφηύρε τη διαδικασία της κονσερβοποίησης, χρησιμοποιώντας ένα αεροστεγές γυάλινο βάζο. Μέσω αυτής της καινοτομίας, εισήγαγε την ιδέα της κονσερβοποίησης των τροφίμων, η οποία στη συνέχεια εξελίχθηκε στις κονσέρβες που γνωρίζουμε σήμερα (Hook & Heimlinch, 2007). Οι πρώιμες αναφορές σχετικά με την κατασκευή της σύγχρονης συσκευασίας χρονολογούνται το 1844, όταν η παραγωγή χαρτιού εισήχθη στην Ευρώπη. Ακολούθως, εισήχθησαν το γυαλί, το μέταλλο, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν επίσης ευρέως στη συσκευασία. Τρόφιμα, όπως το βούτυρο και το τυρί αποθηκεύονταν σε καλάθια, το ξύδι σε βαρέλια και το τσάι σε κιβώτια, ενώ τα σιτηρά συσκευάζονταν σε σάκους κατά τη διάρκεια της βικτωριανής εποχής (Hook & Heimlinch, 2007). Η επανάσταση της βιομηχανίας στον 19ο αιώνα αποτέλεσε σημαντικό ορόσημο για τη συσκευασία. Οι εξελίξεις στην παραγωγή υλικών για την κατασκευή συσκευασιών, όπως τα χαρτοκιβώτια, διευκόλυναν την αποθήκευση και την μεταφορά αγαθών. Παράλληλα, η βιομηχανία συσκευασίας αξιοποίησε την ανάπτυξη των βιομηχανικών μεθόδων εκτύπωσης (Britannica, 2011) για την

πραγματοποίηση έγχρωμων εκτυπώσεων και μαζική εκτύπωση ετικετών και συσκευασιών, κάνοντας τα προϊόντα πιο προσιτά στους καταναλωτές. Το γεγονός αυτό ενίσχυσε τη σημασία της συσκευασίας, της επωνυμίας και των ετικετών (Herdeg, 1977).

Ανάπτυξη πλαστικών συσκευασιών: Τα πλαστικά άνοιξαν νέους ορίζοντες στη βιομηχανία συσκευασίας. Τα πρώτα πλαστικά υλικά δημιουργήθηκαν στα τέλη του 19ου αιώνα, αλλά η μαζική παραγωγή τους ξεκίνησε κατά τη διάρκεια του δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου. Η κατασκευή πλαστικών δοχείων συσκευασίας προσέφερε μεγαλύτερη ευελιξία, ανθεκτικότητα και αποτελεσματικότητα στη συσκευασία των προϊόντων. Ένα από τα πρώτα πλαστικά δοχεία του εμπορίου που εμφανίστηκε στην αγορά το 1946 ήταν για ένα αποσμητικό. Δεκαετίες αργότερα, το 1977, εμφανίστηκε το PET (τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο) και γρήγορα έγινε το πρότυπο υλικό για τις πλαστικές φιάλες, καθώς ήταν ανθεκτικό, μη τοξικό και 100% ανακυκλώσιμο (Digimarc, 2022).

Ανακύκλωση και Βιώσιμη Συσκευασία: Στις δεκαετίες που ακολούθησαν, οι ανησυχίες για το περιβάλλον οδήγησαν στο να δοθεί έμφαση στην παραγωγή βιώσιμων συσκευασιών. Αναπτύχθηκαν νέα υλικά, όπως οι βιοδιασπώμενες πλαστικές συσκευασίες και η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών αυξήθηκε δραστικά. Η τεχνολογία συνέβαλε επίσης στην ανάπτυξη "έξυπνων" συσκευασιών, που μπορούν να παρακολουθούν την ποιότητα των προϊόντων και να επιλύουν προβλήματα της υγιεινής και ασφαλούς χρήσης αυτών (Taghavi et al., 2021).

Εξελίξεις στις ψηφιακές τεχνολογίες: Σήμερα, η τεχνολογία συνεχίζει να αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί ο άνθρωπος να αλληλοεπιδρά με τα προϊόντα και τις συσκευασίες. Η ψηφιακή εκτύπωση και η επισήμανση συμβάλει στην παραγωγή και την αποτελεσματικότητα της συσκευασίας. Η ψηφιακή εκτύπωση συσκευασιών βελτιώνει την παραγωγικότητα με τη δυνατότητα άμεσης προσαρμογής σχεδίων και παραγωγής μικρών ποσοτήτων, ενώ η ψηφιακή επισήμανση επιτρέπει την ενσωμάτωση πληροφοριών και τη δημιουργία προσαρμοσμένων ετικετών για διαφορετικές ανάγκες (Richards, 2023). Επιπλέον, νέες τεχνολογίες, όπως το RFID (Radio Frequency Identification) και οι QR κωδικοί μπορούν να ενσωματωθούν σε

συσκευασίες για να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα και την προέλευσή τους (Zuo et al., 2022).

Μέλλον της Συσκευασίας: Στο μέλλον, η συσκευασία αναμένεται να εξελιχθεί περαιτέρω με την χρήση προηγμένων υλικών και τεχνολογιών. Η ανάπτυξη "έξυπνων" συσκευασιών αναμένεται να ενταθεί στο άμεσο μέλλον. Με αυτό τον τρόπο μια συσκευασία θα μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την κατάσταση, όπως τη θερμοκρασία, και την ποιότητα των προϊόντων που περιέχει. Η συνεχής έρευνα για την ανάπτυξη βιώσιμων υλικών και νέων μεθόδων ανακύκλωσης αναμένεται να συμβάλει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της συσκευασίας στο περιβάλλον (Taghavi, et al., 2021).

Είναι γνωστό ότι τα υλικά συσκευασίας επιλέγονται κυρίως με γνώμονα την προστασία των τροφίμων, την ευκολία χρήσης, την ασφάλεια των καταναλωτών και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Rooney, 2011). Ωστόσο, η παγκόσμια τάση για αύξηση της βιομηχανικής επεξεργασίας τροφίμων, της ζήτησης των τροφίμων και μάλιστα της ζήτησης για γρήγορα, έτοιμα γεύματα, ωθούν τη βιομηχανία συσκευασίας τροφίμων και ποτών να αναζητήσει νέες, πιο προηγμένες λύσεις συσκευασίας. Οι εξελίξεις στη συσκευασία κατά τον 20ό αιώνα, όπως οι συσκευασίες που αποτελούν φραγμό για το οξυγόνο, αναδεικνύουν νέες δυνατότητες για την επέκταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων και την προστασία των τροφίμων από περιβαλλοντικές επιδράσεις. Νέα συστήματα συσκευασίας αναπτύσσονται που είναι γνωστά ως ενεργές συσκευασίες (Mahalik, 2009). Άλλοι παράγοντες που προβάλλουν τις νέες λειτουργίες της συσκευασίας τροφίμων περιλαμβάνουν την ιχνηλασιμότητα, την παροχή πληροφοριών σχετικά με την διάρκεια ζωής των τροφίμων στο ράφι, καθώς και τη βιωσιμότητα της συσκευασίας (Kotler & Armstrong, 2010). Γενικά, η υιοθέτηση των έξυπνων συσκευασιών μπορεί να βοηθήσει στην επέκταση της διάρκειας ζωής ενός προϊόντος, την παροχή πληροφοριών, την ασφάλεια και την βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος.

Συνοψίζοντας, η ιστορία της συσκευασίας είναι μια συναρπαστική αναδρομή στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι έχουν αναπτύξει και εξελίξει μεθόδους για να προστατεύσουν τα αγαθά τους και να βελτιώσουν τον τρόπο ζωής τους. Από τα φύλλα των φυτών και τα δέρματα που χρησιμοποίησαν στη διάρκεια των αρχαίων χρόνων έως

τις ψηφιακές και βιώσιμες συσκευασίες του μέλλοντος, η συσκευασία εξακολουθεί να εξελίσσεται για να ανταποκριθεί στις ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας.

1.2 Ερευνητικά Ερωτήματα και Στόχος της Διατριβής

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να μελετήσει τα υλικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην βιομηχανία της συσκευασίας, τον ρόλο των συνθετικών πολυμερών, καθώς και τη βιωσιμότητα της εύκαμπτης συσκευασίας. Για να παρέχει επαρκείς πληροφορίες σε όλους τους αναγνώστες, αυτή η εργασία περιλαμβάνει την ιστορία της συσκευασίας, τα υλικά που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα, τις επισημάνσεις προϊόντων και τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται, καθώς και μια εισαγωγή στις πτυχές της βιωσιμότητας που επηρεάζουν τη σημερινή αγορά συσκευασίας. Η τεχνολογία και τα νέα υλικά στην βιομηχανία συσκευασίας ευνοούν την εισαγωγή νέων συσκευασιών που διαθέτουν ανανεώσιμες, ανακυκλώσιμες και επαναχρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες. Στη συνέχεια αναλύονται τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας:

RQ1. Ποιες είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διασπώμενων (degradable), βιοδιασπώμενων (biodegradable) και κομποστοποιήσιμων (compostable) υλικών και ποιοι συγκεκριμένοι παράγοντες συμβάλλουν στις ξεχωριστές διαδικασίες αποδόμησής τους σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες;

RQ2. Ποιες είναι οι βασικές προκλήσεις και ευκαιρίες που συνδέονται με την ανάπτυξη και την εμπορευματοποίηση πολυμερών βιολογικής βάσης, ιδιαίτερα σε εφαρμογές εύκαμπτης συσκευασίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα πρώτων υλών, η αποδοτικότητα της παραγωγής και η βιωσιμότητα;

RQ3. Στο πλαίσιο των ανακυκλωμένων υλικών σε PCR (Post Consumer Recycle) και PIR (Post Industrial Recycle) για εύκαμπτες συσκευασίες, ποια είναι τα κρίσιμα ζητήματα που αφορούν τη σύνθεση και την καταλληλότητα του υλικού για διάφορες εφαρμογές, ειδικά στη βιομηχανία συσκευασίας τροφίμων;

Ερευνητικός στόχος για την ερώτηση 1:

Ο πρωταρχικός στόχος για την αντιμετώπιση του πρώτου ερευνητικού ερωτήματος είναι η πλήρης κατανόηση των διακριτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των διαδικασιών αποδόμησης των διασπώμενων (degradable), βιοδιασπώμενων (biodegradable) και κομποστοποιήσιμων (compostable) υλικών. Αυτό περιλαμβάνει τη διεξαγωγή λεπτομερούς ανάλυσης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και των ερευνητικών αποτελεσμάτων για τον εντοπισμό των ειδικών παραγόντων που επηρεάζουν τη διάσπαση αυτών των υλικών κάτω από διάφορες συνθήκες, όπως η έκθεση στο ηλιακό φως, η θερμοκρασία, η υγρασία και η παρουσία μικροοργανισμών. Επιπλέον, ο στόχος είναι να διερευνηθεί η πιθανή παραμονή θραυσμάτων από τα υλικά αυτά στο περιβάλλον και οι επιπτώσεις της διαδικασίας υποβάθμισης κάθε υλικού στη βιωσιμότητα μακροπρόθεσμα. Με την επίτευξη αυτού του στόχου, αναμένεται να παραχθούν πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την απόδοση αυτών των υλικών σε σενάρια πραγματικού κόσμου, που θα συμβάλουν στην τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων για την επιλογή και τη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων συσκευασίας.

Ερευνητικός στόχος για την ερώτηση 2:

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα επικεντρώνεται στις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που σχετίζονται με την ανάπτυξη και την εμπορευματοποίηση πολυμερών βιολογικής βάσης, ειδικά στο πλαίσιο της εύκαμπτης συσκευασίας. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να εντοπιστούν τα βασικά εμπόδια για την ευρεία υιοθέτηση υλικών βιολογικής βάσης, συμπεριλαμβανομένων εκείνων των ζητημάτων που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα πρώτων υλών, την αποδοτικότητα της παραγωγής και τη συνολική περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η έρευνα στοχεύει να παρέχει πληροφορίες για τις διαφορές μεταξύ βιο-βασισμένων και παραδοσιακών πολυμερών, τονίζοντας τα πιθανά οφέλη των ανανεώσιμων πηγών πόρων. Παράλληλα θα εξεταστούν ανησυχίες όπως η χρήση γης, η κατανάλωση νερού και πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με την παραγωγή τροφίμων. Τελικά, η επίτευξη αυτού του στόχου θα συμβάλει στη διαμόρφωση στρατηγικών για την υπέρβαση των προκλήσεων και τη μεγιστοποίηση του θετικού περιβαλλοντικού αντίκτυπου των πολυμερών βιολογικής βάσης στη βιομηχανία εύκαμπτης συσκευασίας.

Ερευνητικός στόχος για την ερώτηση 3:

Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα επικεντρώνεται στα PCR (Post Consumer Recycled) και PIR (Post Industrial Recycled) ανακυκλωμένα υλικά για εύκαμπτες συσκευασίες. Ο πρωταρχικός στόχος είναι η διερεύνηση της σύνθεσης και της καταλληλότητας των ανακυκλωμένων υλικών, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της συσκευασίας τροφίμων. Η έρευνα στοχεύει να αξιολογήσει τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη συλλογή και την επεξεργασία πλαστικών μετά την κατανάλωση, λαμβάνοντας υπόψη την ποικιλία των πολυμερών. Επιπλέον, στόχος είναι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών ανακύκλωσης, ειδικά όσον αφορά την καταλληλότητα της ανακυκλωμένης ρητίνης για εφαρμογές συσκευασίας σε επαφή με τρόφιμα. Με την επίτευξη αυτού του στόχου, είναι εφικτό να δημιουργηθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τη βελτίωση της συλλογής, επεξεργασίας και χρήσης ανακυκλωμένων υλικών PCR (Post Consumer Recycled) και PIR (Post Industrial Recycled), συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας.

Συμπερασματικά, τα τρία ερευνητικά ερωτήματα που περιγράφονται παραπάνω συμβάλλουν στην ολιστική κατανόηση των βιώσιμων λύσεων στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας. Με την ανάλυση αυτών των ερευνητικών στόχων ερευνώνται κρίσιμες πτυχές που σχετίζονται με τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, την εμπορική βιωσιμότητα και την αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης διαφόρων υλικών, καθένα από τα οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαρκή αναζήτηση για πιο φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές.

Οι ερευνητικοί στόχοι είναι εστιασμένοι προς ένα μέλλον όπου οι εφαρμογές εύκαμπτης συσκευασίας δεν θα είναι μόνο λειτουργικές και εμπορικά βιώσιμες, αλλά και ευθυγραμμισμένες με τις αρχές της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της κυκλικής οικονομίας. Αυτή η πολύπλευρη προσέγγιση είναι ζωτικής σημασίας για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης για νέα υλικά συσκευασίας, ενώ ταυτόχρονα μετριάζονται οι οικολογικές συνέπειες που σχετίζονται με τα συμβατικά πλαστικά.

2 Χαρακτηριστικά της εύκαμπτης συσκευασίας

Η εύκαμπτη συσκευασία αναφέρεται σε μια κατηγορία συσκευασιών που προσαρμόζονται εύκολα σε διάφορα σχήματα και μεγέθη προϊόντων. Συνήθως, αυτές οι συσκευασίες χρησιμοποιούν υλικά όπως πλαστικό φιλμ, ή άλλα εύκαμπτα υλικά που επιτρέπουν την εύκολη διαμόρφωση. Οι ιδιότητες αυτών των συσκευασιών προσφέρουν πλεονεκτήματα, όπως ελαχιστοποίηση του χώρου αποθήκευσης και ευκολία στη μεταφορά. Επιπλέον, μπορούν να μειώσουν το συνολικό βάρος του πακέτου και του προϊόντος κατά περίπου 70%, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του κόστους μεταφοράς και της ενεργειακής κατανάλωσης (Niaounakis, 2019).

Η εύκαμπτη συσκευασία προσφέρει επίσης τη δυνατότητα για καινοτόμες σχεδιαστικές λύσεις, επιτρέποντας τη δημιουργία πρωτότυπων και ελκυστικών συσκευασιών για τους καταναλωτές. Τέλος, η εύκαμπτη συσκευασία συνδυάζει την προστασία του περιεχομένου με οικολογικά χαρακτηριστικά, καθώς ορισμένες δομές είναι κατασκευασμένες από ανακυκλώσιμα υλικά, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Lindner, 2023).

Η εύκαμπτη συσκευασία χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως των τροφίμων, των φαρμάκων και της ηλεκτρονικής βιομηχανίας και πιο συγκεκριμένα σε βιομηχανίες, όπως οι εξής:

2.1 Τρόφιμα και Ποτά

Τα τρόφιμα και τα ποτά αποτελούν τα μεγαλύτερα τμήματα της αγοράς και των εφαρμογών της εύκαμπτης συσκευασίας. Η εύκαμπτη συσκευασία τροφίμων περιλαμβάνει συνήθως πολυστρωματικά υλικά, όπως φύλλα αλουμινίου και πολυολεφίνες, όπως πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, ή άλλα πολυμερή (Twede et al., 2009; Adigun, 2016; Lindner, 2023). Στην Εικόνα 1 διακρίνονται εφαρμογές εύκαμπτης συσκευασίας για τρόφιμα και ποτά.



Εικόνα 1. Εύκαμπτες συσκευασίες για τρόφιμα και ποτά

(Πηγή: proampac.com)

2.2 Καθαριστικά Προϊόντα

Τα σαπούνια και τα απορρυπαντικά διατίθενται σε ποικίλες μορφές συσκευασίας. Συνήθη παραδείγματα αποτελούν η χάρτινη συσκευασία για σαπούνια, οι πλαστικές σακούλες για υγρό απορρυπαντικό, τα σακουλάκια για υγρό σαπούνι, οι πλαστικές σακούλες για σαπούνι σε μορφή σκόνης, οι πλαστικές σακούλες για κάψουλες πλυντηρίων, και οι συσκευασίες για χημικά καθαρισμού (Twede et al., 2009; Adigun, 2016; Lindner, 2023). Στην Εικόνα 2 διακρίνονται εφαρμογές εύκαμπτης συσκευασίας για καθαριστικά προϊόντα.



Εικόνα 2. Εύκαμπτες συσκευασίες για καθαριστικά προϊόντα

(Πηγή: huhtamaki.com)

2.3 Προσωπική Φροντίδα/Καλλυντικά-Φάρμακα

Ένας σημαντικός τομέας κατανάλωσης και χρήσης της εύκαμπτης συσκευασίας είναι οι φαρμακευτικές βιομηχανίες και οι βιομηχανίες κατασκευής ιατρικών αναλωσίμων. Η εύκαμπτη συσκευασία από πλαστικό χρησιμοποιείται για την προστασία διαφόρων φαρμακευτικών προϊόντων, όπως ταμπλέτες, χάπια, κάψουλες, και σκόνες. Οι συνηθέστερες μορφές εύκαμπτης συσκευασίας για φαρμακευτική χρήση περιλαμβάνουν blister, pillow σακουλάκια, pouches και doy-packs. Η εύκαμπτη συσκευασία από πλαστικό διατηρεί τα προϊόντα καλλυντικών και προσωπικής φροντίδας και τα κρατά ασφαλή από εξωτερικούς παράγοντες, παρατείνοντας τον χρόνο ζωής τους. Μερικά παραδείγματα συσκευασίας προσωπικής φροντίδας είναι οι σακούλες lay flat για σαμπουάν και conditioner, τα σακουλάκια και pouches για μωρομάντηλα, ή τα doy-packs για αναπλήρωση υγρού σαπουνιού, τα shrink sleeves για καθαριστικά, κρέμες και λοσιόν, και οι ετικέτες roll-fed (Twede et al., 2009; Adigun, 2016; Lindner, 2023). Στην Εικόνα 3 διακρίνονται εφαρμογές εύκαμπτης συσκευασίας για προϊόντα προσωπικής φροντίδας.



Εικόνα 3. Εύκαμπτες συσκευασίες για προϊόντα προσωπικής φροντίδας

(Πηγή: huhtamaki.com)

2.4 Κατασκευές και βιομηχανικές εφαρμογές

Τα προϊόντα και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική συσκευασία, πρέπει να εξασφαλίζουν αξιοπιστία κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση των διαφόρων προϊόντων που περιέχουν. Συνήθως, για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται stretch films, για να τυλίξουν αγαθά και προϊόντα διαφόρων τύπων που τοποθετούνται σε παλέτες. Το φιλμ καλύπτει εν μέρει τα προϊόντα και επίσης εφαρμόζεται στην ίδια την παλέτα για να στερεώσει τα τεμάχια που την απαρτίζουν. Τα stretch films, συνήθως είναι κατασκευασμένα από LDPE (Twede et al., 2009; Adigun, 2016; Lindner, 2023). Στην Εικόνα 4 διακρίνονται εφαρμογές εύκαμπτης συσκευασίας για κατασκευαστικές και βιομηχανικές εφαρμογές.



Εικόνα 4. Εύκαμπτη συσκευασία για κατασκευές και βιομηχανικές εφαρμογές

(Πηγή: Innova group)

2.5 Ηλεκτρονικό εμπόριο (e- Commerce)

Η εύκαμπτη πλαστική συσκευασία παίζει σημαντικό ρόλο στο ηλεκτρονικό εμπόριο (e-commerce), καθώς μπορεί να μειώσει τα κόστη αποστολής και να επιτρέψει την τοποθέτηση και μεταφορά περισσότερων αντικειμένων στα μεταφορικά μέσα σε σύγκριση με τα κυματοειδή κουτιά από χαρτόνι. Για παράδειγμα, τα τελευταία χρόνια, η Amazon έχει μειώσει το ποσοστό των αποστολών που συσκευάζει σε κυματοειδή κουτιά από χαρτόνι, καθώς χρησιμοποιεί πλαστικούς φακέλους αλληλογραφίας. Αυτή η αλλαγή στη στρατηγική συσκευασίας επιτρέπει στην εταιρεία λιανικού εμπορίου να αξιοποιήσει αποδοτικότερα τον χώρο φόρτωσης σε φορτηγά και αεροπλάνα, επιτρέποντας τη μεταφορά μεγαλύτερου αριθμού πακέτων. Άλλο παράδειγμα αποτελούν οι φάκελοι ταχυμεταφορών (courier), που κατασκευάζονται από πολυστρωματική μεμβράνη, η οποία παράγεται με τη διαδικασία της συνεξώθησης / coextrusion (Twede et al., 2009; Adigun, 2016; Lindner, 2023). Στην Εικόνα 5 διακρίνονται εφαρμογές εύκαμπτης συσκευασίας για εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου.



Εικόνα 5. Εύκαμπτη συσκευασία για κατασκευές και βιομηχανικές εφαρμογές

(Πηγή: Muraplast)

3 Κατηγορίες συσκευασιών


Οι συσκευασίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με κριτήριο την ευκαμψία του υλικού και του πλήθους υλικών που χρησιμοποιούνται. Στην κατηγορία των εύκαμπτων (flexible) συσκευασιών, το υλικό είναι απαραίτητως εύκαμπτο και δεν έχει συγκεκριμένο σχήμα, και περιλαμβάνει πλαστικά σακουλάκια για διάφορα προϊόντα όπως πατατάκια, και τσάντες μεταφοράς αγαθών. Οι ημί-σκληρες (semi-rigid) συσκευασίες, περιλαμβάνουν εφαρμογές, όπως τα κουτιά από χαρτόνι και συσκευασίες θερμοδιαμόρφωσης. Οι άκαμπτες-σκληρές (rigid) συσκευασίες, όπως οι μεταλλικές κονσέρβες, διατηρούν σταθερό το σχήμα τους. Πολλά πολυμερή βρίσκουν εφαρμογές στη βιομηχανία εύκαμπτων συσκευασιών, με το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και το τереφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) να είναι τα πιο διαδεδομένα (Özkan, 2023). Τα πολυμερή φιλμ (μεμβράνες) μπορούν να περιγραφούν ως λεπτά και αδιαπέραστα υλικά με χαρακτηριστικό πάχος έως 200 μm . Τα πλαστικά υλικά με πάχος περισσότερο από αυτό μπορούν να

περιγραφούν ως φύλλα. Για την κατασκευή πολυμερών μεμβρανών χρησιμοποιούνται διάφορες ρητίνες, που με βάση τις δικές τους μοναδικές φυσικές ιδιότητες μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες διαφόρων εφαρμογών. Αυτές οι μεμβράνες μπορούν να παρέχουν φραγμό σε οξυγόνο/υγρασία, ακαμψία και να διαθέτουν ιδιότητες θερμικής σφράγισης (Tajeddin & Arabkhedri, 2020). Ανάλογα με τις ρητίνες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μιας πολυμερικής μεμβράνης, η τελική μεμβράνη μπορεί να είναι διαφανής, ημιδιαφανής, ματ, χρωματισμένη, μεταλλοποιημένη, και η επιφάνειά της μπορεί να είναι λεία ή τραχιά. Οι πολυμερικές μεμβράνες κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους παραγωγής, όπως φιλμ εξώθησης (film extrusion), συνεξώθησης (coextrusion), χυτό φιλμ (cast film), φυσητό φιλμ, (blown film extrusion), και καλάνδρα (calendar) (Drobny, 2020).

3.1 Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Το PVC κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Friedrich Klatte το 1913. Η ευρεία χρήση του στη συσκευασία ξεκίνησε μετά το 1926. Είναι γνωστό για τις άριστες ιδιότητες πρόσφυσης, τις ιδιότητες φραγμού και τις ικανότητες θερμικής σφράγισης. Το PVC είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην συσκευασία κρέατος και στις καραμέλες. Παράγεται σε φιλμ και σε φύλλα για συσκευασίες blister με θερμοδιαμόρφωση. Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες έχουν μειώσει την κατανάλωση του PVC και οι μελλοντικές προοπτικές ανάπτυξής του είναι περιορισμένες (Mieth, 2016; Morris, 2017; Özkan, 2023).

