



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική εργασία

Ανάλυση Κύκλου Ζωής προϊόντων ή δραστηριοτήτων: Η
χρησιμότητα του προγράμματος GaBi στη διαχείριση του
περιβάλλοντος

Ευαγγελία Γκαραγκούνη

Επιβλέποντες : Επίκουρος Καθηγητής Κακάβας Κ.
Επίκουρος Καθηγητής Γιοβανούλης Γ.

Λάρισα, Φεβρουάριος 2024

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ.....	8
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (ΑΚΖ).....	12
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	12
3.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ	14
3.3 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ & ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ	17
3.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	20
3.4.1 Φάσεις ΑΚΖ.....	21
3.4.2 Ορισμός Στόχου και Σκοπού.....	21
3.4.3 Ανάλυση Αποθεμάτων.....	23
3.4.4 Εκτίμηση Επιπτώσεων.....	25
3.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΚΑΙ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	30
4. ΒΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΚΖ	33
5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΑΚΖ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ	
ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ	38
6. ΑΚΖ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΚΖ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ, ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ	
ΔΙΑΦΟΡΕΣ	48
7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	51
7.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ GABI.....	52
7.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	55
7.2.1 Σκοπός και αντικείμενο της μελέτης	56
7.2.2 Δεδομένα και Κατάλογος Κύκλου Ζωής.....	58
7.2.3 Αποτελέσματα	63
7.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΡΙΟΣΑΝΙΔΩΝ (PARTICLEBOARD).....	68
7.3.1 Σκοπός και αντικείμενο της μελέτης	69
7.3.2 Δεδομένα και Κατάλογος Κύκλου Ζωής.....	70
7.3.3 Αποτελέσματα	73
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	78

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω Επιβλέποντες της εργασίας αυτής, Δρ. Κων/νο Κακάβα, Επίκουρο Καθηγητή Π.Θ. και Δρ. Γεώργιο Γιοβανούλη, Επίκουρο Καθηγητή Π.Θ. για την πολύτιμη βοήθειά τους και τη διαρκή υποστήριξή τους, κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία SPHERA για την δωρεάν παροχή του εργαλείου GaBi με σκοπό την εκπόνηση της διπλωματικής μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η καταγραφή της μεθοδολογίας και των διαθέσιμων εργαλείων για την υπολογιστική διαδικασία για την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (AKZ) προϊόντων ή δραστηριοτήτων, καθώς και η ανάλυση της χρησιμότητας του εργαλείου στη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης ενός συστήματος.

Αρχικά γίνεται μια αναφορά στα περιβαλλοντικά θέματα που καλούμαστε σήμερα να αντιμετωπίσουμε και τα οποία απασχολούν την παγκόσμια κοινότητα. Στη συνέχεια αναλύεται η έννοια της Ανάλυσης του Κύκλου ζωής και ποιος είναι ο σκοπός αυτής, ενώ παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες και τα διεθνή πρότυπα στα οποία βασίζεται η μέθοδος και τα διαθέσιμα εργαλεία εφαρμογής της. Επιπλέον, δίδονται παραδείγματα χρήσης της μεθόδου και τα σημαντικότερα αποτελέσματα των αξιολογήσεων.

Τέλος, παρουσιάζονται δύο μελέτες περίπτωσης με τη χρήση του εργαλείου GaBi (Sphera). Η πρώτη μελέτη αφορά την παραγωγή βιοαερίου σε μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης (AX) με ζωικά απόβλητα και η δεύτερη μελέτη αφορά την παραγωγή μοριοσανίδας. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης και αναλύεται η χρησιμότητα του εργαλείου για την αντιμετώπιση και πρόληψη των προβλημάτων περιβαλλοντικής φύσεως.

Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας επικεντρώνονται στην ανάλυση της χρησιμότητας του εργαλείου για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης των παραγωγικών διαδικασιών ή δραστηριοτήτων. Ενώ επισημαίνεται πώς το εργαλείο μπορεί να συντελέσει στην ορθή περιβαλλοντική διαχείριση μέσω της εφαρμογής στοχευμένων μέτρων και της λήψης στρατηγικών αποφάσεων που ενισχύουν τη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική υπευθυνότητα.

Λέξεις κλειδιά: Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (AKZ), Εκπομπές, Προϊόν, Δραστηριότητα, Περιβαλλοντική Επίπτωση.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to document the methodology and available tools for the computational process of the Life Cycle Analysis (LCA) of products or activities, as well as to analyze the usefulness of this tool in improving the environmental performance of a system.

Initially, reference is made to the environmental issues we are currently facing, all around the world. Moving on, the concept of Life Cycle Analysis is analyzed, along with its purpose, while the methodologies and international standards on which the method is based, as well as the available application tools, are presented. Additionally, examples of the method's application along with the most significant assessment results are provided.

Finally, two case studies using the GaBi (Sphera) tool are presented. The first study concerns biogas production in an Anaerobic Digestion (AD) unit using animal waste, while the second study focuses on particleboard production. The assessment results are presented, and the tool's usefulness in addressing and preventing environmental issues is analyzed.

The conclusions of this study focus on analyzing the utility of the tool in improving the environmental performance of production processes or activities. Furthermore, the study highlights how the tool can contribute to proper environmental management through the implementation of targeted measures and strategic decision-making that enhance sustainability and environmental responsibility.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Emissions, Product, Activity, Environmental Impact.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και ολοκληρωμένα εργαλεία για την εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων και διαδικασιών σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή, τη χρήση και την τελική διάθεση, η AKZ παρέχει τη δυνατότητα για τη συνολική αξιολόγηση και τη σύγκριση των περιβαλλοντικών συνεπειών και επιβαρύνσεων κάθε σταδίου. Μέσω της AKZ, μπορούν να εντοπιστούν τα στάδια που έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στην κατανάλωση φυσικών πόρων και σε άλλες πιέσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Η AKZ παρέχει μια σφαιρική εικόνα για την περιβαλλοντική επίδοση ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας, εντοπίζοντας τις περιοχές στις οποίες απαιτείται η εφαρμογή βελτιώσεων. Ακόμα, η μέθοδος επιτρέπει τη διαμόρφωση στρατηγικών που μπορούν να οδηγήσουν σε πιο βιώσιμες πρακτικές, συμβάλλοντας στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος και στην προστασία της ανθρώπινης υγείας. Η ανάλυση αυτή είναι καθοριστική για την κατανόηση της συνολικής περιβαλλοντικής επίπτωσης, καθώς λαμβάνει υπόψη όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας, και επιτρέπει τον εντοπισμό των πιο επιβαρυντικών σταδίων για το περιβάλλον, διευκολύνοντας την ανάπτυξη και εφαρμογή στοχευμένων βελτιωτικών μέτρων.

Η χρησιμότητα της AKZ δύναται να καλύψει διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανία, οι υπηρεσίες, αλλά και οι πολιτικές αποφάσεις. Μέσω της AKZ δίνεται η δυνατότητα για τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης. Ενώ με την εφαρμογή της, οι οργανισμοί και οι κυβερνήσεις μπορούν να σχεδιάζουν στρατηγικές που θα είναι βιώσιμες, να μειώνουν το οικολογικό τους αποτύπωμα και να ενδυναμώνουν την περιβαλλοντική τους υπευθυνότητα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στοχεύει να διερευνήσει τον τρόπο εφαρμογής των μελετών AKZ με τη χρήση του προγράμματος GaBi της εταιρείας Sphera, να αναλύσει την εφαρμογή της σε συγκεκριμένα παραδείγματα και να τονίσει τη σημαντικότητά της στη σημερινή εποχή, όπου η λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος κρίνεται απαραίτητη.

2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

Σήμερα καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε σημαντικά θέματα που επιφέρουν αρνητικές συνέπειες στο φυσικό αλλά και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου, ενώ ευθύνεται για 150.000 θανάτους ετησίως και μέχρι το 2030 υπολογίζεται ότι ο αριθμός αυτός θα έχει αυξηθεί σε 300.000 θανάτους παγκοσμίως (Alam, M., et al., 2022).

Τα προβλήματα οφείλονται τόσο στην βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη, όσο και στην αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων και την ρύπανση του περιβάλλοντος, με σημαντικότερα να θεωρούνται:

- **η ενεργειακή κρίση** που προκλήθηκε λόγω της υπέρμετρης χρήσης ενέργειας με βασικότερη επίπτωση την εξάντληση μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων, αλλά και την δημιουργία ανασφάλειας στους πολίτες ως προς την επάρκεια ενέργειας καθώς και την αύξηση του κόστους,
- **η ρύπανση της ατμόσφαιρας** που οδηγεί σε σοβαρές επιπτώσεις, όπως η όξινη βροχή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η τρύπα του όζοντος και η κλιματική αλλαγή. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΕ, η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί τη βασική περιβαλλοντική αιτία για του πρόωρους θανάτους στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- **η ρύπανση των υδατικών πόρων** με επακόλουθο την υποβάθμιση της ποιότητας αλλά και της ποσότητας των υδάτων,
- **η υποβάθμιση του εδάφους** λόγω της συνεχούς αύξησης της χρήσης γης για την επέκταση καλλιεργειών,
- **η διάθεση αποβλήτων**, αστικών και βιομηχανικών,
- **ο θόρυβος** που προέρχεται από την αύξηση των υποδομών, της κίνησης των οχημάτων, την βιομηχανία και
- **η αισθητική-οπτική όχληση**, που προέρχεται από επεμβάσεις του ανθρώπου στο περιβάλλον με σκοπό την κατασκευή έργων.

(Ζουμπούλης, Α., και συν., 2015)

Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου, ενώ ευθύνεται για 150.000 θανάτους ετησίως

και μέχρι το 2030 υπολογίζεται ότι ο αριθμός αυτός θα έχει αυξηθεί σε 300.000 θανάτους παγκοσμίως (Alam, M., et al., 2022).

Η αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων απαιτεί την εφαρμογή της αειφόρου ανάπτυξης, η οποία βασίζεται σε τρεις βασικούς άξονες (Renewed EU strategy for Sustainable Development (2006) — European Environment Agency (europa.eu)):

- «την **προστασία του περιβάλλοντος**, με σκοπό όλες οι μορφές ζωής να μπορέσουν να αναπτυχθούν στη γη, οι φυσικοί πόροι να διαχειριστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην ξεπεραστούν τα όρια τους και να διασφαλιστεί η ότι η ποιότητα του περιβάλλοντος δεν θα επηρεαστεί αλλά θα γίνουν προσπάθειες βελτίωσης όπου απαιτείται. Επίσης, σημαντικό στοιχείο αποτελεί η πρόληψη και η μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος και η προώθηση βιώσιμων μοντέλων κατανάλωσης και παραγωγής τα οποία θα βοηθήσουν στην αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος».
- «την **κοινωνική δικαιοσύνη και συνοχή**, με σκοπό την ύπαρξη μιας κοινωνίας που θα είναι δημοκρατική, υγιής, ασφαλής και δίκαιη, βασιζόμενη στην κοινωνική ένταξη και τη συνοχή, με σεβασμό στα βασικά δικαιώματα και την πολυμορφία των πολιτισμών, που θα κατοχυρώνει την ισότητα όλων των ανθρώπων και θα απορρίπτει κάθε πιθανή διάκριση».
- «Την **οικονομική ευημερία** που θα στοχεύει στην προώθηση μιας αναπτυσσόμενης, πρωτοπόρας, με επαρκείς γνώσεις, ανταγωνιστικής και φιλικής προς το περιβάλλον οικονομίας, η οποία θα κατοχυρώνει υψηλό βιοτικό επίπεδο, πλήρη εργασιακή απασχόληση και ποιότητα σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση».

Σύμφωνα με την έκθεση Brundtland 1987 (Το κοινό μας μέλλον – Common Future), της Παγκόσμιας Επιτροπής για την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον, ως βιώσιμη ανάπτυξη ορίζεται "η ανάπτυξη που καλύπτει τις ανάγκες των σημερινών γενεών χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες". Η ολοκληρωμένη αυτή έκθεση αποτέλεσε μία σημαντική πολιτική αλλαγή για τον ορισμό της βιώσιμης ανάπτυξης (Mebratu D., 1998), καθώς και τα θεμέλια για την Agenda 21 που υιοθετήθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη στη συνδιάσκεψη του Ρίο ντε

Τζανέιρο (1992), για την διευθέτηση των περιβαλλοντικών θεμάτων και την προετοιμασία του κόσμου για τις επικείμενες αλλαγές (United Nations, 1992). Ενώ ακολούθησε μετά τη Σύνοδο Κορυφής των Ηνωμένων Εθνών το 2015 η Agenda 2030 που αφορούσε την Βιώσιμη Ανάπτυξη έως το 2030. Στην Agenda 2030 τα έθνη δεσμεύτηκαν για την λήψη μέτρων και την ανάπτυξη δράσεων που θα στοχεύσουν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο, δηλαδή την αντιμετώπιση της φτώχειας, την ανάπτυξη βιώσιμων και δίκαιων λύσεων για ανάπτυξη, προστασία των ανθρωπίνων δικαιωμάτων για όλους, την εξασφάλιση ότι κανένας δεν θα αποκλειστεί. Οι 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ), γνωστοί και ως Sustainable Development Goals (SDGs), συνδυάζουν τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις της βιωσιμότητας και καθορίζουν 169 σχετικούς στόχους που πρέπει να επιτευχθούν έως το 2030. Αυτοί οι στόχοι αποτελούν έναν οδικό χάρτη για την επίτευξη της αειφορίας και την αντιμετώπιση των παγκόσμιων προκλήσεων. Οι ΣΒΑ περιλαμβάνουν:

- «Εξάλειψη της φτώχειας: Διασφάλιση ότι όλοι οι άνθρωποι έχουν πρόσβαση σε πόρους και ευκαιρίες που θα τους επιτρέψουν να ζήσουν αξιοπρεπώς.
- Εξάλειψη της πείνας: Εξάλειψη της πείνας και της υποσιτισμού, βελτιώνοντας την πρόσβαση σε ασφαλή και θρεπτικά τρόφιμα.
- Καλή υγεία και ευημερία: Διασφάλιση της υγείας και της ευημερίας για όλους, ανεξάρτητα από την ηλικία, με ιδιαίτερη έμφαση στη μητρική και παιδική υγεία.
- Ποιοτική εκπαίδευση: Εξασφάλιση ποιοτικής εκπαίδευσης για όλους και προώθηση δια βίου ευκαιριών μάθησης.
- Ισότητα των φύλων: Επίτευξη της ισότητας των φύλων και ενδυνάμωση όλων των γυναικών και κοριτσιών.
- Πόσιμο νερό και εγκαταστάσεις αποχέτευσης: Διασφάλιση της πρόσβασης σε καθαρό πόσιμο νερό και επαρκείς εγκαταστάσεις υγιεινής για όλους.
- Οικονομικά προσιτή και καθαρή ενέργεια: Διασφάλιση της πρόσβασης σε φθηνή, αξιόπιστη, βιώσιμη και σύγχρονη ενέργεια για όλους.
- Αξιοπρεπής εργασία και οικονομική ανάπτυξη: Προώθηση της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης, της πλήρους και παραγωγικής απασχόλησης και της αξιοπρεπούς εργασίας για όλους.

- Βιομηχανία, καινοτομία και υποδομές: Δημιουργία ανθεκτικών υποδομών, προώθηση της βιώσιμης βιομηχανίας και ενθάρρυνση της καινοτομίας.
- Μείωση των ανισοτήτων: Μείωση των ανισοτήτων εντός και μεταξύ των χωρών, ενισχύοντας την κοινωνική, οικονομική και πολιτική ένταξη όλων.
- Αειφόρες πόλεις και κοινότητες: Διασφάλιση ότι οι πόλεις και οι ανθρώπινες κατοικίες είναι περιεκτικές, ασφαλείς, ανθεκτικές και βιώσιμες.
- Υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή: Εξασφάλιση βιώσιμων προτύπων κατανάλωσης και παραγωγής, προωθώντας τη μείωση των αποβλήτων και την αποδοτική χρήση των πόρων.
- Δράση για το κλίμα: Λήψη επειγόντων μέτρων για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της.
- Ζωή κάτω από την επιφάνεια των υδάτων: Διατήρηση και αειφόρος χρήση των ωκεανών, των θαλασσών και των θαλάσσιων πόρων για βιώσιμη ανάπτυξη.
- Χερσαία ζωή: Προστασία, αποκατάσταση και προώθηση της αειφόρου χρήσης των χερσαίων οικοσυστημάτων, διαχείριση των δασών, καταπολέμηση της ερημοποίησης και αναστροφή της υποβάθμισης της γης.
- Ειρήνη, δικαιοσύνη και ισχυρά θεσμικά όργανα: Προώθηση ειρηνικών και περιεκτικών κοινωνιών, διασφάλιση πρόσβασης στη δικαιοσύνη για όλους και οικοδόμηση αποτελεσματικών, υπεύθυνων και χωρίς αποκλεισμούς θεσμών σε όλα τα επίπεδα.
- Συμπράξεις για τους στόχους: Ενίσχυση των μέσων εφαρμογής και αναζωογόνηση της παγκόσμιας συνεργασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη.»
(<https://eur-lex.europa.eu/EL/legal-content/glossary/sustainable-development-goals.html>)

Οι στόχοι αυτοί ενσωματώνουν τις αρχές της κοινωνικής δικαιοσύνης, της περιβαλλοντικής προστασίας και της οικονομικής ανάπτυξης, δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης παγκοσμίως. Οι 17 ΣΒΑ αποτελούν ένα κοινό όραμα για ένα καλύτερο μέλλον, προάγοντας τη συνεργασία

και τη δέσμευση όλων των κρατών για τη δημιουργία ενός κόσμου όπου κανείς δεν θα μείνει πίσω.

Εικόνα 1: Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (πηγή: <https://gsco.gov.gr/sdgs/>)



Η εφαρμογή της βιώσιμης ανάπτυξης προϋποθέτει την υιοθέτηση νέου τρόπου και κανόνων ζωής και ανάπτυξης, που θα βασίζονται στις παραπάνω βασικές αρχές. Έτσι, η παραγωγή, η προμήθεια, η χρήση και κατανάλωση αγαθών και υπηρεσιών θα πρέπει να βασίζονται στην σχέση του προϊόντος ή της υπηρεσίας με το περιβάλλον.

Η βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί θεμέλιο για τη διαχείριση των πόρων και την επίτευξη ενός ισορροπημένου περιβαλλοντικού, οικονομικού και κοινωνικού μέλλοντος. Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της βιώσιμης ανάπτυξης, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις των προϊόντων και των διαδικασιών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Σε αυτό το πλαίσιο, η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) αναδεικνύεται ως ένα κρίσιμο εργαλείο, καθώς παρέχει μία ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ανάπτυξη στρατηγικών που προάγουν τη βιώσιμη ανάπτυξη. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα εμβαθύνουμε στη μέθοδο της ΑΚΖ, αναλύοντας τις αρχές, τις διαδικασίες και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στην επίτευξη των στόχων για ένα βιώσιμο μέλλον.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (ΑΚΖ)

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Από τις δεκαετίες του 1960 και του 1970 ξεκινάει μία ανάλυση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από τα καταναλωτικά προϊόντα, βασιζόμενη σε μία σύγκριση των χαρακτηριστικών τους και κατά πόσο ένα προϊόν Α είναι καλύτερο από ένα προϊόν Β.

Για παράδειγμα το είδος του υλικού από το οποίο παράγονται δύο προϊόντα που προορίζονται για την ίδια χρήση (πχ. πάνες από χαρτί ή βαμβάκι) ή το υλικό των συσκευασιών όπου περιέχονται δύο ίδια προϊόντα (πχ. γυάλινη ή πλαστική). Στην πορεία αναγνωρίστηκε ότι για πολλά από τα προϊόντα το μεγαλύτερο μέρος των επιπτώσεων δεν προέρχεται από την κατανάλωσή τους αλλά από τα στάδια παραγωγής αυτών, την μεταφορά τους και την απόρριψή τους. Έτσι σταδιακά τις δεκαετίες του 1980 και 1990 αναδείχθηκε η σημαντικότητα της ανάλυσης του κύκλου ζωής διάφορων προϊόντων, μέσω της συλλογής και αξιολόγησης των εισροών, των εκροών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλο τον κύκλο ζωής τους.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι πρώτες μελέτες Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής (AKZ) υλοποιήθηκαν την περίοδο από το 1960 έως το 1970, σε μία περίοδο όπου τα περιβαλλοντικά προβλήματα που βρισκόντουσαν στο επίκεντρο αφορούσαν την αποδοτικότητα των πόρων και την αποδοτικότητα σε επίπεδο ενέργειας, τη διαχείριση της ρύπανσης και τη διαχείριση των αποβλήτων. Κατά την δεκαετία αυτή, το 1969 υλοποιήθηκε μία από τις πρώτες και σημαντικότερες μελέτες από την εταιρεία Coca Cola μέσω του Ινστιτούτου Ερευνών Midwest (MRI), όπου ποσοτικοποιήθηκαν οι ανάγκες των πόρων, το μέγεθος των εκπομπών και τα παραγόμενα απόβλητα από διαφορετικού τύπου περιέκτες των προϊόντων της εταιρείας. Πέντε χρόνια αργότερα, το 1974, πραγματοποιήθηκε η συνέχεια της μελέτης από το ίδιο ινστιτούτο αλλά για τον Οργανισμό Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών, ενώ παρόμοια μελέτη πραγματοποιήθηκε και από την εταιρεία Blaster & Hofman στην Ελβετία, δημιουργώντας την αρχή της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής με τη μορφή που γνωρίζουμε σήμερα.

Στην περίοδο που ακολούθησε μειώθηκε αρκετά το ενδιαφέρον αν και εκπονήθηκε ένας σημαντικός αριθμός μελετών, οι οποίες δεν δημοσιεύθηκαν, όμως στις αρχές του 1980 το ενδιαφέρον επανήλθε και πάλι. Το 1984 εκδόθηκε από τα Ελβετικά Ομοσπονδιακά Εργαστήρια Ελέγχου και Ερευνών Υλικών (EMPA) έκθεση με λίστα των δεδομένων που απαιτούνται για την εκπόνηση μίας μελέτης AKZ δημιουργώντας μία βάση για την ευρύτερη εφαρμογή της μεθόδου.

Ωστόσο, κατά την περίοδο από το 1970 έως το 1990 οι μελέτες που εκπονήθηκαν βασιζόντουσαν σε διαφορετικές μεθοδολογίες χωρίς να υπάρχει μία κοινή γραμμή,

γεγονός που οδηγούσε σε μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων ακόμη και για κοινά αντικείμενα, με αποτέλεσμα η ΑΚΖ να μη θεωρείτο ένα αποτελεσματικό εργαλείο. Έτσι κατά τη δεκαετία 1990 έως το 2000 πραγματοποιείται η τυποποίηση της μεθόδου μέσω παγκόσμιας συνεργασίας επιστημόνων και εργαστηρίων. Στη φάση αυτή βασικό ρόλο διαδραμάτισε ο Οργανισμός Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (SETAC), ο οποίος μέσα από τον συντονισμό της συνεργασίας ειδικών και ενδιαφερόμενων μερών προχώρησε στην έκδοση του Κώδικα Πρακτικής, ενώ εργαζόμενος παράλληλα ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) προχώρησε στην τυποποίηση της μεθόδου εκδίδοντας τα πρώτα πρότυπα για την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (Jeroen B. Guinée et al., 2010).

3.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 14040 ως Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ορίζεται *«η συλλογή και η αξιολόγηση των εισροών, εκροών και οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός συστήματος προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του»*, από την απόκτηση των πρώτων υλών ή την παραγωγή φυσικών πηγών έως τη τελική διάθεση του.

Ενώ σύμφωνα με την SETAC, ως Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ορίζεται *«μία τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων»* (SETAC, 1991).

Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής αποτελεί ένα εργαλείο μέσω του οποίου υλοποιείται η καταγραφή των επιπτώσεων στο περιβάλλον από ένα προϊόν ή μία δραστηριότητα από την «κούνια μέχρι τον τάφο» και η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που πρόκειται να επιφέρει, δίνοντας έτσι την δυνατότητα για τη βελτίωση του προϊόντος ή της δραστηριότητας ή/και για τη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων ώστε να αποφευχθούν δυσμενείς επιπτώσεις.

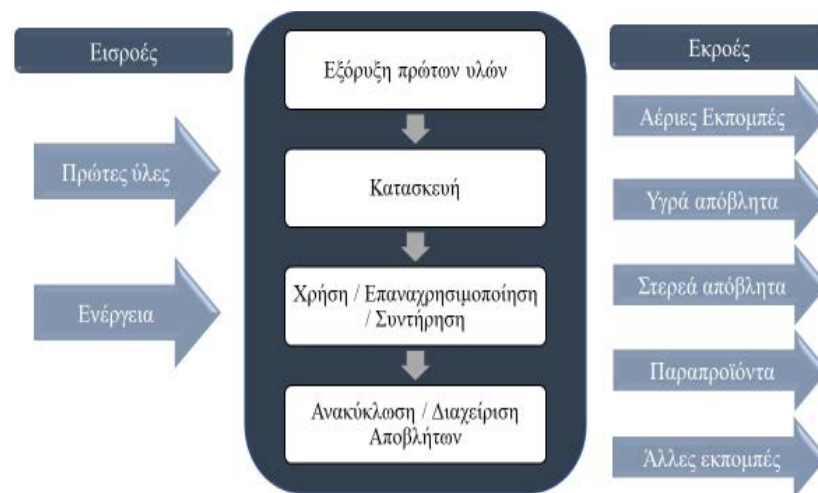
Η ανάλυση αξιολογεί όλες τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα από την εξόρυξη των πρώτων υλών, την παραγωγή του προϊόντος, την μεταφορά και τη διανομή, την

χρήση και την διάθεση του, οι οποίες δεν λαμβάνονται υπόψη σε άλλες αναλύσεις. Έτσι παρέχεται μία ολοκληρωμένη εικόνα των περιβαλλοντικών πλευρών του προϊόντος ή της διαδικασίας (U.S. EPA, 2006).

