



Σχολή
Μηχανικών
Ορυκτών
Πόρων

Πολυτεχνείο Κρήτης

Διπλωματική εργασία

Θέμα: <<Ανάλυση Κύκλου Ζωής Πλαστικών>>

Μαστρογιαννάκη Ανδρομάχη

Εξεταστική επιτροπή:

Καθ. Κομνίτσας Κωνσταντίνος (επιβλέπων)

Καθ. Ξεκουκουλωτάκης Νικόλαος

Εδιπ. Κρητικάκη Άννα

Χανιά, 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την σειρά μου θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στην εταιρία Πλαστικά Κρήτης για τη συνεργασία και ιδιαιτέρως στον κ. Βερτουδάκη Κωνσταντίνο και στη κ. Ανδρουλάκη Κρυσταλλένια για τη πολύτιμη βοήθεια τους, τη καθοδήγηση και τις πληροφορίες που μου έδωσαν για την εκτέλεση του έργου μου.

Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κομνίτσα Κωνσταντίνο για τη καθοδήγηση, τις συμβουλές, την υπομονή που επέδειξε άλλα πάνω από όλα την εμπιστοσύνη στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της εργασίας αυτής.

Τέλος ένα μεγάλο <<ευχαριστώ>> στην οικογένεια μου που ήταν δίπλα μου σε αυτό το πολυετές ταξίδι των σπουδών μου και που υπήρξαν αρωγοί στη προσπάθειά μου.

Μαστρογιαννάκη Ανδρομάχη

I. Περίληψη

Η διπλωματική εργασία παρουσιάζει την ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικών παραγόμενων κυρίως από πολυολεφίνες. Η ανάλυση κύκλου ζωής πραγματεύεται τις επιπτώσεις που επιφέρει ένα προϊόν στο περιβάλλον από τη στιγμή της παραγωγής του έως το τέλος ζωής του. Για τον λόγο αυτό στην εργασία αναλύονται οι βασικές ρητίνες και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στη παραγωγή πλαστικών, οι μέθοδοι παραγωγής, οι ιδιότητες των προϊόντων, τα στάδια ανακύκλωσης καθώς και οι εναλλακτικοί τρόποι χρήσης τους. Καθένα από τα στάδια αυτά προβάλλεται με στόχο την εξακρίβωση των αιτιών των περιβαλλοντικών προβλημάτων και την παράθεση εναλλακτικών μεθόδων για περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Επιπλέον παρατίθενται μελέτες που έχουν διεξαχθεί και πραγματεύονται την ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικών προϊόντων και αναφορές σχετικά με πλαστικά για χρήσεις στον αγρό .

II. Abstract

This diploma thesis presents the life cycle analysis of polyolefin- made plastics. Life cycle analysis focuses on the environmental impact of a product from its production to the end of its life. Specifically, this work analyses the resins, the additives, the production methods, the properties of the products and their recycling potential. These stages lead to identification of the environmental impacts a product causes in order to develop practices to reduce them. In addition, studies about life cycle analysis of plastics that are used in agricultural fields are presented discussed.

Περιεχόμενα

I.	Περίληψη	3
II.	Abstract.....	3
1	Εισαγωγή.....	8
2	Βασικά Πολυμερή και Πρόσθετα.....	11
2.1	Σύνθεση πολυμερών.....	12
2.1.1	Πολυμερισμός ακόρεστων υδρογονανθράκων και παραγώγων τους - Αιθυλένιο.....	12
2.2	Βασικές ρητίνες.....	14
2.2.1	Πολυαιθυλένιο.....	14
2.2.2	Πολυπροπυλένιο (PolyPropylene - PP).....	16
2.3	Πρόσθετα πολυμερών	17
2.3.1	Πληρωτικά υλικά	18
2.3.2	Ενισχυτικά μέσα.....	18
2.3.3	Συνδετικά μέσα.....	18
2.3.4	Πλαστικοποιητές.....	18
2.3.5	Σταθεροποιητές	19
2.3.6	Επιβραδυντές καύσης.....	19
2.3.7	Αντιστατικά	19
2.3.8	Χρωστικές.....	19
2.4	Περιβαλλοντικά προβλήματα κατά την παραγωγή των πολυμερών.....	20
2.4.1	Βιομηχανικά Απόβλητα	20
2.4.2	Διυλιστήρια Πετρελαίου-Πετροχημική βιομηχανία	21
2.4.3	Νομοθεσία για τις χημικές ουσίες, τους ρύπους και τα απόβλητα	22
2.5	Πράσινη χημεία και εναλλακτικές πρώτες ύλες.....	25
2.5.1	Αξιολόγηση μεθόδων σχεδιασμού ασφαλέστερων πρώτων υλών.....	25
2.5.2	Πράσινη χημεία – πράσινα πολυμερή.....	26
3	Προϊόντα βασισμένα σε πολυολεφίνες.....	29
3.1	Μέθοδοι παραγωγής	29

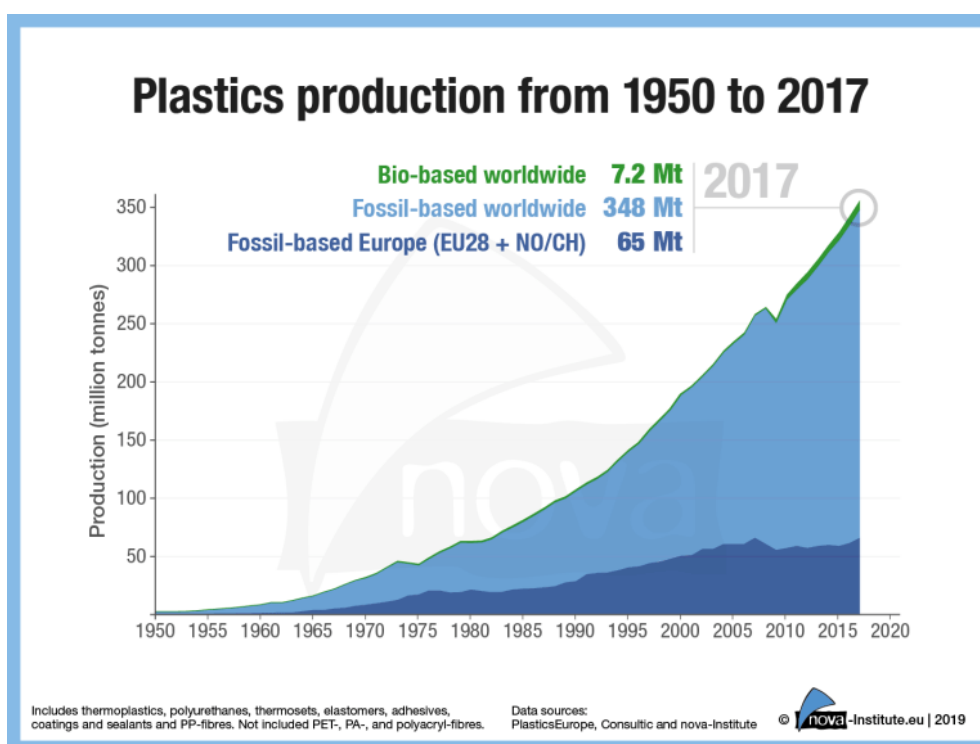
3.1.1	Μονοκόχλιοι εξωθητές	30
3.1.2	Διπλοκόχλιοι εξωθητές	34
3.1.3	Τεχνικές παραγωγής πρώτων υλών για βιομηχανία πλαστικών (masterbatches)	35
3.1.4	Τεχνική παραγωγής φύλλων με φύσημα (blown-film)	36
3.1.5	Τεχνική παραγωγής φύλλων με συνεκβολή.....	37
3.2	Χρήσεις.....	39
I.	Φύλλα για κάλυψη θερμοκηπίων	39
II.	Φύλλα γραμμικής κάλυψης	46
III.	Φύλλα εδαφοκάλυψης.....	47
IV.	Φύλλα απολύμανσης εδάφους.....	48
V.	Θερμοκουρτίνες.....	49
VI.	Φύλλα και σάκοι ενσίρωσης.....	49
VII.	Φύλλα κάλυψης ποιμνιοστασίων και άλλων αγροτικών κατασκευών.....	51
VIII.	Μεμβράνες λιμνοδεξαμενών.....	51
IX.	Γεωμεμβράνες	51
X.	Σωλήνες πολυαιθυλενίου	53
3.3	Ιδιότητες και χαρακτηρισμός.....	55
3.4	Περιβαλλοντικά ζητήματα λόγω χρήσης πλαστικών.....	55
4	Ανακύκλωση	57
4.1	Διαδικασία ανακύκλωσης πλαστικών.....	57
4.2	Μέθοδοι ανακύκλωσης πλαστικών	59
4.2.1	Πρωτογενής ανακύκλωση	59
4.2.2	Δευτερογενής ανακύκλωση.....	60
4.2.3	Τριτογενής ανακύκλωση	62
4.2.4	Τεταρτογενής ανακύκλωση	63
4.3	Ανακύκλωση στη βιομηχανία.....	63
4.3.1	Βιομηχανική μονάδα ανακύκλωσης	64
5	Ανάλυση Κύκλου Ζωής	66

5.1	Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	67
5.1.1	Ορισμός πεδίου εφαρμογής της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	68
5.1.2	Καταγραφή των δεδομένων Κύκλου Ζωής.....	69
5.1.3	Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής	70
5.1.4	Αποτίμηση των επιπτώσεων – Προτάσεις για Βελτίωση	73
5.2	Κύκλος Ζωής πλαστικών	74
5.2.1	Βιοπλαστικά , ανάλυση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων. 74	
5.3	Ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικών συσκευασιών.....	77
5.3.1	Ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικών με βάση τις μεθόδους διαχείρισης τους	77
5.3.2	Ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικής σακούλας συσκευασίας	79
5.4	Πλαστικά απόβλητα στη Κίνα	83
5.4.1	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαδικασιών ανακύκλωσης πλαστικών	84
5.4.2	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και δείκτες	86
5.4.3	Προτάσεις βελτίωσης	86
5.5	Πρόσθετα στη παραγωγή πλαστικών	87
6	Πλαστικά στους αγρούς.....	90
6.1	Επιπτώσεις από πλαστικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία	90
6.2	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη παραγωγή ενός τυπικού θερμοκηπιακού φύλλου στην εταιρία Πλαστικά Κρήτης.	93
6.2.1	Παραγωγή πλαστικών φύλλων θερμοκηπίου	93
6.2.2	Μονάδα ανακύκλωσης εργοστασίου Πλαστικών Κρήτης	94
7	Συμπεράσματα.....	95
8	Βιβλιογραφία	97

1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες η παραγωγή προϊόντων βασισμένων σε πολυμερή υλικά έχει γνωρίσει τεράστια ανάπτυξη λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων τους σε σχέση με τα συμβατικά υλικά. Τα πολυμερή παρουσιάζουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον καθώς μεταβάλλοντας την χημεία τους, το μοριακό τους βάρος, την αρχιτεκτονική των μορίων αλλά και συνδυάζοντας τα με διάφορα άλλα οργανικά ή ανόργανα υλικά, μπορούν να αποκτήσουν διαφορετικές ιδιότητες. Για τον λόγο αυτό βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών σε τομείς όπως οι κατασκευές, η ηλεκτρονική, η γεωργία, η ιατρική, η φαρμακευτική κλπ. Ιδιαίτερα τα πολυμερή που αποτελούν παράγωγα του πετρελαίου όπως οι πολυολεφίνες έχουν κατακλύσει την αγορά και ετησίως παράγονται εκατομμύρια τόνοι από αυτά. Ενδεικτικά στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζεται η ετήσια παγκόσμια παραγωγή πλαστικών από το 1950 έως το 2017, όπου έφτασε τα 348 εκατομμύρια τόνους.

Ταυτόχρονα τα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό ζήτημα που έχει ανακύψει και σχετίζεται με τις διεργασίες παραγωγής των υλικών αυτών και τους μεγάλους χρόνους ζωής τους είναι η συσσώρευσή τους με αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον.



Εικόνα 1.1. Παραγωγή πλαστικών κατά τα έτη 1950 έως 2017 (Nova Institute, 2019).

Για να μπορέσουν να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος, από την εξαγωγή των πρώτων υλών, την επεξεργασία, την παραγωγή, τη διανομή, τη χρήση και την ανακύκλωσή του, χρειάζεται να μελετηθεί ο κύκλος ζωής του. Η ανάλυση

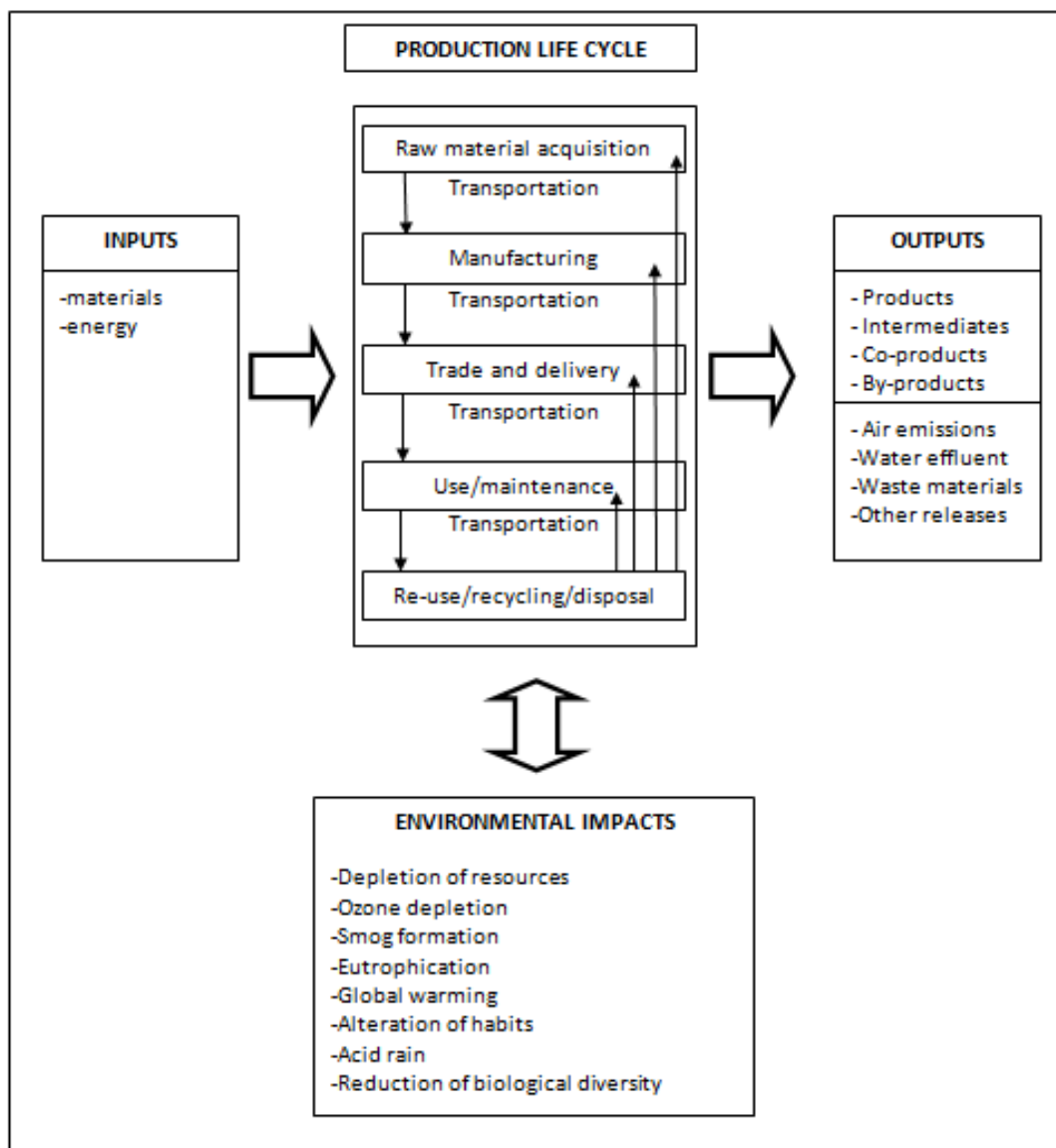
του κύκλου ζωής ενός προϊόντος μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούνται κατά την παραγωγή, την χρήση αλλά και στο τέλος της ζωής του (O'Neill, 2003).

Πιο συγκεκριμένα η ανάλυση του κύκλου ζωής αποτελείται από τις παρακάτω φάσεις:

- Συγκέντρωση των στοιχείων που περιγράφουν τις διάφορες διεργασίες όπως τα ποσά της απαιτούμενης ενέργειας, τις αναγκαίες ποσότητες πρώτων υλών και λοιπών υλικών, και την παραγωγή αποβλήτων (υγροί, αέριοι, στερεοί ρύποι).
- Αξιολόγηση των διεργασιών με βάση τα στοιχεία και εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον.
- Ερμηνεία των επιπτώσεων με σκοπό τη λήψη αποφάσεων ώστε να μειωθούν τα αρνητικά αποτελέσματα ή/και να ενισχυθούν τα θετικά.

Η ανάλυση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός συστήματος ροών από και προς τη διεργασία. Οι εισερχόμενες ροές περιλαμβάνουν εισροές ενέργειας και υλικών ενώ μέσα από διάφορες διεργασίες όπως την παραγωγική διαδικασία, την μεταποίηση, την χρήση, τις μεταφορές κλπ υπάρχουν οι εξερχόμενες ροές (οι εκροές δηλαδή) με τα ενδιάμεσα υλικά, προϊόντα και παραπροϊόντα.

Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι σημαντικό να περιλαμβάνει τις άμεσες αλλά και τις έμμεσες εισροές και εκροές, δηλαδή να μην περιορίζεται στην παραγωγική διαδικασία ή στα αποτελέσματα της χρήσης του προϊόντος αλλά να περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες από την παραγωγή των πρώτων υλών ως την διαχείριση των προϊόντων και των αποβλήτων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τις παραπάνω διεργασίες περιλαμβάνουν ρύπανση του εδάφους με στερεά απόβλητα, αέριους ρύπους, υγρά απόβλητα και μεταγενέστερα φαινόμενα όπως αυτά του ευτροφισμού, της όξινης βροχής, της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της μείωσης της βιοποικιλότητας. Για την μελέτη των διεργασιών που πραγματοποιούνται κατά τον κύκλο ζωής του προϊόντος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από αυτές, κατασκευάζεται διάγραμμα ροής όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2.



Εικόνα 1.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος (BS-EN-ISO 14062, 2002).

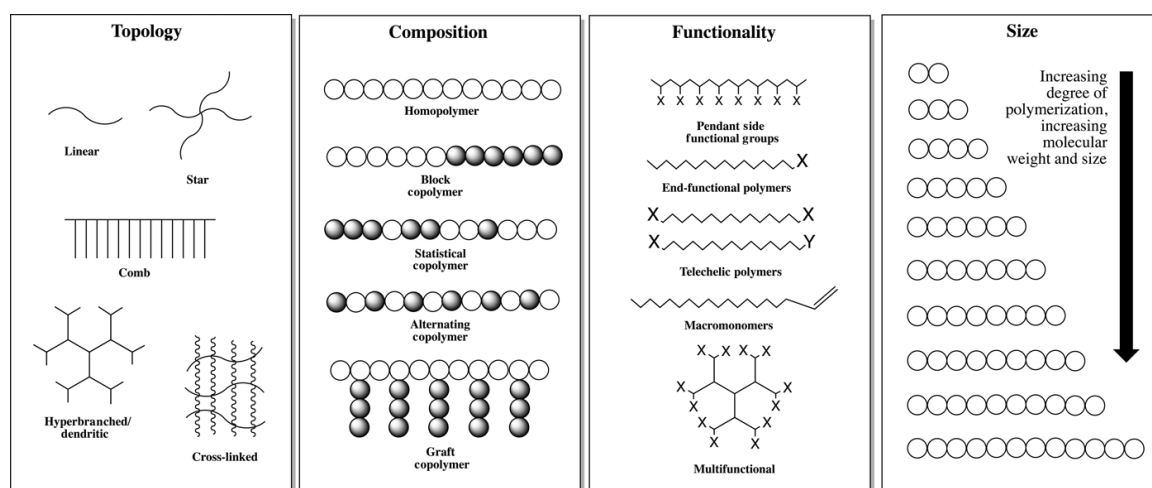
Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθεί η ανάλυση του κύκλου ζωής πλαστικών και πιο συγκεκριμένα αυτών που χρησιμοποιούνται σε γεωργικές δραστηριότητες είτε για την κάλυψη θερμοκηπίων είτε για άλλες χρήσεις στον αγρό. Αρχικά παρουσιάζονται οι πρώτες ύλες και τα διάφορα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των νέων πλαστικών προϊόντων. Στη συνέχεια μελετάται η παραγωγική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τις ενεργειακές καταναλώσεις και τις εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα, ενώ αναφέρεται και ο τρόπος διάθεσης των πλαστικών στην αγορά εστιάζοντας στις επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά τη χρήση τους. Τέλος, αναλύονται τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν κατά το τέλος της ζωής τους και οι μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσής τους με σκοπό να μειωθεί δραστικά η συσσώρευσή τους στο περιβάλλον.

2 Βασικά Πολυμερή και Πρόσθετα

Τα πολυμερή ή αλλιώς μακρομόρια είναι ουσίες με μεγάλο μοριακό βάρος. Τα πολυμερή μπορεί να είναι:

- φυσικά προϊόντα (κυτταρίνη, καζεΐνη),
- τροποποιημένα φυσικά προϊόντα (τεχνητό μετάξι, εβονίτης),
- συνθετικές ουσίες που σχηματίζονται με χημικές αντιδράσεις από πρώτες ύλες με μικρό μοριακό βάρος (νάιλον, ακρυλικά, πολυαιθυλένιο).

Στα συνθετικά πολυμερή οι διαφορετικές λειτουργικές ομάδες τους, το μοριακό τους βάρος, οι συνθετικές μέθοδοι, και η αρχιτεκτονική του μορίου μπορούν να καθορίσουν τις βασικές τους ιδιότητες (Εικόνα 2.1). Τεράστιο ερευνητικό ενδιαφέρον έχει τις τελευταίες δεκαετίες η σύνθεση πολυμερών με στόχο να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή (Kumar et al, 2019).



Εικόνα 2.1. Πολυπλοκότητα των πολυμερών στην αρχιτεκτονική του μορίου, στην σύστασή του, στις λειτουργικές ομάδες που περιέχει και στο μοριακό του βάρος (Kumar et al, 2019).

Τα πολυμερή, λόγω της πολυπλοκότητας που εμφανίζουν αλλά και των τεράστιων δυνατοτήτων τους, χρησιμοποιούνται ευρύτατα ενώ συχνά ενισχύονται με διάφορα πρόσθετα παράγοντας σύνθετα υλικά. Τα πρόσθετα αναμιγνύονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις με την πολυμερική μάζα παράγοντας τα masterbatches, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2, τα οποία στη συνέχεια τροφοδοτούνται κατά την παραγωγή του προϊόντος μαζί με την καθαρή ρητίνη και της προσδίδουν την επιθυμητή ιδιότητα.



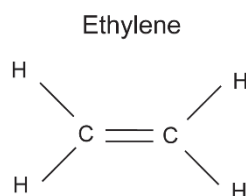
Εικόνα 2.2. Κόκκοι masterbatches με διάφορα πρόσθετα

2.1 Σύνθεση πολυμερών

Τα πολυμερή είναι ενώσεις που χαρακτηρίζονται από την επανάληψη ενός ή περισσότερων ομάδων, των λεγόμενων επαναλαμβανόμενων ομάδων, σε τέτοιο αριθμό ώστε οι ιδιότητες που παρουσιάζουν πρακτικά να μην μεταβάλλονται με την αύξηση ή μείωση του αριθμού των ομάδων αυτών. Η διεργασία μετατροπής πολλών μικρών μορίων που ονομάζονται μονομερή ή μίγματος μονομερών σε πολυμερές λέγεται πολυμερισμός. Με τη μέθοδο αυτή παρασκευάζονται ενώσεις που έχουν την ίδια σύσταση με τα αρχικά μονομερή και πολλαπλάσιο μοριακό βάρος. Όπως αναφέρεται και παραπάνω τα πολυμερή έχουν διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες από τις αρχικές ενώσεις, δηλαδή τα αντίστοιχα μονομερή. Ανάλογα με την φύση των μονομερών αλλά και τον μηχανισμό της αντίδρασης του πολυμερισμού γίνεται ο σταδιακός ή αλυσιδωτός πολυμερισμός. Ακόμη, σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν τα προϊόντα της αντίδρασης είναι οι συνθήκες όπως η θερμοκρασία, η πίεση, το περιβάλλον στο οποίο γίνεται ο πολυμερισμός (π.χ. όξινο περιβάλλον), η παρουσία εκκινητή ή καταλύτη που προκαλούν την έναρξη ή επιτάχυνση του πολυμερισμού αντίστοιχα (Carothers, 1931).

2.1.1 Πολυμερισμός ακόρεστων υδρογονανθράκων και παραγώγων τους - Αιθυλένιο

Το αιθυλένιο ή αιθένιο (κατά IUPAC) (ethylene, ethene) είναι το απλούστερο αλκένιο, ένας ακόρεστος υδρογονάνθρακας με ένα διπλό δεσμό όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3.

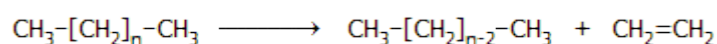


Εικόνα 2.3. Μοριακός τύπος αιθυλενίου ή αιθενίου.

Αποτελεί την πρώτη σε ετησίως παραγόμενες ποσότητες οργανική ένωση (η ετήσια παγκόσμια παραγωγή αιθυλενίου πλησιάζει τους περίπου 110 εκατομμύρια τόνους).

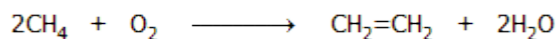
Στη φύση απαντά κυρίως στα αέρια των πετρελαιοπηγών, αλλά σχηματίζεται επίσης σε πολύ μικρές ποσότητες κατά την ωρίμανση διαφόρων καρπών την οποία και επιταχύνει (δρα ως φυτοορμόνη). Ακόμη παράγεται σε μικρές ποσότητες και από μικροοργανισμούς.

Βιομηχανικά το αιθυλένιο παράγεται σε τεράστιες ποσότητες ως χρήσιμο παραπροϊόν της ατμοπυρόλυσης (steam cracking) του αργού πετρελαίου. Γενικά, κατά την πυρόλυση ενός αλκανίου παράγονται υδρογονάνθρακες μικρότερου μεγέθους. Έτσι, μια γενική αντίδραση παραγωγής αιθυλενίου θα μπορούσε να έχει την ακόλουθη μορφή:



Ωστόσο, κατά την πυρόλυση δεν παράγεται αποκλειστικά αιθυλένιο, αλλά και άλλες μικρού μοριακού βάρους ολεφίνες, όπως το προπυλένιο ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$) και διάφορα βουτυλένια. Με έλεγχο των συνθηκών πυρόλυσης (θερμοκρασία, καταλύτες -συνήθως Al_2O_3 -) ελέγχεται η αναλογία των διαφόρων ολεφινών (κυρίως αιθυλενίου και προπυλενίου) στα προϊόντα πυρόλυσης (Zimmermann et al, 2009).

Μια σχετικώς νέα μέθοδος παραγωγής αιθυλενίου από το φυσικό αέριο βασίζεται στη μερική οξείδωση του μεθανίου, με βάση τη (συνολική) αντίδραση:

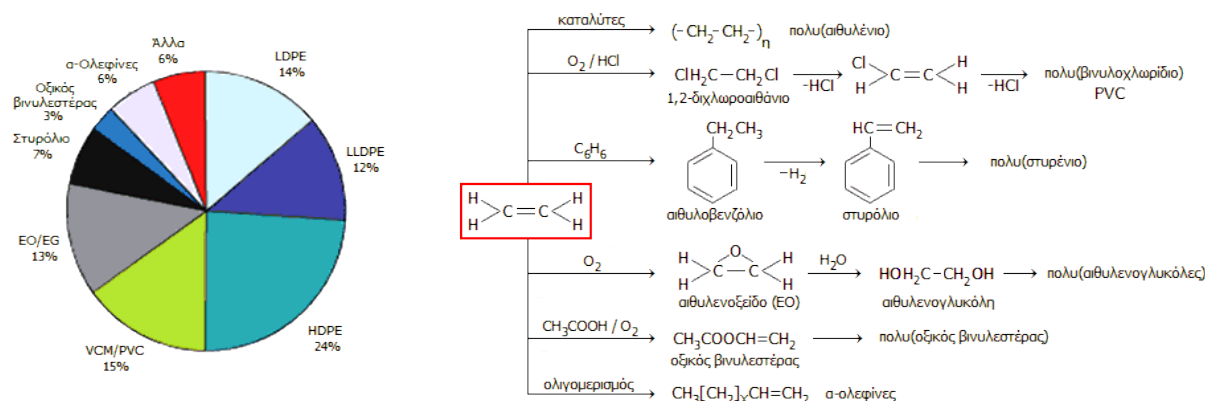


Σχεδόν στο σύνολό του, το αιθυλένιο χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πλήθους χημικών ενώσεων, που και αυτές με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την παραγωγή τεράστιας ποικιλίας άλλων χημικών ουσιών.

Σημαντικές πληροφορίες που υπάρχουν για το αιθυλένιο είναι οι εξής:

- Στον πυρήνα ενός πετροχημικού εργοστασίου είναι η μονάδα παραγωγής αιθυλενίου.
- Είναι η πρώτη ύλη στα διυλιστήρια για αλκυλίωση και πολυμερισμό.
- Παρασκευάζεται βιομηχανικά με πυρόλυση με ατμό βαρέων κλασμάτων του πετρελαίου και η εκτενής πυρόλυση αφήνει μόνο άνθρακα (ανθρακοποίηση).
- Οι σημαντικότερες αντιδράσεις του αιθυλενίου είναι η οξείδωσή του προς παρασκευή του αιθυλενοξειδίου και ο πολυμερισμός του προς πολυαιθυλένιο (βιομηχανία πλαστικών).

Ορισμένες από τις βασικές αντιδράσεις του αιθυλενίου και τα παράγωγα του παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4. Παράγωγα του αιθυλενίου και βασικές αντιδράσεις (Peterson, 2004).

Τα παράγωγα του μονομερούς αιθυλενίου είναι τα πολυαιθυλένια, που χρησιμοποιούνται ως βασική πρώτη ύλη για τη δημιουργία πλαστικών. Μια σειρά μεθόδων αναπτύχθηκαν για την παραγωγή πολυαιθυλενίου με τις βασικότερες να είναι:

- με πολυμερισμό ελευθέρων ριζών
- με καταλύτες Ziegler-Natta¹
- με τη μέθοδο Phillips²
- με μεταλλοκενικούς καταλύτες³

Υπάρχουν πολλοί τύποι εμπορικά διαθέσιμων πολυαιθυλενίων, οι οποίοι διαφέρουν ανάλογα με την πυκνότητα και την κρυσταλλικότητα του πολυμερούς. Ουσιαστικά οι διαφορές είναι δομικές και συνίστανται στον αριθμό και το είδος των υπαρχουσών διακλαδώσεων (Πιτσικάλη, 2011; Posch, 2011).

2.2 Βασικές ρητίνες

2.2.1 Πολυαιθυλένιο

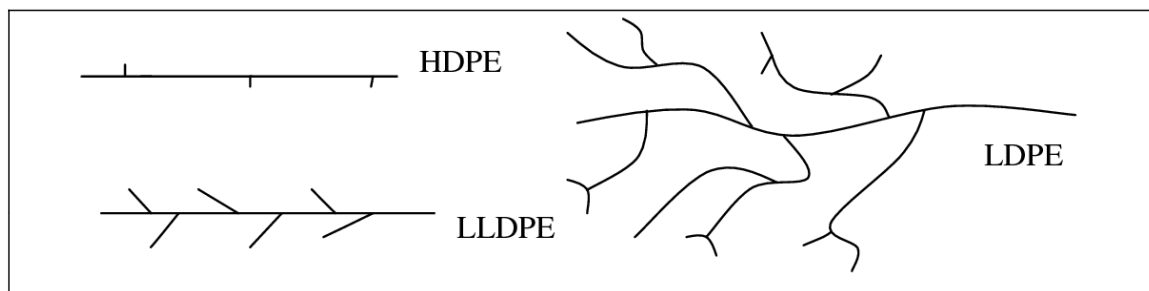
Το πολυαιθυλένιο είναι από τα πιο ευρέως γνωστά θερμοπλαστικά πολυμερή με το μεγαλύτερο όγκο παραγωγής παγκοσμίως. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τύπων πολυαιθυλενίου που οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο πολυμερισμού του μονομερούς αιθυλενίου. Ο κορμός της οικογένειας των πολυαιθυλενίων απαρτίζεται από τρεις τύπους που διαφέρουν στη δομή, όπως φαίνεται σχηματικά στην Εικόνα 2.5, το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE), το πολυαιθυλένιο υψηλής

¹ Καταλύτες Ziegler-Natta: είναι ενώσεις συναρμογής των πολυσθενών μεταβατικών μετάλλων Ti, Zr, V κ.α με οργανομεταλλικές ενώσεις μετάλλων Al, Li, Na κ.α

² Καταλύτες Philips: αποτελούνται από ένα μίγμα οξειδίων του χρωμίου και του πυριτίου, CrO_3/SiO_2 .

³ Μεταλλοκένια: Βασίζονται σε μεταβατικά στοιχεία Zr, Ti, Hf και διαφέρουν από τους Z-N διότι έχουν μια δραστική πλευρά, διευκρινισμένη μοριακή δομή και είναι διαλυτοί στο μέσο πολυμερισμού.

πυκνότητας (HDPE) και το γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LLDPE) (Καραγιάννης & Σιδερίδου, 2006).



Εικόνα 2.5. Διαφορετικές δομές του πολυαιθυλενίου.

2.2.1.1 Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (Low Density PolyEthylene - LDPE)

Το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας ($0.910-0.940 \text{ g/cm}^3$) άρχισε να παράγεται από το 1940 με πολυμερισμό του αιθυλενίου με εκκινητές ελεύθερες ρίζες, σε υψηλή πίεση και υψηλή θερμοκρασία. Ως εκκινητές χρησιμοποιούνται συνήθως το βενζοϋλο-υπεροξειδίο, το αζωισοβουτυρονιτρίλιο ή και το οξυγόνο. Με κατάλληλη ρύθμιση της θερμοκρασίας, της πίεσης, του εκκινητή και της σύστασης είναι δυνατή η παραγωγή LDPE με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως είναι ο βαθμός διακλάδωσης, το μοριακό βάρος και η κατανομή μοριακών βαρών.

Το LDPE κατεργάζεται εύκολα, θερμοσυγκλλάται, είναι χημικώς αδρανές, αντέχει στη κρούση και έχει εξαιρετικές ηλεκτρομονωτικές ιδιότητες. Το 55% της συνολικής παραγωγής μετατρέπεται σε φύλλα με την τεχνική της μορφοποίησης σε φύσημα (μπαλόνι) και χρησιμοποιείται στη συσκευασία αφροσυσκευασμάτων, περιοδικών, κάλυψη θερμοκηπίων και ως θερμοσυρρικνούμενο φύλλο.

2.2.1.2 Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (High Density PolyEthylene - HDPE)

Το HDPE (πυκνότητα μεγαλύτερη από 0.941 g/cm^3) διατίθεται στην αγορά από το 1956, με την ανακάλυψη των καταλυτών Ziegler – Natta. Παράγεται με τρεις διαφορετικές διεργασίες, σε αιώρημα, σε αέρια φάση ή ακόμα και σε διάλυμα. Το αιθυλένιο εισάγεται στον αντιδραστήρα με το καταλυτικό σύστημα και η εξώθερμη αντίδραση ελέγχεται με την παρουσία κάποιου υδρογονάνθρακα και υδρογόνου με το οποίο επιτυγχάνεται το επιθυμητό μοριακό βάρος. Δύο κατηγορίες καταλυτών χρησιμοποιούνται συνήθως. Καταλύτες τύπου Philips (οξείδια χρωμίου) ή Z-N. Με τους πρώτους επιτυγχάνεται μεσαία έως ευρεία κατανομή μοριακών βαρών, ενώ με τους Z-N στενή κατανομή.

Το HDPE είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές, μη πολικό, γαλακτώδες στην εμφάνιση με εξαιρετική αντοχή στα χημικά αντιδραστήρια. Από το HDPE παράγονται τα παντός είδους δοχεία για

απορρυπαντικά, ορυκτέλαια και άλλα χημικά, σωλήνες, μεγάλα δοχεία, περιέκτες ακόμη και βαρέλια.