3.2 Πολυαιθυλένιο (PE)

Ο E.W. Fawcett και ο R.O. Gibson της Βρετανικής εταιρείας Imperial Chemical Industries  (ICI) ανακάλυψαν το PE το 1933. Αργότερα το υλικό αυτό εξελίχθηκε σε νέους τύπους, όπως πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE) και γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LLDPE). Το PE χρησιμοποιείται στις εύκαμπτες συσκευασίες επειδή μπορεί να προσαρμοστεί γύρω από προϊόντα με μη κανονικά σχήματα. Επιπλέον, έχει καλή αντοχή στη διάτρηση και παρέχει αποτελεσματικό φραγμό στην υγρασία. Το PE είναι

το κυρίαρχο υλικό για την κατασκευή πλαστικής μεμβράνης για εύκαμπτες συσκευασίες, και παρουσιάζει ρυθμό ανάπτυξης περίπου 1,5% ετησίως στην Ευρώπη (Mieth, 2016; Morris, 2017; Özkan, 2023).

3.3 Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET)

Το PET ανακαλύφθηκε το 1941 όταν οι Rex Whinfield και James Dickson συνέχισαν την έρευνα του Wallace Carothers στο Calico Printer's Association στο Μάντσεστερ της Αγγλίας. Το PET διαθέτει εξαιρετικές ιδιότητες, όπως αντοχή στην υψηλή θερμοκρασία, διαύγεια και αποτελεί φραγμό έναντι του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα. Το PET βρίσκει ευρείες εφαρμογές σε πολλούς τομείς της εύκαμπτης συσκευασίας, όπως συσκευασίες ιατρικών ειδών και σακουλάκια για διάφορα είδη τροφίμων. Η παρουσία του σε αυτές τις εφαρμογές έχει συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη της εύκαμπτης συσκευασίας (Mieth, 2016; Morris, 2017; Özkan, 2023).

3.4 Πολυπροπυλένιο (PP)

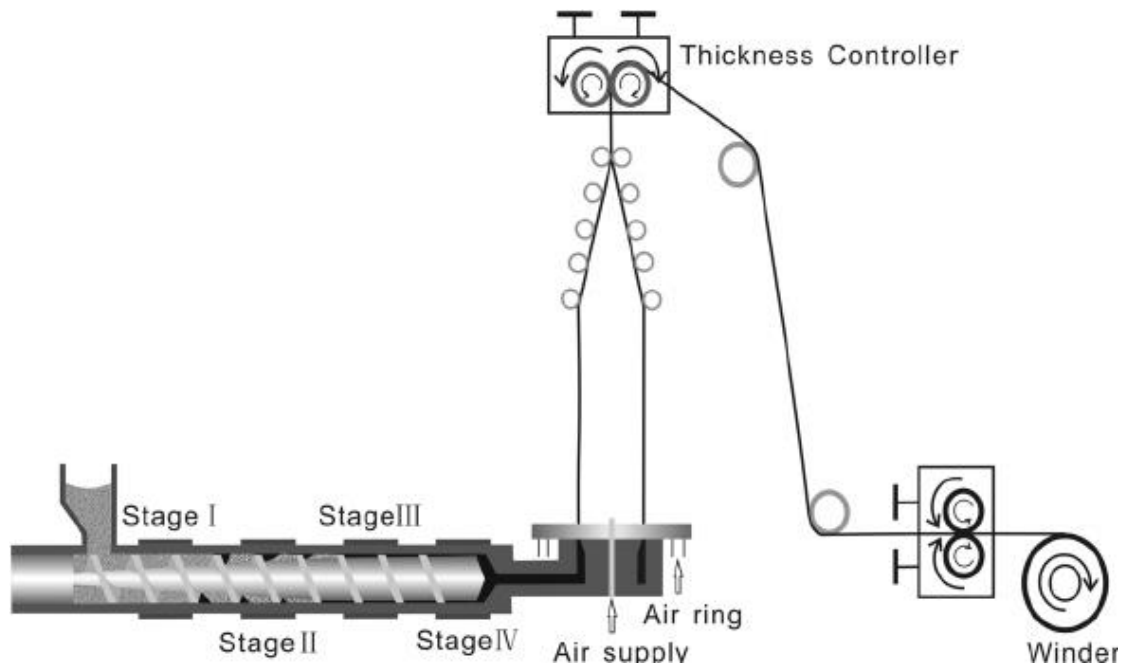
Η ανακάλυψη του πολυπροπυλενίου (PP) έλαβε χώρα κατά τη δεκαετία του 1950 από τους Paul Hogan και Robert Banks που εργάζονταν για την εταιρία Phillips Petroleum. Το πολυπροπυλένιο χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε συσκευασίες που απαιτούν φραγμό στην υγρασία, καθώς και σε συσκευασίες ιατρικών προϊόντων. Διαθέτει ιδιαίτερα χρήσιμα χαρακτηριστικά, όπως υψηλή χημική αντοχή και χαμηλή διαπερατότητα στην υγρασία (Mieth, 2016; Morris, 2017; Özkan, 2023).

4 Διαδικασίες παραγωγής φιλμ

Όπως υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι υλικών για φιλμ, υπάρχουν αντίστοιχα και διάφορες διαδικασίες και τεχνολογίες παραγωγής αυτών των φιλμ. Κάθε μία από αυτές τις διαδικασίες και τεχνολογίες παραγωγής παρουσιάζει μοναδικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, για τα οποία απαιτείται προσεκτική ανάλυση για να κατανοηθεί η αποτελεσματικότητά τους στην τελική συσκευασία. Με τη χρήση συγκεκριμένου τύπου ρητίνης, προσθέτων και διαδικασιών επεξεργασίας, επιτυγχάνεται η παραγωγή ενός μοναδικού τελικού φιλμ με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

4.1 Φυσητό φιλμ (Blown Film)

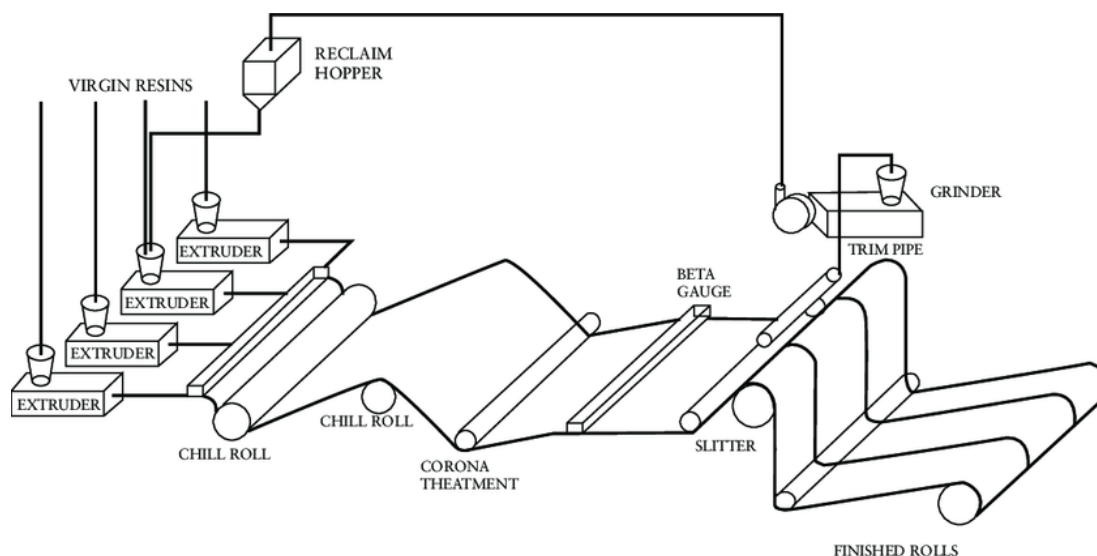
Η κατασκευή φυσητού φιλμ περιλαμβάνει τη χρήση αέρα για να οδηγήσει το τηγμένο πολυμερές μέσω μιας κυκλικής μήτρας στην βάση του εξωθητή (extruder). Στη συνέχεια, το πλαστικό σχηματίζει έναν συνεχή σωλήνα, ο οποίος διογκώνεται σε σχήμα κυλίνδρου και κόβεται στο επιθυμητό μήκος, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μια μεμβράνη διπλού πάχους. Το φυσητό φιλμ είναι μία από τις δύο κύριες διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή προϊόντων φιλμ. Είναι αποτελεσματικό, χρειάζεται μικρή ποσότητα πολυμερούς για την παραγωγή του και χρησιμοποιείται σε μεγάλη ποικιλία εφαρμογών (Fatahi et al., 2007). Η Εικόνα 6 παρουσιάζει το τρόπο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής για blown film.



Εικόνα 6. Μηχανή παραγωγής blown film

4.2 Χυτό φιλμ (Cast film)

Το χυτό φιλμ (cast film) κατασκευάζεται με εξώθηση του τηγμένου πολυμερούς μέσω μιας επίπεδης μήτρας ή σχισμής - σχηματίζοντας ένα λεπτό φύλλο ή φιλμ. Μετά την εξώθηση, εφαρμόζεται στην επιφάνεια ενός ψυχρού περιστρεφόμενου κυλίνδρου, έτσι ώστε να ψυχθεί εξαιρετικά γρήγορα. Η ποιότητα της επιφάνειας του περιστρεφόμενου κυλίνδρου αποτελεί το κλειδί για τη δημιουργία της χαρακτηριστικής λείας και καθαρής όψης του χυτού φιλμ. Το χυτό φιλμ μπορεί να παραχθεί σε γραμμές παραγωγής με πολύ υψηλές ταχύτητες. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία παραγωγής φιλμ συνεπάγεται με μεγαλύτερη κατανάλωση πρώτων υλών για να επιτευχθεί το επιθυμητό πάχος και ποιότητα σε σύγκριση με τη διαξονικά προσανατολισμένη συνεξώθηση. Επίσης παρουσιάζει μικρότερο προσανατολισμό στην εγκάρσια κατεύθυνση (TD) (Tabatabaei & Ajji, 2011). Η Εικόνα 7 παρουσιάζει το τρόπο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής για χυτό φιλμ.

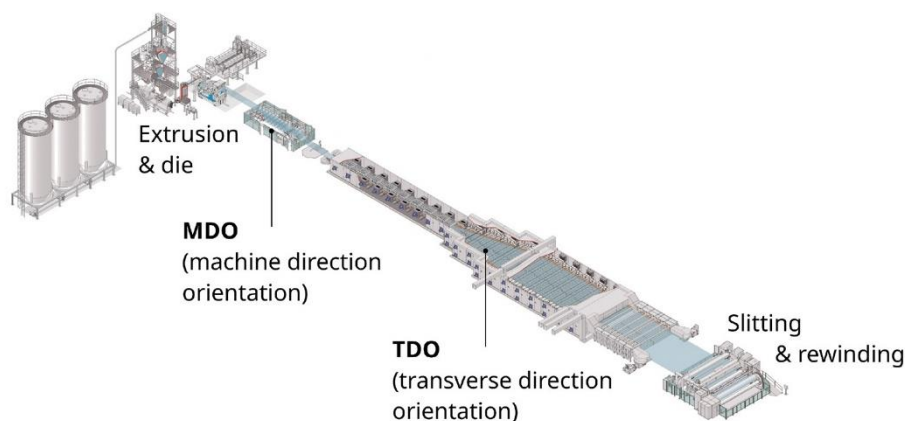


Εικόνα 7. Μηχανή παραγωγής cast film

4.3 Συνεξώθηση (Co-extrusion) – BOPP - BOPET

Η συσκευασία με ιδιότητες φραγμού δεν θα ήταν αυτό που είναι σήμερα αν δεν είχε ανακαλυφθεί η πολυστρωματική δομή - multilayer structure (MLS). Πριν από την ανάπτυξη της τεχνολογίας συνεξώθησης, παράγονταν πολυστρωματικές μεμβράνες με πλαστικοποίηση λεπτών πλαστικών στρωμάτων. Ενώ η συγκεκριμένη διαδικασία πλαστικοποίησης ήταν λειτουργική, διαπιστώθηκε ότι ήταν αργή και όχι πολύ αποτελεσματική. Αντίθετα, η διαδικασία της συνεξώθησης περιλαμβάνει το συνδυασμό δύο ή περισσότερων στρωμάτων τηγμένου πλαστικού σε ένα ενιαίο εξωθημένο ιστό. Η συνεξώθηση παρέχει τη μοναδική ευκαιρία να συνδυαστούν οι επιθυμητές ιδιότητες διαφόρων πολυμερών για να σχηματιστεί τελικά ένα υλικό που διαφορετικά θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μόνο ένα πολυμερές. Η συνεξώθηση μπορεί να υλοποιηθεί με μηχανές για διαξονικά προσανατολισμένο φιλμ, δηλαδή για την παραγωγή μεμβρανών με βελτιωμένες ιδιότητες μέσω μιας ιδιαίτερης διαδικασίας. Η διαδικασία αυτή γνωστή ως διαξονικός προσανατολισμός, περιλαμβάνει το τέντωμα της μεμβράνης τόσο στην κατεύθυνση της μηχανής (MD) όσο και στην εγκάρσια κατεύθυνση (TD), προσδίδοντας ανώτερα μηχανικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες φραγμού στο φιλμ. Η συσκευασία φραγμού εισήγαγε

πρόσθετα οφέλη και από τότε πρωτοστάτησε στον κόσμο της εύκαμπτης συσκευασίας. Οι μεμβράνες MLS - multilayer structure, ήταν ο καταλύτης για πολλές καινοτομίες που ακολούθησαν (Diez et al., 2005). Η Εικόνα 8 παρουσιάζει το τρόπο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής για διαξονικά προσανατολισμένο φιλμ.

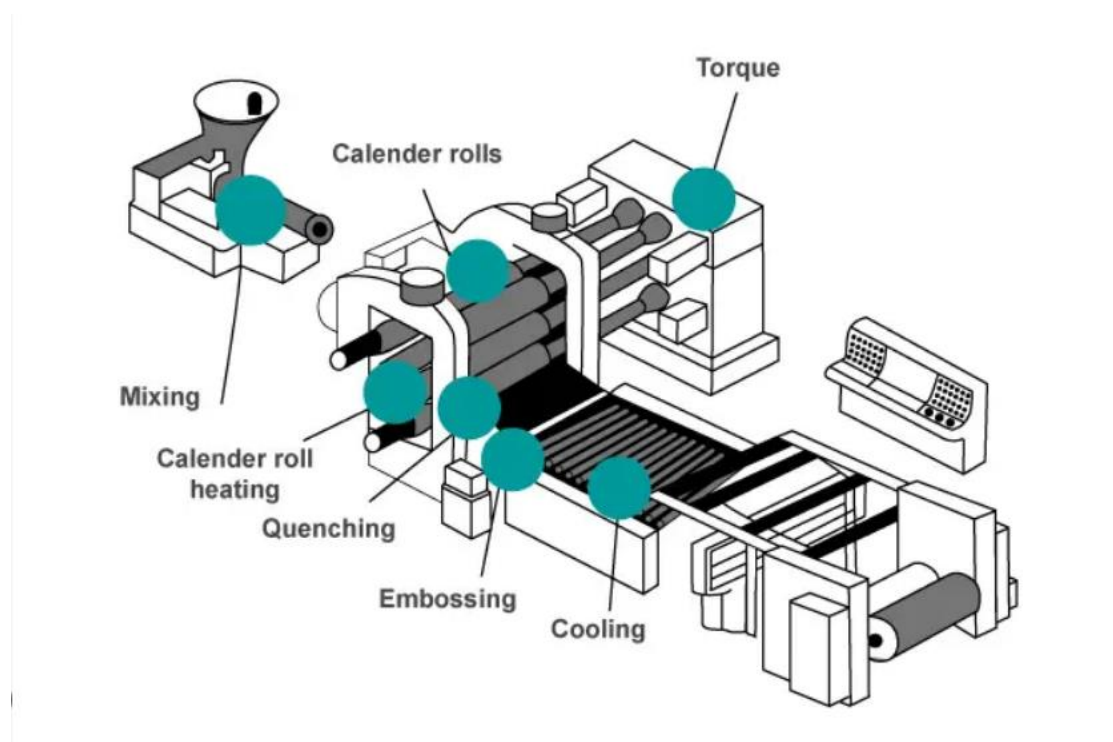


Εικόνα 8. Μηχανή παραγωγής διαξονικού προσανατολισμένου φιλμ

4.4 Φιλμ καλάνδρας

Το καλανδράρισμα (calendering) είναι μια εξειδικευμένη διαδικασία για πλαστικές μεμβράνες και φύλλα μεγάλου όγκου και υψηλής ποιότητας, που χρησιμοποιούνται κυρίως για PVC και PET, καθώς και για ορισμένα άλλα τροποποιημένα θερμοπλαστικά. Το τηγμένο πολυμερές υπόκειται σε θερμότητα και πίεση σε έναν εξωθητή και διαμορφώνεται σε φύλλο ή φιλμ με κυλίνδρους (καλάνδρα / calender). Η θερμοκρασία και η ταχύτητα των κυλίνδρων επηρεάζουν τις ιδιότητες του φιλμ. Το καλανδράρισμα επιτρέπει ειδικές επιφανειακές επεξεργασίες της μεμβράνης ή του φύλλου, όπως ανάγλυφη υφή ή ενίσχυση των φυσικών ιδιοτήτων ή πλαστικοποίηση σε σειρά. Στη διαδικασία καλανδραρίσματος, τα πολυμερή τήκονται πρώτα στον περιέκτη ενός εξωθητήρα. Αυτό συμβαίνει κάτω από ελεγχόμενες πιέσεις και θερμοκρασίες για να αποτραπεί η υποβάθμιση του θερμοπλαστικού, ένα πρόβλημα που μπορεί να

επηρεάσει τόσο την εμφάνιση όσο και τις φυσικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Το τηγμένο θερμοπλαστικό στη συνέχεια εξωθείται από μια σειρά από εξαιρετικά λείους μεταλλικούς κυλίνδρους, που έχουν ένα κενό μεταξύ τους το οποίο καθορίζει το τελικό πάχος της μεμβράνης. Καθώς το πολυμερές περνά ανάμεσα από τους κυλίνδρους ψύχεται σταδιακά. Ταυτόχρονα, με την άσκηση πίεσης το υλικό απλώνει ομοιόμορφα για να σχηματίσει μια συνεχή λεπτή μεμβράνη υψηλής ποιότητας με ομοιόμορφο πλάτος, πάχος και επιφάνεια (Järvelä, 1999; Leistritz Extrusionstechnik, 2021). Η Εικόνα 9 παρουσιάζει το τρόπο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής του φιλμ καλάνδρας.



Εικόνα 9. Μηχανή παραγωγής calendar film

Συνεπώς, από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι οι συσκευασίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει του πλήθους των υλικών που χρησιμοποιούνται. Υπάρχουν συσκευασίες που αποτελούνται από ένα μόνο υλικό, ενώ άλλες χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερα υλικά. Η επιλογή των υλικών εξαρτάται από το επιθυμητό αποτέλεσμα, με διαθέσιμες επιλογές όπως το χαρτί, το αλουμίνιο και πλαστικές μεμβράνες για

εύκαμπτες συσκευασίες. Η επιλογή τους προσαρμόζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του τελικού προϊόντος και τις ανάγκες της αγοράς.

5 Διεθνείς τάσεις στην συσκευασία

Η παγκόσμια αγορά πλαστικής συσκευασίας έφτασε τα 330 δισεκατομμύρια δολάρια σε πωλήσεις το 2019, ενώ για το 2025 αναμένεται να φτάσει τα 405 δισεκατομμύρια δολάρια (Market reports world, 2023). Για να κατανοηθεί πλήρως η οικονομική σημασία της συσκευασίας, πρέπει να ληφθούν υπόψη όχι μόνο οι τρέχουσες πωλήσεις, αλλά και οι συνολικές επιπτώσεις στην οικονομία, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας θέσεων εργασίας, των εγκαταστάσεων κατασκευής και συντήρησης, της αγοράς μηχανημάτων και εξοπλισμού, καθώς και διάφορων επιχειρήσεων που σχετίζονται με τον τομέα της συσκευασίας. Η συσκευασία αναμένεται να συνεισφέρει πάνω από 1 τρισεκατομμύριο δολάρια το 2024 σε παγκόσμια οικονομία (Lindner, 2023).

Η κατανόηση των κινήτρων και των τάσεων στη βιομηχανία περιλαμβάνει τη ανάλυση των κινητήριων δυνάμεων και των τάσεων. Οι κινητήριες δυνάμεις αντιπροσωπεύουν τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν σε μακροπρόθεσμες αλλαγές, ενώ οι τάσεις υποδεικνύουν τη γενική κατεύθυνση της αλλαγής. Παρόλο που η πρόβλεψη του μέλλοντος παραμένει αβέβαιη, η εμβάθυνση στις προοπτικές και τις γνώσεις σχετικά με τα κίνητρα και τις τάσεις επιτρέπει την πρόβλεψη της μελλοντικής πορείας του τομέα της συσκευασίας. Η παρακάτω ανασκόπηση αναφέρεται στα κίνητρα και τις τάσεις που αναμένεται να επηρεάσουν τη συσκευασία τα επόμενα χρόνια.

Υπάρχει μια διασύνδεση των ροών που έχουν αφετηρία τα κοινωνικά κίνητρα, που οδηγούν σε μεγάλες τάσεις και επηρεάζουν ευρύτερα την κοινωνία. Οι τάσεις αυτές, αντίστοιχα, διαμορφώνουν τις τάσεις των καταναλωτών και οδηγούν τελικά σε συγκεκριμένες επιπτώσεις στον τομέα της συσκευασίας. Στη σύγχρονη αγορά, οι καταναλωτές και οι πελάτες της βιομηχανίας συσκευασίας δεν αγοράζουν πλέον απλά προϊόντα και συσκευασίες, αλλά αντίθετα αναζητούν καινούργιες εμπειρίες και λύσεις. Αυτά τα στοιχεία αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στην αλυσίδα αξίας της

συσκευασίας, καθώς η ύπαρξη της συσκευασίας σχετίζεται άμεσα και συνδέεται με τις αγορές προϊόντων από τους καταναλωτές (Dillon, 2024).

Πολλές φορές, οι συνήθειες των καταναλωτών επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τον χώρο της συσκευασίας. Συγκεκριμένα, περίπου τα δύο τρίτα της αγοράς συσκευασίας αφορούν τρόφιμα και ποτά, με το εύκαμπτο υλικό να καταλαμβάνει το 90% σε αυτόν τον τομέα (Bukowski & Richmond, 2018). Με τη συνεχιζόμενη αύξηση του πληθυσμού σε αναδύμενες και αναπτυσσόμενες αγορές, και ταυτόχρονα με την ανάπτυξη της εύκαμπτης συσκευασίας να ξεπερνά την ανάπτυξη άλλων ειδών συσκευασίας, τα εύκαμπτα υλικά γίνονται περισσότερο διαδομένα και δημοφιλή (Niu et al., 2018; Volpak, 2020; Guzman-Puyol et al., 2022). Αυτή η αλλαγή αναδεικνύει τόσο ευκαιρίες για οφέλη, όσο και πιθανές συνέπειες για τον κλάδο της συσκευασίας.

Οι αλλαγές στις προτιμήσεις των καταναλωτών ασκούν σημαντική επίδραση στον χώρο της συσκευασίας. Χωρίς την ύπαρξη απαραίτητων και αναγνωρίσιμων χαρακτηριστικών στα προϊόντα, όπως η γεύση και η οσμή, που μπορούν να αναδειχτούν από τη συσκευασία, οι καταναλωτές είναι διστακτικοί να προβούν σε επαναλαμβανόμενες αγορές. Συνεπώς, η συσκευασία καλείται να υποστηρίξει και να ενισχύσει αυτά τα χαρακτηριστικά (Veflen et al., 2023). Επιπλέον, η ευκολία στη χρήση αποκτά κεντρική σημασία, καθώς η σχεδίαση της συσκευασίας πρέπει να διευκολύνει το χρήστη, προσαρμόζοντας τις λειτουργίες της στις προτιμήσεις των καταναλωτών (Becker et al., 2011; Fromm, 2017).

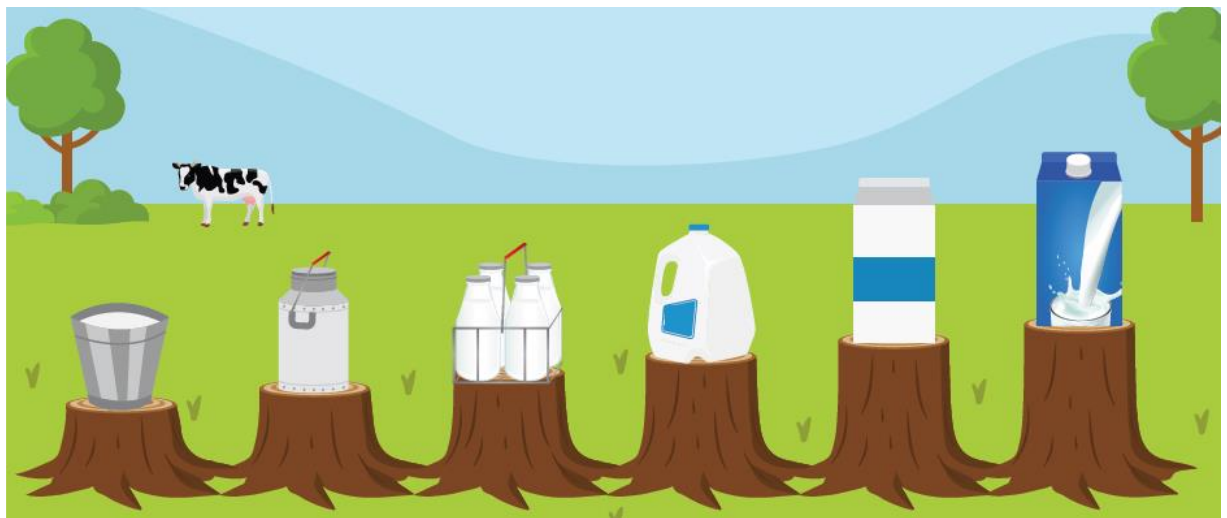
Στον τομέα των τροφίμων, η συσκευασία αναλαμβάνει τον ρόλο του να επικοινωνεί σαφείς πληροφορίες σχετικά με τα θρεπτικά συστατικά, το κόστος και να προσφέρει ποικιλία επιλογών στους καταναλωτές. Συνολικά, η συσκευασία διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στη διαμόρφωση θετικών εμπειριών, καθώς και στην ανάδειξη υψηλής αξίας εμπορικής ταυτότητας, ιδιαίτερα για εκείνους που αναζητούν προϊόντα πολυτελείας. Επιπρόσθετα, η συσκευασία αναδεικνύεται ως ένα σημαντικό μέσο για την ασφάλεια του προϊόντος, διατηρώντας το εμπορικό σήμα και παρέχοντας αίσθηση εμπιστοσύνης στον καταναλωτή (Butcher et al., 2019).

