



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

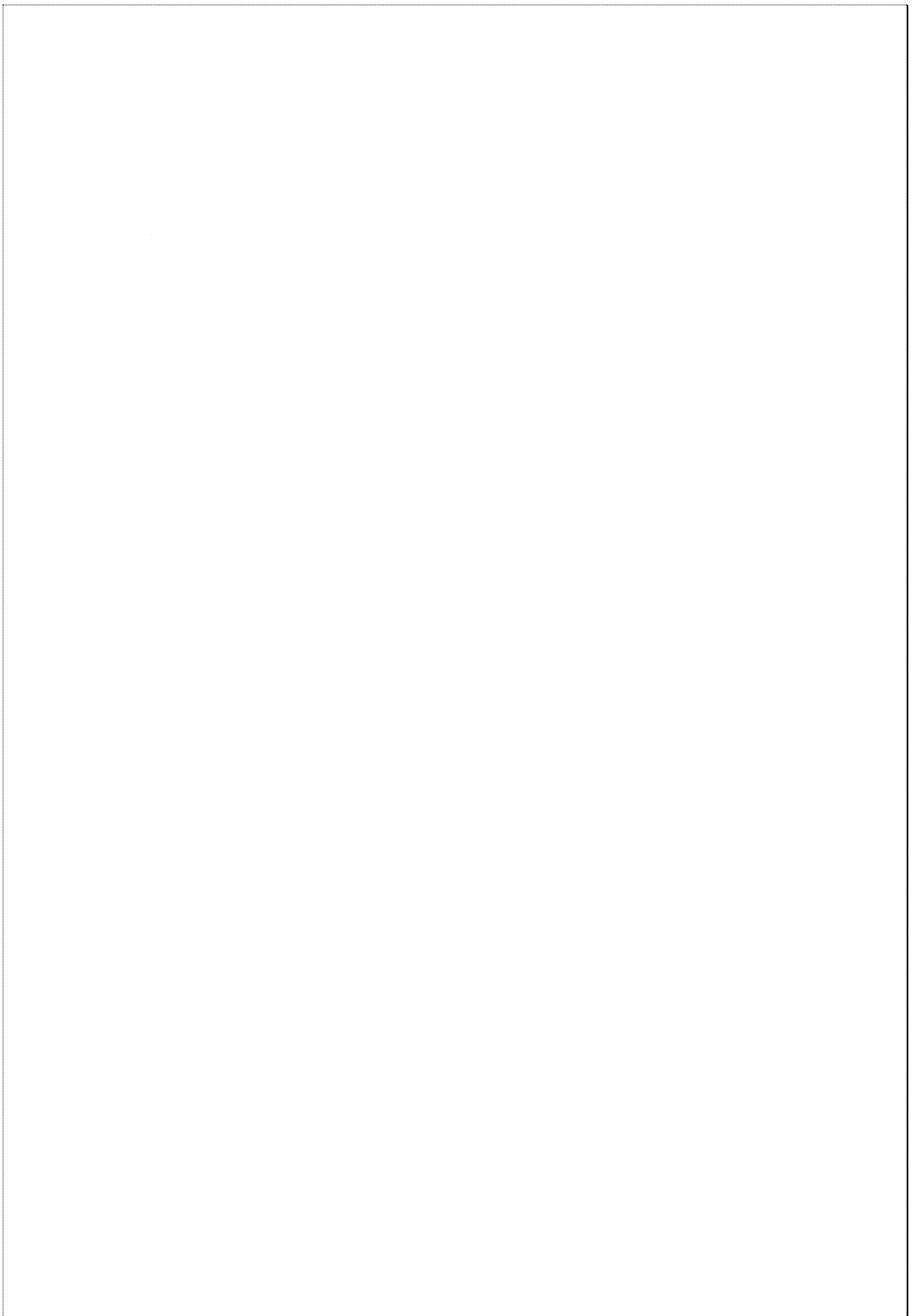


**ΠΜΣ ΣΤΗ ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ,
ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ**

**ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΑΝΑΛΥΣΗ
ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΕ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ**

ΣΙΕΤΤΟΥ ΦΡΑΝΤΖΕΣΚΑ

Πειραιάς, Φεβρουάριος 2022





**UNIVERSITY OF PIRAEUS
DEPARTMENT OF ECONOMICS**



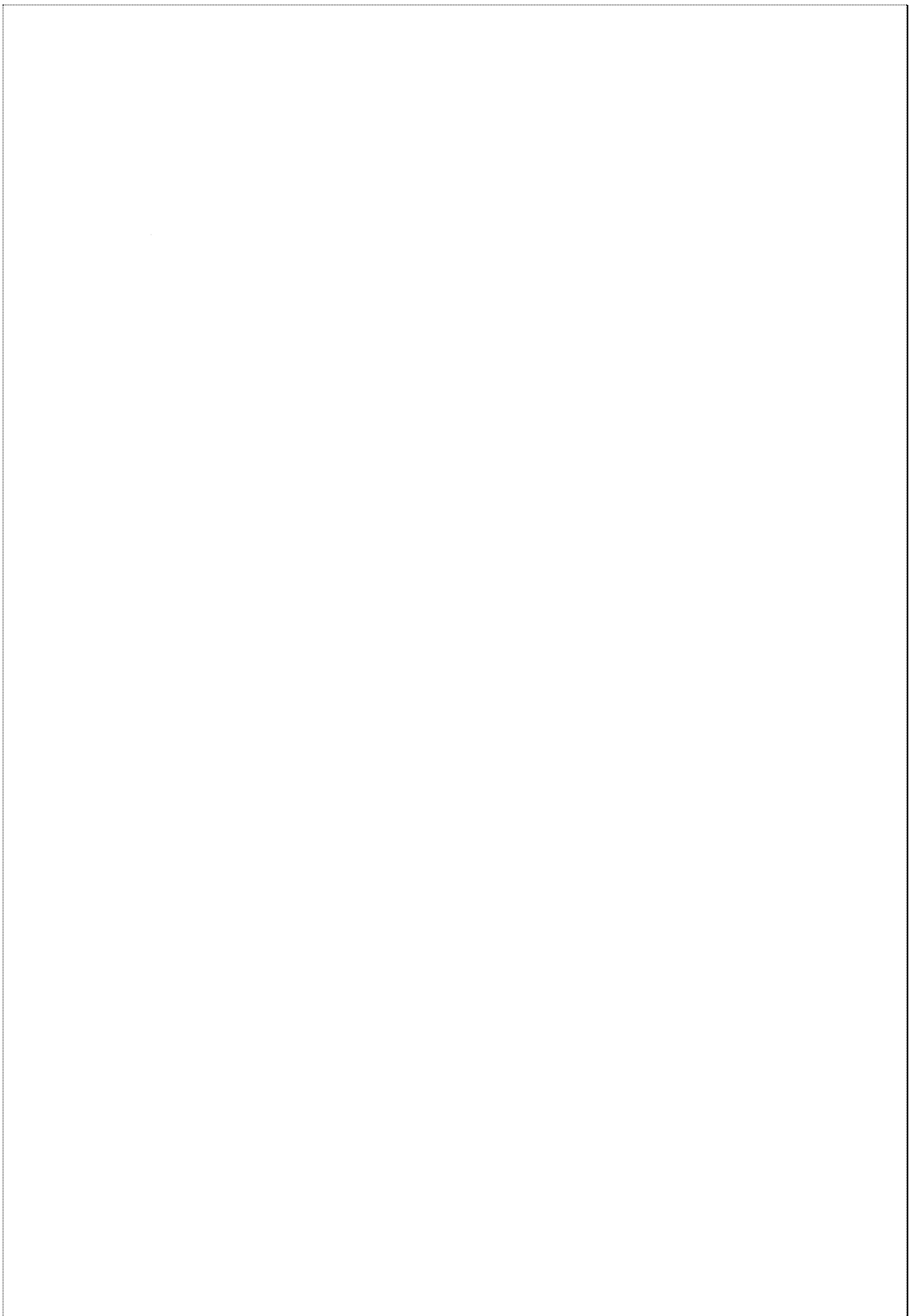
**M.Sc IN BIOECONOMY CIRCULAR ECONOMY
SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**MASTER THESIS TITLE: LIFE CYCLE ANALYSIS
FOR BIOPLASTICS**

By

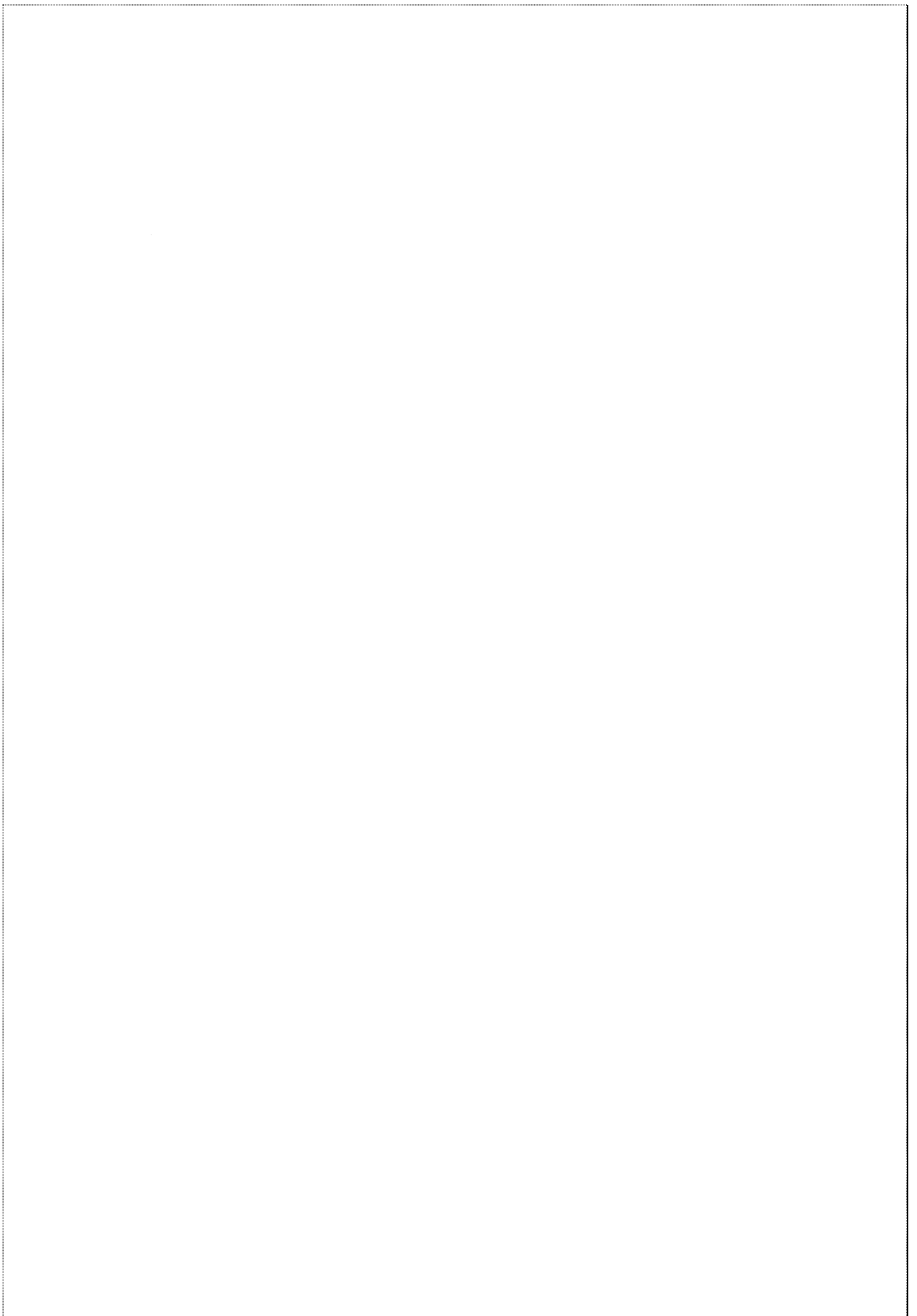
SIETTOU FRANTZESKA

Piraeus, Greece, February 2022



Αφιέρωση

...στην Μαλού



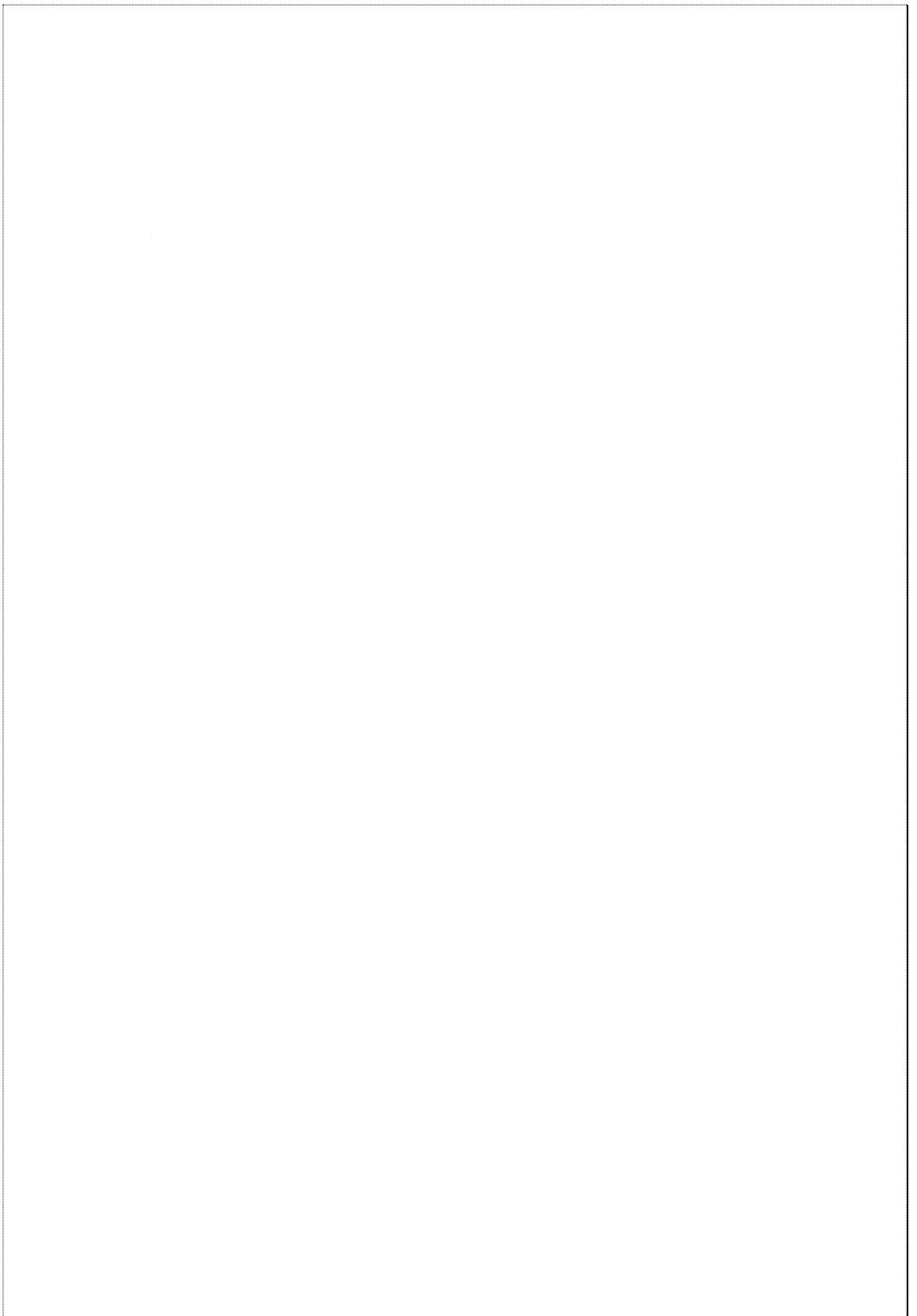
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς σε συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και τη Σχολή Χημικών Μηχανικών με επιβλέπουσα καθηγήτρια την κυρία Δ. Μαμμά.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην κυρία Μαμμά, που αποτέλεσε υπεύθυνη καθηγήτριά μου και με καθοδήγησε, με συμβούλεψε, με παρότρυνε και με βοήθησε καθ'όλη τη διάρκεια της αναζήτησης και συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας.

Σημαντική κρίνεται η συνεισφορά των φίλων και συμφοιτητών μου των οποίων οι γνώσεις, παρατηρήσεις και συμβουλές συνέδραμαν στην πιο ομαλή περάτωση της διαδικασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει στην οικογένειά μου και τους στενούς μου φίλους για την στήριξη, το ενδιαφέρον και τη βοήθεια που μου παρείχαν σε όλα τα στάδια της εργασίας.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λέξεις Κλειδιά: Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Βιοπλαστικά, Πετροχημικά πλαστικά, Βιοαποδόμηση, Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα, Δείκτες Επιπτώσεων, Ανάλυση Ευαισθησίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία συντάχθηκε με σκοπό την ερμηνεία του εργαλείου της «Ανάλυσης Κύκλου Ζωής» και την εφαρμογή αυτού σε μια εξειδικευμένη κατηγορία προϊόντων όπως είναι τα βιοπλαστικά.

Πιο αναλυτικά, αρχικά γίνεται αναφορά στις γενεσιουργούς αιτίες που ώθησαν στην ανάπτυξη εργαλείων ικανών να μετρήσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Τον ίδιο ρόλο επιτελεί και η «Ανάλυση Κύκλου Ζωής» για την οποία πραγματοποιείται μια αναφορά στην ιστορική εξέλιξη και έπειτα στη δομή και τις βασικές ιδιότητες και εφαρμογές. Κατόπιν παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των πιο κοινά αξιοποιήσιμων λογισμικών μέσω των οποίων εκτελείται μια τέτοια ανάλυση, οι ομοιότητες και οι διαφορές αυτών. Στη συνέχεια, διενεργείται μια εκτενής αναφορά στον κλάδο των βιοπλαστικών με στοιχεία δομής, παραγωγής, διαχείρισης, ιδιοτήτων, εφαρμογών και νομοθετικών περιορισμών. Παράλληλα, μια ξεχωριστή ενότητα αφιερώνεται στην συνεισφορά των βιοπλαστικών στην κυκλική οικονομία. Ακολούθως, γίνεται αναφορά των δεικτών εκείνων στους οποίους βασίζεται μια τέτοια ανάλυση και τη σημασία του καθενός στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Στο επόμενο κεφάλαιο δίνεται έμφαση στις συγκριτικές ΑΚΖ πετροχημικών πλαστικών και βιοπλαστικών και τα σημεία που απαιτούν βελτίωση για την αύξηση της αξιοπιστίας παρόμοιων αναλύσεων. Τέλος, παρουσιάζονται μελέτες περίπτωσης όπου συγκρίνονται εφαρμογές πλαστικών και βιοπλαστικών στις οποίες έχουν πραγματοποιηθεί ΑΚΖ και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουν σε σχέση με την καλύτερη επιλογή σε πρώτη ύλη.

ABSTRACT

Keywords: Life Cycle Analysis, Bioplastics, Petrochemicals, Biodegradation, Environmental Impact, Impact Indicators, Sensitivity Analysis

The current Bachelor's Thesis was written for the purpose of interpretation of the tool of "Life Cycle Analysis" and its application in a specialized category of products such as bioplastics.

Specifically, reference is initially made to the root causes led to the development of tools capable of measuring the environmental footprint. Similar is the purpose of the "Life Cycle Analysis" for which a reference is made to the historical development and then to the structure, basic properties and applications. The following are the basic characteristics of the most commonly used software used to conduct such an analysis, their similarities and differences. An extensive report is also outlining the characteristics of the bioplastics industry with elements of structure, production, management, properties, applications and legislative constraints. In parallel, a separate section is dedicated to the contribution of bioplastics to the circular economy. In the following section, the indicators on which such an analysis is based and the importance of each in drawing safe conclusions are reported. The next chapter focuses on the comparative LCAs of petrochemical plastics and bioplastics as well as the elements that require improvement to increase the reliability of such analysis. As a last step, some case studies are presented aiming to compare applications of plastics and bioplastics in which LCAs have been performed and outlining the conclusions in relation to the best selection of raw material.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ix
ABSTRACT	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΦΥΓΗΣ ΣΕ ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΦΟΡΙΑΣ	23
1.1 Υποχρεώσεις μέτρησης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΑΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟ	29
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	29
2.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ορισμός-Σκοπός –Στάδια	30
2.2.1 Λειτουργική Μονάδα	30
2.2.3 Όρια συστήματος	31
2.2.3 Στάδια κατά ISO.....	31
2.2.3.1 Σκοπός και στόχος της μελέτης (ISO 14040).....	32
2.2.3.2 Απογραφή Δεδομένων (ISO 14041).....	32
2.2.3.3 Επιπτώσεις του κύκλου ζωής (ISO 14042)	33
2.2.3.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων (ISO 14043)	34
2.2.4 Στάδια κατά SETAC	36
2.2.4.1 Στοχοθεσία και αντικείμενο μελέτης.....	37
2.2.4.2 Απογραφή Δεδομένων.....	37
2.2.4.3 Εκτίμηση Επιπτώσεων	38
2.2.4.4 Βελτιώσεις.....	39
2.2.5 Προβλήματα – Ελλείψεις –Σημεία προς βελτίωση στην τυποποίηση των μεθόδων	39
2.2.6 Βασικές παράμετροι σε μια ανάλυση κύκλου ζωής	40
2.2.6.1 Δυνατότητες που μπορούν και δεν μπορούν να επιτευχθούν μέσω της ΑΚΖ.....	43
2.2.6.2 Τα δυνατά και τα αδύναμα σημεία της ΑΚΖ	45
2.2.6.3 Εργαλεία που επικοινωνούν τα αποτελέσματα μιας ΑΚΖ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	49
3.1 Διαφοροποίηση του κοινού στο οποίο απευθύνεται το πρόγραμμα λογισμικού.....	49
3.2 Δομή μοντέλου	50
3.3 Διαφάνεια, ευελιξία και ευρηστία	51

3.4 Βάση δεδομένων	51
3.5 Μέθοδοι υπολογισμού, αβεβαιότητα και αναλύσεις μεταβλητότητας.....	52
3.6 Εξυπηρέτηση χρηστών και τεχνική υποστήριξη	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΑ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ.....	57
Εισαγωγή.....	57
4.1 Τα αίτια που οδήγησαν στην αναγκαιότητα προσφυγής σε βιοπλαστικά	57
4.2 Τα βιοπλαστικά, δομή και παραγωγή.....	58
4.3 Η βιοαποδόμηση των βιοπλαστικών	62
4.3.1 Στάδια βιοαποδόμησης.....	63
4.4 Ιδιότητες των Βιοπλαστικών	63
4.5 Εφαρμογές των Βιοπλαστικών.....	64
4.6 Νομοθεσία γύρω από τα πλαστικά και βιοπλαστικά.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Η ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ	67
5.1 Η μετάβαση από την γραμμική οικονομία και τα πλαστικά στην κυκλική οικονομία και τα βιοπλαστικά.....	68
5.2 Η πραγματικότητα της κυκλικής οικονομίας των πλαστικών και βιοπλαστικών στην Ελλάδα	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΕ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	73
6.1 Κατηγορίες Επιπτώσεων	74
6.2 Τα πρόσθετα στα πλαστικά	76
6.3 Χρήση Γης και Αλλαγή Χρήσης Γης	77
6.4 Μέτρηση βιογενούς άνθρακα.....	78
6.5 End of life.....	80
6.6 Κατανομές στο τέλος της ζωής	80
6.7 Ανάλυση Αβεβαιότητας	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΚΕΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΠΡΟΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ	93
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΙΝΑΚΑ	ΤΙΤΛΟΣ ΠΙΝΑΚΑ	ΣΕΛΙΔΑ
Πίνακας I	Συντομογραφίες και η Σημασία τους	xix-xx
Πίνακας 1.1	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης 1-6 και ορισμένοι υποστόχοι αυτών	24
Πίνακας 1.2	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης 7-11 και ορισμένοι υποστόχοι αυτών	25
Πίνακας 1.3	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης 12-17 και ορισμένοι υποστόχοι αυτών	25
Πίνακας 2.1	Δείκτες Ποιότητας στην ΑΚΖ	35
Πίνακας 6.1	Συγκριτική ΑΚΖ σε φιάλη PET, PLA και αλουμινίου και αποτελέσματα απόδοσης σε ορισμένους απο τους δείκτες επιπτώσεων	82-83

Πίνακας Ι: Συντομογραφίες και η σημασία τους

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΣΗΜΑΣΙΑ
AP	ACIDIFICATION POTENTIAL
BSI	BRITISH STANDARDS INSTITUTION
CED	CUMULATIVE ENERGY DEMAND
CFED	CUMULATIVE FOSSIL ENERGY DEMAND
CRED	CUMULATIVE RENEWABLE ENERGY DEMAND
CTP	CLIMATE TIPPING POTENTIAL
CWF	CONSUMPTIVE WATER FOOTPRINT
EHTA	ECO AND HUMAN TOXICITY ASSESSMENT
EPD	ENVIROMENTAL PRODUCT DECLARATION
EP	EYTROPHICATION POTENTIAL
GWP	CLOBAL WARMING POTENTIAL
ISO	INTERNATIONAL STANDARISATION ORGANISATION
ILUC	INDIRECT LAND USE CHANGE
LCA	LIFE CYCLE ANALYSIS
LUC	LAND USE CHANGE
ODP	OZON DEPLETION POTENTIAL
PHA	POLYHYDROXYALKONOATES
PLA	PPLYGALACTIC ACID
POCP	PHOTOCHEMICAL OZON CREATIVITY POTENTIAL
PCR	PRODUCT CATEGORY RULES

SDG	SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
SETAC	SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY
WEF	WATER EMISSIONS FOOTPRINT
AKZ	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ
ΕΕ	ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αναντίρρητα, η εξάντληση των φυσικών πόρων για την εξυπηρέτηση των όλο αυξανόμενων ανθρώπινων αναγκών έχει επιφέρει συνέπειες που επηρεάζουν και θα επηρεάζουν την καθημερινότητα, την ανθρώπινη υγεία και υγεία των οικοσυστημάτων αλλά και την υγεία του πλανήτη σαν σύνολο. Κρίνεται, λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη από πλευράς του ανθρώπινου μέρους να βρεθούν λύσεις και καινοτομίες που θα ανατρέψουν την υπάρχουσα κατάσταση και παράλληλα η επίδραση των λύσεων αυτών να αποτυπώνεται και να είναι μετρήσιμη με απτά στοιχεία.

Μια από τις προτεινόμενες λύσεις για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και επιβάρυνσης των οικοσυστημάτων και συγχρόνως επίτευξη παράτασης της ζωής του πλανήτη είναι και τα βιοπλαστικά προϊόντα. Εκείνα τα προϊόντα είναι πολυμερή βιολογικής προέλευσης που αποσκοπούν στην αντικατάσταση των πετροχημικών πλαστικών σε όλους τους τομείς που αξιοποιούνται αυτά και κατά συνέπεια στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Ήδη τα βιοπλαστικά έχουν βρει πεδίο εφαρμογής σε προϊόντα καθημερινής και μαζικής χρήσης και όλο και περισσότερο ανακύπτει η ανάγκη σύγκρισης της λειτουργικότητας τους σε συνδυασμό με το περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο σε σχέση με τα συμβατικά πλαστικά.

Μια αρκετά διαδεδομένη και ιδιαίτερα αξιόπιστη μέθοδος για την πραγματοποίηση μιας σύγκρισης που ικανοποιεί αυτές τις απαιτήσεις είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Η μέθοδος αυτή μετρά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος από τον σχεδιασμό, την παραγωγή, αποθήκευση μέχρι την διάθεση, κατανάλωση, επαναχρησιμοποίηση και απόθεση ή ανακύκλωση του. Έτσι προκύπτουν χρήσιμα ευρήματα για την αποτελεσματικότητα ενός προϊόντος και συμπεράσματα για το αν επιφέρει όντως θετικές συνέπειες στα πλαίσια της περιβαλλοντικής προστασίας. Ακόμη, γεννάται η ανάγκη για αναφορά των ελλείψεων που έχουν και εκείνων των σημείων που χρήζουν προσοχής για μεταγενέστερη βελτίωση.

Τα αποτελέσματα αυτά αξιολογούνται από ειδικούς μελετητές και δημοσιεύονται αξιοσημείωτα συμπεράσματα τα οποία εμφανίζουν έντονο ενδιαφέρον και αποτελούν κίνητρο για την διενέργεια παρόμοιων αναλύσεων τόσο από τον ερευνητικό κλάδο όσο και από τις βιομηχανίες για μια πιο αντιπροσωπευτική εικόνα των ενεργειών τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΦΥΓΗΣ ΣΕ ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ ΑΕΙΦΟΡΙΑΣ

Είναι γεγονός, ότι ο άνθρωπος ως έμβιο όν χρησιμοποιούσε τους φυσικούς πόρους που αντλούσε από τη Γη με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες του. Ωστόσο, με την πάροδο των χρόνων και την βιομηχανική επανάσταση οι ανάγκες όλο και αυξάνονταν με αποτέλεσμα την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων και την τάση για εξάντληση πολλών από αυτών. Αυτό αποτυπώθηκε με δυσχερείς συνέπειες σε περιβάλλον αλλά και ανθρώπινη υγεία και προβλέψεις για ακόμα πιο δυσμενείς καταστάσεις στο προσεχές διάστημα αν οι ανθρώπινες ενέργειες συνέχιζαν με τον ίδιο ρυθμό και τα επόμενα χρόνια (Spierling et al., 2019).

Οι υπεύθυνοι, λοιπόν, λαμβάνοντας υπόψιν τις δυσοίωνες μελέτες των επιστημόνων σχετικά με την περιβαλλοντική επιβάρυνση και την κλιματική αλλαγή, έστησαν ένα μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης με στόχο την ανατροπή της κατάστασης αυτής. Αυτό το μοντέλο στήθηκε με την σύμφωνη γνώμη επιτροπής της ΕΕ αλλά και μελών του ΟΗΕ και περιλαμβάνει μια σειρά από ενέργειες που πρέπει να θέσουν σε εφαρμογή τα κράτη μέλη μεμονωμένα αλλά σε συνεργασία ώστε να υπάρξει κάποιο υπολογίσιμο αποτέλεσμα στα επερχόμενα χρόνια. Οι αποφάσεις αυτές έχουν παρθεί σε μια σειρά συσκέψεων με σταθμό τη συμφωνία του Παρισίου που αποτελεί την πρώτη καθολική και με νομική ταυτότητα συμφωνία για το κλίμα. Έλαβε έγκριση το Δεκέμβρη 2015 και κατοχυρώθηκε τον Απρίλιο του 2016 (Ortiz et al., 2009).



Εικόνα 1: 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης

Η Συμφωνία του Παρισίου είναι ένα παγκόσμιο σχέδιο δράσης που αποσκοπεί στον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Στόχος είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση να γίνει η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος μέχρι το 2050. Συγκεκριμένα, η Συμφωνία του Παρισίου στοχεύει σε σταθεροποίηση της ανόδου της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά δύο βαθμούς Κελσίου συγκρίνοντας με την μέση θερμοκρασία που υπήρχε πριν την εντατική βιομηχανική ανάπτυξη (Narayan, 2011).