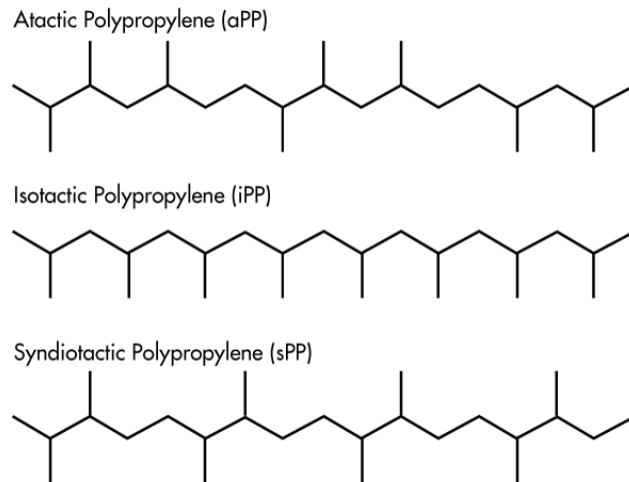
2.2.1.3 Γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (*Linear Low Density PolyEthylene - LLDPE*)

Είναι ένα χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο ($0.915\text{--}0.925\text{ g/cm}^3$) παραγόμενο με διεργασίες χαμηλής πίεσης και καταλύτες Ziegler – Natta ή μεταλλοκένια. Πρόκειται για ένα διαφορετικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας, παραγόμενο σε υψηλές πιέσεις και με ισχυρές διακλαδώσεις. Η χαμηλή πυκνότητά του οφείλεται στην μειωμένη κρυσταλλικότητά του εξαιτίας της παρουσίας ενός συμμονομερούς (α-ολεφίνη) μέχρι και 10%, το οποίο δημιουργεί μικρούς προκαθορισμένους κλάδους στη μακρομοριακή αλυσίδα. Επομένως πρόκειται για ένα συμπολυμερές του αιθυλενίου με κάποια α- ολεφίνη, η οποία συνήθως είναι το βουτένιο-1, εξένιο -1, οκτένιο-1. Οι ιδιότητες του LLDPE ρυθμίζονται με κατάλληλη επιλογή των τιμών της πυκνότητας, του μοριακού βάρους και της κατανομής μοριακών βαρών. Μεταξύ των εφαρμογών του LLDPE αναφέρονται: Μεμβράνες περιτύλιξης προϊόντων συσκευασμένων σε παλέτες, σακούλες απορριμμάτων, συσκευασίας λαχανικών κ.α.

2.2.2 Πολυπροπυλένιο (PolyPropylene - PP)

Το πολυπροπυλένιο παράγεται ως παραπροϊόν της πυροδιάσπασης βαρέων κλασμάτων του πετρελαίου προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα της βενζίνης και να παραχθεί αιθυλένιο. Το πολυπροπυλένιο είναι το νεότερο από τα πλαστικά μεγάλου όγκου παραγωγής διότι παρασκευάστηκε μετά την ανακάλυψη των καταλυτών Ziegler –Natta. Προηγουμένως παράγονταν μια μορφή ατακτικού πολυπροπυλενίου, ένα μαλακό και κολλώδες ολιγομερές προϊόν, εξαιτίας της αυτοπαρεμπόδισης κατά το πολυμερισμό, αφού το μονομερές δρα ως δραστικό μέσο μεταφοράς αλυσίδας. Σήμερα μια νέα τάξη οργανομεταλλικών καταλυτών τείνει να αντικαταστήσει του καταλύτες Ziegler – Natta, τα μεταλλοκένια (metallocenes), ενώσεις τύπου σάντουιτς Zr, Ti ή Hf. Η βασική τους διαφορά από τους προηγούμενους είναι ότι είναι διαλυτοί στο σύστημα πολυμερισμού και επομένως ο πολυμερισμός ελέγχεται καλύτερα.

Ανάλογα με το καταλυτικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί παράγεται το ατακτικό πολυπροπυλένιο (a-PP), το ισοτακτικό πολυπροπυλένιο (i-PP) και το συνδυοτακτικό πολυπροπυλένιο (syn-PP), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6. Το εμπορικό πολυπροπυλένιο είναι κυρίως ισοτακτικό (90-95%).



Εικόνα 2.6. Διαφορετικές δομές πολυπροπυλενίου.

Το PP έχει πολύ καλή αντοχή στους διαλύτες και υψηλή ηλεκτρική αντίσταση. Ωστόσο η παρουσία του τριτοταγούς υδρογόνου σε κάθε επαναλαμβανόμενη μονάδα το κάνει ευαίσθητο στην οξειδωτική αποικοδόμηση. Τα διάφορα αντικείμενα που παράγονται από PP αντέχουν μέχρι 140 °C για αυτό χρησιμοποιούνται αρκετά σε διάφορες ιατρικές εφαρμογές (Στάθη , 2014).

2.3 Πρόσθετα πολυμερών

Τα πολυμερή σχεδόν πάντοτε πριν από τη μορφοποίηση τους σε τελικά προϊόντα αναμιγνύονται με διάφορες ενώσεις για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Οι ενώσεις αυτές χαρακτηρίζονται ως πρόσθετα και χωρίζονται σε τάξεις (Καραγιάννης & Σιδερίδου, 2006).

Οι κυριότερες τάξεις πρόσθετων είναι :

1. Πληρωτικά υλικά (Fillers)
2. Ενισχυτικά μέσα (Reinforcing agents)
3. Συνδετικά μέσα (Coupling agents)
4. Πλαστικοποιητές (Plasticizers)
5. Σταθεροποιητές (Stabilizers)
6. Επιβραδυντές καύσης (Flame retardants)
7. Αντιστατικά (Antistatic agents)
8. Χρωστικές (Colorants)

Από τα παραπάνω πρόσθετα τα πληρωτικά, τα ενισχυτικά και τα συνδετικά συμβάλλουν στην ενίσχυση της αντοχής, ενώ τα υπόλοιπα προστατεύουν το πολυμερές κατά τη μορφοποίηση, ή βελτιώνουν τις ιδιότητες και την εμφάνιση του τελικού προϊόντος.

2.3.1 Πληρωτικά υλικά

Ως πληρωτικά χαρακτηρίζονται τα αδρανή εκείνα υλικά, ανόργανα και οργανικά, που όταν προστίθενται σε ένα πολυμερές, βελτιώνουν κάποιες ιδιότητες και μειώνουν το κόστος παραγωγής. Τα κυριότερα πληρωτικά που χρησιμοποιούνται είναι τάλκης, μαρμαρόσκονη, καολίνη, που κατατάσσονται στα ανόργανα και το ξυλάλευρο, χαρτί, λιγνίνη και άμυλο που ανήκουν στα οργανικά. Τα ανόργανα προτιμούνται έναντι των οργανικών όταν επιδιώκεται η βελτίωση της αντοχής στη θέρμανση, την υγρασία, τον ηλεκτρισμό και τα χημικά αντιδραστήρια. (Αλεξοπούλου , 2006)

2.3.2 Ενισχυτικά μέσα

Ενισχυτικά είναι τα υλικά που προστίθενται στα πολυμερή για τη βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Δεν είναι αδρανή αλλά αντιδρούν με το πολυμερές και ενσωματώνονται με αυτό. Τα κυριότερα ενισχυτικά είναι: ίνες υάλου, κεραμικές και μεταλλικές ίνες, ίνες άνθρακα, συνθετικές και κυτταρίνης. Παρατηρείται ότι αρκετά ενισχυτικά μέσα είναι και πληρωτικά. Τα κατάλληλα σύνθετα υλικά ενίσχυσης μαζί με τα πολυμερή δημιουργούν ασυναγώνιστα προϊόντα.

2.3.3 Συνδετικά μέσα

Είναι ενώσεις που το μόριο τους διαθέτει δύο δραστικά άκρα με τα οποία μπορούν να συνδεθούν σταθερά δύο τελείως διαφορετικά υλικά. Για να υπάρξει συνδυασμός πολυμερούς με ενισχυτικά ή πληρωτικά που να προσδίδουν τις επιθυμητές ιδιότητες, θα πρέπει να είναι ισχυρά συνδεδεμένα τα υλικά και αυτό είναι δύσκολο να γίνει ιδιαίτερα σε συνδυασμό με υγρασία. Για αυτό γίνεται η χρήση συνδετικών υλικών.

2.3.4 Πλαστικοποιητές

Είναι ενώσεις υγρές ή στερεές, οι οποίες όταν προστίθενται σε σκληρά πολυμερή τα μετατρέπουν σε εύκαμπτα, μαλακά και ευκατέργαστα. Η δράση τους οφείλεται στη μείωση διαμοριακών δυνάμεων που υπάρχουν μεταξύ των μακρομορίων. Για να χρησιμοποιηθεί μια ένωση ως πλαστικοποιητής ενός πολυμερούς απαραίτητη προϋπόθεση είναι:

1. Να αναμιγνύεται πλήρως με το πολυμερές ώστε να αποτελούν μια φάση και να μη διαχωρίζεται από αυτό ούτε μετά από μεγάλο διάστημα.
2. Να παρουσιάζει υψηλό σημείο ζέσεως για να μην αποβάλλεται εύκολα από το πολυμερές κατά τη θέρμανση.

3. Να διατηρείται σταθερή στις συνθήκες μορφοποίησης.
4. Τέλος, θα πρέπει να μη παρουσιάζει τοξικότητα, οσμή, χρώμα, να είναι άφλεκτη και με χαμηλό κόστος παραγωγής (Δουλγέρης, 2018)

2.3.5 Σταθεροποιητές

Τα πολυμερή κάτω από την επίδραση του ηλιακού φωτός, του ατμοσφαιρικού οξυγόνου και της θερμότητας αποδομούνται. Οι σταθεροποιητές βοηθούν στην αποφυγή της αποδόμησης. Διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (Ye et al. 2006):

1. Αντιοξειδωτικά (Antioxidants)
2. Απορροφητές υπεριώδους ακτινοβολίας (UV absorbers)
3. Πρόσθετα για την προστασία από τη θερμότητα (Heat stabilizers)

2.3.6 Επιβραδυντές καύσης

Τα περισσότερα οργανικά πολυμερή όταν έλθουν σε επαφή με γυμνή φλόγα ή θερμανθούν σε υψηλές θερμοκρασίες καίγονται. Η καύση είναι μια αλυσιδωτή αντίδραση που αρχίζει και συνεχίζεται από τις υδροξυ-ρίζες (OH) που παράγονται από την επίδραση του οξυγόνου στο πολυμερές. Τα πολυμερή οφείλουν την αντοχή τους στη καύση στις ρίζες αλογόνου (X) που παράγονται κατά τη θέρμανση και δεσμεύουν τις ελεύθερες μακρόριζες που συντελούν στη καύση. Για το λόγο αυτό για την προστασία των πολυμερών από τη φωτιά χρησιμοποιούνται αλογονούχες και φωσφορούχες ενώσεις.

2.3.7 Αντιστατικά

Τα μη πολικά πολυμερή όπως το πολυαιθυλένιο αναπτύσσουν στην επιφάνειά τους, κατά το στάδιο της επεξεργασίας, σημαντικά ποσά στατικού ηλεκτρισμού που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα κατά τη χρήση των τελικών προϊόντων. Τα αντιστατικά αποτελούνται από υγροσκοπικές ενώσεις που απορροφούν την ατμοσφαιρική υγρασία και δημιουργούν ένα λεπτό στρώμα νερού που εξουδετερώνει το στατικό ηλεκτρισμό. Κυριότερα αντιστατικά είναι: αμίνες, άλατα τεταρτοταγούς αμμωνίου, φωσφορικοί εστέρες, εστέρες της πολυαιθυλενογλυκόλης.

2.3.8 Χρωστικές

Στη γρήγορη διάδοση των πολυμερών συνέβαλε σημαντικά και η εύκολη βαφή σε όλη τη μάζα τους. Οι χρωστικές που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Ανόργανες χρωστικές ουσίες

Οι ανόργανες χρωστικές είναι κυρίως οξείδια μετάλλων. Το πιο ευρέως χρησιμοποιημένο είναι το οξείδιο του τιτανίου και ακολουθούν τα οξείδια σιδήρου, μολύβδου, χρωμίου, καδμίου, ψευδαργύρου.

- Οργανικές χρωστικές ουσίες

Οι οργανικές χρωστικές είναι αδιάλυτες στο νερό όπως η αιθάλη, διάφορα αζωχρώματα, οι φθαλοκυανίνες, όξινα και βασικά χρώματα.

- Βαφές

Οι βαφές είναι οργανικές χρωστικές ουσίες διαλυτές στο νερό. Πλεονεκτούν έναντι των ανόργανων στο ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε διαφανή πολυμερή.

2.4 Περιβαλλοντικά προβλήματα κατά την παραγωγή των πολυμερών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω κατά την παραγωγή των πλαστικών προϊόντων μια σειρά χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες (πολυμερή και πρόσθετα). Κατά την σύνθεση ή απομόνωσή τους, τον καθαρισμό και την κατεργασία τους υπόκεινται σε διάφορες διαδικασίες κατά τις οποίες παράγονται ρύποι και καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

2.4.1 Βιομηχανικά Απόβλητα

Τα βιομηχανικά απόβλητα αποτελούν μία από τις κυριότερες πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος καθώς από την βιομηχανική δραστηριότητα παράγονται υγρά απόβλητα, ρυπογόνα αέρια και στερεά απόβλητα. Κάθε μια από τις μορφές αυτές ρύπανσης μπορεί να αποτελεί άμεσο προϊόν της παραγωγικής διαδικασίας ή έμμεσο από διαδικασίες καθαρισμού των πρωτογενών αυτών προϊόντων.

Ο σχεδιασμός των μονάδων επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων είτε γίνεται για κάθε μια βιομηχανική μονάδα μεμονωμένα, είτε σε συνδυασμό με μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων και απαιτεί λεπτομερή ανάλυση παραμέτρων όπως:

1. Τα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας
2. Τα σημεία και ο τρόπος παραγωγής ρύπων κατά τη λειτουργία της μονάδας
3. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και οι ποσότητες παραγόμενων αποβλήτων
4. Ο τελικός αποδέκτης των επεξεργασμένων αποβλήτων
5. Τα διαθέσιμα οικονομικά μέσα

Η βάση της κατάταξης μιας βιομηχανίας ως προς την ρυπαντικότητα αφορά την ποιοτική και ποσοτική ρύπανση του νερού, εκπεφρασμένη σε BOD (Biochemical Oxygen Demand, mg/L), καθώς και το είδος, την ποσότητα και το βαθμό τοξικότητας τυχόν υπαρχόντων τοξικών ρύπων.

2.4.2 Διυλιστήρια Πετρελαίου-Πετροχημική βιομηχανία

Στις μονάδες διύλισης πετρελαίου γίνεται η παραγωγή των πρώτων υλών των πολυμερών και η παραγωγή καυσίμων, αναγκαίων για την βιομηχανική παραγωγή. Οι μονάδες αυτές μπορούν να προκαλέσουν σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση στην περιοχή. Κατά τις διεργασίες άντλησης, κλασματικής απόσταξης, καταλυτικής διάσπασης και μετασχηματισμού καθώς και από τις διεργασίες ραφιναρίσματος του πετρελαίου προκαλείται ρύπανση στο υπέδαφος, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, αλλά και στην ατμόσφαιρα. Η αποθήκευση και μεταφορά του αργού πετρελαίου και των προϊόντων του μπορεί επίσης να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στο υπέδαφος και το υδάτινο περιβάλλον σε περίπτωση διαρροών.

Η υγρή ρύπανση από τις μονάδες αυτές οφείλεται κυρίως στους υδρογονάνθρακες και τα καυστικά που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια κατεργασίας, ενώ τα υγρά απόβλητα των διυλιστηρίων περιέχουν μεγάλες ποσότητες πτητικών ουσιών και αιωρούμενων στερεών, έχουν μεγάλες τιμές pH και το BOD έχει τιμή περίπου 800 mg/L. Η κατεργασία τους περιλαμβάνει διεργασίες καθίζησης και καταβύθισης με πολυ-ηλεκτρολύτες για τα αιωρούμενα στερεά, διεργασίες διαχωρισμού επίπλευσης και προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα για τους υδρογονάνθρακες.

Η αέρια ρύπανση που προκαλούν οι διάφορες μονάδες άντλησης και επεξεργασίας πετρελαίου χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα τοξική και επικίνδυνη καθώς ενοχοποιείται για τη δημιουργία φωτοχημικού νέφους, τη διασπορά τοξικών ουσιών σε μεγάλη ακτίνα γύρω από τις εγκαταστάσεις κλπ. Οι αέριοι ρύποι των διυλιστηρίων και των πετροχημικών βιομηχανιών είναι αιωρούμενα σωματίδια, αιθάλη, πτητικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, πτητικά αλκάνια και αλκένια, οξείδια του άνθρακα του αζώτου και του θείου.

Η συνήθης μέθοδος αντιμετώπισης της αέριας ρύπανσης στα διυλιστήρια είναι η καύση που πραγματοποιείται σε ειδικούς καυστήρες. Ωστόσο επειδή η μέθοδος είναι ανεπαρκής απαιτείται μια πρόσθετη σειρά μέτρων για τον περιορισμό της ρύπανσης.

Ορισμένα γενικά μέτρα ελέγχου και προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται με σκοπό το περιορισμό της ρύπανσης είναι:

1. Ο συνεχής έλεγχος της περισσειας αέρα στις καύσεις των φούρνων και των λεβήτων της εγκατάστασης. Η εγκατάσταση αναλυτών O₂ συνεχούς καταγραφής στα καυσαέρια.

2. Έλεγχος ποιότητας καυσίμων ως προς το περιεχόμενο θείου και τη σύστασή τους.
3. Έλεγχος αμαυρότητας καπνοδόχων.
4. Έλεγχος καλής λειτουργίας φούρνων - καυστήρων για άριστη καύση.
5. Μετρήσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του θείου (SO₂) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) εκπεμπόμενων με τα καυσαέρια.
6. Εγκατάσταση κλειστών κυκλωμάτων στις διεργασίες αερίων με ανακυκλώσεις αυτών ώστε να μηδενιστούν τυχόν απώλειες ή διαρροές.
7. Ειδικότερα τα δοχεία, σωληνώσεις και συστήματα που βρίσκονται υπό πίεση ή που είναι δυνατόν να υποστούν πιέσεις που θα προκαλέσουν ζημιά σε αυτά, χρειάζεται να είναι προστατευμένα έναντι των υψηλών πιέσεων με ασφαλιστικές δικλίδες. Αυτές εκτονώνουν τα υπό πίεση αέρια στην ατμόσφαιρα, όταν πρόκειται για μη επιβλαβείς ουσίες ή στους πυρσούς των διυλιστηρίων για καύση όταν πρόκειται για υδρογονάνθρακες.
8. Εγκατάσταση μονάδων εκπλύσεως αερίων και μονάδων παραγωγής θείου στα καιόμενα αέρια.
9. Εγκατάσταση THERMAL INCINERATOR όπου γίνεται καύση των όξινων αερίων από τις μονάδες παραγωγής θείου.
10. Τοποθέτηση δευτεροταγών φραγών στις δεξαμενές πλωτής οροφής για μείωση των εκπομπών υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα.
11. Τοποθέτηση πλωτών σκεπάστρων σε τυχόν ελαιοδιαχωριστές των μονάδων βιολογικού καθαρισμού.
12. Χρησιμοποίηση καπνοδόχων κατάλληλου ύψους για τη διάθεση των καυσαερίων από τους φούρνους (Θεοδωροπούλου, 2006)

2.4.3 Νομοθεσία για τις χημικές ουσίες, τους ρύπους και τα απόβλητα

Με σκοπό να μπορέσουν να περιοριστούν οι συνέπειες των διαδικασιών που περιγράφηκαν παραπάνω αλλά και της χρήσης μεγάλων ποσοτήτων των διαφόρων χημικών ουσιών ή μιγμάτων έχουν θεσπιστεί από τα κράτη μέλη της ΕΕ κανονισμοί που αφορούν την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση, αλλά και την ταξινόμηση, την επισήμανση και τη συσκευασία τους. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικότεροι:

2.4.3.1 Κανονισμός REACH²⁸

Ο Κανονισμός REACH²⁸ (1907/2006/ΕΚ) αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της νομοθεσίας της ΕΕ για τα χημικά. Η ονομασία του REACH προέρχεται από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων Registration (Καταχώριση), Evaluation (Αξιολόγηση), Authorization (Αδειοδότηση) και Restriction of Chemicals

(Περιορισμοί χημικών προϊόντων), οι οποίες περιγράφουν και τα στάδια λειτουργίας του. Θέτει εναρμονισμένους κανόνες σχετικά με την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς των χημικών προϊόντων στην ΕΕ και θεσπίστηκε με σκοπό να εξασφαλιστούν:

α) Η προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένης της προαγωγής εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης των επικινδύνων ουσιών ώστε να μειωθούν οι δοκιμές που διενεργούνται σε ζώα.

β) Η ελεύθερη κυκλοφορία των χημικών ουσιών εντός της εσωτερικής αγοράς, με παράλληλη ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας και της καινοτομίας διαμέσου της ανάπτυξης ασφαλέστερων χημικών.

Ο Κανονισμός τέθηκε σε ισχύ τον Ιούνιο του 2007 και από τότε οι επιχειρήσεις, ως παρασκευαστές, εισαγωγείς ή μεταγενέστεροι χρήστες χημικών, οφείλουν να καταχωρούν τις χημικές ουσίες με στόχο την αξιολόγησή τους από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων (European Chemicals Agency – ECHA). Το σύστημα καταχώρισης απαιτεί τη διάθεση επαρκών πληροφοριών για τις ιδιότητες των χημικών ουσιών, ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση της επικινδυνότητας, καθώς και η εισαγωγή μέτρων περιορισμού του κινδύνου, όταν αυτό απαιτείται για τις ουσίες που κρίνονται ως επικίνδυνες. Μακροπρόθεσμα, οι πλέον επικίνδυνες ουσίες πρέπει να υποκατασταθούν από άλλες, λιγότερο επικίνδυνες. Το κόστος συμμόρφωσης στον REACH έχει επιπτώσεις στην ανταγωνιστικότητα, κυρίως των μικρότερων επιχειρήσεων – οι μεγαλύτερες επιχειρήσεις μπορούν ευκολότερα να το απορροφήσουν.

2.4.3.2 Κανονισμός 1272/2008/ΕΚ

Το σύστημα παρακολούθησης και αδειοδότησης REACH, συμπληρώνεται από τον Κανονισμό 1272/2008/ΕΚ για την ταξινόμηση, επισήμανση και συσκευασία χημικών ουσιών και μειγμάτων (Classification, Labelling, Packaging – CLP). Βασίζεται στο Παγκοσμίως Εναρμονισμένο Σύστημα των Ηνωμένων Εθνών (ΠΕΣ) και αποσκοπεί, όπως και το REACH, στη διασφάλιση ενός υψηλού επιπέδου προστασίας της υγείας και του περιβάλλοντος, καθώς και της ελεύθερης κυκλοφορίας των χημικών ουσιών και μειγμάτων.

Ο Κανονισμός CLP απαιτεί από τους παρασκευαστές, τους εισαγωγείς ή τους μεταγενέστερους χρήστες ουσιών ή μειγμάτων να ταξινομήσουν, να επισημαίνουν και να συσκευάζουν κατάλληλα τις επικίνδυνες χημικές ουσίες τους πριν τις διαθέσουν στην αγορά. Ο προσδιορισμός των επικινδύνων ιδιοτήτων μιας ουσίας ή ενός μείγματος γίνεται βάσει συναφών πληροφοριών (π.χ. τοξικολογικά δεδομένα) που βοηθούν την ταξινόμηση των χημικών σε τάξεις και κατηγορίες κινδύνου, οι οποίες καλύπτουν τη φυσική επικινδυνότητα, την επικινδυνότητα για την υγεία, το περιβάλλον και άλλου

είδους επικινδυνότητες. Ο βαθμός επικινδυνότητας πρέπει να κοινοποιείται στους υπόλοιπους φορείς της εφοδιαστικής αλυσίδας και στους καταναλωτές, μέσω επισημάνσεων επικινδυνότητας (ετικέτες και δελτία δεδομένων ασφαλείας), ώστε να προειδοποιούνται για την ύπαρξη επικινδυνότητας και για την ανάγκη διαχείρισης των σχετικών κινδύνων. Στον κανονισμό καθορίζονται, επίσης, γενικά πρότυπα συσκευασίας, προκειμένου να εξασφαλίζεται ο ασφαλής εφοδιασμός των επικίνδυνων ουσιών και μειγμάτων.

2.4.3.3 Οδηγία 2010/75/EK

Η Οδηγία 2010/75/EK για τις Βιομηχανικές Εκπομπές (Industrial Emissions Directive) τέθηκε σε εφαρμογή την 1η Ιανουαρίου 2011 για τη μείωση των εκπομπών ρύπων των μεγάλων βιομηχανικών εγκαταστάσεων καύσης σε όλη την ΕΕ, η οποία θα έχει οφέλη για το περιβάλλον και την υγεία.

Στο επίκεντρο της Οδηγίας βρίσκεται η ενίσχυση της εφαρμογής των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (Best Available Techniques – BAT) και ρυθμίζει τις εκπομπές απαιτώντας από τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης να έχουν περιβαλλοντική άδεια που θα καλύπτει τις εκπομπές στην ατμόσφαιρα, στα ύδατα και στο έδαφος, σε συνδυασμό με τη διαχείριση των αποβλήτων τους και την ενεργειακή αποδοτικότητα. Οι συνθήκες αδειοδότησης και τα όρια εκπομπών ρύπων (Emission Limit Values – ELVs) που περιλαμβάνονται στους όρους αδειοδότησης καθορίζονται με αναφορά στις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (BAT).

Επίσης υπάρχει το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΣΕΔΕ-ΕΕ) το οποίο είναι ένας «μηχανισμός αγοράς» για την τιμολόγηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το σύστημα έχει συνολικό στόχο εκπομπών σε επίπεδο ΕΕ, ο οποίος μειώνεται σταδιακά έτσι ώστε το 2020 οι εκπομπές να είναι κατά 21% χαμηλότερες σε σύγκριση με το επίπεδο εκπομπών το 2005. Αξίζει, ακόμη, να αναφερθεί ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της χημικής βιομηχανίας στην Ελλάδα (σε όρους ισοδύναμων εκπομπών CO₂) έχουν περιοριστεί σημαντικά συγκριτικά με το 1990 (έτος βάσης στις σχετικές μετρήσεις που διενεργούνται στο πλαίσιο των διεθνών συμφωνιών για την Κλιματική Αλλαγή). Το 2015 βρίσκονταν σε επίπεδα κατά 82% χαμηλότερα συγκριτικά με τις τιμές του έτους βάσης, αποτελώντας το 0,6% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της Ελλάδας, από 2,9% το 1990. Κομβικό χρονικό σημείο για αυτή την εξέλιξη ήταν το 2006, όταν τέθηκε σε εφαρμογή η απαγόρευση της παραγωγής HCFC-2232, η οποία οδήγησε σε κατακόρυφη πτώση των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από την εγχώρια χημική βιομηχανία.

2.5 Πράσινη χημεία και εναλλακτικές πρώτες ύλες

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις από την παρασκευή, επεξεργασία και χρήση μιας χημικής ουσίας καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τα χρησιμοποιούμενα αρχικά υλικά. Αν η πρώτη ύλη έχει δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να είναι και το τελικό προϊόν επιβλαβές για το περιβάλλον. Το μέγεθος της επίδρασης των πρώτων υλών στο καθορισμό του περιβαλλοντικού χαρακτήρα ενός χημικού προϊόντος εξαρτάται από ένα αριθμό παραμέτρων. Τέτοιες παράμετροι, είναι η πολυπλοκότητα και ο αριθμός σταδίων της διαδικασίας παρασκευής των προϊόντων. Έχει ιδιαίτερη σημασία να εξετάσουμε από που προέρχεται η πρώτη ύλη που εξετάζουμε, εάν είναι προϊόν εξόρυξης, σύνθεσης, διύλισης, απόσταξης κλπ. και τι επιπτώσεις έχει η συγκεκριμένη προέλευση. Κατά πάσα πιθανότητα ένα προϊόν χημικής διεργασίας που αναλώνει έναν περιορισμένο φυσικό πόρο, ή καταλήγει σε μη αντιστρέψιμη περιβαλλοντική βλάβη, θα έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για κάθε πρώτη ύλη πρέπει να εξετάζεται αν είναι ικανή να προκαλέσει χρόνια τοξικότητα, καρκινογένεση, οικοτοξικότητα κλπ. Αυτό είναι απαραίτητο διότι το αρχικό υλικό πρέπει να παραχθεί σε μεγάλες ποσότητες πριν τη παραγωγή του προϊόντος και λόγω του ότι οι εργαζόμενοι έρχονται σε επαφή με αυτή τη πρώτη ύλη. Επομένως, αν η πρώτη ύλη εμπεριέχει κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, ο κίνδυνος θα ακολουθήσει και ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος.

2.5.1 Αξιολόγηση μεθόδων σχεδιασμού ασφαλέστερων πρώτων υλών

Οι μέθοδοι σχεδιασμού ασφαλέστερων χημικών ουσιών στηρίζονται στην ανάλυση του τρόπου με τον οποίο η μοριακή δομή γίνεται λειτουργική σε σχέση με την ικανότητά της να επιφέρει βλάβες στο περιβάλλον. Ο σχεδιασμός μιας ασφαλέστερης χημικής ουσίας επιτυγχάνεται με κατάλληλο χειρισμό της δομής της, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η λειτουργικότητα και παράλληλα να ελαχιστοποιούνται οι εγγενείς κίνδυνοι από τη χρήση τους. Από τη στιγμή που θα καθοριστεί η λειτουργία μιας ουσίας και συσχετιστεί με δεδομένη μοριακή δομή, μπορούμε να επιχειρήσουμε την τροποποίηση της δομής αυτής, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ενδεχόμενη τοξικότητα ή οποιοσδήποτε άλλος κίνδυνος. Υπάρχουν πολλοί βασικοί τρόποι να επιτύχουμε κάτι τέτοιο:

1. Ανάλυση του μηχανισμού δράσης
2. Σχέσης δομής – ενεργότητας
3. Αποφυγή τοξικών λειτουργικών ομάδων
4. Ελαχιστοποίηση της βιοδιαθεσιμότητας
5. Ελαχιστοποίηση της χρήσης βοηθητικών ουσιών

Όσο περισσότερα γνωρίζουμε για το πως εκδηλώνει την τοξικότητά της μια ουσία τόσο περισσότερες επιλογές έχουμε στη διάθεση μας για να σχεδιάσουμε ένα ασφαλέστερο χημικό προϊόν (Anastas & Warner, 2007).

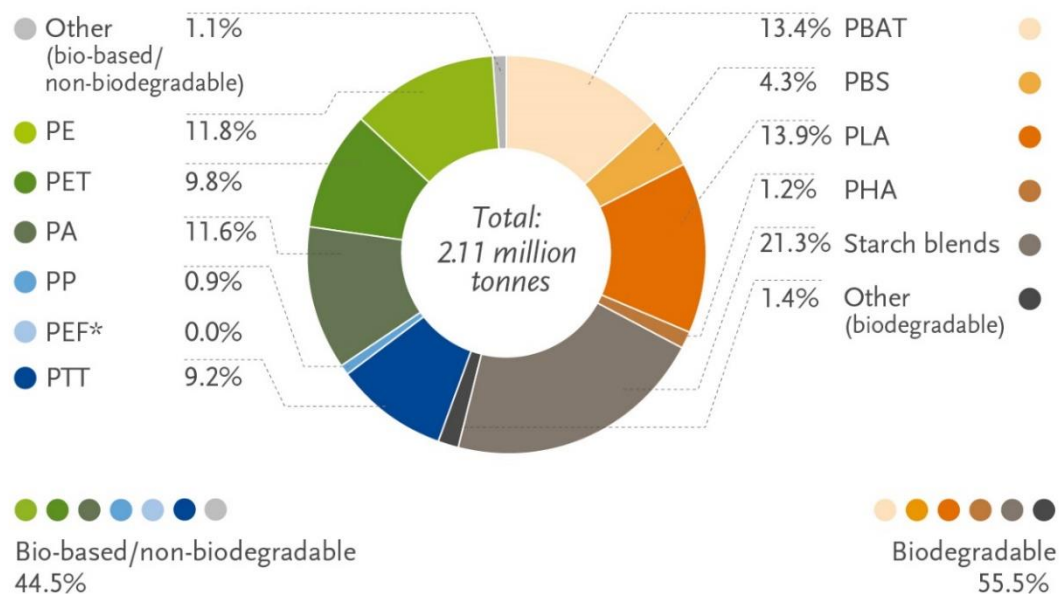
2.5.2 Πράσινη χημεία – πράσινα πολυμερή

Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, η βιομηχανία πολυμερών έχει αναπτυχθεί πλήρως στηριζόμενη στο πετρέλαιο, ωστόσο, οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον οδήγησαν στην άνοδο μιας νέας κατηγορίας πολυμερών, των βιοπολυμερών και των βιοαποδομήσιμων πολυμερών. Ενδεικτικά στην Εικόνα 2.7 παρουσιάζεται η παγκόσμια παραγωγική ικανότητα βιοπολυμερών για το έτος 2019.

Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί σημαντικά επιτεύγματα στο πεδίο της χρήσης περιβαλλοντικά φιλικών πρώτων υλών για την παρασκευή ποικίλων χημικών προϊόντων. Με τις προόδους που σημειώθηκαν στους τομείς της βιοτεχνολογίας, της βιοκατάλυσης και της βιοσύνθεσης, η χρήση πρώτων υλών βιολογικής προέλευσης έχει καθιερωθεί για αρκετές χημικές διεργασίες, ως μια τεχνολογικά αποδεκτή εναλλακτική λύση έναντι των πρώτων υλών που έχουν ως βάση το πετρέλαιο.

Τα βιοπολυμερή (ανανεώσιμα πολυμερή) δηλαδή τα πολυμερή που προέρχονται κυρίως ή εξ' ολοκλήρου από τη βιομάζα, συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους πετροχημικούς πόρους, βοηθούν στην ελαχιστοποίηση της τοξικότητας λόγω πτητικών οργανικών ενώσεων ή διαλυτών και οδηγούν σε χαμηλότερες εκπομπές CO₂. Η ανάπτυξη βιοπολυμερών αναγνωρίζεται ως μια από τις πιο επιτυχημένες καινοτομίες στη βιομηχανία πολυμερών για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ζητημάτων.

Global production capacities of bioplastics 2019 (by material type)



*PEF is currently in development and predicted to be available in commercial scale in 2023.

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2019)

More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

Εικόνα 2.7. Παγκόσμια παραγωγική ικανότητα βιοπολυμερών για το έτος 2019.

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, ορισμένες βιομηχανίες τείνουν να υποκαθιστούν τις πρώτες ύλες τους που είχαν βάση το πετρέλαιο με άλλα πράσινα υλικά προκειμένου να μειώσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των προϊόντων τους. Η εξελισσόμενη έρευνα στον τομέα αυτό είναι ελπιδοφόρα, προκειμένου να επεκταθούν οι πιθανές εφαρμογές στο μέλλον.

Η σημασία των βιοπολυμερών είναι γνωστή και πολλές ερευνητικές και αναπτυξιακές δραστηριότητες αφορούν τη χρήση τους στην επιστήμη, τη μηχανική και τη βιομηχανία. Γενικά, τα βιοπολυμερή ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες (Nakajima et al., 2017):

- 1η τάξη: φυσικά πολυμερή βιομάζας με άμεση χρήση βιομάζας ως πολυμερικού υλικού, (συμπεριλαμβανομένων χημικώς τροποποιημένων) όπως κυτταρίνη, οξική κυτταρίνη, άμυλα, χιτίνη, τροποποιημένο άμυλο κ.λπ.
- 2η τάξη: βιο-επεξεργασμένα πολυμερή με βιο-σύνθεση χρησιμοποιώντας μικροοργανισμούς και φυτά όπως πολυυδροξυαλκανοϊκά (PHAs), πολυ (γλουταμινικό οξύ) κ.λπ.
- 3η τάξη: συνθετικά πολυμερή όπως πολυλακτίδιο (PLA), πολυ (ηλεκτρικό βουτυλενεστέρα) (PBS), βιο-πολυολεφίνες, βιο-πολυ (τερεφθαλικό αιθυλενεστέρα) (bio-PET) κ.λπ.

Τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχθεί η έρευνα σε βιοπολυμερή όπως πολυουρεθάνες, πολυολεφίνες, πολυεστέρες και πολυμερή βινυλίου κατάλληλα για πληθώρα εφαρμογών όπως είδη πρώτης ανάγκης (π.χ. πλαστικά σκεύη, ηλεκτρονικά καλώδια, συνθετικά υφάσματα, μαξιλάρια) αλλά και εξειδικευμένα υλικά (π.χ. δισκέτες, προστατευτικά οθόνης, βιοϊατρικά υλικά, μεμβράνες διαχωρισμού κλπ.). Τα βιοπολυμερή μπορούν να συντεθούν συνδυάζοντας υαλώδη τμήματα που προέρχονται από φυτικά σάκχαρα και άμυλο, λιγνοκυτταρινική βιομάζα, ρητίνη πεύκου και ελαστικά τμήματα που προέρχονται από λιπαρά οξέα και αιθέρια έλαια (Holmberg et al., 2014).

Η βιοαποικοδομησιμότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση της λεγόμενης «λευκής ρύπανσης» ενώ ο ρυθμός βιοαποικοδόμησης μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες όπως:

- τα μακρομοριακά χαρακτηριστικά (χημική δομή, στερεοκανονικότητα, μοριακό βάρος και κατανομή μοριακού βάρους)
- τις επιφανειακές ιδιότητες (επιφάνεια, υδροφιλικότητα / υδροφοβικότητα)
- τις μηχανικές ιδιότητες (θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου, θερμοκρασία τήξης, μέτρο ελαστικότητας).

Η κρυσταλλικότητα γενικά εμποδίζει τη βιοαποικοδομησιμότητα, η οποία ξεκινά από τις άμορφες περιοχές με ρυθμούς διάβρωσης πολύ υψηλότερους από εκείνους των κρυσταλλικών περιοχών (Gan et al, 2000).

3 Προϊόντα βασισμένα σε πολυολεφίνες

Στην παρούσα διατριβή μελετάται ο κύκλος ζωής των πλαστικών φύλλων και πιο συγκεκριμένα των φύλλων που χρησιμοποιούνται στον αγρό. Θα αναλυθεί η διαδικασία παραγωγής πρώτων υλών, τελικών προϊόντων αλλά και χρήσης τους στην βιομηχανία Πλαστικά Κρήτης ΑΕ που βρίσκεται στην βιομηχανική περιοχή Ηρακλείου. Η συγκεκριμένη εταιρία δραστηριοποιείται στους παρακάτω τομείς παράγοντας:

- masterbatches (πρώτες ύλες για τη βιομηχανία πλαστικών)
- πλαστικά φύλλα για αγροτικές εφαρμογές
- γεωμεμβράνες
- σωλήνες πολυαιθυλενίου
- ανακυκλωμένα πλαστικά
- ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η καθετοποιημένη παραγωγή καθώς η εταιρία που παράγει τα αγροτικά φύλλα, είναι η ίδια που παράγει τα masterbatches, δηλ. τα ειδικά μίγματα σταθεροποιητών και άλλων χημικών προσθέτων που προσδίδουν στα φύλλα τις κρίσιμες ιδιότητες για την ποιότητα και απόδοσή τους (μακρά διάρκεια ζωής, θερμομόνωση, αντισταγονική ιδιότητα κλπ.). Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει στην εταιρία έλεγχο της ποιότητας, αυτονομία στην ανάπτυξη νέων προϊόντων και ανταγωνιστικότερο κόστος.

Από τα παραπάνω θα δοθεί έμφαση στα περιβαλλοντικά προβλήματα και οφέλη που προκύπτουν από την παραγωγή, την χρήση και την διαχείριση των προϊόντων βασισμένα με πολυολεφίνες.

3.1 Μέθοδοι παραγωγής

Η παραγωγή masterbatches με σκοπό την ανάμιξη των διαφόρων προσθέτων με το πολυμερές ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν, γίνεται με την μέθοδο ανάμιξης τήγματος.

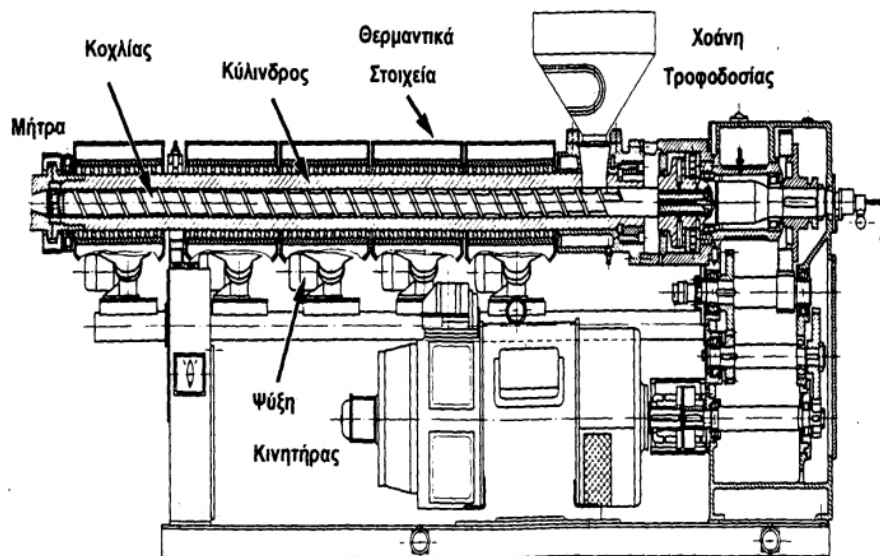
Οι συσκευές εξώθησης θερμού τήγματος (extruders) είναι διατάξεις οι οποίες έχουν τη δυνατότητα ανάμιξης, συμπίεσης και τήξης του πολυμερούς-φορέα, της δραστικής ουσίας και των υπόλοιπων προσθέτων και διαμόρφωσής τους σε κορδόνι, μικροσφαίρες, μικροκύλινδρους κλπ με τη βοήθεια μιας μήτρας εξόδου ελεγχόμενης θερμοκρασίας. Η όλη διάταξη εξαρτάται από την πίεση η οποία μπορεί να εφαρμοστεί στο πολυμερές, το ιξώδες του πολυμερούς καθώς και τη μορφή του. Υπάρχουν δύο τύπους εξωθητών θερμού τήγματος συνεχούς λειτουργίας, το μονοκόχλιο και το

διπλοκόχλιο, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη βιομηχανία και η λειτουργία των οποίων είναι παρόμοια (Καραγιαννίδης, 2009).

3.1.1 Μονοκόχλιοι εξωθητές

Ένας μονοκόχλιος εξωθητής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1, σε γενικές γραμμές αποτελείται από τα εξής μέρη:

- χοάνη εισαγωγής (τροφοδοσίας) του υλικού
- κινητήρας μεγάλης ισχύος και σύστημα μετάδοσης της κίνησης στον κοχλία
- κύριο σώμα αποτελούμενο από ζώνες ελεγχόμενης θέρμανσης και διαβαθμισμένης συμπίεσης του υλικού σε κάθε μία
- σύστημα θέρμανσης και ελέγχου της θερμοκρασίας
- μήτρα εξώθησης (εκβολής) στο σημείο εξόδου για λήψη τήγματος διαμορφωμένου σε επιθυμητό σχήμα (π.χ. κορδόνι, σωλήνα, φύλλα)

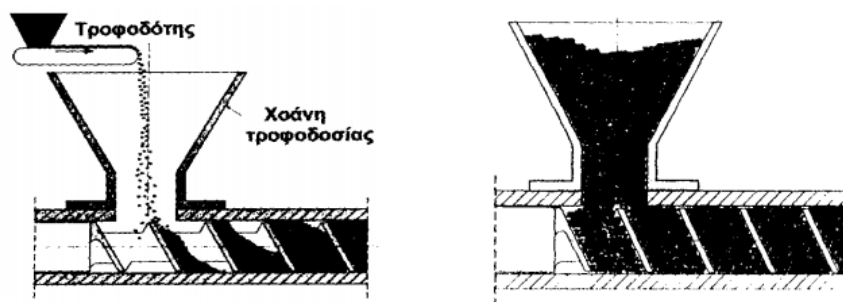


Εικόνα 3.1. Μονοκόχλιος εξωθητής.

3.1.1.1 Χοάνη τροφοδοσίας

Η εισαγωγή του μίγματος μέσω της χοάνης αποτελεί κρίσιμο στάδιο καθώς είναι δυνατόν να υπάρξουν προβλήματα ροής λόγω των υψηλών θερμοκρασιών εξώθησης και επίσης λόγω της μικρής διαμέτρου του κυλίνδρου εξώθησης. Για να βελτιωθεί η δυνατότητα τροφοδοσίας του πολυμερούς, το πλάτος εισόδου θα πρέπει να είναι περίπου το 0,7 της διαμέτρου (D) του κυλίνδρου και το μήκος της όχι μεγαλύτερο από το 1,5 αυτού. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 3.2 η

εισαγωγή του πολυμερούς μπορεί να γίνει σταδιακά με αργό ρυθμό (ελεγχόμενη τροφοδοσία) ή γεμίζοντας πλήρως τη χοάνη (κατακλυσμιαία τροφοδοσία).



Εικόνα 3.2. Χοάνη τροφοδοσίας ελεγχόμενη (αριστερά) και κατακλυσμιαία (δεξιά).

3.1.1.2 Κινητήρας

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης περιστρέφει τον κοχλία με τις επιθυμητές στροφές και αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος μεταβάλλει την ταχύτητα περιστροφής από σχεδόν μηδενική μέχρι τη μέγιστη δυνατή. Η ταχύτητα περιστροφής του κοχλία αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρο κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και εξώθησης ενός θερμοπλαστικού πολυμερούς και θα πρέπει να παραμένει σταθερή. Οποιαδήποτε διακύμανση μπορεί να έχει δραματικές συνέπειες στις διαστάσεις του τελικού προϊόντος. Για το λόγο αυτό μεταξύ του κινητήρα και του κοχλία περιστροφής παρεμβάλλεται πάντοτε ένας μειωτήρας επιβάλλοντας ρυθμούς μείωσης από 15:1 έως 20:1. Η ρύθμιση των στροφών γίνεται με ηλεκτρονικό τρόπο.

3.1.1.3 Σύστημα μετάδοσης και ελέγχου της θερμότητας

Ο κύλινδρος του εκβολέα έχει δυνατότητα θέρμανσης και ψύξης. Η θερμότητα παρέχεται συνήθως με ηλεκτρικές αντιστάσεις τοποθετημένες κατά μήκος του εξωτερικού μέρους του εκβολέα, ενώ ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται με θερμοστοιχεία. Οι πιο συνηθισμένοι εκβολείς έχουν τρεις ζώνες θέρμανσης, ενώ μπορεί να ξεπεράσουν και τις δέκα σε μεγάλους και ιδιαίτερα πολύπλοκους εκβολείς. Η θερμοκρασία καθορίζεται ανάλογα με το κατεργαζόμενο πολυμερές. Εάν είναι ημικρυσταλλικό τότε η μέγιστη θερμοκρασία εξώθησης δεν θα πρέπει να είναι πάνω από 50° C υψηλότερη του σημείου τήξεως του πολυμερούς. Εάν το πολυμερές είναι άμορφο τότε η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία δεν θα πρέπει να είναι 100° C πάνω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης.

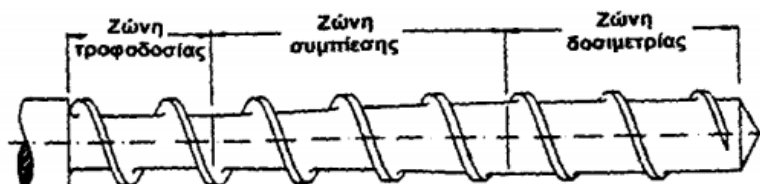
Για τον επιτυχή έλεγχο της θερμοκρασίας και τη διατήρηση σταθερών συνθηκών θέρμανσης οι εκβολείς είναι εφοδιασμένοι με σύστημα ψύξης. Αυτό μπορεί να γίνει με την τροφοδοσία ψυχρού αέρα, νερού ή λαδιού. Η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας στον κύλινδρο προέρχεται πολλές

φορές από την κατεργασία πολυμερών με ιδιαίτερα υψηλό ιξώδες τήγματος ή από την υψηλή ταχύτητα περιστροφής του κοχλία.

3.1.1.4 Κυρίως σώμα

Το κυρίως σώμα του εξωθητή αποτελείται από τον κύλινδρο μέσα στον οποίο περιστρέφεται ο κοχλίας. Ο κύλινδρος είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα με ιδιαίτερα χοντρά τοιχώματα ώστε να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις. Η εσωτερική του επιφάνεια είναι ειδικά κατεργασμένη για να μη φθείρεται κατά τη διεργασία της εξώθησης. Μέσα στον κύλινδρο περιστρέφεται εφαρμοστά και με καθορισμένη ταχύτητα ο κοχλίας ο οποίος αποτελεί και την καρδιά του εκβολέα. Αποτελείται από μία μακριά ράβδο περιμετρικά της οποίας αναπτύσσονται πτερύγια ελικοειδούς διάταξης. Είναι φτιαγμένος από υλικό χαμηλότερης σκληρότητας και αντοχής από τον κύλινδρο αφού είναι προτιμότερο να φθείρεται αυτός και να αντικαθίσταται, παρά ο κύλινδρος. Ο ρόλος του για την επιτυχία της εξώθησης είναι σπουδαίος, καθώς ρυθμίζει την εισαγωγή του κονιοποιημένου μίγματος των συστατικών στον εξωθητή, την ανάμιξη και τη συμπίεσή τους, καθώς και την προώθηση του ομοιογενούς τήγματος προς την έξοδο. Ο κοχλίας χαρακτηρίζεται από το λόγο του μήκους προς τη διάμετρό του (length / diameter ratio, L / D), ο οποίος συνήθως για τα θερμοπλαστικά κυμαίνεται μεταξύ 20 και 35, ενώ για τα ελαστομερή από 4 έως 7. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοχλία είναι καθοριστικά για το αποτέλεσμα της εξώθησης θερμού τήγματος. Πιο συγκεκριμένα, το βήμα της έλικας του κοχλία, η απόσταση μεταξύ της εσωτερικής επιφάνειας του κυλίνδρου και της εξωτερικής ακτίνας της έλικας, καθώς και η γωνία που σχηματίζει η έλικα με την κάθετο στον επιμήκη άξονα του κοχλία καθορίζουν τις επιμέρους διεργασίες της μεταφοράς, ανάμιξης, συμπίεσης και τήξης του υλικού κατά τη διάβασή του στο εσωτερικό του κυλίνδρου, καθώς και την τελική προώθηση προς τη μήτρα εκβολής.

Οι παραπάνω διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε τρεις διακριτές επιμέρους περιοχές του κυλίνδρου τη ζώνη τροφοδοσίας, τη ζώνη συμπίεσης και τη ζώνη δοσιμετρίας.



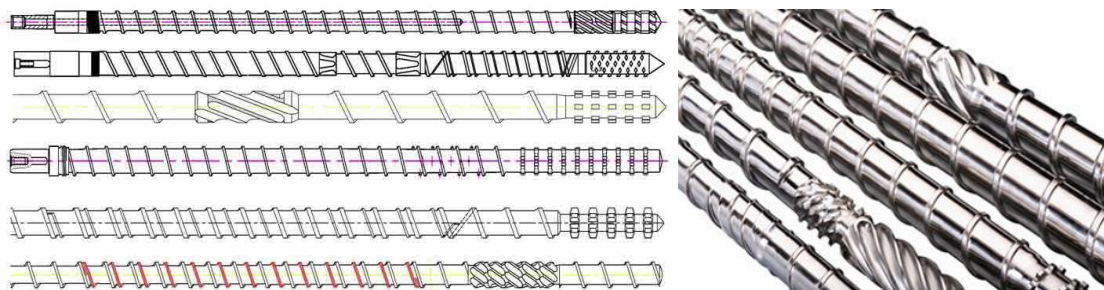
Εικόνα 3.3. Ζώνες κοχλία.

Ζώνη τροφοδοσίας: Σκοπός της ζώνης τροφοδοσίας είναι η μεταφορά του υλικού από τη χοάνη στο εσωτερικό του κυλίνδρου, και αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη απόσταση του άξονα του κοχλία από το τοίχωμα του κυλίνδρου, ώστε να διευκολύνεται η ροή του υλικού και η προώθησή του στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Αποτελεί το μικρότερο σε μήκος τμήμα του κοχλία. Το πολυμερές έχοντας τη θερμοκρασία περιβάλλοντος διοχετεύεται από τη χοάνη τροφοδοσίας και παραλαμβάνεται από τον κοχλία καθώς αυτός περιστρέφεται. Η θερμοκρασία της ζώνης αυτής είναι χαμηλότερη ή ελάχιστα υψηλότερη από τη θερμοκρασία τήξης του πολυμερούς. Στόχος της ζώνης αυτής είναι να μαλακώσει το πολυμερές ώστε να προωθηθεί με την κατάλληλη διάταξη των πτερυγίων του κοχλία στην επόμενη ζώνη.

Ζώνη μετάβασης ή συμπίεσης: στη ζώνη αυτή η διάμετρος του άξονα του κοχλία είναι μεγαλύτερη και επομένως η ακτίνα της έλικας είναι μικρότερη, ώστε να ασκείται μεγαλύτερη συμπίεση στο υλικό το οποίο με τη βοήθεια της θέρμανσης αρχίζει να τήκεται. Η θερμοκρασία στη ζώνη αυτή είναι υψηλότερη κατά 40-50 °C από τη θερμοκρασία τήξης του πολυμερούς. Το πολυμερές εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας, αλλά και της πίεσης που αναπτύσσεται καθώς συνθλίβεται μεταξύ του κοχλία και του κυλίνδρου λιώνει και αρχίζει να ομογενοποιείται με τα διάφορα πρόσθετα.

Η ζώνη δοσιμετρίας. Στην τελευταία ζώνη εξώθησης, το βήμα της έλικας του κοχλία είναι σταθερό, ενώ η ακτίνα της έλικας μικραίνει ακόμα περισσότερο, με σκοπό την ομοιόμορφη προώθηση του τήγματος στη μήτρα τελικής διαμόρφωσης. Το πολυμερές βρίσκεται πλέον σε τήγμα, έχει ολοκληρωθεί η ομογενοποίησή του και προωθείται προς την έξοδο του κυλίνδρου όπου βρίσκεται η μήτρα.

Για να επιτευχθεί καλύτερη ανάμιξη του πολυμερούς και να αποφευχθεί η δημιουργία συσσωματωμάτων χρησιμοποιούνται επιπρόσθετα τμήματα στο κοχλία όπως κοιλότητες, ακίδες, κόγχες, μεταβλητού πάχους κ.ά. (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4. Τύποι κοχλίων με διαφορετικές ζώνες ανάμιξης.

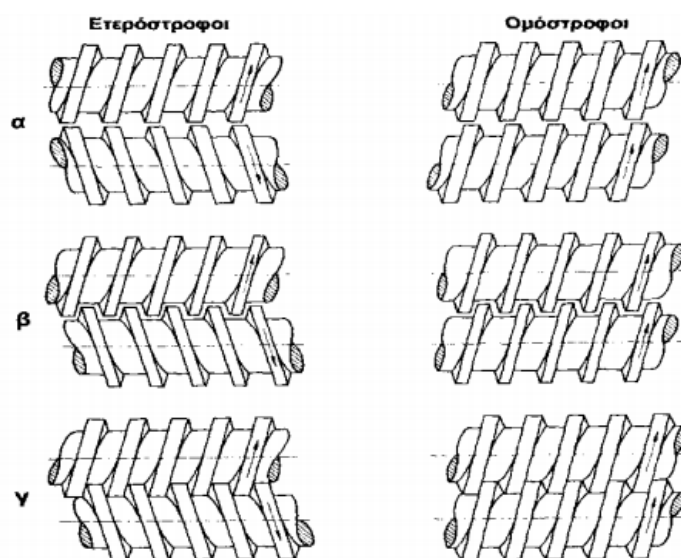
3.1.1.5 Μήτρα εκβολής

Η τελική διαμόρφωση του σχήματος του εξωθημένου τήγματος γίνεται στη μήτρα εκβολής του τήγματος, η οποία είναι τοποθετημένη στην έξοδο του εξωθητή. Πριν την μήτρα τοποθετείται ένα φίλτρο ή πλάκα με πολύ μικρές τρύπες οι οποίες κατακρατούν τυχόν επιμολύνσεις του πλαστικού.

3.1.2 Διπλοκόχλιοι εξωθητές

Οι διπλοκόχλιοι εξωθητές είναι εξέλιξη του μονοκόχλιου και παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως ευκολότερη τροφοδοσία, καλύτερη ανάμιξη του υλικού, εξώθηση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και συντομότερος χρόνος ολοκλήρωσης της εξώθησης. Μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τη φορά που κινούνται οι κοχλίες σε ομόστροφους, αν κινούνται με την ίδια φορά ή ετερόστροφους αν κινούνται με αντίστροφη φορά. Επίσης μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τον αν εφάπτονται οι δυο κοχλίες σε πλήρως, μερικώς ή μη εφαπτομενικούς. Τα διάφορα είδη διπλοκόχλιων εξωθητών παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικόνα 3.5. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι εφαπτομενικοί κοχλίες λόγω της καλύτερης ανάμιξης και διασποράς που δίνουν, αν και οι μη εφαπτομενικοί κοχλίες μπορούν να έχουν διπλάσιο μήκος από τους εφαπτομενικούς εξαιτίας της έλλειψης τριβής μετάλλου-μετάλλου.

Στα πλεονεκτήματα των μονοκόχλιων εξωθητών θερμού τήγματος περιλαμβάνονται η μηχανική απλότητα και η δυνατότητα εξώθησης μικρών ποσοτήτων, το χαμηλότερο κόστος αγοράς και εγκατάστασης, καθώς και πιθανώς η δυνατότητα εξώθησης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες λόγω άσκησης υψηλότερων πιέσεων στον κύλινδρο εξώθησης.

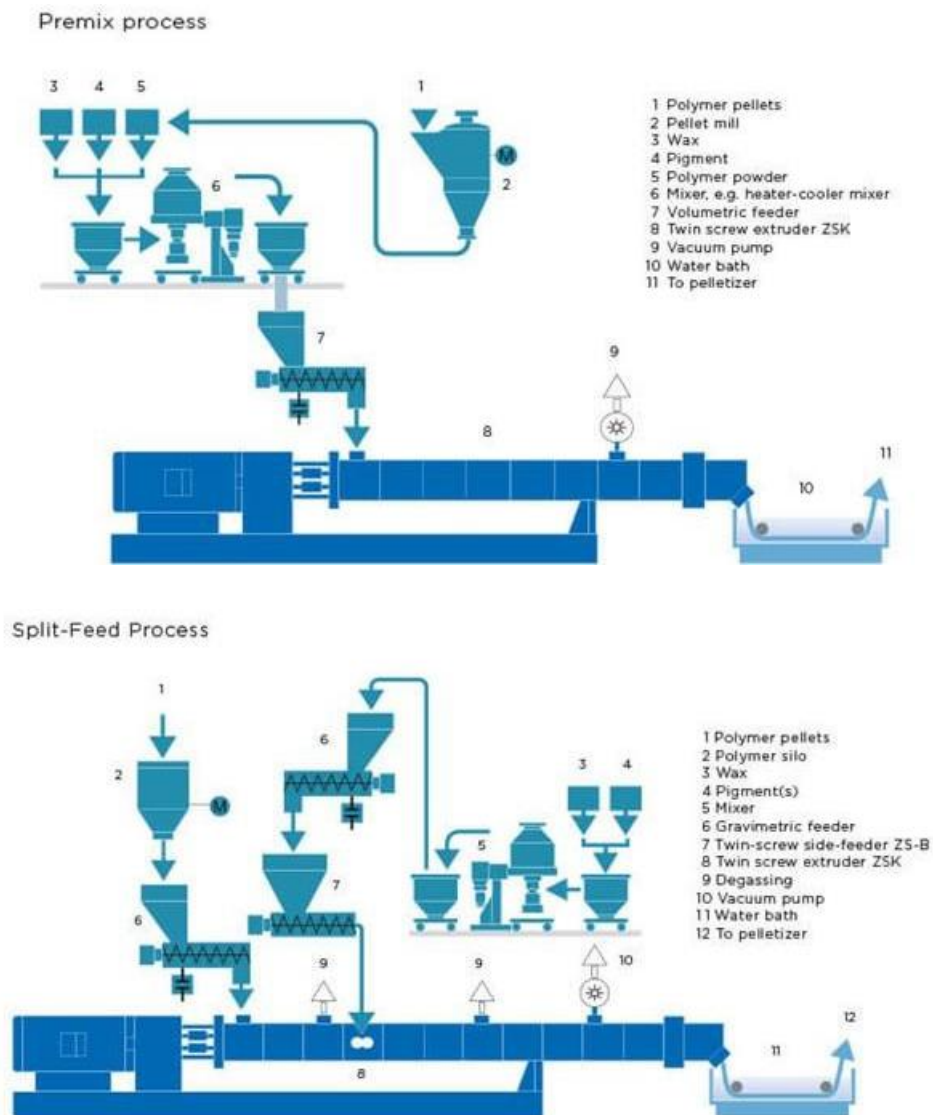


Εικόνα 3.5. Ετερόστροφοι και ομόστροφοι κοχλίες. α) μη εφαπτομενικοί, β) μερικώς εφαπτομενικοί και γ) πλήρως εφαπτομενικοί.

3.1.3 Τεχνικές παραγωγής πρώτων υλών για βιομηχανία πλαστικών (masterbatches)

Η παραγωγή masterbatches γίνεται με διπλοκόχλιο εκβολέα ακολουθώντας τις παρακάτω τεχνικές, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6:

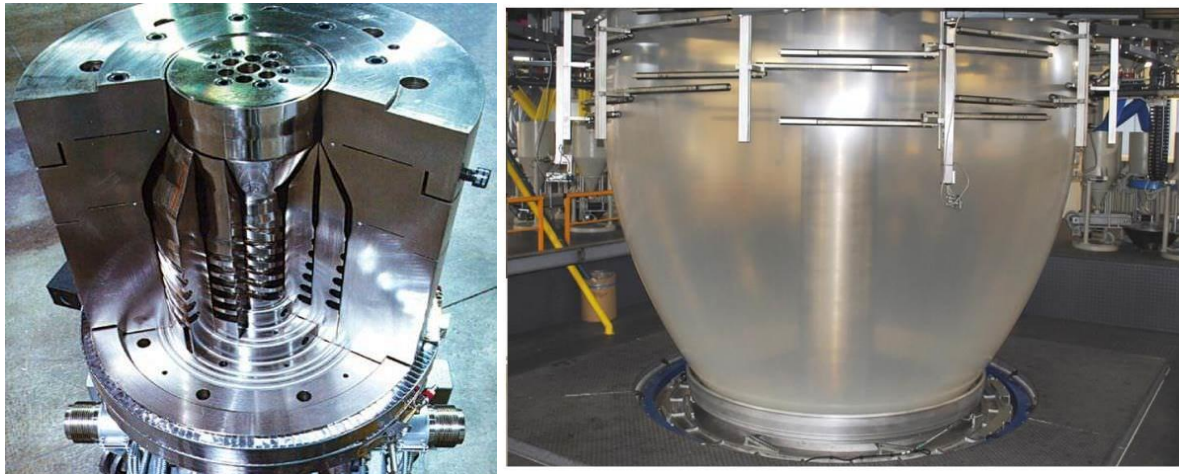
- τεχνική προανάμιξης (premix process) όπου όλα τα συστατικά εισέρχονται στην αρχή του εξωθητή
- τεχνική ανάμιξης διαχωρισμένης τροφοδοσίας (split-feed process) όπου τα διάφορα υλικά προστίθενται κατά τη διάρκεια της εξώθησης.



Εικόνα 3.6. Τεχνικές παραγωγής masterbatches.

3.1.4 Τεχνική παραγωγής φύλλων με φύσημα (blown-film)

Το φιλμ παράγεται με εμφύσηση αέρα όπου το πλαστικό μέσω εκβολής ρέει κατακόρυφα σε ένα δακτυλιοειδές καλούπι. Οι μήτρες τύπου σπείρας είναι από τις πιο διαδεδομένες στη λειτουργία των σύγχρονων γραμμών παραγωγής φιλμ με φύσημα. Το τήγμα τροφοδοτείται αξονικά στη μήτρα και στη συνέχεια μέσα από ακτινικά κανάλια του άξονα τύπου σπείρας, με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η ανομοιομορφία του τήγματος στην έξοδο της μήτρας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.7.

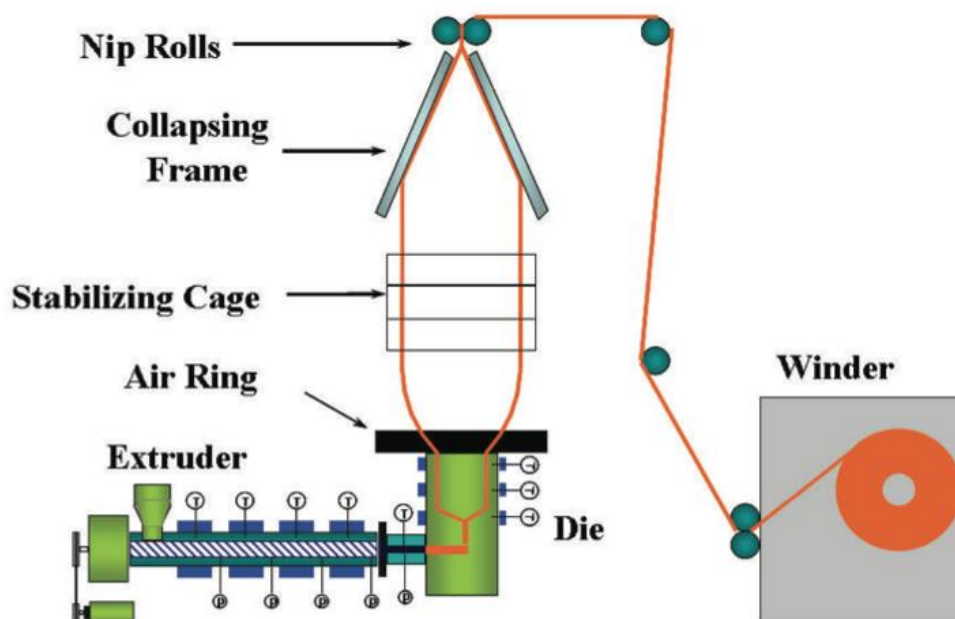


Εικόνα 3.7. Μήτρα παραγωγής πολυμερικού φύλλου με φύσημα.

Η ροή του αέρα σπρώχνει το σωλήνα που σχηματίζεται προς τα έξω. Ο σωλήνας διαστέλλεται, ψύχεται μέχρι η ακτινική αντοχή του πλαστικού να εξισωθεί με την πίεση του αέρα. Η παραμόρφωση σταματά στη γραμμή ψύξης (freeze line), όπου συμβαίνει αλλαγή από την κατάσταση του τήγματος σε στερεό φιλμ. Εφαρμόζεται επίσης εξωτερική ψύξη με τη βοήθεια κυκλικού δακτυλίου ψύξης που παρέχει κρύο αέρα πάνω στον κινούμενο σωλήνα.

Όπως προαναφέρθηκε, αμέσως μετά την έξοδό του από τη μήτρα, το πολυμερές ψύχεται με ρεύμα αέρα στη θερμοκρασία προσανατολισμού. Υπό την επίδραση του αέρα που είναι εγκλωβισμένος, ο σωλήνας παραμορφώνεται πλευρικά μέχρι την μέγιστη διάμετρο. Η ώθηση του αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα προσανατολίζει τα μόρια στην ακτινική διεύθυνση (transverse direction, TD), ενώ το τράβηγμα από το σύστημα κυλίνδρων έλξης προσανατολίζει τα μόρια κατά τη φορά της μηχανής (machine direction, MD).

Ο εκτεταμένος σωλήνας προχωρά κατά ύψος και προωθείται μέσω κατάλληλου πλαισίου (collapsing frame) στο σύστημα των κυλίνδρων έλξης (nip rolls) και στη συνέχεια στη διάταξη περιτύλιξης (winder) για τη συλλογή του φιλμ σε ρολά. Στην Εικόνα 3.8 παρουσιάζεται σχηματικά η γραμμή παραγωγής πολυμερικού φύλλου που περιεγράφηκε παραπάνω.



Εικόνα 3.8. Γραμμή παραγωγής πολυμερικού φύλλου με φύσημα.

Οι γραμμές παραγωγής φιλμ των Πλαστικών Κρήτης είναι εξοπλισμένες με συστήματα βαρομετρικών τροφοδοτικών απευθείας συνδεδεμένα με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που ελέγχει τη μηχανή, είναι εξοπλισμένες με ειδικά συστήματα συνεχούς μέτρησης του πάχους του φύλλου σε χιλιάδες σημεία της περιφέρειάς του με αυτόματη διόρθωση ώστε να επιτυγχάνεται εξαιρετική ομοιομορφία και να αποφεύγονται λεπτά σημεία που αδυνατίζουν το φύλλο ενώ μπορεί να οδηγήσουν και σε σχίσιμό του κατά τη χρήση, διαθέτουν διάφορα συστήματα διπλώματος των φύλλων και αυτόματα τυλικτικά που μπορούν να παράγουν είτε μεγάλα ρολά (τζάμπο) για κόψιμο από τους διανομείς είτε μικρά ρολά συγκεκριμένου μήκους σύμφωνα με τις ανάγκες των πελατών. Ακόμη είναι σχεδιασμένες για την κατεργασία της τελευταίας γενιάς πολυαιθυλενίων (metallocenes) που προσδίδουν στα φύλλα ιδιαίτερα αυξημένες μηχανικές αντοχές.

3.1.5 Τεχνική παραγωγής φύλλων με συνεκβολή

Σημαντική είναι η παραγωγή πολυστρωματικών φύλλων με την μέθοδο της συνεκβολής. Η συνεκβολή είναι μια τροποποιημένη περίπτωση εκβολής, η οποία δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης μορφοποίησης δύο ή και περισσότερων ρευμάτων από τήγματα διαφορετικών πολυμερών, ώστε να γίνεται δυνατή η παραγωγή σύνθετων δομών φιλμ.

Η εφαρμογή της συνεκβολής απαιτεί εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν συστήματα εκβολής, συστήματα συνδυασμού της ροής των υλικών, κατάλληλη μήτρα μόρφωσης και σύστημα συλλογής

του προϊόντος. Τα ρεύματα των διαφορετικών πολυμερών τροφοδοτούν ένα σύστημα συνδυασμού και στη συνέχεια οδηγούνται στη μήτρα μόρφωσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο συνδυασμός των υλικών γίνεται πριν την έξοδο από τη μήτρα. Στην εξωτερική περίμετρο του ανοίγματος της κύριας μήτρας προσαρμόζεται μία δεύτερη παροχή ρητίνης (από άλλον εκβολέα) που περιβάλλει την πρώτη, με αποτέλεσμα τελικά να μορφοποιείται ο ένας σωλήνας μέσα στον άλλον (Εικόνα 3.9).

Η συνεκβολή στην τεχνολογία του φιλμ χρησιμοποιείται για τη δημιουργία υλικών με βελτιωμένες ιδιότητες φραγμού (barrier properties) με την εισαγωγή ενός στρώματος από πολυμερές με τέτοιες ιδιότητες [όπως το συμπολυμερές αιθυλενίου και βινυλικής αλκόολης (ΕVΟΗ), το συμπολυμερές βινυλιδενοχλωριδίου βινυλοχλωριδίου, (PVDC)].

Τα Πλαστικά Κρήτης διαθέτουν σε εργαστηριακό επίπεδο για την ανάπτυξη νέων τεχνολογικά προϊόντων μια μονο-στρωματική και μια επτα-στρωματική γραμμή, ενώ στη βιομηχανική παραγωγή υπάρχουν τέσσερις τρι-στρωματικές και δυο επτα-στρωματικές γραμμές.



Εικόνα 3.9. Επτα-στρωματική γραμμή παραγωγής πολυμερικού φύλλου.

Οι γραμμές αυτές απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας για την θέρμανση, την προώθηση των υλικών, την πορεία και το τύλιγμα του παραγόμενου φύλλου. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται ενδεικτικοί οι μέσες καταναλώσεις ανά εκβολέα σε μια τρι-στρωματική και σε μια επτα-στρωματική μηχανή σε σχέση με τα κιλά παραγωγής.

Πίνακας 3.1. Ενεργειακές καταναλώσεις πολυστρωματικών μηχανών παραγωγής πολυμερικών φύλλων.