Στο δυναμικό πεδίο του λιανικού εμπορίου, αναμένονται πολλές σημαντικές αλλαγές και προκλήσεις, με δύο ιδιαίτερα επίκαιρες τάσεις να ξεχωρίζουν, που είναι η άνοδος του ηλεκτρονικού εμπορίου και η δυναμική παρουσία ιδιωτικών εταιρικών ετικετών. Αυτές οι δύο τάσεις από μόνες τους φέρνουν στο προσκήνιο μια σειρά από προκλήσεις και ευκαιρίες. Οι ιδιωτικές ετικέτες συνεχίζουν να αναπτύσσονται, ειδικά σε τομείς όπου η έμφαση στη βελτιωμένη συσκευασία υπερβαίνει αυτήν των καθιερωμένων επωνυμιών. Παράλληλα, η έκρηξη στον τομέα του ηλεκτρονικού εμπορίου δημιουργεί την ανάγκη για νέες προσεγγίσεις στη συσκευασία στον παραδοσιακό λιανικό τομέα, προκειμένου να τον ανταγωνιστεί για την κατάκτηση του μεριδίου αγοράς. Η συσκευασία παρέχει διάφορες λύσεις σε διάφορα στάδια της αλυσίδας αξίας, από τη διασφάλιση της εύκολης χρήσης και της ασφάλειας κατά τη διανομή των προϊόντων έως τη βελτιστοποίηση του κόστους και της αποδοτικότητας μέσω του βάρους και των διαστάσεων της συσκευασίας (Gielens et al., 2021). Διευκρινίζεται ότι η αλυσίδα αξίας είναι η διαδικασία ή οι δραστηριότητες με τις οποίες μια εταιρεία προσθέτει αξία σε ένα αντικείμενο, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, του μάρκετινγκ και της παροχής υπηρεσιών μετά την πώληση (University of Cambridge, 2023).

Καθίσταται σαφές ότι ο τομέας της συσκευασίας θα αντιμετωπίσει μια σειρά από προκλήσεις και ευκαιρίες τις επόμενες δεκαετίες. Η αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης, οι αλλαγές στις προτιμήσεις των καταναλωτών και οι τεχνολογικές εξελίξεις διαμορφώνουν ένα περιβάλλον που απαιτεί συνεχείς καινοτομίες και προσαρμογές. Η ευαισθησία σε θέματα περιβάλλοντος, η ανάγκη για βελτιωμένη εμπειρία των καταναλωτών και η αναδυόμενη συμμετοχή του ηλεκτρονικού εμπορίου παρέχουν προοπτικές και προκλήσεις για τον τομέα της συσκευασίας. Σε αυτές τις συνθήκες είναι απαραίτητος ο προσανατολισμός σε βιώσιμες πρακτικές και ταυτόχρονα καινοτόμες λύσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας του τομέα. Με τη σωστή προσέγγιση, μπορεί να διασφαλιστεί όχι μόνο η επιτυχία της βιομηχανίας συσκευασίας, αλλά και η προστασία του περιβάλλοντος, καθώς και η δημιουργία καινοτόμων λύσεων που θα ανταποκρίνονται στις αναγκαίες αλλαγές του μέλλοντος.

Κάθε προϊόν έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις για συσκευασία, επομένως, ορισμένα υλικά συσκευασίας παρουσιάζουν υψηλότερο επίπεδο απόδοσης από άλλα σε σχέση με την ικανότητά τους να διατηρούν την επιθυμητή κατάσταση των προϊόντων.

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους ορισμένοι τύποι συσκευασίας παρέχουν ενισχυμένη προστασία, όπως ο φραγμός έναντι του οξυγόνου, της ακτινοβολίας ή της υγρασίας. Για παράδειγμα, η προηγμένη απόδοση μιας συσκευασίας γάλακτος μπορεί να αναδειχθεί όταν αυτή μπορεί να προσφέρει φραγμό στην ακτινοβολία, επεκτείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής του γάλακτος και προστατεύοντάς το από την επίδραση του ηλιακού φωτός. Επιπλέον, διατίθενται συσκευασίες που διατηρούν τη θερμοκρασιακή σταθερότητα του προϊόντος με κατάλληλα υλικά, όπως το λαμιναρισμένο χαρτόνι που αποτελεί μια προηγμένη μορφή συσκευασίας γάλακτος σε σύγκριση με το διαφανές γυάλινο μπουκάλι (Digimarc, 2022). Στην Εικόνα 10 διακρίνεται η εξέλιξη της συσκευασίας του γάλακτος.



Εικόνα 10. Η εξέλιξη της συσκευασίας γάλακτος

(Πηγή: Digimarc, 2022)

6 Βιώσιμες λύσεις

Για την αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων των συνηθισμένων πλαστικών, πολλές ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί σε υλικά φιλικά προς το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των βιοβασισμένων και βιοδιασπώμενων πλαστικών. Η ευαισθητοποίηση σχετικά με τις ανθρωπογενείς συνέπειες της διάθεσης μη-βιοδιασπώμενων πλαστικών στο περιβάλλον αποτελεί μια δημοφιλή τάση. Επιπλέον, η μείωση των ορυκτών πρώτων υλών αναμένεται να οδηγήσει αναπόφευκτα σε αξιοσημείωτο έλλειμμα ζήτησης και προσφοράς σε παραδοσιακά υλικά συσκευασίας με βάση τα ορυκτά. Τα δύο αυτά ζητήματα έχουν ενθαρρύνει την έρευνα προς την κατεύθυνση της αναζήτησης για βιώσιμες επιλογές, που θα μπορούν να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά πολυμερή (Shafqat et al., 2020). Ο όρος «αειφόρος ανάπτυξη» αναφέρεται σαν παράδειγμα ανάπτυξης, που λαμβάνει υπόψη το περιβάλλον, και που «ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες» (Cocklin & Moon, 2020). Έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις βιώσιμες λύσεις, κυρίως επειδή αυτά τα υλικά μπορούν να αποσυντεθούν σε απλά συστατικά από μικροοργανισμούς και ένζυμα, καθώς και το γεγονός ότι μπορούν να κατασκευαστούν από ανανεώσιμες πηγές (Muthusamy & Pramasivam, 2019). Βιοδιασπώμενα πλαστικά υλικά με σχεδόν πανομοιότυπες λειτουργίες με τα αντίστοιχα συμβατικά έχουν αναπτυχθεί ύστερα από μεγάλη προσπάθεια. Αυτή τη στιγμή, η φιλική προς το περιβάλλον συσκευασία με βάση το πλαστικό έχει αποδειχθεί αποδεκτή για εμπορική χρήση (Mangaraj, et al., 2019). Η ικανότητα εκτίμησης και πρόβλεψης της διάρκειας ζωής ενός προϊόντος εξαρτάται από τη γνώση των ιδιοτήτων φραγμού της συσκευασίας του. Δύο από τις πιο βασικές ιδιότητες, που αφορά ιδιαίτερα τις συσκευασίες τροφίμων, είναι η διαπερατότητα από το οξυγόνο (Oxygen Transmission Rate) και τους υδρατμούς (Water Vapor Transmission Rate). Τα παραδοσιακά πολυμερή μπορούν να αντικατασταθούν με βιοπολυμερή υπό τον όρο ότι ορισμένες απαιτούμενες ιδιότητες για μια δεδομένη εφαρμογή είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους (Maes, et al., 2018· Zabihzadeh, et al., 2020). Οι κύριες βιώσιμες λύσεις για την εύκαμπτη συσκευασία μπορούν να συνοψιστούν παρακάτω όπου αναφέρεται μια περιεκτική εξήγηση σχετικά με τη διάκριση των όρων «degradable», «biodegradable» και «compostable».

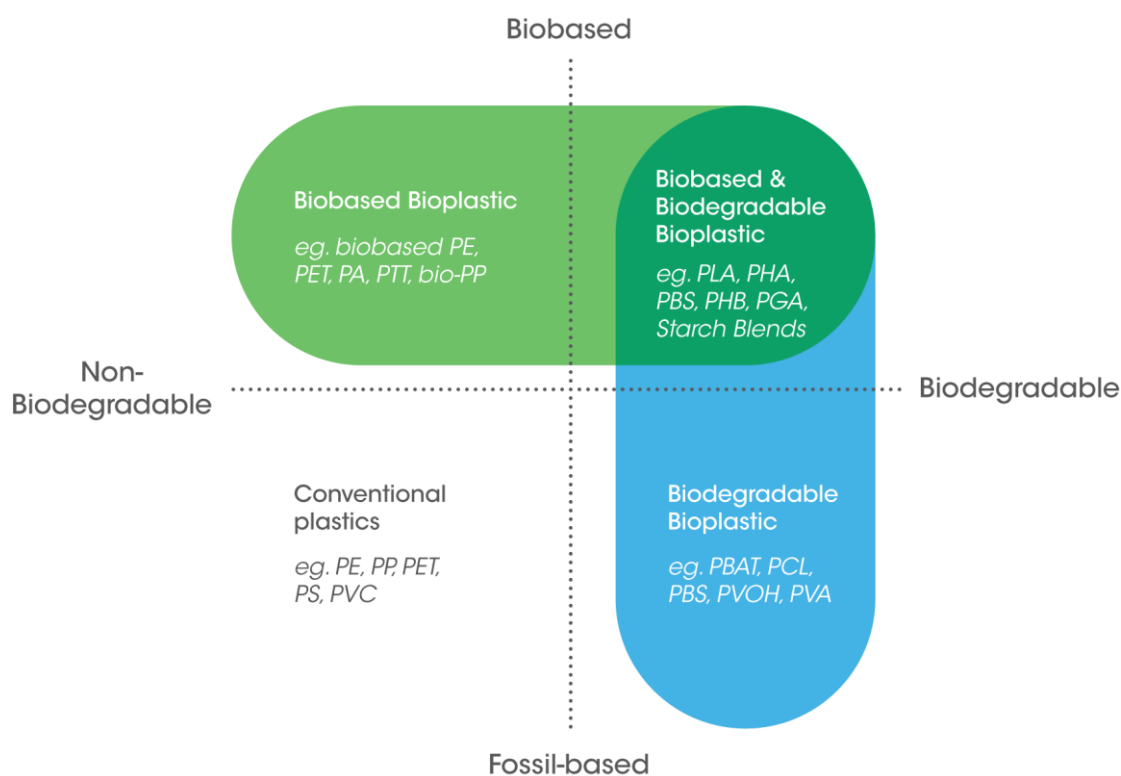
Degradable - Αποικοδομήσιμο: Αυτός ο όρος αναφέρεται σε ένα υλικό που μπορεί να διασπαστεί σε μικρότερα θραύσματα με την πάροδο του χρόνου μέσω φυσικών διεργασιών, όπως η έκθεση στο ηλιακό φως (ακτινοβολία UV), η θερμότητα, η υγρασία ή η μηχανική καταπόνηση. Ωστόσο, η διαδικασία διάσπασης των αποικοδομήσιμων υλικών μπορεί να μην περιλαμβάνει απαραίτητα μικροοργανισμούς και τα προκύπτοντα θραύσματα μπορεί να παραμείνουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα (Adamcová et al., 2017, Napper et al., 2019).

Biodegradable - Βιοαποικοδομήσιμο: Τα βιοαποδομήσιμα υλικά είναι ικανά να διασπαστούν σε απλούστερες ουσίες με τη δράση μικροοργανισμών (όπως βακτήρια, μύκητες ή ένζυμα) που υπάρχουν στο περιβάλλον. Αυτοί οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν το υλικό ως πηγή ενέργειας, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του υλικού σε φυσικά στοιχεία, όπως διοξείδιο του άνθρακα, νερό και βιομάζα. Τα βιοαποδομήσιμα υλικά μπορούν να αποσυντεθούν σχετικά πιο γρήγορα από τα μη βιοαποδομήσιμα, αλλά το συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, τα επίπεδα οξυγόνου και η φύση του ίδιου του υλικού (Adamcová et al., 2017, Napper et al., 2019).

Compostable - Κομποστοποιήσιμο: Τα κομποστοποιήσιμα υλικά είναι υποσύνολο βιοαποδομήσιμων υλικών αλλά με πρόσθετες προδιαγραφές. Ένα υλικό θεωρείται κομποστοποιήσιμο εάν όχι μόνο διασπάται σε απλούστερες ουσίες μέσω της δράσης μικροοργανισμών, αλλά επίσης μετατρέπεται σε λίπασμα, που πρόκειται για μια πλούσια σε θρεπτικά συστατικά τροποποίηση του εδάφους, η οποία μπορεί να υποστηρίξει την ανάπτυξη των φυτών. Η κομποστοποίηση είναι μια ελεγχόμενη διαδικασία που απαιτεί συγκεκριμένες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένου του σωστού μείγματος οργανικής ύλης, θερμοκρασίας, υγρασίας και οξυγόνου. Τα κομποστοποιήσιμα υλικά συνήθως αποικοδομούνται μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό πλαίσιο, χωρίς να αφήνουν πίσω τους ορατά ή τοξικά κατάλοιπα (Adamcová et al., 2017, Napper et al., 2019).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι όροι "Βιοαποικοδομήσιμο" και "Κομποστοποιήσιμο" χρησιμοποιούνται συχνά εναλλακτικά, αλλά τα κομποστοποιήσιμα υλικά πληρούν συγκεκριμένα και αυστηρότερα πρότυπα για την

αποικοδόμηση και αφήνουν πίσω τους ωφέλιμα τελικά προϊόντα. Επιπλέον, ο ρυθμός αποικοδόμησης και οι ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες που απαιτούνται για την αποσύνθεση μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των διαφορετικών υλικών. Επομένως είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη συγκεκριμένες πιστοποιήσεις και πρότυπα για να διασφαλιστούν οι ακριβείς προϋποθέσεις σχετικά με την ικανότητα αποικοδόμησης ή κομποστοποίησης ενός προϊόντος (Rujnić-Sokele & Pilipović, 2017; Ivonkovic et al., 2017, Ciriminna & Pagliaro, 2020). Στην Εικόνα 11 διακρίνεται η κατηγοριοποίηση των βιοπλαστικών υλικών.



Εικόνα 11. Διάγραμμα βιοπλαστικών υλικών

(Πηγή: European Bioplastics)

6.1 Πολυμερή βιολογικής βάσης / Bio-based

Τα πολυμερή βιολογικής βάσης προσομοιάζουν με τα πλαστικά με βάση το πετρέλαιο όσον αφορά τη δομή τους. Δεδομένου ότι αυτά τα πολυμερή έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα συμβατικά με βάση το πετρέλαιο, είναι εύκολο να τα αντικαταστήσουν (Filiciotto

& Rothenberg, 2020). Τα βιοπλαστικά συνήθως προέρχονται από ζαχαροκάλαμο, άμυλο ή καλαμπόκι και μπορεί να περιέχουν πολύ μικρές ποσότητες από πετρέλαιο ή λάδι (Ibrahim, 2021). Τα βιολογικά υλικά μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανανεώσιμα, που σημαίνει ότι είναι δυνατόν να δημιουργούνται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Τα παραδοσιακά πολυμερή, από την άλλη πλευρά, δημιουργούνται από περιορισμένους πόρους, όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα, συμβάλλοντας στη μείωση των πόρων του πλανήτη (Sousa, 2021). Το μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής για πλαστικά με βιολογική βάση είναι η συσκευασία, που περιλαμβάνει τόσο την εύκαμπτη όσο και την άκαμπτη συσκευασία (Siracusa & Blanco, 2020). Οι μεμβράνες βιολογικής βάσης για εύκαμπτη συσκευασία περιλαμβάνουν τα Bio-PE (Πολυαιθυλένιο), Bio-PP (Πολυπροπυλένιο) και Bio-PET (τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο) (Sousa, 2021, Siracusa & Blanco, 2020). Τα βιοπλαστικά που προκύπτουν έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες με τα αντίστοιχα συμβατικά, που βασίζονται στο πετρέλαιο (Ibrahim, 2021). Για παράδειγμα, σε αντίθεση με το συμβατικό πολυαιθυλένιο, το οποίο κατασκευάζεται από ορυκτά καύσιμα, το βιολογικό πολυαιθυλένιο παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως από το ζαχαροκάλαμο (Sousa, 2021). Η πλειονότητα του PE με βιολογική βάση παράγεται στη Βραζιλία (Braskem), σε μια μονάδα παραγωγής που έχει ετήσια δυναμικότητα 200 τόνων. Το Bio-PE έχει πανομοιότυπες ιδιότητες με το πετροχημικό PE, αλλά παράγεται από αιθυλένιο από βιοαιθανόλη αντί για αργό πετρέλαιο (Molenveld & Bos, 2020). Το τελικό παραγόμενο φιλμ μπορεί να περιέχει τουλάχιστον 30% βιολογικό υλικό (van den Oever et al., 2017).

Το πολυπροπυλένιο είναι το πιο σημαντικό οργανικό δομικό στοιχείο για την παραγωγή πολυολεφινών, συνήθως περιέχει περίπου 30% βιο-βασισμένο υλικό (Hann, et. al., 2020). Το βιοπροπυλένιο βρίσκει εφαρμογή σε μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία συσκευασίας. Η βιοαιθανόλη από τη ζύμωση σακχάρων, η βιομάζα και το μαγειρικό λάδι είναι οι τρεις κύριες πρώτες ύλες που είναι διαθέσιμες επί του παρόντος για την παραγωγή Bio-PP (Kairainen, 2020). Οι εταιρείες Borealis και Neste συνεργάστηκαν για να αρχίσουν να χρησιμοποιούν ανανεώσιμο προπάνιο στο εργοστάσιο PP Borealis, το οποίο θα επιτρέψει στην εταιρεία να ξεκινήσει την παροχή προπυλενίου βιολογικής βάσης και στη συνέχεια βιοπροπυλενίου. Επιπλέον, οι LyondellBasell και Neste ανακοίνωσαν πρόσφατα την παραγωγή Bio-PP σε εμπορική κλίμακα. Τέλος, η Mitsui Chemicals παρήγαγε

εμπορικά πολυπροπυλένιο βιομάζας που προέρχεται από υδρογονάνθρακες βιολογικής βάσης χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της Neste (Borealis, 2019; Neste, 2019; Hann et al., 2020; Mitsui Chemicals, 2021).

Ένα άλλο πολυμερές που χρησιμοποιείται τακτικά σε εύκαμπτες συσκευασίες είναι το PET, το οποίο παράγεται με πολυμερισμό αιθυλενογλυκόλης και τερεφθαλικού οξέος. Το Bio-PET που διατίθεται επί του παρόντος στην αγορά παράγεται μέσω του πολυμερισμού της αιθυλενογλυκόλης που λαμβάνεται από βιολογικούς πόρους, κυρίως από ζαχαροκάλαμο (Nisticò, 2020). Αποτελεί μια φιλική προς το περιβάλλον επιλογή όσον αφορά τις εκπομπές CO₂ και την εξάντληση των πηγών ενέργειας. (Molenveld & Bos, 2020). Το Bio-PET είναι πιθανώς η πιο κατάλληλη επιλογή για την αντικατάσταση του ορυκτού PET, κυρίως επειδή τόσο οι ιδιότητες όσο και η τεχνολογία παραγωγής, επεξεργασίας και κατασκευής μεμβρανών Bio-PET είναι ήδη γνωστές και καθιερωμένες. Ωστόσο, η ανάπτυξη Bio-PET απέχει ακόμη πολύ από το να γίνει μια εφαρμόσιμη εναλλακτική λύση έναντι του PET με βάση το πετρέλαιο, καθώς εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικά εμπόδια στην αποτελεσματική παραγωγή βιοβασισμένου τερεφθαλικού οξέος (Sousa, 2021).

Η καλλιέργεια γης για την παραγωγή μεμβρανών βιολογικής βάσης απαιτεί 2,5 φορές την ποσότητα γλυκού νερού σε σύγκριση με τα συμβατικά φιλμ (Acquaviva et al., 2021). Ένα ακόμα πιθανό μειονέκτημα που σχετίζεται με την κατασκευή πλαστικών βιολογικής βάσης είναι η πιθανή εκμετάλλευση γης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τροφίμων. Ωστόσο, επί του παρόντος αυτό δεν αποτελεί σημαντική ανησυχία, καθώς η παραγωγή βιοπλαστικών καταλαμβάνει μόνο ένα αμελητέο μέρος της παγκόσμιας γεωργικής γης. Τα οφέλη υπερτερούν των μειονεκτημάτων, καθώς διεξάγεται σημαντική έρευνα για την επέκταση της διαθεσιμότητας πλαστικών με βιολογική βάση (Abriha, 2022).

6.2 Βιοδιασπώμενα πολυμερή / Biodegradable

Φυσικοχημική ή βιολογική φθορά εμφανίζεται σε όλα τα πολυμερή. Τα οξοδιασπώμενα και υδρο-διασπώμενα πλαστικά έχουν κατασκευαστεί για να αποσυντίθενται μέσω διεργασιών οξειδωσης και υδρόλυσης, αντίστοιχα. Είναι τυπικά μη βιοαποδομήσιμα και χρειάζονται κατάλληλες τροποποιήσεις για να επιτευχθεί η

βιοαποικοδόμησή τους (Filiciotto & Rothenberg, 2020; Taghavi et al., 2021). Οι βιοδιασπώμενες μεμβράνες συσκευασίας κατασκευάζονται από πλαστικό και πρόσθετα που εισάγονται κατά τη διαδικασία κατασκευής. Αυτά τα πρόσθετα είναι συνήθως ένζυμα που βοηθούν το πλαστικό να αποσυντεθεί χωρίς να βλάψει το περιβάλλον από ζωντανούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων ή μυκήτων, με ή χωρίς οξυγόνο. Έχει αναφερθεί ότι οι ρυθμοί βιοαποικοδόμησης των βιοπολυμερών υλικών διαρκούν από μερικές ημέρες έως μήνες για τα περισσότερα από αυτά (Meritaine da Rocha et al., 2018). Όλα τα βιοαποδομήσιμα πλαστικά έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, χρειάζονται το υπεριώδες φως, τη θερμότητα ή την υγρασία που θα λειτουργήσουν ως καταλύτης για να ξεκινήσει η αντίδραση διάσπασης (Kjeldsen et al., 2018; Mistretta, et al., 2020). Οι μικροοργανισμοί (βακτήρια ή μύκητες) μπορούν να διασπάσουν τα βιοαποδομήσιμα πλαστικά υλικά σε νερό, φυσικά δημιουργούμενα αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το μεθάνιο (CH₄) και βιομάζα. Παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η παρουσία μικροοργανισμών, οξυγόνου και νερού είναι σημαντικοί για τη διευκόλυνση της βιοδιάσπασης (van den Oever, et al., 2017). Μια ιδιαίτερα δημοφιλής επιλογή για την αντικατάσταση του πλαστικού είναι επίσης το PLA. Το Poly Lactic Acid (PLA) παρέχει εξαιρετική διαφάνεια και ακαμψία συγκρίσιμη με το παραδοσιακό OPP. Το PLA είναι ένα βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό κατασκευασμένο από ζαχαροκάλαμο και καλαμπόκι, τα οποία είναι και τα δύο πλήρως ανανεώσιμες πηγές. Σε σύγκριση με διάφορα συνθετικά πολυμερή, μπορεί να προσφέρει παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες, όπως υψηλή ακαμψία και αντοχή (Packaging 360, 2018; Mirkhalaf & Fagerström, 2019; Nazrin et al., 2020).

Μια άλλη νέα μέθοδος εμπορικά εφαρμόσιμη είναι η χρήση ενός ειδικού πρόσθετου το οποίο χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή πλαστικής ρητίνης, έτσι ώστε η συσκευασία που δημιουργείται από τη συγκεκριμένη ρητίνη να μπορεί να αποικοδομείται σε αναερόβιες συνθήκες. Έτσι, μόλις η συσκευασία μεταφερθεί σε χώρο υγειονομικής ταφής, τα ένζυμα που υπάρχουν στο χώρο της υγειονομικής ταφής θα μπορούν να αφομοιώσουν το φιλμ και να επιτρέψουν την αποικοδόμηση του ενώ ταυτόχρονα θα δημιουργηθεί βιο-αέριο. Αυτό το αέριο ή Landfill Gas (LFG) (αέριο χωματερής) μπορεί να δεσμευτεί από εξειδικευμένα συστήματα και να χρησιμοποιηθεί ως καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ως εκ τούτου, αυτά τα πλαστικά μπορούν να δημιουργήσουν μεθάνιο σε εύλογο χρονικό διάστημα (Reynolds, 2018), καθώς τα

βιοαποδομήσιμα υλικά μπορούν να αποικοδομηθούν από τα μικρόβια του εδάφους σε φυσικά συστατικά όπως το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο (Chisenga et al., 2020). Για την πιστοποίηση της βιοδιασπασιμότητας, διατίθεται μια ποικιλία δοκιμών με καθορισμένες συνθήκες. Οι τυποποιημένες δοκιμές εξετάζουν τον χρόνο που απαιτείται για τη διαδικασία βιοαποδόμησης. Τα υλικά που πρόκειται να ταξινομηθούν ως βιοαποδομήσιμα περνούν από μια διαδικασία δοκιμής χρησιμοποιώντας πρότυπα όπως το ASTM D5511-02 σε συνθήκες, που προορίζονται για την προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν σε αναερόβιες χωματερές (Filiciotto & Rothenberg, 2020). Τα βιοδιασπώμενα πρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε εύκαμπτη μεμβράνη συσκευασίας, συμπεριλαμβανομένων των PE, PET και PP και των παραλλαγών τους, όπως το μεταλλοποιημένο φιλμ (Silverstein, 2020).