Μέσω της ΑΚΖ καλύπτεται ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών θεμάτων, χωρίς να εστιάζει αποκλειστικά και μόνο σε ένα τομέα. Τα θέματα που καλύπτονται είναι η κλιματική αλλαγή, η διαχείριση του γλυκού νερού, η χρήση και τροποποίηση γης, ο υδρόβιος ευτροφισμός, οι τοξικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, η εξάντληση των μη ανανεώσιμων πόρων και οι οικοτοξικές επιπτώσεις από μέταλλα και συνθετικές οργανικές χημικές ουσίες. Η διερεύνηση πολλών περιβαλλοντικών θεμάτων στοχεύει στην πραγματική αποτύπωση των επιπτώσεων που θα προκύψουν. Καθώς σε περίπτωση που η ΑΚΖ κάλυπτε ένα μεμονωμένο θέμα, για παράδειγμα την αλλαγή του κλίματος, για το οποίο λαμβάνονται μέτρα μείωσης των επιπτώσεων, δεν θα μπορούσε να αποτυπωθεί ίσως η μεταβίβαση της επιβάρυνσης σε κάποιο άλλο τομέα από τα μέτρα που λαμβάνονται (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στάδια του κύκλου ζωής που λαμβάνονται υπόψη κατά την Ανάλυση Κύκλου Ζωής και οι βασικές εισροές και εκροές (U.S. EPA, 2006):

Σχήμα 1: Βασικές εισροές και εκροές (U.S. EPA, 2006)



Η εκπόνηση μίας μελέτης Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής (AKZ) έχει πολλούς στόχους που συμβάλλουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης και της βιωσιμότητας. Αναλυτικά:

- **Στην εξοικονόμηση της χρήσης των πρώτων υλών και της χρήσης ενέργειας:** Η AKZ βοηθά στον εντοπισμό των σημείων κατά μήκος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας δραστηριότητας όπου καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών και ενέργειας. Με αυτήν την πληροφορία, μπορούν να γίνουν παρεμβάσεις για τη μείωση της χρήσης αυτών των πόρων, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση κόστους και την ελάφρυνση της πίεσης στους φυσικούς πόρους.
- **Στην καταγραφή των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε μια διαδικασία ή δραστηριότητα και το περιβάλλον:** Η AKZ παρέχει μια λεπτομερή εικόνα των τρόπων με τους οποίους οι διάφορες φάσεις μιας παραγωγικής διαδικασίας επηρεάζουν το περιβάλλον. Αυτό περιλαμβάνει την καταγραφή εκπομπών ρύπων, τη ρύπανση των υδάτων, την κατανάλωση πόρων και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- **Στην ανάλυση και αντίληψη της αλληλεξάρτησης που χαρακτηρίζει τη φύση του συνόλου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες:** Μέσω της AKZ, κατανοείται καλύτερα πώς οι διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνδέονται και επηρεάζουν η μία την άλλη. Αυτό επιτρέπει τη λήψη πιο ολοκληρωμένων και αποτελεσματικών αποφάσεων για τη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον.
- **Στη λήψη μέτρων για την απομείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων:** Με την παροχή λεπτομερών δεδομένων και αναλύσεων, η AKZ δίνει τη δυνατότητα για την ανάπτυξη και εφαρμογή στοχευμένων μέτρων που μειώνουν τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτά τα μέτρα μπορεί να περιλαμβάνουν την αλλαγή των διαδικασιών παραγωγής, την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, ή τη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων και ενέργειας.

Επιπλέον η AKZ δύναται να συνδυάσει και οικονομικά μεγέθη, επεκτείνοντας έτσι το πεδίο χρήσης και λειτουργίας της (Μουσιόπουλος Ν. και συν., 2015). Ο

συνδυασμός των περιβαλλοντικών δεδομένων με οικονομικούς δείκτες επιτρέπει την αξιολόγηση της οικονομικής αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας των προϊόντων και δραστηριοτήτων. Αυτό βοηθά στη λήψη πιο ολοκληρωμένων αποφάσεων που ενσωματώνουν τόσο τις περιβαλλοντικές όσο και τις οικονομικές πτυχές, προωθώντας την αειφόρο ανάπτυξη και την υπεύθυνη χρήση των πόρων.

Τα αποτελέσματα που εξάγονται από την ΑΚΖ πρόκειται να απαντήσουν στο εξής ερώτημα «πόσο επηρεάζεται το περιβάλλον από το μελετώμενο προϊόν ή δραστηριότητα;» με ποσοτικά μεγέθη, κάτι που διευκολύνει στην σύγκριση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από διαφορετικά συστήματα προϊόντων (Hauschild, M. Z., et al., 2018).

3.3 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ & ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η έναρξη για τη τυποποίησης της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε από τον Οργανισμό Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (SETAC). Ο οργανισμός από το 1990 προχώρησε στη διοργάνωση μιας σειράς εργαστηρίων που είχαν ως στόχο την δημιουργία ενός κοινού πλαισίου σχετικά με τη μεθοδολογία ΑΚΖ, την συμφωνία των αρχών και των αναγκών για έρευνα. Με την έκδοση του κώδικα πρακτικής SETAC το έτος 1993, πραγματοποιήθηκε η κορύφωση των εργαστηρίων και αναπτύχθηκαν οι πρώτες οδηγίες για την ανάπτυξη της ΑΚΖ. (Hauschild, M. Z., et al., 2018)

Η τυποποίηση της μεθόδου για την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής, έλαβε χώρα κατά τη δεκαετία του 1990, από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τυποποίησης (ISO), μετά από την ανάπτυξη του κώδικα πρακτικής SETAC. Ο οργανισμός προχώρησε αρχικά στην έκδοση των πρώτων προτύπων, μέσω των οποίων αναπτύσσεται η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ως ένα εργαλείο για την διαχείριση του περιβάλλοντος και αναλύονται όλα τα στάδια που απαιτούνται για την ολοκληρωμένη εφαρμογή μίας ΑΚΖ:

- i ISO 14040:1997**, Αρχές και οριοθέτηση συστήματος,
- i ISO 14041:1999**, Προσδιορισμός σκοπού και στόχου και απογραφή δεδομένων,
- i ISO 14042:2000**, Αποτίμηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής,
- i ISO 14043:2000**, Ερμηνεία αποτελεσμάτων.

Τα παραπάνω πρότυπα αναθεωρήθηκαν και αντικαταστάθηκαν από δύο νέα πρότυπα το **ISO 14040** και το **ISO 14044**. Η αναθεώρηση των προτύπων διατήρησε το βασικό τεχνικό αντικείμενο και στόχευσε στην βελτίωση της ανάγνωσης και την διόρθωση σφαλμάτων και ανακολουθιών. Παρόλο που οι αναθεωρήσεις δεν αφορούσαν το τεχνικό αντικείμενο, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες αλλαγές που αφορούσαν, την ένταξη των αρχών της AKZ, την προσθήκη παραρτήματος σχετικά με εφαρμογές, προσθήκη ορισμών όπως «προϊόν» και «διεργασίες», διευκρινίσεις για αναλύσεις που σκοπεύουν να χρησιμοποιηθούν για συγκρίσεις και να δημοσιευθούν, για την κριτική ανασκόπηση και τα όρια του συστήματος (Finkbeiner et al., 2006).

Το ISO 14040:2006 - Αρχές και Πλαίσιο, παραθέτει τις θεμελιώδεις αρχές και το πλαίσιο για την AKZ, περιλαμβάνοντας τα εξής:

- **Ορισμός του στόχου και του σκοπού της AKZ:** Καθορίζει τους συγκεκριμένους στόχους και σκοπούς της ανάλυσης για να διασφαλίσει την ορθή κατεύθυνση και εστίαση της μελέτης.
- **Στάδιο ανάλυσης της καταγραφής του κύκλου ζωής:** Περιλαμβάνει τη συγκέντρωση και καταγραφή των δεδομένων σχετικά με τις εισροές και τις εκροές κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος ή της δραστηριότητας.
- **Στάδιο αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής:** Αξιολογεί τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τις εισροές και τις εκροές που καταγράφηκαν.
- **Στάδιο ερμηνείας του κύκλου ζωής:** Παρέχει ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και των αξιολογήσεων των επιπτώσεων για να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων και προτάσεων βελτίωσης.
- **Έκδοση αναφορών και ανασκόπησης της AKZ:** Διασφαλίζει ότι τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της ανάλυσης καταγράφονται και παρουσιάζονται με σαφήνεια και διαφάνεια.
- **Προσδιορισμός των περιορισμών:** Εντοπίζει τους περιορισμούς της ανάλυσης, όπως η αβεβαιότητα των δεδομένων ή οι υποθέσεις που έγιναν, προκειμένου να παρέχει μια πραγματική εικόνα των αποτελεσμάτων.

- **Συσχέτιση των σταδίων:** Διασφαλίζει ότι τα διάφορα στάδια της ανάλυσης του κύκλου ζωής είναι συνεπή και αλληλένδετα, διατηρώντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία της μελέτης.
- **Συνθήκες χρήσης ικανών επιλογών και προαιρετικών στοιχείων:** Καθορίζει τις συνθήκες υπό τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον επιλογές ή προαιρετικά στοιχεία στην ανάλυση για να προσαρμόζεται στις ιδιαίτερες ανάγκες της μελέτης.

Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές επιτρέπουν την ομοιόμορφη και συνεπή εκπόνηση των μελετών ΑΚΖ, διασφαλίζοντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Το πρότυπο ωστόσο δεν αναλύει με λεπτομέρεια την τεχνική εκπόνησης της ανάλυσης του κύκλου ζωής και ούτε καθορίζει τις μεθόδους για τα στάδιά της (<https://www.iso.org/standard/37456.html#amendment>). Το πρότυπο τροποποιήθηκε το 2020.

Το ISO 14044:2006 – Απαιτήσεις και Κατευθυντήριες, προσδιορίζει τις απαιτήσεις και παρέχει κατευθυντήριες οδηγίες για την ΑΚΖ. Το πρότυπο ακολούθησαν δύο τροποποιήσεις, η πρώτη με έκδοση το 2017 και η δεύτερη με έκδοση το 2020. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα Σχήμα της ιστορικής διαδρομής των εκδόσεων των δύο τελευταίων και σε ισχύ προτύπων:

Σχήμα 2: Πρότυπα ISO και Αναθεωρήσεις (πηγή iso.org)



Καθώς κατά την αρχική θέσπιση των προτύπων, η μεθοδολογία της ΑΚΖ δεν είχε αναπτυχθεί πλήρως και βρισκόταν σε πρώιμα στάδια, ο SETAC σε συνεργασία με

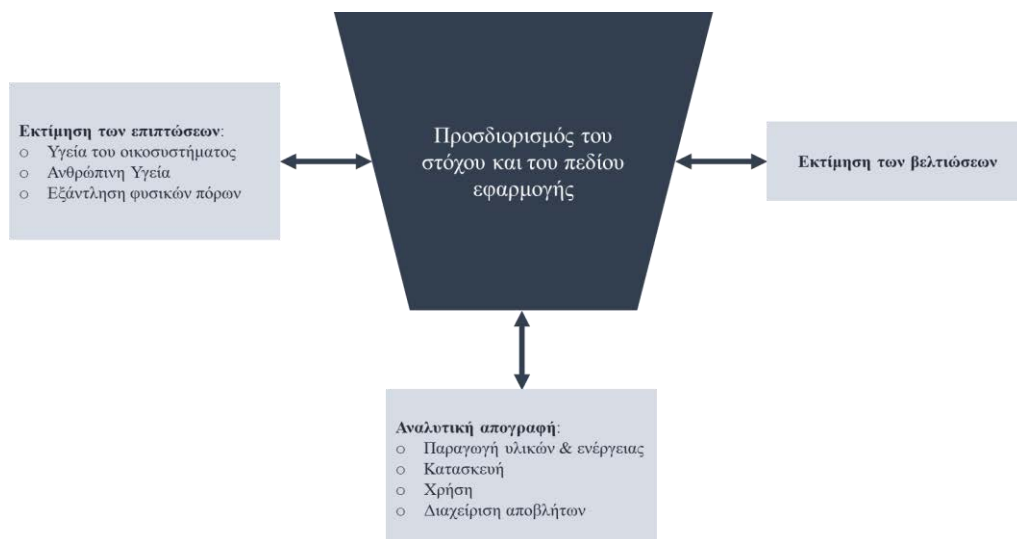
Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP) προχώρησαν στην έναρξη του έργου Πρωτοβουλία Κύκλου Ζωής. Κύριος στόχος του έργου αυτού αποτελούσε η πρακτική εφαρμογή του κύκλου ζωής και η ανάπτυξη επιστημονικών προτάσεων. Κατά το 2000, το πρόγραμμα συνεργασίας του SETAC/UNEP αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενός διεθνούς συστήματος δεδομένων κύκλου ζωής (ILCD), το οποίο περιλαμβάνει βάση δεδομένων για την απογραφή του κύκλου ζωής και οδηγίες για την ανάπτυξη των μεθοδολογιών. Το εγχειρίδιο ILCD παρέχει στους χρήστες διαφορετικών κλάδων καθοδήγηση ώστε να υπάρχει συνέπεια και ποιότητα στα αποτελέσματα των μελετών, καλύπτοντας έτσι σχετικές ασάφειες των προτύπων ISO (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

3.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Η μεθοδολογία που θα αναπτυχθεί στην παρούσα πτυχιακή έχει ως βάση τις προδιαγραφές που ορίζονται μέσα από τα πρότυπα ISO, τις κατευθυντήριες οδηγίες του ILCD για την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής και του SETAC.

Για την ανάλυση του κύκλου Ζωής απαιτούνται στοιχεία τα οποία σχετίζονται μεταξύ τους, όπως ο καθορισμός των στόχων και του πεδίου εφαρμογής της ανάλυσης, εκτίμηση των επιπτώσεων και η εκτίμηση των βελτιώσεων. Στο παρακάτω Σχήμα 3 απεικονίζεται η σχέση των στοιχείων αυτών για την ανάπτυξη της AKZ όπως περιγράφεται από τον SETAC:

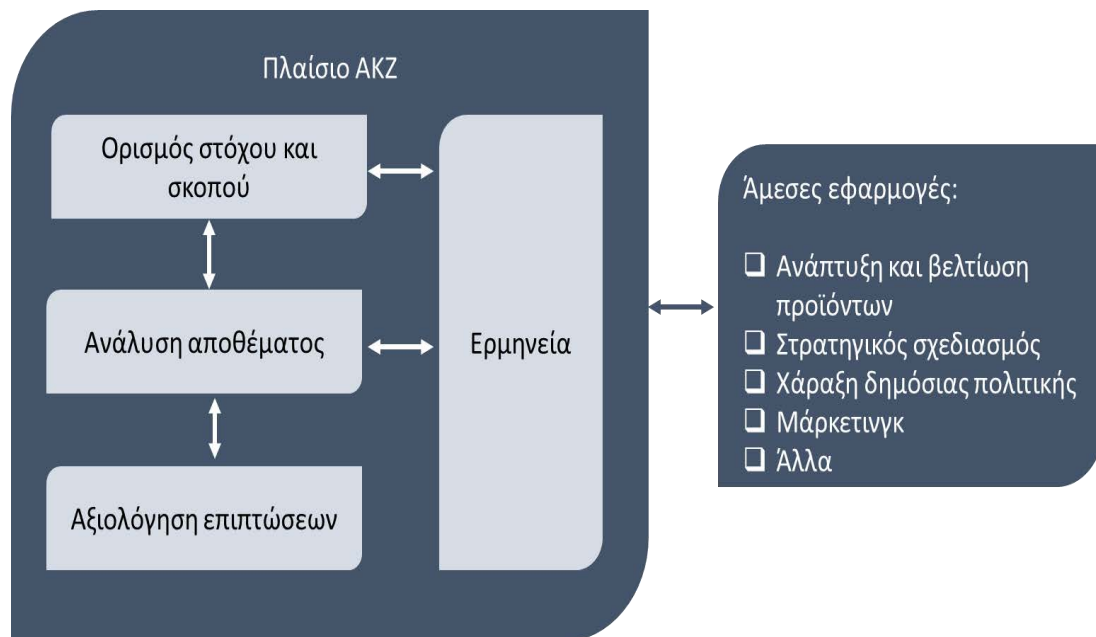
Σχήμα 3: Τεχνικό πλαίσιο AKZ (SETAC, 1993)



3.4.1 Φάσεις AKZ

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ISO 14040 η AKZ θα πρέπει να περιλαμβάνει τις εξής κύριες φάσεις: ορισμό στόχου και σκοπού, ανάλυση των αποθεμάτων, εκτίμηση των επιπτώσεων και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Το πρότυπο επίσης διαχωρίζει το πλαίσιο ανάπτυξης της μεθοδολογίας AKZ από τις διάφορες εφαρμογές αυτής, όπως περιγράφεται και στο σχετικό Σχήμα 4:

Σχήμα 4: Πλαίσιο AKZ (ISO 14040:2006)



3.4.2 Ορισμός Στόχου και Σκοπού

Βασικό και πρωταρχικό βήμα μίας AKZ είναι ο ορισμός του στόχου και του σκοπού της μελέτης, τα οποία θα υπηρετούν την προοριζόμενη εφαρμογή αυτής.

Κατά την εκπόνηση μίας μελέτης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ), είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μια δήλωση του στόχου της μελέτης. Αυτή η δήλωση πρέπει να απαντά σε συγκεκριμένα ερωτήματα, παρέχοντας ένα ξεκάθαρο πλαίσιο για την εκτέλεση και την εφαρμογή της μελέτης. Αναλυτικότερα:

- **Ποια είναι η εφαρμογή της μελέτης;** Αυτό το ερώτημα αναφέρεται στον σκοπό και την πρακτική χρήση της AKZ. Για παράδειγμα, μπορεί να καθορίζει αν η μελέτη στοχεύει στη βελτίωση των περιβαλλοντικών

επιδόσεων ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή μιας διαδικασίας, ή αν αφορά στη συγκριτική αξιολόγηση διαφόρων προϊόντων.

- **Ποιοι είναι οι λόγοι εκπόνησης της μελέτης;** Αναλύει τα κίνητρα και τους στόχους πίσω από την εκπόνηση της ΑΚΖ. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ανάγκη για συμμόρφωση με νομοθετικές απαιτήσεις, την προώθηση βιώσιμων πρακτικών ή την ενίσχυση της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας της επιχείρησης.
- **Ποιος είναι ο παραλήπτης των αποτελεσμάτων της μελέτης;** Καθορίζει τα ενδιαφερόμενα μέρη που θα λάβουν και θα χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα της ΑΚΖ. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει εσωτερικούς φορείς μιας εταιρείας, πελάτες, ρυθμιστικές αρχές ή ακόμα και το ευρύτερο κοινό.
- **Εάν τα αποτελέσματα της μελέτης θα χρησιμοποιηθούν για συγκριτικές δηλώσεις που θα επικοινωνηθούν στο κοινό;** Εξετάζει αν τα αποτελέσματα της μελέτης θα χρησιμοποιηθούν για δημόσιες δηλώσεις ή συγκρίσεις με άλλα προϊόντα ή διαδικασίες. Εάν ναι, είναι κρίσιμη η διασφάλιση της διαφάνειας και της ακρίβειας των δεδομένων που παρουσιάζονται.

Με αυτόν τον τρόπο, η δήλωση του στόχου της ΑΚΖ δημιουργεί ένα σαφές και οργανωμένο πλαίσιο για την εκπόνηση της μελέτης, διευκολύνοντας την επίτευξη των επιδιωκόμενων στόχων και τη σωστή επικοινωνία των αποτελεσμάτων στους παραλήπτες.

Στη συνέχεια, ορίζεται ο σκοπός της μελέτης με τέτοιο τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται ότι τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στη μελέτη, συμφωνούν και συμβαδίζουν με την δήλωση του στόχου της.

Ο σκοπός της μελέτης θα πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

- ❖ Τη περιγραφή του συστήματος που μελετάται.
- ❖ Τις λειτουργίες που περιλαμβάνει το σύστημα ή σε περιπτώσεις συγκριτικών μελετών ΑΚΖ, τις λειτουργίες των συστημάτων.
- ❖ Τον προσδιορισμό της λειτουργικής μονάδας, δηλαδή μία ποσοτικοποίηση των λειτουργιών του προϊόντος ή της υπηρεσίας. Η λειτουργική μονάδα έχει ως σκοπό μία αναφορά όπου οι ροές του συστήματος θα σχετίζονται (εισροές – εκροές), διασφαλίζοντας ότι τα αποτελέσματα της ΑΚΖ θα είναι

συγκρίσιμα. Ένα παράδειγμα λειτουργικής μονάδας είναι η συσκευασία που χρησιμοποιείται για την παράδοση συγκεκριμένου όγκου ροφήματος (πχ. χάρτινη και γυάλινη).

- ❖ Τον ορισμό των ορίων του συστήματος με λεπτομέρεια, ώστε να γίνεται σαφές ποιες διεργασίες και δραστηριότητες εμπίπτουν στην ΑΚΖ του μελετώμενου προϊόντος.
- ❖ Την αναφορά των επιλεγμένων επιπτώσεων που πρόκειται να αξιολογηθούν στην μελέτη και η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την αξιολόγησή των επιπτώσεων τους.
- ❖ Την αναφορά των απαιτούμενων δεδομένων και πιθανές απαιτήσεις για τη ποιότητα αυτών, ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων καθώς και η σωστή ερμηνεία αυτών.
- ❖ Την αναφορά και περιγραφή πιθανών υποθέσεων που θα ληφθούν υπόψη κατά την καταγραφή των δεδομένων και πιθανών περιορισμών.
- ❖ Τη διερεύνηση της ανάγκης κριτικού ελέγχου.
- ❖ Την περιγραφή της μορφής που θα πρέπει να έχει η μελέτη, ώστε να εξυπηρετεί τους σκοπούς της (ISO 14040:2006).

Κατά το τελικό στάδιο της μελέτης, για την διεξαγωγή των συμπερασμάτων και την καταγραφή των προτάσεων, ο στόχος και ο σκοπός της μελέτης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, καθώς βάση αυτών πραγματοποιείται η επιλογή των δεδομένων, η μοντελοποίηση και αξιολόγηση του συστήματος (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

3.4.3 Ανάλυση Αποθεμάτων

Η **Ανάλυση Αποθεμάτων** αφορά στη συγκέντρωση των δεδομένων και τις διαδικασίες υπολογισμού που θα ποσοτικοποιήσουν τις εισροές και τις εκροές του συστήματος. Κατά τη διαδικασία αυτή μπορούν να εντοπιστούν ανάγκες αλλαγής της διαδικασίας συλλογής των δεδομένων (πχ. νέες απαιτήσεις και περιορισμοί δεδομένων), ώστε να υπάρχει συνεπεία με τον στόχο της μελέτης, ακόμη και να απαιτηθεί η αναθεώρηση του στόχου και του σκοπού (ISO 14040:2006).

Η ανάλυση των αποθεμάτων περιλαμβάνει την συλλογή πληροφοριών αναφορικά με την άμεση ή έμμεση χρήση υλικών και ενέργειας μίας δραστηριότητας, που αφορούν την εισροή των πόρων, υλικών, ημι-προϊόντων, προϊόντων και τις εκροές εκπομπών,

αποβλήτων και χρήσιμων προϊόντων. Εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας των συστημάτων, χρησιμοποιούνται γενικά δεδομένα για πολλές διεργασίες μέσα από βάσεις δεδομένων για μεμονωμένες διεργασίες ή δεδομένα από την κούνια στον τάφο, έτσι ο υπολογισμός πραγματοποιείται για κάθε μία διεργασία του συστήματος.

Η απογραφή του κύκλου ζωής αποτελεί το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης αποθεμάτων, η οποία περιλαμβάνει μία λίστα των φυσικών ροών του συστήματος που ανήκει στην λειτουργία που ορίζεται στην λειτουργική μονάδα. (Hauschild, M. Z. et al., 2018)

Η ανάλυση αποθεμάτων περιλαμβάνει μια σειρά από σημαντικά στάδια που είναι κρίσιμα για την επιτυχή καταγραφή και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος. Αναλυτικά, τα στάδια αυτά είναι τα εξής:

- I. **Συλλογή δεδομένων:** Στο πρώτο στάδιο, συγκεντρώνονται δεδομένα που αφορούν τις εισροές και τις εκροές του συστήματος για μία συγκεκριμένη και αντιπροσωπευτική χρονική περίοδο, συνήθως ενός έτους. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τις ποσότητες πρώτων υλών, ενέργειας και άλλων πόρων που καταναλώνονται, καθώς και τις εκπομπές, τα απόβλητα και τα προϊόντα που παράγονται. Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπολογισμοί, εκτιμήσεις με βάση παρόμοιες περιπτώσεις, έγκυρες δημοσιευμένες βάσεις δεδομένων και πρότυπα χρήσης προϊόντων στην αγορά (Κωνσταντίνος Γ., 2021).
- II. **Υπολογισμός δεδομένων:** Στο δεύτερο στάδιο, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αναλύονται και υπολογίζονται για να αποτυπωθούν οι συνολικές εισροές και εκροές του συστήματος. Αυτή η φάση περιλαμβάνει τη μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων, τον έλεγχο της ακρίβειάς τους και τη δημιουργία μοντέλων που αναπαριστούν τη λειτουργία του συστήματος. Οι υπολογισμοί αυτοί είναι θεμελιώδεις για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διάφορων διεργασιών.
- III. **Κατανομή ροών και εκροών:** Στο τρίτο στάδιο, γίνεται η κατανομή των εισροών και εκροών στις διάφορες διεργασίες του συστήματος. Αυτή η

κατανομή είναι σημαντική για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι διάφορες ροές υλικών και ενέργειας επηρεάζουν τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι ροές κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη φύση τους, δηλαδή αν είναι εισροές, όπως ενέργεια και πρώτες ύλες, ή εκροές, όπως απόβλητα και εκπομπές. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την αναλυτική αποτύπωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διευκολύνει τη λήψη στοχευμένων μέτρων για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης του συστήματος.

Με αυτά τα στάδια, η ανάλυση αποθεμάτων παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος και αποτελεί το θεμέλιο για την ανάπτυξη στρατηγικών και μέτρων.

3.4.4 Εκτίμηση Επιπτώσεων

Η **Εκτίμηση Επιπτώσεων** του υπό μελέτη συστήματος προκύπτει από το στάδιο της ανάλυσης αποθεμάτων. Είναι μία διαδικασία μέσω της οποίας εκτιμώνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και συντελείται μέσα από πέντε στάδια, εκ των οποίων τα τρία πρώτα είναι υποχρεωτικά σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ISO 14040:

- **Επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων και της μεθόδου.**
- **Κατηγοριοποίηση** των δεδομένων στις κατηγορίες επιπτώσεων που επιλέχθηκαν. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις διεργασίες του συστήματος κατηγοριοποιούνται. Η κατηγοριοποίηση πραγματοποιείται έτσι, ώστε τα δεδομένα να μπορούν να συνδεθούν με πολλές κατηγορίες, αφού ένα περιβαλλοντικό φορτίο δύναται να προκαλέσει πάνω από μία επιπτώσεις.
- **Χαρακτηρισμός**, κατά το στάδιο αυτό οι επιπτώσεις αναλύονται, ποσοτικοποιούνται και αθροίζονται ανά κατηγορία.
- **Κανονικοποίηση**, εδώ πραγματοποιείται υπολογισμός του συνολικού δείκτη ανά κατηγορία σε σχέση ορισμένες τιμές αναφοράς.
- **Ομαδοποίηση ή Στάθμιση**, μέσω αυτού του σταδίου γίνεται σύγκριση της σοβαρότητας των επιπτώσεων μεταξύ των κατηγοριών. Στην ομαδοποίηση οι επιπτώσεις κατατάσσονται σύμφωνα με την

διαφαινόμενη σοβαρότητα, ενώ στην στάθμιση η σοβαρότητα ποσοτικοποιείται μέσω συντελεστών στάθμισης.