Συνοπτικά, οι δράσεις που απαιτείται να γίνουν από τα κράτη ώστε να επιτευχθεί ο στόχος που αναφέρθηκε παραπάνω σχετίζονται με την προληπτική προστασία των οικοσυστημάτων, εξοικονόμηση πόρων και ελάττωση αποβλήτων, μέτρηση περιβαλλοντικού αποτυπώματος, κ.α. Όλα αυτά αποτυπώνονται μέσω στόχων και υποστόχων γνωστών ως Sustainability Development Goals και των επιμέρους υποστόχων αυτών που αποσκοπούν να καλύψουν μια ευρεία γκάμα από ενέργειες που μπορούν να εξασφαλίσουν την βιωσιμότητα των επόμενων γενεών και οι οποίες δεν σχετίζονται μόνο με περιβαλλοντικά ζητήματα αλλά και με φυλετικά, κοινωνικά κ.α (David et al., 2021).

Παρακάτω παρατίθενται οι 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης έτσι όπως αυτοί ψηφίστηκαν και ορισμένοι υποστόχοι αυτών.

Πίνακας 1.1: Οι Στόχοι 1-6 της Βιώσιμης Ανάπτυξης και ενδεικτικά κάποιοι υποστόχοι τους

ΣΤΟΧΟΣ	1 ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΤΗΣ ΦΤΩΧΙΑΣ	2 ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΠΕΙΝΑΣ	3 ΥΓΕΙΑ & ΕΥΗΜΕΡΙΑ	4 ΙΣΟΤΙΜΗ & ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	5 ΙΣΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΛΩΝ	6 ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΟΥ
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟΥ	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΦΤΩΧΟΥΣ & ΕΥΑΛΩΤΟΥΣ	ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΗΣ ΤΡΟΦΗΣ	ΜΕΙΩΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΜΗΤΡΙΚΗΣ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ	ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΕΙΔΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΟΛΟΥΣ	ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΒΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΩΝ ΓΥΝΑΙΚΩΝ	ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΟΛΩΝ ΣΕ ΑΣΦΑΛΕΣ ΚΑΙ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟΥ	ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΙΣΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ	ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ Σ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ	ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΕΠΙΔΗΜΙΩΝ & ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ	ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΣΜΟΥ	ΔΙΚΑΙΩΜΑ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΗΓΕΤΙΚΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΩΝ ΓΥΝΑΙΚΩΝ ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΟΣ ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟΥ	ΜΕΣΑ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ	ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΡΟΧΑΙΑ	ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΠΡΟΩΡΩΝ, ΚΑΤΑΝΑΓΚΑΣΤΙΚΩΝ ΓΑΜΩΝ	ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Πίνακας 1.2: Οι Στόχοι 7-11 της Βιώσιμης Ανάπτυξης και ενδεικτικά κάποιοι υποστόχοι

ΤΟΥΣ

ΣΤΟΧΟΣ	7 ΒΙΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	9 ΒΙΩΣΙΜΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΟΠΟΙ ΗΣΗ	10 ΜΕΙΩΣΗ ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΩΝ ΑΝΙΣΟΤΗΤΩΝ	11 ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΠΟΛΕΙΣ
ΠΑΡΑΔΕΙΓ ΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟ Υ	ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗ ΤΑΣ	ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΥΨΗΛΟΤΕΡΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗ ΤΑΣ	ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ	ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΧΡΗΜΑΤΟΠΙΣΤΩΤΙ ΚΩΝ ΑΓΟΡΩΝ	ΑΣΦΑΛΗΣ ΣΤΕΓΑΣΗ
ΠΑΡΑΔΕΙΓ ΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟ Υ	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΑΥΞΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	ΑΣΦΑΛΗΣ ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ
ΠΑΡΑΔΕΙΓ ΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟ Υ	ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΤΩΝ ΑΝΕΡΓΩΝ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΣΕ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ	ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΩΝ ΦΟΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ	ΜΕΙΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚ ΟΥ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ

Πίνακας 1.3: Οι Στόχοι 12-17 της Βιώσιμης Ανάπτυξης και ενδεικτικά κάποιοι

υποστόχοι τους

ΣΤΟΧΟΣ	12 ΒΙΩΣΙΜΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	13 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	14 ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣ Η ΥΔΑΤΩΝ	15 ΧΕΡΣΑΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑ	16 ΕΙΡΗΝΗ ΚΑΙ ΔΙΚΑΙΟΣΥΝΗ	17 ΣΥΜΠΡΑΞΗ ΓΙΑ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΠΑΡΑΔΕΙΓ ΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟ Υ	ΒΙΩΣΙΜΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΡΩΝ	ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙ ΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗ Σ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΔΑΣΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΒΙΟΤΟΠΩ Ν	ΜΕΙΩΣΗ ΒΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΚΟΠΟΙΗΣ ΗΣ ΠΑΙΔΙΩΝ	ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕ ΝΕΣ ΧΩΡΕΣ
ΠΑΡΑΔΕΙΓ ΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟ Υ	ΜΕΙΩΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝ ΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗ ΣΗΣ	ΜΕΙΩΣΗ ΟΞΙΝΙΣΗΣ	ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗ ΣΗ ΑΠΟΕΡΗΜΩΣΗ Σ	ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΝΟΜΗ Σ ΟΠΛΟΧΡΗΣΙ ΑΣ ΚΑΙ ΕΓΚΛΗΜΑΤΩ Ν	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΑΡΑΔΕΙΓ ΜΑ ΥΠΟΣΤΟΧΟ Υ	ΟΡΘΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ	ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝ ΕΣ ΧΩΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ	ΡΥΘΜΙΣΗ ΑΛΙΕΙΑΣ	ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΑΘΡΟΘΥΡΙΑΣ	ΜΕΙΩΣΗ ΔΙΑΦΘΟΡΑΣ & ΔΩΡΟΔΟΚΙΑ Σ	ΚΑΘΟΛΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ

1.1 Υποχρεώσεις μέτρησης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Όπως είναι φυσικό αυτοί οι αυστηροί και αρκετά φιλόδοξοι στόχοι που τέθηκαν από τα κράτη μέλη της ΕΕ απαιτούν και δραστικές κινήσεις ως προς την επίτευξη. Αυτές οι

δραστικές κινήσεις, ωστόσο, που σημαίνουν μεγάλες μεταβολές στην καθημερινότητα, την παραγωγική διαδικασία, μεταφορές κλπ. για να έχουν νόημα απαιτείται να γίνουν από μεγάλη μερίδα ατόμων. Κίνητρο να γίνει αυτό είναι είτε νομοθετικοί περιορισμοί που δεν επιτρέπουν τις προηγούμενες δραστηριότητες είτε κίνητρα διαφήμισης που σχετίζονται με πιο πράσινες ενέργειες (Leipold and Petit-Boix, 2018).



Εικόνα 2: Σήμα της Περιβαλλοντικής Δήλωσης Προϊόντος

Με βάση αυτά τα κίνητρα πολλές επιχειρήσεις και κράτη επιλέγουν μέσω πιστοποιήσεων να επικοινωνήσουν στον κόσμο ένα πιο πράσινο και οικολογικό προφίλ με έμφαση στην υπεύθυνη παραγωγή προϊόντων. Παρακάτω παρατίθενται οι πιο γνωστές πιστοποιήσεις περιβαλλοντικού αντικτύπου που αξιολογούνται από εταιρείες:

➤ Περιβαλλοντικές Δηλώσεις (EPD)

Η ανάγκη για ποσοτικοποιημένη περιβαλλοντική πληροφορία οδήγησε στην γέννηση των EPDs που δεν είναι κάτι άλλο από την παρουσίαση των περιβαλλοντικών δεδομένων ενός προϊόντος με καθορισμένες κατηγορίες παραμέτρων και ακολουθώντας συγκεκριμένα πρότυπα, και αποτελεί αναγκαία πιστοποίηση δήλωσης μεταξύ κρατών της ΕΕ αλλά και εκτός για την πληροφόρηση γύρω από την περιβαλλοντική απόδοση.

➤ Πιστοποίηση Ecolabel

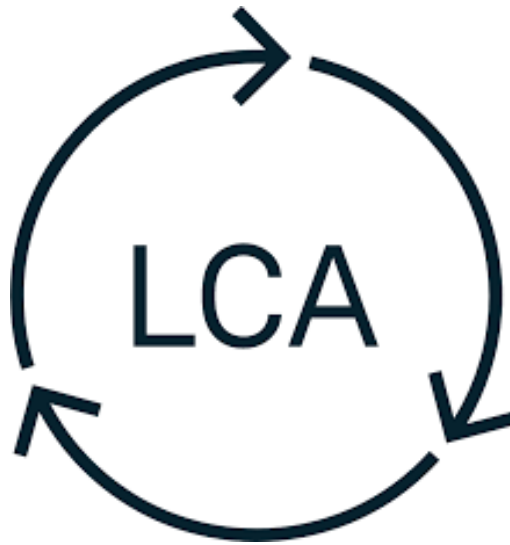
Ένα προϊόν που λαμβάνει ετικέτα αυτόματα κατατάσσεται ως οικολογικό. Ένα οικολογικό προϊόν είναι ένα προϊόν που δεν χρησιμοποιεί επιβλαβείς ουσίες για την παραγωγή του αλλά και κατά την μεταφορά και κατανάλωση στο στάδιο που επιστρέφει στη φύση ή ανακυκλώνεται. Τα προϊόντα υποβάλλονται σε τεστ και αφού επιφέρουν τις απαιτούμενες επιδόσεις αποκτούν το πιστοποιητικό.



Εικόνα 3: Σήμα Οικολογικής Φύσης του Προϊόντος

➤ Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA)

Η Ανάλυση κύκλου ζωής είναι μια μέθοδος που μετρά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα για ένα προϊόν ή μια διεργασία κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του από την συλλογή των πρώτων υλών μέχρι και την απόθεση ή επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση αυτού. Αυτό το είδος της μελέτης θα το αναλύσουμε λεπτομερώς στα επόμενα κεφάλαια παραθέτοντας και παραδείγματα από την χρήση τέτοιων μελετών καθώς και τα συμπεράσματα που εξάγουν (Rostkowski et al., 2012a).



Εικόνα 4: Σήμα αναπαράστασης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Προϊόντος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΑΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟ

Είναι γεγονός, ότι πιο πολύ τώρα από ποτέ είναι επιτακτική η ανάγκη να μειωθούν οι περιβαλλοντικές συνέπειες από τις δραστηριότητες των ανθρώπων. Στα πλαίσια της βελτίωσης της παρούσας κατάστασης διαμορφώθηκε και το μοντέλο της *Ανάλυσης Κύκλου Ζωής* με βάση το οποίο προσδιορίζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν και επιβαρύνουν τον περιβάλλον σε κάθε μεμονωμένο στάδιο σχεδιασμού, παραγωγής, διάθεσης αλλά και αποδόμησης ενός προϊόντος.



Εικόνα 5: Σήμα αναπαράστασης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Προϊόντος

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη αναφορά σε ανάλυση κύκλου ζωής βρίσκεται μεταξύ της δεκαετίας 1960 και 1970. Ο επιστημονικός κλάδος βρίσκεται ήδη σε μια ιδιόμορφη κατάσταση λόγω της υπερεξάντλησης των φυσικών πόρων και ενέργειας και η βιομηχανία της Coca-Cola αποφασίζει το 1969 να προβεί σε έρευνα που αφορά την τυποποίηση των προϊόντων της μέσω του Ινστιτούτου Ερευνών του Midwest, ανάλυση γνωστή με τον τίτλο «Resource & Environmental Profile Analysis» που αποτέλεσε την πρώιμη μορφή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Heijungs et al., 2017) Το παράδειγμα της Coca-Cola ακολούθησαν και άλλες μεγάλες εταιρείες τόσο στην Αμερική όσο και στην Ευρώπη με τη δεύτερη να δίνει ιδιαίτερη βάση από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 σε έρευνες που πραγματεύονται το οικολογικό ισοζύγιο. Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων υπογράμμισε την αναγκαιότητα της ΑΚΖ οδηγώντας το 1985 την Ευρωπαϊκή Κοινότητα να προβεί σε έρευνα γύρω από το θέμα αυτό και λίγα χρόνια αργότερα το πρόβλημα των συσκευασιών των τροφίμων σε σχέση με το περιβάλλον οδήγησε σε μια ακόμα ΑΚΖ. Παράλληλα, αρχίζουν και δημοσιεύονται τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων προκαλώντας πολλές φορές ποικίλες αντιδράσεις αναλογιζόμενοι ότι το περιβαλλοντικό αντίκτυπο κατά τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος που φαινομενικά είναι πιο οικολογικό δεν είναι απαραίτητο ότι θα είναι μικρότερο από ενός άλλου προϊόντος λιγότερο οικολογικού (Ortiz et al., 2009).

Σε θέμα τυποποίησης της μεθόδου της ΑΚΖ οι πρώτες κατευθυντήριες γραμμές και η αρχική θεμελίωση της μεθόδου πραγματοποιήθηκε το 1990 από την Εταιρεία Περιβαλλοντικής

Τοξικολογίας και Χημείας, όπου και εκδόθηκε ο κώδικας συμπεριφοράς SETAC. Η τυποποίηση εμπλουτίστηκε και διευκρινίστηκε ως προς ορισμένα ζητήματα μέσω του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποιήσεων (International Standardisation Organisation- ISO) αλλά φυσικά μέχρι σήμερα επιδέχεται αλλαγές και βελτιώσεις.

2.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ορισμός-Σκοπός –Στάδια

«Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι ένα διαγνωστικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται κατά την παραγωγή διαφορετικών προϊόντων ή κατά την παραγωγή του ίδιου προϊόντος υπό διαφορετικές συνθήκες παραγωγικής διαδικασίας. Στόχος είναι να εξαχθούν αντιπροσωπευτικά και ασφαλή συμπεράσματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των προκαλούμενων επιπτώσεων, για τη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος ή ακόμη και για το σχεδιασμό νέων προϊόντων και παραγωγικών διαδικασιών.»(<http://www.ecoil.tuc.gr/>)

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα παραπάνω η ΑΚΖ στόχο έχει την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίπτωσης από την παραγωγή προϊόντων καθώς και των διαδικασιών που τα συνοδεύουν αλλά και σε ένα ευρύτερο πλαίσιο αποτελεί μια μέθοδο αξιολόγησης της αειφορίας μιας επιχείρησης.

Η ΑΚΖ αποσκοπεί στο να παρουσιάσει τις αλληλεπιδράσεις μιας εταιρικής δραστηριότητας με το περιβάλλον, στην επίδραση και επιρροή στο σύνολο των περιβαλλοντικών δραστηριοτήτων και στη λήψη αποφάσεων προκειμένου να επέλθουν δράσεις για την περιβαλλοντική βελτίωση.

2.2.1 Λειτουργική Μονάδα

Μια Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως βασικό στοιχείο της έχει τη λειτουργική μονάδα. Ως λειτουργική μονάδα εννοείται το σημείο αναφοράς με βάση το οποίο προκύπτουν οι εισροές και οι εκροές που σχετίζονται με το σύστημα. Η λειτουργική μονάδα, όπως προαναφέρθηκε, είναι σημείο αναφοράς και άρα θα πρέπει να είναι καλά ορισμένη ώστε να αποτελεί μονάδα με βάση την οποία μπορούν να συγκριθούν δυο ξεχωριστά συστήματα για να αποφασιστεί τι επιβαρύνσεις έχει το καθένα.

Πρακτικά, η λειτουργική μονάδα, αποτελεί μέτρο απόδοσης του συστήματος ώστε να εξυπηρετεί τη σαφήνεια και να υπακούει στο σκοπό της μελέτης. Συνεπώς, πρέπει να είναι

από τα βασικά και πρωταρχικά αντικείμενα που θα καθοριστούν πριν ξεκινήσει η μελέτη (Bj, 2002).

2.2.3 Όρια συστήματος

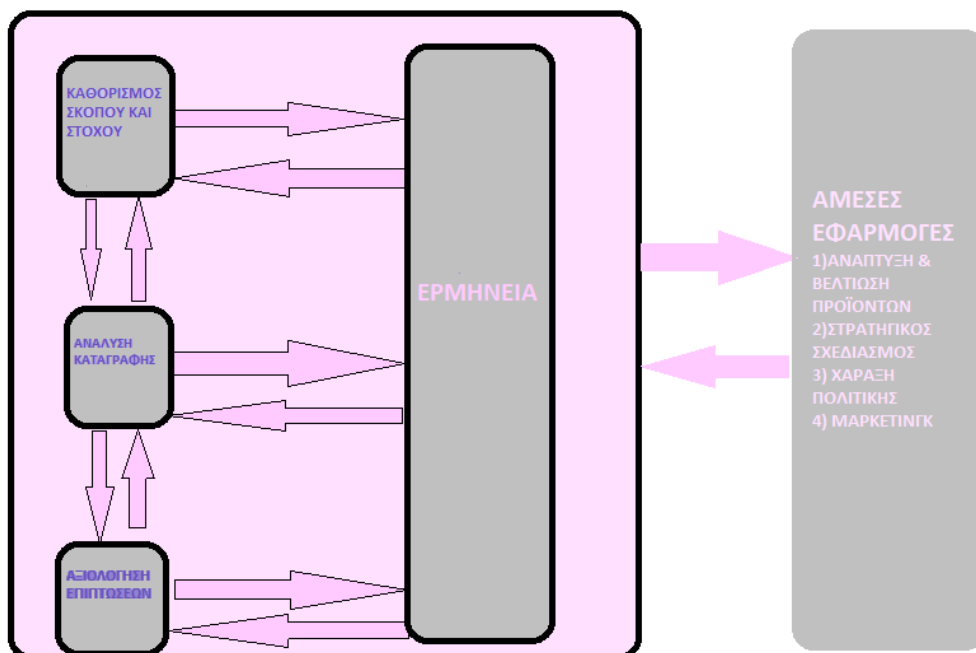
Κάθε κύκλος ζωής απαιτείται να έχει συγκεκριμένες διεργασίες που θα συμπεριληφθούν στην ανάλυση και όχι όλες. Γεννιούνται, λοιπόν, ορισμένα όρια με βάση τα οποία προχωρά η μελέτη. Τέτοιου είδους όρια σχετίζονται με γεωγραφικούς περιορισμούς, χρονικούς, περιβαλλοντικούς και άλλους. Γεωγραφικοί περιορισμοί μπορεί να είναι λόγω διαφοροποίησης σε συστήματα μεταφοράς, υποδομές, διαχείριση αποβλήτων ανά περιοχή. Ως προς τους χρονικούς, σημαντικό είναι να γίνει αντιληπτό ότι τα δεδομένα που εισάγονται και τα αποτελέσματα σε παροντικό χρόνο και οι εκτιμήσεις για το μέλλον βασίζονται σε τωρινά δεδομένα που ενδεχόμενα να αλλάξουν ανάλογα με την τεχνολογική πρόοδο, την αφομοίωση ενός είδους ρύπου από το περιβάλλον κ.α. (Hunt et al., 1996). Επίσης, περιορισμοί μπορεί να τίθενται ώστε να είναι εφικτή η μελέτη ενός κύκλου ζωής γιατί πολλές φορές αυτό δυσκολεύει όταν λαμβάνονται υπόψιν όλοι οι παράγοντες.

Όπως αναφέρθηκε και στην παραπάνω ενότητα η τυποποίηση της ΑΚΖ έχει γίνει κατά SETAC και κατά ISO. Υπάρχει κάποια διαφοροποίηση σχετικά με τα στάδια ανάμεσα στα δυο πρότυπα. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά τα στάδια.

2.2.3 Στάδια κατά ISO

Σε μια ΑΚΖ περιέχονται διεθνή πρότυπα ISO με βάση τα οποία αξιολογούνται οι διαδικασίες και εξάγονται τα ανάλογα συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, τα πρότυπα που αξιοποιούνται είναι:

- ISO 14040: Μέσω αυτού του προτύπου τίθενται οι βασικές αρχές για την οριοθέτηση του συστήματος και γίνεται διευκρίνιση του σκοπού και στόχου της ανάλυσης καθώς.
- ISO 14041: Στη φάση αυτή λαμβάνει χώρα απογραφή δεδομένων.
- ISO 14042: Μέσω αυτού το προτύπου αποτιμώνται οι επιπτώσεις του κύκλου ζωής.
- ISO 14043: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων (Jolliet et al., 2004).



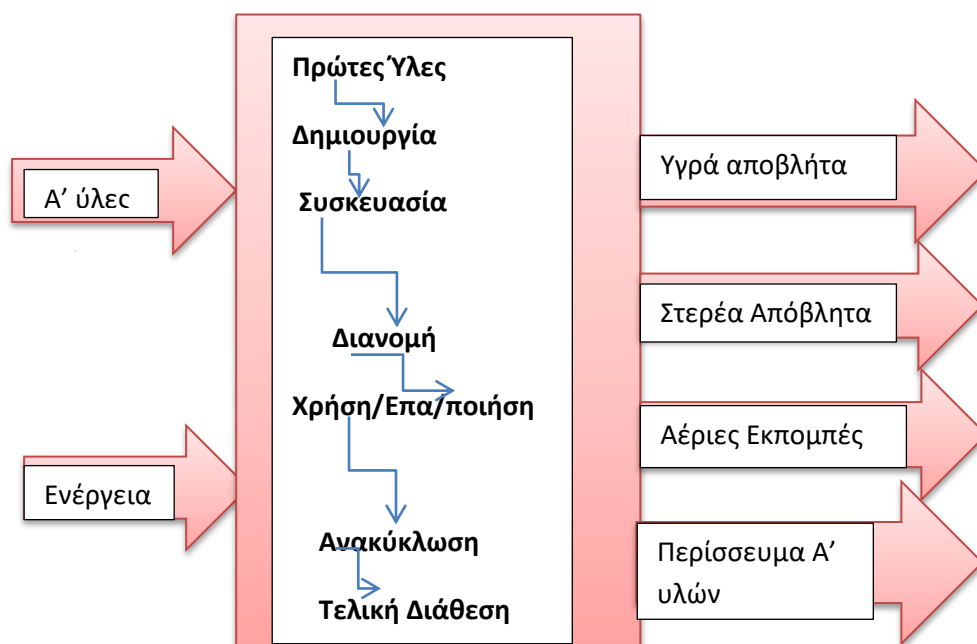
Εικόνα 6: Στάδια στην ΑΚΖ κατά ISO

2.2.3.1 Σκοπός και στόχος της μελέτης (ISO 14040)

Η ΑΚΖ σαν αρχικό στάδιο έχει την στοχοθέτηση και τον καθαρισμό του αντικείμενου γύρω από το οποίο θα γίνει αυτή μελέτη. Έπειτα, επιλέγεται η λειτουργική μονάδα, η μονάδα αυτή αποτελεί σημείο αναφοράς και με βάση αυτή προκύπτουν οι περιβαλλοντικές συνέπειες από τη λειτουργία της. Ύστερα από την επιλογή της λειτουργικής μονάδας καθορίζονται και τα όρια του συστήματος καθώς επίσης αξιολογούνται τα προς εξέταση δεδομένα αναφορικά με την ποιότητα τους (Jolliet et al., 2004).

2.2.3.2 Απογραφή Δεδομένων (ISO 14041)

Αυτό το στάδιο της απογραφής δεδομένων περιλαμβάνει πολλά μικρότερα επιμέρους στάδια εξίσου σημαντικά. Σε γενικές γραμμές μέσω του διαγράμματος ροής αποσαφηνίζονται όλοι οι πρωτογενείς πόροι κατά βάση οι φυσικοί που χρησιμοποιούνται για το σύστημα και όλα εκείνα τα οποία αποσύρονται στο περιβάλλον είτε σαν απορρίμματα είτε σαν ρύποι. Στη συνέχεια, συλλέγονται τα δεδομένα εισάγονται σε ειδικά μοντέλα μέσω των οποίων υπολογίζονται τα περιβαλλοντικά φορτία και έτσι εξάγονται τα σημαντικότερα στάδια για τη δεδομένη ΑΚΖ.

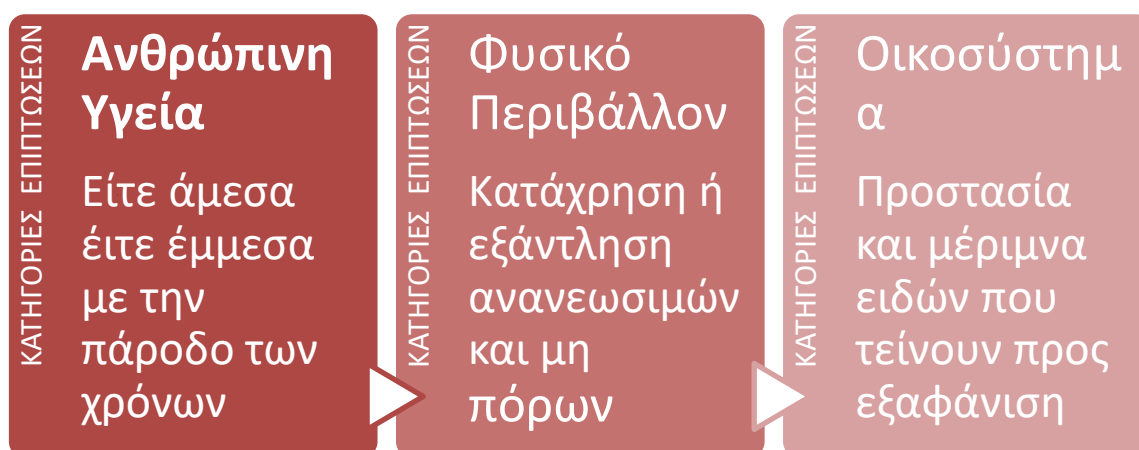


Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής κατά ISO

2.2.3.3 Επιπτώσεις του κύκλου ζωής (ISO 14042)

Με βάση τα πρότυπα ISO για την ανάλυση των επιπτώσεων που προκύπτουν από την ΑΚΖ τα στάδια διακρίνονται σε υποχρεωτικά και προαιρετικά. Στα υποχρεωτικά λαμβάνει χώρα ταξινόμηση των επιπτώσεων και χαρακτηρισμός των δεδομένων ώστε να μετατραπούν τα αποτελέσματα σε δείκτη για κάθε κατηγορία επιπτώσεων. Αντίθετα, στα προαιρετικά στάδια πραγματοποιείται κανονικοποίηση, στάθμιση δεδομένων και απόδοση ενιαίου δείκτη επιπτώσεων (Rostkowski et al., 2012a).

Αναλυτικότερα, σε πρώτη φάση αναφέρονται οι κατηγορίες των επιπτώσεων και οι δείκτες που προέρχονται από εκεί και αντιπροσωπεύουν την κάθε κατηγορία. Στην συνέχεια, υποχρεωτικό στάδιο της απογραφής δεδομένων είναι και η ταξινόμηση όπου τα περιβαλλοντικά φορτία που έχουν προκύψει κατά την απογραφή αντιστοιχίζονται με κατηγορίες επιπτώσεων με τις τρεις βασικότερες να είναι:



Εικόνα 8: Κατηγορίες Επιπτώσεων κατά ISO

Τέλος στα υποχρεωτικά στάδια της ανάλυσης επιπτώσεων ανήκει και ο υπολογισμός των συνολικών δεικτών ανά κατηγορία χρησιμοποιώντας ειδικούς συντελεστές χαρακτηρισμού,

Προαιρετικά, συνίσταται ανάλογα με την περίπτωση να γίνει κανονικοποίηση αποτελεσμάτων ανά κατηγορία αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τις τιμές αναφοράς. Εν συνεχεία, γίνεται ομαδοποίηση των δεδομένων και ορισμένες φορές ανάλυση ποιότητας.

Για να γίνει η ανάλυση και ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται ορισμένα περιβαλλοντικά όρια που έχουν τεθεί και υπολογίζονται δείκτες ανά κατηγορία αποτελεσμάτων. Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται εκτός από εξισώσεις και υπολογιστικά μοντέλα.(Cespi et al., 2015).

2.2.3.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων (ISO 14043)

Το τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό στάδιο είναι εκείνο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων με σκοπό την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων και την δημιουργία μελλοντικών προτάσεων προς βελτίωση. Σε αυτό το στάδιο γίνεται ανάλυση ευαισθησίας και αβεβαιότητας καθώς και προσδιορισμός της ακρίβειας της ανάλυσης.(D'Adamo et al., 2020).

Αρχικά ελέγχεται η συνέπεια της μελέτης με βάση τον αρχικό στόχο αλλά και το αντικείμενο της μελέτης καθώς επίσης και τα όρια που είχαν τεθεί καθώς απόκλιση από αυτό θα αποτελούσε πολύ αρνητική κατάληξη για την μελέτη. Η πληρότητα είναι ένας ακόμα παράγοντας που εξετάζεται. Απαιτείται, λοιπόν, να υπάρχει πληθώρα στοιχείων από όλες τις φάσεις και αρκετή πληροφορία υπό εξέταση. Ακόμα η ανάλυση διαταραχής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την ΑΚΖ. Υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι μπορούν να διαταράξουν το

σύστημα και να συντελέσουν στην επιτυχή ανάλυση ευαισθησίας ή μη ενός συστήματος. Παράλληλα, πραγματοποιείται και άνιση συμβολής με βάση την οποία δίνεται βάση στην συμβολή διαφορών παραγόντων στα τελικά περιβαλλοντικά αποτελέσματα και μόνο. Σημαντικό κομμάτι για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων αποτελεί η ανάλυση ευαισθησίας. Εδώ εξετάζεται κατά πόσο μικρές αλλαγές στα εισαχθέντα δεδομένα θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα καθώς επίσης υπολογίζεται το σφάλμα με βάση εμπειρικά στοιχεία.

Πίνακας 2.1: Δείκτες Ποιότητας σε μια Ανάλυση Κύκλου Ζωής

ΠΟΙΟΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	ΠΟΣΟΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ
ΑΚΡΙΒΕΙΑ	ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ
ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ	ΣΥΓΚΡΙΣΙΜΟΤΗΤΑ
ΚΑΤΑΝΟΜΗ	ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΩΝ
ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ
	ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΣΙΜΟΤΗΤΑ
	ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ

Τέλος, στην ερμηνεία ενδεχομένως το σημαντικότερο κομμάτι αποτελεί η εξαγωγή των συμπερασμάτων και οι προτάσεις ή συστάσεις για το μέλλον με σκοπό τη βελτίωση (Ortiz et al., 2009).

2.2.3.5 Ανάλυση Αβεβαιότητας

Το ευρύ φάσμα δεδομένων που εισάγονται σε μια ΑΚΖ, τα όρια του συστήματος, η μοντελοποίηση καθώς και τα σενάρια τέλους ζωής που απαιτούνται για την πραγματοποίηση μιας ΑΚΖ μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες αβεβαιότητες. Απαιτείται συχνά, λοιπόν, ανάλυση αβεβαιότητας προκειμένου να βρεθεί η αβεβαιότητα των αρχικών δεδομένων αλλά και η αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων (Piemonte, 2011).

Αυτή η προσθήκη σε μια ΑΚΖ δεν είναι πάντα απαραίτητη ενώ πιο συχνά επιλέγεται η απλούστερη μορφή της ανάλυσης ευαισθησίας.

Υπάρχουν δυο κύριες προσεγγίσεις για την μοντελοποίηση της απογραφής μιας ΑΚΖ, η αποδοτική μοντελοποίηση της ΑΚΖ και η επακόλουθη μοντελοποίηση της ΑΚΖ. Στην αποδοτική μοντελοποίηση της ΑΚΖ οι εισροές και οι εκροές αποδίδονται αναδρομικά στην λειτουργική μονάδα του συστήματος προϊόντος μέσω σύνδεσης ή κατάτμησης των διαδικασιών του συστήματος. Σ' αυτού του είδους τη μοντελοποίηση, όλες οι εισροές υλικού και ενέργειας βασίζονται σε δεδομένα μέσης προσφοράς με σκοπό την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών αντικτύπων ενός δεδομένου συστήματος.