6.3 Μεταβιομηχανικά και μετακαταναλωτικά ανακυκλωμένα υλικά

Ένας άλλος βιώσιμος τρόπος δημιουργίας μεμβρανών για εύκαμπτη συσκευασία είναι μέσω της ανακυκλωμένης ρητίνης. Αυτή η ρητίνη θα μπορούσε να προέρχεται από ποικίλες πηγές και διαδικασίες. Το μεταβιομηχανικό υλικό ή PIR (Post Industrial Recycled) είναι ένα μείγμα πλαστικών απορριμμάτων, που ανακτώνται από βιομηχανικές και κατασκευαστικές διαδικασίες. Δημιουργείται κατά τη διαδικασία παραγωγής, οπότε δεδομένου ότι προέρχεται από απόβλητα που παράγονται σε μια βιομηχανία, η σύνθεση, η πιθανή μόλυνση και η ομοιογένεια αυτών των υλικών πρέπει να ελέγχονται λεπτομερώς (OECD, 2018). Υπάρχει επίσης ο όρος Pre-consumer recycled, που αναφέρεται σε υλικά ή υποπροϊόντα που προέρχονται από διαδικασίες παραγωγής και αποτελούν απόβλητα (Circular Plastics Alliance, 2021). Επομένως, όλα αυτά τα ανακυκλωμένα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διευκολύνουν και να επιταχύνουν τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία στον τομέα των πλαστικών.

Υλικά μετά την κατανάλωσή τους αναφέρονται γενικά ως «υλικά που παράγονται από νοικοκυριά ή από εμπορικές, βιομηχανικές και θεσμικές εγκαταστάσεις και που δεν μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν για τον αρχικό ρόλο τους ως τελικά προϊόντα. Περιλαμβάνουν συνήθως τις επιστροφές υλικών από την αλυσίδα διανομής» (Science Museum, 2019). Λόγω της γεωγραφικής εξάπλωσης της διανομής τους και του

μεγάλου φάσματος πολυμερών που χρησιμοποιούνται, η συλλογή πλαστικών μετά την κατανάλωση είναι μια διαδικασία με πολλές προκλήσεις. Τα υλικά συσκευασίας που χρησιμοποιούνται συνήθως περιλαμβάνουν PP, PET και LDPE και μπορούν να συλλέγονται για ανακύκλωση λόγω της ευρείας χρήσης τους (OECD, 2018).

Σύμφωνα με μια πρόσφατη έκθεση, η πλειονότητα των ανακυκλώσιμων συλλεγόμενων φιλμ είναι είτε LDPE (χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο) είτε LLDPE (γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας). Η συλλογή αποκλειστικά φιλμ που είναι κατάλληλα για εφαρμογές τροφίμων είναι αρκετά δύσκολη κυρίως λόγω προβλημάτων υλικοτεχνικής υποστήριξης. Οι ανακυκλωτές για να εξασφαλίσουν μια αποτελεσματική συλλογή και επεξεργασία υλικών, προσπαθούν να αποκτήσουν μεγάλες ποσότητες μικτών απορριμμάτων, οι οποίες ωστόσο είναι πιθανό να περιέχουν διάφορους τύπους φιλμ πολυαιθυλενίου. Επομένως, το τελικό ανακυκλωμένο προϊόν είναι δυνατό να περιέχει HDPE και LDPE από φιλμ μετά την κατανάλωση, καθώς και φιλμ από εφαρμογές που δεν αφορούν τρόφιμα, όπως το ελαστικό φιλμ. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα μολυσμένο προϊόν ανακυκλωμένης ρητίνης, που δεν είναι κατάλληλο για φιλμ με εφαρμογή στη συσκευασία τροφίμων (Environment and Climate Change Canada, 2021).

Τα φιλμ συσκευασίας της κατηγορίας PCR (Post Consumer Recycled), που περιέχουν ανάμεικτα πλαστικά απόβλητα, συνήθως δεν μπορούν να ανακυκλωθούν εύκολα στο τέλος της ζωής τους. Ορισμένες πετροχημικές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν μια διαδικασία πυρόλυσης για να μετατρέψουν αυτά τα απόβλητα σε ρητίνη, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέων προϊόντων (Derprosa films, 2020). Τα φιλμ μετά την κατανάλωση είναι κατάλληλα για χημική ανακύκλωση. Οι εγκαταστάσεις πυρόλυσης που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν πρώτες ύλες επιτρέπουν τη μεταφορά τους σε ρευστή μορφή (Kalkowski, 2020). Αυτή η συνθετική πρώτη ύλη μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί σε μεμβράνη πολυπροπυλενίου για τρόφιμα, στη συνέχεια να εκτυπωθεί και να χρησιμοποιηθεί ξανά ως συσκευασία προϊόντος. Αυτό το είδος πρώτης ύλης χρησιμοποιήθηκε από τη Nestlé Αυστραλίας σε προϊόντα KitKat (Gerke, 2021).

6.4 Εναλλακτική προσέγγιση - χαρτί

Το χαρτί, είναι ένα εύκαμπτο υλικό, που χρησιμοποιείται ευρέως όχι μόνο για τη γραφή και την εκτύπωση αλλά και για τη συσκευασία διαφόρων στερεών προϊόντων, που δεν απαιτούν αυστηρές προδιαγραφές φραγμού, όπως αναφέρεται από τους Shen et al. (2021). Μεταξύ των καταναλωτών, το χαρτί έχει κερδίσει σημαντική αναγνώριση ως μια πιο οικολογικά ορθή εναλλακτική του πλαστικού. Είναι αξιοσημείωτα ανώτερο από το πλαστικό, όσον αφορά τη βιοαποικοδομησιμότητα και την ανακυκλωσιμότητα του, όπως υποστηρίζει ο Moreira (2020). Επιπλέον, τα εύκαμπτα υλικά συσκευασίας με βάση το χαρτί συνδυάζονται συχνά με πλαστικό, αλουμίνιο ή είναι επικαλυμμένα με ρητίνη. Ωστόσο, αυτός ο συνδυασμός υλικών καθιστούν το χαρτί μη ανακυκλώσιμο (van den Oever et al., 2017; Moreira, 2020). Αντίθετα, η διαδικασία ανακύκλωσης του χαρτιού ως συσκευασία αποτελούμενη από ένα υλικό, είναι σχετικά απλή, καθώς μπορεί να πολτοποιηθεί ξανά, προσφέροντας περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Όταν το συσκευασμένο προϊόν δεν απαιτεί αυστηρές ιδιότητες φραγμού, ορισμένες επιχειρήσεις έχουν πολλαπλά κίνητρα για να αντικαταστήσουν τις πλαστικές συσκευασίες με χαρτί (Moreira, 2020).

Ένα παράδειγμα εταιρείας που επέλεξε αυτό τη λύση είναι η Nestlé, η οποία αποφάσισε να συσκευάσει το προϊόν Smarties χρησιμοποιώντας ανακυκλώσιμη χάρτινη συσκευασία. Αυτή η αλλαγή υπολογίζεται ότι θα εξαλείψει περίπου 250 εκατομμύρια πλαστικές συσκευασίες από αυτές που πωλούνται παγκοσμίως κάθε χρόνο (Nestlé, 2021). Η επιλογή μεταξύ βιώσιμων και εύκαμπτων επιλογών συσκευασίας, είτε με βάση το χαρτί είτε το πλαστικό, εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την εφαρμογή του τελικού προϊόντος. Η επίτευξη ενός βιώσιμου τομέα εύκαμπτης συσκευασίας εξασφαλίζει την ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας, τη μείωση του αριθμού των υποστρωμάτων ανά συσκευασία, τη βελτίωση των διαδικασιών ανακύκλωσης και την υιοθέτηση λύσεων για την εύκαμπτη συσκευασία που ευνοούν περισσότερο την ανακύκλωση (Moreira, 2020).

7 Τεχνικές ανακύκλωσης πλαστικών

Η παγκόσμια παραγωγή πλαστικού εκτιμάται ότι θα είναι περίπου 1,1 δισεκατομμύρια τόνοι μέχρι το 2050. Από τους τόνους πλαστικών απορριμμάτων που παράγονται, μόνο το 7% ανακυκλώνεται ετησίως. Με τη διαδικασία της υγειονομικής ταφής τα απόβλητα απελευθερώνονται στο υδάτινο υπέδαφος. Τα θερμοπλαστικά και τα ελαστομερή πλαστικά απόβλητα δεν αποικοδομούνται εύκολα και θα μπορούσαν να προκαλέσουν πρωτογενή περιβαλλοντική μόλυνση. Επομένως, η ορθή διαχείριση πλαστικών απορριμμάτων μπορεί να αποτελέσει το κλειδί για την επίλυση των περιβαλλοντικών ζητημάτων και της βιωσιμότητας (Naderi, 2023).

Από τα θερμοπλαστικά παράγονται διάφορα φιλμ συσκευασίας. Τα θερμοπλαστικά είναι υλικά που μπορούν να λιώσουν και να σχηματίσουν νέα προϊόντα επανειλημμένα με την εφαρμογή θερμότητας. Τα φιλμ που προκύπτουν από αυτά είναι ιδιαίτερα προσαρμόσιμα για διάφορες εφαρμογές συσκευασίας. Επιπλέον, τα φιλμ μπορούν επίσης να παραχθούν από ανακυκλωμένα υλικά, συνεισφέροντας έτσι στην προώθηση της βιώσιμης κυκλικής οικονομίας και της μείωσης των αποβλήτων. Το γεγονός ότι αυτά τα φιλμ μπορούν επίσης να παραχθούν από ανακυκλωμένα υλικά, δημιουργούν ένα κλειστό κύκλωμα παραγωγής και κατανάλωσης. Η ανακύκλωση φιλμ συσκευασίας διαδραματίζει καίριο ρόλο στη μείωση των αποβλήτων και τη διατήρηση των φυσικών πόρων. Επιπλέον, η προτίμηση για ανακυκλωμένα υλικά ενισχύει την αειφόρα πρακτική, ενθαρρύνοντας την επαναχρησιμοποίηση και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Με αυτόν τον τρόπο, η βιομηχανία συσκευασίας μπορεί να συνεισφέρει ενεργά στην προαγωγή της βιώσιμης ανάπτυξης και στη δημιουργία περιβαλλοντικά υπεύθυνων λύσεων (Global Recycling, 2023).

Η αποτελεσματική ανακύκλωση των πλαστικών απορριμμάτων υποστηρίζει τη μετάβαση της βιομηχανίας στην κυκλική οικονομία, συμβάλλοντας παράλληλα στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και καθιστώντας τα απορρίμματα ένα αξιοποιήσιμο πόρο εντός της κυκλικής οικονομίας. Η συλλογή και η ταξινόμηση αποτελούν τα αρχικά βήματα για τη διασφάλιση ότι οι συσκευασίες των

καταναλωτικών προϊόντων, μετά τη χρήση τους, θα παραδοθούν στα εργοστάσια ανακύκλωσης. Η διαδικασία αυτή βοηθάει στην διαλογή των υλικών. Οι βελτιώσεις στη συλλογή και στις τεχνολογίες ταξινόμησης είναι ουσιώδεις για την επίτευξη υψηλότερων ποσοστών ανακύκλωσης. Τα ποσοστά ανακύκλωσης των πλαστικών αποβλήτων είναι δέκα φορές υψηλότερα όταν συλλέγονται ξεχωριστά σε σχέση με τα συστήματα μικτής συλλογής. Η ανακύκλωση των αποβλήτων και η δημιουργία υλικών που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, αποτελούν βασική προϋπόθεση για την αειφορία. Έτσι μειώνεται η ανάγκη για χρήση πρωτογενών πόρων για την παραγωγή νέων πλαστικών και ταυτόχρονα εξοικονομείται ενέργεια που απαιτείται για την πρωτογενή παραγωγή πλαστικών και μειώνει τις εκπομπές που προκαλούνται από αυτή (Global Recycling, 2023).

Τα πλαστικά απόβλητα μπορούν να ανακυκλωθούν χημικά, μηχανικά ή θερμικά. Στο αρχικό στάδιο, πρέπει να ταξινομηθούν, κάτι που γενικά εκτελείται αυτόματα χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές ανάλυσης, που βασίζονται στον φθορισμό, την ηλεκτροστατική μέθοδο, την υπέρυθη ακτινοβολία, την επίπλευση και άλλες (Abukasim et al., 2020). Η φυσική αποικοδόμηση των πλαστικών απορριμμάτων εξελίσσεται μέσω διαφορετικών διεργασιών, όπως ο τεμαχισμός ή/και η άλεση, που αποτελούν τα κύρια στάδια της μηχανικής ανακύκλωσης (Naderi, 2023).

7.1 Μηχανική ανακύκλωση

Η μηχανική ανακύκλωση είναι η πιο κοινή προσέγγιση για την ανακύκλωση πλαστικών, όπως το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) και το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE). Το PET και το HDPE χρησιμοποιούνται συνήθως για την κατασκευή δοχείων ή φιαλών για αναψυκτικά και είναι σχετικά εύκολα στην ανακύκλωση.

Η μηχανική ανακύκλωση αφορά την επεξεργασία των πλαστικών αποβλήτων ως πρώτη ύλη για πλαστικά προϊόντα χωρίς να αλλάζει σημαντικά τη χημική δομή του υλικού. Γενικά, όλα τα είδη θερμοπλαστικών μπορούν να υποστούν μηχανική ανακύκλωση με ελάχιστο ή καθόλου αντίκτυπο στην ποιότητα των προϊόντων. Η

μηχανική ανακύκλωση αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή ανακύκλωσης και αντιπροσωπεύει τον κυρίαρχο κομμάτι αυτής της δραστηριότητας στην Ευρώπη (Global Recycling, 2023).

7.1.1 Στάδια μηχανικής ανακύκλωσης

Συλλογή: Συλλογή πλαστικών προϊόντων στο τέλος της ζωής τους από ξεχωριστά και μικτά αποθετήρια απορριμμάτων.

Πρώτη ταξινόμηση: Μόλις τα πλαστικά απόβλητα φτάσουν στο εργοστάσιο ανακύκλωσης, γίνεται η ταξινόμησή τους. Ακόμα κι αν κάποια ταξινόμηση μπορεί να έχει λάβει χώρα στο στάδιο της συλλογής, ενδέχεται να χρειαστεί περαιτέρω διαχωρισμός ανάλογα με το χρώμα ή το πάχος των υλικών.

Κοπή: Τα πλαστικά πρέπει να κοπούν σε μικρότερα κομμάτια για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν ξανά.

Πλύσιμο: Το πλύσιμο αφαιρεί σκόνη και ακαθαρσίες και διασφαλίζει ότι τα πλαστικά είναι καθαρά πριν οδηγηθούν στο επόμενο στάδιο. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αφαίρεση ιχνών τροφίμων, ποτών ή ετικετών.

Δεύτερη ταξινόμηση και έλεγχος: Τα πλαστικά ταξινομούνται ξανά και ελέγχονται πριν σταλούν για extruding.

Extruding: Τα κομμάτια πλαστικού μετατρέπονται τελικά σε ομογενείς κόκκους έτοιμους για χρήση στην παραγωγή νέων προϊόντων.

Η εξώθηση (extruding) είναι η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες μηχανικής ανακύκλωσης για την παραγωγή κοκκοποιημένου υλικού από τα κοινά απόβλητα πλαστικών. Είναι μια φθηνή, μεγάλης κλίμακας διαδικασία, χωρίς διαλύτες και μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά πολυμερή (Schyns & Shaver, 2021). Στην Εικόνα 12 διακρίνονται οι μηχανικά ανακυκλωμένοι κόκκοι πλαστικού.



Εικόνα 12. Ανακυκλωμένοι κόκκοι πλαστικού με μηχανική τεχνολογία

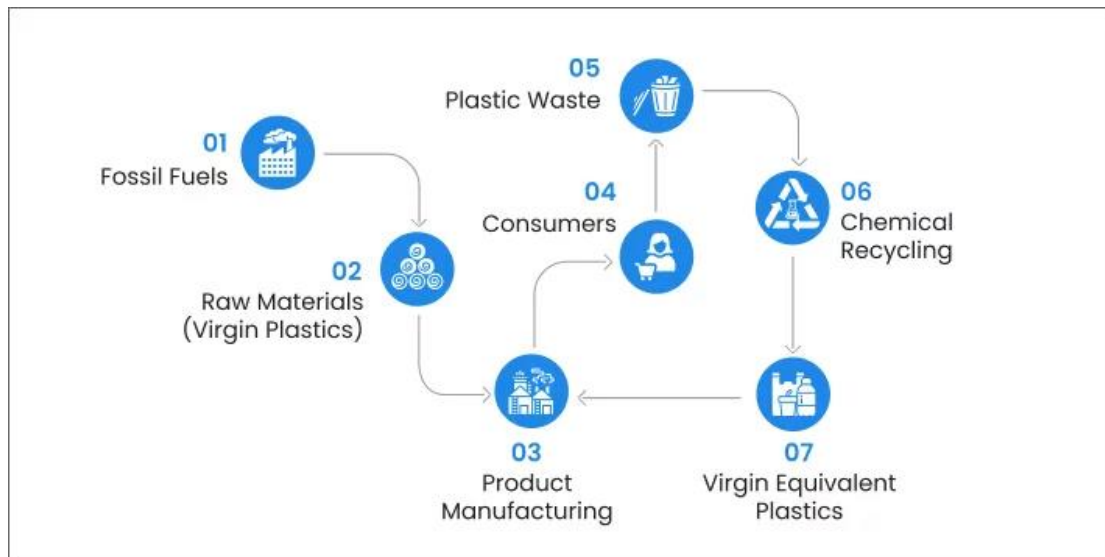
7.2 Χημική ανακύκλωση

Ενώ η μηχανική ανακύκλωση μετατρέπει τα πλαστικά απόβλητα σε δευτερογενείς πρώτες ύλες χωρίς σημαντική αλλοίωση της χημικής δομής τους, η χημική ανακύκλωση μετατρέπει τα πολυμερή απόβλητα σε δευτερογενείς πρώτες ύλες ή ανακυκλωμένες πρώτες ύλες, γεγονός που περιορίζει την ανάγκη για χρήση πρώτης ύλης από φυσικούς πόρους. Αυτή η διαδικασία αλλάζει τη δομή των πολυμερών αποβλήτων, μετατρέποντάς τα σε χημικά δομικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των μονομερών, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες σε άλλες χημικές διεργασίες.

Ετησίως, περίπου 30 εκατομμύρια τόνοι πλαστικών αποβλήτων συλλέγονται στην Ευρώπη. Από αυτούς, το 84% υφίστανται καύση, αποτίθενται σε ΧΥΤΑ ή αποτεφρώνονται. Αυτή η πρακτική δεν αποτελεί μόνο πηγή εκπομπών CO₂, αλλά αποτελεί επίσης σπατάλη πολύτιμων πόρων. Η χημική βιομηχανία μπορεί να αντιμετωπίσει αυτήν την πρόκληση μέσω της χημικής ανακύκλωσης, καθώς η βιομηχανία μπορεί να προσφέρει συμπληρωματικές λύσεις στην υπάρχουσα μηχανική ανακύκλωση για τα μικτά ή μολυσμένα πλαστικά απόβλητα, που σε διαφορετική

περίπτωση θα κατέληγαν στην καύση και θα ήταν δύσκολο να ανακυκλωθούν (European Chemical Industry Council, 2024).

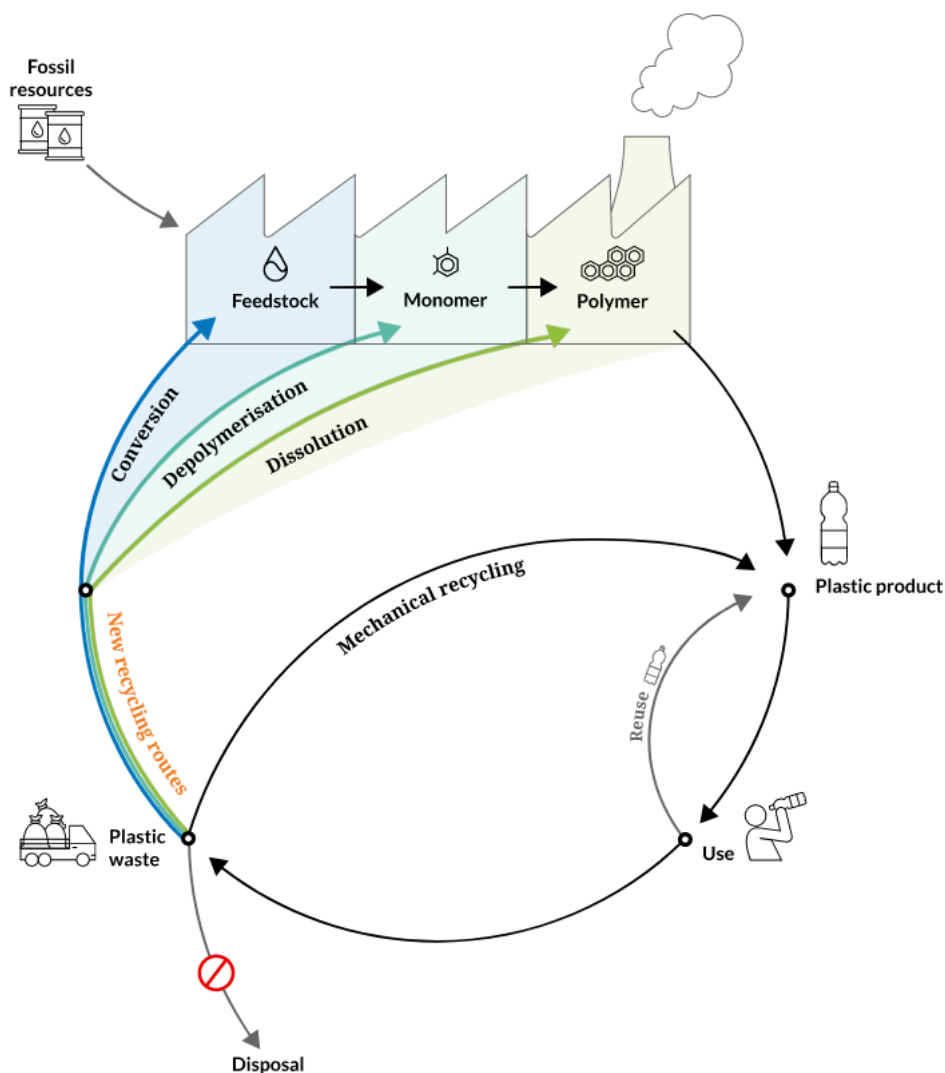
Η χημική ανακύκλωση είναι μια αναδυόμενη προσέγγιση για την ανακύκλωση και προσφέρει περισσότερες δυνατότητες. Η χημική ανακύκλωση περιλαμβάνει τη διάσπαση σκληρών πλαστικών στην αρχική τους μορφή, που συχνά αναφέρεται ως παρθένο πλαστικό. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί σύγχρονες τεχνολογίες στη διαχείριση απορριμμάτων, μετατρέποντας τα σκληρά πλαστικά σε ανακυκλωμένα υλικά (δευτερεύουσες πρώτες ύλες). Με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζονται προκλήσεις που προηγουμένως δεν ήταν πρακτικές ή ήταν μη βιώσιμες οικονομικά με τη μηχανική ανακύκλωση. Η χημική ανακύκλωση περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνολογιών (πυρόλυση, αεριοποίηση, υδρόλυση, αποπολυμερισμός) που αλλάζουν τη χημική δομή των πλαστικών αποβλήτων. Οι μακριές αλυσίδες υδρογονανθράκων, που αποτελούν τα πλαστικά υλικά, διασπώνται σε μικρότερους υδρογονάνθρακες ή μονομερή χρησιμοποιώντας χημικές, θερμικές ή καταλυτικές (χημικές/θερμικές) διαδικασίες. Στη συνέχεια ακολουθεί η αποσύνθεση, όπου τα πολυμερή διασπώνται σε μονομερή για την παραγωγή νέων πλαστικών. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται με τη χρήση θερμότητας ή με χημικές ουσίες χρησιμοποιώντας διαλύτες για τη διάσπαση των πολυμερών σε μονομερή. Αυτά τα μικρότερα μόρια είναι έτοιμα να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες για νέες χημικές αντιδράσεις παραγωγής νέων ανακυκλωμένων πλαστικών και άλλων χημικών. Είναι μια συμπληρωματική τεχνολογία με σημαντική δυναμική. Η αυξανόμενη ζήτηση για δευτερογενείς πρώτες ύλες υποστηρίζεται από μια στροφή προς τους στόχους της βιωσιμότητας, την πρόοδο στις τεχνικές ανακύκλωσης χημικών και τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα δευτερογενή υλικά, που προέρχονται από χημική ανακύκλωση, αντικαθιστούν τις παρθένες πρώτες ύλες στην αλυσίδα εφοδιασμού της μεταποίησης, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών άνθρακα (Borealis & Neste, 2019). Στην Εικόνα 13 διακρίνεται η διαδικασία χημικής ανακύκλωσης πλαστικών.



Εικόνα 13. Διαδικασία χημικής ανακύκλωσης πλαστικών

(Πηγή:European Chemical Industry Council, 2024)

Σε συνεργασία με εταιρους στην αλυσίδα αξίας, η χημική βιομηχανία έχει ήδη πετύχει σημαντικά αποτελέσματα στη δημιουργία προϊόντων καταναλωτικής χρήσης, όπως συσκευασίες τροφίμων, εξαρτημάτων, κτλ. Η αλυσίδα αξίας είναι η διαδικασία ή οι δραστηριότητες με τις οποίες μια εταιρεία προσθέτει αξία σε ένα αντικείμενο, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, του μάρκετινγκ και της παροχής υπηρεσιών μετά την πώληση (University of Cambridge, 2023). Παράλληλα, η χημική βιομηχανία επενδύει επί του παρόντος στην ανάπτυξη της χημικής ανακύκλωσης. Σημαντικές επενδύσεις σε εμπορική κλίμακα έχουν ήδη υλοποιηθεί, καλύπτοντας διάφορες τεχνολογίες χημικής ανακύκλωσης (European Chemical Industry Council, 2024). Στην Εικόνα 14 διακρίνεται το διάγραμμα τεχνολογιών χημικής ανακύκλωσης.



