



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ
ΕΣΤΙΑΖΟΝΤΑΣ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΤΟΥΣ
ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ**



**Στεργιόπουλος Δημήτριος
ΑΜ: 48346340**

Επιβλέπων Καθηγητής

**Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος
Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Comparison of composting and anaerobic digestion technologies using Life Cycle Analysis techniques focusing in energy and environmental footprint

Stergiopoulos Dimitrios

Registration Number: 48346340

Supervisor

Psomopoulos Constantinos

Professor

ATHENS-EGALEO, JULY 2022

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Στεργιόπουλος Δημήτριος,
Ιούλιος, 2022**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Στεργιόπουλος Δημήτριος του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 48346340 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο Δηλών
Στεργιόπουλος Δημήτριος



Αφιέρωση

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στην αείμνηστη γιαγιά μου Αικατερίνη Μπούτση. Είναι το ελάχιστο που θα μπορούσα να πράξω προκειμένου να τιμήσω την μνήμη της και να την ευχαριστήσω για την προσφορά της καθ' όλη την διάρκεια της ζωής μου αλλά και των σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να της ζητήσω συγνώμη που δεν κατάφερα να εκπληρώσω την επιθυμία της, να αποκτήσω το πτυχίο μου όσο ακόμα ήταν εν ζωή.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, δράττομαι της ευκαιρίας προκειμένου να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου, στους ανθρώπους που στάθηκαν πολύτιμοι αρωγοί στην διαδρομή αυτής της προσπάθειας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ψωμόπουλο Κωνσταντίνο για την συνεισφορά του στην επιλογή του θέματος, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση του σε όλα τα στάδια της εκπόνησής της.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες, στο σύνολο των καθηγητών που κατά τη διάρκεια των σπουδών μου με προθυμία και κατανόηση πρόσφεραν πολύτιμες γνώσεις.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου, την μητέρα μου Ελένη και τον πατέρα μου Γιώργο, για τη αμέριστη στήριξη και κατανόηση τους, όχι μόνο κατά το διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια της μαθησιακής μου διαδρομής.

Περίληψη

Σκοπός. Κύριος σκοπός της εργασίας είναι η σύγκριση των τεχνολογιών κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης, με τεχνικές ανάλυσης κύκλου ζωής, εστιάζοντας στον υπολογισμό του ενεργειακού και περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος.

Μεθοδολογία. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, με εφαρμογή της μεθοδολογίας της ανάλυσης κύκλου ζωής, θα αξιολογηθεί το ενεργειακό καθώς και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, για δύο τεχνολογίες επεξεργασίας στερεών αστικών αποβλήτων, της κομποστοποίησης και της αναερόβιας χώνευσης, με σκοπό να προσδιοριστεί η βιωσιμότητα και η δυνατότητα εφαρμογής τέτοιων μεθοδολογιών στην πράξη. Έτσι, πραγματοποιείται υπολογισμός τόσο του περιβαλλοντικού και ενεργειακού τους αποτυπώματος, όσο και των επιπτώσεων τους στην ανθρώπινη υγεία, με βάση τους αλγόριθμους ILCD, eco-indicator 99 (E) και ReCiPe Endpoint (E).

Αποτελέσματα. Η κομποστοποίηση συγκρινόμενη με τη αναερόβια χώνευση, έχει σημαντικά μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα υπολογιζόμενης της εκμετάλλευσης του βιοαερίου είτε χωρίς. Αλγόριθμος **ILCD** για Κομποστοποίηση: **5,47E-05** (είδος*έτος) αντιστοίχως για Αναερόβια Χώνευση: **1,96E-10** (είδος*έτος). Αλγόριθμος **ReCiPe Endpoint (E)** για Κομποστοποίηση: **3,92E-05** (είδος*έτος) και αντιστοίχως για Αναερόβια Χώνευση: **1,69E-10** (είδος*έτος). Αναμφίβολα η κομποστοποίηση έχει σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία από την αναερόβια χώνευση, εξαίρεση αποτελεί μόνο η αναερόβια με εκμετάλλευση του βιοαερίου στον αλγόριθμο **eco indicator 99 (E)**. Αλγόριθμος **ILCD** για Κομποστοποίηση: **9,66E-03** (DALY) και για Αναερόβια Χώνευση **7,46E-06** (DALY). Αλγόριθμος **ReCiPe Endpoint (E)** για Κομποστοποίηση: **7,37E-03** (ημερήσια δόση) και για Αναερόβια Χώνευση **1,75E-06** (DALY). Αλγόριθμος **eco-indicator 99 (E)** για Κομποστοποίηση: **1,41E-02** (DALY) αντίστοιχα για Αναερόβια Χώνευση: **2,25E-02** (DALY). Η αναερόβια χώνευση έχει μεγαλύτερο ενεργειακό αποτύπωμα από την κομποστοποίηση χωρίς την εκμετάλλευση του βιοαερίου, αντίθετα με την εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου, το ενεργειακό αποτύπωμα αντιστρέφεται αφού το σύστημα παράγει περισσότερη ενέργεια από αυτή που καταναλώνει στις διάφορες διεργασίες. Αλγόριθμος **ILCD** για Κομποστοποίηση: **4,12E+02** (\$) για Αναερόβια χώνευση άνευ εκμετάλλευσης βιοαερίου: **4,71E+02** (\$), με εκμετάλλευση: **-3,78E02** (\$).

Συμπεράσματα.

- ✓ Η κομποστοποίηση έχει σημαντικά μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από την αναερόβια χώνευση είτε με εκμετάλλευση του βιοαερίου είτε χωρίς
- ✓ Η κομποστοποίηση έχει σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία από την αναερόβια χώνευση εξαιρουμένης της αναερόβιας χώνευσης με εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου στον αλγόριθμο **eco indicator 99 (E)**
- ✓ Η εκμετάλλευση βιοαερίου βελτιώνει αισθητά το περιβαλλοντικό και το ενεργειακό αποτύπωμα της μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης

- ✓ Η αναερόβια χώνευση έχει μεγαλύτερο ενεργειακό αποτύπωμα από την κομποστοποίηση χωρίς την εκμετάλλευση του βιοαερίου
- ✓ Η αναερόβια χώνευση με την ενεργειακή εκμετάλλευση του βιοαερίου έχει πολύ μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από την κομποστοποίηση
- ✓ Όσο μεγαλύτερες είναι οι μονάδες επεξεργασίας τόσο πιο συμφέρουσα καθίσταται η επιλογή της αναερόβιας χώνευσης
- ✓ Η αναερόβια χώνευση συγκριτικά με την κομποστοποίηση, κρίνεται ως η καταλληλότερη μέθοδος διαχείρισης στερεών αστικών αποβλήτων με βάση το ενεργειακό και περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα

Λέξεις – κλειδιά

Κομποστοποίηση, Αναερόβια Χώνευση, Βιοαέριο, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ενεργειακό Αποτύπωμα, Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα, Επιπτώσεις Στην Ανθρώπινη Υγεία, Αλγόριθμοι: ILCD, Eco-Indicator 99 (E), ReCiPe Endpoint (E).

Abstract

Purpose. The main purpose of this work is to compare the technologies of composting and anaerobic digestion with a life cycle analysis technique focusing on the calculation of the energy and environmental footprint of the two methods of treatment of Municipal Solid Waste.

Methodology. In the context of this dissertation, by applying the methodology of life cycle analysis, the energy and environmental footprint of two technologies will be evaluated in order to determine the viability and the applicability of such methodologies in practice. Thus, the environmental and energy footprint as well as the impacts on human health are calculated based on the ILCD, eco-indicator 99 (E) and ReCiPe Endpoint (E) algorithms for Composting and Anaerobic Digestion Technologies

Results. Composting has a significantly greater environmental footprint than anaerobic digestion whether biogas is used for energy production or not. **ILCD** Algorithm for Composting technology: **5,47E-05** (species*year) and for Anaerobic Digestion technology: **1,96E-10** (species*year). **ReCiPe Endpoint (E)** Algorithm for Composting technology: **3,92E-05** (species*year) and for Anaerobic Digestion **1,69E-10** (species*year). Undoubtedly composting has a greater impact on human health than anaerobic digestion, with the exception of anaerobic digestion technology in which biogas is used as fuel for energy production, in the results made by the **eco indicator 99 (E)** algorithm. **ILCD** Algorithm for Composting: **9,66E-03** (DALY) and for Anaerobic Digestion **7,46E-06** (DALY). **ReCiPe Endpoint (E)** Algorithm for composting **7,37E-03** (DALY) and for Anaerobic Digestion **1,75E-06** (DALY). **eco indicator 99 (E)** Algorithm for Composting: **1,41E-02** (DALY) and for Anaerobic Digestion **2,25E-02** (DALY). Anaerobic digestion has a greater energy footprint than composting without making use of biogas, whereas when biogas is being put into use, the footprints results are reversed because the system produces more energy than it consumes in its procedures. **ILCD** Algorithm for Composting: **4,12E+02** (\$) for Anaerobic Digestion without biogas usage **4,71E+02** (\$) and with biogas usage **-3,78E02** (\$).

Conclusions

- ✓ Composting has a significantly larger environmental footprint than Anaerobic Digestion either with or without biogas usage.
- ✓ Composting has a significantly greater impact on human health than Anaerobic Digestion with the exception of Anaerobic Digestion technology where biogas is used for energy production according to eco indicator 99 (E) calculations.
- ✓ When biogas is used as the source of energy for the Anaerobic Digestion method, the environmental footprint of this method is significantly improved.
- ✓ Anaerobic Digestion has a greater energy footprint than Composting without the usage of biogas
- ✓ Anaerobic Digestion technology with biogas usage has a much smaller environmental footprint than Composting technology.
- ✓ The larger the processing units the more advantageous the anaerobic digestion technology becomes

Thus Anaerobic Digestion is the preferred method of solid waste management

Keywords. *Composting, Anaerobic Digestion, Biogas, Life Cycle Analysis, Energy Footprint, Environmental Footprint, Impact on Human Health, Algorithms: ILCD, Eco-Indicator 99 (E), ReCiPe Endpoint (E).*

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	7
Abstract	9
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος Πινάκων.....	16
Κατάλογος Εικόνων	17
Κατάλογος Διαγραμμάτων	18
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	28
Σκοπός και στόχοι	29
Μεθοδολογία	29
Καινοτομία	30
Δομή	30
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Αστικά Στερεά Απόβλητα.....	31
1.1 Ορισμός & Τυπολογία Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Αστικά – Κοινοτικά).....	31
1.2 Ιδιότητες Αστικών Στερεών Αποβλήτων	35
1.3 Διαχειριστική Προσέγγιση Αστικών Στερεών Αποβλήτων \.....	37
1.3.1 Θεσμικό Πλαίσιο Διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων	37
1.3.1.1 Εθνική Νομοθεσία	37
1.3.1.2 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	40
1.3.2 Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων: <i>Στάδια</i>	43
1.3.3 Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων: <i>Μέθοδοι Επεξεργασίας</i>	44
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : Τεχνολογίες Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης.....	47
2.1 Κομποστοποίηση.....	47
2.1.1 Εννοιολογικοί Προσδιορισμοί	47
2.1.2 Διαδικασία.....	48
2.1.3 Φάσεις	49
2.1.4 Στάδια.....	49
2.1.5 Συστήματα.....	51
2.1.6 Προσδιοριστικοί Παράγοντες	51
2.1.7 Πλεονεκτήματα – Οφέλη	52

2.2	Αναερόβια Χώνευση	54
2.2.1	Εννοιολογικός προσδιορισμός	54
2.2.2	Διαδικασία.....	55
2.2.3	Βιολογική Διεργασία.....	56
2.2.4	Προσδιοριστικοί Παράγοντες	57
2.2.5	Συστήματα.....	58
2.2.6	Πλεονεκτήματα – Οφέλη	60
2.2.7	Συγκριτική Κομποστοποίησης Και Αναερόβιας Χώνευσης.....	60
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο . Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment)	63
3.1	Εννοιολογικός Προσδιορισμός	63
3.2	Μεθοδολογία – Στάδια (Φάσεις) Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	63
3.2.1	Goal & Scope Definition - Καθορισμός Σκοπού & Στόχων Ανάλυσης	64
3.2.2	Life Cycle Inventory Analysis - Ανάλυση Καταγραφής Κύκλου Ζωής.....	64
3.2.3	Life Cycle Impact Assessment – Ανάλυση / Αξιολόγηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής	66
3.2.4	Life Cycle Improvement Analysis) / Interpretation - Ανάλυση Βελτιώσεων Κύκλου Ζωής ή Ολοκλήρωση	66
3.3	Μεθοδολογίες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής: Παρουσίαση & Συγκριτική	67
3.4	Λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	68
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : Μεθοδολογία Υπολογισμών	71
4.1	Σκοπός.....	71
4.2	Ανάλυση πλαισίου μελέτης.....	71
4.3	Μεταφορά.....	75
4.4	Φόρτωση.....	75
4.5	Διαλογή αποβλήτων	75
4.6	Άλεση αποβλήτων.....	76
4.7	Κομποστοποίηση.....	76
4.8	Αναερόβια χώνευση	77
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Αποτελέσματα Υπολογισμών Ενεργειακού & Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος	80
5.1	Ανάλυση Κύκλου Ζωής Διαδικασιών Κομποστοποίησης	80
5.1.1	Εισροές Κατά Τη Μέθοδο Της Κομποστοποίησης.....	80
5.1.1.1	Ενέργεια Παραγόμενη Από Βιομάζα.....	80
5.1.1.2	Ενέργεια Παραγόμενη Από Λιγνίτη	81

5.1.1.3	Ενέργεια Παραγόμενη Από Φυσικό Αέριο.....	82
5.1.1.4	Ενέργεια Παραγόμενη Από Πετρέλαιο	83
5.1.1.5	Ενέργεια Παραγόμενη Από Τον Ήλιο.....	84
5.1.1.6	Ενέργεια Παραγόμενη Από Υδροηλεκτρικό Σταθμό	85
5.1.1.7	Ενέργεια Παραγόμενη Από Ανεμογεννήτριες.....	86
5.1.2	Εκροές Κατά Τη Μέθοδο Της Κομποστοποίησης.....	87
5.1.2.1	Εκροή Αμμωνίας	87
5.1.2.2	Εκροή Μονοξειδίου Του Άνθρακα.....	88
5.1.2.3	Εκροή Διοξειδίου Του Άνθρακα	89
5.1.2.4	Εκροή Υδρογονανθράκων	90
5.1.2.5	Εκροή Υδροχλωρίου.....	91
5.1.2.6	Εκροή Υδροφθορίου.....	92
5.1.2.7	Εκροή Υδρόθειου	93
5.1.2.8	Εκροή Μεθανίου.....	94
5.1.2.9	Εκροή Οξειδίων Του Αζώτου.....	95
5.1.2.10	Εκροή Των NMVOC	96
5.1.2.11	Εκροή Των Σωματιδίων	97
5.1.2.12	Εκροή Του Διοξειδίου Του Θείου.....	98
5.1.2.13	Εκροή TSP	99
5.1.3	Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Κομποστοποίησης.....	100
5.1.3.1	Μέθοδος ILCD	100
5.1.3.2	Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E).....	110
5.1.3.3	Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014].....	114
5.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Αναερόβιας Χώνευσης.....	120
5.2.1	Εισροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης	120
5.2.1.1	Ενέργεια Παραγόμενη Από Βιομάζα.....	120
5.2.1.2	Ενέργεια Παραγόμενη Από Λιγνίτη	121
5.2.1.3	Ενέργεια Παραγόμενη Από Φυσικό Αέριο.....	122
5.2.1.4	Ενέργεια Παραγόμενη Από Πετρέλαιο	123
5.2.1.5	Ενέργεια Παραγόμενη Από Τον Ήλιο.....	124
5.2.1.6	Ενέργεια Παραγόμενη Από Υδροηλεκτρικό Σταθμό	125
5.2.1.7	Ενέργεια Παραγόμενη Από Ανεμογεννήτριες.....	126
5.2.2	Εκροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης.....	127
5.2.2.1	Εκροή Αμμωνίας	127

5.2.2.2	Εκροή Μονοξειδίου Του Άνθρακα.....	128
5.2.2.3	Εκροή Διοξειδίου Του Άνθρακα	129
5.2.2.4	Εκροή Υδρογονανθράκων	130
5.2.2.5	Εκροή Υδροχλωρίου.....	131
5.2.2.6	Εκροή Υδροφθορίου.....	132
5.2.2.7	Εκροή Υδρόθειου	133
5.2.2.8	Εκροή Μεθανίου.....	134
5.2.2.9	Εκροή Οξειδίων Του Αζώτου.....	135
5.2.2.10	Εκροή Των NMVOC	136
5.2.2.11	Εκροή Των Σωματιδίων	137
5.2.2.12	Εκροή Του Διοξειδίου Του Θείου.....	138
5.2.2.13	Εκροή TSP	139
5.2.3	Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Αναερόβιας Χώνευσης.....	141
5.2.3.1	Μέθοδος ILCD	141
5.2.3.2	Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E).....	151
5.2.3.3	Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1 (Διάγραμμα 5.1). 11, December 2014]....	155
5.3.1	Εισροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης με εκμετάλλευση του βιοαερίου	161
5.3.2	Εκροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης με εκμετάλλευση του βιοαερίου	162
5.3.4	Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Αναερόβιας Χώνευσης με εκμετάλλευση του βιοαερίου	171
5.3.4.1	Μέθοδος ILCD	171
5.3.4.2	Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E)	180
5.3.4.3	Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]	185
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης	192
6.1	Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ILCD	192
6.2	Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E).....	206
6.3	Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014].....	212
6.4	Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου).....	221
6.5	Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης (με εκμετάλλευση βιοαερίου) - Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E).....	236

6.6	Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης (με εκμετάλλευση βιοαερίου) - Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]	244
6.7	Τελική Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης	256
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο : Συμπεράσματα – Περιορισμοί Μελέτης – Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας	260
	Συμπεράσματα.....	260
	Περιορισμοί Μελέτης.....	260
	Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας.....	261
8	Βιβλιογραφία – Αναφορές – Δια δικτυακές Πηγές	262

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 6.1 Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - ILCD (Αλγόριθμος)	257
Πίνακας 6.2 Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Eco-Indicator 99 (E) (Αλγόριθμος).....	258
Πίνακας 6.3 Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - ReCiPe Endpoint (E) (Αλγόριθμος)	259

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 4.1. Ανάλυση κύκλου ζωής μέσω του προγράμματος openLCA 1.10.3.	72
Εικόνα 4.2. Παράσταση ομαδοποίησης μεθόδου Eco-indicator 99	72
Εικόνα 4.3. Κατηγορίες επιπτώσεων μεθόδου ReCiPe.....	72

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4.1. Ροή Διαδικασίας Κομποστοποίησης	77
Διάγραμμα 4.2. Ροή Διαδικασίας Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου	78
Διάγραμμα 4.3. Ροή Διαδικασίας Αναερόβιας Χώνευσης Χωρίς Εκμετάλλευση Βιοαερίου	79
Διάγραμμα 5.1 Κομποστοποίηση: Παραγόμενη Από Βιομάζα	80
Διάγραμμα 5.2 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Λιγνίτη	81
Διάγραμμα 5.3 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Φυσικό Αέριο	82
Διάγραμμα 5.4 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Πετρέλαιο	83
Διάγραμμα 5.5 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Τον Ήλιο	84
Διάγραμμα 5.6 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Υδροηλεκτρικό Σταθμό	85
Διάγραμμα 5.7 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Ανεμογεννήτριες	86
Διάγραμμα 5.8 Κομποστοποίηση: Εκροή Αμμωνίας.....	87
Διάγραμμα 5.9 Κομποστοποίηση: Εκροή Μονοξειδίου Του Άνθρακα	88
Διάγραμμα 5.10 Κομποστοποίηση: Εκροή Διοξειδίου Του Άνθρακα.....	89
Διάγραμμα 5.11 Κομποστοποίηση: Εκροή Υδρογονανθράκων.....	90
Διάγραμμα 5.12 Κομποστοποίηση: Εκροή Υδροχλωρίου	91
Διάγραμμα 5.13 Κομποστοποίηση: Εκροή Υδροφθορίου	92
Διάγραμμα 5.14 Κομποστοποίηση: Εκροή Υδρόθειου.....	93
Διάγραμμα 5.15 Κομποστοποίηση: Εκροή Μεθανίου	94
Διάγραμμα 5.16 Κομποστοποίηση: Εκροή Οξειδίων Του Αζώτου	95
Διάγραμμα 5.17 Κομποστοποίηση: Εκροή Των NMVOC	96
Διάγραμμα 5.18 Κομποστοποίηση: Εκροή Των Σωματιδίων	97
Διάγραμμα 5.19 Κομποστοποίηση: Εκροή Του Διοξειδίου Του Θείου.....	98
Διάγραμμα 5.20 Κομποστοποίηση: Εκροή TSP	99
Διάγραμμα 5.21 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής.....	100
Διάγραμμα 5.22 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά	101
Διάγραμμα 5.23 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής.....	102
Διάγραμμα 5.24 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων.....	103

Διάγραμμα 5.25 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους.....	104
Διάγραμμα 5.26 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά.....	105
Διάγραμμα 5.27 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	106
Διάγραμμα 5.28 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe 1.05. – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	107
Διάγραμμα 5.29 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων	108
Διάγραμμα 5.30 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe 1.05. – Εξάντληση Συνόλου Πόρων	109
Διάγραμμα 5.31 Κομποστοποίηση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής.....	110
Διάγραμμα 5.32 Κομποστοποίηση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων	111
Διάγραμμα 5.33 Κομποστοποίηση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Οργανικών Σωματιδίων – Κομποστοποίηση.....	112
Διάγραμμα 5.34 Κομποστοποίηση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	113
Διάγραμμα 5.35 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής.....	114
Διάγραμμα 5.36 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά.....	115
Διάγραμμα 5.37 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής	116
Διάγραμμα 5.38 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Τοξικότητας Των Ρύπων	117
Διάγραμμα 5.39 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικών Οξειδωτικών.....	118
Διάγραμμα 5.40 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	119
Διάγραμμα 5.41 Αναερόβια Χώνευση: Παραγόμενη Από Βιομάζα.....	120
Διάγραμμα 5.42 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Λιγνίτη.....	121
Διάγραμμα 5.43 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Φυσικό Αέριο	122
Διάγραμμα 5.44 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Πετρέλαιο	123
Διάγραμμα 5.45 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Τον Ήλιο	124
Διάγραμμα 5.46 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Υδροηλεκτρικό Σταθμό	125

Διάγραμμα 5.47 Αναερόβια Χώνευση: Ενεργεία Παραγόμενη Από Ανεμογεννήτριες	126
Διάγραμμα 5.48 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Αμμωνίας	127
Διάγραμμα 5.49 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Μονοξειδίου Του Άνθρακα	128
Διάγραμμα 5.50 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Διοξειδίου Του Άνθρακα	129
Διάγραμμα 5.51 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Υδρογονανθράκων	130
Διάγραμμα 5.52 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Υδροχλωρίου	131
Διάγραμμα 5.53 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Υδροφθορίου	132
Διάγραμμα 5.54 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Υδρόθειου	133
Διάγραμμα 5.55 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Μεθανίου	134
Διάγραμμα 5.56 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Οξειδίων Του Αζώτου	135
Διάγραμμα 5.57 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Των NMVOC.....	136
Διάγραμμα 5.58 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Των Σωματιδίων	137
Διάγραμμα 5.59 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Του Διοξειδίου Του Θείου.....	138
Διάγραμμα 5.60 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή TSP.....	139
Διάγραμμα 5.61 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Βιοαερίου	140
Διάγραμμα 5.62 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής.....	141
Διάγραμμα 5.63 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά.....	142
Διάγραμμα 5.64 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής	143
Διάγραμμα 5.65 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων.....	144
Διάγραμμα 5.66 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους.....	145
Διάγραμμα 5.67 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά.....	146
Διάγραμμα 5.68 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	147
Διάγραμμα 5.69 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe 1.05. – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	148
Διάγραμμα 5.70 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων.....	149
Διάγραμμα 5.71 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe 1.05. – Εξάντληση Συνόλου Πόρων.....	150
Διάγραμμα 5.72 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής	151

Διάγραμμα 5.73 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων	152
Διάγραμμα 5.74 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων – Κομποστοποίηση.....	153
Διάγραμμα 5.75 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	154
Διάγραμμα 5.76 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής.....	155
Διάγραμμα 5.77 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά.....	156
Διάγραμμα 5.78 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής	157
Διάγραμμα 5.79 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Τοξικότητας Των Ρύπων	158
Διάγραμμα 5.80 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικών Οξειδωτικών...	159
Διάγραμμα 5.81 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	160
Διάγραμμα 5.82 Εισροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Του Βιοαερίου	161
Διάγραμμα 5.83 Εκροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου	162
Διάγραμμα 5.84 Εκροές Ηλεκτρικής Ενέργειας Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου	163
Διάγραμμα 5.85 Εκροές Μονοξειδίου Του Άνθρακα Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου.....	164
Διάγραμμα 5.86 Εκροές Διοξειδίου Του Άνθρακα Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου	165
Διάγραμμα 5.87 Εκροές Υδρογονανθράκων Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου.....	166
Διάγραμμα 5.88 Εκροές Οξειδίων Του Αζώτου Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου	167
Διάγραμμα 5.89 Εκροές NMVOC Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου.....	168
Διάγραμμα 5.90 Εκροές Των Σωματιδίων Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου.....	169
Διάγραμμα 5.91 Εκροές Φορμαλδεΰδης Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου.....	170

Διάγραμμα 5.92 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών Και Καρκινογόνων Ουσιών	171
Διάγραμμα 5.93 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών Μη Καρκινογόνων Ουσιών.....	172
Διάγραμμα 5.94 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων	173
Διάγραμμα 5.95 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους.....	174
Διάγραμμα 5.96 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	175
Διάγραμμα 5.97 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	176
Διάγραμμα 5.98 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe 1.05 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	177
Διάγραμμα 5.99 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων.....	178
Διάγραμμα 5.100 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων.....	179
Διάγραμμα 5.101 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Καρκινογόνων Ουσιών.....	180
Διάγραμμα 5.102 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής	181
Διάγραμμα 5.103 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων (Οξειδία Του Αζώτου).....	182
Διάγραμμα 5.104 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Οργανικών Σωματιδίων (Οξειδία Του Άνθρακα).....	183
Διάγραμμα 5.105 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	184
Διάγραμμα 5.106 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Του Γλυκού Νερού	185
Διάγραμμα 5.107 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Του Θαλασσινού Νερού	186

Διάγραμμα 5.108 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Της Γης	187
Διάγραμμα 5.109 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά.....	188
Διάγραμμα 5.110 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Τη Τοξικότητα Των Ρύπων.....	189
Διάγραμμα 5.111 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Το Σχηματισμό Φωτοχημικών Οξειδωτικών.....	190
Διάγραμμα 5.112 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	191
Διάγραμμα 6.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ILCD	193
Διάγραμμα 6.2 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής.....	194
Διάγραμμα 6.3 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά.....	195
Διάγραμμα 6.4 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής	196
Διάγραμμα 6.5 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων	197
Διάγραμμα 6.6 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους.....	199
Διάγραμμα 6.7 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	200
Διάγραμμα 6.8 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	201
Διάγραμμα 6.9 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe 1.05 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	202
Διάγραμμα 6.10 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων.....	203
Διάγραμμα 6.11 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe 1.05 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων.....	204
Διάγραμμα 6.12 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Συνολική Σύγκριση.....	205

Διάγραμμα 6.13. Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E)	206
Διάγραμμα 6.14 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής	207
Διάγραμμα 6.15 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων	208
Διάγραμμα 6.16 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Οργανικών Σωματιδίων.....	210
Διάγραμμα 6.17 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	211
Διάγραμμα 6.18 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E) – Συνολική Σύγκριση	211
Διάγραμμα 6.19 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]	213
Διάγραμμα 6.20 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής.....	214
Διάγραμμα 6.21 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά	215
Διάγραμμα 6.22 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής.....	216
Διάγραμμα 6.23 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Τη Τοξικότητα Των Ρύπων	217
Διάγραμμα 6.24 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Το Σχηματισμό Φωτοχημικών Οξειδωτικών	218
Διάγραμμα 6.25 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	219
Διάγραμμα 6.26 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Συνολική Σύγκριση	220
Διάγραμμα 6.27 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου).....	222
Διάγραμμα 6.28 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής.....	223
Διάγραμμα 6.29 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά	224

Διάγραμμα 6.30 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής	225
Διάγραμμα 6.31 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών, Καρκινογόνων Ουσιών	226
Διάγραμμα 6.32 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών μη Καρκινογόνων Ουσιών ..	227
Διάγραμμα 6.33 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων	228
Διάγραμμα 6.34 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους	230
Διάγραμμα 6.35 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά	231
Διάγραμμα 6.36 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – ReCiPe 1.11 (Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου) – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	232
Διάγραμμα 6.37 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – ReCiPe 1.05 (Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου) – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	233
Διάγραμμα 6.38 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – ReCiPe 1.11 (Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου) – Εξάντληση Συνολικών Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	234
Διάγραμμα 6.39 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – ReCiPe 1.05 (Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου) – Εξάντληση Συνολικών Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων	235
Διάγραμμα 6.40 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος ILCD – Συνολική Σύγκριση	236
Διάγραμμα 6.41 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) (με εκμετάλλευση βιοαερίου)...	237
Διάγραμμα 6.42 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών μη Καρκινογόνων Ουσιών.....	238
Διάγραμμα 6.43 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής.....	239
Διάγραμμα 6.44 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων	240
Διάγραμμα 6.45 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Οργανικών Σωματιδίων.....	241

Διάγραμμα 6.46 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά.....	243
Διάγραμμα 6.47 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Συνολική Σύγκριση.....	244
Διάγραμμα 6.48 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης (με εκμετάλλευση βιοαερίου) - Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014].....	245
Διάγραμμα 6.49 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής.....	246
Διάγραμμα 6.50 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Του Γλυκού Νερού.....	247
Διάγραμμα 6.51 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Του Θαλασσινού Νερού.....	248
Διάγραμμα 6.52 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Της Γης.....	249
Διάγραμμα 6.53 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά.....	250
Διάγραμμα 6.54 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής.....	251
Διάγραμμα 6.55 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Τη Τοξικότητα Των Ρύπων.....	253
Διάγραμμα 6.56 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Το Σχηματισμό Φωτοχημικών Οξειδωτικών.....	254
Διάγραμμα 6.57 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά.....	255
Διάγραμμα 6.58 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Συνολική Σύγκριση.....	256

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως απόβλητα βάσει της οδηγίας **2008/98/ΕΚ**, ορίζονται «κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει». Εξ ορισμού λοιπόν αποτελούν μια δυνητικά τεράστια απώλεια φυσικών και μη πόρων, τόσο με την μορφή υλικών όσο και με την μορφή ενέργειας. Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat (2020), η ποσότητα των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, που παρήχθησαν κατά το έτος 2020 ανά κάτοικο της ΕΕ ανήλθε στα **505** κιλά, αυξημένη κατά 4 κιλά, σε σχέση με το 2019 και 38 κιλά συγκριτικά με το 1995.

Η συνολική παραγωγή ΑΣΑ της ΕΕ για το ίδιο έτος (2020) υπολογίστηκε στα **225,7** εκατομμύρια τόνους αυξημένη κατά 1% (1,8 εκατ. τόνους) σε σχέση με το 2019 και 14% συγκριτικά με 1995 (27,7 εκατ. τόνους) με σημαντικότερες διαφορές μεταξύ των κρατών μελών που σχετίζονται τόσο με την ευμάρεια, όσο και με τις καταναλωτικές συνήθειες που επικρατούν σε κάθε κράτος και φυσικά με τον τρόπο συλλογής και διαχείρισης αυτών.

Όσον αφορά στη χώρα μας, η παραγωγή αποβλήτων ανήλθε στα **525** κιλά ανά κάτοικο αυξημένη κατά 83 κιλά (+**19%**) σε σχέση με το 2005.

Από την πρώτη κιόλας ανάγνωση των στατιστικών στοιχείων, γίνεται άμεσα αντιληπτός ο λόγος για τον οποίο έχει εφαρμοσθεί εδώ και πολλά έτη, ο κανονισμός που αφορά στην ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων που έχει ως κύριο σκοπό την μείωση του όγκου τους μέσω διαδικασιών επεξεργασίας, ανακύκλωσης και ασφαλούς διάθεσής τους, στοχεύοντας στην προστασία του περιβάλλοντος και του παγκόσμιου οικοσυστήματος του πλανήτη μας, συνεπώς και της ίδιας της ζωής σε αυτόν.

Η Eurostat (2017), δημοσίευσε σημαντικούς αριθμούς αναφορικά με την ετήσια παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων, η οποία υπολογίστηκε στα **514** κιλά ανά Έλληνα κάτοικο και είναι επαυξημένη κατά 32 κιλά από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, που ανέρχεται στα 482 κιλά, όπως και για τον συνολικό όγκο των αστικών στερεών αποβλήτων για την Ελλάδα που υπολογίστηκε στους 785.500 τόνους.

Η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), τον Δεκέμβριο του 2020 ανακοίνωσε τα επικαιροποιημένα δεδομένα αναφορικά με την παραγωγή και τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων και αναφέρει πως η παραγωγή αποβλήτων υπολογίστηκε στους 45.592.603 τόνους μειωμένη κατά 37%, σε σύγκριση με το 2016. Αντίστοιχα η διαχείριση αποβλήτων διαμορφώθηκε στους 42.651.993 τόνους με μείωση 39% σε σχέση με το 2016. Επίσης, κατά το 2018, τα Απόβλητα εξορυκτικών και λοιπών δραστηριοτήτων» αποτελούσαν το 79,5% του συνόλου των παραγόμενων αποβλήτων. Ακόμη, τα Ορυχεία και λατομεία παράγουν το 56,4% του συνόλου των αποβλήτων, ακολουθεί η Μεταποίηση με 11,8% και τα Νοικοκυριά με 10,1%. Αναφορικά με την διαχείριση αποβλήτων ανά κατηγορία αποβλήτου, τα Απόβλητα εξορυκτικών και λοιπών δραστηριοτήτων υπολογίστηκαν σε 34.470.963 τόνους και αποτελούν το 80,8% επί του συνόλου ενώ τα Αστικά στερεά απόβλητα αξιολογήθηκαν σε 5.306.869 τόνους και σε 12,4% επί του συνόλου.

Σχετικά με την σύνθεση των αστικών στερών αποβλήτων, όπως δημοσιεύτηκε με το Νέο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) 2020 – 2030, το 44,3% αυτών είναι βιοαπόβλητα, 22,2% χαρτί, 13,9% πλαστικό, 3,9% μέταλλα, 4,3% γυαλί και 11,4% λοιπά ανακτήσιμα και από μη ανακτήσιμα υλικά. Με την Ελλάδα να διαθέτει, περιορισμένες υποδομές για τη διαχείριση των αποβλήτων, με μόλις 84 ενεργούς Χώρους Υγειονομικής Ταφής, 10 σε λειτουργία και 6 υπό κατασκευή εγκαταστάσεις Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας, 35 Εγκαταστάσεις Ανάκτησης Υλικών και 93 Σταθμούς Μεταφόρτωσης Αποβλήτων (Maalouf & Manropoulos, 2022, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2022).

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Κύρια προβληματική της παρούσας εργασίας αποτελεί η συγκριτική των τεχνολογιών Κομποστοποίησης και Αναερόβιας Χώνευσης Αστικών Στερεών Αποβλήτων με τεχνικές Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ώστε να αναδειχθεί η δυναμική επίδρασή τους με έμφαση στο ενεργειακό και περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

Το έναυσμα για τη δημιουργία της παρούσας εργασίας αποτελεί η ανάδειξη της σημαντικότητας της διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων η οποία θεωρείται το παγκόσμιο «στοίχημα» του 21^{ου} αιώνα. Το περιβάλλον και η διαφύλαξή του όπως και η διαμόρφωση μιας οικολογικής κουλτούρας είναι αναγκαιότητα των καιρών μας, ως αναγκαιότητα της βιωσιμότητας και με βάση την αρχή ότι **“προηγούνται οι επόμενοι”**, δεδομένου ότι το μέλλον είναι δανεισμένο από τις επερχόμενες γενιές.

Δύο από τις βασικότερες τεχνολογίες διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων είναι η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση, οι οποίες θα απασχολήσουν την παρούσα εργασία. Ως αντικείμενο έρευνας θεωρήθηκε ενδιαφέρουσα η συγκριτική αυτών των τεχνολογιών διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων και η ανάδειξη του ενεργειακού και περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος. Κατά τον τρόπο αυτό, η παρούσα μελέτη θα μπορέσει να προσδώσει ένα μικρό έρεισμα στο οικοδόμημα της επιστημονική γνώσης, η οποία με την σειρά της δυναμικά θα αποδώσει την επιστημονική τεκμηρίωση για την επιλογή και την εξέλιξη μέσω της αέναης τεχνολογικής βελτίωσης των μεθόδων αυτών, ως μια ρεαλιστική και βιώσιμη λύση για την προστασία του περιβάλλοντος, σε άρρηκτο πάντα συνδυασμό με την πληθυσμιακή και ατομική υγεία.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, με εφαρμογή της μεθοδολογίας της ανάλυσης κύκλου ζωής, θα αξιολογηθεί το ενεργειακό και περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα των δύο τεχνολογιών ώστε να προσδιοριστεί η βιωσιμότητα και η δυνατότητα εφαρμογής τέτοιων μεθοδολογιών στην πράξη. Η μελέτη αυτή θα βασιστεί στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από μετρήσεις ώστε να προσδιοριστεί το τελικό ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα, της κάθε μεθόδου.

Τα τελικά αποτελέσματα που θα προκύψουν από τις μετρήσεις καθώς και από την συγκριτική ανάλυση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών αποτυπωμάτων τους και τα οποία φυσικά θα

αποτυπώσουν τα σχετικά συμπεράσματα για την δυναμικότητα των δύο μεθόδων, θα στοιχειοθετήσουν τη συνολική αξιολόγησή τους και παράλληλα θα βοηθήσουν στον καθορισμό της σπουδαιότητας, αλλά και το προβάδισμα χρήσης της μιας μεθόδου έναντι της άλλης.

Σκοπός και στόχοι

Κύριος **σκοπός** της εργασίας είναι η σύγκριση των τεχνολογιών κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης με **τεχνικές ανάλυσης κύκλου ζωής** εστιάζοντας στον υπολογισμό του **ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος** των δύο μεθόδων επεξεργασίας **Αστικών Στερεών αποβλήτων** .

Οι θεωρητικοί και ερευνητικοί στόχοι θα κατευθύνουν τη βιβλιογραφική επισκόπηση και την ερευνητική διαδικασία της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Οι θεωρητικοί στόχοι συνίστανται στους εξής:

1. Θεωρητική ανάλυση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων
2. Θεωρητικός προσδιορισμός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment)
3. Θεωρητική προσέγγιση του υπολογισμού του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος από τη διαχείριση στερεών αστικών αποβλήτων
4. Θεωρητικός προσδιορισμός τεχνολογιών διαχείρισης στερεών αστικών αποβλήτων: Κομποστοποίηση και Αναερόβια Χώνευση

Οι ερευνητικοί στόχοι συνίστανται στους εξής:

1. Υπολογισμός περιβαλλοντικού αποτυπώματος με βάση τους αλγόριθμους ILCD, eco-indicator 99 (E) και ReCiPe Endpoint (E) για την Τεχνολογία της Κομποστοποίησης.
2. Υπολογισμός περιβαλλοντικού αποτυπώματος με βάση τους αλγόριθμους ILCD, eco-indicator 99 (E) και ReCiPe Endpoint (E) για την Τεχνολογία της Αναερόβιας Χώνευσης.
3. Υπολογισμός επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία με βάση τους αλγόριθμους ILCD, eco-indicator 99 (E) και ReCiPe Endpoint (E) για την Τεχνολογία της Κομποστοποίησης.
4. Υπολογισμός επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία με βάση τους αλγόριθμους ILCD, eco-indicator 99 (E) και ReCiPe Endpoint (E) για την Τεχνολογία της Αναερόβιας Χώνευσης.
5. Υπολογισμός ενεργειακού αποτυπώματος με βάση τους αλγόριθμους ILCD, eco-indicator 99 (E) και ReCiPe Endpoint (E) για την Τεχνολογία της Κομποστοποίησης.
6. Υπολογισμός ενεργειακού αποτυπώματος με βάση τους αλγόριθμους ILCD, eco-indicator 99 (E) και ReCiPe Endpoint (E) για την Τεχνολογία της Αναερόβιας Χώνευσης.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής αποτελεί το βασικό εργαλείο για την επίτευξη των στόχων της Διπλωματικής Εργασίας, διότι μέσω αυτής, θα μπορέσει να αποδοθεί το μέγεθος του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος των μεθόδων επεξεργασίας -κομποστοποίησης

& αναερόβιας χώνευσης - των αστικών στερεών αποβλήτων. Συνολικά, μέσα από την Ανάλυση Κύκλου ζωής πραγματοποιείται η αξιολόγηση του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος τέτοιων αποβλήτων, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της κάθε μεθόδου, η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους, καθώς και η εκτίμηση της βαρύτητας του αποτυπώματός τους.

Καινοτομία

Η καινοτομία της παρούσας μελέτης έγκειται στην διερεύνηση της συγκριτικής αποτύπωσης των δύο μεθόδων βιολογικής επεξεργασίας - διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων, της Κομποστοποίησης και της Αναερόβιας Χώνευσης, ώστε να αναδειχθεί το ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμά τους.

Το πρόγραμμα **openLCA** που επιλέχθηκε για την ανάλυση του κύκλου ζωής των αστικών στερεών αποβλήτων και τον υπολογισμό του ενεργειακού και του περιβαλλοντικού αποτυπώματός τους, είναι **openLCA**, το οποίο δημιουργήθηκε το 2007 από την Green Delta και συνεπώς είναι δοκιμασμένο με έγκυρα αποτελέσματα, εκτός της πρωτοτυπίας που προσδίδει στην έρευνα καθώς αποτελεί ένα εργαλείο – λογισμικό ανοικτού κώδικα – για την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA), θεωρείται μέχρι στιγμής και το καταλληλότερο πρόγραμμα για την συλλογή και επεξεργασία δεδομένων LCA ως προς την βιωσιμότητα αυτών των μεθόδων, στο παγκόσμιο γίνεσθαι της διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων.

Δομή

Δομικά η εργασία διακρίνεται σε δύο κύρια μέρη.

Το θεωρητικό μέρος είναι αφιερωμένο στην θεωρητική ανάλυση και απόδοση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, των τεχνολογιών διαχείρισης αυτών, ήτοι της Κομποστοποίησης και της Αναερόβιας Χώνευσης, της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment) και του υπολογισμού του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος από τη διαχείριση στερεών αστικών αποβλήτων.

Στο ειδικό μέρος της εργασίας θα αναλυθούν σε επιμέρους κεφάλαια η Μεθοδολογία των Υπολογισμών (σκοπός, ανάλυση πλαισίου μελέτης, μεταφορά, διαλογή αποβλήτων, άλεση αποβλήτων, κομποστοποίηση, αναερόβια χώνευση), τα Αποτελέσματα των Υπολογισμών του Ενεργειακού & Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος μέσα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής των Διαδικασιών της Κομποστοποίησης και της Αναερόβιας Χώνευσης, ακολουθεί η Συγκριτική των Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης, με την Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης – με τρεις Αλγόριθμους – ILCD, eco-indicator 99 (E) και ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014].

Η εργασία ολοκληρώνεται με την τελική Συγκριτική Ανάλυση των Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης, τη διεξαγωγή συμπερασμάτων, την καταγραφή των περιορισμών της μελέτης και την παράθεση προτάσεων για περαιτέρω πιθανή μελλοντική έρευνα.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Αστικά Στερεά Απόβλητα

1.1 Ορισμός & Τυπολογία Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Αστικά – Κοινοτικά)

Ο εννοιολογικός προσδιορισμός των **Στερεών Αποβλήτων** καθορίζει αυτά ως στερεά υλικά της καθημερινής χρήσης – στο σπίτι, στη βιομηχανία και στο εμπόριο – από το κάθε άτομο τα οποία επιθυμεί ή και επιβάλλεται να απορρίψει (Ν. 4819/2021, ΦΕΚ 129/Α` 23.7.2021).

Τι περαιτέρω ορίζει μία ουσία ως ένα απόβλητο; Ένα απόβλητό πέρα από τις ιδιότητες της ίδια της ουσίας από την οποία αποτελείται επηρεάζεται από ένα σύνολο παραγόντων όπως το νομοθετικό πλαίσιο της απόρριψής του, το οικονομικό κόστος αυτής αλλά και από το γενικότερο οικονομικό περιβάλλον το οποίο προσδιορίζει την αξία του ανάλογα με γεωγραφικά και χρονικά κριτήρια (Ιωαννίδης, Μπαλτζώης & Παπαθανασίου, 2009).

Τυπολογικά τα **Απόβλητα** διακρίνονται ως εξής (Ν. 4819/2021, ΦΕΚ 129/Α` 23.7.2021, Feng, Zheng & Chen, 2017, Kamarehie et al., 2020):

1. **Αστικά Απόβλητα (Απορρίμματα).** Τα **Αστικά Απόβλητα** (Household) περιλαμβάνουν τα **Οικιακά Απόβλητα** και τα **Προσαρμοσμένα Οικιακά Απόβλητα** ή **Κοινοτικά** (Municipal) (απόβλητα από εμπορικά καταστήματα, απόβλητα ιδρυμάτων όπως σχολείων και δημοσίων κτιρίων, απόβλητα καθαρισμού πάρκων και δρόμων και απόβλητα βιοτεχνίας) τα οποία θεωρούνται μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα. Τα αστικά απόβλητα οποία διακρίνονται από πολλαπλές ομαδοποιήσεις υλικών, τις εξής:
 - ✓ Αδρανή: Χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα (π.χ. χώματα, πέτρες)
 - ✓ Γυαλί
 - ✓ Δέρμα, ξύλο, λάστιχο, προϊόντα κλωστοϋφαντουργίας
 - ✓ Ζυμώσιμα: Τροφικά υπολείμματα, υπολείμματα κουζίνας και απόβλητα κήπου
 - ✓ Μέταλλα: Υλικά από σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα
 - ✓ Μπαταρίες
 - ✓ Πλαστικό: Πολυμερή απορρίμματα (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET)
 - ✓ Χαρτί: Χάρτινες συσκευασίες, έντυπα και χάρτινα απορρίμματα.
 - ✓ Ανάμεικτα απόβλητα και απόβλητα από πηγές που ομοιάζουν ως προς τη φυσική σύσταση και τη σύνθεση με τα οικιακά απόβλητα.
 - ✓ Λοιπά υλικά που δε κατατάσσονται σε μια από τις παραπάνω υποομάδες π.χ. απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, απόβλητα ηλεκτρικών στηλών, ογκώδη απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων στρωμάτων και επίπλων.

Εδώ, σημειώνεται πως στα αστικά απόβλητα δεν περιλαμβάνονται απόβλητα παραγωγής, γεωργίας, δασοκομίας, αλιείας, σηπτικών δεξαμενών και απόβλητα από δίκτυα αποχέτευσης και επεξεργασίας αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της ύλης καθαρισμού λυμάτων, οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους ή απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις.

2. **Βιομηχανικά απόβλητα.** Τα βιομηχανικά απόβλητα διακρίνονται σε:

- ✓ **Επικίνδυνα Απόβλητα.** Επικίνδυνα απόβλητα (hazardous) αποτελούν όσα εμπεριέχουν ύλες που χαρακτηρίζονται ως τοξικές, εκρηκτικές, εύφλεκτες, καρκινογόνες, ραδιενεργές, ερεθιστικές και μεταλλαξιογόνες, και ύλες που δύναται να μολύνουν το νερό (επιφανειακά ή υπόγεια), τον αέρα και το υπέδαφος. Αναφέρονται τα απόβλητα που εμφανίζουν μία ή περισσότερες από τις επικίνδυνες ιδιότητες που αναφέρονται στο Παράρτημα ΙΙΙ του Μέρους Β' Ν. 4819/2021 (ΦΕΚ 129/Α' 23.7.2021) και ειδικότερα δεν αποδομούνται στο φυσικό περιβάλλον, μπορούν να αποβούν επικίνδυνα για την ζωή των ανθρώπων και των ζώων και δυνητικά μπορούν να είναι καταστροφικά για το περιβάλλον. Παραδείγματα αυτών θεωρούνται τα προϊόντα καθαρισμού, τα προϊόντα αυτοκινήτων, τα ζιζανιοκτόνα κ.ά.. Οι κύριες κατηγορίες επικίνδυνων αποβλήτων είναι:

- i. *Βιομηχανικά απόβλητα από κλάδους μεταλλουργίας, διύλισης αργού πετρελαίου και παραγωγής χημικών προϊόντων και λιπασμάτων.*
- ii. *Νοσοκομειακά απόβλητα*
- iii. *Πολυχλωροδιφαινύλια και πολυχλωροτριφαινύλια*
- iv. *Συσσωρευτές μόλυβδου και ηλεκτρικές στήλες*
- v. *Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια*

- ✓ **Μη Επικίνδυνα Απόβλητα.** Ως Στερεό Μη Επικίνδυνο Απόβλητο θεωρείται μια ουσία ή υλικό που ανήκει στα απόβλητα ως αυτά ορίζονταν από την ΙΑ και ΙΒ της ΚΥΑ 50910/2003 και αντικαταστάθηκε από το άρθρο 95 παρ. β του Ν. 4685/2020 - ΦΕΚ 92/Α/7-5-2020 «Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», το οποίο ο κάτοχος του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει. Ειδικότερα, κατηγορίες **Μη Επικίνδυνων Αποβλήτων** σύμφωνα με το Παράρτημα ΙΑ, ΚΥΑ 50910/2003:

- i. *Κάθε ύλη, ουσία ή προϊόν του οποίου η χρήση απαγορεύεται από το νόμο.*
- ii. *Μη χρησιμοποιήσιμα στοιχεία (πχ άδειες ηλεκτρικές στήλες, εξαντλημένοι καταλύτες).*
- iii. *Ουσίες που έχουν γίνει ακατάλληλες προς χρήση (πχ ρυπασμένα οξέα, μολυσμένοι διαλύτες, εξαντλημένα άλατα βαφής μετάλλων).*
- iv. *Προϊόντα μη σύμφωνα με τα πρότυπα.*

- v. Προϊόντα που δεν έχουν υπερβεί το όριο διατήρησής τους.
- vi. Προϊόντα που δεν μπορούν να χρησιμεύσουν στον κάτοχό τους (πχ απορρίμματα γεωργίας, κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων, εργαστηρίων).
- vii. Ρυπασμένες ύλες ουσίες ή προϊόντα που προέρχονται από δραστηριότητες αποκατάστασης.
- viii. Ρυπασμένη ύλη (πχ. έλαιο που έχει ρυπανθεί από πολυχλωριωμένο διφαινύλιο (PCB)).
- ix. Ύλες που έχουν κατά τύχη εκχυθεί ή για τις οποίες έχει σημειωθεί κάποιο περιστατικό, συμπεριλαμβανομένου κάθε είδους εξοπλισμού ο οποίος έχει ρυπανθεί εξ' αιτίας του περιστατικού.
- x. Ύλες που έχουν μολυνθεί ή ρυπανθεί (πχ υπολείμματα εργασιών καθαρισμού, υλικά συσκευασίας, περιέκτες).
- xi. Υπολείμματα βιομηχανικών μεθόδων (πχ σκωρίες, υποστήματα απόσταξης).
- xii. Υπολείμματα εξόρυξης και προετοιμασίας πρώτων υλών (πχ υπολείμματα μεταλλευτικής ή πετρελαϊκής εκμετάλλευσης).
- xiii. Υπολείμματα κατεργασίας μετάλλων (πχ ρινίσματα τórνευσης ή φραζαρίσματος).
- xiv. Υπολείμματα μεθόδων για την καταπολέμηση της ρύπανσης (πχ ιλύς πλυσίματος αερίων, σκόνες φίλτρων αέρος, φθαρμένα φίλτρα).
- xv. Υπολείμματα παραγωγής ή κατανάλωσης που δεν διευκρινίζονται παρακάτω.
- xvi. Κάθε ουσία, ύλη ή προϊόν τα οποία δεν καλύπτονται από τις προαναφερόμενες κατηγορίες.

Επιπλέον, κατηγορίες Μη Επικίνδυνων Αποβλήτων σύμφωνα με το Παράρτημα IB Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ) (Απόφαση 2001/118/ΕΚ)¹, είναι οι εξής:

- i. Απόβλητα που προκύπτουν, από εξερεύνηση, εξόρυξη, εργασίες λατομείου, φυσική και χημική επεξεργασία ορυκτών
- ii. Απόβλητα από γεωργία, κηπευτική, υδατοκαλλιέργεια, δασοκομία, θήρα και αλιεία, προετοιμασία και επεξεργασία τροφίμων
- iii. Απόβλητα από την κατεργασία ξύλου και την παραγωγή ταμπλάδων και επίπλων, καθώς και πολλού χαρτιών και χαρτονιών

¹ Ο ΕΚΑ αναφέρεται στις κατηγορίες των αποβλήτων που περιγράφονται στο Παράρτημα ΙΑ. Ο ΕΚΑ είναι ένας εναρμονισμένος, μη εξαντλητικός Κατάλογος αποβλήτων δηλαδή κατάλογος ο οποίος μπορεί σε τακτά διαστήματα να αναθεωρείται ή εάν είναι απαραίτητο να ανασκευάζεται καθώς και να προσαρμόζεται στην επιστημονική και τεχνική πρόοδο σύμφωνα με τη διαδικασία του Άρθρου 18 της οδηγίας 91/156/ΕΟΚ

- iv. Απόβλητα από τις βιομηχανίες δέρματος, γούνας και υφαντουργίας
- v. Απόβλητα από τη διύλιση πετρελαίου, τον καθαρισμό φυσικού αερίου και την πυρολυτική επεξεργασία άνθρακα
- vi. Απόβλητα από ανόργανες χημικές διεργασίες
- vii. Απόβλητα από οργανικές χημικές διεργασίες
- viii. Απόβλητα από την παραγωγή, διαμόρφωση, προμήθεια και χρήση (ΠΔΠΧ) επικαλύψεων (χρώματα, βερνίκια και σμάλτο, γάλου), κολλών, στεγανωτικών και τυπογραφικών μελανών
- ix. Απόβλητα από τη φωτογραφική βιομηχανία
- x. Απόβλητα από θερμικές επεξεργασίες
- xi. Απόβλητα από τη χημική επιφανειακή επεξεργασία και την επικάλυψη μετάλλων και άλλων υλικών υδρομεταλλουργία μη σιδηρούχων μετάλλων
- xii. Απόβλητα από τη μορφοποίηση και τη φυσική και χημική επιφανειακή επεξεργασία μετάλλων και πλαστικών
- xiii. Απόβλητα ελαίων και απόβλητα υγρών καυσίμων (εκτός βρωσίμων ελαίων)
- xiv. Απόβλητα από οργανικούς διαλύτες, ψυκτικές ουσίες και προωθητικά
- xv. Απόβλητα από συσκευασίες απορροφητικά υλικά, υφάσματα σκουπίσματος, υλικά φίλτρων και προστατευτικό ρουχισμό μη προδιαγραφόμενα άλλως
- xvi. Απόβλητα μη προδιαγραφόμενα άλλως στον κατάλογο
- xvii. Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (περιλαμβανομένου χρώματος εξορυγμένου από μολυσμένες περιοχές)
- xviii. Απόβλητα από την υγειονομική περίθαλψη ανθρώπων ή ζώων ή/και από σχετικές έρευνες (εξαιρούνται απόβλητα κουζίνας και εστιατορίων που δεν προκύπτουν άμεσα από το σύστημα υγείας)
- xix. Απόβλητα από τις μονάδες διαχείρισης αποβλήτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων υδάτων εκτός σημείου παραγωγής και υδάτων βιομηχανικής χρήσεως
- xx. Δημοτικά απόβλητα (οικιακά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα), περιλαμβανομένων μερών χωριστά συλλεγόντων

3. **Ιατρικά Απόβλητα.** Σύμφωνα με τον ΠΟΥ, τα **Ιατρικά Απόβλητα** περιλαμβάνουν τα **Νοσοκομειακά** (Οικιακού Τύπου, Επικίνδυνα και Ειδικά Ιατρικά) και τα **Λοιπά Απόβλητα** τα οποία ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες (Μπιλάλη & Γαλάνης, 2019):

- ✓ Αιχμηρά απόβλητα (σύριγγες, νυστέρι, βελόνες κ.ά.)

- ✓ Κυτταροτοξικά απόβλητα (κυτταροτοξικά φάρμακα κατά του καρκίνου κ.ά.)
- ✓ Μολυσματικά απόβλητα που έχουν μολυνθεί με παθογόνους μικροοργανισμούς, (π.χ. αίμα, βιολογικά υγρά, καθετήρες, γάζες, επίδεσμοι κ.ά.)
- ✓ Οικιακά απόβλητα, τα μη επικίνδυνα απόβλητα που δεν περιλαμβάνουν βιολογικούς, χημικούς, ραδιενεργούς ή άλλους επικίνδυνους για την ανθρώπινη υγεία παράγοντες
- ✓ Παθολογικά απόβλητα (ανθρώπινους ιστούς, όργανα και υγρά ή μολυσμένα πτώματα ζώων)
- ✓ Ραδιενεργά απόβλητα (προϊόντα μολυσμένα από ειδικά ραδιενεργά φάρμακα από διαγνωστικούς ή θεραπευτικούς σκοπούς)
- ✓ Φαρμακευτικά απόβλητα (φάρμακα και εμβόλια)
- ✓ Χημικά απόβλητα (διαλύτες, αντιδραστήρια, απολυμαντικές ουσίες κ.ά.)

1.2 Ιδιότητες Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Οι **ιδιότητες** των **Αστικών Στερεών Αποβλήτων** διακρίνονται στις εξής (Παναγιωτακόπουλος, 2002, Σκορδίλης, 2006):

- i. **Φυσικές Ιδιότητες.** Οι φυσικές διεργασίες μετατροπής των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αστικών στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει τον Διαχωρισμό συστατικών, τη Μείωση όγκου και τη Μηχανική μείωση μεγέθους, με τρεις αντίστοιχες μεθόδους τη χειροδιαλογή ή μηχανικό διαχωρισμό που κατευθύνει σε πιο ομογενές προϊόν την Εφαρμογή ενέργειας (πίεση) συχνά από τα οχήματα συλλογής και Εφαρμογή ενέργειας (άλεση, τεμαχισμός, πολτοποίηση) με αντίστοιχα προϊόντα τα Επί μέρους συστατικά, την Διαφοροποιημένη σύσταση και το απομειωμένο μέγεθος. Οι φυσικές ιδιότητες των αστικών στερεών αποβλήτων είναι οι εξής:
 - ✓ **Κοκκομετρία** ή υπολογισμός του μεγέθους των αστικών στερεών αποβλήτων γίνεται χρήση διαφόρων μονάδων μέτρησης όπως το μήκος, η μέση τιμή του μήκους, το πλάτος, ή η τετραγωνική ρίζα του μήκους επί του πλάτους. Η κοκκομετρία των αστικών στερεών αποβλήτων είναι εκείνη που καθορίζει την επιτυχή κατάληξη των διαδικασιών αναφορικά με καύση, συμπίεση, κομποστοποίηση, μηχανική διαλογή και ανάκτηση υλικών.
 - ✓ **Πυκνότητα** (ή ειδικό βάρος). Με την πυκνότητα (πηλίκο μάζας υλικού προς όγκο αυτού) ή με την μονάδα ειδικού βάρους (τόνοι ανά κυβικό μέτρο) καθορίζονται οι συνδυασμοί βάρους και όγκου και ειδικά στα αστικά στερεά απόβλητα διαμορφώνονται ανάλογα με το στάδιο διαχείρισής τους.
 - ✓ **Υγρασία.** Η υγρασία στα αστικά στερεά απόβλητα αποτελεί έναν προσδιοριστικό παράγοντα για την καύση τους και την παραγωγή ατμού ή/και ηλεκτρικής ενέργειας καθώς η εξάτμιση του νερού πραγματοποιείται πριν την εφαρμογή της

θερμικής κατεργασίας όπως επίσης σημαντική είναι και η τεχνολογία διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων όπως για παράδειγμα η περίπτωση χρήσης κομποστοποίησης σε έναν ΧΥΤΑ, όπου και είναι δεδομένες οι αναερόβιες συνθήκες².

- ✓ **Υδραυλική Αγωγιμότητα.** Η υδραυλική αγωγιμότητα ενός αστικού στερεού αποβλήτου προσδιορίζεται ως ένα μέγεθος της ταχύτητας διαπέρασης του νερού μέσα από το υλικό (μήκος ανά μονάδα χρόνου) η οποία και υπολογίζεται σε περιβάλλον εργαστηρίου σε ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και πιεζομετρικού ύψους.
- ✓ **Υδροαπορροφητικότητα.** Η υδροαπορροφητικότητα των αστικών στερεών αποβλήτων συναρτάται από τη σύνθεση, το βαθμό συμπίεσης και την ποσόστωση της βιοαποδόμησης των οργανικών συστατικών τους. Η ολική υγρασία που είναι δυνατό να συγκρατηθεί από τα αστικά στερεά απόβλητα σε κανονικές συνθήκες βαρύτητας είναι 50 έως 60% (% επί του «ξηρού βάρους»).

ii. **Χημικές Ιδιότητες:** Τα γνωρίσματα των αστικών στερεών αποβλήτων αναφορικά με την χημική διακριτική δυναμική τους αναφέρονται στην θερμογόνο δύναμη του οργανικού κλάσματος αυτών η οποία προσδιορίζεται ως η θερμότητα (θερμική ενέργεια) που παράγεται μετά από την ολική καύση τους με το τελικό προϊόν αυτής, την τέφρα (αδρανές υπόλειμμα), ως ένα τελικό ποσοστό της συνολικής μάζας του υλικού που απέμεινε. Η μέγιστη και η ελάχιστη θερμογόνο δύναμη μετράται ως η θερμότητα που προκύπτει από την ολική καύση του υλικού με τη χρήση θερμιδόμετρου (bomb calorimeter). Οι χημικές διεργασίες μετατροπής των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αστικών στερεών αποβλήτων της καύσης, της πυρόλυσης και της αεριοποίησης πραγματοποιούνται με Θερμική οξείδωση, Καταστροφική απόσταξη και Μερική καύση σε αέρια, αντίστοιχα, αποδίδοντας O₂, SO₂, προϊόντα οξείδωσης, στάχτη, Αέριο ρεύμα, πίσσα, έλαια, άνθρακας, και οξικό οξύ - ακετόνη - μεθανόλη, αέριο χαμηλής θερμικής ισχύος, άνθρακας και πυρολυτικά έλαια αντίστοιχα.

iii. **Βιολογικές Ιδιότητες:** Οι βιολογικές ιδιότητες των αστικών στερεών αποβλήτων είναι οι εξής:

- i. **Βιοαποικοδόμηση ή Βιοδιάσπαση ή Βιοσταθεροποίηση** της οργανικής ύλης των αστικών στερεών αποβλήτων. Τα αστικά στερεά απόβλητα διακρίνονται από βιοαποδομησιμότητα τμήματος τους οργανικού κλάσματός τους το οποίο μετά από βιολογικές διαδικασίες μετατρέπεται σε αέρια και σε αδρανή οργανικά και ανόργανα στερεά. Οι διεργασίες μπορεί να είναι αναερόβιες (με έλλειψη οξυγόνου) όπου και προκύπτουν οσμές και αναπτύσσονται έντομα ή και αερόβιες (με χρήση οξυγόνου) όπου και προκύπτει ένα άοσμο, σταθεροποιημένο, στερεό υλικό, το compost, το οποίο διακρίνεται για την υψηλή περιεκτικότητά του σε οργανική ύλη, υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, έλαια, ημικυτταρίνη, κεριά, κυτταρίνη,

² Το περιεχόμενο σε υγρασία δίνεται από την σχέση $M = 100(w-d)/w$, όπου w : το αρχικό βάρος δείγματος, και d : βάρος μετά από ξήρανση στους 105°C. Τυπικά το περιεχόμενο σε υγρασία ποικίλει από 15 - 40%

λιγνίνη, λιγνοκυτταρίνη, λίπη και υδατοδιαλυτά στοιχεία (σάκχαρα, άμυλα, αμινοξέα, οργανικά οξέα). Εδώ σημειώνεται πως η βιοαποικοδόμηση διαμορφώνεται με διαφορετικό ρυθμό ανάλογα με το απόβλητο. Παραδειγματικά αναφέρεται πως το βιοαποδομήσιμο κλάσμα³ των τροφικών υπολειμμάτων είναι διπλάσιο του αντίστοιχου βιοαποδομήσιμου κλάσματος ενός χαρτονιού.

- ii. **Οσμές.** Η βιολογική διεργασία των αποβλήτων, μέσω αερόβιας λιπασματοποίησης, αναερόβιας χώνευσης ή αναερόβιας λιπασματοποίησης σε χωματερές που πραγματοποιείται με Αερόβια βιομετατροπή, Αναερόβια βιοδιεργασία και Αναερόβια βιοδιεργασία με αντίστοιχα προϊόντα Κομπόστ (εδαφοβελτιωτικό), Βιοαέριο, ιχνοστοιχεία αερίων, λάσπη και Βιοαέριο, χωνευμένο απόβλητο, συνεπάγεται την παραγωγή οσμών στο περιβάλλον συλλογής των αστικών στερεών αποβλήτων. Η ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασίας διαμορφώνει ένα περιβάλλον κατάλυσης που μεγεθύνει τη βιοαποδόμηση με επακόλουθο την αποδέσμευση δυσάρεστων οσμών, οι οποίες προκύπτουν από τις ενώσεις του θείου, όπως το υδρόθειο.
- iii. **Ανάπτυξη εντόμων.** Η εκκίνηση της βιοαποδόμησης των αστικών στερεών αποβλήτων διαμορφώνεται σε χρονικό διάστημα 9 – 11 ημερών και ενδεικτικό αυτού του σταδίου είναι η ανάπτυξη εντόμων (πχ. κοινή μύγα).

1.3 Διαχειριστική Προσέγγιση Αστικών Στερεών Αποβλήτων

1.3.1 Θεσμικό Πλαίσιο Διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων

1.3.1.1 Εθνική Νομοθεσία

Το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων αποτελείται από την εκάστοτε Εθνική και Κοινοτική νομοθετική προσέγγιση. Η νομοθεσία στην χώρα μας ενσωματώνει κάθε φορά τις ευρωπαϊκές Οδηγίες που διέπουν τη διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων.

Η Εθνική νομοθεσία περιλαμβάνει πλήθος νομοθετικών πλαισίων, των εξής:

1. Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΠΠΑ/99398/6484/2020 (ΦΕΚ 4656/Β' 22.10.2020). «Τροποποίηση της υπό στοιχεία ΔΠΠΑ/οικ 37674/27-7-2016 (Β' 2471) απόφασης του Υπουργού Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής «Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων και

³ Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα (biodegradable fraction) του οργανικού μέρους των οικιακών στερεών απορριμμάτων μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την εμπειρική σχέση: $BF = 0,83 - 0,028 LC$, όπου BF = βιοαποδομήσιμο κλάσμα εκφρασμένο με βάση τα πτητικά στερεά, LC = περιεκτικότητα σε λιγνίνη, εκφρασμένη ως ποσοστό του ξηρού βάρους.

δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες, σύμφωνα με την παρ. 4 του άρθρου 1 του ν. 4014/2011 (Α' 209)», ως προς την κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων της 4^{ης} Ομάδας «Συστήματα περιβαλλοντικών υποδομών»

2. Ν. 4566/2018 (ΦΕΚ 175/Α' 8.10.2018). Ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία της Οδηγίας 2015/637/ΕΕ του Συμβουλίου της 20^{ης} Απριλίου 2015 (ΕΕL 106/24.4.2015) και άλλες διατάξεις
3. Εγκ. 2324.1/66987/18/2018 (ΦΕΚ /-- 12.9.2018). Μεταφορά αστικών στερεών αποβλήτων με πλοία
4. Ν. 4555/2018 (ΦΕΚ 133/Α' 19.7.2018). ... - Ρυθμίσεις για τον εκσυγχρονισμό του πλαισίου οργάνωσης και λειτουργίας των Φορέων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Φο.Δ.Σ.Α) - ...
5. Ν. 4532/2018 (ΦΕΚ 63/Α' 5.4.2018). Ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία της Οδηγίας (ΕΕ) 2015/1794 και άλλες διατάξεις
6. Υ.Α. οικ. 62952/5384/2016 (ΦΕΚ 4326/Β' 30.12.2016). Έγκριση Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων (ΕΣΔΕΑ), σύμφωνα με το άρθρο 31 του ν. 4342/2015
7. Υ.Α. Οικ. 51373/4684/2015 (ΦΕΚ 2706/Β' 15.12.2015). Κύρωση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) και του Εθνικού Στρατηγικού Σχεδίου Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων
8. Αρ. Πρωτ. 2310/2013 (ΦΕΚ / 26.4.2013). Διαχείριση αποβλήτων (μη επικίνδυνων, επικίνδυνων και επικίνδυνων αποβλήτων υγειονομικών μονάδων): Θεσμικό πλαίσιο – Ρόλοι και αρμοδιότητες εμπλεκόμενων φορέων
9. Αρ. Πρωτ. οικ.33312/4110/2012 (ΦΕΚ / 3.7.2012). Ειδικό Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων (ΕΣΔΕΑΥΜ)
10. Υ.Α. οικ. 146163/2012 (ΦΕΚ 1537/Β' 8.5.2012). Μέτρα και όροι για τη διαχείριση αποβλήτων υγειονομικών μονάδων

Στην χώρα μας η διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων καθορίζεται από το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) το οποίο και διαμορφώνεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και το Υπουργείο Εσωτερικών και Διοικητικής Ανασυγκρότησης και συγκροτεί την πολιτική και στρατηγική προσέγγιση για τη διαχείριση των ρευμάτων των αποβλήτων της Ελλάδας.

Το προϋπάρχον ΕΣΔΑ του 2015 είχε σκοπό την ενσωμάτωση της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ και του Νόμου 4042/2012 και χρονικό ορίζοντα εφαρμογής έως το 2020. Σήμερα, σε ισχύ βρίσκεται το **Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων 2020 - 2030**. Το ΕΣΔΑ 2020 – 2030, χρονικά οριοθετείται από το 2020 έως και το 2030 και έχει διαμορφωθεί με βάση τα άρθρα 22 και 35 του Ν 4042/2012 (Α' 24), όπως αυτά διαφοροποιήθηκαν με το άρθρο 83 του Ν .4685/2020 (Α' 92) και ΕΣΔΑ 2020 - 2030. Επιπλέον, περιλαμβάνει το άρθρου 28 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ και την Οδηγία (ΕΕ) 2018/851 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 30^{ης} Μαΐου 2018, αλλά και της Οδηγίας της ΕΕ «The role of Waste – to – Energy in the circular economy» COM (2017) 34 final/26.01.2017. Το ΕΣΔΑ 2020 - 2030 συγκροτεί την ολιστική σχεδίαση για τη διαχείριση των αποβλήτων που εμπίπτουν στο σχέδιο δράσης της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ. Το ΕΣΔΑ 2020 - 2030 μεριμνά για τη διαχείριση των συσκευασιών και των αποβλήτων συσκευασιών,

βασιζόμενο στο άρθρο 14 της Οδηγίας 94/62/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου. Επίσης, το ΕΣΔΑ 2020 - 2030 ενσωματώνει το άρθρο 5 της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ (L 182) για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων και για τη διαχείριση των Πλαστικών Μιας Χρήσης, με βάση το άρθρο 11 της Οδηγίας (ΕΕ) 2019/904. Επιπροσθέτως, στο ΕΣΔΑ αναφέρονται και τα επικίνδυνα απόβλητα, σαν ξεχωριστό ρεύμα. Επισημαίνεται πως η εκτέλεση του ΕΣΔΑ πραγματοποιείται σε κάθε Περιφέρεια, με βάση τα Περιφερειακά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) τα οποία διαμορφώνονται ανάλογα με την ποσότητα παραγωγής και την ποιοτική σύσταση των αποβλήτων στην εκάστοτε περιφερειακή ενότητα. Φυσικά, και οι ΟΤΑ Α βαθμού οργανώνουν τα Τοπικά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων.

Το ΕΣΔΑ 2020 - 2030 προβλέπει την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων αναφορικά με την διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, ως προς τα εξής (ΥΠΕ, 2020):

1. Διαμόρφωση της πολιτικής διαχείρισης των ΑΣΑ ώστε η χώρα μας να μεταβεί στην **κυκλική οικονομία** όπως και το σύνολο των χωρών της ΕΕ έως το 2050, σύμφωνα με την οποία τα προϊόντα / αγαθά θα πρέπει να διαμορφώνονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το τελικό απόβλητο και να υπάρχει η δυνατότητα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά ή και να ανακυκλωθούν, διατηρώντας τους φυσικούς πόρους. Φυσικά η μετάβαση στην κυκλική οικονομία απαιτεί επιπλέον, έναν εποικοδομητικό διάλογο με την κοινωνία των πολιτών και ενημέρωση αυτών μέσω οδηγιών, μελετών και τεχνικών εκθέσεων ώστε να ενστερνιστούν τη φιλοσοφία της.
2. Δημιουργία ενός σύγχρονου δικτύου υποδομών διαχείρισης αποβλήτων που να λειτουργεί με γνώμονα τις καλύτερες μεθόδους ώστε να διασφαλίζεται η εγγύτητα, η αυτάρκεια και η ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ και των υπολειμμάτων τους.
3. Υποχρεωτική διακριτή συγκέντρωση ανακυκλώσιμων υλικών και βιοαποβλήτων έως το τέλος του 2022.
4. Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση όλων των ΑΣΑ κατά 55% κατά βάρος έως το 2025 και 60% κατά βάρος έως το 2030.
5. Κατεργασία των εναπομεινάντων αποβλήτων σε Μονάδες Επεξεργασίας Αποβλήτων.
6. Σχηματισμός διασύνδεσης Μονάδων Ενεργειακής Αξιοποίησης από υπολείμματα επεξεργασίας αποβλήτων ή/και από εναλλακτικά καύσιμα.
7. Μείωση της υγειονομικής ταφής στο 10% έως το 2030.
8. Αύξηση ανακύκλωσης Αποβλήτων Συσκευασιών στο 65% κατά βάρος έως το 2025 και στο 70% κατά βάρος έως το 2030.
9. Διασφάλιση ασφάλειας στην καταληκτική διάθεση σε ΧΥΤΑ / ΧΥΤΥ σε όλη την χώρα.
10. Τελικό αποκλεισμός και τακτοποίηση των υφιστάμενων ΧΑΔΑ έως το 2022.
11. Σχηματισμός κινήτρων και αντισταθμιστικών μέτρων αναφορικά με την διαχείριση των ΑΣΑ
12. Παρότρυνση χρήσης χρηματοδοτικών / χρηματοοικονομικών μεθοδολογιών και «πράσινων» προμηθειών στη διαχείριση των ΑΣΑ.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως στην χώρα μας ο συντελεστής παραγωγής ΑΣΑ για τον μόνιμο πληθυσμό το 2019 εκτιμήθηκε στα 2,04 κιλά ΑΣΑ ανά άτομο ανά ημέρα και σε 514 κιλά ανά άτομο το χρόνο. Επίσης, αναφορικά με τον εποχικό πληθυσμό ο συντελεστής εκτιμήθηκε σε 1,8 κιλά ΑΣΑ ανά άτομο ανά ημέρα και σε 657 κιλά ανά άτομο το χρόνο. Τα συνολικά παραγόμενα

ΑΣΑ από το μόνιμο και εποχικό πληθυσμό (σε τόνους, t), κυμάνθηκαν από 5.523.809 τόνους το 2018 σε μια πρόβλεψη στους 5.301.499 τόνους για το 2030 (ΥΠΕ, 2020).

Ειδικότερα, η ποιοτική σύσταση των 5.627.158 τόνων ΑΣΑ για το έτος 2019, προέκυψε ως εξής (ΥΠΕ, 2020):

1. Οργανικό κλάσμα 42,6%* (2.397.803 τ)**
2. Χαρτί - Χαρτόνι 24,2% (1.361.139 τ)
3. Πλαστικά 13,9% (782.847 τ)
4. Μέταλλα 3,7% (210.366 τ)
5. Γυαλί 4,1% (231.241 τ)
6. Ξύλο 3,6% (201.528 τ)
7. Λοιπά 7,9% (442.233 τ)
8. Σύνολο 100,0% (5.627.158 τ)

(*Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ (%), ** Ποσότητες (t))

1.3.1.2 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Η νομοθεσία σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχει λάβει μια διαφορετική κατεύθυνση αναφορικά με τη διαχείριση των ΑΣΑ στις μέρες μας. Η Ευρώπη κινείται σε μια νέα φιλοσοφία διαχείρισης, εγκαταλείποντας την ξεπερασμένη πολιτική του γραμμικού προτύπου κατευθυνόμενη προς την αναδυόμενη κυκλική οικονομία, η οποία επιτάσσει την καλύτερη σχεδίαση προϊόντων ώστε το τελικό παραγόμενο απόβλητο να είναι ελαχιστοποιημένο, εύκολα επαναχρησιμοποιούμενο, διαφυλάσσοντας το περιβάλλον αλλά και την αποφυγή της σπατάλης των φυσικών πόρων (Ríos & Picazo-Tadeo, 2021). Η κυκλική οικονομία βρίσκεται σε αδιάρρηκτη διασύνδεση με τη διαχείριση των ΑΣΑ καθώς βασίζεται στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, στη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας, στην περιορισμένη εκμετάλλευση του φυσικού πλούτου. Η κυκλική οικονομία θα προσδώσει στην Ευρώπη μια νέα οικονομική κατεύθυνση με νέες θέσεις εργασίας και νέες οικονομικές προκλήσεις αλλά και θα αποτελέσει ένα στάδιο για την μετάβασή της στην πολυπόθητη κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 εφόσον δυνητικά επιτύχει την αποδέσμευση της οικονομικής ανάπτυξής της από την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων (Malinauskaitė et al., 2017, Chioatto & Sospiro, 2022).

Η υιοθέτηση της πολιτικής αναφορικά με την κυκλική οικονομία αποτυπώθηκε σε ένα σύνολο πολιτικών της Ευρώπης όπως το **Πρώτο και Δεύτερο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία**, η **Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία**, η **Στρατηγική για τις Πλαστικές Ύλες**, αλλά και Νομοθετημάτων με τις **4 Οδηγίες «Πακέτου Κυκλικής Οικονομίας»**, την **Οδηγία (ΕΕ) 2019/904 για τα Πλαστικά Μιας Χρήσης** και την **Οδηγία (ΕΕ) 2019/883 για τη Διαχείριση αποβλήτων πλοίων**.

Οι **4 Οδηγίες «Πακέτου Κυκλικής Οικονομίας»** διαμορφώνουν ένα νέο πλαίσιο διαχείρισης ΑΣΑ το οποίο τα κράτη - μέλη είναι δεσμευμένα να ενσωματώσουν στο εθνικό νομοθετικό πλαίσιό τους έως τις 05.07.2020. Ειδικότερα:

1. **Οδηγία (ΕΕ) 2018/850 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30^{ης} Μαΐου 2018**, για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων. Επιδιώκεται η μείωση της ποσότητας των ΑΣΑ στους χώρους υγειονομικής ταφής κατά 10% ή λιγότερο και η θέσπιση κινήτρων για την αποτροπή της χρήσης της ταφής και την στροφή στην κυκλική οικονομία.
2. **Οδηγία (ΕΕ) 2018/851 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30^{ης} Μαΐου 2018**, για την τροποποίηση της οδηγίας 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα. Η παρούσα Οδηγία μεταβάλλει την Οδηγία 2008/98/ΕΚ ώστε να διαμορφώσει μια μεθοδολογία διαχείρισης των αποβλήτων που μέσα από εργαλεία και υποχρεώσεις όλων των εμπλεκόμενων να κατορθώσει την υιοθέτηση της κουλτούρας της κυκλικής οικονομίας. Η Οδηγία καθιστά σαφή την ευρεία υπαιτιότητα παραγωγού, ο «ο ρυπαίνων πληρώνει», την διακριτή συλλογή θαλάσσιων απορριμμάτων και των επικίνδυνων απόβλητων από νοικοκυριά, την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης ΑΣΑ 65% κ.β. έως το 2035, με αναγνώριση της δυσκολίας επίτευξης του στόχου αυτού εξαιτίας των ανεπαρκών υποδομών σε πολλές χώρες όπως και στην Ελλάδα, με πενταετή ελαστικότητα ως προς την επίτευξή τους.
3. **Οδηγία (ΕΕ) 2018/852 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30^{ης} Μαΐου 2018**, για τροποποίηση της Οδηγίας 94/62/ΕΚ για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας. Η παρούσα Οδηγία μεταβάλλει την Οδηγία 94/62/ΕΚ αναφορικά με τις συσκευασίες των απορριμμάτων και εισάγει την επαναχρησιμοποίησή τους και προωθεί την αναγκαιότητα της ανακύκλωσής τους κατά 65% έως το 2025 και έως 70% έως το 2030.
4. **Απόφαση (ΕΕ) 2018/853 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30^{ης} Μαΐου 2018**, για την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 1257/2013 και των οδηγιών 94/63/ΕΚ και 2009/31/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και των οδηγιών 86/278/ΕΟΚ και 87/217/ΕΟΚ του Συμβουλίου όσον αφορά τους διαδικαστικούς κανόνες στον τομέα των περιβαλλοντικών εκθέσεων, καθώς και για την κατάργηση της οδηγίας 91/692/ΕΟΚ του Συμβουλίου

Σημειώνεται εδώ πως η ευρωπαϊκή στρατηγική για την κυκλική οικονομία έχει ως απώτερους στόχους την περιβαλλοντική προαγωγή, τη μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων, την δημιουργία επενδύσεων σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας, αύξηση της απασχόλησης και μακροχρόνια οικονομική ανάπτυξη και ανταγωνιστικότητα της Ευρώπης (Colazo et al., 2015, Farmer, 2020). Η κυκλική οικονομία βασίζεται στην βιώσιμη διαχείριση των πόρων, στην προώθηση της κυκλικής επιχειρηματικότητας και κατανάλωσης και περιφρονείται από ένα σύνολο ευρωπαϊκών νομοθετημάτων, οδηγιών, πολιτικών, στρατηγικών, σχεδίων δράσης εκθέσεων, έργων και αποφάσεων, τα εξής:

1. **Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών, σχετικά με:**
 - ✓ Ένα νέο σχέδιο δράσης της ΕΕ για την Κυκλική Οικονομία. Για μια πιο καθαρή και πιο ανταγωνιστική Ευρώπη (COM (2020) 98 final)
 - ✓ Ευρωπαϊκή Στρατηγική για τις Πλαστικές Ύλες σε μια Κυκλική Οικονομία (COM (2018) 28 final)

- ✓ Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (COM (2019) 640 final)
 - ✓ Ο ρόλος της παραγωγής ενέργειας από απόβλητα στην κυκλική οικονομία (COM(2017)34 final)
 - ✓ Πλαίσιο παρακολούθησης για την κυκλική οικονομία (COM (2018) 29 final)
 - ✓ Το Κλείσιμο του Κύκλου – Ένα σχέδιο δράσης της ΕΕ για την Κυκλική Οικονομία (COM (2015) 614 final)
 - ✓ Υλοποίηση του σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία (COM (2019) 190 final)
2. Οδηγία (ΕΕ) 2018/849 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση των οδηγιών 2000/53/ΕΚ για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, 2006/66/ΕΚ σχετικά με τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές και τα απόβλητα ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών, και 2012/19/ΕΕ σχετικά με τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.
 3. Οδηγία (ΕΕ) 2018/852 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για τροποποίηση της οδηγίας 94/62/ΕΚ για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασίας.
 4. Οδηγία (ΕΕ) 2019/904 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Ιουνίου 2019, σχετικά με τη μείωση των επιπτώσεων ορισμένων πλαστικών προϊόντων στο περιβάλλον.
 5. Οδηγία (ΕΕ) 2019/883 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 17ης Απριλίου 2019, σχετικά με τις λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής για την παράδοση αποβλήτων από πλοία, για την τροποποίηση της οδηγίας 2010/65/ΕΕ και την κατάργηση της οδηγίας 2000/59/ΕΚ.
 6. Απόφαση (ΕΕ) 2018/853 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 1257/2013 και των οδηγιών 94/63/ΕΚ και 2009/31/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και των οδηγιών 86/278/ΕΟΚ και 87/217/ΕΟΚ του Συμβουλίου όσον αφορά τους διαδικαστικούς κανόνες στον τομέα των περιβαλλοντικών εκθέσεων, καθώς και για την κατάργηση της οδηγίας 91/692/ΕΟΚ του Συμβουλίου.
 7. Έκθεση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών – Σχετικά με την εφαρμογή της νομοθεσίας της ΕΕ για τα απόβλητα, συμπεριλαμβανομένης της έκθεσης έγκαιρης προειδοποίησης για τα κράτη μέλη που κινδυνεύουν να μην επιτύχουν τον στόχο για την προετοιμασία των αστικών αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση/ανακύκλωση (SWD (2018) 418 final).
 8. Οδικός Χάρτης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Ελλάδα στον τομέα της Διαχείρισης των Αποβλήτων - European Commission - Roadmap for Greece «Support to Member States in improving waste management based on assessment of Member States' performance» (070307/2011/606502/SER/C2).

1.3.2 Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων: Στάδια

Η διαχείριση των ΑΣΑ περιλαμβάνει τεχνικές διαδικασίες και μεθόδους οι οποίες κατατάσσονται σε επτά στάδια, τα εξής (Tchobanoglous & Kreith, 2002, 2018, Nanda & Berruti, 2021):

1. **Προσωρινή Αποθήκευση:** Η προσωρινή αποθήκευση αποτελεί την εκκίνηση της διαχείρισης των αποβλήτων και τοποθετείται χρονικά από την στιγμή της παραγωγής τους μέχρι την απόθεσή τους σε έναν χώρο – σε ένα σπίτι ή σε ένα άλλο σημείο συγκέντρωσης – έως ότου λάβει χώρα η συλλογή τους. Παραδείγματα μέσω προσωρινής αποθήκευσης αποβλήτων αποτελούν οι πλαστικοί σάκοι, οι κάδοι, οι τροχήλατοι κάδοι, οι κάδοι τύπου καμπάνας, τα υπόγεια συστήματα απορριμμάτων οι κάδοι κομποστοποίησης και τα απορριμματοκιβώτια.
2. **Συλλογή:** Στο παρόν στάδιο της διαχείρισης πραγματοποιείται συγκέντρωση των αποβλήτων και διάκριση αυτών σε ομάδες με κριτήριο τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των υλικών τους ώστε να ομαδοποιηθούν ή και να συμμειχτούν ώστε να μεταφερθούν.
3. **Μεταφορά:** Η μεταφορά των απορριμμάτων περιλαμβάνει την μετακίνηση των αποβλήτων από τους χώρους συγκέντρωσής τους σε χώρους μεταφόρτωσης, προσωρινής αποθήκευσης αξιοποίησης ή και διάθεσης τους, με χρήση ειδικών οχημάτων – απορριμματοφόρων διαφόρων δυνατοτήτων όπως για παράδειγμα με συστήματα πλύσης, πίεσης, δορυφορικά κ.ά. ώστε να είναι τα πλέον κατάλληλα για την αποτελεσματική μεταφορά των αποβλήτων. Τα απορριμματοφόρα διακρίνονται σε ανοικτά, κλειστά, οπίσθιας, πλάγιας και εμπρόσθιας φόρτωσης και σε πολλαπλών τύπων όπως πρέσας, περιστρεφόμενου τυμπάνου – μύλου, ανατρεπόμενα, πλύσης κάδων απορριμμάτων, πλάγιας αυτόματης φόρτωσης και μεταφοράς απορριμματοκιβωτίων.
4. **Μεταφόρτωση:** Η μεταφόρτωση των αποβλήτων πραγματοποιείται σε περίπτωση που είναι επιτακτική, λόγω απόστασης ή ειδικής ανάγκης, η μεταφορά τους με πολλαπλά μέσα μεταφοράς. Η μεταφόρτωση περιλαμβάνει την μεταφορά των αποβλήτων από ένα μέσο μεταφοράς σε άλλο και πραγματοποιείται σε εξειδικευμένους χώρους σταθμούς μεταφόρτωσης, οι οποίοι είναι μόνιμοι ή κινητού χαρακτήρα όπως και στεγασμένοι, ή υπαίθριοι ή και ημι-υπαίθριοι. Η μεταφόρτωση θεωρείται μια νέα μεταφορά των αποβλήτων προς την εκτέλεση της υπόλοιπης διαδικασίας αξιοποίησης, επεξεργασίας και διάθεσης αυτών.
5. **Αξιοποίηση:** Η αξιοποίηση των ΑΣΑ περιλαμβάνει τις διαδικασίες ώστε να επιλεγεί η ανακύκλωση, η επαναχρησιμοποίηση ή/και η ανάκτηση των υλικών τους ή να παραχθεί ενέργεια από τα απόβλητα. Μεθοδολογίες αξιοποίησης των αποβλήτων είναι οι εξής:
 - ✓ **Μέθοδος διαλογής στη πηγή.** Σύμφωνα με τη μεθοδολογία ανακύκλωσης αυτή τα απόβλητα διακρίνονται με βάση τα χαρακτηριστικά των συστατικών στοιχείων τους στην πηγή παραγωγής τους.
 - ✓ **Μέθοδος μηχανικής διαλογής.** Σύμφωνα με τη μεθοδολογία ανακύκλωσης αυτή τα απόβλητα διακρίνονται με βάση τα χαρακτηριστικά των συστατικών στοιχείων τους με την παρέμβαση μηχανικών μέσων ώστε να επιτευχθεί απομείωση και του όγκου τους.
6. **Επεξεργασία:** Η επεξεργασία των αποβλήτων αποτελεί το σημαντικότερο στάδιο της διαχείρισής τους και περιλαμβάνει πολλαπλές τεχνικές μεθόδους (φυσικές, χημικές,

θερμικές, βιολογικές) οι οποίες αποσκοπούν στο να κατεργαστούν τα απόβλητα και να διαφοροποιήσουν τα συστατικά τους στοιχεία με αποτέλεσμα την μείωση του όγκου τους και την απομάκρυνση των επικίνδυνων συστατικών τους, για να προχωρήσουν στη φάση της διαχείρισής τους ώστε να επιτευχθεί η απόδοση υλικών για επαναχρησιμοποίηση ή την παραγωγή ενέργειας.

7. **Διάθεση:** Η διαχείριση των αποβλήτων ολοκληρώνεται με την τελική τους απόδοση που συνήθως αποτελεί την διάθεσή τους σε χώρους για την υγειονομική ταφή τους.

1.3.3 Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων: Μέθοδοι Επεξεργασίας

Κατά την διαχείριση των ΑΣΑ οι μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων είναι οι ακόλουθες (Παναγιωτακόπουλος, 2007, Gilbert & Wendell, 2018, 2020, Σαββάκης, 2020, Brand & Spencer, 2020):

1. **Θερμική επεξεργασία.** Η θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ περιλαμβάνει την τροποποίησή τους της σύστασής τους, σε προϊόντα στερεής, υγρής ή αέριας δομής, ώστε να αποδεδμευτεί θερμική ενέργεια. Η θερμική επεξεργασία αποσκοπεί στην απομείωση του όγκου των αποβλήτων, στην τροποποίηση των υλικών τους σε μη επιβαρυντικά για το φυσικό περιβάλλον και στην χρήση της εκλυόμενης θερμικής ενέργειας ώστε να παραχθούν ενέργεια και καύσιμη ύλη. Επιμέρους τεχνικές θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ είναι οι εξής:
 - ✓ **Αεριοποίηση (Gasification):** Η αεριοποίηση πραγματοποιείται με επιμέρους καύση των ΑΣΑ με μικρού μεγέθους ποσότητας θερμού αέρα υψηλότερων των $900 - 1100^{\circ}\text{C}$, με σκοπό την απόδοση αερίων όπως τα μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένοι υδρογονάνθρακες.
 - ✓ **Αεριοποίηση Πλάσματος (Plasma Gasification).** Στην παρούσα τεχνική της αεριοποίησης πλάσματος η οποία ομοιάζει με την κύρια τεχνική της αεριοποίησης αλλά τα ΑΣΑ τροποποιούνται διαμέσου του ηλεκτρισμού σε εύφλεκτα αέρια και σε αδρανή υπολείμματα..
 - ✓ **Καύση / Αποτέφρωση (Incineration).** Στην παρούσα τεχνική της καύσης / αποτέφρωσης τα απόβλητα υποβάλλονται σε καύση $850^{\circ} - 1500^{\circ}\text{C}$ ώστε να υπάρξει οξείδωση των συστατικών στοιχείων τους και ο όγκος του δύναται να μειωθεί και κατά 90%, όπως επίσης έχει καταγραφεί ότι αποδίδει πενταπλάσιο ενεργειακό φορτίο αν συγκριθεί με την απόδοση βιοαερίου με την μέθοδο της υγειονομικής ταφής. Σημειώνεται, πως έχει υψηλό οικονομικό κόστος λειτουργίας και παράγονται στερεά υπολείμματα από την καύση (τέφρα) τα οποία και απαιτούνται να ταφούν ώστε να περιοριστούν οι τοξικοί αέριοι ρύποι που εκλύουν. Η Αποτέφρωση, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία COM (2008)19 final. για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθορίζεται ως ενεργειακή ανάκτηση ή διάθεση και ειδικότερα προτείνεται στην περίπτωση της αποτέφρωσης βιολογικών αποβλήτων τα οποία και θεωρεί ως «ανανεώσιμα» καύσιμα και χρήσιμα στην ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
 - ✓ **Πυρόλυση (Pyrolysis).** Στην παρούσα τεχνική της Πυρόλυσης πραγματοποιείται αποσύνθεση των οργανικών στοιχείων των αποβλήτων με μια ενδόθερμη χημική

διαδικασία, με την θέρμανση των αποβλήτων δίχως την παρουσία οξυγόνου σε θερμοκρασίες άνω των 430° C. Κατά την πυρόλυση παράγονται αέρια (υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, κ.ά.), υγρά (καρβοξυλικά οξέα, κετόνες, αλκοόλες, σύνθετοι οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες κ.ά.) και στερεά (στέρεα απόβλητα με καθαρό άνθρακα) προϊόντα. Η πυρόλυση αποτελεί μια κερδοφόρα τεχνική επεξεργασίας των ΑΣΑ η οποία ενοχοποιείται για τους αέριους τοξικούς και δύσοσμους ρύπους που εκλύει.

- ✓ **Άλλες Μέθοδοι.** Άλλες εναλλακτικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας αποτελούν συνδυασμένες τεχνικές όπως παραδειγματικά αναφέρονται η θερμόλυση και οι εξειδικευμένοι μέθοδοι Siemens, Von Roll, Nexus, NOELL, EDDITH, Thermoselect κ.ά..

2. **Βιολογική επεξεργασία.** Η βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων πραγματοποιείται αποκλειστικά σε αυτά τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των βιοαποδομήσιμων ή οργανικών, ώστε μέσω της χρήσης μικροοργανισμών να επιτευχθεί η βιολογική αποσύνθεση αυτών. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την εκμετάλλευση των οργανικών συστατικών στοιχείων τα οποία επιστρέφουν στο φυσικό υπέδαφος μέσω της χρήσης τους σε γεωργικές εργασίες με τη μορφή χημικών λιπασμάτων. Η βιολογική επεξεργασία αποσκοπεί στην ανάκτηση οργανικών υλικών στην έκλυση ενέργειας, στην ελαχιστοποίηση της έκλυσης αερίων από τα θερμοκήπια και απομείωση της έκλυσης βιοαερίου στον ΧΥΤΑ. Επιμέρους τεχνικές βιολογικής επεξεργασίας των ΑΣΑ είναι οι εξής:

- ✓ **Αερόβια Επεξεργασία (Κομποστοποίηση):** Η Αερόβια επεξεργασία ή κομποστοποίηση αποτελεί μια τεχνική βιολογικού και οξειδωτικού χαρακτήρα, μια φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία, για την αποδόμηση και την εδραίωση των οργανικών συστατικών στοιχείων των αποβλήτων, με χρήση υψηλού θερμικού φορτίου και ταυτόχρονη εμφάνιση αέρα. Η αερόβια επεξεργασία έχει σκοπό την διαμόρφωση ενός ιδανικού περιβάλλοντος υγρασίας και αερισμού ώστε να ευδοκιμήσουν οι μικροοργανισμοί που απαιτούνται για την επιτέλεση της κομποστοποίησης. Η διεργασία της κομποστοποίησης καταλήγει σε ένα τελικό προϊόν το κομπόστ (compost) ή κομπόστ υψηλής ποιότητας ή υλικό τύπου κομπόστ, το οποίο εναποτίθεται στο φυσικό υπέδαφος. Η κομποστοποίηση θεωρείται μια βιολογική διεργασία η οποία όμως απαιτεί υψηλά κεφάλαια για τις εγκαταστάσεις και τη λειτουργία της και υπάρχει περίπτωση το κομπόστ που παράγεται να εμπεριέχει επιβλαβείς ουσίες. Σε μια συγκριτική των βιολογικών μεθόδων η κομποστοποίηση θεωρείται μια πιο προσιτή λύση η οποία βρίσκεται πιο κοντά στη διαφύλαξη της προστασίας του περιβάλλοντος και της οικολογικής ισορροπίας με την προϋπόθεση ότι το κομπόστ που παράγει να είναι όσο το δυνατό καθαρότερο.

- ✓ **Αναερόβια Επεξεργασία:** Η Αναερόβια επεξεργασία θεωρείται μια τεχνική βιολογικού χαρακτήρα για την αποδόμηση των οργανικών υλικών των αποβλήτων δίχως την εμφάνιση αέρα. Η αναερόβια διεργασία δυναμικά χρησιμοποιείται για την παραγωγή του βιοαερίου και της χωνεμένης ιλύς, θεωρείται μια καλύτερη επιλογή για την αποδόμηση ΑΣΑ που βιοαποδομούνται σε σχέση με την κομποστοποίηση και κατευθύνει την απόδοση ενός δευτερογενούς καύσιμου ενισχυμένου με βιοαποδομήσιμα υλικά (οργανικό, χαρτί, πλαστικό) υψηλής θερμογόνου δύναμης. Παρόλα αυτά η αναερόβια επεξεργασία χαρακτηρίζεται ως

χρονοβόρα διαδικασία βιοαποδόμησης με επιπτώσεις στο περιβάλλον εξαιτίας των παθογόνων μικροοργανισμών που εκλύονται στο περιβάλλον.

3. **Μηχανική Επεξεργασία.** Η Μηχανική Επεξεργασία των αποβλήτων θεωρείται μια διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται μια προεργασία και διάκριση αυτών με μηχανικά μέσα, όπως οι σφυρόμυλοι, οι σφαιρόμυλοι, τα περιστρεφόμενα τύμπανα / θραυστήρες κυλίνδρου, οι θραυστήρες πλαστικών σάκων, τα κόσκινα, οι αεροδιαχωριστές, οι οπτικοί / βαλλιστικοί διαχωριστές κ.ά. Η μηχανική επεξεργασία αποτελεί μια τεχνική κατά την οποία ο όγκος των αποβλήτων μειώνεται κατά 15%, απαιτεί υψηλά κεφάλαια για την διαμόρφωση και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων της και ο διαχωρισμός των υλικών θεωρείται χρονοβόρος και δύσκολος. Παρόλα αυτά η τελική ποσότητα των αποβλήτων για υγειονομική ταφή είναι απομειωμένος και η εξοικονόμηση ενέργειας και υλικών είναι σημαντική.

4. **Υγειονομική ταφή.** Η υγειονομική ταφή αποτελεί μια διαδικασία η οποία επιτάσσει την ταφή των αποβλήτων σε ένα εδαφικό υλικό, τα οποία προηγουμένως έχουν συμπιεστεί με εξειδικευμένα μηχανήματα, για να απομειωθεί η πιθανότητα εισροής νερού στον χώρο διάθεσής τους. Η υγειονομική ταφή αποτελεί μια λύση ανάγκης για την διαχείριση των αποβλήτων στο στάδιο της διάθεσης των ΑΣΑ και δεν προτείνεται ως εναλλακτική καθώς είναι επιζήμια για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Σημειώνεται πως η υγειονομική ταφή ενοχοποιείται για την εισροή υδάτων στους χώρους της με αποτέλεσμα την πλημμύρα, τη διάβρωση, την έκλυση του εδάφους και την απελευθέρωση διαλυτών ρύπων επιζήμιων για το περιβάλλον. Επίσης, η υγειονομική ταφή, αν και έχει μικρό οικονομικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, ενοχοποιείται για την έκλυση βιοαέριων, εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και μεθανίου όπως επίσης συμβάλλει στην οικιστική και αισθητική υποβάθμιση της περιοχής εγκατάστασής του.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Τεχνολογίες Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης

2.1 Κομποστοποίηση

2.1.1 Εννοιολογικοί Προσδιορισμοί

Κομποστοποίηση. Ο όρος της κομποστοποίησης προέρχεται από την λατινικής προέλευσης λέξη «compostium» η οποία συσχετίζεται με τη διεργασία της βιοαποδόμησης ενός συνόλου οργανικών συστατικών στοιχείων αποβλήτων, από ετερογενείς και ετερότροφους μικροοργανισμούς, σε αερόβιες συνθήκες – υγρασίας και αερισμού ώστε να παραχθούν θερμοκρασίες πάνω από 45° C – και στερεά κατάσταση (Chance & Estabrook, 1964). Μετά το πέρας της κομποστοποίησης δημιουργείται ένα βιολογικά σταθεροποιημένο προϊόν, το κομπόστ (Diaz et al., 2007). Η κομποστοποίηση λειτουργεί σε μια ακολουθία διεργασιών που περιλαμβάνουν την προετοιμασία, την αποσύνθεση και την τελική μετα-επεξεργασία (Gilbert & Wendell, 2018, Majeed et al., 2021).