Η αποδοτική μοντελοποίηση ΑΚΖ είναι η πιο κοινή προσέγγιση που χρησιμοποιείται στην ΑΚΖ συστημάτων προϊόντων και τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών αποτυπωμάτων. Εδώ, η κατανομή παραπροϊόντων από τα απόβλητα στο τέλος του κύκλου ζωής αναφέρθηκε παραπάνω αλλά εδώ μπορεί να υπάρξει περαιτέρω κατανομή κατά την παραγωγική φάση, που είναι ιδιαίτερα σημαντική συμβαίνει στην προσέγγιση αυτή μέσω επέκτασης του συστήματος, οικονομικής κατανομής, μαζικής και ενεργειακής κατανομής (Kardung et al., 2021).

Από την άλλη πλευρά, η επακόλουθη μοντελοποίηση LCA είναι προοπτική και στοχεύει στη μοντελοποίηση των συνεπειών μελλοντικών αποφάσεων. Είναι μια προσέγγιση μοντελοποίησης συστήματος στην οποία οι δραστηριότητες που περιλαμβάνονται στο συστήματα προϊόντων αξιολογούνται μόνο στο βαθμό που αναμένεται να αλλάξουν ως συνέπεια μιας αλλαγής στη ζήτηση για τη δεδομένη λειτουργική μονάδα. Η επακόλουθη μοντελοποίηση χρησιμοποιεί στα συστήματα προϊόντων που μπορεί να αυξήσουν (ή να μειώσουν) την παραγωγή εάν υπάρξει αύξηση (ή μείωση) στη ζήτηση για ένα προϊόν ή διαδικασία, καθώς και για τα προϊόντα και τις διαδικασίες που υποκαθίσταται σε άλλα συστήματα (δηλαδή επέκταση συστήματος) λόγω πρόσθετης παραγωγής συμπροϊόντων.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν και ορισμένα αποτελέσματα που εξάγονται από την ανάλυση αβεβαιότητας.

2.2.4 Στάδια κατά SETAC

Αφού παρουσιάστηκαν τα επιμέρους στάδια κατά ISO θα γίνει αναφορά στην ενότητα αυτή στα στάδια εκείνα σύμφωνα με το πως έχουν οριστεί κατά SETAC. Αναλυτικά οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα παραπάνω στάδια κατά SETAC είναι:

2.2.4.1 Στοχοθεσία και αντικείμενο μελέτης

Αποτελεί κυρίαρχο στάδιο της ΑΚΖ καθώς εδώ πραγματοποιείται ανάλυση του σκοπού και του αντικειμένου το οποίο είναι προς εξέταση επίσης αναφέρονται τόσο ο λόγος διεξαγωγής της μελέτης αλλά και η λειτουργική μονάδα που αφορά. Είναι εύκολα αντιληπτό, ότι η στοχοθεσία αποτελεί βασικό κομμάτι στην ΑΚΖ. Ο σκοπός, οφείλει να είναι καλά ορισμένος καθώς επίσης να περιλαμβάνεται αιτιολογία



Εικόνα 9: Σήμα SETAC

διεξαγωγής αυτής της ανάλυσης (Bello et al., 2020). Δεν πρέπει να παραληφθεί και ο σκοπός διαχείρισης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Κατά πόσο δηλαδή αυτά θα αξιοποιηθούν για την λήψη μελλοντικών αποφάσεων ως προς την παραγωγική διαδικασία, τις διαδικασίες για περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις ή στόχο έχουν να επηρεάσουν πολιτικές αποφάσεις.

Σαφήνεια έκτος από τον σκοπό θα πρέπει να διέπει και το αντικείμενο της μελέτης, για το οποίο λαμβάνονται υπόψιν δεδομένα σχετικά με τα γεωγραφικά όρια, η ποιότητα και ποσότητα δεδομένων. Προφανώς ενδέχεται να προκύψουν αλλαγές στο αντικείμενο της μελέτης οι οποίες θα οφείλονται είτε σε μεταβολές που θα ανακλύψουν είτε σε κάποιο σημείο που στην αρχή δεν παρουσίαζε ενδιαφέρον αλλά τώρα έχει (Rostkowski et al., 2012a).



Εικόνα 10: Στάδια ΑΚΖ

Τέλος, η λειτουργική μονάδα με τη σειρά της οφείλει να είναι καλά ορισμένη, μετρήσιμη και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου που επικρατούν στο σύστημα

2.2.4.2 Απογραφή Δεδομένων

Στο στάδιο της απογραφής δεδομένων γίνεται καταγραφή όλων των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο εκάστοτε σύστημα. Για την ακρίβεια, παρουσιάζονται δεδομένα που σχετίζονται με την ροή μάζας και ενέργειας μεταξύ των ορίων του μελετούμενου

συστήματος. Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν την εξόρυξη των πρώτων υλών, παραγωγή, συσκευασία, μεταφορά αγαθών ή υπηρεσιών, χρήση και επαναχρησιμοποίηση στη συνέχεια ανακύκλωση ή τελική διάθεση.

Είναι πιθανό, κατά την διάρκεια μιας απογραφής δεδομένων να βρεθούν ελλιπή ή ελάχιστα δεδομένα για κάποιο από τα προαναφερόμενα στάδια. Αυτό προφανώς δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς ενδέχεται να συμβαίνει στην AKZ και να δοθεί περισσότερο έμφαση σε άλλα στάδια. Ωστόσο, επιβάλλεται να έχει διευκρινιστεί πριν την έναρξη της μελέτης, όπως επίσης αν κατά τη διάρκεια της μελέτης βρεθεί ότι κάποια στάδια είναι αμελητέα για τη συνολική μελέτη για το καλό της μελέτης θα πρέπει να αφαιρεθούν (Jander and Grundmann, 2019).

Χρήσιμο συστατικό της απογραφής δεδομένων και διαδικασιών είναι τα διαγράμματα ροής μέσω των οποίων παρουσιάζονται τα συστατικά και οι διαδικασίες μόνο εκείνων των σταδίων που περιλαμβάνονται στη μελέτη.

Η συλλογή δεδομένων αποτελεί ένα εξίσου σημαντικό βήμα για την AKZ και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και χρόνο ώστε να συλλεχθούν τα κατάλληλα δεδομένα που μπορεί να είναι πρωτογενή ή δευτερογενή. Αυτό σημαίνει είτε ότι προέρχονται από αναφορές, μελέτες, βάσεις δεδομένων ακόμα και εργαστηριακά αποτελέσματα τα οποία εισάγονται σε μοντέλα (Roy et al., 2009).

Σημαντικό ρόλο εκτός από τη συλλογή των δεδομένων και την αξιοπιστία των πηγών παίζει και η ποιότητα των δεδομένων καθώς αυτά θα πρέπει να δίνουν απαντήσεις στα ερωτήματα εκείνα που θέτει η μελέτη. Η ποιότητα αυτή απαιτεί επένδυση χρόνου και χρήματος ώστε να είναι σωστά προσανατολισμένη.

Και σ' αυτή την μέθοδο είναι απαραίτητη η ανάλυση ευαισθησίας καθώς μπορούν να εντοπιστούν έγκαιρα οποιοδήποτε περιορισμοί αλλά ακόμα και να βρεθούν νέα δεδομένα ή να απορριφθούν κάποια άλλα.

2.2.4.3 Εκτίμηση Επιπτώσεων

Στο στάδιο αυτό της AKZ εκτιμώνται τα αποτελέσματα και κατά βάση οι αρνητικές συνέπειες σε περιβαλλοντικό επίπεδο που προκύπτουν από το προηγούμενο στάδιο.

Φαίνονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον που μπορεί να δημιουργεί το κάθε επιμέρους στάδιο

καθώς αυτές σχετίζονται με την επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού αέρα, των υδάτων, του εδάφους της βιοποικιλότητας κ.α (David et al., 2021).

Έτσι, ορίζονται ορισμένοι περιβαλλοντικοί δείκτες με βάση τους οποίους προκύπτουν τα παραπάνω συμπεράσματα και οι οποίοι έχουν εξεταστεί ως προς ορισμένες παραμέτρους προτού χρησιμοποιηθούν για να είναι βέβαιο ότι το αποτέλεσμα το οποίο θα δώσουν θα είναι σχετικό με την μελέτη. Έτσι απαιτείται οι δείκτες αυτοί να έχουν χρηστικότητα ως προς τη χρήση τους δηλαδή να είναι βασισμένοι σε τιμές αναφοράς και σε διεθνή πρότυπα, απλοί και αντιληπτοί. Ακόμα, απαιτούν το χαρακτηριστικό της μετρησιμότητας με υψηλή τεκμηρίωση, ανανεώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα και είναι εύκολα διαθέσιμοι. Τέλος, απαιτείται να είναι καλά ορισμένοι και να μπορούν να συνδεθούν με μοντέλα οικονομικού, κοινωνικού προφίλ και να στηρίζονται από πληροφοριακά μοντέλα.

2.2.4.4 Βελτιώσεις

Στο τελευταίο στάδιο της AKZ σύμφωνα με τη μέθοδο SETAC τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων που στόχο έχουν να διαφοροποιήσουν ή να καθιερώσουν νέες δραστηριότητες της εταιρείας με διττό στόχο και την εταιρική εξέλιξη και την περιβαλλοντική φροντίδα. Εντοπίζονται δηλαδή τα στάδια ή οι ενέργειες που επιδέχονται αλλαγές προς βελτίωση και μεταβάλλονται κατάλληλα.

Συνολικά, φαίνεται ότι και με βάση τα δυο πρότυπα υπάρχουν αρκετά κοινά ως προς τα στάδια αλλά και διαφοροποιήσεις ανάλογα με το που δίνεται βάση. Εντοπίζεται γενικότερα ότι με τη μέθοδο κατά ISO υπάρχει ενδεχομένως μεγαλύτερη ακρίβεια για τις ενέργειες που λαμβάνουν χώρα στα επιμέρους στάδια.

2.2.5 Προβλήματα – Ελλείψεις –Σημεία προς βελτίωση στην τυποποίηση των μεθόδων

Όπως φαίνεται αν και η AKZ μετράει δεκαετίες από τότε που πρωτοεμφανίστηκε υπάρχουν ακόμα σημεία που απαιτούν βελτίωση και περαιτέρω ενασχόληση ώστε να τελειοποιηθούν.

Συγκεκριμένα, σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις επειδή υπάρχουν ποικίλοι τύποι που προκύπτουν από το στάδιο απογραφής δεδομένων απαιτείται ενιαία μονάδα ώστε όλες οι επιβαρύνσεις να μετατραπούν στην ίδια μονάδα. Ακόμα, όταν υπάρχουν περισσότερα του ενός προϊόντα σε ένα σύστημα δεν είναι εφικτό να υπολογιστούν οι περιβαλλοντικές

επιβαρύνσεις που αντιστοιχούν στο εκάστοτε προϊόν. Τότε, η κατανομή των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων επειδή δεν μπορεί να γίνει μεμονωμένα έχει προταθεί να προκύπτει με βάση την αναλογία των μαζών αυτών στο σύστημα. Παρόμοια διαχείριση έχει επιλεγεί να πραγματοποιείται και στην περίπτωση κοινής επεξεργασίας των αποβλήτων που προκύπτουν από τα επιμέρους στάδια. Ακριβώς επειδή, δεν είναι εφικτός ο υπολογισμός των ρύπων ανά στάδιο γίνεται υπολογισμός των συνολικών ρύπων και στη συνέχεια κατανομή τους αναλογικά με τη μάζα αυτών (Hunt et al., 1996).

Τέλος, απαιτείται διευκρίνηση ως προς τη μετατροπή των αποτελεσμάτων της απογραφής δεδομένων στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούν. Υπάρχει ακόμα ένα θολό τοπίο και εξετάζονται οι κατάλληλοι περιβαλλοντικοί δείκτες.

2.2.6 Βασικές παράμετροι σε μια ανάλυση κύκλου ζωής

Είναι εύλογο όταν νέα προϊόντα με τον χαρακτηρισμό του ανανεώσιμου έρχονται και αντικαθιστούν τα προϋπάρχοντα πετροχημικής προέλευσης να γεννιούνται ερωτήματα σχετικά με την περιβαλλοντική τους επίπτωση, καθώς ανανεώσιμο δεν σημαίνει και απαραίτητα περιβαλλοντικά φιλικό. Μια πληθώρα παραγόντων μπορούν να καθορίσουν ένα προϊόν ως προς την φιλικότητά του στο περιβάλλον, όπως είναι οι γεωργικές πρακτικές, οι διαδικασίες εξόρυξης, παραγωγής κ.α (Chen et al., 2016).

Προκειμένου, να απαντηθούν αυτά και να εξαχθούν τα ασφαλέστερα αποτελέσματα και συμπεράσματα είναι καλό να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο ανάλυσης κύκλου ζωής. Τα πιθανά είδη ανάλυσης μπορούν να είναι:

- Cradle to Gate: Από την εξόρυξη πρώτων υλών στην θύρα της βιομηχανίας.
- Cradle-to-Grave: Από την εξόρυξη πρώτων υλών στην χρήση του προϊόντος και την απόθεση του.
- Gate-to-Gate: Από ένα καθορισμένο σημείο κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής που σχετίζεται με την αξιοποίηση των πρώτων υλών στην παραγωγική διαδικασία μέχρι ένα άλλο καθορισμένο σημείο όπου το προϊόν διατίθεται στον τελικό χρήστη.

Τα όρια κάθε συστήματος προσδιορίζονται με βάση τη μελέτη στόχο. Ο στόχος είναι η μελέτη και κατανόηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των πρώτων υλών, των ημιετοιμιωμένων ενδιάμεσων προϊόντων ή των τελικών προϊόντων. Υπάρχουν, ακόμα, αναλύσεις προερχόμενες από την ανάλυση κύκλου ζωής όπως η ανάλυση «Cradle to Cradle» συμπληρωματικές της

Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για προϊόντα που ανακυκλώνονται στο τέλος της ζωής τους (Heijungs et al., 2017).

Η AKZ περιλαμβάνει μια πληθώρα μετρήσεων. Οι πιο κοινές μετρήσεις που πραγματοποιούνται κατά την μελέτη και ορισμένες πληροφορίες για τη χρήση τους. Μερικές επεξηγούνται λεπτομερώς παρακάτω:

- Αθροιστικά Απαιτούμενη Ενέργεια (Cumulative Energy Demand (CED)): Συνολική ενέργεια που καταναλώνεται σε όλο τον κύκλο ζωής στη λειτουργική μονάδα (συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των απορριμμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής).

- Συσσωρευτική ζήτηση ενέργειας ορυκτών καυσίμων (Cumulative Fossil Energy Demand CFED): Αποτελεί υποσύνολο της προηγούμενης κατηγορίας και περιγράφει την συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια που προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα (συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των απορριμμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής). Ενδεικτικά, αναφέρουμε το αργό πετρέλαιο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο.

- Συσσωρευτική ζήτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Cumulative Renewable Energy Demand CRED): Αποτελεί και αυτή μια υποκατηγορία του CED και περιγράφει το σύνολο της ενέργειας στον κύκλο ζωής μιας λειτουργικής μονάδας με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανήκει η ηλιακή ενέργεια, τα φωτοβολταϊκά, υδροηλεκτρική ενέργεια, αιολική, γεωθερμία.

- Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential GWP): Είναι γνωστό και ως αποτύπωμα άνθρακα. Σ' αυτή την κατηγορία αντανακλώνται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε χρονικό διάστημα που ανέρχεται συνήθως τα 100 έτη, ως προς τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα πιο γνωστά αέρια είναι το CO₂ διοξείδιο του άνθρακα, CH₄ μεθάνιο, N₂O υποξείδιο του αζώτου.

- Δυναμικό καταστροφής του όζοντος (Ozone Depletion Potential ODP): Μια κατηγορία που αντανακλά τη σχετική επίδραση των συνολικών εκπομπών αερίων που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον κατά τον κύκλο ζωής του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Το στρατοσφαιρικό όζον υπάρχει ως ένα στρώμα αερίου φυσικής προέλευσης στην ανώτερη ατμόσφαιρα που προστατεύει τα ζωντανά κύτταρα από την υπερβολική έκθεση στην ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Η

υπερβολική έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει, για παράδειγμα, καρκίνο του δέρματος αλλά και μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών.

• Δυναμικό Οξίνωσης (Acidification Potential AP): Κατηγορία που αντανακλά τη σχετική επίδραση των συνολικών εκπομπών του όξινων αερίων (π.χ. οξείδια θείου (SO_x), αζωτούχα οξείδια (NO_x), υδροχλωρικό οξύ (HCl), υδροφθορικό οξύ (HF), αμμωνία (NH₄)) σε όλη τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος που χρησιμοποιείται για την παροχή μιας μονάδας υπηρεσίας(η λειτουργική μονάδα), συμπεριλαμβανομένων της διαχείρισης των απορριμμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η εναπόθεση αυτών των εκπομπών μπορεί να προκαλέσει οξίνιση των υδάτινων σωμάτων και των εδαφών και μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των κτιρίων.

• Δυναμικό ευτροφισμού (Eutrophication Potential EP): Κατηγορία που αντανακλά την υπερανάπτυξη των φυκιών που προκαλείται από εκπομπές των περιοριστικών θρεπτικών συστατικών (ενώσεων που περιέχουν φώσφορο ή άζωτο) άμεσα ή έμμεσα σε υδάτινα σώματα (λίμνες, ποτάμια, εκβολές ποταμών, κ.λπ.) και του εδάφους καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος που χρησιμοποιείται συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

• Δυνατότητα δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος (Photochemical Ozon creativity Potential POCP): Μια κατηγορία που αντανακλά τη σχετική επίδραση των συνολικών εκπομπών των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξείδια του αζώτου σε όλη τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των απορριμμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (εκτός μεθανικών υδρογονανθράκων) παρουσία οξειδίων του αζώτου και ηλιακού φωτός μπορεί να οδηγήσει σε χημικές αντιδράσεις που σχηματίζουν όζον (O₃) κοντά στο επίπεδο του εδάφους (το λεγόμενο φωτοχημικό νέφος).

• Αποτύπωμα καταναλισκόμενου νερού και αποτύπωμα εκπομπών νερού (Consumptive Water Footprint and Water Emissions Footprint CWF & WEF): Αυτή η κατηγορία περιγράφει την συνολική απαίτηση σε νερό για όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Ουσιαστικά διαχωρίζεται σε αλμυρό, γλυκό νερό ανάλογα με την πηγή προέλευσης.

• Ανάλυση Τοξικότητας για το Περιβάλλον και την Ανθρώπινη Υγεία (Eco and Human Toxicity Assessment EHTA): Εδώ χρησιμοποιούνται μοντέλα αξιολόγησης που χρησιμοποιούν ειδικούς χημικούς παράγοντες χαρακτηρισμού που ποσοτικοποιούν την

περιβαλλοντική επίδραση των εκπομπών αλλά και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στα οικοσυστήματα.

• **Αλλαγή χρήσης γης (Land use change LUC).** Αυτό ο δείκτης ουσιαστικά χρησιμεύει για την μετατροπή της γης από την αρχική κατάσταση που ήταν ως δασική έκταση, καλλιεργήσιμη, βοσκότοπο κ.α. σε μια «αλλοιωμένη» μορφή που προέρχεται από την παραγωγή γεωργικών ή δασικών προϊόντων με αλλαγές στις εκπομπές GHG και το απόθεμα άνθρακα του εδάφους.

• **Έμμεση αλλαγή χρήσης γης (Indirect land use change ILUC).** Ένας επίσης σημαντικός δείκτης ο οποίος βρίσκεται υπό ανάπτυξη είναι η μετατόπιση της πρωτογενούς χρήσης της γης από μια εμπορική καλλιέργεια σε διαφορετική τοποθεσία με αποτέλεσμα αλλαγές και πάλι στις εκπομπές GHG (Heijungs et al., 2017).

2.2.6.1 Λειτουργίες που μπορούν και δεν μπορούν να επιτευχθούν μέσω της AKZ

Μέσω μιας ανάλυσης κύκλου ζωής επιτυγχάνονται μια σειρά από δυνατότητες οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να βελτιώσουν το προϊόν, τον τρόπο παραγωγής του ή και συνδυασμό αυτών.

Είναι δυνατόν, λοιπόν, να επιτευχθεί μέσω της AKZ:

- ✓ Υποστήριξη της λήψης αποφάσεων και ανάδειξη της αποτελεσματικότητας ευκαιριών που αναδεικνύονται σε μια αλυσίδα αξίας.
- ✓ Κατανόηση των βιομηχανικών συστημάτων που εμπλέκονται στην κατασκευή προϊόντων και παροχή υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες.
- ✓ Βελτιστοποίηση των βιομηχανικών συστημάτων μέσω της αναγνώρισης των διεργασιών στην αλυσίδα αγοράς που επιδέχονται τις περισσότερες ευκαιρίες για βελτίωση γνωστά ως “hot spots”.
- ✓ Διασφάλιση ότι οι αλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί για να βελτιώσουν ένα μέρος του βιομηχανικού συστήματος δεν μετατοπίζουν το βάρος, με το να μετακινούν ένα πρόβλημα ή να δημιουργούν ένα νέο ζήτημα σε άλλο κομμάτι της αλυσίδας.
- ✓ Ενημέρωση των υπευθύνων που λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με τους συμβιβασμούς που θα έχει μια απόφαση για την ισορροπία των επιπτώσεων σε περιβαλλοντικό επίπεδο.

- ✓ Σύγκριση δυο συστημάτων που προσφέρουν το ίδιο προϊόν ή υπηρεσία με βάση τη λειτουργική μονάδα. (Να σημειωθεί ότι η σύγκριση έχει νόημα για όμοια προϊόντα και όχι για ανόμοια.)
- ✓ Ένδειξη για την επίδραση μιας επένδυσης βελτίωσης σε ένα μέρος της αλυσίδας και αν έχει κάποιο βελτιωτικό αποτέλεσμα σε όλο τον κύκλο ζωής.
- ✓ Παροχή συγκριτικής αξιολόγησης των διαδικασιών μιας εταιρείας σε σχέση με τον βιομηχανικό μέσο όρο σε παρόμοιες διαδικασίες για την απόκτηση δυνατοτήτων βελτίωσης.
- ✓ Παροχή χειροπιαστών μετρήσεων όπως το αποτύπωμα άνθρακα.

Όπως είναι εμφανές υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα από τις δυνατότητες που προκύπτουν μέσω του εργαλείου της AKZ, αλλά το ίδιο δεν είναι δυνατόν να επιτελέσει και πολλές άλλες δυνατότητες τις οποίες εσφαλμένα θεωρούμε ότι επιτελεί. (Roy et al., 2009)Συγκεκριμένα, μια AKZ

- Δεν μετρά πόσο αποδοτικό είναι ένα προϊόν ή τα συστατικά αυτού, ούτε μας δίνει πληροφορίες αν το προϊόν το οποίο αναλύουμε θα έχει καλύτερη ή χειρότερη απόδοση από κάποιο άλλο προϊόν. Δίνει πληροφορίες για τον κύκλο ζωής των εισροών και των εκροών κατά την παραγωγή του προϊόντος.
- Δεν σχετίζεται με την συμμόρφωση με την περιβαλλοντική νομοθεσία. Η συμμόρφωση λαμβάνεται ως η βάση και η AKZ αναλαμβάνει την μέτρηση του συστήματος του προϊόντος και αν πληροί τα τοπικά και περιφερειακά περιβαλλοντικά πρότυπα.
- Μια AKZ δεν περιλαμβάνει τη ενέργεια ή τα απόβλητα που συνδέονται με την κατασκευή κεφαλαιουχικού εξοπλισμού, συμπεριλαμβανόμενου του εξοπλισμού για την κατασκευή κτιρίων, μηχανοκίνητων οχημάτων, βιομηχανικού εξοπλισμού τα οποία επίσης δεν περιλαμβάνονται.
- Μια AKZ δεν περιλαμβάνει, επίσης, ανάλυση για τις απαιτήσεις του προσωπικού υποστήριξης ούτε και της ενέργειας και των αποβλήτων που σχετίζονται με την έρευνα και ανάπτυξη, πωλήσεις, διοικητικό προσωπικό ή συναφείς δραστηριότητες.
- Στις AKZ δεν μετριέται ο κλιματιζόμενος χώρος. Τόσο τα καταναλισκόμενα καύσιμα όσο και η καταναλισκόμενη ενεργειακή ισχύς που χρησιμοποιούνται για

θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των εγκαταστάσεων παραλείπονται από τους υπολογισμούς στις περισσότερες περιπτώσεις. Αυτό γιατί στις περισσότερες περιπτώσεις η καταναλισκόμενη ενέργεια ή καύσιμα για την παραγωγή του προϊόντος είναι πολύ υψηλότερη από των εγκαταστάσεων.

- Επίσης, στην AKZ δεν περιλαμβάνονται υλικά που προστίθενται σε πολύ μικρές ποσότητες όπως καταλύτες ή χρωστικές ή άλλα πρόσθετα που αποτελούν ποσοστιαία λιγότερο από το 1% του συνολικού βάρους των εισροών της διεργασίας. Έτσι κατά βάση, αυτά δεν περιλαμβάνονται στην αξιολόγηση εκτός και αν τα δεδομένα τους είναι τόσο άμεσα διαθέσιμα ή θεωρείται ότι να έχουν σημαντική συμβολή στην κατανάλωση ενέργειας ή τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Μια AKZ δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις άμεσες επιπτώσεις που έχει ο κάθε εργαζόμενος σε σχέση με την μεταφορά του από και προς την εργασία καθώς και τα απόβλητα του μεσημεριανού γεύματος.
- Επίσης, μια AKZ δεν περιλαμβάνει τις ίδιες πληροφορίες με μια ανάλυση αξιολόγησης κινδύνου. Ενδεχομένως, σε μια AKZ να περιλαμβάνονται κάποιοι κίνδυνοι που σχετίζονται και με το περιβάλλον αλλά ο υπολογισμός συντελεστών που μπορεί να σχετίζονται με παράγοντες επικινδυνότητας για την ανθρώπινη υγεία είναι πέρα από το πεδίο που εξετάζει μια AKZ.
- Τέλος, μια AKZ δεν καθορίζει ποια είναι η ενδεδειγμένη πορεία των ενεργειών που πρέπει να γίνουν αλλά παρέχει αποτελέσματα που θα βοηθήσουν τους ενδιαφερόμενους να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις με βάση την αξιολόγηση (Narayan, 2011).

2.2.6.2 Τα δυνατά και τα αδύναμα σημεία της AKZ

Μια AKZ είναι το εργαλείο μέσω του οποίου μπορεί να γίνει ολική ανάλυση του συστήματος που χρησιμοποιείται για να παράξει υπηρεσίες σε τελικούς χρήστες. Από τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος υπάρχουν πολλά στάδια τα οποία μπορούν να ληφθούν υπόψιν όπως π.χ.

- Εισροές και Εκροές στην παραγωγή
- Στάδιο διανομής και μεταφοράς του προϊόντος
- Χρήση καυσίμων, ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας
- Διάθεση απορριμμάτων των διεργασιών αλλά και προϊόντων

- Ανάκτηση των χρησιμοποιημένων προϊόντων (επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση ενέργειας)
- Κατασκευή βοηθητικών υλικών και συντήρηση του κεφαλαιουχικού εξοπλισμού
- Πρόσθετες λειτουργίες όπως φωτισμός και θέρμανση

Και όλα αυτά αποτελούν κάποια απλά παραδείγματα από τα στάδια που λαμβάνουν χώρα στο κύκλο ζωής ενός προϊόντος και τα οποία λαμβάνονται υπόψιν για την εξαγωγή συμπερασμάτων (Bj, 2002).

Συνεπώς, η AKZ προσφέρει μια ολιστική εικόνα των διεργασιών μιας εταιρείας ή υπηρεσίας μετρώντας εισροές προς και εκροές από όλες τις μονάδες των διεργασιών μέχρι την παράδοση στον τελικό χρήστη. Οι εισροές περιλαμβάνουν πρώτες ύλες, ουσίες που διευκολύνουν τη διαδικασία, συστατικά και ενέργεια, ενώ οι εκροές περιλαμβάνουν προϊόντα συμπαράγωγα και απόβλητα. Εξορισμού μια AKZ δεν εξετάσει μόνο μια περιβαλλοντική παράμετρο αλλά όλες τις σχετικές πτυχές.

Λόγω, αυτής της ολιστικής φύσης που έχει μια AKZ μπορεί να μην αποτελεί το κατάλληλο εργαλείο για μεμονωμένες διεργασίες μιας μονάδας και την λήψη αποφάσεων σχετικά με αυτές και ίσως να προτιμάται μια ανάλυση επικινδυνότητας ή μια περιβαλλοντική ανάλυση σ αυτές τις περιπτώσεις (Barbi et al., 2021).

Συμπερασματικά, η AKZ είναι κατάλληλο εργαλείο προς χρήση για κάποιον που επιθυμεί ένα εργαλείο που βασίζεται σε αναλυτική μέθοδο βασισμένη σε συλλογή δεδομένων, που λαμβάνει υπόψιν τον πλήρη κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή διεργασίας, που διαθέτει μια ποικιλία μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων γεγονός που την καθιστά αρκετά ανθεκτική εξετάζοντας διαφορετικές οπτικές, που είναι ευέλικτη και δρα υποστηρικτικά στη λήψη αποφάσεων. Από την άλλη, δεν μπορεί να συμπεριλάβει αλλαγές που συντρέχουν στον πέρασμα του χρόνου, μπορεί να δώσει στοιχεία για να υποκινήσει τη λήψη αποφάσεων αλλά όχι βέβαιη απάντηση, η έλλειψη αριθμητικών στοιχείων για δεδομένα θέματα του κύκλου ζωής στερεί την εξαγωγή αποτελεσμάτων με βάση τα άλλα θέματα για τα οποία υπάρχει τροφοδότηση και τέλος, δεν υπάρχει μέχρι στιγμής κάποια κλίμακα που να κατατάσσει το score της κάθε AKZ ώστε να είναι πιο κανονικοποιημένη η στάθμιση (Del Borghi, 2013).

2.2.6.3 Εργαλεία που επικοινωνούν τα αποτελέσματα μιας AKZ

- *Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντων (Environmental Product Declaration EPDs)*

Με βάση το πρότυπο ISO 14025 που αποτελεί τη βάση για τις Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντων σχετίζεται με τις πρώτες AKZ που έλαβαν χώρα. Μέσω των EPDs δηλώνεται η περιβαλλοντική απόδοση του κύκλου ζωής των προϊόντων και υπηρεσιών. Δεν στοχεύει στην δήλωση περιβαλλοντικής υπεροχής δεν έχει σκοπό σύγκρισης αλλά περισσότερο οικολογικής ετικέτας. Σε αρκετές χώρες, τα EPDs είναι αναπόσπαστο κομμάτι της AKZ καθώς μέσα σε αυτά περιέχονται στοιχεία για το αποτύπωμα άνθρακα, την οξίνιση των υδάτων, την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων αλλά και πληροφορίες για την ανακύκλωση της καταναλισκόμενη ενέργεια κ.α (Del Borghi, 2013).