Εικόνα 14. Διάγραμμα τεχνολογιών χημικής ανακύκλωσης

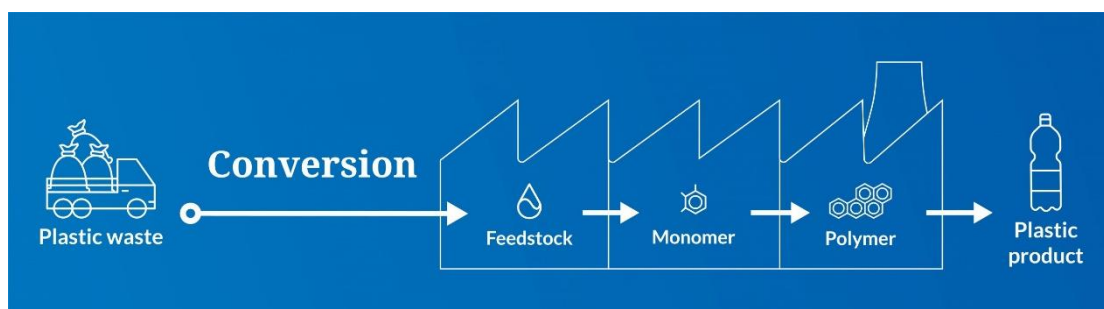
(Πηγή:European Chemical Industry Council, 2024)

7.2.1 Μετατροπή των πλαστικών αποβλήτων σε πρώτες ύλες

Η διαδικασία ανακύκλωσης κλειστού βρόχου που επίσης ονομάζεται ευρέως κυκλική οικονομία ξεκινά με τη διαδικασία μετατροπής. Σε αυτή την περίπτωση, τα μακράς αλυσίδας μόρια υδρογονάνθρακα, που ονομάζονται πολυμερή, μπορούν να διασπαστούν σε μικρότερα μόρια και να ταξινομηθούν βάσει των χημικών ιδιοτήτων τους ή του τύπου του πλαστικού υλικού. Αυτός ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει για να διευκολυνθεί η ανακύκλωση ή η επεξεργασία των πλαστικών υλικών. Τα πολυμερή,

δηλαδή τα μακράς αλυσίδας μόρια υδρογονάνθρακα, μπορούν να διασπαστούν σε μικρότερα μόρια μέσω διεργασιών όπως η πυρόλυση ή η αεριοποίηση. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα μακρά μόρια υδρογονάνθρακα διασπώνται σε μικρότερα μόρια ή ακόμα και σε μονομερή, που είναι ουσιαστικά οι βασικές μονάδες που αποτελούν τα πλαστικά. Αυτά τα μικρά μόρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για νέες χημικές αντιδράσεις για την παραγωγή νέων ανακυκλωμένων πλαστικών και άλλων υλικών (Patel, 2024). Η διαδικασία αυτή αποτελεί έναν τρόπο χημικής ανακύκλωσης για τη μετατροπή πλαστικών αποβλήτων σε πρώτες ύλες.

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, τα ανάμεικτα πλαστικά απόβλητα αποσυντίθενται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία υλικού παρόμοιου με το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο, το οποίο χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την παραγωγή χημικών, συμπεριλαμβανομένων των πλαστικών (European Chemical Industry Council, 2024). Στην Εικόνα 15 διακρίνεται η χημική διαδικασία ανακύκλωσης, που ονομάζεται μετατροπή.



Εικόνα 15. Διαδικασία μετατροπής

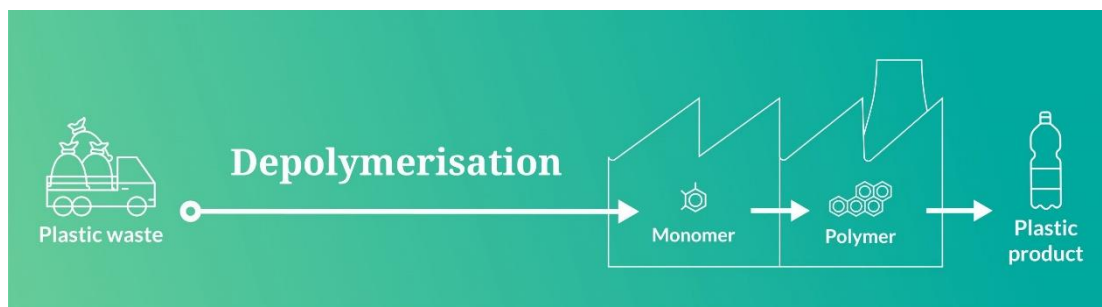
(Πηγή:European Chemical Industry Council, 2024)

Η μετατροπή ως διαδικασία ανακύκλωσης ξεκινά με την ταξινόμηση και προετοιμασία των ανάμεικτων πλαστικών αποβλήτων για περαιτέρω επεξεργασία. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μετατροπής, ένας αντιδραστήρας χρησιμοποιεί θερμότητα όπου πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις για να διασπαστούν τα πλαστικά απόβλητα, παράγοντας είτε ένα υγρό, ομοιόμορφο υλικό παρόμοιο με το πετρέλαιο (πυρόλυση) είτε αέριο υλικό (αεριοποίηση). Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα είτε απουσία (πυρόλυση) είτε παρουσία οξυγόνου (αεριοποίηση) προκειμένου να εξασφαλίσει

προϊόντα υψηλής ποιότητας. Σε μια επόμενη φάση, πιθανοί ρύποι εντοπίζονται και αφαιρούνται. Το παραγόμενο υγρό ή αέριο υλικό εισέρχεται ξανά ως πρώτη ύλη στη χημική αλυσίδα παραγωγής σε επίπεδο διυλιστηρίου ή cracker ως δευτερογενής πρώτη ύλη και αντικαθιστά την ορυκτή πρώτη ύλη. Τα τελικά προϊόντα που προκύπτουν από αυτήν τη διαδικασία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χημικών, συμπεριλαμβανομένων των πλαστικών, με ποιότητα συγκρίσιμη με αυτήν των προϊόντων που παράγονται από παραδοσιακούς ορυκτούς πόρους (Quantis & Cefic, 2020; Cefic, 2022).

7.2.2 Αποπολυμερισμός – διάσπαση πλαστικών σε βασικά δομικά στοιχεία

Ο αποπολυμερισμός αποτελεί έναν από τους τρόπους χημικής ανακύκλωσης πλαστικών. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα ταξινομημένα πλαστικά απόβλητα θα υποστούν αποσύνθεση σε μονομερή (βασικά δομικά στοιχεία), τα οποία εισέρχονται ξανά στην παραγωγή πλαστικού. Στην Εικόνα 16 διακρίνεται η χημική διαδικασία ανακύκλωσης που ονομάζεται αποπολυμερισμός.



Εικόνα 16. Διαδικασία αποπολυμερισμού

(Πηγή:European Chemical Industry Council, 2024)

Η διαδικασία ανακύκλωσης με αποπολυμερισμό ξεκινά με έναν αρχικό βήμα, όπου τα πλαστικά απόβλητα ταξινομούνται και προετοιμάζονται για περαιτέρω επεξεργασία. Η διαδικασία αποπολυμερισμού, συχνά αναφερόμενη ως chemolysis ή solvolysis χρησιμοποιεί διάφορους συνδυασμούς χημικών ουσιών, διαλυτών και θερμότητας για την αποσύνθεση των πολυμερών σε μονομερή. Τα μονομερή αποτελούν τα δομικά

στοιχεία των πολυμερών. Σε μια επόμενη φάση, πιθανοί ρύποι εντοπίζονται και αφαιρούνται από τα μονομερή. Τα μονομερή εισέρχονται ξανά στις κανονικές διαδικασίες παραγωγής πλαστικού ως δευτερεύουσα πρώτη ύλη. Τα πλαστικά που παράγονται με αυτόν τον τρόπο έχουν παρόμοια ποιότητα με αυτά που παράγονται από παραδοσιακούς ορυκτούς πόρους.

7.2.3 Διάλυση ή φυσική ανακύκλωση - Ανακύκλωση με διαλύτες

Η ανακύκλωση μέσω διάλυσης είναι μια διαδικασία καθαρισμού με την οποία το πολυμερές που περιέχεται σε μικτά πλαστικά απόβλητα διαλύεται εκλεκτικά σε ένα διαλύτη, επιτρέποντας την απομόνωσή του από τα απόβλητα και την ανάκτησή του σε καθαρή μορφή χωρίς να αλλάζει η χημική του φύση. Σε αντίθεση με άλλες χημικές διαδικασίες ανακύκλωσης, σε αυτή την περίπτωση, το πολυμερές δεν διασπάται ούτε τροποποιείται. Αντίθετα, χρησιμοποιούνται διαλύτες για τον διαχωρισμό των πολυμερών από τα πρόσθετα ή τους ρύπους. Υπάρχουν ήδη αρκετά βιομηχανικά παραδείγματα αυτής της τεχνολογίας και εφαρμόζονται σε διάφορα πολυμερή, όπως το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πολυστυρένιο (PS), το πολυαμίδιο (PA) ή το πολυπροπυλένιο (PP), για να διαχωριστούν από τα μικτά απόβλητα, που αποτελούνται από πολλά υλικά (Patel, 2024).

Η διάλυση ή φυσική ανακύκλωση αποτελεί έναν τρόπο ανακύκλωσης πλαστικών αποβλήτων. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα ταξινομημένα πλαστικά απόβλητα διαλύονται χρησιμοποιώντας διαλύτες για να διαχωρίσουν τα πολυμερή και να δημιουργήσουν νέα ανακυκλωμένα πλαστικά προϊόντα. Στην Εικόνα 17 διακρίνεται η χημική διαδικασία ανακύκλωσης που ονομάζεται διάλυση ή φυσική ανακύκλωση.



Εικόνα 17. Διαδικασία διάλυσης ή φυσικής ανακύκλωσης

(Πηγή: European Chemical Industry Council, 2024)

Η διαδικασία ανακύκλωσης με διάλυση ξεκινά με ένα αρχικό βήμα, όπου τα πλαστικά απόβλητα ταξινομούνται και προετοιμάζονται για περαιτέρω επεξεργασία. Η διαδικασία διάλυσης χρησιμοποιεί θερμότητα και διαλύτες για να διαλύσει το πλαστικό σε ένα διάλυμα πολυμερών και προσθέτων από τα οποία παρασκευάστηκε. Στο επόμενο βήμα, τα πρόσθετα απομονώνονται από τα πολυμερή πριν να απομακρυνθούν από το διάλυμα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διάλυσης, η δομή του πολυμερούς δεν αλλοιώνεται. Σε ένα τελικό βήμα, αναμειγνύονται νέα πρόσθετα με τα πολυμερή για την παραγωγή του νέου ανακυκλωμένου πλαστικού (Quantis & Cefic, 2020).

7.2.4 Οργανική ανακύκλωση

Η οργανική ανακύκλωση ορίζεται ως η ελεγχόμενη μικροβιολογική διαχείριση των βιοδιασπώμενων πλαστικών αποβλήτων υπό αερόβιες συνθήκες (κομποστοποίηση) ή αναερόβιες συνθήκες (βιοαεροβική αναγωγή σε βιοαέριο). Ισχύει για συγκεκριμένα πολυμερή που μπορούν να μετατραπούν, υπό τη δράση των μικροοργανισμών, σε σταθεροποιημένα οργανικά υπολείμματα, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και νερό. Τα βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά, σχεδιασμένα να υποστηρίζουν τη φυσική διάσπαση, υπόκεινται στη δράση των μικροοργανισμών κατά τη διάρκεια της οργανικής ανακύκλωσης. Η ανακύκλωση οργανικών πλαστικών συμβάλλει στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τη μέθοδο της ανακατεύθυνσης αυτών των υλικών που είναι εντελώς διαφορετική από τις συμβατικές ροές απορριμμάτων. Η εκμετάλλευση της βιοαποικοδομημένης φύσης τους επιτρέπει την παραγωγή αξιόλογων πόρων, μειώνοντας την εξάρτηση από τη συμβατική παραγωγή πλαστικού

από ορυκτά καύσιμα (European Chemical Industry Council, 2024). Στον Πίνακα 1 επεξηγείται η σύγκριση μηχανικής και χημικής ανακύκλωσης.

Πίνακας 1. Σύγκριση Μηχανικής και Χημικής ανακύκλωσης

Μέθοδοι	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Μηχανική	<ul style="list-style-type: none"> • Είναι η πιο απλή διαδικασία για την ανακύκλωση με σύνθετα υλικά, και είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για πολυμερή ενισχυμένα με ίνες (FRP), όπου η θραύση των ινών επιτυγχάνεται μέσω τεμαχισμού. • Οι εγκαταστάσεις ανακύκλωσης είναι απλές και οικονομικές, χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια και πόρους από τις χημικές ή φυσικές διαδικασίες ανακύκλωσης. 	<ul style="list-style-type: none"> • Το μειωμένο ιξώδες τήγματος οφείλεται σε αποπολυμερισμό μέσω υδρόλυσης και θερμότητας. • Η δημιουργία κυκλικών και γραμμικών oligομερών επηρεάζει την εκτυπωσιμότητα και τη δυνατότητα βαφής του τελικού προϊόντος.
Χημική	<ul style="list-style-type: none"> • Οι μεγαλύτεροι ρυθμοί παραγωγής του μονομερούς με μικρότερο χρόνο αντίδρασης. • Μεγαλύτερες δυνατότητες κερδοφορίας μέσω της εφαρμογής νέων υλικών. • Πιο οικονομικές προσεγγίσεις για σύνθετα υλικά ανακύκλωσης με υψηλή απόδοση. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ακριβή επένδυση στην ανάπτυξη τεχνικών υποδομών/διαδικασιών. • Σκοπιμότητα βιομηχανικής κλίμακας που δεν έχει ακόμη πλήρως αναπτυχθεί. • Απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

Η ζήτηση σε υλικά είναι σχεδόν αδύνατο να ικανοποιηθεί μόνο με τη μηχανική ανακύκλωση. Επομένως, έρχεται στο προσκήνιο η χημική ανακύκλωση πλαστικού, η οποία μπορεί να παίξει ένα συμπληρωματικό ρόλο στη μηχανική ανακύκλωση. Αν και αυτές οι διαδικασίες έχουν απαιτήσεις ποιότητας για την πρώτη ύλη σε ανακυκλωμένο υλικό, είναι γενικά ικανές να χειριστούν περισσότερα μικτά και μολυσμένα πλαστικά, και κυρίως μεμονωμένα φιλμ και εύκαμπτα υλικά που είναι πιθανό να έχουν

υψηλότερες περιεκτικότητες σε προσμείξεις από προϊόντα. Καθώς αυτές οι διαδικασίες "διασπών" τα πλαστικά ξανά στα βασικά χημικά στοιχεία για την παραγωγή νέων πλαστικών, το χημικά ανακυκλωμένο υλικό μετατρέπεται αποτελεσματικά ξανά σε πρώτες ύλες, όπου μερικά από τα τελικά υλικά είναι ικανά να έρθουν σε επαφή με τα τρόφιμα. Αυτό σημαίνει ότι η χημική ανακύκλωση έχει σημαντική συμβολή για την παραγωγή υψηλότερου επιπέδου ανακυκλωμένου υλικού σε αυτές τις ευαίσθητες εφαρμογές συσκευασίας. Η συνεισφορά αυτή βρίσκεται επί του παρόντος υπό συζήτηση (Quantis & Cefic, 2020; European Chemical Industry Council, 2024).

Λόγω της δυνατότητας της χημικής ανακύκλωσης να προσφέρει λύσεις για περισσότερο διαφοροποιημένες και χαμηλότερης ποιότητας πρώτες ύλες ενώ παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα για παραγωγή υψηλής ποιότητας, έχει χαρακτηριστεί από κάποιους ως το "χαμένο κομμάτι" που απαιτείται για την επίτευξη μιας πραγματικά κυκλικής οικονομίας για τα πλαστικά. Οι δύο τεχνολογίες δηλαδή η μηχανική και η χημική ανακύκλωση είναι ουσιαστικά συμπληρωματικές. Είναι αλήθεια ότι μια μελλοντική καινοτομία στη διαδικασία της μηχανικής ανακύκλωσης θα μπορούσε να δημιουργήσει κάποια περιθώρια συνδυασμού των δύο τεχνολογιών. Ωστόσο, ακόμα και ενδιαφερόμενοι φορείς, που είναι σκεπτικοί σχετικά με τον κίνδυνο του "ανταγωνισμού" των δυο τεχνολογιών, αναγνωρίζουν συχνά τον δυνατό ρόλο της χημικής ανακύκλωσης ως μια "επιπλέον" λύση επεξεργασίας για τα πλαστικά απόβλητα που διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν (Davidson, 2023).

7.3 Τεχνικές για την αφαίρεση μελανιού από τυπωμένο πλαστικό φιλμ

Ένα από τα στοιχεία που εμποδίζει την κλειστού κύκλου ανακύκλωση της εύκαμπτης συσκευασίας είναι η παρουσία των μελανιών εκτύπωσης. Η πλαστική συσκευασία συνήθως εκτυπώνεται σε μεγάλο μέρος της με μελάνια μέσω διαφορετικών τεχνολογιών εκτύπωσης. Τα μελάνια εκτύπωσης παρέχουν στην πλαστική συσκευασία διάφορα λειτουργικά οφέλη, όπως οι πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση, την παρουσία αλλεργιογόνων και τα διατροφικά στοιχεία, και καθιστούν τη συσκευασία οπτικά πιο ελκυστική για τους καταναλωτές για σκοπούς μάρκετινγκ. Ωστόσο, αν και τα μελάνια φαίνεται να είναι απαραίτητο συστατικό της πλαστικής συσκευασίας,

αποτελούν σημαντική πηγή μόλυνσης στην ανακύκλωση πλαστικού. Διότι όλα τα εκτυπωμένα πλαστικά φιλμ συλλέγονται και επεξεργάζονται μαζί. Αυτό προκαλεί χαμηλής ποιότητας ανακυκλώσιμα υλικά με καφέ, γκρι ή μαύρη απόχρωση, καθιστώντας τα κατάλληλα μόνο για συσκευασίες προϊόντων χαμηλότερης ποιότητας. Η παρουσία μελανιών τείνει να καθιστά τα ανακυκλωμένα φιλμ λιγότερο σκληρά και αδύναμα συγκριτικά με το αρχικό υλικό. Επιπλέον, κατά την επανεπεξεργασία, τα υπολείμματα των μελανιών μπορεί επίσης να παράγουν αέρια, προκαλώντας τη δημιουργία δυσάρεστων οσμών και μειώνοντας τις φυσικές ιδιότητες της πρώτης ύλης. Επομένως, η αξία των ανακυκλωμένων φιλμ που περιέχουν μελάνια είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτήν των διαφανών φιλμ. Για να εξαιρεθούν αυτά τα προβλήματα και να επιτευχθούν ανακυκλώσιμα υλικά υψηλής ποιότητας, αυξάνεται το ενδιαφέρον για τεχνολογίες αφαίρεσης των μελανιών (Ügdüler, et al., 2023).

Για την αποτελεσματική αφαίρεση των μελανιών, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι τα κύρια συστατικά των μελανών εκτύπωσης είναι ρητίνες, διαλύτες, χρωστικές ουσίες και πρόσθετα. Οι ρητίνες είναι πολυμερή υψηλού μοριακού βάρους που αποτελούν το 15–50 % της σύνθεσης των μελανών, και λειτουργούν ως συνδετικό για τη σταθεροποίηση των χρωστικών και επίσης για την πρόσφυση στο υπόστρωμα. Οι διαλύτες αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της σύνθεσης του μελανιού (έως και 65 %), και χρησιμοποιούνται για να διαλύσουν τις ρητίνες και να διατηρήσουν το μελάνι σε υγρή κατάσταση για να επιτρέψουν την κατάλληλη μεταφορά του μελανιού. Οι χρωστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για να δώσουν το επιθυμητό χρώμα στην πλαστική συσκευασία αποτελούν το 5–30 % της σύνθεσης των μελανιών. Εκτός από τις χρωστικές ουσίες, χρησιμοποιούνται λάκες ή αστάρια εκτύπωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν λάμψη και προστασία στο εκτυπωμένο υπόστρωμα. Τα πρόσθετα χρησιμοποιούνται γενικά έως και 10 % για τη βελτίωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των μελανιών, όπως η πρόσφυση, η αντίσταση στην τριβή και η αντοχή στη χάραξη. Η σύνθεση των συστατικών των μελανιών μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τη διαδικασία εκτύπωσης και το υπόστρωμα. Για παράδειγμα, τα μελάνια που έχουν ως βάση τους διαλύτες χρησιμοποιούν οργανικούς διαλύτες για να διαλύσουν τις πολυμερείς ρητίνες και προτιμώνται σε εφαρμογές όπου η επαρκής υγρασία και η πρόσφυση στο υπόστρωμα είναι κρίσιμης σημασίας. Αντίθετα, τα μελάνια με βάση το νερό στεγνώνουν μέσω της εξάτμισης του υγρού

μέσου και απαιτούν άλλα είδη ρητινών, όπως ακρυλικές ρητίνες. Αυτή η εκτεταμένη ποικιλία στις συνθέσεις των μελανιών αυξάνει την πολυπλοκότητα της ανακύκλωσης, ειδικά της διαδικασίας αφαίρεσης μελανιών (Horodytska, 2018; Ügdüler, et al., 2023).

Η διαδικασία αφαίρεσης μελανών είναι μια διαδικασία καθαρισμού, που επιτυγχάνεται μέσω θερμού διαλύματος, συνήθως χρησιμοποιώντας αλκαλικά συστατικά με απορρυπαντικό. Το εκτυπωμένο υλικό συσκευασίας αφού έχει κοπεί σε μικρότερα κομμάτια τοποθετείται στο διάλυμα και αναδεύεται. Αυτό αφαιρεί τα στρώματα μελανιού από το πλαστικό υλικό. Το μελάνι που ξεπλένεται αφαιρείται μικρά κομμάτια και μπορεί να απομονωθεί εύκολα με φιλτράρισμα. Στη συνέχεια, το πλαστικό ξεπλένεται και καθαρισμένο από οποιαδήποτε κατάλοιπα μελανιών, μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακυκλώσιμου υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά στη συσκευασία. Το διάλυμα πλυσίματος μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ξανά αν είναι αρκετά καθαρό ενώ όταν υπάρχουν κάποια όρια σε ορισμένα είδη μόλυνσης, το διάλυμα πλυσίματος απορρίπτεται. Ο στόχος είναι το διάλυμα πλυσίματος να παραμένει σε καλή κατάσταση, ώστε τα σωματίδια των μελανιών να μπορούν να διαχωριστούν, και το πλαστικό υλικό να μπορεί να ανακτηθεί και να ανακυκλωθεί (Packaging Europe, 2022).

Αυτή η διαδικασία λειτουργεί αποτελεσματικά για υλικά συσκευασίας με επιφανειακή εκτύπωση, όπως θερμοσυστελλόμενες ετικέτες. Ωστόσο, η πρόκληση παραμένει, καθώς η πλειονότητα της εύκαμπτης συσκευασίας δεν είναι επιφανειακά εκτυπωμένη, αλλά λαμιναρισμένη. Τα μελάνια φλεξογραφίας UV και οι επικαλύψεις δύο συστατικών δεν μπορούν να αφαιρεθούν ικανοποιητικά. Πριν από την αφαίρεση των μελανιών από ένα λαμιναρισμένο υλικό, αυτό πρέπει να διαχωριστεί στα μέρη που το αποτελούν, δηλαδή να ξεκολλήσει και να ανοιχτεί. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι η αφαίρεση μελανιού δεν θέτει σε κίνδυνο οποιαδήποτε άλλη προδιαγραφή συσκευασίας (Packaging Europe, 2022). Στην Εικόνα 18 διακρίνονται τα στάδια αφαίρεσης μελανιών από πλαστικά φιλμ.



Εικόνα 18. Στάδια αφαίρεσης μελανιών από πλαστικά φιλμ

(Πηγή: Siegwirk Druckfarben)

Η αφαίρεση μελανιών από πλαστικές μεμβράνες αποτελεί μια κρίσιμη προεπεξεργασία για την απόκτηση καθαρών και υψηλής ποιότητας πρώτων υλών από εύκαμπτες πλαστικές συσκευασίες. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της αφαίρεσης των μελανιών εξαρτάται σημαντικά από το μέσο που χρησιμοποιείται λόγω της μεγάλης ποικιλίας των ρητινών που εφαρμόζονται στα διαφορετικά μελάνια εκτύπωσης.

7.4 Συμπεράσματα σχετικά με την ανακύκλωση πλαστικών

Τα δεδομένα που παρουσιάζονται αναδεικνύουν τη σοβαρότητα του προβλήματος των πλαστικών αποβλήτων και την ανάγκη για λήψη αποτελεσματικών μέτρων. Προβλέπεται ότι η παγκόσμια παραγωγή θερμοπλαστικών θα ανέλθει σε 445,25 εκατομμύρια μετρικούς τόνους το 2025, ενώ τις επόμενες δεκαετίες αναμένεται να

συνεχίσει να αυξάνεται, φθάνοντας σε περίπου 590 εκατομμύρια μετρικούς τόνους έως το 2050. Αυτό θα σήμαινε μια αύξηση μεγαλύτερη από 30% σε σύγκριση με το 2025. Μεταξύ 2010 και 2020, η παγκόσμια παραγωγή πλαστικών αυξήθηκε από 270 εκατομμύρια μετρικούς τόνους σε σχεδόν 370 εκατομμύρια μετρικούς τόνους. Η συνολική ανακύκλωση παραμένει ακόμα σε πολύ χαμηλά επίπεδα, με μόνο το 7% των πλαστικών αποβλήτων να ανακυκλώνεται. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι η ανακύκλωση αποτελεί καίριο βήμα για την αειφόρο διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Jaganmohan, 2024).