Κομπόστ. Το κομπόστ είναι το προϊόν της κομποστοποίησης, το οποίο έχει σταθεροποιηθεί και ομοιάζει με χούμους και περιλαμβάνει ένα σύνολο θρεπτικών συστατικών όπως φώσφορο, κάλιο και άζωτο, οργανικών ουσιών και ιχνοστοιχείων που το καθιστούν ως οργανικό βελτιωτικό εδάφους και φυτών, απαλλαγμένο από παθογόνα και σπόρους φυτών, δεν έλκει έντομα και ζιζάνια, δεν αποτελεί φορέα ασθενειών, αποθηκεύεται εύκολα και εκτός από την γεωργική του χρήση ως εδαφοβελτιωτικό δύναται να χρησιμοποιηθεί και ως βιοφίλτρο (Agnew & Leonard, 2003, Diaz, De Bertoldi & Bidlingmaier, 2011, Oldfield et al., 2018, Jodar et al., 2017). Για τον καθορισμό της ποιότητας του κομπόστ ορίζονται κάποιες βασικές παράμετροι. Η ποιότητα του κομπόστ προκύπτει από τις εξής προδιαγραφές τις οποίες και πρέπει να διαθέτει (2006/799/EK, 2007/64/EK):

1. Ελάχιστη περιεκτικότητα οργανικής ύλης κομπόστ = 15% βάρους ξηρής
2. Ελάχιστη σταθερότητα κομπόστ = Αναπνευσιομετρικός δείκτης ή στοιχειώδης βαθμός Rottegrad III, IV ή V.
3. Ελάχιστο περιεχόμενο βιώσιμων σπόρων ζιζανίων = 2 βιώσιμοι σπόροι ζιζανίων / It κομπόστ.
4. Περιεχόμενο σε μακροσκοπικές προσμίξεις (μέθοδος ξηρής κοσκίνισης υλικού) = ποσότητα γυαλιού, πλαστικού, μετάλλων άνω των 2mm στο κομπόστ = 0,5% καθαρού βάρους ξηρής ύλης.
5. Περιεχόμενο σε παθογόνους μικροοργανισμούς σε 25 γρ. δείγματος = Salmonella sp. μηδενική και 1000cfu/g νωπής μάζας E. Coli που συνδέεται με την αποίκηση του E. Coli.

6. Οριακές τιμές (mg/kg) βαρέων μετάλλων και οργανικών ρυπαντών στο κομπόστ = Κάδμιο 1,5, Χρώμιο 100, Χαλκός 200, Υδράργυρος 1, Νικέλιο 50, Μόλυβδος 120, Ψευδάργυρος 600, Οργανικοί Ρύποι 6.

Υποστρώματα κομποστοποίησης. Η ορολογία αναφορικά με το υπόστρωμα της κομποστοποίησης περιγράφει την πρώτη ύλη η οποία επιδιέχεται στη διαδικασία της κομποστοποίησης. Τα υποστρώματα διακρίνονται σε **υγρά** όταν η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι υψηλότερη από 40% και σε **στεγνά** αν η περιεκτικότητα είναι μικρότερη από 40% (Walling, Trémier & Vaneeckhaute, 2020).

2.1.2 Διαδικασία

Η διαδικασία της κομποστοποίησης αποτελεί μια τεχνική μεθοδολογία σύμφωνα με την οποία αερόβιοι μικροοργανισμοί αποδομούν σε αερόβιες συνθήκες ένα οργανικό συστατικό υλικό που τροποποιείται σε μία βιολογικά σταθεροποιημένη ύλη με οργανική σύσταση, το κομπόστ. Η διαδικασία της κομποστοποίησης εμπεριέχει πολλαπλές χημικές μεταβολές καθώς η χημική διάσπαση δημιουργείται από την επίδραση των ενζύμων τα οποία προκύπτουν από τους μικροοργανισμούς. Τα ένζυμα (κυτταρινάση, αμυλάση, πρωτεάση) καταλύουν αντενεργήσεις, κατά τις οποίες τα σάκχαρα, το άμυλο, οι πρωτεΐνες και οργανικές ενώσεις οξειδώνονται και καταληκτικά αποδίδουν διοξείδιο του άνθρακα, νερό, ενέργεια και ενώσεις που αντιστέκονται στην επιπλέον αποσύνθεση όπως οι λιγνίνες (φαινολικά τρισδιάστατα πολυμερή). Ενώ το οργανικό υλικό των αποβλήτων αποσυντίθεται, τα θρεπτικά συστατικά, όπως άζωτο, φωσφόρος και κάλιο, αποδεσμεύονται και τροποποιούνται σε άλλες χημικές δομές διαμέσου των μικροοργανισμών, όπως και πρωτεΐνες τροποποιούνται σε αμινοξέα. Τα μικρόβια συνδέουν ορισμένα από τα προϊόντα της χημικής διάσπασης σε πολυμερή τα οποία αντιστέκονται επιπλέον στην αποσύνθεση και απαρτίζουν μέρος του σύνθετου οργανικού μείγματος, που καλείται ως χούμους (humus) και αποτελεί το καταληκτικό παραγόμενο προϊόν της κομποστοποίησης (Ajmal et al., 2020, Κομίλης, 2021).

Κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης η επενέργεια των μικροοργανισμών ξεκινά άμεσα με σκοπό την αποδόμηση της οργανικής ύλης. Έτσι, η αποδυνάμωση των χημικών ενώσεων (σάκχαρα, λίπη, κυτταρίνη) είναι γεγονός και η βιολογική δράση προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία στη συνέχεια μειώνεται έως ότου να επανέλθει σε εκείνη του φυσικού περιβάλλοντος. Η διαδικασία καταλήγει στο τελικό προϊόν που είναι το κομπόστ το οποίο όταν καταστεί σταθερό και ώριμο συνοδεύεται από την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, νερού και θερμότητας. Το καταληκτικό σταθερό οργανικό κομπόστ αποτελεί το 20 – 40% του καθαρού βάρους της αρχικής οργανικής ύλης (Παναγιωτακόπουλος, 2007, Tchobanoglous & Kreith, 2018).

2.1.3 Φάσεις

Η κομποστοποίηση διαχωρίζεται σε 3 φάσεις με κριτήριο τη θερμοκρασία του σωρού και είναι οι εξής (Καλδέλλης & Κονδύλη, 2005, Κομίλης, 2021):

1. **Μεσόφιλη φάση (20°C – 40°C) χρονικής διάρκειας 5 έως 10 ημερών.** Η μεσόφιλη φάση της κομποστοποίησης αποτελεί την εκκίνηση της αποσύνθεσης από μεσόφιλους μικροοργανισμούς που ενδημούν σε σχετικά μέτριες θερμοκρασίες και αποδομούν τις ενώσεις (σάκχαρα και πρωτεΐνες) με αποτέλεσμα η εκλυόμενη θερμότητα να αυξάνεται με ταχύτητα.
2. **Θερμόφιλη φάση (35°C – 65°C) διάρκειας από μερικές ημέρες έως και ορισμένους μήνες.** Η θερμόφιλη φάση της κομποστοποίησης ορίζεται όταν οι θερμοκρασίες αυξηθούν πέρα των 40° C, οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί μετατρέπονται σε θερμόφιλους, η θερμοκρασία αυξάνεται ακόμα περισσότερο με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η αποσύνθεση πρωτεϊνών, λιπών και σύνθετων υδατανθράκων.
3. **Φάση ωρίμανσης.** Η φάση της ωρίμανσης στην κομποστοποίηση επιτυγχάνεται όταν η αποδόμηση των υλών έχει πραγματοποιηθεί και η θερμοκρασία του κομπόστ βαθμιαία απομειώνεται. Αποτέλεσμα αυτών, είναι να προκύψει η τελική φάση της κομποστοποίησης, όπου ο πληθυσμός των μυκήτων μεγεθύνεται και των βακτηρίων απομειώνεται. Είναι δυνατό, η θερμοκρασία του κομπόστ να βρίσκεται κοντά σε αυτή του φυσικού περιβάλλοντος, όμως οι χημικές κατεργασίες να μην έχουν ολοκληρωθεί καθώς δεν έχουν ακόμη σταθεροποιησει την οργανική ύλη που έχει εναπομείνει.

Εδώ κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί πως οι συνθήκες της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, μπορούν να ελεγχθούν και να διαφοροποιηθούν σε περίπτωση αναστροφής (γύρισμα ή ανακάτεμα) του σωρού. Φυσικά με το πέρας της θερμόφιλης φάσης, η θερμοκρασία περιορίζεται και δεν μεγεθύνεται ξανά (Diaz et al., 2007).

2.1.4 Στάδια

Τα στάδια διεργασίας της κομποστοποίησης είναι τα εξής (Κούγκολος, 2017, Sayara et al., 2020, Κομίλης, 2021, Zhang et al., 2022):

1. **Συλλογή & Ανάκτηση.** Το αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης εμπεριέχει την ανάκτηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων, που σημαίνει τον έλεγχο του οργανικού υλικού το οποίο θα συλλεχθεί και την περαιτέρω κατεργασία των μη επιθυμητών συστατικών του που δυνητικά θα επιδράσουν στην ποιότητα του τελικού κομπόστ. Στην περίπτωση των ΑΣΑ(Αστικών Στερεών Αποβλήτων) συνήθως πραγματοποιείται έλεγχος και διαχωρισμός αυτών ανά είδος ώστε να διαφυλαχτεί η καθαρότητα του συλλεγόμενου υλικού.

2. **Προετοιμασία Υλικού Τροφοδοσίας.** Το δεύτερο στάδιο της κομποστοποίησης περιλαμβάνει την προετοιμασία του υλικού τροφοδοσίας για τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Στο παρόν στάδιο πραγματοποιείται η διαμόρφωση των φυσικοχημικών συνθηκών ώστε να διευκολυνθεί η αερόβια αποδόμηση της οργανικής ύλης, η ρύθμιση των θρεπτικών συστατικών (για παράδειγμα άνθρακας, άζωτο), της υγρασίας του υποστρώματος και της ομοιομορφοποίησης του οργανικού υλικού.
3. **Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία Οργανικού Υλικού.** Το τρίτο στάδιο της κομποστοποίησης αποτελεί το βιολογικό τμήμα της διαδικασίας για την αποδόμηση του οργανικού υλικού. Η βιολογική αποδόμηση των ΑΣΑ, αποδίδει έκλυση διοξειδίου του άνθρακα, νερού και θερμότητας. Σημαντική είναι η ενίσχυση των αερόβιων μικροοργανισμών για την εκπλήρωση της μέγιστης βιοσταθεροποίησης μέσω της χορήγησης θρεπτικών συστατικών. Επίσης, έλεγχος πραγματοποιείται για τον χειρισμό της ξήρανσης ή του πλεονάσματος υγρασίας του υποστρώματος με εμπλουτισμό νερού για την ύγρανσή του ή και την εισαγωγή οργανικού υλικού υψηλής υγρασίας στην πρώτη περίπτωση και με αναστροφή του υποστρώματος ή ανάμιξη του υποστρώματος με οργανική ύλη περιορισμένης υγρασίας. Η σημαντικότερη μεταβλητή παρακολούθησης της διαδικασίας της κομποστοποίησης αποτελεί η θερμοκρασιακή πρόοδος αυτής.
4. **Ωρίμανση Κομπόστ.** Το τέταρτο στάδιο της κομποστοποίησης αποτελεί την ολοκλήρωση της ανάπτυξης και την διάθεση του στερεού σταθεροποιημένου υλικού (κομπόστ). Το κομπόστ θεωρείται πως διαθέτει εξαιρετικής ποιότητας σύσταση όταν περιλαμβάνει χουμικά οξέα, τα οποία συγκρατούν τα θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φωσφορικά, νιτρικά) αλλά και στοιχεία χημικής λίπανσης (κάλιο, ιχνοστοιχεία) τα οποία καθιστούν το κομπόστ ένα άριστο εδαφοβελτιωτικό το οποίο περαιτέρω μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοφίλτρο, στην παραγωγή εδαφικού υλικού, στην παραγωγή οργανικού λιπάσματος, στην διαμόρφωση τοπίων και ως υπόστρωμα σε καλλιέργειες και στην ανάπτυξη φυτών.
5. **Κοσκίνισμα Συσκευασίας Κομπόστ.** Το πέμπτο στάδιο της κομποστοποίησης περιέχει τον εξευγενισμό και τη κοσκίνιση του κομπόστ για τον εκτοπισμό υλικών που επιδρούν στην ποιότητά του, όπως τα αδρανή υλικά, διαμορφώνεται η ποσότητα του τελικού κομπόστ ανάλογα με την χρήση του, η υγειονομική ταφή των ακατάλληλων υλικών και η επανατροφοδότηση στη μονάδα κομποστοποίησης των οργανικών στοιχείων τα οποία δεν έχουν σταθεροποιηθεί απολύτως. Το κομπόστ χαρακτηρίζεται ως εξευγενισμένο και ώριμο και καταληκτικά τοποθετείται σε σακούλες, οι οποίες αναγράφουν τη σύνθεσή του σύμφωνα με τη νομοθεσία.
6. **Αποθήκευση Συσκευασίας Κομπόστ.** Στο έκτο στάδιο της κομποστοποίησης περιλαμβάνεται η αποθήκευση και η συσκευασία του κομπόστ.

2.1.5 Συστήματα

Τα συστήματα της κομποστοποίησης διακρίνονται σε δύο τύπους (Cooperband, 2002, Λουκάς, 2008, Shammam et al., 2009, Collivignarelli et al., 2019):

1. **Συστήματα Κλειστού Τύπου.** Τα συστήματα κομποστοποίησης κλειστού τύπου λειτουργούν μέσω κλειστών βιοαντιδραστήρων οι οποίοι διαχωρίζονται σε κατακόρυφους, οριζόντιους και σε περιστρεφόμενα τύμπανα. Τα κλειστά συστήματα είναι ιδιαίτερα αποδοτικά καθώς αναμοχλευτήρες αναδεύουν το υλικό της κομποστοποίησης και συγχρόνως πραγματοποιούν αερισμό. Διευκρινίζεται πως η διαδικασία κομποστοποίησης σε κλειστά συστήματα λαμβάνει χώρα για μικρό χρονικό διάστημα (ίσως και μερικές ώρες), καθώς το οικονομικό κόστος είναι ιδιαίτερος υψηλό και η ωρίμανση του κομποστ συνεχίζεται σε συστήματα ανοικτού τύπου.
2. **Συστήματα Ανοικτού Τύπου.** Τα συστήματα κομποστοποίησης ανοικτού τύπου κατατάσσονται σε δύο επιμέρους τύπους, τους εξής:
 - ✓ **Συστήματα Με Δυναμικό Αερισμό / Αναστρεφόμενα Σειράδια (Windrows).** Στα συστήματα κομποστοποίησης με δυναμικό αερισμό ο αερισμός του σωρού πραγματοποιείται με μηχανήματα (φρέζες) για να διαφυλαχθούν οι αερόβιες συνθήκες, το υλικό προς κομποστοποίηση τοποθετείται σε μεγάλου μήκους παράλληλες σειρές (σειράδια) οι διαστάσεις των οποίων ρυθμίζονται ανάλογα με υλικό και τα μέσα για την ανάδευση.
 - ✓ **Συστήματα Με Στατικό Αερισμό (Aerated Static Pile).** Στα συστήματα κομποστοποίησης στατικού αερισμού δεν πραγματοποιείται αναστροφή και το προς κομποστοποίηση υλικό τάσσεται όμοια με τη διάταξη των αναστρεφόμενων σειραδίων, ενισχύεται με παράγοντες διόγκωσης (πχ. φύλλα, πριονίδι), και υπόκειται σε αερισμό και ελάττωση της υγρασίας κάτω του 60%. Η χρονική διάρκεια της κομποστοποίησης είναι μεγαλύτερη από ότι στα κλειστά συστήματα και το τελικό κομποστ δεν είναι ομοιογενές.

2.1.6 Προσδιοριστικοί Παράγοντες

Οι παράγοντες που επιδρούν στη διαδικασία της κομποστοποίησης είναι οι εξής (Oshins et al., 2022, Michel et al., 2022):

1. **pH.** Η αποτελεσματική κομποστοποίηση λειτουργεί με pH 6,5 έως 8,0. Η διαμόρφωση του pH είναι σημαντική καθώς υψηλές τιμές του, άνω από 8,5, παράγει αμμωνία και αυξάνει την αλκαλικότητα του υλικού. Το pH των αρχικών υλικών δεν παραμένει ίδιο στο τελικό κομποστ, το οποίο διαθέτει σταθερό και ουδέτερο pH.

2. **Αερισμός.** Ο αερισμός του σωρού εκτοπίζει την εκλυόμενη θερμότητα, την υγρασία και τα αέρια που είναι παγιδευμένα στο σωρό και είναι κατά δέκα φορές υψηλότερος από την παροχή οξυγόνου.
3. **Θερμοκρασία.** Το εύρος της θερμοκρασίας για τον μέγιστο ρυθμό αποσύνθεσης στη κομποστοποίηση επιτυγχάνεται σε 45 έως 65° C, καθώς οι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομακρύνονται από το κομπόστ και το τελικό παραγόμενο προϊόν είναι σταθερό και απαλλαγμένο από τοξικά στοιχεία.
4. **Θρεπτικά Συστατικά (Λόγος C/N).** Ο λόγος άνθρακα (C) προς άζωτο (N) αναδεικνύει την αναλογία των θρεπτικών συστατικών που εμπλέκονται στη κομποστοποίηση. Η υπέρμετρη ή η ελλιπή ποσότητα άνθρακα ή αζώτου ενδεχόμενα να επιδράσει στην κομποστοποίηση. Είναι σημαντικό να υπάρχει μια ισορροπημένη αναλογία μεταξύ άνθρακα και αζώτου, καθώς η υπερίσχυση του άνθρακα καθυστερεί τον ρυθμό της κομποστοποίησης.
5. **Οξυγόνο.** Το οξυγόνο είναι διασυνδεδεμένο με την ταχύτητα της εκτέλεσης της αερόβιας κομποστοποίησης, απαιτείται η στοιχειώδης συγκέντρωση οξυγόνου 5% καθώς δίχως ικανό οξυγόνο η κομποστοποίηση μετατρέπεται σε αναερόβια η οποία θεωρείται και λιγότερο αποτελεσματική.
6. **Πορώδες, δομή, υφή, μέγεθος σωματιδίων.** Το πορώδες, η δομή, η υφή και το μέγεθος των σωματιδίων αποτελούν τα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών προς κομποστοποίηση τα οποία επιδρούν στη διαδικασία λόγω των διαφόρων απαιτήσεων για αερισμό αλλά και διαμορφώνουν την ταχύτητα της αερόβιας αποσύνθεσης.
7. **Υγρασία.** Η υγρασία καθίσταται αναγκαία για να στηρίξει τις μεταβολικές διεργασίες στα μικρόβια και να ενισχύσει τις χημικές δράσεις. Θεωρητικά, τα υλικά κομποστοποίησης πρέπει να διαφυλάσσονται σε υγρασία 40 έως 65% και η βέλτιστη ταχύτητα κομποστοποίησης επιτυγχάνεται σε επίπεδα υγρασία μεταξύ 15 και 40%.

2.1.7 Πλεονεκτήματα – Οφέλη

Τα πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης είναι πολλαπλά καθώς θεωρείται μια εναλλακτική μέθοδος που προτείνεται έναντι άλλων για τη διαχείρισης των ΑΣΑ. Το στοιχείο αυτό την αναβαθμίζει σε μια σημαντική εκλογή, στα πλαίσια μιας ολιστικής διαχείρισης αποβλήτων. Τα πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης είναι τα εξής (Vaverkova et al., 2020, Liu et al., 2022, Bruni et al., 2020, Diaz, 2020):

1. Αναβάθμιση της ανακύκλωσης.
2. Αντίκτυπος της λειτουργίας των εγκαταστάσεων κομποστοποίησης με υψηλή οικολογική απόδοση που μπορεί να συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη της.

3. Απουσία έκλυσης επικίνδυνων αέρια και καρκινογόνων ουσιών.
4. Απουσία παραγωγής τοξικών στερεών καταλοίπων ίσως σε ελάχιστες ποσότητες (μη αδρανών στερεών) που δύναται να ταφούν σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων.
5. Αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης βιολογικής επεξεργασίας ΑΣΑ μπορούν να αποτελέσουν λύση για τοπικές κοινωνίες ως στρατηγικές διαχείρισης αστικών απορριμμάτων και να συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων ανάκτησης και αξιοποίησης φυσικών πόρων σύμφωνα με την θεωρία της κυκλικής οικονομίας.
6. Η εφαρμογή της αρχής «Πληρώνω Όσο Πετάω» για την απονομή του δικαίου αναφορικά με την χρέωση των πολιτών ανά όγκο απορριμμάτων που παράγουν και πληρώνουν μέσω των δημοτικών τελών ενισχύσει τις δράσεις για διαλογή στην πηγή των οργανικών υλικών πριν την ένταξη τους στη διαδικασία της βιολογικής επεξεργασίας τους μέσω κομποστοποίησης.
7. Η κομποστοποίηση ως μέθοδος είναι αποδοτική και μπορεί να αποτελέσει λύση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την μείωση της κατανάλωσης των ενεργειακών πόρων.
8. Μικρή χρονική διάρκεια κατασκευής εγκαταστάσεων Μονάδας Κομποστοποίησης και άμεση η λειτουργία της.
9. Μικρό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος συγκριτικά με τις άλλες τεχνικές διαχείρισης ΑΣΑ.
10. Μικρό κόστος μεταφοράς ΑΣΑ λόγω της επιλογής εναπόθεσης σε Μονάδα Κομποστοποίησης που βρίσκεται κοντά στην γεωγραφική θέση παραγωγής των αποβλήτων.
11. Προστασία περιβάλλοντος με απομείωση του κινδύνου ρύπανσης του νερού, του αέρα και του εδάφους.
12. Στην χώρα μας δημιουργεί πολλές θέσεις εργασίας σε παραλληλισμό με τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, αποτελώντας αντίμετρο για την ανεργία και την οικονομική κρίση.
13. Το τελικό κομπόστ που παράγεται αποτελεί εδαφοβελτιωτικό υψηλής ποιότητας με πολλαπλές χρήσεις στην γεωργία και στην κηπουρική.

2.2 Αναερόβια Χώνευση

2.2.1 Εννοιολογικός προσδιορισμός

Ο προσδιορισμός του όρου **Αναερόβια Χώνευση** συσχετίζεται με την βιολογική αποδόμηση των οργανικών συστατικών στοιχείων των αποβλήτων σε αναερόβιες συνθήκες χωρίς την παρουσία οξυγόνου (Náthia-Neves et al., 2018). Η διαδικασία της Αναερόβιας Χώνευσης ολοκληρώνεται με την τελική παραγωγή προϊόντων βιοαερίου και μιας ποσότητας υδαρούς υπολείμματος της χωνεμένης ιλύς (Li, Chen & Wu, 2019). Η βασική διαφοροποίηση της αναερόβιας χώνευσης από την αντίστοιχη αερόβια και την κομποστοποίηση, αποτελεί η έλλειψη οξυγόνου (Tchobanoglous & Kreith, 2018). Η αντίδραση της αναερόβιας χώνευσης ορίζεται ως εξής:

Οργανική Ύλη + Μικροοργανισμοί =>



Από την αναερόβια χώνευση προκύπτουν τα εξής προϊόντα (Tchobanoglous & Kreith, 2018, Καλδέλλης & Κονδύλη, 2005, Pramanik et al., 2019, Ganeshan & Rajendran, 2022):

1. **Βιοαέριο.** Το βιοαέριο αποτελεί ένα μείγμα αερίων μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και ελάχιστων ποσοτήτων άλλων αερίων και ιχνοστοιχείων όπως αζώτου, υδρογόνου, υδρόθειου και οξυγόνου και είναι καύσιμο. Για τον λόγο αυτό η Αναερόβια Χώνευση καλείται και ως Βιοαεριοποίηση (Biogasification). Το Βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο κεκορεσμένο σε υγρασία με 65 – 75% περιεκτικότητα σε μεθάνιο. Το βιοαερίου που προκύπτει υπολογίζεται σε 100 – 200 m³ για κάθε τόνο ΑΣΑ που συμμετέχουν στη βιολογική επεξεργασία. Το βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή **θερμότητας**, την **ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας** και **θερμότητας** από συστήματα όπως οι μηχανές εσωτερικής καύσης, οι αεριοστρόβιλοι, οι ατμοστρόβιλοι, οι κυψέλες καυσίμου και τα συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας και τέλος την μεμονωμένη παραγωγή **Βιομεθανίου** το οποίο θεωρείται μια εξ' ολοκλήρου ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
2. **Χωνεμένη ιλύς (Χωνεμένο υπόλειμμα τύπου κομπόστ).** Το χωνεμένο υπόλειμμα τύπου κομπόστ θεωρείται ένα υλικό χαμηλής ποιότητας το οποίο προκύπτει από την βιολογική επεξεργασία σύμμεικτων ΑΣΑ και δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, σε ενεργειακές καλλιέργειες (πχ. καλλιέργειας για βιοντίζελ), ως αναχώματα σε αυτοκινητοδρόμους και ως συστατικό αποκατάστασης σε ρυπασμένους χώρους, όπως οι ΧΥΤΑ.

Η Αναερόβια Χώνευση ως τεχνική διεργασία πραγματοποιείται σε περιβάλλοντα με απουσία οξυγόνου όπως οι ΧΥΤΑ και οι χωματερές. Στις μέρες μας, είναι επιτακτικής ανάγκης η εκμετάλλευση αυτής της διεργασίας σε εξειδικευμένες εγκαταστάσεις, ώστε να υπάρξει μια ελεγχόμενη βιολογική επεξεργασία των ΑΣΑ, ώστε να προκύψει η αυξημένη παραγωγή βιοαερίου και βιομεθανίου. Μάλιστα, σύμφωνα με την COM(2010)235 Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Συμβούλιο και στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, σχετικά με τα επόμενα στάδια όσον αφορά στη

διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση SEC(2010)577 αναφέρει μεταξύ άλλων πως «η αναερόβιος χώνευση μπορεί να συμβάλει στους στόχους που αφορούν το διοξείδιο του άνθρακα και τα βιοκαύσιμα, βελτιώνοντας παράλληλα την ποιότητα των εδαφών, εάν το τελικό προϊόν της χώνευσης χρησιμοποιείται για τον εμπλουτισμό της γης. Βάσει των ως άνω πλεονεκτημάτων, θεωρείται ότι υπάρχουν σοβαρές δυνατότητες που θα μπορούσαν να αποτελέσουν συμβολή για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων ιδίως εφόσον επιλεγεί η λύση με την καλύτερη σχέση κόστους απόδοσης. Η λιπασματοποίηση και η αναερόβια χώνευση προσφέρουν τα πλέον πολλά υποσχόμενα περιβαλλοντικά και οικονομικά αποτελέσματα για τα αναπόφευκτα βιολογικά απόβλητα. Η καλή ποιότητα των υλικών που υπόκεινται στις εν λόγω διαδικασίες αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση καθοριστικής σημασίας.».

2.2.2 Διαδικασία

Η Αναερόβια Χώνευση, αποτελεί μια βιοχημική διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται τροποποίηση των οργανικών υποστρωμάτων σε μεθάνιο, με απουσία οξυγόνου. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να διακριθεί με κριτήριο την θερμοκρασία σε θερμοφιλή, όπου το οργανικό υλικό υπό ζύμωση είναι κλεισμένο σε δεξαμενές σε θερμοκρασία 55° C και σε μεσόφιλη όταν η θερμοκρασία βρίσκεται στους 36° C. Κατά το πέρας της διαδικασίας της Αναερόβιας Χώνευσης η αποδόμηση του οργανικού υλικού έχει πραγματοποιηθεί και παράγεται **βιοαέριο** (μεθάνιο και διοξείδιο άνθρακα), η σύσταση του οποίου συναρτάται από την μορφή της οργανικής ύλης που αποσυντίθεται (Nguyen & Khanal, 2018).

Η Αναερόβια Χώνευση ως διαδικασία διακρίνεται σε εννέα στάδια, ως ακολούθως : (Tao et al., 2020, Κομίλης, 2021):

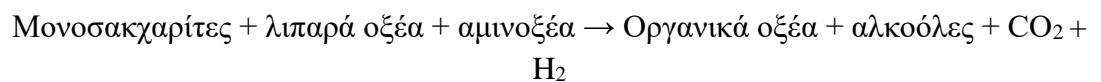
1. Ενζυμική υδρόλυση οργανικών πολυμερών σε ενδιάμεσα οργανικά μονομερή, (σάκχαρα, λιπαρά οξέα, αμινοξέα).
2. Ζύμωση οργανικών μονομερών για τη επαγωγή υδρογόνου (ή μυρμηκικού οξέος), διτανθρακικού οξέος, πυροσταφυλικού οξέος, αλκοολών και λιπαρών οξέων χαμηλού μοριακού βάρους (οξικού, βουτυρικού και πριπιονικού)
3. Οξειδωση ανηγμένων οργανικών προϊόντων σε υδρογόνο (ή μυρμηκικό οξύ), διτανθρακικό οξύ και οξικό οξύ μέσω οξικογόνων βακτηριών που αποδίδουν υδρογόνο
4. Οξικογόνος αναπνοή διτανθρακικού από ομοοξικούς μικροοργανισμούς
5. Οξειδωση ανηγμένων οργανικών προϊόντων σε υδρογόνο (αλκοόλες, βουτυρικό, προπιονικό οξύ) σε διτανθρακικό οξύ και οξικό οξύ μέσω των οξικογόνων βακτηριών που παράγουν υδρογόνο.
6. Οξειδωση οξικού οξέος προς διτανθρακικό οξύ από βακτήρια που ανάγουν νιτρικά και θειικά ιόντα

7. Οξείδωση υδρογόνου (ή μυρμηκικού οξέος) από βακτήρια που ανάγουν νιτρικά και θειικά ιόντα
8. Οξικοχρηστική ζύμωση μεθανίου
9. Μεθενογενής αναπνοή διτανθρακικού οξέος

2.2.3 Βιολογική Διεργασία

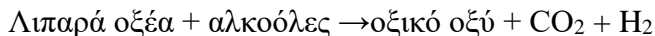
Η Αναερόβια Χώνευση πραγματοποιείται στην υγρή κατάσταση και επιλέγεται σε περιπτώσεις υποστρωμάτων με χαμηλή περιεκτικότητα στερεών και με υψηλή υγρασία (60% - 95%) με επακόλουθο να αποτελεί μια ιδανική τεχνική για τη βιολογική επεξεργασία ενός οργανικού υλικού που παρουσιάζει υψηλή υγρασία (π.χ. απόβλητα τροφών) (Angelonidi & Smith, 2015). Η βιολογική αποδόμηση των αποβλήτων πραγματοποιείται με απουσία οξυγόνου και τελικά από την αποδόμηση του οργανικού υλικού παράγεται ένα τελικό σχετικά σταθεροποιημένο προϊόν, το βιοαέριο. Οι φάσεις κατά τις οποίες εξελίσσεται η αναερόβια χώνευση είναι οι εξής (Jensen, Moller, & Scheutz, 2017, Παναγιωτακόπουλος, 2007, Menzel, Neubauer & Junne, 2020, Liu et al., 2020, Chuenchart et al., 2021, Zakaria & Dhar, 2019, Van et al., 2020):

1. **Υδρόλυση.** Η Υδρόλυση των πολυμερών των οργανικών ενώσεων (λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) πραγματοποιείται με τη συμμετοχή ενζύμων τα οποία απελευθερώνονται από τα υδρολυτικά βακτήρια και τροποποιούνται σε υδατοδιαλυτά προϊόντα με μικρό μοριακό όπως οι μονοσακχαρίτες και τα αμινοξέα σε πολύ αργό ρυθμό. Στην υδρόλυση θα προσδιοριστεί και το μέγεθος της παραγόμενης ποσότητας του τελικού προϊόντος της αναερόβιας, του μεθανίου.
2. **Οξεογένεση / Ζύμωση.** Τα οργανικά μονομερή από την υδρόλυση μεταχειρίζονται από τα οξεογόνα βακτήρια για τη δημιουργία πτητικών λιπαρών οξέων, αλκοολών CO₂ και H₂. Επομένως, η αντίδραση της οξεογένεσης ορίζεται ως:



Τα προϊόντα της υδρόλυσης αποδομούνται με τη χρήση οξεογενών βακτηρίων και τροποποιούνται σε οξικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο και σχηματίζουν ένα μεθανιογενή υπόστρωμα από το οποίο εύκολα προκύπτει το μεθάνιο καθώς και πτητικά λιπαρά οξέα και αλκοόλες, τα οποία διέρχονται στην μετέπειτα φάση της οξικογένεσης.

3. **Οξικογένεση.** Τα προϊόντα της οξεογένεσης, λιπαρά οξέα και τις αλκοόλες, τροποποιούνται με τη βοήθεια των αναερόβιων οξικογόνων βακτηρίων σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα τα οποία χρησιμοποιούνται από τους μεθανογόνους. Επομένως, η αντίδραση της οξικογένεσης ορίζεται ως:



Κύριο προϊόν αυτής της φάσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο και αποτελεί το βασικό συστατικό στοιχείο του βιοαερίου.

4. **Μεθανιογένεση**, Τα προϊόντα της οξικογένεσης τροποποιούνται από τα αναερόβια μεθανιογενή βακτήρια σε αέριο μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και μεταλλικά άλατα. Η Μεθανιογένεση είναι μια αργού τύπου βιοχημική διεργασία της αναερόβιας χώνευσης που επιδρά τόσο στη διαμόρφωση του ρυθμού εξέλιξής της, όσο και στη ρύθμιση της αντίδρασης της διεργασίας. Στη Μεθανιογένεση το μεθάνιο ωριμάζει από το οξικό οξύ, το διοξείδιο του άνθρακα και το αέριο υδρογόνο.

Οι φάσεις της βιολογικής διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης πραγματοποιούνται με τη χρήση βακτηρίων, σε τέσσερις εξελικτικές μορφές τα υδρολυτικά, τα οξεογόνα, τα οξικογόνα και τα μεθανιογενή. Η συνολική βιολογική διεργασία της αναερόβιας χώνευσης συναρτάται από την ισοστάθμιση και το συνταίριασμα των πολλαπλών μικροοργανισμών, κάθε φάσης που είναι αλληλένδετες μεταξύ τους, στοιχείο που καθιστά την αναερόβια χώνευση ως μια ευαίσθητη και απαιτητική διεργασία αν την συγκρίνει κανείς με αερόβια επεξεργασία και την κομποστοποίηση η οποία και απαιτεί ένα υψηλότερο επίπεδο ελέγχου (Zamri et al., 2021).

2.2.4 Προσδιοριστικοί Παράγοντες

Στην αναερόβια χώνευση διακρίνονται ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι ελέγχονται και προσδιορίζονται ώστε να κατευθύνουν στην συνολικά αποτελεσματική διεργασία. Τα ΑΣΑ τοποθετούνται σε συστήματα κλειστού τύπου που διασφαλίζουν την αναερόβια συνθήκη της απουσίας οξυγόνου όπου και πραγματοποιούνται προσαρμογές και ρυθμίσεις στους προσδιοριστικούς παράγοντες έτσι ώστε να διευκολυνθεί και τελικώς να επιτευχθεί η αποδόμηση των οργανικών υλικών τους. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων της θερμοκρασίας, του pH, των θρεπτικών συστατικών (Λόγος C/N) και των τοξικών ουσιών είναι πολύ σημαντικός για την επιτυχή κατάληξη της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Ειδικότερα (Galliou et al., 2018, Carotenuto et al., 2021, Su et al., 2020, Jiang et al., 2019)

1. **Θερμοκρασία**. Στην αναερόβια χώνευση είναι σημαντική η θερμοκρασία στην οποία θα ενδημήσουν και θα λειτουργήσουν τα αναερόβια αντιδραστήρια. Ειδικά συνάγεται η θερμοφιλή φάση της αναερόβιας χώνευσης, με θερμοκρασίες μεταξύ 50° έως 65° C, να πλεονεκτεί της μεσόφιλης φάσης η οποία διακρίνεται για θερμοκρασίες μεταξύ 30° και 40° C, με βάση το γεγονός της ταχύτερης απόδοσης μεθανίου, αποδόμησης των οργανικών υλικών και εξαφάνισης των παθογόνων. Όμως, επειδή η αναερόβια χώνευση απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες για να λειτουργήσει συνεπάγεται και υψηλά ποσά ενέργειας με αποτέλεσμα το υψηλό οικονομικό κόστος.
2. **pH**. Το ουδέτερο pH θεωρείται ένας προσδιοριστικός παράγοντας που επενεργεί στην έκβαση της αναερόβιας χώνευσης και τυχόν διαφοροποίησή του λόγω της

συγκέντρωσης λιπαρών οξέων ή αμμωνίας. Η μεγέθυνση της συρροής λιπαρών οξέων στους αναερόβιους αντιδραστήρες πραγματοποιείται σε περίπτωση που οι μικροοργανισμοί της οξεογένεσης ή της μεθανιογένεσης έχουν εγκλωβιστεί με συνέπεια τα οξέα να συγκεντρώνονται στο χωνευτήρα και έτσι η διεργασία να αποτύχει εξαιτίας της απομείωσης του pH.

3. **Θρεπτικά Συστατικά (Λόγος C/N).** Τα θρεπτικά συστατικά θεωρούνται αναγκαία για την επώαση και την βιοχημική διεργασία των μικροοργανισμών ώστε να συμμετάσχουν στην αποδόμηση των οργανικών συστατικών με σκοπό να προκύψει η παραγωγή μεθανίου. Η ιδανική αναλογία άνθρακα προς άζωτο C/N κατορθώνεται με την σωστή συγκέντρωση και αποθήκευση των ΑΣΑ και την τροφοδότηση του βιοαντιδραστήρα. Εδώ σημειώνεται πως μικρές τιμές στην αναλογία C/N σημαίνει και υψηλότερη συγκέντρωση αζώτου (αέρια αμμωνίας) η οποία ίσως λειτουργήσει τοξικά για τον μικροβιακό πληθυσμό. Επίσης, άλλα θρεπτικά στοιχεία - ιχνοστοιχεία - που επενεργούν θετικά στη μεθανιογένεση είναι τα σίδηρος, νικέλιο, μαγνήσιο, ασβέστιο, βάριο, βολφράμιο, μόλυβδος, σελήνιο και κοβάλτιο.
4. **Τοξικές Ουσίες.** Οι τοξικές ουσίες είναι ουσίες που επενεργούν αρνητικά στη παραγωγή μεθανίου είναι το οξυγόνο, η αμμωνία, τα λιπαρά οξέα, τα βαρέα μέταλλα, τα θειούχα και θειικά ιόντα και οι άλλες ξеноβιοτικές ενώσεις. Οι τοξικές ουσίες επενεργούν αρνητικά στα αναερόβια μεθανιογενή βακτήρια με αποτέλεσμα η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης να αποτυγχάνει.

2.2.5 Συστήματα

Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε κλειστά συστήματα τα οποία συγκροτούνται από οριζόντιους ή/και κατακόρυφους αντιδραστήρες οι οποίοι διασυνδέονται σε δίκτυο αγωγών και στους οποίους πραγματοποιείται ανάδευση. Τα κλειστά συστήματα της αναερόβιας χώνευσης διαμορφώνονται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται διαρκής και συστηματικός έλεγχος, επικαιροποίηση της βιολογικής διεργασίας της επεξεργασίας των οργανικών υλικών και παραγωγή βιοαερίου. Επίσης, τα συστήματα διακρίνονται αντίστοιχα με τη μορφή της τεχνολογίας τους, ήτοι τη θερμοκρασία, τη συρροή των στερεών και του πλήθους των φάσεων ή των αντιδραστήρων. Ειδικά (Κομίλης, 2021, Anyaoku & Baroutian, 2018):

1. **Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης με Κριτήριο τη Θερμοκρασία.** Διακρίνονται σε:
 - ✓ *Συστήματα στη μεσόφιλη αναερόβια χώνευση με θερμοκρασίες προσεγγιστικά στους 40° C αποδίδουν με μικρότερη θερμότητα, κατακτούν υψηλότερο επίπεδο βιοσταθεροποίησης του οργανικού κλάσματος και διακρίνονται για τη σταθερότητά τους εξαιτίας του πλήθους της βιολογικής ποικιλότητας των μικροοργανισμών που επενεργούν.*

- ✓ **Συστήματα στη θερμοφιλή αναερόβια χώνευση** με θερμοκρασίες προσεγγιστικά στους 60° C επιτυγχάνουν την ιδανική βιοαποδόμηση με το παραγόμενο βιοαέριο να είναι απαλλαγμένο από τοξικές ουσίες με ταχύς ρυθμούς, αλλά απαιτούν υψηλές ποσότητες θερμότητας και συνεπώς ενέργειας.
2. **Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης με Κριτήριο τη Συρροή Στερεών.** Οι τεχνολογίες της αναερόβιας χώνευσης με δεδομένο τη συρροή των στερεών είναι οι εξής:
- ✓ **Συστήματα χαμηλής συνάθροισης στερεών ή Συστήματα «υγρής» αναερόβιας χώνευσης (Wet Digestion, < 10% TS).** Τα συστήματα αυτά, κατεργάζονται ΑΣΑ με επίπεδα υψηλής υγρασίας, άνω του 85%, με το χρόνο παραμονής να είναι από 5 έως 8 ημέρες, σε κλειστά κατακόρυφα αντιδραστήρια, με συνεχή ανάδευση του οργανικού υλικού ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή διασύνδεση των μικροοργανισμών με τα ΑΣΑ.
 - ✓ **Συστήματα υψηλής συνάθροισης στερεών ή Συστήματα «ξηρής» αναερόβιας χώνευσης (Dry Digestion, 25 – 40% TS).** Τα συστήματα αυτά, κατεργάζονται ΑΣΑ με επίπεδα υγρασίας, κάτω του 80%, με το χρόνο παραμονής να είναι από 8 έως 12 ημέρες, σε ειδικούς οριζόντιους ή κατακόρυφους αντιδραστήρες συνεχής φόρτισης και είναι ανθεκτικά σε ΑΣΑ με υψηλή συγκέντρωση ρυπαντικών ουσιών.
3. **Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης με Κριτήριο τον Αριθμό των Φάσεων.** Τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης στερεών αποβλήτων διακρίνονται σε δύο τύπους, τους εξής:
- ✓ **Κλασικό σύστημα αναερόβιας χώνευσης με έναν αντιδραστήρα.** Το σύστημα αυτό διαθέτει έναν αντιδραστήρα, κατεργάζεται ΑΣΑ με χρόνο παραμονής μερικών εβδομάδων και συνήθως και ανάμιξη του υλικού για την διατήρηση των μικροβίων.
 - ✓ **Σύστημα υψηλού ρυθμού αναερόβιας χώνευσης ή Σύστημα δυο σταδίων.** Το σύστημα αυτό εμπεριέχει δύο στάδια και κατ' ελάχιστον δύο αντιδραστήρες σε σειροθέτηση. Ο πρώτος αντιδραστήρας πραγματοποιεί υδρόλυση και παραγωγή οξέων, με ανάμιξη (προσθήκη νερού) με χρόνο παραμονής ορισμένων ημερών. Έπειτα, το υλικό μεταφέρεται στον δεύτερο αντιδραστήρα για την επίτευξη του δεύτερου σταδίου της διεργασίας, της μεθανιογένεσης, δίχως την επίπτωση του μειωμένου pH του πρώτου σταδίου. Το παραγόμενο βιοαέριο και των δύο σταδίων συγκεντρώνεται και αποδίδεται.

2.2.6 Πλεονεκτήματα – Οφέλη

Η Αναερόβια Χώνευση διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα, όπως (Htm1 et al., 2020, Ramachandran et al., 2019, Van et al., 2020):

1. Αποδοτική διαχείριση υγρών αποβλήτων
2. Αποφυγή έκλυσης δυσάρεστων οσμών
3. Αποφυγή εκπομπών τοξικών αερίων
4. Αποφυγή υγειονομικής ταφής αποβλήτων
5. Δεν απαιτούν μεγάλης έκτασης εγκαταστάσεις
6. Ελαχιστοποίηση μαζών και όγκου ΑΣΑ
7. Μείωση της επιβάρυνσης του φυσικού περιβάλλοντος αναφορικά με τον όγκο των ΑΣΑ
8. Μείωση χωματερών
9. Μπλοκάρισμα των ρύπων προκειμένου να μειωθεί η μόλυνση των στραγγισμάτων
10. Παραγωγή ή ανάκτηση ενέργειας με μορφή μεθανίου

2.2.7 Συγκριτική Κομποστοποίησης Και Αναερόβιας Χώνευσης

Η σωστή διαχείριση των ΑΣΑ θεωρείται ένα σημαντικό θέμα στις μέρες μας με συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον και στην κοινωνία αλλά και στην οικονομία, εφόσον συσχετίζεται με το κοινό συμφέρον, τη δημόσια υγεία και την ποιότητα της ζωής των πολιτών. Τα σημαντικότερα συστήματα κατεργασίας αυτού του ρεύματος αποβλήτων συγκροτούν, η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση. Και οι δύο τεχνικές, έχουν κοινά πλεονεκτήματα – οφέλη, τα εξής (Lin et al., 2018, Lin et al., 2019, Zulkerli et al., 2017, Riaz et al., 2020):

1. **Περιβάλλον.** Η αναερόβια χώνευση και η κομποστοποίηση συνεργούν στην:
 - ✓ Ανακύκλωση βιοαποβλήτων μέσω κομποστοποίησης ή χώνευσης
 - ✓ Απομάκρυνση της επεξεργασίας των ΑΣΑ από τους ΧΥΤΑ
 - ✓ Αποτελεσματική χρήση συστημάτων διαχείρισης ΑΣΑ για την εκμετάλλευση των παραγόμενων τελικών προϊόντων, του κομπόστ και του βιοαερίου / βιομεθανίου
 - ✓ Εκπλήρωση των επιδιώξεων της Ευρώπης για την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας και την προάσπιση του φυσικού περιβάλλοντος

2. **Κοινωνικά / Οικονομικά.** Η αναερόβια χώνευση και η κομποστοποίηση συνεργούν στην:

- ✓ *Αναβάθμιση βιοτικού επιπέδου*
- ✓ *Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας*
- ✓ *Ενίσχυση τοπικών κοινωνιών και οικονομιών*
- ✓ *Κοινωνική και οικονομική πρόοδος*
- ✓ *Μεγέθυνση περιφερειακής αγοραστικής δύναμης*
- ✓ *Προστασία θέσεων εργασίας σε αγροτικές περιοχές*
- ✓ *Χρησιμοποίηση της εσωτερικής τιμής της παραγωγής βιοαερίου και κομπόστ*

Η συγκριτική προσέγγιση για τις δύο μορφές βιολογικής επεξεργασίας των ΑΣΑ της κομποστοποίησης και της αναερόβιας χώνευσης πρέπει να λάβει υπόψη ένα σύνολο πολλαπλών προσδιοριστικών μεταβλητών όπως τα μοντέλα αποκομιδής, η σύσταση και οι ιδιότητες των ΑΣΑ, οι κλιματικές συνθήκες, η εκμετάλλευση των παραγόμενων προϊόντων των μεθόδων – κομπόστ, βιοαέριο, ηλεκτρική ενέργεια ή και θερμότητα. Αναφορικά με την πρόκριση μίας από τις δύο μεθόδους διαχείρισης των ΑΣΑ κρίνεται σημαντική η χρήση μιας εμπειριστατωμένης και λεπτομερούς προσέγγισης όπως η αντίληψη του κύκλου ζωής ώστε να αποδοθεί μια απάντηση στο ποια μέθοδος είναι περιβαλλοντικά πιο ωφέλιμη (Lalander et al., 2018).

Οι διάφορες των δύο μεθόδων έγκεινται στο είδος των ΑΣΑ που τίθεται προς επεξεργασία καθώς η αναερόβια χώνευση θεωρείται αποδοτικότερη σε απόβλητα υψηλού επιπέδου υγρασίας και συγκέντρωσης λιπαρών οξέων (απόβλητα κουζίνας) σε αντιπαράβολή με την αερόβια μέθοδο της κομποστοποίησης η οποία θεωρείται αποδοτικότερη για την επεξεργασία σε απόβλητα χαμηλότερου επιπέδου υγρασίας και συγκέντρωση λιγνίνης (πράσινα απόβλητα, ξύλα) με αυξημένη ικανότητα βιοαποδόμησης. Μια ακόμη διαφοροποίηση των μεθόδων έγκειται στην δυνατότητα περιορισμού και ελέγχου των δυσάρεστων οσμών, όπου στην αναερόβια χώνευση, οι οσμές εκλύονται στο στάδιο της προετοιμασίας του ρεύματος τροφοδοσίας και στο στάδιο της κατεργασίας της χωνεμένης ιλύος, καθώς το υλικό βρίσκεται εκτός του βιοαντιδραστήρα. Στην αναερόβια χώνευση ο αέρας υπόκειται σε επεξεργασία με βιόφιλτρα. Ενώ, οι οσμές στις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης είναι σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό δυσάρεστες. Ειδικότερα, τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης είναι εκείνα που εγκρίνουν τον τυπικό έλεγχο των οσμών (Angouria-Tsorochidou & Thomsen, 2021).

Επίσης, διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο μεθόδους παρουσιάζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Οι ανομοιότητες εντοπίζονται στις προϋποθέσεις για έκταση εγκατάστασης, ενέργεια, τεχνολογία, ευελιξία μονάδας, κόστος παραγωγής καθώς και στην περιοχή εφαρμογής της μεθόδου. Το κόστος εγκατάστασης των μονάδων κομποστοποίησης είναι μικρότερο από εκείνο για τις μονάδες αναερόβιας χώνευσης, αλλά χαρακτηρίζονται από υψηλότερο κόστος λειτουργίας. Αν και το οικονομικό κόστος λειτουργίας κάθε μονάδας πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τις ιδιαιτερότητες της μονάδας, τη γεωγραφική θέση της, των τεχνολογιών αναερόβιας επεξεργασίας. Τέλος, οι ενεργειακές ανάγκες διαφέρουν με την αναερόβια χώνευση να έχει μεγαλύτερες

απαιτήσεις από αυτές της κομποστοποίησης, αν και πρέπει να σημειωθεί πως στην αναερόβια χώνευση το παραγόμενο προϊόν του βιοαερίου είναι δυνατό να αξιοποιηθεί με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και θερμότητα για την ίδια την εγκατάσταση (Lin et al, 2019, Meng et al., 2020, Rincón et al., 2019).

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment)

3.1 Εννοιολογικός Προσδιορισμός

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί μια διεργασία μέτρησης και ερμηνείας των επενεργειών ενός προϊόντος στο φυσικό περιβάλλον σε όλο το κύκλο ζωής του, από την παραγωγή του έως και την τελική του απόρριψη. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής παρουσιάστηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 ως ένα εργαλείο για την εξεύρεση λύσεων για την προστασία του περιβάλλοντος από τους ρυπογόνους παράγοντες (Ciambrone, 2018).

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής θεωρείται ένα προβλεπτικό μοντέλο – εργαλείο με σκοπό την ανάδειξη, καταγραφή και σύγκριση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων οι οποίες προκύπτουν στην παραγωγική διαδικασία προϊόντων ώστε να προκύψει μια αξιόπιστη και έγκυρη συμπερασματολογία που θα μπορεί να αναδείξει τους τρόπους για τη απομείωση των επιπτώσεων, την ποιοτική αναβάθμιση του εκάστοτε προϊόντος αλλά και νέες λύσεις και καινοτόμες ιδέες στη σχεδίαση και παραγωγική διεργασία νέων προϊόντων (Davis, Anderson-Teixeira & DeLucia, 2009, Rebitzer et al., 2004, Ciambrone, 2018, Aziz, & Hanafiah, 2020 Havukainen et al., 2020).

3.2 Μεθοδολογία – Στάδια (Φάσεις) Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η βασική μεθοδολογική αρχή στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί η διαμόρφωση και η ανάλυση όλων των επιμέρους συστατικών σταδίων – φάσεων συνιστούν τον ολιστικό κύκλο ζωής του προϊόντος, ήτοι ο εφοδιασμός και η κατεργασία των πρώτων υλών, η τροποποίηση αυτών σε ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα, η μεταφορά – προώθηση / προβολή – διανομή του προϊόντος στον τελικό χρήστη - καταναλωτή, η χρήση – επαναχρησιμοποίηση – συντήρηση του προϊόντος και η τελική του διαχείριση – απόρριψη ως απόβλητο (Sabeen et al., 2018, Fricke et al., 2022).

Τα κύρια **Στάδια – Φάσεις** για την ανάπτυξη της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος είναι τα εξής (Παναγιωτακόπουλος, 2007, Molina-Besch, Wikström & Williams, 2019, Bahramian & Yetilmezsoy, 2020):

1. Goal & Scope Definition - Καθορισμός Σκοπού & Στόχων Ανάλυσης
2. Life Cycle Inventory Analysis - Ανάλυση Καταγραφής Κύκλου Ζωής.
3. Life Cycle Impact Assessment – Ανάλυση / Αξιολόγηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής
4. Life Cycle Improvement Analysis) / Interpretation – Ανάλυση Βελτιώσεων Κύκλου Ζωής ή Ολοκλήρωση.

3.2.1 Goal & Scope Definition - Καθορισμός Σκοπού & Στόχων Ανάλυσης

Στην πρώτη φάση (Goal & Scope Definition) - Καθορισμός Σκοπού & Στόχων Ανάλυσης, πραγματοποιείται η οριοθέτηση του αντικειμενικού στόχου και του σκοπού αναφορικά με το υποκείμενο της μελέτης και εδώ ο εκάστοτε ερευνητής προσδιορίζει τα ποσοτικά δεδομένα της μελέτης αναφορικά με τη χρονική της διάρκεια, το ανθρώπινο δυναμικό που θα ενασχοληθεί και το οικονομικό κόστος το οποίο θα προκύψει. Εδώ σημειώνεται πως ο απλός και σαφής ορισμός του σκοπού και των επιμέρους στόχων διαμορφώνει ένα σταθερό πλαίσιο της ανάλυσης. Τα κρίσιμα σημεία στα οποία αναφέρεται η στοχοθεσία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, είναι (Nwodo, & Anumba, 2019):

1. Σαφής σκοπός της μελέτης
2. Συγκρότηση της μονάδας αναφοράς
3. Καθορισμός και ανάλυση ορίων του συστήματος.
4. Ορισμός ποιοτικών προδιαγραφών των στοιχείων που θα μεταχειριστούν
5. Ορισμός της χρονικής διάρκειας και της γεωγραφικής τοποθέτησης της μελέτης
6. Μεθοδολογίες – Λογιστικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής που θα επιλεγούν

3.2.2 Life Cycle Inventory Analysis - Ανάλυση Καταγραφής Κύκλου Ζωής

Στην δεύτερη φάση (Life Cycle Inventory Analysis) Ανάλυση Καταγραφής Κύκλου Ζωής πραγματοποιείται η διαμόρφωση του υπολογιστικού προτύπου - μοντέλου το οποίο καταγράφει τον κύκλο ζωής του προϊόντος και προσδιορίζει τις εισροές, τις εκροές και τα όρια του συστήματος. Στην παρούσα φάση ο εκάστοτε ερευνητής συγκεντρώνει και αξιολογεί όλα τα απαιτούμενα δεδομένα.

Η Καταγραφή του Κύκλου Ζωής αποτελεί ένα δομημένο πρότυπο το οποίο περιλαμβάνει τις **Εισροές - Πόρους, Εκροές και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις** για κάθε στάδιο της ζωής ενός προϊόντος από την παραγωγή μέχρι της απόρριψή του. Επιπλέον καταγράφονται οι **Ενδιάμεσες κινήσεις του προϊόντος** κατά τη συνολική διάρκεια της πορείας των παραγωγικών του διαδικασιών, ήτοι οι **ροές αναφοράς**. Ως ροές αναφοράς θεωρείται το πλήθος των ροών ενός προϊόντος σε κάθε σύστημα παραγωγής μίας λειτουργικής μονάδας. Εδώ, η ροή αναφοράς στην περίπτωση αυτή γίνεται το σημείο αναφοράς για τη λειτουργική μονάδα αναφοράς (Hijazi et al., 2020, Khandelwal et al., 2019).

Ο ακριβής ορισμός της μονάδας αναφοράς (functional unit) θεωρείται πρωταρχικό στοιχείο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής καθώς αποτελεί το μέτρο για τη συνολική λειτουργία του συστήματος και αποδίδει την καταγραφή των εισερχόμενων και εξερχόμενων στοιχείων, αποτελεσμάτων και

συμπερασμάτων ακόμα και συγκριτικών δεδομένων από δύο επιμέρους συστήματα (Vigon et al., 2020).

Επιπλέον είναι σημαντικά η οριοθέτηση και η περιγραφή των **ορίων** του **συστήματος** τα οποία θα ορίσουν και το πλήθος των διαδικασιών που θα ενταχθούν στην Ανάλυση του Κύκλου Ζωής, οι οποίες και θα αξιολογηθούν. Τα πιο συνήθη όρια είναι τα εξής (Istrate et al., 2020 Yang & Heijungs, 2018):

1. **Όρια Κύκλου Ζωής Προϊόντος.** Τα όρια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος καθορίζονται από την αρχική του παραγωγή έως την τελική του απόρριψη ως απόβλητο.
2. **Γεωγραφικά όρια.** Η γεωγραφική οριοθέτηση θεωρείται μια σημαντική παράμετρος στον καθορισμό του μοντέλου Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος καθώς υπάρχει περίπτωση να καταγραφούν διαφορές στις υποδομές παραγωγής αλλά και στα συστήματα μεταφοράς, διανομής, ενέργειας και διαχείρισης αποβλήτων όπως και να ληφθούν υπόψη η ύπαρξη περιβαλλοντικά ευαίσθητων οικοσυστημάτων, η περιβαλλοντική υποβάθμιση σε μια περιοχή κ.ά..
3. **Χρονικά όρια.** Το μοντέλο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος ως αξιολογικό εργαλείο λαμβάνει χώρα και εξάγει συμπεράσματα για μια συγκεκριμένη χρονική φάση και διεξάγει προβλεπτικά μοντέλα με κριτήριο χρονικές υποθέσεις. Η χρονική οριοθέτηση επιβάλλει περιορισμούς και στις επιλογές αναφορικά με την τεχνολογία παραγωγής ενός προϊόντος, την τεχνολογία αντιρρυπαντικών συστημάτων, κ.ά..
4. **Οριοθέτηση / αποκλεισμός από τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος άλλων κύκλων ζωής τεχνικών συστημάτων που** είναι εξαρτώμενες και επιβάλλεται να διακριθούν για την σωστή εκτέλεση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.

Τέλος, είναι σημαντική η **οριοθέτηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των συλλεχθέντων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν** ώστε να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των συμπερασμάτων της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν σε ζητήματα σχετικά με τη χωρική τοποθέτηση, την εφαρμοζόμενη τεχνολογία κ.ά. και πρέπει να διακρίνονται για την ορθότητα, την πληρότητα, την σαφήνεια και την αντιπροσωπευτικότητα των συλλεχθέντων στοιχείων. Τα στοιχεία για κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος που εντάσσονται στο υπολογιστικό μοντέλο, ακολούθως συγκεντρώνονται, εκτιμώνται και καταγράφονται ως στοιχεία εισροών και εκροών κάθε σταδίου σε ειδικές φόρμες καταγραφής. Σημαντικό, τα στοιχεία να εκφράζονται σε τιμές σύμφωνα με τη μονάδα αναφοράς και στη συνέχεια να υπολογίζονται οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον (Iqbal, Liu & Chen, 2020).

3.2.3 Life Cycle Impact Assessment – Ανάλυση / Αξιολόγηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής

Στην τρίτη φάση (Life Cycle Impact Assessment) Ανάλυση / Αξιολόγηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής πραγματοποιείται η αποσαφήνιση και καταγραφή των επιπτώσεων στο περιβάλλον από κάθε εισροή και εκροή του συστήματος και η επιλογή της λειτουργικής μονάδας. Αυτή η φάση επικεντρώνεται στον απώτερο σκοπό της μελέτης της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής αναφορικά με τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και καταγράφει τα σημεία που πλήττονται και η μελέτη θα πρέπει να εστιάσει, όπως η ανθρώπινη υγεία, η ευρωστία του οικοσυστήματος και η σπατάλη των φυσικών πόρων (ανανεώσιμων και μη).

Επιπλέον, η μελέτη αναλύει τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις και αποσαφηνίζει τις επιμέρους διαστάσεις τους σε πολλαπλά επίπεδα, ήτοι σε παγκόσμιο (υπερθέρμανση, κλιματική αλλαγή, τρύπα του όζοντος), σε περιφερειακό (οξίνιση, ευτροφισμός, τοξικότητα), σε τοπικό (χρήση γης, οσμές, ακτινοβολία, ατυχήματα), σε επίπεδο κατανάλωσης των φυσικών πόρων (μη ανανεώσιμων - πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ορυκτά μεταλλεύματα και ανανεώσιμων, δασική και αγροτική βιομάζα, υπόγεια ύδατα (Valenti, Liao & Porto, 2020, Bulle et al., 2019).

3.2.4 Life Cycle Improvement Analysis) / Interpretation - Ανάλυση Βελτιώσεων Κύκλου Ζωής ή Ολοκλήρωση

Στην τέταρτη φάση (Life Cycle Improvement Analysis) / Interpretation - Ανάλυση Βελτιώσεων Κύκλου Ζωής ή Ολοκλήρωση, πραγματοποιείται εισαγωγή των στοιχείων στο υπολογιστικό μοντέλο, η ανάλυση και εκτίμηση των αποτελεσμάτων και η διεξαγωγή συμπερασμάτων. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής αποδίδει προτάσεις λύσεων και τρόπων βελτίωσης των τυχόν προβλημάτων μέσω περιβαλλοντικών δράσεων (Koffler et al., 2020).

Σε αυτό το σημείο καταγράφεται πως η μεθοδολογία για την ανάλυση και μελέτη προβλημάτων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής έχει τυποποιηθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποιήσεων (International Organization for Standardization, ISO) ο οποίος το 2006 διαμόρφωσε ένα συγκεντρωτικό Πρότυπο, το ISO 14044 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines, το οποίο και συμπεριέλαβε τέσσερα ISO για τις τέσσερις φάσεις της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, τα εξής: Goal and Scope (ISO 14041), Life Cycle Inventory (ISO 14040), Life Cycle Impact Assessment (ISO 14042) και Life Cycle Interpretation (ISO 14043) και επικαιροποιήθηκε το 2020 (Heijungs et al., 2021).

3.3 Μεθοδολογίες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής: Παρουσίαση & Συγκριτική

Η επιλογή της **μεθοδολογίας** Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για την εκτίμηση του **αποτυπώματος** μιας διαδικασίας σε μια μονάδα, προϋποθέτει την χρήση ενός υπολογιστικού πρότυπου. Το **υπολογιστικό πρότυπο** ενός **λογισμικού πακέτου** εμπεριέχει ένα άθροισμα από συστατικές ουσίες και ροές ρύπων οι οποίες είναι διασυνδεδεμένες με έναν συντελεστή για κάθε κατηγορία ρύπου. Στο εμπόριο κυκλοφορούν πολλαπλά λογισμικά τα οποία εκτιμούν το αποτύπωμα ενός ρύπου αν και κανένα από αυτά δεν είναι σε θέση να απόλυτα το αποτύπωμα όλων των ουσιών σε όλες τις κατηγορίες ρύπανσης για όλες τις περιπτώσεις (Van Fan et al., 2018).

Τα τελευταία 20 χρόνια, οι πρακτικές έρευνας και βιομηχανίας δείχνουν ότι τα λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής ενισχύοντας τη βιωσιμότητα (Karunaratne & Dharmarathna, 2022).

Οι κυριότερες **Μεθοδολογίες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής** οι οποίες αποτελούν αντικείμενο μελέτης και επικαιροποίησης της Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) είναι οι εξής (Fava et al., 2014):

1. **Μοντέλο CML.** Το μοντέλο **CML** διαμορφώθηκε από το Leiden University στην Ολλανδία το 2001, εμπεριέχει 170 και πλέον ροές ρύπων στο περιβάλλον. Η CML ήταν η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος εκτίμησης επιπτώσεων στον κύκλο ζωής σε μελέτες αξιολόγησης του κύκλου ζωής για τη διαχείριση αποβλήτων. Το μοντέλο έχει την δυνατότητα για ομαδοποιήσεις και κανονικοποιήσεις (Martínez et al., 2019, Xue & Xu, 2017).
2. **Μοντέλο ReCiPe.** Το μοντέλο **ReCiPe** αποδίδει μετρήσεις στη μέση (κλιματικής αλλαγή, οξικόποηση, τοξικότητα) και στην τελική κατηγορία ρύπανσης (επίδραση των φαινομένων ρύπανσης σε ανθρώπινη υγεία, πόρους και οικοσυστήματα) διακρίνεται για την επιστημονικότητα και την ακρίβεια του. Το μοντέλο συνδυάζει δείκτες CML και Ecoindicator. Το μοντέλο έχει την δυνατότητα για διαφορετικές κανονικοποιήσεις (Goedkoop et al., 2009, Lamnatou et al., 2018, Dekker et al., 2020).
3. **Μοντέλο USEtox.** Το μοντέλο **USEtox** αποδίδει μετρήσεις σε ουσίες και ρύπους στην τελική κατηγορία ρύπανσης, στην επίδραση αυτής στην ανθρώπινη υγεία και στην τοξικότητα του περιβάλλοντος. Το μοντέλο αυτό διακρίνεται για την υψηλή ευαισθησία του και συνίσταται η προσεκτική χρήση του (Rosenbaum et al., 2008).

Οι μέθοδοι εκτίμησης περιβαλλοντικών, ενεργειακών συνεπειών και επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία CML, ReCiPe, USEtox, χρησιμοποιούνται ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής και ενσωματώνουν εκτενείς λίστες ουσιών για τον υπολογισμό των συντελεστών. Οι μέθοδοι της ανάλυσης κύκλου ζωής για τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων έχουν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας πολλών συγγραφέας οι οποίοι αναδεικνύουν μία συνολική τάση σύμφωνα με την οποία οι μέθοδοι της ανάλυσης κύκλου ζωής στη διαχείριση των αποβλήτων αποτελούν μία ιδιαίτερως οικονομικά αποδοτική λύση οι οποίες συνολικά

προάγουν την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας (Maalouf & ElFadel, 2019, Khandelwal et al., 2019, Thushari, Vicheanteab & Janjaroen, 2020, Laurent et al., 2014).

3.4 Λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Επίσης, το λογισμικό που χρησιμοποιείται στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί ένα software το οποίο είναι και ιδιαίτερα διαδεδομένο και υπάρχει πληθώρα από αυτά στο εμπόριο. Τα λογισμικά περιλαμβάνουν ένα πλήθος ουσιών που συνυπολογίζονται στους ρύπους και έναν πλήθος συντελεστές των ουσιών για κάθε κατηγορία ρύπανσης η οποία ερμηνεύεται από ένα δείκτη - μοντέλο. Οι δείκτες για την κάθε κατηγορία ρύπου είναι οι εξής (Olagunju & Olanrewaju, 2020):

1. Human Toxicity, USEtox
2. Εξάντληση νερού, ReCiPe
3. Εξάντληση πόρων, ορυκτά και ορυκτά, CML
4. Ευτροφισμός γλυκού νερού, ReCiPe
5. Ζήτηση Ενέργειας
6. Θαλάσσιος Ευτροφισμός, ReCiPe
7. Καταστροφή του όζοντος, CML
8. Κλιματική Αλλαγή, CML
9. Οικοτοξικότητα, USEtox
10. Οξίνιση, CML
11. Σωματίδια, ReCiPe
12. Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος, ReCiPe

Παρακάτω παρατίθενται τα **λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής** και ο εκάστοτε προμηθευτής τους, ειδικά:

1. AIST-LCA, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
2. Autodesk Eco-Materials Advisor, Autodesk, Inc
3. Aveny, Aveny GmbH
4. BEES, National Institute of Standards and Technology (NIST)

5. CCaLC, The University of Manchester
6. Eco-Bat, Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud
7. Ecoinvent waste disposal inventory tools, Doka Life Cycle Assessments (Doka Okobilanzen)
8. e-DEA, GreenDelta GmbH and EVEA SAS
9. Environmental Impact Estimator, Athena Sustainable Materials Institute
10. eVerDEE, ENEA - Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment
11. GaBi, PE International GmbH University of Stuttgart, LBP-GaBi
12. GEMIS, Oeko-Institut (Institute for applied Ecology), Darmstadt Office
13. Greenfly, RMIT University
14. LEGEP, LEGEP Software GmbH
15. LinkCycle, LinkCycle, Inc
16. LTE OGIP, t.h.e. Software GmbH
17. OpenLCA, GreenDeltaTC GmbH
18. Quantis suite, Quantis
19. REGIS, sinum AG
20. SALCA, Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART
21. SankeyEditor, STENUM GmbH
22. SimaPro, PRé Consultants B.V.
23. The Boustead Model, Boustead Consulting Limited
24. Umberto, IFU Hamburg GmbH
25. USES-LCA, Radboud University Nijmegen
26. WRATE, UK Environment Agency

Ένα λογισμικό Ανάλυση Κύκλου Ζωής εργάζεται σε στάδια (Feng et al., 2022):

1. Συλλογή δεδομένων διεργασιών και εκπομπών της μονάδας
2. Διάγραμμα ροής μονάδας
3. Έλεγχος ισοζυγίων μάζας και ενέργειας

4. Συμπλήρωση ελλείπων δεδομένων
5. Εισαγωγή διαδικασιών της μονάδας στο πρόγραμμα με συμπλήρωση ροών στη βάση δεδομένων του προγράμματος
6. Διαμόρφωση ροών υλικών μεταξύ των διαδικασιών
7. Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε πίνακες και διαγράμματα

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Μεθοδολογία Υπολογισμών

4.1 Σκοπός

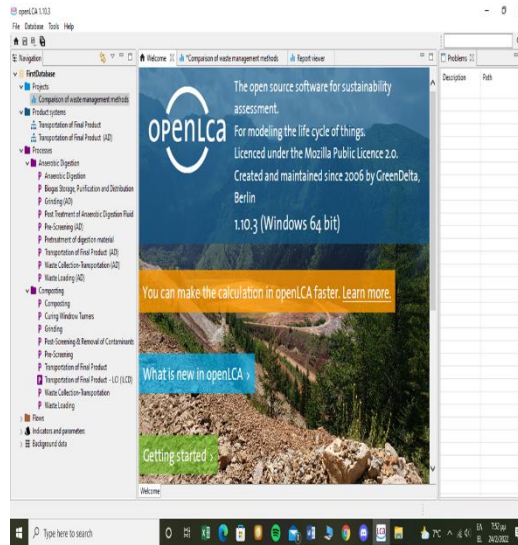
Σκοπός της μελέτης, είναι η σύγκριση του περιβαλλοντικού και ενεργειακού αποτυπώματος δύο εκ των δημοφιλέστερων μεθόδων διαχείρισης **στερεών αστικών αποβλήτων**, αυτών της **κομποστοποίησης** και της **αναερόβιας χώνευσης**.

4.2 Ανάλυση πλαισίου μελέτης

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι η **ανάλυση κύκλου ζωής** μέσω του προγράμματος **openLCA 1.10.3**, και η απεικόνιση της αρχικής σελίδας του προγράμματος απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα 1. Το Πρόγραμμα διαθέτει βιβλιοθήκες με αλγόριθμους οι οποίοι κάνουν ανάλυση του κύκλου ζωής και υπολογισμό του ενεργειακού καθώς και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Επιπρόσθετα μπορεί να συγκρίνει και τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Το openLCA είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα και δωρεάν για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας και του κύκλου ζωής, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (García-Cruz et al., 2022):

1. Γρήγορος και αξιόπιστος υπολογισμός της Αξιολόγησης Βιωσιμότητας και/ή της Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής
2. Απόδοση λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τα αποτελέσματα υπολογισμού και ανάλυσης, σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής, ανά διαδικασία, ροή ή κατηγορία επιπτώσεων, οπτικοποίηση αποτελεσμάτων
3. Η Κοστολόγηση Κύκλου Ζωής και η κοινωνική αξιολόγηση ενσωματώνονται ομαλά στο μοντέλο του κύκλου ζωής
4. Φίλικό προς το χρήστη, διεπαφή χρήστη σε διάφορες γλώσσες, αποτελεσματική δυνατότητα αποθήκευσης και συνεργασίας
5. Συνεχής βελτίωση και εφαρμογή νέων λειτουργιών

Τα όρια της μελέτης και για τις δύο μεθοδολογίες που θα αναλυθούν παρακάτω (κομποστοποίηση και αναερόβια χώνευση) αποτελούν είναι αυτά της διαδρομής των **στερεών αστικών αποβλήτων**, από την συλλογή τους έως την παράδοση του πλήρως επεξεργασμένου προϊόντος στον τελικό του προορισμό (Al-Rumaihi et al., 2020).

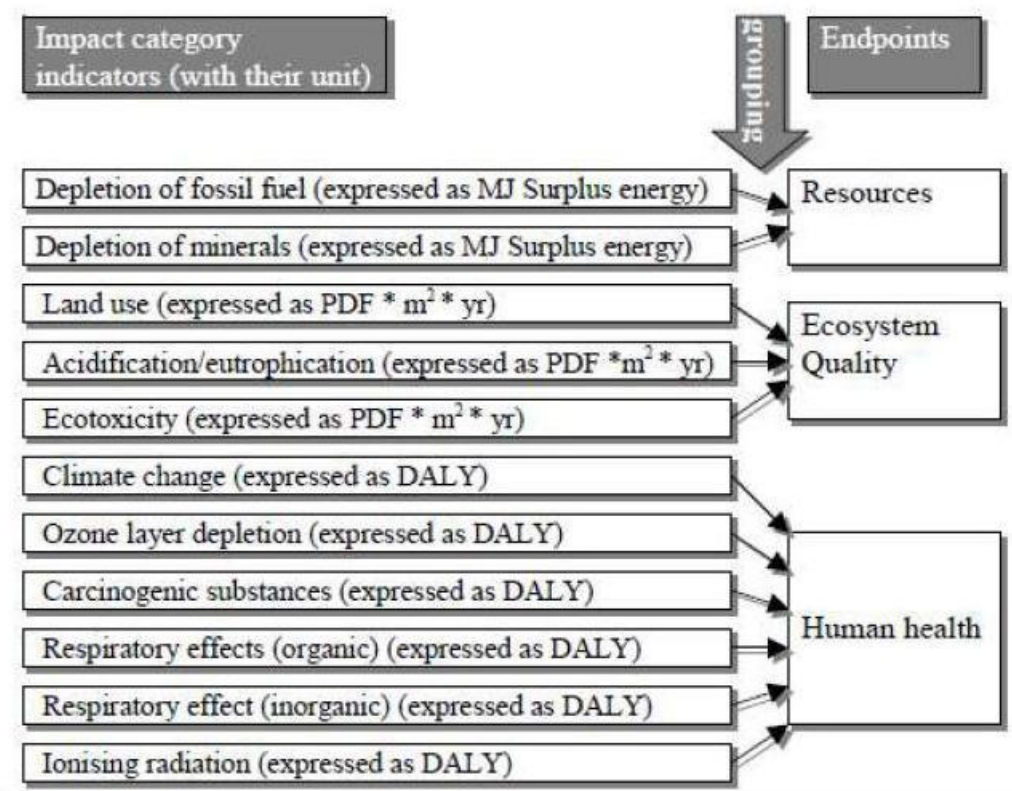


Εικόνα 4.1. Ανάλυση κύκλου ζωής μέσω του προγράμματος openLCA 1.10.3.

Οι Μεθοδολογίες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μελέτη είναι οι εξής τρεις, που συγκριτικά παρατίθενται η ανάλυση αυτών:

- 1. Μέθοδος ILCD:** Η μέθοδος αξιολόγησης των επιπτώσεων, που επιλέχθηκε, είναι η ILCD 2011 (International Reference Life Cycle Data System) του Διεθνούς Συστήματος Δεδομένων Κύκλου Ζωής Αναφοράς, η οποία βασίζεται στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Institute for Environment and Sustainability in the European Commission Joint Research Centre (JRC) για διάφορες μεθόδους LCA (EC-JRC, 2010). Η μέθοδος αποδίδει μετρήσεις στη μέση κατηγορία ρύπανσης (κλιματικής αλλαγή, οξικόποιηση, τοξικότητα) αλλά και στην τελική (επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, πόρους και οικοσύστημα) (Ekvall et al. 2016).
- 2. Μέθοδος eco-indicator 99 (E):** Ο δείκτης eco-indicator 99 (E), βασίζεται στην κατηγορία τελικού σημείου και στη μέθοδο panel, είναι ο πιο κοινά χρησιμοποιούμενη τεχνική στην πράξη που βασίζονται στην LCA. Η μεθοδολογία σκοπεύει να αποτυπώσει τις συνολικές απώλειες που επιφέρουν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ειδικότερα επιφέρουν επιπτώσεις σε τρεις μεγάλες κατηγορίες στην ανθρώπινη υγεία, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στους πόρους που εκφράζονται ως η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται για τις μελλοντικές εξορύξεις καυσίμων. Οι αβεβαιότητες σχετικά με την ορθότητα των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν και σχετικά με τα δεδομένα σε συνάρτηση με την μεθοδολογία εκφράζονται με βάση τρία αρχέτυπα της κοινωνικής θεωρίας, το αρχέτυπο της ισότητας, της ιεραρχίας και του ατομικισμού. Η κανονικοποίηση των δεδομένων πραγματοποιείται σε τρεις επίπεδα απωλειών και επιτρέπει την εύρεση της βαρύτητας των επιπτώσεων. Ο χαρακτηρισμός αποτελείται από δείκτες που υπολογίζονται στο «επίπεδο τελικού σημείου» (ζημία). Το μοντέλο ζημιών περιλαμβάνει ανάλυση πορείας, έκθεσης, επιπτώσεων και ζημιών στον τελικό αποδέκτη. Το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται για τις ακόλουθες κατηγορίες επιπτώσεων: Σε όλες τις παρακάτω κατηγορίες εκτός τις δύο τελευταίες, η ζημία

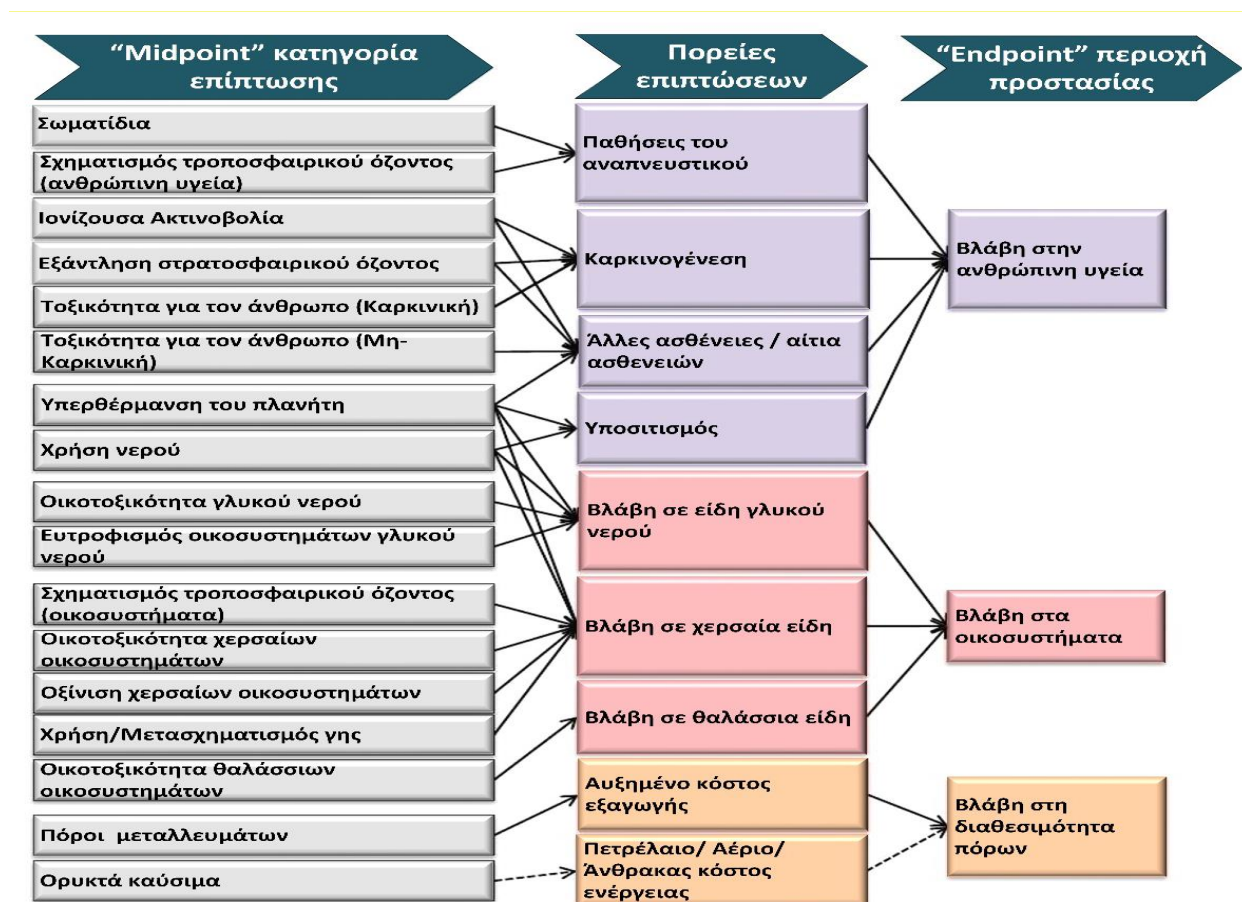
εκφράζεται σε Προσαρμοσμένα Έτη Ζωής με Αναπηρία / kg εκπομπών (DALY / kg εκπομπών). Η Eco-indicator 99 έχει ένα στάδιο εκτίμησης των ζημιών. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα από τους δείκτες στην κατηγορία επιπτώσεων που υπολογίζονται στο στάδιο του χαρακτηρισμού, προστίθενται για να σχηματίσουν τις κατηγορίες ζημιών. Οι δείκτες υπολογίζονται στο στάδιο του χαρακτηρισμού στο τέλος του επιπέδου end-point (ζημία). Το μοντέλο ζημιών για τις εκπομπές περιλαμβάνει την εκτίμηση μεταφοράς και χημικού μετασχηματισμού των ρύπων, την έκθεση, την ανάλυση επιπτώσεων και την ανάλυση ζημιών: καρκινογένεση, αναπνευστικά προβλήματα από οργανικές ουσίες, αναπνευστικά προβλήματα από ανόργανες ουσίες, κλιματική αλλαγή, ακτινοβολία, στιβάδα του όζοντος, οικοτοξικότητα, όξυνση/ευτροφισμός, χρήση της γης, ορυκτοί πόροι και ορυκτά καύσιμα. Η Εικόνα 4.2 αναπαριστά τη διαδικασία που επιτρέπει τη μείωση του αριθμού των κατηγοριών επιπτώσεων σε τρεις μόνο, αντί των έντεκα (11) χωρίς υποκειμενική στάθμιση (Goedkoop, 2007, Verbitsky & Pushkar, 2018).



Εικόνα 4.2. Παράσταση ομαδοποίησης μεθόδου Eco-indicator 99 (Ζηγούρας, 2005, 40).

3. Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]: Το ReCiPe βασίζεται τόσο στη CML 2002 που αναπτύχθηκε από το Κέντρο Περιβαλλοντικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου του Leiden όσο και στις μεθόδους EI99. Η ReCiPe συνεχίζει να εφαρμόζει τις τρεις προοπτικές (π.χ., εξισωτική, ιεραρχική και ατομικιστική). Το μοντέλο ReCiPe δίνει αποτελέσματα τόσο σε μέση κατηγορία ρύπανσης (midpoint) όσο

και σε τελική (endpoint). Στη μέση κατηγορία ρύπανσης ανήκουν όλα τα φαινόμενα ρύπανσης, όπως αυτά της κλιματικής αλλαγής, οξικόποίησης, τοξικότητας του περιβάλλοντος κ.α., ενώ στην κατηγορία τελικής ρύπανσης ανήκουν οι κατηγορίες αποτελεσμάτων των φαινομένων αυτών. Το μοντέλο αυτό συνδυάζει δείκτες CML, σε μια πιο ανανεωμένη έκδοση, για την προσέγγιση των μέσων κατηγοριών ρύπανσης και δείκτες Ecoindicator για την προσέγγιση των κατηγοριών τελικής ρύπανσης. Οι κατηγορίες τελικής ρύπανσης είναι η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, στους πόρους και στα οικοσυστήματα. Επίσης το μοντέλο της ReCiPe έχει την δυνατότητα για διαφορετικές κανονικοποιήσεις (E,H & I). Η ReCiPe είναι η πιο πρόσφατη μέθοδος για την εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής και βασικός της στόχος είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε περιορισμένο αριθμό κατηγοριών επίπτωσης. Η μέθοδος εστιάζει σε τρεις κύριες κατηγορίες οι οποίες είναι η επιρροή στην ανθρώπινη υγεία (μετράτε σε DALY, Disability Adjusted Life Years), η επιρροή στο οικοσύστημα (μετράτε σε species*year) και η επιρροή στη διαθεσιμότητα των πόρων (μετράτε σε \$) (Goedkoop et al., 2009, Huijbregts et al., 2016). Σε επίπεδο “endpoint”, οι περισσότερες από τις κατηγορίες επιπτώσεων του προηγούμενου επιπέδου, πολλαπλασιάζονται με κατάλληλους συντελεστές και αθροίζονται σε τρεις κατηγορίες επιπτώσεων, οι οποίες αντιστοιχούν σε περιοχές προστασίας οι οποίες αποτελούν τη βάση λήψης αποφάσεων στην πολιτική και την αειφόρο ανάπτυξη, όπως παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 4.3.



Εικόνα 4.3. Κατηγορίες επιπτώσεων μεθόδου ReCiPe (Sustainability, 2020)

4.3 Μεταφορά

Η μελέτη αφορά ένα τόνο στερεών αστικών αποβλήτων (70% περιεκτικότητας σε βιομάζα). Για τη διαδικασία της μεταφοράς θεωρήθηκε πως και για τις δύο μεθόδους, τη **μεταφορά** διεκπεραίωσε απορριμματοφόρο κλάσης καυσαερίων EuroV που κινούταν κατά βάση σε αστικό περιβάλλον. Ο υπολογισμός της καταναλωμένης ενέργειας καθώς και των ρύπων που εκλύονται από τη συγκεκριμένη διαδικασία έγινε, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία για την κατανάλωση των απορριμματοφόρων σε αστικό περιβάλλον ανά τόνο απορριμμάτων σε συνδυασμό με τις εκπομπές ρύπων ανά καταναλωμένο λίτρο καυσίμου, σύμφωνα με το πρότυπο EuroV. (Larsen et al., 2009).

4.4 Φόρτωση

Για τη διαδικασία της **φόρτωσης** των απορριμμάτων ξανά και για τις δύο μεθόδους, θεωρούμε πως το φορτωτικό μηχάνημα ανήκει στην κλάση καυσαερίων Stage III B. Ο υπολογισμός της καταναλωμένης ενέργειας καθώς και των ρύπων που εκλύονται από τη συγκεκριμένη διαδικασία έγινε, χρησιμοποιώντας στοιχεία για την κατανάλωση των βαρειών αυτών μηχανημάτων ανά ώρα λειτουργίας και στοιχεία αναφορικά με την φορτωτική ικανότητά του μηχανήματος (τόνοι ανά ώρα λειτουργίας). Έτσι συνδυαστικά με τις εκπομπές ρύπων ανά καταναλωμένο λίτρο καυσίμου, σύμφωνα με το πρότυπο Stage III B προκύπτουν οι εισροές και οι εκροές της διαδικασίας. (U.S. EPA, 2016).

4.5 Διαλογή αποβλήτων

Η επόμενη διαδικασία η οποία είναι κοινή και στις δύο μεθόδους είναι η **πρώτη διαλογή των αποβλήτων**. Για την διεκπεραίωση της διαδικασίας αυτής θεωρούμε πως γίνεται χρήση ηλεκτρικού διαχωριστή κατανάλωσης 1.8 kWh/τόνο απορριμμάτων. Οι εκροές της συγκεκριμένης διαδικασίας υπολογίζονται με βάση τα στοιχεία των εκπομπών ρύπων ανά kWh παραγόμενης ενέργειας στην Ελλάδα.

4.6 Άλεση αποβλήτων

Η τέταρτη και προτελευταία κοινή διαδικασία αφορά την άλεση των αποβλήτων. Θεωρούμε πως το αλεστικό μηχάνημα ανήκει στην κλάση καυσαερίων Stage III B. Ο υπολογισμός της καταναλωμένης ενέργειας καθώς και των ρύπων που εκλύονται από τη συγκεκριμένη διαδικασία έγινε, χρησιμοποιώντας στοιχεία για την κατανάλωση των βαρειών αυτών μηχανημάτων ανά ώρα λειτουργίας και στοιχεία αναφορικά με την αλεστική ικανότητά του μηχανήματος (τόνοι ανά ώρα λειτουργίας). Έτσι συνδυαστικά με τις εκπομπές ρύπων ανά καταναλωμένο λίτρο καυσίμου, σύμφωνα με το πρότυπο Stage III B προκύπτουν οι εισροές και οι εκροές της διαδικασίας. (U.S. EPA, 2016).

Καταληκτικά η τελευταία κοινή διαδικασία της μεθόδου είναι η μεταφορά του τελικού προϊόντος στο χώρο προς αξιοποίηση. Παρατηρούμε πως η μάζα του τελικού προϊόντος είναι 300kg κάτι λιγότερο από το ένα τρίτο της μάζας των στερεών αποβλήτων. Για τη μεταφορά του προϊόντος θεωρούμε πως χρησιμοποιήθηκε φορτηγό όχημα κλάσης καυσαερίων EuroV. Για τον υπολογισμό των εισροών και των εκροών της συγκεκριμένης διαδικασίας ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία με αυτή της διαδικασίας της μεταφοράς.

Γίνεται έτσι εύκολα αντιληπτό πως το περιβαλλοντολογικό και ενεργειακό αποτύπωμα και των δύο μεθόδων για τις 5 πρώτες διαδικασίες είναι για τη μελέτη μας ακριβώς το ίδιο. Κατά τις επόμενες διαδικασίες οι μέθοδοι διαφοροποιούνται συνεπώς, στο αποτύπωμα των διαδικασιών αυτών θα επικεντρωθούμε.

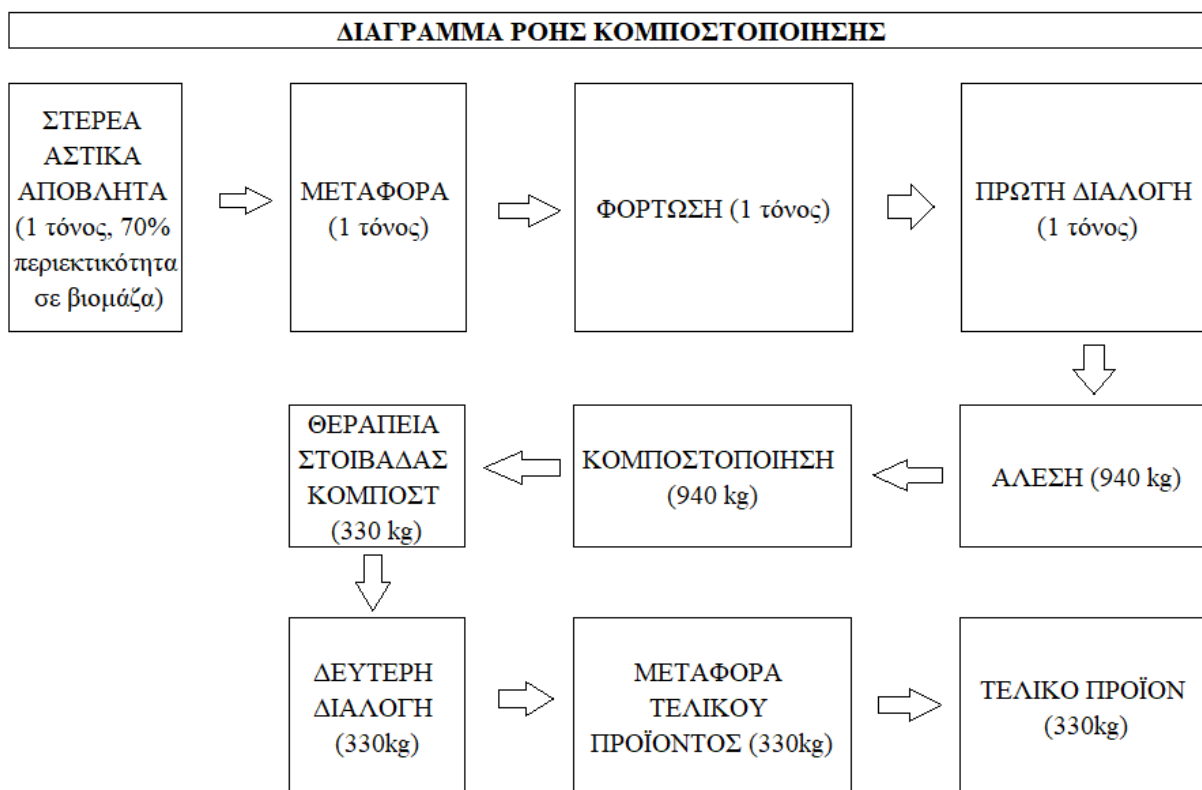
4.7 Κομποστοποίηση

Πρωτίστως θα εξετάσουμε το αποτύπωμα της μεθόδου της **κομποστοποίησης**. Η διαδικασία είναι ομώνυμη της μεθόδου και είναι η μοναδική κατά την οποία υπάρχουν μη ανθρωπογενείς και ανθρωπογενείς ρύποι. Οι ανθρωπογενείς ρύποι θεωρούμε πως εκλύονται από βαρύ εξοπλισμό που ανήκει στην **κλάση καυσαερίων Stage III B**. Για τον υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνεται και των ρύπων που εκπέμπονται ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία με τις παραπάνω διαδικασίες όπου χρησιμοποιείται βαρύς εξοπλισμός (Bacenetti & Fiala, 2015, Hwang et al., 2020).

Η επόμενη διαδικασία είναι αυτή της **θεραπείας της στείβας κομπόστ**, η οποία θεωρούμε πως πραγματοποιείται με βαρύ εξοπλισμό που ανήκει στην κλάση καυσαερίων Stage III B. Όπως σε όλες τις προαναφερθείσες διαδικασίες που γίνεται χρήση βαριού εξοπλισμού ακολουθείται παρόμοια μεθοδολογία υπολογισμού της ενέργειας που καταναλώνεται και των εκλυόμενων ρύπων.

Τέλος υπάρχει μια **δεύτερη διαδικασία διαλογής**, κατά την οποία θεωρούμε πως γίνεται χρήση ηλεκτρικού διαχωριστή. Οι εκροές της συγκεκριμένης διαδικασίας υπολογίζονται με βάση τα στοιχεία των εκπομπών ρύπων ανά kWh παραγόμενης ενέργειας στην Ελλάδα.

Η ροή της διαδικασίας της κομποστοποίησης περιγράφεται στο παρακάτω Διάγραμμα 4.1.



Διάγραμμα 4.1. Ροή Διαδικασίας Κομποστοποίησης

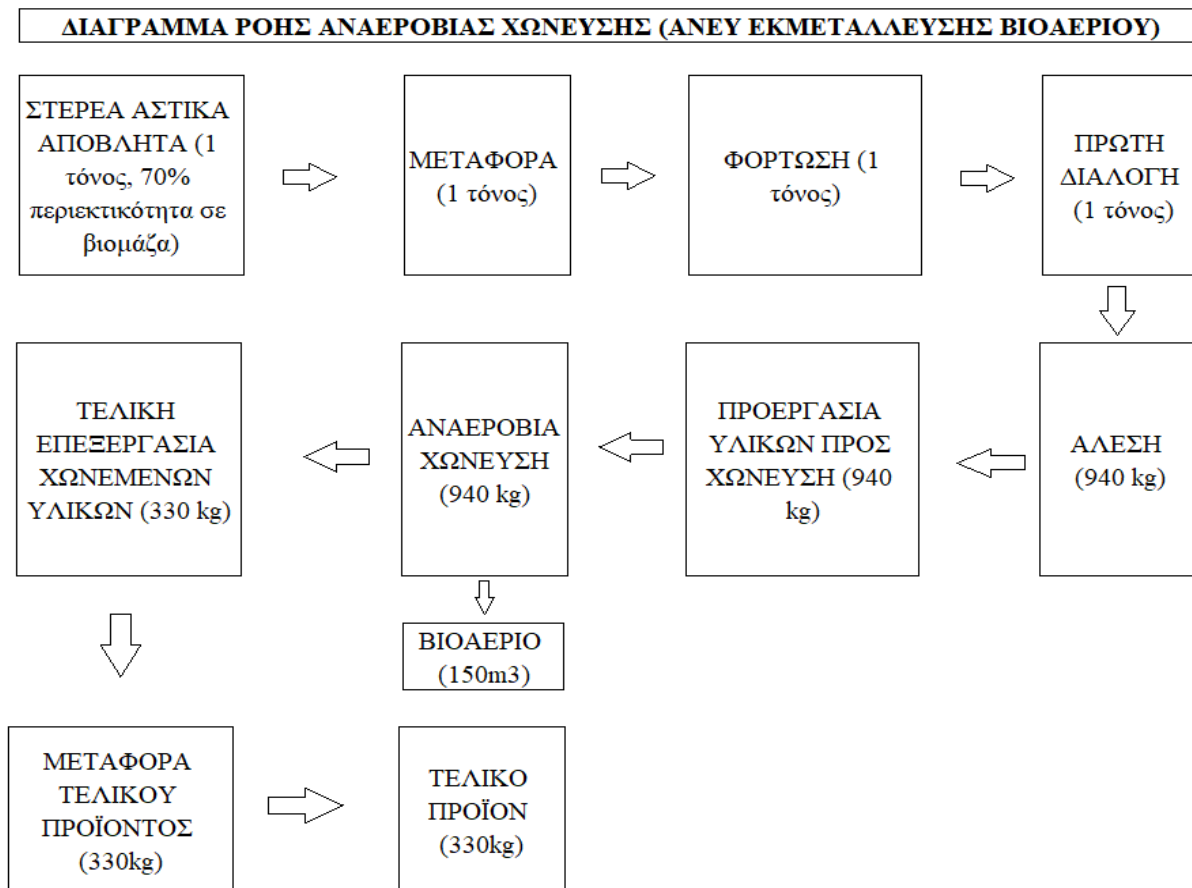
4.8 Αναερόβια χώνευση

Όσον αφορά τη δεύτερη μεθοδολογία, δηλαδή αυτή της **αναερόβιας χώνευσης** όλες οι εναπομείναντες διαδικασίες πλην αυτής της μεταφοράς του τελικού προϊόντος, χρησιμοποιούν αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια. Οι εκροές της συγκεκριμένης διαδικασίας υπολογίζονται όπως και σε όλες τις διαδικασίες που διεκπεραιώνονται αποκλειστικά με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση τα στοιχεία των εκπομπών ρύπων ανά kWh παραγόμενης ενέργειας στην Ελλάδα.

Οι διαδικασίες αυτές είναι με την σειρά που πραγματοποιούνται η **προεπεξεργασία των υλικών προς χώνευση**, η **αναερόβια χώνευση** και η **τελική επεξεργασία των χωνεμένων υλικών**.

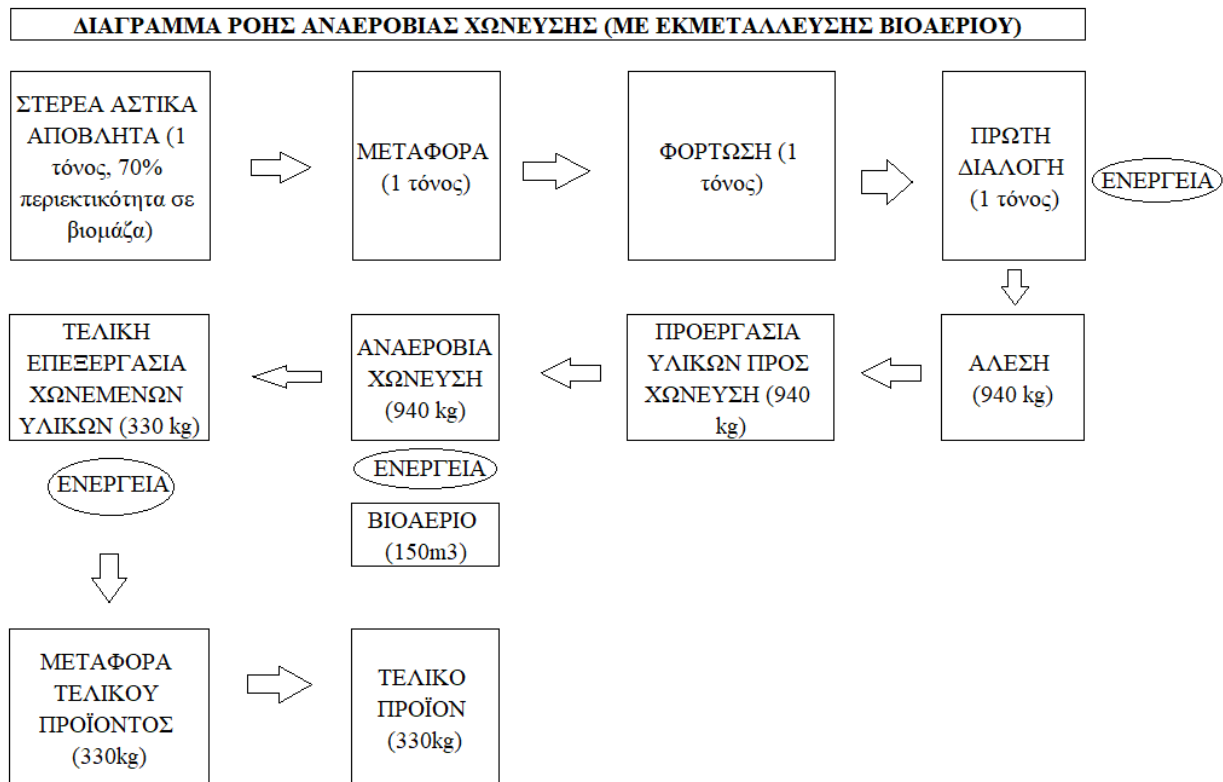
Η **αναερόβια χώνευση** πραγματοποιήθηκε σε δύο κατευθύνσεις, με **εκμετάλλευση και χωρίς εκμετάλλευση βιοαερίου**.

Η ροή της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης χωρίς εκμετάλλευση βιοαερίου περιγράφεται στο παρακάτω Διάγραμμα 4.2.



Διάγραμμα 4.2. Ροή Διαδικασίας Αναερόβιας Χώνευσης Χωρίς Εκμετάλλευση Βιοαερίου

Η ροή της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης με εκμετάλλευση βιοαερίου περιγράφεται στο παρακάτω Διάγραμμα 4.3.