Η επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων που θα επιλεγθούν στην μελέτη θα πρέπει να βρίσκονται σε συνέχεια με τον σκοπό που έχει οριστεί. Οι κατηγορίες των επιπτώσεων που λαμβάνουν μέρος στην ΑΚΖ συνήθως είναι:

Αβιοτικοί πόροι: Οι αβιοτικοί πόροι περιλαμβάνουν τρεις υποκατηγορίες, τα αποθέματα φυσικών πόρων (π.χ. ορυκτά καύσιμα, υδροφόροι ορίζοντες κ.λπ.), τους πόρους (π.χ. υπόγεια ύδατα, έδαφος) και τις φυσικές ροές πόρων (π.χ. αέρα, νερό κ.λπ.). Τα αποθέματα των φυσικών πόρων αποτελούν περιορισμένους πόρους καθώς δεν μπορούν να ανανεωθούν (Finnveden, 1996).

Βιοτικοί πόροι: Οι βιοτικοί πόροι περιλαμβάνουν μία υποκατηγορία τους πόρους, για παράδειγμα την πανίδα και τη χλωρίδα. Η συλλογή των βιοτικών πόρων από το περιβάλλον μπορεί να πραγματοποιηθεί με βιώσιμες πρακτικές αλλά και μη βιώσιμες. Παράδειγμα μη βιώσιμης πρακτικής είναι η υλοτομία δασών, η οποία πραγματοποιείται με μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτή που απαιτείται για την ανάπτυξη των δασών. Αποτέλεσμα αυτών των πρακτικών, δηλαδή η υπερεκμετάλλευση των βιοτικών πόρων, είναι η μείωση του πληθυσμού τους ακόμη και η εξαφάνισή τους επηρεάζοντας το οικοσύστημα (Finnveden, 1996).

Χρήση γης: Η χρήση και η μετατροπή της γης μπορούν να εξεταστούν από δύο οπτικές γωνίες, τη γη που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο ως πόρος, όπως για παράδειγμα για τη παραγωγή τροφίμων και τη χρήση γης που επηρεάζει το οικοσύστημα και που μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση του οικοσυστήματος και του τοπίου, τη θραύση του τοπίου, την αποξήρανση, τις αλλοιώσεις των βιότοπων και τις επιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στη βιοποικιλότητα. Οι επιπτώσεις από τη χρήση ή την τροποποίηση της γης μπορεί να είναι αναστρέψιμες, αλλά να απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για την επαναφορά (Finnveden, 1996).

Παγκόσμια υπερθέρμανση: Η υπερθέρμανση του πλανήτη, που είναι γνωστή και ως "φαινόμενο του θερμοκηπίου", αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Συνήθως, η κατώτερη ατμόσφαιρα θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από τα ανώτερα στρώματα. Μέρος αυτής της

ακτινοβολίας επιστρέφει από την επιφάνεια της Γης, αλλά τα αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και οι χλωροφθοράνθρακες που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, συγκρατούν την υπέρυθρη ακτινοβολία, δημιουργώντας έτσι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στην κατώτερη ατμόσφαιρα πέρα από τα κανονικά επίπεδα. Οι πιθανές συνέπειες περιλαμβάνουν την άνοδο της θερμοκρασίας που προκαλεί το λιώσιμο των πολικών πάγων, με συνέπεια την αύξηση της στάθμης της θάλασσας, καθώς και κλιματικές αλλαγές σε διάφορες περιοχές.

Η επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου υπολογίζεται μέσω του Δυναμικού Υπερθέρμανσης του Πλανήτη (Global Warming Potentials, GWP) για ουσίες που έχουν παρόμοια επίδραση με το διοξείδιο του άνθρακα στην αντανάκλαση της θερμικής ακτινοβολίας. Το GWP για τα αέρια του θερμοκηπίου εκφράζεται ως ισοδύναμο CO₂ (CO₂-eq), δηλαδή η επίδρασή τους συγκρίνεται με την επίδραση του CO₂. Το IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) έχει αναπτύξει τα GWP για διάφορες ουσίες. Αυτά τα GWP βασίζονται σε μοντέλα και ποσοτικοποιούνται για χρονικές περιόδους 20, 100 ή 500 ετών για αρκετά γνωστά αέρια του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O, CFCs, HCFCs, HFCs και μερικούς αλογονούχους υδρογονάνθρακες, κ.ά.). (European Environmental Agency, 1997).

Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος: Η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, που είναι γνωστή και ως "τρύπα του όζοντος", προκαλεί αύξηση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας (UV). Η αύξηση της UV επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία, οδηγώντας σε μεγαλύτερα ποσοστά καρκίνου του δέρματος, σε καταρράκτη καθώς και στην αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος. Επιπλέον, έχει αρνητικές επιδράσεις στο οικοσύστημα.

Η αποσύνθεση του όζοντος ενισχύεται από την παρουσία ανθρωπογενών χημικών ενώσεων στη στρατόσφαιρα, όπως οι CFCs, HCFCs και αλογονούχες ενώσεις. Η Δυναμική Καταστροφής Όζοντος (ODP) για αυτές τις ενώσεις έχει υπολογιστεί από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) και εκφράζεται ως ισοδύναμο CFC-11 (European Environmental Agency, 1997).

Οικοτοξικολογικές επιπτώσεις: Οι οικοτοξικολογικές συνέπειες αφορούν την επίδραση που έχουν οι χημικές και βιολογικές ουσίες στις εκθέσεις και στα

αποτελέσματά τους. Οι πιθανές επιπτώσεις στο οικοσύστημα εξαρτώνται από τις εκπομπές και τις βλαβερές συνέπειες ορισμένων ενώσεων που εκλύονται στο περιβάλλον (European Environmental Agency, 1997).

Οξίνιση: Η οξίνιση προέρχεται από την απελευθέρωση πρωτονίων στο νερό και το έδαφος. Στα δασικά οικοσυστήματα, οι επιπτώσεις φαίνονται στα δάση κωνοφόρων (όπως τα έλατα) με αποτέλεσμα την κακή ανάπτυξη και, τελικά, την καταστροφή των δασών. Αυτά τα φαινόμενα εμφανίζονται κυρίως στη Σκανδιναβία και την Κεντρική Ευρώπη. Στα υδάτινα οικοσυστήματα, οι συνέπειες εντοπίζονται ως όξινες λίμνες που στερούνται άγριας ζωής. Επίσης από την όξινη βροχή φθείρονται κτίρια, μνημεία, γλυπτά και άλλα συντηρημένα αντικείμενα. Το οξειδωτικό δυναμικό (AP) υπολογίζεται είτε ως ισοδύναμο SO_2 , είτε ως moles υδρογόνου (H^+) (European Environmental Agency, 1997).

Ευτροφισμός: Ο ευτροφισμός, δηλαδή ο εμπλουτισμός με θρεπτικά συστατικά, μπορεί να συμβεί τόσο σε υδάτινα όσο και σε χερσαία οικοσυστήματα λόγω της υπερβολικής ποσότητας αζώτου, φωσφόρου και οργανικών ουσιών. Ορίζεται ως, η ενίσχυση των υδάτινων οικοσυστημάτων με θρεπτικά συστατικά, που οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής του φυτοπλαγκτού και των υδρόβιων φυτών, με αποτέλεσμα η ποιότητα του νερού να υποβαθμίζεται και να οδηγεί στη μείωση της αξίας του.

Η κύρια συνέπεια της υπερβολικής ποσότητας αζώτου και φωσφόρου στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι η ανάπτυξη φυκών. Η δευτερεύουσα συνέπεια αφορά την αποσύνθεση νεκρών οργανικών υλικών, όπως των φυκών και των ανθρωπογενών οργανικών ουσιών. Η αποσύνθεση αυτή καταναλώνει οξυγόνο, μειώνοντας τον κορεσμό του οξυγόνου και προκαλώντας ενίοτε αναερόβιες συνθήκες. Οι αναερόβιες συνθήκες στο ίζημα του βυθού των λιμνών ή άλλων εσωτερικών υδάτων μπορεί να οδηγήσουν στην παραγωγή υδρόθειου (H_2S), το οποίο μπορεί να προκαλέσει καταστροφικές αναταραχές και την απελευθέρωση τοξικού υδρόθειου στο νερό.

Οι επιπτώσεις των εκπομπών που προκαλούν ευτροφισμό εξαρτώνται από την ευαισθησία των αποδεκτών υδάτων στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Καθώς κάποια ύδατα είναι πιο ευαίσθητα από άλλα.

Σε χερσαία οικοσυστήματα, οι επιπτώσεις του ευτροφισμού είναι εμφανείς στις αλλαγές της λειτουργίας και της ποικιλότητας των ειδών σε οικοσυστήματα που είναι φτωχά σε θρεπτικά συστατικά. Αυτά τα φαινόμενα προκαλούνται από την ατμοσφαιρική εναπόθεση αζωτούχων ενώσεων.

Το δυναμικό ευτροφισμού (EP) μπορεί να εκφραστεί ως ισοδύναμο οξυγόνου (O₂) ή φωσφορικού (PO₄) (European Environmental Agency, 1997).

Τοξικολογικές συνέπειες για τον άνθρωπο: Η κατηγορία αυτή αποτελεί την πιο δύσκολη ως προς τη διαχείρισή της. Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από τον βαθμό έκθεσης και από τις επιδράσεις των χημικών και βιολογικών ουσιών. Οι πιθανές συνέπειες για τους ανθρώπους σχετίζονται με την πραγματική έκλυση και τα δυσμενή αποτελέσματα των ουσιών που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Οι τοξικολογικές συνέπειες για τους ανθρώπους μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Οξείες τοξικολογικές αντιδράσεις
- Ερεθισμούς
- Αλλεργικές αντιδράσεις
- Γονοτοξικότητα
- Καρκινογένεση
- Νευροτοξικότητα
- Τερατογένεση (European Environmental Agency, 1997).

Σχηματισμός φωτοχημικής οξείδωσης: Η δημιουργία του φωτοχημικού όζοντος (ομίχλη) προκύπτει από τη διάσπαση οργανικών ενώσεων (VOC) σε παρουσία φωτός και νιτρικών οξειδίων (NO_x). Αυτή η ομίχλη μπορεί να επηρεάσει τοπικά το περιβάλλον και να δημιουργήσει τροποσφαιρικό όζον.

Οι βιολογικές επιπτώσεις του φωτοχημικού όζοντος μπορούν να οδηγήσουν σε βιοχημικές αντιδράσεις με τις ενεργές ενώσεις του όζοντος. Η έκθεση των φυτών στο όζον μπορεί να καταστρέψει την επιφάνεια των φύλλων, να επηρεάσει την ικανότητα φωτοσύνθεσης, να αποχρωματίσει τα φύλλα και να προκαλέσει τη θανάτωση των φυτών. Για τους ανθρώπους, η έκθεση στο όζον μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια, προβλήματα στο αναπνευστικό ακόμη και χρόνια βλάβη του συστήματος.

Η δημιουργία φωτοχημικού όζοντος μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας το δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος (POCP) για οργανικές ενώσεις. Η πιθανή παραγωγή φωτοχημικού όζοντος από ορισμένες διαδικασίες μπορεί να εκτιμηθεί αθροίζοντας τις τιμές POCP για τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs).

3.4.5 Ερμηνεία

Η **Ανάλυση και Ερμηνεία** των αποτελεσμάτων είναι απαραίτητο στοιχείο για τον παραλήπτη της μελέτης, καθώς τα δεδομένα που συλλέγονται δεν αρκούν για την επεξήγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Στο πλαίσιο αυτό απαιτείται να καταγραφεί στην μελέτη αναλυτική επεξήγηση των ευρημάτων σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος, αλλά να δοθούν πληροφορίες που θα συνδράμουν στην λήψη αποφάσεων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η οικονομία, η συμπεριφορά του προϊόντος και η κοινή γνώμη.

Η ερμηνεία θα πρέπει να πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τη δήλωση του στόχου και του σκοπού της μελέτης AKZ, καθώς και τους περιορισμούς που επιβάλλονται από το πεδίο εφαρμογής, ώστε να πραγματοποιηθεί μία ουσιώδης ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Hauschild, M. Z. et al, 2018). Η λεπτομερής ανάλυση επιτρέπει στους παραλήπτες της μελέτης να κατανοήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος και να λάβουν ενημερωμένες αποφάσεις που θα συμβάλουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Με αυτόν τον τρόπο, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της AKZ δεν περιορίζεται μόνο στην καταγραφή των δεδομένων, αλλά επεκτείνεται στην παροχή μιας βαθύτερης κατανόησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην προσφορά πρακτικών λύσεων και προτάσεων που μπορούν να εφαρμοστούν για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας και την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών.

3.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΚΑΙ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την διεξαγωγή της AKZ απαιτείται η χρήση μεγάλου όγκου δεδομένων και σεναρίων, καθώς και η χρήση εργαλείων υπολογισμού, ώστε η διαδικασία να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη ευκολία. Σήμερα βρίσκονται διαθέσιμα προς χρήση αρκετά λογισμικά AKZ, εκ των οποίων κάποια προσφέρουν δωρεάν χρήση και κάποια επί πληρωμή. Τα εργαλεία μπορεί να διαφέρουν ως προς την περιεκτικότητά τους και να

επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα, γεγονός που θα πρέπει να γνωρίζει ο χρήστης (Silva et al., 2017).

Τα πιο δημοφιλή εργαλεία ανάπτυξης AKZ σήμερα είναι τα εξής:

- Sphera, GaBi LCA Software, το οποίο αποτελεί ένα επί πληρωμή λογισμικό και το οποίο διαθέτει στην αγορά η εταιρεία Sphera (<https://sphera.com/>).
- OpenLCA, το οποίο αποτελεί ένα δωρεάν λογισμικό ανοικτού κώδικα που διατίθεται από την εταιρεία λογισμικών GreenDelta (<https://www.openlca.org/>).
- SimaPro, το οποίο αποτελεί ένα επί πληρωμή λογισμικό και το οποίο διαθέτει στην αγορά η εταιρεία PRé Sustainability. Είναι ένα από τα πιο δημοφιλή λογισμικά με χρήση σε πάνω από 80 χώρες παγκοσμίως, τόσο από επιχειρήσεις όσο και από ερευνητικούς οργανισμούς και ακαδημαϊκά ινστιτούτα (<https://simapro.com/>).
- Umberto NTX, το οποίο αποτελεί ένα επί πληρωμή λογισμικό και το οποίο διαθέτει στην αγορά η εταιρεία iPoint-systems GMBH (<https://www.ifu.com/umberto/>).

Οι διαφοροποιήσεις των παραπάνω λογισμικών αφορούν κυρίως την μορφή των δεδομένων και τον τρόπο αξιολόγησης της αβεβαιότητας και της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων (Silva et al., 2017). Συγκεκριμένα, κάθε λογισμικό έχει τη δική του προσέγγιση όσον αφορά τη διαχείριση και την παρουσίαση των δεδομένων, γεγονός που επηρεάζει την ανάλυση και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στον ελλαδικό χώρο τα λογισμικά SimaPro και OpenLCA είναι τα πιο δημοφιλή και συναντώνται σε πλήθος πτυχιακών διατριβών και ερευνητικών δραστηριοτήτων σε ποικίλους τομείς (προϊόντα, διαχείριση αστικών απορριμμάτων, ΑΠΕ, ναυτιλία κ.α.). Ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ το OpenLCA αποτελεί ένα δωρεάν λογισμικό ανοικτού κώδικα, αυτό που συναντάται περισσότερο είναι το SimaPro.

Πέραν των διαφορετικών λογισμικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, η εφαρμογή της AKZ βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε διάφορους τύπους βάσεων δεδομένων που παρέχουν βασικά δεδομένα αποθέματος. Για την AKZ απαιτείται η συλλογή και η διαχείριση ενός μεγάλου όγκου δεδομένων (Life Cycle Inventory, LCI) που αφορούν τις

εισροές και εκροές του συστήματος. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των δεδομένων υπάρχει διαθέσιμo σε βάσεις δεδομένων, οι οποίες είναι εφαρμόσιμες στα εργαλεία AKZ. Ωστόσο, επειδή συνήθως οι βάσεις δεδομένων δημιουργούνται ταυτόχρονα με την δημιουργία ενός λογισμικού, είναι περισσότερο συμβατές με αυτά και λιγότερο με άλλα διαθέσιμα εργαλεία. (da Silva, Luís Simões, et al, 2007).

Παραδείγματα βάσεων δεδομένων απογραφής που χρησιμοποιούνται συνήθως περιλαμβάνουν:

1. Ecoinvent, το οποίο προσφέρει μία μεγάλη βάση δεδομένων, με πάνω από 20.000 βάσεις δεδομένων που αφορούν ένα μεγάλο μέρος προϊόντων, υπηρεσιών και διαδικασιών. Οι βάσεις δεδομένων Ecoinvent εφαρμόζονται στα λογισμικά σε Helix, Mobius, Simapro, GaBi (Sphera) και open LCA <https://ecoinvent.org>.
2. GaBi (Sphera), το οποίο περιέχει περίπου 15.000 σύνολα δεδομένων και ανήκει στην εταιρεία Sphera. Οι βάσεις δεδομένων GaBi εφαρμόζονται στα λογισμικά GaBi (Sphera) και open LCA.
3. Στην Ευρώπη: PEF (Product Environmental Footprint)
Το PEF ξεκίνησε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αποτελεί ένα πρότυπο AKZ το οποίο συνοδεύεται από μία βάση δεδομένων. Στόχος του είναι τα αποτελέσματα των αναλύσεων κύκλου ζωής από διαφορετικές μελέτες να είναι συγκρίσιμα. Οι βάσεις δεδομένων είναι διαθέσιμες για συγκεκριμένες κατηγορίες προϊόντων και είναι συμβατές μόνο με τη μέθοδο PEF.
4. Στις Κάτω Χώρες: Nationale Milieudatabase (NMD) για εργασίες κατασκευής
Το NMD καλύπτει ένα μεγάλο εύρος δομικών υλικών και υπηρεσιών που σχετίζονται με τις κατασκευές στο ολλανδικό πλαίσιο. Τα δεδομένα της συμμορφώνονται με το EN 15804 + A2, το πρότυπο LCA για τα δομικά προϊόντα, ενώ είναι κατάλληλο μόνο για μελέτες σύμφωνα με το EN 15804 + A2. Το NMD v3.3 & 3.5, είναι προς το παρόν διαθέσιμο σε Ecochain, Mobius και Helix.
(<https://ecochain.com/blog/lci-databases-in-lca/>)

Η ακρίβεια και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων LCA εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Μέσω των βάσεων δεδομένων δίνεται η δυνατότητα εξοικονόμησης χρόνου και πόρων που θα απαιτούνταν για την συλλογή ποιοτικών δεδομένων. Σήμερα, πολλές χώρες παγκοσμίως έχοντας ως στόχο την ενίσχυση της ανάπτυξης των μελετών ΑΚΖ, έχουν προχωρήσει στην ανάπτυξη εθνικών βάσεων που είναι σύμφωνες με την οικονομία τους, το ενεργειακό μείγμα της χώρας και τις τεχνολογίες διάθεσης αποβλήτων που εφαρμόζονται (Cirotha, Andreas et al., 2019).

4. ΒΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΚΖ

Η μετάβαση σε μία βιώσιμη κοινωνία αποτελεί βασική προτεραιότητα για την παγκόσμια προσπάθεια αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Βασικό βήμα προς την κατεύθυνση αυτή αποτέλεσε η παγκόσμια δέσμευση για τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης καθώς και η Συμφωνία του Παρισιού το 2015 από τα Ηνωμένα Έθνη.

Η βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή (SCP), η οποία καλύπτεται από τον Στόχο Βιώσιμης Ανάπτυξης 12 «Υπεύθυνη Κατανάλωση και Παραγωγή», σκοπεύει στην ποιοτική παραγωγή με τη χρήση λιγότερων πόρων και την μείωση της μόλυνσης και της υποβάθμισης του κύκλου ζωής (<https://unric.org/el/>). Η SCP αποτελεί μια πολύπλευρη προσέγγιση που βασίζεται στην προοπτική του κύκλου ζωής, δηλαδή στην αντίληψη των επιπτώσεων που έχει ο τρόπος ζωής τόσο στο περιβάλλον όσο και στην κοινωνία. Βασικός στόχος της SCP είναι η οικονομική ανάπτυξη χωρίς καμία υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Στην υλοποίηση του σημαντικού αυτού στόχου η εφαρμογή του κύκλου ζωής παίζει καταλυτικό ρόλο ώστε να τεθούν προτεραιότητες με τέτοιο τρόπο που θα οδηγήσουν σε στοχευμένες πολιτικές που σε σχέση με τις προσπάθειες που καταβάλλονται πρόκειται να ωφελήσουν περισσότερο το περιβάλλον (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

Παρακάτω γίνεται αναφορά σε πολιτικές που εφαρμόζονται βασισμένες στην σκέψη του Κύκλου Ζωής και σε πολιτικές που ενσωματώνουν την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής και που εφαρμόζονται σε διεθνές επίπεδο:

Πολιτικές βασισμένες στην σκέψη του Κύκλου Ζωής

- 10-ετές Πλαίσιο Προγραμμάτων για τα Βιώσιμα πρότυπα κατανάλωσης και παραγωγής (10YFP), το οποίο υιοθετήθηκε κατά τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (Ρίο+20) τον Ιούνιο του 2012. Το 10YFP ενισχύει την προσπάθεια των χωρών στην επίτευξη ενός κοινού στόχου, που συμπεριλαμβανομένων όλων των πλευρών του SCP, θα προωθήσει και την προοπτική του κύκλου ζωής (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

«Το 10YFP περιλαμβάνει τα παρακάτω 6 προγράμματα:

- ο Βιώσιμες Δημόσιες Προμήθειες,
- ο Ενημέρωση καταναλωτών για την SCP,
- ο Βιώσιμος Τουρισμός,
- ο Βιώσιμος τρόπος ζωής και εκπαίδευση,
- ο Βιώσιμα κτίρια και κατασκευές,
- ο Βιώσιμα συστήματα τροφίμων» (<https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/one-planet-network/10yfp-10-year-framework-programmes>)

- Πρόγραμμα αποτελεσματικής και καθαρής παραγωγής πόρων (RECP), το οποίο αποτελεί ένα κοινό πρόγραμμα μεταξύ του United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) και του United Nations Environment Programme (UNEP) που ξεκίνησε το 1994 (Hauschild, M. Z. et al., 2018). Το πρόγραμμα στοχεύει στην εφαρμογή στρατηγικών που θα οδηγήσουν σε αποδοτικούς πόρους και να μείωση των επιπτώσεων στον άνθρωπο και στο περιβάλλον, σε αναπτυσσόμενες οικονομίες (<https://www.unido.org/our-focus/safeguarding-environment-resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/resource-efficient-and-cleaner-production-recp>).

- Βιώσιμη Διαχείριση Υλικών και Πράσινες Δηλώσεις: Η Βιώσιμη Διαχείριση Υλικών αποτελεί μία πολιτική του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD), η οποία καλείται να αντιμετωπίσει τις επιπτώσεις στο περιβάλλον καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των

υλικών σε διασυνοριακό επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικούς παράγοντες της οικονομίας (https://www.oecd.org/en/publications/sustainable-materials-management_9789264174269-en.html).

Στο πλαίσιο της πολιτικής αυτής, το 2009 η επιτροπή Καταναλωτικής Πολιτικής του OECD προώθησε ένα έργο για την διερεύνηση μεθόδων ισχυροποίησης της δυναμικότητας και της αποτελεσματικότητας των Πράσινων Δηλώσεων που πραγματοποιούν επιχειρήσεις σχετικά με τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες τους. (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

- Ασία / Ειρηνικός: Στρατηγική Πράσινης Ανάπτυξης, η οποία προωθείται από τον ΟΗΕ και έχει υιοθετηθεί από τις χώρες της περιοχής, προωθώντας έτσι την Βιώσιμη Κατανάλωση και Παραγωγή, τις βιώσιμες υποδομές και την εφαρμογή πράσινης φορολογίας για την αντιμετώπιση της φτώχειας. Ενώ βασικό ρόλο κατέχει και η εφαρμογή της Κυκλικής Οικονομίας στην Ασία μέσω της οποίας υποστηρίζεται η βελτιστοποίηση των πόρων (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

- Λατινική Αμερική και Καραϊβική (ΛΑΚ): Περιφερειακό Σχέδιο Δράσης και πολιτική της MERCOSUR για την Βιώσιμη Κατανάλωση και Παραγωγή.

Μέσω του περιφερειακού σχεδίου δράσης για τη SCP στην περιοχή, το οποίο εγκρίθηκε το 2008 από την Συνεδρίαση των Υπουργών Περιβάλλοντος της ΛΑΚ, τέθηκαν τέσσερις προτεραιότητες που αφορούν: «τις εθνικές πολιτικές και στρατηγικές, τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις, της βιώσιμες δημόσιες συμβάσεις και τον βιώσιμο τρόπο ζωής».

Το 2003 οι χώρες μέλη της Mercosur (Αργεντινή, Βραζιλία, Παραγουάη, Ουρουγουάη) συμφώνησαν ότι θα πρέπει να προχωρήσουν σε μία κοινή πολιτική για την εφαρμογή της Βιώσιμης Κατανάλωσης και Παραγωγής και υπέγραψαν τη Δήλωση για τις Αρχές Καθαρότερης Παραγωγής. Η υπογραφή της δήλωσης άνοιξε τον δρόμο για την έγκριση της πολιτικής

Mercosur με στόχο την προώθηση και την συνεργασία σε θέματα βιώσιμης κατανάλωσης και παραγωγής το 2007.