- *Κανόνες κατηγορίας προϊόντων (Products Category Rules PCR)*

Η κατηγορία αυτή εξαρτάται πολύ από την προηγούμενη μιας και απαραίτητη προϋπόθεση για την διεξαγωγή EPD είναι η ίδρυση PCR για το δεδομένο προϊόν ή ενός συστήματος που εξετάζεται με βάση τις επιταγές του ISO 14025. Η διαδικασία για την ανάπτυξη των κανόνων κατηγορίας προϊόντος αποτελείται από την συγκέντρωση μιας ομάδας εμπειρογνομόνων που εκπροσωπούν τις βιομηχανίες και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη. Το εργαλείο PCR επανεξετάζεται από ομάδα ανεξάρτητων εμπειρογνομόνων και ένας υπεύθυνος προγράμματος διορίζεται για τη διαχείριση του συστήματος EPD και PCR.

Οι πρώτοι τομείς στους οποίους βρήκε εφαρμογή είναι τα προϊόντα διατροφής, μόνωσης και ανταλλακτικά αυτοκινήτων. Ουσιαστικά αυτό το εργαλείο είναι ένας οδηγός των βημάτων που πρέπει να ακολουθηθούν για την υποστήριξη ενός EPD και την διεξαγωγή της AKZ. Ο βασικός στόχος των κανόνων κατηγορίας προϊόντων είναι να τεθεί εύφορο έδαφος για το τι εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής της AKZ και αυτό να πραγματοποιείται με ελεγχόμενο και συνεπή τρόπο (Del Borghi, 2013).

- *Αποτύπωμα Νερού*

Μέσω της ιστοσελίδας www.waterfootprint.org υπάρχει ο στόχος για τη μετάβαση προς μια βιώσιμη, δίκαιη και αποτελεσματική χρήση των πόρων γλυκού νερού και παγκοσμίως η προώθηση της έννοιας του «υδάτινου αποτυπώματος» για την αύξηση της ευαισθητοποίησης

μεταξύ των κοινοτήτων, κυβερνήσεων και επιχειρήσεων διαχείρισης υδάτων που μειώνουν τις αρνητικές οικολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις της χρήσης νερού.

Η εκτίμηση χρήσης νερού στην AKZ παρέχει ένα πλαίσιο εντός του οποίου μπορεί να μετρηθεί και να συγκριθεί η περιβαλλοντική απόδοση ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας σε σχέση με τη χρήση γλυκού νερού.

- ο *Αποτύπωμα Άνθρακα*

Το αποτύπωμα άνθρακα είναι δείκτης κλιματικής αλλαγής και προκύπτει από μια ολοκληρωμένη AKZ. Ουσιαστικά, εκπροσωπεί τον συνολικό κύκλο ζωής όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, NO₂) που προκύπτουν κατά την κατασκευή, επεξεργασία, χρήση και απόσυρση ενός προϊόντος. Υπάρχουν, σαφώς, δεδομένα πρότυπα για το αποτύπωμα άνθρακα τα οποία σχετίζονται με τις αρχές της AKZ και έχουν προέλθει από φορείς όπως The British Standards Institution (BSI), WRI/WBCSD, αλλά και το ISO 14067. Και τα τρία πρότυπα παρέχουν απαιτήσεις και κατευθυντήριες οδηγίες των αποφάσεων που πρέπει να ληφθούν όταν διενεργείται μια μελέτη αποτυπώματος άνθρακα. Οι αποφάσεις περιλαμβάνουν θέματα AKZ, όπως στοχοθεσία, συλλογή δεδομένων, ορισμός ορίων συστήματος και καταγραφή αναφοράς (Pinsonnault et al., 2014).

Επιπλέον, αυτά τα πρότυπα παρέχουν απαιτήσεις για συγκεκριμένα θέματα σχετικά με τα αποτυπώματα άνθρακα, συμπεριλαμβανομένης της αλλαγής χρήσης γης, της πρόσληψης άνθρακα, των βιογενών εκπομπών άνθρακα, της αλλαγής του άνθρακα του εδάφους, του χρονικού πλαισίου αξιολόγησης και της πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας.

Είναι εμφανές, μετά το τέλος αυτού του κεφαλαίου ότι η AKZ είναι ένα χρήσιμο εργαλείο αρκετά αξιόπιστο που παρέχει πλήθος πληροφοριών. Βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς και αποτελεί σημαντικό εφόδιο για τον ορθό προσανατολισμό και την λήψη αποφάσεων για μια πιο οικολογική δραστηριότητα των επιχειρήσεων. Ωστόσο, δεν εμβαθύνει τόσο στους κινδύνους που ελλοχεύουν σε κάθε στάδιο και δεν μπορεί να έχει διάρκεια στο χρόνο καθώς εξαρτάται από τα δεδομένα με τα οποία τροφοδοτείται για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Pinsonnault et al., 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) είναι γνωστό ότι αποκτά μεγαλύτερη προβολή χρόνο με το χρόνο. Μέσα από την ίδια αποτυπώνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με ένα δεδομένο προϊόν ή υπηρεσία καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Όπως είναι φυσικό σε μια ΑΚΖ απαιτείται να διαχειριστούν πολλά δεδομένα και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία λογισμικού προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία.

Από αυτά τα εργαλεία σε ορισμένα η πρόσβαση είναι δωρεάν ενώ σε άλλη επι πληρωμή και αυτά μπορεί να διαφοροποιούνται ως προς τη λειτουργικότητα, τη διαθεσιμότητα βάσεων δεδομένων και των συνόλων δεδομένων καθώς επίσης και την ποιότητα αλλά και τον τρόπο διαχείρισης αυτών. Ακόμα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι αρχές μοντελοποίησης για τις συγκεκριμένες μεθόδους (Spatari et al., 2001).

Ορισμένα εργαλεία λογισμικού δίνουν τη δυνατότητα ανάλυσης μιας μεγάλης γκάμας χαρακτηριστικών ενώ άλλα είναι εστιασμένα μόνο σ' ένα βασικό χαρακτηριστικό όπως είναι η διαχείριση αποβλήτων. Προφανώς, ο σκοπός για τον οποίο ο χρήστης επιθυμεί να κάνει μια ΑΚΖ κατευθύνει και το πρόγραμμα το οποίο θα επιλέξει, υπάρχουν όμως κάποιες κοινές ιδιότητες τις οποίες πρέπει να εξυπηρετεί κάθε εργαλείο λογισμικού (Silva and Nunes, 2017).

3.1 Διαφοροποίηση του κοινού στο οποίο απευθύνεται το πρόγραμμα λογισμικού

Οι ομάδες χρηστών των διαφόρων λογισμικών LCA είναι ποικίλες.

Α'ΟΜΑΔΑ : Επιστημονικό-Ερευνητικό προσωπικό

Το χαρακτηριστικό των χρηστών αυτής της ομάδας είναι η εμπειρία με την ΑΚΖ και η βαθιά και καλή γνώση του αντικειμένου. Αυτό έχει ως λογικό ακόλουθο τις υψηλές απαιτήσεις απέναντι στο εργαλείο που χρησιμοποιούν. Η εξοικείωση τους με το αντικείμενο αντικατοπτρίζει την αναγκαιότητα τους για ένα εργαλείο που προσφέρει ευελιξία ως προς την μοντελοποίηση σεναρίων που τα χρησιμοποιούν συχνά αλλά και εκείνων που αποκλίνουν από τα πρότυπα.

Επίσης, τα δεδομένα ακριβώς επειδή δεν είναι δικά τους σε αντίθεση με τους επαγγελματίες θα πρέπει να είναι επαρκή αλλά και να δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας νέων συνόλων δεδομένων ή τροποποίησης σε ήδη υπάρχοντα.

B'ΟΜΑΔΑ: ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Ο στόχος της βιομηχανίας από την άλλη πλευρά είναι άλλος. Η βιομηχανία χρησιμοποιεί τα λογισμικά του LCA με σκοπό τη βελτίωση των περιβαλλοντικών της επιβαρύνσεων, για βελτιστοποίηση των διαδικασιών αλλά και με την προοπτική ανάπτυξης νέων προϊόντων. Αυτό που επιδιώκουν οι χρήστες σ' αυτή την περίπτωση είναι ένα λογισμικό έτοιμο προς χρήση όπου οι περισσότερες προδιαγραφές τους είναι προκαθορισμένες και απομένουν μόνο ελάχιστες παράμετροι να συμπληρωθούν. Συνεπώς, χρησιμοποιούν την AKZ για την παρουσίαση αποτελεσμάτων και την λήψη αποφάσεων σχετικά με το ποια επιλογή είναι η καλύτερη.

Τα προγράμματα, λοιπόν, των AKZ στόχο έχουν να ικανοποιήσουν και τις δυο ομάδες χρηστών ώστε να αποτελέσουν αγοραστική επιλογή και από τις δυο πλευρές τουλάχιστον στην πλειονότητα των χαρακτηριστικών τους (Silva and Nunes, 2017).

3.2 Δομή μοντέλου

Ένα εργαλείο λογισμικού αποτελείται από βάση δεδομένων και την μοντελοποίηση. Η μοντελοποίηση περιέχει την σύνδεση με διαδικασίες οι οποίες έχουν ροές. Έτσι διαμορφώνεται η αλυσίδα της διαδικασίας. Κάθε διαδικασία έχει εισροές και εκροές. Η εκροή από μια διαδικασία αποτελεί την εισροή για την επόμενη. Η δομή μπορεί να είναι απλή όταν δεν περιλαμβάνονται πολλές διαδικασίες ή περίπλοκη όταν υπάρχουν αρκετά στάδια παραγωγής, εξαγωγής, μεταφοράς κλπ (Unger et al., n.d.)

Εκεί που εστιάζει κατά βάση ένα μοντέλο κατά την AKZ και αυτό που αξιολογείται είναι οι εκροές. Και ουσιαστικά το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι υπεύθυνο να δώσει απάντηση όχι μόνο στο πόσο επιβαρύνει η οποιαδήποτε δραστηριότητα το περιβάλλον αλλά και πως θα μπορούσε να διαχειριστεί αυτό το στάδιο η εταιρεία και τι διορθωτικές αλλαγές θα μπορούσε να κάνει ώστε να ανατρέψει την κατάσταση και να βελτιώσει τα ποσοστά. Άρα, συχνά είναι απαιτητό από το λογισμικό να δίνει κατευθυντήριες γραμμές (Unger et al., n.d.), (Cluzel et al., 2010).

3.3 Διαφάνεια, ευελιξία και ευχρηστία

Η δομή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αποτελεί σημαντικό παράγοντα της διαφάνειας. Ο χρήστης είναι θεμιτό όχι μόνο να έχει τη δυνατότητα να γυρίσει πίσω και να ελέγξει κάποιο αποτέλεσμα αλλά και ενδεχομένως να του δίνεται το έναυσμα για να προβεί σε κάποιο έλεγχο. Ακόμη, το προφίλ και ο τρόπος που είναι σχεδιασμένα πολλά από αυτά τα μοντέλα είναι τέτοιος ώστε να θυμίζουν στο χρήστη εφαρμογές της Microsoft με τις οποίες είμαστε ήδη εξοικειωμένοι.

Ακόμα μια ανάγκη την οποία καλό θα ήταν να έχουν ενσωματώσει στα λογισμικά εργαλεία που σχετίζονται με AKZ είναι μια εφαρμογή παρουσιάσεων ώστε τα εξαγόμενα αποτελέσματα να μπορούν να παρουσιαστούν είτε μέσω διαγραμμάτων είτε μέσω γραφημάτων σε συνεργάτες, επιστημονικό προσωπικό ή ακόμα και πελάτες. Παράλληλα, μια τελική έντυπη αναφορά με το συμπέρασμα της μελέτης θα ήταν πολύ βοηθητική. (Silva and Nunes, 2017)

Ακόμη, αιτήματα από τους χρήστες σχετίζονται με την αναγκαιότητα συμβατότητας με άλλα προγράμματα εξαγωγής δεδομένων για την ανάγκη συγκεκριμένων γραφημάτων ή/και την εξαγωγή στατιστικών αποτελεσμάτων που θα είναι και πιο φιλικά στον χρήστη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα από την άλλη οι προγραμματιστές που ασχολούνται με τέτοιου είδους μοντέλα να καλούνται να κάνουν συνεχείς αλλαγές οι οποίες μάλιστα δεν απευθύνονται πάντα σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών αλλά σε εξειδικευμένους και κατάλληλα εκπαιδευμένους χρήστες. Για τους ίδιους τους προγραμματιστές ίσως σημαντικότερο κριτήριο είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μάθει το εργαλείο και να είναι πραγματικά λειτουργικό (Lee et al., 2009).

3.4 Βάση δεδομένων

Τα δεδομένα θα είναι καλό να αποθηκεύονται χωριστά από τη βάση μοντελοποίησης και σχεδιασμού. Συστήνεται η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων που έχει δομηθεί με σαφήνεια ή οποία για πολλούς χρήστες ιδανικά θα έχει τη δομή των MS windows Explorer. Απαιτήση είναι ακόμα η βάση δεδομένων να είναι εύκολο να εξαχθεί ή να εισαχθεί σε άλλες εφαρμογές καθώς επίσης και να είναι με τέτοιο τρόπο αρχειοθετημένη ώστε να είναι εύκολη η αναζήτηση συγκεκριμένων διαδικασιών και να μην χρειάζεται να αναζητείται όλη η βάση δεδομένων για να εξαχθεί το επιθυμητό κομμάτι.

Στη βάση δεδομένων τα δεδομένα που είναι καταχωρημένα οφείλουν να είναι ενημερωμένα, υψηλής ποιότητας και προερχόμενα από αξιόπιστες πηγές. Ιδανικά θα πρέπει να προέρχονται από παραπάνω από μια πηγές των οποίων, όμως, η ταξινόμηση έχει γίνει κατά σειρά για να περιοριστούν τα λάθη. Σημαντικό ρόλο, εδώ, διαδραματίζουν οι γεωγραφικοί περιορισμοί ως προς την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων πχ διαφορετικά ενεργειακά δεδομένα ισχύουν στη Γερμανία και διαφορετικά στην Ελλάδα.

Ένας δείκτης ποιότητας δεδομένων αναδεικνύει αν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι ποιοτικά. Η υψηλή ποιότητα καθορίζεται από την αρχική πηγή από την οποία έχουν αντληθεί, από την ηλικία τους, από τη σύνθεσή τους πχ από την ποικιλία δεδομένων από διαφορετικές εταιρείες τα οποία έχουν συνδυαστεί (Bueno and Fabricio, 2018).

Τα πιο κοινά προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζονται σε τέτοιου είδους λογιστικά εργαλεία ως προς την βάση δεδομένων είναι ότι συχνά διαφορετικές καταγραφές αφορούν την ίδια διαδικασία. Δηλαδή, συχνά οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν δεδομένα από τη βάση δεδομένων για μια διεργασία αλλά και από τη δική τους βάση με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλαπλές εγγραφές για την ίδια διεργασία. Σ' αυτήν την κατάσταση είναι απαραίτητη η χρήση συνώνυμων λέξεων για την καταχώρηση των καταγραφών ώστε να είναι εύκολο και σε άλλους χρήστες να μπορούν να χρησιμοποιήσουν το λογισμικό χωρίς να αντιμετωπίζουν προβλήματα με το ποια εγγραφή είναι η κατάλληλη προς χρήση.

3.5 Μέθοδοι υπολογισμού, αβεβαιότητα και αναλύσεις μεταβλητότητας

Το κάθε εργαλείο λογισμικού παρέχει διαφορετικές επιλογές για τον τρόπο καθορισμού των εισροών και εκροών για κάποια διαδικασία. Η πιο συχνή επιλογή είναι να οριστεί ένα ισοζύγιο μάζας το οποίο όμως δεν είναι πάντα επαρκής τρόπος. Συνίσταται η χρήση συστημάτων γραμμικών εξισώσεων για την μοντελοποίηση των διαδικασιών, αλλά από ορισμένα εργαλεία δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να υπολογίζει και μη γραμμικά συστήματα. Οι αρχικές εκδόσεις των λογιστικών εργαλείων AKZ δεν είχαν εξετάσει και συμπεριλάβει παράγοντες αβεβαιότητας και μεταβλητότητας όπως είναι η ανακρίβεια μετρήσεων εκπομπών ή οι διαφορετικές εκπομπές συγκρίσιμων διαδικασιών.

Τα σύγχρονα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση των παραπάνω αδυναμιών είναι ενσωματωμένες αναλύσεις ευαισθησίας, υπολογισμοί ασαφούς λογικής, πιθανοτικές

προσομοιώσεις αλλά και προσομοιώσεις με βάση τη στατιστική που φαίνεται να έχουν πολύ καλά αποτελέσματα (Spierling et al., 2019).

Στην εφαρμογή αυτών των μεθόδων στην ΑΚΖ είναι ιδιαίτερα βοηθητικό να εντοπιστεί η επιρροή της παραμέτρου αβεβαιότητας στην εκροή του σχεδιασμένου μοντέλου. Η σημαντικότερη συνέπεια της ανάλυσης αυτής είναι η εύρεση εκείνων των παραμέτρων που μπορούν να προκαλέσουν μεγάλη διασπορά στις τιμές του μοντέλου και να επηρεάσουν την ακρίβεια αυτού.

Σε παγκόσμιο επίπεδο κατά βάση αξιοποιούνται δυο μέθοδοι αξιολόγησης επιπτώσεων. Αυτές είναι ένας επιχειρησιακός οδηγός βασισμένος στα πρότυπα ISO και το ECO Indicator 99. Σε κάποιες χώρες χρησιμοποιούνται μέθοδοι που χρησιμοποιούν εγχώρια δεδομένα και παραμέτρους. Συνεπώς, το λογισμικό να μην θα πρέπει να περιέχει την εγχώρια αυτή έκδοση αλλά και κάποια διεθνή μέθοδο.

3.6 Εξυπηρέτηση χρηστών και τεχνική υποστήριξη

Κάθε σωστό λογισμικό πρόγραμμα οφείλει να περιέχει την κατάλληλη εξυπηρέτηση για τους πελάτες και συνεχή τεχνική υποστήριξη το πρώτο διάστημα όπου ενδεχομένως δεν είναι αρκετά εξοικειωμένοι με το εργαλείο. Σημαντικό είναι το λογισμικό να συντηρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα, η βάση δεδομένων να ενημερώνεται επίσης συχνά. Ακόμα, απαραίτητη είναι η συνεχής ενημέρωση του λογισμικού ώστε να μειώνονται ή ακόμα και να εξαλείφονται τυχόν δυσλειτουργίες που παρατηρούνται από τους χρήστες και να γίνεται πιο φιλικό. Αυτονόητο θεωρείται ότι θα υπάρχει τηλεφωνική υποστήριξη για την εξυπηρέτηση των πελατών αλλά και εκπαιδευτικά σεμινάρια και επιδείξεις των χαρακτηριστικών που είναι χρήσιμα για τον χρήστη (Unger et al., 2014.)

Αν και ακόμα τα δεδομένα δεν είναι αρκετά και δεν έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές συγκριτικές μελέτες, ωστόσο, έχει γίνει μια προσπάθεια για σύγκριση των τεσσάρων βασικών προγραμμάτων που χρησιμοποιούνται στις μελέτες κύκλου ζωής. Αυτά είναι τα προγράμματα GaBi, OpenLCA, SimaPro and Umberto NXT.

Τα παραπάνω λογισμικά προγράμματα έχουν συγκριθεί ως προς την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους αλλά και ως προς την ευκολία του χρήστη, την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, την λειτουργικότητα, την ευελιξία, τη βάση δεδομένων, τις ιδιότητες λογισμικού, κόστος κ.α.

Το λογισμικό GaBi κατέκτησε τις πρώτες θέσεις και σημείωσε τα καλύτερα αποτελέσματα σε χαρακτηριστικά όπως η λειτουργικότητα, η φιλικότητα προς τον χρήστη αλλά και η εξυπηρέτηση. Σε θέμα κόστους το SimaPro είναι η βέλτιστη επιλογή.

Επειδή, τα χαρακτηριστικά τους βελτιώνονται ανάλογα με τις απαιτήσεις των καταναλωτών έχουν παρατηρηθεί αλματώδεις αλλαγές και πρόοδοι. Έτσι τα λογισμικά προγράμματα Gabi και OpenLCA δίνουν τη δυνατότητα να εργαστείτε με περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων και το δεύτερο αποτελεί μια δωρεάν επιλογή για χρήστες που δεν μπορούν ανά επενδύσουν και σε ένα ακριβό πρόγραμμα με σημαντική ευκολία στη εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων.

Τα παραπάνω λογισμικά προγράμματα εξετάστηκαν και για τα αποτελέσματα που έδωσαν για μια πληθώρα παραγόντων περιβαλλοντικών και σχετικών με την ανθρώπινη υγεία όπως είναι η οξίνιση, οι κλιματικές αλλαγές, η οικοτοξικότητα γλυκού νερού, η ανθρώπινη τοξικότητα-καρκινογένεση αλλά και ο φωτοχημικός σχηματισμός-τρύπα του όζοντος.

Σ' αυτούς του παράγοντες παρατηρήθηκαν διαφορές της τάξης του 48% μεταξύ των προγραμμάτων γεγονός που προκαλεί ανησυχία με κάποια λογισμικά προγράμματα να αδυνατούν να δώσουν δεδομένα για κάποιους δείκτες. Έτσι, η συγκριτική μελέτη είναι δυνατόν να δώσει αποτελέσματα τα οποία για άλλο εργαλείο να είναι διαφορετικά.

Για το λόγο αυτό απαιτούνται πρότυπα ώστε να εξασφαλίζεται μεγαλύτερη αξιοπιστία αποτελεσμάτων (Cluzel et al., 2010).



Εικόνα 11: Εργαλεία Λογισμικού για ΑΚΖ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΑ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

Εισαγωγή

Τα πλαστικά θεωρούνται ως τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πολυμερή που βρίσκουν εφαρμογή στην καθημερινότητα με ποικίλες χρήσεις. Αυτή η εκτεταμένη και μαζική παραγωγή τους σε συνδυασμό με την περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλείται από τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και την μακροχρόνια περίοδο αποδόμησης τους απαιτούν κάποιες βιώσιμες εναλλακτικές οι οποίες πηγάζουν από ανανεώσιμες πηγές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα βιοπλαστικά, τα βιογενή πλαστικά ή τα βιοδιασπώμενα πλαστικά.

4.1 Τα αίτια που οδήγησαν στην αναγκαιότητα προσφυγής σε βιοπλαστικά

Η χαμηλή τιμή των πρώτων υλών σε συνδυασμό με το ευρύ φάσμα αξιοποίησης και την μεγάλη διάρκεια ζωής καθιστούν τα πλαστικά αναντικατάστατο υλικό. Από την άλλη αυτή η εκτεταμένη χρήση δημιουργεί προβλήματα περιβαλλοντικού και κοινωνικού χαρακτήρα.

Πλήθος πλαστικών απορρίπτονται ετησίως σε θαλάσσιους φορείς με αποτέλεσμα να διασπώνται στο εσωτερικό τους και να δρουν επιβλαβώς σε απειλούμενα θαλάσσια είδη, σε θαλάσσια θηλαστικά αλλά και στους ανθρώπους μέσω των μικροπλαστικών που φθάνουν στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα (Barbi et al., 2021).



Εικόνα 12: Environment, ypaithros.gr

Η πρόληψη για τον περιορισμό ή την αντιμετώπιση των πλαστικών αποβλήτων θα πρέπει να αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα. Για το λόγο αυτό, σε πολλές χώρες έχουν εφαρμοστεί πολιτικές για την μείωση της χρήσης πλαστικών και κατ' επέκταση πλαστικών αποβλήτων ξεκινώντας από την μείωση πλαστικών σακουλών για την μεταφορά προϊόντων στο εμπόριο χονδρικής και λιανικής (Noreen et al., 2016).

Ωστόσο, οι επιπτώσεις των πλαστικών στην καθημερινότητα είναι αρκετά μεγάλες και απαιτούν ακόμα πιο δραστικές λύσεις. Συνεπώς, έχει προταθεί ο σχεδιασμός συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων προκειμένου να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη διασπορά τους στο έδαφος και τους ωκεανούς.

Το σημαντικότερο, ωστόσο, μέτρο είναι να αντικατασταθούν τα πετροχημικώς παραγόμενα πλαστικά με βιοπλαστικά που είναι βιοδιασπώμενα και δεν προκαλούν τις ίδιες αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον.

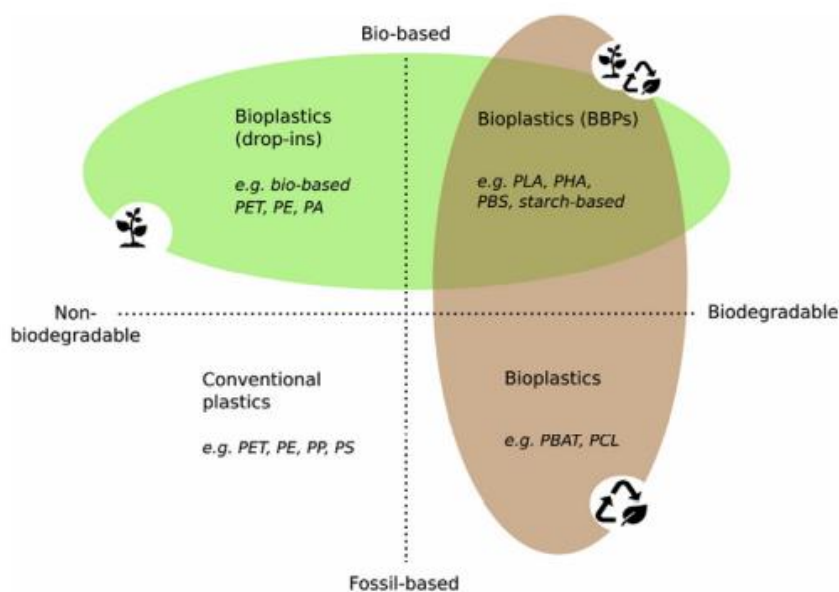
4.2 Τα βιοπλαστικά, δομή και παραγωγή

Προκειμένου να οδηγηθούμε σε ένα βιώσιμο περιβάλλον και να περιοριστεί ή ιδανικότερα να αποτραπεί η διάθεση πλαστικών αποβλήτων στο περιβάλλον, η παραγωγή βιοπλαστικών βρέθηκε στο προσκήνιο. Βασικό κριτήριο που οδήγησε ειδικούς ερευνητές αλλά και τη βιομηχανία να στραφεί στα βιοπλαστικά ήταν η βιοαποδόμηση, καθώς πλαστικά προερχόμενα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν περίοδο βιοδιάσπασης αρκετά μικρότερη που τα καθιστά αποδεκτά (Emadian et al., 2017).

Η έννοια βιοπλαστικό είναι πιθανό να περιλαμβάνει είτε βιολογικά πλαστικά τα οποία συντίθενται από βιομάζα και ανανεώσιμες πηγές όπως το πολυγαλακτικό οξύ γνωστό και ως PLA ή το πολυϋδροξυαλκανοϊκό οξύ (PHA) ή πλαστικά προερχόμενα από πετροχημικά καύσιμα συμπεριλαμβανομένων των αλειφατικών πλαστικών όπως το πολυβουτυλένιο (PBS) (Bello et al., 2020).

Τα βιοπλαστικά δεν είναι όλα δομημένα από ένα μόνο υλικό αλλά αποτελούν μια οικογένεια υλικών προερχόμενων από διαφορετικές πρώτες ύλες και με ποικίλες ιδιότητες και εφαρμογές. Ο όρος «βιοπλαστικό» περιλαμβάνει δύο διαφορετικές έννοιες:

- Βιολογικά προερχόμενα πλαστικά: Εκείνα τα πλαστικά που είναι κατασκευασμένα από βιολογικές και ανανεώσιμες πηγές όπως δημητριακά, αμυλούχα λαχανικά, ζαχαροκάλαμο και φυτικά έλαια.
- Βιοαποδομήσιμα πλαστικά: Εκείνα τα πλαστικά τα οποία μπορούν να αποδομηθούν από φυσικούς μικροοργανισμούς σε νερό, διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), μεθάνιο (CH₄) και ανόργανες ενώσεις υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Η διαδικασία της βιοαποδόμησης εξαρτάται από το περιβάλλον σύστημα και τις συνθήκες.



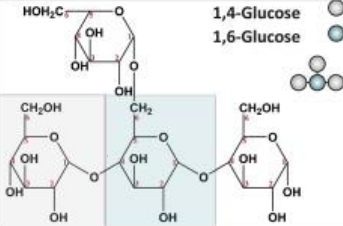


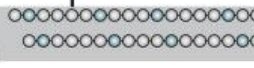
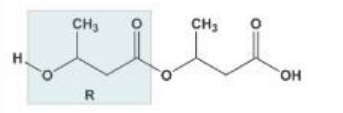
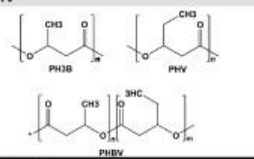
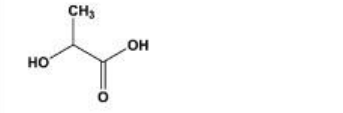
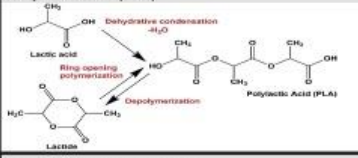
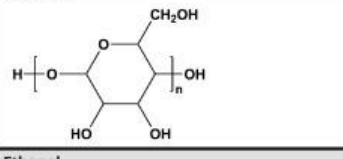
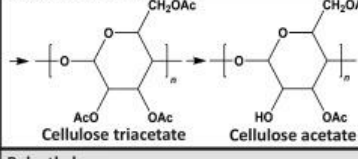
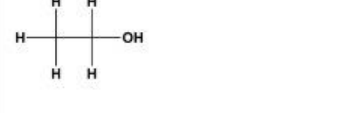
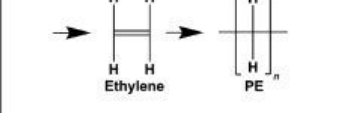
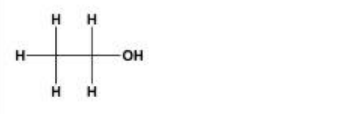
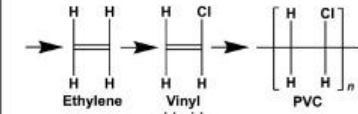
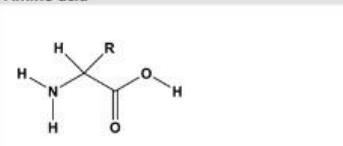
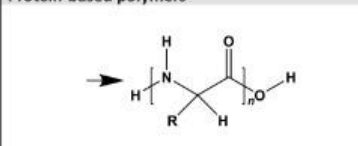
Εικόνα 13: Προέλευση υλικού και ιδιότητες βιοαποδόμησης/

PE: Πολυαιθυλένιο, PET: τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο, PA: Πολυαμίδιο, PP: Πολυπροπυλένιο; ΥΓ: Πολυστυρένιο, PLA: Πολυγαλακτικό οξύ, PHA: Πολυυδροξυαλκανοϊκό, PBS: Ηλεκτρικό πολυβουτυλένιο, PBAT: Τερεφθαλικό αδιπικό πολυβουτυλένιο, PCL: Πολυκαπρολακτόνη

Τα παραπάνω πλαστικά, από την άλλη, έχουν πολύ υψηλό κόστος παραγωγής. Μέχρι στιγμής η πλειονότητα των βιοπλαστικών προέρχεται από πρώτες ύλες που βασίζονται σε γεωργικές καλλιέργειες, γνωστά και ως βιοπλαστικά 1^{ης} γενιάς. Ο ανταγωνισμός, όμως, με την καλλιεργήσιμη γη και τη βιομηχανία τροφίμων καθώς και οι απαιτήσεις σε νερό και γη αποδεικνύουν ότι τα 1^{ης} γενιάς βιοπλαστικά δεν είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένα με τους 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (Jolliet et al., 2004). Η παραγωγή βιοπλαστικών 2^{ης} γενιάς βασίζεται στην εκμετάλλευση των παραπροϊόντων των καλλιεργειών μειώνοντας τον όγκο των αποβλήτων και ενισχύοντας την έννοια της κυκλικότητας της οικονομίας. Όμως, η προ επεξεργασία που απαιτείται στις πρώτες ύλες ώστε να μετατραπούν στο τελικό προϊόν που είναι τα βιοπλαστικά αυξάνει κατακόρυφα το κόστος γεγονός που αποτελεί ένα ισχυρό εμπόδιο για την εξέλιξη της παραγωγής 2^{ης} γενιάς. Τέλος, τα βιοπλαστικά τρίτης γενιάς με βάση τα μικροφύκη μπορούν να αντιμετωπίσουν πολλά από αυτά τα ζητήματα, καθώς βρίσκονται εκτός καλλιεργήσιμης γης και εδώδιμων προϊόντων. Μέσω των μικροφυκών είναι εφικτή η μετατροπή του CO₂ σε πρώτη ύλη για βιοπλαστικά, ενώ παράλληλα τα ίδια αξιοποιώντας τα απόβλητα ανακυκλώνουν πολύτιμα στοιχεία, όπως ο φώσφορος και το

άζωτο και μειώνουν τον ευτροφισμό αλλά και την εξάρτηση από λιπάσματα (Lackner, 2015),(Bello et al., 2020).