Μηχανή 3 στρωμάτων		
Εκβολέας	kg/h	kW
A	235	68,3
B	465	103,6
C	255	114,7
	955	286,6
Μέση κατανάλωση		0,300 kWh/kg

Μηχανή 7 στρωμάτων		
Εκβολέας	kg/h	kW
A	149	31,4
B	300	82,5
C	62	12,8
D	22	4,6
E	61	11,4
F	275	68,0
G	85	19,6
	954	230,3
Μέση κατανάλωση		0,241 kWh/kg

3.2 Χρήσεις

Τα φύλλα που παράγονται στα Πλαστικά Κρήτης μπορούν να έχουν πλάτη έως 20 μέτρα και πάχη από 10 - 2500 μm . Οι συνήθεις χρήσεις τους είναι οι εξής:

- I. Κάλυψη θερμοκηπίων
- II. Γραμμική κάλυψη
- III. Εδαφοκάλυψη
- IV. Απολύμανση εδάφους
- V. Θερμοκουρτίνες
- VI. Φύλλα και σάκοι ενσίρωσης
- VII. Κάλυψη αγροτικών κατασκευών και ποιμνιοστασίων
- VIII. Επένδυση λιμνοδεξαμενών

Επιπλέον για μια σειρά εφαρμογές παράγονται:

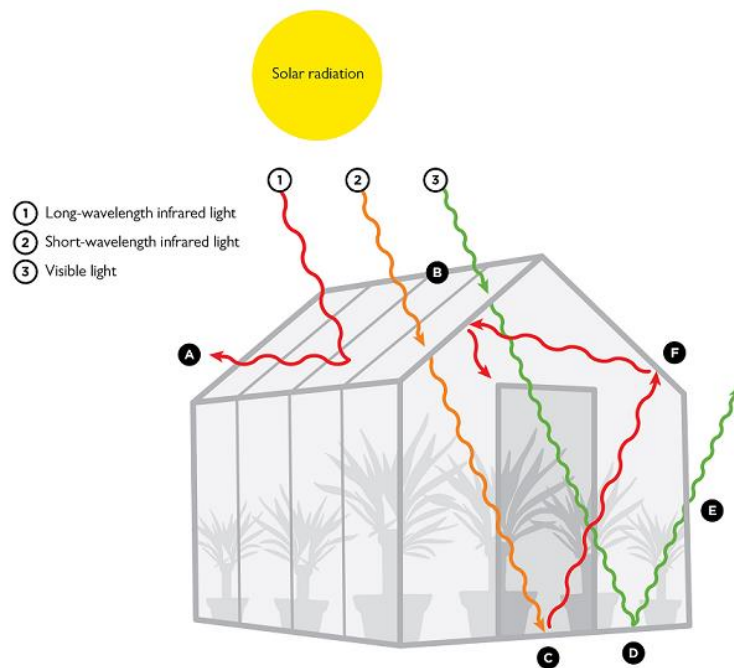
- IX. Γεωμεμβράνες
- X. Σωλήνες

Παρακάτω παρουσιάζονται μια σειρά χρήσεων που βρίσκουν τα φύλλα βασισμένα σε πολυολεφίνες κυρίως πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου, με σημαντικές εφαρμογές στον αγροτοδιατροφικό τομέα, στην κατασκευή έργων, στην εξοικονόμηση ενέργειας, στη διαχείριση απορριμμάτων κλπ.

I. Φύλλα για κάλυψη θερμοκηπίων

Θερμοκήπιο είναι μία κλειστή κατασκευή καλυμμένη με υλικό διαπερατό από την ορατή ηλιακή ακτινοβολία και χρησιμοποιείται για την τροποποίηση των κλιματικών συνθηκών στο εσωτερικό της σε σύγκριση με το εξωτερικό περιβάλλον, με στόχο την ανάπτυξη φυτών ή και την παραγωγή

φυτικών προϊόντων, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Ως μικροκλίμα ορίζεται το σύνολο των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα ομοιογενή χώρο περιορισμένης έκτασης κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Στα θερμοκήπια ειδικότερα, οι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζονται και τροποποιούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των φυτών είναι κυρίως η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ατμοσφαιρική υγρασία.



Εικόνα 3.10. Σχηματική αναπαράσταση θερμοκηπίου.

Παράλληλα, στο χώρο των θερμοκηπίων καθίσταται δυνατή και η τροποποίηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα. Ο βαθμός επέμβασης και η έκταση των αλλαγών που επιδιώκονται στις παραπάνω παραμέτρους του περιβάλλοντος στο θερμοκήπιο εξαρτώνται τόσο από τις απαιτήσεις της κάθε καλλιέργειας, όσο και από το κόστος τους. Η επίδραση του θερμοκηπίου ως κλειστής κατασκευής (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του εξοπλισμού για θέρμανση, δροσισμό, σκίαση, κ.λπ.) οφείλεται κατά βάση σε δύο παράγοντες, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

Ο πρώτος παράγοντας είναι η ιδιότητα του διαφανούς υλικού κάλυψης να παρουσιάζει χαμηλή διαπερατότητα στην μεγάλη μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία ($> 2500 \text{ nm}$) και υψηλή διαπερατότητα στην υπεριώδη, την φωτεινή και την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία ($700\text{-}2500 \text{ nm}$). Σημειώνεται ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία (από 700 nm έως 1 mm) είναι ένα από τα είδη της θερμικής ακτινοβολίας. Η ενέργεια που περιέχεται στην εισερχόμενη φωτεινή και εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία απορροφάται από το έδαφος και τα άλλα στοιχεία του εσωτερικού του θερμοκηπίου. Αυτά με τη σειρά τους θερμαίνονται και εκπέμπουν μεγάλης μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ακτινοβολίας δεν μπορεί να περάσει μέσα από υλικό κάλυψης, (το

ποσοστό εξαρτάται από τη φύση του υλικού) με συνέπεια να παγιδεύεται και να θερμαίνει τον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου (Εικόνα 3.10). Επιπλέον, η παγίδευση της θερμικής ενέργειας στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου μειώνει και τους ρυθμούς πτώσης της θερμοκρασίας του εδάφους στη διάρκεια της νύχτας.

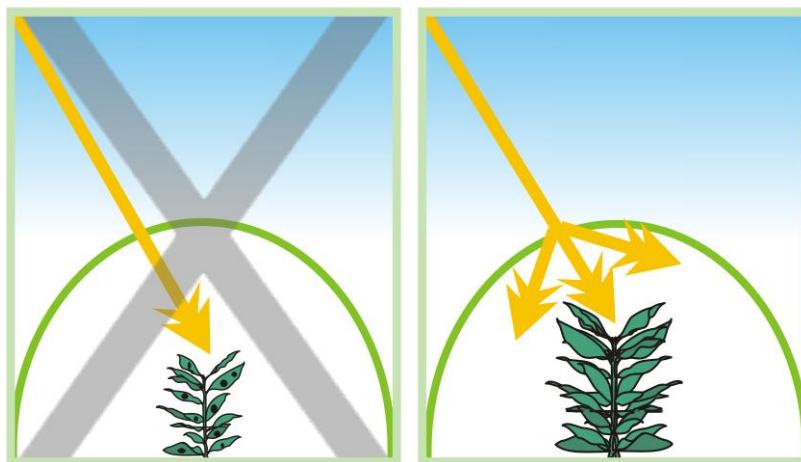
Ο δεύτερος παράγοντας είναι η ιδιότητα των υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου να δρουν ως ανεμοφράκτες με συνέπεια να περιορίζουν δραστικά την ανταλλαγή αέρα μεταξύ του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου και του φυσικού εξωτερικού περιβάλλοντος. Κατά συνέπεια, τα υλικά κάλυψης επιτρέπουν την διατήρηση διαφοράς θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης CO₂ μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του εσωτερικού του θερμοκηπίου και συνεπώς την δημιουργία ενός διακριτού μικροκλίματος στο τελευταίο.

Διαχέοντα φύλλα θερμοκηπίου

Σε ένα θερμοκήπιο μπορεί να χρησιμοποιηθούν φύλλα με περισσότερη ή λιγότερη διάχυση(Εικόνα 3.11):

- Φύλλα πολύ υψηλής διαφάνειας, με χαμηλή διάχυση
- Φύλλα μέσης διάχυσης
- Φύλλα πολύ υψηλής διάχυσης

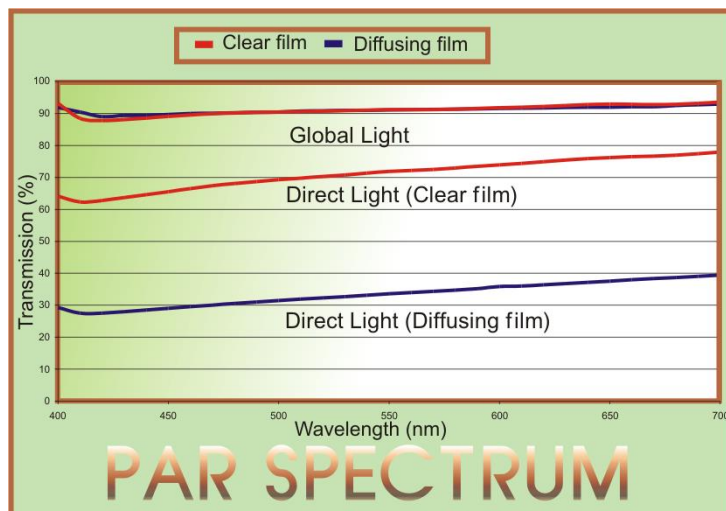
Η επιλογή του καταλληλότερου επιπέδου διάχυσης εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε περιοχής, τις ειδικές ανάγκες κάθε καλλιέργειας και την καλλιεργητική περίοδο.



Εικόνα 3.11. Διαχέοντα φύλλα θερμοκηπίου.

Το φως από τον ήλιο που διέρχεται από ένα φύλλο θερμοκηπίου είναι χωρισμένο σε απευθείας προσπίπτον και διαχέον. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.12, στα διαχέοντα φύλλα δεν μειώνεται το ολικό φως, αλλά ένα μέρος του εισέρχεται ως απευθείας προσπίπτουσα ακτινοβολία και το

υπόλοιπο ως διαχεόμενη ακτινοβολία, ενώ η PAR (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία) που λαμβάνεται από τα φυτά είναι η ίδια.

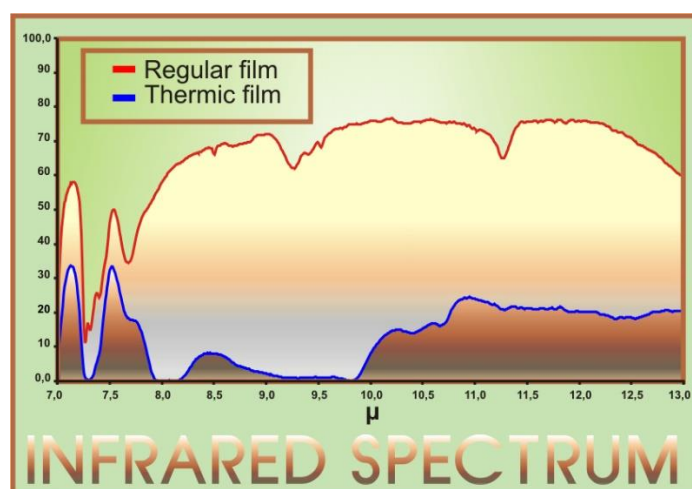


Εικόνα 3.12. Διαπερατότητα ολικού και απευθείας φωτός σε διάφορα μήκη κύματος.

Σε πολλές περιπτώσεις και ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια, η διάχυση του φωτός έχει πολύ θετικό αποτέλεσμα στην ανάπτυξη των φυτών. Προσφέρει πιο ομοιόμορφη κατανομή του φωτός μέσα στο θερμοκήπιο, προλαμβάνει τα εγκαύματα από την απευθείας πρόσπτωση των ακτίνων του ήλιου και μειώνει τη σκίαση της καλλιέργειας με αποτέλεσμα να φωτίζονται ακόμα και τα χαμηλότερα μέρη των φυτών.

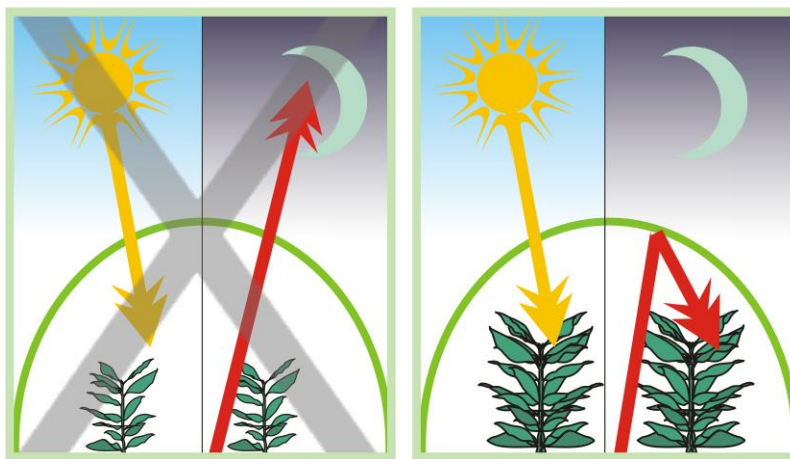
Θερμικά φύλλα

Τα θερμικά φύλλα απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία όπως φαίνεται στο φάσμα υπέρυθρου της Εικόνα 3.13, με αποτέλεσμα να ελαττώνουν τις απώλειες θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Εικόνα 3.13. Φάσμα υπέρυθρου σε απλό και θερμικό φύλλο.

Τα πλεονεκτήματα των θερμικών φύλλων είναι η προστασία από τις χαμηλές θερμοκρασίες και τον παγετό, η ομαλότερη πτώση της θερμοκρασίας με υψηλότερες νυκτερινές θερμοκρασίες, η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, η μεγαλύτερη παραγωγή, η πρωιμότητα και η καλύτερη ποιότητα παραγόμενων προϊόντων (Εικόνα 3.14).

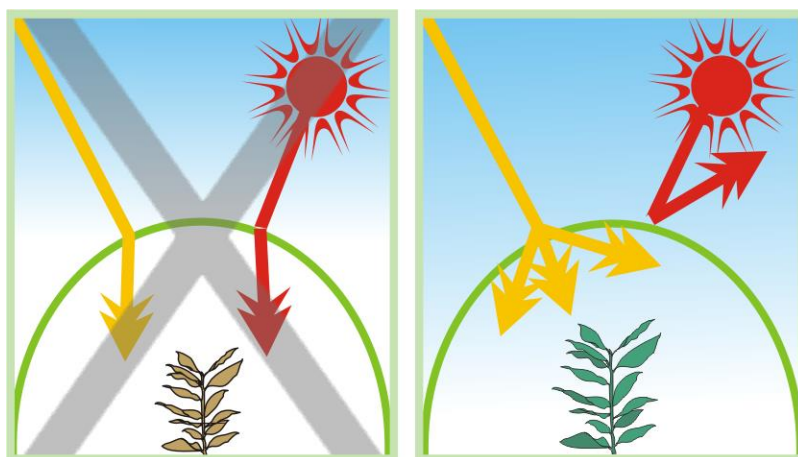


Εικόνα 3.14. Διατήρηση θερμότητας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Φύλλα δροσισμού

Σε ορισμένες περιοχές ή/και για κάποιες καλλιέργειες, είναι σημαντικό τις θερμές περιόδους να μειώνεται η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν ειδικοί τύποι φύλλων που αντανακλούν την εγγύς υπέρυθρη (NIR)⁴ ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να μειώνουν τη θερμότητα που εισέρχεται στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της μέρας και να διαμορφώνουν ένα πιο δροσερό κλίμα που ευνοεί την ανάπτυξη των καλλιεργειών (Εικόνα 3.15). Έχει αποδειχθεί ότι όσο υψηλότερη είναι η εξωτερική θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται με τη χρήση των φύλλων δροσισμού.

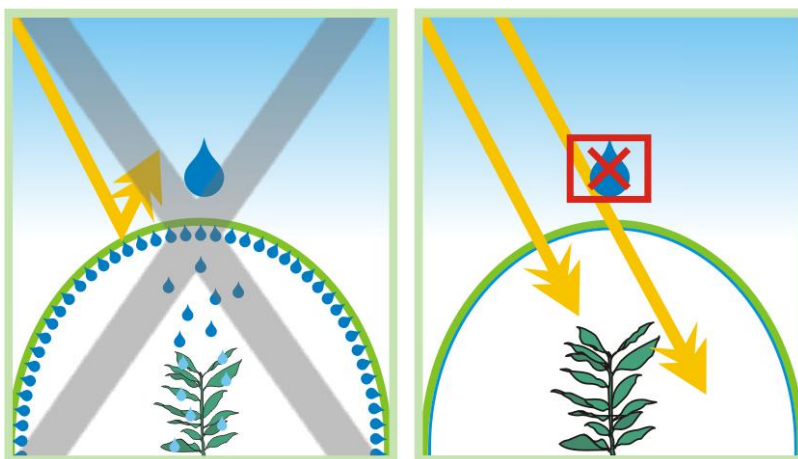
⁴ Η περιοχή εγγύς υπέρυθρου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος φάσμα (NIR) είναι από 780 nm έως 2500 nm.



Εικόνα 3.15. Ανάκλαση εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας με φύλλα δροσισμού.

Φύλλα με αντι-σταγονική ιδιότητα

Οι σταγόνες που δημιουργούνται στην εσωτερική επιφάνεια των φύλλων θερμοκηπίου, λόγω της συμπύκνωσης της υγρασίας, έχουν αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα και ανάπτυξη των φυτών, καθώς μειώνουν τη διαπερατότητα του φωτός κατά 15-30% και ευνοούν την εμφάνιση διαφόρων ασθενειών. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 3.16 με την χρήση κατάλληλων προσθέτων στην επιφάνεια του φύλλου σχηματίζεται ένα λεπτό στρώμα υγρασίας που διατηρεί το φύλλο διαυγές και απομακρύνει το νερό χωρίς να στάζει στα φυτά.

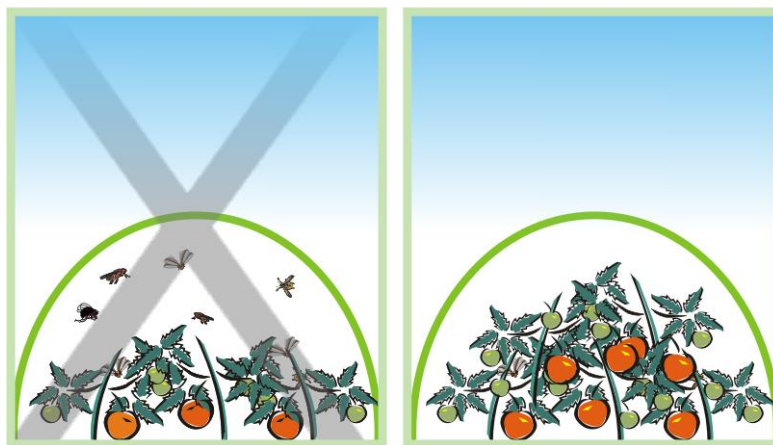


Εικόνα 3.16. Αντισταγονική ιδιότητα φύλλων.

Τα αντισταγονικά φύλλα με αντιομιχλική λειτουργία μειώνουν ή αποτρέπουν το σχηματισμό της ομίχλης που μπορεί να δημιουργηθεί μερικές φορές κατά τις πρωινές ώρες ή/και το σούρουπο στα θερμοκήπια με αποτέλεσμα να αξιοποιούνται όλα τα οφέλη τους. Τα αντισταγονικά φύλλα, όταν χρησιμοποιούνται σωστά, προσφέρουν μεγαλύτερη διαπερατότητα φωτός, αυξημένη παραγωγή, πρωιμότητα, καλύτερη ποιότητα καλλιέργειας, υψηλότερη εμπορική αξία προϊόντων, λιγότερες ασθένειες άρα και μειωμένη ανάγκη φυτοφαρμάκων.

Έλεγχος ασθενειών

Μια σειρά από ειδικά φύλλα που έχουν αναπτυχθεί συμβάλλουν στη μείωση των ασθενειών και στην «Ολοκληρωμένη αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών» (IPM)⁵, βοηθούν σημαντικά στη μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων (Εικόνα 3.17).



Εικόνα 3.17. Φύλλα που περιορίζουν τις ασθένειες στην καλλιέργεια.

Τα φύλλα αυτά επιδρούν με:

- Μείωση του πληθυσμού βλαβερών εντόμων όπως ο αλευρώδης, ο θρίπας, η λυριόμυζα και οι αφίδες. Με τη μείωση του πληθυσμού των εντόμων αυτών που είναι ξενιστές διαφόρων ιών, μειώνεται αντίστοιχα η πιθανότητα παρουσίας ιώσεων στις καλλιέργειες.
- Περιορισμό της εξάπλωσης ορισμένων ασθενειών, όπως η βοτρυτίδα, μειώνοντας τη σποριογένεση, αλλά και τη βλαστικότητα των σπορίων.
- Μείωση του “μαυρίσματος” των πετάλων στις κόκκινες ποικιλίες τριαντάφυλλων, προσδίδοντάς τους έτσι μεγαλύτερη εμπορική αξία.

Φωτοεκλεκτικά φύλλα

Χρησιμοποιούνται ακόμα εξειδικευμένα φύλλα για την κάλυψη θερμοκηπίων που περιέχουν επιλεγμένες χημικές ουσίες οι οποίες τροποποιούν το ηλιακό φάσμα που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Με την τροποποίηση αυτή επιτυγχάνεται διαφοροποίηση των μηχανισμών ανάπτυξης των φυτών και με επιτάχυνση ή επιβράδυνση της ανάπτυξης, επιμήκυνση ή νανισμό των φυτών,

⁵ Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας του ΟΗΕ: IPM ορίζεται η προσεκτική εξέταση όλων των διαθέσιμων τεχνικών καταπολέμησης των παρασίτων και την επακόλουθη ενσωμάτωση κατάλληλων μέτρων που αποθαρρύνουν την ανάπτυξη πληθυσμών επιβλαβών οργανισμών και διατηρούν τη χρήση φυτοφαρμάκων και άλλων παρεμβάσεων σε επίπεδα οικονομικά δικαιολογημένα και περιορίζουν ή ελαχιστοποιούν τους κινδύνους για τον άνθρωπο, την υγεία και το περιβάλλον. Δίνει έμφαση στην ανάπτυξη μιας υγιούς καλλιέργειας με την ελάχιστη δυνατή διαταραχή των αγρο-οικοσυστημάτων και ενθαρρύνει τους φυσικούς μηχανισμούς καταπολέμησης των παρασίτων.

δηλαδή ιδιότητες πολύ ενδιαφέρουσες για ορισμένες καλλιέργειες (π.χ. φυτώρια σποροφύτων ή ειδικές ανθοκομικές καλλιέργειες).

Ειδικά πολυστρωματικά φύλλα

Στόχος είναι να αυξηθεί ο χρόνος ζωής των φύλλων και των ιδιοτήτων τους ώστε να μεγαλώνει ο κύκλος ζωής τους και να μειώνονται οι ποσότητες που απορρίπτονται. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί φύλλα με αντισταγονική και αντιομίχλική ιδιότητα μακράς διάρκειας. Σε αντίθεση με τα κλασσικά αντισταγονικά φύλλα, όπου η σταδιακή μετανάστευση των χημικών συστατικών από τη μάζα του φύλλου οδηγεί σε απώλεια της αντισταγονικής ιδιότητας μέσα σε 1,5-2 χρόνια, τα πρόσθετα των ειδικών αυτών φύλλων δεν μεταναστεύουν και παραμένουν ενεργά για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ακόμη τα βελτιωμένα φύλλα, πάχους 360 μm, διαχωρίζονται σε δύο φύλλα 180 μm με εισαγωγή αέρα ανάμεσα στα στρώματα, μετά την εγκατάστασή τους στην οροφή του θερμοκηπίου και με τον τρόπο αυτό η εγκατάσταση γίνεται πολύ ταχύτερη, οικονομικότερη και ασφαλέστερη.

II. Φύλλα γραμμικής κάλυψης

Τα φύλλα γραμμικής κάλυψης που χρησιμοποιούνται για καλλιέργειες όπως πεπόνια, καρπούζια, φράουλες κ.α. είναι:

- Πολύ λεπτά φύλλα υψηλής αντοχής από LLDPE, πάχους 17-25μm, τα οποία συνιστώνται για μεσοπρώϊμες και όψιμες καλλιέργειες.
- Ειδικά θερμικά φύλλα, πάχους 40-50 μm, τα οποία εξασφαλίζουν ομαλότερη πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας, με αποτέλεσμα υψηλότερες νυχτερινές θερμοκρασίες κατά 2-4° C σε σχέση με τα κοινά φύλλα πολυαιθυλενίου.
- Ειδικά φύλλα δροσισμού, πάχους 20-50 μm, τα οποία δημιουργούν ευνοϊκότερες συνθήκες για τα φυτά τις ζεστές ημέρες, αντανakλώντας και απορροφώντας την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR), με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η θερμοκρασία μέσα στο τούνελ.
- Διάτρητα φύλλα με δύο ζώνες οπών, μια από κάθε πλευρά, που εξασφαλίζουν αερισμό των φυτών και λιγότερες σταγόνες πάνω στο φύλλο (Εικόνα 3.18).



Εικόνα 3.18. Διάτρητα φύλλα γραμμικής κάλυψης.

III. Φύλλα εδαφοκάλυψης

Τα φύλλα εδαφοκάλυψης χρησιμοποιούνται για να εμποδίσουν την ανάπτυξη των ζιζανίων, να διατηρήσουν τη θερμότητα στο έδαφος, να εμποδίσουν την εξάτμιση του νερού και να σταθεροποιούν το έδαφος (Εικόνα 3.19). Ειδικά φύλλα εδαφοκάλυψης μπορούν να δώσουν πρόσθετα πλεονεκτήματα όπως την προστασία από τα έντομα και την προώθηση της ανάπτυξης των φυτών.



Εικόνα 3.19. Φύλλα εδαφοκάλυψης.

Τέτοιου είδους φύλλα μπορεί να είναι τα εξής:

- Πολύ λεπτά φύλλα υψηλής αντοχής από LLDPE (γραμμικό πολυαιθυλένιο), πάχους 15-25 μm , διάφανα, μαύρα ή φυμέ.
- Μαύρα φύλλα μεγάλης διάρκειας ζωής, πάχους 50-100 μm , που περιέχουν ειδική αιθάλη (carbon-black) και αντιοξειδωτικά για εδαφοκάλυψη μεγάλης διάρκειας σε καλλιέργειες φράουλας, αμπελιών κ.α.
- Ειδικά φωτοεκλεκτικά φύλλα από LLDPE, πάχους 20-35 μm .

Πιο ειδικά, ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας, μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι τύποι φύλλων που αναφέρονται παρακάτω μαζί με τον μηχανισμό με τον οποίο λειτουργούν (χρώμα, διαφάνεια, βιοδιασπώμενα κλπ).

Καφέ φύλλο που επιτρέπει τη θέρμανση του εδάφους κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ ταυτόχρονα είναι σχεδόν αδιαπέραστο στο φως και εμποδίζει την ανάπτυξη των ζιζανίων. **Πράσινο ημιδιαφανές φύλλο** που εξασφαλίζει επαρκή έλεγχο ζιζανίων και ταυτόχρονα επιτρέπει τη θέρμανση του εδάφους. **Ασπρόμαυρο φύλλο** που διασφαλίζει τέλειο έλεγχο ζιζανίων και ταυτόχρονα αντανakλά την ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνει το φως που χρειάζεται η καλλιέργεια (το άσπρο μέρος του φύλλου προς τα πάνω). **Ασημί/Μαύρο φύλλο** που εμποδίζει την ανάπτυξη των ζιζανίων, ενώ η αντανάκλαση του φωτός από το ασημί χρώμα αποδιώχνει τα έντομα και προστατεύει τα φυτά (το ασημί μέρος του φύλλου προς τα πάνω). **Βιοδιασπώμενα φύλλα** (πάχους 12-14 μm), που παράγονται από αποδεδειγμένα βιοδιασπώμενο υλικό το οποίο διασπάται ολικά μετά τη χρήση. **Φύλλα για αντανάκλαση του φωτός** (πάχους 35-70 μm), άσπρα ή ασπρόμαυρα, με υψηλή αντανάκλαση του φωτός. Απλώνονται στο έδαφος με σκοπό να αντανakλούν τον ήλιο για να αυξάνεται το φως μέσα στο θερμοκήπιο κατά τους χειμερινούς μήνες. Τα φύλλα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως σε υδροπονικές καλλιέργειες, τόσο σε θερμοκήπια με πλαστικό όσο και σε γυάλινα.

IV. Φύλλα απολύμανσης εδάφους

Τα φύλλα που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση του εδάφους για χρήση με ένα ευρύ φάσμα χημικών απολυμαντικών (1,3-D, chloropicrin, MITC, DMDS) είναι πολυστρωματικά, με πάχος γύρω στα 30-35 μm , πλήρως αδιαπέραστα καθώς χρειάζεται να μειώνουν σημαντικά τις απώλειες χημικών (Εικόνα 3.20). Η διαπερατότητά τους στα χημικά είναι 100-200 φορές μικρότερη από αυτή του απλού φύλλου πολυαιθυλενίου ίδιου πάχους.

Η πρακτική εμπειρία, αλλά και επίσημα πειράματα στο εργαστήριο και σε γεωργικά ερευνητικά κέντρα έχουν δείξει ότι είναι δυνατό να μειωθεί μέχρι και 50% η δόση των χημικών σε σχέση με τη δόση που χρησιμοποιείται κάτω από κοινό φύλλο πολυαιθυλενίου, με τα ίδια αποτελέσματα, κάνοντας την απολύμανση ασφαλέστερη και οικονομικότερη.



Εικόνα 3.20. Φύλλα απολύμανσης εδάφους.

Σε περιοχές με υψηλή ηλιοφάνεια έχει αποδειχθεί ότι αυξάνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητα της ηλιοαπολύμανσης, συνδυαζόμενη με χημικά ή όχι (ανάλογα με το βαθμό ρύπανσης του εδάφους και του είδους των παθογόνων). Αυτό συμβαίνει επειδή τα παραγόμενα βιοαέρια από τη θανάτωση των μικροοργανισμών δεν διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα (λόγω του αδιαπέραστου φύλλου) και λειτουργούν ασφυκτικά για όσους μικροοργανισμούς απομένουν ζωντανοί. Για το λόγο αυτό, η διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης μπορεί να μειωθεί σε 4-5 εβδομάδες αντί των 7-8 εβδομάδων που απαιτούνται με τα συμβατικά φύλλα. Στην περίπτωση της ηλιοαπολύμανσης το φύλλο μπορεί να περιέχει αντισταγονική ουσία που μειώνει τις σταγόνες στην κάτω επιφάνειά του. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ταχύτερη αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους.

Όλα τα φύλλα που προορίζονται για την απολύμανση εδάφους με χημικά και για την ηλιοαπολύμανση έχουν καλή σταθεροποίηση ενάντια στην υπεριώδη ακτινοβολία ώστε να αντέχουν τη συνδυασμένη επίδραση ισχυρής ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλής θερμότητας.

V. Θερμοκουρτίνες

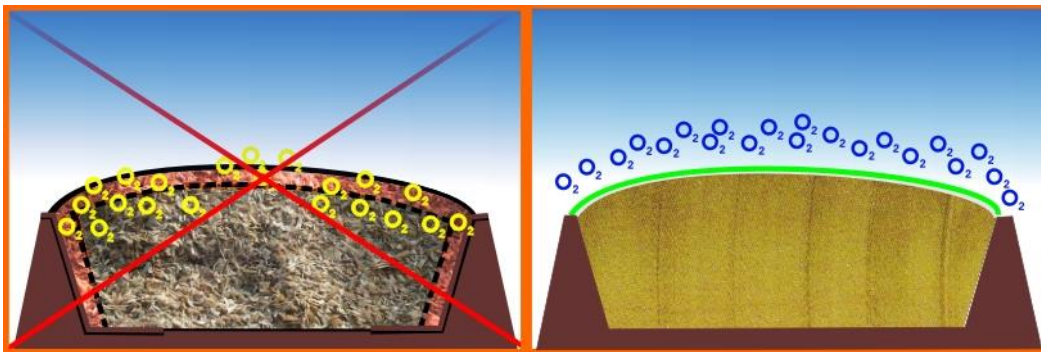
Οι θερμοκουρτίνες είναι ειδικά φύλλα πάχους 30-60 μm , πολύ υψηλής διαφάνειας. Απλώνονται εσωτερικά του θερμοκηπίου (γυάλινου ή πλαστικού) μεταξύ οροφής και καλλιέργειας για να μειώσουν τις απώλειες θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας. Με τη χρήση θερμοκουρτινών επίσης αποφεύγεται η πτώση των σταγόνων πάνω στην καλλιέργεια.

Ιδιαίτερα σε θερμαινόμενα θερμοκήπια, επιτυγχάνεται με τη μέθοδο αυτή σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του κόστους θέρμανσης καθώς περιορίζει τις απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία και μειώνει το χώρο του θερμοκηπίου που πρέπει να θερμανθεί.

VI. Φύλλα και σάκοι ενσίρωσης

Με την ανάπτυξη φύλλων και σάκων ενσίρωσης με πρωτοποριακή τεχνολογία, βελτιώνεται η ποιότητα του ενσιρώματος και αυξάνεται το εισόδημα του κτηνοτρόφου.

Είναι πολυστρωματικά φύλλα πρακτικά αδιαπέρατα στο οξυγόνο (Εικόνα 3.21). Με τον τρόπο αυτό γίνεται αποτελεσματικότερη η ζύμωση, μειώνονται δραστικά οι απώλειες και βελτιώνεται η ποιότητα της ζωοτροφής. Αποτελούνται συχνά από ένα πολύ δυνατό ασπρόμαυρο φύλλο πάχους 115 μm τυλιγμένο μαζί με ένα λεπτό κι ελαστικό φύλλο 35 μm το οποίο προσκολλάται στο ενσίρωμα κι αποτρέπει την ύπαρξη θυλάκων αέρος μεταξύ του φύλλου και της ζωοτροφής που θα οδηγούσαν σε υποβάθμιση της ποιότητάς της. Επιπλέον το άσπρο στρώμα αντανακλά τη θερμότητα ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση της ζωοτροφής και να διατηρείται καλύτερη η ποιότητά της ενώ το μαύρο εξασφαλίζει πλήρη αδιαφάνεια. Τα φύλλα ενσίρωσης είναι σταθεροποιημένα ενάντια στην υπεριώδη ακτινοβολία για ένα χρόνο.



Εικόνα 3.21. Φύλλα ενσίρωσης αδιαπέρατα στο οξυγόνο.

Οι σάκοι ενσίρωσης (silage bags) και αποθήκευσης σιτηρών (grain bags) αποτελούν μια νέα τεχνική στη χώρα μας που προσφέρει ένα εύκολο, ασφαλές και οικονομικό τρόπο για την προσωρινή αποθήκευση των ζωοτροφών και σιτηρών (Εικόνα 3.22).



Εικόνα 3.22. Σάκοι ενσίρωσης.

Εξαιτίας της συμπίεσης και της έλλειψης αέρα μέσα στους σάκους, επιτρέπεται η βελτιστοποίηση της ζύμωσης και η διατήρηση της θρεπτικής αξίας του ενσιρώματος ακόμα και όταν το

αποθηκευμένο προϊόν περιέχει μέχρι και 25% υγρασία. Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται και χρήση των σάκων για συσκευασία απορριμμάτων.

VII. Φύλλα κάλυψης ποιμνιοστασίων και άλλων αγροτικών κατασκευών

Τα φύλλα πολυαιθυλενίου προσφέρουν μια οικονομική και αποτελεσματική λύση για την κάλυψη αγροτικών κατασκευών, όπως ποιμνιοστάσια, πτηνοτροφεία, χοιροτροφεία, αποθήκες και υπόστεγα. Μια τυπική κατασκευή για τη στέγαση ζώων αποτελείται από 3 υλικά: εξωτερικό φύλλο πάχους 200-250 μm , στη μέση υλικό μόνωσης και εσωτερικά ένα λεπτότερο φύλλο (150 μm) για την υποστήριξη του μονωτικού υλικού. Έχουν συνήθως χρώμα ασπρόμαυρο ώστε να εξασφαλίζεται αδιαφάνεια και ταυτόχρονα να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του χώρου λόγω της αντανάκλασης του ήλιου πάνω στο άσπρο χρώμα που τοποθετείται εξωτερικά. Για ακόμα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (έως 10 έτη) και υψηλότερη αντοχή, προσφέρεται εύκαμπτο φύλλο από ελαστικό πολυπροπυλένιο (fPP) πάχους 450 μm .