- Αφρική: Αφρικανικό 10-ετές Πλαίσιο Προγραμμάτων για την Βιώσιμη Κατανάλωση και Παραγωγή. Από το 1995 δημιουργήθηκαν Εθνικά Κέντρα Καθαρότερης Παραγωγής στην Αφρική από την UNIDO και UNEP, τα οποία αποτέλεσαν βασικούς θεσμούς για την καθιέρωση της SCP στην περιοχή. Το 2004 τα Εθνικά Κέντρα Καθαρότερης Παραγωγής προχώρησαν στην σύσταση της Αφρικανικής Στρογγυλής Τραπέζης για την ΒΚΠ που ηγήθηκε στην ανάπτυξη του Αφρικανικού 10-ετές Πλαισίου Προγραμμάτων για την Βιώσιμη Κατανάλωση και Παραγωγή, το οποίο εγκρίθηκε το 2005 από την αφρικανική υπουργική διάσκεψη για το περιβάλλον. Οι πιο σημαντικές επιτεύξεις του προγράμματος κατατάσσονται στις εξής πέντε κατηγορίες: 1. Ενσωμάτωση (Mainstreaming), 2. Ενέργεια, 3. Νερό, 4. Ενημερωτικά Μέσα, 5. Βιώσιμες Δημόσιες Συμβάσεις. (Hauschild, M. Z. et al, 2018).

Το πλαίσιο πολιτικής των ανεπτυγμένων χωρών για την SCP έχει μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων που επιφέρουν στο περιβάλλον σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους τα προϊόντα, τα υλικά και οι πόροι, σε αντίθεση με τις πολιτικές SCP των αναπτυσσόμενων χωρών που εστιάζουν σε πολιτικές εθνικού επιπέδου, σε μερικούς πόρους και στην εξέλιξη των επιχειρήσεων.

Θε πρέπει να σημειωθεί ότι, η καθιέρωση αυστηρότερων περιβαλλοντικών προτύπων για τα προϊόντα στην αγορά των ανεπτυγμένων χωρών δύναται να σταθεί εμπόδιο στην εξαγωγή προϊόντων από τις αναπτυσσόμενες χώρες. Ενώ θεωρείται πιθανό οι περιορισμοί που τίθενται να στοχεύουν και στην προστασία των βιομηχανιών στις ανεπτυγμένες χώρες.

Πολιτικές που ενσωματώνουν την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής:

- **Πρωτοβουλία UNEP/SETAC για τον κύκλο ζωής:** Η Πρωτοβουλία για τον Κύκλο Ζωής (Life Cycle Initiative) είναι μια σημαντική πρωτοβουλία που στοχεύει στην ενσωμάτωση της λογικής του κύκλου ζωής σε αποφάσεις και πολιτικές παγκοσμίως. Η πρωτοβουλία συνεργάζεται με πολλούς εταίρους,

συμπεριλαμβανομένων του 10YFP, του International Resource Panel και της SETAC. Στόχος της είναι να ενσωματώσει τη σκέψη του κύκλου ζωής σε τέσσερους παγκόσμιους τομείς λήψης αποφάσεων και πολιτικής σε τουλάχιστον 15 χώρες και 30 εταιρείες (<https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/life-cycle-initiative>).

- **International Resource Panel:** Αποτελεί μία διεθνή ομάδα εμπειρογνομόνων που ιδρύθηκε το 2007 με στόχο την αξιολόγηση της βιώσιμης χρήσης των πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τη χρήση τους καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους και την συνεισφορά στην αντίληψη του τρόπου με τον οποίο θα αποσυνδεθεί η οικονομική ανάπτυξη από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η International Resource Panel μέσω των εκθέσεων της παρέχει επικαιροποιημένες πληροφορίες και επιστημονικά στοιχεία, τα οποία δύναται να χρησιμοποιηθούν για την χάραξη πολιτικών και για την αξιολόγηση και παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών που εφαρμόζονται. Οι εκθέσεις αυτές βασίζονται στην εξέλιξη του κύκλου ζωής, ενώ είναι σύνηθες να γίνεται αναφορά σε μελέτες Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής που διερευνήθηκαν στο πλαίσιο εκπόνησης των εκθέσεων.

- **Συνεργασίες της Διεθνούς Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας του ΟΗΕ (FAO) για τη βιοενέργεια και την κτηνοτροφία:**

Βιοενέργεια: Με στόχο την υλοποίηση των δεσμεύσεων της G8 (Σχέδιο Δράσης, Gleneagles 2005) για την δημιουργία βιομάζας και βιοκαυσίμων, με έμφαση τις αναπτυσσόμενες χώρες στις οποίες η βιομάζα έχει ευρεία διάδοση, δημιουργήθηκε η Παγκόσμια Σύμπραξη για τη Βιοενέργεια (GBEP). Στο πλαίσιο της δραστηριοποίησης της GBEP πραγματοποιήθηκε η σύσταση εξειδικευμένης ομάδας με αντικείμενο τις μεθόδους που αφορούν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ώστε να αναλυθεί ολόκληρος ο κύκλος ζωής της μεταφοράς των βιοκαυσίμων και της στερεάς βιομάζας και να αναπτυχθεί ένα κοινό πλαίσιο μεθοδολογιών προς χρήση από τις πολιτικές αρχές και τα ενδιαφερόμενα μέρη κατά την αξιολόγηση των επιπτώσεων των

Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου. Μέσω αυτών θα μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κοινή και σύμφωνη βάση σύγκριση των μεθόδων αξιολόγησης του κύκλου ζωής των Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου. Η ομάδα εργασίας συστάθηκε υπό την Προεδρία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και την συμπροεδρία των Ηνωμένων Εθνών.

Κτηνοτροφία: Στο πλαίσιο της μετάβασης σε βιώσιμα συστήματα γεωργικής παραγωγής και κτηνοτροφίας, η FAO σε συνεργασία με τους εταίρους της προχώρησαν σε συνεργασίες για την υποστήριξη της επιστήμης της περιβαλλοντικής συγκριτικής αξιολόγησης των αλυσίδων εφοδιασμού στον κτηνοτροφικό τομέα.

➤ **Πρότυπα Βιωσιμότητας της ITU για την Βιομηχανία Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνίας**: Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών απαντώντας στην υψηλή ζήτηση εκθέσεων βιωσιμότητας, προχώρησε στην ανάπτυξη μίας εργαλειοθήκης με πολύτιμες πληροφορίες για εταιρείες Τεχνολογίας Πληροφοριών και Επικοινωνίας, ώστε να εντάξουν με ευκολία τις αρχές της βιωσιμότητας στη λειτουργία και τη διαχείριση των οργανισμών τους μέσω της εφαρμογής διεθνών προτύπων και κατευθυντήριων οδηγιών. Η χρήση της εργαλειοθήκης ενισχύει την εκπόνηση αντικειμενικών εκθέσεων βιωσιμότητας από της εταιρείες του συγκεκριμένου κλάδου (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΑΚΖ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται περιγραφικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής μελετών Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) σε ορισμένους σημαντικούς τομείς. Ο κύριος στόχος είναι να αποτυπωθούν τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση της ΑΚΖ, τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά την εκπόνηση των μελετών, καθώς και οι ανάγκες για βελτίωση της μεθοδολογίας και της εφαρμογής των μελετών ΑΚΖ. Μέσω αυτής της προσέγγισης, επιχειρείται να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα για την αποδοτικότητα και την αξία της ΑΚΖ ως εργαλείου για την περιβαλλοντική διαχείριση και την προώθηση της βιωσιμότητας. Με τον τρόπο αυτό, αναδεικνύονται οι δυνατότητες

της ΑΚΖ να συμβάλλει στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και στη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης σε διάφορους τομείς της οικονομίας και της βιομηχανίας.

ΑΚΖ Ενεργειακών συστημάτων εφοδιασμού:

Τα ενεργειακά συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας αποτελούν ένα βασικό κομμάτι της σύγχρονης κοινωνίας μας. Η ζήτησή τους αυξάνεται συνεχώς, καθώς η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται με την ανάπτυξη και τον εκσυγχρονισμό των κοινωνιών. Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, επηρεάζοντας την ανθρώπινη υγεία, το οικοσύστημα και τους φυσικούς πόρους.

Για να κατανοηθούν και να μειωθούν αυτές οι επιπτώσεις, έχει εκπονηθεί μεγάλος αριθμός μελετών Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) στον τομέα της ενέργειας. Αυτές οι μελέτες βοηθούν στην αποτύπωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ενεργειακών συστημάτων, προσφέροντας μια συνολική εικόνα του κύκλου ζωής των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας.

Ωστόσο, από την ανασκόπηση των υπαρχουσών μελετών προκύπτουν ορισμένες ανάγκες για βελτίωση της μεθοδολογίας που ακολουθείται. Συγκεκριμένα, εντοπίζονται τα εξής σημεία βελτίωσης:

- **Συμπερίληψη όλων των σταδίων του κύκλου ζωής:** Είναι απαραίτητο να συμπεριλαμβάνονται όλα τα στάδια του κύκλου ζωής στις μελέτες ΑΚΖ, καθώς παρατηρείται ότι συχνά δεν λαμβάνονται υπόψη τα στάδια της τελικής διάθεσης ή της διακοπής της λειτουργίας των συστημάτων. Αυτά τα στάδια μπορεί να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που πρέπει να αποτυπωθούν και να αξιολογηθούν.
- **Αναλυτική αξιολόγηση όλων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων:** Οι μελέτες ΑΚΖ πρέπει να αναλύουν όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να μην επικεντρώνονται μόνο σε ζητήματα που αφορούν την κλιματική αλλαγή ή που σχετίζονται με την ενέργεια. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως η τοξικότητα, η όξινη βροχή, η ευτροφία και η απώλεια της βιοποικιλότητας, για να έχουμε μια ολοκληρωμένη κατανόηση των επιπτώσεων.

Με αυτές τις βελτιώσεις, οι μελέτες AKZ μπορούν να παρέχουν μια πιο ολοκληρωμένη και ακριβή εικόνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ενεργειακών συστημάτων (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

AKZ στην ηλεκτροκίνηση:

Ο τομέας των μεταφορών κατέχει ένα μεγάλο μερίδιο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η ηλεκτροκίνηση αποτελεί μία πολύ σημαντική τεχνολογία για την μείωση των εκπομπών, καθώς δεν παράγονται εκπομπές κατά τη χρήση ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος. Όμως η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης ταυτόχρονα πρέπει να αντιμετωπίσει και κάποιες σημαντικές τεχνολογικές προκλήσεις στο στάδιο της παραγωγής, όπως:

- **Το υψηλό ποσοστό εκπομπών από την κατασκευή των μπαταριών:** Η κατασκευή των μπαταριών είναι υπεύθυνη για το 40-50% των συνολικών εκπομπών που σχετίζονται με την ηλεκτροκίνηση.
- **Η μεγάλη ανάγκη σε πόρους για την κατασκευή των μπαταριών και των ηλεκτροκινητήρων:** Η παραγωγή των μπαταριών απαιτεί μεγάλες ποσότητες χαλκού και αλουμινίου, ενώ η κατασκευή των ηλεκτροκινητήρων εξαρτάται από μέταλλα σπάνιων γαιών.

Για τους παραπάνω λόγους η προτίμηση χρήσης ηλεκτρικού οχήματος αντί της χρήσης ενός συμβατικού με σκοπό την μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου, θα πρέπει να γίνει κατόπιν μίας συνολικής ανάλυσης του κύκλου ζωής των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής μπορεί να βοηθήσει σε μία διευρυμένη απεικόνιση των επιπτώσεων της ηλεκτροκίνησης, αρκεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας να πραγματοποιηθεί με διαφάνεια.

Σε μελέτες AKZ που έχουν διεξαχθεί εντοπίζονται σημαντικές ασυνέπειες, όπως ασάφεια στον ορισμό των ορίων - διαφορές στην διάρκεια του κύκλου ζωής του προς ανάλυση προϊόντος - απουσία λειτουργικής ισοδυναμίας, που οδηγούν σε αδυναμία συγκριτικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Όμως, από τις μελέτες μπορούμε να εξάγουμε ένα κοινό συμπέρασμα, ότι η πηγή ενέργειας για την κίνηση ενός οχήματος είναι αυτή που επηρεάζει σημαντικά τις επιπτώσεις του στο περιβάλλον. Για παράδειγμα η προώθηση της ηλεκτροκίνησης σε περιοχές που η παραγωγή ενέργειας βασίζεται σε

ορυκτά, θα έχει δυνητικές συνέπειες στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα των μεταφορών (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

Με την κατάλληλη εφαρμογή της ΑΚΖ, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα και να αντιμετωπίσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλεκτροκίνησης, ενισχύοντας τις προσπάθειες για έναν βιώσιμο και φιλικότερο προς το περιβάλλον τομέα μεταφορών.

ΑΚΖ των κτιρίων και του δομημένου περιβάλλοντος:

Η μέθοδος σχεδιασμού των κτιρίων αλλά και του δομημένου περιβάλλοντος επηρεάζει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπό τους, με τη συμβολή τους σε παγκόσμιο επίπεδο να είναι σημαντική. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τα κτίρια και το δομημένο περιβάλλον προέρχονται από την χρήση ενέργειας, την κατανάλωση πόρων, τις εκροές αποβλήτων.

Η μελέτη ΑΚΖ καλείται να αναλάβει ένα σημαντικό ρόλο για την προώθηση των μελλοντικών σχεδιασμών των κτιρίων και των δομημένων περιβαλλόντων προς την βιωσιμότητα, διασφαλίζοντας ότι η οικονομική ανάπτυξη δεν θα παρεμποδίσει την λειτουργία των οικοσυστημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο. Η μεθοδολογία όμως που ακολουθείται στα κτίρια και στο δομημένο περιβάλλον διαφέρει, όπως διαφέρει και η κάλυψη των συστημάτων που αξιολογούν, ως προς την κλίμακα, το χρονικό διάστημα που καλύπτουν, την ακρίβεια των δεδομένων που απαιτείται, την επιλογή μεθόδου για την ΑΚΖ. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μία γενική εικόνα των διαφορών που αναφέρθηκαν.

Σχήμα 5: Μεθοδολογία ΑΚΖ κτιρίων και δομημένου περιβάλλοντος



Σε επίπεδο μεμονωμένου κτιρίου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το στάδιο χρήσης είναι οι πιο σημαντικές. Ωστόσο, με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, οι επιπτώσεις μετατοπίζονται σε άλλα στάδια του κύκλου ζωής, όπως η κατασκευή και η διάθεση. Στην κλίμακα του δομημένου περιβάλλοντος, οι επιπτώσεις προέρχονται από την κινητικότητα, τον κλιματισμό των χώρων και τις διατροφικές ανάγκες του πληθυσμού. Παρατηρείται επίσης ανταγωνισμός μεταξύ της μείωσης της ενεργειακής χρήσης στα κτίρια νέων κατασκευών και της αύξησης της ενέργειας για τις μεταφορές λόγω της διάσπαρτης φύσης των αναπτύξεων (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

Η ΑΚΖ συμβάλλει στην καταγραφή και αξιολόγηση αυτών των επιπτώσεων, παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των κτιρίων και των δομημένων περιβαλλόντων και την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών στο σχεδιασμό και την κατασκευή τους. Με αυτόν τον τρόπο, η ΑΚΖ λειτουργεί ως εργαλείο για την περιβαλλοντική διαχείριση και τη βιώσιμη ανάπτυξη στον τομέα των κατασκευών.

ΑΚΖ των τροφίμων και της γεωργίας:

Η παραγωγή τροφίμων ακολουθείται από μία σειρά σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως, επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στα ζώα από τη χρήση φυτοφαρμάκων, ευτροφισμός από την απορροή θρεπτικών ουσιών, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τόσο από την κτηνοτροφία όσο και από φυτική παραγωγή, διατάραξη του κύκλου του αζώτου κυρίως λόγω της παραγωγής λιπασμάτων και τέλος οι χρήσεις γης.

Ο κύκλος ζωής των προϊόντων διαχωρίζεται σε έξι στάδια, την παραγωγή και μεταφορά εισροών, την καλλιέργεια, την μεταποίηση, τη διανομή, τη κατανάλωση και τη διαχείριση αποβλήτων. Σημαντικός αριθμός μελετών ΑΚΖ για τα προϊόντα εστιάζει μόνο στα δύο πρώτα στάδια, όπου συναντώνται και οι περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αφού περιλαμβάνουν την κτηνοτροφία και τη διαχείριση κοπριάς, την παραγωγή και τη χρήση λιπασμάτων και την χρήση καυσίμων για τα γεωργικά μηχανήματα.

Με τη χρήση των μελετών ΑΚΖ στη παραγωγή τροφίμων μπορούμε να εντοπίσουμε σημεία και δυνατότητες για την βελτίωση κάθε συστήματος. Για

παράδειγμα σύμφωνα με αποτελέσματα μελέτης AKZ για τοπικά τρόφιμα, τα τοπικά τρόφιμα δεν αποτελούν πάντα βιώσιμη λύση, αφού σε αντίθεση με τη μεταφορά των τροφίμων ο τρόπος παραγωγής τους καθορίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη βιωσιμότητα τους. Έτσι, μέσω των συγκριτικών αποτελεσμάτων της μελέτης AKZ παρέχονται στοχευμένα στοιχεία για την βελτίωση του συστήματος μας.

Στην διεξαγωγή AKZ για την γεωργία εντοπίζονται κάποιες βελτιώσεις που θα πρέπει να εφαρμοστούν στη μεθοδολογία, όπως:

- Στον ορισμό της λειτουργικής μονάδας όπου γίνεται με βάση τη μάζα παραγωγής ή την παραγωγή ανά μονάδα έκτασης, δεν συνυπολογίζεται και η διατροφική ποιότητα του προϊόντος.
- Δεν μπορεί να γίνει σαφής διαχωρισμός της τεχνόσφαιρας και της οικόσφαιρας σε ορισμένα συστήματα που έχουν άμεση σύνδεση με τη φύση.
- Σε σημαντικό αριθμό μελετών περιλαμβάνεται μικρός αριθμός κατηγοριών επιπτώσεων.
- Περαιτέρω ανάπτυξη ορισμένων κατηγοριών, όπως οι χρήσεις γης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δημοσιευμένης έρευνας που σκοπός της είναι να μελετήσει τις επιπτώσεις στο περιβάλλον από τα στάδια που περιλαμβάνει η παραγωγή ούζου. Το ούζο είναι μία απόσταξη από τα σταφύλια και περιέχει 40 – 50% αλκοόλη κατ' όγκο. Αποτελεί προϊόν ελληνικής παραγωγής με Προστατευμένη Γεωγραφική Ένδειξη, ενώ αντίστοιχα ποτά συναντώνται και σε άλλες χώρες της Μεσογείου (Ιταλία, Τουρκία, Γαλλία, Βουλγαρία).

Από την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής που πραγματοποιήθηκε για όλες τις διεργασίες του εξεταζόμενου συστήματος, αποδείχθηκε ότι οι διεργασίες που επηρεάζουν περισσότερο τις επιπτώσεις στο περιβάλλον (Υπερθέρμανση του Πλανήτη, Δυναμικό Οξίνισης, Δυναμικό Ευτροφισμού και Φωτοχημική Οξείδωση) είναι τρεις και αφορούν:

- Η διεργασία παραγωγής,
- Η διεργασία της καλλιέργειας των σταφυλιών,
- Η διεργασία της παραγωγής και μεταφοράς των γυάλινων φιαλών για την εμφιάλωσή του ούζου.

Για να καταστεί λοιπόν η παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος πιο φιλική για το περιβάλλον, ο παραγωγός του προϊόντος θα πρέπει να επέμβει και να λάβει βελτιωτικά μέτρα στις διεργασίες αυτές. Όπως για παράδειγμα:

- Για την παραγωγή του ούζου θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την χρήση πράσινων μορφών ενέργειας για την μείωση των εκπομπών.
- Για την καλλιέργεια των σταφυλιών η επιλογή εναλλακτικών πρακτικών καλλιέργειας (π.χ. βιολογική) θα μπορούσε να βελτιώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις έως και 50%. Σε τέτοιου είδους πρακτικές συνηθίζεται και η χρήση των αποβλήτων των καλλιεργειών ως λιπάσματα, μειώνοντας έτσι και την χρήση ανόργανων λιπασμάτων που η παραγωγή τους έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Για την παραγωγή και μεταφορά των γυάλινων φιαλών, μέτρα όπως η αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης των φιαλών θα μπορούσε να βελτιώσει την επίδραση στην Υπερθέρμανση του Πλανήτη έως και 11%. Επιπλέον, θα μπορούσε να εξεταστεί η χρήση φιαλών από διαφορετική α' ύλη καθώς και η εφαρμογή πράσινων πολιτικών για τη διαδικασία συντήρησης.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης αναδεικνύουν τις σημαντικές περιβαλλοντικές πλευρές της παραγωγής ούζου και δίνουν την δυνατότητα στον οργανισμό που διαχειρίζεται την παραγωγή να προχωρήσει στην παραγωγή ενός πιο πράσινου προϊόντος υιοθετώντας τα προτεινόμενα μέτρα βελτίωσης (P. Tsarouhas, I. Papachristos, 2021).

AKZ της επεξεργασίας λυμάτων:

Η χρήση του νερού πραγματοποιείται για υγειονομικούς σκοπούς, με τα λύματα να καταλήγουν στο περιβάλλον. Ωστόσο, η αύξηση του πληθυσμού και η βιομηχανική επανάσταση έχουν ενισχύσει σημαντικά το δυναμικό ρύπανσης. Για να προστατευθούν οι υδάτινοι βιολογικοί πόροι, η ανθρώπινη υγεία και τα υδάτινα οικοσυστήματα, η επεξεργασία λυμάτων έχει προοδεύσει και εφαρμόζεται ευρέως. Από τις απλές διαδικασίες καθίζησης μέχρι τις πιο σύγχρονες διεργασίες για την αφαίρεση οργανικών και θρεπτικών συστατικών, όπως η ενεργός ιλύς, οι μέθοδοι επεξεργασίας έχουν εξελιχθεί. Σήμερα, η τριτοβάθμια επεξεργασία εστιάζει στην αφαίρεση φωσφόρου και

μικρορυπαντών, όπως ο οξονισμός και η χρήση ενεργού άνθρακα. Τα λύματα θεωρούνται πλέον ως πόρος για ενέργεια, θρεπτικά συστατικά και πολυμερή.

Η έρευνα και οι μελέτες σε αυτόν τον τομέα επικεντρώνονται στην ενέργεια και την κατανάλωση πόρων. Πιο πρόσφατα, έχουν συμπεριληφθεί παράγοντες όπως το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη και ο ευτροφισμός, καθώς και οι επιπτώσεις της τοξικότητας από μικρορυπαντές. Η ανάλυση κύκλου ζωής χρησιμοποιείται ευρέως για τη σύγκριση της βιωσιμότητας των διαφορετικών συστημάτων επεξεργασίας.

Όταν πραγματοποιείται ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ) για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα ζητήματα:

- Η συνήθης μονάδα μέτρησης είναι η επεξεργασία 1m³ υγρών αποβλήτων. Ο προσδιορισμός της σύνθεσης των λυμάτων και των χαρακτηριστικών τους, καθώς και η χρήση οριακών τιμών, είναι κρίσιμα για την ακρίβεια των μελετών που πρόκειται να συγκριθούν με άλλες μελέτες.
- Όλα τα στάδια του κύκλου ζωής μπορεί να είναι σημαντικά και πρέπει να εξεταστούν.
- Ανάλογα με τον στόχο και το πεδίο εφαρμογής της μελέτης μπορεί να παραληφθούν τμήματα του συστήματος που είναι κοινά μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων.
- Καμία από τις παραδοσιακές κατηγορίες επιπτώσεων (εκτός από την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος, αν δεν περιλαμβάνονται οι εκπομπές N₂O) δεν πρέπει να αποκλειστεί, ενώ ο ευτροφισμός και η οικοτοξικότητα είναι συχνά κυρίαρχες.

Οι υπάρχουσες μεθοδολογίες αξιολόγησης καλύπτουν μόνο ένα μικρό μέρος των πιθανών επιπτώσεων της τοξικότητας των ρύπων στα υγρά απόβλητα λόγω της έλλειψης σωστών παραγόντων χαρακτηρισμού. Η κατάλληλη συμπερίληψη των ειδικών τοξικών μηχανισμών δράσης, όπως οι ενδοκρινικοί διαταράκτες, μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη σημασία της υδάτινης οικοτοξικότητας. Οι μεθοδολογίες αυτές συχνά δεν καταφέρνουν να αποτυπώσουν πλήρως τις επιπτώσεις ορισμένων τοξικών ουσιών στα υδάτινα οικοσυστήματα, καθώς οι παράγοντες χαρακτηρισμού είναι ανεπαρκείς. Η συμπερίληψη των ειδικών μηχανισμών δράσης, όπως των ενδοκρινικών διαταρακτών, θα

μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά την αξιολόγηση της υδάτινης τοξικότητας, προσφέροντας μια πιο ακριβή εικόνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η επίτευξη καλύτερων δεδομένων απογραφής για τις εκπομπές N₂O και CH₄ από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, οι οποίες μπορεί να αλλάξουν δραστικά τη σημασία της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Επιπλέον, η συλλογή και η ανάλυση καλύτερων δεδομένων απογραφής για τις εκπομπές N₂O και CH₄ από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι κρίσιμης σημασίας. Αυτά τα αέρια έχουν υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης και η βελτίωση των δεδομένων απογραφής μπορεί να αλλάξει δραστικά την κατανόηση και την εκτίμηση της σημασίας τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Η ακριβής αξιολόγηση των εκπομπών αυτών μπορεί να οδηγήσει σε πιο στοχευμένες και αποτελεσματικές στρατηγικές για τη μείωση των επιπτώσεων στο κλίμα (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

AKZ συστημάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων

Στη διάρκεια του περασμένου αιώνα, η χρήση υλικών και η παραγωγή αποβλήτων αυξήθηκαν κατά πολύ, φτάνοντας σε μη βιώσιμα επίπεδα. Σήμερα, η παγκόσμια παραγωγή αποβλήτων από όλες τις πηγές αγγίζει τα 17 δισεκατομμύρια τόνους και έως το 2050 υπολογίζεται να αυξηθεί σε 27 δισεκατομμύρια τόνους.

Αρχικά η οργανωμένη και συστηματική συλλογή και επεξεργασία αποβλήτων υλοποιήθηκε για λόγους δημόσιας υγείας και ασφάλειας. Η σύνδεσή των αποβλήτων με σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η αλλαγή του κλίματος και η τοξικότητα για τον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα, πραγματοποιήθηκε τα τελευταία χρόνια. Οι εκπομπές μεθανίου από τους χώρους υγειονομικής ταφής, οι χημικές ουσίες στα συστήματα ψύξης που απορρίπτονται και η μη επαρκής υλοποίηση της ανακύκλωσης έχουν αποδειχθεί ότι αποτελούν παράγοντες που συμβάλλουν σε περιβαλλοντικά προβλήματα.