Διάγραμμα 4.3. Ροή Διαδικασίας Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Αποτελέσματα Υπολογισμών Ενεργειακού & Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος

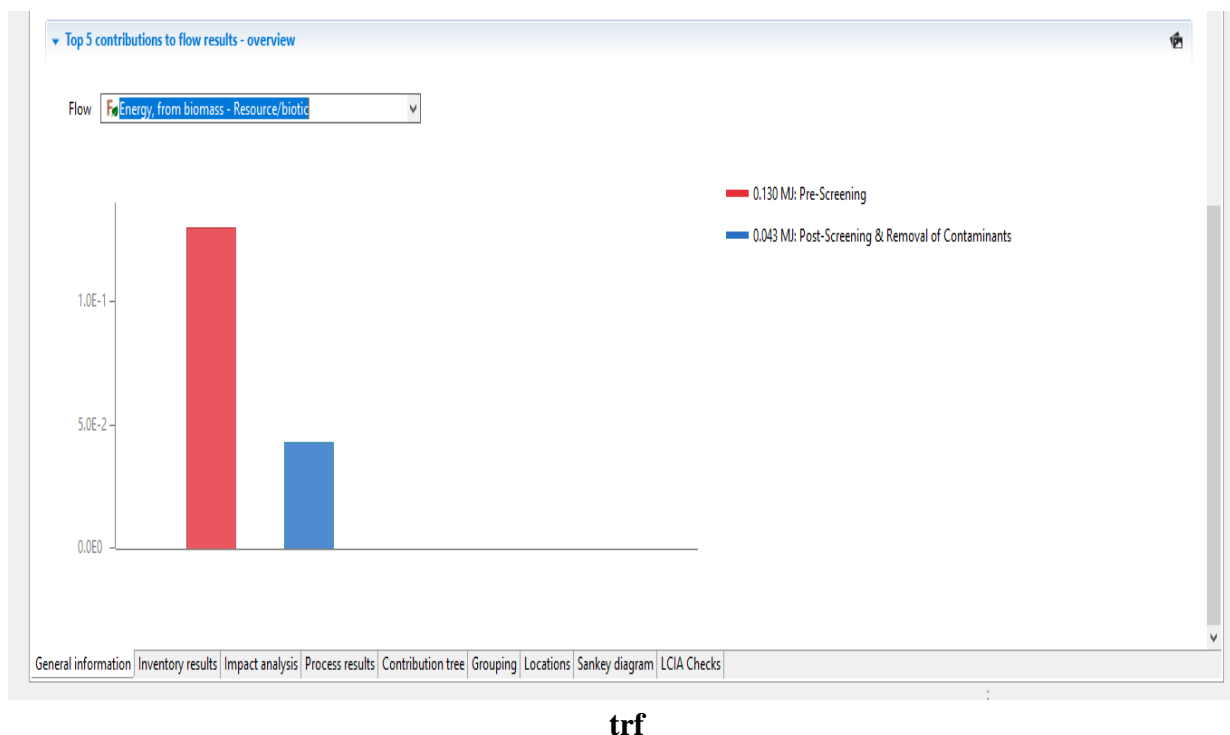
5.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Διαδικασιών Κομποστοποίησης

5.1.1 Εισροές Κατά Τη Μέθοδο Της Κομποστοποίησης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα επιμέρους στοιχεία της κάθε διαδικασίας και για τις δύο μεθόδους. Αρχικά θα γίνει ανάλυση κύκλου ζωής των διαδικασιών της κομποστοποίησης, ξεκινώντας με τις γραφικές παραστάσεις της **εισερχόμενης στο σύστημα ενέργειας**.

5.1.1.1 Ενέργεια Παραγόμενη Από Βιομάζα

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από βιομάζα, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή (Διάγραμμα 5.1).



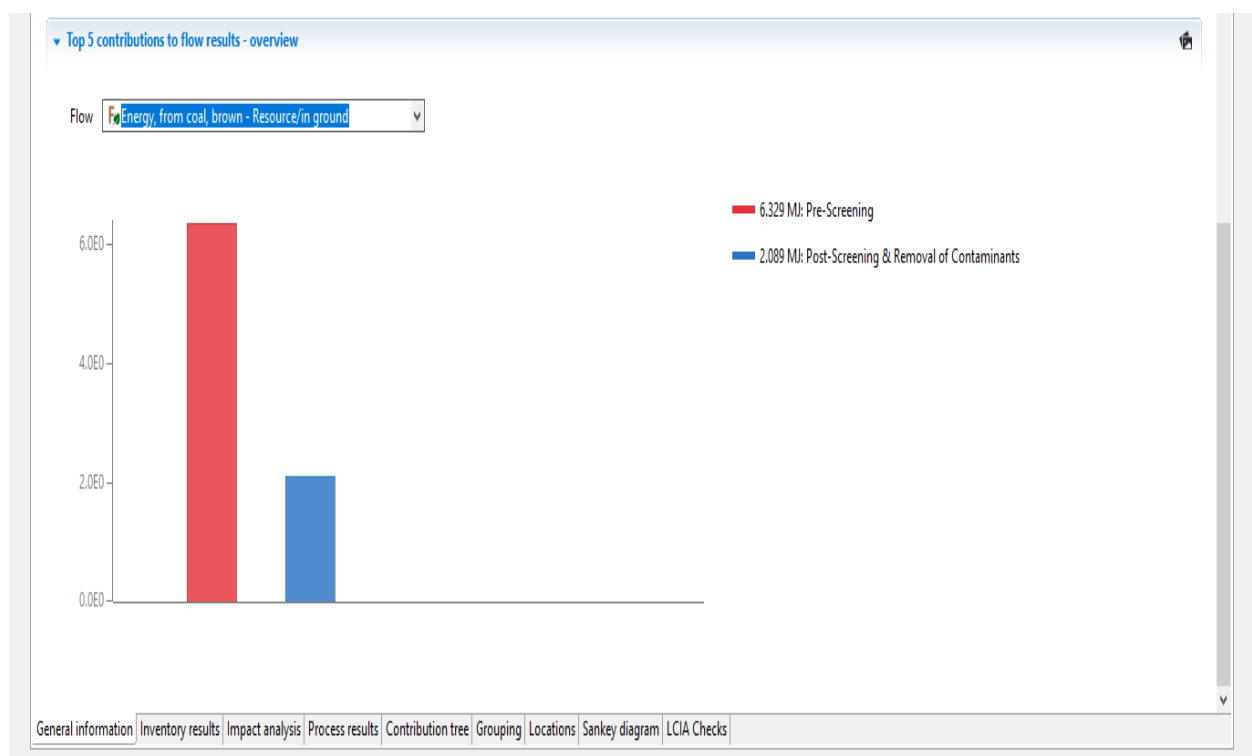
Διάγραμμα 5.1 Κομποστοποίηση: Παραγόμενη Από Βιομάζα

Παρατηρούμε πως στη πρώτη διαλογή απαιτείται η τριπλάσια ενέργεια, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής.

Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια κατανάλωση, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.

5.1.1.2 Ενέργεια Παραγόμενη Από Λιγνίτη

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από λιγνίτη, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή (Διάγραμμα 5.2).

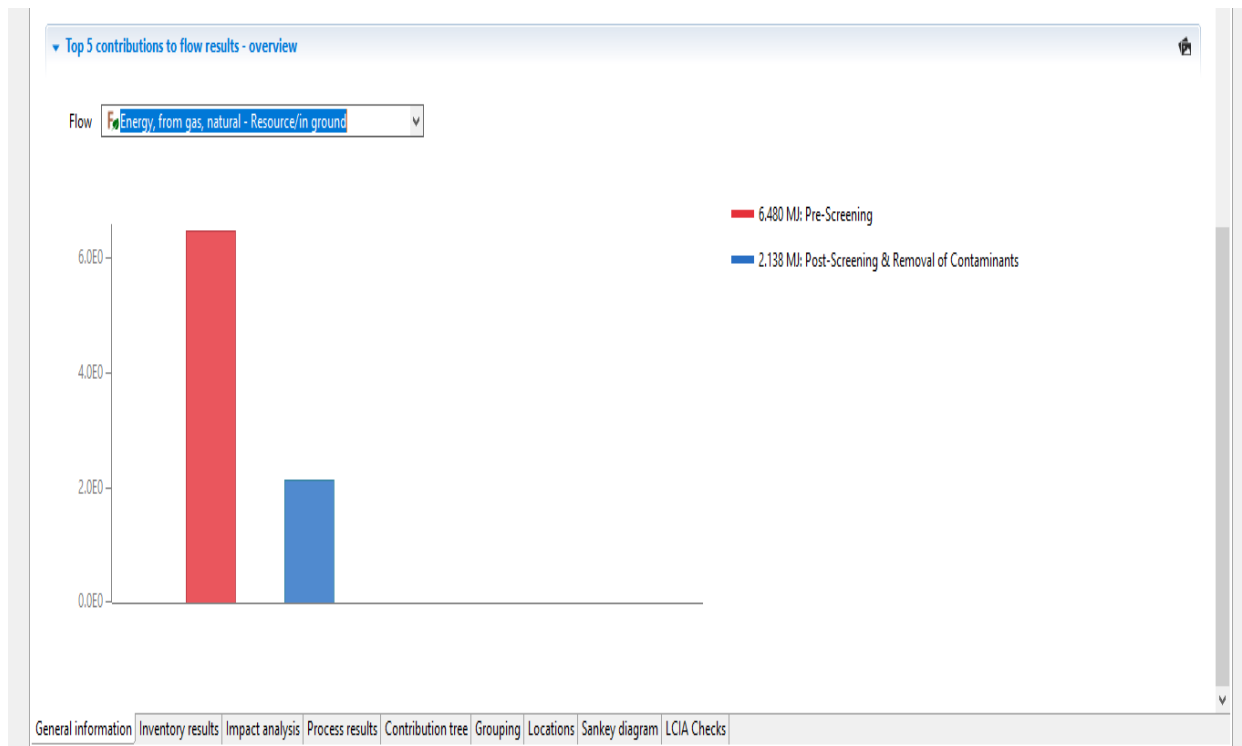


Διάγραμμα 5.2 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Λιγνίτη

Παρατηρούμε πως στη πρώτη διαλογή απαιτείται η τριπλάσια ενέργεια, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια κατανάλωση, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.

5.1.1.3 Ενέργεια Παραγόμενη Από Φυσικό Αέριο

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από φυσικό αέριο, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή (Διάγραμμα 5.3).

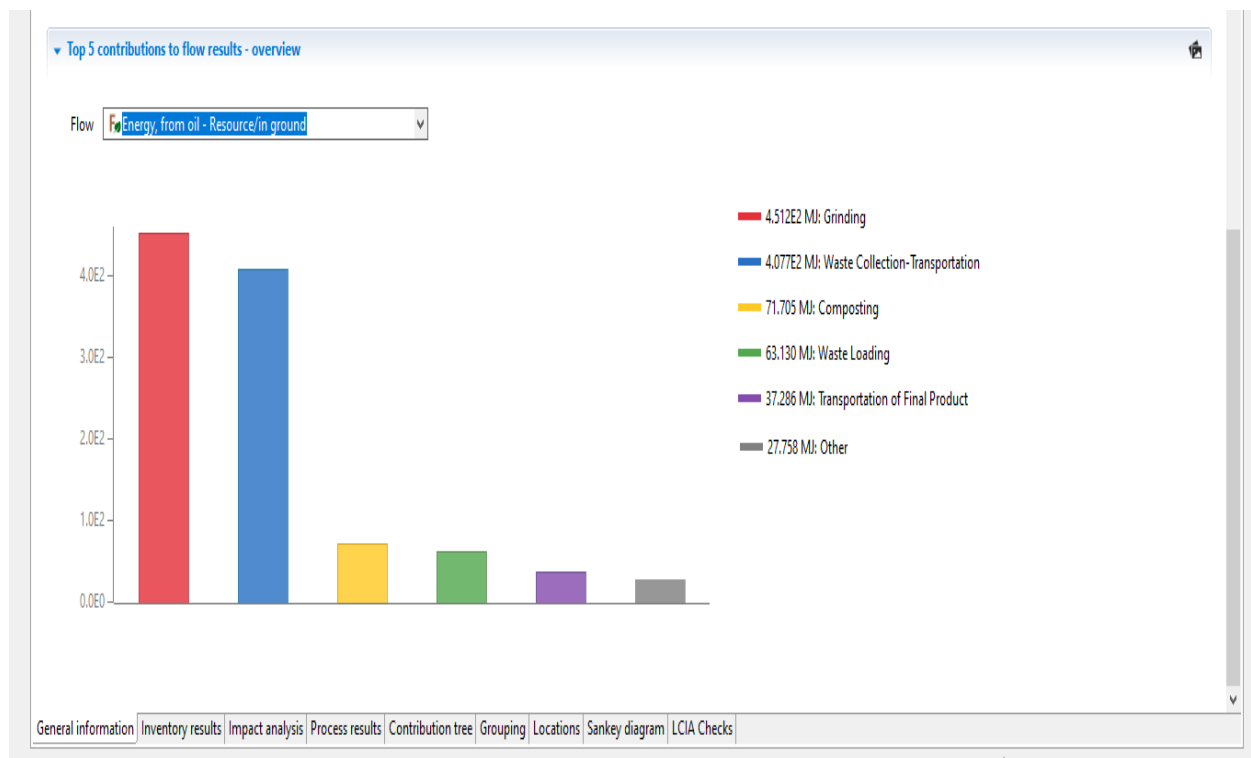


Διάγραμμα 5.3 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Φυσικό Αέριο

Παρατηρούμε πως στη πρώτη διαλογή απαιτείται η τριπλάσια ενέργεια, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια κατανάλωση, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.

5.1.1.4 Ενέργεια Παραγόμενη Από Πετρέλαιο

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την ενέργεια παραγόμενη από πετρέλαιο, η οποία καταναλώνεται σε όλες τις διαδικασίες της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 5.4).

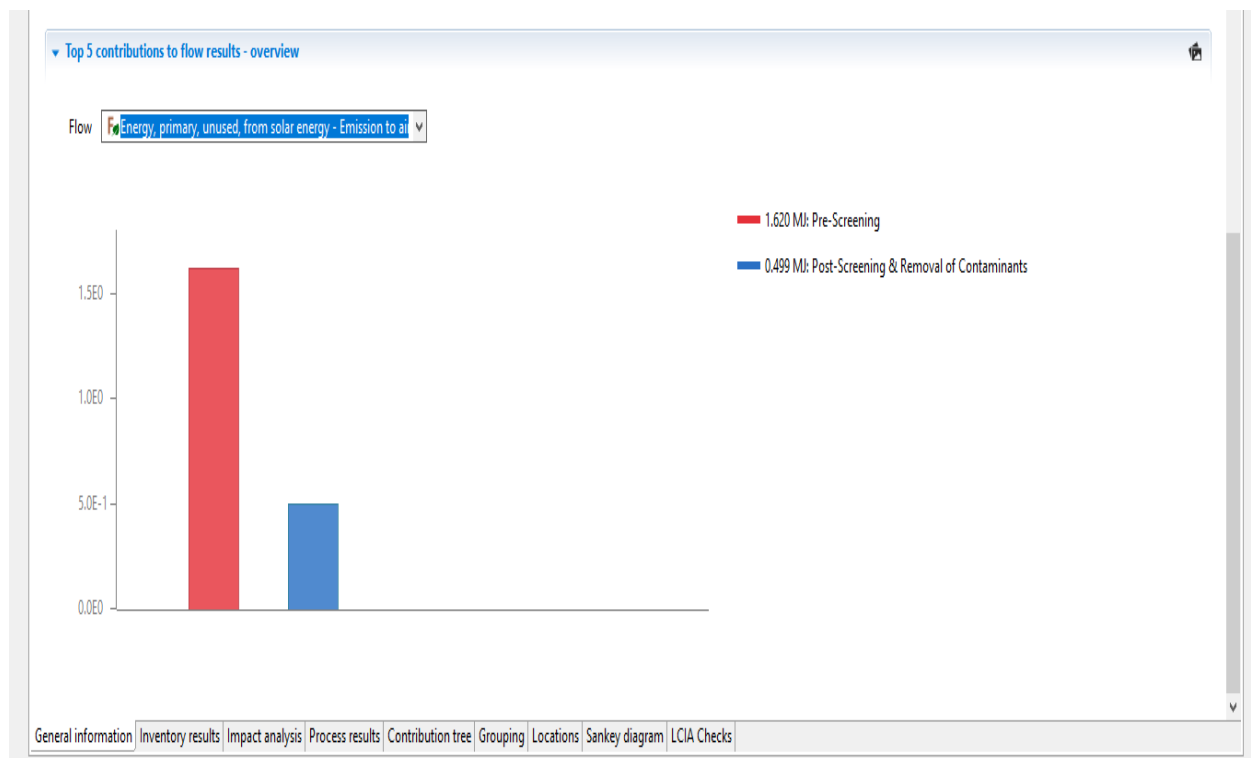


Διάγραμμα 5.4 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Πετρέλαιο

Παρατηρούμε πως η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας γίνεται από τις διαδικασίες της άλεσης και της μεταφοράς των αποβλήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δύο αυτές διαδικασίες χρησιμοποιούν αμιγώς πετρελαιοκίνητο εξοπλισμό και επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων.

5.1.1.5 Ενέργεια Παραγόμενη Από Τον Ήλιο

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από τον ήλιο, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή (Διάγραμμα 5.5).

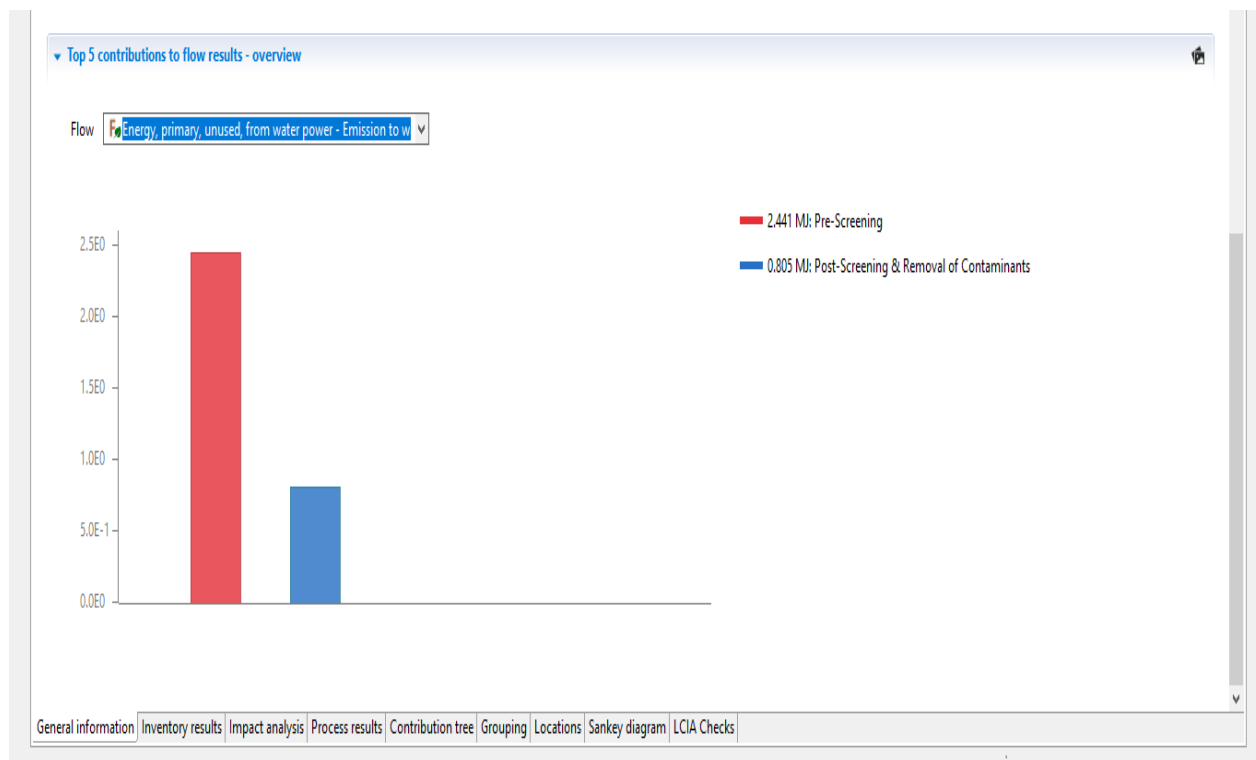


Διάγραμμα 5.5 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Τον Ήλιο

Παρατηρούμε πως στη πρώτη διαλογή απαιτείται η τριπλάσια ενέργεια, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια κατανάλωση, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.

5.1.1.6 Ενέργεια Παραγόμενη Από Υδροηλεκτρικό Σταθμό

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από υδροηλεκτρικό σταθμό, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή (Διάγραμμα 5.6).

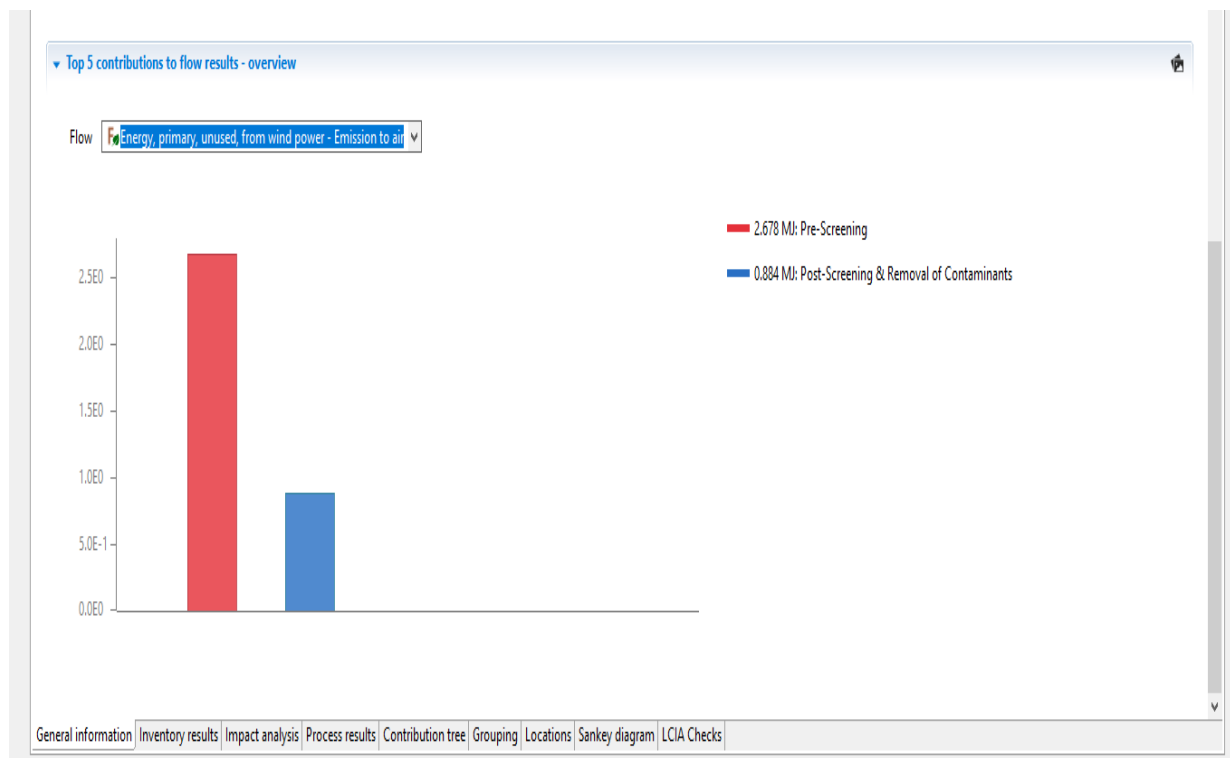


Διάγραμμα 5.6 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Υδροηλεκτρικό Σταθμό

Παρατηρούμε πως στη πρώτη διαλογή απαιτείται η τριπλάσια ενέργεια, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια κατανάλωση, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.

5.1.1.7 **Ενέργεια Παραγόμενη Από Ανεμογεννήτριες**

Η έβδομη και τελευταία γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από ανεμογεννήτριες, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή (Διάγραμμα 5.7).



Διάγραμμα 5.7 Κομποστοποίηση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Ανεμογεννήτριες

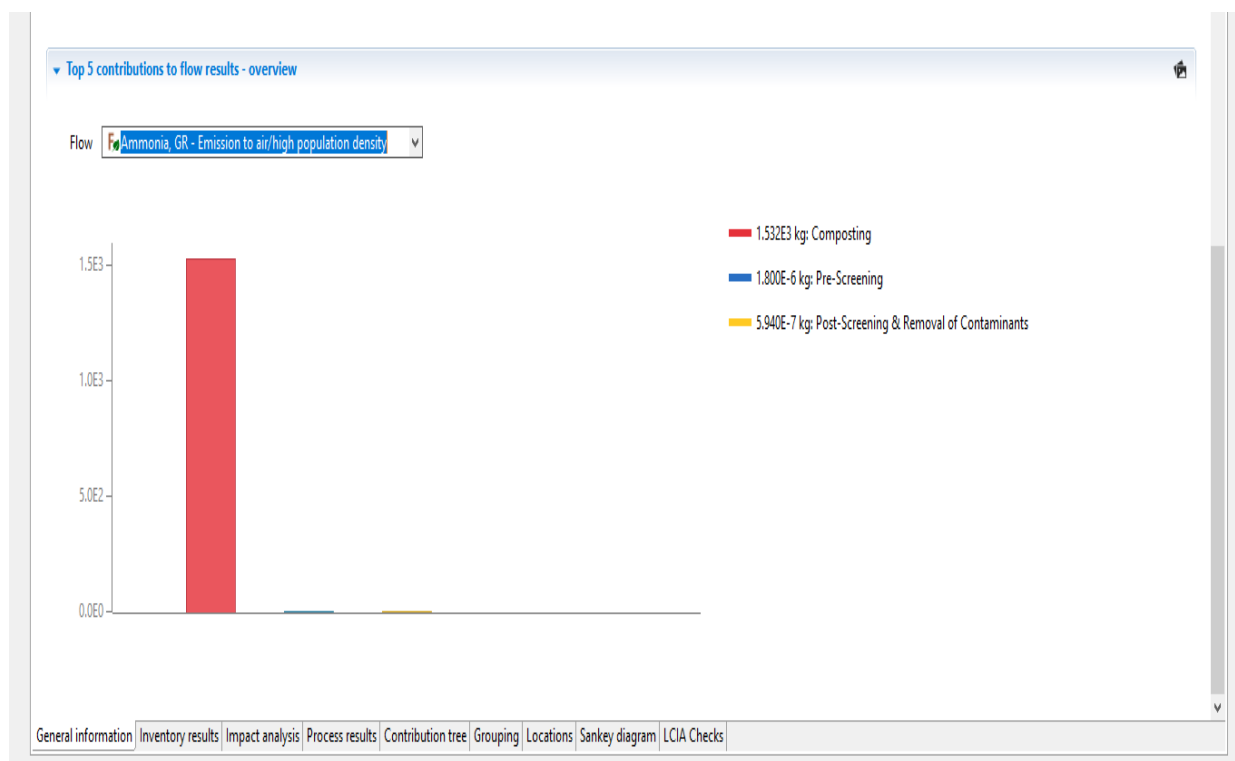
Παρατηρούμε πως στη πρώτη διαλογή απαιτείται η τριπλάσια ενέργεια, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια κατανάλωση, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.

5.1.2 Εκροές Κατά Τη Μέθοδο Της Κομποστοποίησης

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα διαγράμματα των **εκροών** που προκύπτουν κατά τη μέθοδο της κομποστοποίησης

5.1.2.1 Εκροή Αμμωνίας

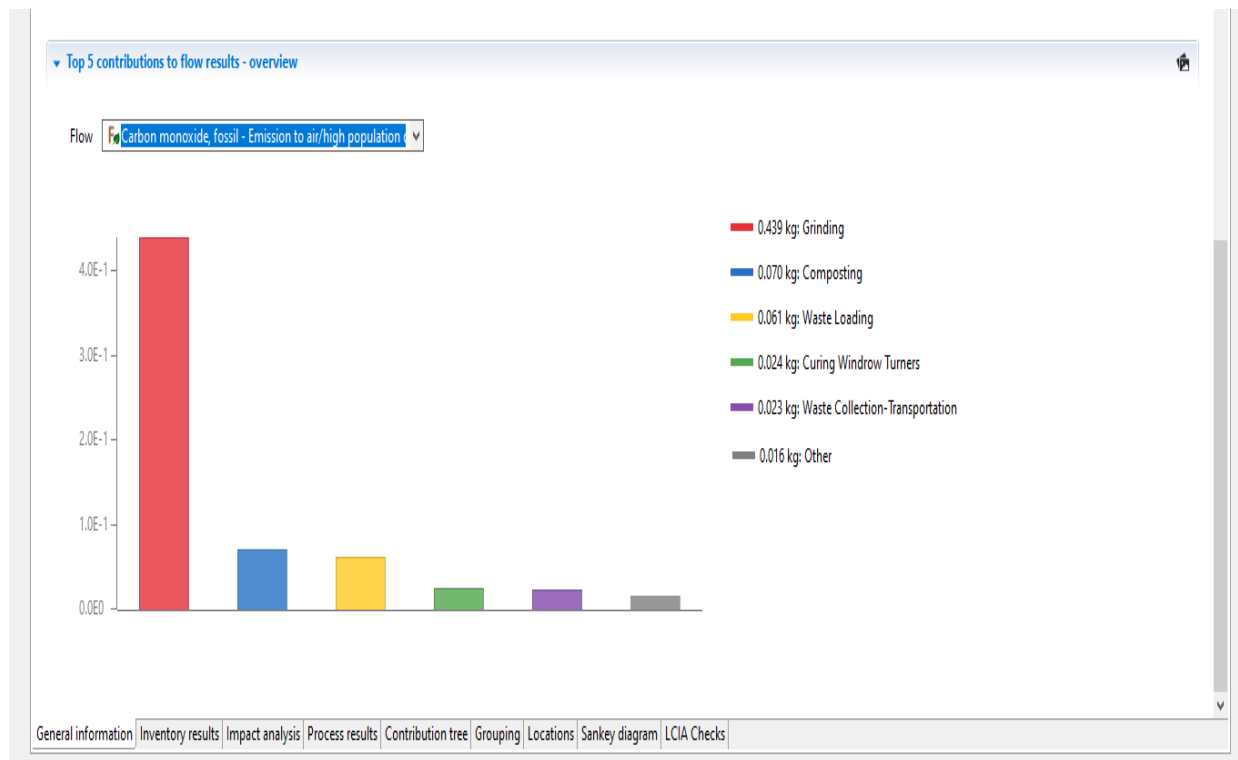
Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή αμμωνίας κατά τις διαδικασίες της κομποστοποίησης, της πρώτης διαλογής και της τελικής διαλογής. Είναι προφανές πως η συντριπτική πλειοψηφία των ρύπων εκλύονται κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία εκλύονται μεγάλες ποσότητες ρύπων αφού πρόκειται για μια διαδικασία αερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.8).



Διάγραμμα 5.8 Κομποστοποίηση: Εκροή Αμμωνίας

5.1.2.2 Έκροή Μονοξειδίου Του Άνθρακα

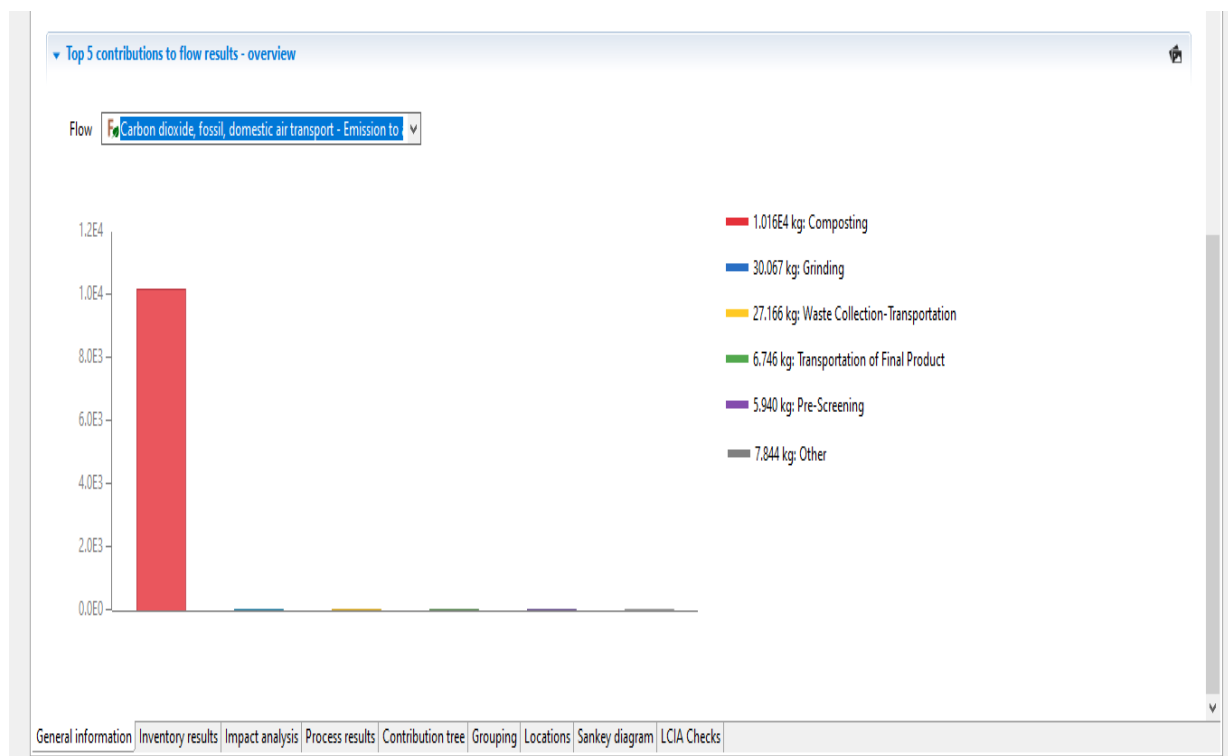
Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή μονοξειδίου του άνθρακα, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης. Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι προκειμένου να διεκπεραιωθεί γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο και επεξεργάζεται τη μάζα των αποβλήτων στο σύνολό της (Διάγραμμα 5.9).



Διάγραμμα 5.9 Κομποστοποίηση: Έκροή Μονοξειδίου Του Άνθρακα

5.1.2.3 Έκροή Διοξειδίου Του Άνθρακα

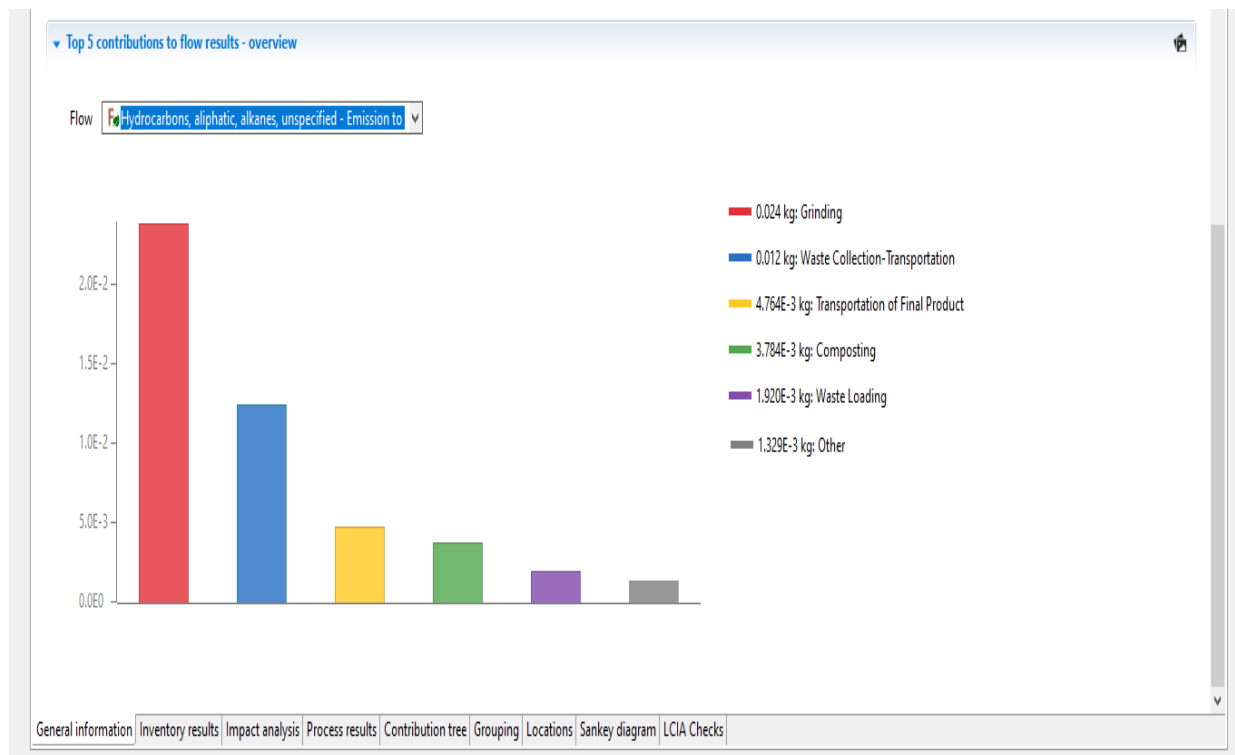
Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή διοξειδίου του άνθρακα, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της κομποστοποίησης. Η διαδικασία της κομποστοποίησης έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία εκλύονται μεγάλες ποσότητες ρύπων αφού πρόκειται για μια διαδικασία αερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.10).



Διάγραμμα 5.10 Κομποστοποίηση: Έκροή Διοξειδίου Του Άνθρακα

5.1.2.4 Εκροή Υδρογονανθράκων

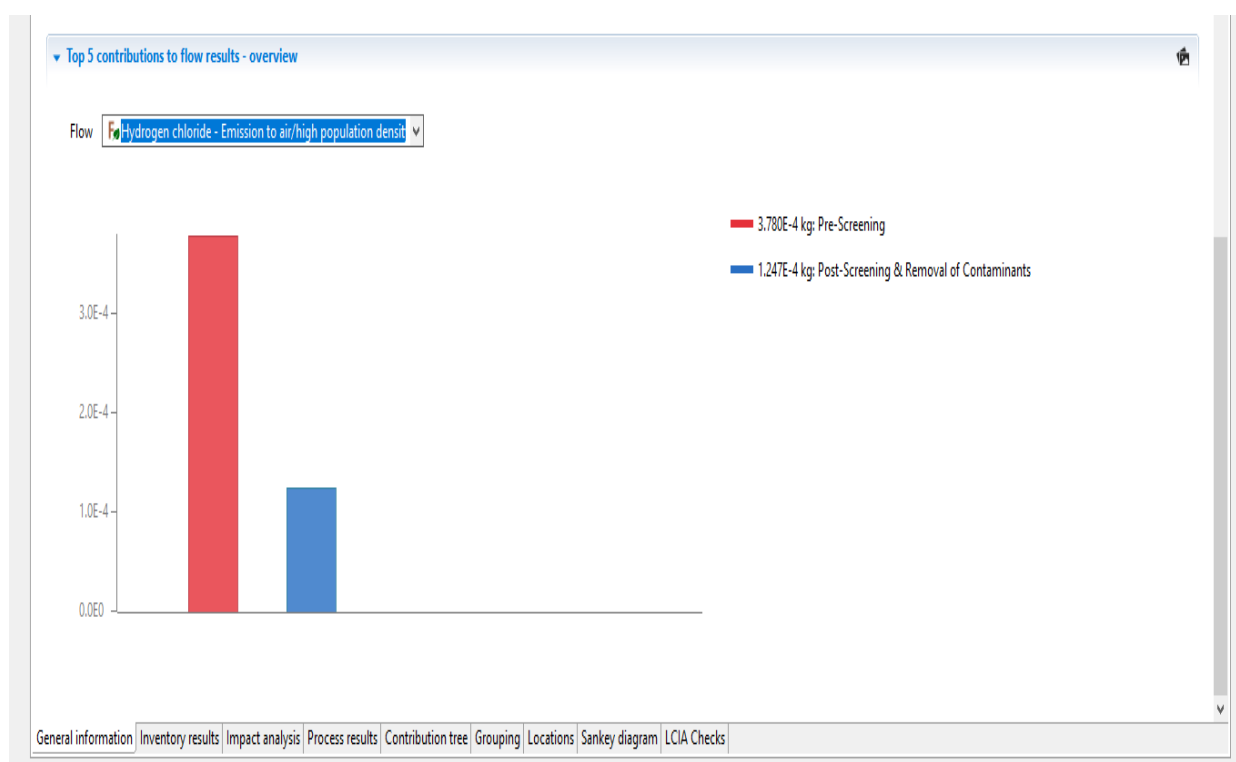
Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή υδρογονανθράκων, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης. Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι προκειμένου να διεκπεραιωθεί γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο και επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων (Διάγραμμα 5.11).



Διάγραμμα 5.11 Κομποστοποίηση: Εκροή Υδρογονανθράκων

5.1.2.5 Εκροή Υδροχλωρίου

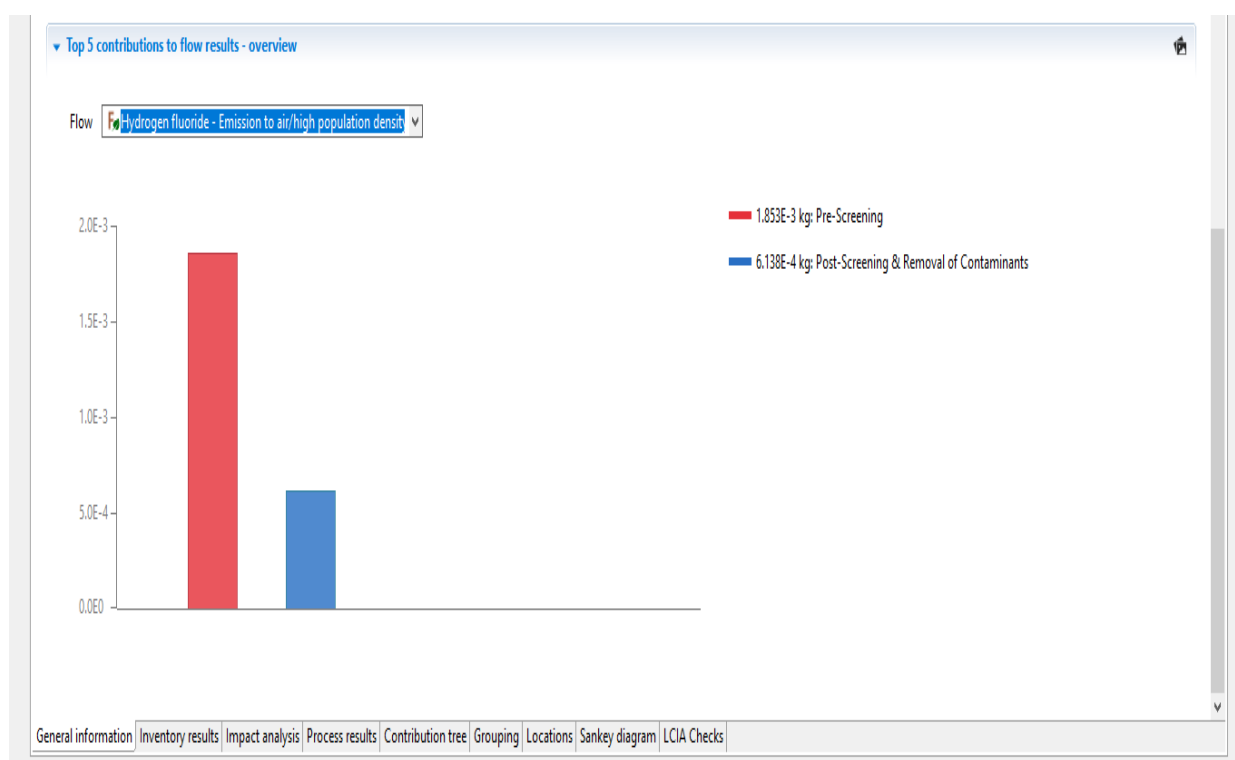
Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή υδροχλωρίου, ενός ρύπου που εντοπίζεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή. Γνωρίζουμε πως οι διαδικασίες της διαλογής γίνονται με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας η παραγωγή είναι η κύρια αιτία έκλυσης υδροχλωρίου. Επιπρόσθετα βλέπουμε πως στη πρώτη διαλογή παράγεται η τριπλάσια ποσότητα ρύπων, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια έκλυση ρύπων, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του (Διάγραμμα 5.12).



Διάγραμμα 5.12 Κομποστοποίηση: Εκροή Υδροχλωρίου

5.1.2.6 Έκροή Υδροφθορίου

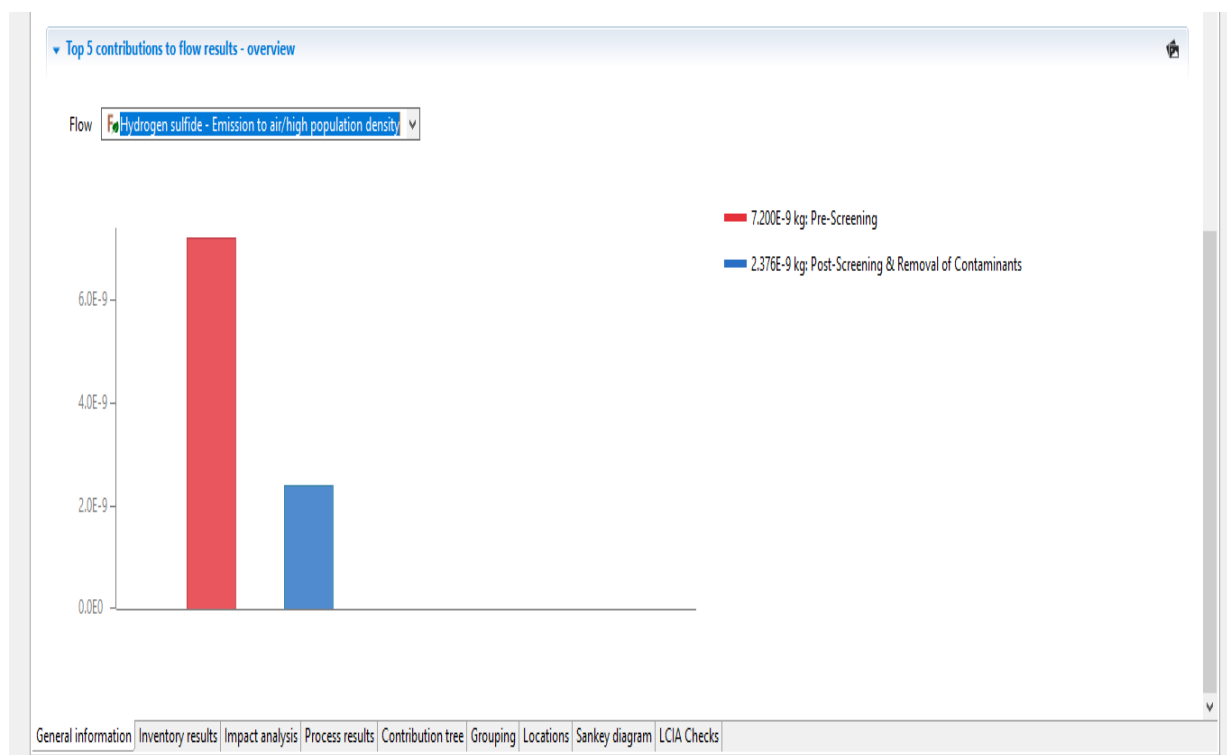
Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή υδροφθορίου ενός ρύπου που εντοπίζεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή. Γνωρίζουμε πως οι διαδικασίες της διαλογής γίνονται με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας η παραγωγή είναι η κύρια αιτία έκλυσης υδροφθορίου. Επιπρόσθετα βλέπουμε πως στη πρώτη διαλογή παράγεται η τριπλάσια ποσότητα ρύπων, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια έκλυση ρύπων, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του (Διάγραμμα 5.13).



Διάγραμμα 5.13 Κομποστοποίηση: Εκροή Υδροφθορίου

5.1.2.7 Εκροή Υδρόθειου

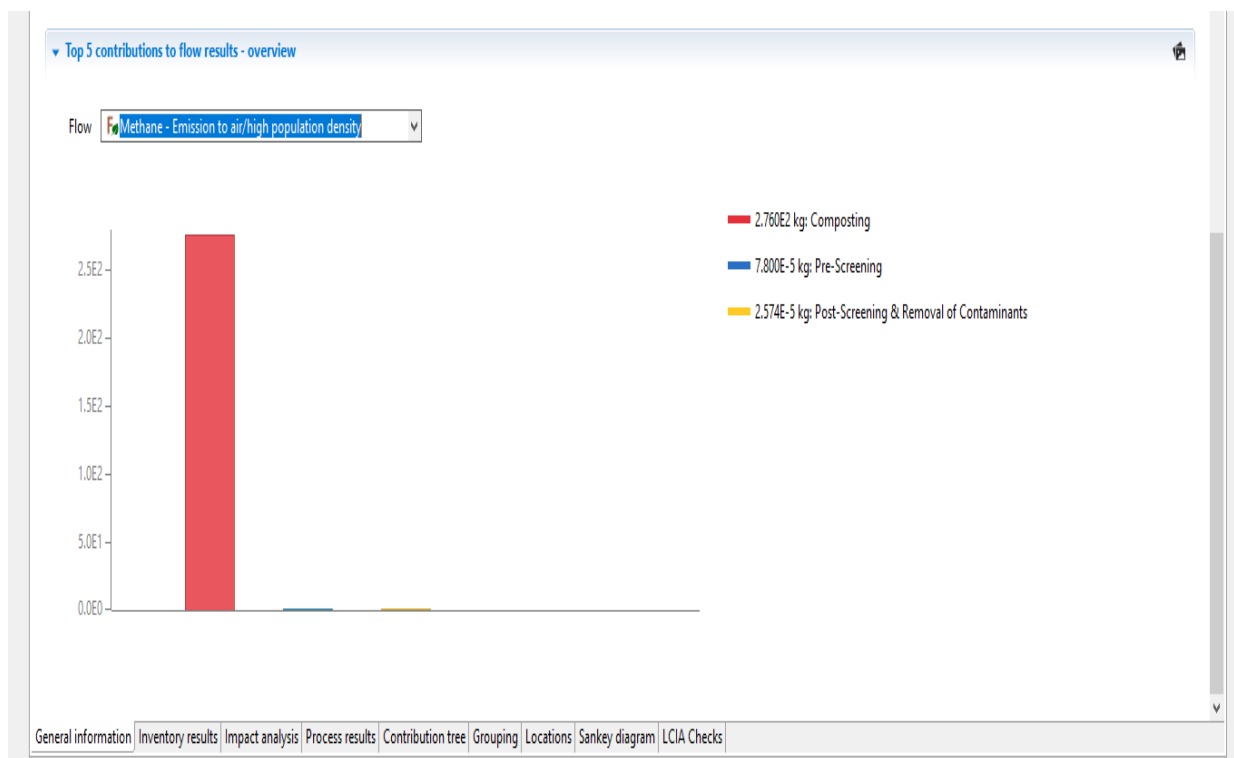
Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή υδρόθειου ενός ρύπου που εντοπίζεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή. Γνωρίζουμε πως οι διαδικασίες της διαλογής γίνονται με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας η παραγωγή είναι η κύρια αιτία έκλυσης υδρόθειου. Επιπρόσθετα βλέπουμε πως στη πρώτη διαλογή παράγεται η τριπλάσια ποσότητα ρύπων, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια έκλυση ρύπων, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του (Διάγραμμα 5.14).



Διάγραμμα 5.14 Κομποστοποίηση: Εκροή Υδρόθειου

5.1.2.8 Εκροή Μεθανίου

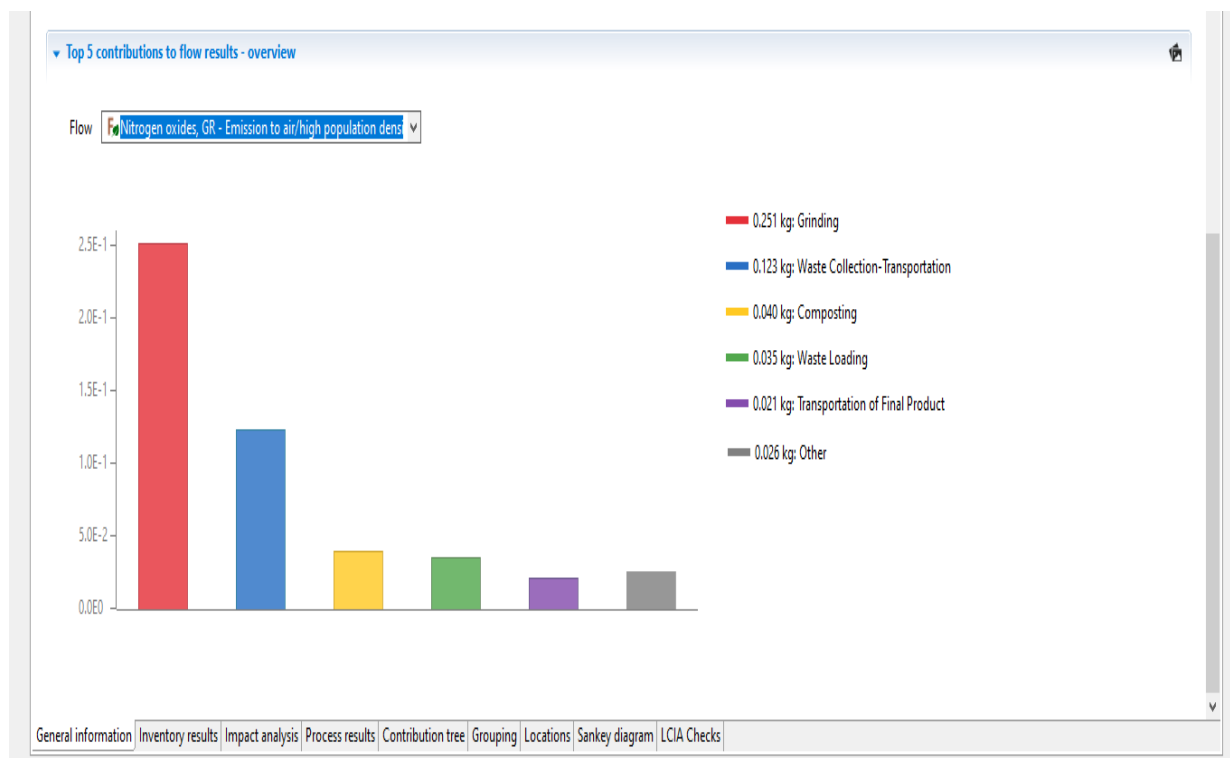
Η όγδοη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή μεθανίου ενός ρύπου που εντοπίζεται στις διαδικασίες της κομποστοποίησης και της διαλογής των αποβλήτων (αρχικής - τελικής). Παρατηρούμε πως η διαδικασία της κομποστοποίησης έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία εκλύονται μεγάλες ποσότητες ρύπων αφού πρόκειται για μια διαδικασία αερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.15).



Διάγραμμα 5.15 Κομποστοποίηση: Εκροή Μεθανίου

5.1.2.9 Εκροή Οξειδίων Του Αζώτου

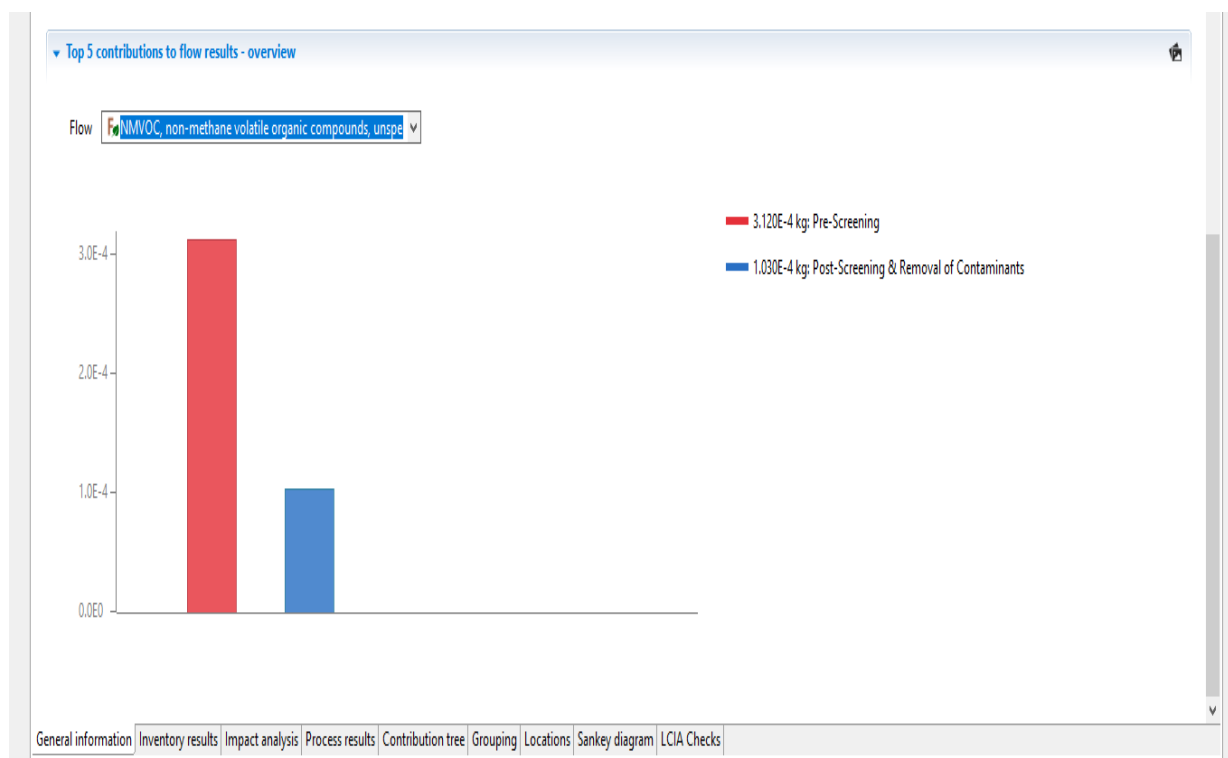
Η ένατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή οξειδίων του αζώτου, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης. Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι προκειμένου να διεκπεραιωθεί γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο και επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων (Διάγραμμα 5.16).



Διάγραμμα 5.16 Κομποστοποίηση: Εκροή Οξειδίων Του Αζώτου

5.1.2.10 Έκροή Των NMVOC

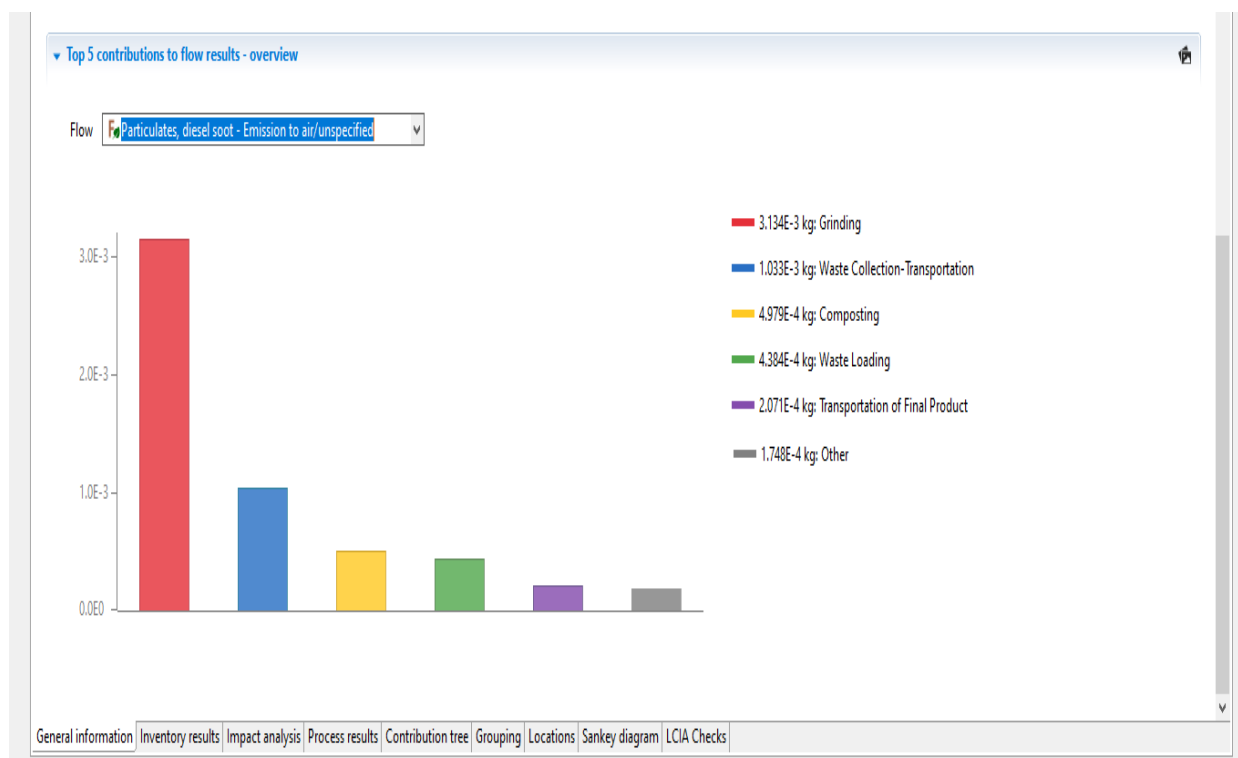
Η δέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή των NMVOC ενός ρύπου που εντοπίζεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή. Γνωρίζουμε πως οι διαδικασίες της διαλογής γίνονται με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας η παραγωγή είναι η κύρια αιτία έκλυσης NMVOC. Επιπρόσθετα βλέπουμε πως στη πρώτη διαλογή παράγεται η τριπλάσια ποσότητα ρύπων, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια έκλυση ρύπων, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του (Διάγραμμα 5.17).



Διάγραμμα 5.17 Κομποστοποίηση: Έκροή Των NMVOC

5.1.2.11 Εκροή Των Σωματιδίων

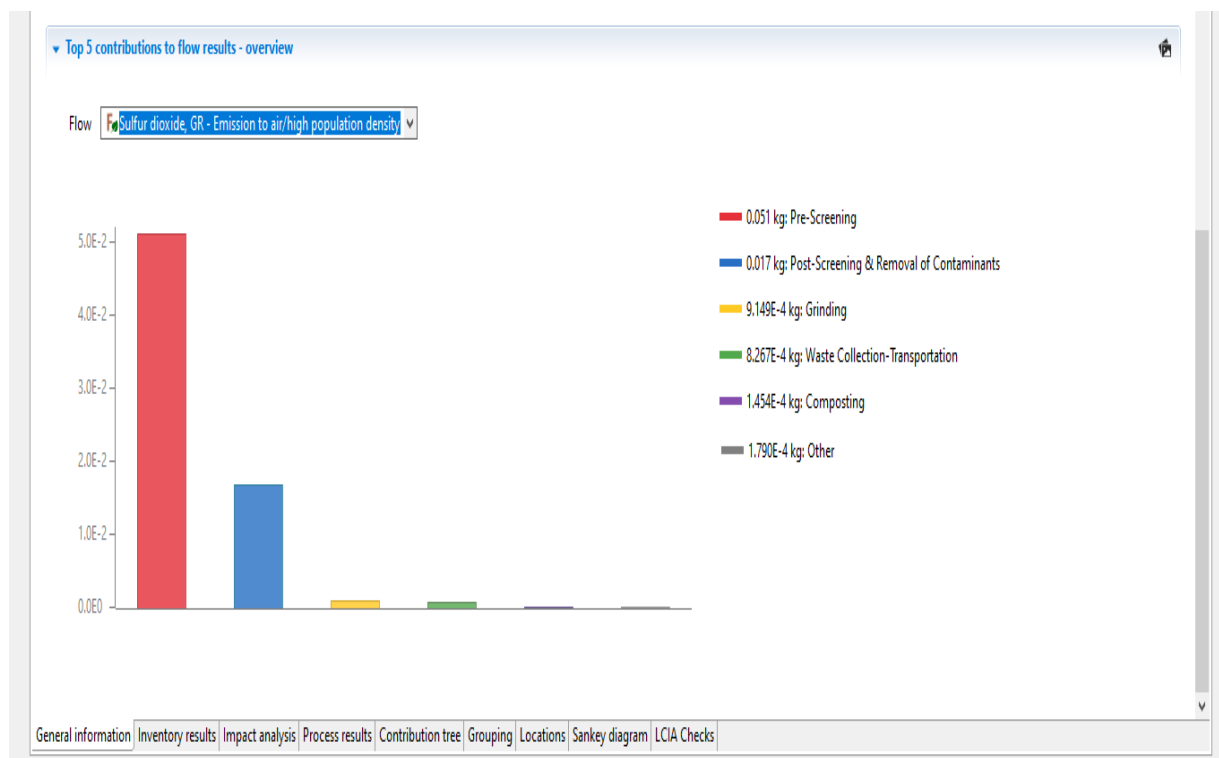
Η εντέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή των σωματιδίων, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης. Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι προκειμένου να διεκπεραιωθεί γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο και επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων με συνέπεια τα μηχανήματα να λειτουργούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Διάγραμμα 5.18).



Διάγραμμα 5.18 Κομποστοποίηση: Εκροή Των Σωματιδίων

5.1.2.12 Εκροή Του Διοξειδίου Του Θείου

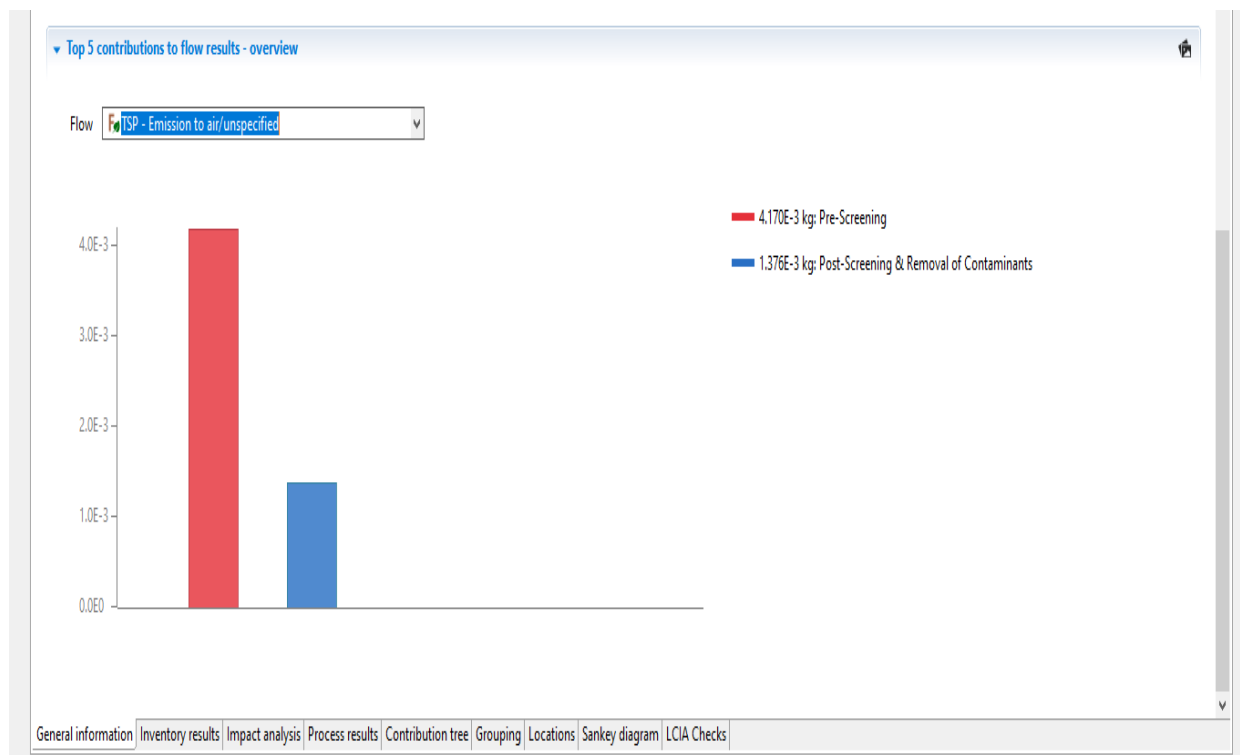
Η δωδέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή του διοξειδίου του θείου ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στις διαδικασίες της διαλογής και ιδιαίτερα σε αυτή της πρώιμης διαλογής. Οι διαδικασίες της διαλογής γίνονται με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας η παραγωγή είναι η κύρια αιτία έκλυσης διοξειδίου του θείου (Διάγραμμα 5.19).



Διάγραμμα 5.19 Κομποστοποίηση: Εκροή Του Διοξειδίου Του Θείου

5.1.2.13 Εκροή TSP

Η δέκατη τρίτη και τελική γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εκροή TSP, ενός ρύπου που εντοπίζεται στις διαδικασίες της διαλογής των αποβλήτων (αρχική και τελική) από τον ηλεκτρικό διαχωριστή. Γνωρίζουμε πως οι διαδικασίες της διαλογής γίνονται με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας η παραγωγή είναι η κύρια αιτία έκλυσης TSP. Επιπρόσθετα βλέπουμε πως στη πρώτη διαλογή παράγεται η τριπλάσια ποσότητα ρύπων, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός πως κατά τη διαδικασία της πρώτης διαλογής η μάζα των αποβλήτων είναι τριπλάσια από αυτή της τελικής. Συνεπώς τριπλάσια μάζα τριπλάσιος χρόνος τριπλάσια έκλυση ρύπων, θεωρώντας πως ο διαχωριστής λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του (Διάγραμμα 5.20).



Διάγραμμα 5.20 Κομποστοποίηση: Εκροή TSP

5.1.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Κομποστοποίησης

Αφού αναλύσαμε τις εισροές και της εκροές του συστήματος μπορούμε να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής.

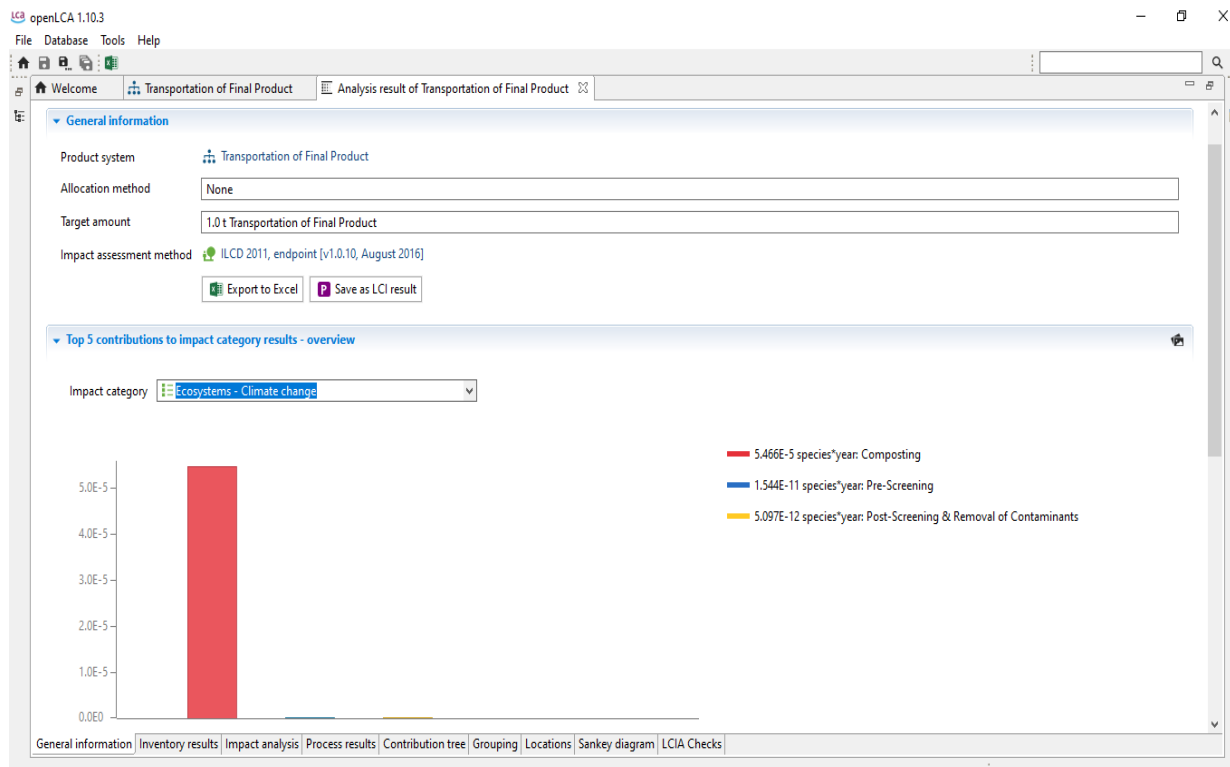
Η ανάλυση κύκλου ζωής για τη μέθοδο της κομποστοποίησης έγινε με τη χρήση τριών διαφορετικών αλγορίθμων εκτίμησης περιβαλλοντικού αποτυπώματος, οι οποίοι είναι οι

- i. ILCD 2011, endpoint [v1.0.10, August 2016],
- ii. eco-indicator 99 (E),
- iii. ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014].

5.1.3.1 Μέθοδος ILCD

Πρωτίστως θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μεθόδου **ILCD**.

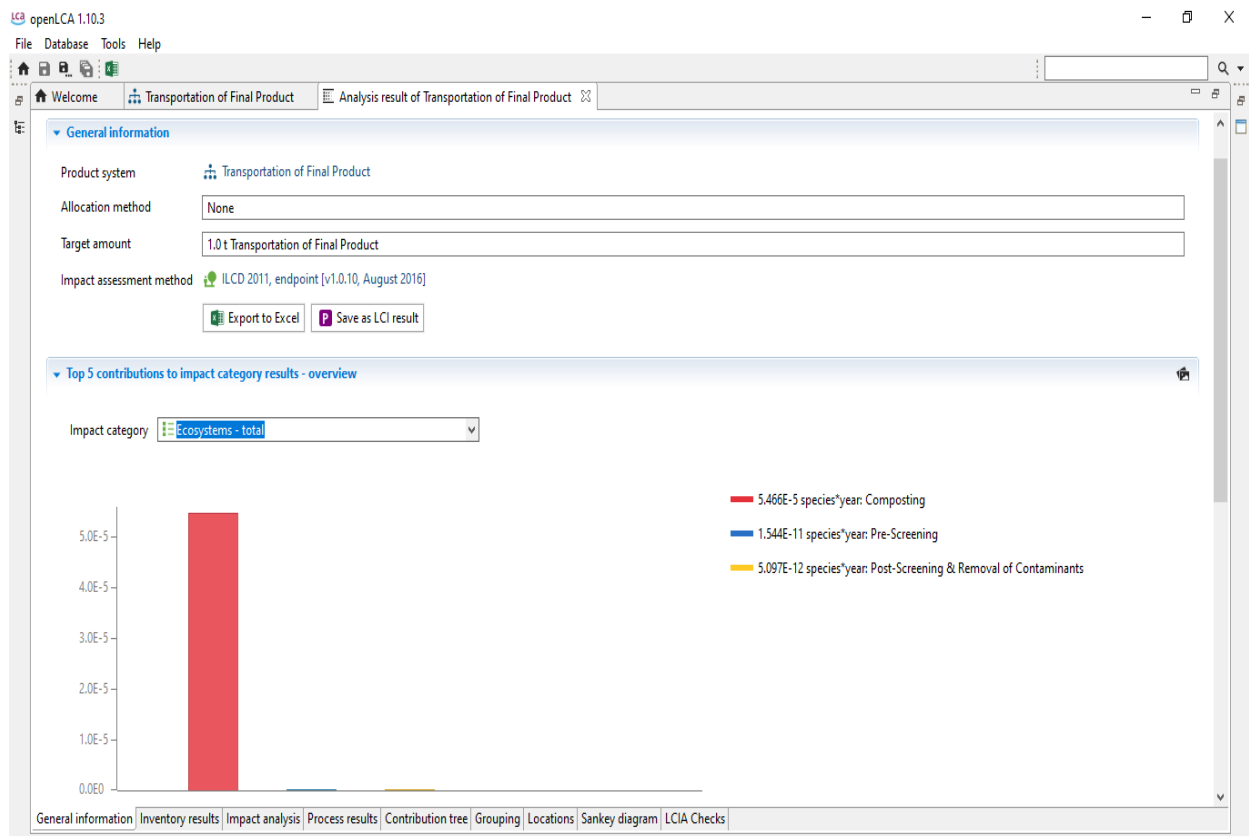
Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την **επίπτωση** των επιμέρους διαδικασιών **στο οικοσύστημα μέσα από την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής** (Διάγραμμα 5.21).



Διάγραμμα 5.21 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή λόγω χάρη, το διοξείδιο του άνθρακα του οποίου η παραγωγή είναι 300 φορές μεγαλύτερη από αυτή της ακριβώς επόμενης διαδικασίας.

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την **επίπτωση** των επιμέρους διαδικασιών **στο οικοσύστημα συνολικά** (Διάγραμμα 5.22).

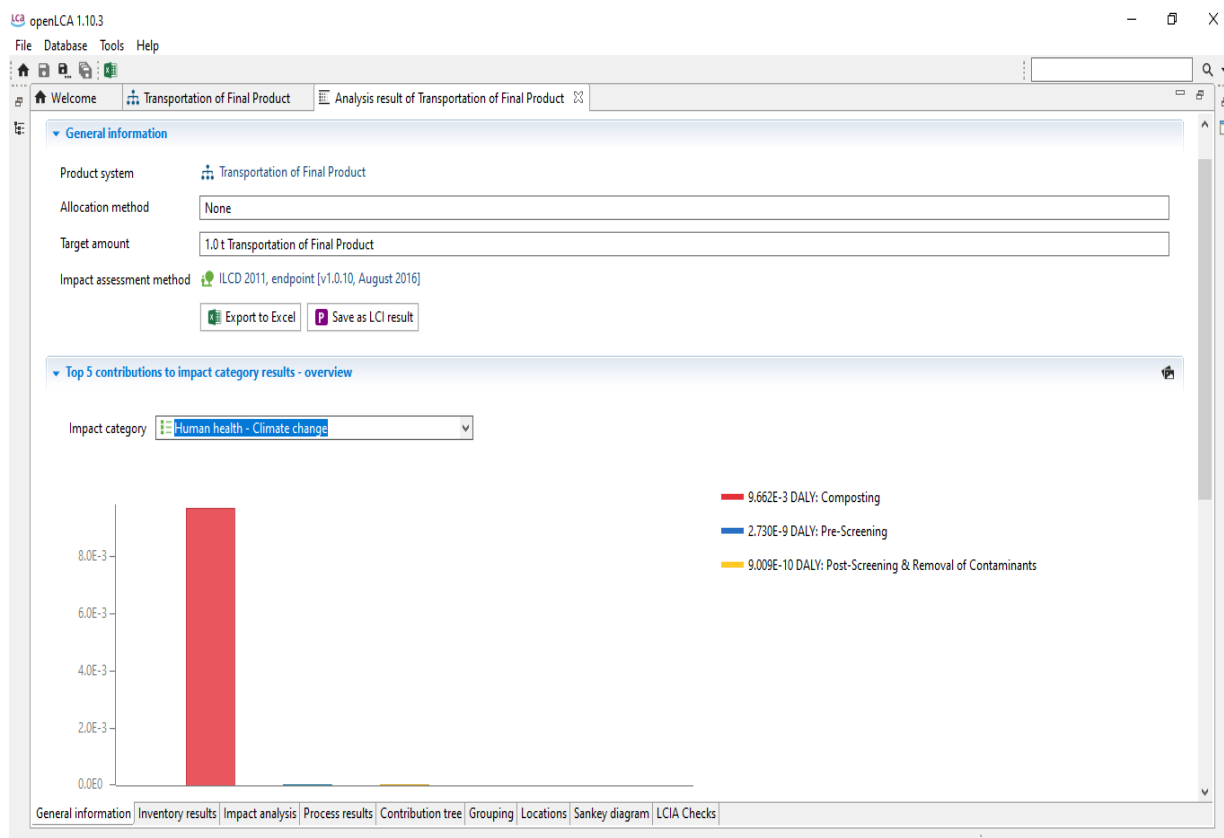


Διάγραμμα 5.22 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της κομποστοποίησης επηρεάζει το οικοσύστημα μονάχα μέσω της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής.

Ο αλγόριθμος μας υποδεικνύει πως το σύστημα των διαδικασιών δεν επηρεάζει το οικοσύστημα μέσω της οξίνισης των ωκεανών ή του ευτροφισμού των γλυκών νερών.

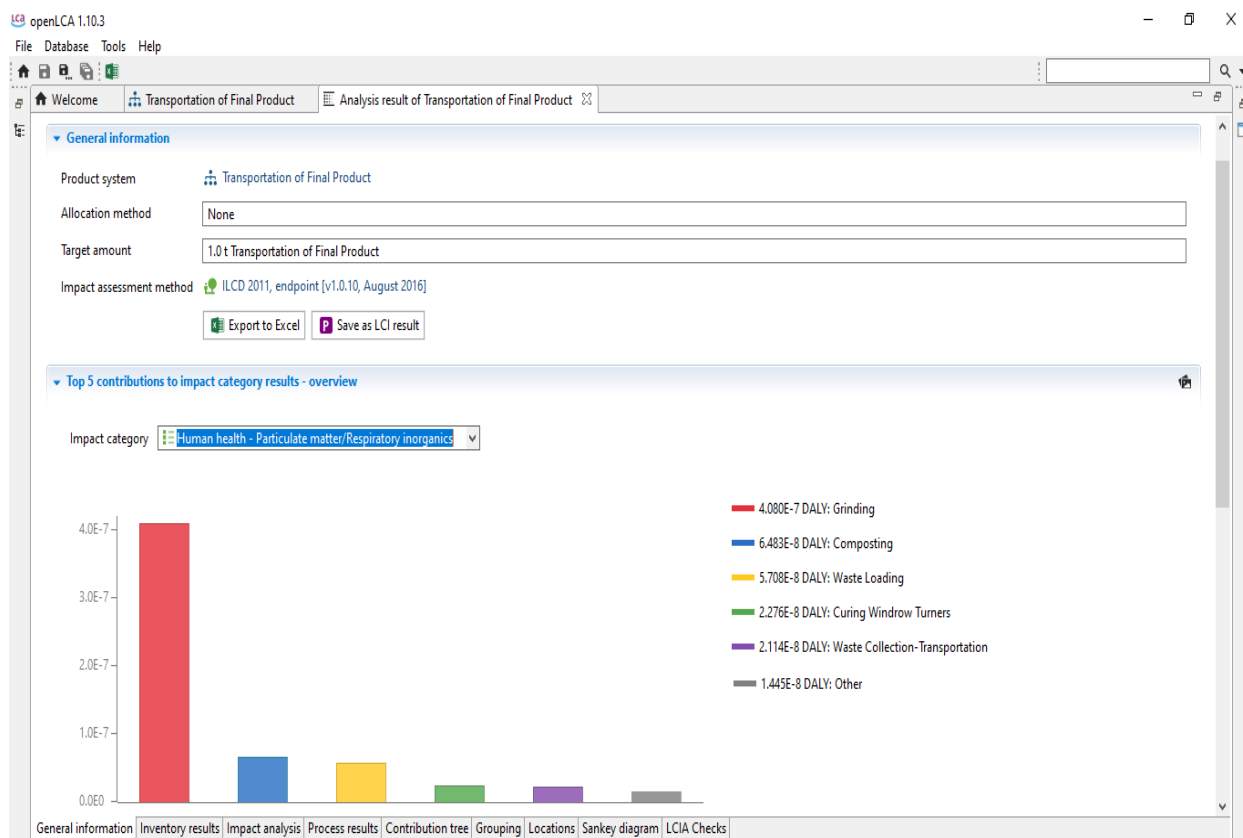
Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την **επίπτωση** των επιμέρους διαδικασιών στην **ανθρώπινη υγεία μέσω** της κλιματικής αλλαγής (Διάγραμμα 5.23).



Διάγραμμα 5.23 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών αλλά και της επίπτωσης στο οικοσύστημα, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή λόγω χάρη, το διοξείδιο του άνθρακα του οποίου η παραγωγή είναι 300 φορές μεγαλύτερη της ακριβώς επόμενης.

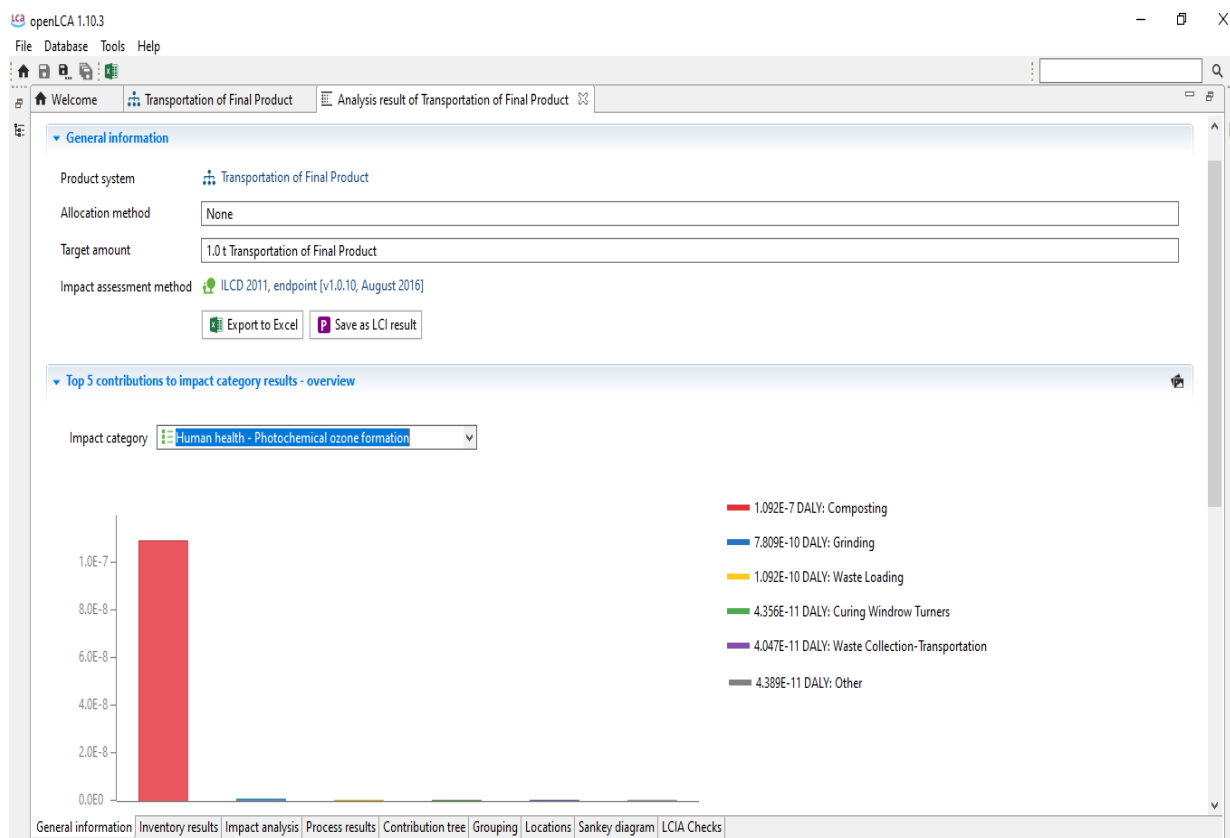
Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη (Διάγραμμα 5.24).



Διάγραμμα 5.24 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αλέσεως, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων ανόργανων ενώσεων και σωματιδίων βλαβερών για τη ανθρώπινη υγεία, όπως για παράδειγμα το μονοξείδιο του άνθρακα.

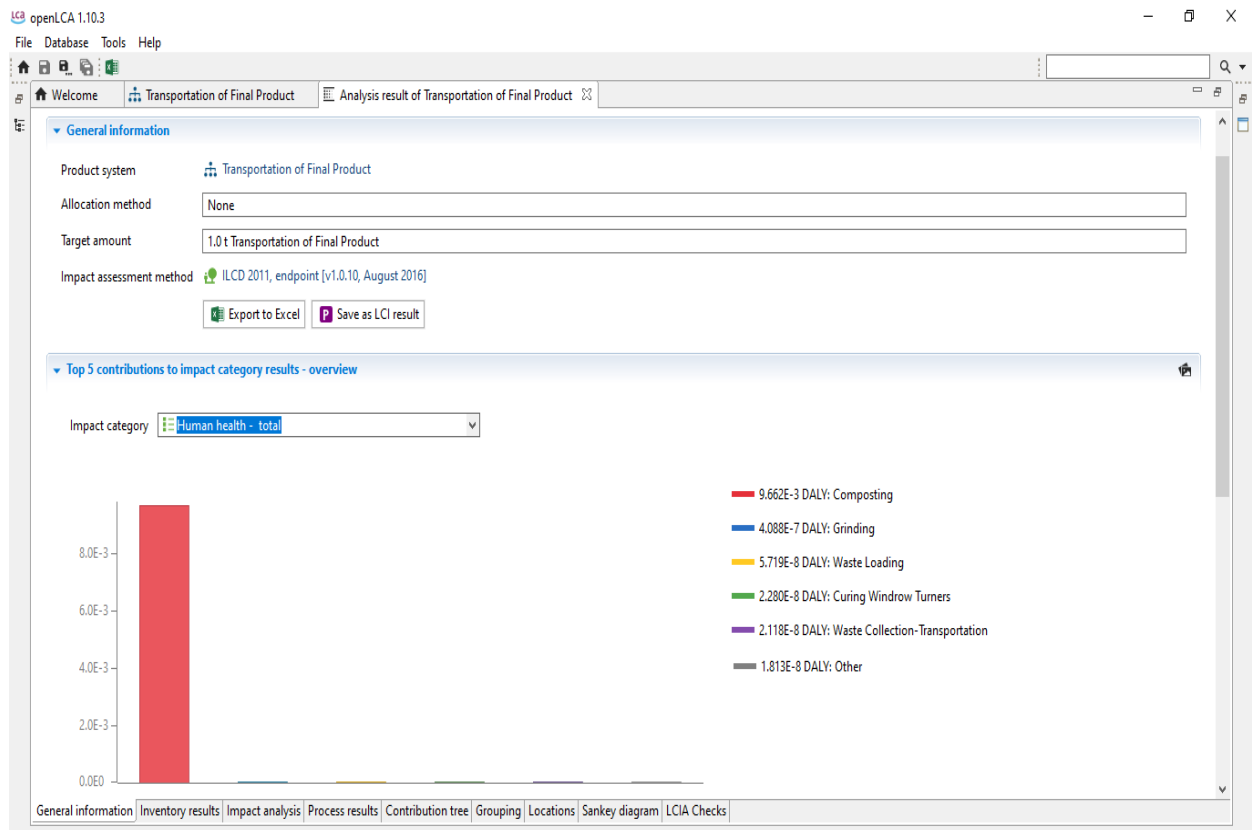
Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω του σχηματισμού φωτοχημικού νέφους (Διάγραμμα 5.25).



Διάγραμμα 5.25 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για το σχηματισμό του νέφους κυρίως, του μεθανίου (όντας VOC) του οποίου η παραγωγή είναι απείρως μεγαλύτερη της ακριβώς επόμενης.

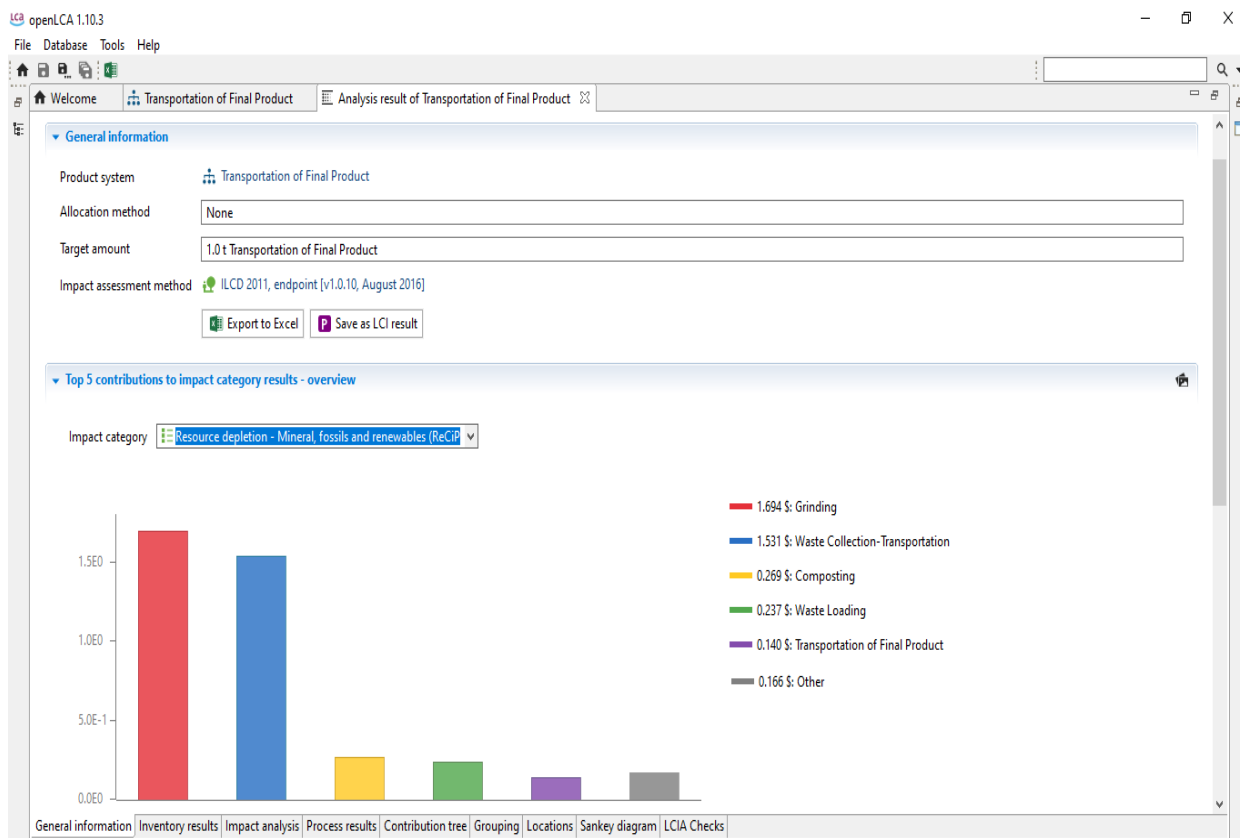
Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο **σύνολο της ανθρώπινης υγείας** (Διάγραμμα 5.26).



Διάγραμμα 5.26 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει σχεδόν αποκλειστικά στις δύο από τις τρεις υποκατηγορίες.

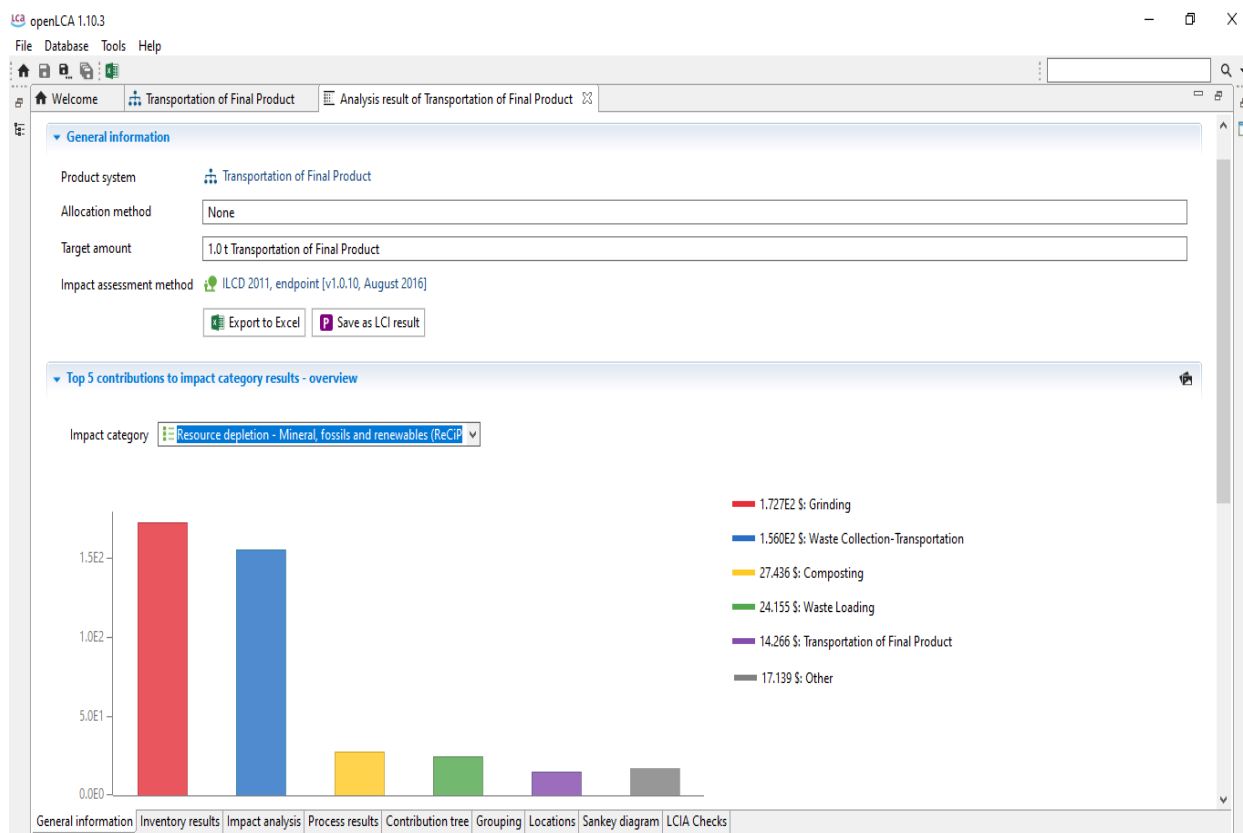
Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη **εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων** χρησιμοποιώντας τη **μεθοδολογία ReCiPe 1.11** (Διάγραμμα 5.27).



Διάγραμμα 5.27 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλούν οι διαδικασίες της άλεσης και η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασίες που χρησιμοποιούν ενεργοβόρα μηχανήματα που επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων.

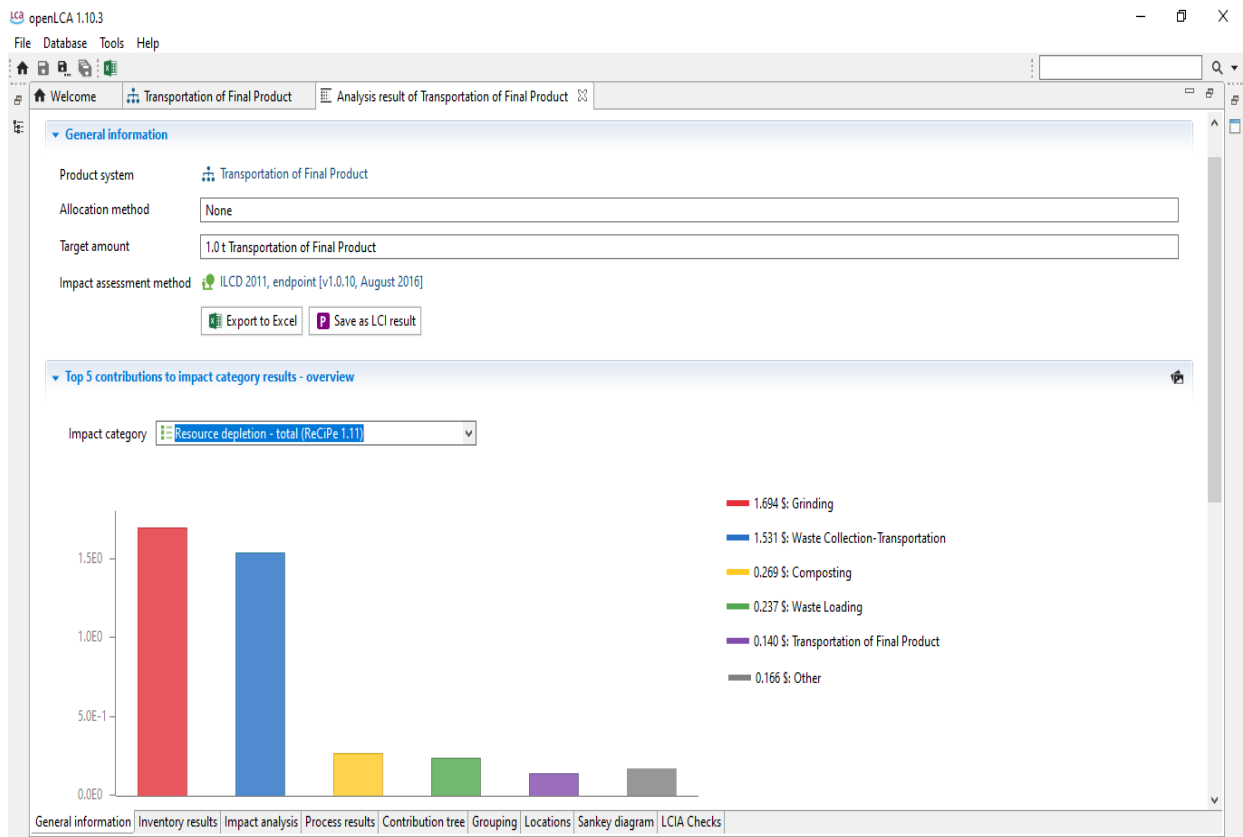
Η όγδοη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη **εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων** χρησιμοποιώντας τη **μεθοδολογία ReCiPe 1.05** (Διάγραμμα 5.28).



Διάγραμμα 5.28 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe 1.05. – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλούν οι διαδικασίες της άλεσης και η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασίες που χρησιμοποιούν ενεργοβόρα μηχανήματα που επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων.