VIII. Μεμβράνες λιμνοδεξαμενών

Για την στεγανοποίηση λιμνοδεξαμενών χρησιμοποιούνται μεμβράνες πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου (για μικρές λιμνοδεξαμενές μεμβράνες πάχους 0,3-0,5mm, ενώ για μεσαίες και μεγάλες λιμνοδεξαμενές μεμβράνες πάχους 1-1,5mm). Έχουν διάρκεια ζωής 5-10 χρόνια ανάλογα με το πάχος και τη χρήση, είναι κατάλληλες για πόσιμο νερό και πλήρως ανακυκλώσιμες.

IX. Γεωμεμβράνες

Οι εύκαμπτες μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία εφαρμογών, όπως:

- **Υγειονομική ταφή απορριμμάτων και αποβλήτων** σε Χ.Υ.ΤΑ. / Χ.Υ.Τ.Υ. / Χ.Υ.Τ.Ε.Α. για την προστασία των υπόγειων υδάτινων πόρων και του υπεδάφους.
- **Επικαλύψεις χωματερών** (CAPPING) για την αποτροπή της ροής ομβρίων προς το εσωτερικό των χωματερών, τον περιορισμό της διαφυγής αερίων και οσμών τα οποία παράγονται κατά την αποσύνθεση στις χωματερές, και την ανάπτυξη των χωματερών.
- **Δεξαμενές συλλογής υγρών απόβλητων** για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με αερόβιες, αναερόβιες και φυτικές μεθόδους.
- **Λιμνοδεξαμενές** για περισυλλογή και συγκράτηση των ομβρίων υδάτων ώστε να χρησιμοποιηθούν για άρδευση γεωργικών εκμεταλλεύσεων.
- **Κανάλια άρδευσης** για στεγανοποίηση.
- **Σήραγγες** για προστασία της διάβρωσης από τα υπόγεια και όμβρια ύδατα.
- **Φράγματα** για τη στεγανοποίηση της ζώνης θεμελίωσης.

- **Υπεδάφειες μονώσεις δεξαμενών** για τη συγκράτηση χημικών, πετρελαίου κλπ. σε περίπτωση διαρροής. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εργοστάσια ή αποθήκες χημικών, διυλιστήρια, σταθμούς καυσίμων, δρόμους.
- **Ορυχεία** για τον εμπλουτισμό μεταλλευμάτων με την μέθοδο της εκχύλισης με χημικούς διαλύτες (heap leaching) και την προφύλαξη του εδάφους και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.
- **Μεταλλικές δεξαμενές** για την εσωτερική επένδυση και την προστασία από διαρροές ή εκροές.
- **Μονώσεις κτιρίων και τεχνικών έργων** για μονώσεις θεμελίωσης (στεγανολεκάνες) και μονώσεις δωματίων (αντεστραμμένη μόνωση).
- **Εξατμισοδεξαμενές** για συγκράτηση λυμάτων κυρίως σε ελαιοτριβεία και εργοστάσια επεξεργασία βρώσιμης ελιάς.
- **Ιχθυοκαλλιέργεια** για την κατασκευή δεξαμενών εκτροφής ψαριών.

Επιλογή του κατάλληλου τύπου μεμβράνης

Η επιλογή του τύπου της μεμβράνης εξαρτάται από τις απαιτήσεις του κάθε έργου:

HDPE: Η μεμβράνη αυτή προσφέρει την υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό, κρούση, σχίσιμο και διάτρηση. Έχει πολύ καλή αντοχή στην περιβαλλοντική καταπόνηση και παρουσιάζει την υψηλότερη αντοχή σε χημικά. Η χρήση μεμβρανών HDPE ενδείκνυται για στεγανοποίηση Χ.Υ.Τ.Α., Χ.Υ.Τ.Υ., Χ.Υ.Τ.Ε.Α., εργοστασίων χημικών, σταθμών καυσίμων, δρόμους, καθώς επίσης και σε ορυχεία λόγω της υψηλής χημικής αντοχής τους.

HDPE με τραχεία επιφάνεια: Οι μεμβράνες αυτές έχουν τραχείες επιφάνειες, προκειμένου να αυξηθεί η γωνία τριβής σε σχέση με το έδαφος ή τα γεωσυνθετικά στρώματα. Αυτή η αύξηση στην τριβή βοηθά να κρατηθεί στη θέση του το υπερκείμενο γεωλογικό ή γεωσυνθετικό στρώμα και βελτιώνει τη συνολική σταθερότητα στα πρανή. Οι μεμβράνες HDPE μπορεί να έχουν τραχεία υφή σε μία πλευρά ή και στις δύο πλευρές. Οι μεμβράνες HDPE με τραχεία επιφάνεια έχουν αυξημένο συντελεστή τριβής και σταθερότητα διάτμησης για εφαρμογές σε απότομα πρανή, διαφυλάττοντας το έργο από ολίσθηση ή άλλες αστοχίες λόγω κλίσης.

LDPE/LLDPE: Οι γεωμεμβράνες LLDPE και LDPE είναι πιο ελαστικές και εύκαμπτες από τις HDPE κι επομένως πιο εύκολες στην τοποθέτηση σε μικρά έργα. Έχουν εξαιρετική αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.

EVA: Είναι η μεμβράνη με τη μεγαλύτερη ελαστικότητα για αυτό συχνά επιλέγεται για υποκατάσταση των μεμβρανών από PVC. Μειονέκτημά της είναι ότι σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 50° C) μαλακώνει και χάνει τις αντοχές της έτσι δεν θεωρείται κατάλληλη σε περιοχές με θερμό κλίμα όταν χρειάζεται να παραμένει ακάλυπτη. Παράγονται διάφοροι τύποι μεμβρανών EVA, με 8-18% VA (όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό VA, τόσο πιο ελαστική είναι η μεμβράνη).

fPP: Οι μεμβράνες fPP (εύκαμπτο πολυπροπυλένιο) κατασκευάζονται από ρητίνη η οποία είναι ένας συνδυασμός αιθυλενίου-προπυλενίου και ελαστικών σωματιδίων που διασπείρονται σε μοριακό επίπεδο σε φορέα πολυπροπυλενίου. Έχουν υψηλή αντοχή σε UV ακτινοβολία, στατική διάτρηση, σχίσσιμο, τριβή, ενώ είναι πολύ εύκαμπτες και έχουν εξαιρετική θερμική διαστασιολογική σταθερότητα, και μεγάλη αντοχή στην περιβαλλοντική καταπόνηση. Το εύκαμπτο πολυπροπυλένιο είναι ένα χημικά αδρανές και ελαστικό πολυμερές χωρίς πλαστικοποιητές. Η άριστη προσαρμοστικότητα των μεμβρανών fPP στο γεωλογικό ανάγλυφο αυξάνει τη γωνία τριβής για μέγιστο κράτημα στα πρανή. Επίσης έχουν εξαιρετική πολυαξονική αντοχή σε θραύση.

Τέλος κατασκευάζονται μεμβράνες με ειδικούς τύπους πολυαιθυλενίου που εξασφαλίζουν πολύ μεγάλες αντοχές, ιδιαίτερα στην ελαστική καταπόνηση και είναι κατάλληλες για τη μεταφορά πόσιμων προϊόντων (κρασί, χυμοί) και τροφίμων. Έχουν πάχος από 110 έως 1000 μm ανάλογα με το είδος του flexitank ή του container liner του κάθε κατασκευαστή. Για τις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούνται νέου τύπου μεμβράνες επτα-στρώματικές που περιλαμβάνουν EVOH (υλικό αδιαπέρατο στα αέρια). Οι μεμβράνες αυτές αποτρέπουν την απώλεια του αρώματος των μεταφερόμενων ειδών καθώς και την πρόσληψη ανεπιθύμητων οσμών από το περιβάλλον.

X. Σωλήνες πολυαιθυλενίου

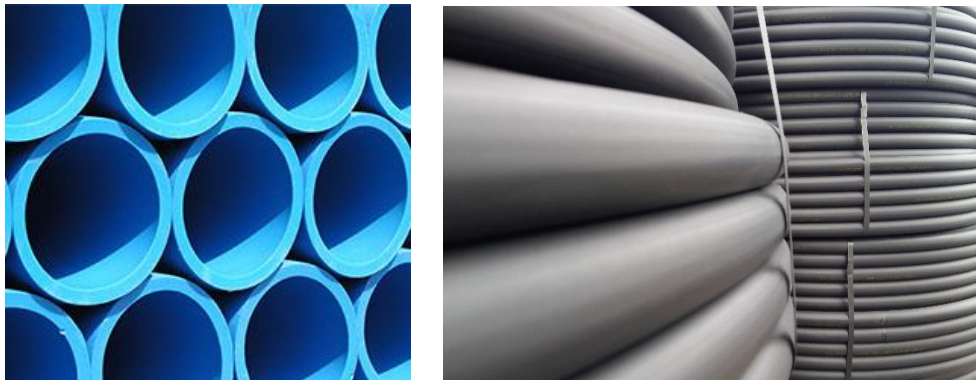
Αρδευτικοί σωλήνες

Αρδευτικοί σωλήνες LDPE. Παράγονται σε διατομές Φ16-Φ32 από LDPE (πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας) και LLDPE (γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας). Το LLDPE προσδίδει αυξημένες μηχανικές αντοχές και υψηλότερη αντοχή στην περιβαλλοντική καταπόνηση. Έτσι, είναι δυνατή η παραγωγή τους με μικρότερο πάχος πράγμα που τις καθιστά πιο οικονομικές για εφαρμογές άρδευσης. Δεν συνιστώνται για μεταφορά νερού. Περιέχουν 2,5 % αιθάλη και αντιοξειδωτικά για προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία και τη θερμότητα.

Σωλήνες HDPE. Οι σωλήνες αυτοί προορίζονται κυρίως για μεταφορά νερού σε δίκτυα άρδευσης. Παράγονται με επιλεγμένο παρθένο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) που διακρίνεται για τις πολύ μεγάλες αντοχές του στις πιέσεις, σε διατομές από 32 έως 110 mm, για 4, 6 & 10 bar πίεση.

Οι σωλήνες HDPE περιέχουν 2,5 % αιθάλη τύπου Ρ, με μέγεθος σωματιδίου κάτω από 25 nm, που εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία και ειδικό συνδυασμό αντιοξειδωτικών για προστασία από τη θερμότητα. Η συγκεκριμένη αιθάλη περιέχει πολύ χαμηλό ποσοστό θείου ($< 0,1 \%$) για να αποφεύγεται η μετάδοση οσμών στο νερό, έτσι οι σωλήνες είναι κατάλληλοι για χρήση σε δίκτυα πόσιμου νερού

Σωλήνες για δίκτυα ύδρευσης πόλεων. Η ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ παράγει σωλήνες PE 80 & PE 100 για πόσιμο νερό σε δίκτυα ύδρευσης πόλεων σε διατομές μέχρι 250 χιλιοστά.



Εικόνα 3.23. Αρδευτικοί σωλήνες πολυαιθυλενίου.

Σωλήνες προστασίας καλωδίων

Πρόκειται για σωλήνες HDPE που χρησιμοποιούνται για προστασία των καλωδίων οπτικών ινών στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Οι σωλήνες παράγονται με βάση ειδικές προδιαγραφές του ΟΤΕ και άλλων τηλεπικοινωνιακών οργανισμών. Έχουν ραβδώσεις εσωτερικά ώστε να μειώνεται ο συντελεστής τριβής (προδιαγραφή < 0.3) και να καθίσταται ευκολότερο το πέρασμα των καλωδίων με πεπιεσμένο αέρα.

Σωλήνες για δίκτυα φυσικού αερίου

Η διανομή του φυσικού αερίου στις πόλεις (δίκτυο χαμηλής πίεσης) γίνεται με σωλήνες MDPE.

Πλεονεκτήματα των σωλήνων πολυαιθυλενίου

Το πολυαιθυλένιο κερδίζει συνεχώς έδαφος για δίκτυα ύδρευσης πόλεων έναντι των άλλων υλικών (PVC, σιδηροσωλήνες κ.ά.). Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά του είναι:

- Μεγάλη ευκαμψία με ευκολία χειρισμού σωλήνων & προσαρμογή στις ιδιομορφίες του εδάφους
- Μεγάλο ενιαίο μήκος αγωγού με λιγότερες συνδέσεις, σύνδεση παροχών υπό πίεση, μηδενικές διαρροές

- Άριστες χημικές ιδιότητες, υψηλή αντοχή σε χημική διάβρωση, αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία
- Άριστες μηχανικές ιδιότητες, αντοχή σε κρούση, μικρός συντελεστής τριβής
- Καλύτερη συμπεριφορά στο υδραυλικό πλήγμα
- Μηδενική μετανάστευση ουσιών από και προς το νερό και εναποθέσεις ιζηματογενών υλικών στο δίκτυο
- Δυνατότητα εγκατάστασης επιφανειακού δικτύου (σωλήνες μαύρου χρώματος)

3.3 Ιδιότητες και χαρακτηρισμός

Όλα τα προϊόντα υπόκεινται σε αυστηρό ποιοτικό έλεγχο κατά τη διάρκεια της παραγωγής καθώς και μετά την παραγωγή σύμφωνα με το πρότυπο διασφάλισης ποιότητας ISO 9001.

Για τα φύλλα γίνεται έλεγχος πάχους, μέτρηση των μηχανικών αντοχών με εφελκυσμό κατά μήκος (MD-machine direction) και κατά πλάτος (TD-transverse direction) της γραμμής παραγωγής, προσδιορισμός των διαφόρων προσθέτων με φασματοφωτομετρία υπερύθρου (FTIR) και ορατού-υπεριώδους (UV-Vis), κλπ.

Ακόμη για ερευνητικούς σκοπούς ο εργαστηριακός εξοπλισμός περιλαμβάνει όργανα θερμοσταθμικής ανάλυσης (TGA), διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC), συσκευές τεχνητής παλαίωσης πλαστικών φύλλων (Xenotest & QUV), ρεόμετρο, αντι-σταγονικούς θαλάμους, όργανα για δοκιμές πρώτων υλών.

Ιδιαίτερα για τις γεωμεμβράνες γίνεται ποιοτικός έλεγχος σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα (NSF, ASTM, κλπ). Ελέγχονται, μεταξύ άλλων, η πυκνότητα, ο δείκτης ροής (MFI), η περιεκτικότητα σε αιθάλη και η διασπορά της, το πάχος, η ομοιομορφία του πάχους, η αντοχή σε εφελκυσμό, η επιμήκυνση, η αντοχή σε κρούση, σε σχίσιμο και σε τρύπημα, το μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή σε περιβαλλοντική καταπόνηση (ESCR), η διαστασιολογική σταθερότητα, το σημείο έναρξης οξείδωσης και άλλες ιδιότητες.

3.4 Περιβαλλοντικά ζητήματα λόγω χρήσης πλαστικών

Τα βασικά ζητήματα που προκύπτουν από την χρήση πλαστικών φύλλων στον αγρό έχουν να κάνουν με τον χρόνο ζωής τους και την διαχείριση τους μετά το τέλος της χρήσης τους. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών μπορεί να γίνει με 3 τρόπους ανάλογα με την εφαρμογή.

- Χρήση βιοδιασπώμενων φύλλων, όπως τα φύλλα εδαφοκάλυψης

- Αύξηση του χρόνου ζωής του φύλλου και των ιδιοτήτων του
- Ανακύκλωση

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται ο χρόνος ζωής που έχει παρατηρηθεί σε διάφορα φύλλα κάλυψης σε πραγματικές συνθήκες στον αγρό. Ο χρόνος ζωής που δίνεται με βάση την εγγύηση από την εταιρεία είναι τα τρία έτη, όμως στοχεύει σε μεγαλύτερους χρόνους ζωής που ταυτόχρονα κάνουν το φύλλο πιο ανταγωνιστικό και μειώνουν την συσσώρευση στο περιβάλλον. Μελετήθηκαν τρία φύλλα των Πλαστικών Κρήτης το υψηλής διαύγειας, το σταθεροποιημένο με νικέλιο (Ni) που προσδίδει αντοχή σε θειάφι και το φύλλο δροσισμού με ασημί χρώμα, τα οποία συγκρίθηκαν με δυο φύλλα από άλλους παραγωγούς θερμοκηπιακών φύλλων.

Πίνακας 3.2. Στατιστικά στοιχεία χρόνου ζωής φύλλων θερμοκηπίου.

Τύπος φύλλου	Μέση διάρκεια ζωής (έτη)	Πλήθος θερμοκηπίων	Έκταση (στρέμματα)
Φύλλο διαυγές (ΠΚ)	7,6	103	321,6
Φύλλο για δροσισμό (ΠΚ)	8,0	1	4,5
Φύλλο για αντοχή σε θειάφι (ΠΚ)	4,6	5	10
Φύλλο 1	5,0	4	1
Φύλλο 2	6,9	7	19,5

Όπως παρατηρείται από τον πίνακα τα φύλλα των Πλαστικών Κρήτης ξεπερνούν κατά πολύ τα τρία χρόνια ζωής, με μέσο όρο στα 7,6 έτη, για ένα κοινό φύλλο που χρησιμοποιείται ευρέως στην Κρήτη (103 θερμοκήπια που καλύπτουν 321,6 στρέμματα). Αντίστοιχος χρόνος ζωής παρατηρείται και σε θερμοκήπιο με φύλλο δροσισμού. Ιδιαίτερη σημασία έχει και ο παρατηρούμενος χρόνος ζωής για το φύλλο που καλύπτει καλλιέργειες όπου γίνεται χρήση θείου. Ο χρόνος ζωής στην περίπτωση αυτή θα ήταν μικρότερος από δυο έτη ενώ με τα ειδικά αυτά πρόσθετα υπερδιπλασιάζεται και φτάνει τα 4,6 έτη.

4 Ανακύκλωση

4.1 Διαδικασία ανακύκλωσης πλαστικών

Στη σημερινή κοινωνία τα πλαστικά χρησιμοποιούνται ευρέως, έτσι η χρήση και η κυριαρχία τους στην αγορά έχει επιφέρει ποικίλα περιβαλλοντικά προβλήματα. Η βιομηχανία πλαστικών κατασκευάζει είδη από πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο και άλλες βασικές ρητίνες οι οποίες καθιστούν τα παράγωγά τους σχεδόν αδιάσπαστα στο περιβάλλον. Η ανακύκλωση των πλαστικών είναι μια καθοριστική διαδικασία για το περιορισμό της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Καθίσταται απαραίτητη λόγω του αυξημένου όγκου απορριμμάτων από πλαστικό, της χαμηλής βιοαποδομησιμότητας τους και της ανάγκης εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης εκπομπών ρύπων.

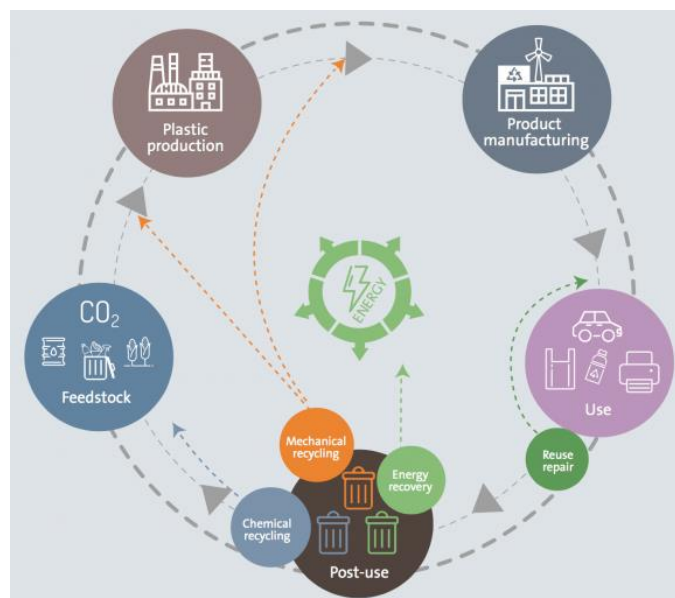
Με βάση μελέτες που έγιναν για τις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2017 η χώρα μας ανακυκλώνει γύρω στο 40% των πλαστικών συσκευασιών, λίγο χαμηλότερα από τον μέσο όρο της ΕΕ όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1. Ρυθμός ανακύκλωσης πλαστικών συσκευασιών στις χώρες μέλη της ΕΕ.

Όσο αφορά την διαδικασία της ανακύκλωσης υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των πλαστικών που σχηματικά παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.2 και διαχωρίζονται στην πρωτογενή, δευτερογενή, τριτογενή και τεταρτογενή ανακύκλωση.

- Η **πρωτογενής ανακύκλωση** αναφέρεται στην χρήση του σκάρτου πλαστικού που παράγεται σε μια βιομηχανική μονάδα και δεν είναι κατάλληλο να διατεθεί στην αγορά. Περιορίζεται στην ανακύκλωση καθαρών πλαστικών και όχι μιγμάτων τους.
- Η **δευτερογενής ανακύκλωση** περιλαμβάνει το διαχωρισμό των πολυμερών από τις προσμίξεις, την ξήρανση και εν συνεχεία τη τήξη και επαναχρησιμοποίηση του υλικού. Τα παράγωγα της δευτερογενούς ανακύκλωσης χρησιμοποιούνται σε κατώτερες εφαρμογές συγκριτικά με αυτά από όπου προήλθαν.
- Η **τριτογενής ή χημική ανακύκλωση** αναφέρεται στη διάσπαση των μακρομοριακών αλυσίδων των πολυμερών με χημικές μεθόδους με στόχο την ανάκτηση των μονομερών.
- Τέλος, η **τεταρτογενής ανακύκλωση** αναφέρεται στην αποτέφρωση των πολυμερών για την παραγωγή ενέργειας. Είναι μια μέθοδος που αποβάλλει διάφορες τοξικές ουσίες και χρησιμοποιείται υπό πολύ αυστηρώς ελεγχόμενες συνθήκες.
- Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι ως **μηδενική ανακύκλωση** αναφέρεται και απλώς η επαναχρησιμοποίηση των πλαστικών υλικών, κύρια αυτών που χρησιμοποιούνται ως υλικά συσκευασίας. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση αντικατάστασης των φθηνών πλαστικών συσκευασιών μιας χρήσης με άλλες πιο ανθεκτικές για πολλαπλές χρήσεις (πχ πλαστική σακούλα).



Εικόνα 4.2. Μέθοδοι ανακύκλωσης πλαστικών.

Από τις παραπάνω τεχνικές η μόνη κατηγορία που είναι ίσως πλήρως εναρμονισμένη με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης είναι αυτή της χημικής ανακύκλωσης. Έτσι, όχι μόνο μειώνεται η ποσότητα των απορριμμάτων στο περιβάλλον αλλά και επιπλέον παράγονται δευτερογενώς πολύτιμα συστατικά. **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

4.2 Μέθοδοι ανακύκλωσης πλαστικών

4.2.1 Πρωτογενής ανακύκλωση

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στην ανατροφοδότηση του σκάρτου παραγωγής στις μονάδες μιας εγκατάστασης για παραγωγή εφάμιλλων προϊόντων. Κατά τη παραγωγική διαδικασία διαχωρίζονται τα εκτός προδιαγραφών προϊόντα και ανακυκλώνονται με τρεις διαφορετικές διεργασίες: με εξώθηση, με έγχυση και με εμφύσηση.

4.2.1.1 Μορφοποίηση με εξώθηση

Η μέθοδος αυτή ομογενοποιεί και πλαστικοποιεί το υλικό που τροφοδοτείται στον εξωθητή ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτεί ένα σύστημα γραμμικών καλουπιών, σε συνεργασία με ένα λουτρό ψύξης πληρωμένο με νερό. Το πολυμερές εισάγεται σε μορφή κόκκων, θερμαίνεται και στη συνέχεια περνά μέσα από τους κοχλίες όπου γίνεται πιο ομογενές και καταλήγει σε καλούπι όπου παίρνει την επιθυμητή μορφή.

4.2.1.2 Μορφοποίηση με έγχυση

Κατά τη διαδικασία αυτή το πολυμερές υλικό εισάγεται σε μορφή κόκκων ή σκόνης όπου θερμαίνεται και έπειτα τήκεται. Στη συνέχεια, το ρευστό πλέον θερμοπλαστικό εγχέεται υπό υψηλή πίεση μέσω κατάλληλου ακροφύσιου σε ψυχρό καλούπι όπου και μορφοποιείται.

4.2.1.3 Μέθοδος με εμφύσηση

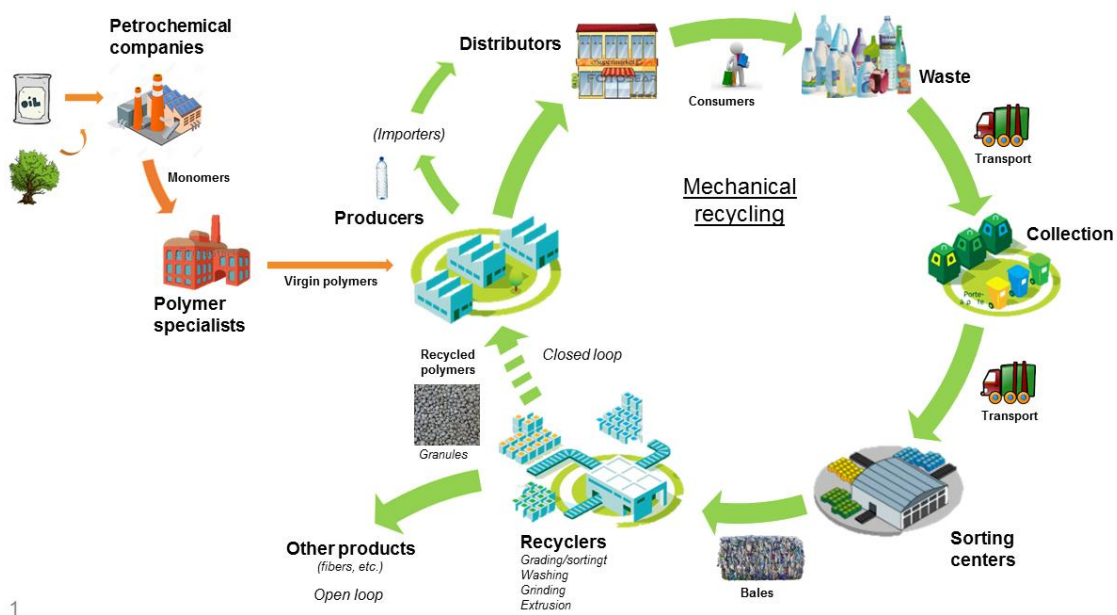
Σε αυτήν τη διαδικασία το τήγμα του πολυμερούς διέρχεται μέσω κυλινδρικής μήτρας εκβολής για την παραγωγή ενός κυλινδρικού μορφώματος. Καθώς ο σωλήνας του μορφώματος κατέρχεται, ένα εκμαγείο κλείνει τα άκρα του έτσι ώστε στο ένα άκρο του να διεισδύει ένα ακροφύσιο αέρα. Η εμφύσηση του αέρα μέσω του ακροφυσίου εξογκώνει το μόρφωμα εξαναγκάζοντάς το να πάρει το σχήμα της κοιλότητας του εκμαγείου.

4.2.2 Δευτερογενής ανακύκλωση

Η δευτερογενής ανακύκλωση αναφέρεται στην επεξεργασία απορριμμάτων με τυχαίες συστάσεις προκειμένου να παραχθεί προϊόν χαμηλότερης ποιότητας. Τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται στη δευτερογενή διεργασία ανακύκλωσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα πλαστικά απορρίμματα νοικοκυριών και άλλα πλαστικά. Τα στάδια της διεργασίας που ακολουθούνται διακρίνονται στα εξής:

- Συλλογή / Διαλογή απορριμμάτων στη πηγή
- Διαχωρισμός και καθαρισμός απορριμμάτων
- Κατεργασία πλαστικών
- Εφαρμογές στην αγορά εργασίας

Ο κύκλος ζωής ενός πλαστικού από την παραγωγή της πρώτης ύλης έως την παραγωγή προϊόντος και η διαδικασία δευτερογενούς ανακύκλωσης του παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.33.










Εικόνα 4.3. Κύκλος ζωής πλαστικού.

4.2.2.1 Συλλογή / Διαλογή απορριμμάτων στην πηγή

Η διαδικασία αυτή αναφέρεται στη συλλογή των απορριμμάτων σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους με στόχο τη διαλογή των χρήσιμων υλικών πριν αυτά αναμιχθούν με την υπόλοιπη μάζα απορριμμάτων. Αφενός η διαδικασία αυτή πλεονεκτεί στο ότι περιορίζεται η υγειονομική ταφή των απορριμμάτων και αφετέρου ενισχύεται περιβαλλοντικά και οικονομικά η εκάστοτε περιοχή λόγω μείωσης όγκου απορριμμάτων, αλλά και από τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την πώληση ανακυκλωμένων προϊόντων. Για την διευκόλυνση της διαλογής στα πλαστικά προϊόντα υπάρχει ειδική σήμανση με τους κωδικούς ανακύκλωσης όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.4.

Plastic Resin Identification Codes

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
Polyethylene Terephthalate	High-Density Polyethylene	Polyvinyl Chloride	Low-Density Polyethylene	Polypropylene	Polystyrene	Other

Εικόνα 4.4. Κωδικοί ανακύκλωσης.

4.2.2.2 Διαχωρισμός και καθαρισμός απορριμμάτων

Σε αυτό το στάδιο τα πλαστικά απορρίμματα πλένονται για να απομακρυνθούν οι ρύποι και οι ακαθαρσίες που πιθανόν να περιέχουν, και αναμορφώνονται σε νέα πλαστικά προϊόντα με καλύτερη ποιότητα στο τελικό προϊόν. Η διαδικασία ξεκινά με την μεταφορά των υλικών που έχουν συλλεχθεί στα Κέντρα Ανάκτησης Υλικών και στη συνέχεια ελέγχονται και διαχωρίζονται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους ανάλογα το είδος τους. Λόγω διαφόρων προβλημάτων που δημιουργούνται, η διεργασία της ανακύκλωσης επικεντρώνεται στα ευκολότερα ανακυκλώσιμα υλικά (PET και HDPE). Ανάλογα το μέγεθος και την αναλογία όγκου / βάρους των ανακυκλώσιμων προϊόντων, τα πλαστικά θραύονται και δεματοποιούνται για την οικονομικότερη μεταφορά τους στη βιομηχανία επεξεργασίας τους. Κλειδί στην ανακύκλωση πλαστικού είναι η διάθεση ρητίνης γνωστού μοριακού βάρους χωρίς προσμίξεις. Εκτός των άλλων, αυτό αποτελεί κριτήριο για τη δυνατότητα της μετέπειτα ανακύκλωσής του.

4.2.2.3 Κατεργασία υλικών

Η διαδικασία αυτή αφορά τη ποιότητα του τελικού προϊόντος και τη διατήρηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι εκβολέας μονού κοχλίας όπου το πλαστικό υλικό οδηγείται στο χωνί τροφοδοσίας το οποίο είναι τοποθετημένο στον σωλήνα μέσω ενός δονούμενου κεκλιμένου αγωγού φόρτωσης. Εξασφαλίζεται σταθερή τροφοδοσία. Δια μέσω του χωνιού εισέρχεται στον σωλήνα η σκόνη του πλαστικού. Στο σωλήνα υπάρχει ο κοχλίας εξώθησης με σκοπό να μεταφέρει το υλικό, να το ομοιογενοποιεί και να το εξαναγκάζει να περάσει από τη μήτρα. Το υλικό μεταφέρεται προς την έξοδο του σωλήνα. Το παχύρρευστο μείγμα πλαστικού αναγκάζεται να διέλθει από τη νηματοειδή μήτρα και στη συνέχεια ψύχεται σε παγωμένο νερό, εκεί σταθεροποιείται και στη συνέχεια οδηγείται στον πελλετοποιητή. Στη συνέχεια, οι παραγόμενες πελλέτες οδηγούνται για έλεγχο ποιότητας.

4.2.2.4 Εφαρμογές στην αγορά εργασίας

Αυτό το στάδιο εξασφαλίζει τις εφαρμογές που διεξάγονται ώστε να γίνει προώθηση στις αγορές στις οποίες θα διατεθεί το ανακυκλωμένο υλικό. Η αύξηση της ποσότητας των ανακυκλωμένων πλαστικών απορριμμάτων είναι πρώτη προτεραιότητα στην ευρωπαϊκή ατζέντα, αλλά η χώρα μας

εξακολουθεί να απέχει πολύ από αυτήν την εκτέλεση. Ευρύτερα συστημικά θέματα, τα οποία συχνά παραβλέπονται ή εξετάζονται μεμονωμένα, εμποδίζουν τη διαδικασία ανακύκλωσης. Μια πιο βαθιά και ολοκληρωμένη πολιτική, οικονομική και πολιτική προσέγγιση θα διευκολύνει τη κατανόηση της θετικής ή αρνητικής κλιμάκωσης της ανακύκλωσης και της συμβολής στην όλο και πιο επείγουσα ανάγκη για έλεγχο της βιωσιμότητας των κλειστών βρόγχων πλαστικών απορριμμάτων. Η ανάλυση αυτή θα υποστηρίξει την εκτίμηση των κρίσιμων στοιχείων και θα ωθήσει στη μετάβαση για μελλοντική διάθεση προϊόντων στην αγορά πιο ενεργά και αποδοτικά (Hahladakis et al, 2019).

4.2.3 Τριτογενής ανακύκλωση

Αναφέρεται στην επεξεργασία του πολυμερούς με κατάλληλα χημικά αντιδραστήρια με στόχο να σπάσει το μακρομόριο στα μονομερή του. Τα μονομερή αυτά καθαρίζονται και αναπολυμερίζονται για να σχηματίσουν νέα μη υποβαθμισμένα πολυμερή, έτοιμα για μορφοποίηση σε νέα προϊόντα. Πολλή έρευνα λαμβάνει χώρα για την τριτογενή ανακύκλωση θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών και ελαστομερών. Η παραγωγή νέων πολυμερών με αποπολυμερισμό και αναπολυμερισμό των μονομερών δεν γίνεται προς το παρόν σε ευρεία βιομηχανική κλίμακα γιατί δεν είναι οικονομική ακόμα, καθώς απαιτεί συνήθως μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Η τριτογενής διεργασία ανακύκλωσης διαχωρίζεται σε δύο διαδικασίες, τη χημική ανακύκλωση και τη θερμοχημική μέθοδο διάσπασης. Πολυμερή όπως ο πολυ (τερεφθαλικός αιθυλενεστέρας) ή ο πολυ (ανθρακικός εστέρας), τα πολυαμίδια και οι πολυουρεθάνες μπορούν με τη χρήση χημικών αντιδραστηρίων να μετατραπούν στα αντίστοιχα μονομερή τους. Αντίθετα πολυμερή όπως οι πολυολεφίνες διασπώνται στα μονομερή τους με θερμοχημικές διεργασίες.

4.2.3.1 Θερμοχημική Ανακύκλωση των Πολυμερών

Οι μέθοδοι θερμοχημικής ανακύκλωσης πολυμερών που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τη πυρόλυση, την εξαερίωση και την υδρογόνωση. Πυρόλυση είναι η διεργασία εκείνη κατά την οποία το πολυμερές θερμαίνεται σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο τήξης του, απουσία οξυγόνου προς παραγωγή ενός αερίου, ενός υγρού κι ενός στερεού κλάσματος. Κατά την εξαερίωση σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση όλα τα οργανικά συστατικά μετατρέπονται στο αέριο σύνθεσης ($\text{CO} + \text{H}_2$), ενώ κατά την υδρογόνωση προστίθενται και H_2 στο στάδιο της θερμικής αποικοδόμησης των μακρομοριακών αλυσίδων οπότε τα ετεροάτομα μετατρέπονται σε άλλα χρήσιμα προϊόντα.

4.2.3.2 Χημική Ανακύκλωση

Οι χημικές διεργασίες ανακύκλωσης περιλαμβάνουν αντιδράσεις αποπολυμερισμού των πλαστικών. Κάθε είδος πολυμερούς χρήζει κατάλληλης αντίδρασης ώστε να επιτευχθεί η

μετατροπή του σε μονομερές. Οι κυριότερες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι η μεθανόλυση, η υδρόλυση και η γλυκόλυση.