Στην, εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένες βασικές κατηγορίες πλαστικών βιολογικής προέλευσης. Στην αριστερή στήλη γίνεται αναφορά των χημικών τύπων των φυσικών μονομερών και πολυμερών που αποτελούν τις βασικές εισροές για την παραγωγή των διαφόρων τύπων βιοπλαστικών. Τέτοιου είδους μονομερή και πολυμερή προέρχονται είτε από μικροφύκη, κυανοβακτήρια ή φυτικές καλλιέργειες. Η μεσαία στήλη δίνει πληροφορίες για τις διαδικασίες μέσω των οποίων μετατρέπονται τα φυσικά μονομερή και πολυμερή στα βιοπλαστικά τους. Τέλος, η δεξιά στήλη δίνει πληροφορίες για κάθε κατηγορία πλαστικών και πιθανές χρήσεις τους αλλά και πληροφορίες που σχετίζονται με την αποδόμησή τους (Folino et al., 2020).

Natural monomer & polymer	Polymer processing	Property summary	
Starch 	Starch-based polymers Hydrolyzed Starch  Bioplastic polymer  Bioplastic plasticizer crosslinkers 	Properties <ul style="list-style-type: none"> ✓ Thermoplastic [20] ✓ Gas barrier [28] ✗ UV resistant [29] ✓ Biocompatible [30] ✗ Thermostable [31] ✓ Elastic [32] ✓ Rigid [32] ✗ Hydrophobic [35] 	Uses <ul style="list-style-type: none"> ✓ Packaging [27] ✓ Food trays [27] ✓ Trash bags [27] ✓ Flower pots [27] Degradable <ul style="list-style-type: none"> ✓ In water [33] ✓ In soil [34] ✓ Ind. compost [36]
Polyhydroxyalkanoates 	PHA, PHB, PHV 	Properties <ul style="list-style-type: none"> ✓ Thermoplastic [37] ✓ Gas barrier [39] ✓ UV resistant [20] ✓ Biocompatible [37] ✗ Thermostable [37] ✓ Elastic [38] ✓ Rigid [40] ✓ Hydrophobic [37] 	Uses <ul style="list-style-type: none"> ✓ Packaging [38] ✓ Adhesives [38] ✓ Fibers [38] ✓ Med. implants [38] Degradable <ul style="list-style-type: none"> ✓ In water [33] ✓ In soil [36] ✓ Ind. compost [36]
Lactic acid 	Poly(lactic acid) (PLA) 	Properties <ul style="list-style-type: none"> ✓ Thermoplastic [20] ✓ Gas barrier [42] ✓ UV resistant [43] ✓ Biocompatible [37] ✗ Thermostable [44] ✓ Elastic [43] ✓ Rigid [46] ✓ Hydrophobic [48] 	Uses <ul style="list-style-type: none"> ✓ Packaging [41] ✓ Textiles [41] ✓ Med. Implants [41] ✓ Films [41] Degradable <ul style="list-style-type: none"> ✗ In water [45] ✓ In soil [47] ✓ Ind. compost [36]
Cellulose 	Cellulose-based polymers 	Properties <ul style="list-style-type: none"> ✗ Thermoplastic [31] ✗ Gas barrier [49] ✗ UV resistantⁱⁱⁱ ✓ Biocompatible [50] ✓ Thermostable [51] ✗ Elastic [52] ✓ Rigid [54] ✗ Hydrophobic [54] 	Uses <ul style="list-style-type: none"> ✓ Wound dress.ⁱⁱ ✓ Textilesⁱⁱⁱ ✓ Air filtersⁱⁱⁱ ✓ Coatingsⁱⁱⁱ Degradable <ul style="list-style-type: none"> ✓ In water [53] ✓ In soil [55] ✓ Ind. compost [36]
Ethanol 	Polyethylene 	Properties <ul style="list-style-type: none"> ✓ Thermoplastic [17] ✓ Gas barrier [57] ✗ UV resistant [58] ✓ Biocompatible^x ✗ Thermostable^x ✓ Elasticⁱⁱ ✓ Rigidⁱⁱⁱ ✓ Hydrophobicⁱⁱⁱ 	Uses <ul style="list-style-type: none"> ✓ Bottles [56] ✓ Ship container [56] ✓ Container lids [56] ✓ Adhesives [56] Degradable <ul style="list-style-type: none"> ✗ In water [11] ✗ In soil [34] ✗ Ind. compost [34]
Ethanol 	Polyvinyl chloride 	Properties <ul style="list-style-type: none"> ✓ Thermoplastic [17] ✗ Gas barrier [59] ✗ UV resistant^{iv} ✓ Biocompatible^x ✗ Thermostable [60] ✓ Elasticⁱⁱ ✓ Rigid^{iv} ✓ Hydrophobic [62] 	Uses <ul style="list-style-type: none"> ✓ Packaging [56] ✓ Window frames [56] ✓ Railings [56] ✓ Pipes [56] Degradable <ul style="list-style-type: none"> ✗ In water^{iv} ✗ In soil [61] ✗ Ind. compost [17]
Amino acid 	Protein-based polymers 	Properties <ul style="list-style-type: none"> ✓ Thermoplastic [63] ✗ Gas barrier [65] ✓ UV resistant [66] ✓ Biocompatible [67] ✓ Thermostable [68] ✓ Elastic [65] ✓ Rigid [70] ✓ Hydrophobic [71] 	Uses <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cast film [64] ✓ Injection mold. [64] ✓ Compr. mold. [64] ✓ Extrud. sheets [64] Degradable <ul style="list-style-type: none"> ✓ In water [69] ✓ In soil [69] ✓ Ind. compost [69]

Trends in Plant Science

Εικόνα 14: Βασικές κατηγορίες πλαστικών και βιοπλαστικών, δομή και ιδιότητες

4.3 Η βιοαποδόμηση των βιοπλαστικών

Η κινητήριος δύναμη των βιοπλαστικών και ο κυρίαρχος λόγος για τον οποίο υπερέχουν και προτιμώνται έναντι των κατεξοχήν πετροχημικών πλαστικών είναι η βιοαποδόμησή τους. Με τον όρο αποδομήσιμο πολυμερές αναφέρεται εκείνο το πολυμερές το οποίο υποβαθμίζεται από την δράση του περιβάλλοντος, μέσω για παράδειγμα, αέρα φωτός, θερμότητας ή μικροοργανισμών.



Εικόνα 15: Plastics, WWF.gr

Στην βιοδιάσπαση σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν φυσικοί μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια.

Ο κύκλος ζωής των βιοπλαστικών λόγω της μεγάλης ποικιλίας τους διαφέρει ανάλογα με το υλικό καθώς και το πρόγραμμα διαχείρισης αποβλήτων της κάθε χώρας. Η αποδόμηση των βίο-πολυμερών εξαρτάται από τη χημική και φυσική δομή των υλικών τους και όχι από την προέλευση των πρώτων υλών ή την διαδικασία παραγωγής. Η αποδόμηση βασίζεται σε έναν συνδυασμό αβιοτικών παραγόντων (όπως UV, θερμοκρασία, υγρασία, pH) και βιοτικών παραγόντων και διεργασιών (όπως η μικροβιακή δραστηριότητα) (Chen et al., 2016).

Συγκεκριμένα, η βιοαποικοδόμηση είναι η διάσπαση των υλικών σε ενώσεις όπως διοξείδιο του άνθρακα, νερό, αμμόνιο, άζωτο, υδρογόνο και βιομάζα μέσω της βιολογικής δράσης μικροοργανισμών όπως βακτήρια, φύκη, και μύκητες. Κατά συνέπεια, γίνεται αντιληπτό ότι η βιοαποικοδόμηση είναι μια διαδικασία καθόλου επιζήμια για το περιβάλλον αφού οι ενώσεις που προκύπτουν κατά το τέλος της διαδικασίας είναι ενώσεις που απαντώνται ήδη στο φυσικό περιβάλλον και τα υπολείμματα αυτής δεν περιέχουν τοξικά στοιχεία αλλά είναι δυνατό να καταναλωθούν από ζωντανούς οργανισμούς (Calabrò and Grosso, 2018).

Σε ότι αφορά τις συνθήκες όπου μπορεί να λάβει χώρα μια τέτοια διεργασία θα ήταν απαραίτητο να διαμορφωθεί ένα περιβάλλον το οποίο εξυπηρετεί δεδομένες τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας, pH, περιεκτικότητα σε οξυγόνο, παρουσίας θρεπτικών συστατικών και παρουσία μικροοργανισμών.

Συχνά παρατηρείται κατά την βιοαποδόμηση να συμβαίνει αποπολυμερισμός. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα όταν δρα το ένζυμο αποπολυμεράση και με το πέρας της διαδικασίας

είναι δυνατόν να ανακτηθούν μονομερή άρα να γίνει ανακύκλωση των πρώτων υλών. Ωστόσο, σημαντική για τα βιοπλαστικά είναι και η διαδικασία της κομποστοποίησης, όπου τα οργανικά απόβλητα αποσυντίθενται με ζύμωση. Αυτό μπορεί να λάβει χώρα σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες (Folino et al., 2020).

Επίσης, παράγοντες που θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία βιοαποδόμησης είναι και το περιβάλλον όπου λαμβάνει χώρα καθώς και η χημική σύνθεση, δομή και φυσικές ιδιότητες του βιοπλαστικού δηλαδή τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας (υδρόφιλη ή υδρόφοβη), τις δομές πρώτης τάξης (μοριακό βάρος, χημική δομή) και δομές υψηλότερης τάξης (κρυσταλλικότητα, μέτρο ελαστικότητας, θερμοκρασία τήξης κ.α.) (Lackner, 2015).

4.3.1 Στάδια βιοαποδόμησης

Η διαδικασία της βιοαποδόμησης περιλαμβάνει συνοπτικά τα ακόλουθα στάδια:

- 1) Τα πολυμερή υφίστανται χημική, φυσική και μηχανική αλλαγή ως αποτέλεσμα της βιολογικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών στην επιφάνεια του υλικού. Καταλυτικό ρόλο για την ταχύτητα και την εξέλιξη της διαδικασίας στο εν λόγω στάδιο διαδραματίζει το πορώδες του υλικού.
- 2) Η μικροβιακή δράση οδηγεί στην διάσπαση των πολυμερών σε ολιγομερή και μονομερή.
- 3) Το τρίτο και τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την αφομοίωση των βιοπλαστικών όπου οι ενώσεις που έχουν διασπαστεί χρησιμοποιούνται από τους μικροοργανισμούς και μετατρέπονται σε βιοαποδομημένα τελικά προϊόντα όπως το CO₂ και η βιομάζα.

4.4 Ιδιότητες των Βιοπλαστικών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα βιοπλαστικά έχουν γίνει ευρέως γνωστά λόγω της περιβαλλοντικά φιλικής τους συμπεριφοράς έναντι των συμβατικών πετροχημικών πλαστικών. Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών όπως είναι τα οργανικά απόβλητα, έχει πρόσθετα οφέλη και για το περιβάλλον λόγω της αξιοποίησης των στερεών αποβλήτων αντί για υγειονομική ταφή τους, τα ίδια δεν είναι επιβλαβή για τους ζωντανούς οργανισμούς.

Το στοίχημα το οποίο καλούνται να αντιμετωπίσουν είναι να έχουν συγκρίσιμες ιδιότητες με αυτές των πετροχημικών πλαστικών. Συγκεκριμένα, απαιτείται αντοχή εφελκυσμού,

ελαστικότητα, αντοχή σε κάμψη, πυκνότητα, κρυσταλλικότητα, σημείο τήξης και διαπερατότητα σε νερό και οξυγόνο αλλά και αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Στην πραγματικότητα η χαμηλή μηχανική αντοχή των βιοπλαστικών είναι η ιδιότητα που περιορίζει κατά κύριο λόγο την εφαρμογή τους και για την αύξηση της απαιτείται η χρήση συνθετικών ινών από γυαλί ή άνθρακα, το οποίο από την άλλη μειώνει τα ποσοστά βιοαποδόμησής τους. Σαν λύση έχει προταθεί η αντικατάσταση των συνθετικών ινών από λιγνοκυτταρινικές που προέρχονται από κυτταρινούχα υλικά και μπορούν να ενισχύσουν τα παραγόμενα βιοπλαστικά. Χρήσιμες προσθήκες στα βιοπλαστικά που ενισχύουν τις ιδιότητές τους είναι η προσθήκη PLA αλλά και πλαστικοποιητών όπως η γλυκερίνη που προσθέτει δύναμη, ευκαμψία και ευελιξία (Calabrò and Grosso, 2018).

4.5 Εφαρμογές των Βιοπλαστικών

Είναι γεγονός, πως η παραγωγή των βιοπλαστικών είναι ακόμα αρκετά περιορισμένη συγκριτικά με τα πετροχημικά πλαστικά, όμως, δεν είναι λίγοι οι τομείς όπου μπορούν να τα αντικαταστήσουν πλήρως (Leipold and Petit-Boix, 2018).

Συγκεκριμένα, η συσκευασία τόσο βρώσιμων όσο και μη προϊόντων αποτελεί ένα από τους κλάδους με τη μεγαλύτερη εφαρμογή για τα βιοπλαστικά ανεξάρτητα από την πηγή προέλευσής τους.

Τα βιοπολυμερή με βάση την κυτταρίνη χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή πλαστικών εξαρτημάτων και φύλλων για ηλεκτρονικές εφαρμογές καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως υλικά μεμβρανών είτε ως υλικά πλαστικών φύλλων τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά προϊόντα ηλεκτρονικού και μηχανολογικού ενδιαφέροντος.

Τα βιοπολυμερή με βάση το PLA έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογής. Οι μηχανικές τους ιδιότητες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την κρυσταλλική δομή του PLA έτσι για χρήση σε άκαμπτα υλικά προτιμάται η ημικρυσταλλική δομή του ενώ για πιο εύκαμπτα βρίσκει χρήση η εύκαμπτη μορφή αυτού (Confente et al., 2020).

Τα βιοπολυμερή με βάση το PHA χρησιμοποιούνται σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως στην ιατρική. Η βιοδιασπασιμότητά τους και οι μη τοξικές ιδιότητες που έχουν οδηγούν σε εκμετάλλευση αυτών σε ιατρικά είδη χορήγησης φαρμάκων και πορώδη εμφυτεύματα αλλά και όργανα μηχανικής στήριξης. Ακόμη, το PHA έχει ενεργό ρόλο και στη γεωργία μέσω της

προστασίας των φυτών από τα καιρικά φαινόμενα, ή τη συγκράτηση της υγρασίας στο έδαφος, αλλά και μέσω της συνεισφοράς στη μεταφορά νερού.

Τα βιοπολυμερή με βάση το άμυλο (ιδιαίτερα το θερμοπλαστικό άμυλο) χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή άκαμπτων υλικών τα οποία εμφανίζουν υψηλή αντοχή σε αυξημένες τιμές θερμοκρασίας, εναλλακτικά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές για εντομοκτόνα ή μυκητοκτόνα και γενικότερα ως φιλμ για την προστασία των σπόρων έναντι διαφόρων ασθενειών (van der Harst et al., 2014).

Επίσης, τα βιοπλαστικά μιας χρήσης όπως σακούλες, πλαστικά πιάτα και μαχαιροπίρουνα, αναδευτήρες καφέ, ποτήρια, γλάστρες κηπουρικής, μπουκάλια και είδη συσκευασίας παράγονται κυρίως από PLA, PHA, άμυλο και πολτό κυτταρίνης, αξιοποιώντας την αδιαλυτότητά τους στο νερό, την αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία και στη διείσδυση οξυγόνου.

Γενικότερα, οι τομείς δραστηριοποίησης των βιοπλαστικών ολοένα και αυξάνονται κάνοντας ακόμα πιο δελεαστικά έναντι των συμβατικών πλαστικών αφού και οι ενεργειακές τους απαιτήσεις είναι πολύ χαμηλότερες. Ωστόσο, αν υπερνικηθεί το οικονομικό εμπόδιο που αποτελεί αντικίνητρο για τη βιομηχανία προβλέπεται ενσωμάτωσή τους και αφομοίωση σε πληθώρα εφαρμογών.

4. 6 Νομοθεσία γύρω από τα πλαστικά και βιοπλαστικά

Αναντίρρητα, η συσσώρευση πλαστικών στο περιβάλλον και συγκεκριμένα στο υποθαλάσσιο περιβάλλον δημιούργησε την αναγκαιότητα να υπάρχει από την Ευρωπαϊκή Ένωση κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο το οποίο περιορίζει ή ακόμα και απαγορεύει τη χρήση πλαστικών. Συγκεκριμένα, τα κράτη μέλη της ΕΕ αποφάσισαν το έτος 2019



Εικόνα 16: Cibum_Food Experts Society, Sibum.gr

την απαγόρευση της παραγωγής και πώλησης συγκεκριμένων πλαστικών προϊόντων μιας χρήσης εντός διατίθεται.

Παρόλο που υπήρχε μια έντονη καθυστέρηση σχετικά με το είδος και την σύνθεση των προς απαγόρευση προϊόντων εκδόθηκε τον Μάιο του 2021 λίγους μήνες πριν την εφαρμογή της σχετικής οδηγίας μια λίστα με τα πλαστικά προϊόντα μιας χρήσης τα οποία αναμένεται να τεθούν σε απαγόρευση με κριτήριο τη συχνότητα εμφάνισης αυτών στο υδάτινο περιβάλλον. Έτσι, η λίστα αυτή περιλαμβάνει πλαστικά μαχαιροπίρουνα, κουτάλια και ξυλάκια μιας χρήσης, καλαμάκια εκτός αυτών που προορίζονται για ιατρική χρήση, αναδευτήρες ποτών, δοχεία τροφίμων και ποτών από πολυστερίνη και πλαστικά πιάτα (Lackner, 2015).

Σ' αυτόν τον περιορισμό τίθενται όχι μόνο τα πλαστικά πετροχημικής προέλευσης αλλά και κάποια βιοπλαστικά προϊόντα, γιατί μερικά εξ' αυτών είναι φυσικά προϊόντα αλλά έχουν τροποποιηθεί χημικά και αυτή η επεξεργασία μπορεί να τα αποκλείσει. Μένει, ωστόσο, να αποσαφηνιστεί ποια θα είναι η διαχείριση των κομποστοποιημένων και βιοαποδομήσιμων πλαστικών. Καθώς υπάρχουν έντονοι ισχυρισμοί ότι κάθε άλλο παρά συνεισφέρουν στην ρύπανση αλλά συγκεκριμένα σε εφαρμογές που σχετίζονται με τρόφιμα τα κομποστοποιήσιμα και βιοαποδομήσιμα πλαστικά είναι επωφελή στην ανάκτηση άλλων οργανικών αποβλήτων (Behling et al., 2016).

Έτσι, πολλά κράτη μέλη έχουν δηλώσει τις ενστάσεις τους σχετικά με την ισχύουσα νομοθεσία και ακόμα και αν έχουν γίνει σημαντικά βήματα από μεριάς τους ως προς την εφαρμογή των κανονισμών αναμένονται τροποποιήσεις κυρίως στο κομμάτι που αφορά τα βιοπλαστικά, των οποίων τα οφέλη είναι εμφανή σε σχέση με τα πλαστικά πετροχημικής προέλευσης και δεν είναι λογικό να υπόκεινται στους ίδιους νομοθετικούς περιορισμούς.

Η βελτίωση των παραπάνω ελλείψεων θα συντελέσει στην αύξηση της αξιοπιστίας της AKZ και στην υιοθέτηση από μεγαλύτερο ποσοστό εταιρειών και επιχειρήσεων της μεθόδου για την μέτρηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που προκαλούν αλλά και τον γενικότερο αντίκτυπο που μπορούν να έχουν τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία το οποίο διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο και στην μελλοντική ανάπτυξη τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Η ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

Η κυκλική οικονομία έχει αποκτήσει τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελώντας μια λογική επέκταση της βιώσιμης ανάπτυξης με εφαρμογή σε ποικίλους τομείς που σχετίζονται με την περιβαλλοντική διαχείριση εκ μέρους των εταιρειών αλλά ακόμα καμία από τον ερευνητικό κλάδο.

Έτσι όλο και περισσότερες εταιρείες στρέφονται σε ανάπτυξη και καινοτομία γύρω από πράσινα προϊόντα τόσο για να εξασφαλίσουν την μελλοντική ευημερία τους, βελτίωση της εικόνας τους και γενικότερης αποδοχής τους όσο και για να αποφύγουν περιβαλλοντικές διαμαρτυρίες και νομικές κυρώσεις.

Υπό αυτό το πρίσμα τα βιοπλαστικά προϊόντα μπορούν να περιγράψουν ως μια πράσινη καινοτομία σε αντικατάσταση των πετροχημικών πλαστικών που είναι μην ανανεώσιμοι πόροι. Από έρευνες που έχουν γίνει σχετικά με την στροφή των καταναλωτών σε πιο πράσινα προϊόντα έχει παρατηρηθεί ότι αυτό συμβαίνει σε εκείνη τη μερίδα καταναλωτών που έχουν λάβει γνώση σε σχέση με τα προτερήματα των βιολογικής προέλευσης προϊόντων έναντι των αντίστοιχων πετροχημικών αλλά και πόσο βάση δίνουν στην περιβαλλοντική αξία (Leipold and Petit-Boix, 2018).

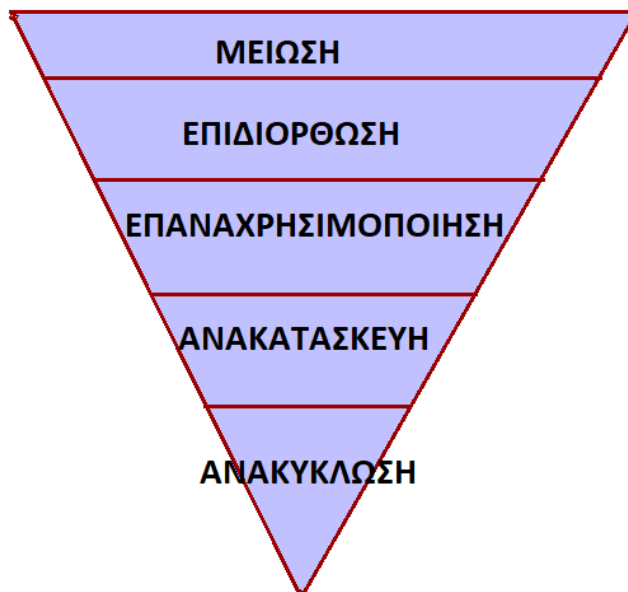
Η γνωστοποίηση, ωστόσο, προϊόντων τα οποία παρουσιάζονται ως φιλικά προς το περιβάλλον χωρίς να είναι, αποτελεί ένα φαινόμενο γνωστό ως “Greenwashing”. Εταιρείες επιλέγουν να παρουσιάσουν ένα πολύ οικολογικό προφίλ τόσο ως προς τα προϊόντα που παράγουν όσο και ως προς τις γενικότερες δράσεις τους γύρω από το περιβάλλον. Αυτές οι πρακτικές μπορούν να επηρεάσουν τους καταναλωτές να προβούν σε προϊόντα και υπηρεσίες λόγω του φαινομενικού προφίλ τους τα οποία όμως δεν αντιστοιχούν στα πραγματικά. Το κενό αυτό οφείλει να καλυφθεί από την πολιτεία της κάθε χώρας η οποία θα πρέπει να εφαρμόσει δικλείδες ασφαλείας για να εξασφαλίσει την ακεραιότητα όσων διαφημίζονται από τις εταιρείες (Confente et al., 2020).

5.1 Η μετάβαση από την γραμμική οικονομία και τα πλαστικά στην κυκλική οικονομία και τα βιοπλαστικά

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω τα πλαστικά βασίζονται στο μοντέλο της γραμμικής οικονομίας σε σχέση με την παραγωγή- αξιοποίηση –απόρριψη/απόθεση στο περιβάλλον με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγάλες ποσότητες αποβλήτων τα οποία κατά την ταφή τους ή την καύση τους εκκρίνουν τοξικά αέρια στην ατμόσφαιρα και ενισχύουν φαινόμενα τοξικού περιβάλλοντος και υπερθέρμανσης του πλανήτη. Από την άλλη πλευρά, τα βιοπλαστικά προϊόντα όντας προϊόντα βιολογικής προελεύσεως ακολουθούν μοντέλο κυκλικής οικονομίας το οποίο ευνοεί είτε την επαναχρησιμοποίηση τους χωρίς περιβαλλοντικό κόστος είτε την αφομοίωσή τους από το περιβάλλον(Lackner, 2015).

Για την μετάβαση, ωστόσο, από ένα μοντέλο γραμμικής σε ένα μοντέλο κυκλικής οικονομίας καταλυτική σημασία έχει ο ρόλος του κοινού και κατά πόσο επιθυμεί και επιδιώκει την μετάβαση στην νέα αυτή πραγματικότητα των βιοπλαστικών προϊόντων. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν λάβει χώρα σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες σε σχέση με την εικόνα των καταναλωτών για βιοπλαστικά έχει φανεί ότι σε πρώτη φάση οι καταναλωτές μπορούν να διακρίνουν διαφορές ως προς τη χρήση και τις ιδιότητες τους σε σχέση με τα παραδοσιακά πλαστικά. Δείχνουν, από την άλλη, σαφή επιθυμία να στραφούν σε αυτά τα βελτιωμένα προϊόντα με την προϋπόθεση ότι θα λάβουν σαφείς πληροφορίες σχετικά με τα οφέλη που προσφέρουν έναντι των πετροχημικών και την τελική περιβαλλοντική επίδραση που θα έχουν, ακόμα και αν αυτό σημαίνει ότι θα δαπανήσουν περισσότερα χρήματα για να τα αποκτήσουν (Barbi et al., 2021).

Οι ευρωπαϊκοί φορείς χάραξης πολιτικής ενώ φαίνεται να δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στο θέμα της κυκλικής οικονομίας διατυπώνοντας την άποψη για την ανοικοδόμηση μιας οικονομίας όπου οι πόροι διατηρούνται στην οικονομία όσο το δυνατόν περισσότερο και ελαχιστοποιείται η παραγωγή αποβλήτων. Εν τούτοις, δεν είναι ακόμα σαφές το σχέδιο δράσης, ειδικά σε ότι αφορά τα βιολογικής προέλευσης προϊόντα. Και ακόμα και αν διατυπώθηκαν αρκετές προτάσεις σε σχέση με το σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία, μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτών δείχνει να έχουν εφαρμοστεί.



Εικόνα 17: Αρχές Κυκλικής Οικονομίας

Σε εθνικό επίπεδο, στη Γερμανία, οι φορείς χάραξης πολιτικής ήταν οι πρώτοι που είχαν εντάξει τις έννοιες της βιοοικονομίας, κυκλικής οικονομίας και βιώσιμης ανάπτυξης στα συμβούλια τους, αντιλαμβανόμενοι ότι αποτελούν τα κύρια συστατικά ενός μεγάλου επερχόμενου οικονομικού μετασχηματισμού. Σύμφωνα με τη γερμανική στρατηγική οι τομείς στους οποίους δίνεται προτεραιότητα για την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας είναι τα τρόφιμα, οι ζωοτροφές, προϊόντα βιοτεχνολογικής βιομηχανίας, ενεργειακά προϊόντα προερχόμενα από βιομάζα και βιοπλαστικά προϊόντα. Οι ενέργειες που φαίνεται ότι θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην εισαγωγή της κυκλικής οικονομίας των βιοπλαστικών το συντομότερο στην ζωή μας σχετίζονται με εφαρμογή νέων τεχνολογιών, επιχειρηματικά μοντέλα και δια τομεακό συντονισμό (Vinci et al., 2021).

Τα βιοπλαστικά μπορούν είτε να ανακυκλωθούν είτε να αποδομηθούν –διασπαστούν και αυτό τους δίνει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα κάνοντας τα ένα σημαντικό κομμάτι της αλυσίδας για κυκλική οικονομία. Οι ειδικοί, ωστόσο, απαιτούν να διευκρινιστούν οι τρόποι με τους οποίους θα παράγονται καθώς και οι πρώτες ύλες που θα αξιοποιούνται προκειμένου να μην γίνεται υπερεξάντληση των φυσικών πόρων αλλά και της γης που χρησιμοποιείται (Kawashima et al., 2019).

5.2 Η πραγματικότητα της κυκλικής οικονομίας των πλαστικών και βιοπλαστικών στην Ελλάδα

Είναι γεγονός ότι στην Ελλάδα η κατάσταση με την διαχείριση αποβλήτων και ειδικά πλαστικών δεν έχει σημειώσει σχεδόν καθόλου βελτίωση τα τελευταία χρόνια. Ο τομέας των πλαστικών λοιπόν προκειμένου να επιβιώσει από τους νομοθετικούς περιορισμούς που ολοένα και αυξάνονται θα πρέπει να συμμετέχει ενεργά στην μετάβαση προς την κυκλική οικονομία.

Η Ελλάδα κατέχει την τρίτη υψηλότερη θέση στην Ευρώπη ως προς το ποσοστό των αστικών αποβλήτων μετά από Μάλτα και Κύπρο σε αντίθεση με την πλειοψηφία πολλών ευρωπαϊκών χωρών που σημειώνουν αρκετά υψηλές επιδόσεις με την Σουηδία, Δανία, Γερμανία, Φιλανδία να σημειώνουν όλο και μικρότερο ποσοστό εδαφική διάθεσης για τα στερεά απόβλητα. Όμως, απογοητευτικό είναι και το ποσοστό της χώρας στο κομμάτι της ανακύκλωσης πλαστικών με δείκτη ανακύκλωσης 4 κιλά ανά άτομο σε σύγκριση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο που βρίσκεται στα 16 κιλά ανά άτομο (Kawashima et al., 2019).