Οι διάφορες μέθοδοι ανακύκλωσης, όπως η μηχανική, η χημική, και η θερμική ανακύκλωση, παίζουν ουσιαστικό ρόλο στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Η βελτιωμένη συλλογή και ταξινόμηση αποτελούν ουσιώδεις παράγοντες, ενώ η ανακύκλωση πλαστικών υλικών συμβάλλει στη μείωση της εξάντλησης φυσικών πόρων και των εκπομπών CO₂.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανακύκλωση θερμοπλαστικών για την παραγωγή ευκάμπτων φιλμ συσκευασίας. Τα θερμοπλαστικά φιλμ μπορούν να παραχθούν από ανακυκλωμένα υλικά, συμβάλλοντας στην περαιτέρω ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας. Η προτίμηση για ανακυκλωμένα υλικά ενισχύει την αειφορία και προωθεί πρακτικές που σέβονται το περιβάλλον.

Συνολικά, η ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη μετάβαση προς μια βιώσιμη, κυκλική οικονομία. Η συνεισφορά της στη μείωση των αποβλήτων, τη διατήρηση των φυσικών πόρων, και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι αναμφισβήτητη. Η βιομηχανία συσκευασίας, μέσω της προτίμησης για ανακυκλωμένα υλικά, ενθαρρύνει την αειφορία και συμβάλλει ενεργά στην προαγωγή της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η ενίσχυση της βιωσιμότητας και η μετάβαση προς μια βιώσιμη και κυκλική οικονομία στον τομέα των πλαστικών απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια, στρατηγικό προσανατολισμό και σημαντικές επενδύσεις σε συστήματα και τεχνολογίες, που μπορούν να διευκολύνουν τη μετάβαση σε μια νέα πραγματικότητα μηδενικής

απόθεσης πλαστικών απορριμμάτων. Είναι αναγκαία η εστίαση στην αντιμετώπιση των τεράστιων προκλήσεων που προκύπτουν από τη διαχείριση των αποβλήτων, την προώθηση της κυκλικότητας και την εξάλειψη των πλαστικών απορριμμάτων από το περιβάλλον. Στόχος είναι η ανάπτυξη τεχνολογιών ανακύκλωσης, η βελτίωση των σχεδίων συλλογής και η ανάπτυξη πρωτοβουλιών, που ενθαρρύνουν τη βιώσιμη χρήση των πλαστικών. Με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας, τα πλαστικά μπορούν να ανακυκλώνονται και να χρησιμοποιούνται εκ νέου ακόμη και από δευτερογενή ανακυκλωμένα υλικά, συμβάλλοντας σημαντικά στην εξοικονόμηση πόρων και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Pauer et al., 2020; Ahmad Qamar, et al., 2020).

8 Τεχνικές ανακύκλωσης χαρτιού

Το σύνολο των καταναλωτών χρησιμοποιούν καθημερινά προϊόντα από χαρτί, όπως το πακέτο του αγαπημένου μας δημητριακού και το κουτί για γάλα που είναι από χαρτόνι. Αν ωστόσο κάτι λερωθεί από το γάλα, θα καθαρίσει εύκολα με μια χαρτοπετσέτα. Τα οφέλη από τη χρήση προϊόντων από χαρτί είναι τεράστια και συνεπώς θα πρέπει να ενισχυθεί η παραγωγή τους με βιώσιμους τρόπους αν και το χαρτί αποτελεί ένα από τα πιο ευρέως ανακυκλώσιμα υλικά στον κόσμο.

Τις τελευταίες τεσσεράμισι δεκαετίες, η κατανάλωση χαρτιού αυξήθηκε παγκοσμίως κατά 400%, οδηγώντας σε αποψίλωση των δασών, ενώ το 35% των δέντρων που κόβονται χρησιμοποιείται για την παραγωγή χαρτιού. Παρά το γεγονός ότι αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην παγκόσμια οικονομία, η χαρτοβιομηχανία αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως χαμηλά περιθώρια κέρδους και υψηλές αρχικές επενδύσεις. Οι οικονομικές πιέσεις προκύπτουν από τον ανταγωνισμό για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών, επηρεάζοντας τα περιθώρια κέρδους (McGuire, 2022).

Η χαρτοβιομηχανία υφίσταται συνεχή πίεση για να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές επιπτώσεις της στο νερό και τον αέρα. Για τον λόγο αυτό, η χαρτοβιομηχανία εμπλέκεται στον προϋπολογισμό των δαπανών και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της παραγωγής της και της αποκατάστασης των επιπτώσεων στο περιβάλλον λόγω των υλικών και των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή. Τα είδη χαρτιού στην αγορά περιλαμβάνουν από μαλακό χαρτί για γραφή και εκτύπωση έως χαρτόνι για αποθήκευση και συσκευασία. Το χαρτόνι παράγεται κυρίως από ανακυκλωμένο χαρτί. Έχει υψηλή αντοχή και παρέχει αντίσταση στην φθορά κι επομένως εκτιμάται ιδιαίτερα στη βιομηχανία συσκευασίας. Τα κουτιά από χαρτόνι αποτελούν την κύρια πηγή εσόδων της βιομηχανίας συσκευασίας. Η ζήτηση για συσκευασίες από χαρτόνι σε αυτόν τον τομέα ήταν περίπου 46 εκατομμύρια τόνοι ετησίως μόνο στην Ευρώπη (Packaging Europe, 2023).

Η ανακύκλωση του χαρτονιού είναι οικονομικά και οικολογικά βιώσιμη, καθώς μεγάλες ποσότητες χαρτιού μπορούν να παραχθούν χρησιμοποιώντας λιγότερη

ενέργεια και πρώτες ύλες. Το χαρτόνι παράγεται με τον ίδιο τρόπο με το μαλακό χαρτί. Αρχικά, για να παραχθούν ανακυκλωμένα προϊόντα χαρτιού, οι παλιές συσκευασίες αποδομούνται σε ξεχωριστά υλικά χρησιμοποιώντας μια σειρά διαδικασιών παραγωγής. Αρχικά, τα λειτουργικά υλικά πλένονται προτού χρησιμοποιηθούν ξανά στη γραμμή παραγωγής. Κατά το τέλος της διαδικασίας, ένα νέο προϊόν παράγεται συνδυάζοντας ανακυκλωμένα υλικά. Κατά μέσο όρο, το 58% των αποβλήτων χαρτιού ανακυκλώνεται παγκοσμίως. Σε ορισμένες από τις πιο ανεπτυγμένες χώρες, η ανακύκλωση των αποβλήτων χαρτιού έχει αυξηθεί ακόμη και στο 70% έως 75% του συνολικού όγκου των αποβλήτων χαρτιού. Με τη βελτίωση της υποδομής ανακύκλωσης αποβλήτων, οι ανεπτυγμένες χώρες θα μπορούσαν να επιτύχουν υψηλότερο ποσοστό ανακύκλωσης του χαρτιού, αυξάνοντας έτσι και τον παγκόσμιο μέσο όρο ανακύκλωσης του χαρτιού. Η Ευρώπη έχει το υψηλότερο ποσοστό ανακύκλωσης χαρτιού στον κόσμο, η Βόρεια Αμερική βρίσκεται στη δεύτερη θέση, ενώ η Ασία, η Λατινική Αμερική και η Αφρική έχουν τα χαμηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης παγκοσμίως. Στην Ευρώπη, το χαρτί ανακυκλώνεται περισσότερο μετά την επεξεργασία, ακολουθούμενο από τα μέταλλα και το γυαλί, ενώ το αλουμίνιο βρίσκεται στην τρίτη και τέταρτη θέση (Orallo, 2022; Global Recycling, 2023).

Η Ευρώπη είχε θέσει ως στόχο να ανακυκλώνει το 74% των αποβλήτων χαρτιού μέχρι το 2020. Ήδη το 2017, ανακυκλώθηκε το 72,3% του συνολικού όγκου αποβλήτων χαρτιού στην Ευρώπη, και το 2016 αυτό το ποσοστό έφθασε στο 72%. Ωστόσο, η δυσκολία στην επίτευξη του στόχου οφείλεται στη μεγάλη ζήτηση για συσκευασίες από χαρτί, καθώς και στην αυξανόμενη ζήτηση για συσκευασίες με περισσότερα υλικά, όπως οι συσκευασίες ποτών που περιέχουν χαρτί, πλαστικό και αλουμίνιο. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι υπάρχουν είδη αποβλήτων χαρτιού που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν, όπως τα φίλτρα του καφέ. Συνυπολογίζοντας αυτά τα μη ανακυκλώσιμα απόβλητα, εκτιμάται θεωρητικά ότι το μέγιστο ποσοστό ανακύκλωσης μπορεί να φθάσει το 78% αντί για το 100%. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η ζήτηση για πιο περίπλοκες συσκευασίες, τόσο περισσότερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην ταξινόμηση των αποβλήτων συσκευασίας (Confederation of European Paper Industries, 2017).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση συνεχίζει να υιοθετεί μέτρα για τη βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων ταξινόμησης χαρτιού από την έναρξη της παραγωγής του μέχρι τη χρήση, τη συλλογή και την ανακύκλωσή του, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική ανακύκλωση του χαρτιού και η πιο παραγωγική κυκλοφορία του στην αλυσίδα. Προτεραιότητα δίνεται στον περιορισμό των αποβλήτων, καθώς και στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα της διαδικασίας παραγωγής χαρτιού και χαρτονιού, καθώς και στη συλλογή και ανακύκλωση αυτών των προϊόντων. Φυσικά, σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπου η ανακύκλωση δεν είναι δυνατή, μπορεί να εξεταστούν άλλες επιλογές για την διαχείριση των αποβλήτων. Αυτού του είδους τα μέτρα εξασφαλίζουν ότι η ποσότητα των αποβλήτων που βασίζονται στο χαρτί, και που συνήθως καταλήγουν σε χωματερές, θα μειωθεί και, όπου είναι δυνατόν, θα μπορεί να ανακυκλώνεται.

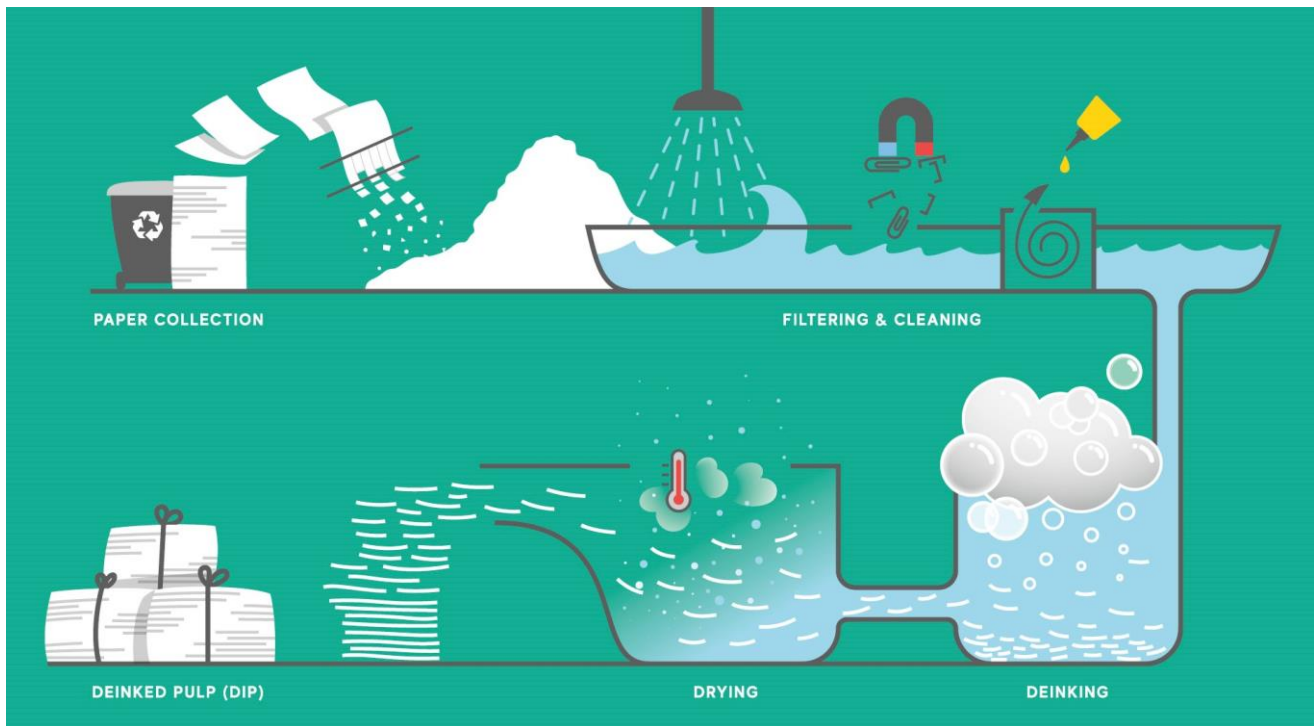
Συνδυάζοντας αυτούς τους δύο στόχους και τις προσπάθειες για τη βελτίωση της ποιότητας του χαρτιού για ανακύκλωση, μπορεί επίσης να γίνει δυνατός ο ενισχυμένος ρόλος της ταξινόμησης του χαρτιού και το ήδη χρησιμοποιημένο χαρτί να καταστεί το κύριο είδος πρώτης ύλης για τη χαρτοβιομηχανία. Διαχωρίζοντας τα ανακυκλώσιμα απόβλητα χαρτιού με βάση τα χαρακτηριστικά τους και συγκρίνοντάς τα με τα χαρακτηριστικά του επιθυμητού τελικού προϊόντος, θα ήταν δυνατό να γίνει η ανακύκλωση των αποβλήτων χαρτιού πιο αποτελεσματική. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο στόχος για υψηλά επίπεδα ανακύκλωσης με σεβασμό προς τους περιβαλλοντικούς νόμους (Orallo, 2022; Packaging Europe, 2022),

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η δυσκολία στην υλοποίηση αυτού του συστήματος ανακύκλωσης οφείλεται τόσο στα μη ανακυκλώσιμα απόβλητα όσο και στις περίπλοκες συσκευασίες, που βασίζονται στο χαρτί. Σε αυτό συμβάλουν επίσης και τα προϊόντα από χαρτί που συλλέγονται μετά την ανακύκλωση αλλά χρησιμοποιούνται έξω από τον κύκλο ανακύκλωσης (Ozola, 2019).

8.1 Απομελάνωση και ανακύκλωση χαρτιού

Η δημιουργία ανακυκλωμένου χαρτιού από απορρίμματα μετά την κατανάλωση απαιτεί ένα περίπλοκο δίκτυο διαδικασιών που περιλαμβάνουν συλλογή, καθαρισμό, απομελάνωση και, τελικά, παραγωγή νέου χαρτιού από τα προηγούμενα απόβλητα. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί λεπτομερώς η διαδικασία της απομελάνωσης, η οποία αποτελεί τη διαδικασία αφαίρεσης των τυπωμένων μελανιών από τα άχρηστα χαρτιά, προκειμένου να μπορέσουν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή νέου χαρτιού.

Βήμα πρώτο: εναιώρημα πολτού. Στη χημεία, το αιώρημα (ή εναιώρημα) αναφέρεται σε ένα ανομοιογενές μίγμα στερεών σωματιδίων που επιπλέουν μέσα σε υγρό ή αέριο περιβάλλον. Επιπλέον, συνήθως αναφέρεται και στο στερεό σωματίδιο που επιπλέει μέσα στο μείγμα (Brady, et al., 2000). Τα απορριπτόμενα άχρηστα χαρτιά συλλέγονται και ταξινομούνται σε διαφορετικές ποιότητες για να ανακυκλωθούν ανάλογα. Για να παραχθούν υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένα χαρτιά, επιλέγονται λευκά άχρηστα χαρτιά, τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται σε κάποιο εργοστάσιο χαρτοπολτού για να καθαριστούν και να απομελανωθούν. Στο πρώτο βήμα, το χαρτί τεμαχίζεται και προστίθεται σε νερό για να σχηματιστεί αυτό που ονομάζεται εναιώρημα πολτού. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, οι ίνες χαρτιού απορροφούν το νερό και διογκώνονται, γεγονός που χαλαρώνει τον δεσμό μεταξύ των σωματιδίων του μελανιού και των ινών. Στη συνέχεια, περνά από μια σειρά από τα στάδια της διήθησης (φιλτραρίσματος) και του καθαρισμού, πριν φτάσει στα πιο σύνθετα μέρη της διαδικασίας απομελάνωσης (Bajrai, 2014; Mondi, 2021). Στην Εικόνα 19 παρουσιάζεται η διαδικασία απομελάνωσης και ανακύκλωσης χαρτιού.



Εικόνα 19. Απομελάνωση και ανακύκλωση χαρτιού

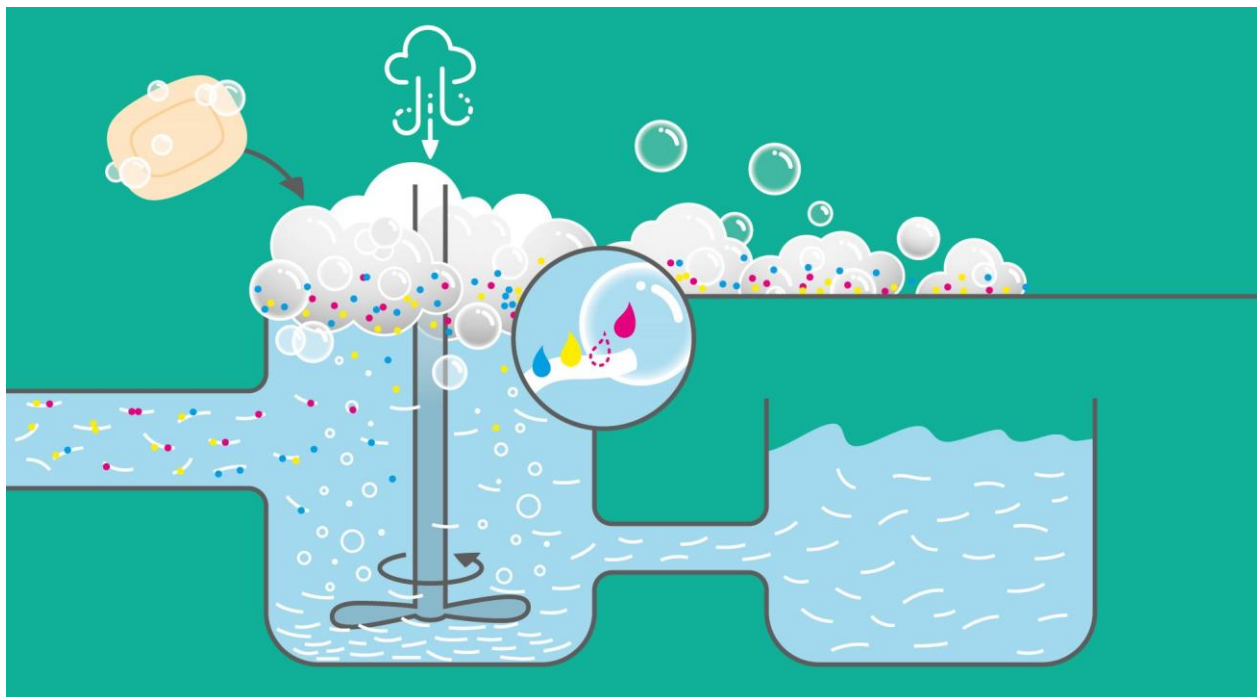
(Πηγή: Mondi)

Η διήθηση είναι απαραίτητη, επειδή σε αυτό το σημείο υπάρχουν ακόμα διάφορες ακαθαρσίες στο μείγμα. Αρχικά, το αιώρημα περνά από φυγοκέντριση για να αφαιρεθεί η κόλλα και από μαγνητικούς διαχωριστές για να απαλλαγεί από τυχόν μεταλλικά στοιχεία πριν φτάσει τελικά στη διαδικασία αιώρησης, όπου και γίνεται η απομάκρυνση του μελανιού και των εκτυπώσεων από τις ίνες του χαρτιού (Mondi, 2021).

8.2 Διαχωρισμός με επίπλευση

Η διαδικασία βασίζεται στο διαχωρισμό των υδρόφοβων υλικών – δηλαδή των ουσιών που απωθούνται από το νερό. Για να γίνει αυτό, προστίθεται σαπυνοδιάλυμα στο μείγμα, το οποίο δεσμεύει και τελικά αφαιρεί τα υδρόφοβα σωματίδια. Οι φυσαλίδες του σαπυνοδιαλύματος συνδέονται με τα σωματίδια αυτά, διευκολύνοντας την διαδικασία διαχωρισμού μέσω της έκπλυσης του μείγματος. Κατά τη διάρκειά της, αέρας εισέρχεται στο δοχείο του αιωρήματος με πίεση, που δημιουργεί αφρώδεις

φυσαλίδες σαπουνιού, στις οποίες προσκολλώνται τα σωματίδια μελανιού και ανεβαίνουν στην επιφάνεια δημιουργώντας ένα σκούρο αφρό. Στην Εικόνα 20 παρουσιάζεται η διαδικασία της έκπλυσης και επίπλευσης ανακυκλωμένου χαρτιού.



Εικόνα 20. Διαδικασία έκπλυσης και επίπλευσης ανακυκλωμένου χαρτιού

(Πηγή: Mondi)

Αυτός ο αφρός συλλέγεται στην επιφάνεια, ενώ οι ίνες του χαρτιού καταβυθίζονται στον πυθμένα. Ο αφρός αφαιρείται μηχανικά από την κορυφή και αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται κατ' επανάληψη σε διάφορα στάδια, καθένα με περισσότερη προσοχή από το προηγούμενο, μέχρι να αφαιρεθεί επιτυχώς όλο το μελάνι. Αυτό το υπόλειμμα αφρού επαναχρησιμοποιείται, για άλλους σκοπούς, όπως παράδειγμα, στη βιομηχανία του τσιμέντου. Ο αφρός γίνεται πιο ελαφρύς από στάδιο σε στάδιο και στο τέλος, απομένει ένας σχετικά λευκός αφρός. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει για όλα τα εκτυπωμένα υλικά. Ο τύπος των μελανιών και η εκτυπωτική τεχνολογία που χρησιμοποιείται επηρεάζουν τη δυνατότητα αφαίρεσης όλης της ποσότητας μελανιού από το εκτυπωμένο προϊόν. Τα παραδοσιακά εργοστάσια αφαίρεσης μελανιών αναπτύχθηκαν για να εξυπηρετούν τα μελάνια offset, καθώς αυτή ήταν η κύρια

διαδικασία εκτύπωσης. Τα κλασικά μελάνια offset εμφανίζουν καλή απόδοση αφαίρεσης, αυτό δεν ισχύει όμως για τις νεότερες εκτυπωτικές διαδικασίες και μελάνια, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν σύνθετα προβλήματα. Επίσης, το χαρτί που χρησιμοποιείται επηρεάζει το αποτέλεσμα, κι έτσι μελετώνται νέα είδη από ειδικά επεξεργασμένα χαρτιά που μπορούν να βελτιώσουν τη δυνατότητα αφαίρεσης μελανιών που με άλλα υποστρώματα εκτύπωσης θα ήταν δύσκολο να αφαιρεθούν (Karademir, et al., 2018). Όταν το μείγμα είναι πλέον λευκό, το υλικό μπορεί να προχωρήσει στο τελευταίο βήμα, περνώντας μέσα από ένα σύστημα διασποράς, το οποίο απαλλάσσει το μείγμα από οποιαδήποτε υπολείμματα που δεν αιωρούνται. Το υπολειπόμενο προϊόν είναι γνωστό ως DIP, το οποίο είναι συντομογραφία του deinked pulp. Η παραγωγή ανακυκλωμένου χαρτιού από DIP γίνεται όπως ακριβώς η παραγωγή χαρτιού από παρθένες ίνες (Mondi, 2021).

8.3 Συμπεράσματα σχετικά με την ανακύκλωση του χαρτιού

Η δημιουργία ανακυκλωμένου χαρτιού περιλαμβάνει πολύπλοκες διαδικασίες, όπως η συλλογή, ο καθαρισμός, η απομελάνωση και η παραγωγή νέου χαρτιού από προηγούμενα απόβλητα. Συγκεκριμένα, η απομελάνωση αποτελεί ένα κρίσιμο βήμα, καθώς αφαιρεί τα τυπωμένα μελάνια από τα άχρηστα χαρτιά, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίησή τους. Η διαδικασία απομελάνωσης περιλαμβάνει την προσθήκη εναιωρήματος πολτού στο νερό, καθώς και διάφορα στάδια φιλτραρίσματος και καθαρισμού, προτού το μείγμα περάσει στο στάδιο της έκπλυσης. Με την διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των μελανιών από τις ίνες του χαρτιού, με τη χρήση σαπουνιού και τη δημιουργία αφρού. Το απομελανωμένο προϊόν, μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ανακυκλωμένου χαρτιού, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για χρήση πρωτογενών ινών και συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος.

Η ανακύκλωση του χαρτιού ακολουθεί μια καθιερωμένη διαδικασία συλλογής, ταξινόμησης και απομελάνωσης. Ο διαχωρισμός των απορριμμάτων χαρτιού σε διάφορες κατηγορίες σημαίνει ότι διαφορετικοί τύποι χαρτιού μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν νέα προϊόντα, ελαχιστοποιώντας τη

χρήση των φυσικών πόρων. Μια μεγάλη πρόκληση στη διαδικασία ανακύκλωσης του χαρτιού είναι η έλλειψη πρώτων υλών λόγω της σταθερής μείωσης της διαθεσιμότητας υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένου χαρτιού. Δεδομένου ότι το χαρτί δεν μπορεί να ανακυκλωθεί απεριόριστες φορές, οι πρωτογενείς ίνες παραμένουν αναγκαίες για τη διατήρηση του κύκλου παραγωγής χαρτιού.