4.2.4 Τεταρτογενής ανακύκλωση

Η μέθοδος αυτή ανακύκλωσης αναφέρεται στην καύση των πλαστικών απορριμμάτων και στην ανάκτηση ενέργειας από αυτά. Η συγκεκριμένη μέθοδος εκμεταλλεύεται το υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο των πολυμερών και παρουσιάζει το πλεονέκτημα της μείωσης του όγκου των απορριμμάτων. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι με τη καύση παράγονται και απελευθερώνονται στο περιβάλλον επικίνδυνα παραπροϊόντα, όπως οι διοξίνες. Τα περισσότερα πολυμερή έχουν θερμογόνο δύναμη υψηλότερη από τον άνθρακα και το αργό. Με τη μέθοδο της καύσης τα πλαστικά προϊόντα χρησιμοποιούνται ως αποταμιευτές ενέργειας. Ως καύσιμη ύλη, τα πολυμερή είναι αναγκαίο να πληρούν κάποιες προδιαγραφές όπως περιεκτικότητα σε τέφρα, θείο, χλώριο, θερμαντική αξία και κατάλληλο μέγεθος πελλετών.

4.3 Ανακύκλωση στη βιομηχανία

Τα Πλαστικά Κρήτης σε βιομηχανικό επίπεδο εφαρμόζουν διάφορες από τις διαδικασίες ανακύκλωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Αρχικά το τμήμα παραγωγής masterbatch που παράγει πρώτες ύλες για βιομηχανίες πλαστικών σε περίπτωση που κάποιο προϊόν δεν πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές, πχ δεν έχει την επιθυμητή κοκκομετρία, μπορεί να υποστεί πρωτογενή ανακύκλωση και να γίνει επανακατεργασία του για την παραγωγή αντίστοιχου προϊόντος.

Ακόμη η παραγωγή σκάρτου προϊόντος στο τμήμα παραγωγής φύλλου αξιοποιείται εσωτερικά στο εργοστάσιο καθώς μετά από κατεργασία και πελλετοποίηση του επανατροφοδοτείται στην παραγωγή σωλήνων, γεωμεμβρανών και πλαστικών φύλλων γενικής χρήσης.

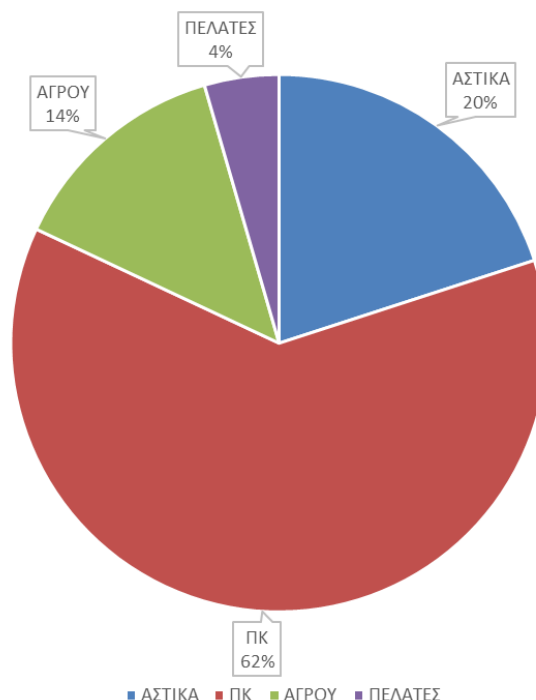
Τα προηγούμενα χρόνια και ιδιαίτερα τη δεκαετία του '90 στο τέλος της ζωής τους τα πλαστικά κατέληγαν είτε σε θαλάσσια περιβάλλοντα είτε διατίθονταν για καύση. Η διαδικασία της καύσης, χαρακτηρίζεται αρκετά επιβλαβής μιας και κατά τη διάρκειά της απελευθερώνονται επικίνδυνα αέρια διοξειδίου του άνθρακα CO_2 , μονοξειδίου του άνθρακα CO και οξειδίων του αζώτου NO_x . Εξίσου επιβλαβής χαρακτηρίζεται και η διάθεση των πλαστικών απορριμμάτων στη θάλασσα μιας και η διάσπασή τους στο νερό απαιτεί πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα και η ρύπανση που προκαλούν στο θαλάσσιο οικοσύστημα είναι ανεπανόρθωτη.

Συνυπολογίζοντας τα παραπάνω, αποφασίστηκε από τις τοπικές αρχές, που είχαν αυξημένο πρόβλημα με τα πλαστικά απορρίμματα, σε συνεργασία με το εργοστάσιο των Πλαστικών Κρήτης, να στηθούν οι σταθμοί ανακύκλωσης και να λειτουργήσει μονάδα ανακύκλωσης του εργοστασίου. Η μέθοδος ανακύκλωσης που ακολουθείται τώρα και περιγράφεται παρακάτω, είναι φιλική προς το περιβάλλον και αποδοτική για την αγορά.

4.3.1 Βιομηχανική μονάδα ανακύκλωσης

Το τμήμα ανακύκλωσης πλαστικών του εργοστασίου εδρεύει στις εγκαταστάσεις της βιομηχανίας παραγωγής πλαστικών στην βιομηχανική περιοχή Ηρακλείου. Η κύρια λειτουργία του είναι για ανακύκλωση κλειστού βρόγχου, δηλαδή ανακύκλωση των σκραπ του εργοστασίου, παράλληλα όμως ανακυκλώνει πλαστικά φύλλα από χρήσεις στον αγρό και επιλεγμένα αστικά απόβλητα.

Η διαδικασία ανακύκλωσης των πλαστικών φύλλων, που συλλέγονται μετά το τέλος ζωής τους από τον αγρό, ξεκινά από εγκεκριμένους σταθμούς συγκέντρωσης που υπάρχουν σε διάφορα σημεία στο νησί (Ιεράπετρα, Τυμπάκι, Άρβη, Παλιόχωρα, Κουτσουράς κ.α). Εκεί τα πλαστικά φύλλα συλλέγονται, διαχωρίζονται και προχωρούν στη διαδικασία καθαρισμού τους. Έπειτα μεταφέρονται στη μονάδα ανακύκλωσης του εργοστασίου όπου ξεκινά η επεξεργασία τους που ακολουθεί τη δευτερογενή μέθοδο ανακύκλωσης όπως περιγράφηκε παραπάνω.



Εικόνα 4.5. Προέλευση προϊόντος ανακύκλωσης των Πλαστικών Κρήτης.

Η αποδοτικότητα της μονάδας ανακύκλωσης είναι ικανοποιητική μιας και το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης των ανακυκλωμένων προϊόντων ανέρχεται στο 50%. Όπως φαίνεται στην

Εικόνα 4.5 το μεγαλύτερο μέρος του παραγόμενου προϊόντος (62%) προέρχεται από σκραπ των Πλαστικών Κρήτης, ενώ το 20% είναι από αστικά απόβλητα όπως πλαστικές συσκευασίες, πλαστικά μπιτόνια, πλαστικές σακούλες. Ακόμη ένα μεγάλο μέρος της ανακύκλωσης, 14%, γίνεται σε πλαστικά φύλλα του αγρού όπως χρησιμοποιημένα φύλλα θερμοκηπίων, φύλλα χαμηλής κάλυψης και απολύμανσης αλλά και σε χρησιμοποιημένους σωλήνες άρδευσης & ύδρευσης. Τέλος, ανακυκλώνεται πλαστικό από πελάτες των Πλαστικών Κρήτης που μπορεί να είναι είτε σκραπ από την παραγωγή άλλων βιομηχανιών πλαστικών είτε σάκοι συσκευασίας.

5 Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment – LCA) προϊόντων είναι μια καλά εδραιωμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων που μπορούν να προκληθούν στον κύκλο ζωής τους. Ο αντικειμενικός σκοπός της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι η αναζήτηση και η ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης που επέρχεται από την παραγωγή και χρήση ενός προϊόντος ή μιας παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό είναι εφικτό μέσω της παρακολούθησης του προϊόντος από την «γέννηση» μέχρι την «ταφή» του, από την εξόρυξη των πρώτων υλών, την παραγωγή, την χρήση μέχρι και την τελική του διάθεση (Hottle et al, 2017).

Στόχοι μιας μελέτης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι (Μουσιόπουλος κ.ά, 2015):

- Η παροχή μιας όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένης εικόνας των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μιας δραστηριότητας και του περιβάλλοντος.
- Η συνεισφορά στην κατανόηση της αλληλεξάρτησης που χαρακτηρίζει τη φύση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο σύνολό τους, οι οποίες οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Η λήψη αποφάσεων έτσι ώστε να υπάρξουν περιβαλλοντικές βελτιώσεις.

Μερικά από τα πιο σημαντικά οφέλη για να κάνει μια επιχείρηση Ανάλυση Κύκλου Ζωής στην παραγωγική της διαδικασία περιγράφονται παρακάτω:

Οικονομικά οφέλη: εξετάζεται ολόκληρος ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος εντοπίζοντας τις κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις αυτές μπορούν συνήθως να μειωθούν από την αύξηση της αποτελεσματικότητας με την οποία χρησιμοποιούνται οι φυσικοί πόροι και η ενέργεια. Ενδεχόμενη αύξηση της αποτελεσματικότητας των εισροών σημαίνει και αυτόματη μείωση κόστους.

Σχεδιαστικά οφέλη: μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο στάδιο του σχεδιασμού ή επανασχεδιασμού ενός προϊόντος καθώς μπορεί να προσδιορίσει κατά πόσο υπάρχουν πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα μεταξύ διαφορετικών μεθόδων παραγωγής.

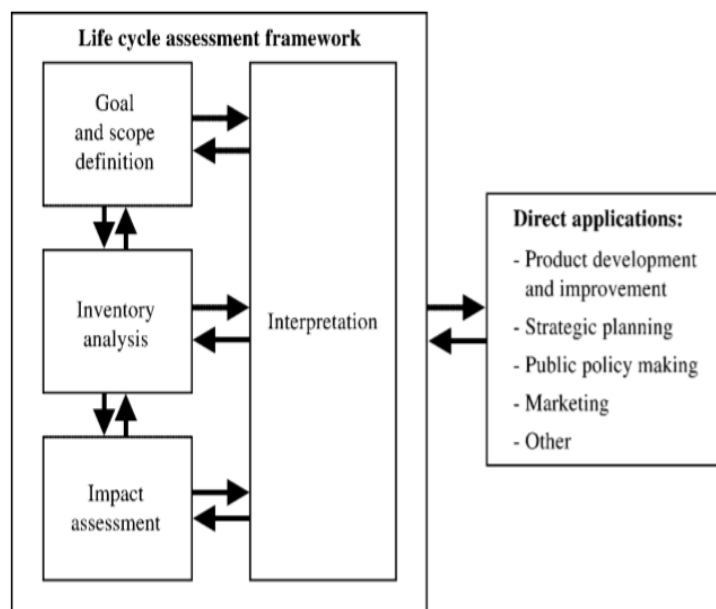
Ενίσχυση ανταγωνιστικότητας: αξιοποιείται κατά καιρούς από διάφορες επιχειρήσεις για σκοπούς μάρκετινγκ. Αποτελεί βασικό μέσο για τη στήριξη διαφημιστικών ισχυρισμών έναντι ανταγωνιστικών προϊόντων, απαιτεί όμως απόλυτη διαφάνεια στην εκτίμηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

5.1 Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) ορίζει την Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και περιγράφει τα στάδια που εφαρμόζονται για την πλήρη διεξαγωγή μιας LCA με τα πρότυπα ISO 14040-43. Πιο συγκεκριμένα:

- ISO 14040: Αρχές και οριοθέτηση συστήματος
- ISO 14041: Προσδιορισμός σκοπού και στόχου και απογραφή δεδομένων
- ISO 14042: Εκτίμηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής (Life cycle impact assessment)
- ISO 14043: Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Η μεθοδολογία που περιγράφεται παραπάνω σε συνδυασμό με μια σειρά οφέλη που μπορεί να προκύψουν από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής παρουσιάζονται σχηματικά στην *Εικόνα 5.1*.



Εικόνα 5.1. Πλαίσιο αξιολόγησης Κύκλου Ζωής.

Οι μεθοδολογίες LCA αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1960, εστιάζοντας στη χρήση της ενέργειας και των πρώτων υλών στην παραγωγική διαδικασία. Στη συνέχεια συμπεριλήφθηκαν και άλλες κατηγορίες, όπως οι εκπομπές στον αέρα και στο νερό, καθώς και τα στερεά απόβλητα.

Το ISO 14048 αναπτύχθηκε από τα πρότυπα περιβαλλοντικής διαχείρισης ISO 14040 και ISO 14044 και πραγματεύεται την αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής χρειάζεται να αξιολογήσει τις περαιτέρω περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας και υλικών, από τις εκπομπές και τα απόβλητα, ώστε να προσδιορίσει τις αναγκαίες περιβαλλοντικές βελτιώσεις. Περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, από την διαδικασία

παραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της εξαγωγής και της επεξεργασίας πρώτων υλών, έως την κατασκευή, την μεταφορά και διανομή του. Επιπλέον λαμβάνεται υπόψη η επαναχρησιμοποίηση, συντήρηση, ανακύκλωση και τελική διάθεση του (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2. Στάδια Κύκλου Ζωής.

Το ISO 14040 απαιτεί ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής του έργου να καθορίζονται στην αρχή όλων των LCA, ενώ ο χρήστης πρέπει να δηλώσει την προβλεπόμενη εφαρμογή, και τον επιθυμητό στόχο για την ανακοίνωση των αποτελεσμάτων της μελέτης.

5.1.1 Ορισμός πεδίου εφαρμογής της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Κατά τη διεξαγωγή μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι απαραίτητο να ορισθούν με σαφήνεια η επιδίωξη της μελέτης, ο σκοπός και το αντικείμενό της. Το αντικείμενο της μελέτης καθορίζει τα όρια του υπό μελέτη συστήματος, τις απαιτήσεις δεδομένων, τις υποθέσεις και τους περιορισμούς. Επιπλέον, θα πρέπει να ορίζονται επαρκώς τόσο τα γεωγραφικά όσο και τα χρονικά (διάρκεια ζωής του προϊόντος, χρονικός ορίζοντας κατεργασίας και επιπτώσεων) όρια της μελέτης. Ανάλογα με την επιδίωξη χρήσης των αποτελεσμάτων καθορίζονται:

- Τι θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής και τι θα συμπεριληφθεί στην πραγματικότητα.
- Πώς οργανώνονται και αξιολογούνται τα δεδομένα.
- Πώς χρησιμοποιούνται τα δεδομένα για την ανάπτυξη και το σχεδιασμό των προϊόντων.
- Ποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις πρέπει να συμπεριληφθούν.

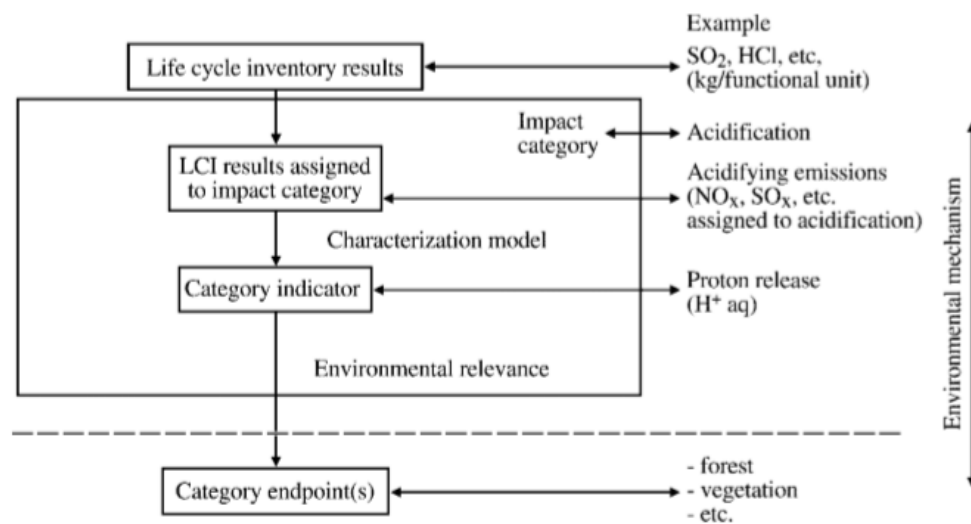
Ο ορισμός του πεδίου εφαρμογής περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- την περιγραφή των λειτουργιών, δηλαδή τα χαρακτηριστικά απόδοσης του συστήματος προϊόντων (ή τα συστήματα στην περίπτωση συγκριτικών μελετών)

- τη λειτουργική μονάδα (functional unit) για τη μαθηματική εξομάλυνση των δεδομένων εισόδου και εξόδου και την συγκριτική αξιολόγηση των επιπτώσεων ανά κατηγορία και ομοειδή ή ανταγωνιστικά προϊόντα
- τα όρια του συστήματος
- τις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- τις διαδικασίες κατανομής δεδομένων
- τις απαιτήσεις ποιότητας
- τις υποκείμενες υποθέσεις και περιορισμούς

5.1.2 Καταγραφή των δεδομένων Κύκλου Ζωής

Η καταγραφή των δεδομένων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Inventory, LCI) περιλαμβάνει την ποσοτική συλλογή των περιβαλλοντικά σημαντικών εισροών και εκροών σε όλο το καθορισμένο όριο του συστήματος του προϊόντος. Πρέπει να σημειωθεί ότι η LCI δεν ασχολείται ποτέ με το προϊόν μεμονωμένα από το καθορισμένο σύστημά του, αλλά περιλαμβάνει σύνολα λειτουργικών μονάδων που σχετίζονται με το προϊόν, οριοθετώντας τις σχετικές ομάδες λειτουργιών εντός του καθορισμένου ορίου. Ο χώρος έξω από το όριο γίνεται το περιβάλλον του συστήματος που αναλαμβάνει τη διπλή λειτουργία της πηγής όλων των υλικών και ενεργειακών εισροών στο σύστημα και της απορρόφησης για όλες τις εξόδους του συστήματος (Εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3. Καταγραφή των δεδομένων του Κύκλου Ζωής (O'Neill, 2003).

Στην πράξη, η συλλογή των δεδομένων της καταγραφής των δεδομένων Κύκλου Ζωής μπορεί να είναι δαπανηρή και χρονοβόρα και αυτό συχνά οδηγεί σε ανεπαρκή εκτέλεση ή εγκατάλειψη των μελετών. Οι ολοκληρωμένες LCA απαιτούν σωστό LCI και συγκεντρώνουν μια ολόκληρη σειρά διαφορετικών συνόλων δεδομένων, είτε για μεμονωμένες διαδικασίες είτε για ομάδες τους.

Οι πηγές των δεδομένων μπορεί να είναι είτε πρωτογενείς (όπως τα δεδομένα ειδικών διαδικασιών που προκύπτουν π.χ. απευθείας από μετρήσεις) είτε δευτερογενείς (όπως δεδομένα που συλλέγονται από αναφορές ή άλλες δημοσιευμένες πηγές). Αυτές οι πηγές προέρχονται από:

- βιομηχανικές και κρατικές αναφορές
- δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών
- βιβλία αναφοράς
- δημοσιεύσεις και βάσεις δεδομένων
- λίστες θεσμοθετημένων ορίων
- συμβούλους και εμπορικούς συνδέσμους
- παρόμοιες μελέτες ΑΚΖ

Αυτά τα σύνολα δεδομένων, γνωστά και ως οικολογικά προφίλ, μπορούν στη συνέχεια να συγκεντρωθούν για να συμπληρώσουν το LCI και αυτή η προσέγγιση μπορεί να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος παροχής των απαραίτητων ακριβών δεδομένων για την επιτυχή ολοκλήρωση ενός έργου LCA και την επακόλουθη εφαρμογή των αποτελεσμάτων.

5.1.3 Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής

Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) αποτελεί μια ποσοτική και ποιοτική διαδικασία που προκύπτει από την απογραφή των δεδομένων και χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει και να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η LCIA είναι η τρίτη φάση της LCA που περιγράφεται στο ISO 14040, η φάση της αξιολόγησης του κύκλου ζωής με στόχο την κατανόηση και την αξιολόγηση του μεγέθους και της σημασίας των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος προϊόντων.

Σκοπός της είναι να προσδιορίσει τη δυνητική περιβαλλοντική σημασία των δεδομένων του LCI διαχωρίζοντάς τα μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτές οι κατηγορίες επιπτώσεων στη συνέχεια διαμορφώνονται έτσι ώστε να αναπτυχθεί ένας δείκτης ανά κατηγορία επιπτώσεων. Η εκτίμηση των επιπτώσεων αποτελείται από τα ακόλουθα τρία βήματα: ταξινόμηση, χαρακτηρισμός και αξιολόγηση.

5.1.3.1 Ταξινόμηση

Στο στάδιο ταξινόμησης όλες οι εκπομπές ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τις επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον. Έτσι, οι ουσίες που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ή στην εξάντληση του στρώματος του όζοντος κατανέμονται μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών, ενώ εκπομπές όπως τα οξείδια του αζώτου μπορούν ταυτόχρονα να ανήκουν σε διάφορες κατηγορίες,

όπως η τοξικότητα για τα ύδατα, η όξινη βροχή και ο ευτροφισμός. Οι επιπτώσεις ταξινομούνται σε τρία «γενικά πεδία προστασίας», τα οποία είναι:

1. η εξάντληση των φυσικών πόρων
2. η ανθρώπινη υγεία
3. η διατήρηση του οικοσυστήματος

Εξετάζοντας τις επιπτώσεις από την εξάντληση των φυσικών πόρων, είναι δυνατό να διακριθούν οι παρακάτω περιπτώσεις:

- 1.α. μη ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι (περιορισμένο απόθεμα),
- 1.β. ανανεώσιμοι (για παράδειγμα ο αέρας),
- 1.γ. βιοτικοί (πόροι σχετικοί με τη χλωρίδα και την πανίδα).

Στον τομέα της ανθρώπινης υγείας μπορεί να γίνει ο παρακάτω διαχωρισμός:

- 2.α. επιπτώσεις με τον όρο «οξείες επιπτώσεις», όπως πυρκαγιές, εκρήξεις κλπ.
- 2.β. επιπτώσεις με τον όρο «μακροπρόθεσμες επιπτώσεις», για παράδειγμα ο καρκίνος.

Στο πλαίσιο της υγείας του οικοσυστήματος, η ανάλυση γίνεται σε τρία επίπεδα:

3.α. Δομή:

- πληθυσμός, κοινότητα και οικοσύστημα
- επίπεδα διατροφής
- φυσικό περιβάλλον

3.β. Λειτουργία:

- παραγωγικότητα
- διεργασία (κύκλοι αζώτου, άνθρακα)

3.γ. Βιοδιασπαστική ικανότητα:

- καταστροφή φυσικού περιβάλλοντος
- είδη σπάνια και υπό εξαφάνιση

5.1.3.2 Χαρακτηρισμός

Στη φάση του χαρακτηρισμού γίνεται ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων και άθροιση αυτών που ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για τον χαρακτηρισμό των επιπτώσεων (π.χ. μοντελοποίηση της έκθεσης και των επιδράσεων από τις επιπτώσεις, χρήση ισοδύναμων όρων για κάθε μία κατηγορία επιπτώσεων). Μια περαιτέρω ανάπτυξη της φάσης του χαρακτηρισμού είναι η κανονικοποίηση του συνόλου των δεδομένων ανά κατηγορία επιπτώσεων σε σχέση με το πραγματικό μέγεθος των επιπτώσεων που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία.

Με τον τρόπο αυτό, προκύπτει μια συνολική βαθμολογία επιπτώσεων πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα κάθε ουσίας με συντελεστή στάθμισης ή χαρακτηρισμού που αντικατοπτρίζει την ειδική

δραστικότητα της συγκεκριμένης ουσίας. Όπου υπάρχουν, οι διεθνείς συντελεστές ισοδυναμίας παρέχουν τους καταλληλότερους πολλαπλασιαστές για τον χαρακτηρισμό, αλλά μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί μόνο για μερικές κατηγορίες επιπτώσεων. Οι επιλεγμένες κατηγορίες επιπτώσεων είναι:

- Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential, GWP),
- Δυναμικό εξάντλησης του στρώματος του όζοντος (Ozon depletion Potential, ODP),
- Δυναμικό Οξίνισης (Acidification Potential, AP),
- Δυναμικό κλιματικής αλλαγής (Climate change Potential, CCP)
- Δυναμικό επίγειου και θαλάσσιου ευτροφισμού (Terrestrial and Marine Eutrophication Potential, TEP, MEP)
- Δυναμικό εξάντλησης ορυκτών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Mineral and renewable resources depletion Potential, MRDP)
- Δυναμικό εξάντλησης υδάτινων πόρων (Water resource depletion Potential, WRDP)

Η διεργασία αυτή γίνεται για να διευκολυνθεί η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων από τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων.

5.1.3.3 Αξιολόγηση

Κατά την αξιολόγηση γίνεται προσπάθεια να σταθμιστούν οι διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων με σκοπό την επίτευξη της συνολικής περιβαλλοντικής σύγκρισης των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών. Συχνά μπορεί να γίνεται με βάση τις επίσημες προτεραιότητες περιβαλλοντικής πολιτικής. Η ιεράρχηση και στη συνέχεια η σύγκριση των κατηγοριών των επιπτώσεων είναι στην ουσία μια διαδικασία αποτίμησης αξιών. Εκφράζει κοινωνικές αξίες και προτιμήσεις. Χρησιμοποιούνται πολλά εργαλεία, που συχνά αναφέρονται ως θεωρητικές τεχνικές λήψης αποφάσεων, προκειμένου να λύσουν το πρόβλημα με μια προσέγγιση όσο το δυνατόν ορθολογική.

Τα μοντέλα που εισάγουν τους παράγοντες κατηγοριοποίησης αντικατοπτρίζουν τον περιβαλλοντικό μηχανισμό, περιγράφοντας τη σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων του LCI, των δεικτών κατηγορίας και σε ορισμένες περιπτώσεις τα βασικά σημεία κατηγοριών.

Τα βασικά σημεία κατηγοριών είναι αυτά τα χαρακτηριστικά των φυσικών πόρων, του περιβάλλοντος ή της ανθρώπινης υγείας που έχουν χαρακτηριστεί ως ανησυχητικό πρόβλημα στο πλαίσιο μιας LCA.

Για κάθε κατηγορία επιπτώσεων τα απαραίτητα στοιχεία περιλαμβάνουν:

- τον προσδιορισμό των βασικών σημείων της κατηγορίας
- τον ορισμό του δείκτη κατηγορίας για ένα δεδομένο βασικό σημείο
- τον προσδιορισμό των κατάλληλων αποτελεσμάτων του LCI, τα οποία πρέπει να ανατεθούν σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων
- τον προσδιορισμό του μοντέλου χαρακτηρισμού και των παραγόντων χαρακτηρισμού

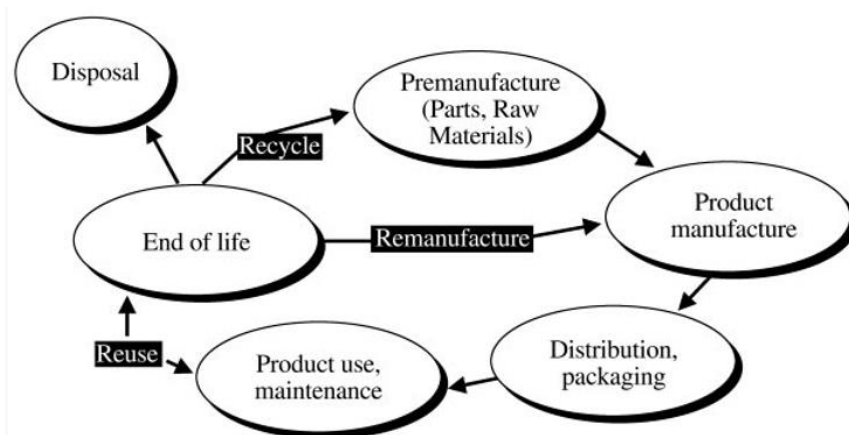
Η διαδικασία αυτή έχει ως στόχο να διευκολύνει τη μοντελοποίηση, την αντιστοίχιση και τον χαρακτηρισμό των αποτελεσμάτων του LCI, που περιλαμβάνει ροές στα όρια του συστήματος και παρέχει το σημείο εκκίνησης για την εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει επίσης στην επισήμανση της επιστημονικής και τεχνικής εγκυρότητας, των παραδοχών, των επιλογών αξίας και των βαθμών ακρίβειας στο μοντέλο χαρακτηρισμού.

5.1.4 Αποτίμηση των επιπτώσεων – Προτάσεις για Βελτίωση

Η ερμηνεία του κύκλου ζωής περιγράφει την τελική φάση της αξιολόγησης στην οποία συνοψίζονται τα αποτελέσματα της καταγραφής και αναλύονται τα διαθέσιμα δεδομένα με σκοπό να παρασχεθεί η βάση για τις βελτιώσεις, ανάλογα με τον ορισμό του στόχου και του πεδίου εφαρμογής της LCA.

Ο SETAC δίνει τον εξής ορισμό για την ερμηνεία του κύκλου ζωής: «Η ερμηνεία του κύκλου ζωής αποτελεί μια συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση ενέργειας και πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των προϊόντων, διεργασιών και δραστηριοτήτων. Η ανάλυση αυτή είναι δυνατό να περιέχει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά μέτρα βελτίωσης, όπως αλλαγές στο προϊόν, στη διεργασία και στον σχεδιασμό, στη χρήση των πρώτων υλών, στη χρήση από τον καταναλωτή και στη διαχείριση των απορριμμάτων».

Το αποτέλεσμα μιας τέτοια μελέτης είναι η συνεισφορά στην περιβαλλοντική βελτίωση ενός προϊόντος με την αξιοποίηση μιας σειράς διαθέσιμων μεθόδων, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 5.4*.



Εικόνα 5.4. Βελτιστοποιημένος Κύκλος Ζωής προϊόντος (Hottle, 2017).

5.2 Κύκλος Ζωής πλαστικών

5.2.1 Βιοπλαστικά , ανάλυση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων.

5.2.1.1 Εκτίμηση Κύκλου ζωής βιοπλαστικών

Τα βιοπλαστικά είναι εκείνα που παράγονται από ανακυκλώσιμα πλαστικά ή από ανανεώσιμους φυσικούς πόρους. Στη παρούσα μελέτη (Spierling, 2018) αναλύεται ο κύκλος ζωής των βιοπλαστικών βασισμένος σε τρεις πυλώνες, το περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία. Τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου είναι τα διεθνώς αποδεκτά ISO 14040-14044 που προβάλλουν το βασικό πλαίσιο αξιολόγησης των επιπτώσεων και οι κατηγορίες στις οποίες αναφέρονται είναι οι κοινωνικές και οι οικονομικές επιπτώσεις από τη χρήση βιοπλαστικών. Στην κατηγορία των κοινωνικών επιπτώσεων εξετάζονται οι δείκτες από μια βάση δεδομένων κοινωνικών σημείων πρόσβασης (Benoit ; Norris et al, 2012). Η βάση αυτή λειτουργεί με κατευθυντήριες από τους οργανισμούς SETAC/UNEP και περιέχει δεδομένα για πάνω από 200 χώρες και 57 τομείς. Τέλος για τις οικονομικές επιπτώσεις δεν υπάρχουν δημοσιευμένες μελέτες, οπότε τα δεδομένα μας προέρχονται από αρχεία κυβερνήσεων , συνεντεύξεις και άλλες βιβλιογραφικές πηγές, καλύπτοντας ένα μεγάλο γεωγραφικό εύρος.

5.2.1.2 Εκτίμηση επιπτώσεων

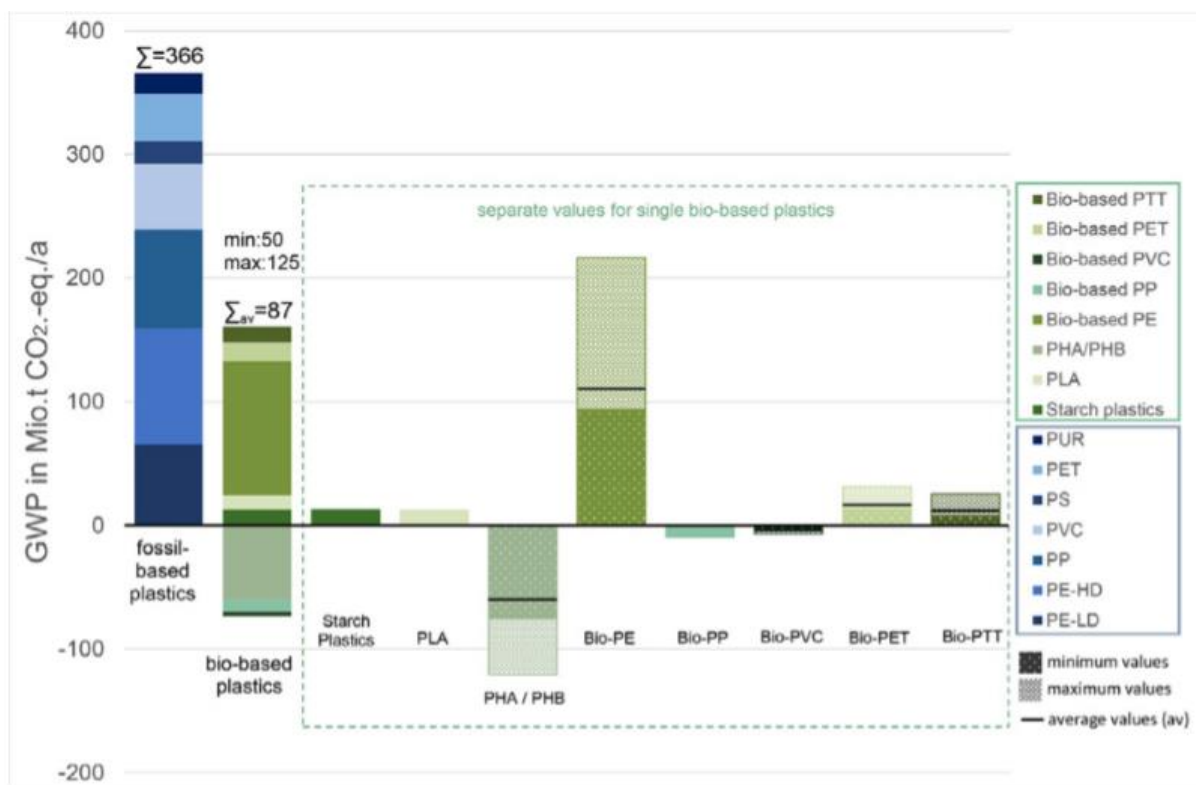
Η έρευνα (Spierling ,2018) επικεντρώνεται στα πλαστικά βασισμένα σε ανανεώσιμους φυσικούς πόρους και ορυκτές πρώτες ύλες και στα βίο-καύσιμα. Η μονάδα αναφοράς είναι το 1 kg προϊόντος και εξετάζονται οι επιπτώσεις που επιφέρει στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια χρήσης του αλλά και στο τέλος ζωής του. Τα προϊόντα που μελετήθηκαν είναι το Πολυγαλακτικό οξύ(PLA), Βιο-Τερεφθαλικό Πολυαιθυλένιο(Bio-PET), Βιο-Πολυπροπυλένιο(Bio-PP),Βίο-Πολυβινυλοχλωρίδιο(Bio-

PVC), Βιο-Πολυαιθυλένιο (Bio-PE) Βιο-Τερεφθαλικό Πολυτρίμεθυλένιο (Bio-PTT). Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μελετώνται επικεντρώνονται στο δείκτη δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential GWP $\text{CO}_2\text{-eq.}$) και η ποσότητα που μετράτε διακυμαίνεται από 0.3-1.9 kg $\text{CO}_2\text{-eq./kg}$ υλικού, για τα βιο-πλαστικά και από 1.6-6.4 kg $\text{CO}_2\text{-eq./kg}$ υλικού για πλαστικά κατασκευασμένα από ορυκτή πρώτη ύλη. Άλλες επιπτώσεις που εξετάζονται είναι η μη-ανανεώσιμη ενέργεια που χρησιμοποιείται για την δημιουργία τους ή την επεξεργασία στο τέλος ζωής τους με τιμή από 1.1-92 MJ/kg υλικού για βιο-πλαστικά και από 55.5-155.9 MJ/kg υλικού για τα πλαστικά από ορυκτή πρώτη ύλη. Ενώ όλες οι μελέτες για τα συμβατικά πλαστικά έχουν τιμές του δείκτη μη-ανανεώσιμης ενέργειας, στα βιο-πλαστικά ο δείκτης παίρνει τιμές για τα 6 από τα 10 προϊόντα. Το ίδιο ισχύει και για το δυναμικό οξίνισης εδαφών, για το δυναμικό ευτροφισμού και τη δυναμικό φωτοχημικής δημιουργίας όζοντος. Αντίθετα άλλες κατηγορίες όπως η οικοτοξικότητα, η ανθρώπινη τοξικότητα και η εξάντληση υδάτινων πόρων δε συμπεριλαμβάνονται καθόλου σε μελέτες για συμβατικά πλαστικά, ενώ για βιο-πλαστικά μελετώνται σπανίως. Ακολουθώντας η ανάλυση των κοινωνικών επιπτώσεων για βιο-πλαστικά, βιο-καύσιμα και χημικά περιλαμβάνει τους δείκτες φτώχεια, αγροτική ανάπτυξη μιας περιοχής και δημιουργία θέσεων εργασίας και αναφέρει ότι η ανάντη γεωργική διαδικασία εγκυμονεί κινδύνους, διότι οι πρώτες ύλες καλλιεργούνται σε χώρες χαμηλού κοινωνικού επιπέδου και αδύναμων νομικών καταστάσεων. Έμφαση δίνεται στη προστασία των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας γης και στις πολιτιστικές αλλά και οικονομικές πτυχές της λόγω μεταβίβασης. Διαπιστώνεται ότι οι αρνητικές επιπτώσεις στη κοινωνία από τα βιο-πλαστικά και τα συμβατικά πλαστικά είναι στο ίδιο επίπεδο, άρα λαμβάνεται περισσότερο υπόψη η χώρα προέλευσης των πρώτων υλών για τη δημιουργία πλαστικών. Οι κυριότερες παραγωγοί βιο-καυσίμων και ορυκτών είναι η Ασία, η βόρεια και νότια Αμερική και η Ευρώπη, με ποσοστά για την Ασία 9% και 43%, για την Ευρώπη 10% και 27%, για τη Βόρεια Αμερική 52% και 23% και για τη Νότια Αμερική 30% και 6% αντίστοιχα για βιο-καύσιμα και ορυκτά καύσιμα. Τέλος, στις οικονομικές επιπτώσεις απεικονίζεται ότι η ανταγωνιστικότητα των βιο-καυσίμων είναι επηρεασμένη από τα πλεονεκτήματα των επιδοτήσεων και των τιμών του πετρελαίου που είναι πιο κερδοφόρο στη χρήση του από τις βιομηχανίες. Ωστόσο τα βιο-καύσιμα έχουν καλύτερη αναλογία κόστους – οφέλους, συνυπολογίζοντας και τις εξωτερικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις έναντι των ορυκτών καυσίμων. Ένα επιπλέον κέρδος των βιο-καυσίμων υπολογίζεται από την ανακύκλωση αποβλήτων και από την προβλεπόμενη τεχνολογική πρόοδο που θα δώσει πρόσβαση σε αυτά ακόμα και σε μικρές επιχειρήσεις που δεν αντέχουν την επιβάρυνση του κόστους τους.