Τα τελευταία χρόνια, τα απόβλητα θεωρούνται όλο και περισσότερο ως πολύτιμος πόρος. Νέες νομοθεσίες και πρωτοβουλίες προωθούν την κυκλική οικονομία, με έμφαση στην ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση υλικών. Οι δημόσιες αρχές σχεδιάζουν ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων που διαφοροποιούνται ανάλογα με την πηγή και το υλικό των αποβλήτων.

Η ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ) μπορεί να αξιολογήσει αξιόπιστα τις περιβαλλοντικές συνέπειες της διαχείρισης αποβλήτων, λαμβάνοντας υπόψη τις διασυνδέσεις και με άλλους τομείς της οικονομίας. Για παράδειγμα, η ενέργεια που παράγεται σε μια μονάδα αποτέφρωσης ή τα ανακυκλωμένα μεταλλικά απορρίμματα συμβάλλουν στον τομέα της ενέργειας και της μεταποίησης μετάλλων. Η προσέγγιση του κύκλου ζωής βοηθά στη χαρτογράφηση των ανταλλαγών μεταξύ των διαφόρων τομέων και στην ακριβή εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η AKZ που εφαρμόζεται στα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων συχνά αναφέρεται ως "AKZ αποβλήτων" επειδή περιλαμβάνει μόνο το τελικό στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Οι AKZ αποβλήτων είναι κυρίως συγκριτικού χαρακτήρα (π.χ., αξιολόγηση διαφορετικών επιλογών επεξεργασίας για ένα συγκεκριμένο υλικό ή τύπο αποβλήτων) και συνεπώς τα προηγούμενα στάδια του κύκλου ζωής μπορούν να παραληφθούν. Από αυτή την άποψη, οι AKZ αποβλήτων χρησιμοποιούν διαφορετικές παραδοχές για τα όρια του συστήματος σε σύγκριση με τις AKZ προϊόντων.

Μια άλλη ιδιαιτερότητα των AKZ αποβλήτων είναι ότι η επεξεργασία των αποβλήτων σε πολλές περιπτώσεις γίνεται τοπικά, κοντά στην πηγή των αποβλήτων. Αυτό διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων συγκεκριμένης τοποθεσίας και, συνεπώς, αυξάνει την ακρίβεια της γεωγραφικής ανάλυσης.

Η φάση ερμηνείας μιας AKZ πρέπει να παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μελέτης βάσει του στόχου και του πεδίου εφαρμογής που έχουν καθοριστεί. Πολλές μελέτες συχνά παραλείπουν αυτή την ενότητα ή την περιλαμβάνουν με ελλιπή σχολιασμό. Οι περισσότερες AKZ για συστήματα διαχείρισης στερεών αποβλήτων είναι συγκριτικές ως προς τη διαδικασία επεξεργασίας για συγκεκριμένη κατηγορία αποβλήτου. Από τις μελέτες έχει καταγραφεί η περιβαλλοντική υπεροχή διαφορετικών επιλογών επεξεργασίας (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

Συμπερασματικά, Από τα παραπάνω παραδείγματα εφαρμογής μελετών AKZ μπορούμε να αντιληφθούμε ότι υπάρχουν ανάγκες βελτίωσης των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται σε όλους τους κλάδους, τόσο ως προς τα στάδια του κύκλου ζωής που περιλαμβάνουν όσο και ως προς τις κατηγορίες των επιπτώσεων που αξιολογούνται (Hauschild, M. Z. et al., 2018).

6. ΑΚΖ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΚΖ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ, ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ

Ενώ ο αρχικός σκοπός της ανάλυσης του κύκλου ζωής αποτελούσε η αξιολόγηση του κύκλου ζωής των προϊόντων, στη συνέχεια επεκτάθηκε και στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προέρχονται από τις δραστηριότητες ενός οργανισμού, ΑΚΖ Οργανισμών. Η ΑΚΖ Οργανισμών περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέρχονται από τις εγκαταστάσεις που λειτουργεί ένας οργανισμός και τις ανάντη και κατάντη δραστηριότητες της αλυσίδας αξίας.

Ιδιαίτερος σε μεγάλους οργανισμούς, χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα. Αυτό οφείλεται στο πλήθος του δικτύου προμηθευτών που καλείται να συμπεριλάβει σε σύγκριση με ένα προϊόν, το οποίο θα συμπεριλαμβάνει μία συγκεκριμένη αλυσίδα προμηθευτών.

Η ΑΚΖ των οργανισμών αποτελεί μία πολυδιάστατη και ολοκληρωμένη προσέγγιση, αφού εμπεριέχει τις υπάρχουσες μεθόδους που εφαρμόζουν οι οργανισμοί για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών τους πλευρών, όπως:

- τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ΣΠΔ) τα οποία βασίζονται στο πρότυπο ISO 14001: Περιβαλλοντική Διαχείριση ή το EMAS,
- τα πρότυπα ανθρακικού αποτυπώματος ISO 14064 και ISO 14069, και
- τις αρχές του GHG Protocol.

Το ISO 14064, το ISO 14069, οι αρχές του GHG Protocol, με την ΑΚΖ προϊόντος και τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί βάση αυτής, όπως το Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Προϊόντος (PEF) της ΕΕ και οι Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντος (EPD), αποτελούν τα εργαλεία που εμπεριέχουν την έννοια του Κύκλου Ζωής ή της Αλυσίδας Αξίας. Στις χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις που αναφέρθηκαν η αξιολόγηση της αλυσίδας αξίας είναι προαιρετική ή επικεντρώνονται σε ορισμένες πλευρές (π.χ. αέρια του θερμοκηπίου). Ωστόσο μέσω της εφαρμογής τους οδήγησαν στη χρήση της ΑΚΖ των οργανισμών.

Η ΑΚΖ των Οργανισμών αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τους οργανισμούς ώστε να προτεραιοποιήσουν τους στόχους τους, τις δράσεις, τα προγράμματα και τον προϋπολογισμό τους αποτελεσματικά, αφού τα αποτελέσματά της δίνουν μία

ολοκληρωμένη εικόνα της επίδοσης του οργανισμού και εστιάζουν στα καίρια περιβαλλοντικά θέματα.

Όσον αφορά τη μεθοδολογία που ακολουθείται για την ΑΚΖ Οργανισμών, αυτή είναι όμοια με τη μεθοδολογία που ακολουθείται για την ΑΚΖ προϊόντων σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 14040 και 14044, με κάποιες διαφορές ως προς την ορολογία. Επιπλέον, η ΑΚΖ προϊόντος και η ΑΚΖ Οργανισμών συμπληρώνουν η μία την άλλη με τους εξής τρόπους:

- Λειτουργούν συμπληρωματικά ως προς τα επίπεδα αξιολόγησης, δηλαδή η ΑΚΖ Οργανισμών εντοπίζει τις σημαντικές περιβαλλοντικές πλευρές ακόμη και στην αλυσίδα αξίας και η ΑΚΖ προϊόντων εστιάζει στα κύρια προϊόντα και δραστηριότητες που ανιχνεύθηκαν.
- Τα δεδομένα της ΑΚΖ προϊόντων χρησιμοποιούνται για την εκπόνηση της ΑΚΖ Οργανισμών.
- Τα αποτελέσματα της μίας μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της άλλης μελέτης.

Ωστόσο, πέραν της προφανούς διαφοράς ως προς το αντικείμενο της μελέτης (ένα προϊόν στη μία περίπτωση και ένας οργανισμός στην άλλη), υπάρχει μία βασική διαφορά στις δύο αυτές μεθόδους, που αφορά την συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων τους. Πιο συγκεκριμένα, η ΑΚΖ προϊόντων έχει σχεδιαστεί με σκοπό την σύγκριση των επιδόσεων δύο ίδιων προϊόντων, ενώ η ΑΚΖ οργανισμών δεν έχει αυτή τη δυνατότητα, καθώς ο κάθε οργανισμός είναι μοναδικός και δεν μπορεί να συγκριθεί με συνέπεια. (Hauschild, M. Z. et al., 2018)

Οι παραπάνω κύριες διαφορές των δύο μεθόδων οδηγούν στην ανάγκη προσαρμογής των απαιτήσεων των προτύπων ISO 14040/44. Έτσι, ο παγκόσμιος οργανισμός προτύπων ανέπτυξε το ISO 14072/2024, το οποίο φέρει τον τίτλο «Περιβαλλοντική Διαχείριση – Ανάλυση του Κύκλου Ζωής – Απαιτήσεις και κατευθύνσεις για την οργανωτική ανάλυση κύκλου ζωής». Το συγκεκριμένο πρότυπο ορίζει πρόσθετες απαιτήσεις και παρέχει οδηγίες για την σωστή εφαρμογή των προτύπων ISO 14040/44 σε επίπεδο οργανισμού και περιλαμβάνει τα εξής:

- **Υιοθέτηση των αρχών και της μεθοδολογίας της ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ) στους οργανισμούς:** Καθορίζει πώς οι οργανισμοί πρέπει να ενσωματώσουν τις αρχές και τη μεθοδολογία της AKZ στις διαδικασίες τους για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης.
- **Οφέλη που μπορεί να προσφέρει η AKZ στους οργανισμούς μέσω της εφαρμογής της μεθοδολογίας σε οργανωτικό επίπεδο:** Τονίζει τα οφέλη που αποκομίζουν οι οργανισμοί από την εφαρμογή της AKZ, όπως η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η ενίσχυση της βιωσιμότητας.
- **Όρια του συστήματος:** Καθορίζει τα όρια του συστήματος που θα εξεταστεί στην AKZ, διευκρινίζοντας ποιες διαδικασίες και δραστηριότητες περιλαμβάνονται στην ανάλυση.
- **Ειδικές εκτιμήσεις κατά τη διάρκεια της απογραφής κύκλου ζωής (LCI), της αξιολόγησης επιπτώσεων κύκλου ζωής (LCIA) και της ερμηνείας:** Παρέχει οδηγίες για τις ειδικές εκτιμήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διάρκεια των διαφόρων σταδίων της AKZ, όπως η απογραφή κύκλου ζωής, η αξιολόγηση επιπτώσεων και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.
- **Περιορισμοί που αφορούν την υποβολή εκθέσεων, τις περιβαλλοντικές δηλώσεις και τους συγκριτικούς ισχυρισμούς:** Ορίζει τους περιορισμούς και τις απαιτήσεις για την υποβολή εκθέσεων, τις περιβαλλοντικές δηλώσεις και τους συγκριτικούς ισχυρισμούς, διασφαλίζοντας τη διαφάνεια και την ακρίβεια των πληροφοριών που κοινοποιούνται (<https://www.iso.org/standard/86265.html>).

Με αυτές τις κατευθύνσεις, το πρότυπο ISO 14072/2024 επιδιώκει να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα της AKZ σε οργανωτικό επίπεδο, προάγοντας την περιβαλλοντική υπευθυνότητα και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και με σκοπό την αξιολόγηση της σημαντικότητας της μελέτης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ), εκπονήθηκαν δύο μελέτες AKZ χρησιμοποιώντας το λογισμικό GaBi της εταιρείας SHERA. Οι μελέτες αυτές επικεντρώθηκαν σε δύο διαφορετικά αντικείμενα, προκειμένου να διερευνηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να αξιολογηθούν οι δυνατότητες βελτίωσης της περιβαλλοντικής επίδοσης των σχετικών διαδικασιών.

Πρώτον, εκπονήθηκε μια μελέτη AKZ για την παραγωγή βιοαερίου, χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη κτηνοτροφικά απόβλητα, συγκεκριμένα ζωική κοπριά. Αυτή η μελέτη είχε ως στόχο να καταγράψει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου, από τη συλλογή και επεξεργασία της κοπριάς μέχρι την τελική παραγωγή του βιοαερίου, και να εντοπίσει τα στάδια όπου μπορούν να γίνουν βελτιώσεις για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Δεύτερον, εκπονήθηκε μια μελέτη AKZ για την παραγωγή μοριοσανίδας. Αυτή η μελέτη επικεντρώθηκε στην ανάλυση του κύκλου ζωής της διαδικασίας παραγωγής μοριοσανίδας, από την προετοιμασία των πρώτων υλών και την κατασκευή μέχρι τη διάθεση του τελικού προϊόντος. Στόχος ήταν να καταγραφούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε κάθε στάδιο της παραγωγής και να προταθούν μέτρα για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης της διαδικασίας.

Οι δύο αυτές μελέτες παρείχαν πολύτιμα δεδομένα και πληροφορίες για την κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αντίστοιχων διαδικασιών. Τα ευρήματα της ανάλυσης θα μπορούσαν να ενισχύσουν τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων και την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών στις συγκεκριμένες βιομηχανίες.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα γίνει μια λεπτομερής ανάλυση της λειτουργίας του λογισμικού GaBi, που χρησιμοποιήθηκε για τις μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ). Το λογισμικό GaBi της εταιρείας SHERA αποτελεί ένα από τα πιο προηγμένα και αξιόπιστα εργαλεία για την εκπόνηση AKZ, παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για τη συλλογή, την ανάλυση και την ερμηνεία δεδομένων. Μέσω της χρήσης του GaBi, είναι δυνατό να καταγραφούν λεπτομερώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαδικασιών, να αξιολογηθούν εναλλακτικά σενάρια και να εντοπιστούν

οι βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η παρουσίαση της λειτουργίας του λογισμικού θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων των μελετών και θα ενισχύσει την αξιοπιστία και την ακρίβεια των συμπερασμάτων.

7.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ GABI

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για την εκπόνηση των ΑΚΖ θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό GaBi ts (Version 9.2.1.68), το οποίο παραχωρήθηκε για την υλοποίηση της εργασίας από την εταιρεία SPHERA. Το GaBi είναι ένα εργαλείο μοντελοποίησης που επιτρέπει τη δημιουργία και την ανάλυση περιβαλλοντικών μοντέλων, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

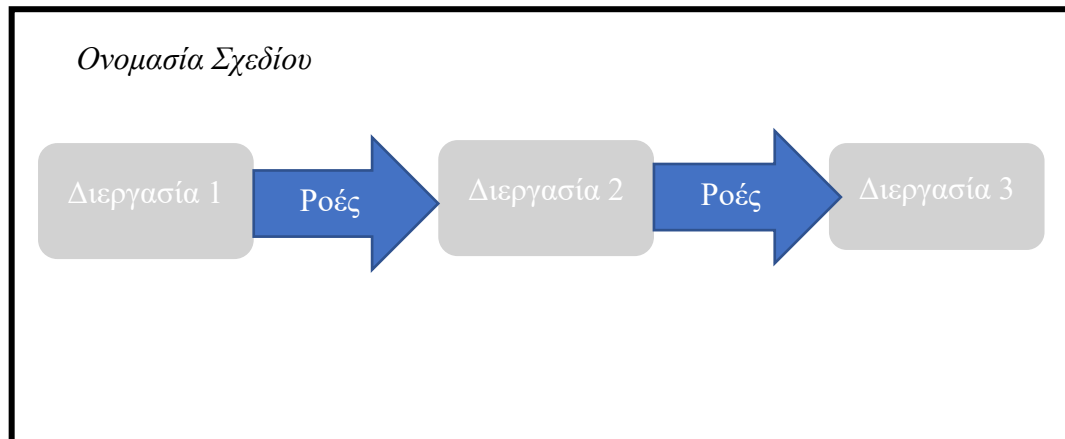
Μέσω του λογισμικού GaBi, δίνεται η δυνατότητα μοντελοποίησης του εξεταζόμενου συστήματος, επιτρέποντας στους χρήστες να εισάγουν δεδομένα σχετικά με τις διεργασίες και τις ροές που εμπλέκονται. Το λογισμικό περιλαμβάνει εκτεταμένες βάσεις δεδομένων με περιβαλλοντικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιπτώσεων των διαφόρων διεργασιών και προϊόντων. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με βάση τη μοντελοποίηση που ακολουθήθηκε, επιτρέποντας την αξιολόγηση και τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιδόσεων.

Οι βασικοί τρεις πυλώνες του προγράμματος GaBi είναι τα σχέδια (plans), οι διεργασίες (processes) και οι ροές του συστήματος (flows). Αναλυτικά:

Σχέδια (Plans): Τα σχέδια αναπαριστούν τη συνολική δομή του μοντέλου και περιλαμβάνουν τις διασυνδέσεις μεταξύ των διάφορων διεργασιών και ροών. Αποτελούν τον κορμό της μοντελοποίησης και βοηθούν στη διαχείριση και την οργάνωση των δεδομένων.

Διεργασίες (Processes): Οι διεργασίες περιγράφουν τις επιμέρους λειτουργίες και τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας δραστηριότητας. Κάθε διεργασία περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με τις εισροές και τις εκροές, καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με αυτή.

Ροές του συστήματος (Flows): Οι ροές του συστήματος αναπαριστούν τη μετακίνηση υλικών και ενέργειας μεταξύ των διεργασιών. Αυτές οι ροές περιλαμβάνουν τις πρώτες ύλες, τα ενδιάμεσα προϊόντα, τα απόβλητα και τις εκπομπές ρύπων.

Σχήμα 6: Βασικός σχεδιασμός του GaBi

Για τη δημιουργία ενός σχεδίου στο λογισμικό GaBi, είναι απαραίτητο να εισαχθούν στο πρόγραμμα όλες οι διεργασίες του εξεταζόμενου συστήματος, μαζί με τις αντίστοιχες ροές που εισέρχονται και εξέρχονται από κάθε διεργασία, καθώς και οι αντίστοιχες ποσότητες. Κατά την εισαγωγή των ροών, το λογισμικό πρέπει πρώτα να προσδιορίσει αν η ροή δεδομένων που εισάγεται είναι **στοιχειώδης ροή** (elementary flow) ή **μη στοιχειώδης ροή** (non elementary flow).

Η στοιχειώδης ροή είναι αυτή που περνά απευθείας από τη φύση στην τεχνόσφαιρα, όπως η ενέργεια, η χρήση γης, οι πρώτες ύλες, και οι εκπομπές που εξέρχονται απευθείας στη φύση. Αυτές οι ροές καταγράφουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του εξεταζόμενου συστήματος και του φυσικού περιβάλλοντος.

Αντίθετα, η μη στοιχειώδης ροή είναι αυτή που παραμένει μόνο στην τεχνόσφαιρα, δηλαδή εντός των τεχνικών και βιομηχανικών διαδικασιών και δεν αλληλεπιδρά άμεσα με το φυσικό περιβάλλον. Αυτές οι ροές περιλαμβάνουν ενδιάμεσα προϊόντα, υποπροϊόντα και άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται ή παράγονται εντός του συστήματος.

Επιπλέον, κατά τη διαμόρφωση των διεργασιών, οι ροές πρέπει να οριστούν ως εισροές ή εκροές. Εισροές μπορεί να είναι ενέργεια, υλικά και άλλοι πόροι που απαιτούνται για τη λειτουργία των διεργασιών. Εκροές μπορεί να είναι απόβλητα, εκπομπές ρύπων και προϊόντα που παράγονται από τις διεργασίες.

Με την ακριβή καταγραφή και κατηγοριοποίηση των ροών, το λογισμικό GaBi επιτρέπει την πλήρη και λεπτομερή ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του

εξεταζόμενου συστήματος, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα για τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων σχετικά με τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης.

Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων το λογισμικό χρησιμοποιεί τις εξής μεθόδους αξιολόγησης:

- AADP, TU Berlin
- CML 2001 – Jan. 2016
- EDIP 2003
- Environmental Footprint 2.0
- Environmental Footprint 3.0
- EN 15804 +A1
- EN 15804 +A2
- EPS 2015d
- Impact 2002+
- IPCC AR5
- ISO 14067 GWP
- Land Use LANCA
- NF EN 15804
- ReCipe 2016 v1,1
- TRACI 2.1
- UBP 2013
- USEtox 2.1

Στις περιπτώσεις που θα εξετάσουμε παρακάτω χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αξιολόγησης CML 2001 – Jan. 2016. Η μέθοδος αυτή δημιουργήθηκε από μία επιστημονική ομάδα και υπό την αιγίδα του Κέντρου Επιστήμης Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Leiden (Center of Environmental Science of Leiden University CML). Η μέθοδος CML 2001 – Jan. 2016 είναι μια καθιερωμένη μεθοδολογία για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και προσεγγίζει τις μεσοπρόθεσμες επιπτώσεις που προκύπτουν από την ανάλυση κύκλου ζωής. Η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών ζητημάτων.

Οι κατηγορίες επιπτώσεων που περιλαμβάνονται στη μέθοδο CML 2001 – Jan. 2016 είναι:

- **Υπερθέρμανση του πλανήτη (Global Warming):** Αξιολογεί τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την επίδρασή τους στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη.
- **Εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος (Ozone Layer Depletion):** Αξιολογεί τις ουσίες που συμβάλλουν στη διάσπαση της στιβάδας του όζοντος και τον αντίκτυπό τους.
- **Οξίνιση (Acidification):** Αξιολογεί τις εκπομπές όξινων αερίων που προκαλούν την όξινη βροχή και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.
- **Ευτροφισμός (Eutrophication):** Αξιολογεί τις εκπομπές θρεπτικών ουσιών που προκαλούν τον ευτροφισμό των υδάτινων συστημάτων.
- **Φωτοχημικό νέφος (Photochemical Smog):** Αξιολογεί τις εκπομπές που συμβάλλουν στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους και των επιπτώσεών του στην ποιότητα του αέρα.
- **Καταστροφή του εδάφους (Terrestrial Ecotoxicity):** Αξιολογεί τις επιπτώσεις τοξικών ουσιών στο έδαφος και την υγεία των οικοσυστημάτων.
- **Υδάτινη τοξικότητα (Aquatic Ecotoxicity):** Αξιολογεί τις επιπτώσεις τοξικών ουσιών στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Αυτές οι κατηγορίες επιπτώσεων επιτρέπουν μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διευκολύνουν τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των προϊόντων και των διαδικασιών που εξετάζονται. Με τη χρήση της μεθόδου CML 2001 – Jan. 2016, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα πώς οι διάφορες δραστηριότητες επηρεάζουν το περιβάλλον και να αναπτύξουμε στρατηγικές για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων (<https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/06/DatabaseManualMethods.pdf>).

7.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Το βιοαέριο (biogas) αποτελεί κομμάτι του τομέα παραγωγής πράσινης ενέργειας. Η παραγωγή του βασίζεται στην αναερόβια χώνευση οργανικών υλικών, όπως η ζωική κοπριά, τα υπολείμματα τροφίμων, τα λύματα, λάσπη των βιολογικών καθώς και

διάφορα οργανικά από βιομηχανικά απόβλητα. Αποτέλεσμα της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης των παραπάνω οργανικών είναι η παραγωγή κυρίως μεθανίου (CH_4), διοξειδίου του αζώτου (N_2O) και λοιπά αέρια (Άζωτο, Υδρογόνο, Αμμωνία, Υδρόθειο). Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που καθορίζουν τη σύσταση και τις ιδιότητες του του βιοαερίου, όπως η πρώτη ύλη, το σύστημα εγκατάστασης που χρησιμοποιείται, η θερμοκρασία, ο χρόνος παραμονής κα. Παρακάτω καταγράφονται μέσες τιμές σύνθεσης του αερίου: (ΚΑΠΕ, 2009).

Πίνακας 1: Μέσες τιμές σύνθεσης βιοαερίου

Μεθάνιο (CH_4)	→	50 - 75%
Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2)	→	25 - 45%
Υδρατμοί (H_2O)	→	2% (20°C) - 7% (40°C)
Οξυγόνο (O_2)	→	< 2%
Άζωτο (N_2)	→	< 2%
Αμμωνία (NH_3)	→	< 1%
Υδρογόνο (H_2)	→	< 1%
Υδρόθειο (H_2S)	→	< 1%

Το μείγμα αερίων που παράγεται, βιοαέριο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί μία μέθοδο παραγωγής ενέργειας εξαιρετικά φιλικής προς το περιβάλλον, η οποία έχει σημαντικά οφέλη για την κοινωνία αφού συμβάλει στην διατήρηση των φυσικών πόρων, στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στην μείωση της εξάρτησης των χωρών από την εισαγωγή ενέργειας, στην επίτευξη των στόχων της ΕΕ για την ανάπτυξη ΑΠΕ και την προστασία του περιβάλλοντος, στη μείωση των αποβλήτων.

7.2.1 Σκοπός και αντικείμενο της μελέτης

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η ανίχνευση και ανάλυση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή βιοαερίου από ζωική κοπριά, οι οποίες συμβάλλουν περισσότερο στο Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης του πλανήτη και στο Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος.