Η ανατροπή αυτής της κατάστασης μπορεί να επιτευχθεί μόνο με δραστικές ενέργειες στο κομμάτι της διακυβέρνησης. Μέσα στις λύσεις που έχουν προταθεί είναι η ενίσχυση της ανταποδοτικής ανακύκλωσης και η θέσπιση συστήματος επιστροφής για συσκευασίες. Η επιβολή οικονομικού κίνητρου αν και δεν συνάδει με τις αρχές της ατομικής ευθύνης και υπευθυνότητας από την άλλη είναι μια καλή επιλογή για την δραστηριοποίηση στο κομμάτι της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης.

Ακόμη, σημαντική κρίνεται η εντατικοποίηση της ενημέρωσης. Για τον μέσο όρο των κατοίκων της Ελλάδας τα απόβλητα αποτελούν άχρηστα αντικείμενα και όχι οικονομικούς πόρους. Είναι απαραίτητο, να γίνει αντιληπτό από τους πολίτες ότι η δραστηριοποίηση όλο και περισσότερων ατόμων πάνω στο θέμα της ανακύκλωσης πλαστικών θα συντελέσει στην βελτίωση της καθημερινότητας και της ποιότητας ζωής του συνόλου. Στα πλαίσια αυτά, από την πλευρά του το κράτος καλό θα είναι να διαμορφώσει ένα σύστημα συλλογής αποβλήτων το οποίο θα διαχωρίζει τα απορρίμματα ανά υλικό (Vinci et al., 2021). Αυτά τα σημεία συλλογής θα πρέπει να υπάρχουν σε διαφορά σημεία των πόλεων και πριν εγκατασταθούν απαιτείται η κατάλληλη εκπαίδευση των πολιτών. Επίσης, η πολιτεία οφείλει να επενδύσει χρήματα στην ενίσχυση των υποδομών που σχετίζονται με την συλλογή αλλά και επεξεργασία αποβλήτων ώστε να αντικατασταθούν τα παλιά μηχανήματα με νέα που

ακολουθούν τις προδιαγραφές που υπαγορεύει της ΕΕ. Αυτό θα πρέπει να ελέγχεται από κρατικούς φορείς και να εξασφαλίζεται ότι οι δήμοι και οι περιφέρειες δαπανούν μέρος του προϋπολογισμού σε δράσεις που σχετίζονται με τα παραπάνω και σε περιπτώσεις μη συμμόρφωσης να επιβάλλονται κυρώσεις (Leipold and Petit-Boix, 2018).

Σημαντικό κομμάτι στην πρόοδο της χώρας στην κυκλική οικονομία ως προς τα πλαστικά προϊόντα είναι η εφαρμογή κριτηρίων κυκλικής οικονομίας στις προμήθειες σε όλο το εύρος της χώρας ώστε να χρησιμοποιούνται ανακυκλωμένα υλικά ή υλικά που μπορούν να υποστηρίξουν την επαναχρησιμοποίηση και να παρέχονται στις δημόσιες υπηρεσίες. Τέλος, δεν πρέπει να παραλείψουμε την σύνδεση των επιχειρήσεων με τον δημόσιο τομέα σχετικά με λύσεις που ενισχύουν και προάγουν την κυκλική οικονομία. Τέτοια παραδείγματα είναι και η χημική ανακύκλωση που έχει ήδη εφαρμοστεί σε πολλές χώρες με αρκετά καλά αποτελέσματα αλλά και η χρήση σε μεγάλη κλίμακα βιοπλαστικών προϊόντων.

Τα βιοπλαστικά, συνεπώς, φαίνεται να είναι η λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης πλαστικών αποβλήτων και η δίοδος για την μετάβαση από την γραμμική στην κυκλική οικονομία. Συγκεκριμένα, στη χώρα μας απαιτείται αρχικά η διάδοση πληροφορίας σχετικά με την πηγή τους, τον τρόπο παραγωγής τους, την ευρεία ποικιλία εφαρμογών τους και τέλος το οικολογικό προφίλ τους που είναι σημαντικό τόσο κατά την διάρκεια χρήσης τους όσο και κατά την απόθεση τους (Spierling et al., 2019).



Εικόνα 18: Μοντέλο Κυκλικής Οικονομίας με χρήση Βιοπλαστικών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΕ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Με δεδομένο ότι, τα περισσότερα πλαστικά με βιολογική βάση δημιουργήθηκαν ως πιθανή αντικατάσταση των πετροχημικών πλαστικών, μια ακριβής σύγκριση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου που έχουν αυτά τα δυο είδη πλαστικών μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής θα ήταν πολύ χρήσιμη και κρίσιμη.

Αυτό, όπως είναι αντιληπτό είναι μια χρονοβόρα διαδικασία αφού για να επιτευχθεί αυτή η συγκριτική αξιολόγηση των πλαστικών με βιολογική βάση έναντι των πετροχημικών απαιτείται η γνώση και αποτύπωση του πλήρους κύκλου ζωής του προϊόντος που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι μεγάλης διάρκειας αλυσίδες λόγω χρήσης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης (Calabrò and Grosso, 2018).

Η αποτυχία στην αναπαράσταση του συνολικού κύκλου ζωής του προϊόντος μέσω της παράλειψης σταδίων, της περικοπής ορίων ή απλοποίησης της διαδικασίας μπορεί να οδηγήσει σε μελέτες που παρερμηνεύουν την πραγματική περιβαλλοντική απόδοση συστημάτων και προϊόντων.

Η ευρωπαϊκή στρατηγική για τα πλαστικά έχει δώσει σαφείς οδηγίες για την κυκλοφορία τους λόγω των αρνητικών συνεπειών που προκαλεί στον περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία η εκτεταμένη χρήση τους. Τα αποτελέσματα AKZ που ακολουθούν βασίζονται σε πολλαπλές έρευνες και στοιχειοθετούν την βιωσιμότητα των πλαστικών έναντι των πετροχημικά προερχόμενων πλαστικών (Emadian et al., 2017).

Σε προηγούμενες ανασκοπήσεις LCA έχουν μελετηθεί οι περιβαλλοντικές επιδόσεις στο τέλος του κύκλου ζωής για βιοπλαστικά, διάφορες κρίσιμες πτυχές της μεθοδολογίας LCA για υλικά με βιολογική προέλευση και πτυχές συγκριτικής περιβαλλοντικής απόδοσης μεταξύ βιοπλαστικών και πετροχημικών πλαστικών. Σ' αυτές τις μελέτες έχουν εντοπιστεί ορισμένες μεθοδολογικές ασυνέπειες, παραλείψεις στις επιλογές των κριτηρίων, ελλιπή στοιχεία ώστε να παραληφθούν κάποια αποτελέσματα, αλλά και διαφορετικές προσεγγίσεις στον ορισμό του στόχου, σκοπού, λειτουργικής μονάδας και πεδίου εφαρμογής καθώς και ορίων του συστήματος (Bhagwat et al., 2020).

Κατ' επέκταση δεν παρουσιάζεται ξεκάθαρη απάντηση για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ούτε το αποτύπωμα άνθρακα που αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές και ταυτόχρονα ουσιώδεις παραμέτρους. Γι' αυτό στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά στοιχεία από άλλες αξιολογήσεις και θα τεθεί σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πλαστικών και βιοπλαστικών. Όπως είναι εμφανές, δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν οι δυο κατηγορίες πλαστικών ως προς όλες εκείνες τις επιπτώσεις με τις οποίες σχετίζονται καθώς θα ήταν μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και ταυτόχρονα εξαντλητική διαδικασία και για τον αναγνώστη αλλά και για τον συγγραφέα της παρούσας εργασίας. Για το λόγο αυτόν έχουν επιλεγεί εκείνα τα θέματα που παρουσιάζουν περισσότερο ενδιαφέρον και των οποίων η παρουσίαση θα λύσει ορισμένες απορίες και πιθανότατά θα εγείρει και περισσότερα ερωτήματα για περαιτέρω έρευνα (Confente et al., 2020).

6.1 Κατηγορίες Επιπτώσεων

Η μελέτη διαφόρων άρθρων που παρουσίαζαν ΑΚΖ για πλαστικά και βιοπλαστικά προϊόντα οδήγησε στον εντοπισμό ορισμένων βασικών επιπτώσεων που αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης στην πλειοψηφία των ερευνών αυτών (Zhong et al., 2020). Τέτοιες επιπτώσεις είναι :

- Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη
- Δυναμικό ευτροφισμού
- Εξάντληση πόρων
- Σχηματισμός οξειδωτικών φωτοχημικών
- Καταστροφή του όζοντος
- Τοξικότητα στον άνθρωπο
- Κατανάλωση Ενέργειας
- Χρήση Γης
- Κατανάλωση νερού
- Ανθρώπινη Υγεία
- Ποιότητα Οικοσυστήματος
- Κλιματική Αλλαγή

Σημαντικό επίσης στην ΑΚΖ είναι και ο ορισμός των πλανητικών ορίων σύμφωνα με τα οποία πρόκειται για βιογεωφυσικά όρια τα οποία προκύπτουν για να οριστεί ένας ασφαλής χώρος λειτουργίας για την ανθρωπότητα. Τα πλανητικά όρια λαμβάνουν ποσοτικά μέγιστες

τιμές η υπέρβαση των οποίων οδηγεί σε κίνδυνο να αλλάξει η σταθερή κατάσταση του πλανήτη. Τέτοια όρια είναι :

- Ακεραιότητα της βιόσφαιρας (κίνδυνος απώλειας βιοποικιλότητας και εξαφάνισης ειδών)
- Καταστροφή του όζοντος της στρατόσφαιρας
- Οξίνιση των ωκεανών
- Βιογεωχημικές Ροές

Είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακό πως στην συντριπτική πλειοψηφία των άρθρων που έχουν βρεθεί και παρουσιάζουν αποτελέσματα AKZ δεν περιλαμβάνονται στις σημαντικές επιπτώσεις εκείνες που σχετίζονται με τη ρύπανση από πλαστικά υπολείμματα. Ωστόσο, η ρύπανση από πλαστικά έχει μεγάλο αριθμό επιπτώσεων στην ποιότητα του οικοσυστήματος, την ανθρώπινη υγεία και την κλιματική αλλαγή. Αν αναλογιστούμε ότι ορισμένες κατηγορίες πλαστικών όπως το πολυστυρένιο ή το πολυβινιλοχλωρίδιο έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από το νερό με αποτέλεσμα να καταβυθίζονται και να είναι ικανά να προκαλέσουν πνιγμό, αλλά και βλάβες σε ευαίσθητα οικοσυστήματα όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι. Επίσης, τα πλαστικά απαιτούν μεγάλο χρόνο ώστε να γίνουν η υποβαθμισμένη μορφή τους. (Brizga et al., 2020). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έρθουν σε επαφή με ζώα και να καταναλωθούν από αυτά γεγονός που μπορεί να οδηγήσει ασφυξία και θάνατο.

Ακόμη και όταν τα πλαστικά θραύσματα έχουν υποβαθμιστεί, τα μικροπλαστικά μπορούν ακόμα να προκαλέσουν βλάβες σε μεγαλύτερους οργανισμούς μέσω πιθανής βιομεγέθυνσης και τροφικών αλληλεπιδράσεων.

Τα μικροπλαστικά έχει βρεθεί ακόμα ότι έχουν αρνητική επίδραση στα οικοσυστήματα του εδάφους με αρνητική επιρροή στην επιτυχία βλάστησης, μήκος βλαστών, δομή εδάφους και pH. Τα πρόσθετα που έχουν τα πλαστικά είναι δυνατόν να διοχετευθούν στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα την τοξικότητα, πιθανότητα καρκινογένεσης και ενδοκρινικής διαταραχής στους ανθρώπους. Επίσης, μέσω των μικροπλαστικών είναι δυνατόν να εισαχθούν τοξίνες στην τροφική αλυσίδα. Ακόμα, η μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης που συντελείται στα φυτά έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της πρόσληψης διοξειδίου του άνθρακα και ενθάρρυνση της κλιματικής αλλαγής (Folino et al., 2020).

Το πιο σημαντικό συμπέρασμα το οποίο έχει προκύψει από τις ΑΚΖ που έχουν διενεργηθεί στα πλαστικά και είναι ότι τα απορρίμματα από τα πλαστικά σκουπίδια δεν αφορούν μόνο τα πετροχημικά πλαστικά αλλά και βιοπλαστικά αλλά και πλαστικά που διατίθενται στο εμπόριο ως βιοδιασπώμενα. Γεγονός που σχετίζεται με παραμέτρους όπως ο αριθμός των πλαστικών που είναι ελευθερωμένα ως απορρίμματα στο περιβάλλον, την πιθανότητα να ελευθερωθεί ένα πλαστικό προϊόν στο περιβάλλον, η διάσπαση του πλαστικού προϊόντος στο περιβάλλον με βάση το βάρος του κ.α. Αναμφισβήτητα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η χαμηλή τιμή των πλαστικών προϊόντων ανά αναλογιστεί κανείς πως οι πλαστικές σακούλες μειώθηκαν κατά πολύ ως απορρίμματα από την στιγμή που επιβλήθηκε τιμή αγοράς σ αυτές και δεν παρέχονταν δωρεάν (Chen et al., 2016).

Συμπερασματικά, σίγουρα η ρύπανση που δημιουργείται από πλαστικά είναι μια από τις επιβλαβείς επιπτώσεις που θα πρέπει να λαμβάνονται σε κάθε ΑΚΖ που έχει να κάνει με παραγωγή ή και χρήση πλαστικών στον κύκλο ζωής του προϊόντος.

6.2 Τα πρόσθετα στα πλαστικά

Τα πρόσθετα είναι χημικές ενώσεις που προστίθενται σε πλαστικά πολυμερή κατά τη φάση της παραγωγής και βελτιώνουν την απόδοση, λειτουργικότητα, εμφάνιση και ανθεκτικότητα του τελικού προϊόντος. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στα πλαστικά είναι: πλαστικοποιητές, επιβραδυντικά, αντιοξειδωτικά, σταθεροποιητές θερμότητας και φωτός, λιπαντικά, πληρωτικά και ενισχυτικά. Τα πρόσθετα μπορούν να αντιπροσωπεύουν μέχρι και το 70% της μάζας (%w/w) του πλαστικού. Στις ΑΚΖ πολύ συχνά τα πρόσθετα δεν περιλαμβάνονται γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αβέβαια και παραπλανητικά αποτελέσματα. Η τεκμηριωμένη άποψη για τον μη συνυπολογισμό των προσθέτων σχετίζεται με το ότι συχνά αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής μάζας του τελικού προϊόντος και κατ' έφεκαταση έχουν μικρή συνεισφορά στη δημιουργία των αερίων του θερμοκηπίου. Όμως, έρευνες έχουν αποδείξει ότι το προτεινόμενο όριο σημαντικότητας 1% μπορεί να οδηγήσει σε συσσωρευτική παράλειψη από 2,6 μέχρι 7,5% της επιβάρυνσης GWP. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και για άλλες κατηγορίες επιπτώσεων όπως η εξάντληση αβιοτικών πόρων, δυνατότητα οξίνισης κ.α (Hoogmartens et al., 2014).

Συνεπώς, σε μελλοντικές ΑΚΖ φαίνεται ότι θα πρέπει να περιλαμβάνονται και τα πρόσθετα εντός της ανάλυσης εκτός αν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι συνεισφέρουν λιγότερο από 1%

σε συνολική μάζα, ή ενέργεια, ποσοστό που ενδέχεται να επιδέχεται μειώσεις στο μέλλον ανάλογα με την σημαντικότητα.

6.3 Χρήση Γης και Αλλαγή Χρήσης Γης

Η χρήση γης και η αλλαγή χρήσης γης είναι σημαντικές πτυχές των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τα βιοπλαστικά που παράγονται από τα αποθέματα ζωοτροφών και υπολείμματα καλλιεργειών. Αν αναλογιστούμε τις εκπομπές που προκύπτουν από την αλλαγή χρήσης γης τα αποτελέσματα μιας AKZ μπορούν να αλλάξουν δραματικά σε ότι αφορά το περιβαλλοντικό αντίκτυπο και την κατάταξη των βιοπλαστικών συγκριτικά με τα πετροχημικά πλαστικά. Και ενώ τα βιοπλαστικά προέρχονται κατά κύριο λόγο από ανανεώσιμες και συχνά βιοαποδομήσιμες πρώτες ύλες, οι απαιτήσεις τους σε γη που θα μπορούσε να αποτελεί φυσικά ενδιαιτήματα ή να χρησιμοποιείται για παραγωγή τροφίμων μεταβάλλει κάπως τις ισορροπίες. Υπολογίζεται, σε τέτοιες περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της μελέτης η λογική για την αποθήκευση και δέσμευση του άνθρακα που θυσιάζεται για την εκτροπή της γης από τις υπάρχουσες χρήσεις σε άλλες.

Η αλλαγή χρήσης γης όπως αποτυπώνεται από την AKZ μπορεί να εμφανιστεί με δυο μορφές την άμεση αλλαγή χρήσης γης (dLUC direct Land Use Change) και την έμμεση αλλαγή χρήσης γης (iLUC).

Η άμεση αλλαγή χρήσης γης αναφέρεται σε πρόσφατη αλλαγή στη χρήση γης για την παραγωγή προϊόντων βιολογικής προέλευσης εκτοπίζοντας την προηγούμενη χρήση γης ή οποία δεν σχετίζονταν με καλλιέργεια όπως η μετατροπή των τροπικών δασών σε φυτείες ζαχαροκάλαμου. Αντίθετα, στην έμμεση αλλαγή χρήσης γης, η γη ήταν και πριν καλλιεργήσιμη αλλά για άλλο σκοπό. Αυτό βέβαια έχει σημαντικό αντίκτυπο αν η ζήτηση για την εκτοπισμένη παραγωγή παραμένει.

Η αλλαγή στην χρήση γης μπορεί να έχει και σημαντικές επιπτώσεις στη διατάραξη του κύκλου άνθρακα και κατά συνέπεια αλλαγές στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέσω διαταραχής των αποθεμάτων άνθρακα. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι διαφορετικές χρήσεις γης υποστηρίζουν διαφορετικά αποθέματα άνθρακα στα εδάφη και τη βλάστηση αλλά και διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής του εναπομείναντος αποθέματος. Χαρακτηριστικά αξίζει να αναφέρουμε ότι τα αποθέματα οργανικού άνθρακα του εδάφους σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις είναι συνήθως χαμηλότερα από τα αντίστοιχα αποθέματα σε βοσκότοπους ή δάση.

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι η μετατροπή σε καλλιεργήσιμη γη μειώνει τα απόθεμα σε οργανικό άνθρακα του εδάφους και κατ' αντιστοιχία τα δάση συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες άνθρακα στη βιομάζα τους, οπότε η μετατροπή σε καλλιεργήσιμη γη θα μειώσει τα αποθέματα άνθρακα από τη βιομάζα.

Άλλες δυσχερείς επιπτώσεις από την αλλαγή χρήσης γης σχετίζονται με την αύξηση της χρήσης λιπάσματος μέσω της εντατικοποίησης των καλλιεργειών, αυξάνοντας έτσι της απελευθέρωση οξειδίου του αζώτου (N_2O), αμμωνίας και άλλων επιβλαβών αερίων.

Η μελέτη των έμμεσων αλλαγών χρήσης γης δεν περιλαμβάνεται σε όλες τις ΑΚΖ παρά τις σημαντικές επιπτώσεις που φαίνεται να έχει και αυτό γιατί δεν είναι υποχρεωτική με βάση τα διεθνή πρότυπα. Η αβεβαιότητα που μπορεί να σχετίζεται με τις έμμεσες αλλαγές αλλά και το γεγονός ότι απαιτείται μεγάλη αναζήτηση για την εύρεση όλων των έμμεσων συνεπειών καθιστά την προσθήκη της σπάνια.

6.4 Μέτρηση βιογενούς άνθρακα

Βασική πρώτη ύλη των βιοπλαστικών είναι ο βιογενής άνθρακας. Ως βιογενής χαρακτηρίζεται εκείνος ο άνθρακας ο οποίος έχει προκύψει από την μετατροπή του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα σε άλλες ενώσεις άνθρακα μέσω της φωτοσύνθεσης. Στις μελέτες ΑΚΖ ο βιογενής άνθρακας προσεγγίζεται με δυο προτάσεις εκείνες που θέλουν την προσωρινή αποθήκευση άνθρακα εντός του συστήματος και εκείνη που υποστηρίζει την ουδετερότητα συμμετοχής του άνθρακα στο συνολικό ισοζύγιο. Ο άνθρακας του εδάφους δεσμεύεται από τις πρώτες ύλες, αποθηκεύοντας έτσι τον άνθρακα μέσα στο βιοπλαστικό για σημαντικό χρονικό διάστημα γεγονός που όπως υποστηρίζεται μπορεί να αντισταθμίσει τις ανθρωπογενείς εκπομπές άνθρακα (Jolliet et al., 2004).

Πολλές φορές θεωρείται ότι επιτυγχάνεται κλιματική ουδετερότητα γιατί ο άνθρακας που έχει δεσμευτεί από την πρώτη ύλη μπορεί να απελευθερωθεί πίσω στο περιβάλλον σαν ένα κλειστό σύστημα χωρίς επίδραση του κλίματος. Ωστόσο, υπάρχει η άποψη εκείνη ότι δεν θεωρείται κλειστό σύστημα δεδομένου ότι ο αποθηκευμένος άνθρακας απελευθερώνει τις αποθηκευμένες εκπομπές άνθρακα στο μέλλον.

Έτσι, αναπτύχθηκε ο όρος “carbon debt” ειδικά για την αλλαγή χρήσης γης από βιοπλαστικά. Έτσι, αν η αρχική εκπομπή του βιογενούς άνθρακα από τα βιοπλαστικά (κατά την αποτέφρωση) είναι μεγαλύτερη από τις εκπομπές από τα ορυκτής προέλευσης τα οποία

χρησιμοποιούνται σαν σύστημα αναφοράς, και έτσι δημιουργείται το λεγόμενο Carbon debt. Το «χρέος» αυτό αποπληρώνεται ως η βιομάζα που αναπτύσσεται και δεσμεύει άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Με την συνεχή υποκατάσταση των πετροχημικών πλαστικών από τα βιοπλαστικά, τα βιοπλαστικά πρόκειται να αποπληρώνουν με την πάροδο του χρόνου το χρέος τους. Ωστόσο, να σημειωθεί ότι το βιογενές CO₂ περνάει κάποιο χρόνο στην ατμόσφαιρα προτού να δεσμευθεί από την αναπτυσσόμενη βιομάζα το οποίο φυσικά μπορεί να σχετιστεί με συνέπειες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Αυτή η συνέπεια, βέβαια, σχετίζεται κυρίως με την δασοκομία όπου έχει μεγάλο κύκλο ανάπτυξης βιομάζας (μεγαλύτερο των 40 ετών) ενώ στη βιομάζα που προέρχεται από καλλιέργεια έχει μικρότερο κύκλο ανάπτυξης άρα δεσμεύει πιο άμεσα το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας.

Τα υπολογισμένα πλεονεκτήματα από την μοντελοποίηση της δέσμευσης του βιογενούς άνθρακα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε ότι αφορά τον ορίζοντα του χρόνου με βάση τον οποίο υπολογίζεται και το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη. Πρόσφατες μελέτες (Lenton et al., 2008), (Mohadesi et al.), έχουν αναπτύξει διαφορετικές απόψεις για την αντιμετώπιση αυτών των εκπομπών άνθρακα με γνώμονα και την πάροδο του χρόνου. Βέβαια, αρκετές από αυτές υστερούν στον χαρακτηρισμό των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή από δοσμένη ποσότητα εκπομπών. Για παράδειγμα ο δείκτης GTP (Global Temperature change Potential) υπολογίζει το αποτέλεσμα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην μέση παγκόσμια θερμοκρασία σε καθορισμένο μελλοντικό χρόνο σε σχέση πάντα με την αύξηση θερμοκρασίας που θα προκαλούνταν με την ίδια ποσότητα CO₂.

Ένας άλλος δείκτης είναι και ο Climate Tipping Potential (CTP) (Lenton et al., 2008) είναι μια προσέγγιση του πλανητικού ορίου που βασίζεται στην έννοια των ορίων στο παγκόσμιο κλιματικό σύστημα. Το όριο της κλιματικής αλλαγής ποσοτικοποιείται ως η μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας που εκφράζεται από την αντίστοιχη ατμοσφαιρική συγκέντρωση CO₂. Στη συνέχεια, η μέθοδος υπολογίζει την ικανότητα της ατμόσφαιρας να απορροφά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου χωρίς να υπερβαίνει το οριακό σημείο, και οποιαδήποτε εκπομπή εκτιμάται σε σχέση με αυτήν την εναπομένουσα χωρητικότητα. Ενώ συχνά σε μια AKZ θα συναντήσουμε και τον δείκτη GWP100 αλλά και GWPbio που είναι ενδεικτικοί για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος (Mohadesi et al., 2019).

6.5 End of life

Οι διαδικασίες διαχείρισης αποβλήτων έχουν μελετηθεί για τα πλαστικά στο τελικό στάδιο της ζωής τους και έχουν αναπτυχθεί πολλές μεθοδολογικές αποφάσεις γύρω από την μοντελοποίηση τις διαδικασίας μέσα σε διάφορες έρευνες. Οι διαφοροποιήσεις που υπάρχουν στις μελέτες περιλαμβάνουν διάφορες μεθόδους για την προσέγγιση των πιθανών παραπροϊόντων που δημιουργούνται στο τέλος της ζωής των προϊόντων (πχ η ηλεκτρική ενέργεια που γεννιέται από την αποτέφρωση). Η απλοποίηση των διαδικασιών στο τέλος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος μπορεί να οδηγήσει σε παραποιημένα αποτελέσματα της AKZ καθώς το σύστημα δεν αντιπροσωπεύεται επαρκώς επίσης το να αντιμετωπίζεται σαν κλειστό σύστημα π.χ. το 100% των απορριμμάτων να στέλνονται για ανακύκλωση χωρίς να γίνεται διαλογή επίσης μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Η διαχείριση αποβλήτων όταν αυτά είναι βιοπλαστικά είναι πολύ διαφορετική σε σχέση με όταν είναι πετροχημικής προέλευσης πλαστικά αν και υπάρχουν και βιοπλαστικά που μπορούν να εισέλθουν στις ίδιες ροές αποβλήτων με τα συμβατικά πλαστικά όπως το bio-Pet, τα περισσότερα δεν μπορούν να ανακυκλωθούν με τις τωρινές δομές όπως τα πετροχημικά λόγω των θεμελιωδών διαφορών στη σύστασή τους. Ωστόσο, τα βιοπλαστικά συχνά δίνουν την επιλογή της κομποστοποίησης ή της αναερόβιας χώνευσης που είναι μη διαθέσιμη επιλογή για τα κλασικά πετροχημικά πλαστικά. Με σκοπό, λοιπόν, να διασφαλίσουμε μια σωστή σύγκριση μεταξύ του τελικού σταδίου των βιοπλαστικών και των πετροχημικών πλαστικών, απαιτείται η ανάπτυξη διαφοροποιημένων και ρεαλιστικών σεναρίων (Hoogmartens et al., 2014).

Κατά κύριο λόγο παρουσιάζονται πέντε κύριες επιλογές επεξεργασίας αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, όπως η υγειονομική ταφή, η αποτέφρωση, αναερόβια χώνευση και η απόσπαση σε κάθε κύκλο ζωής πλαστικού προϊόντος για αναλύσεις AKZ (Cradle to grave).

6.6 Κατανομές στο τέλος της ζωής

Οι αλυσίδες αξίας για τα προϊόντα είναι συχνά μεγάλες και περιέχουν στάδια με πολλαπλές διαδικασίες εξόδου. Η κατανομή είναι η διαδικασία «διαμερισμού των εισροών ή εκροών μιας διεργασίας ή ενός συστήματος. Έτσι, όταν μια πολυλειτουργική διαδικασία συνδέεται με μια διαδικασία που παρέχει μόνο μια λειτουργική ροή απαιτείται να εφαρμοστεί μια διαδικασία κατανομής για να κατανεμηθούν οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις μεταξύ των διαφόρων συμποϊόντων που προκύπτουν από την πολυλειτουργική διαδικασία. Οι

κατανομές, λοιπόν, είναι από τις κύριες μεθολογικές επιλογές που μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες διακυμάνσεις και ανισότητες στα αποτελέσματα της AKZ (Calabrò and Grosso, 2018).

Με βάση την οδηγία ISO 2006b προτείνονται κάποια βήματα ως προς την ιεραρχία για την διαδικασία της κατανομής:

- ✓ Αποφυγή κατανομής σε διαδικασίες μιας λειτουργίας ενώ διαχωρισμός σε δυο ή περισσότερες υποδιεργασίες μονολειτουργικών μονάδων.
- ✓ Καταμερισμός των εισροών αλλά και των εξόδων του συστήματος μεταξύ των διαφόρων προϊόντων ή λειτουργιών όμως με τρόπο τέτοιο που να αντικατοπτρίζονται οι σχέσεις μεταξύ τους.
- ✓ Κατανομή των α'υλών στις εισροές με κριτήριο την οικονομική αξία την μάζα, τον όγκο ή την απαιτούμενη ενέργεια.

Αυτή η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί στο τελικό στάδιο και για υλικά που επαναχρησιμοποιούνται κομποστοποιημένα και ανακυκλωμένα υλικά αλλά ακόμα προϊόντα, ανακύκλωσης και αναερόβιας χώνευσης (Norris, 2001).

6.7 Ανάλυση Αβεβαιότητας στα βιοπλαστικά

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, που παρουσιάστηκε η σημασία και η συνεισφορά που έχει η ανάλυση αβεβαιότητας σε μια AKZ έγινε αντιληπτό ότι τόσο η μοντελοποίηση όσο και τα σενάρια τα οποία συμμετέχουν σε μια AKZ μπορούν να αυξήσουν το ποσοστό της αβεβαιότητας. Για το λόγο αυτό, γίνεται χρήση της ανάλυσης αβεβαιότητας (Piemonte, 2011).

Αυτή η προσθήκη σε μια AKZ δεν είναι πάντα απαραίτητη ενώ πιο συχνά επιλέγεται η απλούστερη μορφή της ανάλυσης ευαισθησίας. Όμως, η ανάλυση αβεβαιότητας όταν πρόκειται για την παραγωγή πλαστικών και βιοπλαστικών προϊόντων είναι ιδιαίτερη σημαντική για τον προσδιορισμό των οικονομικών αλλά και περιβαλλοντικών σφαλμάτων και τον μετριασμό αυτών.

Συχνά επιλέγονται ακόμα πιο απλές αναλύσεις ευαισθησίας και ο λόγος είναι επειδή δεν απαιτείται καν κατανομή και πολύ λιγότερα δεδομένα.

Κοινή παρατήρηση σε ότι αφορά την ανάλυση της αβεβαιότητας που προκύπτει από τα βιοπλαστικά είναι ότι υψηλός βαθμός αβεβαιότητας προκύπτει σχετικά με τις αναδυόμενες τεχνολογίες που αφορούν την παραγωγή βιοπλαστικών. Η χρήση και η ανάλυση αβεβαιότητας στο τέλος του κύκλου ζωής τους θα πρέπει να περιλαμβάνονται σε κάθε AKZ για την δημιουργία αξιόπιστων συγκρίσεων και εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα των βιοπλαστικών και αυτή των πετροχημικών πλαστικών (Rostkowski et al., 2012a).