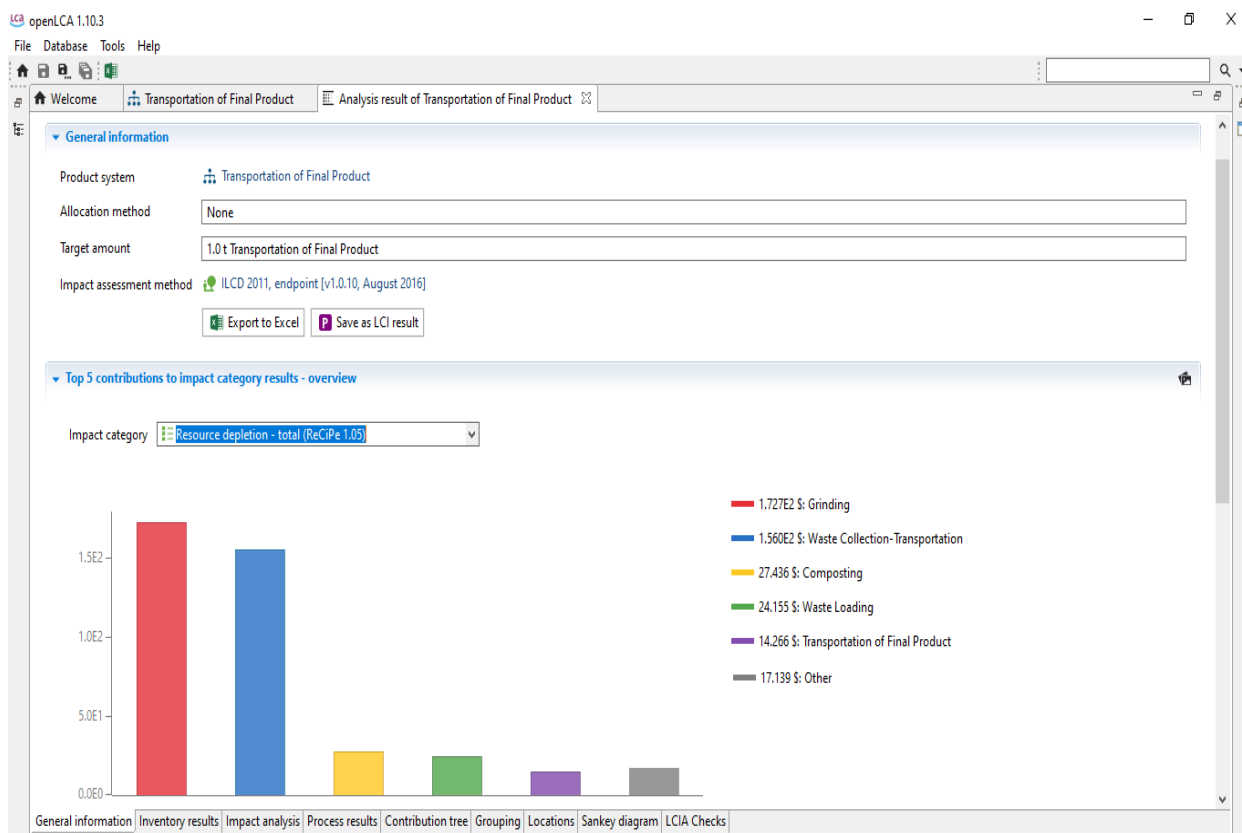
Η ένατη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία **ReCiPe 1.11** (Διάγραμμα 5.29).



Διάγραμμα 5.29 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της κομποστοποίησης καταναλώνει μονάχα ορυκτούς και ανανεώσιμους πόρους.

Η δέκατη και τελική γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη **μεθοδολογία ReCiPe 1.05** (Διάγραμμα 5.30).



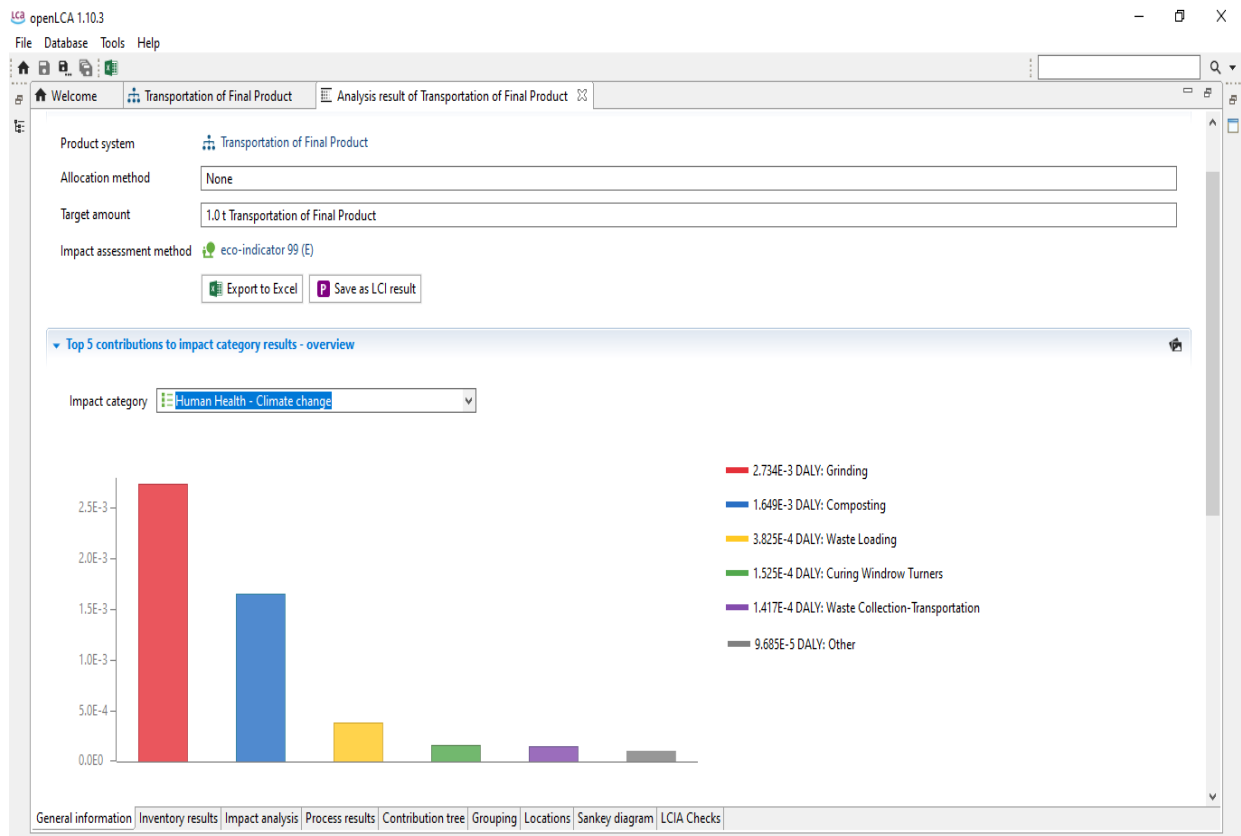
Διάγραμμα 5.30 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe 1.05. – Εξάντληση Συνόλου Πόρων

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της κομποστοποίησης καταναλώνει μονάχα ορυκτούς και ανανεώσιμους πόρους.

5.1.3.2 Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για τη διαδικασία της κομποστοποίησης μέσω της μεθόδου **Eco-Indicator 99 (E)**.

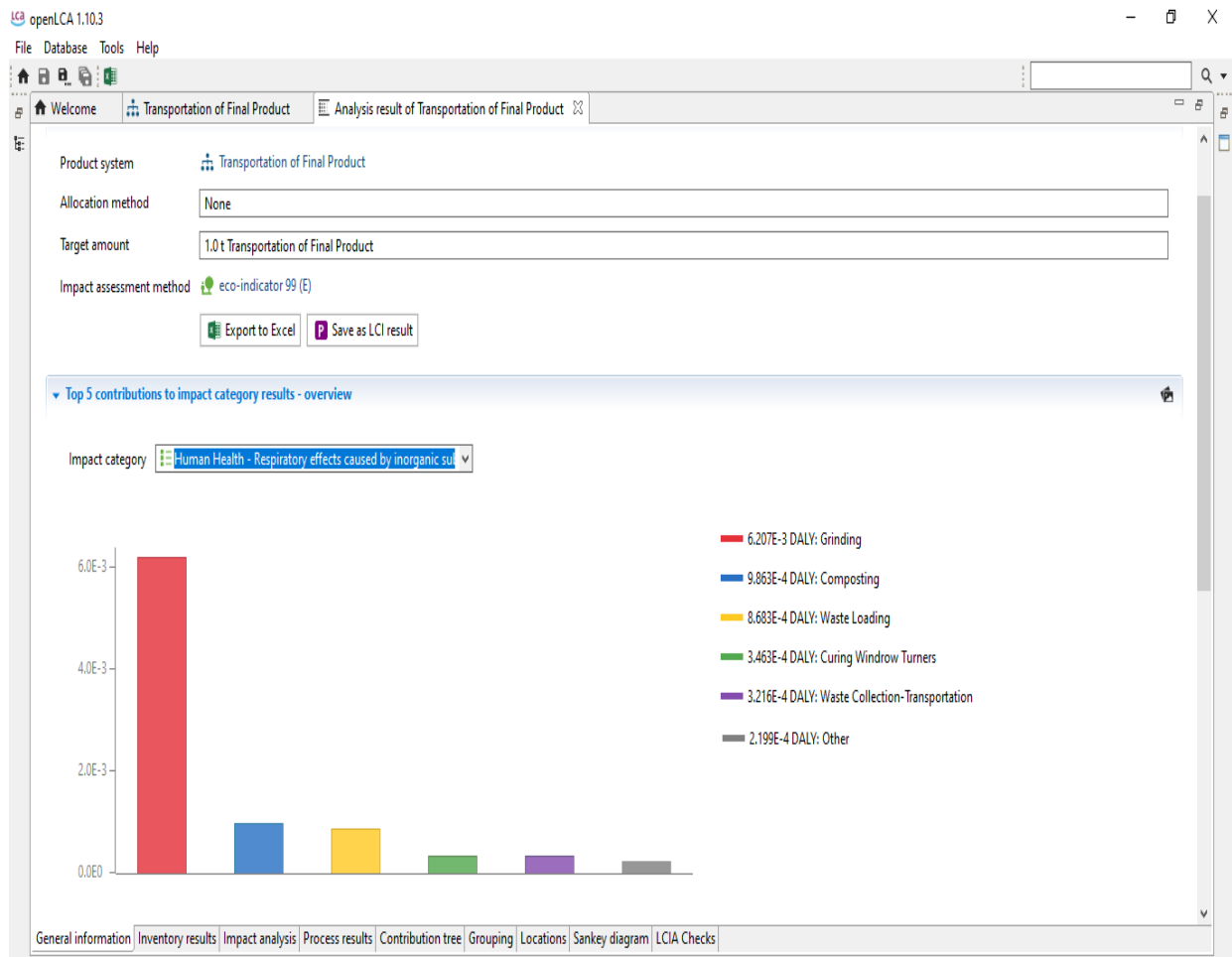
Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής (Διάγραμμα 5.31).



Διάγραμμα 5.31 Κομποστοποίηση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της άλεσης με αμέσως επόμενη εκείνη της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, οι δύο αυτές διαδικασίες παράγουν τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή όπως για παράδειγμα το διοξείδιο του άνθρακα.

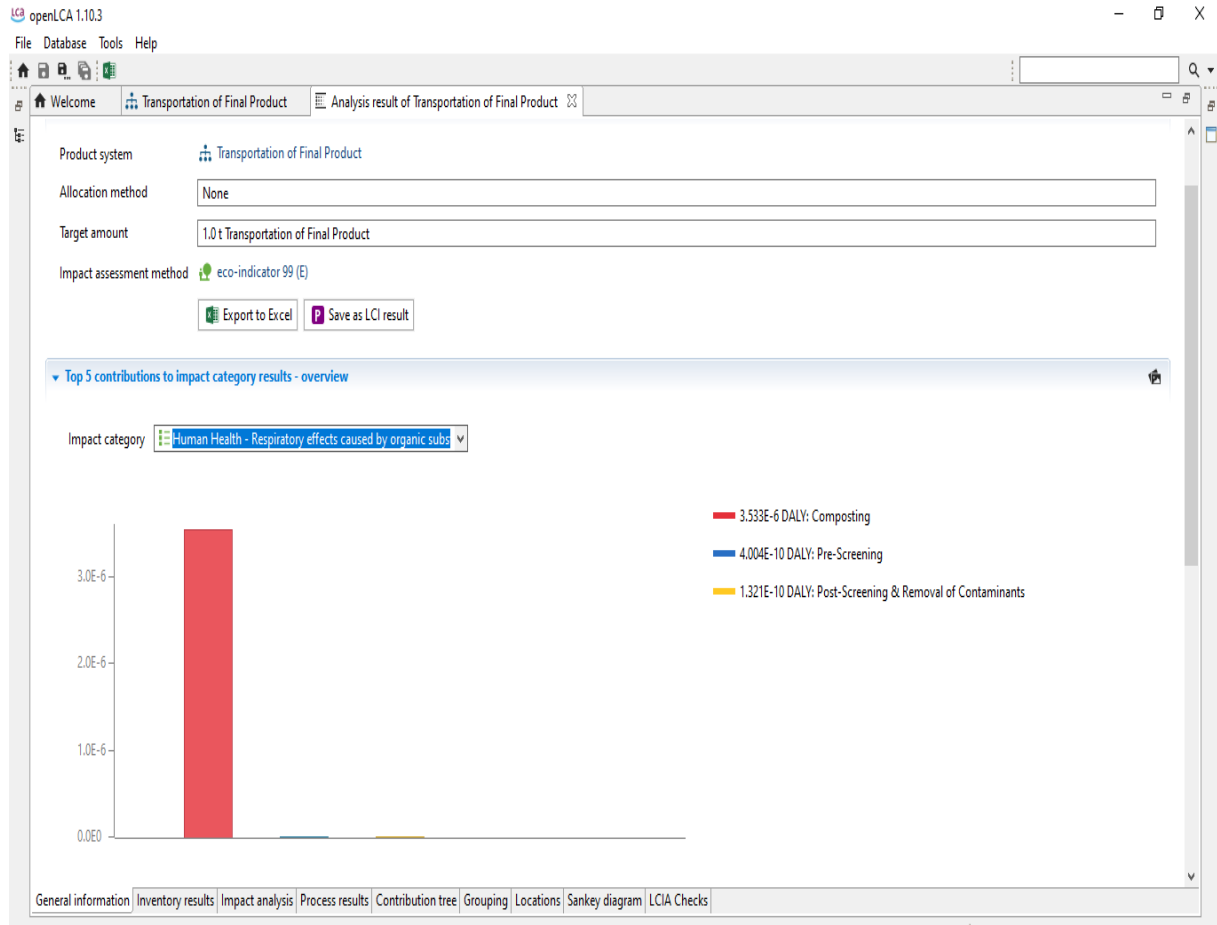
Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από ανόργανες ενώσεις (Διάγραμμα 5.32).



Διάγραμμα 5.32 Κομποστοποίηση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αλέσεως, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων ανόργανων ενώσεων και σωματιδίων βλαβερών για τη ανθρώπινη υγεία, όπως για παράδειγμα το διοξείδιο του θείου.

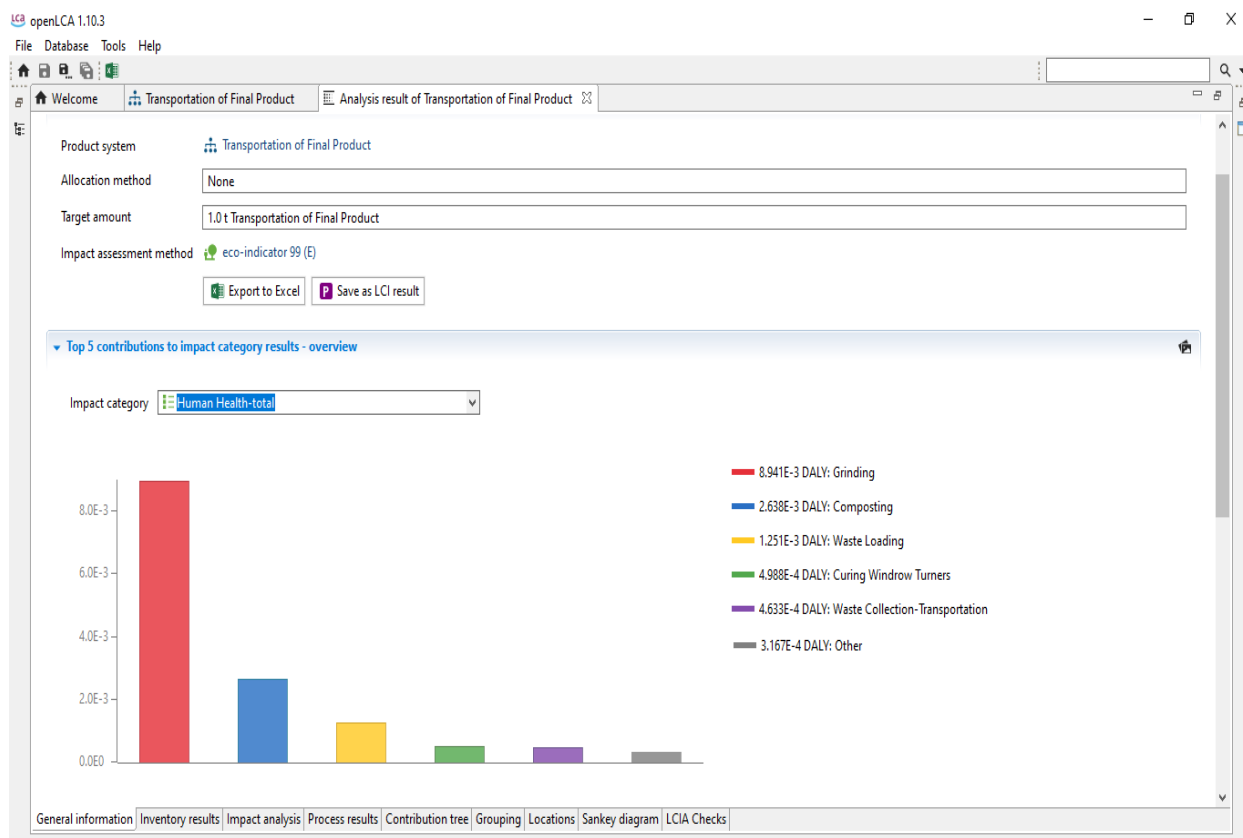
Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από οργανικές ενώσεις (Διάγραμμα 5.33).



Διάγραμμα 5.33 Κομποστοποίηση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Οργανικών Σωματιδίων – Κομποστοποίηση

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων οργανικών ενώσεων, όπως για παράδειγμα το μεθάνιο το οποίο εκλύεται σε απείρως μεγαλύτερες ποσότητες από οποιαδήποτε άλλη διαδικασία.

Η τέταρτη και τελική γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας (Διάγραμμα 5.34).



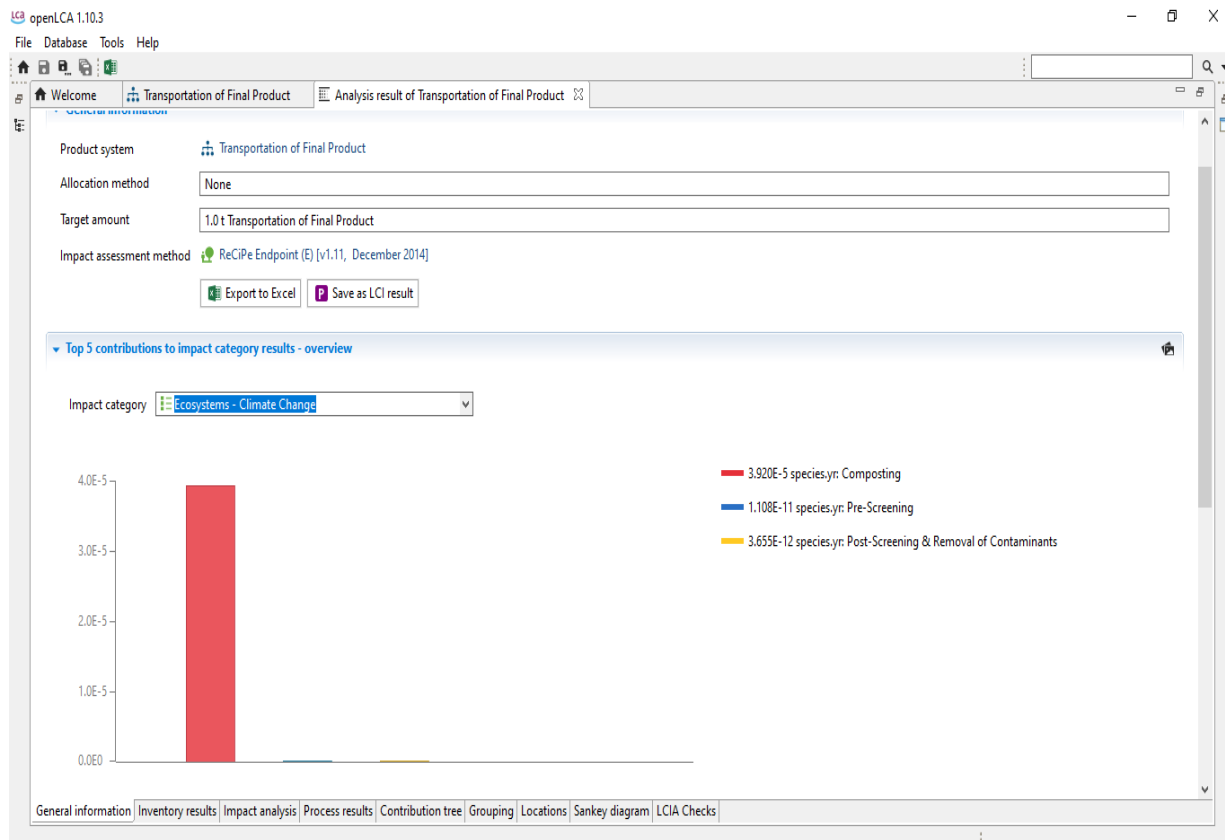
Διάγραμμα 5.34 Κομποστοποίηση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αλέσεως, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει τα μέγιστα στις δύο από τις τρεις υποκατηγορίες.

5.1.3.3 Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για τη διαδικασία της κομποστοποίησης μέσω της μεθόδου ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]

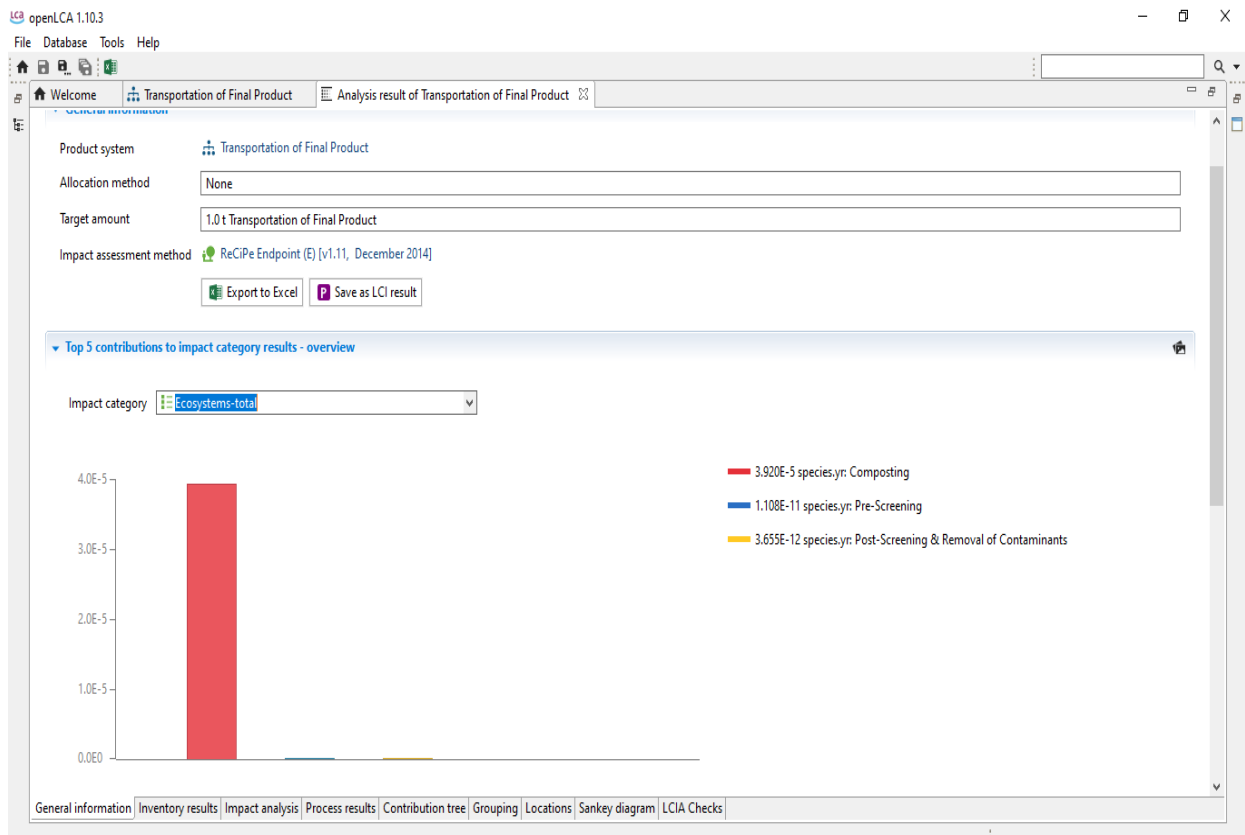
Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής (Διάγραμμα 5.35).



Διάγραμμα 5.35 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή λόγω χάρη, το διοξείδιο του άνθρακα του οποίου η παραγωγή είναι 300 φορές μεγαλύτερη της ακριβώς επόμενης.

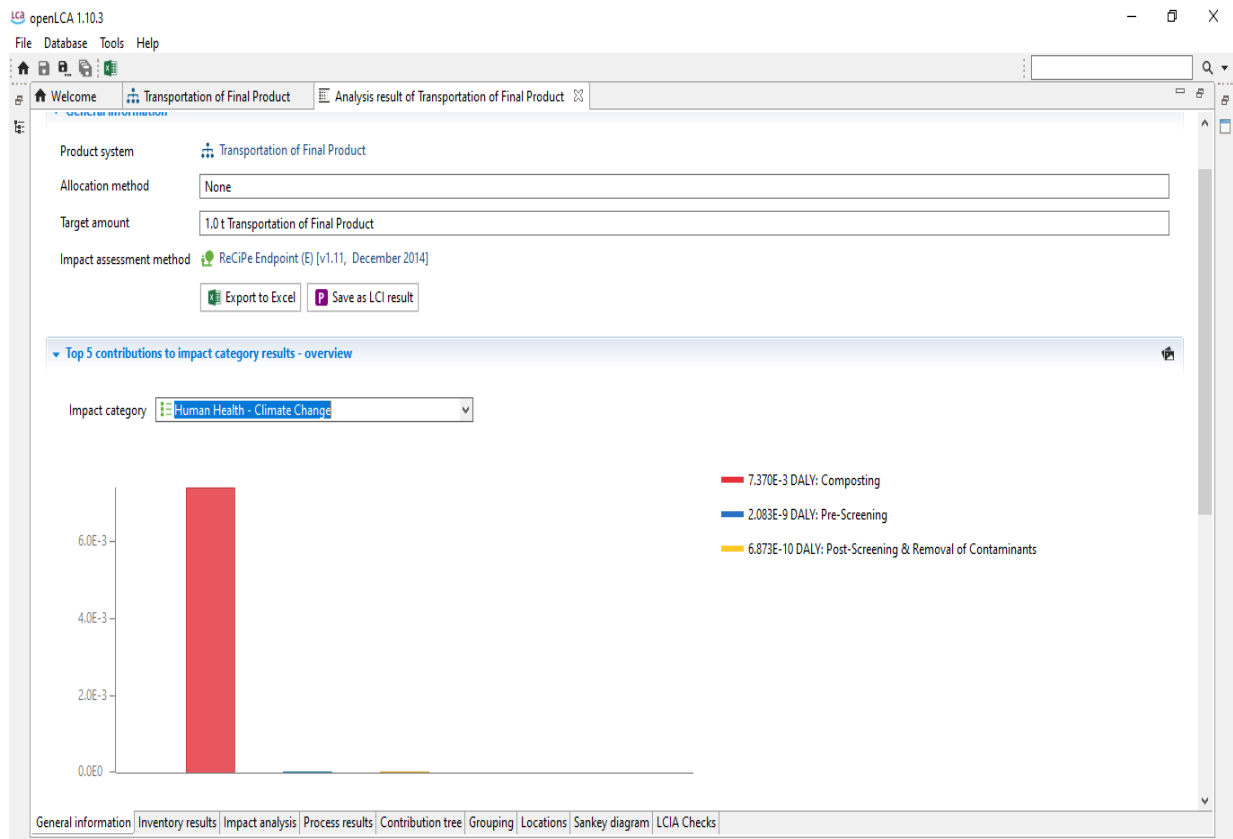
Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα συνολικά (Διάγραμμα 5.36).



**Διάγραμμα 5.36 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]
– Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά**

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ότι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της κομποστοποίησης επηρεάζει το οικοσύστημα μονάχα μέσω της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής. Ο αλγόριθμος μας υποδεικνύει πως το σύστημα των διαδικασιών δεν επηρεάζει το οικοσύστημα μέσω της οξίνισης των ωκεανών ή του ευτροφισμού των γλυκών νερών.

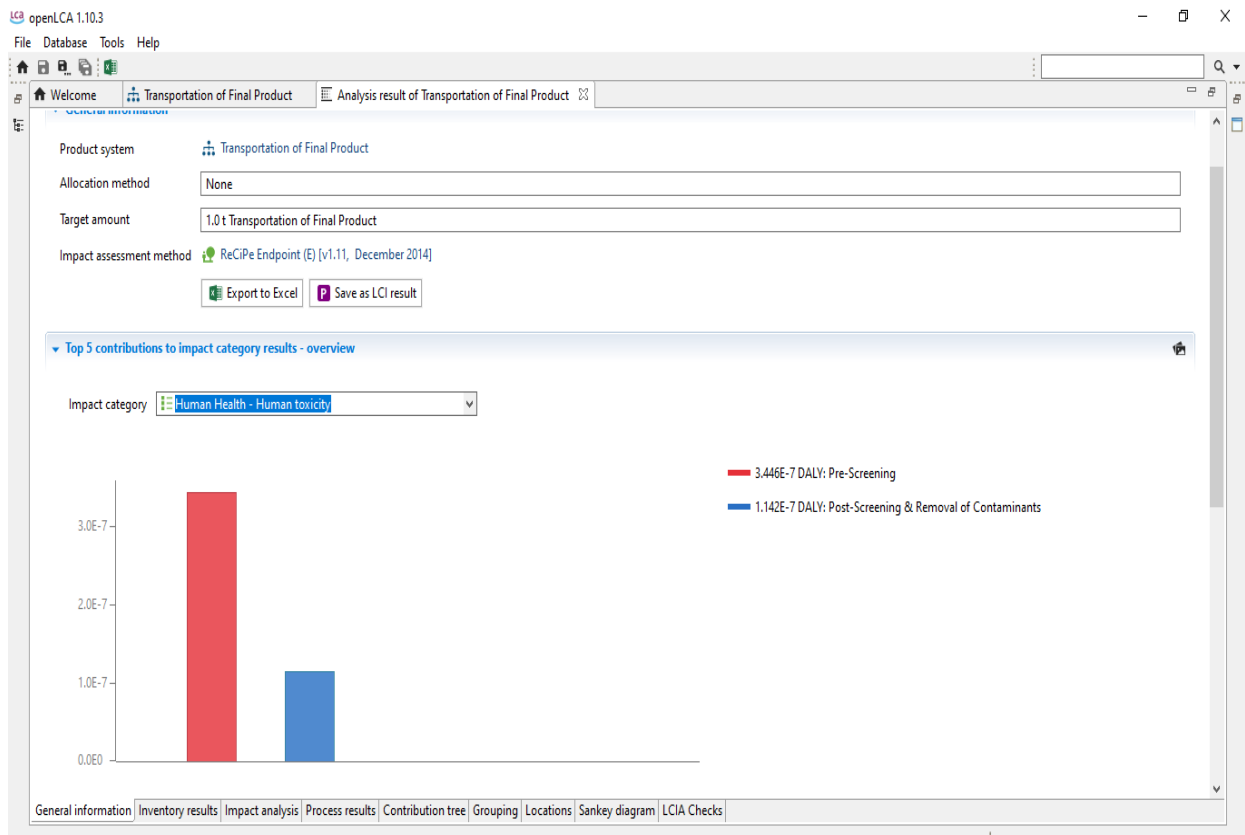
Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής (Διάγραμμα 5.37).



Διάγραμμα 5.37 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών αλλά και της επίπτωσης στο οικοσύστημα, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή λόγω χάρη, το διοξείδιο του άνθρακα του οποίου η παραγωγή είναι 300 φορές μεγαλύτερη της ακριβώς επόμενης.

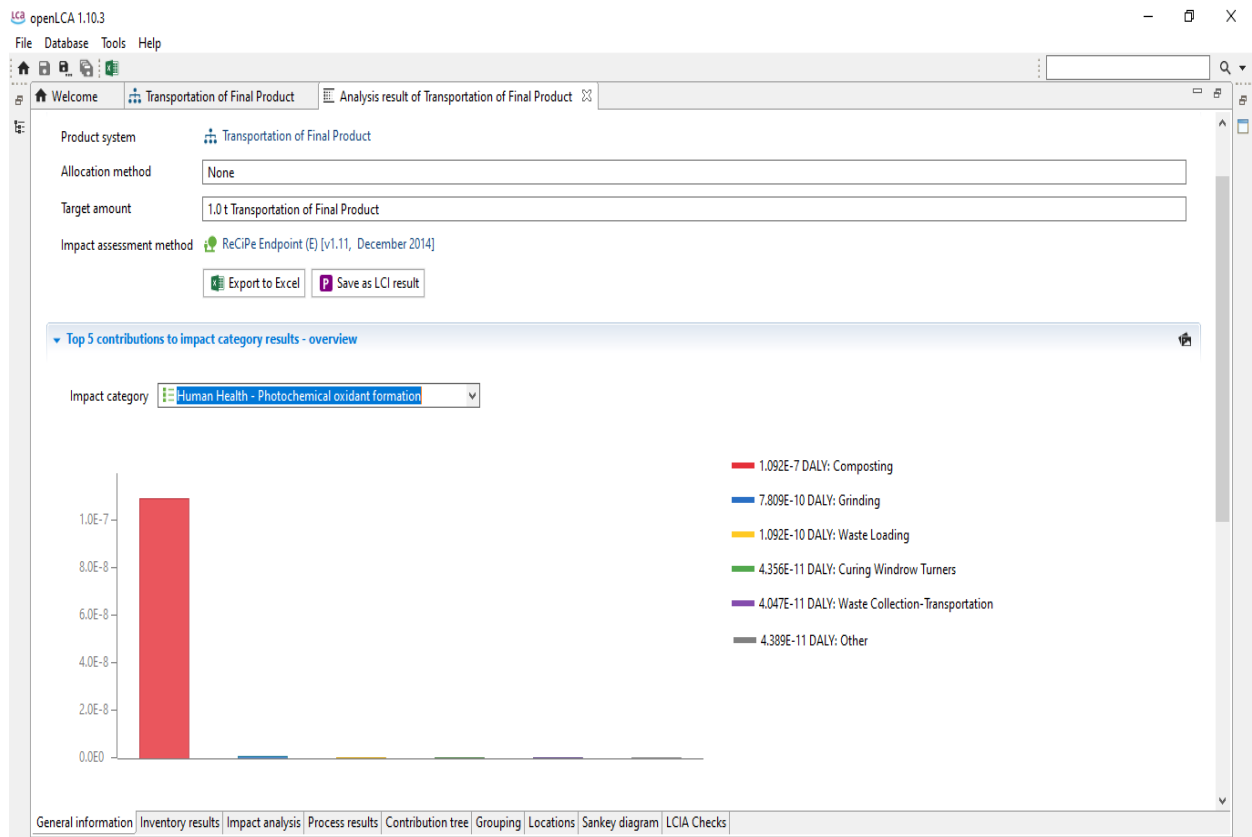
Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από τη τοξικότητα των ρύπων (Διάγραμμα 5.38).



Διάγραμμα 5.38 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Τοξικότητας Των Ρύπων

Παρατηρούμε πως σε αυτή τη διαδικασία συνδράμουν δύο διαδικασίες οι οποίες διεκπεραιώνονται αποκλειστικά με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκλύονται ρύποι τοξικοί για την ανθρώπινη υγεία όπως το υδροφθόριο.

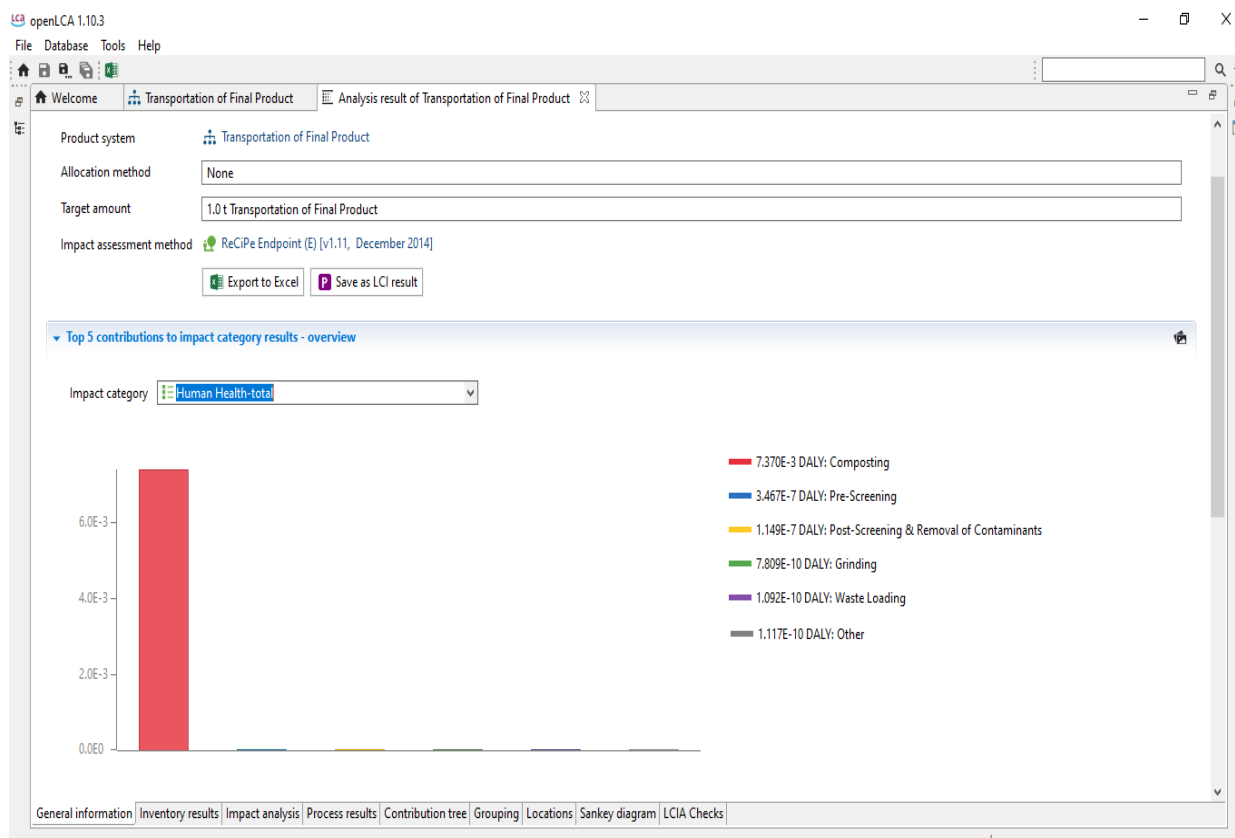
Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από το σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών (Διάγραμμα 5.39).



Διάγραμμα 5.39 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικών Οξειδωτικών

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκρρών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για το σχηματισμό του νέφους κυρίως, του μεθανίου (όντας VOC) του οποίου η παραγωγή είναι απείρως μεγαλύτερη της ακριβώς επόμενης.

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας (Διάγραμμα 5.40).



Διάγραμμα 5.40 Κομποστοποίηση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει σχεδόν αποκλειστικά στις δύο από τις τρεις υποκατηγορίες.

5.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Αναερόβιας Χώνευσης

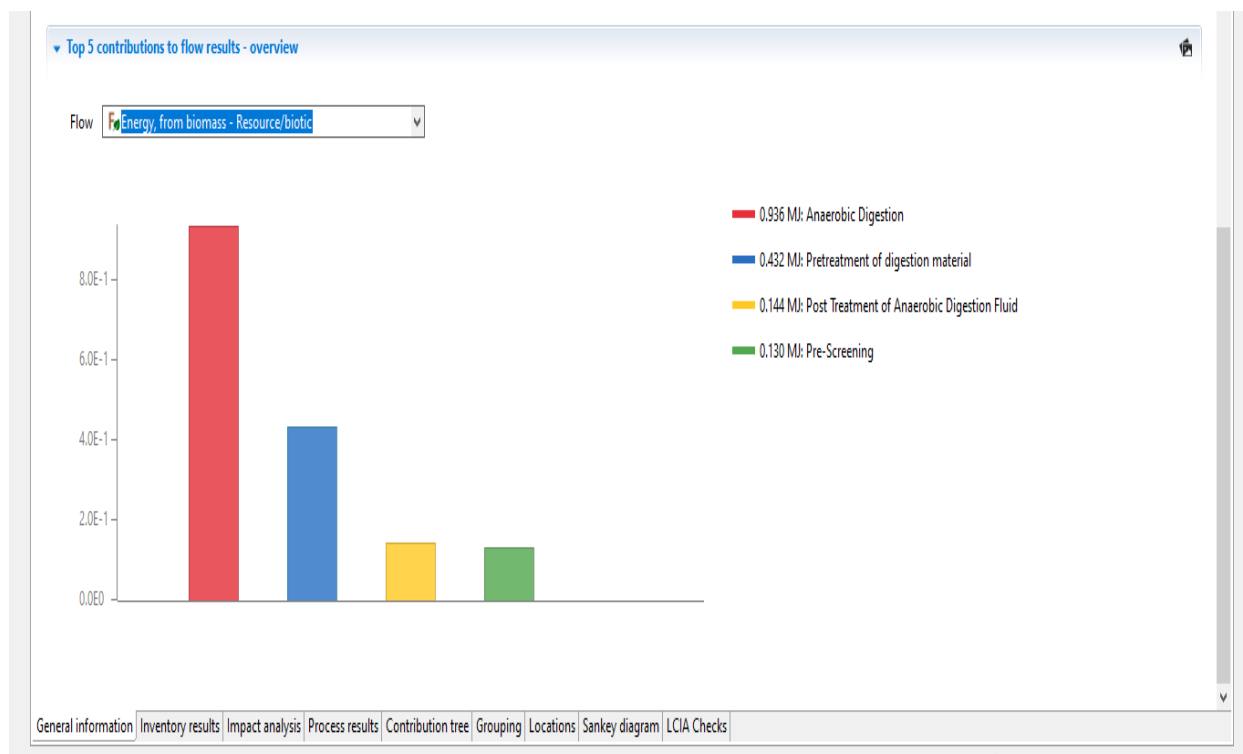
5.2.1 Εισροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης

Εν συνεχεία παρουσιάζονται τα επιμέρους στοιχεία της κάθε διαδικασίας για τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης.

Αρχικά θα γίνει ανάλυση κύκλου ζωής των διαδικασιών της αναερόβιας χώνευσης, ξεκινώντας με τις γραφικές παραστάσεις της εισερχόμενης στο σύστημα ενέργειας.

5.2.1.1 Ενέργεια Παραγόμενη Από Βιομάζα

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από βιομάζα, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης, προεπεξεργασία των υλικών προς χώνευση, η τελική επεξεργασία των χωνεμένων υλικών και της πρώτης διαλογής (Διάγραμμα 5.41).

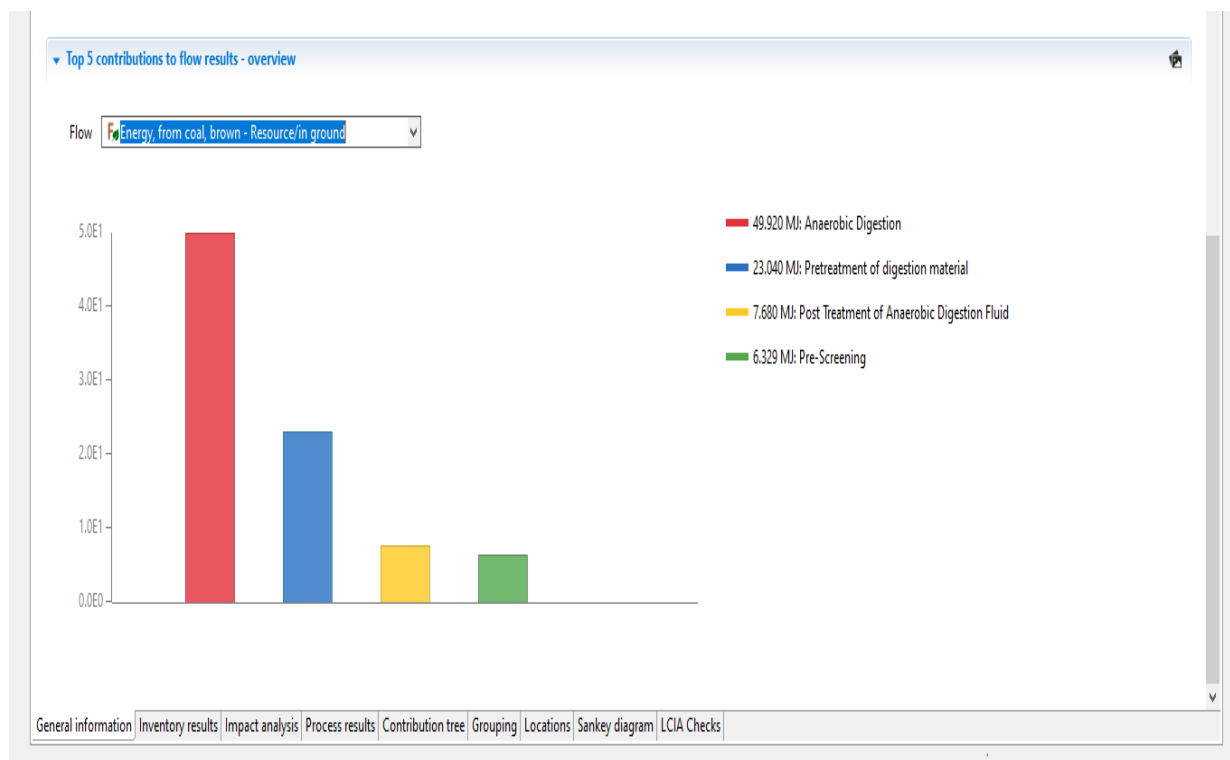


Διάγραμμα 5.41 Αναερόβια Χώνευση: Παραγόμενη Από Βιομάζα

Παρατηρούμε πως η πιο ενεργοβόρα διαδικασία είναι η αναερόβια χώνευση (Διάγραμμα 5.1).

5.2.1.2 Ενέργεια Παραγόμενη Από Λιγνίτη

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από λιγνίτη η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης, προεπεξεργασία των υλικών προς χώνευση, η τελική επεξεργασία των χωνεμένων υλικών και της πρώτης διαλογής (Διάγραμμα 5.42.).

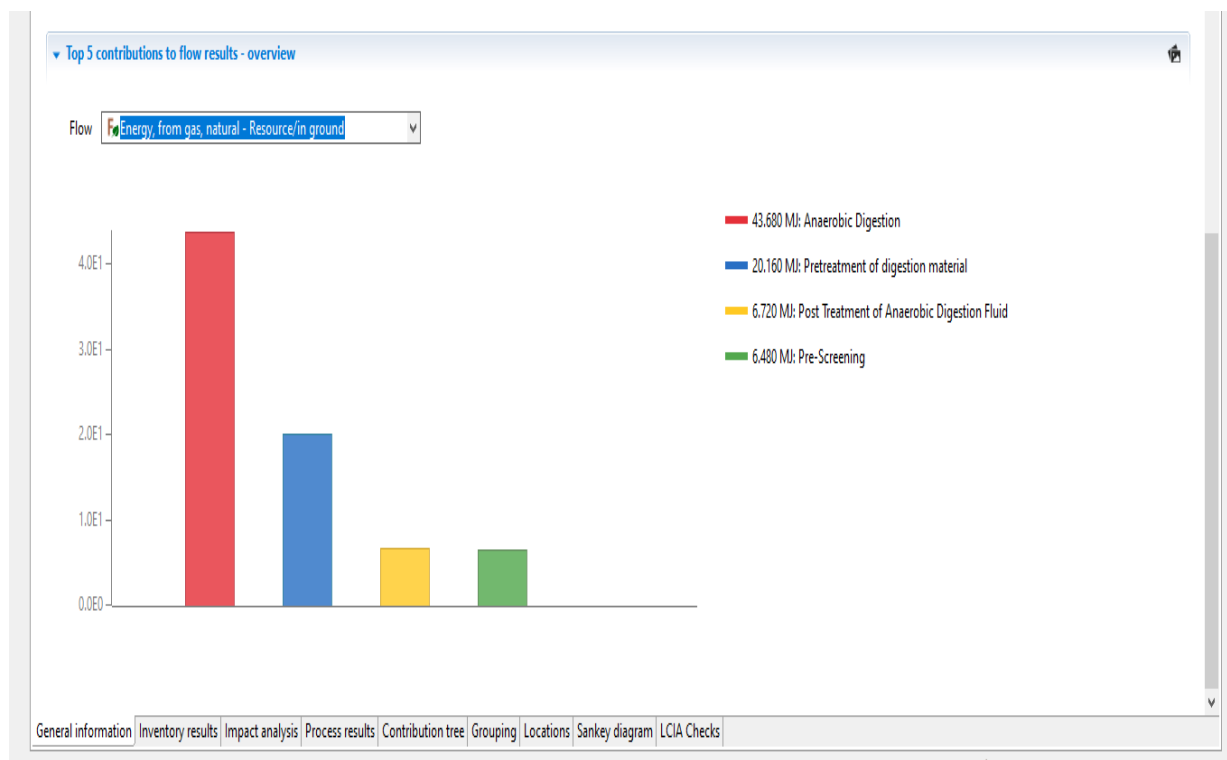


Διάγραμμα 5.42 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Λιγνίτη

Παρατηρούμε πως η πιο ενεργοβόρα διαδικασία είναι η αναερόβια χώνευση.

5.2.1.3 Ενέργεια Παραγόμενη Από Φυσικό Αέριο

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από φυσικό αέριο, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης, προεπεξεργασία των υλικών προς χώνευση, η τελική επεξεργασία των χωνεμένων υλικών και της πρώτης διαλογής (Διάγραμμα 5.43).

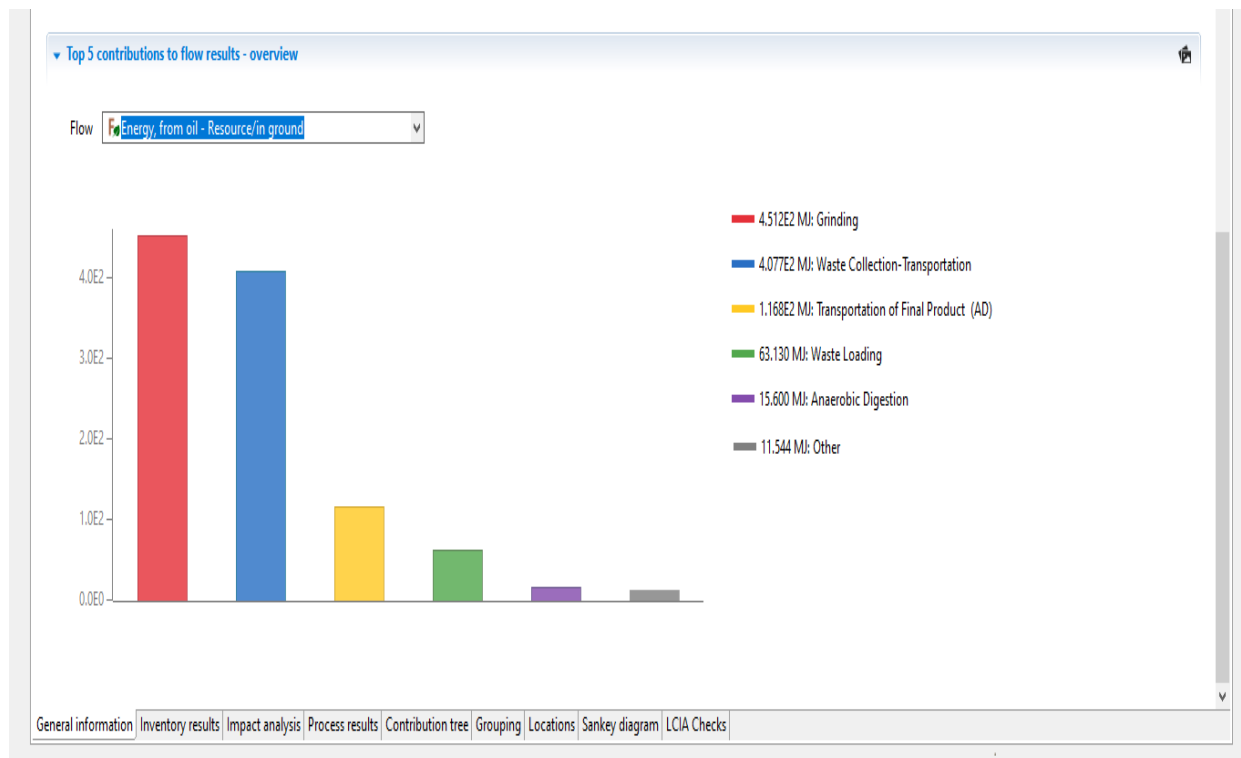


Διάγραμμα 5.43 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Φυσικό Αέριο

Παρατηρούμε πως η πιο ενεργοβόρα διαδικασία είναι η αναερόβια χώνευση.

5.2.1.4 Ενέργεια Παραγόμενη Από Πετρέλαιο

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την ενέργεια παραγόμενη από πετρέλαιο, η οποία καταναλώνεται σε όλες τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.44).

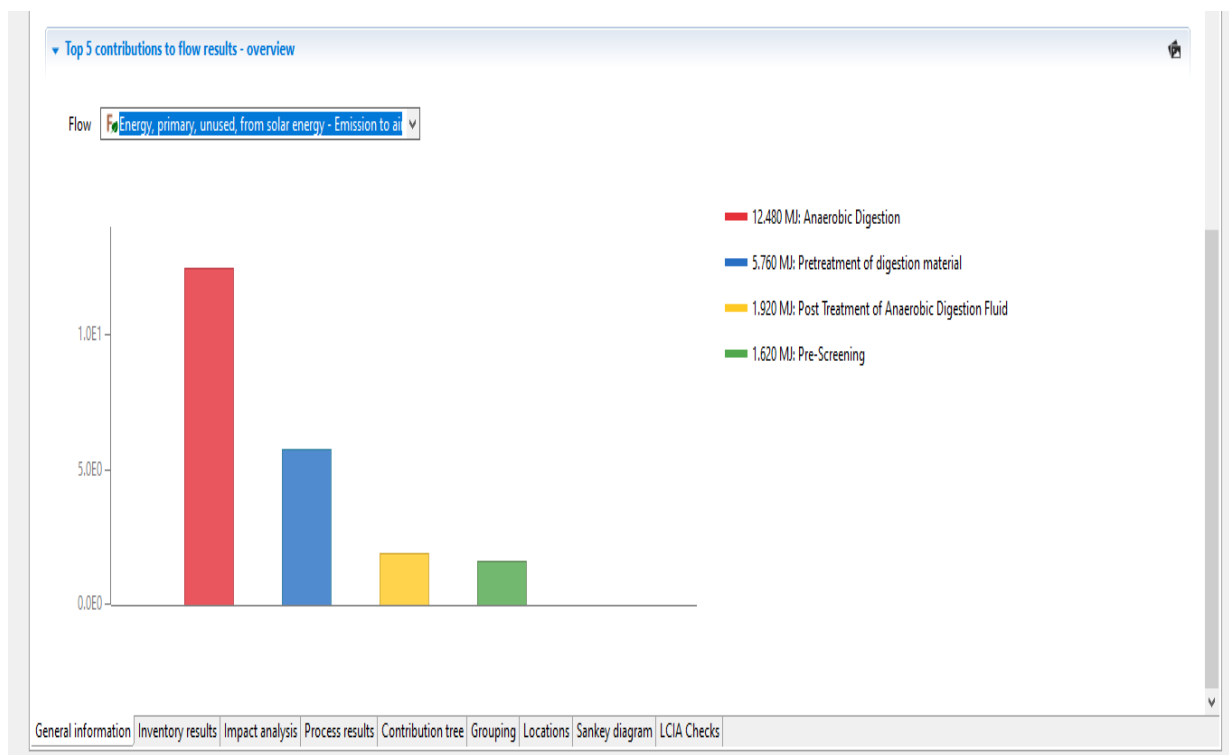


Διάγραμμα 5.44 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Πετρέλαιο

Παρατηρούμε πως η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας γίνεται από τις διαδικασίες της άλεσης και της μεταφοράς των αποβλήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δύο αυτές διαδικασίες χρησιμοποιούν αμιγώς πετρελαιοκίνητο εξοπλισμό και επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων.

5.2.1.5 Ενέργεια Παραγόμενη Από Τον Ήλιο

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από τον ήλιο η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης, προεπεξεργασία των υλικών προς χώνευση, η τελική επεξεργασία των χωνεμένων υλικών και της πρώτης διαλογής (Διάγραμμα 5.45).

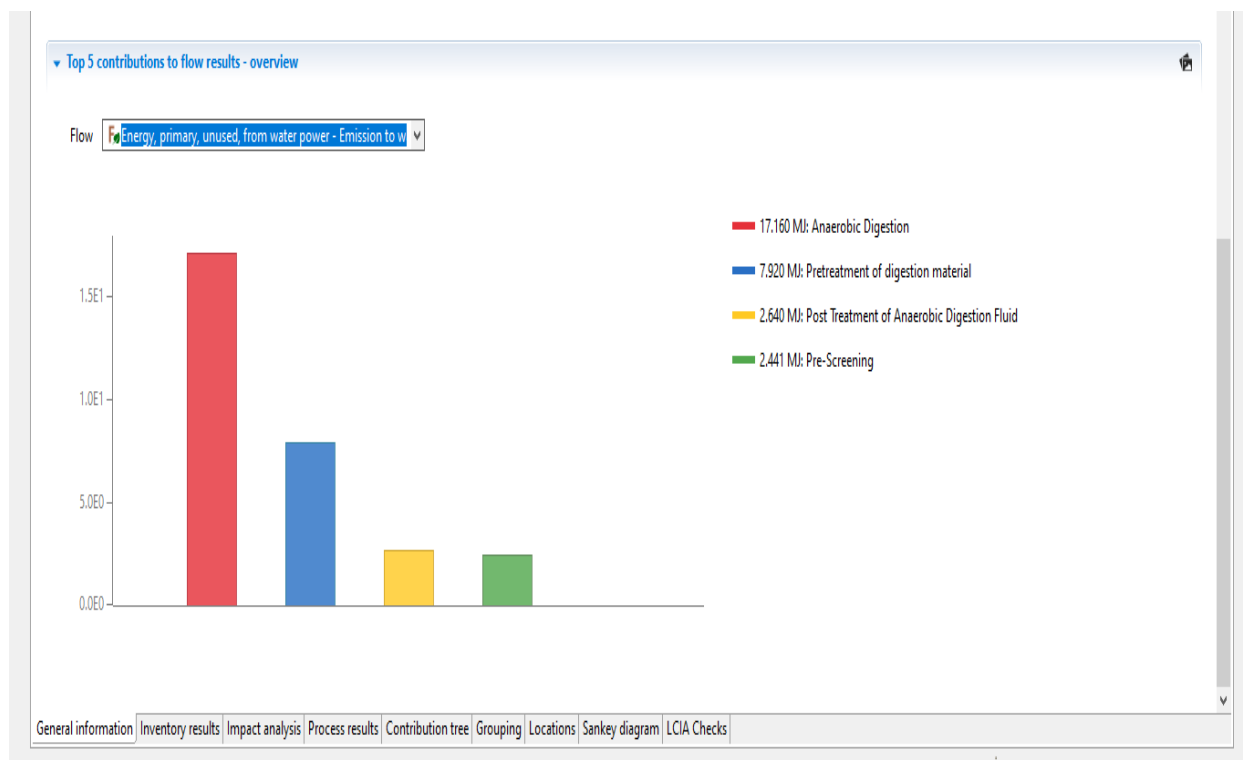


Διάγραμμα 5.45 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Τον Ήλιο

Παρατηρούμε πως η πιο ενεργοβόρα διαδικασία είναι η αναερόβια χώνευση.

5.2.1.6 Ενέργεια Παραγόμενη Από Υδροηλεκτρικό Σταθμό

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από υδροηλεκτρικό σταθμό, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης, προεπεξεργασία των υλικών προς χώνευση, η τελική επεξεργασία των χωνεμένων υλικών και της πρώτης διαλογής (Διάγραμμα 5.46).

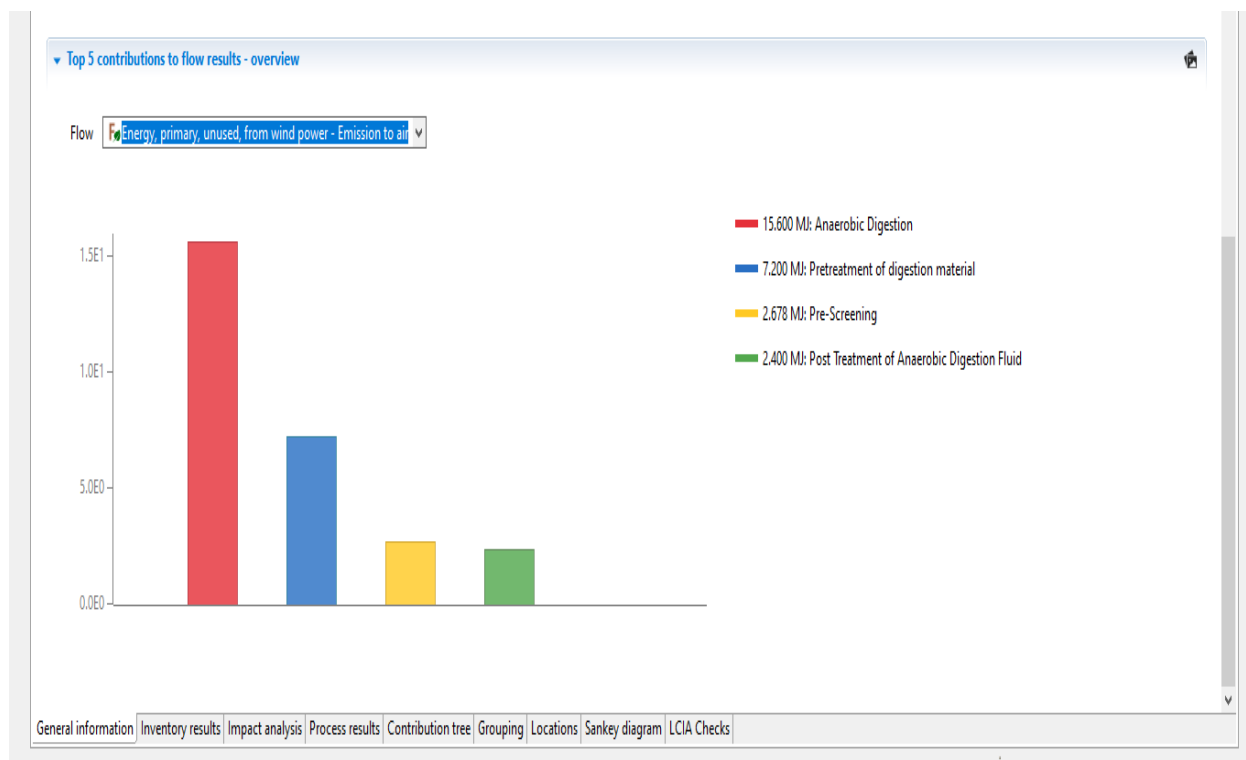


Διάγραμμα 5.46 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Υδροηλεκτρικό Σταθμό

Παρατηρούμε πως η πιο ενεργοβόρα διαδικασία είναι η αναερόβια χώνευση.

5.2.1.7 Ενέργεια Παραγόμενη Από Ανεμογεννήτριες

Η έβδομη και τελευταία γραφική παράσταση παρουσιάζει την Ενέργεια παραγόμενη από ανεμογεννήτριες, η οποία καταναλώνεται στις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης, προεπεξεργασία των υλικών προς χώνευση, η τελική επεξεργασία των χωνεμένων υλικών και της πρώτης διαλογής (Διάγραμμα 5.47).



Διάγραμμα 5.47 Αναερόβια Χώνευση: Ενέργεια Παραγόμενη Από Ανεμογεννήτριες

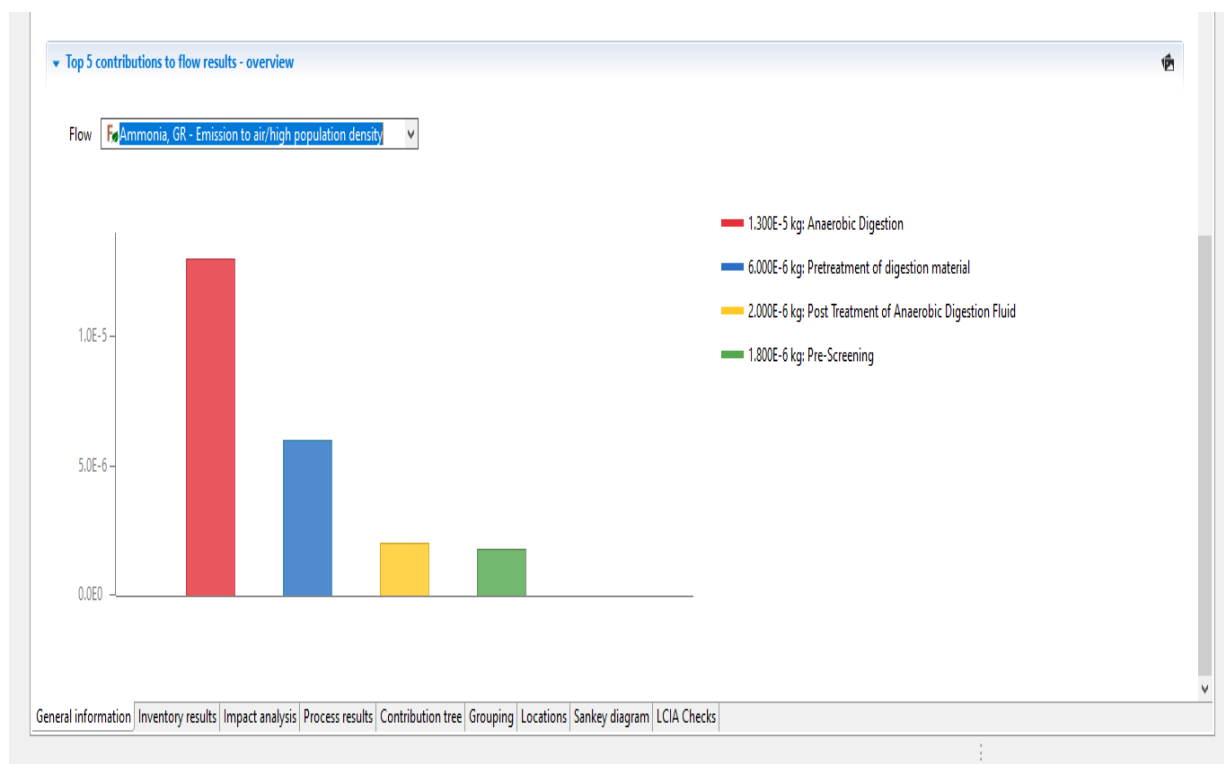
Παρατηρούμε πως η πιο ενεργοβόρα διαδικασία είναι η αναερόβια χώνευση.

5.2.2 Εκροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα διαγράμματα των εκροών που προκύπτουν κατά τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης

5.2.2.1 Εκροή Αμμωνίας

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή αμμωνίας, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, με τη μεγαλύτερη συκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.48).

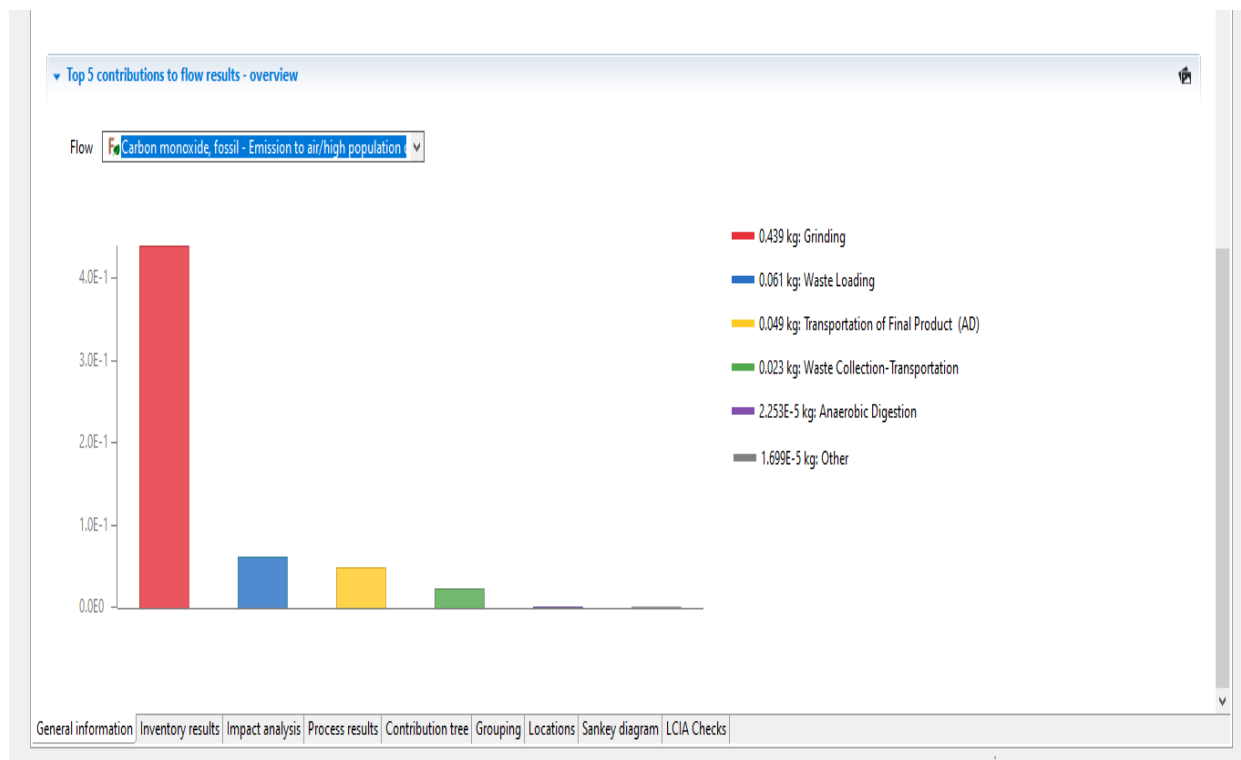


Διάγραμμα 5.48 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Αμμωνίας

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της.

5.2.2.2 Έκροή Μονοξειδίου Του Άνθρακα

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή μονοξειδίου του άνθρακα, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης (Διάγραμμα 5.49).

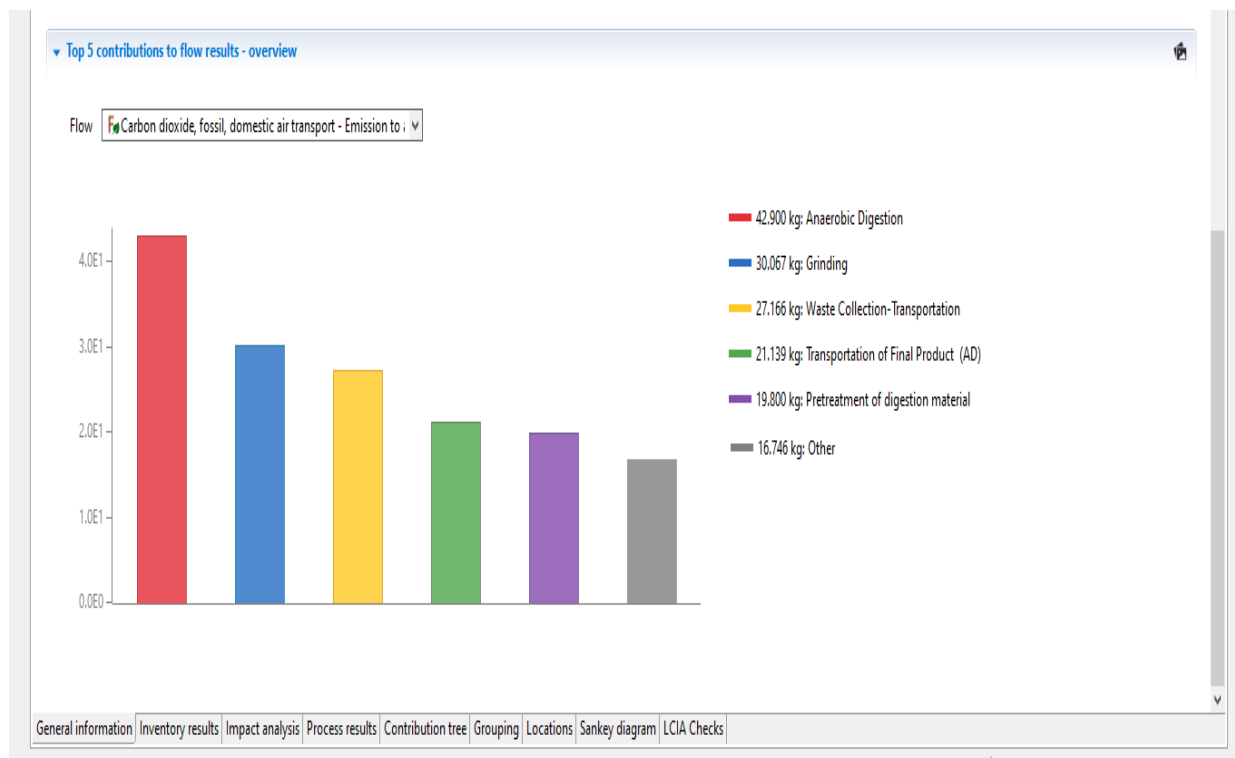


Διάγραμμα 5.49 Αναερόβια Χώνευση: Έκροή Μονοξειδίου Του Άνθρακα

Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι προκειμένου να διεκπεραιωθεί γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο και επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων.

5.2.2.3 Έκροή Διοξειδίου Του Άνθρακα

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την έκροή διοξειδίου του άνθρακα, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.50).



Διάγραμμα 5.50 Αναερόβια Χώνευση: Έκροή Διοξειδίου Του Άνθρακα

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της.

5.2.2.4 Εκροή Υδρογονανθράκων

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή υδρογονανθράκων, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αλέσεως (Διάγραμμα 5.51).

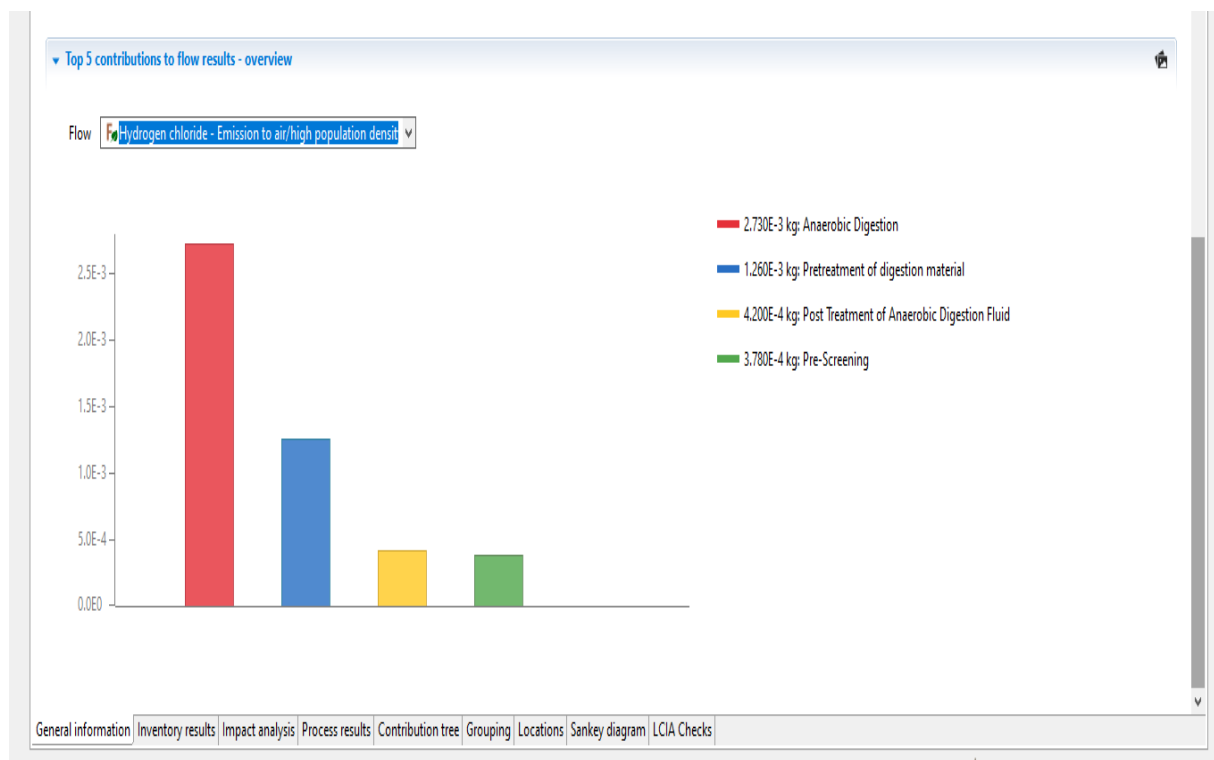


Διάγραμμα 5.51 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Υδρογονανθράκων

Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων και χρησιμοποιεί βαρύ και ρυπογόνο μηχανισμό.

5.2.2.5 Έκροή Υδροχλωρίου

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή υδροχλωρίου, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.52).

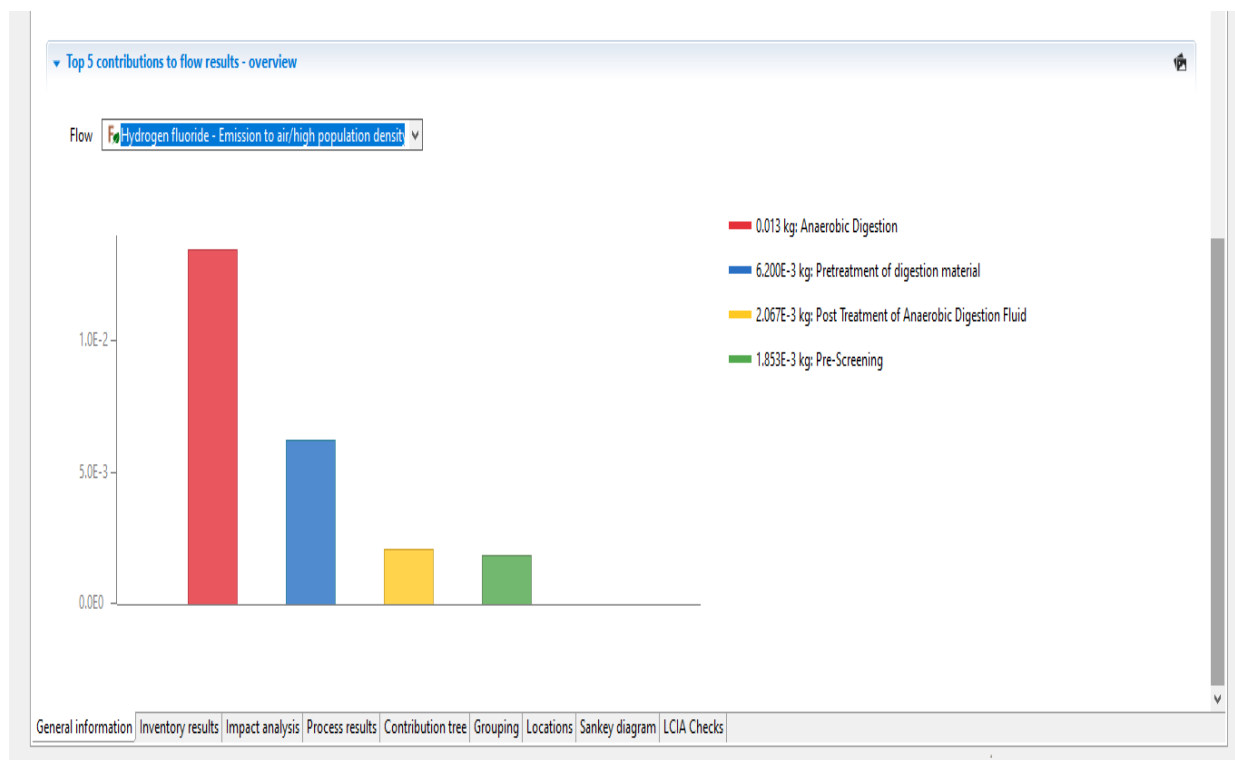


Διάγραμμα 5.52 Αναερόβια Χώνευση: Έκροή Υδροχλωρίου

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της.

5.2.2.6 Έκροή Υδροφθορίου

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή υδροφθορίου, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.53).

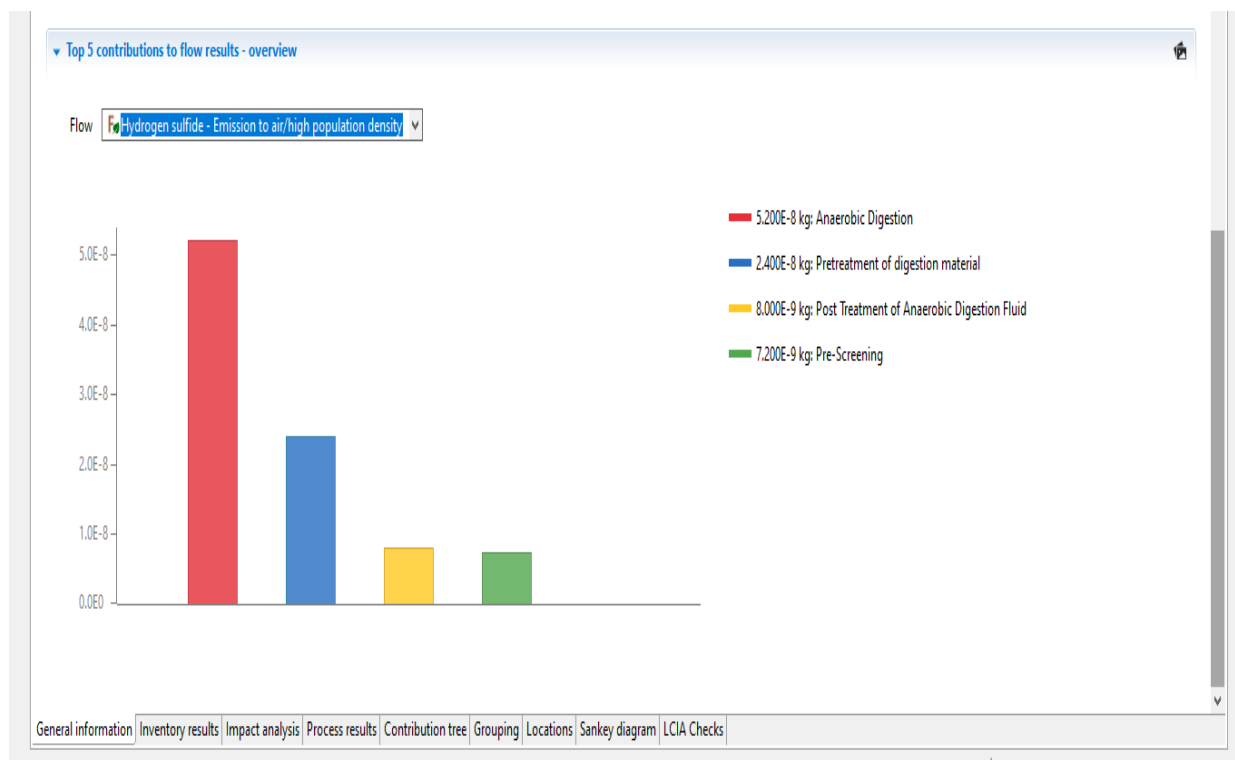


Διάγραμμα 5.53 Αναερόβια Χώνευση: Έκροή Υδροφθορίου

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της χώνευσης.

5.2.2.7 Εκροή Υδρόθειου

Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή υδρόθειου, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.54).

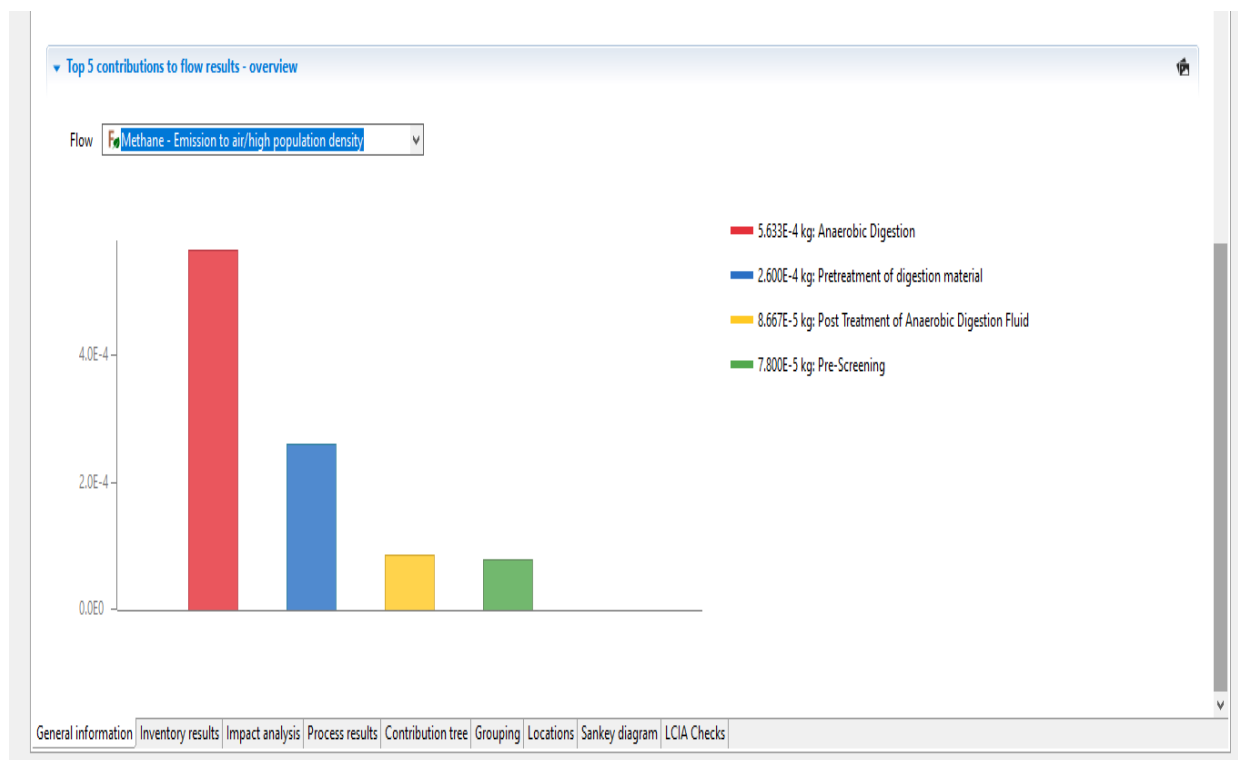


Διάγραμμα 5.54 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Υδρόθειου

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της

5.2.2.8 Έκροή Μεθανίου

Η όγδοη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή μεθανίου, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.55).

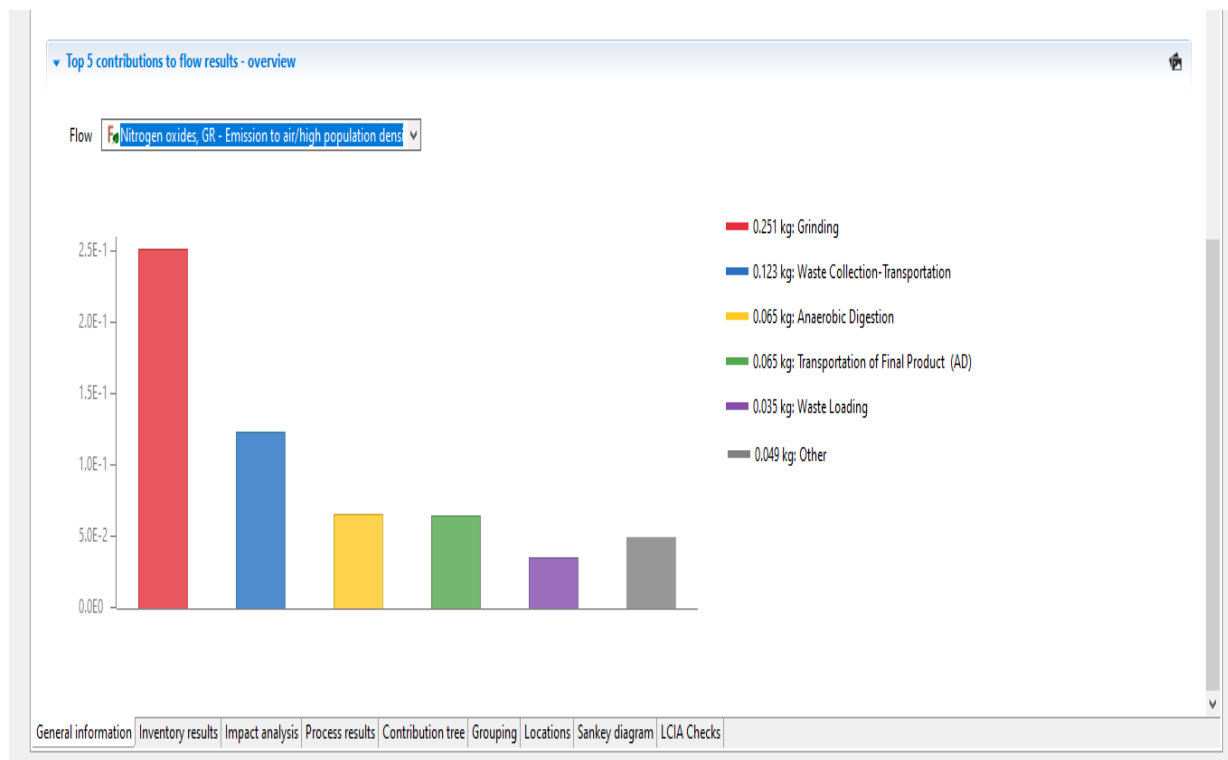


Διάγραμμα 5.55 Αναερόβια Χώνευση: Έκροή Μεθανίου

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της (Διάγραμμα 5.1).

5.2.2.9 Έκροη Οξειδίων Του Αζώτου

Η ένατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την έκροη οξειδίων του αζώτου, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης (Διάγραμμα 5.56).

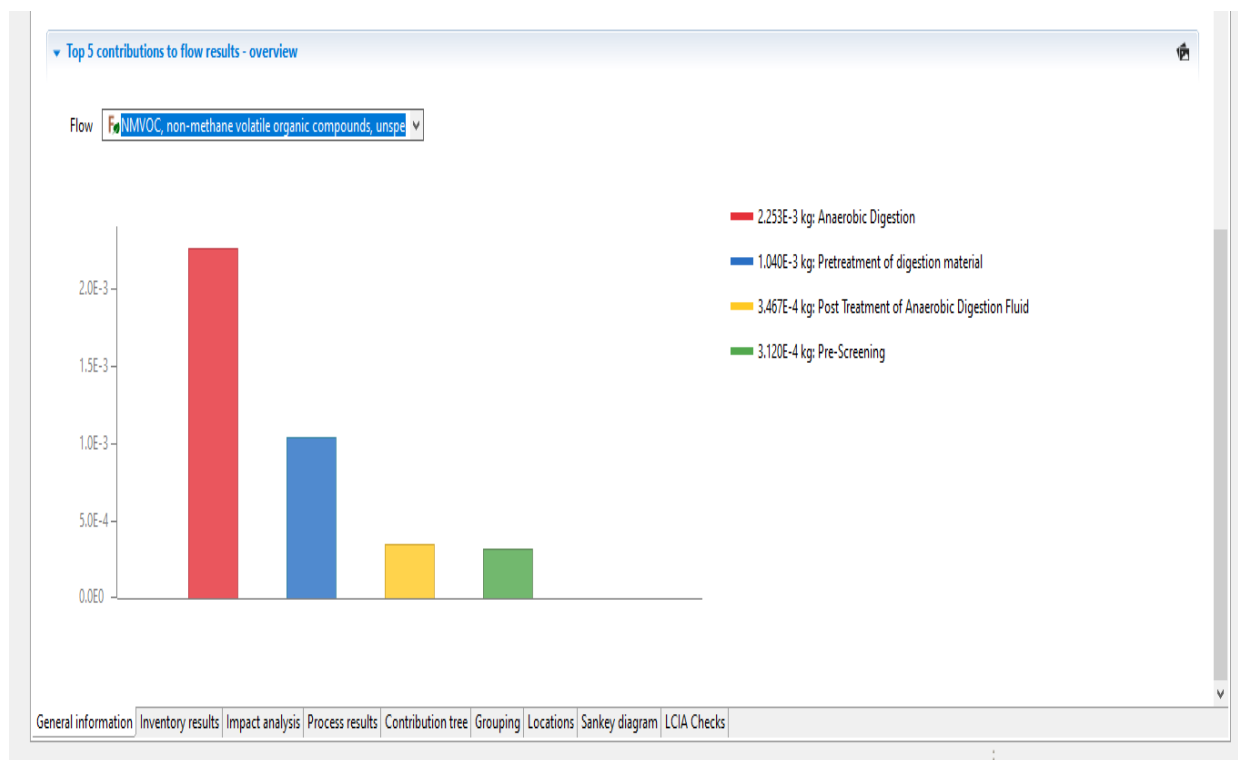


Διάγραμμα 5.56 Αναερόβια Χώνευση: Έκροη Οξειδίων Του Αζώτου

Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι προκειμένου να διεκπεραιωθεί γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο και επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων (Διάγραμμα 5.1).

5.2.2.10 Εκροή Των NMVOC

Η δέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή των NMVOC, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.57).

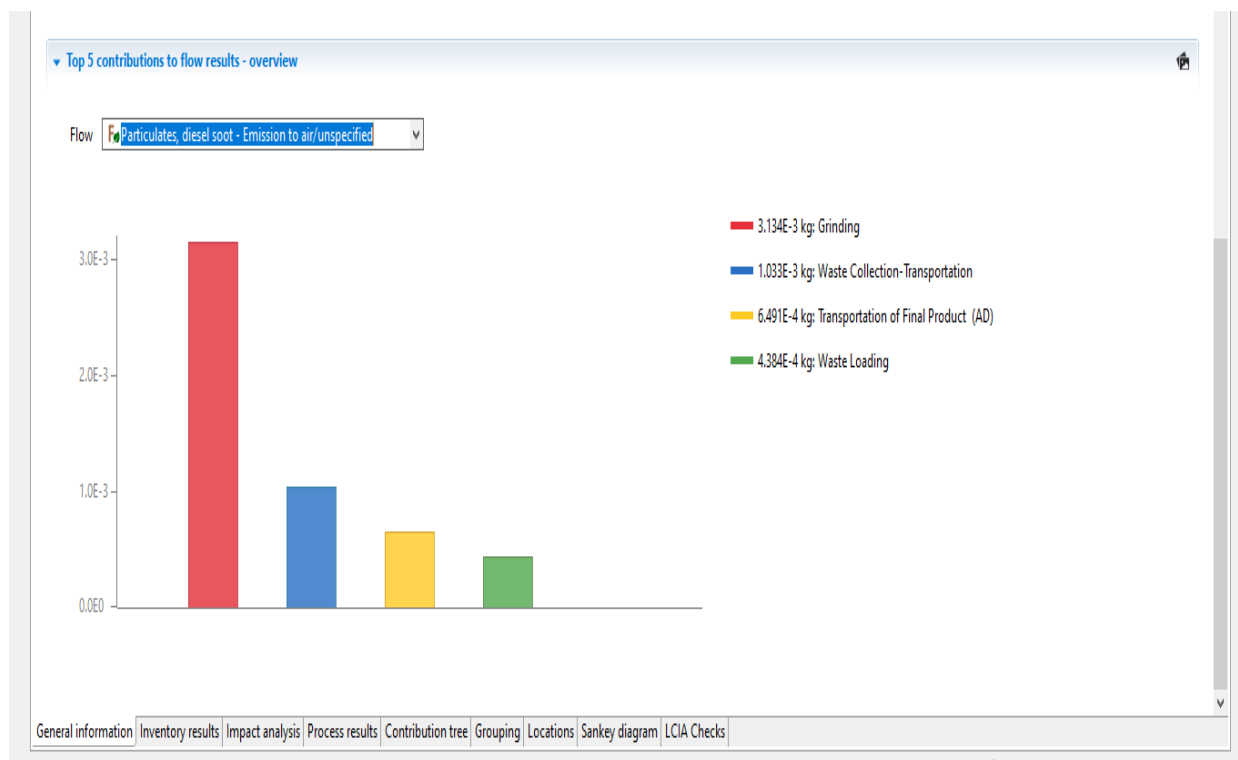


Διάγραμμα 5.57 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Των NMVOC

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις γραφικές παραστάσεις της ενέργειας, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της.

5.2.2.11 Εκροή Των Σωματιδίων

Η εντέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή των σωματιδίων, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης (Διάγραμμα 5.58).

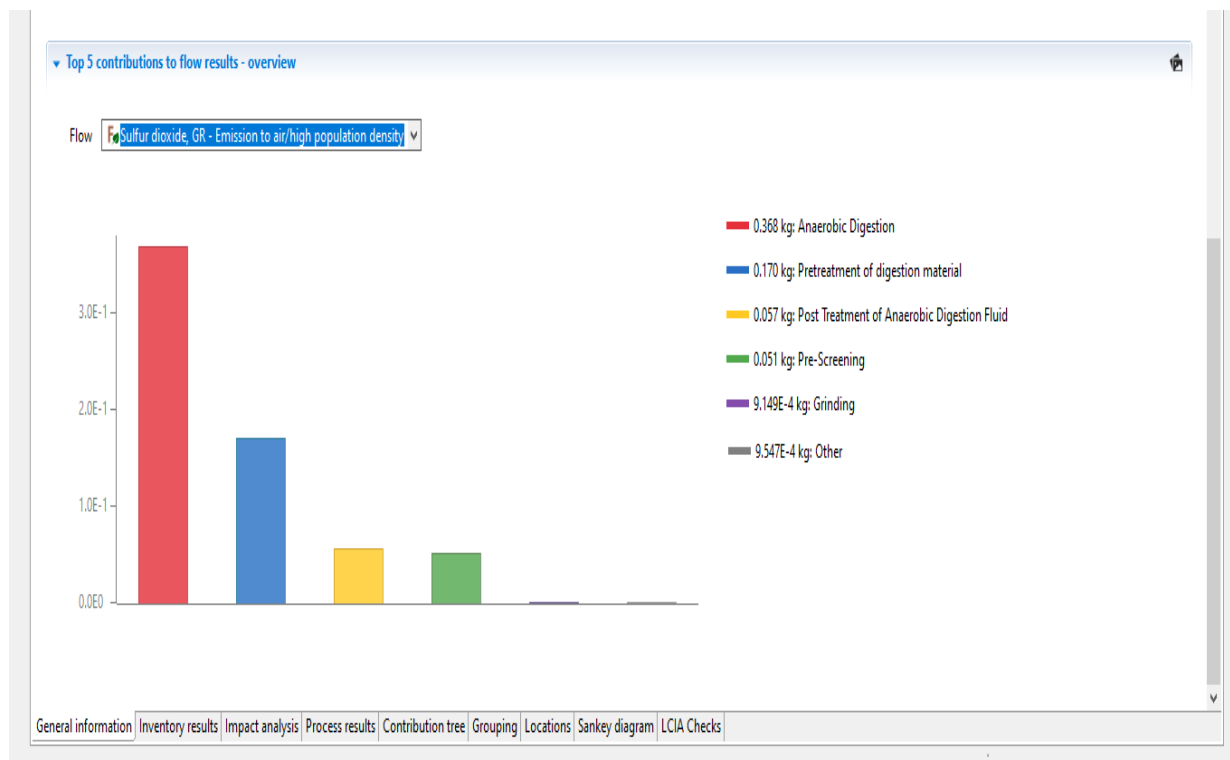


Διάγραμμα 5.58 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Των Σωματιδίων

Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι προκειμένου να διεκπεραιωθεί γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο και επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων.

5.2.2.12 Εκροή Του Διοξειδίου Του Θείου

Η δωδέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εκροή του διοξειδίου του θείου ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.59).

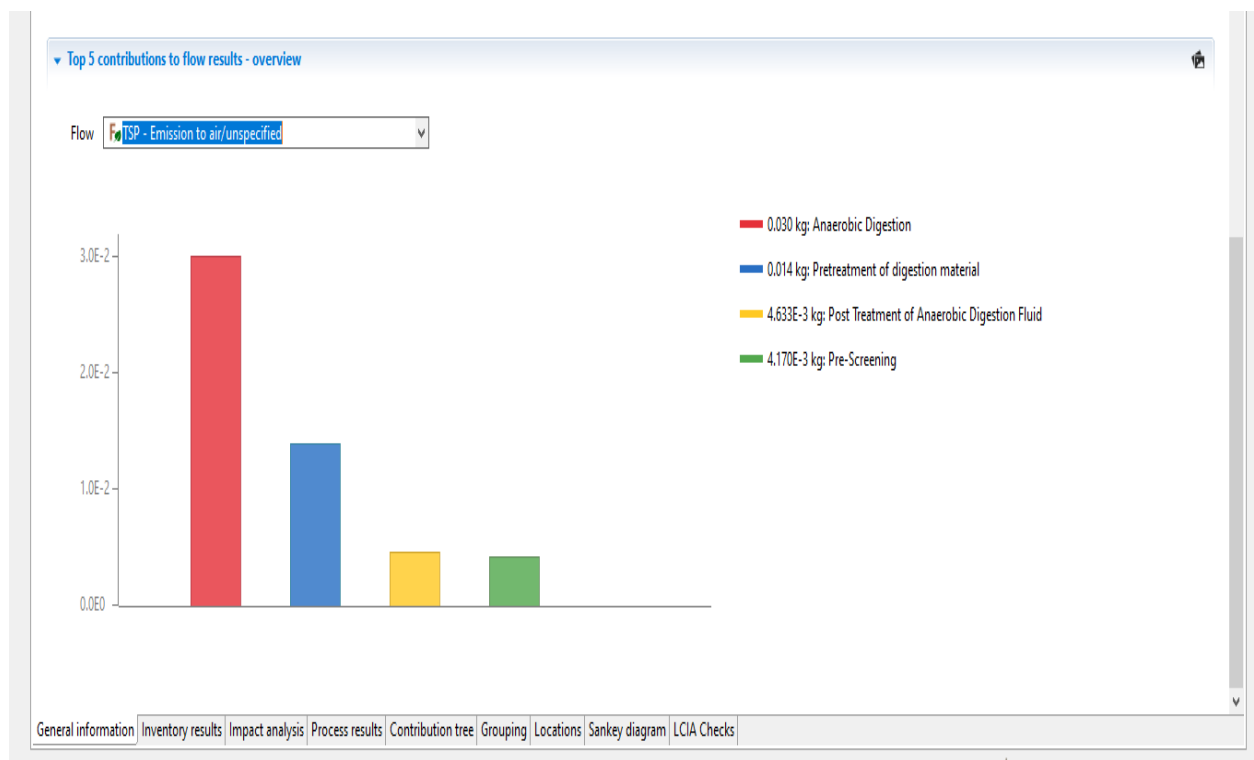


Διάγραμμα 5.59 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Του Διοξειδίου Του Θείου

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις γραφικές παραστάσεις ενέργειας, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της.