Μέσα από αυτή τη μελέτη, επιδιώκεται η αναγνώριση των κρίσιμων παραμέτρων και σταδίων, όπου οι εκπομπές αερίων όπως το μεθάνιο και η αμμωνία είναι πιο έντονες,

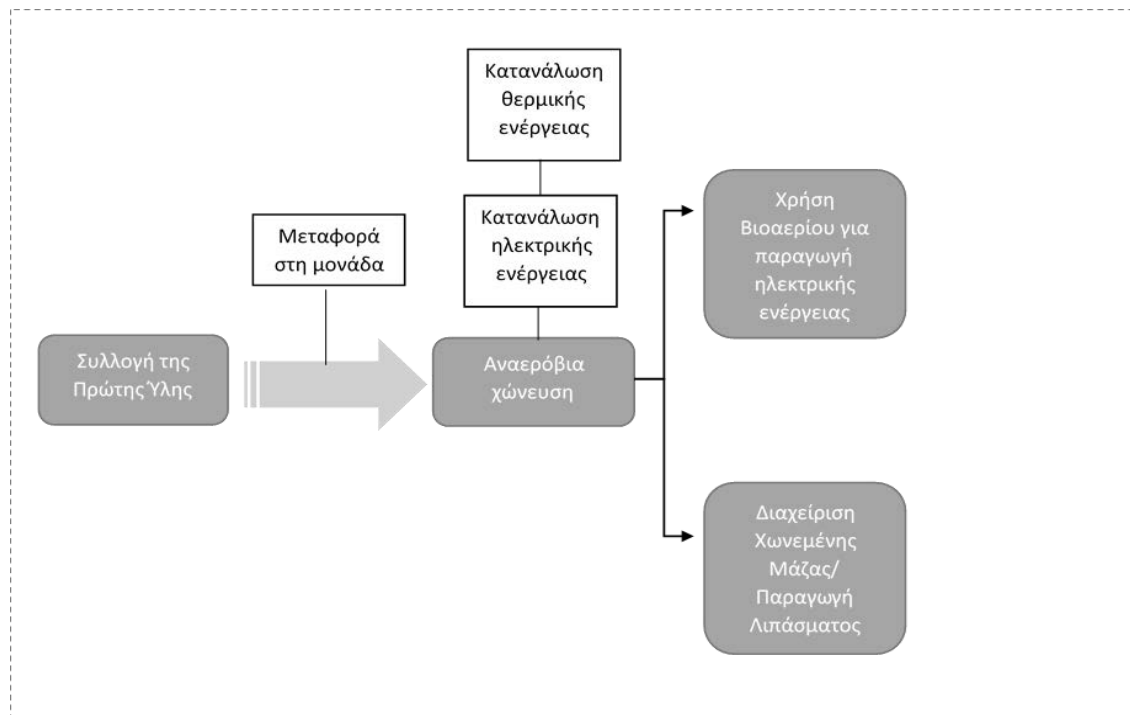
καθώς και η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι εκπομπές επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τους αντίστοιχους δείκτες. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορέσουμε να προτείνουμε βελτιωτικά μέτρα και στρατηγικές που θα συμβάλλουν στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Αντικείμενο της μελέτης είναι η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής για τη παραγωγή βιοαερίου σε μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης (ΑΧ) σε φάρμα με πρώτη ύλη ζωική κοπριά (βοοειδών) στη Σουηδία. Κατά τη λειτουργία της μονάδας ΑΧ, απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για τις διαδικασίες ανάμιξης και άντλησης, καθώς και θερμότητα για την διατήρηση της απαραίτητης θερμοκρασίας για την αντίδραση. Στη διάρκεια της διαδικασίας, προστίθεται επίσης γλυκερίνη προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του παραγόμενου βιοαερίου. Με τη λειτουργία της μονάδας ΑΧ και την αποθήκευση της χωνεμένης μάζας, εκλύονται ανόργανες εκπομπές στον αέρα, όπως αμμωνία, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, μεθάνιο και οξείδιο του αζώτου. Η κοπριά συλλέγεται στο αγρόκτημα με τη χρήση φορτηγών πριν την τροφοδοσία της μονάδας ΑΧ.

Η κατασκευή της μονάδας ΑΧ απαιτεί τη χρήση ενισχυμένου χάλυβα, σκυροδέματος, χυτοσιδήρου, ανοξείδωτου χάλυβα και ινών γυαλιού. Ενώ η κατασκευή μετατρέπει την περιοχή από γεωργική σε βιομηχανική και καταλαμβάνει την βιομηχανική περιοχή και το εργοτάξιο.

Η παραγωγή βιοαερίου από την κοπριά ικανοποιεί τρεις βασικές λειτουργίες: (1) την παραγωγή βιοαερίου, (2) την επεξεργασία της κοπριάς, και (3) την παραγωγή χωνεμένης ύλης.

Στην παρούσα μελέτη, θα εξεταστεί αποκλειστικά το βιοαέριο ως κύριο προϊόν, ενώ η διαδικασία της πέψης θα θεωρηθεί ως υποπροϊόν. Το σύστημα θα μοντελοποιηθεί με χρήση επέκτασης συστήματος, καθώς το παραγόμενο χωνεμένο υπόλειμμα κατά τη λειτουργία του ΑΧ συμβάλλει στη μείωση της ανάγκης για τεχνητά λιπάσματα στο αγρόκτημα. Το σύστημα που μελετάται αφορά μονάδα βιοαερίου, ενώ τα όρια του του εξεταζόμενου συστήματος περιγράφονται στα παρακάτω σχήμα:

Σχήμα 7: Όρια συστήματος

Οι επιπτώσεις που πρόκειται να αξιολογηθούν στην παρούσα μελέτη αφορούν:

1. Τις επιπτώσεις του συστήματος στο Δυναμικό Οξίνισης (Acidification Potential AP)
2. Τις επιπτώσεις του συστήματος στο Δυναμικό Ευτροφισμού,
3. Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης 100 ετών, εξ. το βιογενές άνθρακα.

7.2.2 Δεδομένα και Κατάλογος Κύκλου Ζωής

Κατά την εκπόνηση της μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και υπολογισμοί προκειμένου να αποτυπωθούν με ακρίβεια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαδικασίας. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τις εισροές και τις εκροές υλικών και ενέργειας, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Η συλλογή και ανάλυση αυτών των δεδομένων επιτρέπει την αξιολόγηση της απόδοσης της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου και την ταυτοποίηση των σταδίων που μπορούν να βελτιωθούν για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Για την εκπόνηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα και υπολογισμοί:

Η μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης πρόκειται να εγκατασταθεί σε φάρμα βοοειδών στη Σουηδία. Η βιομάζα που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της προέρχεται από τη ζωική κοπριά των βοοειδών. Η μονάδα έχει ημερήσια δυναμικότητα επεξεργασίας 5 τόνων και μπορεί να παράγει 600 m³ καθημερινά. Η διάρκεια ζωής της μονάδας εκτιμάται στα 20 έτη.

Για τη μεταφορά της κοπριάς προς τη μονάδα, χρησιμοποιούνται φορτηγά που διανύουν μια απόσταση 2 χιλιομέτρων. Η κοπριά αυτή θεωρείται απαλλαγμένη από κάθε επιβάρυνση, κάτι που διευκολύνει τη διαδικασία επεξεργασίας και μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Με αυτά τα χαρακτηριστικά, η μονάδα αναερόβιας χώνευσης αναμένεται να συμβάλλει στην αποτελεσματική διαχείριση της κοπριάς και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των βοοειδών.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της μονάδας δίδονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2: Υλικά κατασκευής Μονάδας AX

Υλικά για την κατασκευή

Υλικό	Ποσότητα	Μ.Μ.
Γυάλινες ίνες	9945	κιλά
Ατσάλι	1378	κιλά
Γαλβανισμένος χάλυβας	109	κιλά
Σκυρόδεμα	54	τόνος

Η μονάδα AX πρόκειται να αλλάξει τη χρήση γης από αγροτική σε βιομηχανική 167 m² για είκοσι χρόνια και για ένα έτος ως εργοτάξιακό χώρο για την κατασκευή της.

Κατά τη λειτουργία της μονάδας AX απαιτείται η κατανάλωση 667 kWh θερμικής ενέργειας και 100 kWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά ημέρα.

Από την λειτουργία και αποθήκευση των υπολειμμάτων έχουμε διαφεύγουσες εκπομπές στην ατμόσφαιρα, οι οποίες ανά τόνο κοπριάς είναι:

Πίνακας 3: Διαφεύγουσες εκπομπές από την λειτουργία & αποθήκευση

Εκπομπές	Ποσό	Μονάδα
Αμμωνία	1,96E-04	Κιλά/tn κοπριάς
Διοξείδιο του άνθρακα	7,45E-03	Κιλά/tn κοπριάς
Υδρόθειο	5,79E-06	Κιλά/tn κοπριάς
Μεθάνιο	6,64E-03	Κιλά/tn κοπριάς
Οξείδιο του Αζώτου	1,25E+05	Κιλά/tn κοπριάς

Εκτός από την παραγωγή του κύριου προϊόντος που είναι το βιοαέριο, παράγεται και ένα μείγμα στερεού και υγρού χωνεμένου υπολείμματος το οποίο θεωρείται υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας. Το υποπροϊόν αυτό χρησιμοποιείται ως οργανικό λίπασμα, αντικαθιστώντας 15 κιλά/ ημέρα κατανάλωση τεχνητού λιπάσματος. Η μείωση αυτή θα προστεθεί στο σύστημά μας ως εκροή τεχνητού λιπάσματος με αρνητική ποσότητα.

Ως λειτουργική μονάδα του συστήματός μας ορίζεται η παραγωγή 1 m³ βιοαερίου.

Για τη ποσότητα του χωνεμένου υπολείμματος, λαμβάνεται ως δεδομένο ότι είναι συνήθως περίπου 85-95% της αρχικής μάζας των εισερχόμενων υλικών, για το παράδειγμά μας θα το εκτιμήσουμε ως το 90% (F. Norouzi et al.,2023). Άρα το Χωνεμένο υπόλειμμα ανά λειτουργική μονάδα εκτιμάται 9,26 κιλά/FU.

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στη λειτουργία προστίθεται γλυκερίνη προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του παραγόμενου βιοαερίου. Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι η γλυκερίνη αποτελεί το 5% της μάζας του υποστρώματος (Ζάγκας Σ., 2020), η ποσότητα της προστιθέμενης γλυκερίνης υπολογίζεται ως εξής:

Μάζα Υποστρώματος:

$$(\text{Κιλά Κοπριάς/Ημέρα})/\text{Ημερήσια Απόδοση Βιοαερίου} = \frac{5000 \text{ kg}}{600 \text{ m}^3} = 8.33 \text{ kg/m}^3$$

Ποσότητα γλυκερίνης:

$$\begin{aligned} \text{Μάζα υποστρώματος/Ημερήσια Απόδοση Βιοαερίου} &= 8,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,05 = 0,4165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 249,4 \text{ kg/day} \end{aligned}$$

Παρακάτω καταγράφονται οι εισροές και εκροές του εξεταζόμενου συστήματος ανά λειτουργική μονάδα (Πίνακας 4):

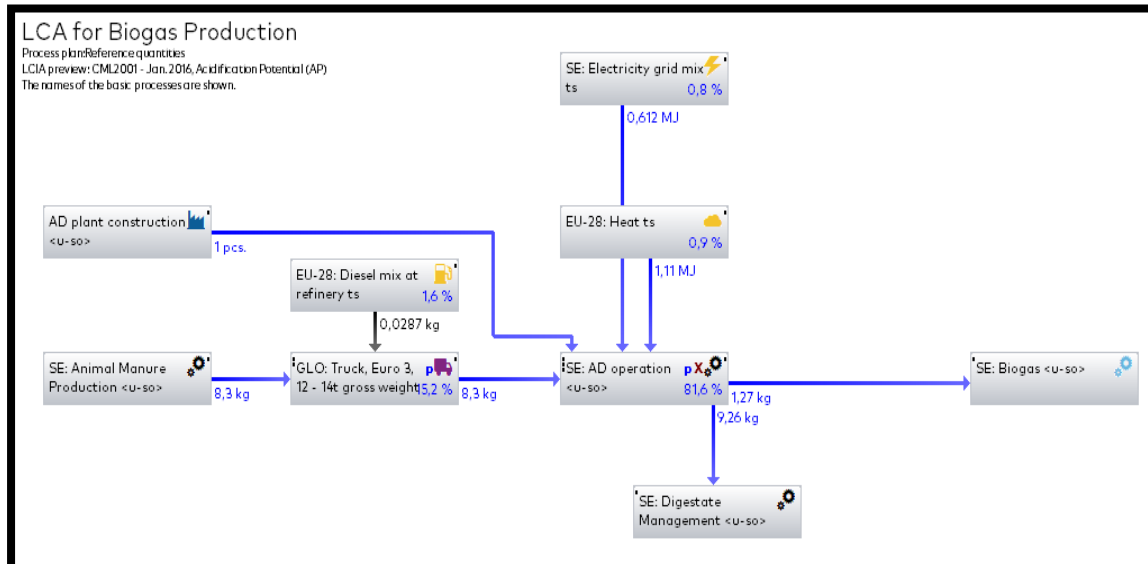
Πίνακας 4: Απογραφή Εισροών - Εκροών Λειτουργικής Μονάδας

Πίνακας απογραφής

Εισροές		
Μεταφορά Κοπριάς	Ποσότητα /FU	M.M.
Φορτηγό (Euro3, μεικτό βάρος 12 - 14tn)	16,67	kg/km
Κατασκευή μονάδας		
Ίνες γυαλιού	2,27E-03	κιλά
Ατσάλι	3,15E-04	κιλά
Γαλβανισμένος χάλυβας	2,49E-05	κιλά
Σκυρόδεμα	1,23E-05	κιλά
Εργοτάξιο (χρήση)	3,81E-05	m2*yr
Βιομηχανική περιοχή χρήση	7,63E-04	m2*yr
Από γεωργική χρήση (Αλλαγή)	3,81E-05	m2
Σε βιομηχανική χρήση (Αλλαγή)	3,81E-05	m2
Λειτουργία Μονάδας		
Ζωική κοπριά	8,33	κιλά
Ηλεκτρική Ενέργεια (grid mix SE)	0,17	kWh
Θερμότητα (EU28)	1,11	kWh
Γλυκερίνη	0,167	κιλά
Εκροές		
Αμμωνία (Ανόργανες εκπομπές στον αέρα)	1,63E-06	κιλά
Διοξείδιο του άνθρακα (Βιοτικό) (Ανόργανες εκπομπές στον αέρα)	6,21E-05	κιλά
Υδροθείο (Ανόργανες εκπομπές στον αέρα)	4,83E-08	κιλά
Μεθάνιο (Βιοτικό) (Οργανικές εκπομπές στον αέρα)	5,53E-05	κιλά
Οξείδιο του Αζώτου(Ανόργανες εκπομπές στον αέρα)	1,04E+03	κιλά
Χωνεμένο υπόλειμμα	9,26	κιλά
Αντικαθιστάμενες λειτουργίες		
Αμμωνία	-0,025	κιλά

Ενώ στο παρακάτω Σχήμα (Σχήμα 8) παρατίθεται το πλάνο της λειτουργίας της μονάδας αναερόβιας χώνευσης όπως σχεδιάστηκε στο εργαλείο GaBi.

Σχήμα 8: Πλάνο Παραγωγής Βιοαερίου – Λογισμικό GaBi



Στο σύστημα όπως φαίνεται παραπάνω έχει συμπεριληφθεί και η διεργασία για την παραγωγή ζωικής κοπριάς. Για την νέα διεργασία χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα εισροών – εκροών:

Πίνακας 5: Διεργασία Ζωικής Κοπριάς, Εισροές - Εκροές

Εισροές		
Περιγραφή	Ποσότητα / FU	M.M.
Ζωοτροφή	6	κιλά
Νερό	20	λίτρα
Εκροές		
Ζωική κοπριά	8,33	κιλά

Για την εκτίμηση της παραγωγής ζωικής κοπριάς λήφθηκαν ως δεδομένα ότι η ημερήσια κατανάλωση ζωοτροφής για τα βοοειδή είναι 19,25 κιλά και η ημερήσια κατανάλωση νερού είναι 70 λίτρα (<https://www.researchgate.net/publication/324706548>), ενώ η παραγωγή ζωικής κοπριάς είναι 30 kg/ημέρα (Ράπτη Σ., 2019).

7.1.3 Αποτελέσματα

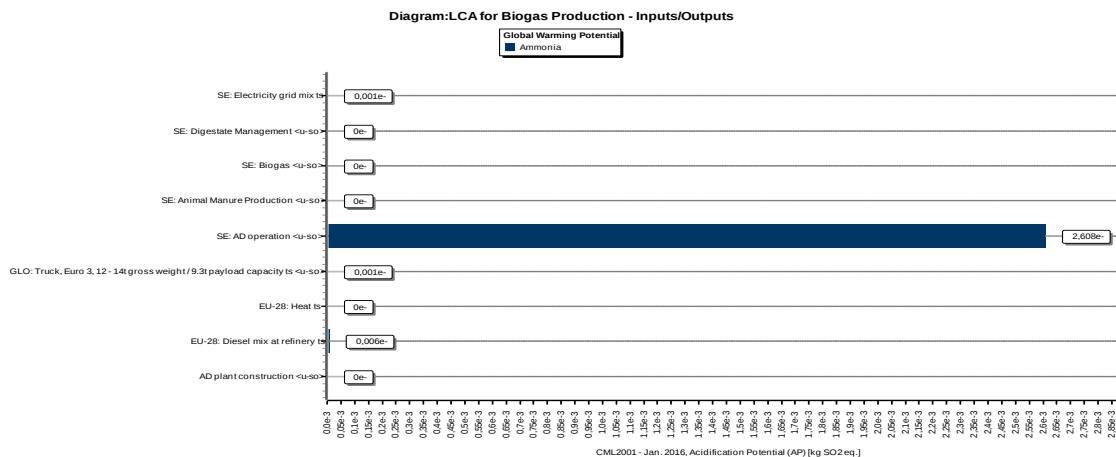
Από την ανάλυση του μοντέλου στο GaBi, με τη χρήση των δεικτών CML 2001 – Jan. 2016, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Στον **Δείκτη Δυναμικού Οξίνισης**, η πιο αρνητική επίδραση παρατηρείται από τις εκπομπές αμμωνίας κατά τη λειτουργία της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, με εκπομπές 0,00261 kg ισοδύναμου SO₂ (Σχήμα 9). Αυτές οι εκπομπές συμβάλλουν σημαντικά στην οξίνιση του περιβάλλοντος, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για περαιτέρω μέτρα μείωσης και ελέγχου των εκπομπών αμμωνίας για να περιοριστούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

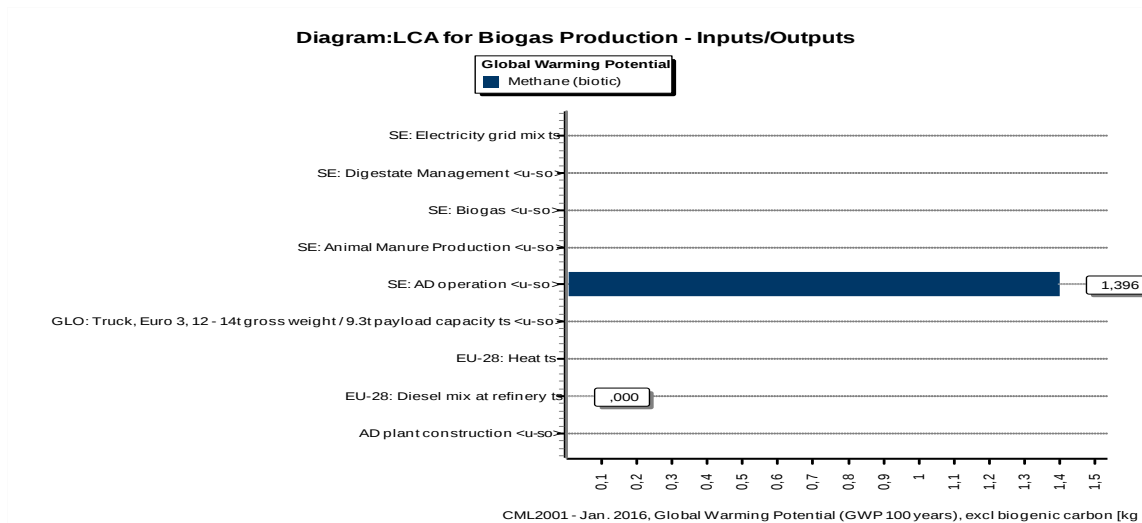
Στον **Δείκτη Δυναμικού Ευτροφισμού**, η πιο έντονη επίπτωση καταγράφεται από τις εκπομπές αμμωνίας κατά τη λειτουργία της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, με εκπομπές που ανέρχονται σε 0,00057 kg Phosphate eq (Σχήμα 10). Αυτές οι εκπομπές συμβάλλουν σημαντικά στον ευτροφισμό του περιβάλλοντος, επισημαίνοντας την αναγκαιότητα για πρόσθετα μέτρα περιορισμού και ελέγχου των εκπομπών αμμωνίας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Στον **Δείκτη Δυναμικού Υπερθέρμανσης του Πλανήτη (GWP 100)**, η πιο αρνητική επίπτωση παρατηρείται από τις εκπομπές μεθανίου κατά τη λειτουργία της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, με εκπομπές που ανέρχονται σε 1,4 kg ισοδύναμου CO₂ (Σχήμα 11). Αυτές οι εκπομπές συμβάλλουν σημαντικά στην υπερθέρμανση του πλανήτη, γεγονός που τονίζει την ανάγκη για αυστηρότερα μέτρα ελέγχου και μείωσης των εκπομπών μεθανίου, ώστε να περιοριστούν οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και το κλίμα.

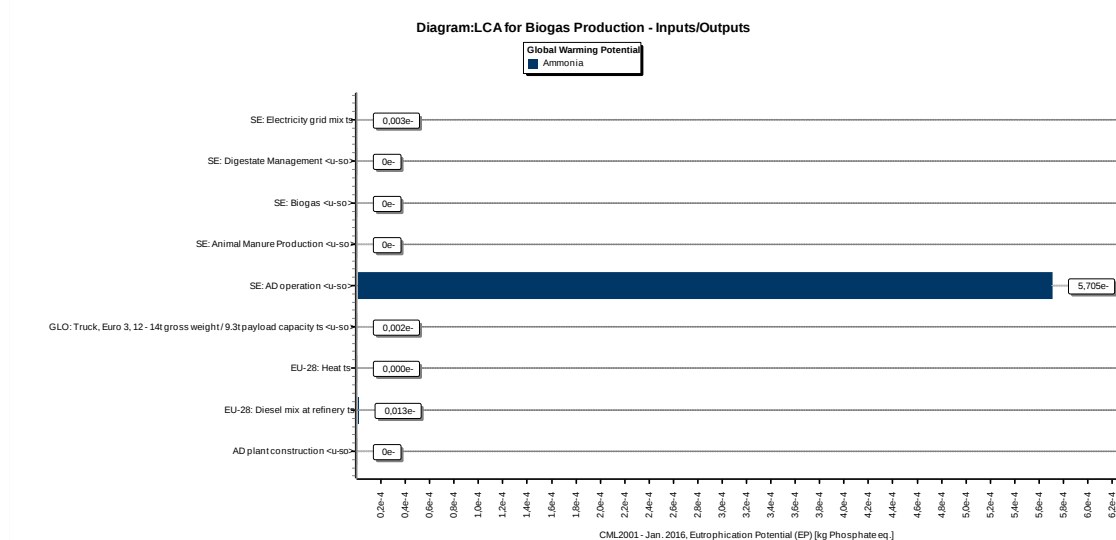
Σχήμα 9: Δυναμικό Οξίνισης, CML 2001-Jan2016



Σχήμα 10: Υπερθέρμανση του πλανήτη (GWP 100) εξ. Βιογενές Άνθρακα, CML 2001-Jan2016



Σχήμα 11: Δυναμικό Ευτροφισμού, CML 2001-Jan2016



Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι πλέον αξιοσημείωτες επιπτώσεις αφορούν τις εκπομπές αμμωνίας και μεθανίου, οι οποίες συμβάλλουν σε σοβαρά προβλήματα, όπως η οξίνιση των υδάτων και του εδάφους, ο ευτροφισμός των υδάτινων συστημάτων και η υπερθέρμανση του πλανήτη.

Οι εκπομπές αυτών των αερίων επηρεάζουν τους οικολογικούς δείκτες σε διάφορα επίπεδα, προκαλώντας αλλοιώσεις στο φυσικό περιβάλλον και συμβάλλοντας στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Για να μετριαστούν αυτές οι αρνητικές

συνέπειες, είναι απαραίτητο να ληφθούν συγκεκριμένα διορθωτικά μέτρα στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης. Τέτοια μέτρα μπορεί να περιλαμβάνουν, τη βελτίωση της διαδικασίας χώνευσης ή την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών που μπορούν να απομακρύνουν ή να περιορίσουν τις εκπομπές αμμωνίας και μεθανίου.

Με την εφαρμογή αυτών των μέτρων, είναι δυνατό να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αναερόβιας χώνευσης και να προστατευθεί το φυσικό περιβάλλον από τη ρύπανση και την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Οι διαθέσιμες έρευνες και στοιχεία δείχνουν ότι, μετά από λεπτομερή αναζήτηση πιθανών διαρροών και ποσοτικοποίηση των εκπομπών, οι μονάδες αυτές υιοθέτησαν βελτιωτικά μέτρα. Τα μέτρα αυτά είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών μεθανίου έως και 46% (A. Michael Fredenslund et al., 2023). Σημαντικότερες πηγές εκπομπών μεθανίου αποτελούν η ανοικτή αποθήκευση, ο κινητήρας CHP, οι διαρροές και οι βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης, όπως καταγράφεται στην έρευνα του V. Wechselberger και της ομάδας του (V. Wechselberger et al., 2023).

Με την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων, μπορούμε να επιτύχουμε σημαντική μείωση στις εκπομπές μεθανίου και να συμβάλουμε ουσιαστικά στην προστασία του περιβάλλοντος από την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Με σκοπό να μειώσουμε τις εκπομπές μεθανίου, έχουμε αναπτύξει και αναλύσει τρία διαφορετικά σενάρια στο μοντέλο μας. Αυτά τα σενάρια αποσκοπούν στην καταγραφή της μείωσης των επιπτώσεων στο Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη και βασίζονται σε δεδομένα που αφορούν μέτρα μετριασμού των εκπομπών μεθανίου σε μονάδες βιοαερίου.

Βασιζόμενοι στα παραπάνω στοιχεία, εφαρμόστηκαν τρία σενάρια στο σύστημά μας, με παραμετροποίηση των εκπομπών μεθανίου (βιοτικό) κατά τη διεργασία της αποθήκευσης και λειτουργίας της Αναερόβιας Χώνευσης, καθώς και την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημά μας:

I. Αρχική λειτουργία της μονάδας AX, χωρίς μέτρα (Benchmark):

- Σε αυτό το σενάριο, χρησιμοποιείται ενέργεια από το ενεργειακό μίγμα της χώρας.
- Οι συνολικές εκπομπές CH₄ ανέρχονται σε 0,0553 kg.

- Δεν λαμβάνονται μέτρα μείωσης των εκπομπών.

II. Λειτουργία της μονάδας AX με τη λήψη μέτρων (Option 1):

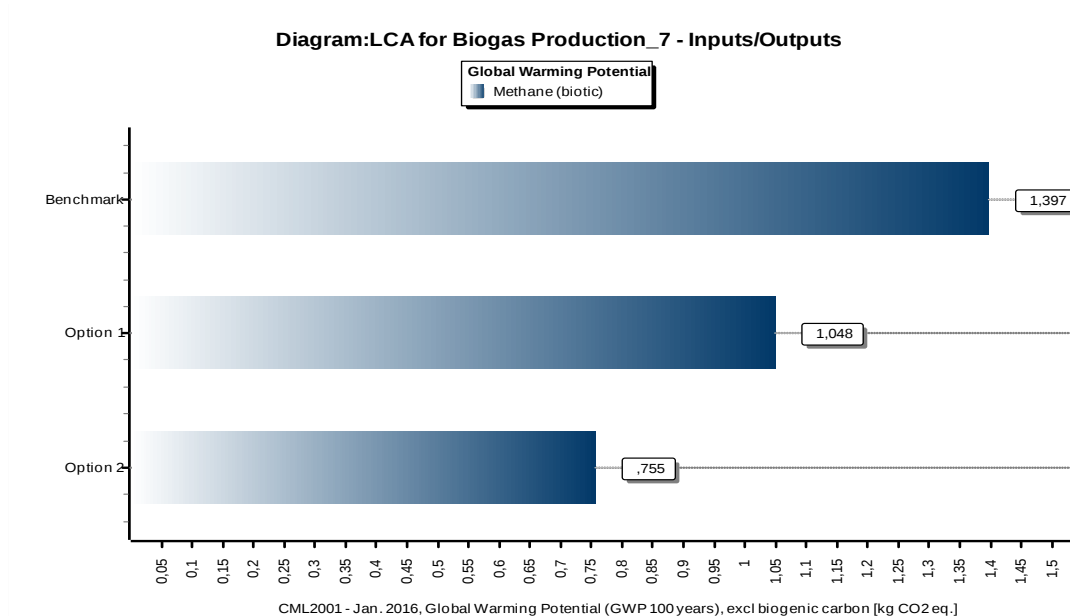
- Σε αυτό το σενάριο, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ανεμογεννήτριες και λαμβάνονται μέτρα μείωσης των εκπομπών μεθανίου κατά 2,5%.
- Οι συνολικές εκπομπές CH₄ να ανέρχονται σε 0,0540 kg.