9 Τεχνικές ανακύκλωσης αλουμινίου

Τα πλαστικά είναι ένα σημαντικό υλικό για την οικονομία, και η σύγχρονη καθημερινή ζωή είναι αδιανόητη χωρίς αυτά. Κάθε χρόνο παράγονται περίπου 29 εκατομμύρια τόνοι πλαστικών αποβλήτων στην Ευρώπη, με τις συσκευασίες να ανέρχονται περίπου στο 60%, και αυτό το μέγεθος θέτει μεγάλες προκλήσεις στην επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση. Η εύκαμπτη συσκευασία δεν είναι μόνο πλαστική, μπορεί να κατασκευαστεί από ένα υλικό ή από συνδυασμό υλικών όπως χαρτί, πλαστικό και φύλλο αλουμινίου. Η συσκευασία που δημιουργείται με συνδυασμό αυτών των υλικών είναι γνωστή ως συσκευασία πολλαπλών υλικών (Global Aluminium Foil Roller Initiative, 2021).

Η χρήση αλουμινίου στην εύκαμπτη συσκευασία προσφέρει ανθεκτικότητα, προστασία και μεγάλη διάρκεια ζωής στα προϊόντα. Το αλουμίνιο είναι ιδανικό για συσκευασίες τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών λόγω των ιδιοτήτων του που προσφέρουν προστασία από το οξυγόνο, την υγρασία και την υπεριώδη ακτινοβολία. Επιπλέον, το χαμηλό βάρος του αλουμινίου το καθιστά ιδανικό για την εύκαμπτη συσκευασία. Το λαμινάρισμα του αλουμινίου με άλλα υλικά, όπως PET, PP, PE και χαρτί, επιτρέπει τη δημιουργία πολυλειτουργικών συσκευασιών με συνδυασμό διαφορετικών ιδιοτήτων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συσκευασίες που προσφέρουν αντοχή στη διάβρωση, στη διάτρηση και θερμική μόνωση. Το λαμινάρισμα του αλουμινίου με αυτά τα υλικά δημιουργεί εύκαμπτες συσκευασίες που μπορούν να προσαρμοστούν στις ποικίλες ανάγκες των καταναλωτών και της αγοράς (European Aluminium Foil Association, 2020).

Μια βασική δράση της βιομηχανίας που στοχεύει στη διευκόλυνση αυτού του στόχου είναι η πρωτοβουλία Ceflex για μια Κυκλική Οικονομία για Εύκαμπτες Συσκευασίες. Με την Ceflex, η βιομηχανία αναπτύσσει οδηγίες σχεδιασμού για μια κυκλική οικονομία για υλικά εύκαμπτης συσκευασίας. Αυτές οι οδηγίες αξιολογούν τη συμβατότητα των υλικών εύκαμπτης συσκευασίας από πολυαιθυλένιο για μηχανική ανακύκλωση ανάλογα με τις παραμέτρους του σχεδιασμού της συσκευασίας που περιλαμβάνουν και αλουμίνιο. Το αλουμίνιο παραμένει ένα από τα υλικά φραγμού με

την καλύτερη επίδοση όταν εφαρμόζεται σε εύκαμπτες συσκευασίες πολυαιθυλενίου προσφέροντας σε αυτές σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις βαριές και άκαμπτες συσκευασίες. Επιτυγχάνει υψηλή προστασία προϊόντων και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, ενώ απλοποιεί τις απαιτήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας. Με την εφαρμογή της σύγχρονης τεχνολογίας διαχωρισμού στα κέντρα ταξινόμησης και ανακύκλωσης συσκευασιών, το αλουμίνιο εύκολα μπορεί να διαχωριστεί από τα άλλα υλικά συσκευασίας, όπως των εύκαμπτων συσκευασιών αλουμινίου-πολυαιθυλενίου (Ceflex, 2020).

Η κύρια πρόκληση σήμερα είναι ότι ακόμα και σε περιβάλλοντα προηγμένης ανακύκλωσης, μόνο ένα μέρος του αλουμινίου που προορίζεται για τη συσκευασία, ανακυκλώνεται. Με βάση τη Δέσμευση της Παγκόσμιας Οικονομίας των Νέων Πλαστικών, απαιτούνται να εφαρμοστούν καλύτερες επιλογές ανακύκλωσης για την ανάκτηση των υλικών από τα απόβλητα συσκευασίας πριν το 2025. Ως εναλλακτική λύση προτείνεται η αντικατάσταση των υλικών φραγμού αλουμινίου με τη χρήση ενός μόνο είδους πολυμερούς ακόμα κι αν αυτό κοστίζει σε απόδοση τη νέα συσκευασία (Global Aluminium Foil Roller Initiative, 2021).

9.1 Ανακύκλωση συσκευασιών με φιλμ αλουμινίου

Η πρακτική της συλλογής, της ανακύκλωσης και της ανάκτησης της συσκευασίας ενός προϊόντος μετά τη χρήση του εξοικονομεί πολύτιμα υλικά και ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση των ποσοστών συλλογής και ανακύκλωσης/ανάκτησης για συσκευασίες αλουμινίου και αλουμινόχαρτου σημαίνει ότι θα γίνει εξοικονόμηση ισοδύναμης ποσότητας πρωτογενούς αλουμινίου ως πρώτης ύλης για τη βιομηχανία. Θα συνεισφέρει επίσης σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς η επεξεργασία του ανακυκλωμένου αλουμινίου απαιτεί 95% λιγότερη ενέργεια σε σχέση με την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ισοδύναμης ποσότητας πρωτογενούς μετάλλου από το βωξίτη ενώ επιπλέον περιορίζονται τεράστιες ποσότητες εκπομπών. Η ανακύκλωση του ανακτηθέντος αλουμινίου μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά την εξάρτησή μας από τους φυσικούς πόρους και να εξασφαλίσει ότι αυτοί χρησιμοποιούνται αποδοτικά και αποτελεσματικά. Είναι γνωστό ότι το αλουμίνιο είναι πλήρως ανακυκλώσιμο και πολλαπλές φορές, χωρίς καμία απώλεια της ποιότητάς του.

Περίπου το 75% όλου του αλουμινίου που έχει παραχθεί μέχρι σήμερα βρίσκεται ακόμα σε παραγωγική χρήση. Η ανακύκλωση του αλουμινίου μπορεί να είναι σε εφαρμογές με βραχυπρόθεσμη χρήση (π.χ. συσκευασία) και εφαρμογές με μακροπρόθεσμη χρήση (π.χ. κατασκευές). Στις μέρες μας, όλο και περισσότερες συσκευασίες αλουμινίου, συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών αλουμινόχαρτου, συλλέγονται και ανακυκλώνονται. Στην Ευρώπη, το μέσο ποσοστό ανακύκλωσης του αλουμινίου στις συσκευασίες εκτιμάται στο περίπου 55% (European Aluminium Foil Association, 2020).

Στην Ευρώπη πολλές εταιρίες ανακύκλωσης αλουμινίου χρησιμοποιούν διαδικασίες πυρόλυσης, δηλαδή επεξεργάζονται τα απορρίμματα αλουμινίου με θερμικά και μηχανικά μέσα, με έναν αποδοτικό και περιβαλλοντικά φιλικό τρόπο, κατά τον οποίο αξιοποιούνται ακόμα και τα αέρια που παράγονται στη διαδικασία. Η σύνθετη αυτή διαδικασία συμβάλλει στην ανακύκλωση της οικονομίας και στους στόχους που, με βάση τη νομοθεσία, πρέπει να επιτευχθούν μέχρι το 2025. Η πυρόλυση είναι μια θερμική διαδικασία κατά την οποία τα οργανικά υλικά μπορούν να διαχωριστούν από το αλουμίνιο χωρίς τη χρήση οξυγόνου. Για την κατεργασία αυτή απαιτούνται θερμοκρασίες μεταξύ 500 και 550 °C, όπου το αλουμίνιο παραμένει ανέπαφο, ενώ απομακρύνονται τα υπόλοιπα υλικά, όπως μελάνια, χαρτί και πλαστικές ετικέτες ή υπολείμματα τροφών. Αυτό που απομένει είναι ένα πολύτιμο ανακυκλώσιμο υλικό, το οποίο μπορεί να επιστρέψει στην παραγωγή. Το οργανικό υλικό που καίγεται μετατρέπεται σε ένα συνθετικό καύσιμο το οποίο, μετά τον καθαρισμό του, επιστρέφει στον κύκλο παραγωγής ως πηγή ενέργειας. Αυτός ο διαρκώς επαναλαμβανόμενος κύκλος επεξεργασίας παράγει ανακυκλωμένο αλουμίνιο με έναν περιβαλλοντικά φιλικό τρόπο (Global Aluminium Foil Roller Initiative, 2021).

Μια επιπλέον διαδικασία ανακύκλωσης περιλαμβάνει τον διαχωρισμό των φιλμ που περιλαμβάνουν πλαστικό και αλουμίνιο. Μέσω διαδικασιών διαχωρισμού πολυμερών και μεταλλικών φύλλων από εύκαμπτα υλικά συσκευασίας, τα εν λόγω υλικά διαχωρίζονται σε δευτερεύουσες πρώτες ύλες χωρίς σημαντική μεταβολή των ιδιοτήτων τους. Ειδικά σχεδιασμένα υδατικά διαλύματα απομάκρυνσης χρησιμοποιούνται για την αποδέσμευση των μεταλλικών και πολυμερών στρωμάτων,

τα οποία στη συνέχεια συλλέγονται και επεξεργάζονται κατάλληλα. Η διαδικασία ανακύκλωσης περιλαμβάνει συνολικά τέσσερα κύρια στάδια:

- Στο στάδιο προεπεξεργασίας, τα εισερχόμενα απόβλητα προ-ταξινομούνται και υποβάλλονται σε άλεση.
- Στο επόμενο στάδιο, χρησιμοποιείται υγρό απομάκρυνσης για να απελευθερώσει τα πολυμερή και μεταλλικά φύλλα. Τα χημικά ανακυκλώνονται, ενώ το αλουμίνιο και τα πολυμερή υλικά καθαρίζονται για αφαίρεση τυχόν υπολειμμάτων.
- Στη συνέχεια, γίνεται διαλογή και ταξινόμηση των υλικών με τη χρήση συνδυασμένων τεχνολογιών που βασίζονται στην πυκνότητα και άλλες ιδιότητες των υλικών.
- Το αλουμίνιο και το πολυαιθυλένιο παραδίδονται σε εταιρίες ανακύκλωσης.

Η εύκαμπτη και η πολλαπλών υλικών συσκευασία συμβάλλουν στη μείωση της απώλειας τροφίμων, καθώς τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτήν τη συσκευασία διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων και την αποτροπή της αλλοίωσης τους. Επιπλέον, ο εν λόγω τύπος συσκευασίας χρησιμοποιεί μια ποικιλία υλικών που την βοηθούν να παραμείνει ανθεκτική και με χαμηλό βάρος, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια και την προστασία του περιεχομένου της (Global Aluminium Foil Roller Initiative, 2021).

10 Επαφή ανακυκλωμένων υλικών συσκευασίας με τρόφιμα

Ως υλικά επαφής με τρόφιμα (Food contact materials / FCMs) ορίζονται όλα τα υλικά και τα αντικείμενα που προορίζονται να έρχονται σε επαφή με τρόφιμα και ποτά ή που πιθανόν θα έρθουν σε επαφή με τρόφιμα ή ποτά. Αυτά περιλαμβάνουν συσκευασίες τροφίμων, εξοπλισμό κουζίνας, σερβίτσια, μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία τροφίμων και αντικείμενα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά τροφίμων. Αυτά τα αντικείμενα μπορούν να είναι φτιαγμένα από διάφορα υλικά, συμπεριλαμβανομένων πλαστικών, ελαστομερών, χαρτιού και μετάλλου.

Έχουν εκφραστεί πολλές ανησυχίες σχετικά με τους κινδύνους για την υγεία που μπορεί να προκαλέσουν τα FCMs κατά την έκθεση των καταναλωτών, καθώς και για την αποτελεσματικότητα της νομοθεσίας της ΕΕ για την διασφάλιση της ασφάλειας αυτών των υλικών. Ο οργανισμός Safe Food Advocacy Europe (SAFE) που είναι υπεύθυνος για αυτό το ζήτημα, επικεντρώνεται στο θέμα της αυξανόμενης χρήσης ανακυκλωμένων πλαστικών και άλλων υλικών σε συσκευασίες που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία μέσω της μεταφοράς στα τρόφιμα επιβλαβών χημικών ουσιών, ενσωματωμένων πριν και/ή κατά τη διάρκεια των διαδικασιών ανακύκλωσης (SAFE, 2020).

10.1 Ανακυκλωμένο Πλαστικό - Συσκευασία Τροφίμων

Τα ανακυκλωμένα πλαστικά μπορούν να οριστούν ως τα υλικά πλαστικής συσκευασίας, που έχουν περάσει μέσα από μια μηχανική διαδικασία ανακύκλωσης, η οποία περιλαμβάνει τα στάδια καθαρισμού, άλεσης, της τήξης, και δημιουργίας νέου κόκκου. Τα ανακυκλωμένα πλαστικά μπορεί επίσης να προέρχονται από χημικές διαδικασίες ανακύκλωσης, που αποτελούνται από τη διάσπαση των πολυμερών πλαστικών σε μονομερή τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέου πολυμερούς υλικού παρόμοιου με αυτό από το οποίο προήλθαν.

Πολλές περισσότερες επικίνδυνες ουσίες είναι πιθανότερο να βρίσκονται σε ανακυκλωμένα πλαστικά σε σύγκριση με τα πρωτογενή πλαστικά. Αυτό οφείλεται

στην επιμόλυνση των υλικών λόγω της προηγούμενης χρήσης τους από τους καταναλωτές, την επιμόλυνση κατά τη συλλογή τους, να οφείλεται επίσης σε περιβαλλοντικούς ρύπους, καθώς και στα τυχόν ελαττωματικά συστήματα ταξινόμησης, που μπορεί να συγκρατούν υλικά που κανονικά απαγορεύεται να ανακυκλωθούν και να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα. Μπορεί συνεπώς να υπάρχουν ανεπιθύμητες και επιβλαβείς ουσίες, όπως φθαλικές ενώσεις, αντιμόνιο, δισφαινόλη Α κ.λπ. Αυτές είναι ουσίες, που μπορεί να εισχώρησαν σε ανακυκλωμένα πλαστικά και να βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σύγκριση με εκείνες στα πρωτογενή υλικά. Μια έρευνα σχετικά με την ανακυκλωμένη συσκευασία από τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) έδειξε ότι παρόλο που το ανακυκλωμένο πλαστικό υπέστη διαδικασίες καθαρισμού, περιείχε ακόμη ίχνη ανόργανων στοιχείων (όπως πυριτίου, ασβεστίου, νατρίου, σιδήρου, μαγνησίου, αλουμινίου, ψευδαργύρου), που δεν επιτρέπεται -σύμφωνα με τους κανονισμούς της ΕΕ- να περιέχονται σε υλικά επαφής με τρόφιμα. Αυτές οι ουσίες εμπίπτουν στους κανονισμούς για ακούσια προστιθέμενες ουσίες (NIAS) (SAFE, 2020).

10.2 Σύμβολα ανακύκλωσης πλαστικού στην Ε.Ε.

Η πράσινη κουκκίδα σε μια συσκευασία δεν σημαίνει απαραίτητα ότι αυτή είναι ανακυκλώσιμη, θα ανακυκλωθεί ή έχει ανακυκλωθεί. Είναι ένα σύμβολο που χρησιμοποιείται στις συσκευασίες σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες και σημαίνει ότι ο παραγωγός έχει συμβάλει οικονομικά στην ανάκτηση και την ανακύκλωση των συσκευασιών στην Ευρώπη. Στην Εικόνα 21 διακρίνεται η πράσινη κουκκίδα.



Εικόνα 21. Η πράσινη κουκκίδα

(Πηγή Design for Cycle)

Ο βρόχος (loop) Mobius, βρίσκεται σε προϊόντα σε όλη την Ευρώπη και υποδεικνύει ότι το προϊόν μπορεί να ανακυκλωθεί. Εκτός από τη χρήση του σε τυπωμένες συσκευασίες, το σύμβολο με τα βέλη εμφανίζεται μερικές φορές σε συσκευασίες από γυαλί, μέταλλο, χαρτί ή πλαστικά προϊόντα. Στην Εικόνα 22 διακρίνεται ο βρόχος (loop) Mobius.



Εικόνα 22. Mobius loop

(Πηγή Design for Cycle)

Ο βρόχος (loop) Mobius με έναν αριθμό στο κέντρο και έναν κωδικό γράμματος υποδεικνύει τον τύπο πλαστικού από τον οποίο είναι κατασκευασμένη η συσκευασία. Το σύμβολο είναι ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο μπορεί να υποδεικνύεται ο τύπος ενός πλαστικού σε ένα προϊόν. Ως μέρος του συστήματος εθελοντικής αναγνώρισης της ΕΕ για τα πλαστικά, σύμφωνα με την απόφαση 97/129/ΕΚ, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα σήματα για τους πιο συνηθισμένους τύπους πλαστικών (European Commission, 2022). Στην Εικόνα 23 διακρίνεται ο βρόχος (loop) Mobius με τον αριθμό πλαστικού υλικού.



Εικόνα 23. Mobius loop με αριθμό

(Πηγή Design for Cycle)

Στον Πίνακα 2 επεξηγούνται οι τύποι πλαστικών που χρησιμοποιούνται συνήθως για ανακύκλωση.

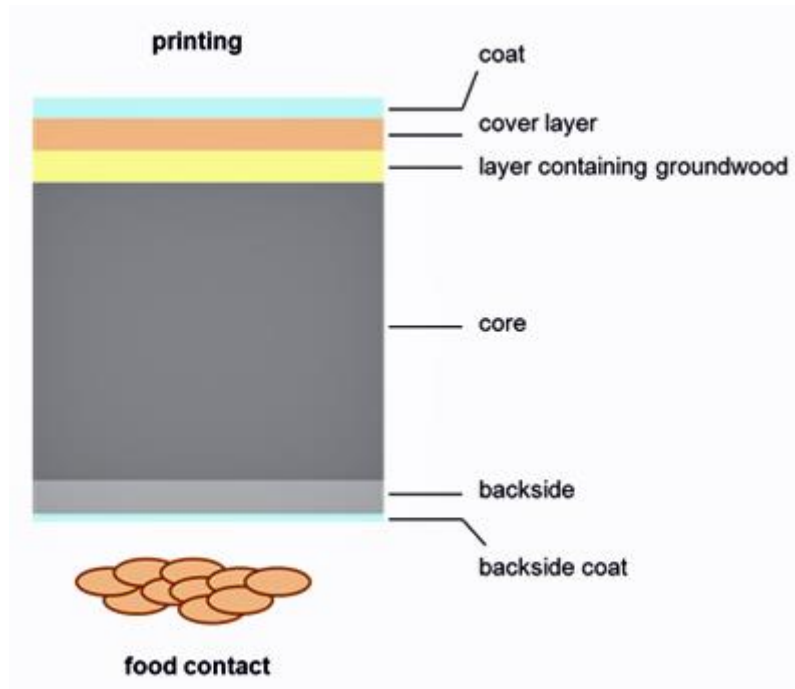
Πίνακας 2. Τύποι πλαστικών που χρησιμοποιούνται συνήθως για ανακύκλωση

(Πηγή Design for Cycle)

EU Number	Συντομευμένη Περιγραφή	Πλήρης Περιγραφή
1	PET	Polyethylene Terephthalate
2	HDPE	High Density Polyethylene
3	PVC	Poly Vinyl Chloride
4	LDPE	Low Density Polyethylene
5	PP	Polypropylene
6	PS	Polystyrene

10.3 Ανακυκλωμένο Χαρτί - Συσκευασία Τροφίμων

Ένα κουτί δημητριακών (Cornflakes) κατασκευασμένο από ανακυκλωμένο χαρτί συνήθως δεν αποτελείται από ένα μόνο στρώμα, αλλά από έως και 8 διαφορετικά στρώματα. Για κάθε στρώμα χρησιμοποιούνται διαφορετικές ποιότητες βασικής πρώτης ύλης. Το πιο λευκό χαρτί χρησιμοποιείται για το εξωτερικό στρώμα, το οποίο αργότερα θα εκτυπωθεί, τα εσωτερικά στρώματα συμπιέζονται και είναι, συνήθως, πιο σκούρα στο χρώμα. Όταν ανοίγεται ένα κουτί, συχνά φαίνεται το γκρι ανακυκλωμένο υλικό στα εσωτερικά στρώματα, ενώ κουτιά από ακατέργαστο υλικό είναι συνήθως κίτρινα ή λευκά. Στην Εικόνα 24 διακρίνονται τα διαφορετικά στρώματα που υπάρχουν συνήθως σε μια χάρτινη συσκευασία.



Εικόνα 21. Ανακυκλωμένο Χαρτί - Συσκευασία Τροφίμων

(Πηγή: Harling, 2021)

Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται, τα διάφορα στρώματα τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο στη μηχανή κατασκευής χαρτοκιβωτίων, όπου συμπιέζονται και στεγνώνουν. Στη συνέχεια, το χαρτόνι επικαλύπτεται με ανθρακικό ασβέστιο και λάτεξ (επίστρωση), προκειμένου να σφραγίσει τους πόρους και να προετοιμάσει το εξωτερικό στρώμα για εκτύπωση. Το χαρτόνι πλάτους έως και 8 μέτρων απλώνεται σε μεγάλα τύμπανα ή κόβεται σε μήκος ενός μέτρου. Στη συνέχεια, το χαρτόνι εκτυπώνεται και βερνικώνεται, αναδιπλώνεται και συναρμολογείται στο σχήμα ενός κουτιού. Τέλος, το περιεχόμενο (στην περίπτωση αυτή τα δημητριακά / cornflakes) συσκευάζονται μέσα σε πλαστική σακούλα και τοποθετούνται μέσα στο κουτί, το οποίο κλείνει στεγανά με κόλλα (Harling, 2021).

Ακόμα και μετά την αναλυτική περιγραφή της παραπάνω παραγωγικής διαδικασίας, η ερώτηση για το από πού προέρχονται οι επιμολύνσεις των τροφίμων δεν είναι πάντα εύκολο να απαντηθεί. Η συσκευασία τροφίμων από ανακυκλωμένο χαρτί μπορεί να αποτελεί μια πιθανή πηγή, καθώς πολλές συσκευασίες χαρτονιού που χρησιμοποιούνται σε τρόφιμα είναι φτιαγμένες από ανακυκλωμένο χαρτί. Αυτές μπορεί να περιέχουν ανεπιθύμητες ουσίες, όπως μελάνια εκτύπωσης ή κόλλες. Σε μια

πρόσφατη έρευνα ανιχνεύτηκε η παρουσία 250 ουσιών που πιθανά οφείλονταν σε μετανάστευση από το ανακυκλωμένο χαρτόνι συσκευασίας. Ωστόσο, ούτε η επιλογή της πρώτης ύλης ούτε η διαδικασία ανακύκλωσης φαίνεται να μπορούν να μειώσουν την ποσότητα των ανεπιθύμητων ουσιών σε αποδεκτό επίπεδο. Η εισαγωγή μιας εσωτερικής πλαστικής μεμβράνης ή ακόμα και η πλαστικοποίηση του χάρτινου κουτιού θα μπορούσε να μειώσει τον κίνδυνο της μετανάστευσης σε ασφαλές επίπεδο (Harling, 2021).

11 Συμπεράσματα

Η ποιότητα και η ασφάλεια των εύκαμπτων συσκευασιών αποτελεί πρόκληση ζωτικής σημασίας για τη βιομηχανία της συσκευασίας. Η προηγούμενη χρήση των ανακυκλωμένων πλαστικών, που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή νέων συσκευασιών, έχει προκαλέσει τον προβληματισμό για την παρουσία επιβλαβών ουσιών, σε επικίνδυνα υψηλά επίπεδα. Αυτό απαιτεί από τους παραγωγούς και μεταποιητές να επενδύουν σε καινοτόμες διαδικασίες ανακύκλωσης και καθαρισμού, καθώς και στην θέσπιση αυστηρότερων κανονιστικών πλαισίων. Η ορθή διαχείριση των παραπάνω απαιτήσεων περιλαμβάνει την ανάγκη για συνεχείς επενδύσεις σε τεχνολογίες καθαρισμού και ελέγχου ποιότητας, καθώς και την ανάπτυξη προγραμμάτων εκπαίδευσης για τους εργαζομένους σε αυτούς τους τομείς.

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και διαδικασιών καθαρισμού δείχνει να είναι μια υποσχόμενη προοπτική για τη μείωση των επιβλαβών ουσιών στα ανακυκλωμένα πλαστικά. Με άλλα λόγια, οι επενδύσεις σε προηγμένα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων και σε τεχνολογίες που επιτρέπουν τον πιο αποτελεσματικό καθαρισμό των υλικών ανακύκλωσης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μείωση του κινδύνου για την υγεία των καταναλωτών.

Επίσης, η αναθεώρηση των νομοθετικών πλαισίων μπορεί να αποτελέσει ένα ακόμα κρίσιμο βήμα προς την ενίσχυση της ασφάλειας των συσκευασιών επαφής με τρόφιμα. Με πιο αυστηρές προδιαγραφές σχετικά με την ανακύκλωση και την παραγωγή των υλικών, η νομοθεσία μπορεί να διασφαλίσει ότι τα προϊόντα που βρίσκονται στην αγορά είναι ασφαλή για τους καταναλωτές. Επίσης αναδεικνύει την ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση των εξελίξεων της νομοθεσίας και την συνεχή ενημέρωση των εργαζομένων για τις νέες απαιτήσεις και τις διαδικασίες συμμόρφωσης.