5.2.1.3 Αειφορία βιοπλαστικών

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη και σε συνδυασμό με το τεχνικό δυναμικό υποκατάστασης που μελετάτε από τους (Shen et al, 2009), τα συμβατικά πλαστικά

ανάγονται στο ποσοστό που μπορούν να υποκατασταθούν από βίο-πλαστικά με παρόμοιες ιδιότητες. Παρόλο που πληροφορίες για την υποκατάσταση συμβατικών πλαστικών είναι ευρέως διαθέσιμες, η έρευνα περιορίστηκε στα βασικά όπως, πολυαιθυλένιο (PE), πολυπροπυλένιο (PP), πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πολυστυρένιο (PS) και τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), καθώς μόνο για αυτά υπάρχουν πληροφορίες για τη ζήτηση. Συλλέγοντας λοιπόν δεδομένα που αφορούν στις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις των υπό συζήτηση προϊόντων, αναφέρονται συγκεκριμένοι δείκτες από κάθε κατηγορία. Έτσι αναλύοντας το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη εκτιμάται ότι με αντικατάσταση του 65.8% των συμβατικών πλαστικών από βίο-πλαστικά, εξοικονομούνται 241- 316 εκατομμύρια τόνοι CO₂ - eq. / έτος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5, βέβαια συνεπάγονται πολλοί περιορισμοί. Λίγες μελέτες μέχρι τώρα είναι δημοσιευμένες σχετικά με τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Επιπλέον η συγκρισιμότητα των βίο-πλαστικών είναι περιορισμένη λόγω του μεγάλου γεωγραφικού εύρους, του εύρους των προϊόντων, των διαφορετικών μεθόδων και των δεικτών που λήφθηκαν υπόψη. Παρά τη διακύμανση αυτή των μελετών μπορούν να προκύψουν κοινωνικά και οικονομικά σημεία στην αλυσίδα των βίο-πλαστικών. Έτσι η ανάλυση κύκλου ζωής σε κοινωνικό επίπεδο αξιολογεί τις επιπτώσεις κυρίως των εργαζομένων και δευτερευόντως των κοινωνιών και των καταναλωτών. Ειδικά για αγροτικές περιοχές μπορούν να δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας αλλά και προστιθέμενη αξία στην περιοχή με αποτέλεσμα την ευημερία του τόπου και την κοινωνική ασφάλεια. Από την άλλη η ανάλυση κύκλου ζωής των βίο-καυσίμων σε οικονομικό επίπεδο υποστηρίζει πώς με περαιτέρω επιδοτήσεις για την έρευνα θα προωθηθεί η ένταξη τους στη αγορά. Είναι φανερό πως υπάρχει ένα μεγάλο εύρος των δεικτών βιωσιμότητας των βιολογικών πλαστικών, ωστόσο για την ανάπτυξη των πλεονεκτημάτων τους θα πρέπει να υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στους τρεις πυλώνες που εξετάστηκαν. Για περαιτέρω εξέλιξη θα πρέπει να υπάρξει στήριξη από τις κυβερνήσεις και έρευνα σε βάθος για την αξιολόγηση του συνολικού δυναμικού των βίο-πλαστικών σε όλες τις πτυχές τους.



Εικόνα 5.5 Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη για συμβατικά πλαστικά και βιοπλαστικά
(Spierling, 2018)

5.3 Ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικών συσκευασιών

5.3.1 Ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικών με βάση τις μεθόδους διαχείρισης τους

Η μελέτη αυτή (Hou, 2018) είναι βασισμένη στα τέσσερα στάδια LCA με πιστοποίηση ISO 14040-14044 και σκοπός της είναι η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των τριών διαφορετικών μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων μέσα από διάφορες συλλογές και σενάρια. Οι μέθοδοι αυτές είναι η υγειονομική ταφή, η αποτέφρωση και η μηχανική ανακύκλωση. Μέσα από τη συγκεκριμένη μελέτη επιδιώκεται η διάγνωση των παραμέτρων που επηρεάζουν το περιβάλλον και η ενημέρωση των αποφάσεων για τη διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων. Η λειτουργική μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται είναι ο 1ton ανακυκλώσιμων ή ανάμικτων απορριμμάτων και τα όρια του συστήματος που εξετάζεται εκτείνονται από την απόρριψη των πλαστικών από τους καταναλωτές μέχρι το τέλος της ζωής τους. Η πρώτη παράμετρος που εξετάζεται είναι η συμβολή της συλλογής απορριμμάτων στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για τη συλλογή απορριμμάτων χρησιμοποιούνται μέσα μεταφοράς μέχρι και την απόθεση τους για διαχείριση. Από τα μέσα μεταφοράς αυτά εκλύονται αέριοι ρύποι, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), και καταναλώνονται ορυκτοί μη ανανεώσιμοι πόροι όπως καύσιμα. Το αέριο CO₂ συμβάλει στο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη, που είναι από τους πιο σοβαρούς δείκτες που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Ο δείκτης

αυτός αυξάνει όσο αυξάνουν οι αποστάσεις που διανύουν τα οχήματα. Όσο μεγαλώνει η απόσταση για την συλλογή απορριμμάτων, τόσο αυξάνεται και η έκλυση των ρύπων από τα μέσα μεταφοράς. Στις αγροτικές περιοχές υπολογίζεται ότι η επιβάρυνση είναι έξι φορές μεγαλύτερη εν συγκρίσει με τη συλλογή των απορριμμάτων στα αστικά κέντρα. Το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο στη παράμετρο αυτή προέρχεται από την απόθεση των απορριμμάτων από τους καταναλωτές, μιας και οι καταναλωτές χρησιμοποιούν περισσότερα μέσα μεταφοράς και σε μεγαλύτερη συχνότητα για την απόθεση των απορριμμάτων σε σχέση με τα μέσα συλλογής τους που είναι πολύ μεγαλύτερης χωρητικότητας. Προχωρώντας, στις μεθόδους διαχείρισης όσο αφορά τις βιομηχανίες ανακύκλωσης οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη είναι η ηλεκτρική ενέργεια και τα καύσιμα που καταναλώνονται κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης. Για ένα τόνο απορριμμάτων που οδηγούνται προς ανακύκλωση οι καταναλώσεις σε ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα εμφανίζονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας και καύσιμου Diesel σε μονάδα ανακύκλωσης, για 1 τόνο απορριμμάτων πλαστικού.

Παράμετροι	Μεικτά απορρίμματα	Ανακυκλώσιμα απορρίμματα	Μονάδα μέτρησης
Ηλεκτρική ενέργεια	0.16	0.37	KWh
Diesel	0.55	0.16	MJ

Όπως παρατηρείται στο πίνακα τα μεικτά πλαστικά απορρίμματα καταναλώνουν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για την ανακύκλωσή τους από αυτήν που καταναλώνουν τα ανακυκλώσιμα. Αντίθετα, η ενέργεια από τη κατανάλωση καυσίμων για ανακύκλωση μεικτών πλαστικών είναι μεγαλύτερη από αυτή των ανακυκλώσιμων. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν πως στα εργοστάσια ανακύκλωσης ο εξοπλισμός και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι κατάλληλά ώστε να αποφεύγονται μεγάλες καταναλώσεις και προβλήματα στη παραγωγή. Ωστόσο ένα μεγάλο πλεονέκτημα από την ανακύκλωση πλαστικών είναι η αντικατάσταση των παρθένων πλαστικών πρώτων υλών. Στις Η.Π.Α υπολογίζεται ο ρυθμός χρησιμοποίησης ανακυκλωμένων πλαστικών ανέρχεται στο 66%. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το 66% των ανακυκλωμένων πλαστικών

απορριμμάτων αντικαθιστά παρθένες πρώτες ύλες (Moore Recycling Associate Inc, 2016). Συμπερασματικά, εξοικονομείται η ηλεκτρική ενέργεια που θα καταναλώνονταν για την παραγωγή παρθένων πλαστικών. Έπειτα κατά τη διαδικασία της αποτέφρωσης χρησιμοποιούνται κυρίως τα υπολείμματα της ανακύκλωσης για καύση και ανάκτηση ενέργειας. Θεωρείται πως τα συλλεγμένα μεικτά απορρίμματα μπορούν και αμέσως μετά τη διαδικασία της συλλογής να προχωρούν προς αποτέφρωση. Υπολογίζεται πως η αποτελεσματικότητα της μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στο 7.7%(Wollny et al, 2001). Στο Πίνακα 5.2 εμφανίζονται αναλυτικά τα ποσά ανάκτησης ενέργειας από την αποτέφρωση διαφορετικών πλαστικών.

Πίνακας 5.2 Παραγόμενη ενέργεια από καύση 1 τόνου πλαστικών απορριμμάτων.

Πολυμερή	Ποσοστό πολυμερών σε απορρίμματα(%)	Χαμηλότερη θερμαντική αξία (MJ/ton)	Παραγόμενη ενέργεια (kJ)
LDPE	68.9	44.3	30500
HDPE	6.8	44.3	3030
PET	12.1	23.9	290
PP	8.5	44.3	3750
PVC	3.1	19.2	600
PS	0.5	41.5	216

Η επιβάρυνση που προκαλεί η διαδικασία της αποτέφρωσης στο περιβάλλον συνδέεται με εκλύσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) κατά τη καύση και με το δυναμικό του ευτροφισμού, λόγω της ζήτησης χημικού οξυγόνου στο νερό. Τέλος σχετικά με τη διαδικασία της υγειονομικής ταφής, τα πλαστικά που θάβονται αντιστοιχούν στον κλάσμα μάζας τους μέσα στα μεικτά απορρίμματα. Τα υπολείμματα ανακύκλωσης που θάβονται υπολογίζονται από τον υπολειμματικό ρυθμό ανακύκλωσης μεικτών και ανακυκλώσιμων απορριμμάτων επί το κλάσμα μάζας τους στο σύνολο των απορριμμάτων. Οι επιπτώσεις που προκαλεί η διαδικασία της υγειονομικής ταφής στο περιβάλλον επικεντρώνονται στους δείκτες δυναμικού ευτροφισμού και ανθρώπινης υγείας με κύριο παράγοντα τη μόλυνση του αέρα από τη παραγωγή βιοαερίου.

5.3.2 Ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικής σακούλας συσκευασίας

Καθώς τα πλαστικά χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορα είδη και η παραγωγή τους ανέρχεται στους 336 εκ τόνους παγκοσμίως, εκ των οποίων οι 60 εκ τόνοι παράγονται στην Ευρώπη (Plastics

Europe, 2017), δημιουργείται η ανάγκη διερεύνησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργεί η παραγωγή, η χρήση και η απόρριψη τους. Περίπου το 30% της ετήσιας παραγωγής πλαστικών χρησιμοποιείται για συσκευασία (UN Environment, 2018). Υπάρχουν έρευνες (Jambek et al., 2015) που δείχνουν ότι 275 εκ. τόνοι πλαστικών αποβλήτων δημιουργούνται σε 192 παράκτιες χώρες το 2010, και 4.8 εκ. έως 12.7 εκ. τόνοι εισέρχονται στους ωκεανούς. Σε αυτή τη μελέτη (Civancik et al., 2019) αναλύεται η χρήση πλαστικής σακούλας σε σουπερ μάρκετ της Ισπανίας και το δυναμικό δημιουργίας αποβλήτων (Littering Potential) σε θαλάσσια περιβάλλοντα από πλαστικά συσκευασίας όπως οι σακούλες. Τα θαλάσσια απόβλητα μπορούν να προκαλέσουν πολλές επιπτώσεις σε περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Υπάρχει πιθανότητα οι θαλάσσιοι οργανισμοί να τραφούν ή να περιπλέξουν με τα πλαστικά απόβλητα, να καταστραφούν βιότοποι και ύφαλοι και να επηρεαστεί η αλιεία και ο τουρισμός. Για την αποφυγή αυτών εξετάζονται τρόποι περιορισμού χρήσης της πλαστικής σακούλας, απαγόρευσης ή επαναχρησιμοποίησης της ή και αντικατάσταση της από χάρτινες ή βιοδιασπώμενες. Από έρευνα (Fullah-i-Palmer and Galuza, 2008) για τις πλαστικές σακούλες σε σουπερ μάρκετ της Ισπανίας το 2008, προέκυψαν διαπιστώσεις για διάφορους τύπους σακούλας μετά τη χρήση τους. Η μέθοδος LCA βασίστηκε στα πρότυπα ISO 14040 και 14044 με ιδιαίτερη έμφαση στη ρήτρα 4.4.2.2.1 του ISO 14044 που αναφέρει 'Υπάρχουν κατηγορίες επιπτώσεων, δείκτες κατηγοριών ή μοντέλα χαρακτηρισμών που δεν είναι επαρκή να συμπληρώσουν το καθορισμένο στόχο και πεδίο εφαρμογής του LCA, για αυτό πρέπει να καθοριστούν νέοι'. Η έρευνα περιλαμβάνει σακούλες μίας χρήσης από HDPE, επαναχρησιμοποιημένες από LDPE και υφασμένο PP, μίας χρήσης χάρτινες σακούλες και μίας χρήσης βιοδιασπώμενες. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Gabi software για τη μοντελοποίηση του κύκλου ζωής των διαφόρων τύπων σακούλας και να γίνει η καταγραφή και η εκτίμηση των επιπτώσεων. Η λειτουργία της σακούλας είναι η μεταφορά των προϊόντων που αγοράζουν οι καταναλωτές από το σουπερ μάρκετ για αυτό και η λειτουργική μονάδα της μελέτης ορίστηκε ως: 'Για να διευκολυνθεί η μεταφορά φαγητών και ποτών για ένα μέσο νοικοκυριό, για ένα χρόνο από το σημείο αγοράς έως το σημείο κατανάλωσης'. Η δειγματοληψία περιλαμβάνει 8000 νοικοκυριά, 644.1kg φαγητό που καταναλώνεται ανά άτομο/ ένα χρόνο, για 2.71 άτομα/ νοικοκυριό και 17 μηνιαίες αγορές / χρόνο. Κάθε χρόνο 1745.51kg φαγητού ανά νοικοκυριό, απαιτεί 204 επισκέψεις σε σουπερ μάρκετ με κάθε επίσκεψη να περιλαμβάνει 19,01L όγκο φαγητού. Λαμβάνοντας υπόψη τη χωρητικότητα κάθε σακούλας, για 204 επισκέψεις το χρόνο με τον συγκεκριμένο όγκο φαγητού ανά επίσκεψη υπολογίστηκε πως κάθε καταναλωτής χρησιμοποιεί 2 σακούλες ανά αγορά, σύνολο 408 σακούλες το χρόνο. Στα όρια του συστήματος δεν συμπεριλαμβάνονται η εξόρυξη των πρώτων υλών, η μεταφορά τους, η παραγωγή και η κατανομή στους πελάτες. Έτσι η κατηγορίες επιπτώσεων εξετάζονται μόνο σχετικά με το τέλος ζωής των

προϊόντων. Οι δείκτες που υπολογίζονται για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι το δυναμικό εξάντλησης αβιοτικών παραγόντων (ADP), δυναμικό οξίνισης (AP), δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP), δυναμικό ευτροφισμού (EP) και το δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού νέφους (POCP). Οι δείκτες αυτοί συνδέονται με κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, κατανάλωση υδάτινων πόρων και το ρίσκο απόθεσης αποβλήτων σε θαλάσσιο περιβάλλον. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήσης διαφόρων ειδών σακούλας μεταφοράς.

Επιπτώσεις	Μονάδες Μέτρησης	Είδος Σακούλας				
		HDPE (1χρήση)	LDPE (1χρήση)	PP (20χρήσεις)	Χαρτί (1χρήση)	Βιοδιασπώμενη (1χρήση)
ADP	KgSb-eq	9.67E-02	7.76E-02	1.54E-01	1.68E-01	5.34E-02
AP	KgSO ₂ -eq	2.89E-2	3.18E-02	2.01E-01	7.55E-02	4.84E-02
GWP	kgCO ₂ -eq	9.32E+00	7.82E+00	2.42E+01	2.95E+01	1.45E+01
EP	KgPO ₄ -eq	2.90E-03	3.00E-03	1.36E-02	2.68E-02	1.12E-02
POPC	KgC ₂ H ₄ -eq	4.70E-03	4.90E-03	1.55E-02	9.60E-03	5.40E-03

5.3.2.1 Δείκτης Απόρριψης σε θαλάσσιο περιβάλλον (Littering Potential, LP)

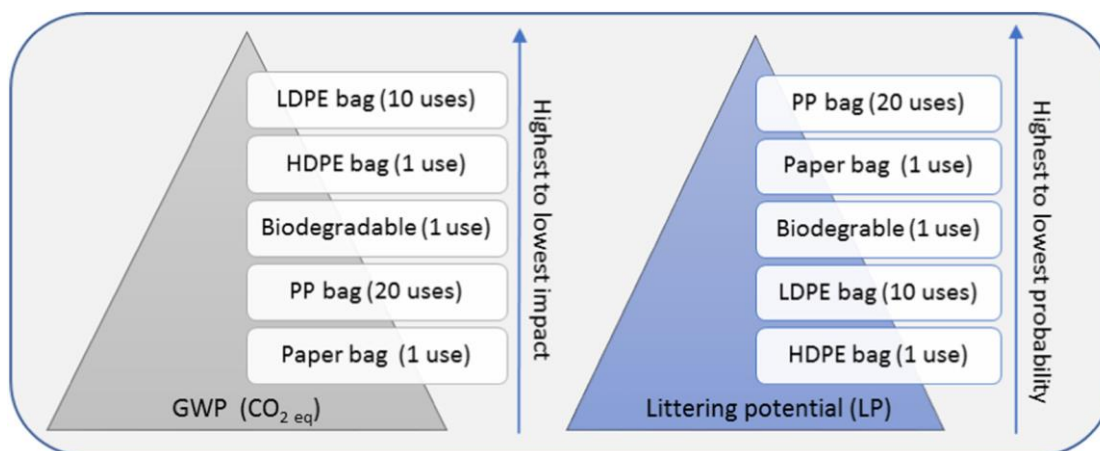
Ο δείκτης απόρριψης χρησιμοποιείται κυρίως για συγκριτικούς σκοπούς σχετικά με ποιου τύπου σακούλα έχει το μεγαλύτερο κίνδυνο απόρριψης και μόλυνσης του θαλάσσιο περιβάλλοντος. Από τη μελέτη κρίνεται πως η απόρριψη γίνεται αναλογικά με την ποσότητα από σακούλες ίδιας λειτουργίας, με αυτές που τελικά απορρίπτονται στο περιβάλλον και με τη διασπορά τους σε αυτό. Έτσι ο δείκτης αντιστοιχεί σε ένα κλάσμα τεσσάρων παραμέτρων:

1. P1: Τον αριθμό και την επιφάνεια από τις σακούλες που χρησιμοποιούνται
2. P2: Το δυναμικό απόθεσης τους στο περιβάλλον
3. P3: Τη διασπορά τους
4. P4: Και το χρόνο παραμονής τους

Άρα ο δείκτης LP αντιστοιχεί στο κλάσμα

$$LP = \frac{P1}{P2 \times P3 \times P4}$$

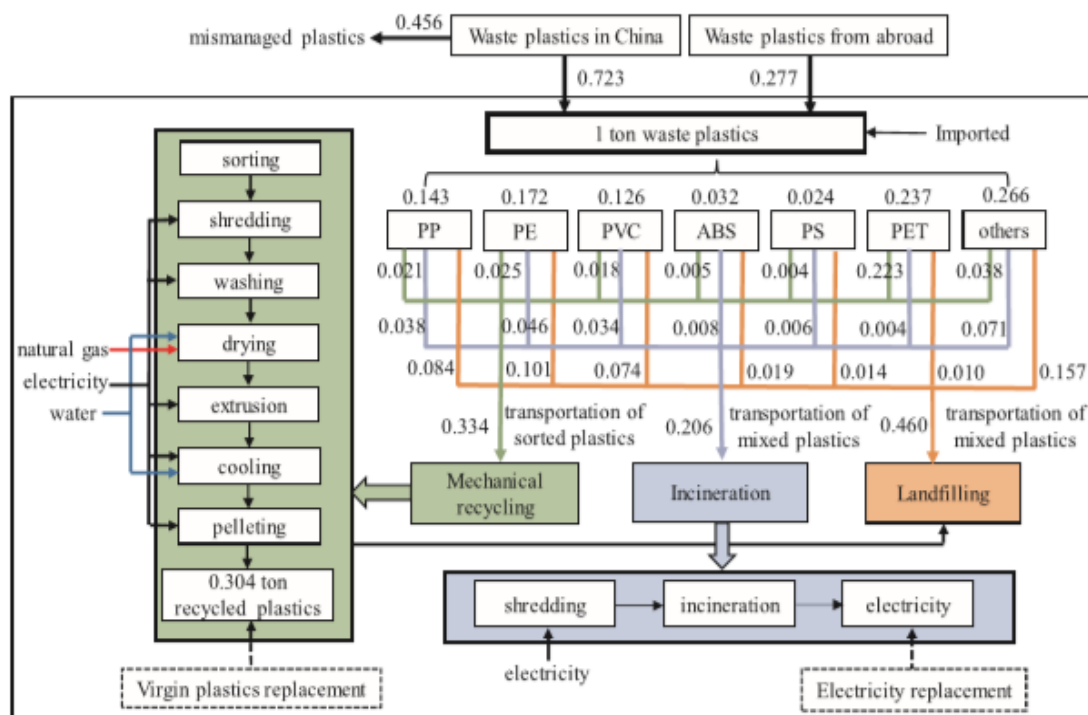
Τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του δείκτη για κάθε διαφορετικό τύπο σακούλας μας δείχνουν πώς οι σακούλες από HDPE και LDPE έχουν επιβαρυνμένα περιβαλλοντικά αποτυπώματα στις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων. Ωστόσο οι σακούλες από LDPE έχουν την πιο ωφέλιμη τιμή για το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη GWP και τέλος οι σακούλες από χαρτί και PP έχουν περιορισμένο αριθμό επιπτώσεων. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα του LCA οι σακούλες μίας χρήσης από HDPE διαθέτουν το μεγαλύτερο ρίσκο, οι σακούλες από LDPE ακολουθούν με μικρότερο ρίσκο λόγω περισσότερων χρήσεων και οι χάρτινες και οι βιοδιασπώμενες ακολουθούν με πιο ευνοϊκά αποτελέσματα λόγω αποικοδομισιμότητας. Τα αποτελέσματα της LCA και του δείκτη απόρριψης συγκρούονται διότι στην ανάλυση κύκλου ζωής οι σακούλες από LDPE και HDPE παρουσιάζονται πιο φιλικές στο περιβάλλον λόγω της επαναχρησιμοποίησης τους, στο δείκτη απόρριψης έχουν την μεγαλύτερη τιμή του ρίσκου της απόθεσης σε θαλάσσιο περιβάλλον. Η διαφορά απεικονίζεται και στην εικόνα 5.6. Έτσι δημιουργείται μια διαφωνία στο επιστημονικό κοινό για την απόφαση της καταλληλότερης σακούλας και καθώς ο καθαρισμός του περιβάλλοντος από τα πλαστικά είναι μια δύσκολη διεργασία, προτείνεται να διεξαχθεί παραπάνω έρευνα και σε άλλους τύπους σακούλας σχετικά με το δείκτη απόρριψης, αλλά και τον υπολογισμό των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων για διεξαγωγή ολοκληρωμένων συμπερασμάτων.



Εικόνα 5.6 Σύγκριση του δείκτη δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με το δείκτη δυναμικού απόρριψης (LP) διαφορετικών ειδών πλαστικής σακούλας.

5.4 Πλαστικά απόβλητα στη Κίνα

Η Κίνα φέρεται ως ο μεγαλύτερος παραγωγός και καταναλωτής πλαστικών στον κόσμο, όμως υπερτερεί και στην ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων. Η αυξημένη παραγωγή πλαστικών προκαλεί ανησυχία για τις επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει η παραγωγική διαδικασία αλλά και το τέλος ζωής των προϊόντων στο περιβάλλον. Η παραγωγή πλαστικών συνδέεται με μεγάλη κατανάλωση ορυκτών πόρων και συνεπάγεται από μεγάλο όγκο αποβλήτων. Στατιστικά το 2016 77,17 εκ τόνοι πλαστικών παρήχθησαν στη Κίνα. Τα απόβλητα υπολογίζονται πάνω από 30 εκ τόνους το χρόνο εκ των οποίων τα 8,82 εκ τόνοι δεν διαχειρίζονται. Το 2010 1,32-3,53 εκ τόνοι εισήχθησαν σε θαλάσσιο περιβάλλον. Σε μια πρόσφατη μελέτη (Chen et al., 2019) αναλύθηκαν η μηχανική ανακύκλωση, η αποτέφρωση και η υγειονομική ταφή σαν μέθοδοι διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων. Τα όρια του συστήματος περιλαμβάνουν τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τις διαδικασίες αυτές στην Εικόνα 5.7.



Εικόνα 5.7 Όρια συστήματος διαδικασιών ανακύκλωσης πλαστικών

5.4.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαδικασιών ανακύκλωσης πλαστικών

Σκοπός της έρευνας (Chen et al,2019) είναι να συγκρίνει την επιβάρυνση που επιφέρει στο περιβάλλον κάθε μια από τις μεθόδους, μηχανική ανακύκλωση, αποτέφρωση και υγειονομική ταφή. Επιπλέον δίνεται βάση στο προσδιορισμό των διαδικασιών και των ουσιών που επηρεάζουν το περιβάλλον αλλά και στις βελτιώσεις που επιδέχονται οι διαδικασίες για το περιορισμό των επιπτώσεων. Η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων LCA είναι 1 τόνος αποβλήτων από πολυπροπυλένιο (PP), πολυαιθυλένιο (PE), πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρόλιο (ABS), πολυστυρένιο (PS), τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET). Η καταγραφή των αποτελεσμάτων LCA είναι μια απαιτητική διαδικασία διότι χρειάζεται να συλλέξει, να ποσοτικοποιήσει και να αναλύσει τα δεδομένα εισροών και εκροών κατά τη διαδικασία του κύκλου ζωής των πλαστικών. Για την προκειμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό eBalance software το οποίο λειτουργεί σε βάση δεδομένων και περιέχει πάνω από 600 δεδομένα ενέργειας, ύλης και μεταφοράς για πλαστικά απόβλητα.

5.4.1.1 Μηχανική ανακύκλωση

Τα δεδομένα της έρευνας για τη διαδικασία της μηχανικής ανακύκλωσης προέρχονται από το Ziga Economic technological development area, το μεγαλύτερο βιομηχανικό πάρκο ανανεώσιμων πηγών, και το Ecoinvent database. Η μηχανική ανακύκλωση είναι μια ευρέως διαδομένη διαδικασία και περιλαμβάνει όλες τις κατηγορίες πλαστικών. Οι εισροές και εκροές της διαδικασίας της μηχανικής ανακύκλωσης εμφανίζονται στο Πίνακα 5.4

Κατηγορίες	Ουσίες	Μονάδα μέτρησης	PP	PE	PVC	ABS	PS	PET
Κατανάλωση πόρων	Βιομηχανικό νερό	kg	420	388	453	361	340	372
	Ηλεκτρική ενέργεια	kWh	295.98	255.70	270.82	310.08	262.38	249.50
	Φυσικό αέριο	m ³	45.6	54.3	62.5	49.8	40.1	54.9
Στερεά Απόβλητα	Κοινά στερεά απόβλητα	kg	98.81	78.02	96.23	83.81	77.90	73.29
	Επικίνδυνα στερεά απόβλητα	kg	3.80	4.21	3.12	3.50	3.02	2.58

Έξοδοι	Ανακυκλωμένοι κόκκοι πλαστικών	kg	902.60	917.00	899.60	911.60	918.10	932.20
---------------	--------------------------------------	----	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Πίνακας 5.4 Ροή κατανάλωσης πόρων και διάθεσης απορριμμάτων πλαστικών κατά τη μηχανική ανακύκλωση για 1ton απορριμμάτων.

Παρόλο που με βάση το πίνακα 5.4 οι καταναλώσεις νερού και ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικές αντισταθμίζονται στις εκροές της διαδικασίας όπου έχουμε ένα μεγάλο ποσό σε kg ανακυκλωμένων κόκκων πλαστικού. Έτσι εξοικονομείται η ενέργεια από την δημιουργία παρθένων πρώτων υλών και η εξάντληση ορυκτών πόρων.

5.4.1.2 Αποτέφρωση

Κατά τη διαδικασία της αποτέφρωσης σκοπός είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στη καύση αστικών αποβλήτων. Το κλάσμα μάζας των αστικών αποβλήτων είναι της τάξης του 12.1% και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά τόνο αποβλήτων ανέρχεται στις 280 kWh. Η χαμηλή θερμογόνος αξία για μικτά απόβλητα υπολογίζεται στα 34,2 MJ και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αποτέφρωση υπολογίζεται 1214,2 kWh/ton πλαστικών. Η καταγραφή της διαδικασίας, η παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές αερίων της αποτέφρωσης παραβάλλονται παρακάτω στο Πίνακα 5.5.

Κατηγορίες	Ουσίες	Μονάδα μέτρησης	Ποσότητα
Κατανάλωση πόρων	Ηλεκτρική ενέργεια	kWh	78.20
Ανάκτηση πόρων	Ηλεκτρική ενέργεια	kWh	1214.20
Εκπομπές αερίων	CO ₂	t	2.27
	CO	kg	0.12
	NO ₂	kg	0.48
	SO ₂	g	28.86
	VOCs	g	4.20
	PCBs	μg	0.38

Πίνακας 5.5 Καταγραφή εισροών και εκροών της διαδικασίας αποτέφρωσης.

5.4.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και δείκτες

Για την μελέτη των επιπτώσεων επιλέχθηκαν δείκτες χωρισμένοι σε τρεις κατηγορίες. Στη πρώτη κατηγορία της κατανάλωσης ορυκτών πόρων περιλαμβάνεται το δυναμικό εξάντλησης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το δυναμικό εξάντλησης υδάτινων πόρων. Στη δεύτερη κατηγορία, αυτή των τοξικών επιδράσεων, συγκαταλέγεται το δυναμικό οικοτοξικότητας των υδάτων και το δυναμικό επίγειας και ανθρώπινης οικοτοξικότητας. Στη τελευταία κατηγορία περιλαμβάνονται οι υπόλοιπες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το δυναμικό ευτροφισμού, το δυναμικό οξίνισης, το δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος, το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη και το δυναμικό εξάντλησης του όζοντος. Τα αποτελέσματα από τις επιπτώσεις της μηχανικής ανακύκλωσης έχουν αρνητικές τιμές και θετικό πρόσημο προς το περιβάλλον, με ελάχιστη τιμή -83,4% για το δυναμικό επίγειας οξίνισης και μέγιστη τιμή -165,8% για το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη. Η αποτέφρωση έχει αρνητική συνεισφορά σε όλους τους δείκτες εκτός από το δυναμικό εξάντλησης των υδάτινων πόρων, το δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος, το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη και το δυναμικό εξάντλησης του όζοντος. Η διαδικασία της υγειονομικής ταφής συνεισφέρει σε όλες τις επιπτώσεις με την ελάχιστη τιμή στο 0,7% στο δυναμικό θαλάσσιας οικοτοξικότητας και τη μέγιστη στο 50,6% στο δυναμικό οικοτοξικότητας του γλυκού νερού. Το δυναμικό εξάντλησης υδάτινων πόρων προέρχεται κυρίως από το νερό ψύξης στη θερμική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οφέλη της ανακύκλωσης πλαστικών γενικά είναι η μείωση του δυναμικού εξάντλησης ορυκτών πόρων κατά 91,1% και του δυναμικού εξάντλησης υδάτινων πόρων κατά 112,2%. Η διαδικασία της αποτέφρωσης ωφελεί στη μείωση του δυναμικού δημιουργίας φωτοχημικού νέφους, του δυναμικού εξάντλησης του όζοντος και κυρίως του δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη κατά 59,0%. Τέλος η διαδικασία της μηχανικής ανακύκλωσης συνεισφέρει στο περιορισμό των επιπτώσεων από το περιορισμό της δημιουργίας νέων παρθένων πλαστικών.

5.4.3 Προτάσεις βελτίωσης

Οι προτάσεις βελτίωσης των διαδικασιών διαχείρισης αποβλήτων που δόθηκαν ώστε να περιοριστούν περαιτέρω οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν αναφέρονται κυρίως στη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο κύριος παράγοντας επιβάρυνσης του περιβάλλοντος για αυτό προτείνονται τα εξής σενάρια εξοικονόμησης:

1. Βελτίωση της θερμοκρασίας τήξης στη μηχανική ανακύκλωση για να μην υπάρχουν απώλειες, με εξειδικευμένο εξοπλισμό και μόνωση της επιφάνειας του εξωθητήρα και κατάλληλο σύστημα κλιματισμού. Η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης της μηχανικής ανακύκλωσης αποτελεί μέθοδο ελέγχου του δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη.