5.2.2.13 Εκροή TSP

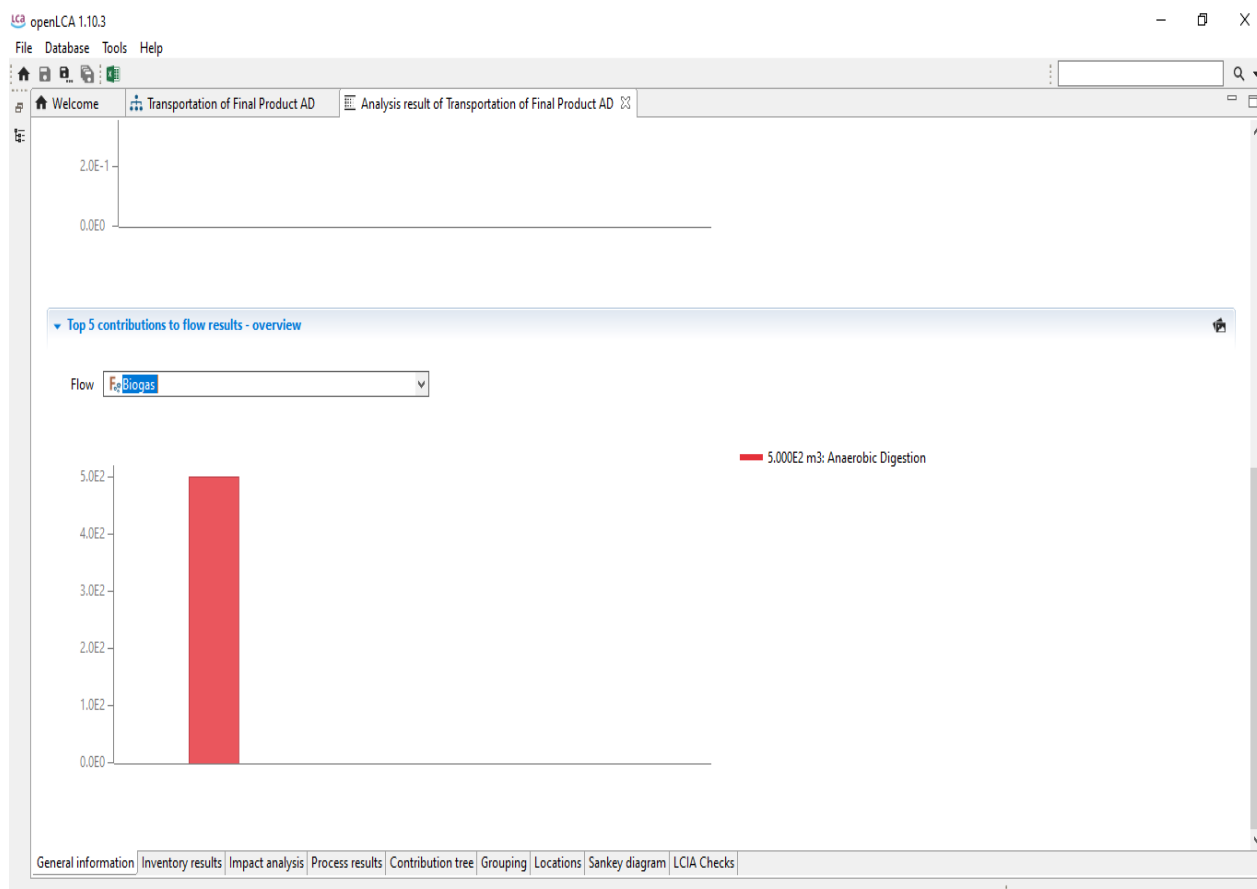
Η δέκατη τρίτη παράσταση παρουσιάζει τη εκροή TSP θείου, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.60).



Διάγραμμα 5.60 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή TSP

Η αναερόβια χώνευση όπως παρουσιάζεται στις γραφικές παραστάσεις εισροής ενέργειας, είναι η διαδικασία κατά την οποία καταναλώνεται η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνεπώς σε αυτή αποδίδεται και η μέγιστη έκλυση ρύπων που συσχετίζονται με τη παραγωγή της.

Η δέκατη τέταρτη και τελική παράσταση παρουσιάζει την εκροή όχι ενός ρύπου αλλά του κυρίου προϊόντος της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, του βιοαερίου (Διάγραμμα 5.61).



Διάγραμμα 5.61 Αναερόβια Χώνευση: Εκροή Βιοαερίου

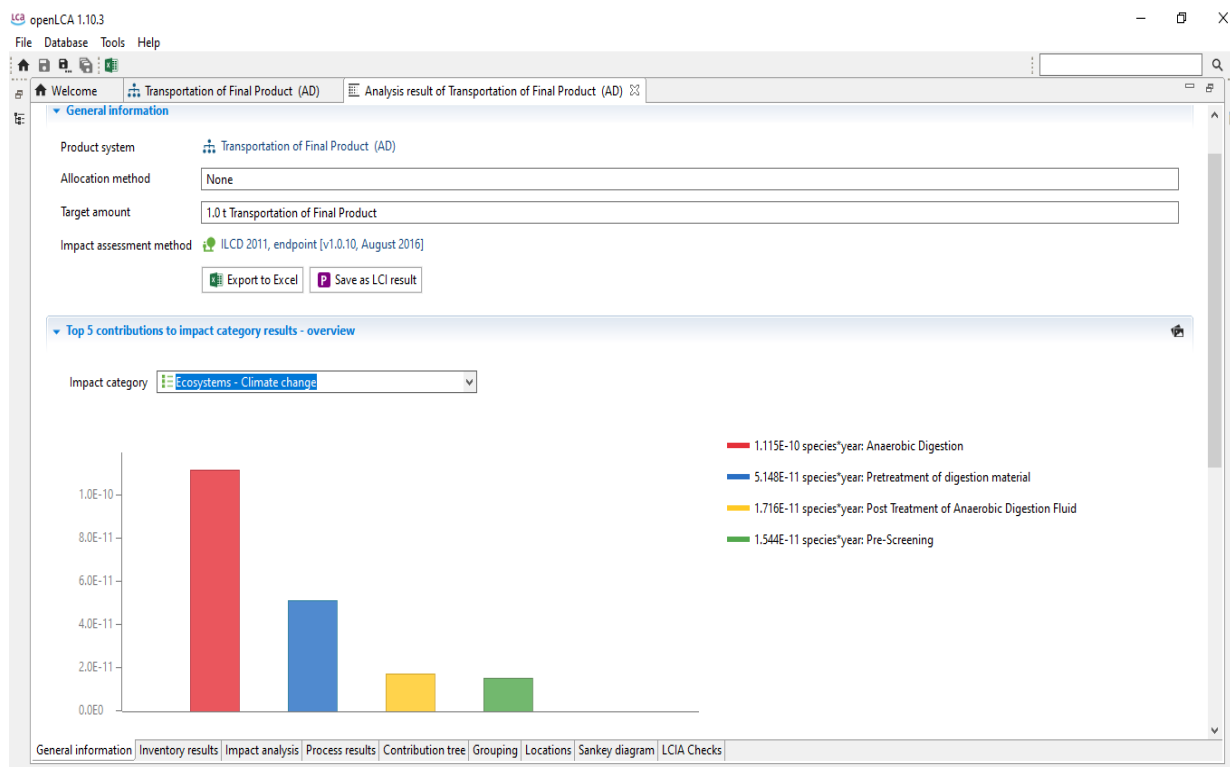
5.2.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Αναερόβιας Χώνευσης

Αφού αναλύσαμε τις εισροές και της εκροές του συστήματος μπορούμε να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής. Η ανάλυση κύκλου ζωής για τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης έγινε με τη χρήση τριών διαφορετικών αλγορίθμων εκτίμησης περιβαλλοντικού αποτυπώματος, οι οποίοι είναι οι ILCD 2011, endpoint [v1.0.10, August 2016], eco-indicator 99 (E), ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014].

5.2.3.1 Μέθοδος ILCD

Πρωτίστως θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μεθόδου ILCD.

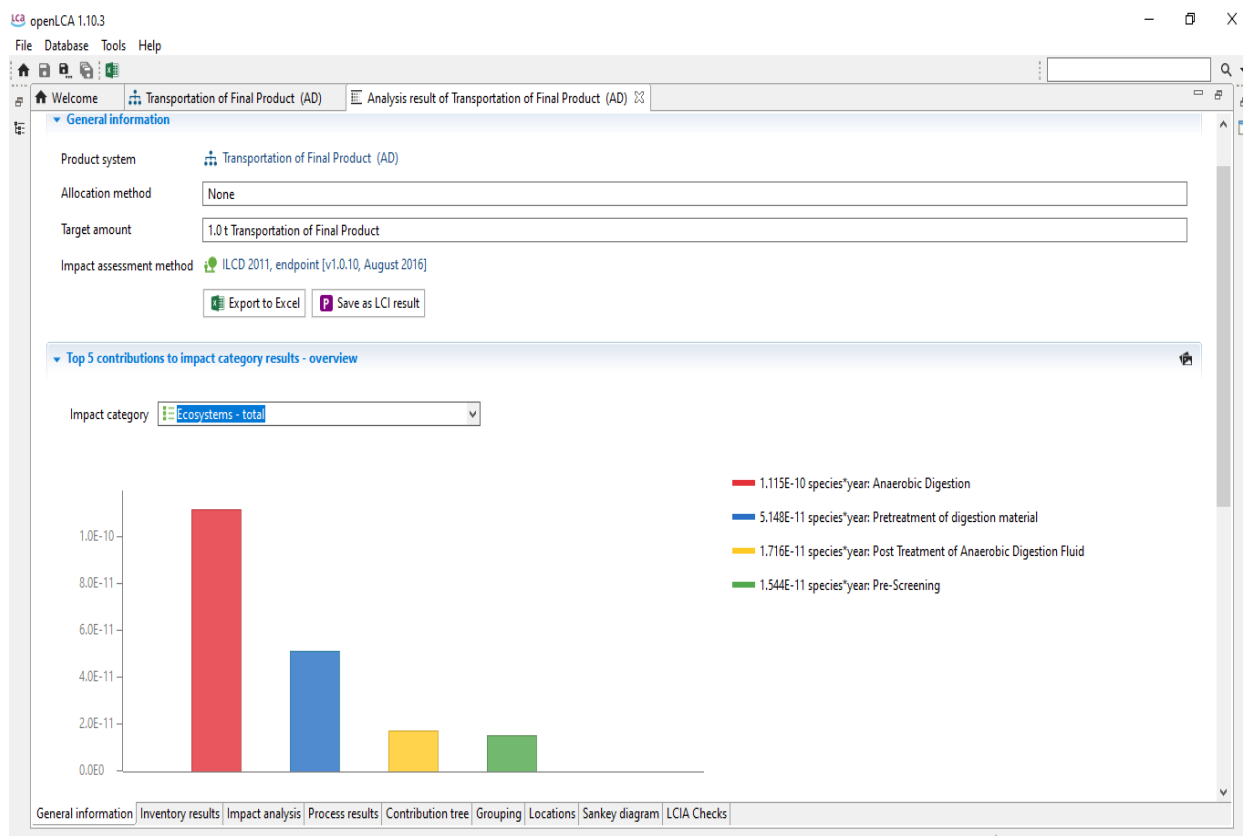
Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής (Διάγραμμα 5.62).



Διάγραμμα 5.62 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή λόγω χάρη το μεθάνιο.

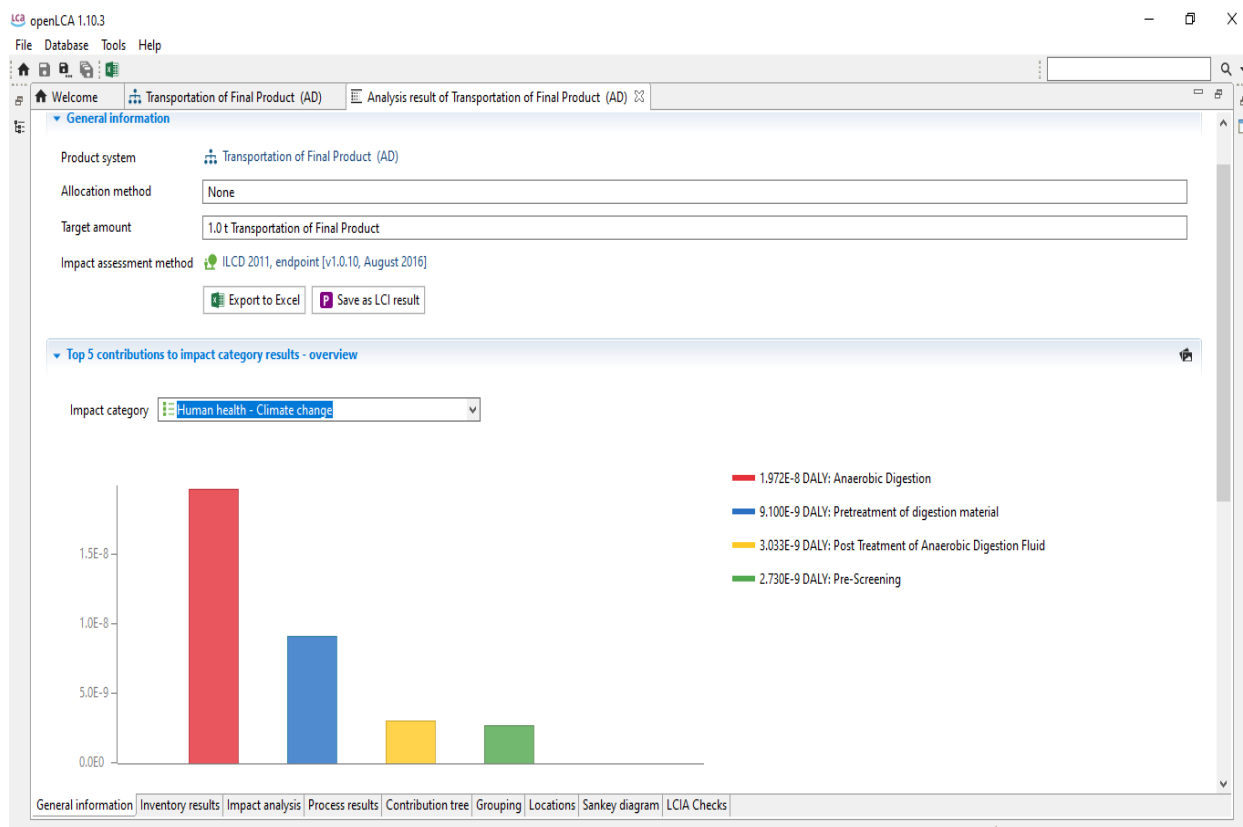
Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα συνολικά (Διάγραμμα 5.63).



Διάγραμμα 5.63 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης επηρεάζει το οικοσύστημα μονάχα μέσω της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής. Ο αλγόριθμος μας υποδεικνύει πως το σύστημα των διαδικασιών δεν επηρεάζει το οικοσύστημα μέσω της οξίνισης των ωκεανών ή του ευτροφισμού των γλυκών νερών.

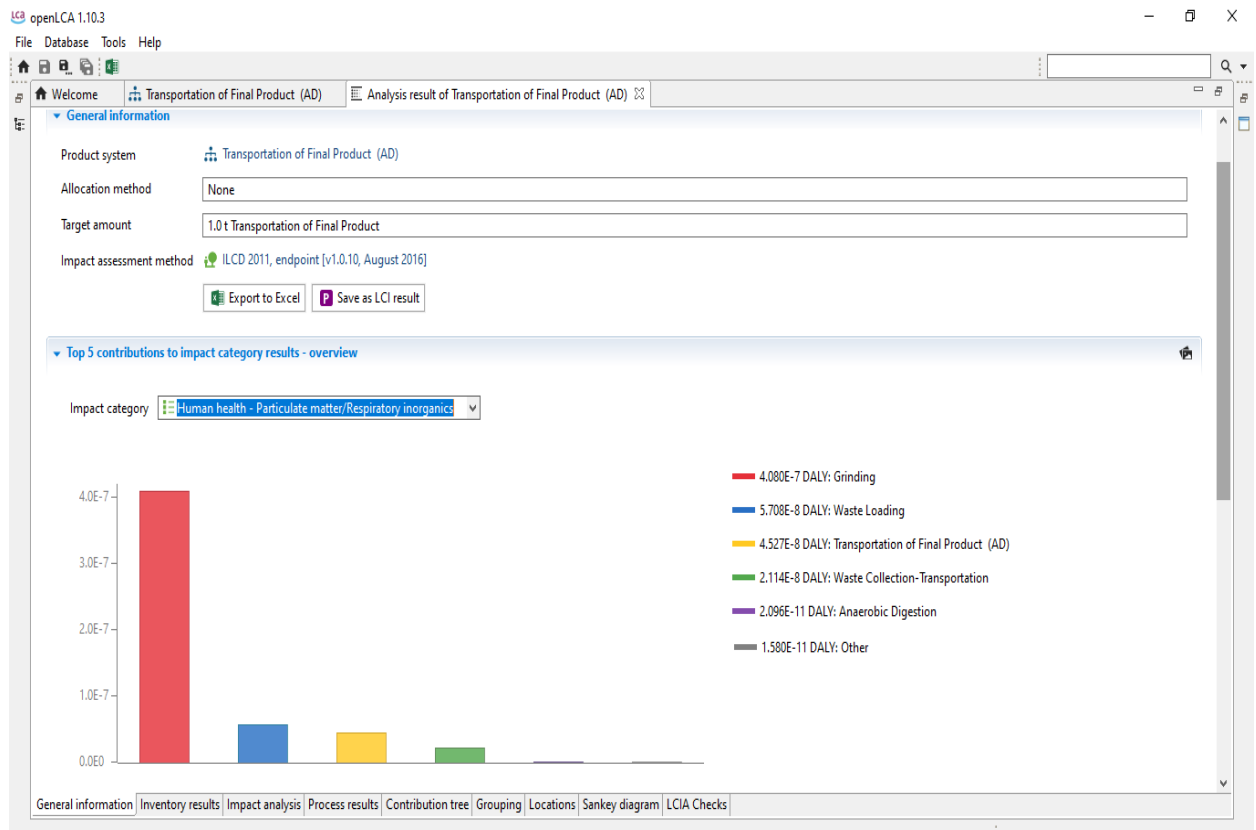
Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής (Διάγραμμα 5.64).



Διάγραμμα 5.64 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών και της επίπτωσης στο οικοσύστημα, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή λόγω χάρη, μεθάνιο.

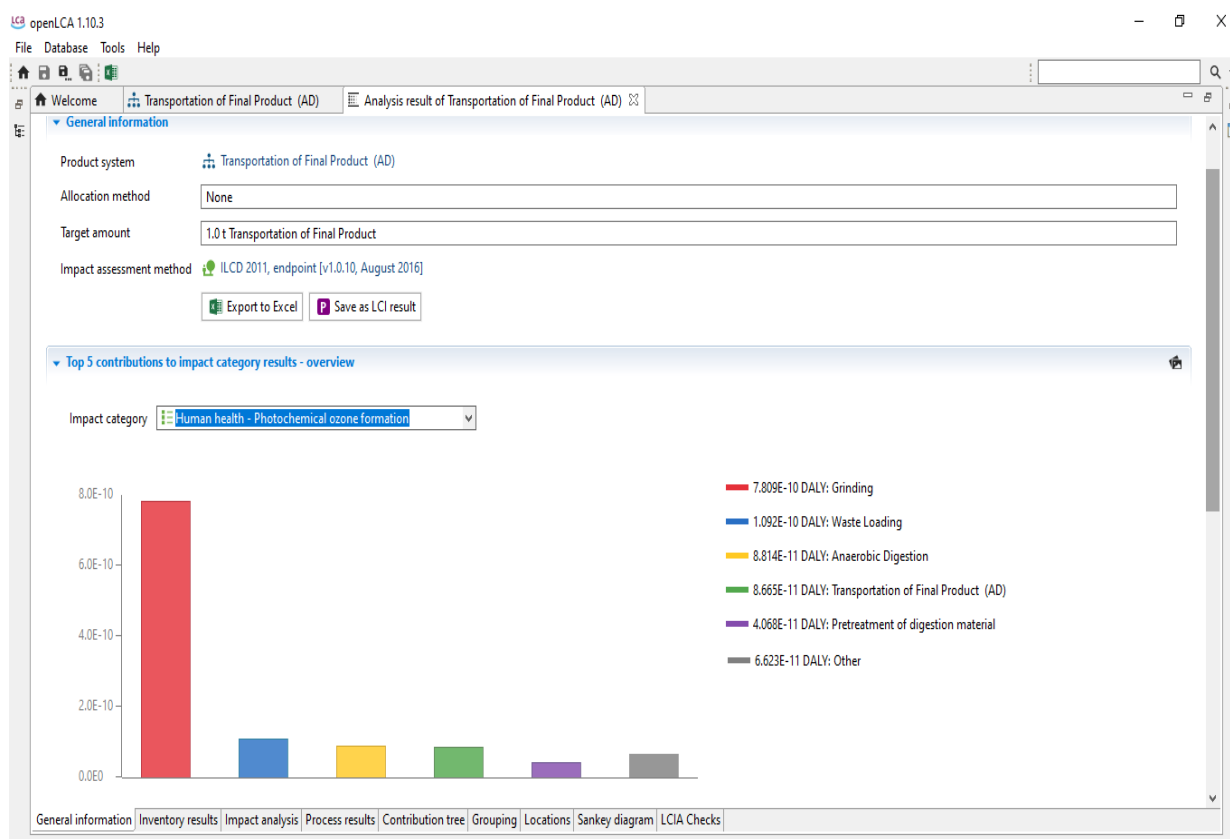
Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της εισπνοής ανόργανων σωματιδίων (Διάγραμμα 5.65).



Διάγραμμα 5.65 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων

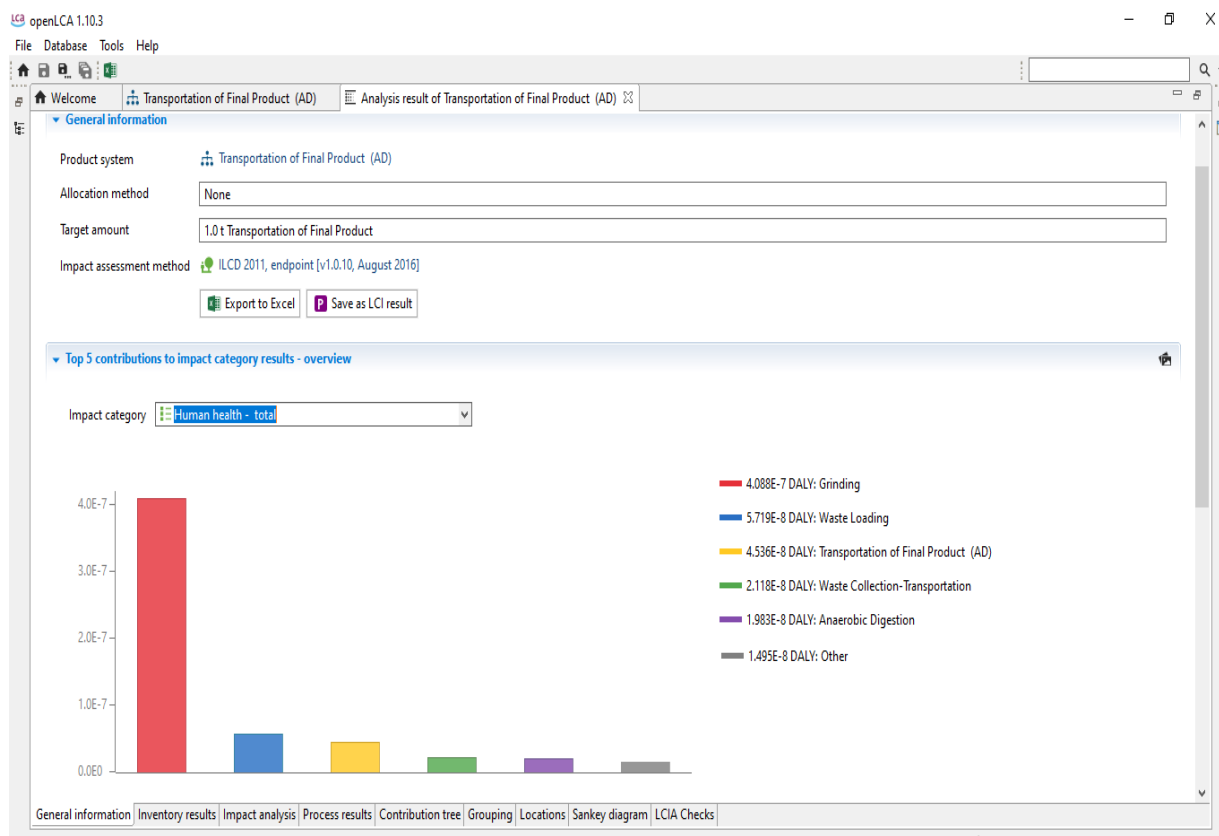
Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αλέσεως, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων ανόργανων ενώσεων και σωματιδίων βλαβερών για τη ανθρώπινη υγεία, όπως για παράδειγμα τα οξείδια του αζώτου.

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω του σχηματισμού φωτοχημικού νέφους. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της άλεσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για το σχηματισμό του νέφους κυρίως, των οξειδίων του αζώτου (Διάγραμμα 5.66).



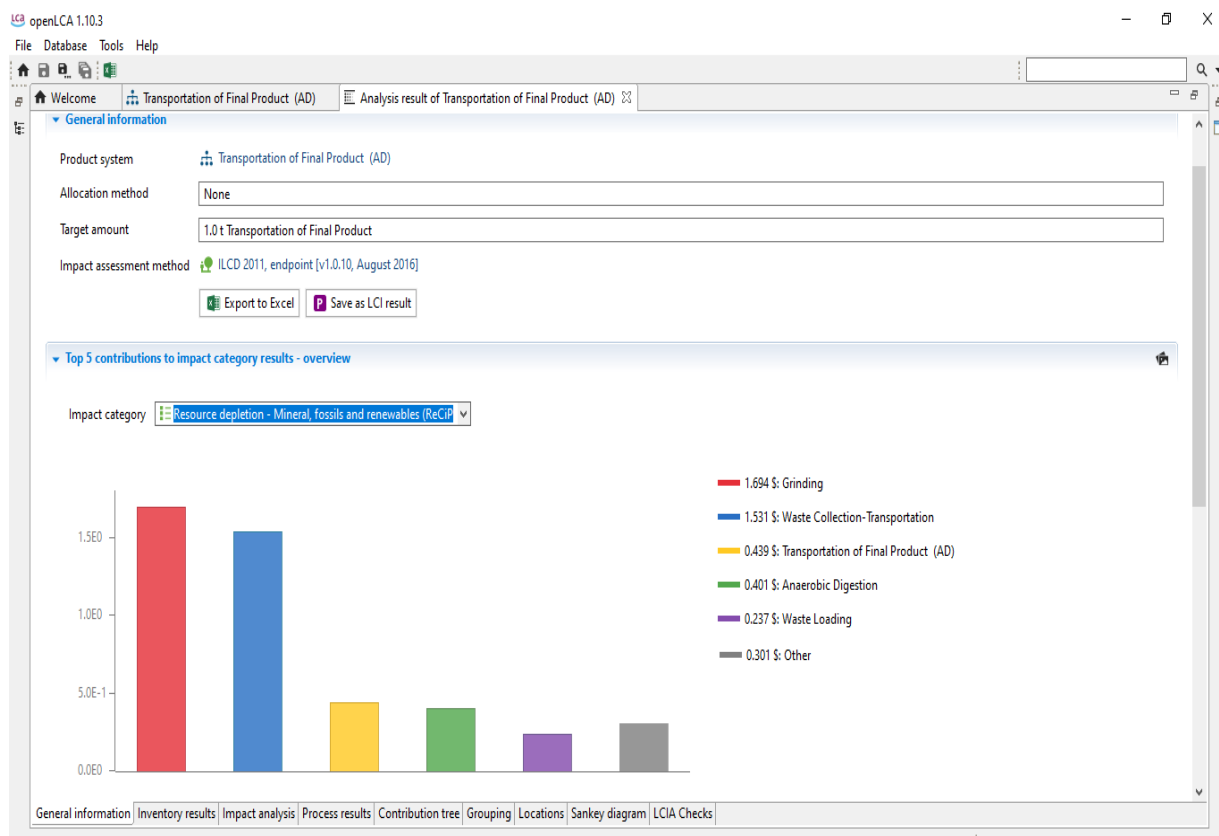
Διάγραμμα 5.66 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της άλεσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει σχεδόν αποκλειστικά στις δύο από τις τρεις υποκατηγορίες (Διάγραμμα 5.67).



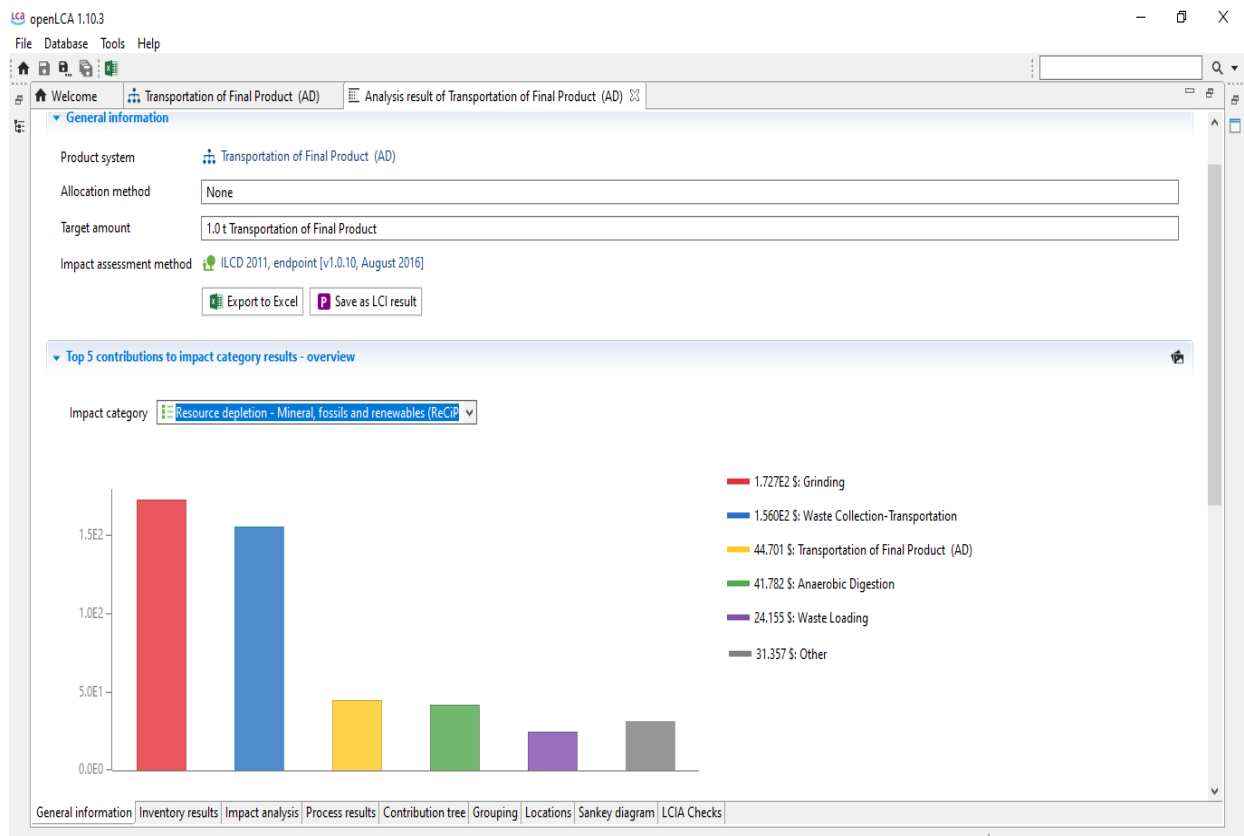
Διάγραμμα 5.67 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.11. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλούν οι διαδικασίες της άλεσης και η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασίες που χρησιμοποιούν ενεργοβόρα μηχανήματα που επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων (Διάγραμμα 5.68).



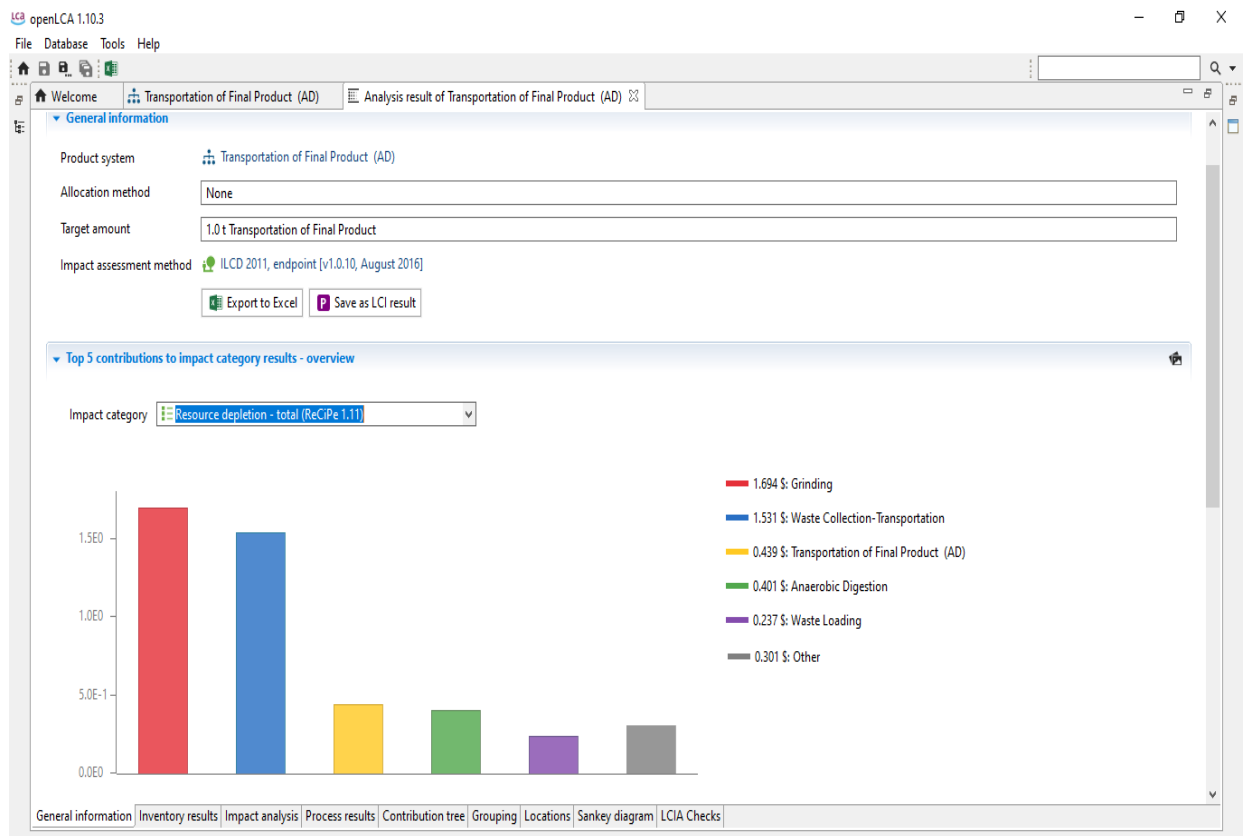
Διάγραμμα 5.68 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Η όγδοη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.05. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλούν οι διαδικασίες της άλεσης και η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασίες που χρησιμοποιούν ενεργοβόρα μηχανήματα που επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων (Διάγραμμα 5.69).



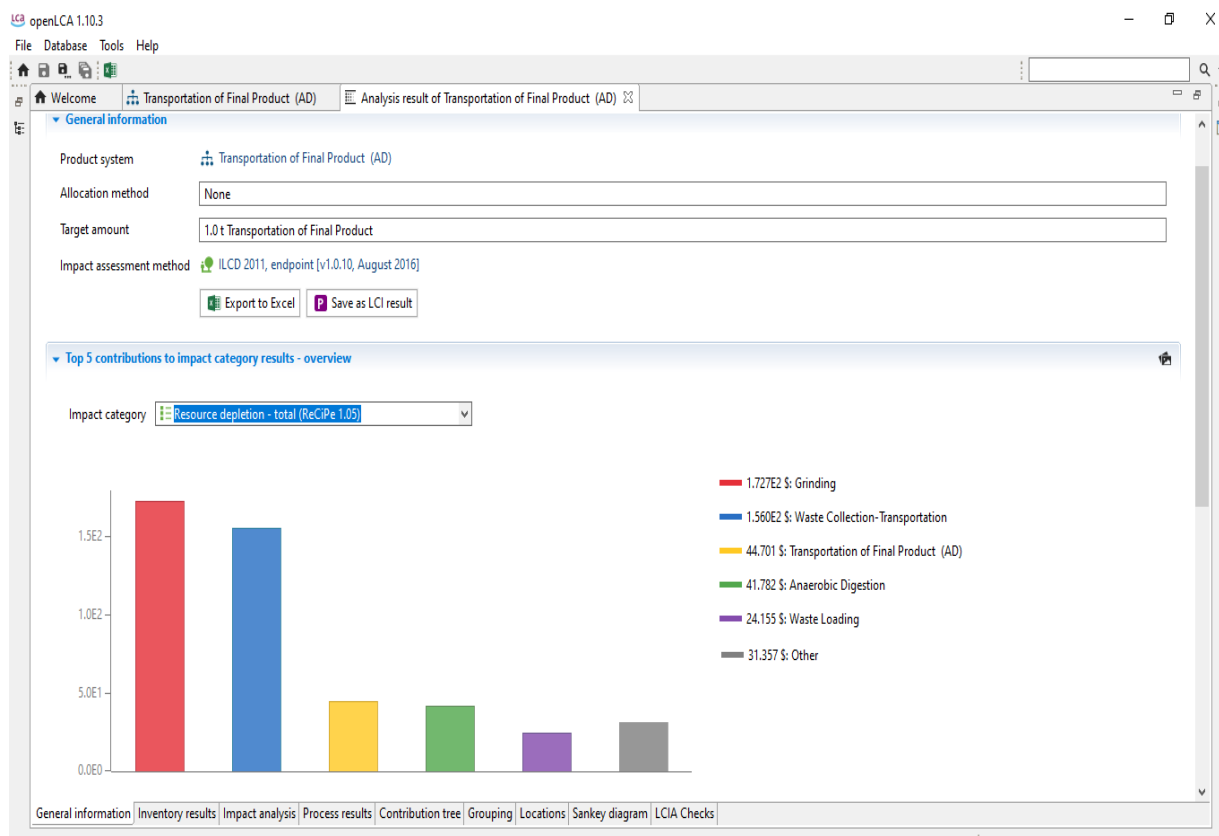
Διάγραμμα 5.69 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe 1.05. – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Η ένατη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.11. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης καταναλώνει μονάχα ορυκτούς και ανανεώσιμους πόρους (Διάγραμμα 5.70).



Διάγραμμα 5.70 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων

Η δέκατη και τελική γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.05. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης καταναλώνει μονάχα ορυκτούς και ανανεώσιμους πόρους (Διάγραμμα 5.71).



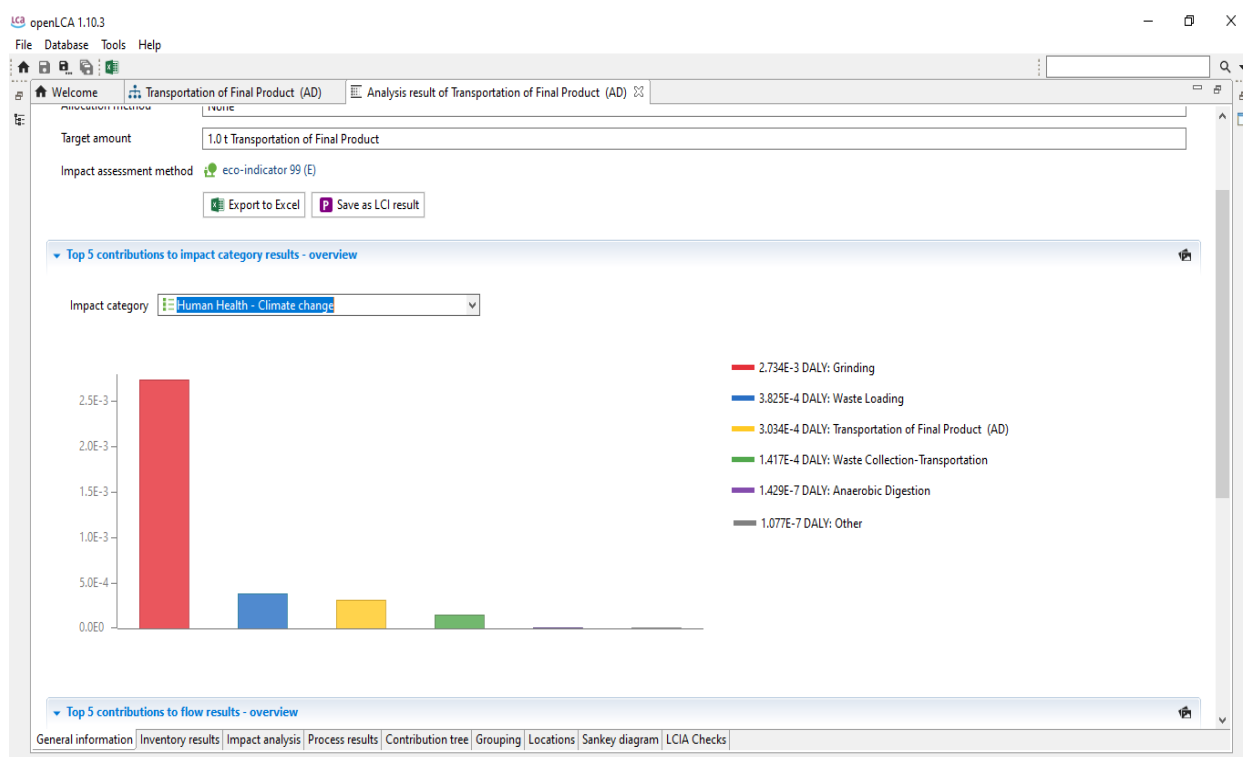
Διάγραμμα 5.71 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe 1.05. – Εξάντληση Συνόλου Πόρων

5.2.3.2 Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για τη διαδικασία της κομποστοποίησης μέσω της μεθόδου eco-indicator 99 (E),

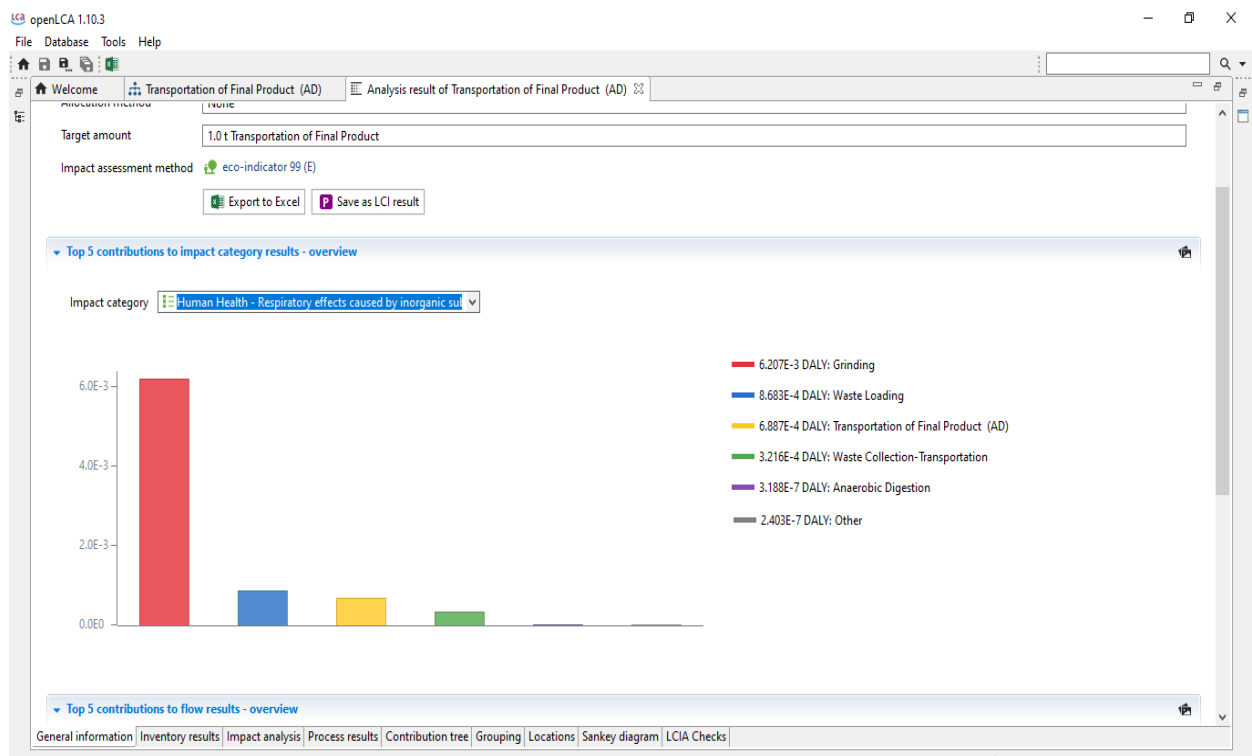
Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της άλεσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, η διαδικασία αυτή παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή όπως για παράδειγμα τα οξειδία του αζώτου (Διάγραμμα 5.72).



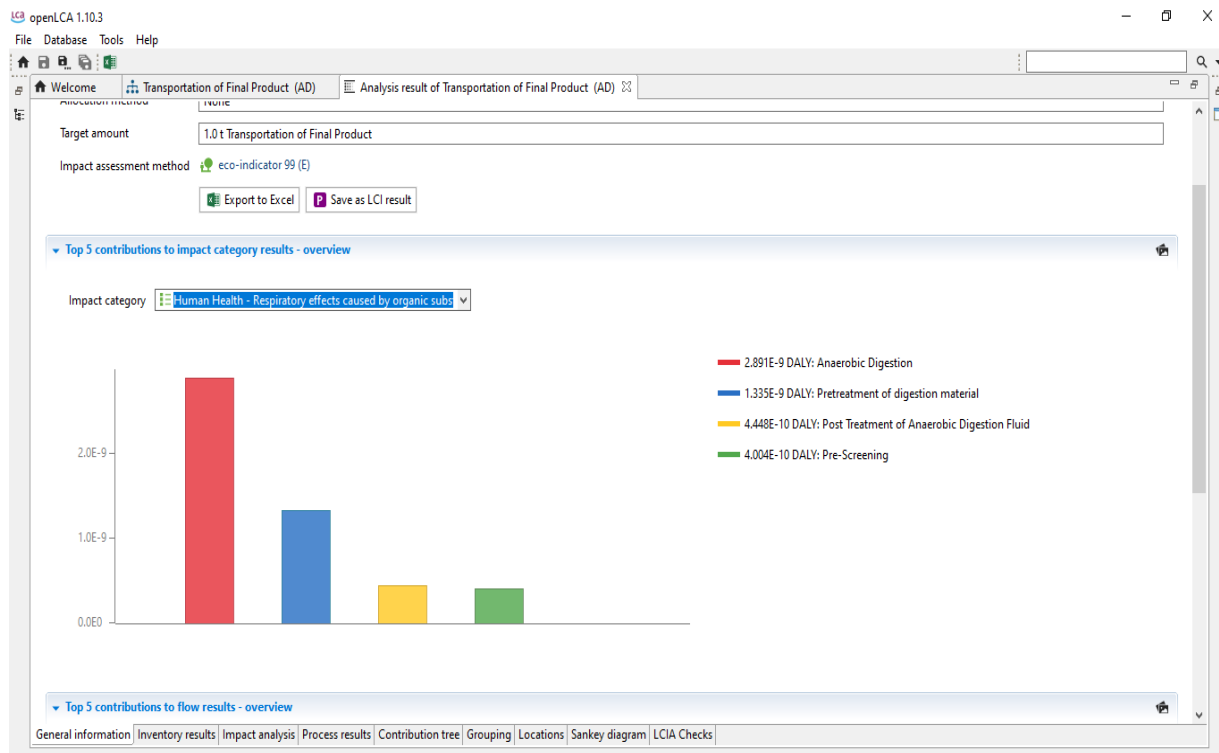
Διάγραμμα 5.72 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από ανόργανες ενώσεις. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αλέσεως, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων ανόργανων ενώσεων και σωματιδίων βλαβερών για τη ανθρώπινη υγεία, όπως για παράδειγμα τα οξείδια του αζώτου (Διάγραμμα 5.73).



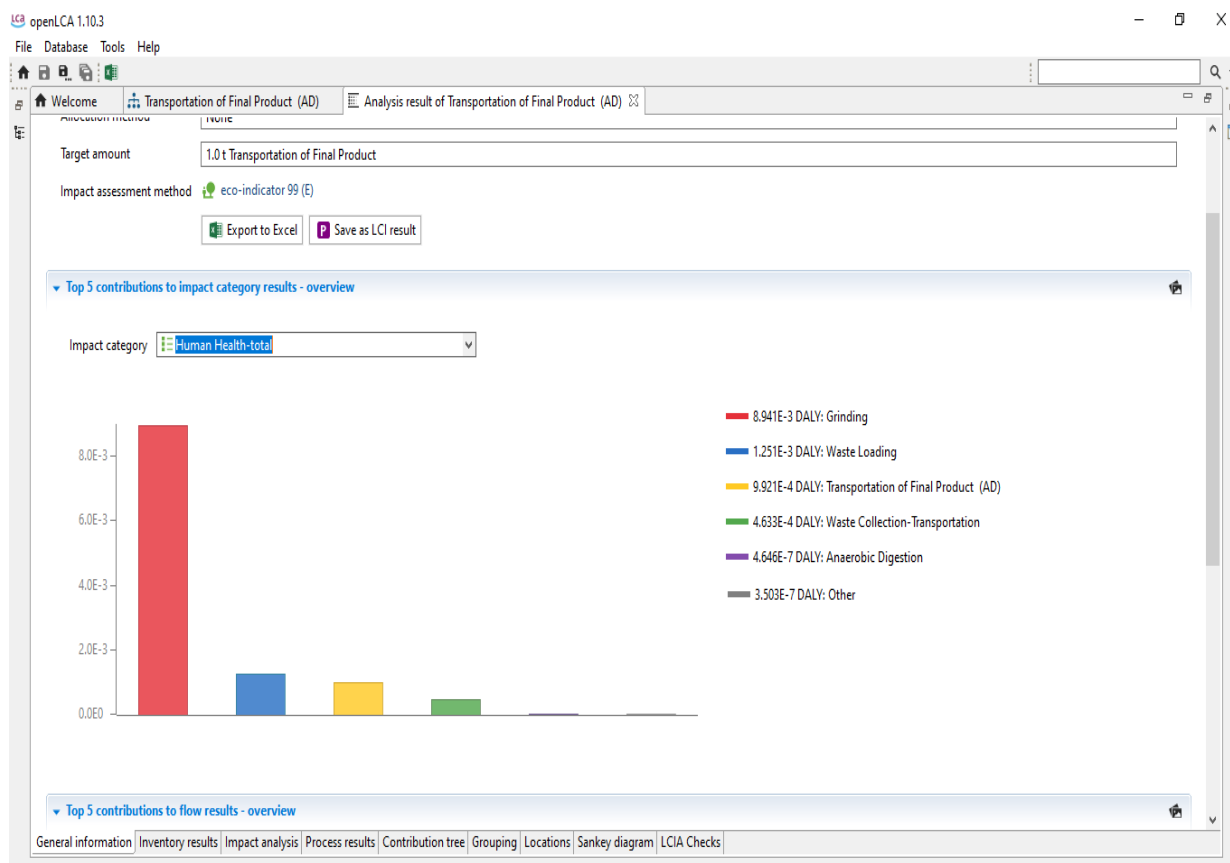
Διάγραμμα 5.73 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από οργανικές ενώσεις. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων οργανικών ενώσεων, όπως για παράδειγμα το μεθάνιο και τα οξείδια του άνθρακα (Διάγραμμα 5.74).



Διάγραμμα 5.74 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων – Κομποστοποίηση

Η τέταρτη και τελική γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αλέσεως, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει τα μέγιστα στις δύο από τις τρεις υποκατηγορίες (Διάγραμμα 5.75).

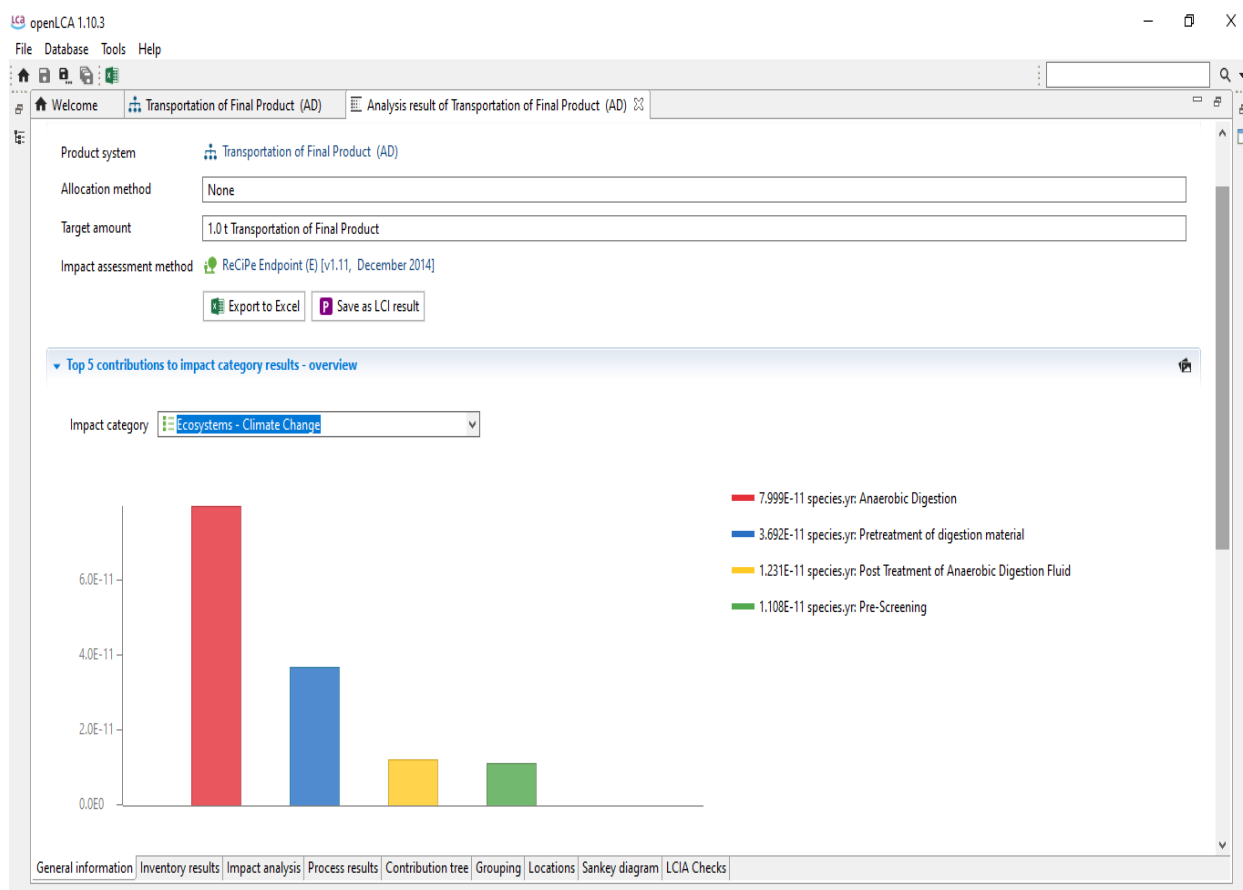


Διάγραμμα 5.75 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

5.2.3.3 Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1 (Διάγραμμα 5.1). 11, December 2014]

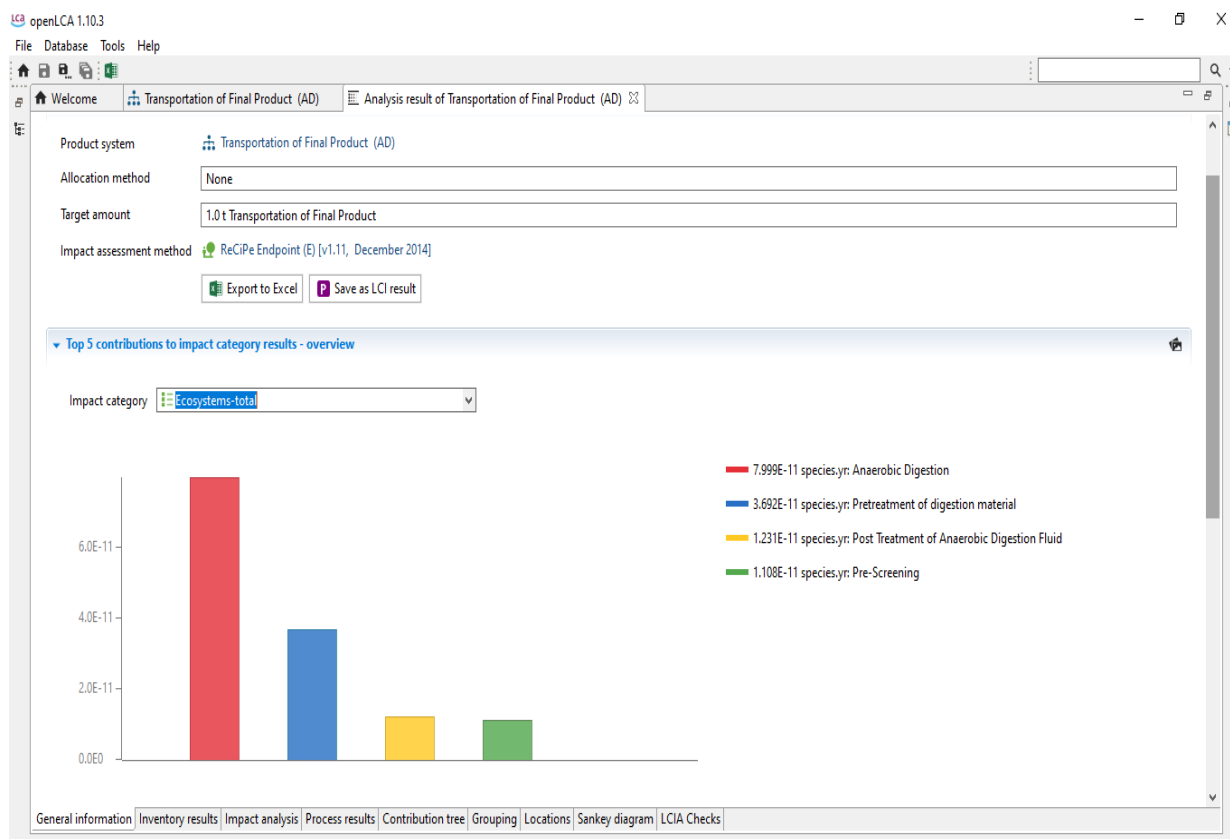
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για τη διαδικασία της κομποστοποίησης μέσω της μεθόδου ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή λόγω χάρη, το μεθάνιο (Διάγραμμα 5.74).



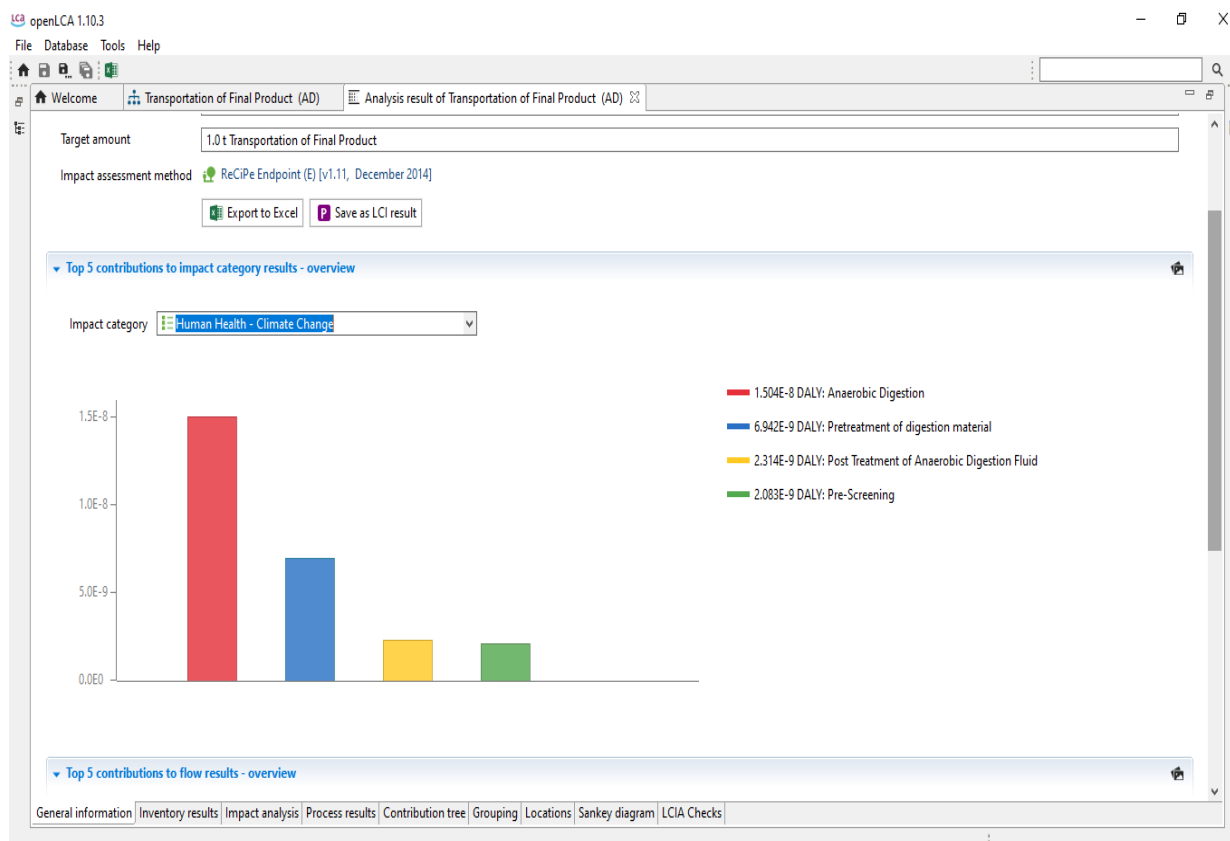
Διάγραμμα 5.76 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα συνολικά. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης επηρεάζει το οικοσύστημα μονάχα μέσω της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής. Ο αλγόριθμος μας υποδεικνύει πως το σύστημα των διαδικασιών δεν επηρεάζει το οικοσύστημα μέσω της οξίνισης των ωκεανών ή του ευτροφισμού των γλυκών νερών (Διάγραμμα 5.77).



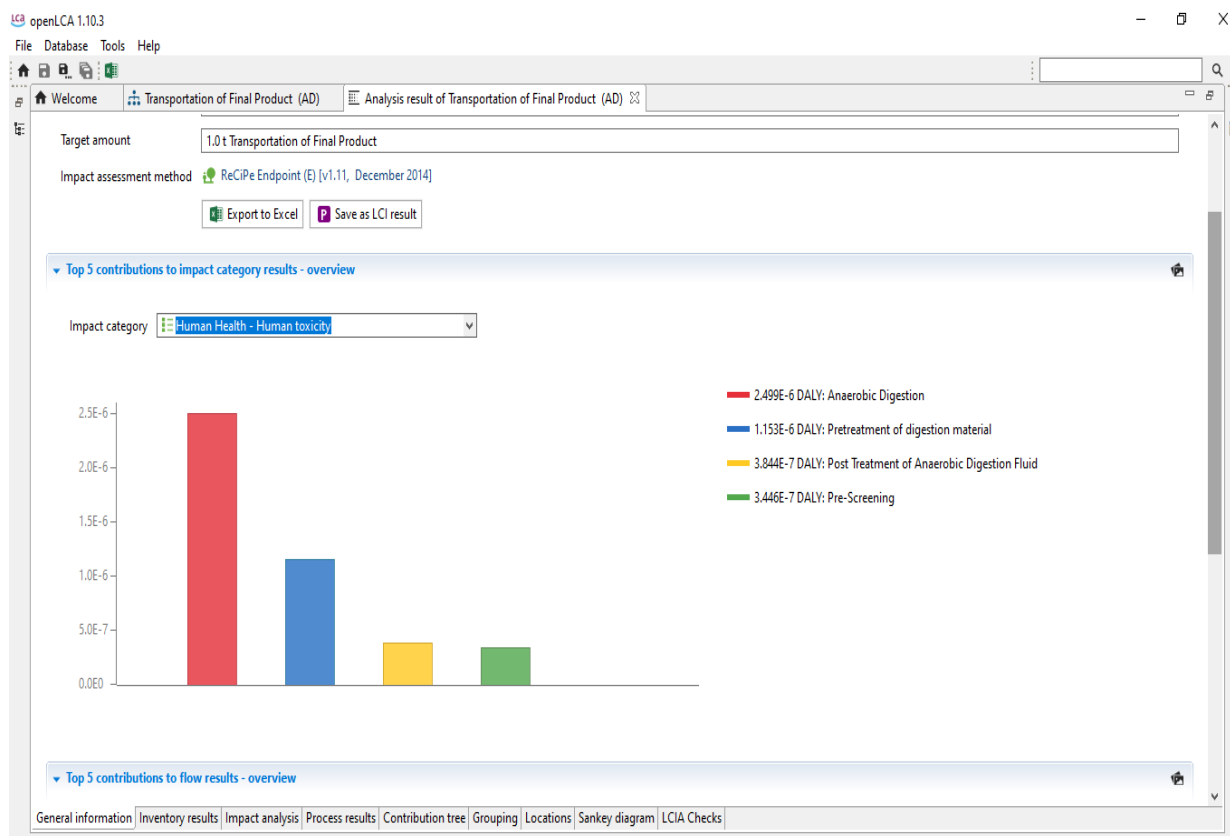
Διάγραμμα 5.77 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών και της επίπτωσης στο οικοσύστημα, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή λόγω χάρη, το μεθάνιο (Διάγραμμα 5.78).



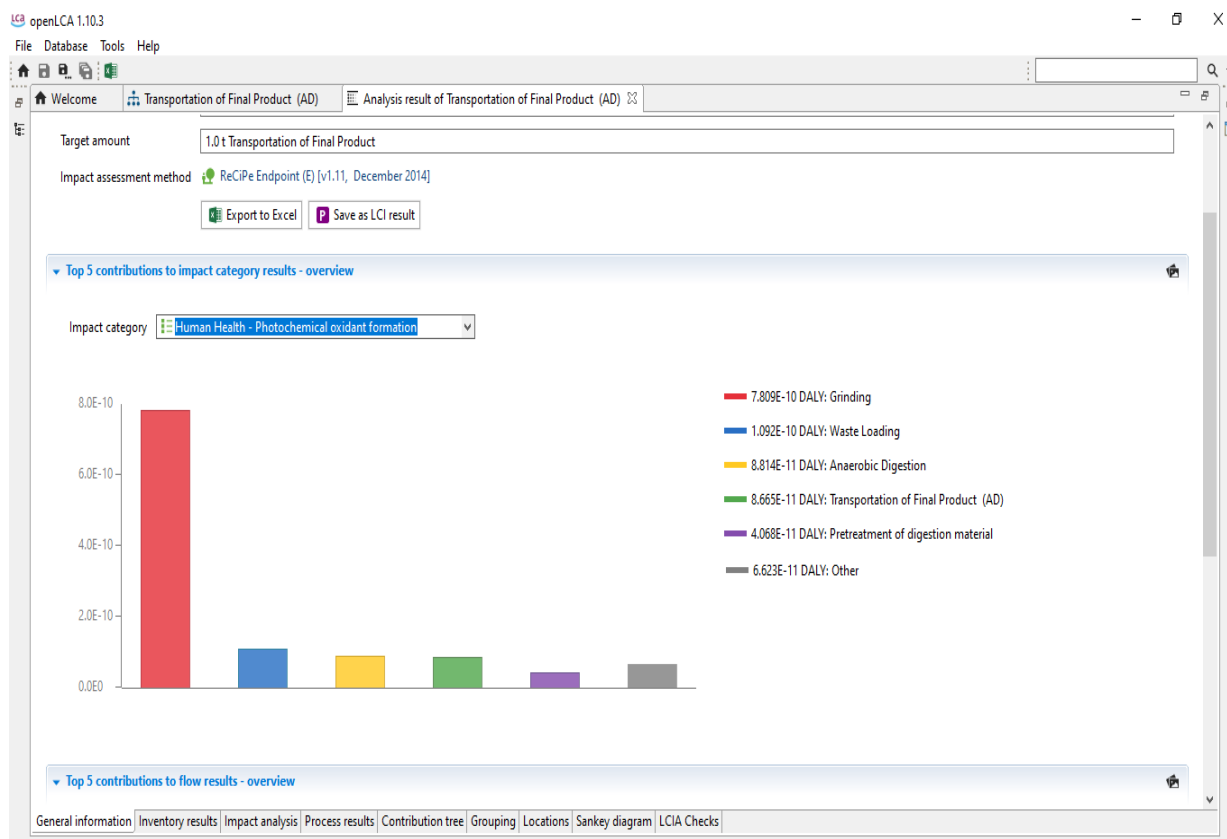
Διάγραμμα 5.78 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από τη τοξικότητα των ρύπων. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων τοξικών για την υγεία του ανθρώπου λόγω χάρη, το υδρόθειο (Διάγραμμα 5.79).



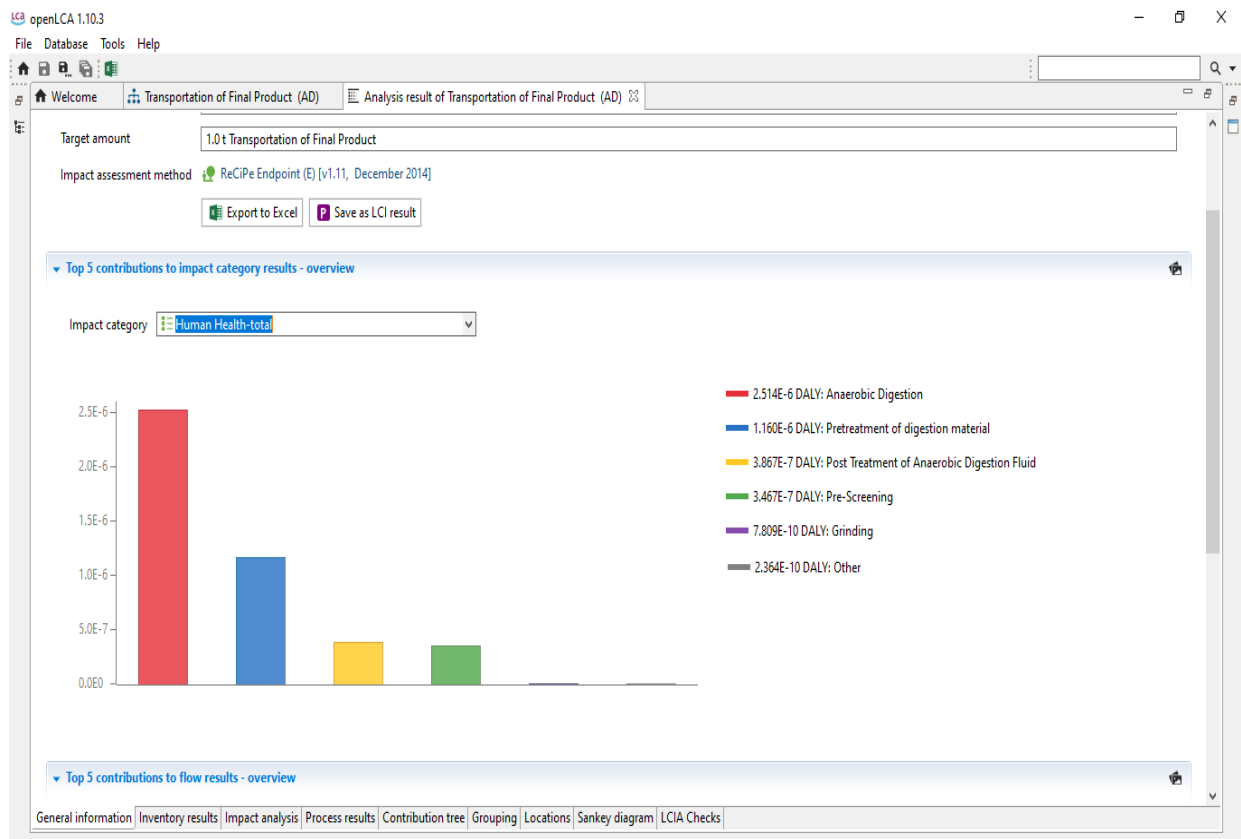
Διάγραμμα 5.79 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Τοξικότητας Των Ρύπων

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από το σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών. Παρατηρούμε πως η μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της άλεσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για το σχηματισμό του νέφους κυρίως, των οξειδίων του αζώτου (Διάγραμμα 5.80).



Διάγραμμα 5.80 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικών Οξειδωτικών

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει τα πλείστα στις δύο από τις τρεις κατηγορίες (Διάγραμμα 5.81).



Διάγραμμα 5.81 Αναερόβια Χώνευση: Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

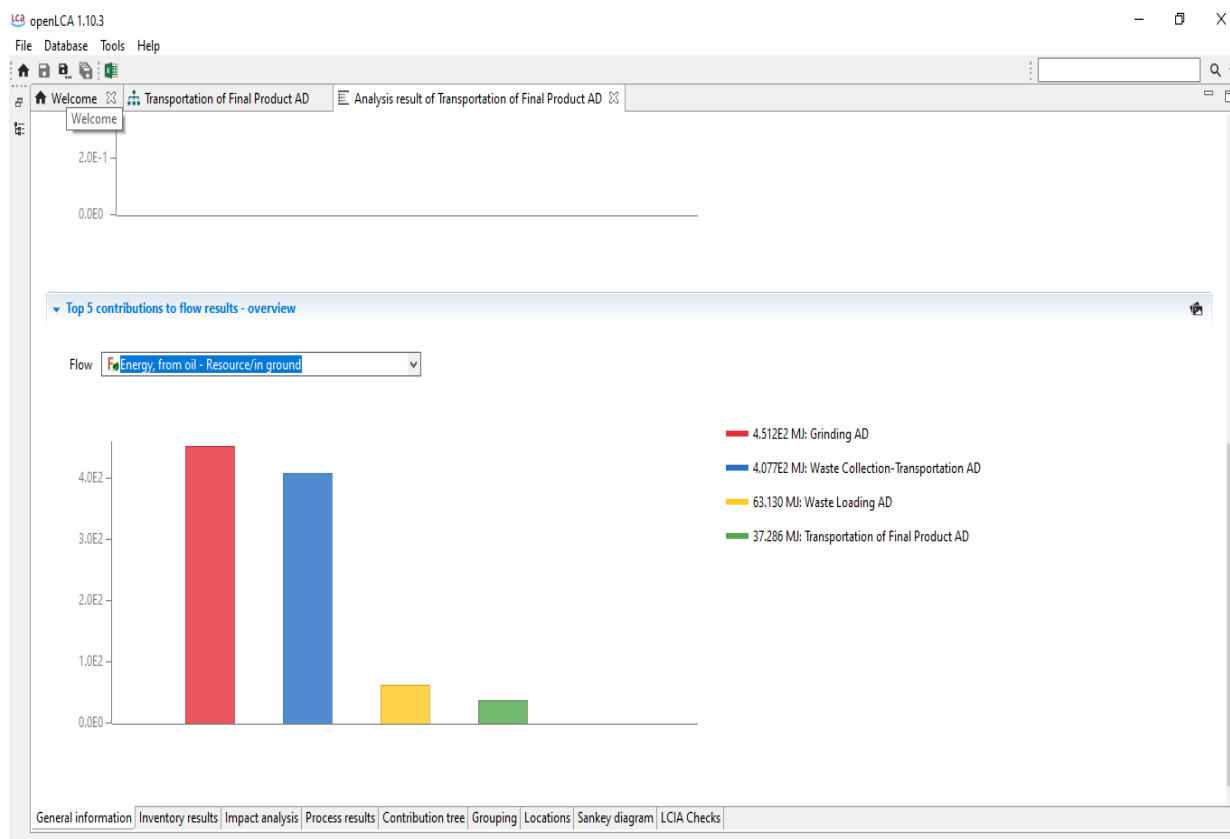
Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως στο σύστημα προς ανάλυση κύκλου ζωής για τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης δεν θεωρήθηκε το βιοαέριο ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρακάτω θα παρουσιαστεί η ανάλυση κύκλου ζωής της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης αυτή τη φορά κάνοντας χρήση του παραγόμενου βιοαερίου ως καύσιμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως θα φανεί και στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια επαρκεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες της εγκατάστασης.

5.3.1 Εισροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης με εκμετάλλευση του βιοαερίου

Εκμεταλλευσόμενοι την ενέργεια που παράγεται από τη καύση του βιοαερίου, καλύπτουμε τις ανάγκες των διαδικασιών που χρησιμοποιούν αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια. Συνεπώς η μόνη εισροή ενέργειας στο σύστημά μας είναι αυτή της ενέργειας από πετρέλαιο.

Παρατηρούμε πως η κατανάλωση ενέργειας από πετρέλαιο πραγματοποιείται αποκλειστικά από τις διαδικασίες που χρησιμοποιούν αμιγώς πετρελαιοκίνητο εξοπλισμό. Η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας γίνεται από τις διαδικασίες της άλεσης και της μεταφοράς των αποβλήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δύο αυτές διαδικασίες επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων (Διάγραμμα 5.82).

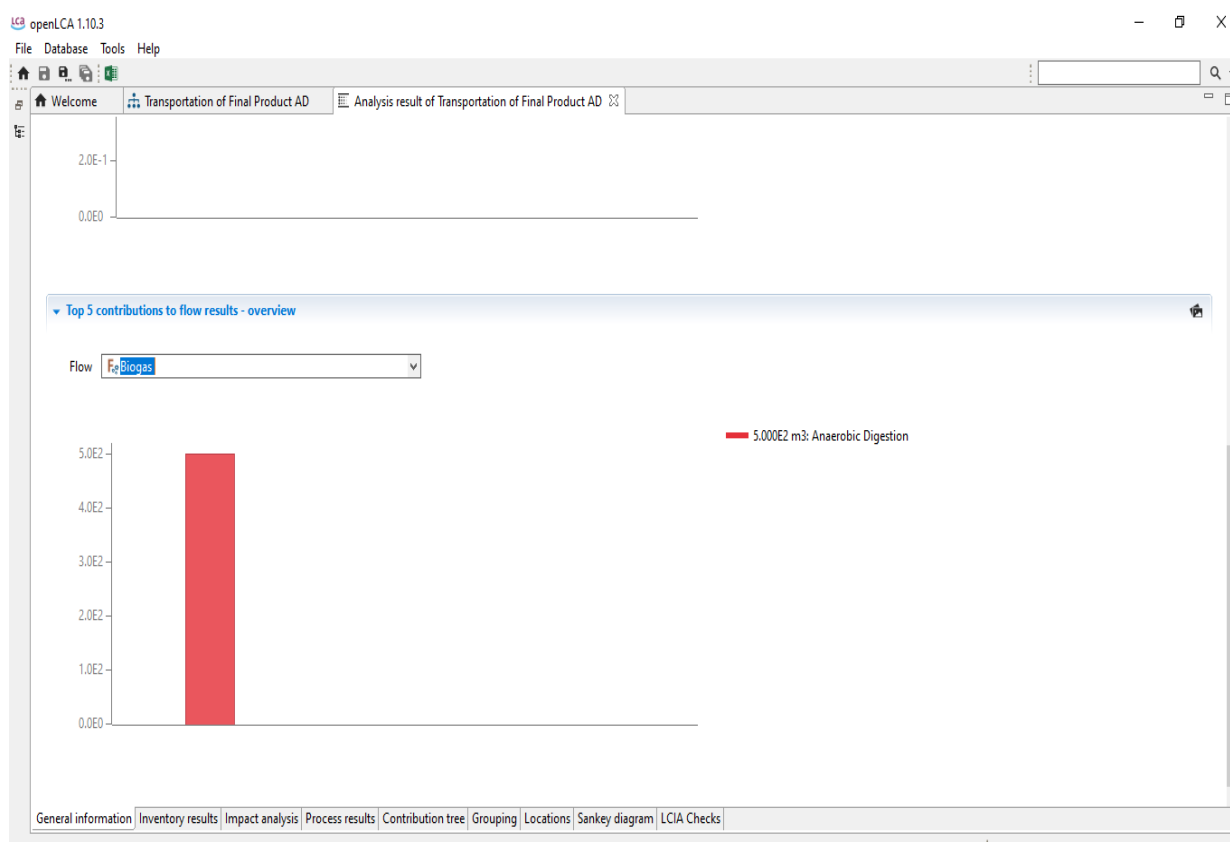


Διάγραμμα 5.82 Εισροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Του Βιοαερίου

5.3.2 Εκροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης με εκμετάλλευση του βιοαερίου

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα διαγράμματα των εκροών που προκύπτουν κατά τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης με εκμετάλλευση του βιοαερίου.

Η πρώτη γραφική παράσταση μας παρουσιάζει τη πιο σημαντική εκροή της μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης, που δεν είναι άλλη από το βασικό προϊόν της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, το βιοαέριο (Διάγραμμα 5.83).



Διάγραμμα 5.83 Εκροές Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

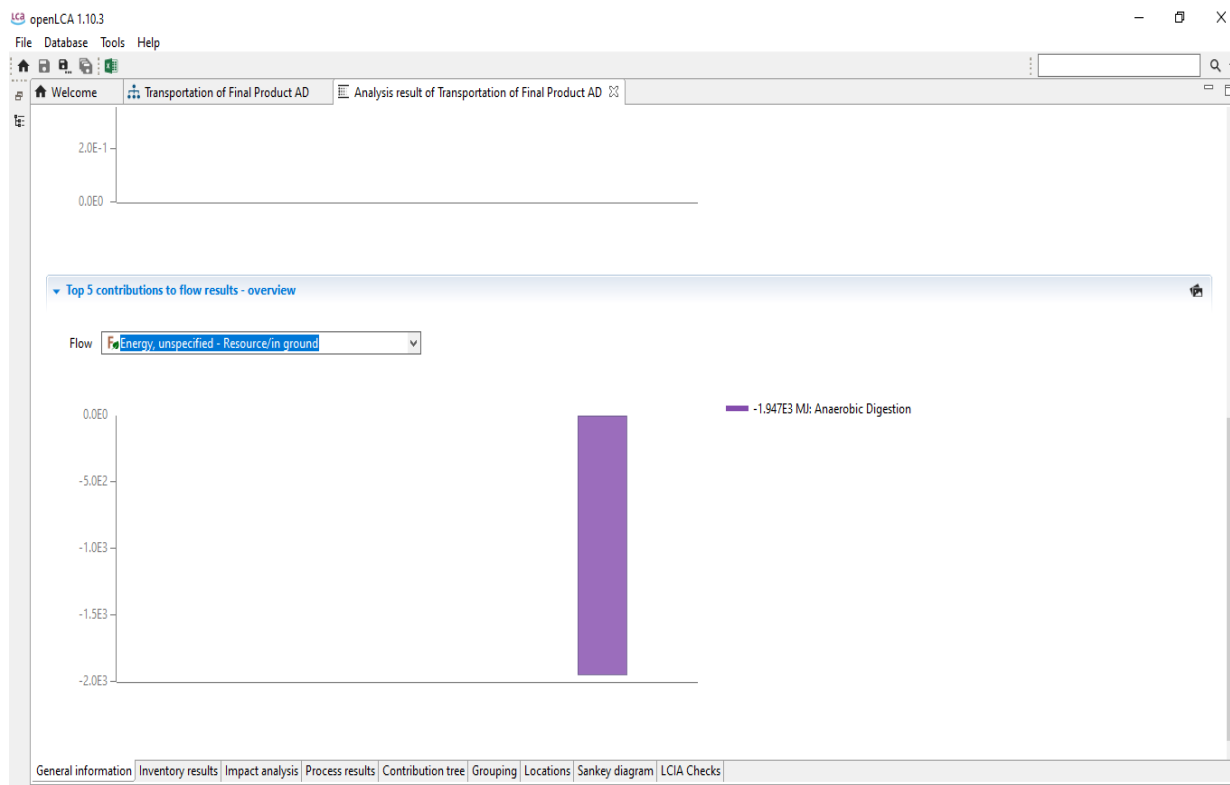
Η δεύτερη γραφική παράσταση μας παρουσιάζει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την καύση του βιοαερίου (Mustafa et al., 2016). Το αρνητικό πρόσημο οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για παραγωγή ενέργειας και όχι κατανάλωση (Διάγραμμα 5.84).

Η ενέργεια υπολογίστηκε θεωρώντας πως το περιεχόμενο των στερεών αστικών αποβλήτων αποτελείται από 70% βιομάζα, της οποίας το ποσοστό σε ξηρή οργανική ύλη ($C_6H_{10}O_4$) είναι 60% αντίστοιχα. Κάτι που ισοδυναμεί σε 420 κιλά οργανικών ανά τόνο αποβλήτων. Το μοριακό βάρος του $C_6H_{10}O_4$ είναι 146 γραμμάρια ανά mol κάτι που σημαίνει πως τα 420 kg της ύλης ισοδυναμούν σε 2,56 kmol. Θεωρώντας πως κατά την μεθανιογένεση κάθε mol $C_6H_{10}O_4$ παράγει 3,25 mol μεθανίου. Συνεπώς η αναμενόμενη παραγωγή μεθανίου είναι 8,32 kmol ανά τόνο ύλης κάτι που αντιστοιχεί σε 133,5 κιλά μεθανίου ανά τόνο στερεών αστικών αποβλήτων.

Γνωρίζοντας την κατώτερα θερμογόνο δύναμη του μεθανίου (50000KJ/kg) και θεωρώντας τον συντελεστή απόδοσης της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας 25% υπολογίζουμε την θεωρητικά αναμενόμενη ενέργεια που παράγεται από ένα τόνο στερεών αποβλήτων, ήτοι:

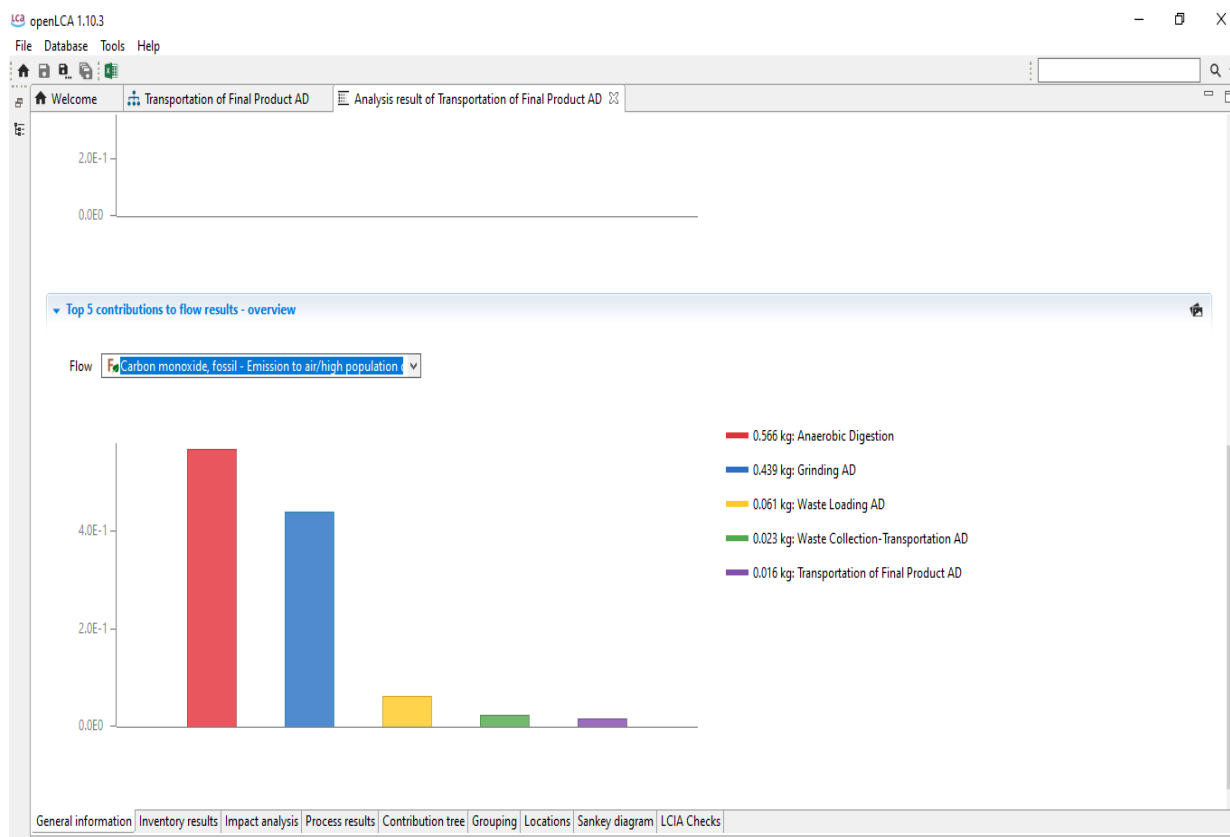
$$\begin{aligned} \text{Αναμενόμενη Παραγόμενη Ενέργεια} &= 133,5 \text{ (kg/τόνο)} \times 50000 \text{ (KJ/kg)} \times 0.25 = \\ &= 1668750 \text{ KJ/τόνο ή } 463,5 \text{ kwh/τόνο} \end{aligned}$$

Για το συνολικό ισοζύγιο ενέργειας αφαιρέσαμε τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια της μονάδας και προέκυψε το παραπάνω αποτέλεσμα.



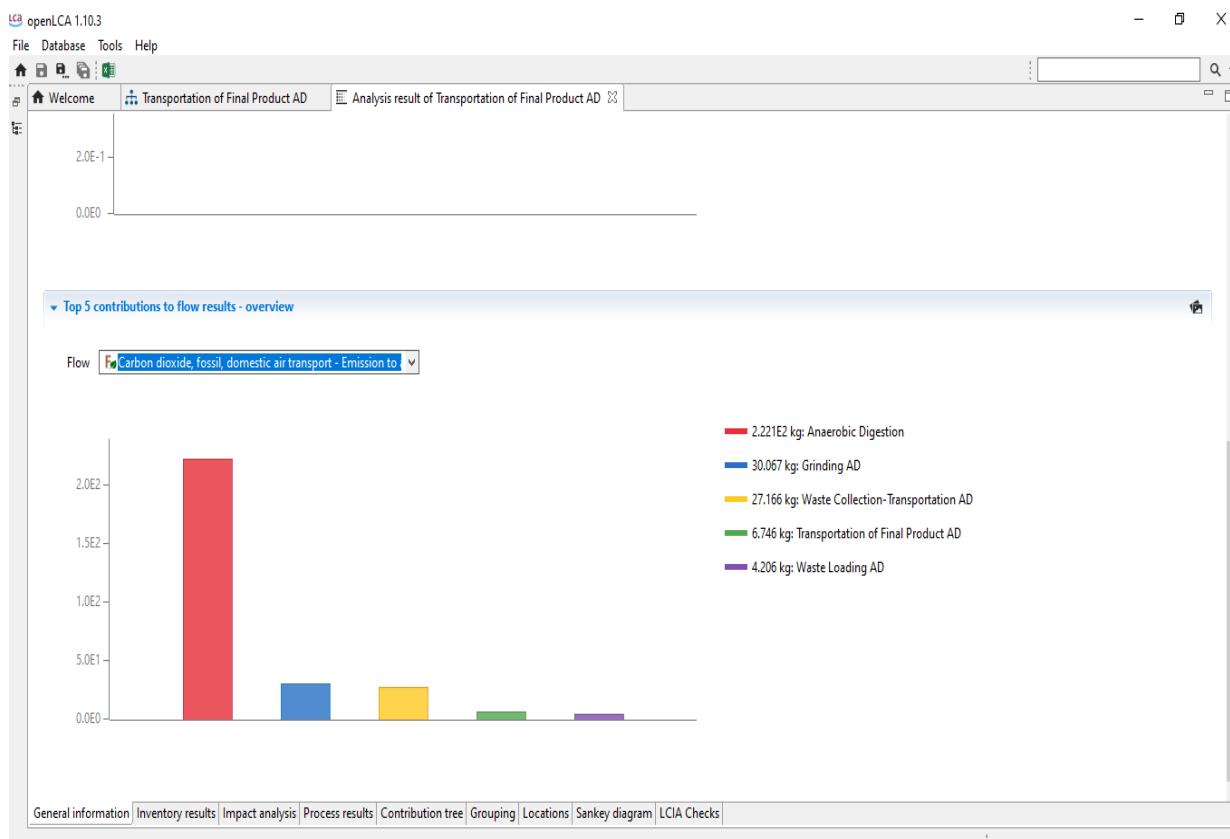
Διάγραμμα 5.84 Εκροές Ηλεκτρικής Ενέργειας Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

Η τρίτη γραφική παράσταση μας παρουσιάζει την εκροή μονοξειδίου του άνθρακα. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι, σε αυτή έχουν συνυπολογισθεί οι ρύποι από την καύση του βιοαερίου, την περισσότερο ρυπογόνο διαδικασία στη μεθοδολογία που μελετούμε (Διάγραμμα 5.85).



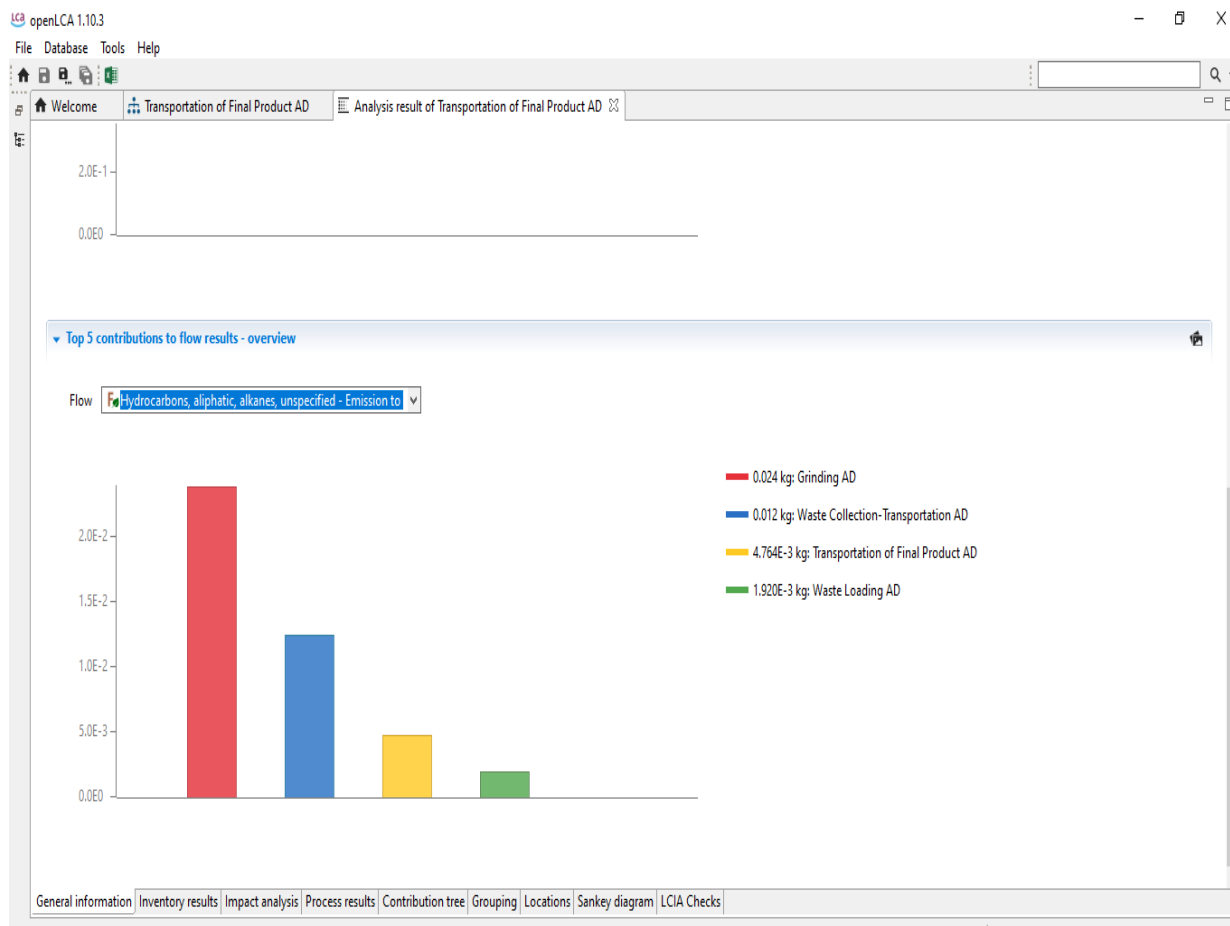
Διάγραμμα 5.85 Εκροές Μονοξειδίου Του Άνθρακα Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

Η τέταρτη γραφική παράσταση μας παρουσιάζει την εκροή του διοξειδίου του άνθρακα. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά με διαφορά από τις άλλες διαδικασίες διότι, σε αυτή έχουν συνυπολογισθεί οι ρύποι από την καύση του βιοαερίου, την περισσότερο ρυπογόνο διαδικασία στη μεθοδολογία που μελετούμε (Διάγραμμα 5.86).



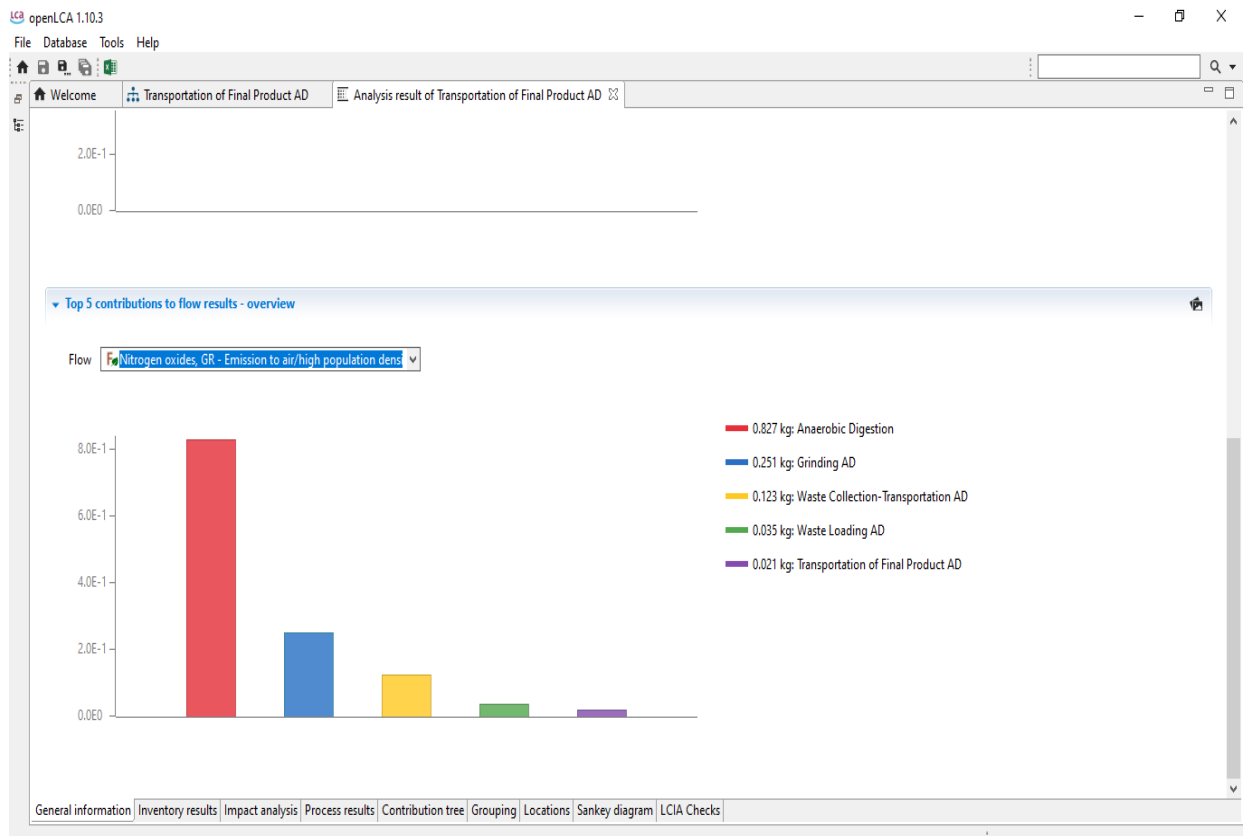
Διάγραμμα 5.86 Εκροές Διοξειδίου Του Άνθρακα Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

Η πέμπτη γραφική παράσταση μας παρουσιάζει την εκροή των υδρογονανθράκων, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης. Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων και χρησιμοποιεί βαρύ και ρυπογόνο μηχανισμό (Διάγραμμα 5.87).