Με βάση τις δυο προσεγγίσεις που αξιοποιούνται για την μοντελοποίηση της απογραφής μιας AKZ, η αποδοτική και η επακόλουθη που περιγράφηκαν παραπάνω. Και οι δυο προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται στον τομέα των βιοπλαστικών αλλά σε μεγαλύτερο ποσοστό συναντάται η επακόλουθη προσέγγιση της ανάλυσης αβεβαιότητας. (Kardung et al., 2021). Η επακόλουθη μοντελοποίηση AKZ είναι μια προσέγγιση για την αντικατάσταση των πετροχημικών πλαστικών με βιοπλαστικά. Μέχρι στιγμής η χρήση τους δεν είναι κοινή όμως αναμένεται να κυριαρχήσουν το επόμενο διάστημα.

Καθώς η ανάπτυξη των βιοπλαστικών επιταχύνεται, υπάρχει ανάγκη για επακόλουθες μελέτες AKZ που μπορούν να αξιολογήσουν ευρύτερα τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα που συνδέονται με ρεαλιστικά σενάρια ανάπτυξης και που αντιπροσωπεύουν σωστά την διαχείριση στο τέλος ζωής που συνδέεται με τις υποδομές και το πλήθος των προϊόντων αλλά και τον καταναλωτή. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να αποβούν ιδιαίτερα χρήσιμα για το ευρύτερο κοινό αλλά και τους υπευθύνους χάραξης πολιτικής (Unger et al., n.d.).

Η αναγκαιότητα παρουσίασης αποτελεσμάτων σχετικών με τα ως άνω αναφερόμενα ώστε να γίνουν παραπάνω κατανοητά συνέβαλε στην βιβλιογραφική αναζήτηση συγκεκριμένων συγκριτικών AKZ που έχουν πραγματοποιηθεί στο κλάδο των πλαστικών και βιοπλαστικών και παρακάτω αναφέρονται κάποια παραδείγματα αυτών.

Πλαστικά (PET) έναντι βιοπλαστικών (PLA) ή επαναγεμισμένων φιαλών αλουμινίου –Ανάλυση Κύκλου Ζωής για την ανάδειξη της πιο βιώσιμης επιλογής.

Προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν όσο το δυνατόν τα όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω και να δοθεί μια καλύτερη εικόνα των συγκριτικών AKZ, χρησιμοποιείται το παράδειγμα των πλαστικών φιαλών PET, βιοπλαστικών PLA και φιάλη αλουμινίου και συγκεκριμένα ο υπολογισμός των επιπτώσεων έχει προκύψει από την χρήση 3 φιαλών PET και PLA σε

σύγκριση με μια φιάλη αλουμινίου που ξαναγεμίστηκε προκειμένου να καλυφθεί η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού που αντιστοιχεί σε 1,5 lt.

Πίνακας 6.1: Συγκριτική Ανάλυση Κύκλου Ζωής σε φιάλη PET, PLA και αλουμινίου με βάση την ημερήσια ποσότητα κατανάλωσης νερού και αποτελέσματα απόδοσης σε ορισμένους από τους δείκτες επιπτώσεων

Κατηγορία Επιπτώσεων	1 φιάλη PET	3 φιάλες PET (ημερήσια κατανάλωση)	1 φιάλη PLA	3 φιάλες PLA (ημερήσια κατανάλωση)	1 φιάλη αλουμινίου	1 φιάλη αλουμινίου (ημερήσια δόση)	Μονάδες
Κλιματική Αλλαγή (GWP)	0,134	0,403	0,616	1.847	11.921	0.01307	kgCO ₂ eq
Ευτροφισμός (EP)	2,28*10 ⁻⁵	6,85*10 ⁻⁵	5,90*10 ⁻⁴	17.70*10 ⁻⁴	0.011	1.12*10 ⁻⁵	kgPO ₄ eq
Δυναμικό Δημιουργίας Φωτοχημικού Όζοντος (POFP)	3,10*10 ⁻⁴	9,30*10 ⁻⁴	25,20*10 ⁻⁴	75.60*10 ⁻⁴	0.0279	3.06*10 ⁻⁵	kgNMVOC
Οξίνιση (AP)	5,20*10 ⁻⁴	15,60*10 ⁻⁴	27,50*10 ⁻⁴	82.5*10 ⁻⁴	0.054	5.92*10 ⁻⁵	kgSO ₂ eq
Εξάλειψη Καυσίμων (FD)	0,055	0,166	0,247	0.742	3.229	0.00354	Kg oil eq.liters
Εξάλειψη Νερού (WD)	6,99	20,97	8,92	26.76	477.0	0.52303	liters
Τοξικότητα στην ανθρώπινη υγεία (HTP)	0,050	0,151	0,218	0.653	5.486	0.00602	Kg 1.4 DB eq
Τοξικότητα στο οικοσύστημα (ETP)	2,15*10 ⁻³	6,45*10 ⁻³	9,86*10 ⁻³	29.58*10 ⁻³	0.266	2.92*10 ⁻⁴	Kg 1.4 DB eq
Χρήση Γης (LOP)	2,01*10 ⁻³	6,03*10 ⁻³	32,28*10 ⁻³	96.84*10 ⁻³	0.160	1.75*10 ⁻⁴	m ²
Σχηματισμός Σωματιδίων (PMFP)	1,70*10 ⁻⁴	5,10*10 ⁻⁴	13,4*10 ⁻⁴	40.20*10 ⁻⁴	178.9*10 ⁻⁴	1.96*10 ⁻⁵	kgPM10eq
Εξάλειψη του στρώματος του όζοντος (OLDP)	9,82*10 ⁻⁵	29,40*10 ⁻⁶	9.17*10 ⁻⁸	27.5*10 ⁻¹¹	5.19*10 ⁻⁷	-	kgCFC-11eq

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι για την παραγωγή μιας φιάλης αλουμινίου έχει εκτιμηθεί η διάρκεια ζωής στα 2,5 χρόνια (930 ημέρες). Από τον πίνακα προκύπτει ότι ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος για την παραγωγή μιας φιάλης αλουμινίου είναι αισθητά μεγαλύτερος σε σχέση με τις δυο άλλες κατηγορίες πλαστικών. Ωστόσο, όταν γίνεται αναγωγή σε καθημερινή επανειλημμένη χρήση προκειμένου να καλυφθεί η μέση ημερήσια ποσότητα νερού, όταν δηλαδή διαίρεται με το χρονικό διάστημα των 930 ημερών το σύνολο των τιμών των επιπτώσεων μειώνονται σημαντικά (πίνακας 6.1).

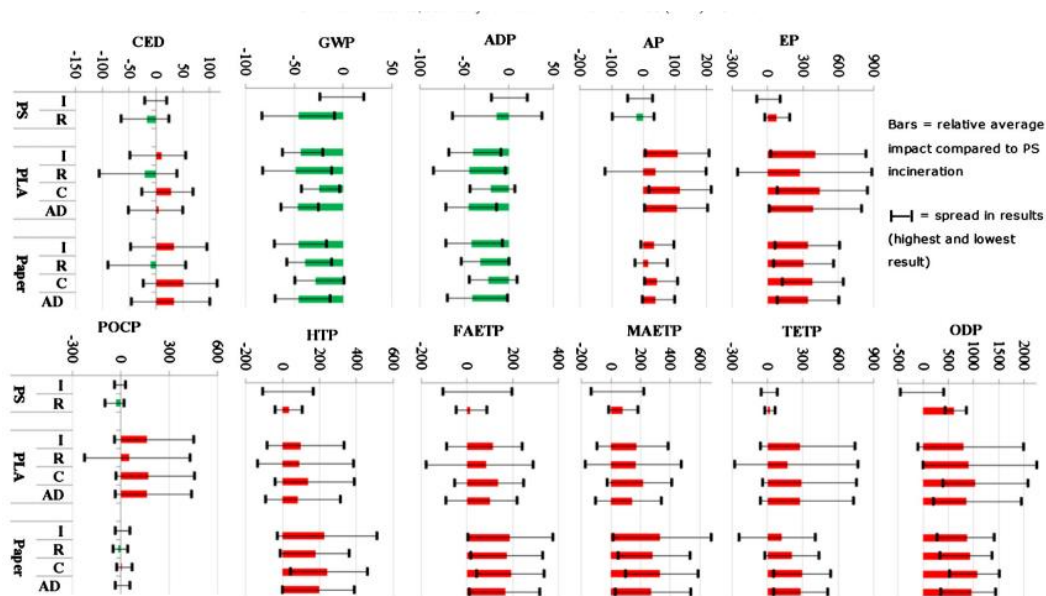
Και ενώ οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για την παραγωγή της φιάλης PET έχουν δώσει και στην δεδομένη αναφορά αναμενόμενα αποτελέσματα, δεν συμβαίνει το ίδιο με τις βιοπλαστικές φιάλες των οποίων οι τιμές παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα είναι χαμηλότερες σε άλλες αναφορές που χρησιμοποιούν την ίδια πρώτη ύλη στην καλλιέργεια (παραγωγή καλαμποκιού) ή άλλη πρώτη ύλη (παραγωγή μανιόκας). Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στο γεγονός ότι σε άλλες μελέτες η πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας έχει υπολογιστεί και έπειτα έχει αφαιρεθεί στις τελικές τιμές GWP. Ακόμα, είναι αρκετά δύσκολο να συγκρίνουμε παραγωγές PLA από διαφορετικές καλλιέργειες επειδή οι εισροές στην καλλιέργεια (παρασιτοκτόνα, λιπάσματα εργασίες αγρού) είναι συνήθως διαφορετικές και έχουν και διαφορετικές επιπτώσεις.

Συγκεκριμένα, για την παραγωγή φιαλών PET, η μεγαλύτερη συμμετοχή σε σχεδόν όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων οφείλεται στην παραγωγή ρητίνης PET που ακολουθείται από τον σχηματισμό της φιάλης με εμφύσηση στο ελαστικό καλούπι. Από πλευράς ανθρώπινης συνεισφοράς στο φαινόμενο του θερμοκηπίου τα δεδομένα για αυτή την παραγωγή δείχνουν να οφείλεται στην καύση ορυκτών καυσίμων κατά την παραγωγή και η χρήση πολλών χημικών προσθέτων. Σ' αυτό το είδος προϊόντος υψηλή κρίνεται και η απαίτηση σε νερό καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για την εμφύσηση υπαγορεύουν την αναγκαιότητα ψύξης και κατ' επέκταση νερού. Επίσης, επηρεάζονται και τα λύματα δημιουργώντας κίνδυνο τοξικότητας για περιβάλλον και ανθρώπινη υγεία.

Συγκεκριμένα για την παραγωγή PLA φιαλών το 91,08% των συνολικών εκπομπών GHG συμβαίνει κατά τη φάση παραγωγής του καλαμποκιού και προκαλείται από τη μεγάλη ποσότητα λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων που χρησιμοποιούνται γενικά στην καλλιέργεια καλαμποκιού. Η ξήρανση είναι επίσης επιβαρυντική ως προς τα παραγόμενα αέρια αλλά σε ποσοστό που αγγίζει το 1%. Έτσι η παραγωγική φάση είναι κυρίως επιζήμια στο περιβάλλον καθώς δημιουργεί πολύ υψηλές απελευθερώσεις νιτρικών και φωσφορικών αλάτων στο περιβάλλον, προκαλώντας πολύ έντονα φαινόμενα ευτροφισμού (Hong et al., 2016). Στην περίπτωση των υδάτινων συστημάτων, αυτό οδηγεί σε δυσανάλογο πολλαπλασιασμό φυκιών που προκαλεί ανισορροπία του οικοσυστήματος και μπορεί να προκαλέσει το θάνατο της ιχθυοπανίδας από ασφυξία (Tamburini et al., 2021).

Συγκριτική Ανάλυση Κύκλου Ζωής σε ποτήρια μιας χρήσης

Στην περίπτωση αυτή, συγκρίνονται κύπελλάκια απο πολυστυρένιο, PLA και χαρτί με βάση τα συνολικά αποτελέσματα ΑΚΖ για κάθε υλικό κύπελλου σε συνδυασμό με όλες τις σχετικές επιλογές επεξεργασίας αποβλήτων που προκύπτουν απο την κάθε παραγωγική διαδικασία.



Εικόνα 19: Σύγκριση αποτελεσμάτων ΑΚΖ για κύπελλα αναψυκτικών μιας χρήσης απο PS, PLA και bio-paper. Οι ράβδοι δείχνουν τη σχετική επίδραση επί τις % σύγκριση με το κύπελλο PS και την αποτέφρωση ως μέθοδο διαχείρισης απορριμμάτων. Η αρνητική τιμή (πράσινο) υποδηλώνει χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αποτέφρωση PS, ενώ η θετική τιμή (κόκκινο) υποδεικνύει υψηλότερο αντίκτυπο. Η διαφορά στα αποτελέσματα των επιπτώσεων αντικατοπτρίζει την υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή. Όπου εμφανίζεται PS = πολυστυρένιο, PLA = πολυαλακτικό οξύ, I = αποτέφρωση σε MSWI, R = ανακύκλωση, C = κομποστοποίηση, AD = αναερόβια πέψη, CED = σωρευτική ενεργειακή ζήτηση, ADP = αβιοτική εξάντληση, GWP = δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, AP = οξίνιση, EP = ευτροφισμός, POCP = φωτοχημική οξείδωση, HTP = τοξικότητα στον άνθρωπο, FAETP = υδατική οικοτοξικότητα γλυκού νερού, MAETP = θαλάσσια υδροτοξικότητα, TETP = χερσαία οικοτοξικότητα και ODP = εξάντληση στρώματος όζοντος. (van der Harst et al., 2014).

Η συγκριτική αυτή ανασκόπηση δεν απέδωσε ένα είδος υλικού που να αναδεικνύεται ως το φιλικότερο προς το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι τα κύπελλα βιολογικής προέλευσης (PLA & paper) έχουν καλύτερη απόδοση σε GWP και ADP, αλλά το PS απο την άλλη δείχνει πιο ευνοϊκά αποτελέσματα στις κατηγορίες AP, EP, ODP και τοξικότητας. Αυτά τα αντικρουόμενα αποτελέσματα καθιστούν ακόμα πιο δύσκολη την επιλογή του ενδεδειγμένου κυπέλλου για χρήση (εικόνα 19).

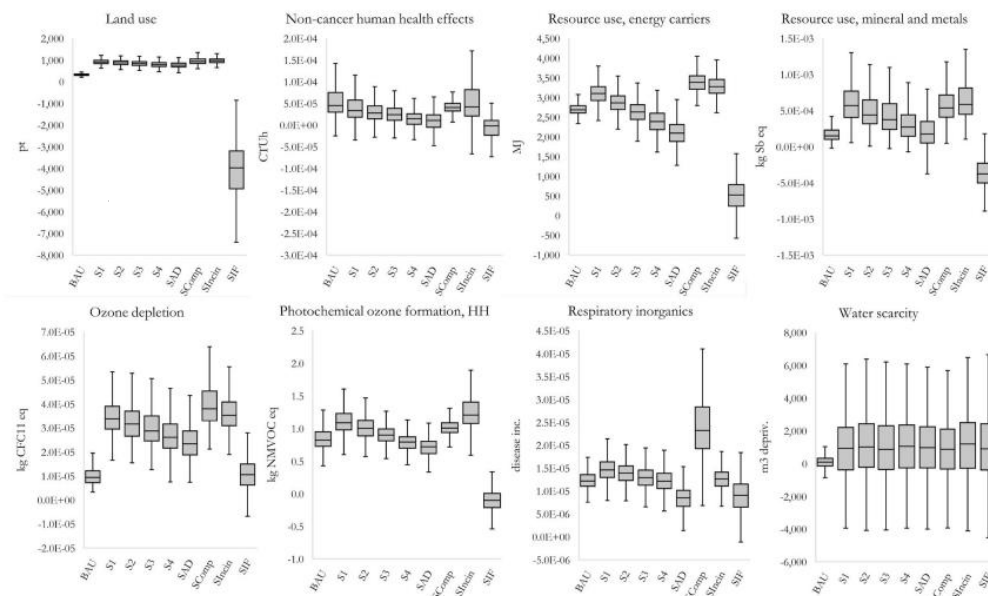
Πραγματοποιήθηκε, ακόμη, σύγκριση των παραπάνω σχετικά με τις διαφορετικές επιλογές διαχείρισης απορριμμάτων. Έτσι, η ανακύκλωση αποδίδει κατά μέσο όρο καλύτερα από την

αποτέφρωση και για τα τρία κύπελλα σε CED, AP και POCP, για τα δύο πλαστικά κύπελλα σε GWP και ADP, και για τα biocups σε EP, HTP, FAETP και MAETP. Η αποτέφρωση είναι κατά μέσο όρο καλύτερη από την ανακύκλωση για όλα τα φλιτζάνια ως προς το ODP, για το κύπελλο PS στο EP και τις κατηγορίες τοξικότητας, και για το χάρτινο κύπελλο σε GWP, ADP και TETP. Η κομποστοποίηση είναι η λιγότερο προτιμώμενη επιλογή διαχείρισης αποβλήτων και για τα δύο είδη κυπέλλων βιολογικής προέλευσης. Τέλος, τα αποτελέσματα για την αναερόβια χώνευση βρίσκονται μεταξύ ανακύκλωσης και αποτέφρωσης για τα κύπελλα PLA, αλλά δεν υπάρχει συγκεκριμένη τάση για το χάρτινο κύπελλο. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω δεν υπάρχει κάποιο είδος διαχείρισης απορριμάτων το οποίο και να συνδράμει στην ανάδειξη της πιο οικολογικής επιλογής.

Και σ' αυτή την περίπτωση, λοιπόν, φαίνεται ότι η συγκριτική AKZ δεν αναδεικνύει συνολικά ένα είδος προϊόντος ως προς το συνολικό του αποτύπωμα στο περιβάλλον ως την καλύτερη λύση, αλλά υποδεικνύει τους δείκτες όπου μεμονωμένα προϊόντα έχουν καλύτερη απόδοση.(van der Harst et al., 2014).

Περιβαλλοντικές επιδόσεις των βιοπλαστικών συσκευασιών σε φρέσκα τρόφιμα και η επακόλουθη ανάλυση του κύκλου ζωής τους

Τα αποτελέσματα που φαίνονται παραπάνω σχετίζονται με πλαστικές συσκευασίες για φρούτα και λαχανικά απο δεδομένα που έχουν ληφθεί απο το Ηνωμένο Βασίλειο. Τα αποτελέσματα δεν ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά για τις βιοπλαστικές συσκευασίες καθώς η παραγωγή τους συνεπάγεται υψηλό περιβαλλοντικό κόστος για την καλλιέργεια καλαμποκιού και σημαντική κατανάλωση ενέργειας κατά το στάδιο της επεξεργασίας. Ακόμη, βρέθηκε οτι κατά την καλλιέργεια του καλαμποκιού για την παραγωγή βιοπλαστικών διαπιστώθηκε αλλαγή χρήσης γης γεγονός που σημαίνει περιορισμένη διαθεσιμότητα σε καλλιεργίσιμη γη και κίνδυνος εκτόπισης της υπάρχουσας γεωργικής παραγωγής αλλού.



Εικόνα 20: Αποτελέσματα της προσομοίωσης του Μόντε Κάρλο για οκτώ σενάρια βιοπλαστικών και αποβλήτων τροφίμων, καθώς και του πετροχημικού πλαστικού και της σπατάλης τροφίμων από τις συνήθειες επιχειρήσεις σε οκτώ από τις 16 κατηγορίες επιπτώσεων που αξιολογήθηκαν. Για σκοπούς απεικόνισης, οι ακραίες τιμές έχουν εξαιρεθεί από τα γραφήματα, αλλά συμπεριλήφθηκαν σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις. S1: σενάριο 1 (διαχωρισμός 20%)· S2: σενάριο 2 (διαχωρισμός 40%)· S3: σενάριο 3 (διαχωρισμός 60%)· S4: σενάριο 4 (διαχωρισμός 80%)· SAD: σενάριο αναερόβια πέψη (100% διαχωρισμός)· SComp: κομποστοποίηση σεναρίου (διαχωρισμός 100%)· Sincin: αποτέφρωση σεναρίου (διαχωρισμός 100%)· SIF: τροφή εντόμων σεναρίου (διαχωρισμός 100%) (David et al., 2021)

Η ανάλυση ευαισθησίας αποδεικνύει ότι προβλέπεται βελτίωση της απόδοσης των βιοπλαστικών με την βελτίωση της τεχνολογίας και την εύρεση καταλληλότερων μεθόδων επεξεργασίας και διαχείρισης της Γης (εικόνα 20). Η σύγκριση γίνεται με τα πετροχημικά πλαστικά και τη διαφοροποίηση και βελτίωση της παραγωγής τους με την πάροδο των χρόνων. Αποδεικνύεται, λοιπόν, ότι απαιτούνται να γίνουν αρκετά βήματα για να υπάρξουν φανερά αποτελέσματα σε μια συγκριτική ΑΚΖ πετροχημικών πλαστικών και βιοπλαστικών.

Τέλος, προτείνεται η ανάπτυξη των βιοπλαστικών να ξεκινήσει στις βιομηχανικές χώρες όπου η ζήτηση είναι μεγαλύτερη λόγω της πληθώρας πρώτων υλών και των αποτελεσματικότερων τεχνολογιών καλλιέργειας, μεταποίησης και διαχείρισης ενέργειας (David et al., 2021).

Ανάλυση Κύκλου Ζωής σε οργανικά απόβλητα της Ιταλίας για το έτος 2019

Με βάση τη μεθοδολογία της ΑΚΖ και της μελέτης για αποτύπωμα άνθρακα, αξιολογήθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα οφέλη δυο εξεταζόμενων σεναρίων με βάση τη συλλογή οργανικών απορριμμάτων για το έτος 2019 στην Ιταλία. Το πρώτο σενάριο περιελάμβανε την κομποστοποίηση ενός τόνου οργανικού υλικού αποτελούμενου από

πετροχημικά πλαστικά, πλαστικά και μη κομποστοποιήσιμα πλαστικά ενώ το δεύτερο σενάριο είχε αντικαταστήσει τα πετροχημικά πλαστικά με βιοπλαστικά. Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής πραγματοποιήθηκε με δυο μεθόδους τις *ReCiPe 2016 MidPoint* ενώ παράλληλα προσδιορίστηκε και η *Συνολική Απαίτηση Ενέργειας*. Η πρώτη μέθοδος εξετάζει δεκαοκτώ κατηγορίες επιπτώσεων ενώ η δεύτερη υπολογίζει την αφαιρούμενη από τη φύση ενέργεια.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σενάριο 2 είναι πιο βιώσιμο σε δεκαπέντε από τις δεκαοκτώ κατηγορίες επιπτώσεων από το σενάριο 1. Το σενάριο 2 παρουσιάζει, επίσης, αρνητικές τιμές σε τρεις κατηγορίες οι οποίες είναι :

- 1) Σχηματισμός όζοντος-χερσαία οικοσυστήματα ($-1,64 \times 10^{-2}$ kg ισοδύναμο NOX),
- 2) Σχηματισμός όζοντος-υγεία του ανθρώπου ($-8,5 \times 10^{-3}$ kg ισοδύναμο NOX)
- 3) Σπανιότητα ορυκτών πόρων ($-4,91 \times 10^2$ kg ισοδύναμο πετρελαίου).

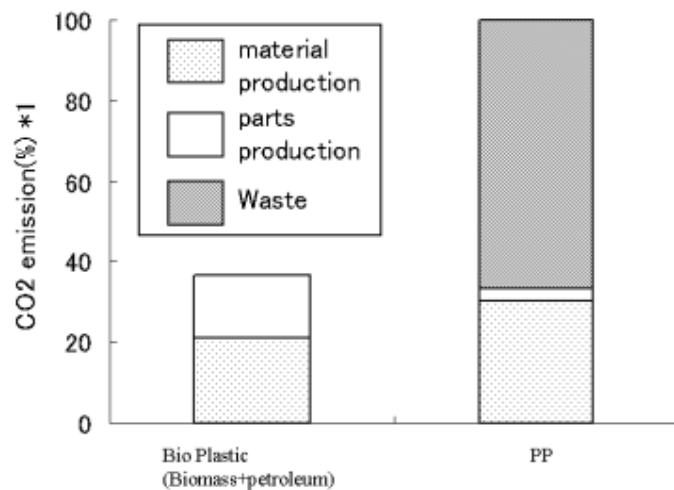
Αντίθετα, εμφανίζει ελαφρώς υψηλότερες τιμές σε σχέση με το σενάριο 1 στις κατηγορίες:

- 1) Καταστροφή του όζοντος στη στρατόσφαιρα ($2,58 \times 10^{-3}$ kg CFC11 eq).
- 2) Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων (4,68 kg PM_{2,5} eq)
- 3) Επίγεια οξίνιση (38,1 kg SO₂ eq).

Ωστόσο, είναι επιτακτικό να ληφθούν υπόψιν ότι οι τιμές της εξάντλησης στρατοσφαιρικού οξυγόνου ενδεχομένως θα έπρεπε να θεωρηθούν αμελητέες στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, ενώ ο σχηματισμός μικροσωματιδίων και η επίγεια οξίνιση είναι ιδιαίτερα σοβαροί παράγοντες που σχετίζονται με τη διαδικασία κομποστοποίησης αφού προκύπτουν από τη φάση της αερόβιας χώνευσης. Παρά την παραγωγή τους αυτές οι ουσίες δεν απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ή το έδαφος γιατί οι εγκαταστάσεις κομποστοποίησης στην Ιταλία είναι εξοπλισμένα με βιοφίλτρα που χρησιμεύουν στην δέσμευση των εκπομπών που προκύπτουν από την επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων.

Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Απαίτησης Ενέργειας, επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν με τη μέθοδο *ReCiPe* καθώς το σενάριο 2 οδηγεί σε μείωση της ποσότητας των ορυκτών πόρων, λόγω της παρουσίας περισσότερο κομποστοποιήσιμου υλικού με χρήση βιοπλαστικών, καθώς και μεγαλύτερη αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών και την ενεργειακή εξάρτηση από ορυκτά

καύσιμα. Τέλος, μια αντικειμενική αξιολόγηση των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και από τα δύο σενάρια, εκφρασμένα σε kg ισοδ. CO₂ μέσω της μεθόδου Carbon Footprint, δείχνει ότι το σενάριο 2 δημιουργεί αρνητικό αποτύπωμα άνθρακα (-3,80 kg ισοδ. CO₂) σε σύγκριση με το σενάριο 1 (79,71 kg ισοδύναμα CO₂).



Εικόνα 21: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε μείγμα βιοπλαστικών και πετροχημικών πλαστικών έναντι των αμιγώς πετροχημικών πλαστικών

Συνεπώς, το δεύτερο σενάριο είναι γενικά πιο βιώσιμο από το πρώτο, καθώς η χρήση βιοαποδομήσιμων και κομποστοποιήσιμων βιοπλαστικών σακούλων για τη συλλογή του οργανικού κλάσματος συμβάλλει στη βελτίωση της διαχείρισης των απορριμμάτων, αλλά κυρίως το κλείσιμο του κύκλου του άνθρακα, την αναγέννηση του εδάφους και την απομάκρυνση του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Το βιολογικό κλάσμα περιέχει συχνά υπολείμματα μη κομποστοποιήσιμων υλικών. Αυτά τα υλικά πρέπει να αφαιρούνται για να αποφευχθεί η ποιότητα των τελικών αποτελεσμάτων.

Τέλος, η σπατάλη πόρων λόγω υγειονομικής ταφής θα μπορούσε να αποφευχθεί και ταυτόχρονα η συλλογή υγρών απορριμμάτων θα μπορούσε να αυξηθεί, καθώς η βιοαποδομήσιμη και κομποστοποιήσιμη σακούλα εισέρχεται φυσικά στη συλλογή υγρών απορριμμάτων και ακολουθεί την ίδια διαδικασία διάθεσης (κομποστοποίηση) με αποφυγή της διαδικασίας διαλογής (Bueno and Fabricio, 2018).

Ανάλυση Κύκλου ζωής σε ανταλλακτικά αυτοκινήτων από βιοπλαστικά σε σχέση με συμβατικά πλαστικά

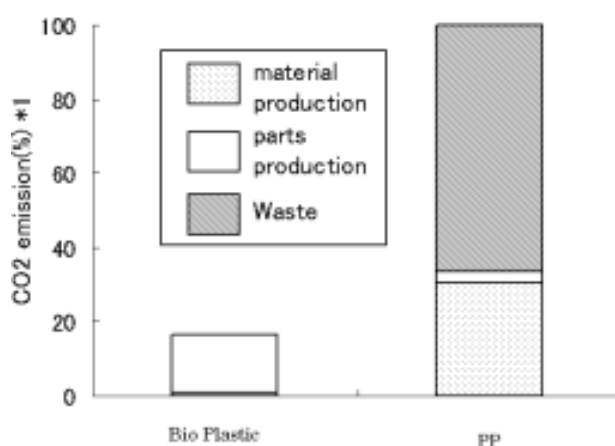
Στη μελέτη αυτή έγινε προσπάθεια για χρήση βιοπλαστικών σε ανταλλακτικά αυτοκινήτων τα οποία αποτελούνταν κατά κύριο λόγο από πολυγαλακτικό οξύ για την αντοχή του σε θερμότητα και κρούσεις. Αυτά συγκρίθηκαν με αντίστοιχα βιοπλαστικά πολυπροπυλενίου και πραγματοποιήθηκε ΑΚΖ για το καθένα.

Το αποτέλεσμα της ΑΚΖ έδειξε ότι σε ό,τι αφορά την διάρκεια ζωής των ανταλλακτικών αυτοκινήτων σε σύγκριση των βιοπλαστικών με τα πετροχημικά πλαστικά έδειξε ότι τα

βιοπλαστικά ως υλικά εκπέμπουν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα σε όλο τον κύκλο ζωής τους (εικόνα 21). Οι υπολογισμοί γίνονται με την υπόθεση ότι η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που απορροφάται από τα φυτά είναι ισοδύναμη με το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται με την καύση των φυτών

Έτσι, η διαφορά που προαναφέρθηκε πιστεύεται ότι είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι αυτά τα ανταλλακτικά αυτοκινήτων χρησιμοποιούν φυτά, τα οποία διορθώνουν τον κύκλο άνθρακα, και το γεγονός ότι το εκατό τοις εκατό της ενέργειας παραγωγής τους προέρχεται από υπολείμματα φυτών, δηλαδή η ενέργεια παραγωγής ήταν προέρχεται εξολοκλήρου από βιομάζα.

Ενώ, η χρήση βιοπλαστικών ανταλλακτικών με βάση τα σάκχαρα και τις φυτικές ίνες για τη απαίτηση ενέργειας σε σχέση με την ίδια χρησιμοποιώντας πετροχημικά πλαστικά επέφερε 60% μείωση εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα



Εικόνα 22: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα δυο είδη πλαστικής προέλευσης

Το γενικό συμπέρασμα που καταγράφηκε είναι ότι τα ανταλλακτικά αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν υλικά των οποίων η πηγή προέρχεται από τα φυτά εκπέμπουν λιγότερο CO₂ κατά τη διάρκεια ζωής τους από εξαρτήματα που χρησιμοποιούν ρητίνες πετρελαίου (Confente et al., 2020).

Ανάλυση κύκλου ζωής σε βιολογικής προέλευσης πάνες μιας χρήσης σε σχέση με τις συμβατικά χρησιμοποιούμενες.

Σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιήθηκε συγκριτική ΑΚΖ για πάνες μιας χρήσης από συμβατικά πλαστικά σε σύγκριση με αντίστοιχες από πλαστικά βιολογικής προέλευσης, Η μελέτη αυτή δείχνει ότι η ενσωμάτωση βιώσιμων αρχών στον σχεδιασμό του προϊόντος μπορεί να έχει θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Στο πλαίσιο αυτό, και με την παραδοχή ότι το να είναι κάτι βιολογικά προερχόμενο δεν σημαίνει ότι είναι και φιλικό προς το περιβάλλον τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν ότι οι πάνες μιας χρήσης με σύσταση

75 % ανανεώσιμων και κομποστοποιήσιμων πρώτων υλών με κύριο προϊόν της κατηγορίας το PLA, έχουν ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα με περιθώρια βελτίωσης.

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν

από την εν λόγω μελέτη δίνουν

ενθαρρυντικές τιμές σε σχέση με την

ανανεώσιμη φύση τους, τη διαχείριση των

τελικών αποβλήτων και την αφομοίωση τους

από το περιβάλλον, τις ενεργειακές απαιτήσεις

και τις εκπομπές αερίων που σχετίζονται με την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας. Σε ότι αφορά

επίσης, την υγεία και ασφάλεια των ανθρώπων που χρησιμοποίησαν τις πάνες αυτές φάνηκε

να είναι πιο φιλικές ως προς το ανθρώπινο δέρμα συγκριτικά με τις ήδη χρησιμοποιούμενες.

Ωστόσο, τίθενται και πολλά ζητήματα υπό σκέψη σε ότι αφορά τις γεωργικές πρακτικές που

διενεργούνται για την παραγωγή των πρώτων υλών των βιολογικά προερχόμενων πανών

αλλά και η εντατική γεωργία είναι ζητήματα που χρήζουν εστιασμένης προσοχής.

Η AKZ που διενεργήθηκε συγκριτικά για συμβατικές και βιολογικά προερχόμενες πάνες

υπογραμμίζει και τον στόχο που τίθεται για αριστοποίηση του προϊόντος καθώς ακόμα

επιδέχεται βελτιώσεις. Παρά τα πολύ θετικά αποτελέσματα που δίνει στο τέλος του κύκλου

ζωής του συγκριτικά με τις συμβατικές πάνες απαιτήσει περαιτέρω έρευνα για τις

δυνατότητες μερικής ή ολικής κομποστοποίησης του προϊόντος στο τέλος της ζωής του.

Ακόμα, απαιτείται να δοθεί μια καλύτερη επιλογή ως προς τις πρακτικές που

χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή του προϊόντος με σκοπό να γίνει σε όλη τη διάρκεια

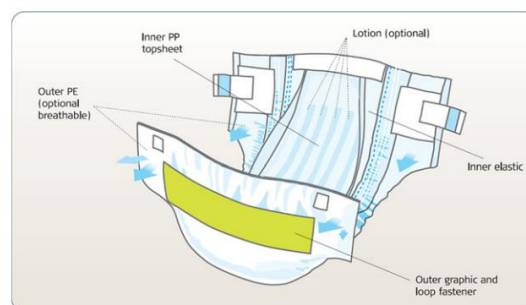
του με χρήση μόνο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σχετικά με την υπάρχουσα που έχει

περιορίσει τη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περίπου στο 50%.

Τέλος, συνίσταται η σχολαστική πραγματοποίηση αναλύσεων κύκλου ζωής και συγκριτικών

αναλύσεων με έμφαση στην εκτίμηση των επιπτώσεων στους βιοτικούς πόρους πέρα από

αυτές που αναφέρονται να προκαλούνται στους αβιοτικούς (Folino et al., 2020).



Εικόνα 23: Δομή πάνας βιοπλαστικής σύνθεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΚΕΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΠΡΟΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

Τα τελευταία χρόνια, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής εξαρτώνται όλο και περισσότερο από τη χρήση των Αναλύσεων Κύκλου Ζωής (LCA) για τη δημιουργία μιας σωστής βάσης για πιο διαφανή και τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις πολιτικές και τους κανονισμούς που επιφέρουν.

Ωστόσο, μια επιτυχημένη ΑΚΖ πρέπει να λαμβάνει υπόψιν ορισμένους παράγοντες για το πώς επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα και την υποστήριξη της πολιτικής. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των δεδομένων, προσεγγίσεις μοντελοποίησης, μεθοδολογικές επιλογές και ανάλυση αβεβαιότητας.

Αρχικά, όπως έχει και παραπάνω αναφερθεί, οι ΑΚΖ επινοήθηκαν ως μέσο για τις επιχειρήσεις με σκοπό να εντοπίσουν τα «hot spots» και να αξιοποιήσουν την καινοτομία σε σχέση με ένα συγκεκριμένο προϊόν και την ανάπτυξή αυτού. Στη χάραξη πολιτικής, από την άλλη, οι ΑΚΖ χρησιμοποιούνται ως εργαλείο σύγκρισης, ειδικά για την αξιολόγηση διαφορετικών προϊόντων ή τεχνολογιών που μπορεί να μην έχουν κατάλληλη βάση σύγκρισης (van der Harst et al., 2014).

Σε ότι αφορά τη σύγκριση των ΑΚΖ βιοπλαστικών και πετροχημικών πλαστικών παρατηρείται ότι τα δεδομένα ενδέχεται να προέρχονται από την ίδια κύρια πηγή δεδομένων γεγονός που μπορεί να περιορίσει τα αποτελέσματα. Από την άλλη, συγκριτικές μελέτες LCA που χρησιμοποιούν διαφορετικές βάσεις δεδομένων μπορεί να οδηγήσουν σε παραπλανητικά αποτελέσματα και ερμηνείες (Cespi et al., 2015).

Για μια υγιή σύγκριση LCA πλαστικών βιολογικής βάσης με άλλα πλαστικά υλικά (π.χ. ορυκτά, ανακυκλωμένα είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη:

- Τα πλαστικά με βιολογική βάση και τα πετροχημικά πλαστικά συγκρίνονται σε άνιση βάση όσον αφορά την παραγωγή και τη μετατροπή
- Ενώ τα πλαστικά με βιολογική βάση στην αγορά είναι σχετικά νέα υλικά (10-20 χρόνια), τα πετροχημικά πλαστικά είναι αρκετά πιο ώριμα προϊόντα (40-60 ετών).

- Τα πλαστικά βιολογικής βάσης παράγονται σε περιορισμένο αριθμό εγκαταστάσεων συχνά μικρής κλίμακας, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά πλαστικά η οποία εκτελείται σε μια μεγάλη, πλήρως βελτιστοποιημένη βάση.
- Σε αντίθεση με τη μετατροπή πετροχημικών πλαστικών σε προϊόντα, τα τελικά προϊόντα από βιολογικά προϊόντα πλαστικά γίνονται κυρίως σε μικρή κλίμακα, συχνά σε γραμμές που δεν είναι αμιγώς αφιερωμένες και δεν εκτελούνται σε πλήρη χωρητικότητα.
- Για πολλά πλαστικά με βιολογική βάση, υπάρχουν μόνο επί του παρόντος ένας ή δύο παραγωγοί, που οι ίδιοι έχουν εισέλθει στην αγορά τα τελευταία 20 χρόνια.

Μελλοντικές βελτιώσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα των πλαστικών με βιολογική βάση – όσον αφορά τις επιλογές των πρώτων υλών, την προμήθεια, την παραγωγή, την μετατροπή και το τέλος ζωής – είναι θεμιτό να εξεταστούν επαρκώς και γίνει πρόβλεψη μέσω της εφαρμογής των κατάλληλων προσεγγίσεων μοντελοποίησης. Οποιοσδήποτε ενδεχόμενες ανισότητες θα πρέπει να περιγράφονται στις AKZ κατά το πεδίο εφαρμογής, ερμηνείας και αξιολόγησης (Pinsonnault et al., 2014).

Για τις συγκριτικές AKZ, απαιτείται να υπάρχει ισοτιμία σε όρους των πηγών αλλά και της ποιότητα των δεδομένων που εισάγονται στην ανάλυση.

Χαρακτηριστικά έχουν δημοσιευθεί κατά καιρούς AKZ για πετροχημικά πλαστικά που καλύπτουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μόνο για την παραγωγή εντός της χώρας ή εντός της Ευρώπης, έχοντας όμως στην κατοχή τους οι δεδομένες εταιρείες μονάδες και σε άλλες περιοχές του κόσμου με πιθανότητα υψηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Αυτή ανάλυση είναι σημαντική και για τα διάφορα εισαγόμενα προϊόντα. Ένα άλλο αρκετά σημαντικό λάθος που παρατηρείται είναι οι πηγές των δεδομένων. Η κλίμακα παραγωγής διαδραματίζει εξίσου σημαντικό ρόλο και χρειάζεται να τονιστεί ότι π.χ. τα δεδομένα από μικρές πιλοτικές μονάδες δεν μπορούν να είναι συγκρίσιμα με μεγάλες εγκαταστάσεις.

Όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα τα πλαστικά πετροχημικής και εκείνα βιολογικής προέλευσης θα πρέπει να έχουν το ίδιο επίπεδο ποιότητας δεδομένων, τα ίδια όρια συστήματος, την ίδια πληρότητα, καθώς και ίδιους κανόνες μοντελοποίησης. Τα αντίστοιχα δεδομένα που αξιοποιούνται για την διεκπεραίωση της AKZ θα πρέπει να διατίθενται σε δημόσιες βάσεις δεδομένων (Roy et al., 2009).

Σε ότι αφορά ενδεχόμενες καινοτομίες τεχνολογίας ή διαδικασίας που εφαρμόζονται στις βιομηχανίες αυτές αρχικά ισχύουν σε μικρή κλίμακα αλλά πρέπει να εξισωθούν για να ληφθούν υπόψιν σε μεγάλη κλίμακα οι εκπομπές και επιβαρύνσεις.

Ένα ακόμα σημείο το οποίο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή είναι η διαχείριση του άνθρακα για τα πλαστικά με βιολογική βάση. Σε μια παραγωγή πλαστικού βιολογικής προέλευσης, αυτό θα παραχθεί κάθε χρόνο ή εξάμηνο από ανανεώσιμη πρώτη ύλη που δεσμεύει άνθρακα της ατμόσφαιρας. Αυτός ο άνθρακας, λοιπόν, δεσμεύεται εντός του πολυμερούς μέχρι το τέλος της ζωής του υλικού. Όταν δεν είναι πλέον ανακυκλώσιμο, ο άνθρακας εισέρχεται και πάλι στον φυσικό κύκλο του άνθρακα μέσω της αποτέφρωσης ή κομποστοποίησης κλείνοντας τον κύκλο. Η πρόσληψη ατμοσφαιρικού και η απελευθέρωση βιογενούς άνθρακα είναι κομβικά σημεία τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την ΑΚΖ (Tamburini et al., 2021).

Ακόμη, οι μελέτες ΑΚΖ θα πρέπει να παρέχουν μια προσέγγιση τόσο των έμμεσων αρνητικών όσο και των έμμεσων θετικών επιπτώσεων και ανάμεσα στα πετροχημικά και βιολογικά πλαστικά θα πρέπει να γίνεται μια ισότιμη σύγκριση με εξονυχιστική εξέταση σε όλα τα στάδια.

Κάποιες από τις θετικές επιδράσεις που θα ήταν σκόπιμο να αναφέρονται είναι:

- Τα πλαστικά με βιολογική βάση προσφέρουν πολλαπλές επιλογές στο τέλος της ζωής τους, ανάλογα με το επιλεγμένο υλικό και την εφαρμογή. Μπουκάλια κατασκευασμένα από PE βιολογικής βάσης μπορούν να υποστούν μηχανική ανακύκλωση σε υπάρχοντα ρεύματα ανακύκλωσης.
- Οι σακούλες βιολογικών απορριμμάτων είναι κατασκευασμένες από πιστοποιημένα βιοαποδομήσιμα και κομποστοποιήσιμα μείγματα αμύλου που μπορούν να ανακτηθούν μέσω της οργανικής ανακύκλωσης, δηλαδή της βιομηχανικής κομποστοποίησης. Αυτές οι επιλογές αποτελούν σημαντικό εφόδιο και δίνουν καίριο πλεονέκτημα στα πλαστικά για τη χρήση τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής έχουν κάνει ξεκάθαρη την αναγκαιότητα διενέργειας μιας σειράς δράσεων τόσο από το κάθε άτομο μεμονωμένα όσο και από την κοινωνία στο σύνολό της για τη επίτευξη ενός πιο βιώσιμου πλανήτη. Εξέχοντα ρόλο στον παραπάνω στόχο διαδραματίζουν οι βιομηχανίες των οποίων οι δραστηριότητες όλα αυτά τα χρόνια επιβάρυναν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον. Συνίσταται, λοιπόν, πλέον οι ίδιες να ερευνούν πόσο επιβαρυντικές κρίνονται οι διαδικασίες ή τα προϊόντα τους με σκοπό τη βελτίωση τους ώστε να είναι αποδεκτά από το κοινό ως βιώσιμα και παράλληλα να συμμορφώνονται με την νομοθεσία.

Χρήσιμο εργαλείο, μεταξύ άλλων, για την επίτευξη των παραπάνω είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Μια ΑΚΖ παρέχει σαφείς πληροφορίες για τις επιπτώσεις προϊόντων ή διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία, το φυσικό περιβάλλον και τα οικοσυστήματα. Οι πληροφορίες αυτές υποβάλλονται σε ανάλυση ευαισθησίας για τον προσδιορισμό της ακρίβειας της ανάλυσης και εν συνεχεία την λήψη των προτάσεων που παρέχει ως στόχους για βελτίωση της απόδοσης της εκάστοτε βιομηχανίας ή επιχείρησης.

Σημαντικό ρόλο, για μια επιταχυμένη ΑΚΖ, διαδραματίζει η επιλογή του ενδεδειγμένου προγράμματος ανάλογα με τον χρήστη στον οποίο απευθύνεται και κατά πόσο εξοικειωμένος είναι με τέτοιου είδους μελέτες. Η βάση δεδομένων, η διαφάνεια, ευελιξία και ευχρηστία των δεδομένων, η διενέργεια αναλύσεων ευαισθησίας στο τέλος της μελέτης και η τεχνική υποστήριξη στους χρήστες μετά την εξαγορά του προγράμματος είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που κρίνονται σημαντικά για την επιλογή του κατάλληλου προγράμματος.

Για τη βιομηχανία των βιοπλαστικών που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί ότι η κύρια αιτία που φαίνεται να υπερτερούν έναντι των πετροχημικών πλαστικών είναι η δυνατότητα της βιοαποδόμησης. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά το στάδιο της βιοαπαδόμησης τα βιοπλαστικά διασπώνται σε ενώσεις οι οποίες υπάρχουν ήδη στο φυσικό περιβάλλον και δεν εμπεριέχουν τοξικά στοιχεία, όταν φυσικά, η βιοαποδόμηση λαμβάνει χώρα σε δεδομένες συνθήκες. Σε ότι αφορά τις ιδιότητες τους, φαίνεται να πλησιάζουν τα συμβατικά πλαστικά και να αποκρίνονται ικανοποιητικά με εξαίρεση την ιδιότητα της μηχανικής αντοχής όπου επιδέχονται βελτιώσεων όμως μέχρι τώρα δοκιμές επηρέαζαν το στάδιο της βιοαποδόμησης και γι' αυτό δεν είναι εφαρμόσιμες.

Η νομοθεσία γύρω από τα βιοπλαστικά αποδεικνύει ότι ακόμη δεν υπάρχουν σαφείς οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές για τη χρήση τους και την κυκλοφορία τους καθώς ορισμένες φορές υπόκεινται σε περιοριστικούς νόμους όμοιους με εκείνους των πλαστικών χωρίς επί της ουσίας να συγκρίνεται το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

Η χρήση, ακόμη, των βιοπλαστικών είναι σύμφωνη με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας που αποτελεί το ανανεωμένο μοντέλο και τη σύγχρονη τάση με την οποία οι κυβερνήσεις επιθυμούν να πορευτούν τα επόμενα χρόνια εγκαταλείποντας το μοντέλο της γραμμικής οικονομίας που εφαρμοζόταν μέχρι τώρα.

Στην Ελλάδα, τα αποτελέσματα δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά στο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας με χαμηλές επιδόσεις στο πεδίο της ανακύκλωσης και απογοητευτικά αποτελέσματα στο επίπεδο της διαχείρισης αποβλήτων γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη προσφυγής σε βιοπλαστικά, εντατικοποίηση της ενημέρωσης από τις εκάστοτε κυβερνήσεις και νομικό πλαίσιο που με οικονομικές επιβαρύνσεις σε περιβαλλοντικά ασυνείδητους πολίτες.

Οι ΑΚΖ σε συνεργασία με τις περιβαλλοντικές δηλώσεις (EPD) αλλά και κανόνες κατηγορίας προϊόντων (PCR) δίνουν σημαντικές πληροφορίες για κατηγορίες μετρήσεων κυρίως ως προς την αθροιστική απαιτούμενη ενέργεια, ζήτηση ορυκτών καυσίμων, δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, δυνατότητα οξίνισης του πλανήτη στο κομμάτι των βιοπλαστικών.

Συγκριτικά με τα βιοπλαστικά και πετροχημικά πλαστικά μελέτες ΑΚΖ έχουν αποδείξει θετικότερα αποτελέσματα των βιοπλαστικών ως προς την οξίνιση των ωκεανών, την ακεραιότητα της βιόσφαιρας, αλλά και της καταστροφής του όζοντος. Τα αρνητικά αποτελέσματα των βιοπλαστικών σχετίζονται με την αλλαγή χρήσης γης, τις απαιτήσεις και την εντατική καλλιέργεια. Ωστόσο, σημαντικό πλεονέκτημα το οποίο λαμβάνεται υπόψη είναι η διαχείριση των βιοπλαστικών στο τέλος της ζωής τους έναντι των πετροχημικών πλαστικών.

Ως προς τα σημεία βελτίωσης που απαιτείται να παρουσιάσουν εξέλιξη στο μέλλον για τις συγκριτικές ΑΚΖ είναι να εξασφαλίζεται παρόμοιες βάσεις δεδομένων, σωστή μοντελοποίηση, ποιότητα δεδομένων, συγκρίσιμες εγκαταστάσεις και συνολική ποσότητα

δεδομένων σε όλο τον κύκλο ζωής και όχι μόνο αυτών που λαμβάνουν χώρα σε μια γεωγραφική περιοχή που ενδεχομένως είναι λιγότερο επιβαρυσμένη.

Τέλος, παρουσιάστηκαν ορισμένες μελέτες περιπτώσεις για εφαρμογές πλαστικών και βιοπλαστικών. Αρχικά, στην Ιταλία η μελέτη ήταν για διαχείριση αποβλήτων με διαφορετική αναλογία πλαστικών και βιοπλαστικών, έπειτα η επόμενη περίπτωση περιείχε ανταλλακτικά αυτοκινήτων είτε από πλαστικά είτε από βιοπλαστικά σαν πρώτες ύλες και τέλος, η τελευταία περίπτωση σχετίστηκε για πάνες μιας χρήσης. Όλες οι περιπτώσεις ανέδειξαν τα θετικότερα αποτελέσματα των βιοπλαστικών αντί για τα συμβατικά πλαστικά

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barbi, S., Macavei, L.I., Caligiani, A., Maistrello, L., Montorsi, M., 2021. From Food Processing Leftovers to Bioplastic: A Design of Experiments Approach in a Circular Economy Perspective. *Waste Biomass Valorization* 12, 5121–5130. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01376-3>
- Behling, R., Valange, S., Chatel, G., 2016. Heterogeneous catalytic oxidation for lignin valorization into valuable chemicals: what results? What limitations? What trends? *Green Chem.* 18, 1839–1854. <https://doi.org/10.1039/C5GC03061G>
- Bello, S., Méndez-Trelles, P., Rodil, E., Feijoo, G., Moreira, M.T., 2020. Towards improving the sustainability of bioplastics: Process modelling and life cycle assessment of two separation routes for 2,5-furandicarboxylic acid. *Sep. Purif. Technol.* 233, 116056. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116056>
- Bhagwat, G., Gray, K., Wilson, S.P., Muniyasamy, S., Vincent, S.G.T., Bush, R., Palanisami, T., 2020. Benchmarking Bioplastics: A Natural Step Towards a Sustainable Future. *J. Polym. Environ.* 28, 3055–3075. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01830-8>
- Bj, A.E., 2002. Survey of approaches to improve reliability in lca 9.
- Brizga, J., Hubacek, K., Feng, K., 2020. The Unintended Side Effects of Bioplastics: Carbon, Land, and Water Footprints. *One Earth* 3, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.06.016>
- Bueno, C., Fabricio, M.M., 2018. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Autom. Constr.* 90, 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.028>
- Calabrò, P.S., Grosso, M., 2018. Bioplastics and waste management. *Waste Manag.* 78, 800–801. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.054>
- Cespi, D., Beach, E.S., Swarr, T.E., Passarini, F., Vassura, I., Dunn, P.J., Anastas, P.T., 2015. Life cycle inventory improvement in the pharmaceutical sector: assessment of the sustainability combining PMI and LCA tools. *Green Chem.* 17, 3390–3400. <https://doi.org/10.1039/C5GC00424A>
- Chen, L., Pelton, R.E.O., Smith, T.M., 2016. Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. *J. Clean. Prod.* 137, 667–676. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.094>
- Cluzel, F., Yannou, B., Afonso, D., Leroy, Y., Millet, D., Pareau, D., 2010. Managing the Complexity of Environmental Assessments of Complex Industrial Systems with a Lean 6 Sigma Approach, in: Aiguier, M., Bretaudeau, F., Krob, D. (Eds.), *Complex Systems Design & Management*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 279–294. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15654-0_20
- Confente, I., Scarpi, D., Russo, I., 2020. Marketing a new generation of bio-plastics products for a circular economy: The role of green self-identity, self-congruity, and perceived value. *J. Bus. Res.* 112, 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.030>
- D’Adamo, I., Falcone, P.M., Morone, P., 2020. A New Socio-economic Indicator to Measure the Performance of Bioeconomy Sectors in Europe. *Ecol. Econ.* 176, 106724. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106724>
- David, G., Croxatto Vega, G., Sohn, J., Nilsson, A.E., Hélias, A., Gontard, N., Angellier-Coussy, H., 2021. Using life cycle assessment to quantify the environmental benefit of upcycling vine shoots as fillers in biocomposite packaging materials. *Int. J. Life Cycle Assess.* 26, 738–752. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01824-7>

- Del Borghi, A., 2013. LCA and communication: Environmental Product Declaration. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 293–295. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0513-9>
- Di Bartolo, A., Infurna, G., Dintcheva, N.T., 2021. A Review of Bioplastics and Their Adoption in the Circular Economy. *Polymers* 13, 1229. <https://doi.org/10.3390/polym13081229>
- Dilkes-Hoffman, L., Ashworth, P., Laycock, B., Pratt, S., Lant, P., 2019. Public attitudes towards bioplastics – knowledge, perception and end-of-life management. *Resour. Conserv. Recycl.* 151, 104479. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104479>
- Ding, Y., Jin, M., Li, S., Feng, D., 2021. Smart logistics based on the internet of things technology: an overview. *Int. J. Logist. Res. Appl.* 24, 323–345. <https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1757053>
- Emadian, S.M., Onay, T.T., Demirel, B., 2017. Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Manag.* 59, 526–536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>
- Environmental-Engineering-lecture-14-LCA[4681].pdf, n.d.
- Folino, A., Karageorgiou, A., Calabrò, P.S., Komilis, D., 2020. Biodegradation of Wasted Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review. *Sustainability* 12, 6030. <https://doi.org/10.3390/su12156030>
- Hauschild, M.Z., Huijbregts, M.A.J., 2015. Introducing Life Cycle Impact Assessment, in: Hauschild, M.Z., Huijbregts, M.A.J. (Eds.), *Life Cycle Impact Assessment, LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1–16. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9744-3_1
- Heijungs, R., Henriksson, P.J.G., Guinée, J.B., 2017. Pre-calculated LCI systems with uncertainties cannot be used in comparative LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22, 461–461. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1265-3>
- Herrmann, I.T., Moltesen, A., 2015. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *J. Clean. Prod.* 86, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>
- Hoogmartens, R., Van Passel, S., Van Acker, K., Dubois, M., 2014. Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. *Environ. Impact Assess. Rev.* 48, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.05.001>
- Hunt, Robert G., Franklin, W.E., Hunt, R. G., 1996. LCA — How it came about: — Personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 1, 4–7. <https://doi.org/10.1007/BF02978624>
- Jander, W., Grundmann, P., 2019. Monitoring the transition towards a bioeconomy: A general framework and a specific indicator. *J. Clean. Prod.* 236, 117564. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.039>
- Jolliet, O., Müller-Wenk, R., Bare, J., Brent, A., Goedkoop, M., Heijungs, R., Itsubo, N., Peña, C., Pennington, D., Potting, J., Rebitzer, G., Stewart, M., de Haes, H.U., Weidema, B., 2004. The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative. *Int. J. Life Cycle Assess.* 9, 394. <https://doi.org/10.1007/BF02979083>
- Kakadellis, S., Harris, Z.M., 2020. Don't scrap the waste: The need for broader system boundaries in bioplastic food packaging life-cycle assessment – A critical review. *J. Clean. Prod.* 274, 122831. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122831>
- Karan, H., Funk, C., Grabert, M., Oey, M., Hankamer, B., 2019. Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends Plant Sci.* 24, 237–249. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.010>

- Kardung, M., Cingiz, K., Costenoble, O., Delahaye, R., Heijman, W., Lovrić, M., van Leeuwen, M., M'Barek, R., van Meijl, H., Piotrowski, S., Ronzon, T., Sauer, J., Verhoog, D., Verkerk, P.J., Vrachioli, M., Wesseler, J.H.H., Zhu, B.X., 2021. Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators. *Sustainability* 13, 413. <https://doi.org/10.3390/su13010413>
- Kawashima, N., Yagi, T., Kojima, K., 2019. How Do Bioplastics and Fossil-Based Plastics Play in a Circular Economy? *Macromol. Mater. Eng.* 304, 1900383. <https://doi.org/10.1002/mame.201900383>
- Kim, H., Lee, S., Ahn, Y., Lee, J., Won, W., 2020. Sustainable Production of Bioplastics from Lignocellulosic Biomass: Technoeconomic Analysis and Life-Cycle Assessment. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 8, 12419–12429. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02872>
- Lackner, M., 2015. Bioplastics, in: John Wiley & Sons Inc (Ed.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, pp. 1–41. <https://doi.org/10.1002/0471238961.koe00006>
- Lamberti, F.M., Román-Ramírez, L.A., Wood, J., 2020. Recycling of Bioplastics: Routes and Benefits. *J. Polym. Environ.* 28, 2551–2571. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01795-8>
- LCA_greek[4679].pdf, n.d.
- Lee, K., Tae, S., Shin, S., 2009. Development of a Life Cycle Assessment Program for building (SUSB-LCA) in South Korea. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13, 1994–2002. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.002>
- Leipold, S., Petit-Boix, A., 2018. The circular economy and the bio-based sector - Perspectives of European and German stakeholders. *J. Clean. Prod.* 201, 1125–1137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.019>
- Mehrasbi, M.R., Mohammadi, J., Peyda, M., Mohammadi, M., 2017. Covalent immobilization of *Candida antarctica* lipase on core-shell magnetic nanoparticles for production of biodiesel from waste cooking oil. *Renew. Energy* 101, 593–602. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.022>
- Mohadesi, M., Aghel, B., Maleki, M., Ansari, A., 2019. Production of biodiesel from waste cooking oil using a homogeneous catalyst: Study of semi-industrial pilot of microreactor. *Renew. Energy* 136, 677–682. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.039>
- Narayan, R., 2011. Carbon footprint of bioplastics using biocarbon content analysis and life-cycle assessment. *MRS Bull.* 36, 716–721. <https://doi.org/10.1557/mrs.2011.210>
- Noreen, A., Zia, K.M., Zuber, M., Tabasum, S., Zahoor, A.F., 2016. Bio-based polyurethane: An efficient and environment friendly coating systems: A review. *Prog. Org. Coat.* 91, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.11.018>
- Norris, G.A., 2001. Integrating life cycle cost analysis and LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 6, 118–120. <https://doi.org/10.1007/BF02977849>
- Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G., 2009. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Constr. Build. Mater.* 23, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>
- Ossés de Eicker, M., Hischer, R., Kulay, L.A., Lehmann, M., Zah, R., Hurni, H., 2010. The applicability of non-local LCI data for LCA. *Environ. Impact Assess. Rev.* 30, 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.08.007>
- Piemonte, V., 2011. Bioplastic Wastes: The Best Final Disposition for Energy Saving. *J. Polym. Environ.* 19, 988–994. <https://doi.org/10.1007/s10924-011-0343-z>

- Pinsonnault, A., Lesage, P., Levasseur, A., Samson, R., 2014. Temporal differentiation of background systems in LCA: relevance of adding temporal information in LCI databases. *Int. J. Life Cycle Assess.* 19, 1843–1853. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0783-5>
- Razza, F., Innocenti, F.D., 2012. Bioplastics from renewable resources: the benefits of biodegradability: BIODEGRADABLE BIOPLASTICS. *Asia-Pac. J. Chem. Eng.* 7, S301–S309. <https://doi.org/10.1002/apj.1648>
- Rostkowski, K.H., Criddle, C.S., Lepech, M.D., 2012a. Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment for a Cradle-to-Cradle Cycle: Biogas-to-Bioplastic (and Back). *Environ. Sci. Technol.* 46, 9822–9829. <https://doi.org/10.1021/es204541w>
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., Shiina, T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *J. Food Eng.* 90, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>
- Silva, D.A.L., Nunes, A.O., 2017. How important is the LCA software tool you choose? Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto 7.
- Spatari, S., Betz, M., Florin, H., Baitz, M., Faltenbacher, M., 2001. Using GaBi 3 to perform life cycle assessment and life cycle engineering. *Int. J. Life Cycle Assess.* 6, 81. <https://doi.org/10.1007/BF02977842>
- Spierling, S., Venkatachalam, V., Behnsen, H., Herrmann, C., Endres, H.-J., 2019. Bioplastics and Circular Economy—Performance Indicators to Identify Optimal Pathways, in: Schebek, L., Herrmann, C., Cerdas, F. (Eds.), *Progress in Life Cycle Assessment, Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*. Springer International Publishing, Cham, pp. 147–154. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92237-9_16
- Tamburini, E., Costa, S., Summa, D., Battistella, L., Fano, E.A., Castaldelli, G., 2021. Plastic (PET) vs bioplastic (PLA) or refillable aluminium bottles – What is the most sustainable choice for drinking water? A life-cycle (LCA) analysis. *Environ. Res.* 196, 110974. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110974>
- Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., Thakur, V.K., 2018. Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 13, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.013>
- Unger, N., Beigl, P., Wassermann, G., n.d. General requirements for LCA software tools 7.
- van der Harst, E., Potting, J., Kroeze, C., 2014. Multiple data sets and modelling choices in a comparative LCA of disposable beverage cups. *Sci. Total Environ.* 494–495, 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.084>
- Vinci, G., Ruggieri, R., Billi, A., Pagnozzi, C., Di Loreto, M.V., Ruggeri, M., 2021. Sustainable Management of Organic Waste and Recycling for Bioplastics: A LCA Approach for the Italian Case Study. *Sustainability* 13, 6385. <https://doi.org/10.3390/su13116385>
- Zhong, X., Lv, L., Hu, H., Jiang, X., Fu, H., 2020. Bio-based coatings with liquid repellency for various applications. *Chem. Eng. J.* 382, 123042. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123042>