Το μέλλον της εύκαμπτης συσκευασίας πρέπει επίσης να εστιάσει στην ανάπτυξη και την ευρύτερη χρήση βιοδιασπώμενων και βιο-βασιζόμενων πλαστικών. Αυτά τα υλικά προσφέρουν τη δυνατότητα μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και της εξάρτησης από τους ορυκτούς πόρους. Η ευρύτερη χρήση αυτών των υλικών απαιτεί την ανάπτυξη βιώσιμων διαδικασιών παραγωγής και ανακύκλωσης, καθώς και την υποστήριξη της αγοράς από καταναλωτές και επιχειρήσεις. Με τη σωστή διαχείριση

και τη συνεχή ανάπτυξη και εφαρμογή της καινοτομίας, τα βιοδιασπώμενα και βιο-
βασιζόμενα πλαστικά μπορούν να αποτελέσουν ένα βασικό μέρος για το μέλλον της
εύκαμπτης συσκευασίας, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα και την προστασία του
περιβάλλοντος για τις επόμενες γενιές.

Τέλος, η επίτευξη της βιωσιμότητας στην επεξεργασία των πλαστικών αποβλήτων
προϋποθέτει την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνικών και διαδικασιών. Η επένδυση σε
έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτίωση των διαδικασιών ανακύκλωσης και την
ανάπτυξη νέων υλικών μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποδοτικές και βιώσιμες λύσεις.

Δημοσιεύσεις

Papageorgiou, K., Theochari, S., & Milioris, K. (2023). Sustainable materials in the flexible packaging industry – an overview. *Polimery*, 68(6), 317-322.

<https://doi.org/10.14314/polimery.2023.6.2>

Συμμετοχές σε συνέδρια

Παπαγεωργίου, Κ., Θεοχάρη, Σ. (2022). Το παρελθόν και το μέλλον της εύκαμπτης συσκευασίας, υλικά και εξελίξεις, 6ο Επιστημονικό Συνέδριο, “Ευφυής Συσκευασία: Προοπτικές και Προκλήσεις”, METROPOLITAN EXPO, SYSKEVASIA22, Αθήνα

Papageorgiou, K., Theochari, S., Milioris, K., Panagiotakopoulou, K. (2023). Sustainable materials in the flexible packaging industry, a cumulative review, Athenian Policy Forum International Conference, Energy, Sustainable Development, Money and Finance, University of Piraeus & The American College of Greece, Athens

Αναφορές

- Abrha H, Cabrera J, Dai Y, Irfan M, Toma A, Jiao S, Liu X. (2022). Bio-Based Plastics Production, Impact and End of Life: A Literature Review and Content Analysis. *Sustainability*, 14(8):4855. <https://doi.org/10.3390/su14084855>
- Abukasim, S. M., Zuhria, F., & Saing, Z. (2020). Alternative management of plastic waste. *Journal of Physics: Conference Series*, 1517, 012041. doi:10.1088/1742-6596/1517/1/012041
- Acquavia, M. A., Pascale, R., Martelli, G., Bondoni, M., & Bianco, G. (2021). Natural Polymeric Materials: A Solution to Plastic Pollution from the Agro-Food Sector. *Polymers*, 13(1), 158. <https://doi.org/10.3390/polym13010158>
- Adamcová, D., Radziemska, M., Fronczyk, J., Zloch, J., & Vaverkova, M. D. (2017). Research of the biodegradability of degradable/biodegradable plastic material in various types of environments. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 26(1 [75]).
- Adigun, A. (2016). To investigate the influencing factors for sustainable packaging in a multinational SME supply chain (Doctoral dissertation), University of Salford, <https://salford-repository.worktribe.com/output/1395470>
- Ahmad Qamar, S., Asgher, M., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2020). Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials. *Food Research International*, 109625. doi:10.1016/j.foodres.2020.109625
- Bajpai, P. (2014). Recycling and deinking of recovered paper. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00556-7>
- Becker, L., van Rompay, T. J., Schifferstein, H. N., & Galetzka, M. (2011). Tough package, strong taste: The influence of packaging design on taste impressions and product evaluations. *Food quality and preference*, 22(1), 17-23. doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.06.007

Borealis and Neste begin strategic co-operation to accelerate circularity and bioeconomy in plastics, (2019). <https://www.borealisgroup.com/news/borealis-and-neste-begin-strategic-co-operation-to-accelerate-circularity-and-bioeconomy-in-plastics>, προβολή 18/05/2022

Brady, J. E., Russell, J. W., & Holum, J. R. (2000). *Chemistry: matter and its changes*. ISBN 0471215171

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2011). rotary press. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/rotary-press>, προβολή 24/03/2024

Bukowski, T., & Richmond, M. (2018). A holistic view of the role of flexible packaging in a sustainable world. In *AIMCAL R2R Conf. USA 2018-Roll 2 Roll Web Coat. Finish. with SPE's FlexPackCon*.

Butcher, L. M., Ryan, M. M., O'Sullivan, T. A., Lo, J., & Devine, A. (2019). Food-insecure household's self-reported perceptions of food labels, product attributes and consumption behaviours. *Nutrients*, *11*(4), 828. doi.org/10.3390/nu11040828

Cefic, (2022). Chemical recycling: Enabling plastic waste to become a valuable resource, <https://cefic.org/library-item/cefic-position-paper-on-chemical-recycling>, προβολή 01/02/2024

Ceflex, (2020). Designing for a Circular Economy, <https://guidelines.ceflex.eu/resources/>, προβολή 22/03/2024

Chisenga, S. M., Tolesa, G. N., & Workneh, T. S. (2020). Biodegradable Food Packaging Materials and Prospects of the Fourth Industrial Revolution for Tomato Fruit and Product Handling. *International Journal of Food Science*, 1–17. [doi:10.1155/2020/8879101](https://doi.org/10.1155/2020/8879101)

Circular Plastics Alliance, Guidance on Waste Definitions, (2021). <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/46954/attachments/8/translations/en/renditions/pdf>, προβολή 19/05/2022

Ciriminna, R., & Pagliaro, M. (2019). Biodegradable and Compostable Plastics: A Critical Perspective on the Dawn of their Global Adoption. *ChemistryOpen*, 9(1), 8–13. doi:10.1002/open.201900272

Cocklin, C., & Moon, K. (2020). Environmental Policy. *International Encyclopedia of Human Geography*, 227–233. doi:10.1016/b978-0-08-102295-5.10788-7

Confederation of European Paper Industries, (2017). New 74% paper recycling target set for 2020, <https://www.cepi.org/new-74-paper-recycling-target-set-for-2020/>, προβολή 22/03/2024

Davidson P. (2023). Competing or complementary: the relationship between mechanical and chemical recycling of plastics, UK Circular Plastics Network [https://www.ukcpn.co.uk > uploads > 2023/01](https://www.ukcpn.co.uk/uploads/2023/01/), προβολή 09/02/2024

de Mello Soares, C. T., Ek, M., Östmark, E., Gällstedt, M., & Karlsson, S. (2022). Recycling of multi-material multilayer plastic packaging: Current trends and future scenarios. *Resources, conservation and recycling*, 176, 105905. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105905>

Derprosa Films, focuses on sustainability, (2020). <https://www.derprosa.com/en/derprosa-focuses-on-sustainability/>, προβολή 19/05/2022

Design for Cycle, (2018). Module 1: Introduction to Circular Economy, Erasmus+ European Union, https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/7372168d-877d-4ef9-bad3-f229f64e5108/TRAINING_MATERIALS.pdf, προβολή 24/03/2024

Diez, F. J., Alvariño, C., Lopez, J., Ramirez, C., Abad, M. J., Cano, J., ... & Barral, L. (2005). Influence of the stretching in the crystallinity of biaxially oriented polypropylene (BOPP) films. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 81(1), 21-25.

Digimarc, (2022). The Evolution of Packaging Materials, <https://www.digimarc.com/sites/default/files/content/paragraphs/content-with->

icons/2022-07/digimarc-the-evolution-of-packaging-materials.pdf προβολή
01/08/2023

Dillon, M. (2024). How Does Product Packaging Impact Consumer Buying Behavior?
<https://meyers.com/meyers-blog/how-does-packaging-affect-consumer-behavior/>,
προβολή 15/03/2024

Drobny, J. G., (2020). Applications of Fluoropolymer Films, *In Plastics Design Library*, William Andrew Publishing, Pages 3-38, ISBN 9780128161289,
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816128-9.00001-5>.

E. Naderi Kalali, S. Lotfian, M. Entezar Shabestari, S. Khayatzadeh, C. Zhao, H. Yazdani Nezhad, (2023). A critical review of the current progress of plastic waste recycling technology in structural materials, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100763>.

Environment and Climate Change Canada, Stina. Assessing the State of Food Grade Recycled Resin in Canada & the United States, (2021).
https://www.plasticsmarkets.org/jsfcontent/ECCC_Food_Grade_Report_Oct_2021_jsf_1.pdf προβολή 02/06/2022

European Aluminium Foil Association, (2020). Recycling & Recovery of Aluminium Foil Packaging, <https://www.alufoil.org/recycling-recovery>, προβολή 11/02/2024

European bioplastics, (2020). Bioplastic materials, <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials>, προβολή 15/03/2024

European Chemical Industry Council, (2024). Chemical Recycling: Making Plastics Circular, <https://cefic.org/a-solution-provider-for-sustainability/chemical-recycling-making-plastics-circular/chemical-recycling-via-dissolution-to-plastic/>, προβολή
01/02/2024

European Commission, (2022). Impact Assessment Report, Accompanying the document, Proposal for a Regulation, of the European Parliament and the Council on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020, and repealing

Directive 94/62/EC, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=SWD:2022:384:FIN>, προβολή 24/03/2024

Fatahi, S., Ajji, A., & Lafleur, P. G. (2007). Investigation on the structure and properties of different PE blown films. *International Polymer Processing*, 22(4), 334-345.

Filiciotto, L., & Rothenberg, G. (2020). Biodegradable Plastics: Standards, Policies, and Impacts. *ChemSusChem*, 14(1), 56–72. doi:10.1002/cssc.202002044

Fromm, J. (2017). Why Flavor And Packaging Innovation Matters When Marketing To Millennials, <https://www.forbes.com/sites/jefffromm/2017/08/09/why-flavor-and-packaging-innovation-matters-when-marketing-to-millennials/?sh=d86e1b121865>, προβολή 04/01/2024

Galanakis, C. M. (Ed.). (2015). Food waste recovery: processing technologies and industrial techniques. Academic Press.

Gerke, G. Advanced Recycling and Collaboration Produces ‘Soft Wrapper’ Packaging for Nestlé, *Flexible Packaging Magazine* (2021). <https://www.flexpackmag.com/articles/91256-advanced-recycling-and-collaboration-produces-soft-wrapper-packaging-for-nestl%C3%A9>, προβολή 19/05/2022

Gielens, K., Ma, Y., Namin, A., Sethuraman, R., Smith, R. J., Bachtel, R. C., & Jervis, S. (2021). The future of private labels: towards a smart private label strategy. *Journal of Retailing*, 97(1), 99-115.

Global Aluminium Foil Roller Initiative, (2021). Sorting and Recycling of Aluminium Foil based Laminates – Technologies and New Developments, <https://packaging360.in/insights/sorting-and-recycling-of-aluminium-foil-based-laminates-technologies-and-new-developments/>, προβολή 11/02/2024

Global Recycling, (2023). Magazine for Business Opportunities & International Markets, 9. Volume

Guzman-Puyol, S., Benítez, J. J., & Heredia-Guerrero, J. A. (2022). Transparency of polymeric food packaging materials. *Food Research International*, 111792. doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111792

Hann, S., Scholes, R., Lee, T., Ettliger, S., & Jørgensen, H. (2020). Biobased and Biodegradable Plastics in Denmark. *Industrial Biotechnology*, 16(3), 164–175. doi:10.1089/ind.2020.29213.sha

Harling, A. (2021). A research and “decision support” project of the Federal Ministry for Food, Agriculture and Consumer Protection, https://www.uabw.de/pub/beitrag.asp?subid=1&Thema_ID=3&ID=1769&lang=EN&Pdf=No/, προβολή 22/03/2024

Herdeg, W. (1977). *Packaging- An International Survey of Package Design*, Graphis.

Hook, & Heimlinch. (2007). *A history of packaging*, (Ohio state University).

Horodytska, O., Valdés, F. J., & Fullana, A. (2018). Plastic flexible films waste management—A state of art review. *Waste management*, 77, 413-425. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.023>

Ibrahim, N.I.; Shahar, F.S.; Sultan, M.T.H.; et al. (2021). Overview of Bioplastic Introduction and Its Applications in *Product Packaging*. *Coatings*, 11, 1423. <https://doi.org/10.3390/coatings11111423>

Ivonkovic, A., Zeljko, K., Talic, S., & Lasic, M. (2017). Biodegradable packaging in the food industry. *J. Food Saf. Food Qual*, 68(2), 26-38. doi.org/10.1016/j.crf.2021.07.005.

Jaganmohan, M. (2024). Production forecast of thermoplastics worldwide from 2025 to 2050, <https://www.statista.com/statistics/664906/plastics-production-volume-forecast-worldwide>, προβολή 11/02/2024

Järvelä, T. P. A., & Järvelä, P. K. (1999). Calendering of polypropylene. *Polypropylene: An AZ reference*, 76-80.

Kaipainen, I. (2020). Carbon footprint of bio-based polypropylene via hydrotreatment and steam cracking, *Lahti University of Technology*, <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020120799708>

Kalkowski, J. Advancing Sustainability, *Flexible Packaging Magazine*, (2020). <https://www.flexpackmag.com/articles/90389-advancing-sustainability>, προβολή 19/05/2022

Karademir, A., Aydemir, C., Tutak, D., & Aravamuthan, R. (2018). Printability of papers recycled from toner and inkjet-printed papers after deinking and recycling processes. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 16(2), 76-82. DOI: 10.5301/jabfm.5000386

Kjeldsen, A., Price, M., Lilley, C., Guzniczak, E., & Archer, I. (2018). A review of standards for biodegradable plastics. *Ind. Biotechnol. Innov, Cent*, 33(1).

Leistritz Extrusionstechnik, (2021). Film Extrusion, Extruders and extrusion lines, <https://extruders.leistritz.com/en-row/extrusion/brochures/leistritz-film-extrusion-en.pdf>

Lindner, J., (2023). Flexible Packaging Industry Statistics [Fresh Research], <https://gitnux.org/flexible-packaging-industry-statistics/>, προβολή 05/03/2024

Lindner, J., (2023). Global Packaging Industry Statistics [Fresh Research], <https://gitnux.org/global-packaging-industry-statistics/>, προβολή 15/03/2024

Maes, C., Luyten, W., Herremans, G., Peeters, R., et al. (2018). Recent updates on the barrier properties of ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH): A review. *Polymer Reviews*, 58(2), 209-246. <https://doi.org/10.1080/15583724.2017.1394323>

Mangaraj, S., Yadav, A., Bal, L. M., Dash, S. K., & Mahanti, N. K. (2019). Application of biodegradable polymers in food packaging industry: a comprehensive review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3(1), 77-96. <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0049-y>

- Market reports world, (2023). Plastic Packaging Market Growth 2024-2030, marketreportsworld.com, προβολή 27/12/2023
- McGuire, L., (2022). The Problem With Paper: Statistics That Will Blow Your Mind, <https://www.formstack.com/blog/paper-statistics>, προβολή 15/03/2024
- Meritaine da Rocha, de Souza, M. M., & Prentice, C. (2018). Biodegradable Films: An Alternative Food Packaging. *Food Packaging and Preservation*, 307–342. doi:10.1016/b978-0-12-811516-9.00009-9
- Mieth, A., Hoekstra, E., & Simoneau, C. (2016). Guidance for the identification of polymers in multilayer films used in food contact materials. European Commission JRC Technical reports.
- Mirkhalaf, S. M., & Fagerström, M. (2019) The mechanical behavior of polylactic acid (PLA) films: fabrication, experiments and modelling. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, doi:10.1007/s11043-019-09429-w
- Mistretta, M. C., La Mantia, F. P., Titone, V., Botta, L., et al. (2020). Effect of ultraviolet and moisture action on biodegradable polymers and their blend. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*., <https://doi.org/10.1177/2280800020926653>
- Mitsui Chemicals, Neste and Toyota Tsusho collaborate to start Japan's first production of renewable plastics from 100% bio-based hydrocarbons (2021). https://us.mitsuichemicals.com/release/2021/2021_0520.htm, προβολή 18/05/2022
- Molenveld, K. & Bos, H. (2020). Biobased plastics (Groene Grondstoffenreeks; No. 21). *Wageningen Food & Biobased Research*, <https://doi.org/10.18174/464407>
- Mondi, (2021). Deinking and paper recycling <https://www.mymondi.net/ufp/en/reference-stories/deinking-paper-recycling>, προβολή 12/02/2024

Moreira M. S., Is Paper A More Sustainable Flexible Packaging Material Than Plastic? (2020). <https://www.forbes.com/sites/woodmackenzie/2020/08/24/is-paper-a-more-sustainable-flexible-packaging-material-than-plastic/> προβολή 14/05/2022

Morris, B. A. (2017). 4-commonly used resins and substrates in flexible packaging. *The science and technology of flexible packaging*, 69-119.

Muthusamy, M. S., & Pramasivam, S. (2019). Bioplastics—an eco-friendly alternative to petrochemical plastics. *Current World Environment*, 14(1), 49.
<http://dx.doi.org/10.12944/CWE.14.1.07>

Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2019). Environmental deterioration of biodegradable, oxo-biodegradable, compostable, and conventional plastic carrier bags in the sea, soil, and open-air over a 3-year period. *Environmental science & technology*, 53(9), 4775-4783. doi:10.1021/acs.est.8b06984

Nazrin, A., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., Ilyas, R. A., et al. (2020). Nanocellulose Reinforced Thermoplastic Starch (TPS), Polylactic Acid (PLA), and Polybutylene Succinate (PBS) for Food Packaging Applications. *Frontiers in Chemistry*, 8. doi:10.3389/fchem.2020.00213

Neste and LyondellBasell announce commercial-scale production of bio-based plastic from renewable materials (2019). <https://www.neste.com/releases-and-news/neste-and-lyondellbasell-announce-commercial-scale-production-bio-based-plastic-renewable-materials>, προβολή 18/05/2022

Nestlé, Smarties becomes the first global confectionery brand to switch to recyclable paper packaging, (2021). <https://www.nestle.com/media/news/smarties-first-global-confectionery-brand-recyclable-paper-packaging>, προβολή 22/05/2022

Niu, X., Liu, Y., Fang, G., Huang, C., Rojas, O. J., & Pan, H. (2018). Highly transparent, strong and flexible films with modified cellulose nanofiber bearing UV shielding property. *Biomacromolecules*. doi:10.1021/acs.biomac.8b01252

OECD, (2018). Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses, *OECD Publishing*, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264301016-en>.

Orallo A. (2022), Press release: The Paper value chain reached a 70,5% recycling rate in 2022, EPRC (European Paper Recycling Council), προβολή 09/02/2024

Özkan, B. Y., Tekin, Ö., Ulutas, N., Esen, U. S. L. U., Aydin, E., & Kulali, M. A (2023). Review of The Recyclable Packaging Design in Flexible Packaging Industry. *International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling*, 6(3), 128-135.

Ozola, Z. U., Vesere, R., Kalnins, S. N., & Blumberga, D. (2019). Paper waste recycling. circular economy aspects. *Environmental and Climate Technologies*, 23(3), 260-273.

Packaging 360, Polylactic Acid: A Sustainable Bioplastics Packaging Option (2018). <https://packaging360.in/insights/polylactic-acid---a-sustainable-bioplastics-packaging-option/>, προβολή 27/05/2022

Packaging Europe (2022). Closing the loop with deinking, <https://packagingeurope.com/features/closing-the-loop-with-deinking/8251.article>, προβολή 11/02/2024

Packaging Europe (2023). A look back at the year for corrugated and folding cartons <https://packagingeurope.com/comment/a-look-back-at-the-year-for-corrugated-and-folding-cartons/10780.article>, προβολή 09/02/2024

Patel R. (2024). 11 Advanced Recycling Technologies to Efficiently Recycle Global Waste, <https://www.upperinc.com/blog/recycling-technologies/>, προβολή 01/02/2024

Pauer, E., Tacker, M., Gabriel, V., & Krauter, V. (2020). Sustainability of flexible multilayer packaging: Environmental impacts and recyclability of packaging for bacon in block. *Cleaner Environmental Systems*, 1, 100001.

Quantis and Cefic (2020). Chemical Recycling: Greenhouse gas emission reduction potential of an emerging waste management route, <https://cefic.org/library-item/from-waste-to-resource-packaging-and-packaging-waste-regulation-feedback>, προβολή 01/02/2024

Rennert-Ariev, Peter. (2009). The Hidden Curriculum of Performance-Based Teacher Education. *Teachers College Record*. 110. 105-138. 10.1177/016146810811000105.

Reynolds. P. (2018). New additive said to turn plastic waste to energy, <https://www.packworld.com/issues/sustainability/article/13374959/new-additive-said-to-turn-plastic-waste-to-energy>, προβολή 19/05/2022

Richards, D., (2023) 2024 prospects and predictions, *Digital Labels & Packaging*, <https://www.dlpmag.com/news/59875/2024-prospects-and-predictions/>, προβολή 24/03/2024

Rujnić-Sokele, M., & Pilipović, A. (2017). Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Management & Research*, 35(2), 132–140. doi:10.1177/0734242x16683272

SAFE, (2020). Recycled plastic in food contact materials: Policy report by safe food advocacy Europe, <https://www.safefoodadvocacy.eu/wp-content/uploads/2021/03/SAFE-Report-on-Recycled-plastic-in-FCMs-2020.pdf>, προβολή 22/03/2024

Sanchez-Rivera, K., del Carmen Munguía-López, A., Zhou, P., Cecon, V. S., Yu, J., Xu, Z. & Huber, G. (2023, November). Recycling of Multilayer Plastic Packaging Materials By Solvent-Targeted Recovery and Precipitation (STRAP). In *2023 AIChE Annual Meeting*. AIChE. DOI: 10.1126/sciadv.aba759

Schyns, Z. O. & Shaver, M. P. (2021). Mechanical recycling of packaging plastics: A review. *Macromolecular rapid communications*, 42(3), 2000415.

Science Museum, (2019), The Age of Plastic: From Parkesine to pollution, <https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/chemistry/age-plastic-parkesine-pollution>, Accessed on 09/02/2024

Shafqat, A., Tahir, A., Mahmood, A., Tabinda, A. B., Yasar, A., & Pugazhendhi, A. (2020). A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio-plastic: A substitute of conventional plastics. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 27, 101540. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101540>.

Shen, Z., Rajabi-Abhari, A., Oh, K., Yang, G., Youn, H. J., & Lee, H. L. (2021). Improving the Barrier Properties of Packaging Paper by Polyvinyl Alcohol Based Polymer Coating—Effect of the Base Paper and Nanoclay. *Polymers*, 13(8), 1334. <https://doi.org/10.3390/polym13081334>

Silverstein, L. (2020). Eco friendly film alternatives, Now Plastics, <http://www.nowplastics.com/np-eco-frienly-sm.pdf>, προβολή 19/05/2022

Siracusa, V., & Blanco, I. (2020). Bio-Polyethylene (Bio-PE), Bio-Polypropylene (Bio-PP) and Bio-Poly (ethylene terephthalate) (Bio-PET): recent developments in bio-based polymers analogous to petroleum-derived ones for packaging and engineering applications. *Polymers*, 12(8), 1641.

Sousa, A. F., Patrício, R., Terzopoulou, Z., Bikiaris, D. N., et al. (2021). Recommendations for replacing PET on packaging, fiber, and film materials with biobased counterparts. *Green Chemistry*, 23(22), 8795-8820. <https://doi.org/10.1039/d1gc02082j>

Tabatabaei, S. H., & Aji, A. (2011). Effect of initial crystalline morphology on properties of polypropylene cast films. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 27(3), 223-233.

Taghavi, N., Udugama, I. A., Zhuang, W. Q., & Baroutian, S. (2021). Challenges in biodegradation of non-degradable thermoplastic waste: From environmental impact to operational readiness. *Biotechnology Advances*, 49, 107731.

Tajeddin, B., & Arabkhedri, M. (2020). Polymers and food packaging. In *Polymer science and innovative applications*, (pp. 525-543). Elsevier.

Twede, D., Fowler, S., Havens, M., Raymond, M., Selke, S., Cascio, J., ... Alsdorf, M. G. (2009). E. The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, 383–444. doi: 10.1002/9780470541395.ch5

Ügdüler, S., Van Laere, T., De Somer, T., Gusev, S., Van Geem, K. M., Kulawig, A., ... & De Meester, S. (2023). Understanding the complexity of deinking plastic waste: An assessment of the efficiency of different treatments to remove ink resins from printed plastic film. *Journal of Hazardous Materials*, 452, 131239. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131239>

University of Cambridge, Institute for Sustainability Leadership (CISL), (2023).

van den Oever, M., Molenveld, K., van der Zee, M., & Bos, H. (2017). Bio-based and biodegradable plastics: facts and figures: focus on food packaging in the Netherlands. (Wageningen Food & Biobased Research; No. 1722). *Wageningen Food & Biobased Research*, <https://doi.org/10.18174/408350>

Veflen, N., Velasco, C., & Kraggerud, H. (2023). Signalling taste through packaging: The effects of shape and colour on consumers' perceptions of cheeses. *Food Quality and Preference*, 104, 104742. doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104742

Volpak, (2020). Flexible Packaging: the top 4 trends to expect in 2020, <https://www.volpak.com/en/news/flexible-packaging-the-top-4-trends-to-expect-in-2020>, προβολή 05/01/2024

What is a value chain? Definitions and characteristics, <https://www.cisl.cam.ac.uk/education/graduate-study/pgcerts/value-chain-defs>, προβολή 07/01/2024

Zabihzadeh Khajavi, M., Ebrahimi, A., Yousefi, M., Ahmadi, S., et al. (2020). Strategies for producing improved oxygen barrier materials appropriate for the food packaging sector. *Food Engineering Reviews*, 12(3), 346-363. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09235-y>

Zuo, J., Feng, J., Gameiro, M. G., Tian, Y., Liang, J., Wang, Y. & He, Q. (2022). RFID-based sensing in smart packaging for food applications: A review. *Future Foods*, 6, 100198. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100198>

Ρούπα Ε., Χεκίμογλου, Ε., (2018). Εισαγωγή στην Ιστορία της Ελληνικής Συσκευασίας, ISBN: 978-960-85567-2-0.