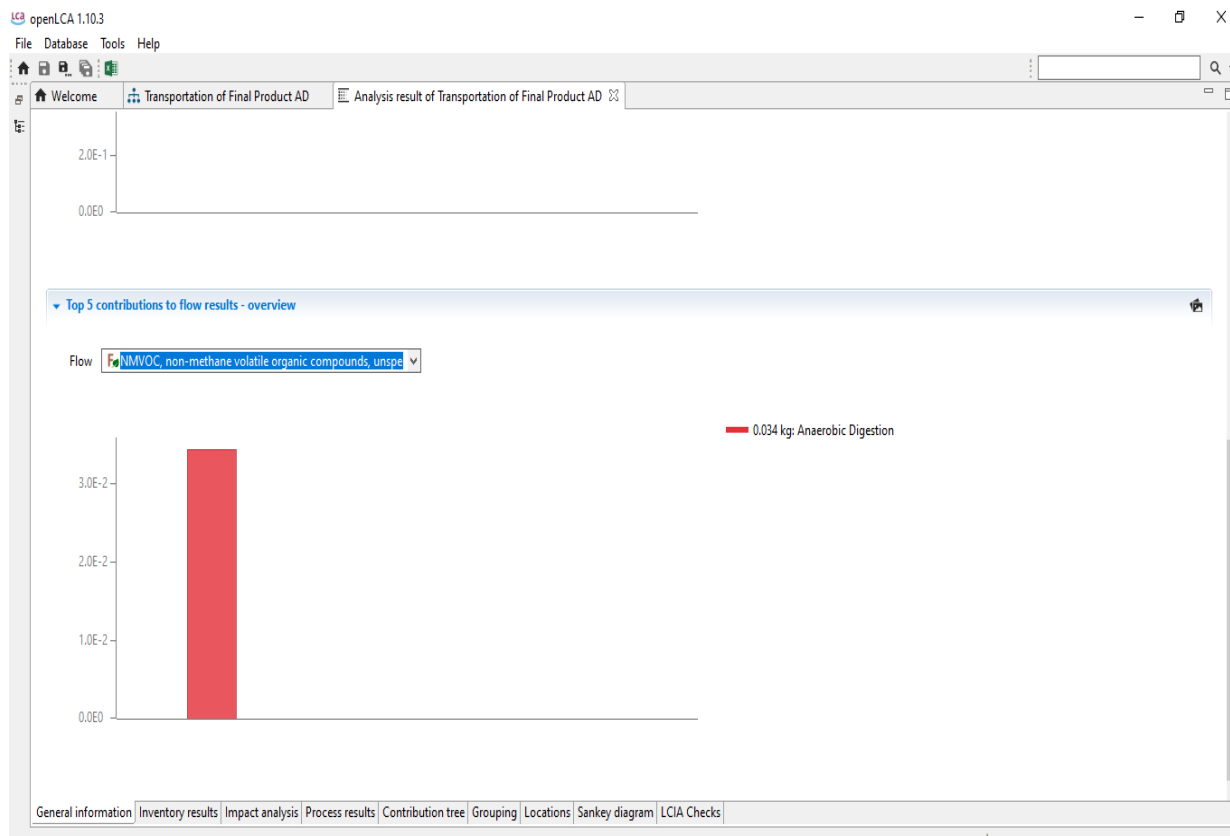
Διάγραμμα 5.87 Εκροές Υδρογονανθράκων Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

Η έκτη γραφική παράσταση μας παρουσιάζει την εκροή οξειδίων του αζώτου. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά με διαφορά από τις άλλες διαδικασίες διότι, σε αυτή έχουν συνυπολογισθεί οι ρύποι από την καύση του βιοαερίου, την περισσότερο ρυπογόνο διαδικασία στη μεθοδολογία που μελετούμε (Διάγραμμα 5.88).



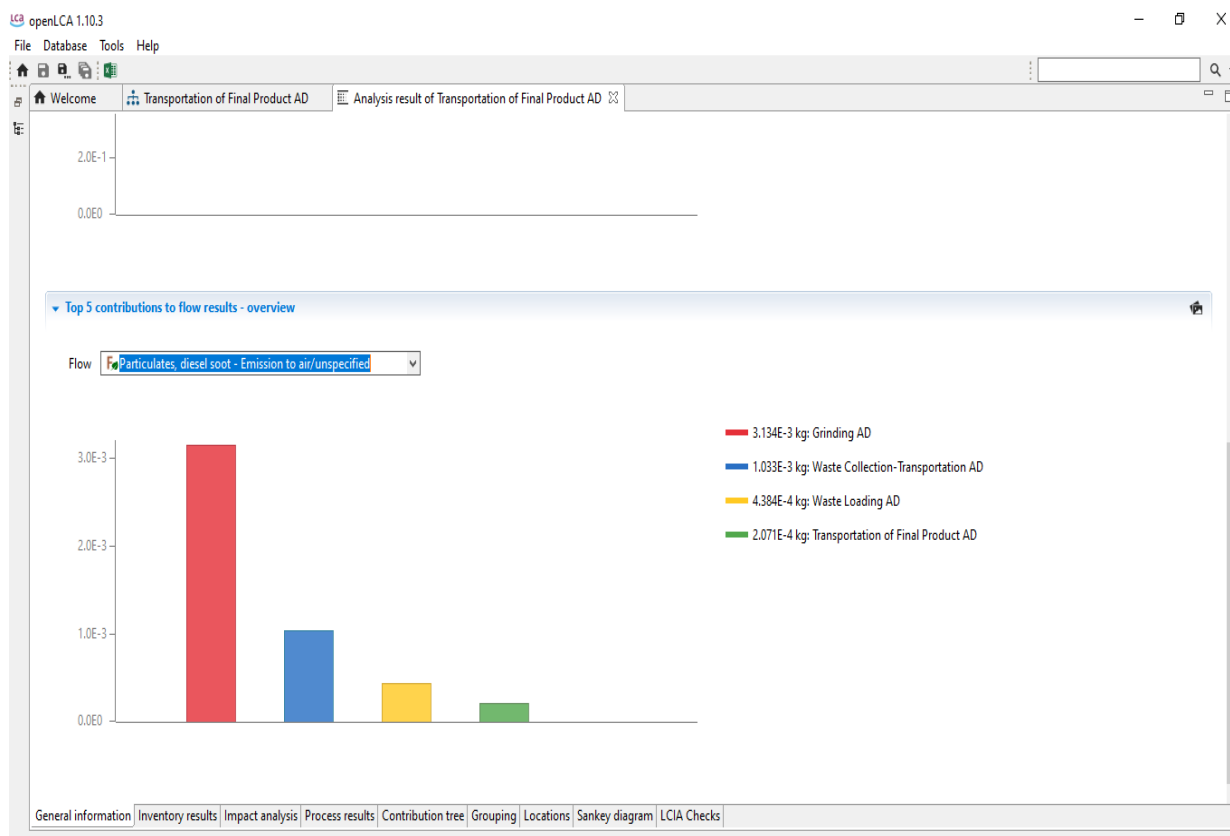
Διάγραμμα 5.88 Εκροές Οξειδίων Του Αζώτου Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

Η έβδομη γραφική παράσταση μας παρουσιάζει την εκροή των NMVOC. Οι ρύποι αυτοί εκλύονται αποκλειστικά από την καύση του βιοαερίου. Για τον λόγο αυτό φαίνεται πως η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχει την αποκλειστική συνεισφορά (Διάγραμμα 5.89).



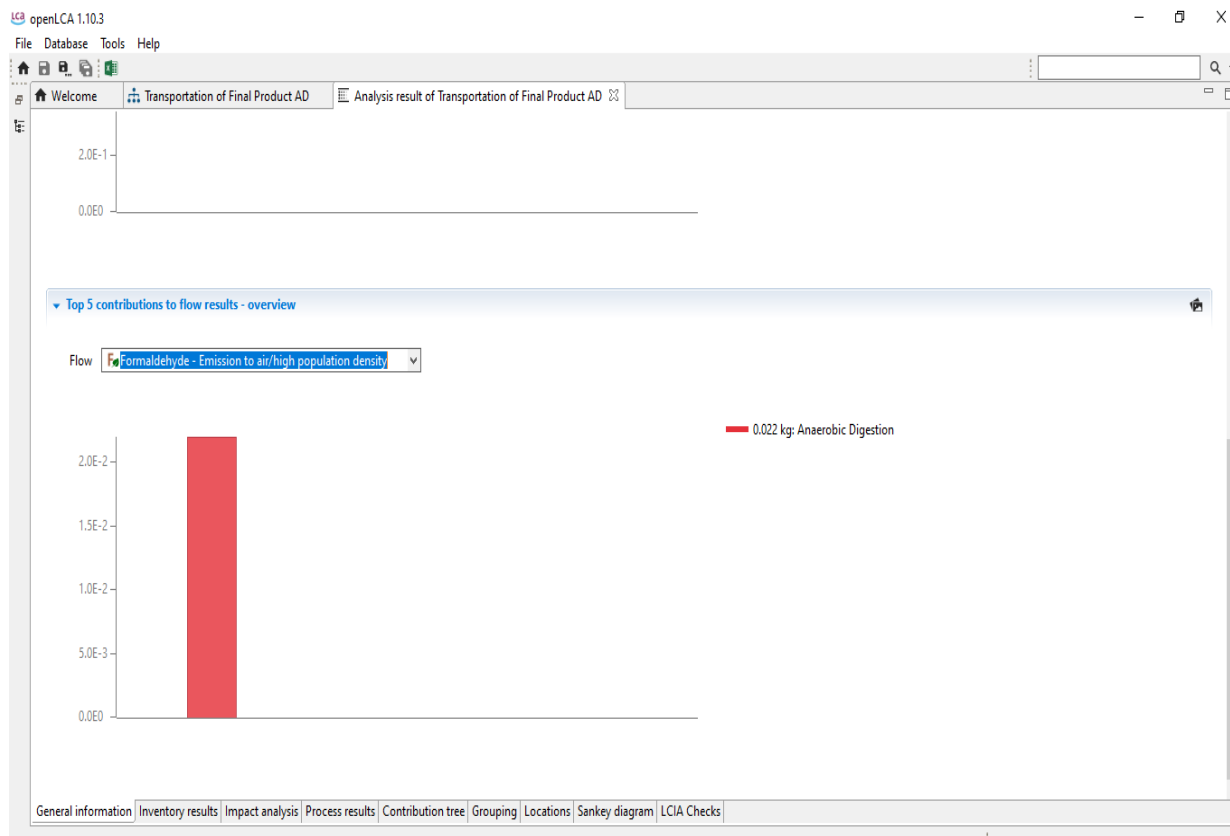
Διάγραμμα 5.89 Εκροές NMVOC Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

Η όγδοη γραφική παράσταση μας παρουσιάζει την εκροή των σωματιδίων, ενός ρύπου που παράγεται από όλες τις διαδικασίες κατά τις οποίες γίνεται αποκλειστική χρήση ενέργειας από πετρέλαιο με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στη διαδικασία της άλεσης. Η διαδικασία της αλέσεως έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά διότι επεξεργάζεται τη πλήρη μάζα των αποβλήτων και χρησιμοποιεί βαρύ και ρυπογόνο μηχανισμό (Διάγραμμα 5.90).



Διάγραμμα 5.90 Εκροές Των Σωματιδίων Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

Η ένατη και τελευταία γραφική παράσταση μας παρουσιάζει την εκροή φορμαλδεΐδης. Ο ρύπος αυτός εκλύεται αποκλειστικά από την καύση του βιοαερίου. Για τον λόγο αυτό φαίνεται πως η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχει την αποκλειστική συνεισφορά (Διάγραμμα 5.91).



Διάγραμμα 5.91 Εκροές Φορμαλδεΐδης Κατά Τη Μέθοδο Της Αναερόβιας Χώνευσης Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου

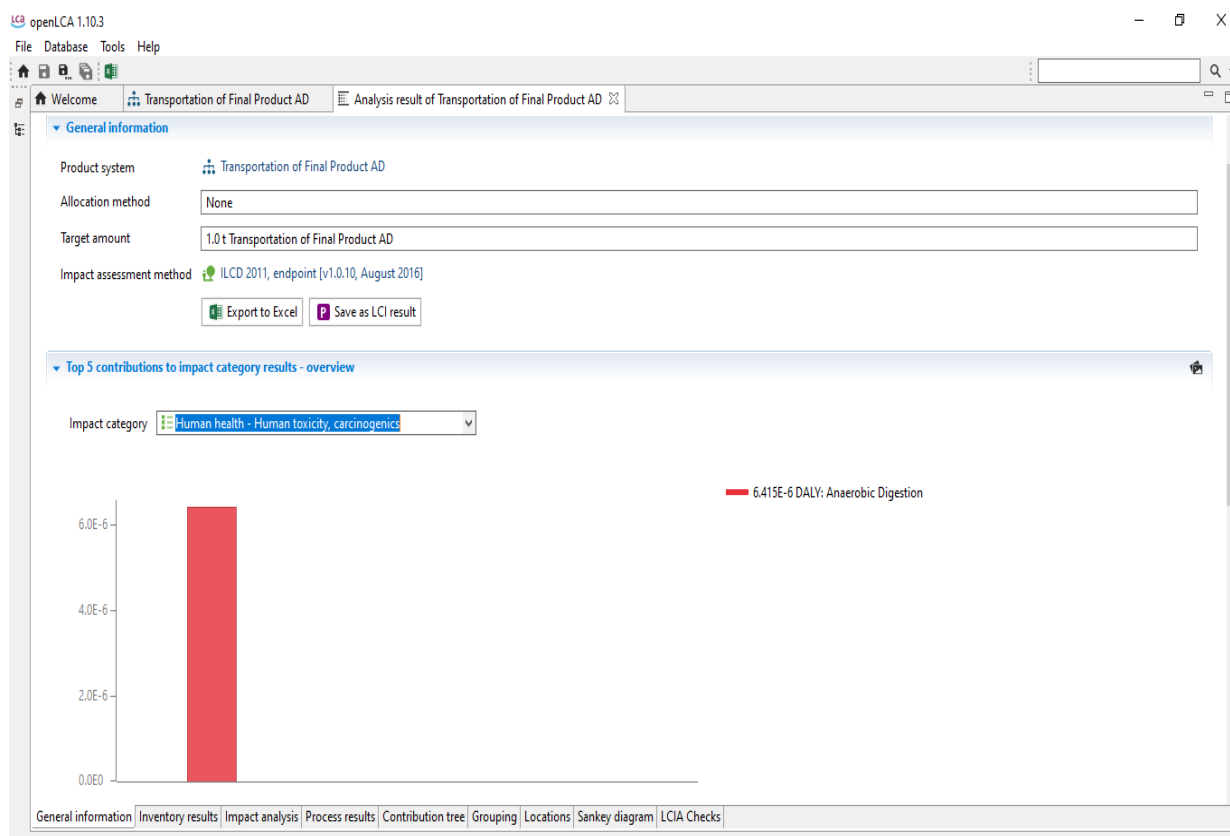
Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε πως οι διαδικασίες της πρώτης διαλογής, της προ επεξεργασίας των υλικών προς χώνευση και της τελικής επεξεργασίας των χωνεμένων υλικών, δεν έχουν καμία συμμετοχή ούτε στις εισροές ούτε στις εκροές της διαδικασίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως αφού θεωρήσαμε εκ πρώιμου πως η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τις διαδικασίες αυτές, καλύπτεται από την ενέργεια που παράγεται από τη καύση του βιοαερίου, το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα περιγράφεται από τις εκροές της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης. Όπως προαναφέραμε και σε παραπάνω διαγράμματα στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης συνυπολογίστηκαν οι ρύποι από την καύση του βιοαερίου.

5.3.4 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Αναερόβιας Χώνευσης με εκμετάλλευση του βιοαερίου

Αφού αναλύσαμε τις εισροές και της εκροές του συστήματος μπορούμε να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής. Η ανάλυση κύκλου ζωής για τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης έγινε με τη χρήση τριών διαφορετικών αλγορίθμων εκτίμησης περιβαλλοντικού αποτυπώματος, οι οποίοι είναι οι ILCD 2011, endpoint [v1.0.10, August 2016], eco-indicator 99 (E), ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]. Πρωτίστως θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μεθόδου ILCD.

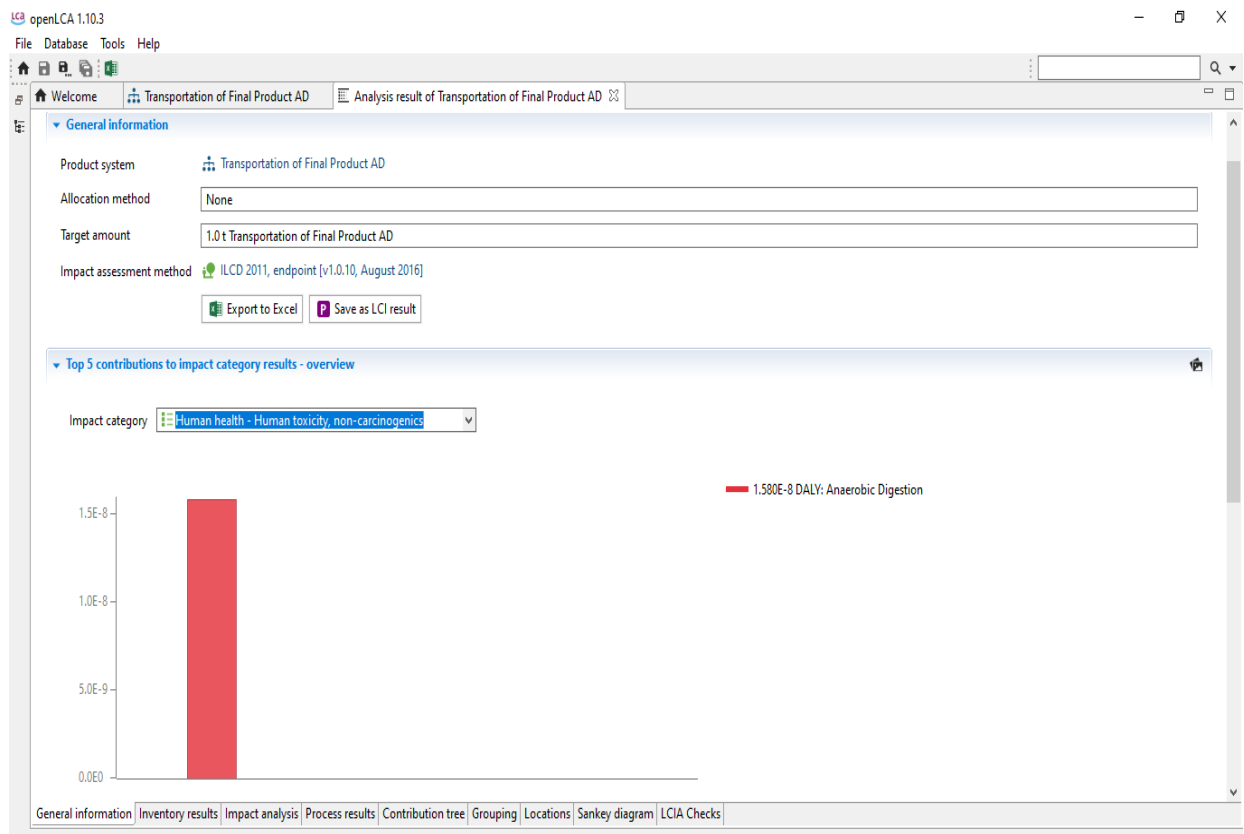
5.3.4.1 Μέθοδος ILCD

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω τοξικών και καρκινογόνων ουσιών. Παρατηρούμε πως τη αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη καύση του βιοαερίου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας εκλύονται καρκινογόνες ουσίες (Διάγραμμα 5.92).



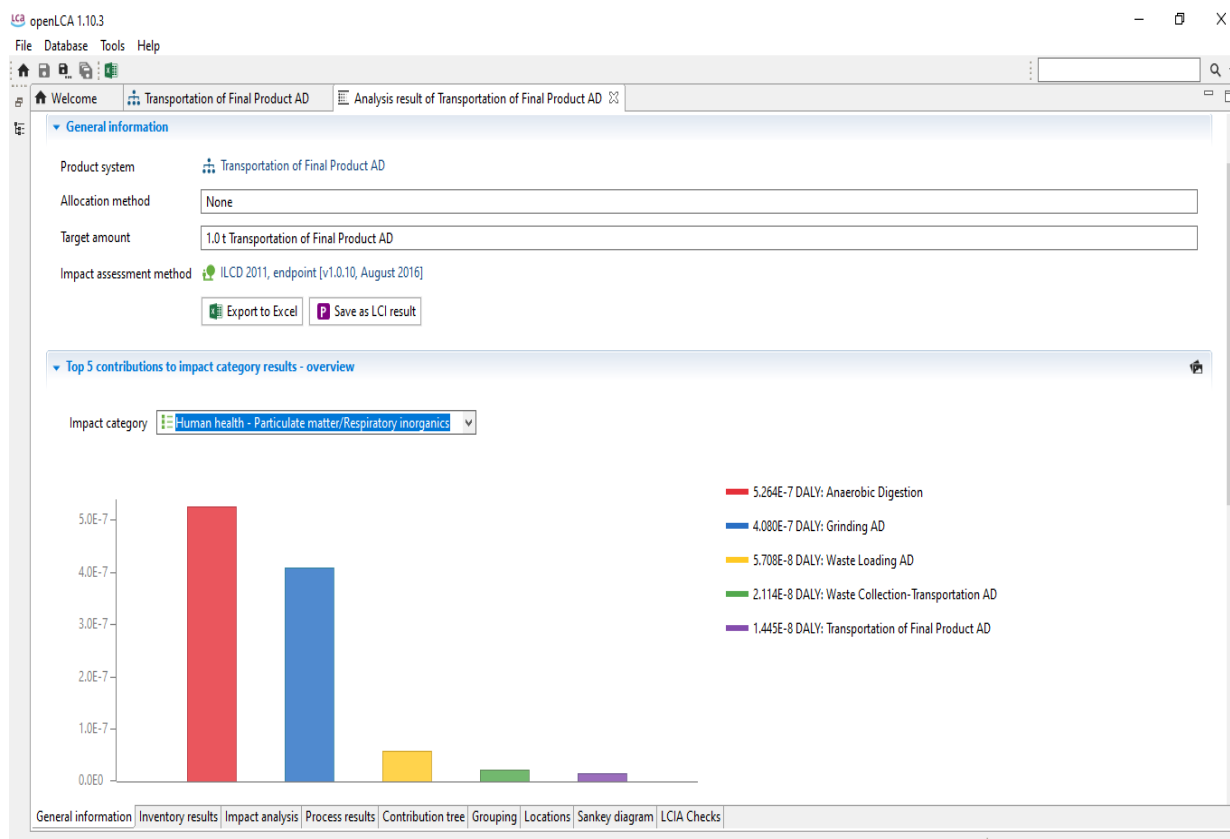
Διάγραμμα 5.92 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών Και Καρκινογόνων Ουσιών

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω τοξικών, μη καρκινογόνων ουσιών. Παρατηρούμε πως τη αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη καύση του βιοαερίου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας εκλύονται τοξικές ουσίες (Διάγραμμα 5.93).



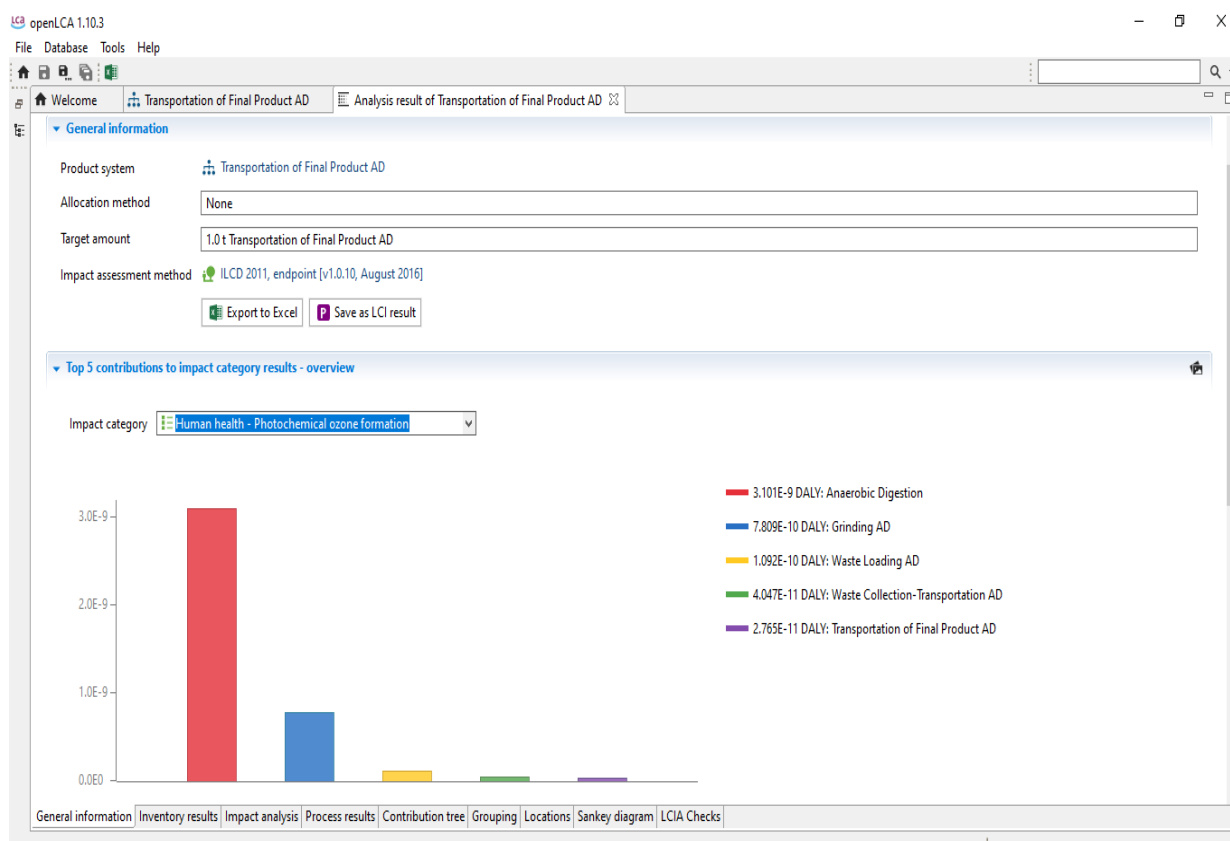
Διάγραμμα 5.93 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών Μη Καρκινογόνων Ουσιών

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της εισπνοής ανόργανων σωματιδίων. Παρατηρούμε πως οι πιο επιβαρυντικές διαδικασίες είναι η αναερόβια χώνευση και η άλεση, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι οι διαδικασίες που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγουν τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων ανόργανων ενώσεων και σωματιδίων βλαβερών για τη ανθρώπινη υγεία, όπως για παράδειγμα τα οξείδια του αζώτου (Διάγραμμα 5.94).



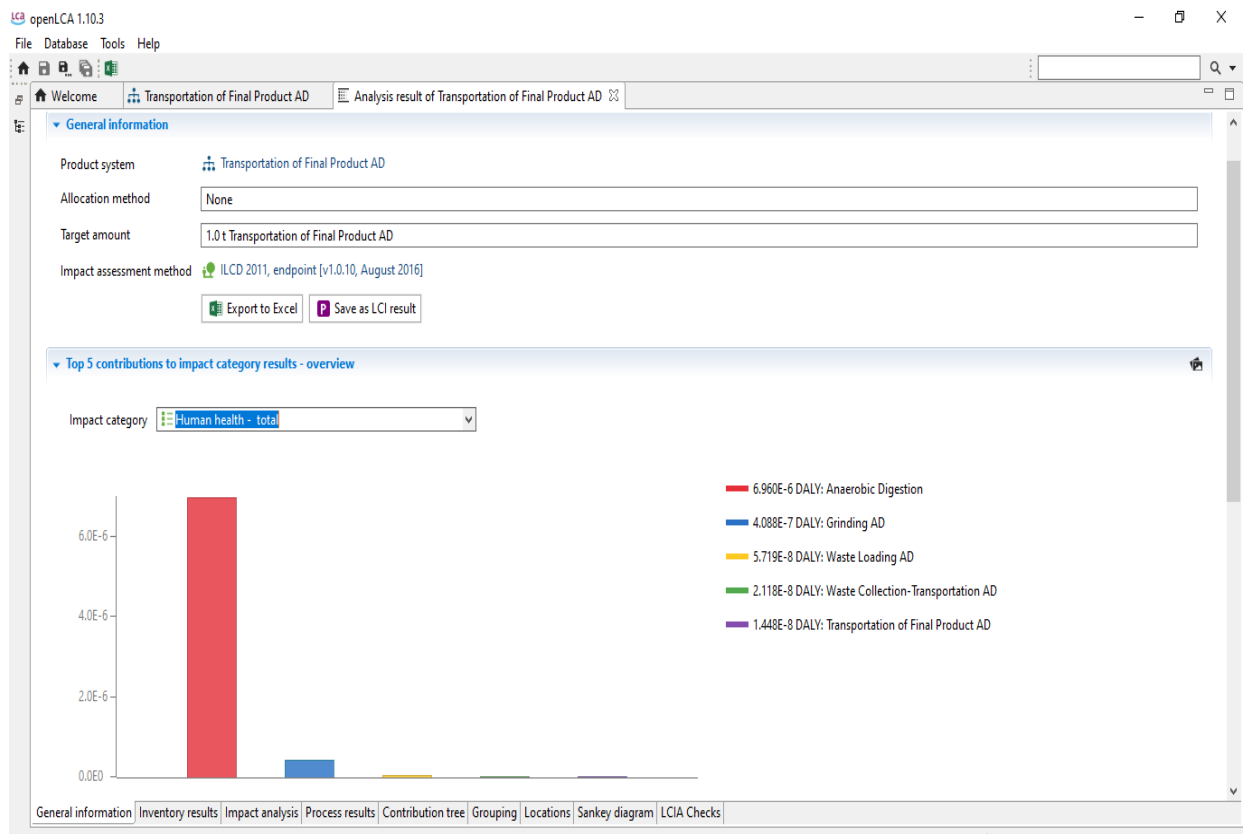
Διάγραμμα 5.94 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών ανθρώπινη υγεία μέσω του σχηματισμού φωτοχημικού νέφους. Παρατηρούμε πως η πιο επιβαρυντική διαδικασία είναι η αναερόβια χώνευση αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για το σχηματισμό του νέφους κυρίως, των οξειδίων του αζώτου (Διάγραμμα 5.95).



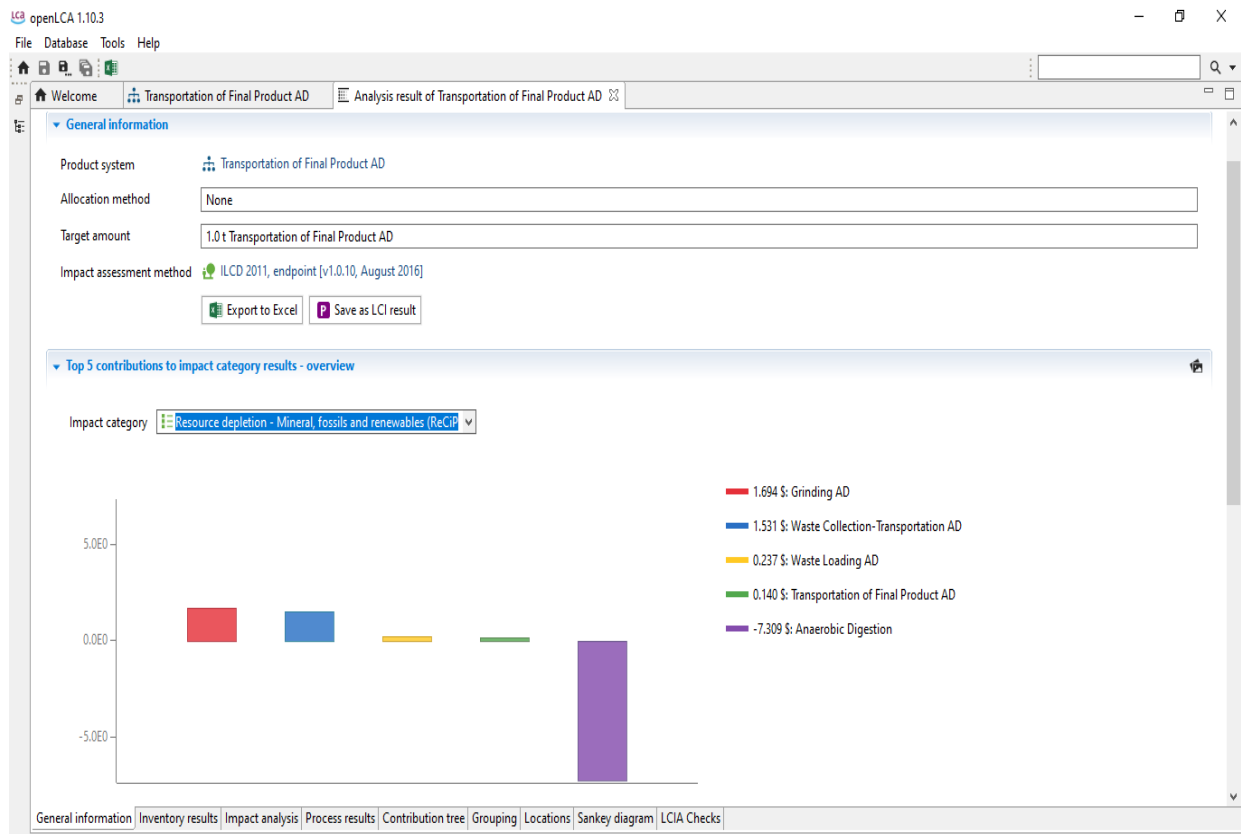
Διάγραμμα 5.95 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση με μεγάλη διαφορά προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει σχεδόν αποκλειστικά και στις τέσσερις; Υποκατηγορίες (Διάγραμμα 5.96).



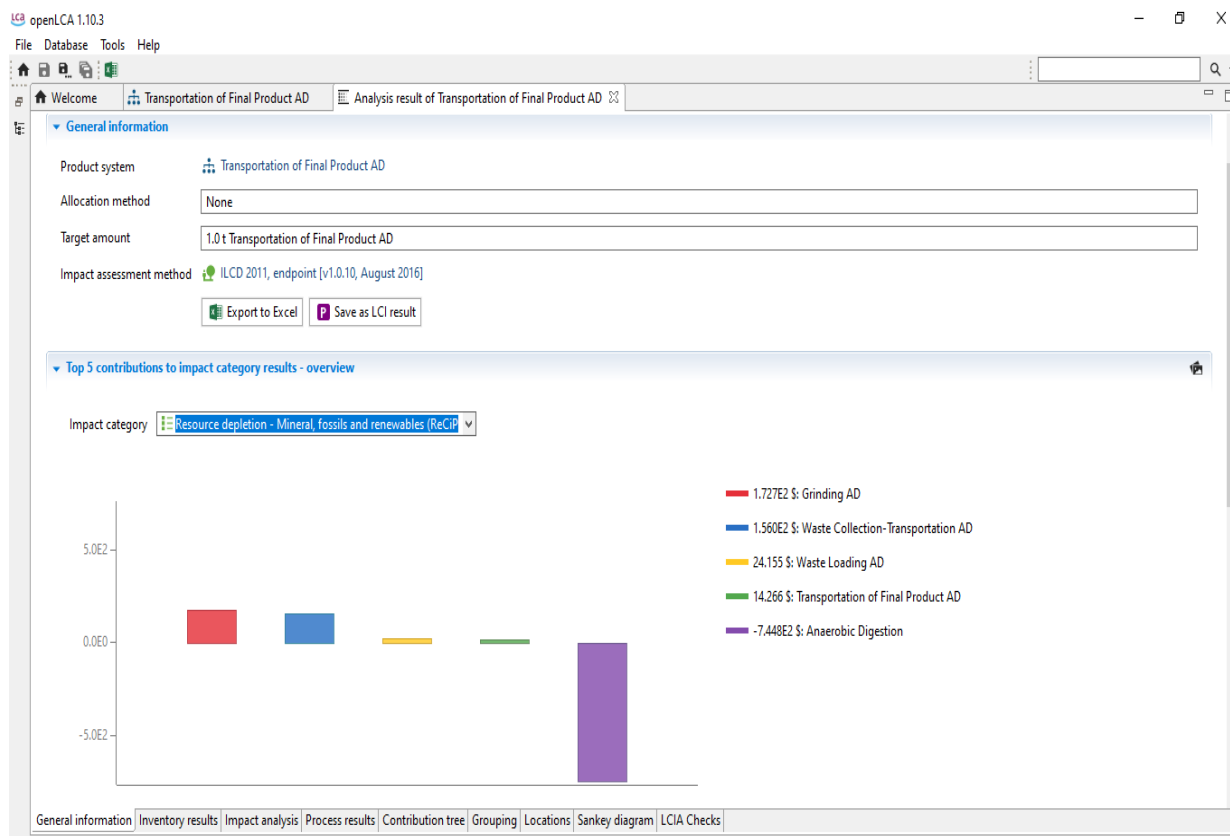
Διάγραμμα 5.96 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την παρουσίαση τη εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.11. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλούν οι διαδικασίες της άλεσης και η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασίες που χρησιμοποιούν ενεργοβόρα μηχανήματα που επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων. Στον αντίποδα η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζεται με αρνητικό πρόσημο διότι παράγει ενέργεια (Διάγραμμα 5.97).



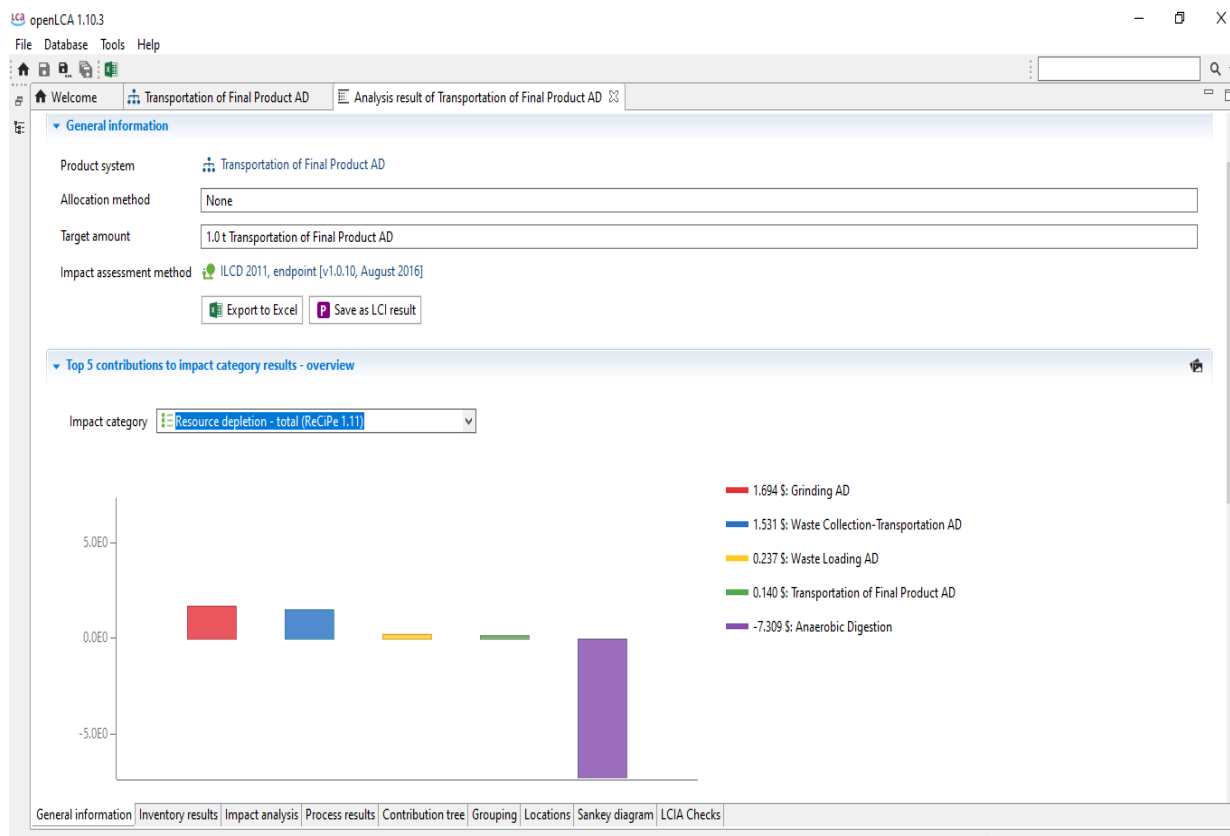
**Διάγραμμα 5.97 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe 1.11
– Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων**

Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.05. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλούν οι διαδικασίες της άλεσης και η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασίες που χρησιμοποιούν ενεργοβόρα μηχανήματα που επεξεργάζονται το σύνολο της μάζας των αποβλήτων. Στον αντίποδα η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζεται με αρνητικό πρόσημο διότι παράγει ενέργεια (Διάγραμμα 5.98).



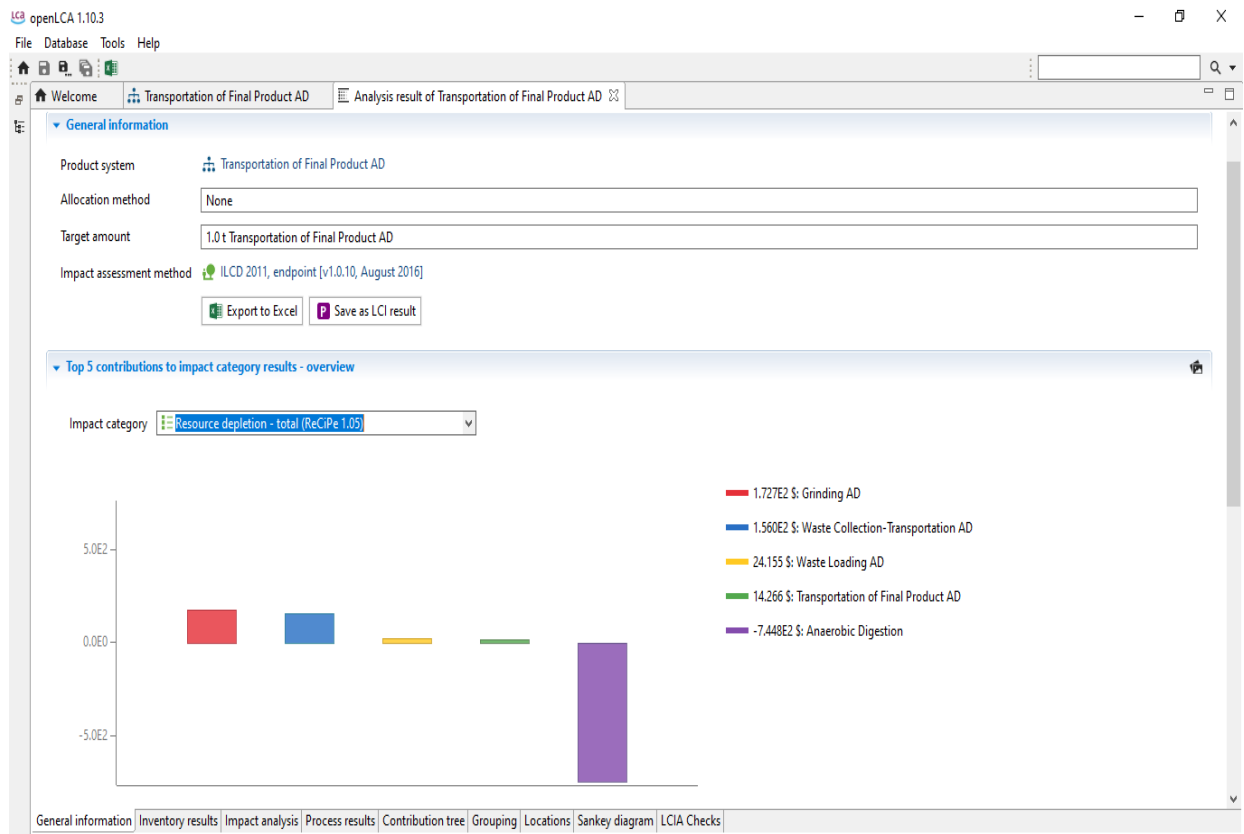
Διάγραμμα 5.98 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe 1.05 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Η όγδοη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.11. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη (Διάγραμμα 5.99).



Διάγραμμα 5.99 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων

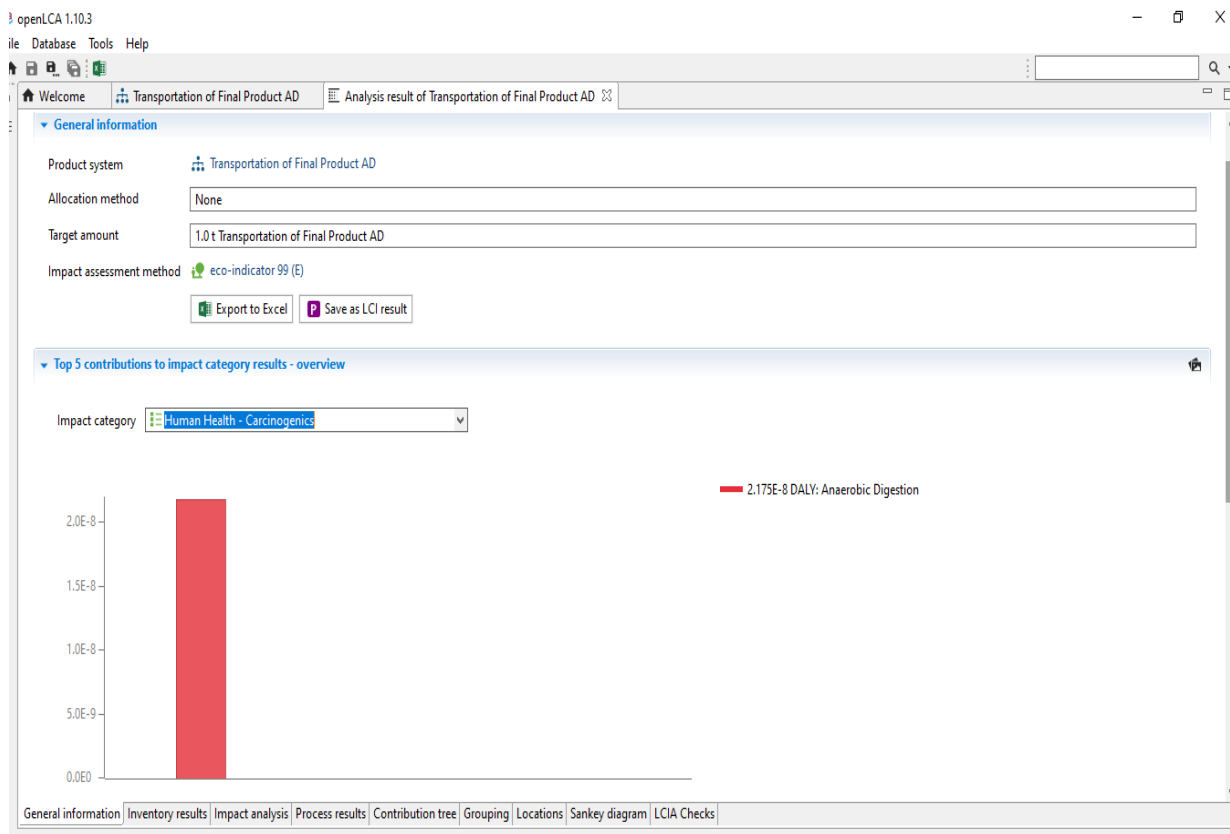
Η ένατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.05. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη (Διάγραμμα 5.100).



Διάγραμμα 5.100 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων

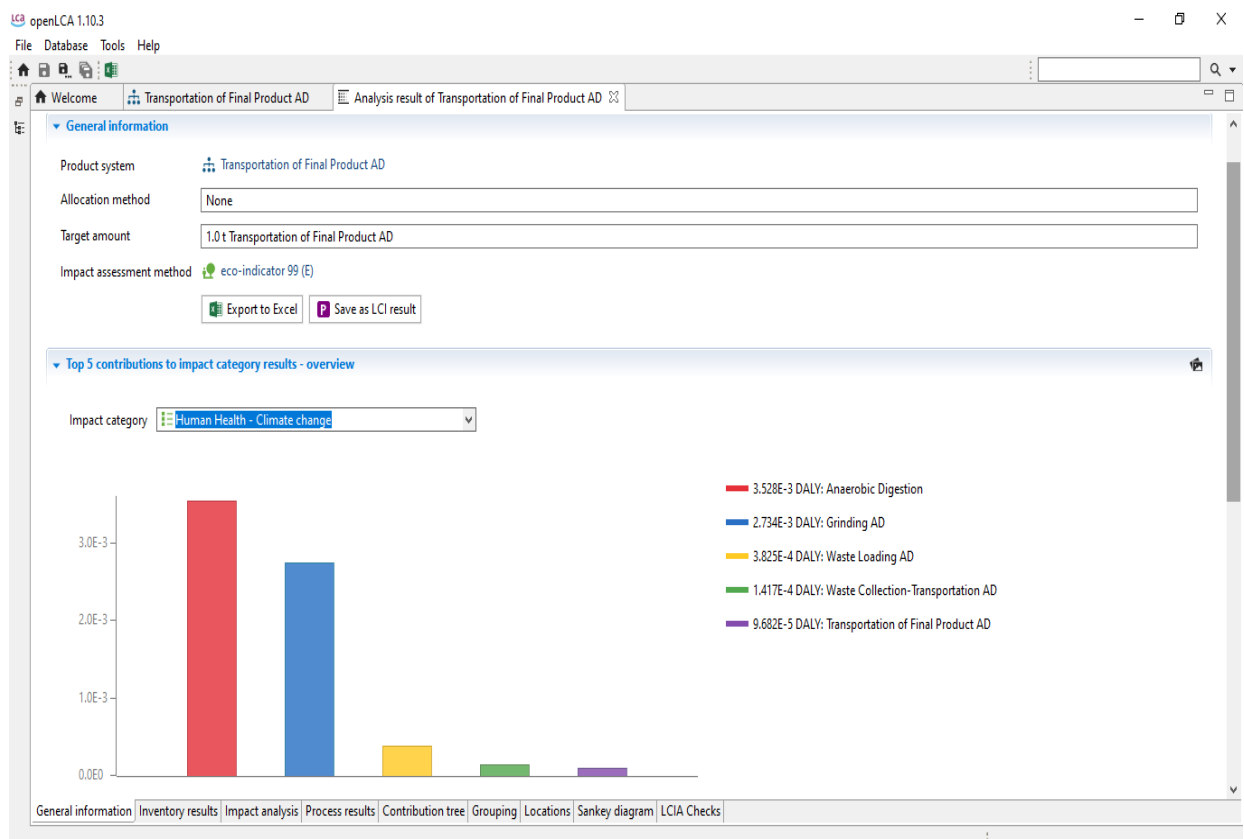
5.3.4.2 Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E)

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω καρκινογόνων ουσιών. Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την καύση του βιοαερίου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας παράγεται η καρκινογόνος ουσία φορμαλδεΰδη (Διάγραμμα 5.101).



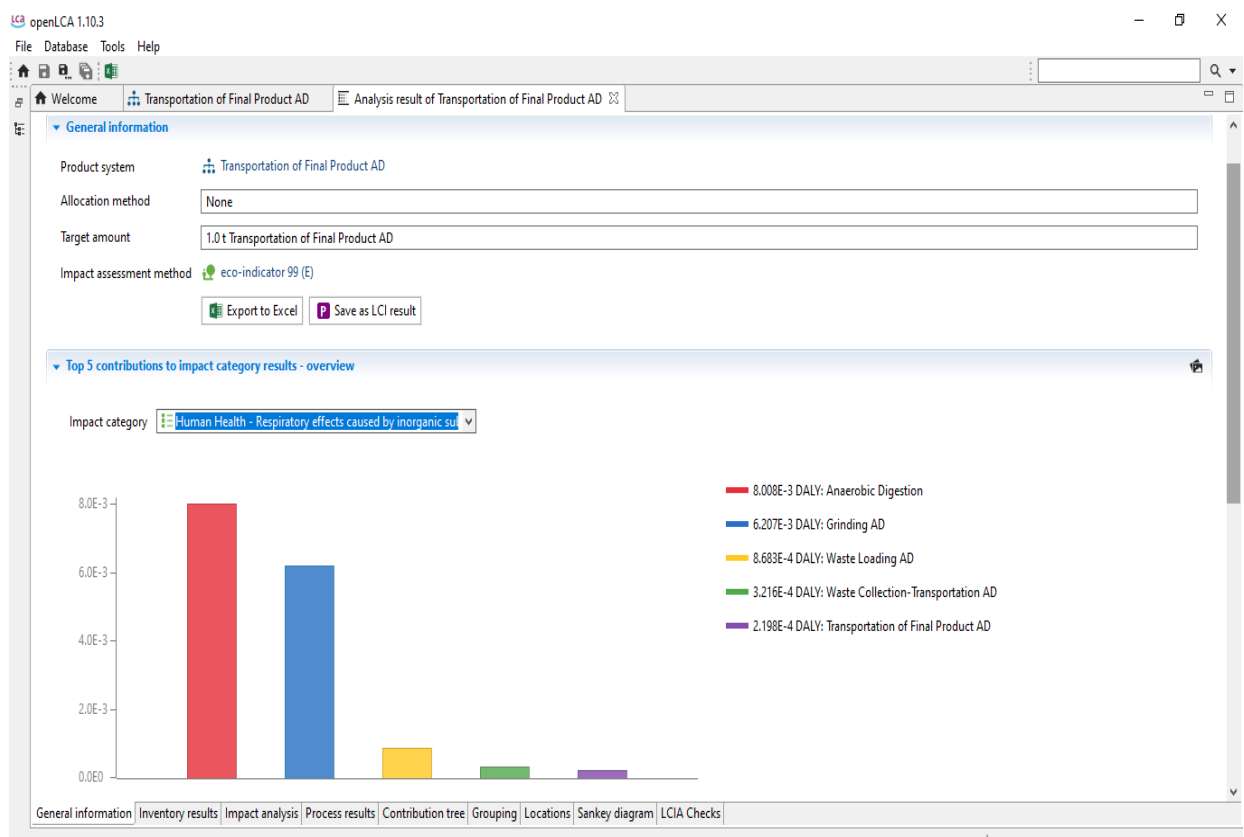
Διάγραμμα 5.101 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Καρκινογόνων Ουσιών

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης ακολουθούμενη από τη διαδικασία της άλεσης. Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασίες που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών παράγουν τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή όπως για παράδειγμα το διοξείδιο του άνθρακα (Διάγραμμα 5.102).



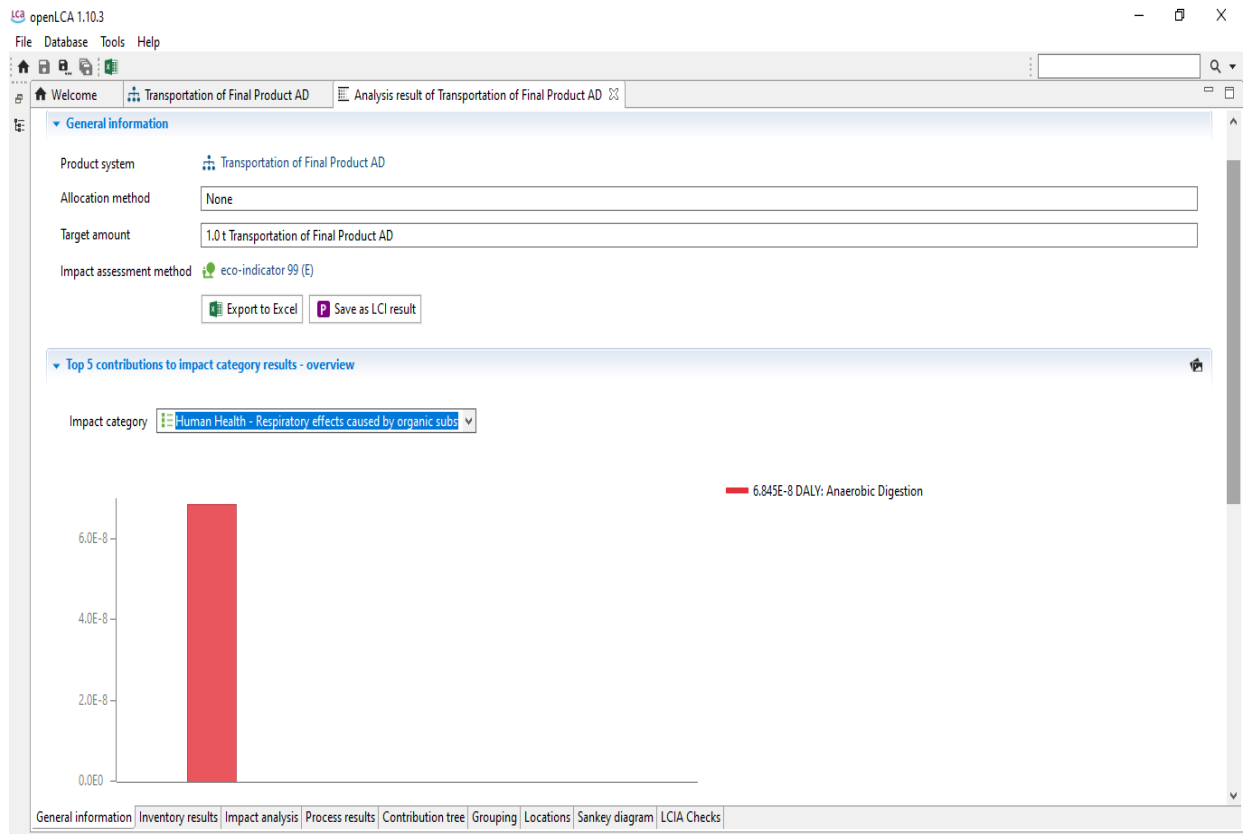
Διάγραμμα 5.102 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από ανόργανες ενώσεις. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης ακολουθούμενη από τη διαδικασία της άλεσης. Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασίες που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών παράγουν τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων υπεύθυνων για τη κλιματική αλλαγή όπως για παράδειγμα τα οξείδια του αζώτου (Διάγραμμα 5.103).



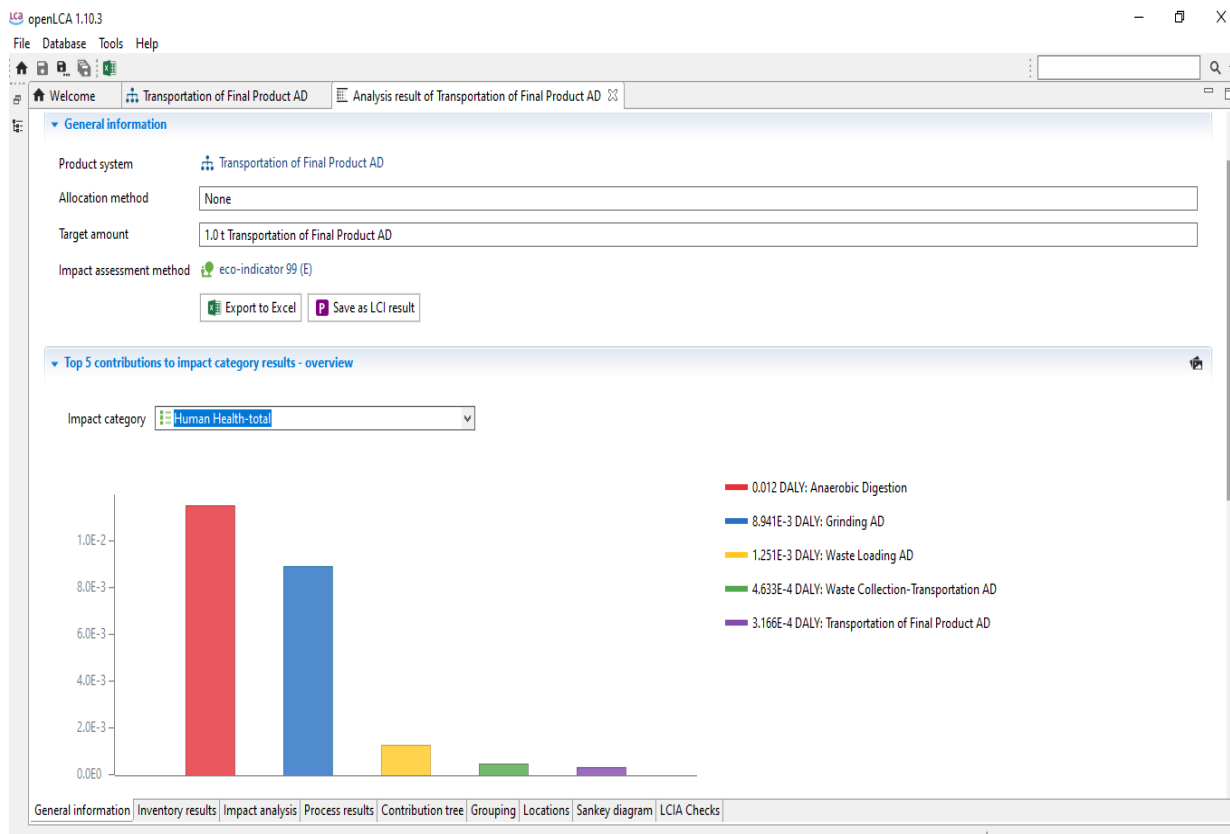
Διάγραμμα 5.103 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων (Οξείδια Του Αζώτου)

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από οργανικές ενώσεις. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των εκροών, παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων οργανικών ενώσεων, όπως για παράδειγμα τα οξείδια του άνθρακα (Διάγραμμα 5.104).



Διάγραμμα 5.104 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισποής Οργανικών Σωματιδίων (Οξείδια Του Άνθρακα)

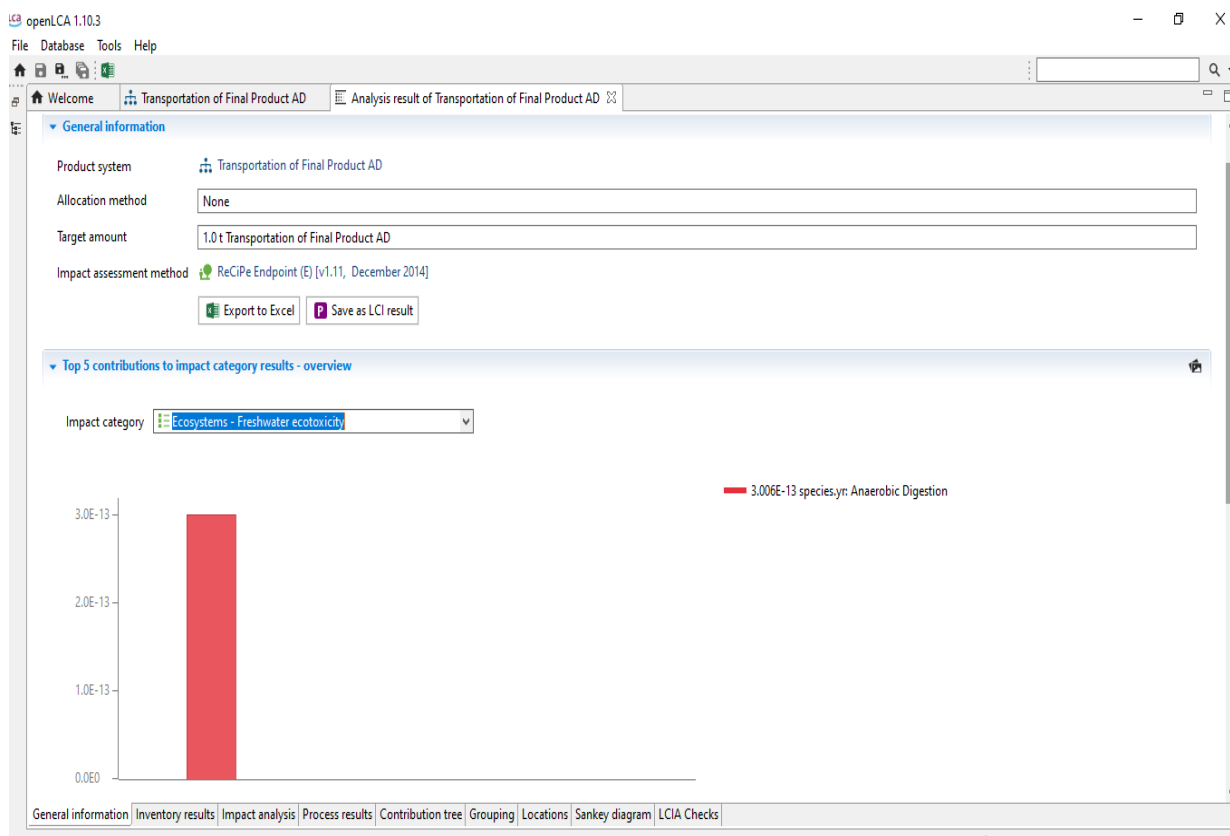
Η πέμπτη και τελική γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας. Παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει τα μέγιστα σε όλες τις υποκατηγορίες (Διάγραμμα 5.105).



Διάγραμμα 5.105 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος Eco-Indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

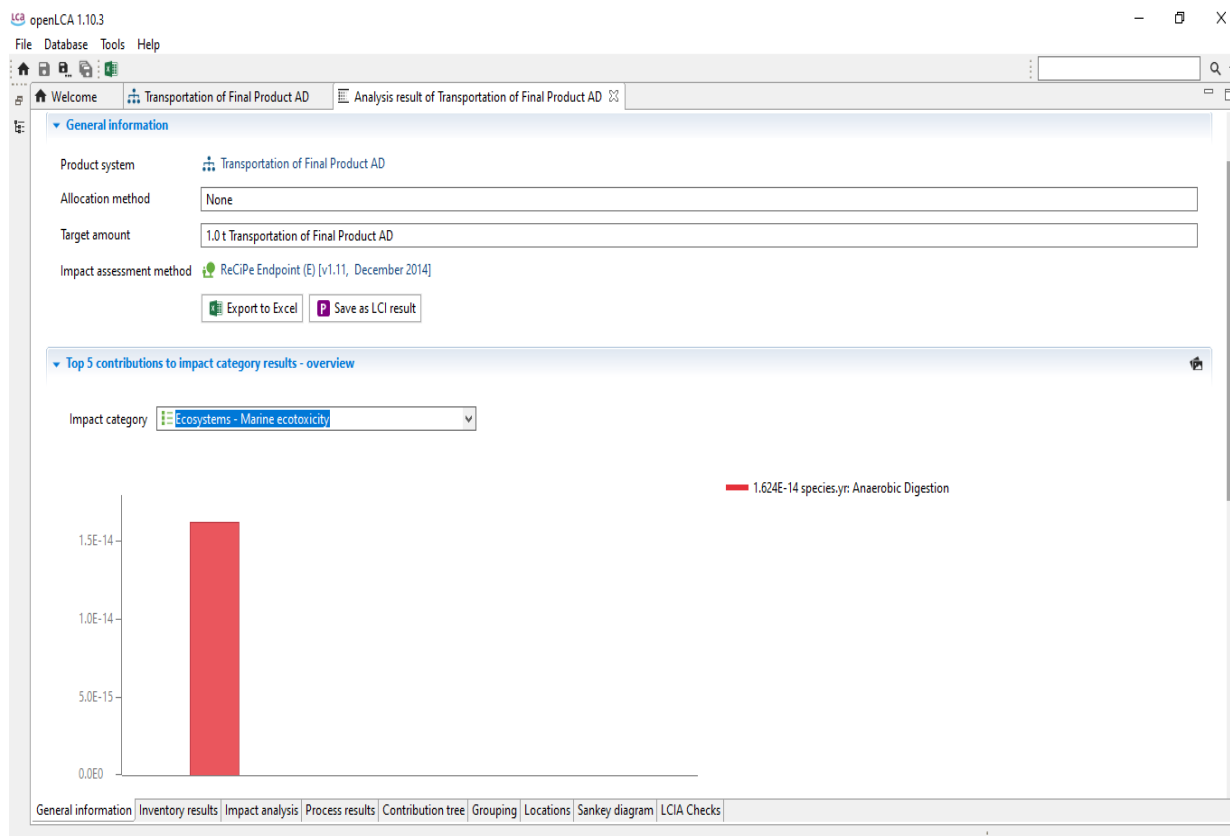
5.3.4.3 Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την τοξικότητα του γλυκού νερού. Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που οφείλεται στους ρύπους που εκλύονται κατά την καύση του βιοαερίου (Διάγραμμα 5.106).



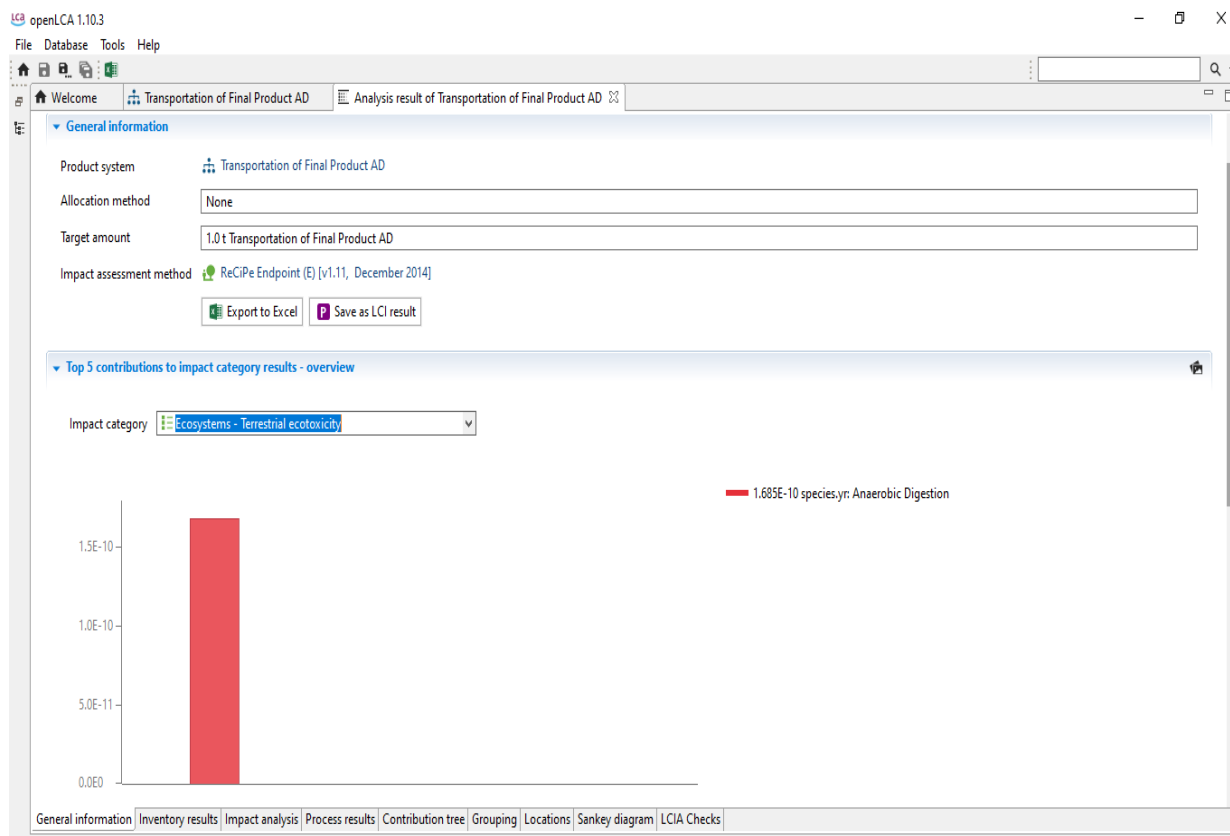
Διάγραμμα 5.106 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Του Γλυκού Νερού

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την τοξικότητα του θαλασσινού νερού. Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που οφείλεται στους ρύπους που εκλύονται κατά την καύση του βιοαερίου (Διάγραμμα 5.107).



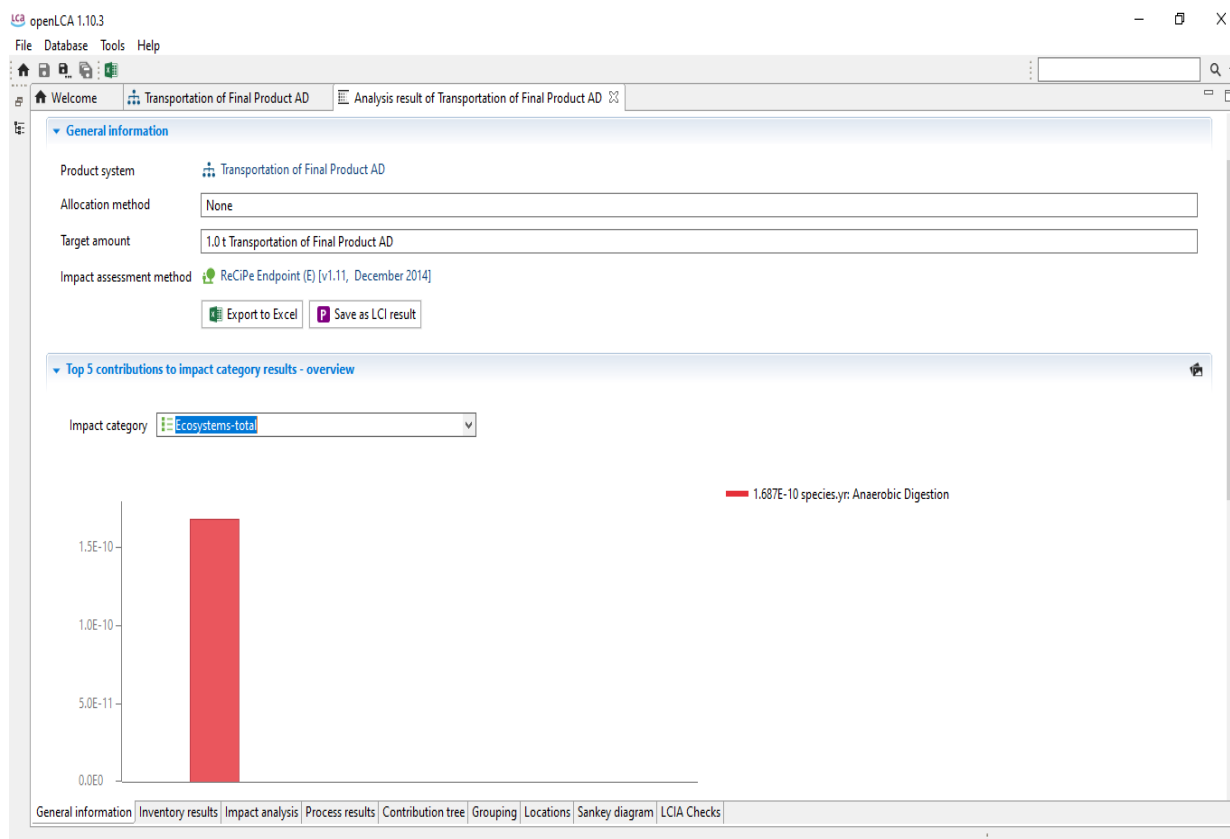
Διάγραμμα 5.107 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Του Θαλασσινού Νερού

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την τοξικότητα της γης. Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που οφείλεται στους ρύπους που εκλύονται κατά την καύση του βιοαερίου (Διάγραμμα 5.108).



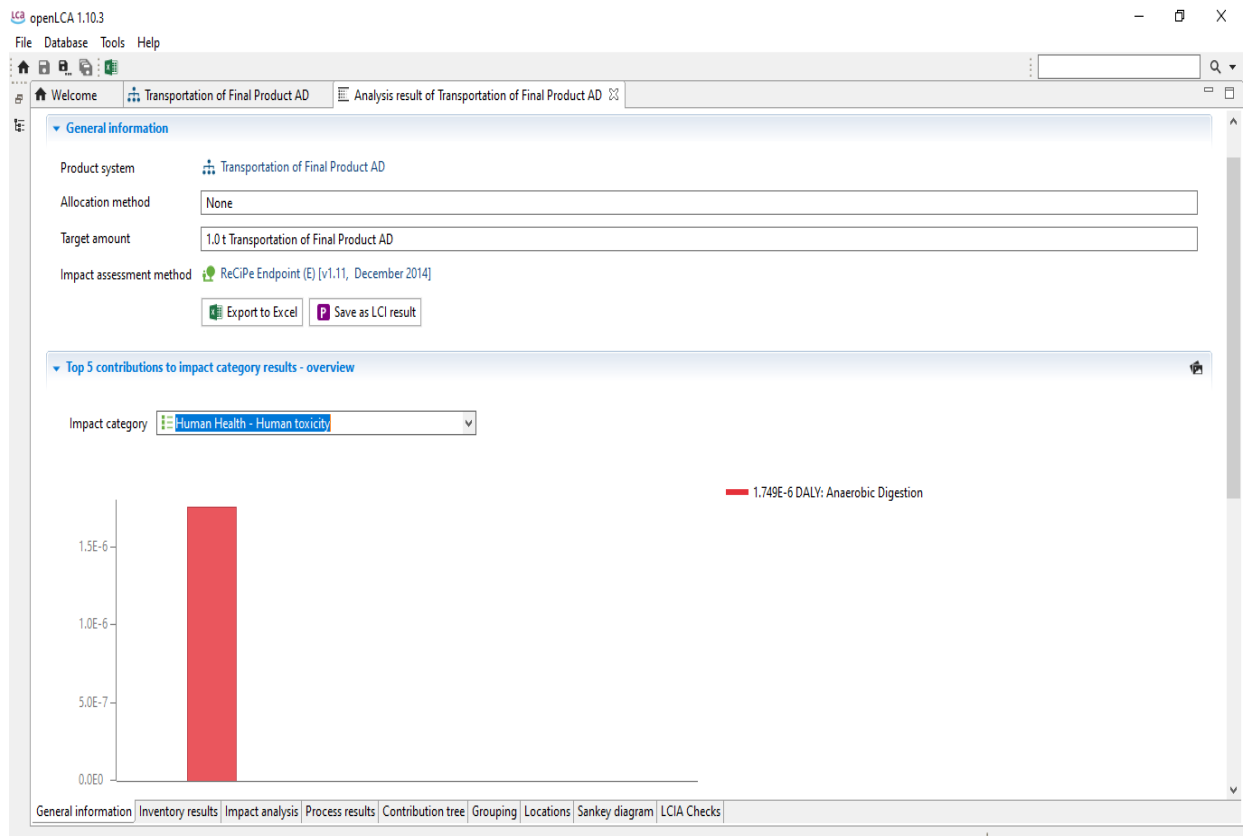
Διάγραμμα 5.108 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Της Γης

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα συνολικά. Παρατηρούμε πως εμφανίζεται μονάχα η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι το φυσιολογικό αφού συνεισφέρει αποκλειστικά και στις τρεις κατηγορίες (Διάγραμμα 5.109).



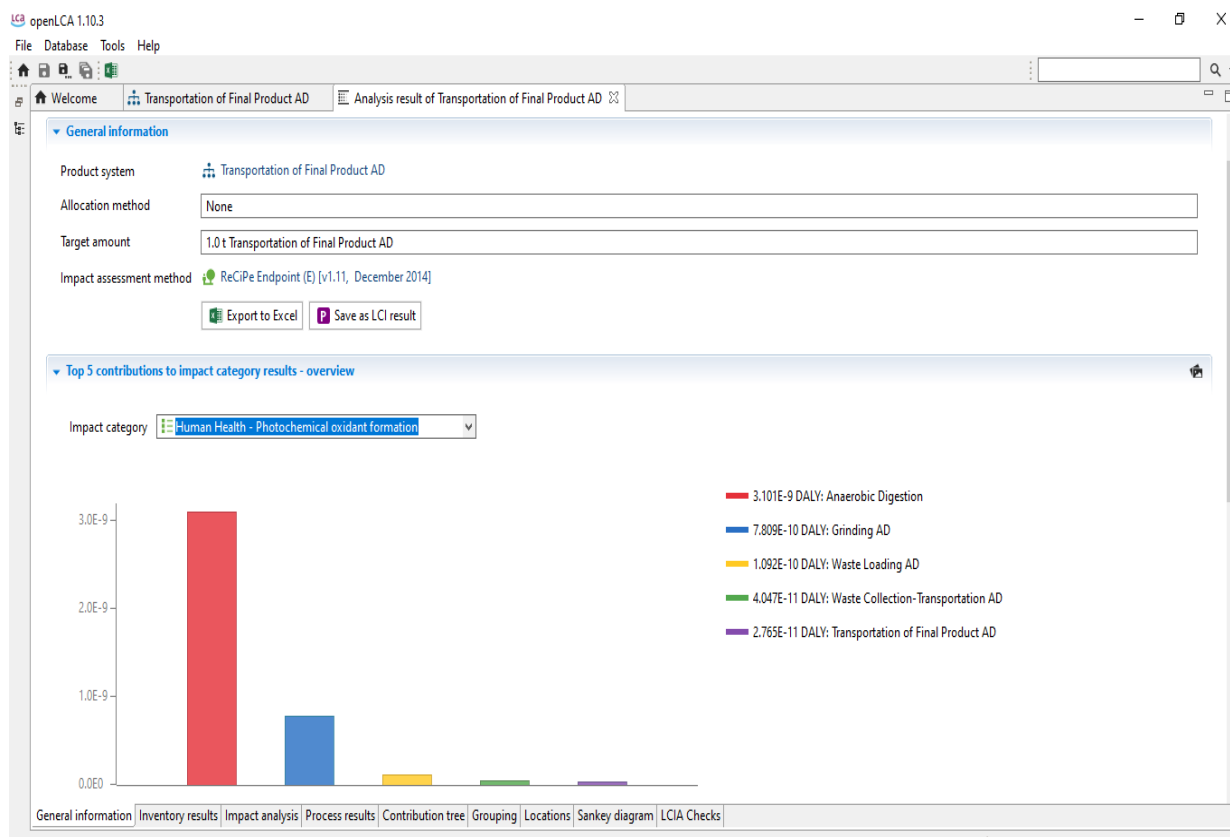
Διάγραμμα 5.109 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από τη τοξικότητα των ρύπων. Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που οφείλεται στους ρύπους που εκλύονται κατά την καύση του βιοαερίου (Διάγραμμα 5.110).



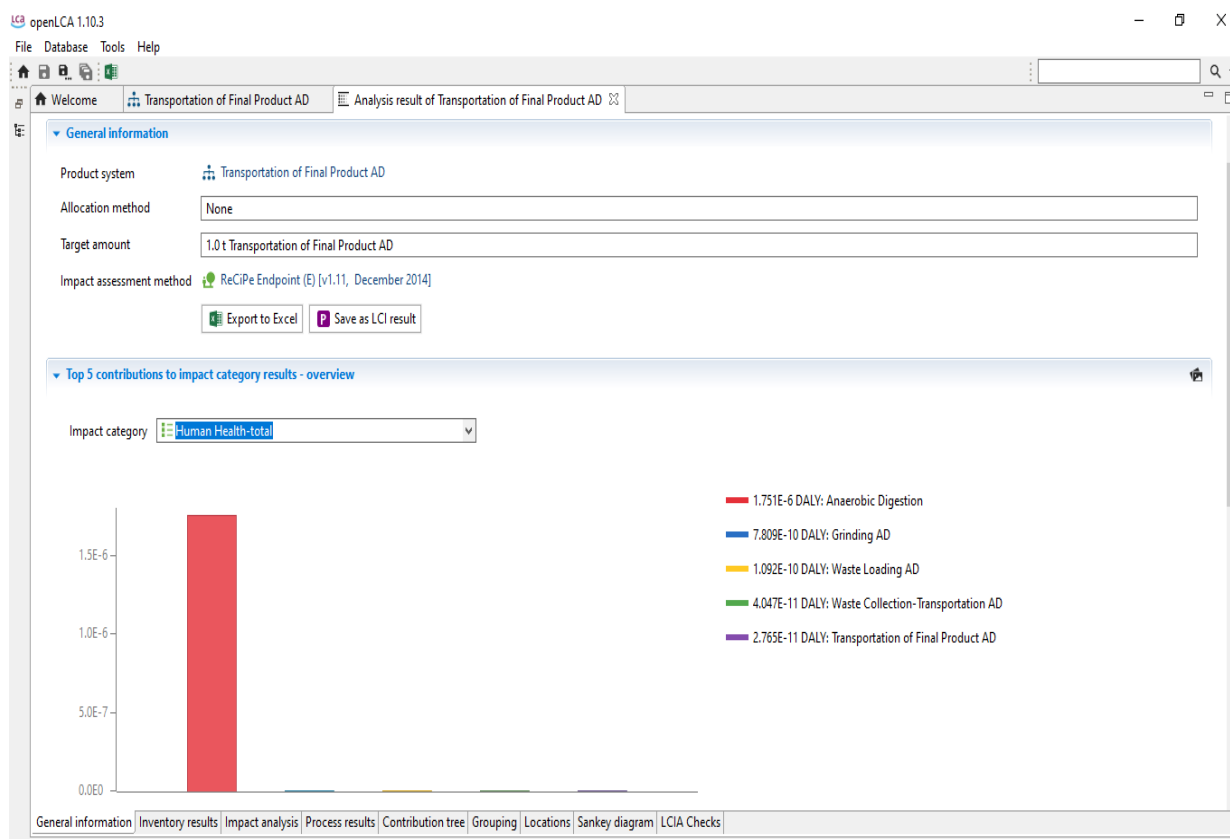
Διάγραμμα 5.110 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Τη Τοξικότητα Των Ρύπων

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από το σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών. Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 5.111).



Διάγραμμα 5.111 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Το Σχηματισμό Φωτοχημικών Οξειδωτικών

Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας. Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς είναι η διαδικασία που όπως φάνηκε και στις γραφικές παραστάσεις των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμβάλει τα μέγιστα σε όλες τις υποκατηγορίες (Διάγραμμα 5.112).



Διάγραμμα 5.112 Αναερόβια Χώνευση Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [V1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης

Στη συνέχεια αφού έγινε εκτενής ανάλυση των στοιχείων των διαδικασιών και για τις δύο μεθόδους, μπορούμε να προχωρήσουμε στο ζητούμενο της εργασίας που είναι η **σύγκριση των μεθόδων αυτών**.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα **openLCA**, μας δίνει την δυνατότητα να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για της δύο τεχνολογίες. Η σύγκριση γίνεται με βάση τα αποτελέσματα των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν και στην επιμέρους ανάλυση δηλαδή, πρόκειται για τους ILCD, Eco-indicator 99 (E), ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]. Πρωτίστως όπως και παραπάνω θα συγκριθούν τα αποτελέσματα της ILCD.

6.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ILCD

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους με την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης για τον αλγόριθμο ILCD. Το Option1 αφορά την Κομποστοποίηση και το Option2 τη Αναερόβια Χώνευση.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους επεξεργασίας στερεών αποβλήτων.

Παρατηρούμε πως σε όλες τις κατηγορίες εκτός αυτών που αφορούν την εξάντληση των πόρων, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της αναερόβιας χώνευσης είναι πολύ μικρότερο της κομποστοποίησης.

Όσον αφορά τη την εξάντληση των πόρων η πλάστιγγα κλείνει οριακά υπέρ της αναερόβιας χώνευσης.

Οι μονάδες μέτρησης που παρουσιάζονται παρακάτω ορίζονται ως εξής: Η μονάδα μέτρησης species*year αντιστοιχεί σε δυνητικά εξαφανισμένο κλάσμα ειδών, η μονάδα μέτρησης DALY είναι το αρκτικόλεξο Disability Adjusted Life Years δηλαδή προσαρμοσμένα έτη αναπηρίας και η μονάδα (\$) δηλώνει το πλεονασματικό κόστος (Διάγραμμα 6.1).

*Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης Και Αναερόβιας Χώνευσης
Με Τεχνικές Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Εστιάζοντας Στο Ενεργειακό
Και Περιβαλλοντικό Τους Αποτύπωμα*

openLCA 1.10.3

File Database Tools Help

*Comparison of waste management methods Report viewer

LCIA Results

This table shows the LCIA results of the project variants. Each selected LCIA category is displayed in the rows and the project variants in the columns. The unit is the unit of the LCIA category as defined in the LCIA method.

Indicator	Option1	Option2	Unit
Ecosystems - Climate change	5.46573e-5	1.95624e-10	species*year
Ecosystems - total	5.46573e-5	1.95624e-10	species*year
Human health - total	9.66234e-3	5.67282e-7	DALY
Human health - Climate change	9.66164e-3	3.45800e-8	DALY
Human health - Particulate matter/Respiratory inorganics	5.88268e-7	5.31531e-7	DALY
Human health - Photochemical ozone formation	1.10181e-7	1.17186e-9	DALY
Resource depletion - Mineral, fossils and renewables (ReCiPe 1.05)	4.11649e+2	4.70648e+2	\$
Resource depletion - Mineral, fossils and renewables (ReCiPe 1.11)	4.03750e+0	4.60290e+0	\$

Report view

openLCA 1.10.3

File Database Tools Help

*Comparison of waste management methods Report viewer

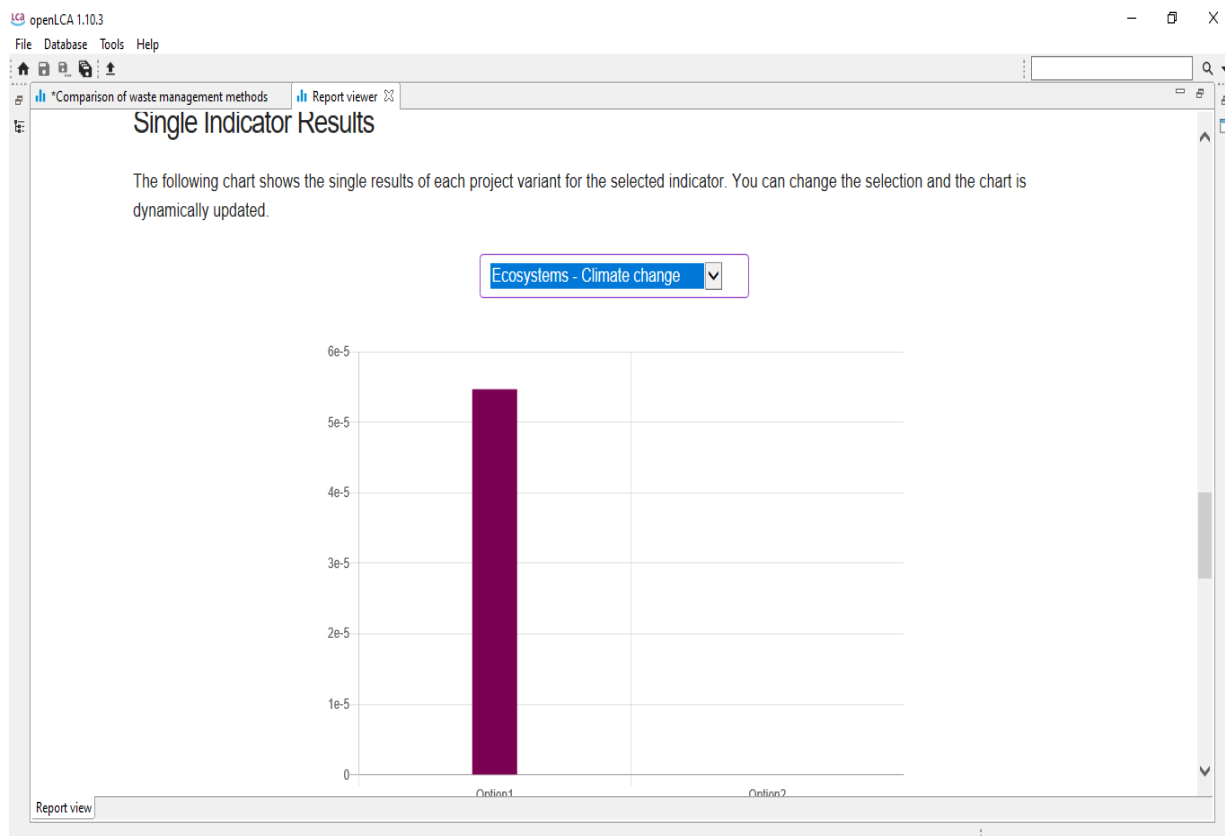
Indicator	Option1	Option2	Unit
Ecosystems - Climate change	5.46573e-5	1.95624e-10	species*year
Ecosystems - total	5.46573e-5	1.95624e-10	species*year
Human health - total	9.66234e-3	5.67282e-7	DALY
Human health - Climate change	9.66164e-3	3.45800e-8	DALY
Human health - Particulate matter/Respiratory inorganics	5.88268e-7	5.31531e-7	DALY
Human health - Photochemical ozone formation	1.10181e-7	1.17186e-9	DALY
Resource depletion - Mineral, fossils and renewables (ReCiPe 1.05)	4.11649e+2	4.70648e+2	\$
Resource depletion - Mineral, fossils and renewables (ReCiPe 1.11)	4.03750e+0	4.60290e+0	\$
Resource depletion - total (ReCiPe 1.05)	4.11649e+2	4.70648e+2	\$
Resource depletion - total (ReCiPe 1.11)	4.03750e+0	4.60290e+0	\$

Report view

Διάγραμμα 6.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ILCD

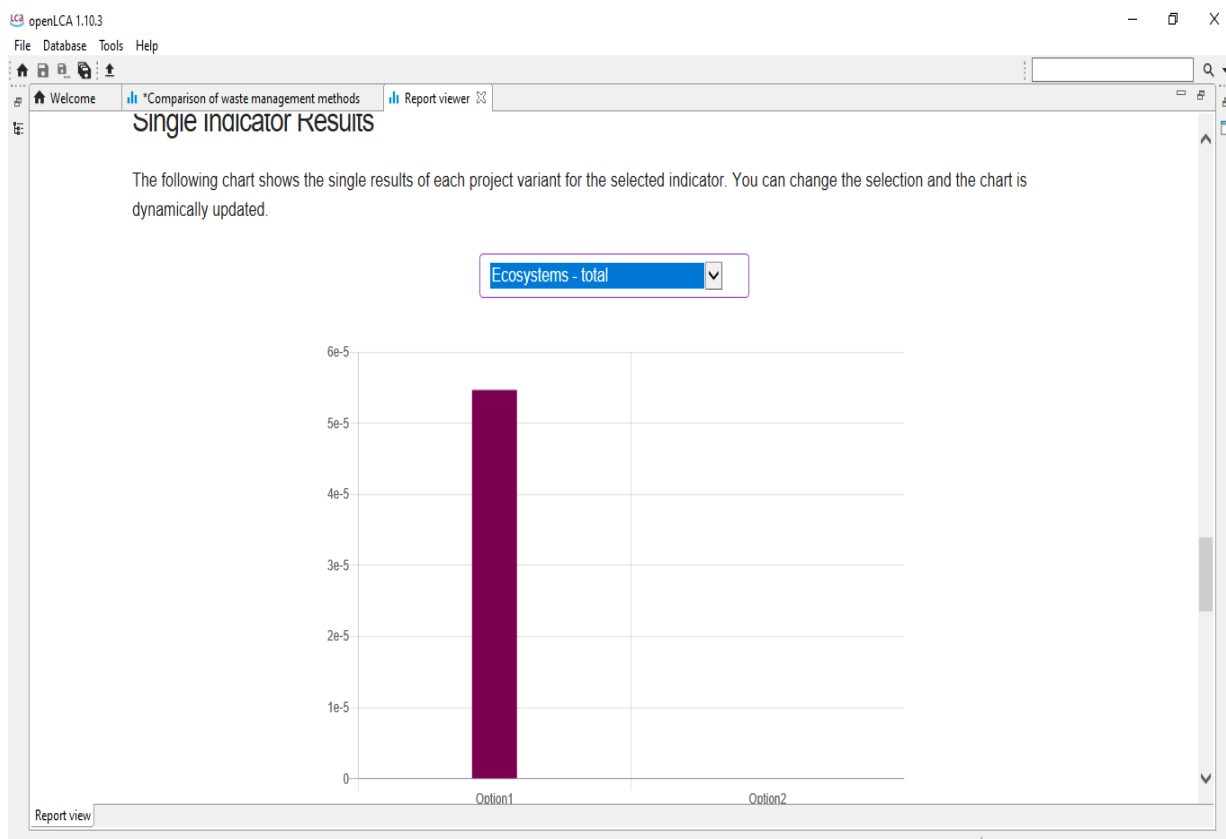
Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των μεθόδων στο οικοσύστημα μέσα από την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.2). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 65 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και **280000** φορές μεγαλύτερη ποσότητα μεθανίου από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή.



Διάγραμμα 6.2 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Πρόκληση Της Κλιματικής Αλλαγής

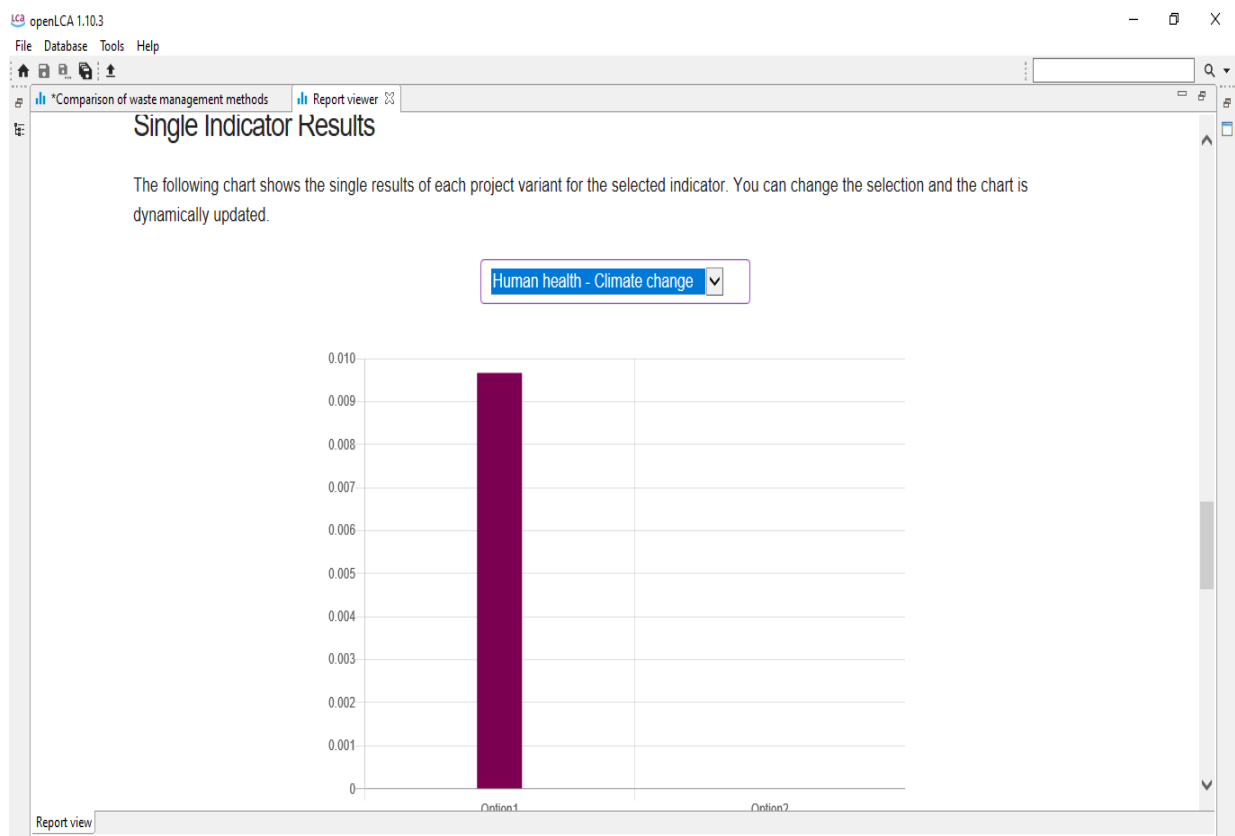
Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα συνολικά. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι και οι δύο μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων επηρεάζουν το οικοσύστημα μονάχα μέσω της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής. Ο αλγόριθμος μας υποδεικνύει πως οι μέθοδοι που μελετούμε δεν επηρεάζουν το οικοσύστημα μέσω της οξίνισης των ωκεανών ή του ευτροφισμού των γλυκών νερών (Διάγραμμα 6.3).



Διάγραμμα 6.3 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά

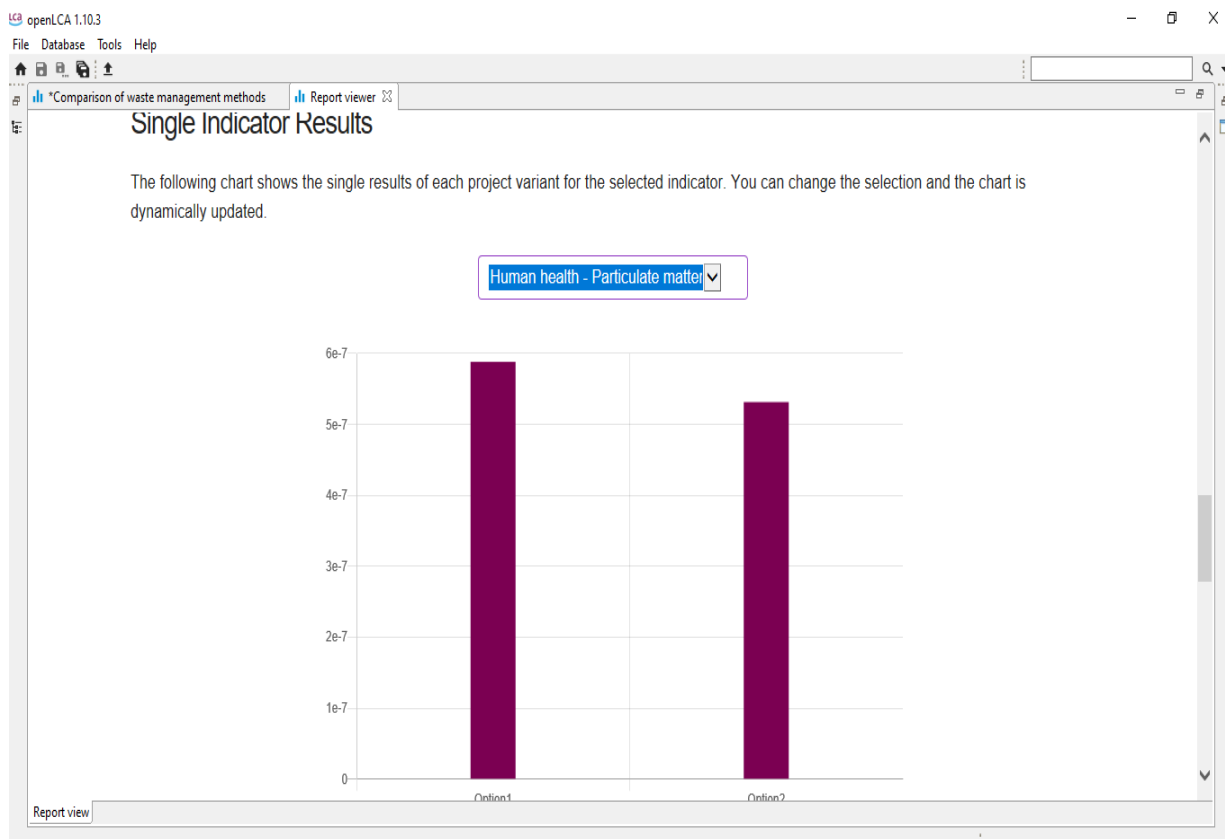
Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.4.). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 65 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και **280000** φορές μεγαλύτερη ποσότητα μεθανίου, από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή και κατά συνέπεια για την επίπτωση αυτής στην ανθρώπινη υγεία.