III. Λειτουργία της μονάδας AX με τη λήψη μέτρων (Option 2):

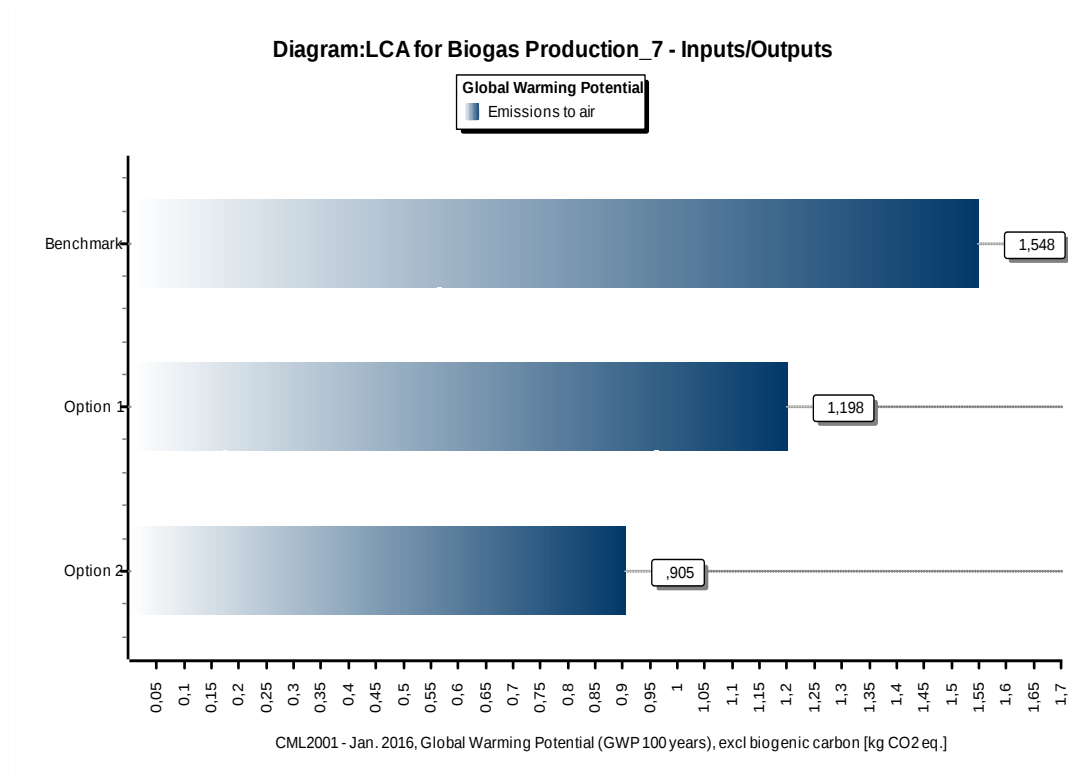
- Σε αυτό το σενάριο, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ανεμογεννήτριες και λαμβάνονται μέτρα μείωσης των εκπομπών μεθανίου κατά 6,6%.
- Οι συνολικές εκπομπές CH₄ να ανέρχονται σε 0,0517 kg.

Από την εκτέλεση αυτών των σεναρίων, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα, παρατηρείται μια σημαντική μείωση των επιπτώσεων της Μονάδας AX στο Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη. Αυτή η μείωση οφείλεται τόσο στη μείωση των εκπομπών μεθανίου όσο και στη μείωση των εκπομπών CO₂.

Σχήμα 12: Υπερθέρμανση του πλανήτη (GWP 100) εξ. Βιογενές Άνθρακα, CML 2001-Jan2016, Σύγκριση Σεναρίων Μείωσης Methane (biotic)



Σχήμα 13: Υπερθέρμανση του πλανήτη (GWP 100) εξ. Βιογενές Άνθρακα, CML 2001-Jan2016, Σύγκριση Σεναρίων Μείωσης



Από την ανάλυση και εκτέλεση αυτών των σεναρίων, παρατηρείται μια σημαντική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της Μονάδας Αναερόβιας Χώνευσης στο Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη. Αυτή η μείωση οφείλεται τόσο στη μείωση των εκπομπών μεθανίου όσο και στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η εφαρμογή μέτρων μείωσης και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη στην περιβαλλοντική απόδοση της μονάδας.

Η χρήση του λογισμικού GaBi για την AKZ δίνει τη δυνατότητα για λεπτομερή αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας, προωθώντας τη βιωσιμότητα και την προστασία του περιβάλλοντος.

Τα αποτελέσματα της μελέτης υπογραμμίζουν τη σημασία της συνεχούς παρακολούθησης και βελτίωσης της περιβαλλοντικής επίδοσης αυτών των μονάδων, λαμβάνοντας υπόψη τις αρνητικές επιπτώσεις στους περιβαλλοντικούς δείκτες. Μέσω συστηματικής παρακολούθησης, είναι εφικτό να ανιχνευθούν τα κρίσιμα σημεία όπου χρειάζονται παρεμβάσεις, με στόχο τη βελτιστοποίηση του συστήματος που εξετάζεται.

Η λήψη μέτρων, τα οποία έχουν αξιολογηθεί και αποδειχθεί αποτελεσματικά μέσω της παρούσας μελέτης, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις. Αυτή η διαδικασία δεν εξασφαλίζει μόνο τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αλλά συμβάλλει επίσης στην επίτευξη μακροπρόθεσμων στόχων αειφορίας και προστασίας του περιβάλλοντος.

7.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΡΙΟΣΑΝΙΔΩΝ (PARTICLEBOARD)

Οι μοριοσανίδες είναι επίπεδες επιφάνειες που δημιουργούνται με τη διαδικασία συγκόλλησης μικρών κομματιών ξύλου ή άλλων φυτικών υλών, οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μία ενιαία πλάκα. Η συγκόλληση των κομματιών ξύλου γίνεται συνήθως με τη χρήση τεχνητών ρητινών, οι οποίες αναμειγνύονται με τα ξύλα και στη συνέχεια, υπό την επίδραση υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, σφραγίζονται και σταθεροποιούνται, δημιουργώντας έτσι μία ενιαία πλάκα. Οι πλάκες μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ή μετά από την επένδυσή τους με άλλα υλικά.

Η παραγωγή μοριοσανίδων παρουσίασε σημαντική αύξηση, κυρίως λόγω των εξής παραμέτρων:

- Της δυνατότητας αξιοποίησης ξύλου μικρών διαστάσεων, συμπεριλαμβανομένων και των υπολειμμάτων από άλλες επεξεργασίες ξύλου.
- Της εύκολης προσβασιμότητας και χρήσης συνθετικών ρητινών, οι οποίες επιτρέπουν τη γρήγορη και μαζική παραγωγή μέσω της αποτελεσματικής συγκόλλησης των υλικών.
- Της ευελιξίας του προϊόντος, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλους τομείς, όπως η κατασκευή επίπλων και η οικοδομική βιομηχανία.

Η βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή μοριοσανίδας είναι το ξύλο. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται και άλλες ξυλώδεις φυτικές ύλες, κυρίως υπολείμματα από την επεξεργασία λιναριού, κενάφ και άλλων παρόμοιων φυτών. Επιπλέον, υπάρχουν δυνατότητες αξιοποίησης γεωργικών αποβλήτων, όπως καλαμιών, άχυρου, βαμβακιού και κλαδιών οπωροφόρων δέντρων. Οι συγκολλητικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση αυτών των υλικών είναι συνήθως συνθετικές ρητίνες, όπως η ουρία-φορμαλδεΰδη, η φαινόλη-φορμαλδεΰδη και η μελαμίνη-φορμαλδεΰδη. Επίσης, προστίθενται διάφορα πρόσθετα υλικά, όπως παραφίνη για την αποτροπή υγρασίας και, σε ορισμένες περιπτώσεις, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα και αντιπυρικές ουσίες για την

ενίσχυση των ιδιοτήτων της μοριοσανίδας
<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS443/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/12.%20MORIOPLAKES%20-%20Opencourses%20AUTH.pdf>.

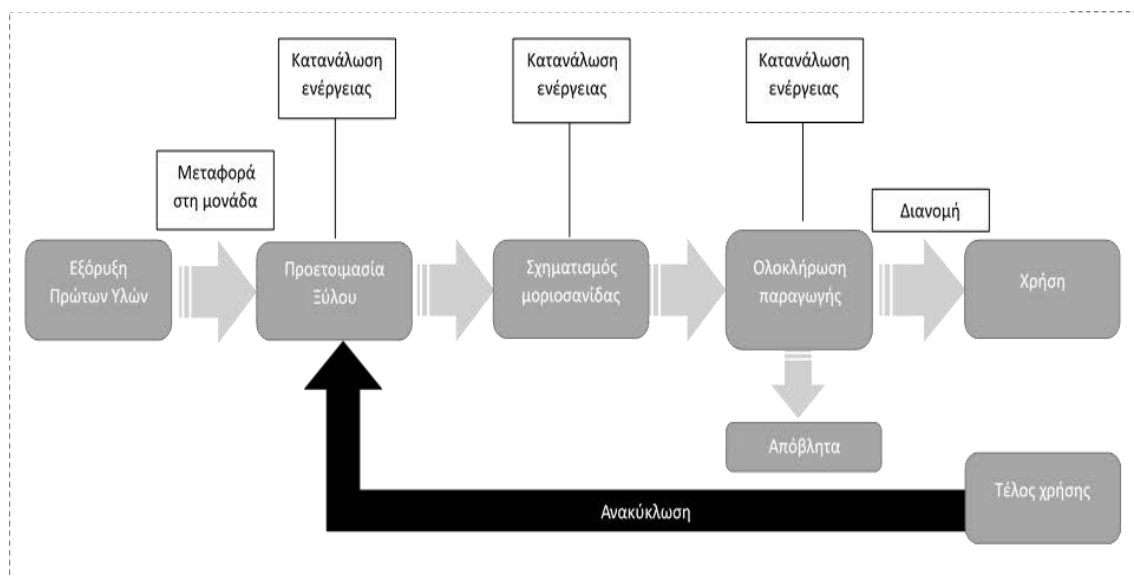
7.3.1 Σκοπός και αντικείμενο της μελέτης

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η ανίχνευση και ανάλυση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή μοριοσανίδων από ξυλεία, οι οποίες συμβάλλουν περισσότερο στο Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης του πλανήτη και στο Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος.

Μέσα από αυτή τη μελέτη, επιδιώκεται η αναγνώριση των κρίσιμων παραμέτρων και σημείων όπου οι εκπομπές αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα και άλλες επιβλαβείς ουσίες είναι πιο έντονες, καθώς και η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι εκπομπές επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τους αντίστοιχους δείκτες. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορέσουμε να προτείνουμε βελτιωτικά μέτρα και στρατηγικές που θα συμβάλλουν στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Το σύστημα που μελετάται αφορά μονάδα παραγωγής μοριοσανίδων η οποία συγκροτείται από τα στάδια που περιγράφονται στα παρακάτω σχήμα:

Σχήμα 14: Όρια συστήματος



Οι λειτουργίες που περιλαμβάνει το σύστημα είναι οι εξής:

- Δασική αποψίλωση: Πρόκειται για την αρχική διαδικασία κατά την οποία αφαιρούνται τα δέντρα από το δάσος.
- Προετοιμασία ξύλου: Το ξύλο κομματιάζεται σε μικρότερα κομμάτια που στη συνέχεια μεταφέρονται σε μονάδες παραγωγής μοριοσανίδας.
- Μετατροπή σε μοριοσανίδες: Το ξύλο υποβάλλεται σε διαδικασίες όπως ατμοποίηση, συγκόλληση και συμπίεση με τη χρήση κολλών ή ρητινών (π.χ. φορμαλδεΰδη) ώστε να συνδεθούν τα μόρια του ξύλου.
- Μεταφορά του παραγόμενου υλικού: Το παραγόμενο υλικό μεταφέρεται στους τελικούς χρήστες.
- Τέλος χρήσης και επαναχρησιμοποίηση: Το υλικό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί μετά το τέλος της αρχικής του χρήσης.

Ως λειτουργική μονάδα ορίζεται η παραγωγή 1 m³ μοριοσανίδας από ξύλο. Αναλυτικότερα, για την παραγωγή 1 m³ μοριοσανίδας απαιτούνται περίπου 893 κιλά ξύλου, όπως κλαδιά, ξύλο από κοπή δέντρων και άχρηστο ξύλο από βιομηχανίες, (Beatriz Rivela et al., 2006).

Οι επιπτώσεις που πρόκειται να αξιολογηθούν στην παρούσα μελέτη περιλαμβάνουν:

- Τις επιπτώσεις του συστήματος στο Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης για 100 έτη.
- Τις επιπτώσεις του συστήματος στο Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος.

7.3.2 Δεδομένα και Κατάλογος Κύκλου Ζωής

Κατά την εκπόνηση της μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και υπολογισμοί προκειμένου να αποτυπωθούν με ακρίβεια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαδικασίας. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τις εισροές και τις εκροές υλικών και ενέργειας, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Η συλλογή και ανάλυση αυτών των δεδομένων επιτρέπει την αξιολόγηση της απόδοσης της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου και την ταυτοποίηση των σταδίων που μπορούν να βελτιωθούν για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Για την εκπόνηση της μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα και εκτιμήσεις για ένα εργοστάσιο παραγωγής μοριοσανίδας στην Ισπανία (Beatriz Rivela et al., 2006):

Πίνακας 6: Απογραφή Εισροών - Εκροών Λειτουργικής Μονάδας

Λειτουργική μονάδα: παραγωγή 1m³ μοριοσανίδας

Διεργασία: Προετοιμασία Ξύλου

Εισροές

Δασική αποψίλωση	892,82	kg
Πριονίδι, Ροκανίδια	297,61	kg
Περικοπές (ή άκρες ξύλου)	125,57	kg
Ηλεκτρική Ενέργεια (Grid)	151	MJ
Θερμική ενέργεια (Φυσικό Αέριο)	837,1	MJ
Βιομάζα	1123,45	MJ
Ατμός λέβητα	390,11	MJ

Μεταφορά

Φορτηγό	100	km
---------	-----	----

Εκροές

Ροκανίδια και ξύσματα	666	kg
-----------------------	-----	----

Εκπομπές στον αέρα

Nitrogen Monoxide	0,12	kg
Nitrogen Dioxide	0,04	kg
Carbon Dioxide	58,24	kg
Carbon Monoxide	1,31	kg
Sulphur Dioxide	3,53*10 ⁵	kg
Dust and particles	0,41	kg
Ατμός νερού	561,98	kg

Διεργασία: Σχηματισμός μοριοσανίδας

Εισροές

Ροκανίδια και ξύσματα	444,09	kg
UF-Resin	67,94	kg
Paraffin	2,13	kg
Ammonium sulphate	0,74	kg
Ατμός λέβητα	724,49	MJ

Ηλεκτρική Ενέργεια (Grid) 37,8 MJ

Νερό 19,69 kg

Εκροές

Σχηματισμένη μοριοσανίδα 730,44 kg

Ατμός 14,98 kg

Φορμαδεύλη 0,06 kg

Διεργασία: Τελικό προϊόν

Εισροές

Σχηματισμένη μοριοσανίδα 730,44 kg

Μεταφορά (trailer) 464,04 tkm

Ηλεκτρική Ενέργεια (Grid) 189 MJ

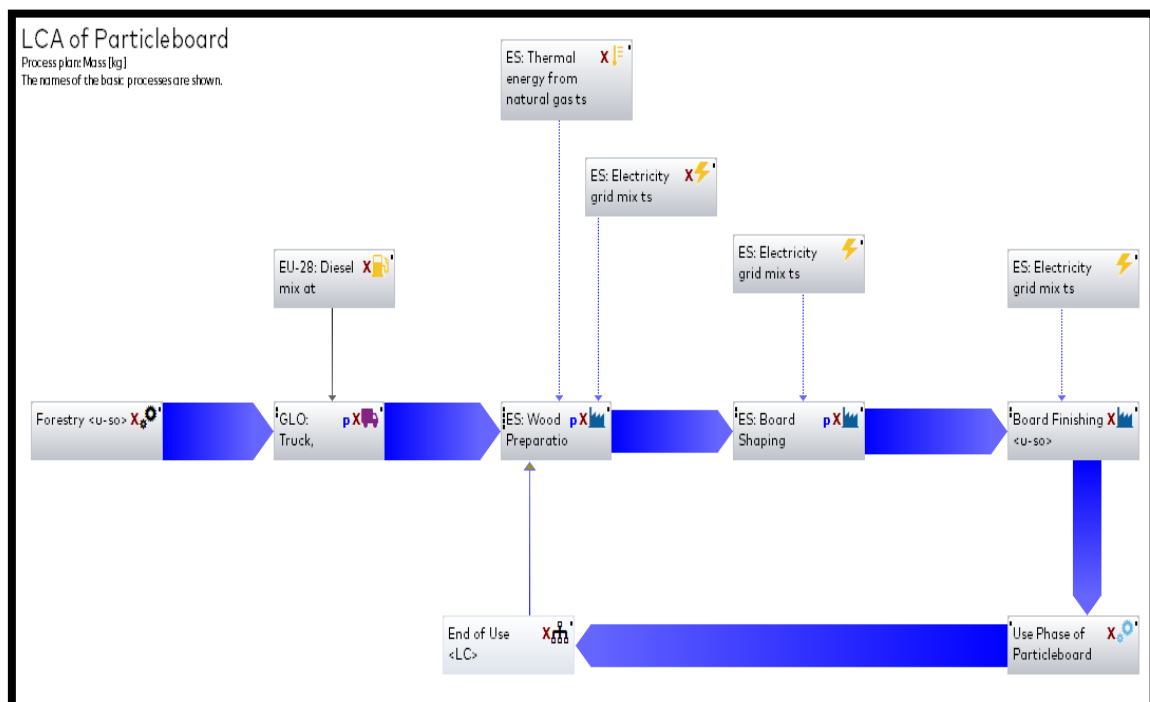
Εκροές

Μοριοσανίδα 640 kg

Απόβλητο Πριονίδι 90,4 kg

Στο παρακάτω Σχήμα (Σχήμα 15) παρατίθεται το πλάνο της λειτουργίας της του εξεταζόμενου συστήματος για την παραγωγή μοριοσανίδας όπως σχεδιάστηκε στο εργαλείο GaBi.

Σχήμα 15: Πλάνο Παραγωγής 1m³ Μοριοσανίδας – Λογισμικό GaBi

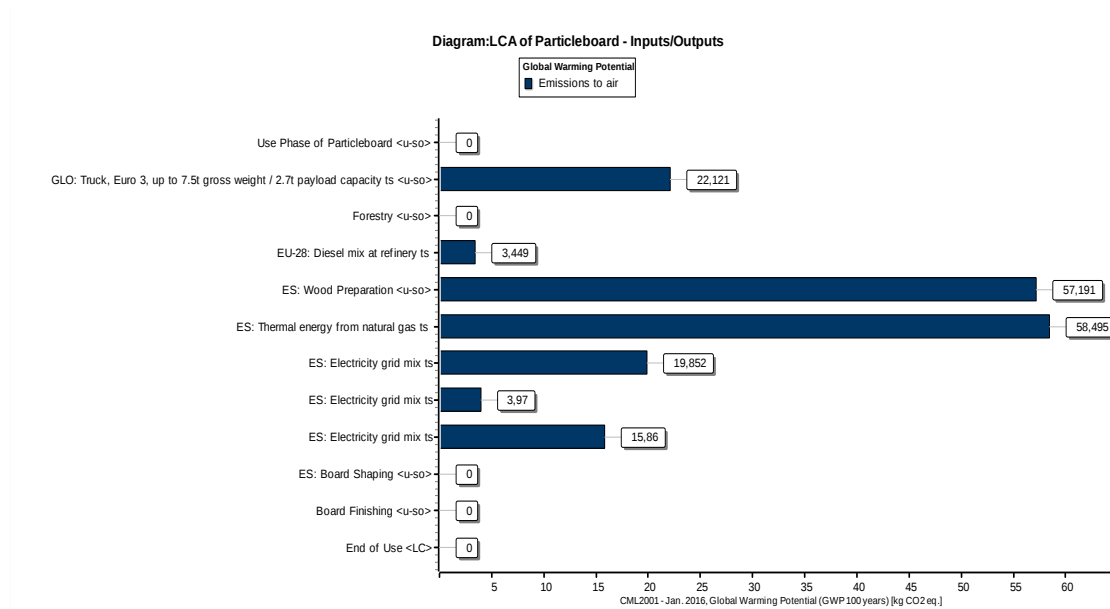


7.3.3 Αποτελέσματα

Από την ανάλυση του μοντέλου στο GaBi, με τη χρήση των δεικτών CML 2001 – Jan. 2016, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

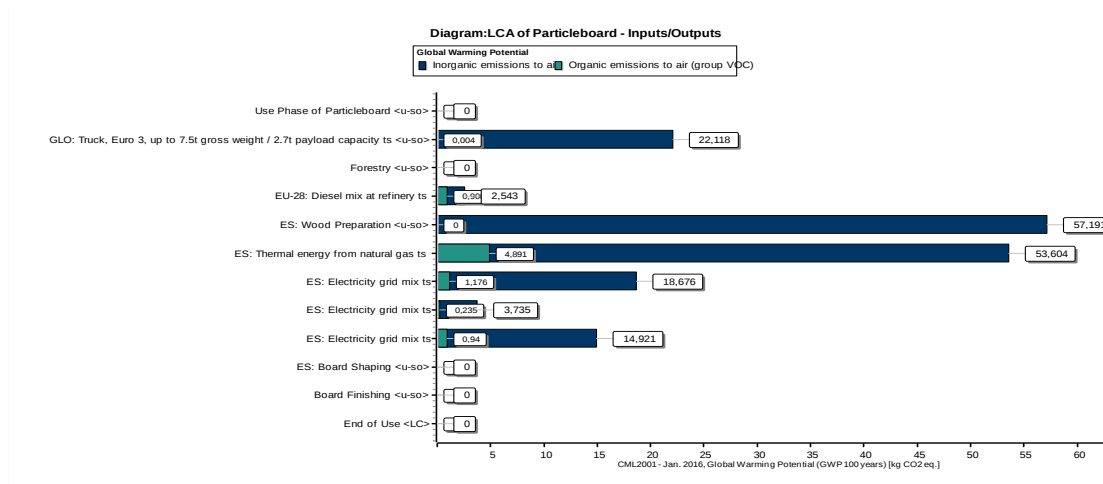
Στον Δείκτη Δυναμικού Υπερθέρμανσης του Πλανήτη (GWP 100), οι εκπομπές που έχουν την πιο αρνητική επίπτωση προέρχονται από τη χρήση θερμικής ενέργειας με φυσικό αέριο, με συνολικές εκπομπές 58,49 kg ισοδύναμου CO₂. Ακολουθούν οι εκπομπές που σχετίζονται με τη διεργασία προετοιμασίας του ξύλου, οι οποίες ανέρχονται σε 57,19 kg ισοδύναμου CO₂. Επιπλέον, οι εκπομπές από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προέρχεται από το ενεργειακό μίγμα της χώρας, καταγράφονται σε 39,68 kg ισοδύναμου CO₂. Τα αποτελέσματα των εκπομπών επισημαίνονται στο Σχήμα 16, υπογραμμίζοντας τη σημασία της μείωσης της χρήσης φυσικού αερίου, της πηγής προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας και της βελτιστοποίησης των διεργασιών προετοιμασίας του ξύλου για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Σχήμα 16: Υπερθέρμανση του πλανήτη (GWP 100) εξ. Βιογενές Άνθρακα, CML 2001-Jan2016



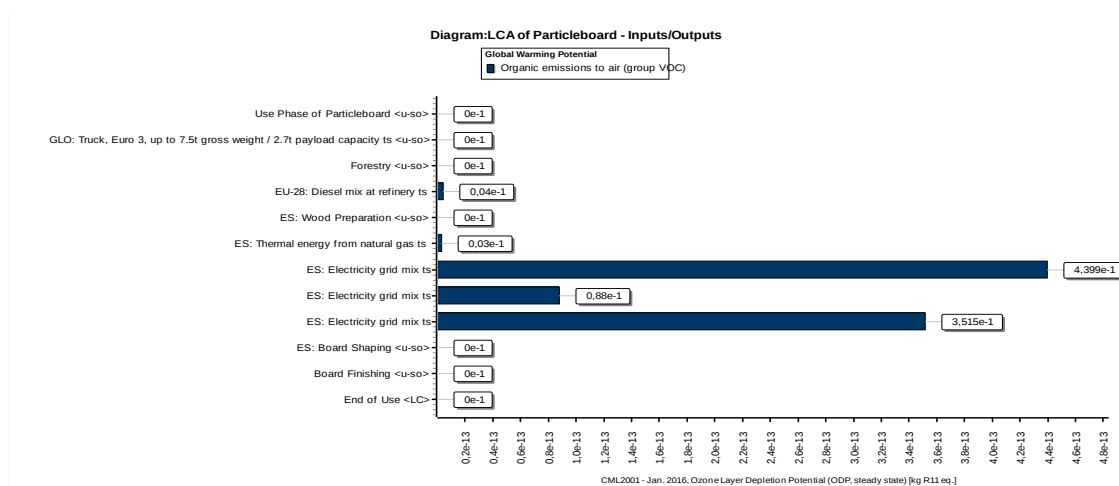
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 17) δίνεται η κατανομή των εκπομπών ανόργανων και οργανικών εκπομπών:

Σχήμα 17: Υπερθέρμανση του πλανήτη (GWP 100) εξ. Βιογενές Άνθρακα, CML 2001-Jan2016 – Ανόργανες & Οργανικές Εκπομπές στον αέρα



Στον Δείκτη Δυναμικού Καταστροφής του Όζοντος (ODP), οι εκπομπές που έχουν την πιο αρνητική επίπτωση προέρχονται από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προέρχεται από το ενεργειακό μίγμα της χώρας. Αυτές οι εκπομπές καταγράφονται στο Σχήμα 18 και ανέρχονται σε $8,79\text{E-}13$ kg R11eq. Η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται στις παραγωγικές διεργασίες συμβάλλει ουσιαστικά στην καταστροφή του όζοντος, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για λήψη μέτρων που θα περιορίσουν αυτές τις επιπτώσεις και θα συμβάλλουν στην προστασία του στρώματος του όζοντος.