2. Επιπλέον οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκλύονται από τη μηχανική ανακύκλωση είναι η βιομηχανική σκόνη και οι πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs). Η βιομηχανική σκόνη συνήθως υποβάλλεται σε επεξεργασία με απορρόφηση ενεργού άνθρακα μετά τη συλλογή και το φιλτράρισμα του σάκου. Το σενάριο μείωσης της υπέθεσε ότι όλα τα καυσαέρια συλλέχθηκαν και αντιμετωπίστηκαν αποτελεσματικά από τις τρέχουσες εγκαταστάσεις απόρριψης και τις τρέχουσες επιπτώσεις απομάκρυνσης. Ένα δεύτερο σενάριο μείωσης εκπομπών υπέθεσε ότι η αποδοτικότητα απομάκρυνσης των NMVOCs θα αυξηθεί στο 95% με τη χρήση περιστροφικής προσρόφησης (Zhu et al., 2013) και η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης της βιομηχανικής σκόνης θα έφτανε το 99% (Hu and Jia, 2012). Με την υιοθέτηση μέτρων μείωσης των εκπομπών, οι αλλαγές περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αποβλήτων πλαστικών αντικατοπτρίστηκαν κυρίως στη δυνατότητα σχηματισμού σωματιδίων (PMFP) και τη δυνατότητα σχηματισμού φωτοχημικών οξειδωτικών (POFP), οι οποίες θα μειώθηκαν αντίστοιχα κατά 31,4% και 10,3% στο πρώτο σενάριο, και 36,5% και 23,0% στο δεύτερο σενάριο. Οι αλλαγές των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω της βελτίωσης της μείωσης των εκπομπών θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως σημείο αναφοράς για τη βιομηχανία μηχανικής ανακύκλωσης πλαστικών απορριμμάτων για την ενίσχυση των μέτρων ελέγχου και διαχείρισης της ρύπανσης. Η σε βάθος ανάλυση των αναλογιών επεξεργασίας για διαφορετικούς τύπους πλαστικών, καθώς και η τρέχουσα σύνθεση πλαστικών απορριμμάτων σε αποτέφρωση για ανάκτηση ενέργειας και εκφόρτωση είναι απαραίτητες για την περαιτέρω κατανόηση του συστήματος επεξεργασίας.

5.5 Πρόσθετα στη παραγωγή πλαστικών

Πρόσφατα ως απάντηση στις αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν τα πλαστικά, τα υλικά πληρώσεως έχουν αρχίσει να θεωρούνται ως ένας τρόπος να μειωθούν αυτές με τη μείωση της ανάγκης για πετροχημικές πηγές. Η αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA) αναγνωρίζεται ως κατάλληλο εργαλείο για την αξιολόγηση των δυνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων ή των συστημάτων. Η χρήση λειτουργικών πληρωτικών πρόσθετων μπορεί να είναι πλεονεκτική όσον αφορά τη μείωση του κόστους και τις βελτιωμένες ιδιότητες στα πλαστικά. Υπάρχουν πολλοί τύποι πληρωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, οργανικά και ανόργανα, με μεγάλο εύρος εφαρμογής. Στην αγορά χρησιμοποιούνται η αιθάλη, το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), το διοξείδιο του πυριτίου, το υδροξείδιο του αργιλίου ($\text{Al}(\text{OH})_3$), ο τάλκης και ο καολίνης. Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται ανόργανα πληρωτικά όπως υαλοβάμβακας

(GF) και φυσικές ίνες (NFs), λινά και ίνες ξύλου κ.α. Τα ανόργανα πληρωτικά είναι δημοφιλή στη χρήση τους λόγω του χαμηλού κόστους τους, της χαμηλής πυκνότητας και της υψηλής ειδικής ισχύος. Στη βιβλιογραφία μελετάται η LCA των πλαστικών με λειτουργικά πληρωτικά με σκοπό να εξεταστεί εάν η χρήση των πληρωτικών στα πλαστικά μπορεί να είναι περιβαλλοντικά χρήσιμη. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των λειτουργικών πληρωτικών στα πλαστικά δεν είχαν μελετηθεί αρκετά και ειδικά στην περίπτωση των ανόργανων πληρωτικών. Οι μελέτες αυτές αναφέρονται στη χρήση παρθένων πετροχημικών σε συνδυασμό με φυσικές ίνες (NFs). Πιο συγκεκριμένα μια μελέτη (Vidal, 2009) που πραγματεύεται την σύνθεση πετροχημικών πολυπροπυλενίου (PP) και υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (HDPE) με πληρωτικά από βαμβάκι και φλοιό ρυζιού αποδεικνύει πως τα σύνθετα εμφανίζουν καλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εν αντιθέσει με τα καθαρά πετροχημικά. Η μόνη παρατήρηση που λαμβάνεται υπόψη στη συγκεκριμένη μελέτη είναι ότι δεν εμφανίζεται μεγάλη διαφορά στο φαινόμενο του ευτροφισμού στη περίπτωση του σύνθετου PP+ φλοιό ρυζιού, που οφείλεται στις λιπάνσεις των καλλιεργειών του ρυζιού. Τα αποτελέσματα της μελέτης εμφανίζονται στον Πίνακα 5.6. Άλλη μελέτη που αναφέρεται στα ανακυκλωμένα θερμοπλαστικά συγκρίνει παρθένα πολυμερή με ανακυκλωμένα και με πολυμερή που περιέχουν τάλη. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν μέσω της έρευνας LCA αποδεικνύουν πως τα ανακυκλωμένα παρουσιάζουν μικρότερες τιμές δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη (GWP) σε σχέση με τα παρθένα πολυμερή και ακόμα πιο μειωμένες με τη προσθήκη πληρωτικών. Για παράδειγμα στη παραγωγή 1 kg υλικού, εκτιμήθηκε πως το GWP ενός παρθένου PP ισούται με 2.1 kg CO₂, εν αντιθέσει με την τιμή του ανακυκλωμένου PP που είναι σαφώς μικρότερη και εκτιμάται σε 0.12 kg CO₂. Με την προσθήκη τάλη και GF στο PP οι τιμές GWP για παραγωγή 1 kg παρθένου και ανακυκλωμένου υλικού είναι 0.75 kg CO₂ και 0.09 kg CO₂ αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της μελέτης των (Civancik-Uslu et al., 2019) έδειξαν ότι, αν και δεν υπάρχουν πολλές μελέτες LCA και μερικές από αυτές εμφανίζουν διαφορές, η χρήση των πληρωτικών στη βιομηχανία πλαστικών μπορεί να συμβάλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτό συμβαίνει διότι με τη προσθήκη πληρωτικών μειώνεται η ποσότητα του παρθένου πολυμερούς και το προϊόν είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, για την σύγκριση πληρωτικών υλικών μεταξύ τους θα πρέπει να διεξαχθεί LCA από την παραγωγή έως το τέλος ζωής κάθε υλικού για την ορθότερη σύγκριση.

Πίνακας 5.6. Αποτελέσματα μελέτης LCA ως προς το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη κατά την παραγωγή πολυμερών με φυσικές ίνες.

Πολυμερή	Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη GWP (kg- CO ₂)	
	Παρθένα-Συμβατικά πλαστικά	Νανο-σύνθετα

Πολυπροπυλένιο(PP))+Βαμβάκι(cotton)	1.99	0.70
Πολυπροπυλένιο(PP) +Φλοιοί (husks)	1.99	0.71
Πολυαιθυλένιο(HDPE) + Βαμβάκι(cotton)	1.88	0.61

6 Πλαστικά στους αγρούς

6.1 Επιπτώσεις από πλαστικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία

Μια άλλη κατηγορία που εξετάζεται είναι τα πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίου, και άλλων χρήσεων στον αγρό, που είναι το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής. Τα φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων έχουν ευρεία εφαρμογή και οφέλη στην σημερινή αγορά και γι' αυτό παρουσιάζουν σημαντική έξαρση ζήτησης. Λόγω της αυξημένης αυτής ζήτησης δημιουργείται ανησυχία για τη διαχείριση μετά το τέλος ζωής τους. Σε μελέτη LCA που διεξήχθη σε γεωργικά πλαστικά απορρίμματα (Agricultural plastic waste, APW) αναλύθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ανακυκλωμένων κόκκων LDPE. Οι επιπτώσεις στις οποίες εστίασε η μελέτη (Cascone et al, 2020) είναι η εξοικονόμηση πόρων, η εκμετάλλευση πηγών πρωτογενούς ενέργειας και η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Εξετάζοντας λοιπόν τους παγκόσμιους βασικούς δείκτες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το αποτύπωμα νερού (Water footprint, WF), την αθροιστική ζήτηση ενέργειας (Cumulative Energy Demand, CED) και το αποτύπωμα άνθρακα (Carbon Footprint, CF) προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

6.1.1.1 Αξιολόγηση αποτυπώματος άνθρακα

Είναι από τους πιο δημοφιλείς δείκτες που συνδέεται άμεσα με την αλλαγή θερμοκρασίας του πλανήτη. Στη παρούσα μελέτη μετράται σε ισοδύναμο διοξείδιο άνθρακα CO_2eq , και προσεγγίζεται με το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη σε 100 έτη (Global warming potential, GWP_{100}). Η αξιολόγηση έδειξε ότι τα αέρια διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , μεθάνιο CH_4 και υποξείδιο του αζώτου N_2O , που συμβάλουν στη κλιματική αλλαγή, είναι τα πιο σημαντικά λόγω του ότι αντιπροσωπεύουν το 94,87% του αποτυπώματος άνθρακα (CF) που σχετίζεται με το σύστημα που ερευνήθηκε. Συγκεκριμένα το CO_2 χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη τιμή του δείκτη GWP_{100} επειδή έχει τις περισσότερες εκπομπές. Η ενέργεια που συμβάλει περισσότερο στο πρόβλημα του αποτυπώματος άνθρακα είναι η ηλεκτρική που χρησιμοποιείται στις διεργασίες παραγωγής και ανακύκλωσης και συμβάλει με ποσοστό 88,2% (CO_2), 91,90% (N_2O), και 94.63% (CH_4). Το ποσοστό αποτυπώματος άνθρακα που οφείλεται στη μεταφορά των αποβλήτων είναι πολύ χαμηλότερο και κυμαίνεται από 2,74% για CH_4 έως 7,34% για την εκπομπή CO_2 . Οι κατηγορίες που επηρεάστηκαν από τα αέρια που μετρήθηκαν στο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη στα 100 έτη (GWP_{100}) είναι η κλιματική αλλαγή (CC), ανθρώπινη υγεία (HH) και η ποιότητα του οικοσυστήματος (EQ), απεικονίζονται στο Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1 Συνεισφορά αερίων θερμοκηπίου σε διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων.

GHG	GWP ₁₀₀ (kgCO ₂ eq)	CC(kgCO ₂ eq)	HH (DALY)	EQ (species.yr)
CO ₂	597.63	597.63	2.10E-03	1.12E-05
CH ₄	47.94	47.97	4.57E-05	2.43E-07
N ₂ O	5.97	5.97	1.21E-05	6.44E-08

6.1.1.2 Αξιολόγηση αθροιστικής ζήτησης ενέργειας

Η αθροιστική ζήτηση ενέργειας (Cumulative Energy Demand CED) είναι ένας δείκτης αντίκτυπου που εκφράζει την κατανάλωση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (Hischier et al., 2010). Στη μελέτη αυτή υπολογίστηκε ότι ο δείκτης αθροιστικής ζήτησης ενέργειας ανέρχεται στα 12.015 GJ/kg ανακυκλωμένων κόκκων LDPE, με την ηλεκτρική ενέργεια να συνεισφέρει στο 88,72%. το CED υπολογίστηκε συμπεριλαμβάνοντας μη ανανεώσιμες (από ορυκτά καύσιμα, πυρηνική και μη ανανεώσιμη βιομάζα) και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (από αιολική, ηλιακή, γεωθερμική ενέργεια και νερό), που σχετίζονται με κάθε είσοδο που εξετάζεται στη διαδικασία παραγωγής κόκκων LDPE. Το φυσικό αέριο, το αργό πετρέλαιο και ο λιθάνθρακας αντιπροσωπεύουν το 77,3% της συνολικής ποσότητας ορυκτών πηγών με τη μεγαλύτερη κατανάλωση στη διαδικασία παραγωγής. Αυτό πρέπει να αποδοθεί στα υλικά, στις διαδικασίες, και στις φάσεις που ομαδοποιούνται σε αυτή την κατηγορία και καταναλώνουν συνολικά, περισσότερο αργό πετρέλαιο από το φυσικό αέριο ή τον λιθάνθρακα ή άλλες δευτερεύουσες πηγές ενέργειας, όπως εξετάζεται από τη μέθοδο αξιολόγησης CED που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη και απεικονίζεται στο Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2 Καταναλώσεις ενεργειακών πόρων λόγω ηλεκτρικής ενέργειας, μεταφοράς και άλλων διαδικασιών.

Πηγές ενέργειας	CED (GJ)	Ηλεκτρική ενέργεια (%)	Μεταφορά (%)	Άλλα (%)
-----------------	----------	------------------------	--------------	----------

Φυσικό αέριο	5.41	97.9	0.9	1.2
Αργό πετρέλαιο	2.27	53.7	26.3	20.0
Λιθάνθρακας	1.56	93.9	3.0	3.1
Άλλα	0.15	90.1	4.3	5.6

6.1.1.3 Αποτίμηση αποτυπώματος ύδατος

Αυτή η μέθοδος επικεντρώνεται σε υπολογισμούς του δείκτη πίεσης νερού (WSI) που υπολογίζει την επίδραση του νερού στην προοπτική κατανάλωσης έως διαθεσιμότητας γλυκού νερού. Το Water stress index WSI ή δείκτης πίεσης νερού χρησιμοποιήθηκε ως γενικός δείκτης διαλογής ή συντελεστής χαρακτηρισμού για την κατανάλωση γλυκού νερού στη προσέγγιση μεσαίου σημείου και για τους τρεις τομείς προστασίας, πόροι, οικοσυστήματα και ανθρώπινη υγεία. Κατά τη μέση προσέγγιση, το WSI ανέρχεται στα 4.15 m³, και αυτό οφείλεται σημαντικά στα στάδια καθαρισμού και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά την αξιολόγηση επιπτώσεων, οι κατηγορίες που επηρεάζονται εμφανίζονται στο Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3 Επιπτώσεις από κατανάλωση νερού σε διάφορες διεργασίες ανακύκλωσης.

Κατηγορίες ζημιών (DC)	Νερό(%)	Ηλεκτρική ενέργεια(%)	Μεταφορά (%)	Άλλα(%)
Πηγές ενέργειας	69.29	21.07	2.07	7.57
Ποιότητα οικοσυστήματος	61.97	29.05	1.95	7.03
Ανθρώπινη υγεία	65.32	25.33	2.03	7.31

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παραπάνω μελέτη αφορούν τους βασικούς δείκτες για την αξιολόγηση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι παράμετροι που συνδέονται με κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσαν να περιοριστούν με χρήση αιολικής ή άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Επιπρόσθετα, οι ανακυκλωμένοι κόκκοι LDPE μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά ως υπόστρωμα σε καλλιέργειες υδροπονίας ή σε καινοτόμες ενεργειακές κατασκευές. Εν κατακλείδι στόχος της μελέτης είναι να δώσει λύσεις για καλύτερη διαχείριση αποβλήτων για μια αποδοτικότερη κυκλική οικονομία.

6.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη παραγωγή ενός τυπικού θερμοκηπιακού φύλλου στην εταιρία Πλαστικά Κρήτης.

6.2.1 Παραγωγή πλαστικών φύλλων θερμοκηπίου

Εξετάζοντας ένα τυπικό θερμοκηπιακό φύλλο που παράγεται στις εγκαταστάσεις της εταιρίας Πλαστικά Κρήτης, το αντίκτυπο στο περιβάλλον που συνυπολογίζεται είναι κυρίως οι μεταφορές των πρώτων υλών από το εξωτερικό αλλά και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δεδομένα που μας δίδονται είναι για την παραγωγή 100 kg πλαστικού, στην οποία συμβάλουν κατά 85,4% Πολυαιθυλένιο (HDPE), 9% πρόσθετο UV120 και κατά 5,6% πρόσθετο AF61, σε μια τυπική συνταγή θερμοκηπιακού φύλλου. Τα υλικά αυτά προέρχονται κατά βάση από δύο διαφορετικές χώρες της Ευρώπης την Ιταλία και την Ισπανία. Συνεπώς ο πρώτος παράγοντας που εξετάζεται είναι η μεταφορά των υλικών προς το εργοστάσιο. Αν υποθέσουμε πως η χιλιομετρική απόσταση Ηρακλείου Κρήτης- Ιταλίας είναι ~1.609km και η απόσταση Ηρακλείου Κρήτης – Ισπανίας ~4.013 km , μπορούμε να υπολογίσουμε το αποτύπωμα άνθρακα που αφήνει η μεταφορά των πρώτων υλών προς το εργοστάσιο σε ισοδύναμο CO₂. Αν υποθέσουμε ότι το όχημα που μεταφέρει τα υλικά τροφοδοτείται με πετρέλαιο και ο δείκτης πετρελαίου ισούται με 0,22169 kg CO₂/ km (Διανυθείσα απόσταση οχήματος) το αποτύπωμα άνθρακα ισούται με:

$$\text{Αποτύπωμα CO}_2 \text{ (Ιταλία – Ηράκλειο)} = 1.069\text{km} \times 0,22169 \text{ kg CO}_2/\text{km} = 236,98 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Αποτύπωμα CO}_2 \text{ (Ισπανία – Ηράκλειο)} = 4.013 \text{ km} \times 0.22169 \text{ kg CO}_2/\text{km} = 889,64 \text{ kg CO}_2$$

Το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ είναι από τα αέρια που επηρεάζουν άμεσα το δείκτη δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη GWP₁₀₀ με αναλογία 1:1. Αυτό σημαίνει πως έκλυση 236,98 kg CO₂ δίνει αυτόματα την ίδια τιμή στο δείκτη GWP₁₀₀ και αυτή η ποσότητα θεωρείται ότι παραμένει στην ατμόσφαιρα σε χρονικό διάστημα περίπου 100 ετών. Το CO₂ διαπερνάται από το ορατό φάσμα αλλά απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία και έτσι αυξάνει τη θερμοκρασία του πλανήτη. Ένας άλλος παράγοντας που συμβάλει στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή πλαστικού είναι οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας από τις μηχανές εξώθησης. Όπως αναφέρεται στο Πίνακα 3.1 στο κεφάλαιο 3 της εργασίας η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για μια 7-layers μηχανή είναι 0,241 kWh/kg και για μια 3-layers μηχανή είναι 0,300 kWh/kg, με την αναγωγή στα 100 kg πλαστικού όπως μελετάμε στο κεφάλαιο αυτό οι τιμές είναι αντίστοιχα 24,1 kWh/100kg και 30,0 kWh/100kg. Αν υποθέσουμε πως σε μια μηχανή 7-layers παράγεται κατά μέσο όρο 1 τόνος πλαστικού στην ώρα και το εργοστάσιο λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα σε μια μέρα η κατανάλωση ενέργειας ημερησίως μια μηχανής είναι 5.784 kWh/ημερησίως. Αν υπολογίσουμε πως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται καύση λιγνίτη με παραγωγή 1,055 kgCO₂/kWh, αντιλαμβανόμαστε πως για τη λειτουργία μίας μηχανής του εργοστασίου η ποσότητα που CO₂ που

εκλύεται ανέρχεται στα 6102,12 kg CO₂/ημέρα. Η ποσότητα αυτή αν υπολογιστεί και για τις υπόλοιπες μηχανές καταλαβαίνουμε πως το περιβαλλοντικό κόστος είναι τεράστιο. Ωστόσο η εταιρία με αίσθημα ευθύνης απέναντι στο περιβάλλον και στη πολιτεία φροντίζει η ενέργεια που καταναλώνει να είναι από ανανεώσιμες πηγές. Έτσι έχει εγκαταστήσει στην ανατολική Κρήτη Αιολικό Πάρκο ισχύος 12 MW το οποίο παράγει ετησίως περίπου 40.000.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Η εταιρία έχει επίσης εγκαταστήσει 4 φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος 340 KW. Σε ένα μεγάλο βαθμό λοιπόν έχει επιτύχει να μειώσει τη τιμή αυτού του δείκτη.

6.2.2 Μονάδα ανακύκλωσης εργοστασίου Πλαστικών Κρήτης

Μια ενέργεια που διεκπεραιώνεται από την εταιρία είναι η συλλογή πλαστικών αποβλήτων από παλαιά θερμοκηπιακά φύλλα έχοντας εγκαταστήσει σταθμούς ανακύκλωσης διάσπαρτα σε μέρη της Κρήτης όπου υπάρχουν θερμοκήπια. Όπως γίνεται αντιληπτό με τη συλλογή αποβλήτων πλαστικού αποφεύγεται η εναπόθεση τους στο περιβάλλον και στις θάλασσές πράγμα που συνέβαινε παλαιότερα. Τα υλικά που έρχονται προς ανακύκλωση στη μονάδα του εργοστασίου χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, καθαρά και λερωμένα. Ο διαχωρισμός αυτός παίζει σημαντικό ρόλο στη κατανάλωση ενέργειας των μηχανών ανακύκλωσης. Για την ανακύκλωση καθαρών πλαστικών από πολυαιθυλένιο (PE) καταναλώνονται από 30-50 kWh /100kg , ενώ για την ανακύκλωση λερωμένων πολυαιθυλενίων η κατανάλωση κυμαίνεται από 90-120 kWh/100kg. Η διαδικασία η οποία ακολουθείται σε αρχικό στάδιο τα υλικά εισέρχονται σε συμπιεστή-σπαστήρα και στη συνέχεια σε εξωθητή για κοκκοποίηση. Με εξαίρεση τα λερωμένα μετά το σπαστήρα περνάνε μέσα από δεξαμενή πρώτης πλύσης (Πλυντήριο),σπαστήρα άλεσης πλαστικών (Μύλος), δεξαμενή δεύτερης πλύσης και φυγωκεντρικό πλυντήριο-στεγνωτήριο. Τέλος από μια πρέσα στεγνώματος υλικών και στον εξωθητήρα για κοκκοποίηση. Με την αυστηρή τήρηση της διαδικασίας και την ορθολογική χρήση των μηχανών αποτρέπεται η άσκοπη κατανάλωση ενέργειας.

7 Συμπεράσματα

- Για τα βιοπλαστικά έχουμε τιμές στο δείκτη δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη από 0,3-1,9 kg CO₂-eq και για την κατανάλωση μη ανανεωσιμων πηγών ενέργειας από 1,1-92 MJ/kg υλικού. Συγκρίνονται αντιδιαμετρικά με τις αντίστοιχες τιμές στους δείκτες αυτούς για συμβατικά πλαστικά από 1,6-6,4 kg CO₂-eq και 55,5-155,9 MJ/kg υλικού. Σαφώς στα συμβατικά πλαστικά οι δείκτες αυτοί έχουν μεγαλύτερες τιμές για αυτό υπολογίζεται πως με αντικατάσταση των συμβατικών από βιοπλαστικά θα εξοικονομηθούν 241-316 εκ. τόνοι CO₂-eq.
- Άλλοι δείκτες που συνυπολογίζονται στη παραγωγή βιοπλαστικών είναι κοινωνικοοικονομικού περιεχομένου και έχουν να κάνουν με τις χώρες στις οποίες παράγονται οι πρώτες ύλες για βιοπλαστικά. Υπολογίζονται σα δείκτες η φτώχεια, το χαμηλό κοινωνικό επίπεδο, η αμφίβολη νομική προστασία και η συνθήκες εργασίας των ανθρώπων εκεί, η κοινωνική ανισότητα και η μη προστασία διακιωμάτων ιδιοκτησίας γης. Έτσι ανάλογα με την εκάστοτε χώρα παραγωγής υπολογίζονται κυρίως οι δείκτες αυτοί και αποτελούν προτεραιότητα έναντι των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Τα πλαστικά μετά το τέλος ζωής τους καταλήγουν σε μια από τις ακόλουθες μεθόδους διαχείρισης, μηχανική ανακύκλωση, αποτέφρωση και υγειονομική ταφή. Η κάθε μια από αυτές έχει τα δικά της περιβαλλοντικά αποτυπώματα. Στη μηχανική ανακύκλωση εκλύεται CO₂ από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, βασικός παράγοντας για τη αύξηση του δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη GWP. Προτείνεται στη διαδικασία αυτή να χρησιμοποιούνται ο κατάλληλος εξοπλισμός και οι ανάλογες τεχνολογίες για αποφυγή άσκοπης χρήσης ενέργειας. Η μηχανική ανακύκλωση σαν έξοδο έχει ανακυκλωμένους κόκκους πλαστικού που χρησιμοποιούνται για παραγωγή άλλων προϊόντων και με αυτό το τρόπο εξοικονομείται η ενέργεια και οι φυσικοί πόροι που θα καταναλώνονταν για παραγωγή παρθένων πρώτων υλών. Στην αποτέφρωση επιτυγχάνεται ανάκτηση ενέργειας σε ποσοστό 7,7%, με μεγαλύτερο ποσοστό ανάκτησης ενέργειας στο LDPE, το οποίο βρίσκεται σε ποσοστό 68,9% μέσα στα απορρίμματα. Τέλος η υγειονομική ταφή σα διαδικασία επιβαρύνει αρκετά το περιβάλλον σε μεγαλύτερο ποσοστό στη μόλυνση του αέρα με την παραγωγή βιοαερίου από την ταφή των πλαστικών. Είναι πολύ επικίνδυνο αυτό για την ανθρώπινη υγεία αλλά επεκτείνεται και στο θαλάσσιο περιβάλλον με τιμές στο δείκτη δυναμικού θαλάσσιας οικοτοξικότητας στο 0,7% και στο δυναμικό οικοτοξικότητας γλυκού νερού στο 50,6%.

- Άλλη έρευνα σχετικά με τις πλαστικές σακούλες μεταφοράς προϊόντων υπολογίζει τους δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δίνοντας βάρος στο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη, και στο δυναμικό απορριψιμότητας τους στο περιβάλλον. Λαμβάνονται υπόψιν σακούλες από HDPE, LDPE, PP, χαρτί και βιοδιασπώμενες. Με βάση το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη οι πιο φιλικές είναι οι σακούλες από LDPE λόγω επαναλαμβανόμενης χρήσης τους ενώ στο δείκτη απορριψιμότητας οι σακούλες από LDPE και HDPE είναι εκείνες που επιβαρύνουν περισσότερο στο περιβάλλον διότι αποτίθενται κυρίως στο θαλάσσιο περιβάλλον με τρομερές συνέπειες στη βιοποικιλότητα, την τροφική αλυσίδα, αλλά και την κοινωνία και το τουρισμό.
- Άλλη κατηγορία που μελετάτε είναι τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται μαζί με παρθένα πρώτη ύλη πλαστικών για τη σύνθεση προϊόντων. Τα πρόσθετα έχουν να κάνουν με οργανικά ή ανόργανα υλικά που σε συνδυασμό με παρθένα πλαστικά αφήνουν ένα πιο φιλικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα διότι μειώνουν τη ποσότητα παρθένων πλαστικών με συνεπαγωγή στη μείωση CO₂. Το φαινόμενο αυτό βελτιώνεται με τη χρήση ανακυκλωμένων πλαστικών. Μελέτες δείχνουν πως για παραγωγή 1 kg πλαστικού από παρθένο PP εκλύονται 2,1kg CO₂, ενώ για παραγωγή από παρθένο PP με πρόσθετο Τάλκη έχουμε 0,75 kg CO₂. Ανάλογα πιο μειωμένες τιμές βλέπουμε στην παραγωγή 1 kg πλαστικού από ανακυκλωμένο PP με 0,12 kg CO₂ και με 0,09 kg CO₂ για ανακυκλωμένο PP με πρόσθετο Τάλκη. Άρα τα πρόσθετα υλικά έχουν μείζονα σημασία στη παραγωγή πλαστικών για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Τα πλαστικά που παράγονται για κάλυψη θερμοκηπιακών μονάδων και για χρήσεις στον αγρό όπως αναφέρθηκε είναι διαδεδομένα και έχουν μεγάλη ζήτηση. Η παραγωγή τους επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον αυξάνοντας το CO₂, το σημαντικότερο συστατικό του δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη. Αυτό συμβαίνει κυρίως από τη κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή των προϊόντων. Είναι σημαντικό λοιπόν να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές μορφές ενέργειας πέραν της ηλεκτρικής. Η χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας είναι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να συμβάλει στο σκοπό μείωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Σαν απόρροια της συγκεκριμένης μελέτης έρχεται πρωτίστως η ανάγκη ανάδειξης της σημαντικότητας της ορθολογικής χρήσης των πλαστικών και της σωστής ανακύκλωσης που ξεκινάει από τον απλό πολίτη. Στο επόμενο επίπεδο αυτό των βιομηχανιών είτε παραγωγής είτε ανακύκλωσης είναι σημαντικό να υπάρξει καθετοποίηση της παραγωγής ώστε να μην υπάρχουν άσκοπες καταναλώσεις ενέργειας και πόρων, χρήση κατάλληλων εξοπλισμών και τεχνολογιών αλλά και εφαρμογή εναλλακτικών μορφών ενέργειας για την λειτουργία τους. Η ανακύκλωση σα μέσο είναι πολύ ισχυρό αλλά με περιορισμούς. Επιβάλλεται ο σωστός διαχωρισμός των προς ανακύκλωση υλικών, η χρησιμοποίηση των ανακυκλώσιμων σε νέα προϊόντα αλλά και η κατανομή των εγκαταστάσεων βιομηχανιών ανακύκλωσης ώστε να αποφεύγονται οι μεταφορές σε μεγάλες χιλιομετρικές αποστάσεις των ανακυκλώσιμων προϊόντων. Με τις εκτεταμένες έρευνες και την εξάπλωση και εξέλιξη της μεθοδολογίας ανάλυσης κύκλου ζωής LCA πολλές βιομηχανίες μπορούν να αξιολογήσουν τις εισροές και τις εκροές τους και να τις προσαρμόσουν σε ένα μοντέλο φιλικότερο στο πλανήτη που μας φιλοξενεί.

8 Βιβλιογραφία

Ελληνική

1. Καραγιαννίδης Π. Γεώργιος , Σιδεράκου Δ. Ειρήνη, Χημεία Πολυμερών, Εκδόσεις Ζήτη, 2006.
2. ΙΔΡΥΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, Η Χημική Βιομηχανία στην Ελλάδα Συνεισφορά στην οικονομία και προοπτικές ανάπτυξης, 2018.
3. Καραγιαννίδης Γεώργιος Π., Σιδερίδου Ειρήνη Δ., Αχιλιάς Δημήτρης, Μπικιάρης Δημήτρης, Τεχνολογία πολυμερών, Εκδόσεις Ζήτη, 2009.

4. Πτυχιακή εργασία Θεοδοσούλη Κυριακή, Ανακύκλωση πλαστικών υλικών, Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, 2011.
5. Μεταπτυχιακή εργασία Τσίντζου Γεωργία Π., Χημική ανακύκλωση φιλική προς το περιβάλλον του πολυανθρακικού εστέρα της δισφαινόλης-Α μέσω υδρόλυσης υποβοηθούμενης από μικροκύματα, 2012.
6. Ν. Μουσιόπουλος, Λ. Ντζιαχρήστος, Θ. Σλίνη, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Εκδόσεις Κάλλιπος, 2015.
7. Πιτσικάλη Μ., Πολυμερισμός αιθυλενίου, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 2011.
8. Στάθη Κωνσταντίνα, Παραγωγή και χαρακτηρισμός σύνθετων του ABS με νανοσωματίδια γραφενίου, 2014.
9. Διπλωματική εργασία Αλεξοπούλου Ειρήνη, Γήρανση Μονωτήρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006.
10. Δουλγέρης Αθανάσιος, Η χημεία των πολυμερών. Εφαρμογές και χρήσεις των πολυμερών στην καθημερινή ζωή., 2018.

Διεθνής

1. Skoczinski Pia , Chinthapalli Raj , Carus Michael , Baltus Wolfgang , Doris de Guzman, Käß Harald, Raschka Achim , Ravenstijn Jan, Bio –based building blocks and polymers Global capacity productions and trends, European Biotechnology, 2019.
2. O'Neill, T.J. "Life Cycle Assessment and Environmental Impact of Polymeric Products", Rapra Review Reports, 2003.
3. Kumar, J., Li, Q., & Jun, Y. "Challenges and opportunities of polymer design with machine learning and high throughput experimentation", MRS Communications, 2019.
4. 232ND ACS NATIONAL MEETING Chemical & Engineering News Archive , 2006.
5. Zimmermann H., Walzi R. (Linde AG), Ethylene, 2009.
6. Peterson FM., Commodity Up-Cycle: Focus on Ethylene, ISM eDigest Chemical, 2004.
7. Posch W., Wels University of Applied Sciences, APPLIED PLASTICS ENGINEERING HANDBOOK, 2011.
8. Ye Y., King III R.E., Additives for Polyolefin Film Products: An Overview of Chemistry and Effects, Ciba Specialty chemicals, Tarrytown NY, 2006.
9. Anastas P. T., Warner J. C., Πράσινη χημεία Θεωρία και Πράξη, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 2007.
10. Nakajima H., Dijkstra P., Loos K., The recent developments in biobased polymers toward general and engineering applications: Polymers that are upgraded from biodegradable polymers, analogous to petroleum-derived polymers, and newly developed Polymers, 2017.
11. Holmberg A. L., Reno K. H., Wool R. P., and Epps T. H., Biobased building blocks for the rational design of renewable block polymers, Soft Matter, 2014.

12. Gan Z., Abe H., and Doi Y., Biodegradable poly(ethylene succinate) (PES). 1. Crystal growth kinetics and morphology, *Biomacromolecules*, 2000.
13. European Commission, Eurostat Products, Eurostat News, How much plastic packaging waste do we recycle?, 2019.
14. Plastics Europe, Plastics – The Facts ,Analysis the European plastics production, 2017.
15. Hahladakis J. N., Iacovidou E., An overview of the challenges and trade-offs in closing the loop of post-consumer plastic waste (PCPW): Focus on recycling, *Journal of Hazardous Materials*, 2019.
16. Hottle T. A., Bilec M. M., Landisc A. E., Biopolymer production and end of life comparisons using life cycle assessment, *Conservation and Recycling*, 2017.
17. Chen Y., Cui Z., Cui X., Liu W., Wang X., Li X., Li S., Life cycle assessment of end-of-life treatments of waste plastics in China, *Conservation & Recycling*, 2019.
18. Civancik-Uslu D., Puiga R., Hauschild M., Fullana-i-Palmer P., Life cycle assessment of carrier bags and development of a littering indicator, *Science of the Total Environment*, 2019.
19. Vidal, R., Martínez, P., Garraín, D., Life cycle assessment of composite materials made of recycled thermoplastics combined with rice husks and cotton linters., 2009.
20. Civancik-Uslu D., Ferrer L., Puig R., Fullana-i-Palmer P., Are functional fillers improving environmental behavior of plastics? A review on LCA studies, *Science of the Total Environment*, 2018.
21. Cascone S., Ingrao C., Valenti F., Porto M.G S., Energy and environmental assessment of plastic granule production from recycled greenhouse covering films in a circular economy perspective, 2020.
22. Benoit- Norris C., Vikery-Niederman G., Valdivia S., Franze J., Traverso M., Cirot A., Maijn B., Introducing the UNEP/SETAC methodological sheets for subcategories of social LCA., *Int. J. Life Cycle Assess*, 2012.
23. Shen L., Haufe J., Patel, M.K., Product overview and market projection of emerging bio-based plastics., *PRO-BIP*, 2009.
24. Hou Ping, Xu Yifan, Taiebat Morteza, Lastoskie Christian, Miller A. Shelle, Xu Ming., Life cycle assessment of end-of-life treatments for plastic film waste., 2018.
25. Moore Recycling Associates Inc, National Post-consumer Plastic Bag and Film Recycling Report., 2016.
26. Wollny V., Dehoust G., Fritsche U.R., Weinem P., Comparison of plastic packaging waste management options: feedstock recycling energy recovery in Germany., 2010.
27. UN Environment, Mapping of global plastics value chain and plastic losses to the environment., Nairobi Kenya, 2018.
28. Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, G., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., Plastic waste inputs from land into the ocean., 2015.
29. Fullana-i-Palmer, P., Gazulla, C., Life cycle assessment of different types of supermarket bags (Project report in Spanish). Research group (GiGa) at ESCI-UPF, Barcelona, 2008.
30. Zhu, R., Mao, L., Wang, Y., Treatment of organic waste gas by absorption rotor, 2013.
31. Hu, Z., Jia, B., Current situation comparison and analysis on China's electrostatic, 2012.

32. Hirsch, R., Weidema, B., Althaus, H.J., et al., Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods, Data v2.2. Ecoinvent Centre, 2010.

Ιστοσελίδες

1. <http://www.global-colors.net/globalcolor-masterbatches>
2. <https://www.plastikakritis.com/gr/kritifil-products-applications>
3. <https://www.plastikakritis.com/gr/kritiflex-overview>
4. <https://www.plastikakritis.com/gr/kritisol-overview>
5. <http://kodipheet.chem.uoi.gr/contents/3%20KEF%203.pdf>
6. <https://www.plastikakritis.com/gr/green-energy>
7. http://ikee.lib.auth.gr/record/290819/files/YPOLOGISMOS_SYNTELESTI_EKPOMPW_N_TIS_YPOKATHISTAMENIS_ENERGEIAS_SE_4_EYRWPAIKES_XWRES.pdf
8. http://195.134.76.37/chemicals/chem_C2H4.htm