Διάγραμμα 6.4 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

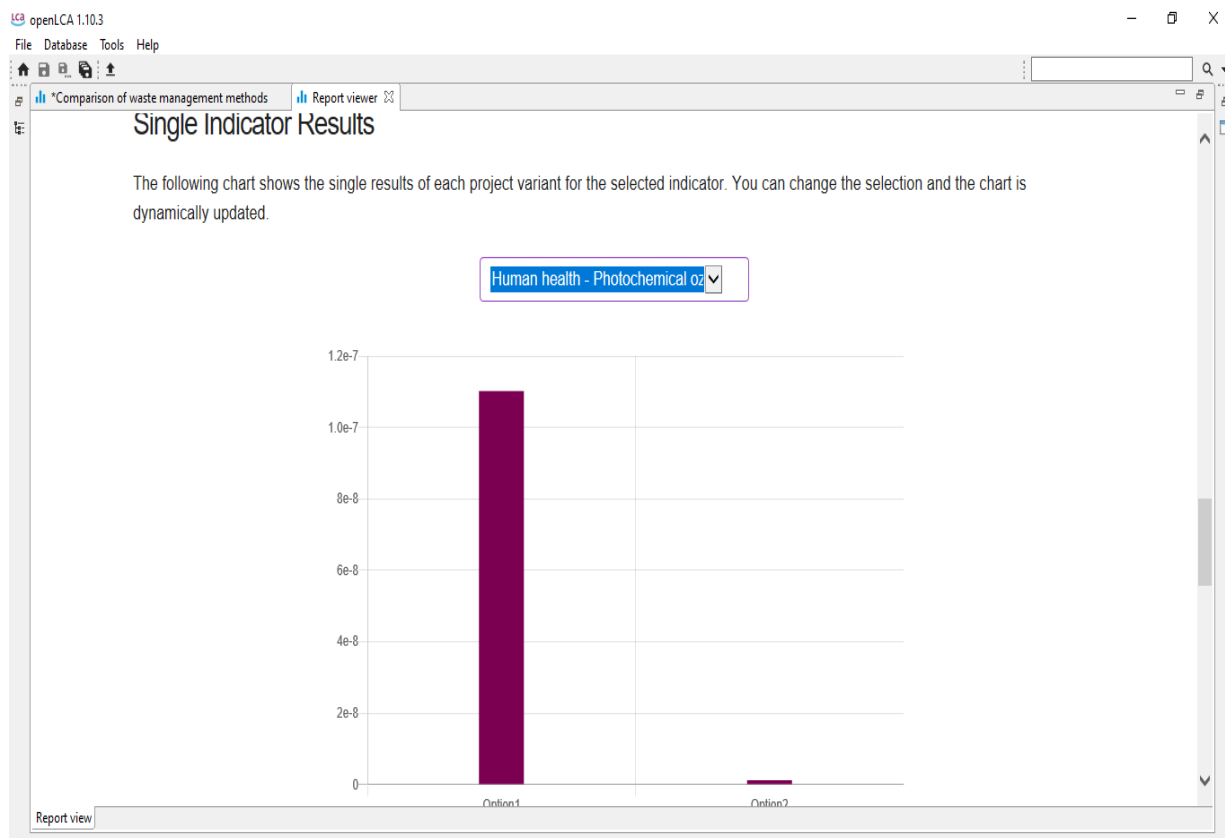
Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της εισπνοής ανόργανων σωματιδίων. Παρατηρούμε πως την οριακά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.5). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται περίπου 1,04 φορές μεγαλύτερη ποσότητα σωματιδίων, από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης.



Διάγραμμα 6.5 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω του σχηματισμού φωτοχημικού νέφους.

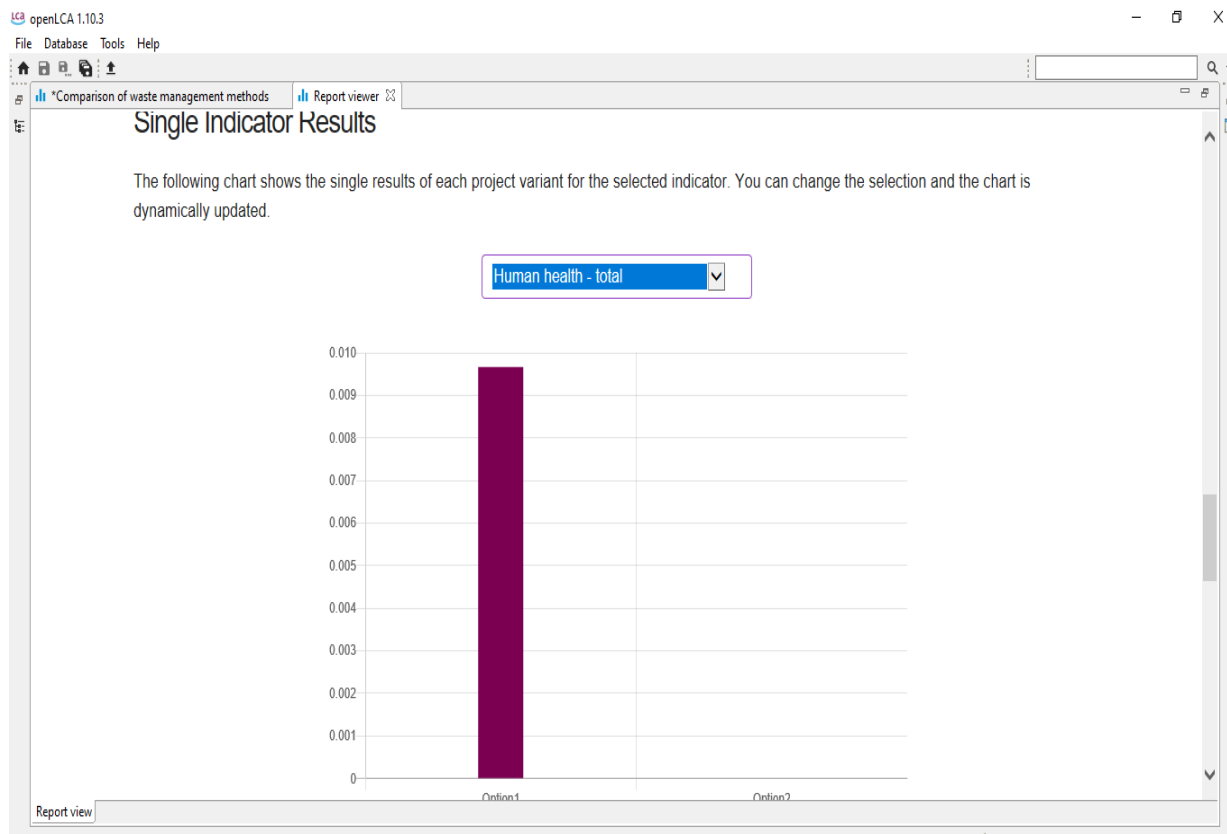
Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.6). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύονται πολύ μεγαλύτερες ποσότητες VOC (συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου), από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Τα VOC είναι από τους κύριους παράγοντες που προκαλούν τον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους όταν εκτίθενται στο φως του ήλιου.



Διάγραμμα 6.6 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας.

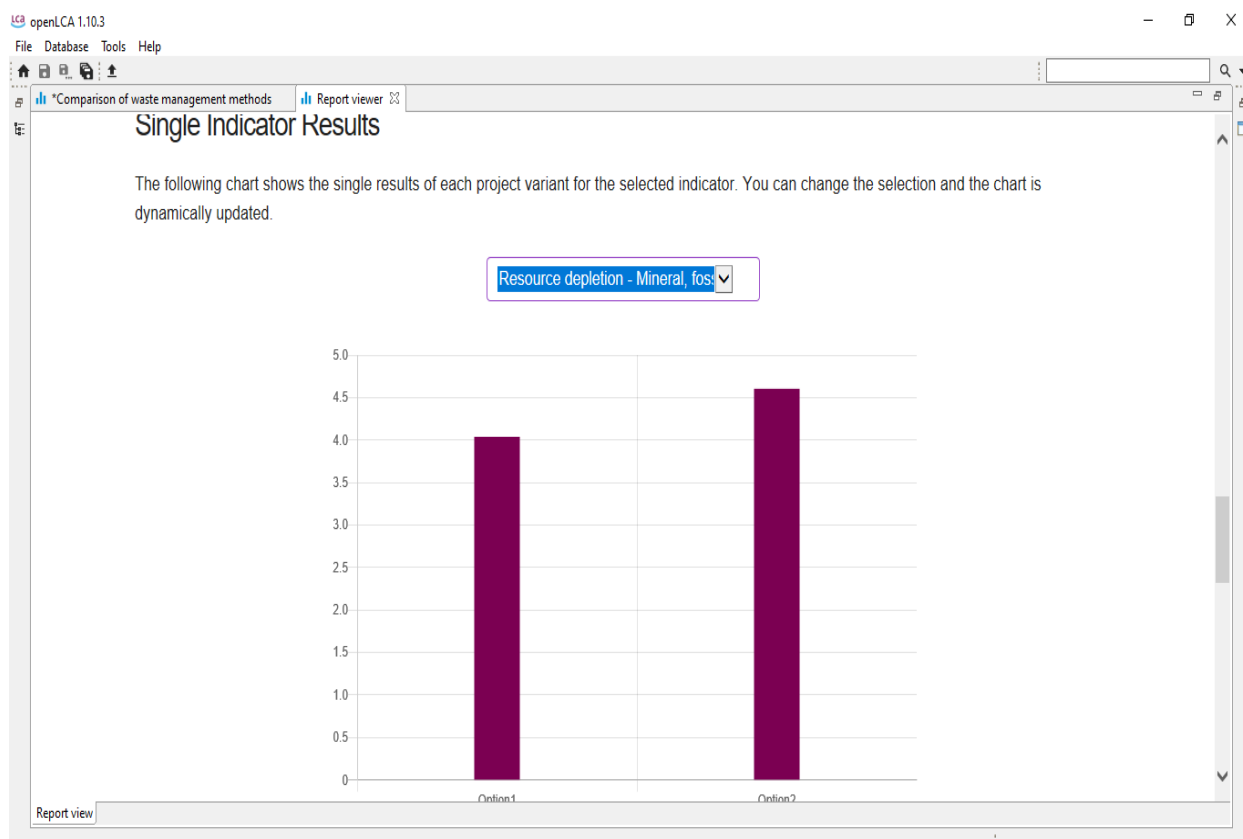
Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η μέθοδος της κομποστοποίησης. Λογικό αποτέλεσμα αφού όπως φάνηκε στις γραφικές παραστάσεις των δύο από εκ των τριών κατηγοριών επίπτωσης στην ανθρώπινη υγεία, μεγαλύτερη επίδραση σε αυτές έχει η κομποστοποίηση (Διάγραμμα 6.7).



Διάγραμμα 6.7 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.11.

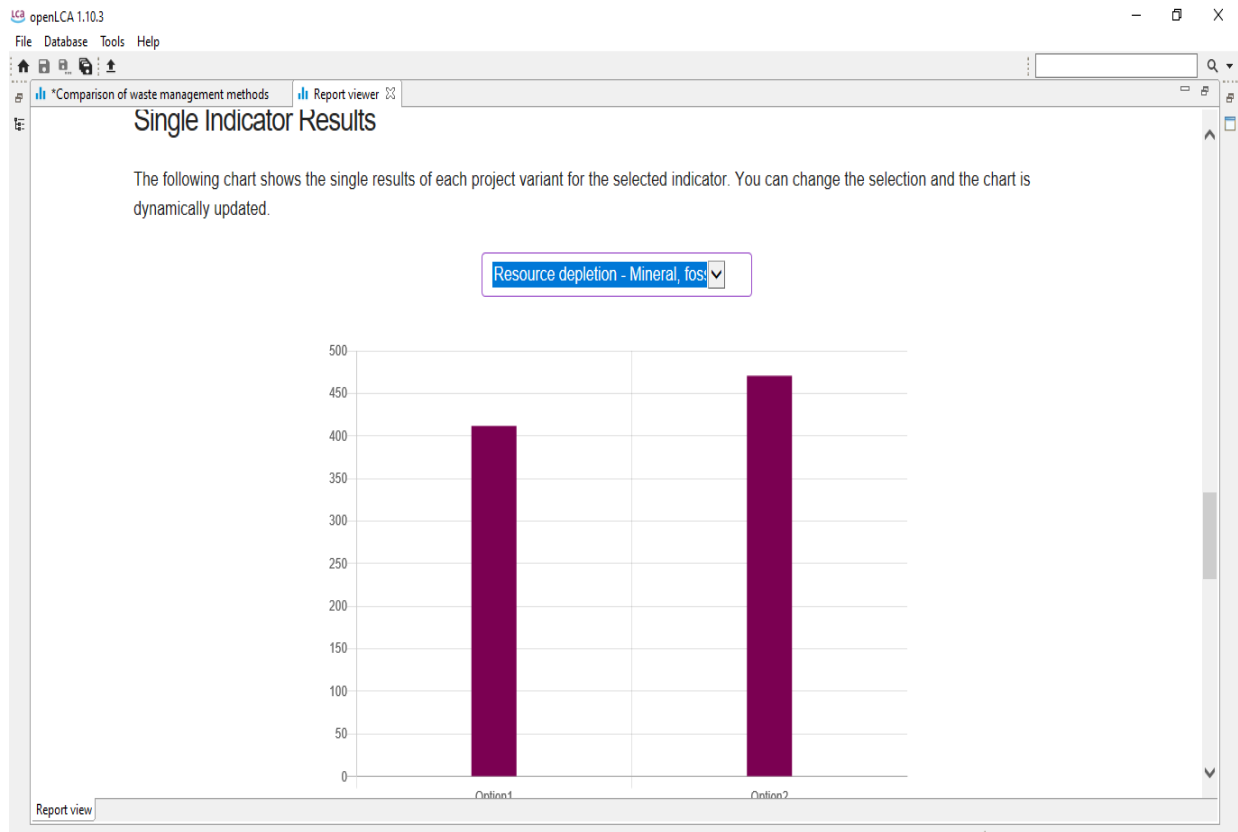
Παρατηρούμε πως την οριακά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.8). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της αναερόβιας χώνευσης καταναλώνεται 1,2 φορές περισσότερη ενέργεια, από ότι καταναλώνεται κατά τις διαδικασίες της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.8 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Η όγδοη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.05. Παρατηρούμε πως την οριακά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.9). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της αναερόβιας χώνευσης

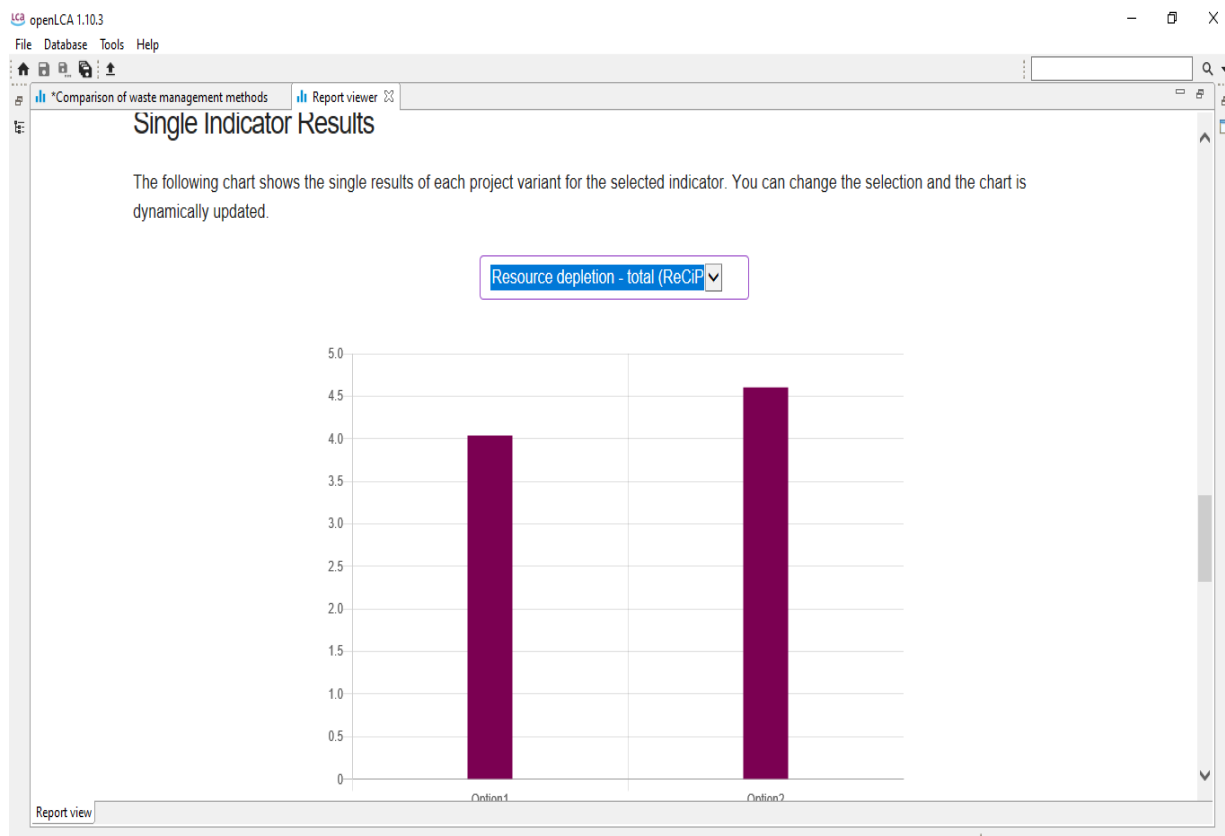
καταναλώνεται 1,2 φορές περισσότερη ενέργεια, από ότι καταναλώνεται κατά τις διαδικασίες της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.9 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe 1.05 – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Η ένατη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.11.

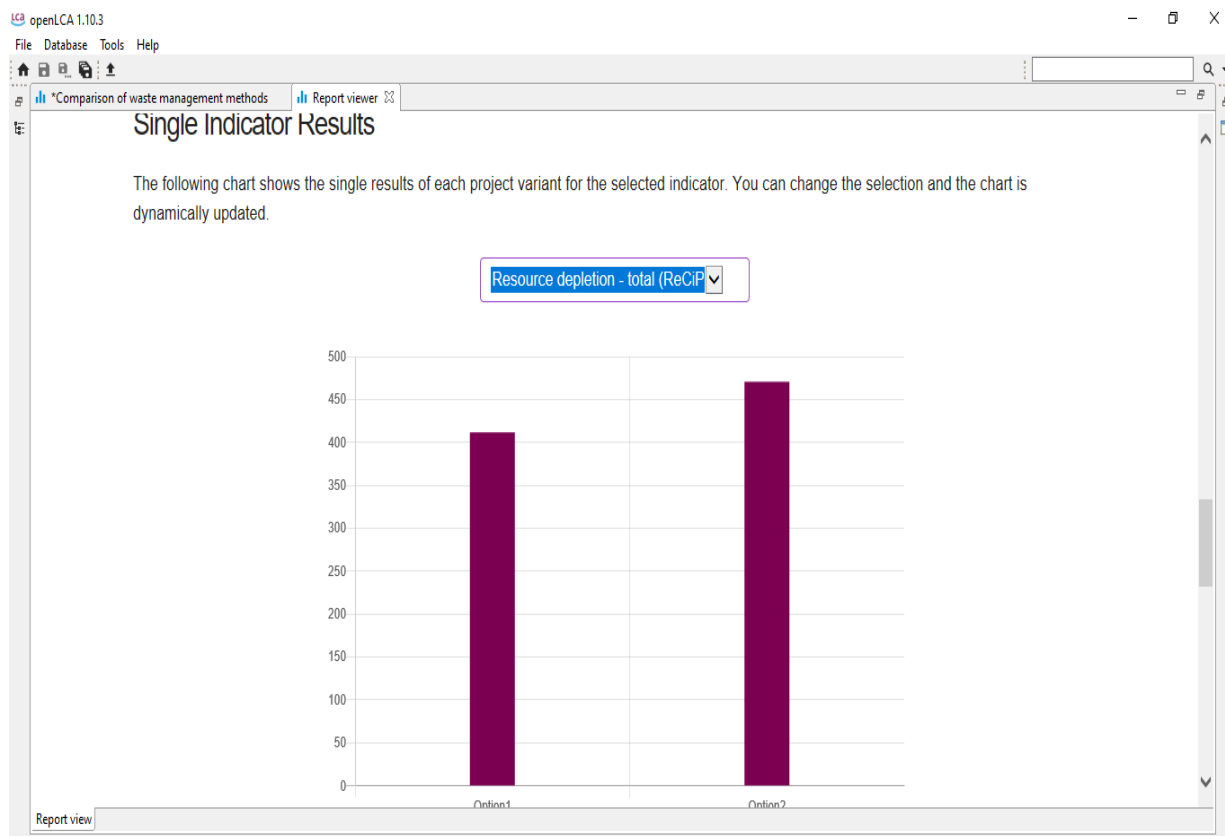
Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι και οι δύο μέθοδοι καταναλώνουν αποκλειστικά ορυκτούς και ανανεώσιμους πόρους (Διάγραμμα 6.10).



Διάγραμμα 6.10 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe 1.11 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων

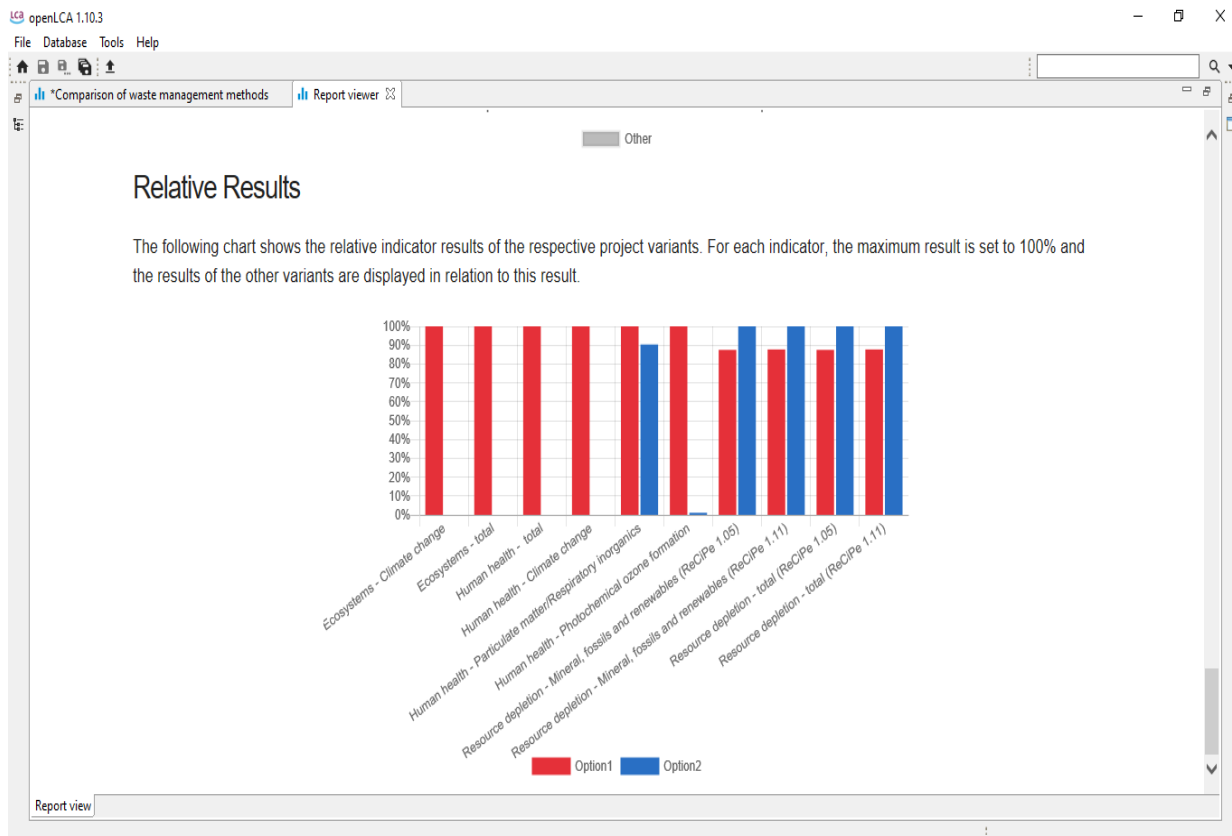
Η δέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.05.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι και οι δύο μέθοδοι καταναλώνουν αποκλειστικά ορυκτούς και ανανεώσιμους πόρους (Διάγραμμα 6.11).



Διάγραμμα 6.11 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe 1.05 – Εξάντληση Συνόλου Πόρων

Στην εντέκατη και τελική παράσταση παρουσιάζεται η σύγκριση όλων των επιμέρους κατηγοριών (Διάγραμμα 6.12).



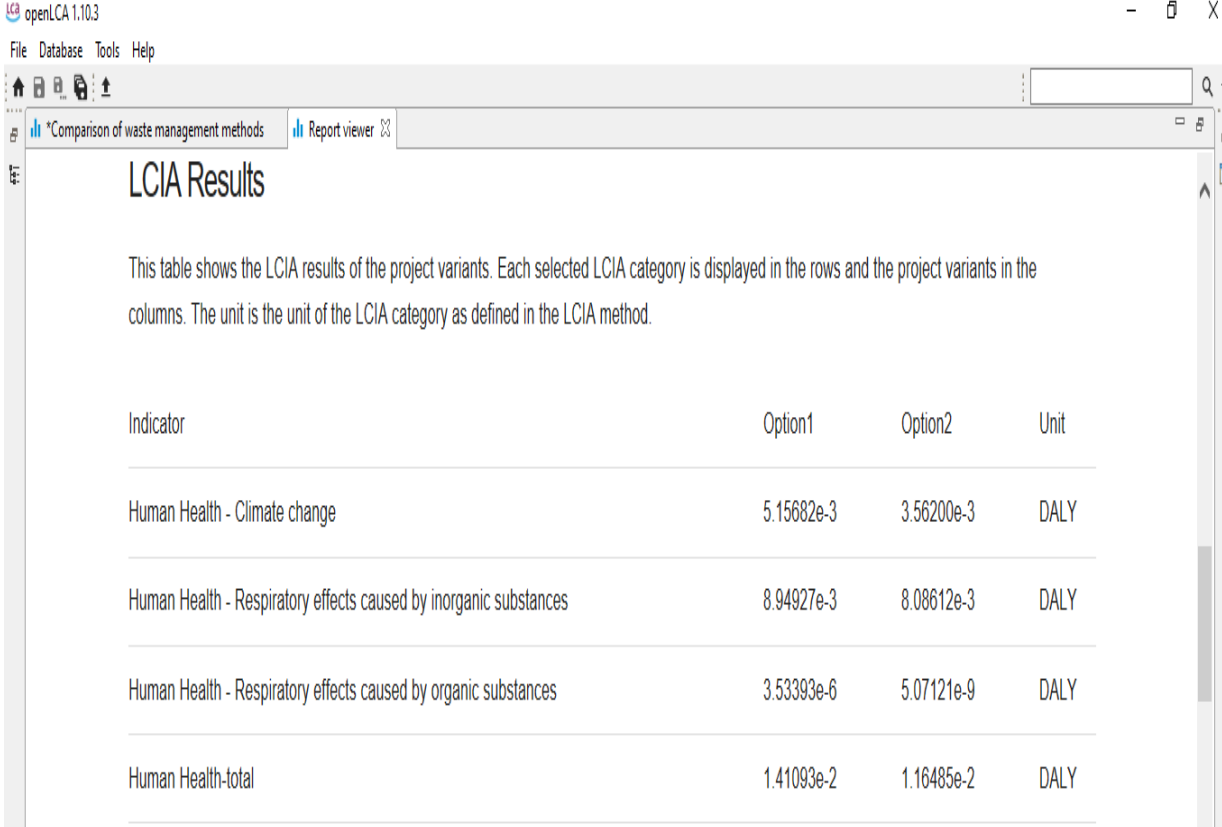
Διάγραμμα 6.12 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD – Συνολική Σύγκριση

6.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E)

Εν συνεχεία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους με την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης για τον αλγόριθμο eco-indicator 99 (E). Το Option1 αφορά την κομποστοποίηση και το Option2 τη αναερόβια χώνευση.

Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους επεξεργασίας στερεών αποβλήτων. Παρατηρούμε πως σε όλες τις κατηγορίες, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της αναερόβιας χώνευσης είναι πολύ μικρότερο της κομποστοποίησης.

Η μονάδα μέτρησης των αποτελεσμάτων είναι το DALY, πρόκειται για το αρκτικόλεξο Disability Adjusted Life Years δηλαδή προσαρμοσμένα έτη αναπηρίας (Διάγραμμα 6.13)



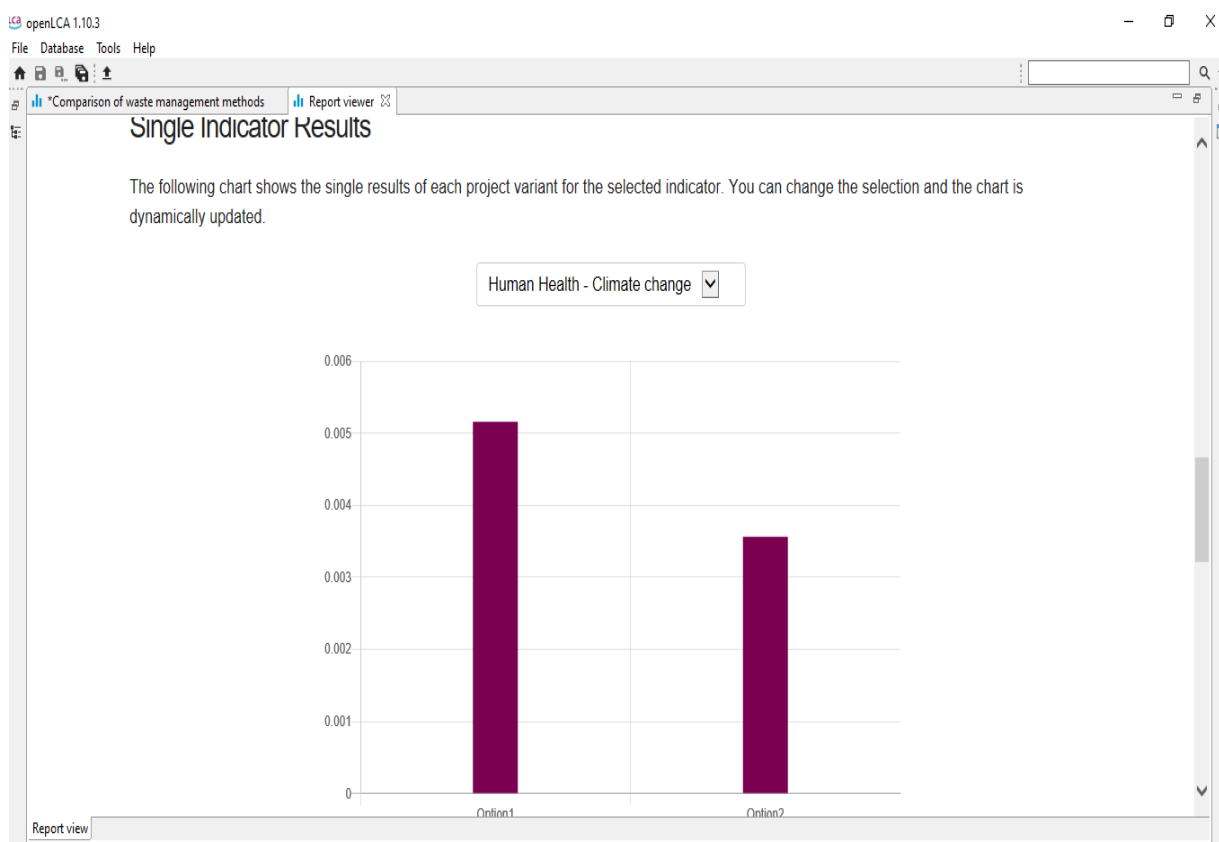
The screenshot shows the 'LCIA Results' window in openLCA 1.10.3. The window title is '*Comparison of waste management methods' and 'Report viewer'. The table displays the following data:

Indicator	Option1	Option2	Unit
Human Health - Climate change	5.15682e-3	3.56200e-3	DALY
Human Health - Respiratory effects caused by inorganic substances	8.94927e-3	8.08612e-3	DALY
Human Health - Respiratory effects caused by organic substances	3.53393e-6	5.07121e-9	DALY
Human Health-total	1.41093e-2	1.16485e-2	DALY

Διάγραμμα 6.13. Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E)

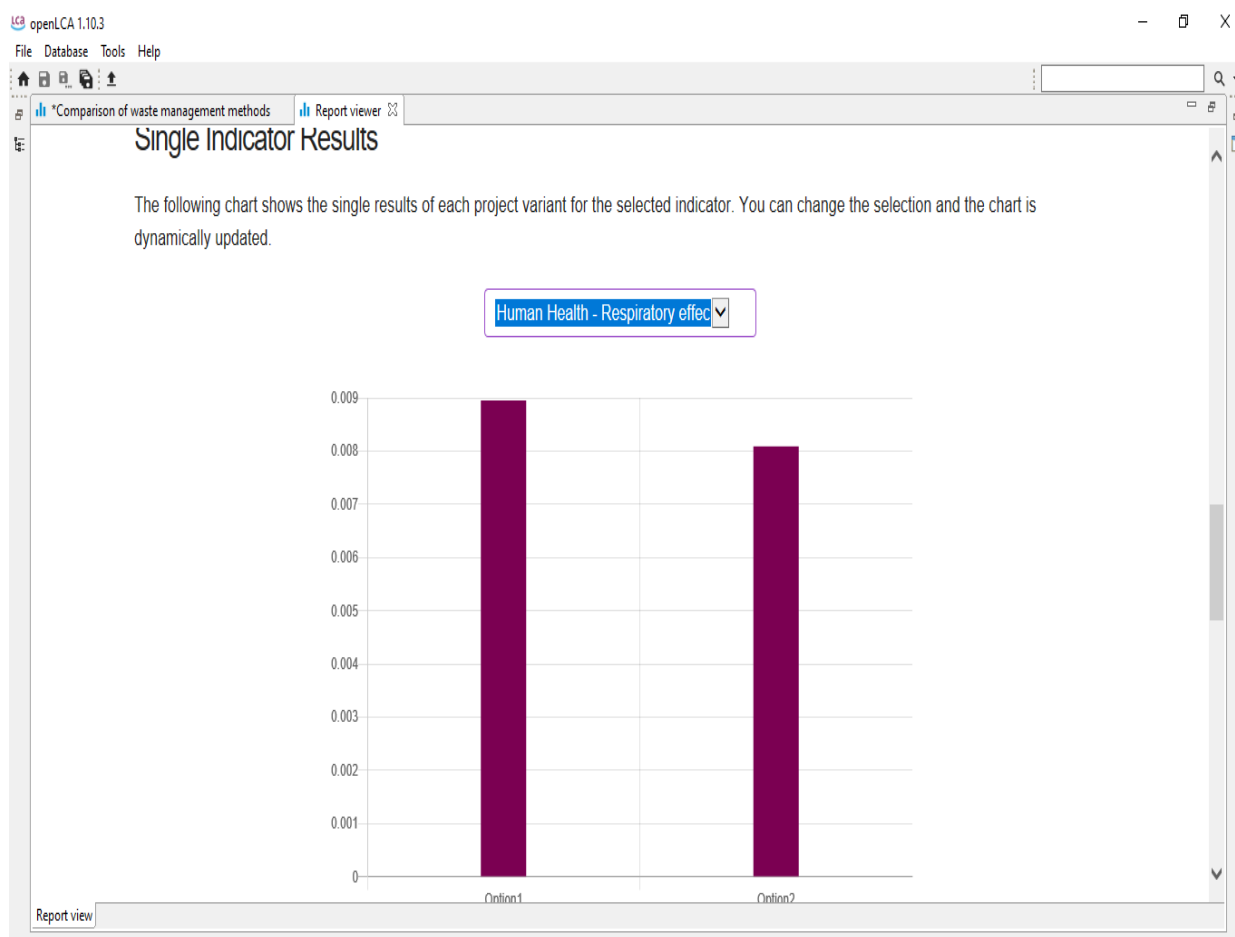
Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.14). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 65 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένας από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή.



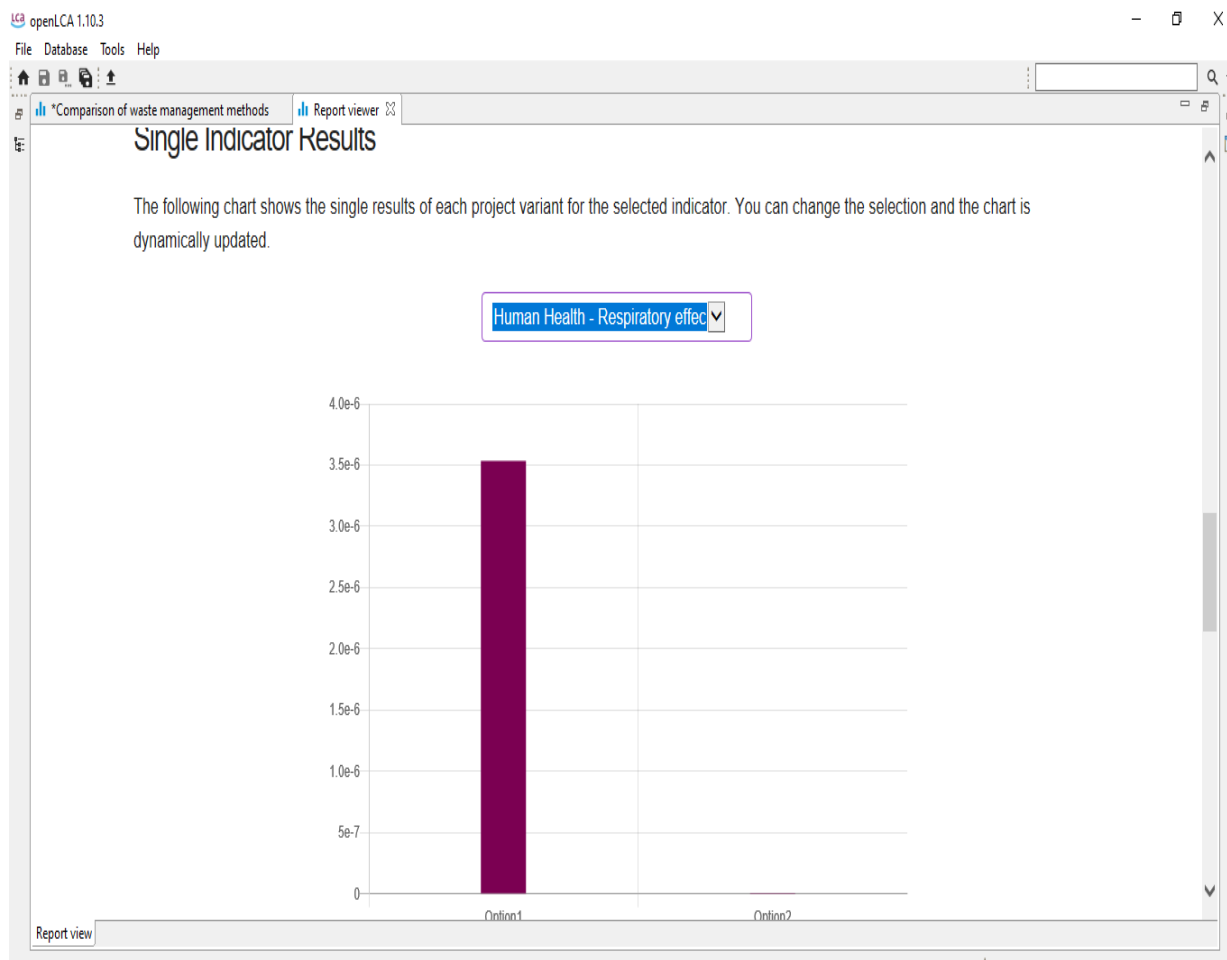
**Διάγραμμα 6.14 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E)
– Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής**

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από ανόργανες ενώσεις. Παρατηρούμε πως την οριακά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.15). Αναμενόμενο αποτέλεσμα, παρά το γεγονός ότι κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης εκλύεται ασυγκρίτως μεγαλύτερη ποσότητα αμμωνίας, διότι στο σύνολο των διαδικασιών της αναερόβιας χώνευσης εκλύονται μεγαλύτερες ποσότητες από όλους τους υπόλοιπους ανόργανους ρύπους. Για παράδειγμα στο σύνολο των διαδικασιών της μεθοδολογίας της αναερόβιας χώνευσης παράγεται δέκα φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του θείου, υδροχλωρίου, υδροθωρίου και υδρόθειου.



**Διάγραμμα 6.15 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E)
– Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων**

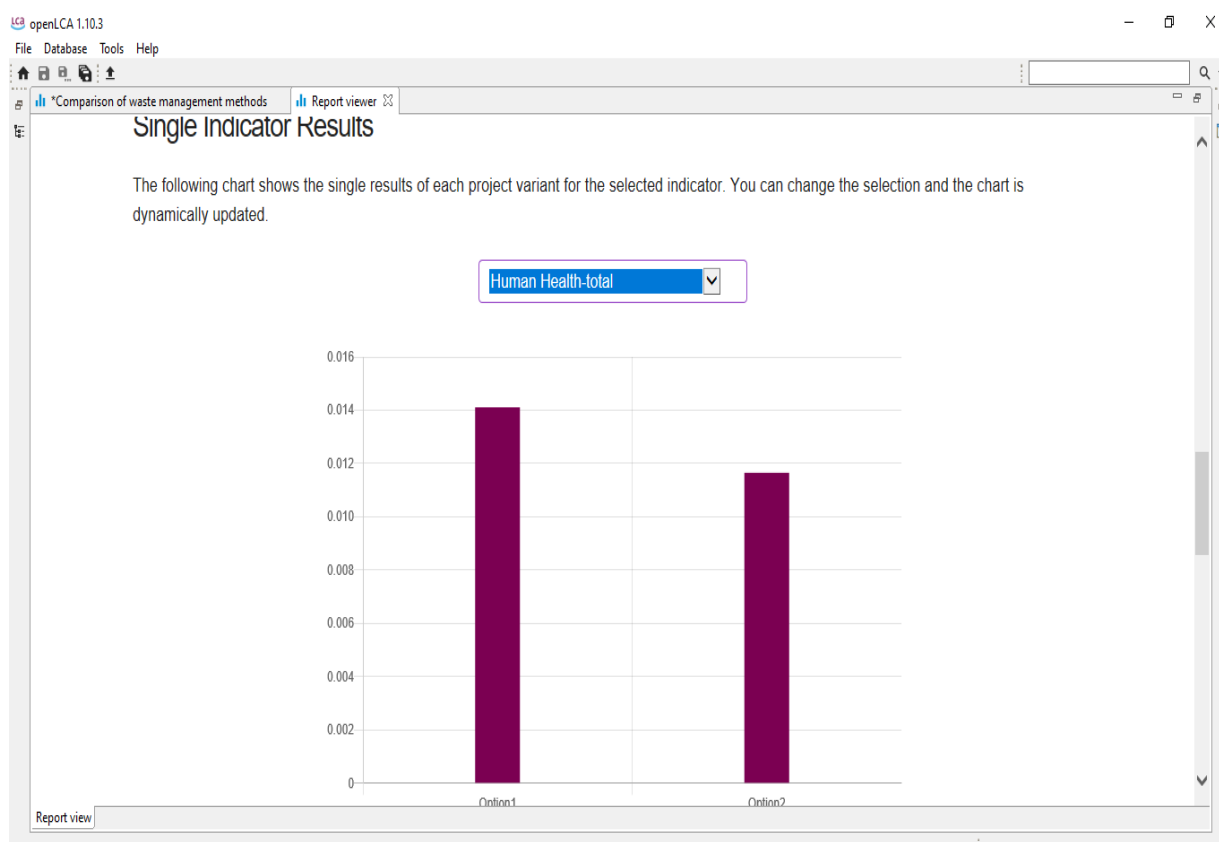
Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από οργανικές ενώσεις. Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.16). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 65 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και **280000** φορές μεγαλύτερη ποσότητα μεθανίου, από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς οργανικούς ρύπους.



Διάγραμμα 6.16 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Οργανικών Σωματιδίων

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.17). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς η κομποστοποίηση είχε την μεγαλύτερη συνεισφορά σε όλες τις παραπάνω κατηγορίες.



Διάγραμμα 6.17 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Στην πέμπτη και τελική παράσταση παρουσιάζεται η σύγκριση όλων των επιμέρους κατηγοριών (Διάγραμμα 6.18).



Διάγραμμα 6.18 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος eco-indicator 99 (E) – Συνολική Σύγκριση

6.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]

Εν κατακλείδι παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για της δύο μεθόδους με την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης για τον αλγόριθμο ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014].

Το Option1 αφορά την κομποστοποίηση και το Option2 τη αναερόβια χώνευση.

Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους επεξεργασίας στερεών αποβλήτων. Παρατηρούμε πως σε όλες τις κατηγορίες εκτός αυτής που αφορά στην ανθρώπινη υγεία μέσα από τη τοξικότητα των ρύπων, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της αναερόβιας χώνευσης είναι πολύ μικρότερο της κομποστοποίησης.

Οι μονάδες μέτρησης που παρουσιάζονται παρακάτω ορίζονται ως εξής. Η μονάδα μέτρησης species*year αντιστοιχεί σε απώλεια ειδών συναρτήσει του χρόνου και η μονάδα μέτρησης DALY που είναι το αρκτικόλεξο Disability Adjusted Life Years δηλαδή προσαρμοσμένα έτη αναπηρίας (Διάγραμμα 6.19).

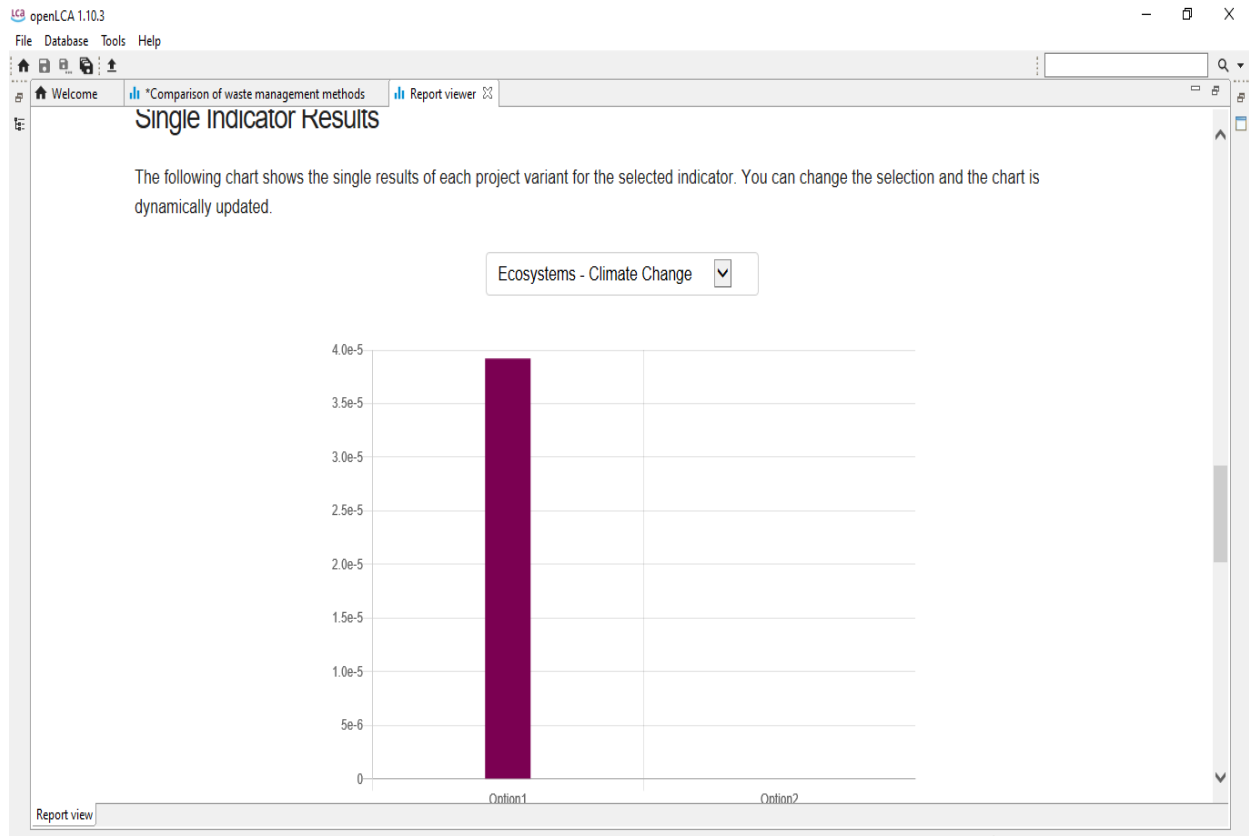
The screenshot shows the 'Report viewer' window in openLCA 1.10.3. The main content is a table titled 'LCIA Results' which displays the results for 'Human Health-total' in DALY units. The table compares two options (Option1 and Option2) across several indicators. The unit for all indicators is DALY.

Indicator	Option1	Option2	Unit
Ecosystems - Climate Change	3.91986e-5	1.40296e-10	species.yr
Ecosystems-total	3.91986e-5	1.40296e-10	species.yr
Human Health - Climate Change	7.37045e-3	2.63796e-8	DALY
Human Health - Human toxicity	4.58763e-7	4.38080e-6	DALY
Human Health - Photochemical oxidant formation	1.10181e-7	1.17186e-9	DALY
Human Health-total	7.37091e-3	4.40835e-6	DALY

Διάγραμμα 6.19 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.20). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 65 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και **280000** φορές φορές μεγαλύτερη ποσότητα μεθανίου από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή.

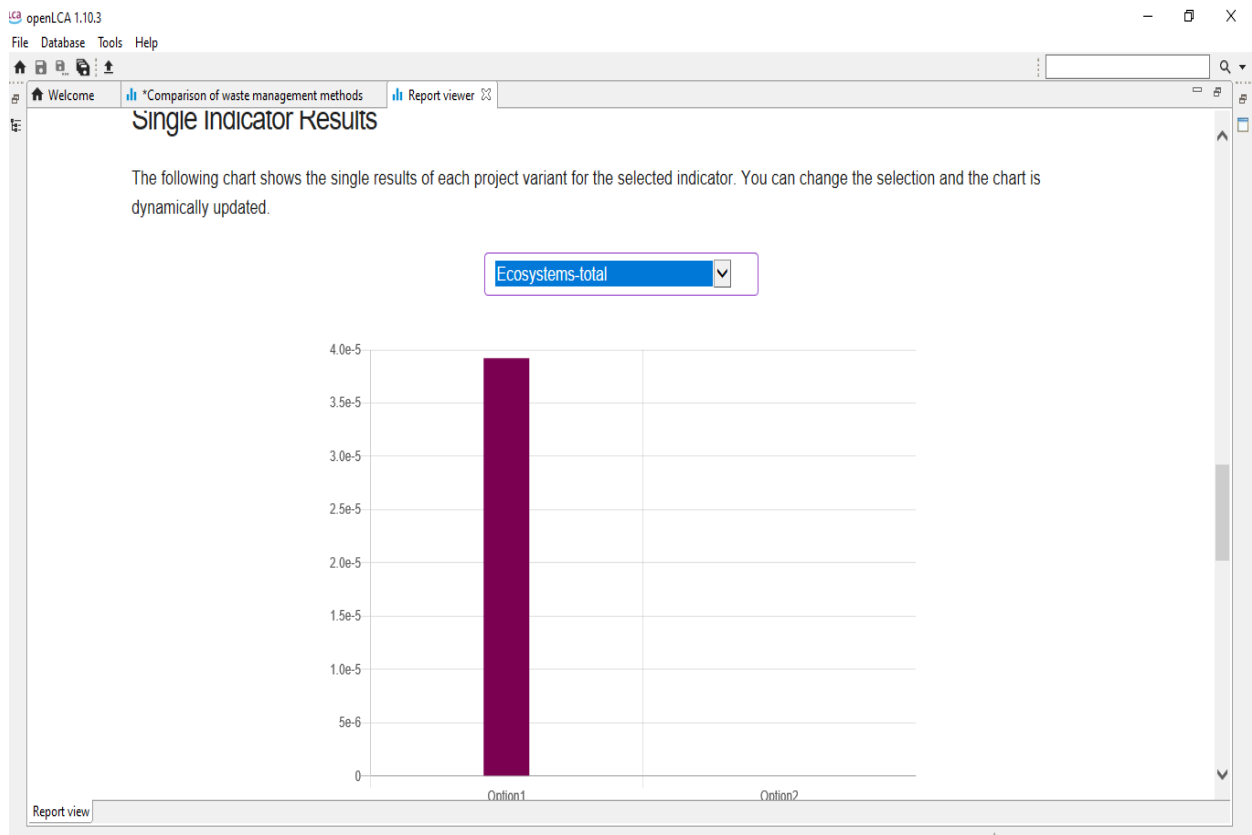


Διάγραμμα 6.20 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα συνολικά.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι και οι δύο μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων επηρεάζουν το οικοσύστημα μονάχα μέσω της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής.

Ο αλγόριθμος μας υποδεικνύει πως οι μέθοδοι που μελετούμε δεν επηρεάζουν το οικοσύστημα μέσω της οξίνισης των ωκεανών ή του ευτροφισμού των γλυκών νερών (Διάγραμμα 6.21).

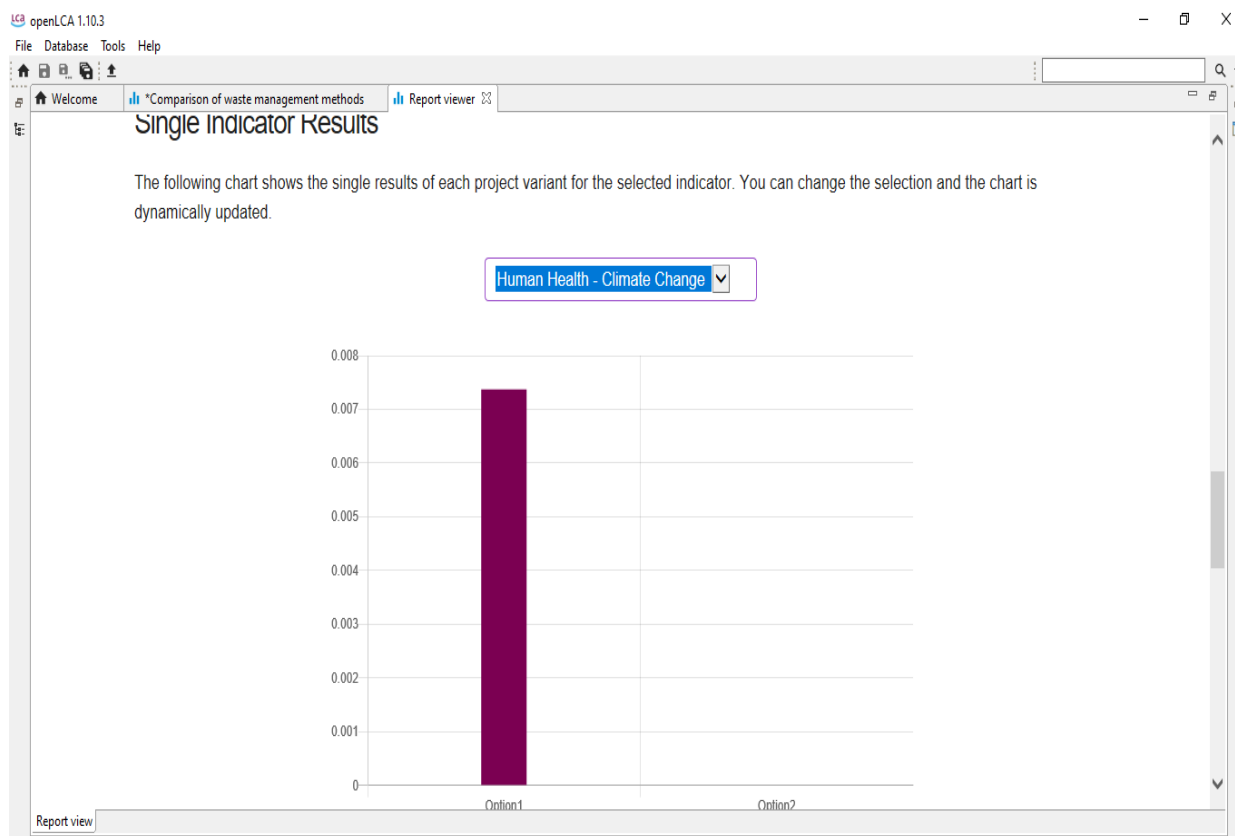


Διάγραμμα 6.21 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση στο Οικοσύστημα Συνολικά

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.22). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 65 φορές μεγαλύτερη ποσότητα

διοξειδίου του άνθρακα και **280000** φορές φορές μεγαλύτερη ποσότητα μεθανίου από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή και κατά συνέπεια για την επίπτωση αυτής στην ανθρώπινη υγεία.

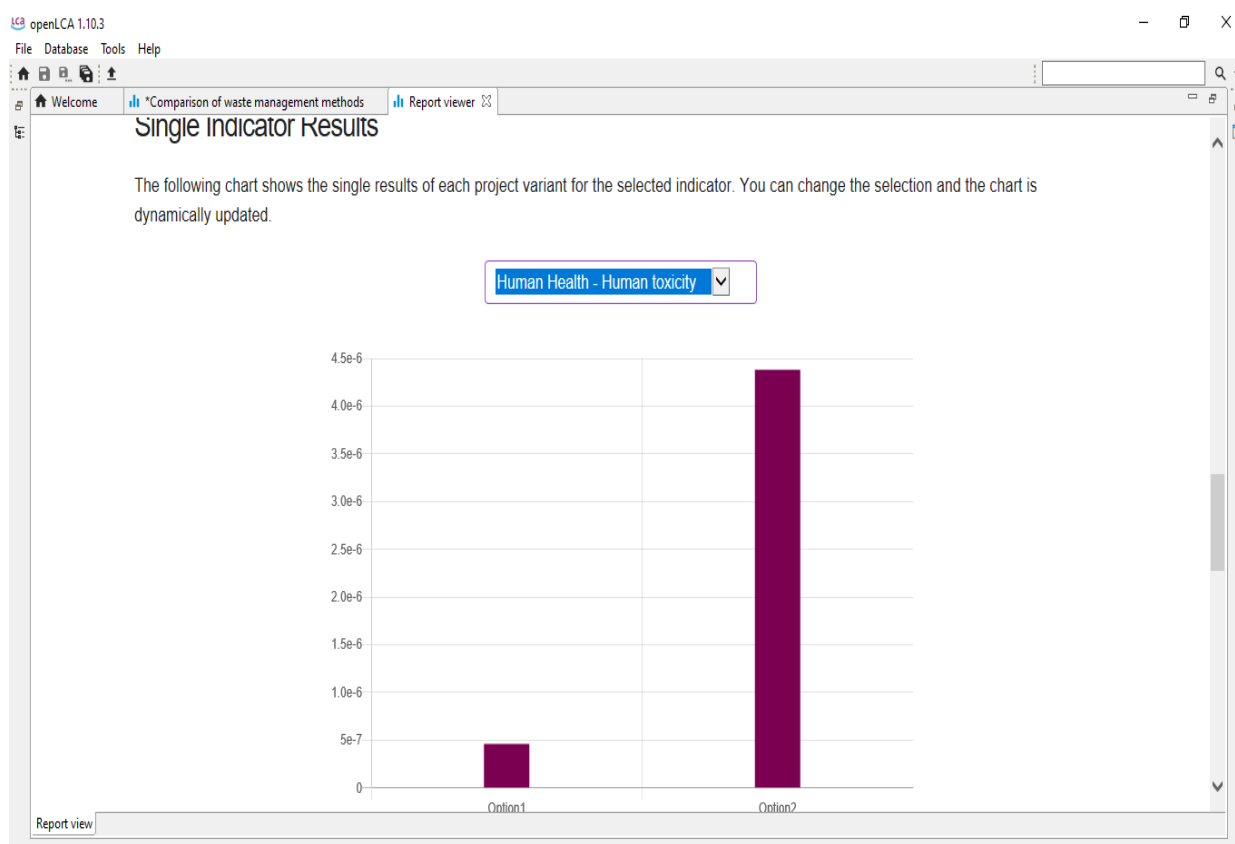


Διάγραμμα 6.22 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από τη τοξικότητα των ρύπων.

Η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης όπως φαίνεται και από τις γραφικές παραστάσεις που αφορούν την εξάντληση των πόρων, απαιτεί πολύ περισσότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

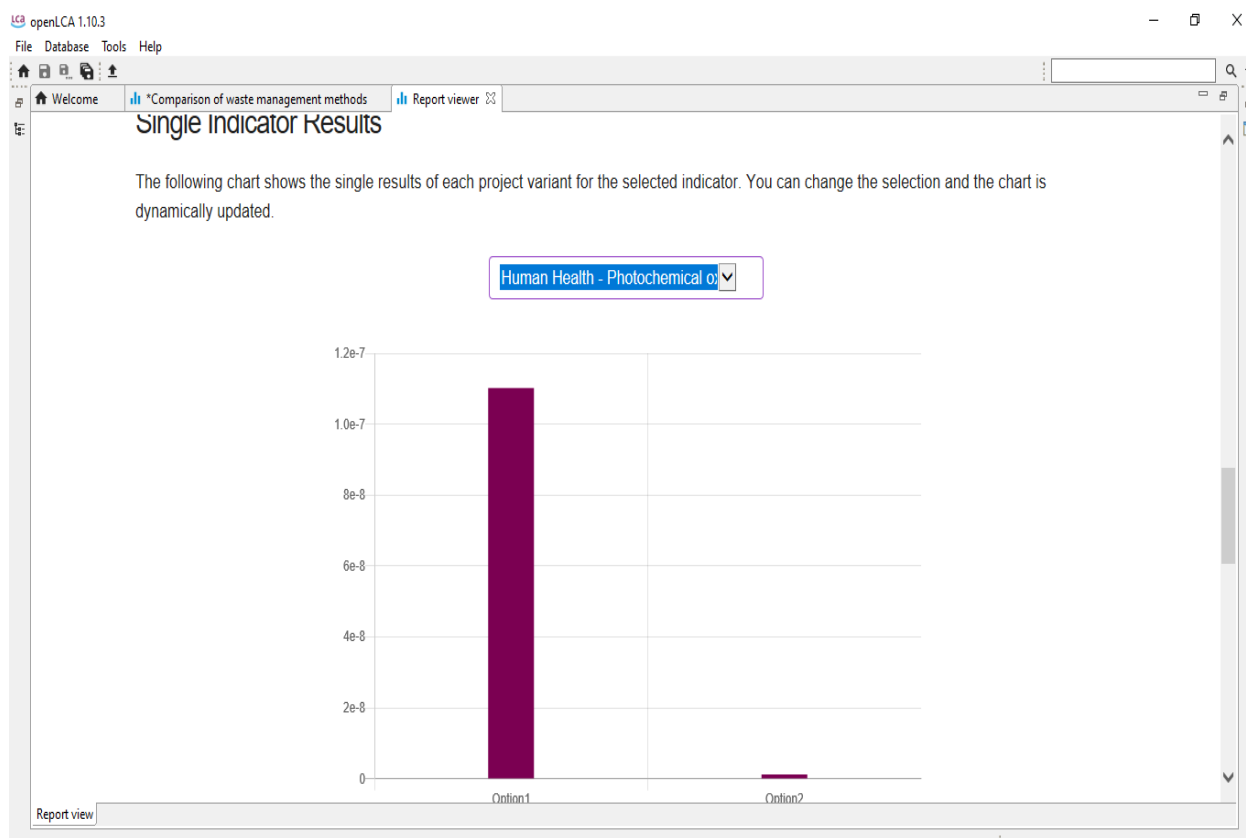
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αιτία παραγωγής τοξικών για την υγεία ρύπων για αυτό αναμενόμενα η αναερόβια χώνευση φαίνεται να έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση. Χαρακτηριστικά στο σύνολο των διαδικασιών της αναερόβιας χώνευση απελευθερώνονται δεκαπλάσιοι ρύποι υδροφθορίου υδροχλωρίου και υδρόθειου από ότι στη κομποστοποίηση. (Διάγραμμα 6.23).



Διάγραμμα 6.23 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Τη Τοξικότητα Των Ρύπων

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από το σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών.

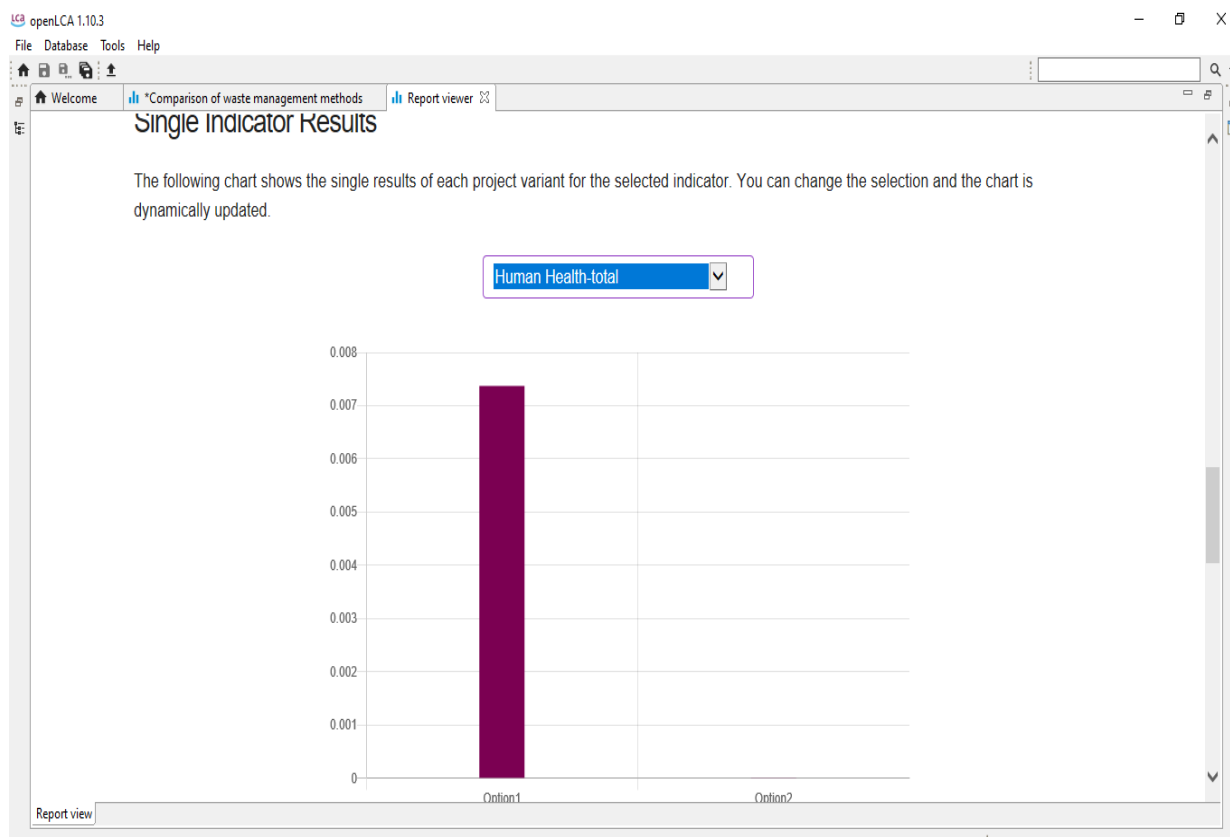
Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.24). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύονται πολύ μεγαλύτερες ποσότητες VOC (συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου), από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Τα VOC είναι από τους κύριους παράγοντες που προκαλούν τον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους όταν εκτίθενται στο φως του ήλιου.



Διάγραμμα 6.24 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Το Σχηματισμό Φωτοχημικών Οξειδωτικών

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.65). Λογικό αποτέλεσμα καθώς στις δύο από τις τρεις υποκατηγορίες η τεχνολογία της κομποστοποίησης είχε ασυγκρίτως μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία.



Διάγραμμα 6.25 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Στην έβδομη και τελική παράσταση παρουσιάζεται η σύγκριση όλων των επιμέρους κατηγοριών (Διάγραμμα 6.26).



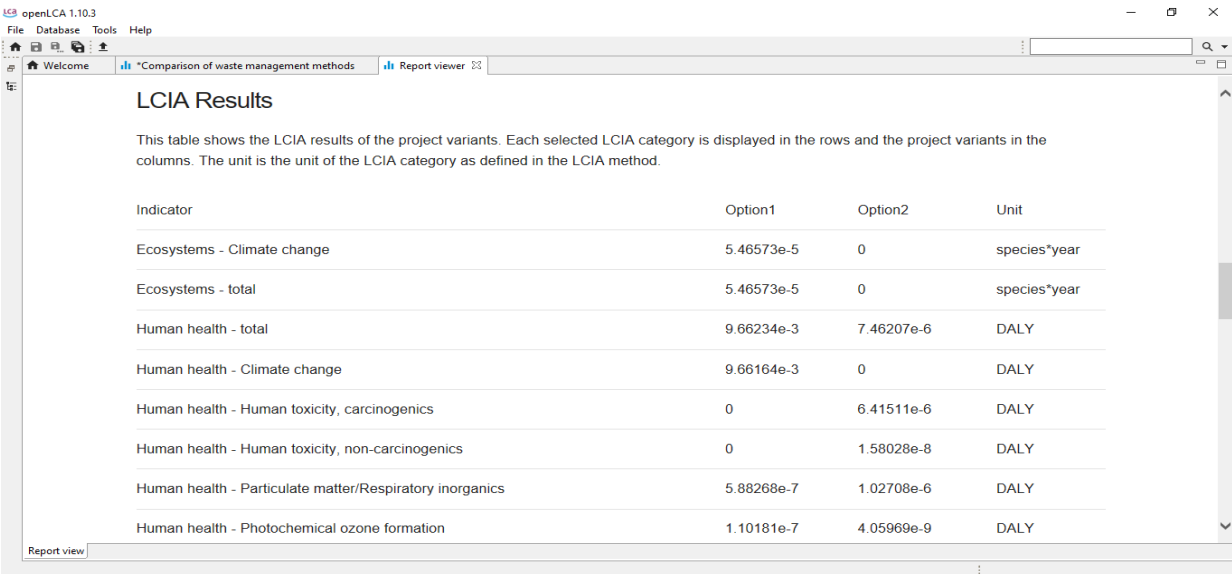
Διάγραμμα 6.26 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Συνολική Σύγκριση

6.4 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου)

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για της δύο μεθόδους με την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης για τον αλγόριθμο ILCD. Το Option1 αφορά την Κομποστοποίηση και το Option2 τη Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου).

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους επεξεργασίας στερεών αποβλήτων.

Οι μονάδες μέτρησης που παρουσιάζονται παρακάτω ορίζονται ως εξής. Η μονάδα μέτρησης species*year αντιστοιχεί σε δυνητικά εξαφανισμένο κλάσμα ειδών, η μονάδα μέτρησης DALY είναι το αρκτικόλεξο Disability Adjusted Life Years δηλαδή ,προσαρμοσμένα έτη αναπηρίας και η μονάδα (\$) δηλώνει το πλεονασματικό κόστος (Διάγραμμα 6.27).



The screenshot shows the 'Report viewer' window in openLCA 1.10.3. The title is 'LCIA Results'. Below the title, there is a descriptive text: 'This table shows the LCIA results of the project variants. Each selected LCIA category is displayed in the rows and the project variants in the columns. The unit is the unit of the LCIA category as defined in the LCIA method.' Below this text is a table with the following data:

Indicator	Option1	Option2	Unit
Ecosystems - Climate change	5.46573e-5	0	species*year
Ecosystems - total	5.46573e-5	0	species*year
Human health - total	9.66234e-3	7.46207e-6	DALY
Human health - Climate change	9.66164e-3	0	DALY
Human health - Human toxicity, carcinogenics	0	6.41511e-6	DALY
Human health - Human toxicity, non-carcinogenics	0	1.58028e-8	DALY
Human health - Particulate matter/Respiratory inorganics	5.88268e-7	1.02708e-6	DALY
Human health - Photochemical ozone formation	1.10181e-7	4.05969e-9	DALY

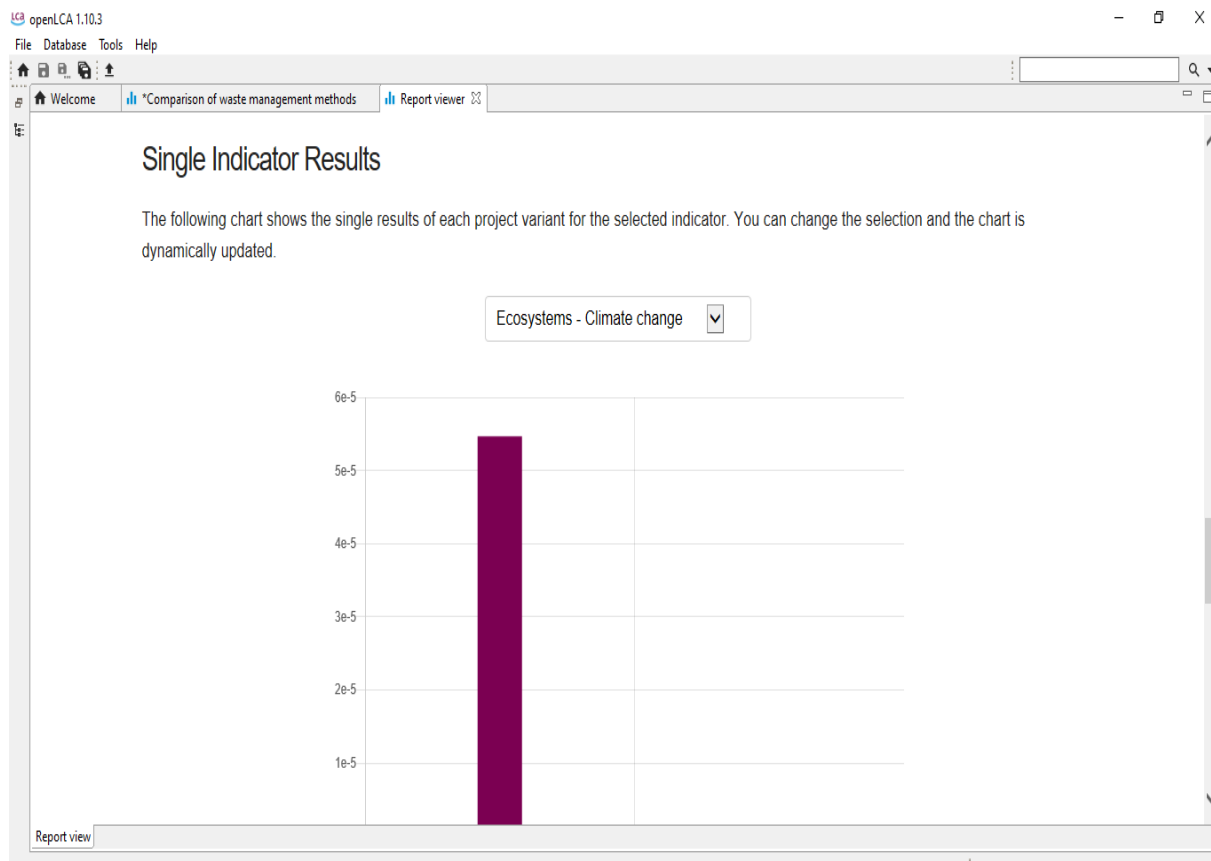
*Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης Και Αναερόβιας Χώνευσης
Με Τεχνικές Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Εστιάζοντας Στο Ενεργειακό
Και Περιβαλλοντικό Τους Αποτύπωμα*

Impact Category	Value 1	Value 2	Unit
Ecosystems - Climate change	5.46573e-5	0	species*year
Ecosystems - total	5.46573e-5	0	species*year
Human health - total	9.66234e-3	7.46207e-6	DALY
Human health - Climate change	9.66164e-3	0	DALY
Human health - Human toxicity, carcinogenics	0	6.41511e-6	DALY
Human health - Human toxicity, non-carcinogenics	0	1.58028e-8	DALY
Human health - Particulate matter/Respiratory inorganics	5.88268e-7	1.02708e-6	DALY
Human health - Photochemical ozone formation	1.10181e-7	4.05969e-9	DALY
Resource depletion - Mineral, fossils and renewables (ReCiPe 1.05)	4.11649e+2	-3.77770e+2	\$
Resource depletion - Mineral, fossils and renewables (ReCiPe 1.11)	4.03750e+0	-3.70678e+0	\$
Resource depletion - total (ReCiPe 1.05)	4.11649e+2	-3.77770e+2	\$
Resource depletion - total (ReCiPe 1.11)	4.03750e+0	-3.70678e+0	\$

Διάγραμμα 6.27 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου)

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των μεθόδων στο οικοσύστημα μέσα από την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.28). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 35 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Επιπρόσθετα επειδή γίνεται εκμετάλλευση του βιοαερίου εκμηδενίστηκε η έκλυση μεθανίου από την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που της δίνει ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι της κομποστοποίησης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή.

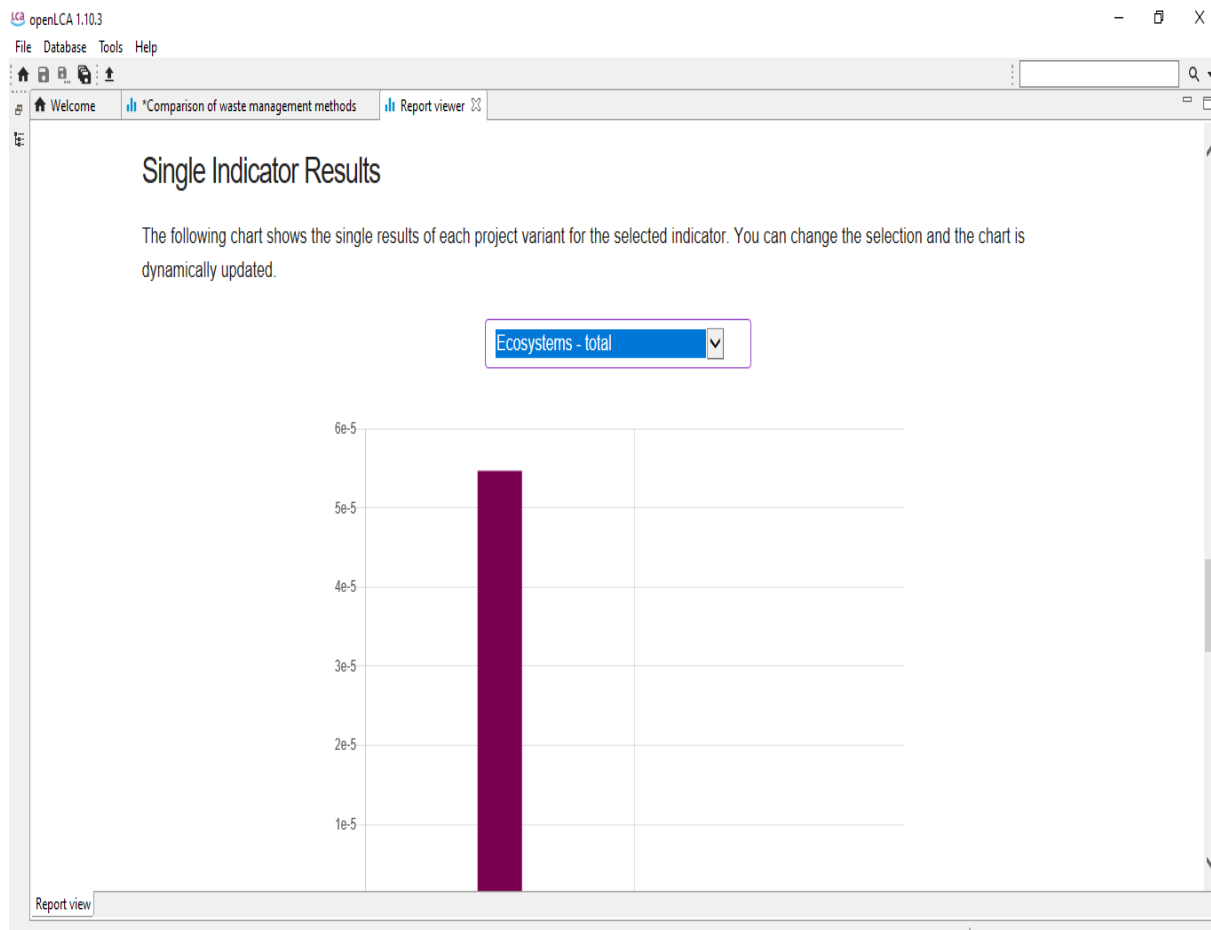


Διάγραμμα 6.28 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα συνολικά.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι και οι δύο μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων επηρεάζουν το οικοσύστημα μονάχα μέσω της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής.

Ο αλγόριθμος μας υποδεικνύει πως οι μέθοδοι που μελετούμε δεν επηρεάζουν το οικοσύστημα μέσω της οξίνισης των ωκεανών ή του ευτροφισμού των γλυκών νερών (Διάγραμμα 6.29).

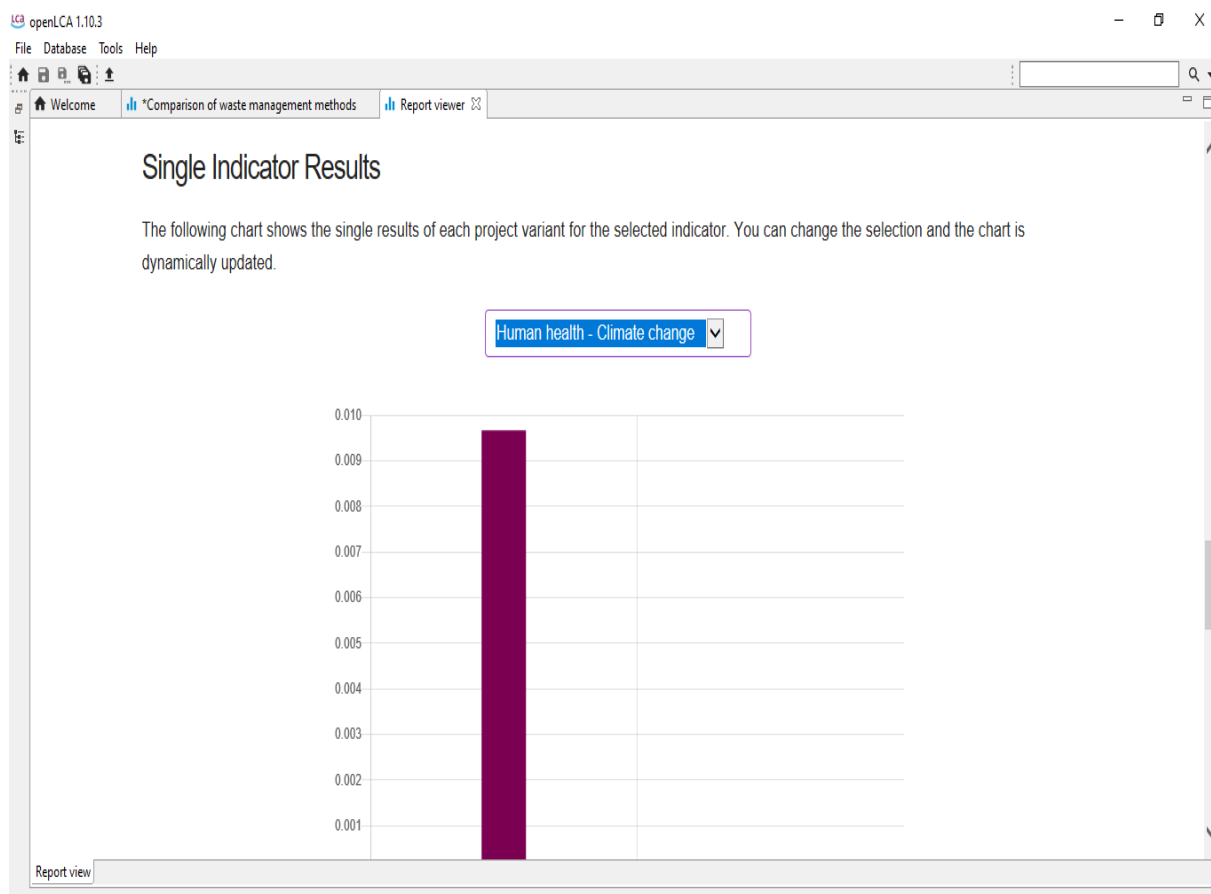


Διάγραμμα 6.29 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.30). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 35 φορές μεγαλύτερη ποσότητα

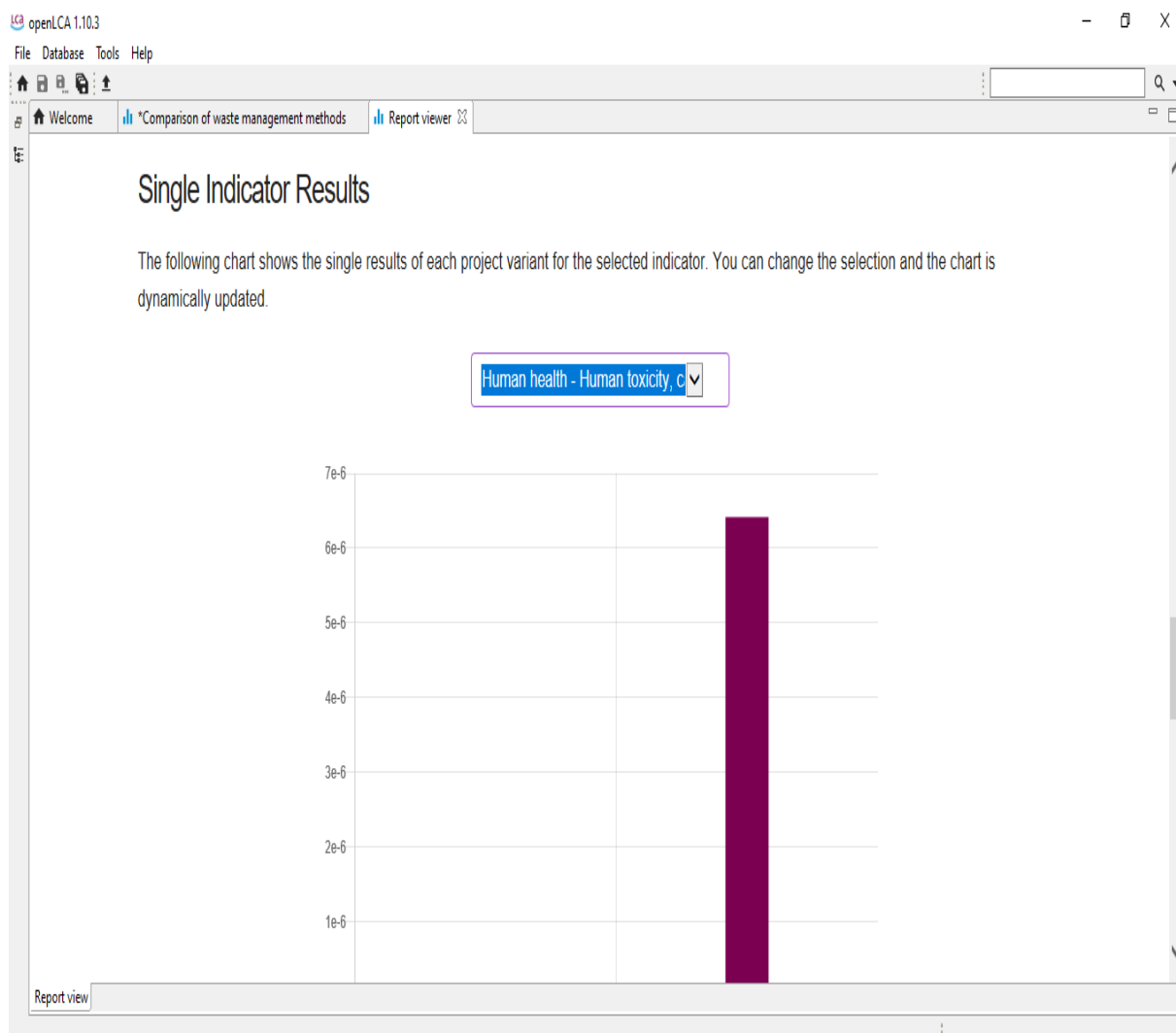
διοξειδίου του άνθρακα από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Επιπρόσθετα επειδή γίνεται εκμετάλλευση του βιοαερίου εκμηδενίστηκε η έκλυση μεθανίου από την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που της δίνει ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι της κομποστοποίησης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή.



Διάγραμμα 6.30 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω τοξικών, καρκινογόνων ουσιών.

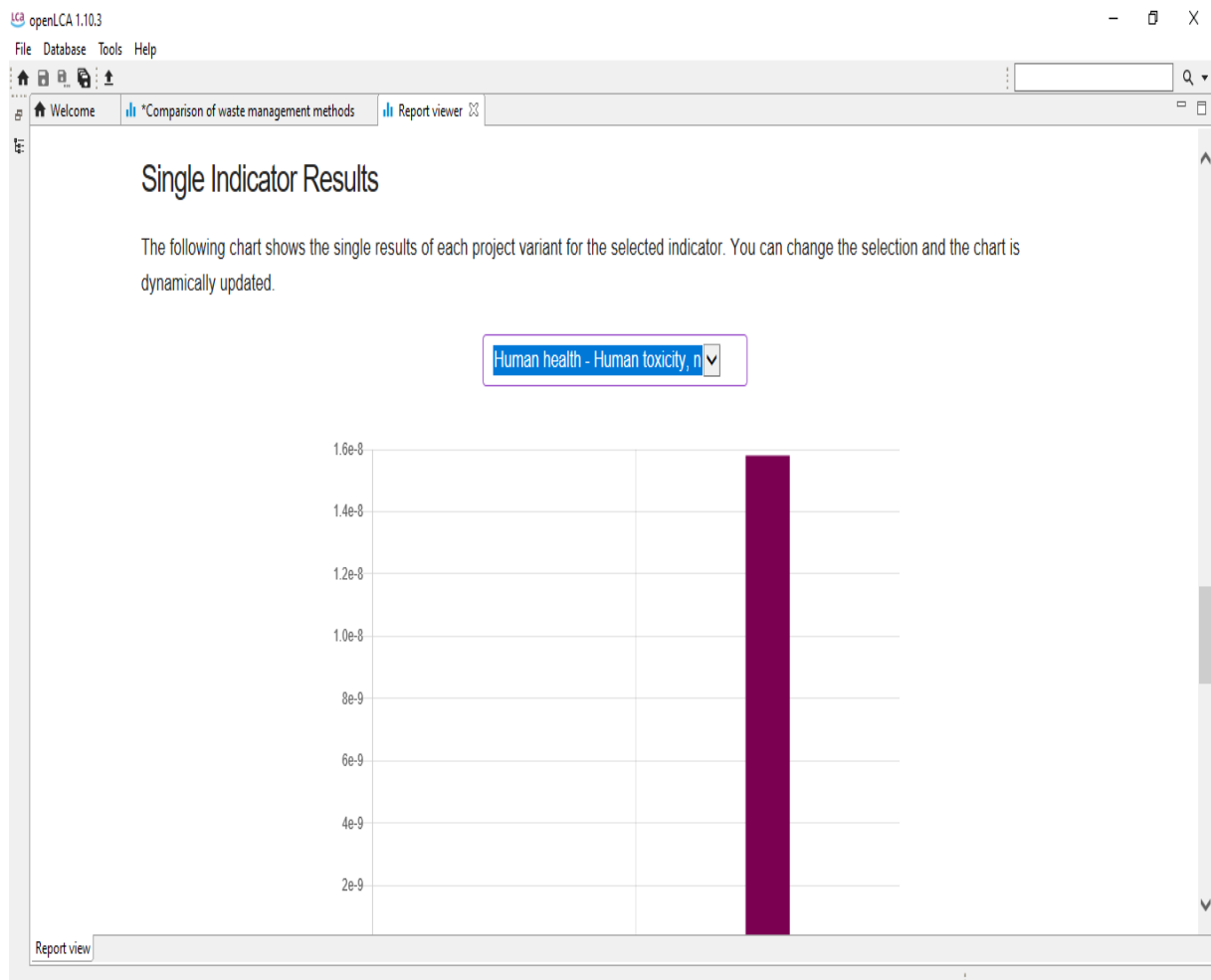
Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την καύση του βιοαερίου εκλύονται ρύποι της καρκινογόνου ουσίας φορμαλδεΐδης, ενώ απουσιάζουν από την τεχνολογία της κομποστοποίησης. (Διάγραμμα 6.31).



Διάγραμμα 6.31 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών, Καρκινογόνων Ουσιών

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω τοξικών, μη-καρκινογόνων ουσιών.

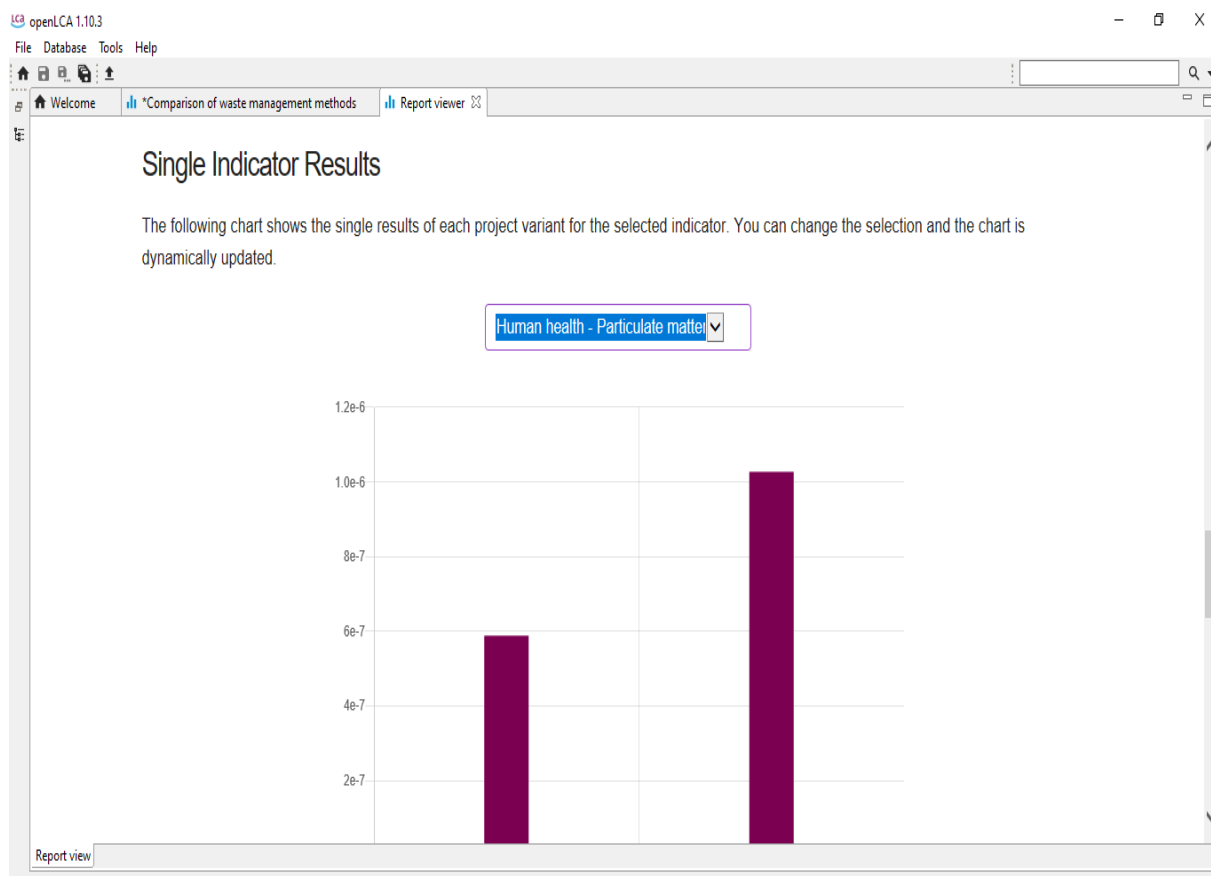
Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την καύση του βιοαερίου εκλύονται ρύποι της τοξικής ουσίας φορμαλδεΐδης, ενώ απουσιάζουν από την τεχνολογία της κομποστοποίησης. (Διάγραμμα 6.32).



Διάγραμμα 6.32 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών μη Καρκινογόνων Ουσιών

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της εισπνοής ανόργανων σωματιδίων.

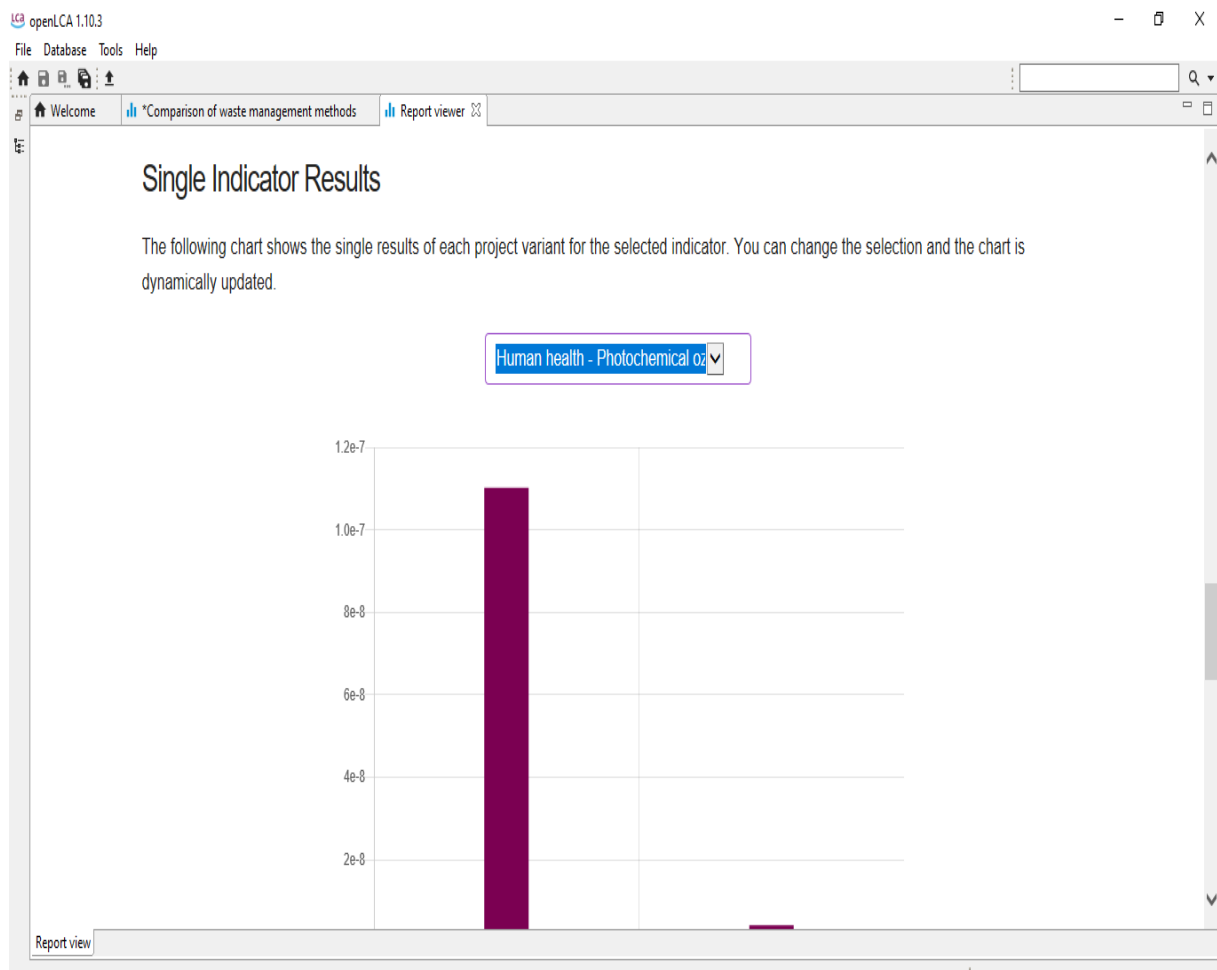
Παρατηρούμε πως την μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.33). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της αναερόβιας χώνευσης εκλύεται 2,5 φορές μεγαλύτερη ποσότητα οξειδίων του αζώτου και 7,6 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του θείου, από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.33 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων

Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω του σχηματισμού φωτοχημικού νέφους.

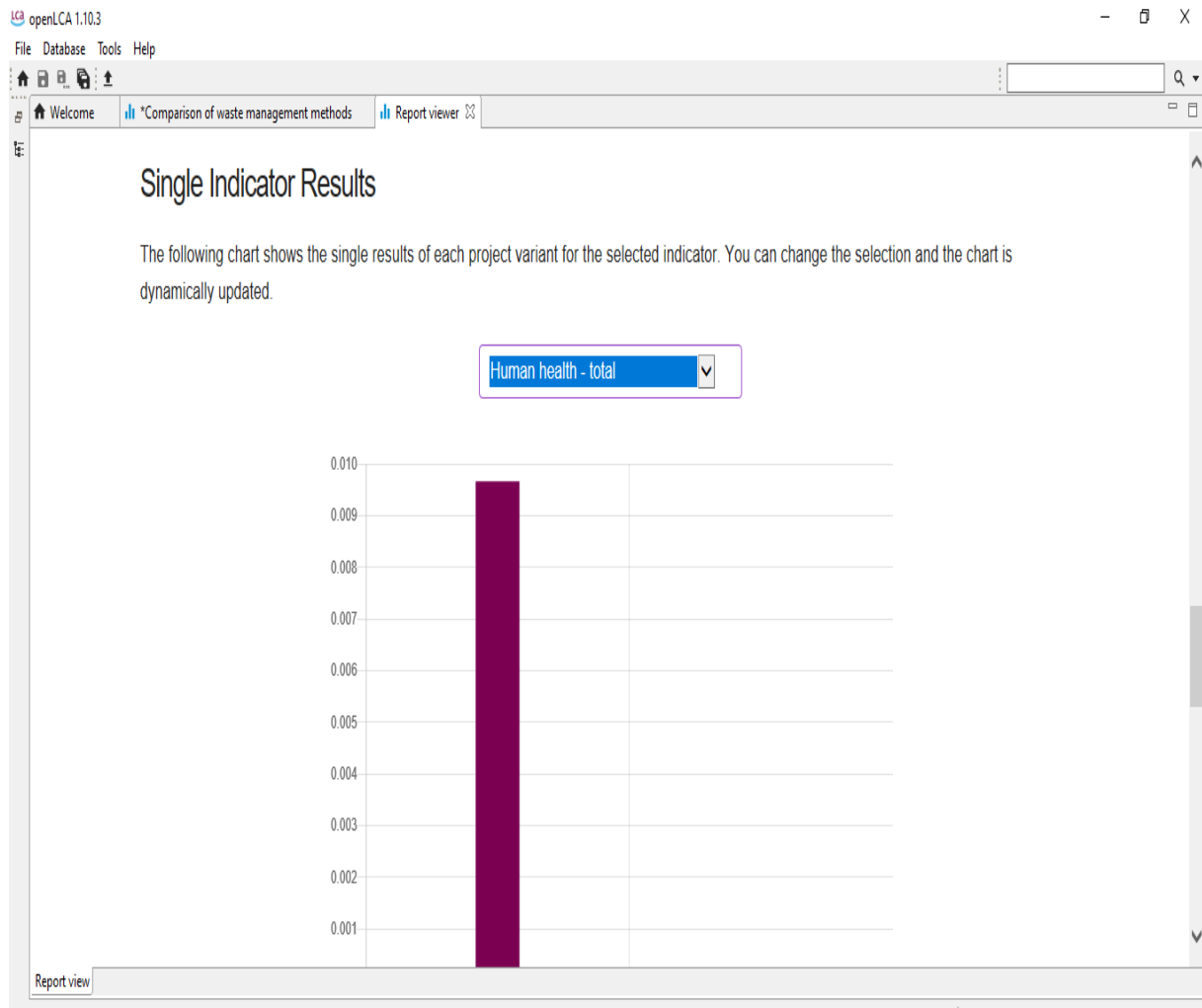
Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.34). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύονται πολύ μεγαλύτερες ποσότητες VOC (συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου), από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Τα VOC είναι από τους κύριους παράγοντες που προκαλούν τον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους όταν εκτίθενται στο φως του ήλιου.