Σχήμα 18: Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος (ODP), CML 2001-Jan2016



Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, η χρήση ενέργειας στις παραγωγικές διαδικασίες του συστήματος έχει τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτές οι επιπτώσεις επηρεάζουν τους δείκτες υπερθέρμανσης του πλανήτη και της

καταστροφής του όζοντος. Για να μειώσουμε αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις, είναι απαραίτητο να ληφθούν διορθωτικά μέτρα που στοχεύουν στον περιορισμό των εκπομπών αερίων.

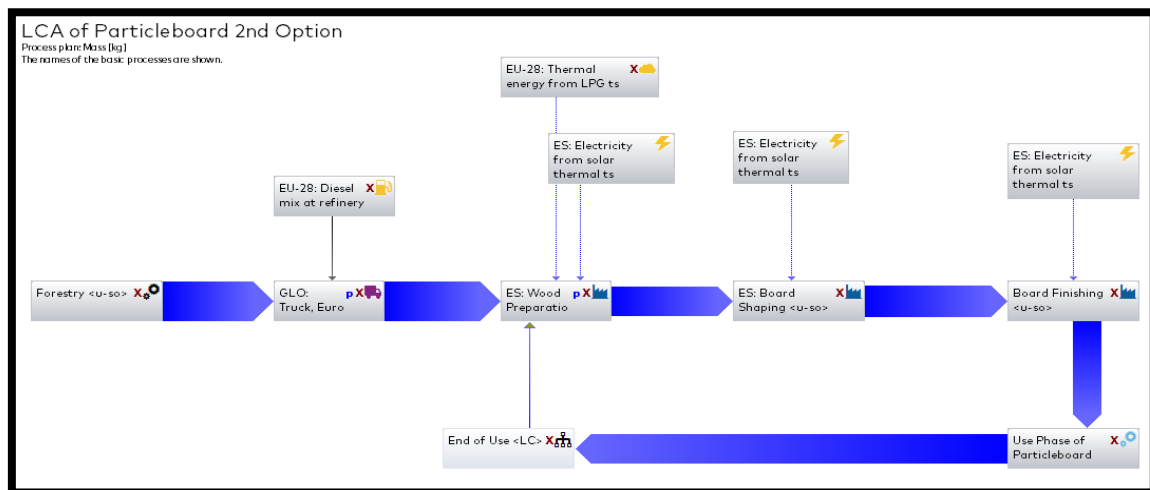
Με στόχο τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, εξετάστηκε η περίπτωση της αντικατάστασης της χρήσης ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές με «πράσινες» μορφές ενέργειας (Option 2). Συγκεκριμένα, στο σύστημά μας αντικαταστάθηκαν τα εξής:

I. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το ενεργειακό μίγμα της χώρας σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, με την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ηλιακή ενέργεια.

II. Η χρήση θερμικής ενέργειας από φυσικό αέριο, η οποία χρησιμοποιείται στη διεργασία προετοιμασίας του ξύλου, με θερμική ενέργεια που προέρχεται από υγραέριο.

Στη περίπτωση αυτή το σύστημα επανασχεδιάστηκε. Παρακάτω παρατίθεται το πλάνο της λειτουργίας της του εξεταζόμενου συστήματος για την παραγωγή μοριοσανίδας όπως σχεδιάστηκε στο εργαλείο GaBi με τις τροποποιήσεις στη χρήση ενέργειας (Σχήμα 19: Option 2).

Σχήμα 19: Πλάνο Παραγωγής 1m3 Μοριοσανίδας – Λογισμικό GaBi

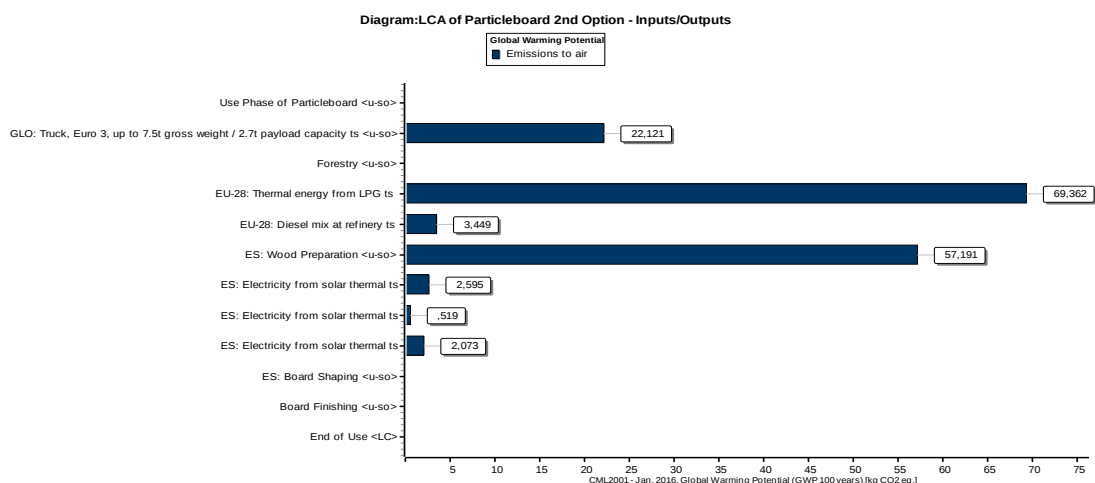


Από τις τροποποιήσεις που έγιναν στο εξεταζόμενο σύστημα, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα, παρουσιάζεται σημαντική διαφοροποίηση στις εκπομπές που αφορούν το Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη καθώς και το Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος (ODP). Πιο αναλυτικά:

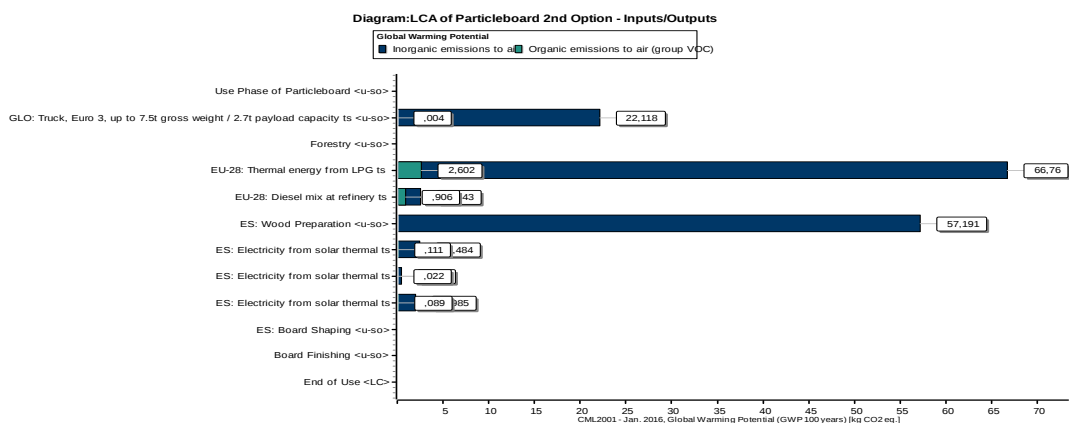
I. GWP100 (Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη):

- **Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας:** Παρατηρείται σημαντική μείωση των εκπομπών από 39,68 σε 5,18 kg ισοδύναμου CO₂, σημειώνοντας μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 87%.
- **Αλλαγή θερμικής ενέργειας:** Μετάβαση από φυσικό αέριο σε υγραέριο, η οποία οδηγεί σε αύξηση των ανόργανων εκπομπών από 53 kg ισοδύναμου CO₂ σε 66 kg ισοδύναμου CO₂ και μείωση των οργανικών εκπομπών από 4,8 kg ισοδύναμου CO₂ σε 2,6 kg ισοδύναμου CO₂. Συνολικά, οι εκπομπές από όλες τις διεργασίες του συστήματος μειώνονται κατά 13%.

Σχήμα 20: Υπερθέρμανση του πλανήτη (GWP 100) εξ. Βιογενές Άνθρακα, CML 2001-Jan2016



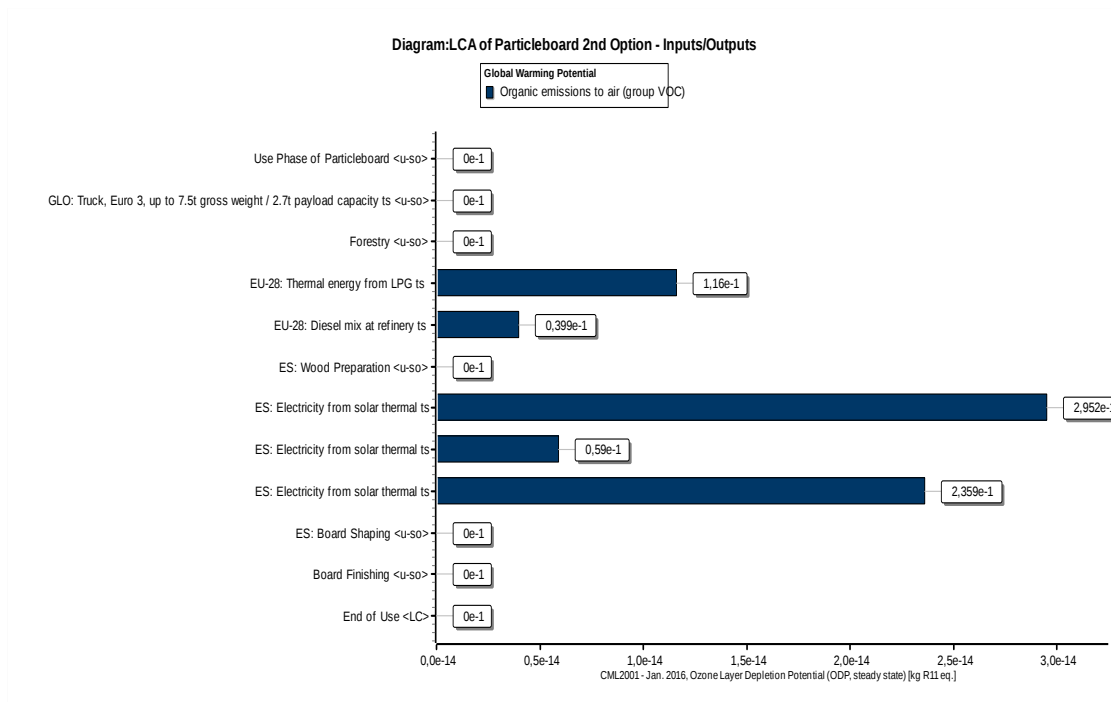
Σχήμα 21: Υπερθέρμανση του πλανήτη (GWP 100) εξ. Βιογενές Άνθρακα, CML 2001-Jan2016 – Ανόργανες & Οργανικές Εκπομπές στον αέρα



II. OPD (Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος):

- **Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας:** Παρατηρείται μείωση των εκπομπών από $8,79\text{E-}13$ σε $5,90\text{E-}14$ kg ισοδύναμου R11, σημειώνοντας μείωση των εκπομπών κατά 93%.
- **Αλλαγή θερμικής ενέργειας:** Η μετάβαση από φυσικό αέριο σε υγραέριο δεν οδηγεί σε μείωση των εκπομπών, αλλά παρατηρείται αύξηση από $2,96\text{E-}15$ σε $1,16\text{E-}14$ kg ισοδύναμου R11. Παρόλα αυτά, στις συνολικές εκπομπές από όλες τις διεργασίες του συστήματος σημειώνεται μείωση κατά 92%.

Σχήμα 22: Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος (ODP), CML 2001-Jan2016



Από τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι υπάρχουν σημαντικές προοπτικές περιβαλλοντικής βελτίωσης με την αντικατάσταση των πηγών προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μείωση των εκπομπών CO₂eq στη χρήση ενέργειας μας δείχνει ότι η μετάβαση σε πιο πράσινες μορφές ενέργειας (όπως η ηλιακή ενέργεια) μπορεί να έχει δραματικά αποτελέσματα στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ενώ όσον αφορά την χρήση θερμικής ενέργειας, μας δείχνει ότι οι αλλαγές στον τύπο της θερμικής ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν ποικιλοτρόπως τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, απαιτώντας προσεκτική εξέταση των συνολικών επιπτώσεων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι αλλαγές που μπορούν να εφαρμοστούν στο σύστημα για την περιβαλλοντική βελτίωση της απόδοσής του είναι η αντικατάσταση των πηγών προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μετάβαση από το ενεργειακό μίγμα της χώρας σε ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μειώσει δραματικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και των ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Ενώ θα πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση για την αντικατάσταση των πηγών προέλευσης θερμικής ενέργειας.

Φυσικά, επιπλέον μείωση των εκπομπών μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση των σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας, και ιδιαίτερα κατά την προεπεξεργασία του ξύλου.

Συνολικά, τα αποτελέσματα με τη χρήση του εργαλείου GaBi δείχνουν ότι υπάρχουν σημαντικές προοπτικές περιβαλλοντικής βελτίωσης. Η αντικατάσταση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με πράσινες μορφές ενέργειας και η βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών μπορούν να οδηγήσουν σε έναν πιο πράσινο και βιώσιμο παραγωγικό κύκλο.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων και δραστηριοτήτων. Προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα των επιπτώσεων που εντοπίζονται από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως την τελική διάθεση των προϊόντων. Η παρούσα εργασία ανέδειξε τη χρησιμότητα της μεθόδου, τους τρόπους εφαρμογής της και τις δυνατότητες που παρέχονται ώστε η μέθοδος να συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη.

Η ικανότητα της AKZ να εντοπίζει τα στάδια ενός προϊόντος ή μιας δραστηριότητας που επιφέρουν τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση καθορίζει την μέθοδο εξαιρετικά χρήσιμη. Μέσω της ανάλυσης του κύκλου ζωής, δίνεται η ευκαιρία για τη λήψη στοχευμένων μέτρων τα οποία μπορούν να προσφέρουν μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, καθώς και για τη γενικότερη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης. Επιπλέον, η μέθοδος διευκολύνει τον εντοπισμό εναλλακτικών λύσεων που θα προωθήσουν τη βιωσιμότητα, όπως η ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων ή διαδικασιών.

Η εφαρμογή της AKZ καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τομέων, από τη βιομηχανία και τις μεταφορές έως τη γεωργία και τα δομημένα περιβάλλοντα. Ακόμη, ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή της στη χάραξη πολιτικών και τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων, καθώς επιτρέπει σε οργανισμούς και κυβερνήσεις να υιοθετήσουν βιώσιμα μοντέλα παραγωγής και κατανάλωσης. Ενώ, ο συνδυασμός περιβαλλοντικών και οικονομικών δεδομένων ενισχύουν τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων που ενσωματώνουν περιβαλλοντικές πτυχές, καθιστώντας την AKZ ένα εργαλείο με πολύπλευρες δυνατότητες.

Η τυποποίηση της μεθοδολογίας της AKZ, μέσω των διεθνών προτύπων ISO 14040 και ISO 14044, κατάφερε να διασφαλίσει την ακρίβεια και τη συνέπεια στις μελέτες. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στάδια: τον ορισμό στόχων και σκοπού, την ανάλυση αποθεμάτων, την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ερμηνεία αποτελεσμάτων. Αυτή η δομή επιτρέπει την ενσωμάτωση της AKZ σε διάφορους τομείς, με έμφαση στη διαφάνεια και την αξιοπιστία των δεδομένων.

Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζουν τα εξειδικευμένα λογισμικά και οι βάσεις δεδομένων, όπως το SimaPro, το OpenLCA, και το GaBi που διευκολύνουν την εκπόνηση των μελετών. Παρόλο που υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των λογισμικών, οι βάσεις δεδομένων, όπως η Ecoinvent και η GaBi, παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη διαχείριση των περιβαλλοντικών δεδομένων. Η ποιότητα και η ακρίβεια αυτών των δεδομένων είναι καθοριστικές για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Η εφαρμογή της AKZ αποδεικνύεται εξαιρετικά χρήσιμη σε διάφορους τομείς. Για παράδειγμα, στον τομέα της ενέργειας, συμβάλλει στον εντοπισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα στάδια της παραγωγής, ενώ στη γεωργία και τα τρόφιμα αναδεικνύει την ανάγκη για εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών που ελαχιστοποιούν τις συνέπειες στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Επίσης μέσω των μελετών που έχουν εκπονηθεί στον τομέα της ηλεκτροκίνησης, εντοπίζονται και οι επιπτώσεις από την παραγωγή μπαταριών και ηλεκτροκινητήρων, υπογραμμίζοντας τη σημασία της συνολικής ανάλυσης του κύκλου ζωής.

Ωστόσο, αναδείχθηκαν και περιορισμοί της AKZ, όπως η ανάγκη για ολοκληρωμένα δεδομένα και η κάλυψη όλων των περιβαλλοντικών θεμάτων. Επιπλέον,

η μέθοδος απαιτεί συνεχή επικαιροποίηση και βελτίωση, ώστε να αντιμετωπίζονται ζητήματα όπως η έλλειψη ισοδυναμίας των λειτουργιών στις συγκριτικές μελέτες.

Η ανάλυση των παραδειγμάτων που εξετάστηκαν με το λογισμικό GaBi, για τη παραγωγή του βιοαερίου και τη παραγωγή μοριοσανίδας, υπογραμμίζει την πρακτική εφαρμογή της AKZ, δείχνοντας ότι μπορεί να λειτουργήσει καταλυτικά για τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο και πράσινο μέλλον. Οι μελέτες επιβεβαιώνουν ότι η AKZ δεν περιορίζεται μόνο στη μέτρηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αλλά συμβάλλει και στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας των νέων τεχνολογιών. Παράλληλα, αναδεικνύει τις προοπτικές της κυκλικής οικονομίας, όπου τα απόβλητα μιας διαδικασίας γίνονται η βάση για τη δημιουργία νέων προϊόντων και ενέργειας.

Το εργαλείο GaBi είναι εξαιρετικά χρήσιμο στην περιβαλλοντική διαχείριση για διάφορους λόγους:

Αναλυτική Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων: Το GaBi επιτρέπει την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των παραγωγικών διαδικασιών σε διάφορα στάδια, από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεση των προϊόντων. Αυτό βοηθάει στον εντοπισμό των κρίσιμων σημείων όπου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι μεγαλύτερες.

Συγκριτική Αξιολόγηση Στρατηγικών: Μέσω της παραμετροποίησης και εφαρμογής διαφορετικών σεναρίων, όπως η μετάβαση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε πράσινες μορφές ενέργειας, το GaBi επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της περιβαλλοντικής απόδοσης διαφορετικών στρατηγικών. Αυτό παρέχει τη δυνατότητα λήψης ενημερωμένων αποφάσεων που ενισχύουν τη βιωσιμότητα.

Ποσοτικοποίηση Εκπομπών: Το GaBi προσφέρει τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και άλλων επιβλαβών ουσιών. Αυτό επιτρέπει τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε διάφορους δείκτες, όπως το Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη (GWP) και το Δυναμικό Καταστροφής του Όζοντος (ODP).

Βελτίωση Παραγωγικών Διαδικασιών: Μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής και της χρήσης του GaBi, είναι δυνατός ο εντοπισμός και η βελτίωση των παραγωγικών

διαδικασιών, όπως η προεπεξεργασία των υλικών και η διαχείριση της ενέργειας. Αυτό οδηγεί στη μείωση των εκπομπών και στην εξοικονόμηση πόρων.

Υποστήριξη Κυκλικής Οικονομίας: Το GaBi μπορεί να αναδείξει τις προοπτικές της κυκλικής οικονομίας, βοηθώντας στην αξιοποίηση των αποβλήτων ως πρώτες ύλες για νέες παραγωγικές διαδικασίες. Αυτό συμβάλλει στη μείωση των αποβλήτων και στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών.

Συμβολή στη Χάραξη Πολιτικών: Τα αποτελέσματα που παράγονται από το GaBi μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χάραξη περιβαλλοντικών πολιτικών και στρατηγικών, προωθώντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και την περιβαλλοντική υπευθυνότητα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Συνολικά, το GaBi αποτελεί ένα εξαιρετικά πολύτιμο εργαλείο για την περιβαλλοντική διαχείριση, παρέχοντας ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα που ενισχύουν τη λήψη αποφάσεων και προωθούν τη βιωσιμότητα και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Βλέπουμε λοιπόν ότι, η εφαρμογή της AKZ δεν εστιάζει μόνο στον εντοπισμό των επιπτώσεων στο περιβάλλον, αλλά ενισχύει τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων που πρόκειται να ενισχύσουν τη βιωσιμότητα, την κυκλική οικονομία και την περιβαλλοντική υπευθυνότητα. Η τυποποίηση της μεθόδου, σε συνδυασμό με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών και βάσεων δεδομένων, διασφαλίζει τη διαφάνεια και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η ενσωμάτωσή της σε πολιτικές και στρατηγικές μπορεί να οδηγήσει στη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων και της ενέργειας.

Συνοψίζοντας, η AKZ είναι ένα πολύτιμο εργαλείο που συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη, εντάσσοντας τη λογική του κύκλου ζωής στις διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων. Η χρήση της μπορεί να οδηγήσει στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος, στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Παρά τις προκλήσεις, η AKZ παραμένει ένας αναντικατάστατος μηχανισμός για την προστασία του περιβάλλοντος και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών και λύσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ζάγκας Σ. (2020). Βιομηχανικά Απόβλητα από Μονάδα Παραγωγής Βιοντίζελ: Παραγωγή, Επεξεργασία και Αξιοποίηση αυτών ως Α' Ύλη σε εργοστάσιο Βιοαερίου
- Ζουμπούλης, Α., Πελέκα, Ε., & Τριανταφυλλίδης, Κ. (2015). Πράσινη Χημεία και Τεχνολογία στη Βιώσιμη Ανάπτυξη [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-784>)
- Κωνσταντίνος Γ. (2021). Εισαγωγή στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής
- Μουσιόπουλος, Ν., Ντζιαχρήστος, Α. & Σλίνη, Θ. (2015). Τεχνική προστασία περιβάλλοντος. Κεφ. 11. Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε 23 Ιουλίου, 2024, από <https://repository.kallipos.gr>
- Ράπτη Σ. (2019). Σχεδιασμός και Ανάλυση Μονάδας Παραγωγής Βιοαερίου από Κτηνοτροφικά Απόβλητα. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 65
- Σιούλας Κ, Teodorita A.S., Dominik R, Heinz P., Kottner M., Tobias F., Silke V, Rainer J. (2009). Εγχειρίδιο βιοαερίου. ΚΑΠΕ.
- Alam, M., Ali, M.F., Kundra, S., Nabobo-Baba, U., Alam, M.A. (2022). *Climate Change and Health Impacts in the South Pacific: A Systematic Review*. In: Chatterjee, U., Akanwa, A.O., Kumar, S., Singh, S.K., Dutta Roy, A. (eds) Ecological Footprints of Climate Change. Springer Climate. Springer, Cham.
- da Silva, Luís Simões, et al. "LCA databases (EPD vs Generic data)." Proc. Work. COST C25-Sustain. Constr., Lisbon (2007)
- Elginöz, N.; van Blokland, J.; Safarian, S.; Movahedisaveji, Z.; Yadeta Wedajo, D.; Adamopoulos, S. Wood Waste Recycling in Sweden—Industrial, Environmental, Social, and Economic Challenges and Benefits. Sustainability 2024, 16, 5933. <https://doi.org/10.3390/su16145933>
- European Environmental Agency (1997). Life-cycle assessment (LCA) – a guide to approaches, experiences and information sources.
- Cirotha, Andreas, et al. "LCA database creation: Current challenges and the way forward." Indonesian Journal of Life Cycle Assessment and Sustainability 3.2 (2019): 41-51
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. et al. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. Int J Life Cycle Assessment 11, 80–85 (2006). <https://doi.org/10.1065/lca2006.02.002>
- F. Norouzi et al. Analysis of Biogas Recovery from Liquid Dairy Manure Waste by Anaerobic Digestion/ JREE: Vol. 10, No. 2, (Spring 2023) 125-132
- Finnveden G (1996). Life Cycle Assessment as an Environmental systems analysis tool - with a focus on system boundaries.
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (Eds.) (2018). Life Cycle Assessment - Theory and Practice

Jeroen B. Guinée, Reinout Heijungs, Gjaltp Huppes, Alessandra Zamagni, Paolo Masoni, Roberto Buonamici, Tomas Ekvall, and Tomas Rydberg; Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future, 2010; Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 90–96

Mebratu D. 1998. Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review. Environmental Impact Assessment Review Volume 18, Issue 6, November 1998, Pages 493-520

Panagiotis Tsarouhas, Ioannis Papachristos (2021). Environmental assessment of ouzo production in Greece: A Life Cycle Assessment approach

Setac (1993), Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice"

Silva, D., Nunes, A., Moris, V., Piekarski, C., Rodrigues, T., 2017. How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto

United Nations, 1992. United Nations Conference on Environment & Development
Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992, AGENDA 21

Viktoria Wechselberger, Torsten Reinelt, Johan Yngvesson, Deborah Scharfy, Charlotte Scheutz, Marion Huber-Humer, Marlies Hrad (2023). Methane losses from different biogas plant technologies. Waste Management 157 (2023) 110–120

<https://www.iso.org/standard/37456.html#amendment>

<https://ecochain.com/blog/lci-databases-in-lca/>

<https://ecoinvent.org>

<https://sphaera.com/>

<https://www.openlca.org/>

<https://simapro.com/>

<https://www.ifu.com/umberto/>

<https://www.iso.org/standard/86265.html>

https://www.envima.gr/el/biogas_plants/paradeigmata_biomazas

https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/4%CE%B3_%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF_oc.pdf

<https://www.researchgate.net/publication/324706548>

<https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/06/DatabaseManualMethods.pdf>

<https://eur-lex.europa.eu/EL/legal-content/glossary/sustainable-development-goals.html>