Διάγραμμα 6.34 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Του Σχηματισμού Φωτοχημικού Νέφους

Η όγδοη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.35). Κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι παρόλο που η τεχνολογία της κομποστοποίησης επιφέρει την μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία μόνο σε δυο από τις πέντε υποκατηγορίες, υπερτερεί στις κατηγορίες αυτές σε τέτοιο βαθμό ώστε να καλύψει αυτή τη διαφορά.

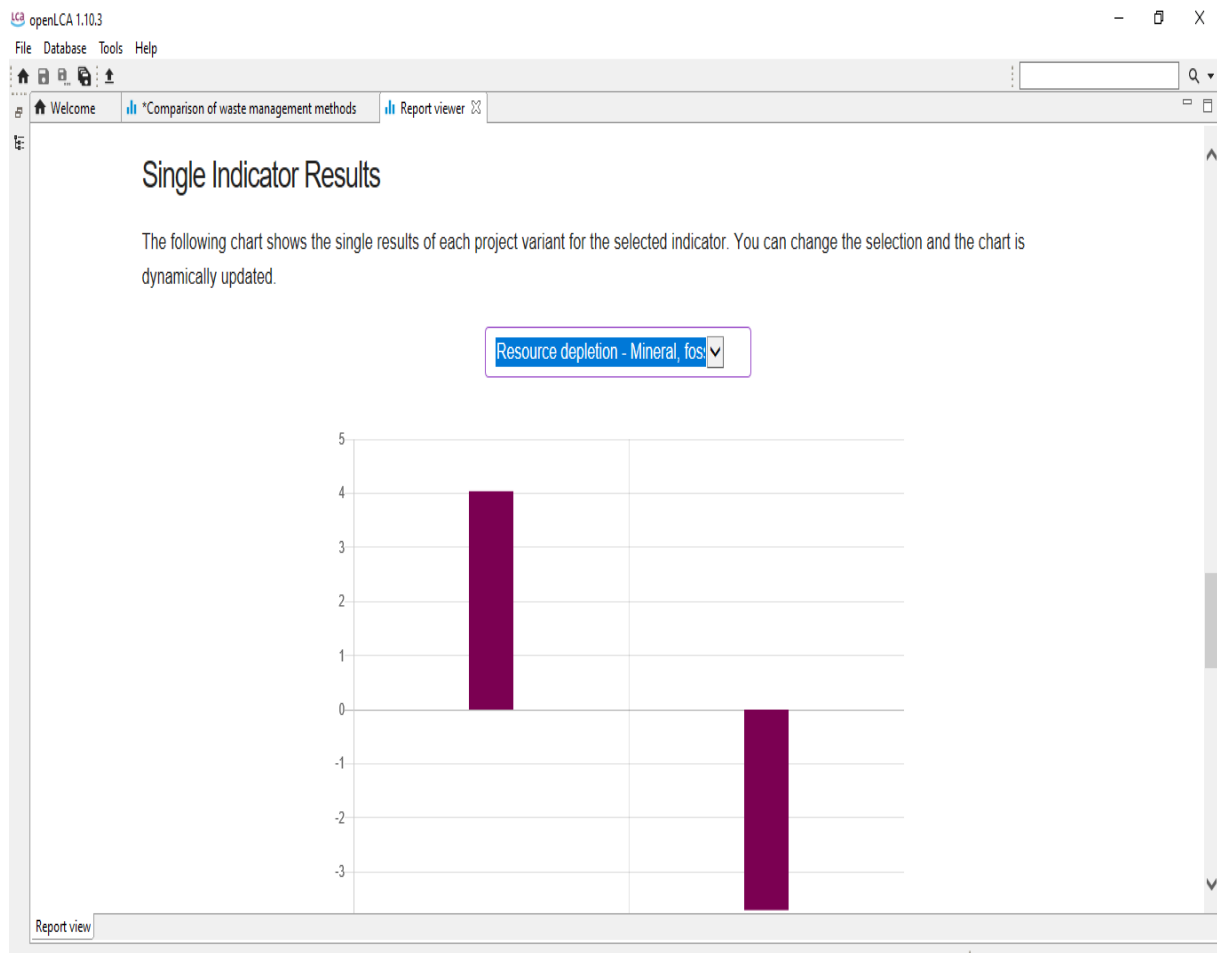


Διάγραμμα 6.35 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – Μέθοδος ILCD (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Η ένατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.11.

Παρατηρούμε πως το πρόσημο της στήλης που αντιστοιχεί στην αναερόβια χώνευση είναι αρνητικό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εκμεταλλευόμενοι το βασικό προϊόν της αναερόβιας

χώνευσης, το βιοαέριο παράγουμε πολύ περισσότερη ενέργεια από αυτή που απαιτεί στο σύνολο της η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.36).

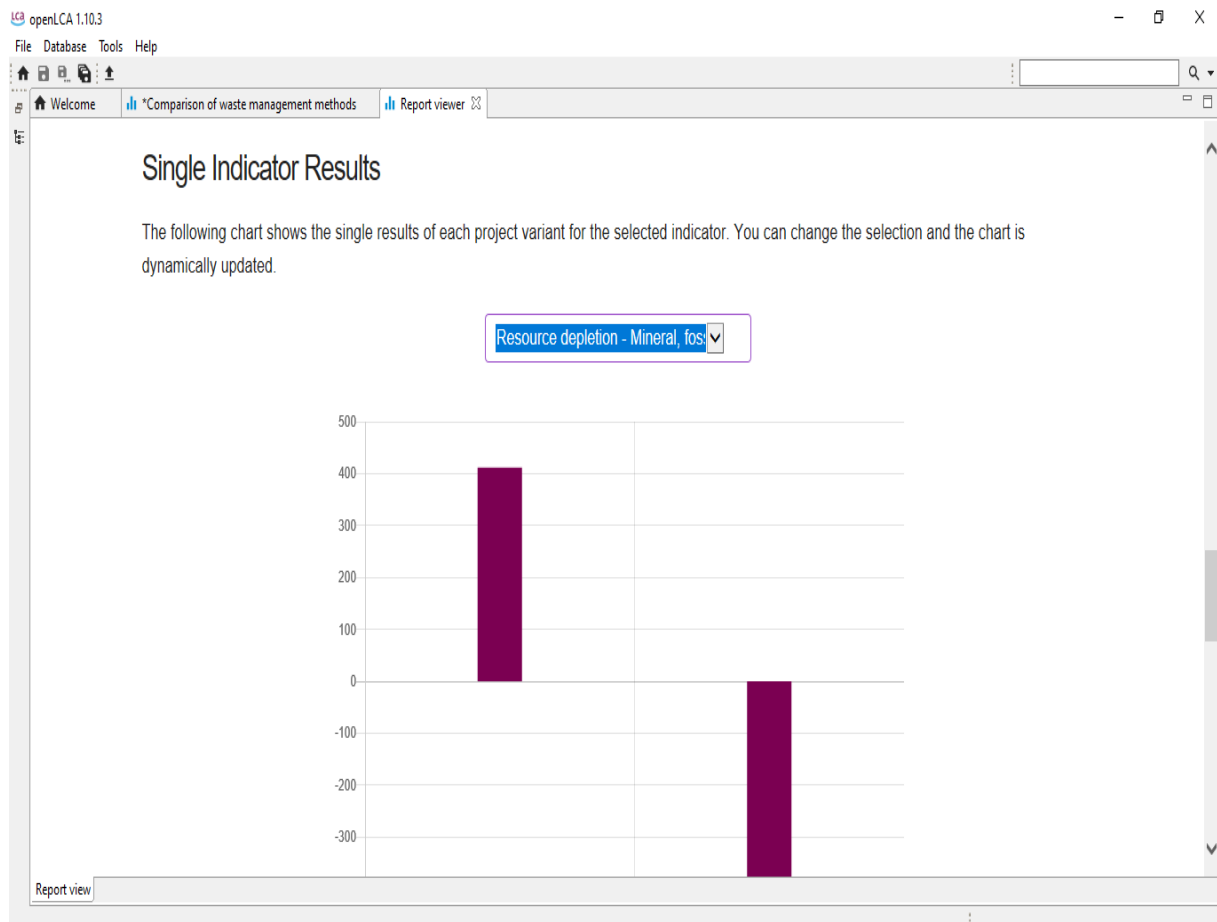


Διάγραμμα 6.36 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – ReCiPe 1.11 (Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου) – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Η δέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την εξάντληση των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.05.

Παρατηρούμε πως το πρόσημο της στήλης που αντιστοιχεί στην αναερόβια χώνευση είναι αρνητικό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εκμεταλλευόμενοι το βασικό προϊόν της αναερόβιας

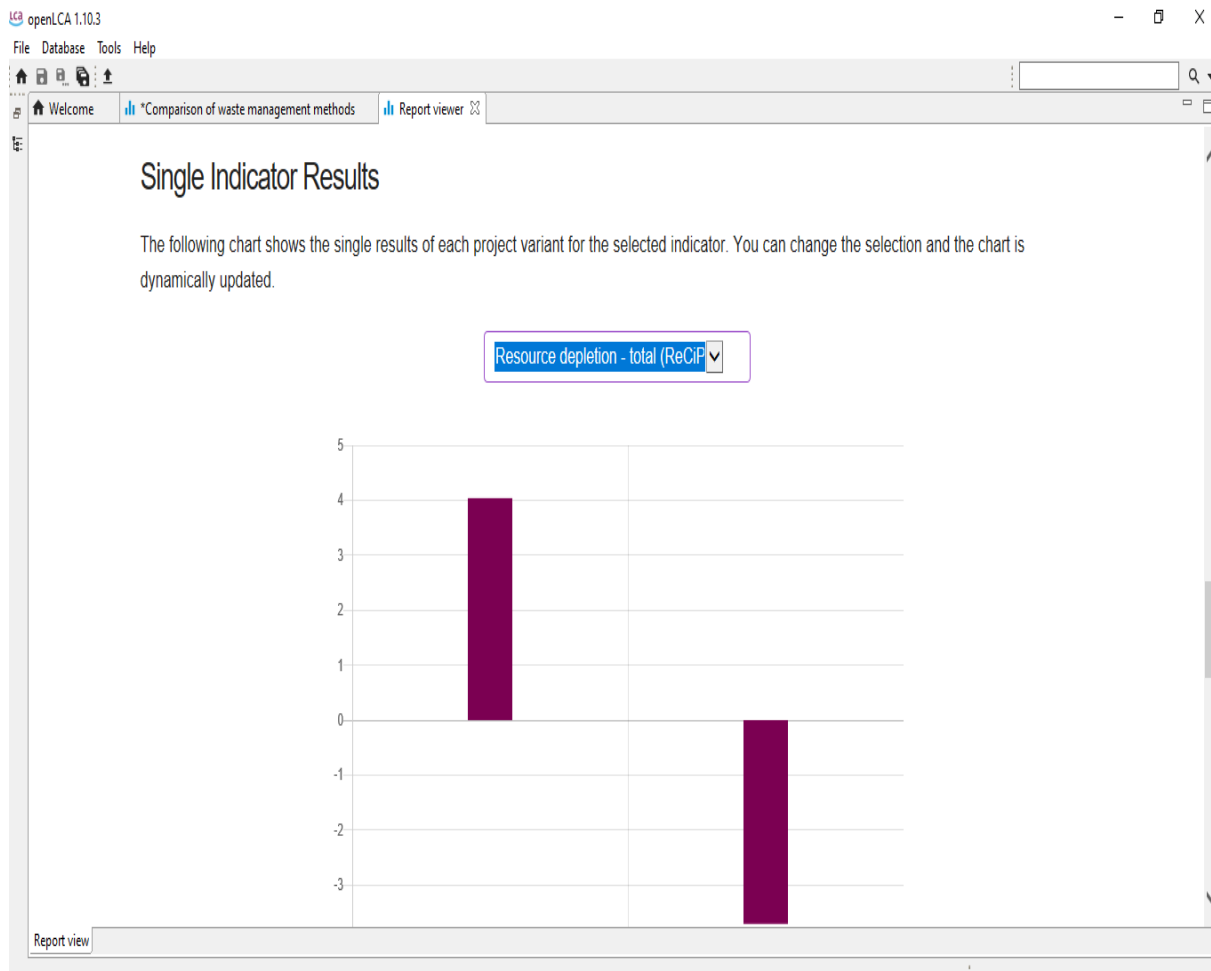
χώνευσης, το βιοαέριο παράγουμε πολύ περισσότερη ενέργεια από αυτή που απαιτεί στο σύνολο της η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.37).



Διάγραμμα 6.37 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – ReCiPe 1.05 (Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου) – Εξάντληση Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Η ενδέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.11.

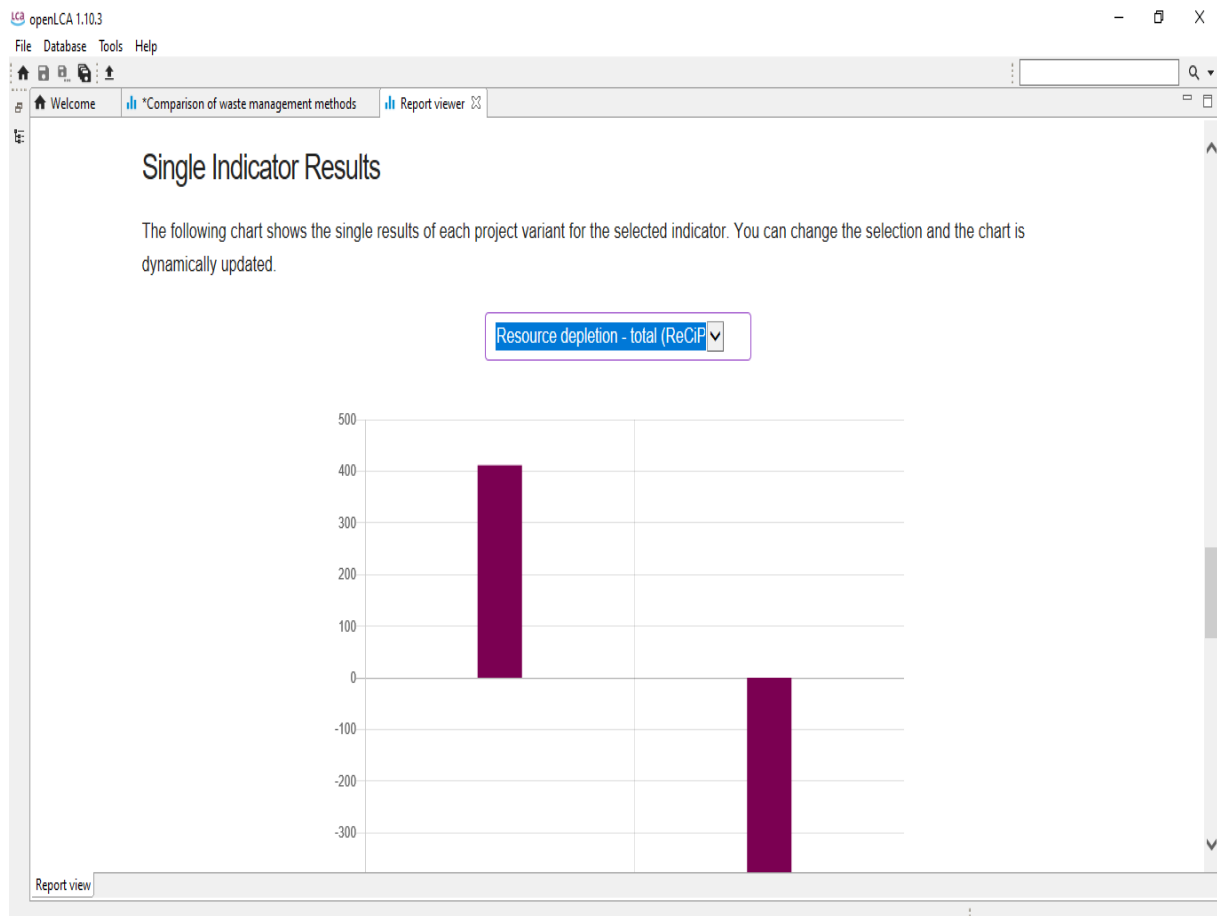
Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι και οι δύο μέθοδοι καταναλώνουν αποκλειστικά ορυκτούς και ανανεώσιμους πόρους (Διάγραμμα 6.38).



Διάγραμμα 6.38 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – ReCiPe 1.11 (Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου) – Εξάντληση Συνολικών Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Η δωδέκατη γραφική παράσταση παρουσιάζει τη εξάντληση του συνόλου των πόρων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ReCiPe 1.05.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η γραφική παράσταση είναι ακριβώς η ίδια με τη προηγούμενη, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι και οι δύο μέθοδοι καταναλώνουν αποκλειστικά ορυκτούς και ανανεώσιμους πόρους (Διάγραμμα 6.39).



Διάγραμμα 6.39 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση – ReCiPe 1.05 (Με Εκμετάλλευση Βιοαερίου) – Εξάντληση Συνολικών Ορυκτών Και Ανανεώσιμων Πόρων

Στην δέκατη τρίτη και τελική παράσταση παρουσιάζεται η σύγκριση όλων των επιμέρους κατηγοριών (Διάγραμμα 6.40).



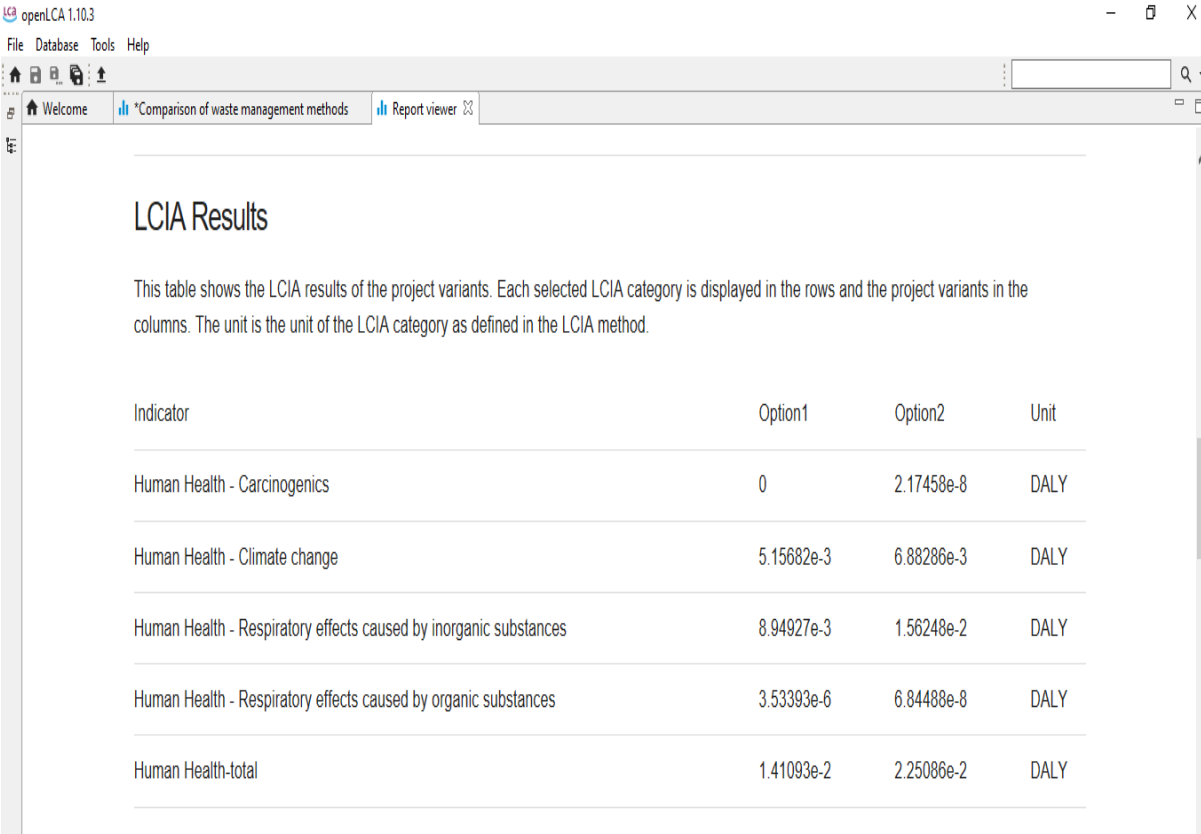
Διάγραμμα 6.40 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος ILCD – Συνολική Σύγκριση

6.5 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης (με εκμετάλλευση βιοαερίου) - Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E)

Εν συνεχεία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για της δύο μεθόδους με την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης για τον αλγόριθμο eco-indicator 99 (E). Το Option1 αφορά την κομποστοποίηση και το Option2 τη αναερόβια χώνευση (με εκμετάλλευση βιαερίου)

Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους επεξεργασίας στερεών αποβλήτων.

Η μονάδα μέτρησης των αποτελεσμάτων είναι το DALY, πρόκειται για το αρκτικόλεξο Disability Adjusted Life Years δηλαδή προσαρμοσμένα έτη αναπηρίας (Διάγραμμα 6.41).



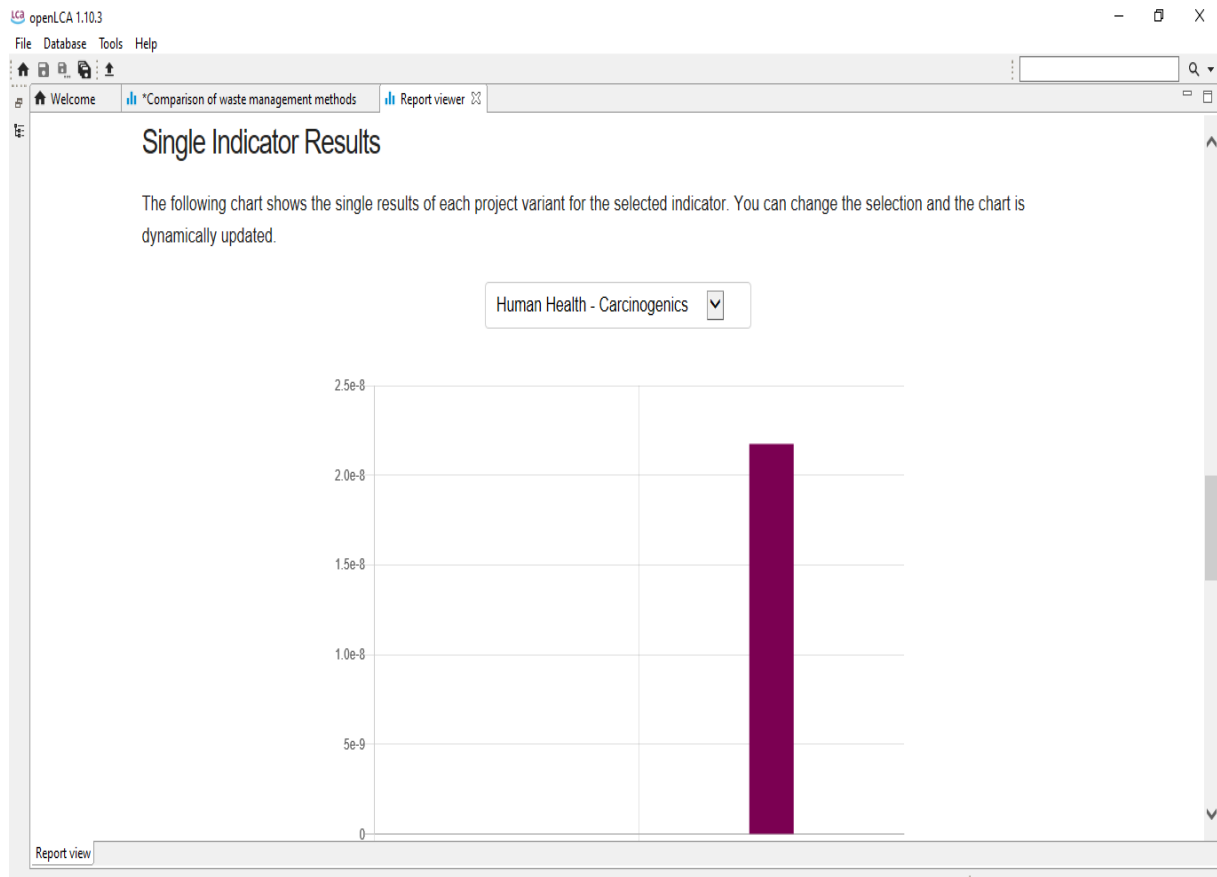
The screenshot shows the 'Report viewer' window in openLCA 1.10.3. The title is 'LCIA Results'. Below the title, there is a descriptive text: 'This table shows the LCIA results of the project variants. Each selected LCIA category is displayed in the rows and the project variants in the columns. The unit is the unit of the LCIA category as defined in the LCIA method.' Below this text is a table with the following data:

Indicator	Option1	Option2	Unit
Human Health - Carcinogenics	0	2.17458e-8	DALY
Human Health - Climate change	5.15682e-3	6.88286e-3	DALY
Human Health - Respiratory effects caused by inorganic substances	8.94927e-3	1.56248e-2	DALY
Human Health - Respiratory effects caused by organic substances	3.53393e-6	6.84488e-8	DALY
Human Health-total	1.41093e-2	2.25086e-2	DALY

Διάγραμμα 6.41 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) (με εκμετάλλευση βιοαερίου)

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω καρκινογόνων ουσιών.

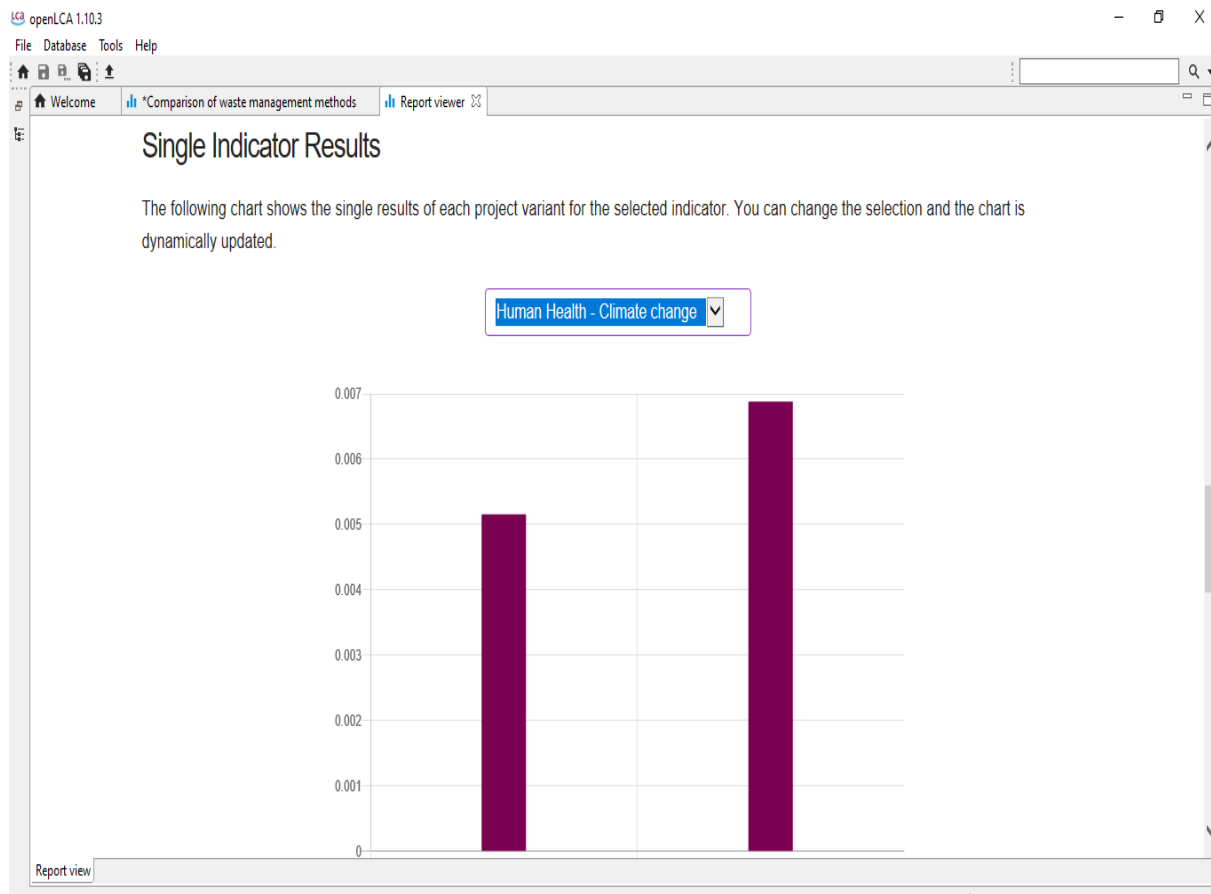
Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την καύση του βιοαερίου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας παράγεται η καρκινογόνος ουσία φορμαλδεΰδη (Διάγραμμα 6.42).



Διάγραμμα 6.42 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Τοξικών μη Καρκινογόνων Ουσιών

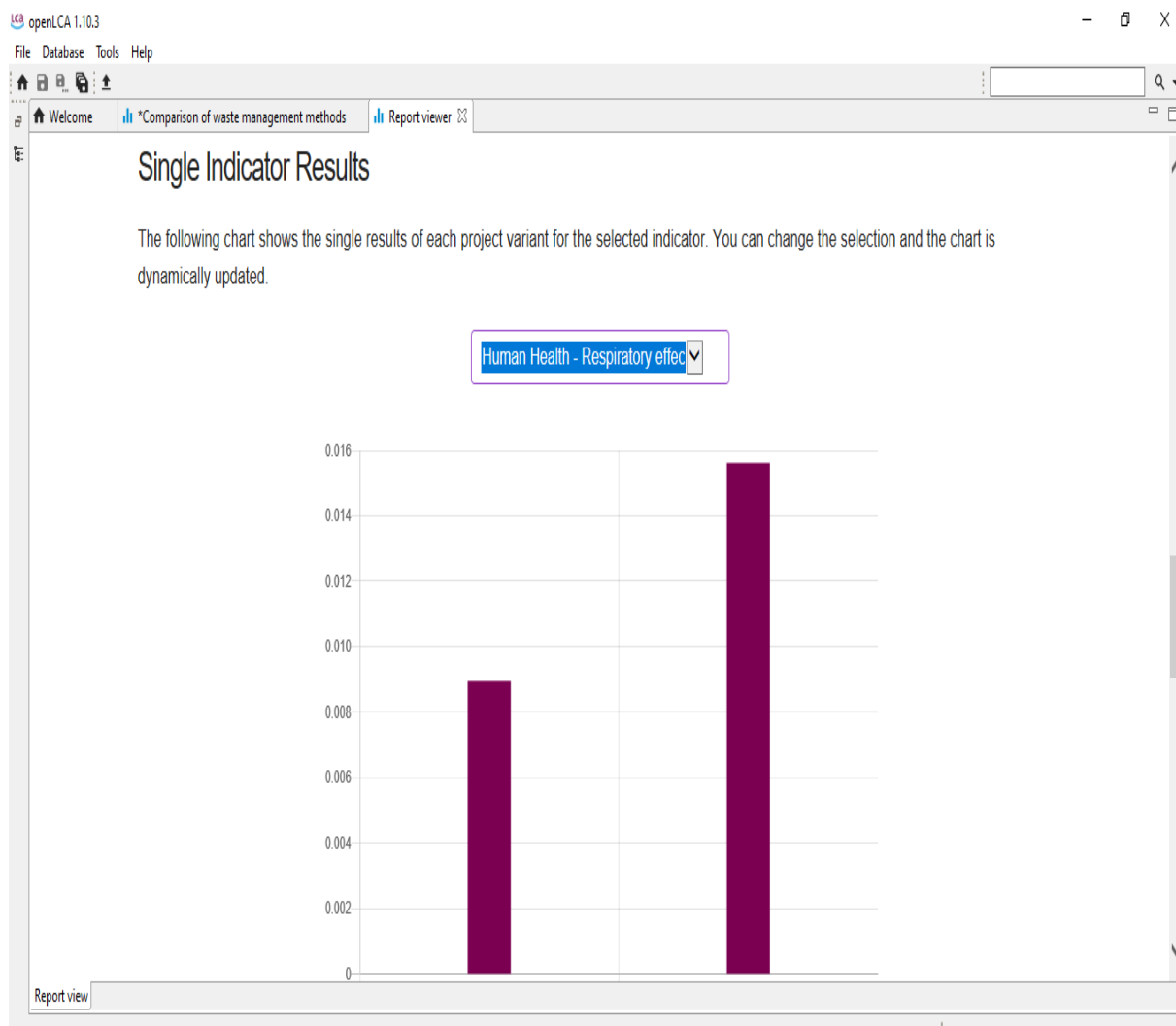
Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.43). Αποτέλεσμα που υποδηλώνει τις διαφορές με τις οποίες ο αλγόριθμος eco-indicator 99 υπολογίζει τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία έναντι των άλλων αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στη μελέτη αυτή.



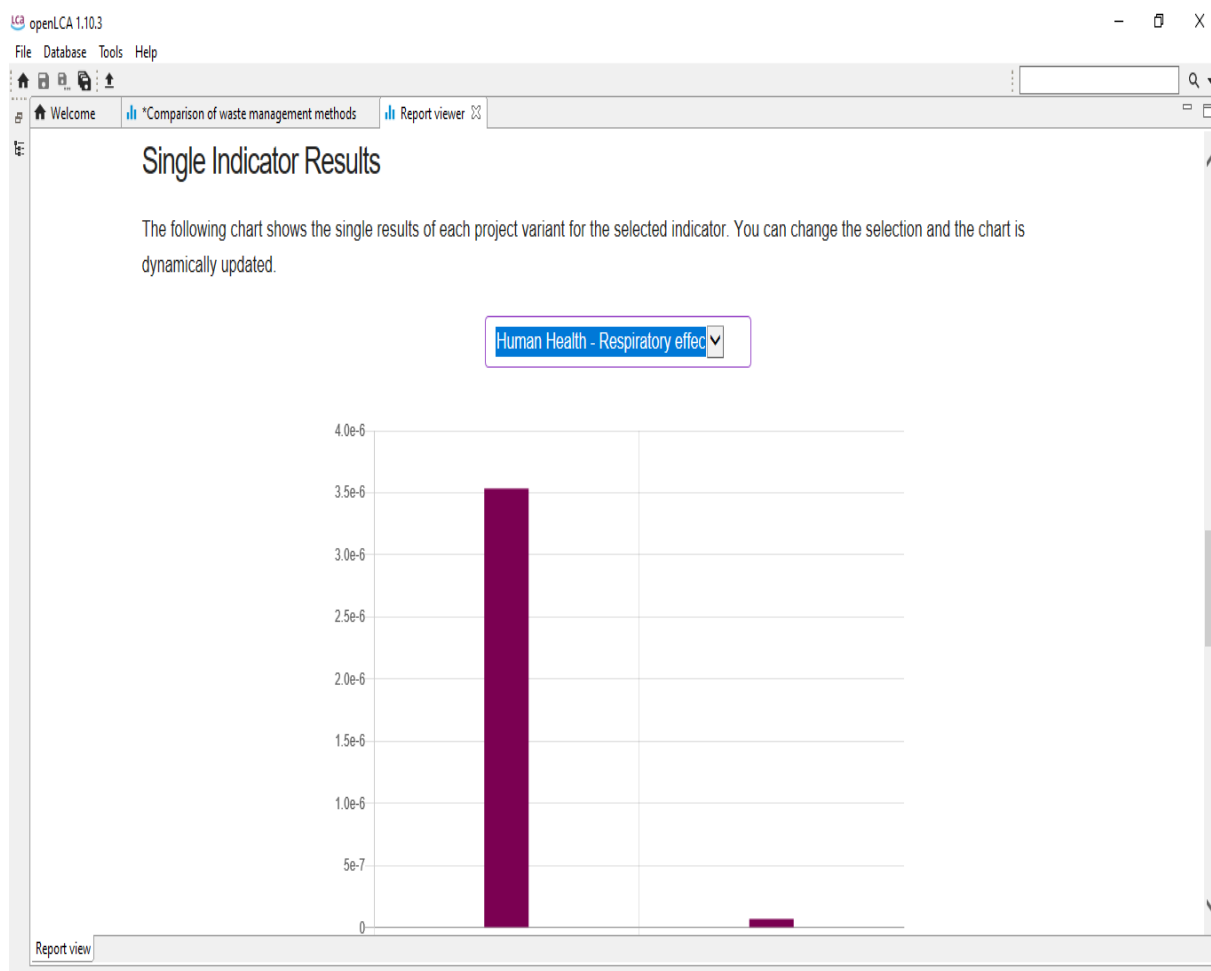
Διάγραμμα 6.43 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από ανόργανες ενώσεις. Παρατηρούμε πως την μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.44). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της αναερόβιας χώνευσης εκλύεται 2,5 φορές μεγαλύτερη ποσότητα οξειδίων του αζώτου και 7,6 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του θείου, από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της κομποστοποίησης



Διάγραμμα 6.44 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Ανόργανων Σωματιδίων

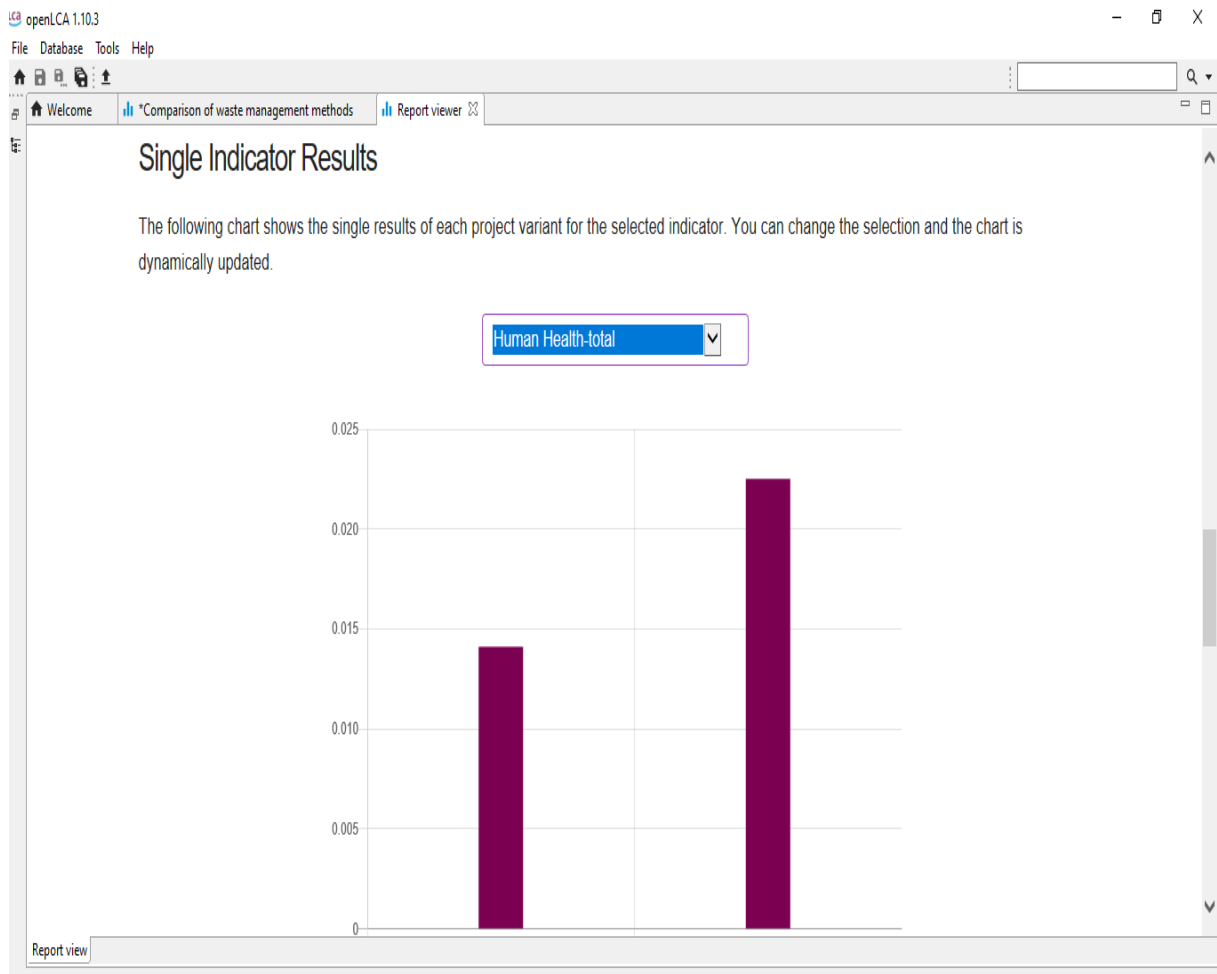
Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω αναπνευστικών προβλημάτων που προκαλούνται από οργανικές ενώσεις. Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.45). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 35 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Επιπρόσθετα επειδή γίνεται εκμετάλλευση του βιοαερίου εκμηδενίστηκε η έκλυση μεθανίου από την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που της δίνει ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι της κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.45 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Εισπνοής Οργανικών Σωματιδίων

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας.

Παρατηρούμε πως την μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.46). Αποτέλεσμα που υποδηλώνει τις διαφορές με τις οποίες ο αλγόριθμος eco-indicator 99 υπολογίζει τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία έναντι των άλλων αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στη μελέτη αυτή.



Διάγραμμα 6.46 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Στην έκτη και τελική παράσταση παρουσιάζεται η σύγκριση όλων των επιμέρους κατηγοριών (Διάγραμμα 6.47).



Διάγραμμα 6.47 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Αλγόριθμος eco-indicator 99 (E) – Συνολική Σύγκριση

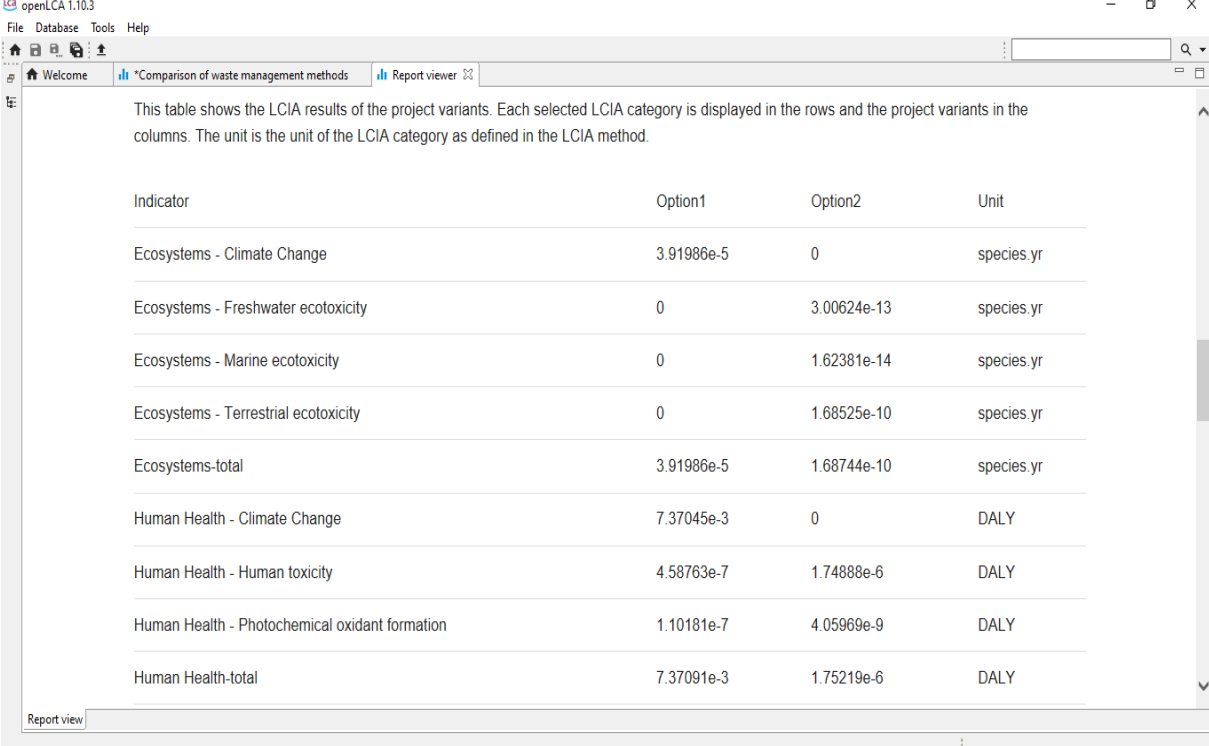
6.6 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης (με εκμετάλλευση βιοαερίου) - Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]

Εν κατακλείδι παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους με την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης για τον αλγόριθμο ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014].

Το Option1 αφορά την κομποστοποίηση και το Option2 τη αναερόβια χώνευση (με εκμετάλλευση του βιοαερίου) .

Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις δύο μεθόδους επεξεργασίας στερεών αποβλήτων.

Οι μονάδες μέτρησης που παρουσιάζονται παρακάτω ορίζονται ως εξής. Η μονάδα μέτρησης species*year αντιστοιχεί σε απώλεια ειδών συναρτήσει του χρόνου και η μονάδα μέτρησης DALY που είναι το αρκτικόλεξο Disability Adjusted Life Years δηλαδή προσαρμοσμένα έτη αναπηρίας (Διάγραμμα 6.48).



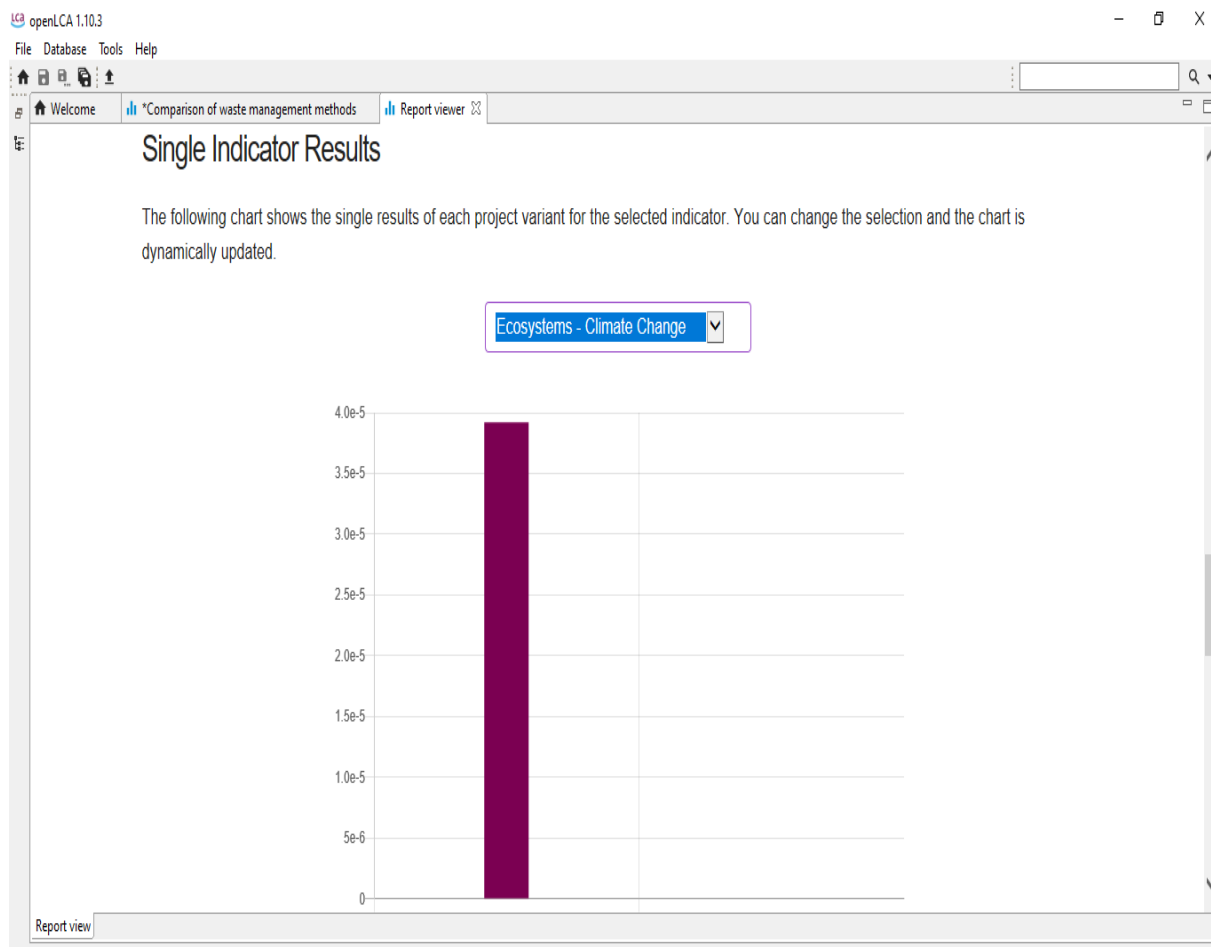
This table shows the LCIA results of the project variants. Each selected LCIA category is displayed in the rows and the project variants in the columns. The unit is the unit of the LCIA category as defined in the LCIA method.

Indicator	Option1	Option2	Unit
Ecosystems - Climate Change	3.91986e-5	0	species.yr
Ecosystems - Freshwater ecotoxicity	0	3.00624e-13	species.yr
Ecosystems - Marine ecotoxicity	0	1.62381e-14	species.yr
Ecosystems - Terrestrial ecotoxicity	0	1.68525e-10	species.yr
Ecosystems-total	3.91986e-5	1.68744e-10	species.yr
Human Health - Climate Change	7.37045e-3	0	DALY
Human Health - Human toxicity	4.58763e-7	1.74888e-6	DALY
Human Health - Photochemical oxidant formation	1.10181e-7	4.05969e-9	DALY
Human Health-total	7.37091e-3	1.75219e-6	DALY

Διάγραμμα 6.48 Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης (με εκμετάλλευση βιοαερίου) - Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]

Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής.

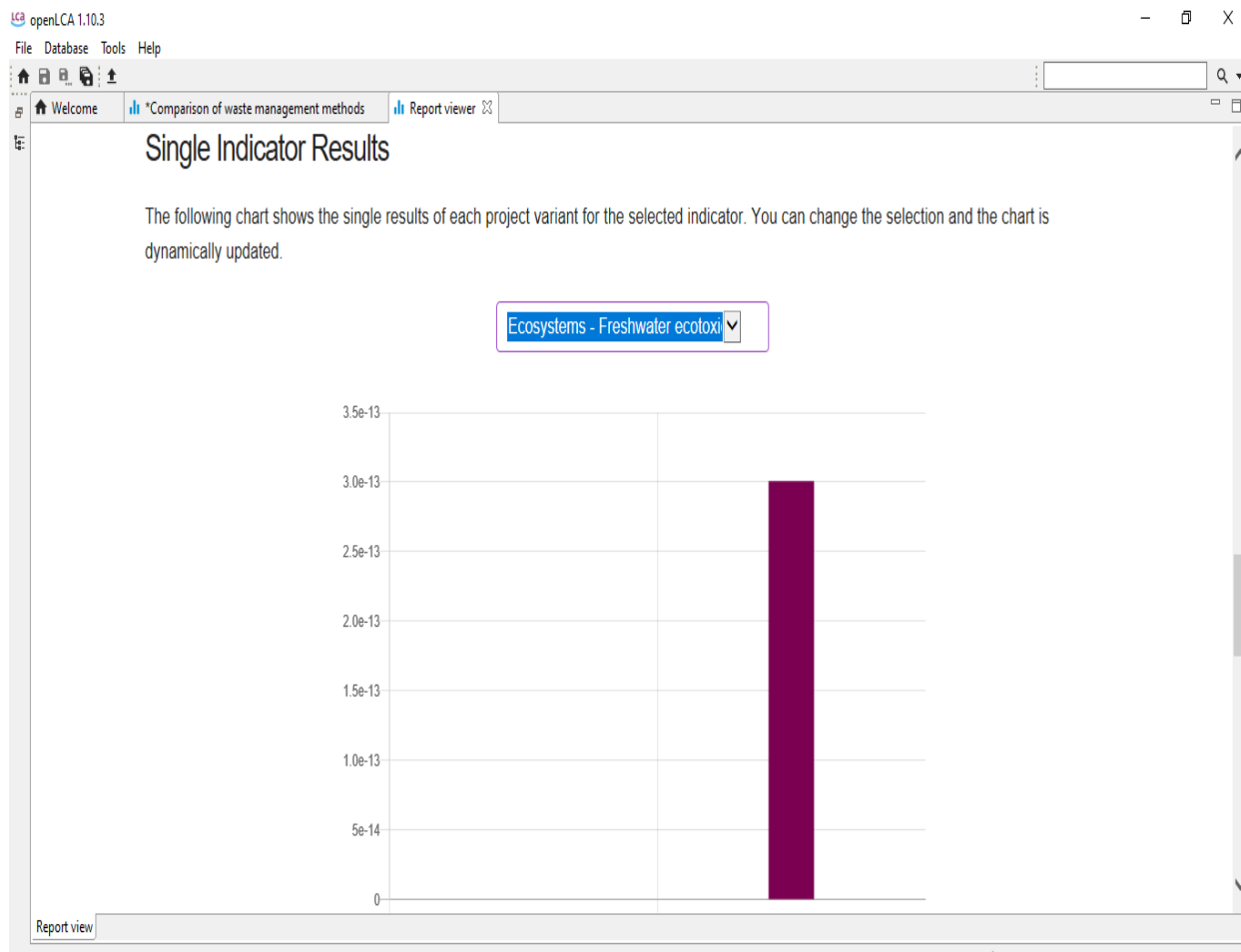
Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.49). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 35 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Επιπρόσθετα επειδή γίνεται εκμετάλλευση του βιοαερίου εκμηδενίστηκε η έκλυση μεθανίου από την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που της δίνει ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι της κομποστοποίησης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή.



Διάγραμμα 6.49 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η δεύτερη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την τοξικότητα του γλυκού νερού.

Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.50). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την καύση του βιοαερίου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας παράγεται η ουσία φορμαλδεΰδη, η οποία είναι τοξική για τα πλάσματα του γλυκού νερού.

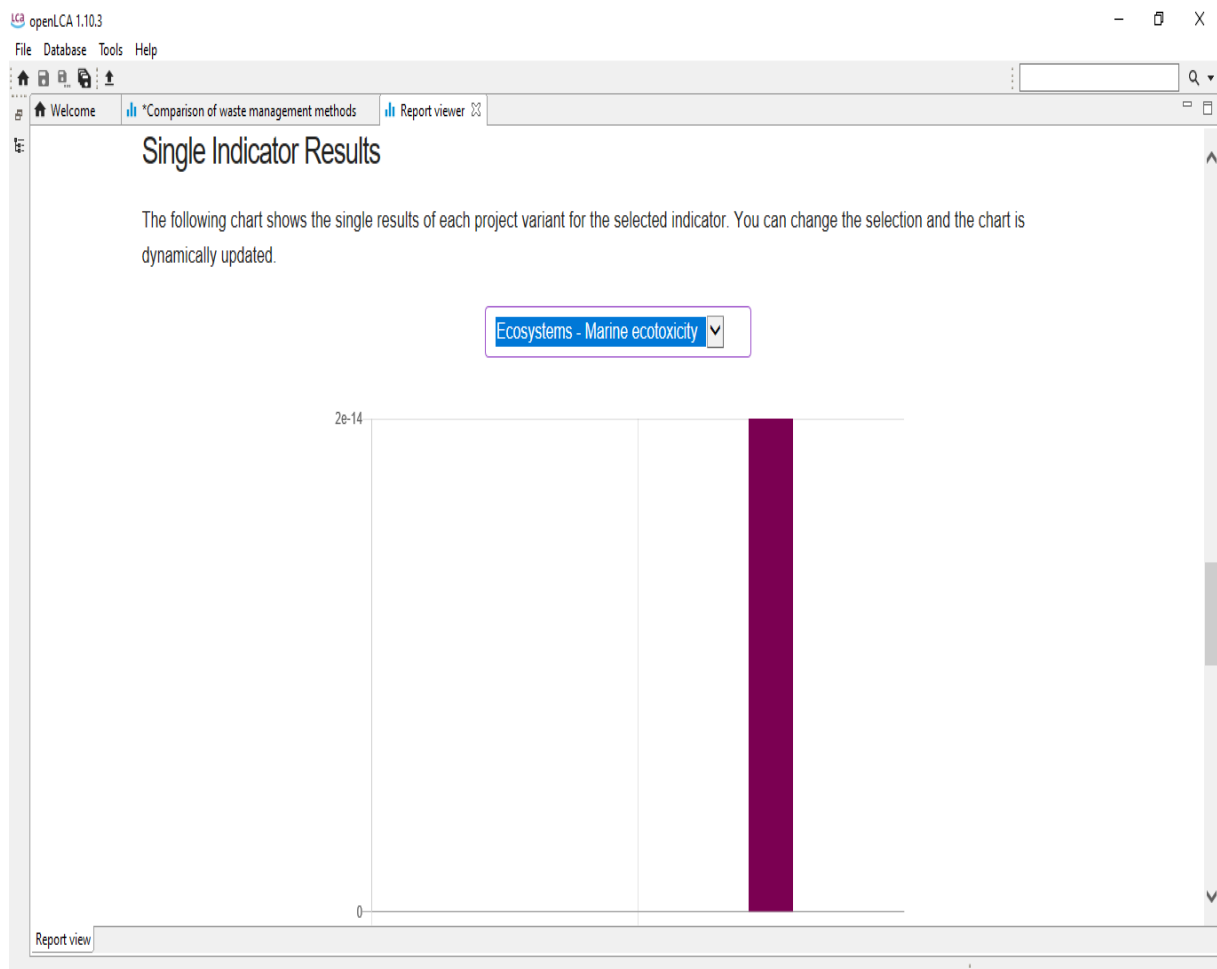


Διάγραμμα 6.50 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Του Γλυκού Νερού

Η τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την τοξικότητα του θαλασσινού νερού.

Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.51). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την καύση του βιοαερίου με σκοπό την ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Στεργιόπουλος Δ.

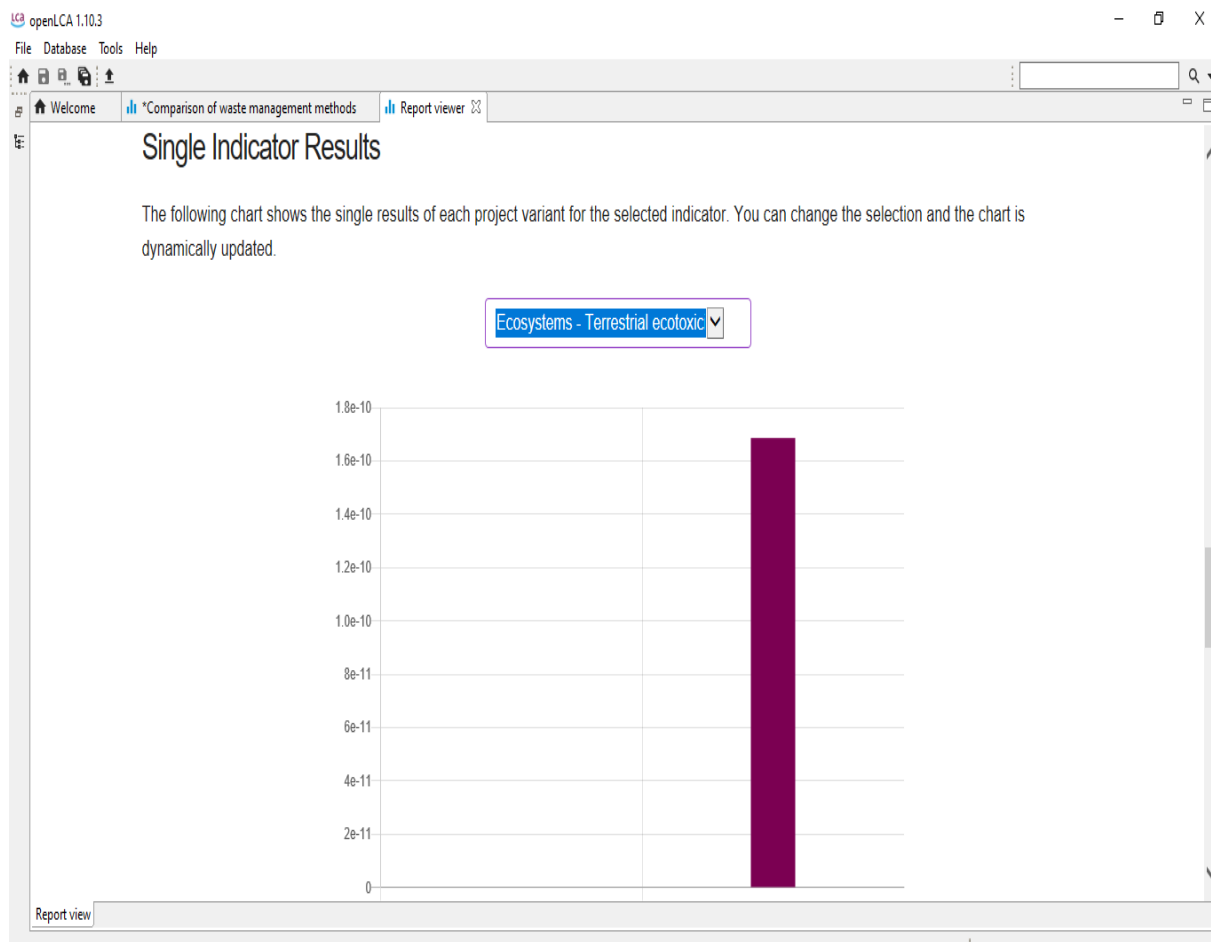
παραγωγή ενέργειας παράγεται η ουσία φορμαλδεΰδη, η οποία είναι τοξική για τα πλάσματα της θάλασσας.



Διάγραμμα 6.51 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικوسیστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Του Θαλασσινού Νερού

Η τέταρτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα μέσα από την τοξικότητα της γης.

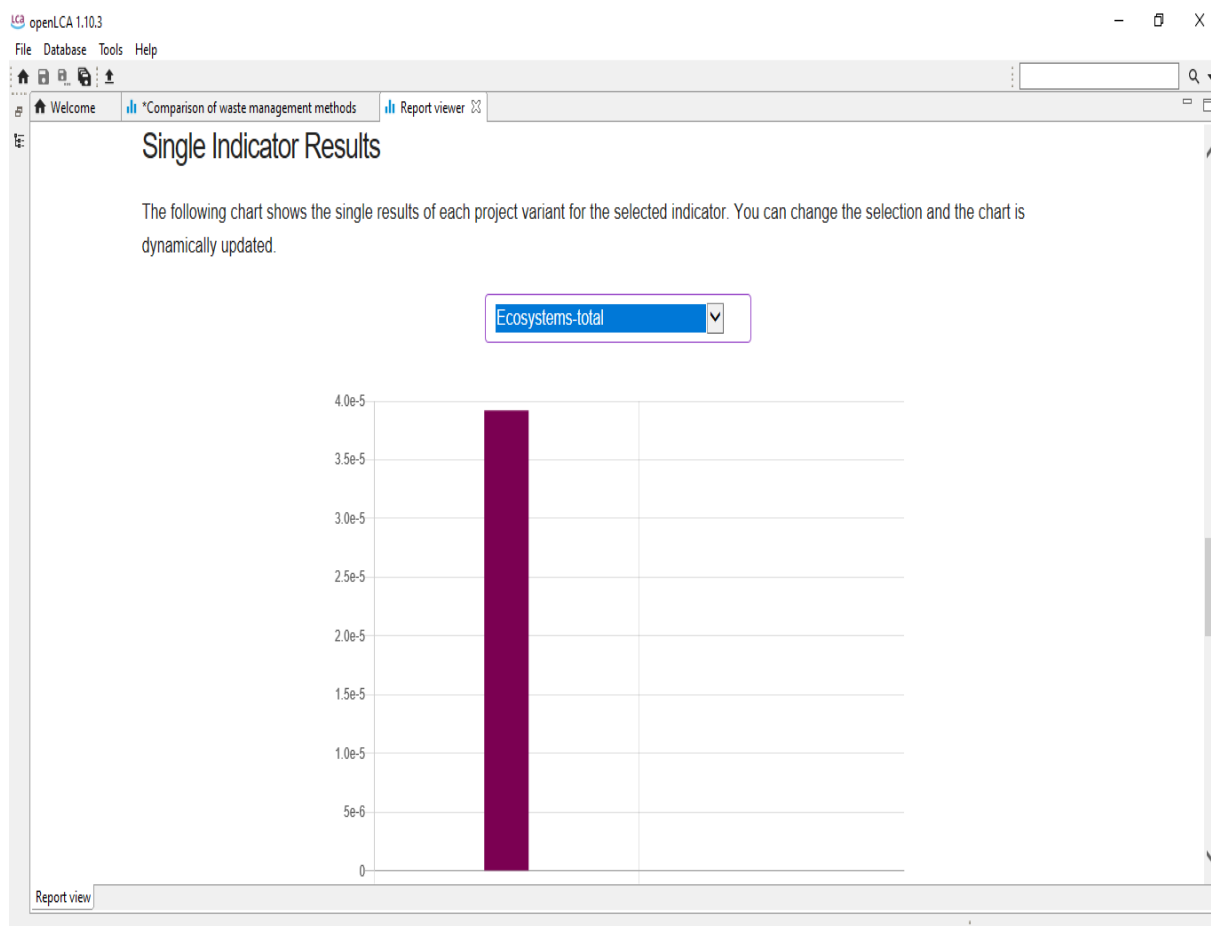
Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.52). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την καύση του βιοαερίου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας παράγεται η ουσία φορμαλδεΰδη, η οποία είναι τοξική για τη γη.



Διάγραμμα 6.52 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Μέσα Από Την Τοξικότητα Της Γης

Η πέμπτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο οικοσύστημα συνολικά.

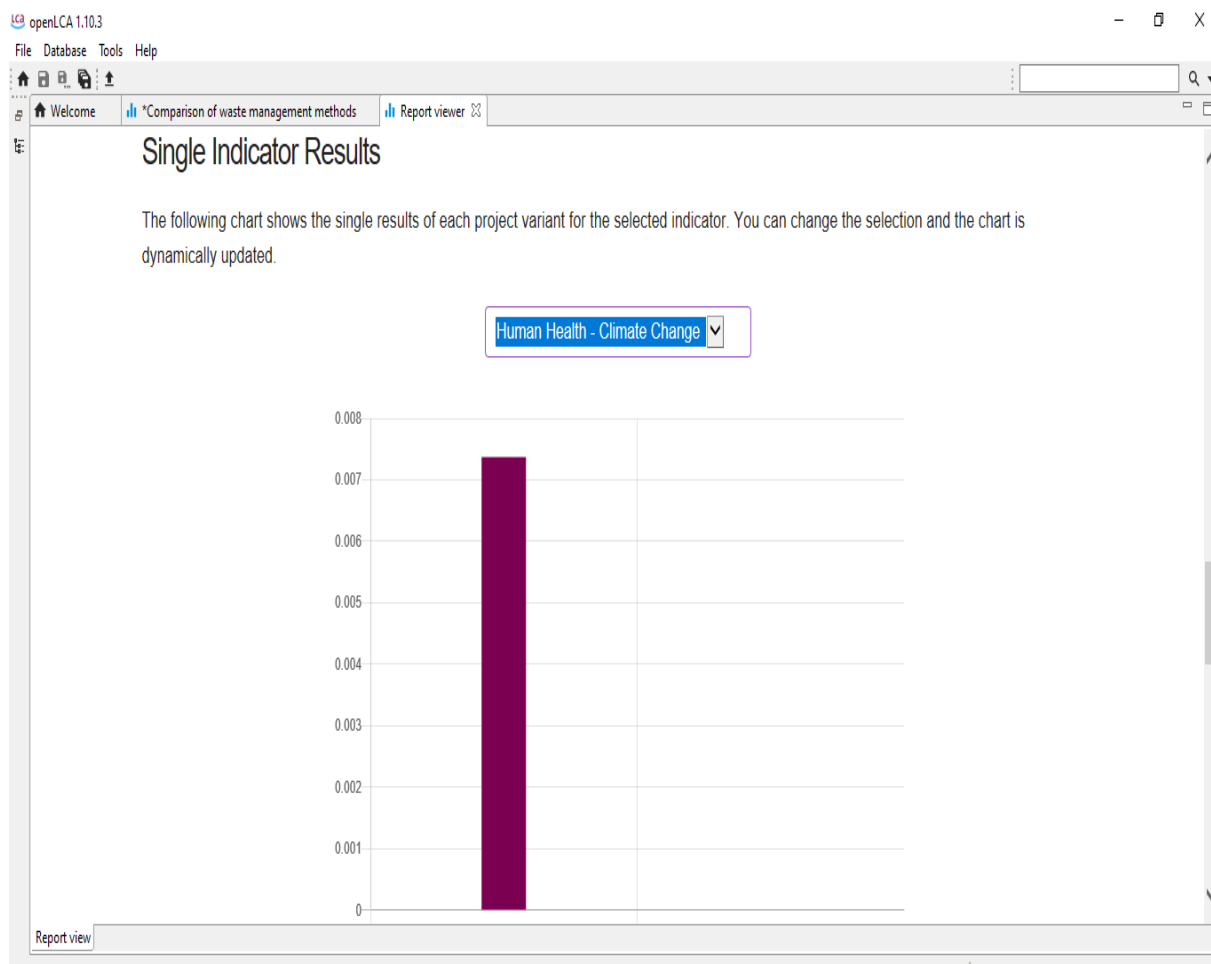
Παρατηρούμε πως παρά το γεγονός ότι η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης συνεισφέρει αποκλειστικά στη τοξικότητα των νερών και του εδάφους, τη μεγαλύτερη επίπτωση στο περιβάλλον, προκαλεί μέσω της πρόκλησης κλιματικής αλλαγής η κομποστοποίηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ποσότητα των ρύπων υπεύθυνων για την κλιματική αλλαγή είναι υπέρμετρα μεγαλύτερη από αυτή της φορμαλδεΐδης. (Διάγραμμα 6.53).



Διάγραμμα 6.53 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στο Οικοσύστημα Συνολικά

Η έκτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσω της κλιματικής αλλαγής.

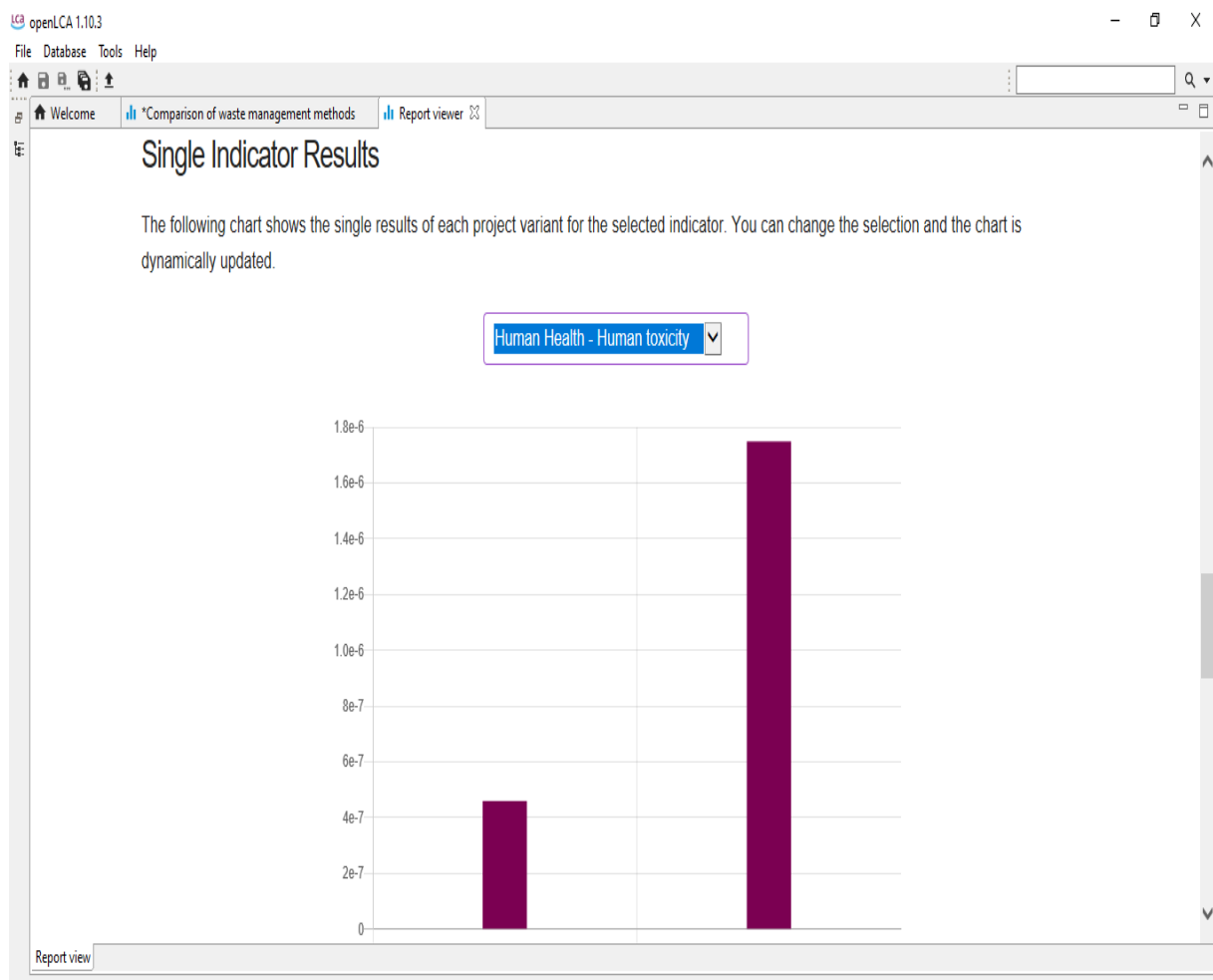
Παρατηρούμε πως την αποκλειστική επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.54). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύεται 35 φορές μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Επιπρόσθετα επειδή γίνεται εκμετάλλευση του βιοαερίου εκμηδενίστηκε η έκλυση μεθανίου από την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, κάτι που της δίνει ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι της κομποστοποίησης. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι δύο από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες για την κλιματική αλλαγή.



Διάγραμμα 6.54 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσω Της Κλιματικής Αλλαγής

Η έβδομη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από τη τοξικότητα των ρύπων.

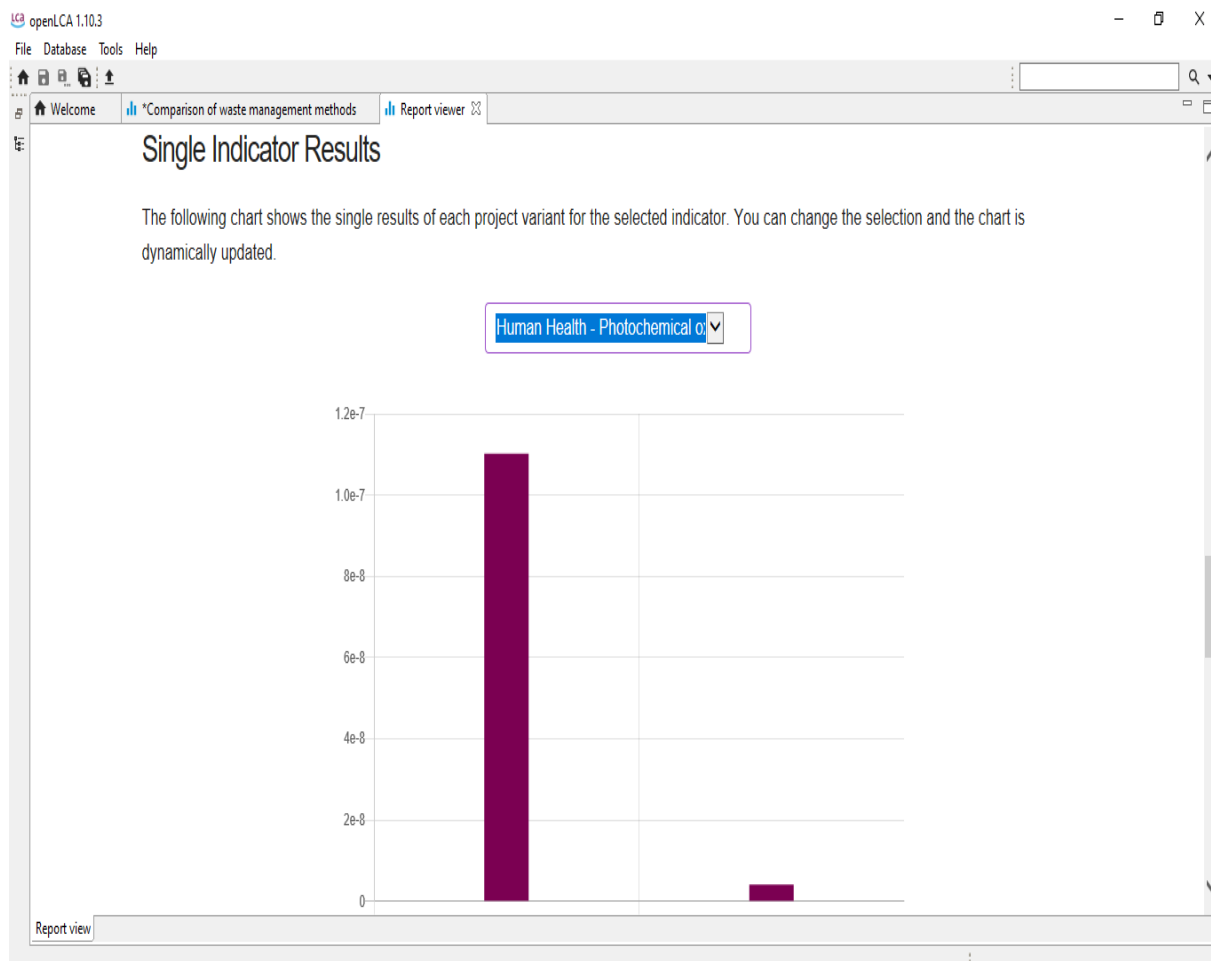
Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 6.55). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της αναερόβιας χώνευσης εκλύεται 2,5 φορές μεγαλύτερη ποσότητα οξειδίων του αζώτου από εκείνη των διαδικασιών της κομποστοποίησης. Επιπρόσθετα κατά την καύση του βιοαερίου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας παράγεται η ουσία φορμαλδεΰδη.



**Διάγραμμα 6.55 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) –
Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην
Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Τη Τοξικότητα Των Ρύπων**

Η όγδοη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στην ανθρώπινη υγεία μέσα από το σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών.

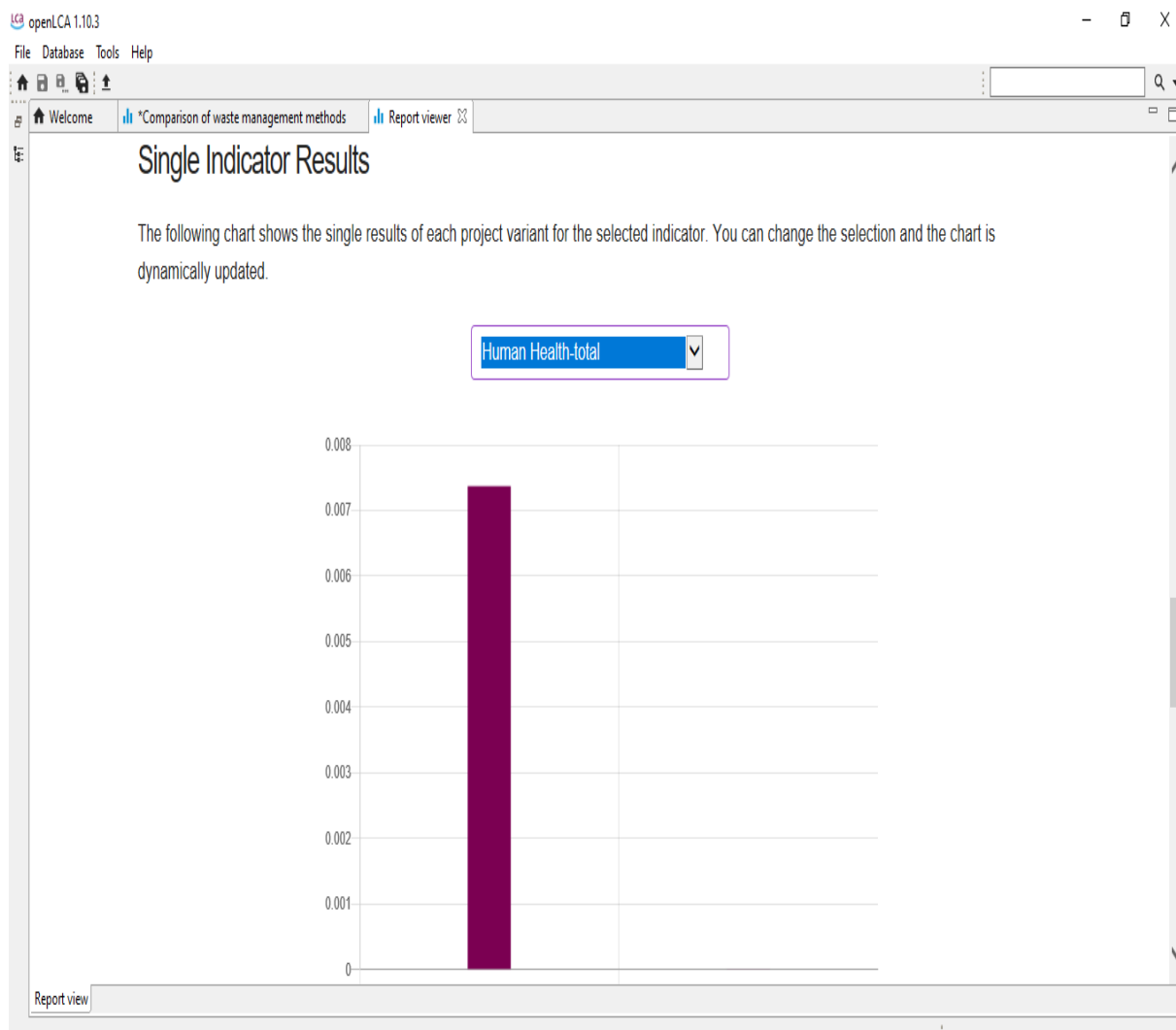
Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.56). Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς κατά το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης, εκλύονται πολύ μεγαλύτερες ποσότητες VOC (συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου), από ότι εκλύεται κατά τις διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Τα VOC είναι από τους κύριους παράγοντες που προκαλούν τον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους όταν εκτίθενται στο φως του ήλιου.



Διάγραμμα 6.56 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Μέσα Από Το Σχηματισμό Φωτοχημικών Οξειδωτικών

Η ένατη γραφική παράσταση παρουσιάζει την επίπτωση των επιμέρους διαδικασιών στο σύνολο της ανθρώπινης υγείας.

Παρατηρούμε πως την σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση προκαλεί η διαδικασία της κομποστοποίησης (Διάγραμμα 6.57). Λογικό αποτέλεσμα αφού όπως φάνηκε στις γραφικές παραστάσεις των δύο από εκ των τριών κατηγοριών επίπτωσης στην ανθρώπινη υγεία, μεγαλύτερη επίδραση σε αυτές έχει η κομποστοποίηση.



Διάγραμμα 6.57 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία Συνολικά

Στην δέκατη και τελική παράσταση παρουσιάζεται η σύγκριση όλων των επιμέρους κατηγοριών (Διάγραμμα 6.58).



Διάγραμμα 6.58 Κομποστοποίηση VS Αναερόβια Χώνευση (με εκμετάλλευση βιοαερίου) – Μέθοδος Αλγόριθμος ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014] – Συνολική Σύγκριση

6.7 Τελική Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης

Καταληκτικά μελετώντας τα αποτελέσματα των συγκρίσεων συμπεραίνουμε πως και στις τρεις περιπτώσεις η μέθοδος επεξεργασίας στερεών αποβλήτων με το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο είναι η κομποστοποίηση. Τα δεδομένα παρατίθενται στους παρακάτω Πίνακες 6.1, 6.2 και 6.3.

Η επιμέρους διαδικασία που αποτελεί την ειδοποιό διαφορά των δύο μεθόδων, λαμβάνοντας υπόψιν πως πολλές διαδικασίες είναι κοινές και για τις δύο μεθόδους είναι αυτή της κομποστοποίησης. Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα εκροών κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης διαδικασίας εκλύονται τεράστιες ποσότητες ρύπων, της τάξεως των 300 φορών περισσότερων από την ακριβώς επόμενη σε εκπομπές διαδικασία.

Η εκμετάλλευση του παραγόμενου από την αναερόβια χώνευση βιοαερίου κρίνεται απαραίτητη διότι βελτιώνει ασυγκρίτως το περιβαλλοντικό και το ενεργειακό αποτύπωμα της μεθοδολογίας

όπως φαίνεται και στους παρακάτω πίνακες. Συγκεκριμένα το περιβαλλοντικό αποτύπωμα βελτιώνεται σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε οι αλγόριθμοι να το υπολογίζουν ως μηδενικό

Η κομποστοποίηση έχει σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία από την αναερόβια χώνευση (εξαιρέση αποτελεί η αναερόβια με εκμετάλλευση του βιοαερίου στον αλγόριθμο eco indicator 99 (E)).

Πίνακας 6.1 Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - ILCD (Αλγόριθμος)

<i>Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης</i>				
<i>ILCD (Αλγόριθμος)</i>	<i>Κομποστοποίηση</i>	<i>Αναερόβια Χώνευση άνευ εκμετάλλευσης βιοαερίου</i>	<i>Αναερόβια Χώνευση με εκμετάλλευση βιοαερίου</i>	<i>Μονάδες</i>
<i>Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα</i>				
<i>Οικοσύστημα (κλιματική αλλαγή)</i>	5,47E-05	1,96E-10	0	είδος*έτος
<i>Οικοσύστημα (σύνολο)</i>	5,47E-05	1,96E-10	0	είδος*έτος
<i>Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία</i>				
<i>Ανθρώπινη υγεία (σύνολο)</i>	9,66E-03	5,67E-07	7,46E-06	DALY
<i>Ανθρώπινη υγεία (καρκινογόνες ουσίες)</i>	0	0	6,41E-06	DALY
<i>Ανθρώπινη υγεία (μη καρκινογόνες ουσίες)</i>	0	0	1.58E-08	DALY
<i>Ανθρώπινη υγεία (κλιματική αλλαγή)</i>	9,66E-03	3,46E-08	0	DALY
<i>Ανθρώπινη υγεία (σωματίδια/αναπνευστικά όργανα)</i>	5,88E-07	5,32E-07	1.03E-06	DALY
<i>Ανθρώπινη υγεία(φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος)</i>	1,10E-07	1,17E-09	4,06E-09	DALY
<i>Ενεργειακό Αποτύπωμα</i>				
<i>Εξάντληση Πόρων (Ορυκτά, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) ReCiPe 1.05</i>	4,12E+0 2	4,71E+0 2	-3,78E-02	\$
<i>Εξάντληση Πόρων (Ορυκτά Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) ReCiPe 1.11</i>	4,04E+0 0	4,60E+0 0	-3,71E00	\$
<i>Εξάντληση Πόρων (Σύνολο) ReCiPe 1.05</i>	4,12E+0 2	4,71E+0 2	-3,78E02	\$
<i>Εξάντληση Πόρων (Σύνολο) ReCiPe 1.11</i>	4,04E+0 0	4,60E+0 0	-3,71E00	\$

Πίνακας 6.2 Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - Eco-Indicator 99 (E) (Αλγόριθμος)

Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης

<i>Eco-Indicator 99 (E) (Αλγόριθμος)</i>	<i>Κομποστοποίηση</i>	<i>Αναερόβια Χώνευση άνευ εκμετάλλευσ ης βιοαερίου</i>	<i>Αναερόβια Χώνευση με εκμετάλλευση βιοαερίου</i>	<i>Μονάδες</i>
<i>Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία</i>				
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Κλιματική Αλλαγή)</i>	5,16E-03	3,56E-03	6,88E-03	DALY
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Καρκινογόνες ουσίες)</i>	0	0	2,17E-08	DALY
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Αναπνευστικά Προβλήματα Που Οφείλονται Σε Ανόργανες Ουσίες)</i>	8,95E-03	8,09E-03	1,56E-02	DALY
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Αναπνευστικά Προβλήματα Που Οφείλονται Σε Οργανικές Ουσίες)</i>	3,53E-06	5,07E-09	6,84E-08	DALY
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Σύνολο)</i>	1,41E-02	1,16E-02	2,25E-02	DALY

Πίνακας 6.3 Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης - ReCiPe Endpoint (E) (Αλγόριθμος)

<i>Σύγκριση Τεχνολογιών Κομποστοποίησης & Αναερόβιας Χώνευσης</i>				
<i>ReCiPe Endpoint (E) (Αλγόριθμος)</i>	<i>Κομποστοποίηση</i>	<i>Αναερόβια Χώνευση άνευ εκμετάλλευσ ης βιοαερίου</i>	<i>Αναερόβια Χώνευση με εκμετάλλευσ ης βιοαερίου</i>	<i>Μονάδες</i>
<i>Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα</i>				
<i>Οικοσύστημα (Κλιματική Αλλαγή)</i>	3,92E-05	1,40E-10	0	είδος*έτος
<i>Οικοσύστημα(τοξικότητα του γλυκού νερού.)</i>	0	0	3,00E-13	είδος*έτος
<i>Οικοσύστημα(τοξικότητα του αλμυρού νερού.)</i>	0	0	1,62E-14	είδος*έτος
<i>Οικοσύστημα(τοξικότητα της γης.)</i>	0	0	1,68E-10	είδος*έτος
<i>Οικοσύστημα (Σύνολο)</i>	3,92E-05	1,40E-10	1,69E-10	είδος*έτος
<i>Επίπτωση Στην Ανθρώπινη Υγεία</i>				
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Κλιματική Αλλαγή)</i>	7,37E-03	2,64E-08	0	DALY
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Τοξικότητα)</i>	4,59E-07	4,38E-06	1,75E-06	DALY
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Σχηματισμός Φωτοχημικών Οξειδοτικών)</i>	1,10E-07	1,17E-09	4,06E-09	DALY
<i>Ανθρώπινη Υγεία (Σύνολο)</i>	7,37E-03	4,41E-06	1,75E-06	DALY

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: Συμπεράσματα – Περιορισμοί Μελέτης – Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας

Συμπεράσματα

Από τα στοιχεία που προέκυψαν από την μελέτη μας συμπεραίνουμε πως η τεχνολογία της κομποστοποίησης, έχει σημαντικά μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από την τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης είτε γίνεται εκμετάλλευση του βιοαερίου είτε όχι. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη για την ανάλυση κύκλου ζωής ανέδειξαν, πως η τεχνολογία της κομποστοποίησης έχει σημαντικά μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία από εκείνη της αναερόβιας χώνευσης. Μοναδική εξαίρεση σε αυτή τη διαπίστωση αποτελεί η τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης με εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου όταν χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος eco indicator 99. Η εκμετάλλευση του βιοαερίου στην τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης ουσιαστικά εκμηδενίζει το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα. Συμπληρωματικά από την ανάλυση κύκλου ζωής προέκυψε πως εάν δεν γίνει εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου στην τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης τότε, το ενεργειακό της αποτύπωμα είναι χειρότερο από αυτό της τεχνολογίας της κομποστοποίησης. Συνεπώς η εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου κρίνεται απαραίτητη. Όλα τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην μελέτη είναι ανηγμένα σε ένα τόνο στερεών αστικών αποβλήτων, έτσι γίνεται εύκολα κατανοητό πως όσο μεγαλύτερες οι μονάδες επεξεργασίας τόσο πιο συμφέρουσα επιλογή γίνεται η αναερόβια χώνευση. Συμπερασματικά η τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης με εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου, είναι η προτιμότερη μέθοδος διαχείρισης στερεών αστικών αποβλήτων.

Περιορισμοί Μελέτης

- Απαίτηση εξειδικευμένων μεθόδων ανάλυσης των αποτελεσμάτων χρήσης των τεχνολογιών επεξεργασίας στερεών αστικών αποβλήτων (κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης)
- Δυσκολία στον ορθό χειρισμό και την παραμετροποίησή των μεθόδων ανάλυσης
- Εξειδικευμένοι και πολύπλοκοι μαθηματικοί υπολογισμοί
- Απαίτηση ιδιαίτερα προσεκτικής και στοχευμένης συγκριτικής ανάλυσης για την διασφάλιση επιστημονικά ορθών και αντικειμενικών συμπερασμάτων

Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας

Περαιτέρω προτείνεται η διεξαγωγή μελλοντικής έρευνας, η οποία θα διευρύνει τα όρια της παρούσας και θα εστιάζει στην ανάλυση κύκλου ζωής των προϊόντων που απορρίπτονται από τις διαδικασίες που μελετήσαμε καθώς και την ανάλυση του κύκλου ζωής της του τελικού προϊόντος μετά την παράδοσή του στο χώρο εκμετάλλευσής του.

8 Βιβλιογραφία – Αναφορές – Διαδικτυακές Πηγές

1. Al-Rumaihi, A., McKay, G., Mackey, H. R., & Al-Ansari, T. (2020). Environmental impact assessment of food waste management using two composting techniques. *Sustainability*, 12(4), 1595.
2. Angelonidi, E., & Smith, S. R. (2015). A comparison of wet and dry anaerobic digestion processes for the treatment of municipal solid waste and food waste. *Water and Environment Journal*, 29(4), 549-557.
3. Aziz, N. I. H. A., & Hanafiah, M. M. (2020). Life cycle analysis of biogas production from anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Renewable Energy*, 145, 847-857.
4. Bacenetti, J., & Fiala, M. (2015). Carbon footprint of electricity from anaerobic digestion plants in Italy. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 14(7).
5. Benavente, V., Fullana, A., & Berge, N. D. (2017). Life cycle analysis of hydrothermal carbonization of olive mill waste: Comparison with current management approaches. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2637-2648.
6. Colazo, A. B., Sánchez, A., Font, X., & Colón, J. (2015). Environmental impact of rejected materials generated in organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion plants: Comparison of wet and dry process layout. *Waste Management*, 43, 84-97.
7. Cremiato, R., Mastellone, M. L., Tagliaferri, C., Zaccariello, L., & Lettieri, P. (2018). Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. *Renewable Energy*, 124, 180-188.
8. Di Maria, F., & Micale, C. (2015). Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 377-388.
9. Diaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L., & Golueke, C. G. (2020). *Composting and recycling: municipal solid waste*. CRC Press.
10. Duan, N., Khoshnevisan, B., Lin, C., Liu, Z., & Liu, H. (2020). Life cycle assessment of anaerobic digestion of pig manure coupled with different digestate treatment technologies. *Environment International*, 137, 105522.
11. Havukainen, J., Väisänen, S., Rantala, T., Saunila, M., & Ukko, J. (2020). Environmental impacts of manure management based on life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121576.
12. Hijazi, O., Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y. A., Amer, B. M. A., Amer, M. A., ... & Bernhardt, H. (2020). Life cycle assessment of the use of nanomaterials in biogas production from anaerobic digestion of manure. *Renewable Energy*, 148, 417-424.
13. Hwang, H. Y., Kim, S. H., Shim, J., & Park, S. J. (2020). Composting Process and Gas Emissions during Food Waste Composting under the Effect of Different Additives. *Sustainability*, 12(18), 7811.
14. Istrate, I. R., Iribarren, D., Gálvez-Martos, J. L., & Dufour, J. (2020). Review of life-cycle environmental consequences of waste-to-energy solutions on the municipal solid waste management system. *Resources, Conservation And Recycling*, 157, 104778.

15. Jensen, M. B., Møller, J., & Scheutz, C. (2017). Assessment of a combined dry anaerobic digestion and post-composting treatment facility for source-separated organic household waste, using material and substance flow analysis and life cycle inventory. *Waste Management*, 66, 23-35.
16. Jodar, J. R., Ramos, N., Carreira, J. A., Pacheco, R., & Fernández-Hernández, A. (2017). Quality assessment of compost prepared with municipal solid waste. *Open Engineering*, 7(1), 221-227.
17. Khandelwal, H., Dhar, H., Thalla, A. K., & Kumar, S. (2019). Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. *Journal Of Cleaner Production*, 209, 630-654.
18. Lalander, C., Nordberg, Å., & Vinnerås, B. (2018). A comparison in product-value potential in four treatment strategies for food waste and faeces—assessing composting, fly larvae composting and anaerobic digestion. *GCB Bioenergy*, 10(2), 84-91.
19. Larsen, A. W., Vrgoc, M., Christensen, T. H., & Lieberknecht, P. (2009). Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. *Waste Management & Research*, 27(7), 652-659.
20. Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., ... & Christensen, T. H. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems—Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, 34(3), 573-588.
21. Li, Y., Manandhar, A., Li, G., & Shah, A. (2018). Life cycle assessment of integrated solid state anaerobic digestion and composting for on-farm organic residues treatment. *Waste Management*, 76, 294-305.
22. Maalouf, A., & El-Fadel, M. (2019). Life cycle assessment for solid waste management in Lebanon: Economic implications of carbon credit. *Waste Management & Research*, 37(1_suppl), 14-26.
23. Mustafa, M. Y., Calay, R. K., & Román, E. (2016). Biogas from organic waste—a case study. *Procedia Engineering*, 146, 310-317.
24. Opatokun, S. A., Lopez-Sabiron, A., Ferreira, G., & Strezov, V. (2017). Life cycle analysis of energy production from food waste through anaerobic digestion, pyrolysis and integrated energy system. *Sustainability*, 9(10), 1804.
25. Ramírez-Islas, M. E., Güereca, L. P., Sosa-Rodríguez, F. S., & Cobos-Peralta, M. A. (2020). Environmental assessment of energy production from anaerobic digestion of pig manure at medium-scale using life cycle assessment. *Waste Management*, 102, 85-96.
26. Tchobanoglous, G. & Kretith, F. (2016). Εγχειρίδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Β' Έκδοση). *Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη*.
27. Thushari, I., Vicheanteab, J., & Janjaroen, D. (2020). Material flow analysis and life cycle assessment of solid waste management in urban green areas, Thailand. *Sustainable Environment Research*, 30(1), 1-17.
28. U.S. EPA. Global Methane Initiative: Overview of Anaerobic Digestion for Municipal Solid Waste. October 2016. https://www.globalmethane.org/documents/AD-Training-Presentation_Oct2016.pdf.
29. Valenti, F., Liao, W., & Porto, S. M. (2020). Life cycle assessment of agro-industrial by-product reuse: a comparison between anaerobic digestion and conventional disposal treatments. *Green Chemistry*, 22(20), 7119-7139.

30. van den Oever, A. E., Cardellini, G., Sels, B. F., & Messagie, M. (2021). Life cycle environmental impacts of compressed biogas production through anaerobic digestion of manure and municipal organic waste. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127156.
31. Van Fan, Y., Klemeš, J. J., Lee, C. T., & Perry, S. (2018). Anaerobic digestion of municipal solid waste: Energy and carbon emission footprint. *Journal of environmental management*, 223, 888-897.
32. Zamri, M. F. M. A., Hasmady, S., Akhlar, A., Ideris, F., Shamsuddin, A. H., Mofijur, M., ... & Mahlia, T. M. I. (2021). A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110637.
33. Zulkepli, N. E., Muis, Z. A., Mahmood, N. A. N., Hashim, H., & Ho, W. S. (2017). Cost benefit analysis of composting and anaerobic digestion in a community: a review. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 1777-1782.
34. Δαμασκηνός, Α. (2018). *Ανάλυση κύκλου ζωής στη διαχείριση αστικών αποβλήτων*. (Master's thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο).
35. Κομίλης, Δ. (2020). *Διαχείριση και μηχανική στερεών αποβλήτων*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
36. Μαράκης, Κ. (2014). *Εφαρμογή Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων περιοχής Χανίων*. (Master's thesis, Πολυτεχνείο Κρήτης).
37. Μεζαρί, Α. Ε. (2018). *Περιβαλλοντική και οικονομική αποτίμηση μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας: εμπειρική ανάλυση* (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς).
38. Μουτάφης, Ε. Ι. (2018). *Διαχείριση οργανικών αποβλήτων με κομποστοποίηση και επιλογή κατάλληλων δομικών υλικών* (No. GRI-2018-21426). (Master's thesis, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).
39. Νέστωρα, Μ. Ε., & Γιαννούλης, Κ. (2017). Η διαχείριση των απορριμμάτων στις σύγχρονες κοινωνίες-τα κοινωνικά, πολιτικά και οικονομικά προβλήματα του ΧΥΤΑ στην Ήπειρο και συγκεκριμένα στην περίπτωση των Ιωαννίνων.
40. Ευλομενος, Φ. (2021). *Μελέτη τρόπων διαχείρισης στερεών αποβλήτων-παραγωγή κομποστοποιημένου οργανικού υλικού*. (Master's thesis, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο).
41. Παναγιωτακόπουλος, Δ. (2002). *Βιώσιμη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων*. Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.
42. Σκλαβούνος, Α. (2018). *Ολική Διαχείριση Αποβλήτων Από Μια Βιομηχανία Παραγωγής Υγρών Απορρυπαντικών*. (Master's thesis, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο).
43. Στάθης, Χ., Κομίλης, Δ. & Χαλβαδάκης, Κ. Π. (2003). *Οικονομική Βελτιστοποίηση Συστημάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων με Χρήση Γραμμικού Προγραμματισμού και Τεχνικών Βελτιστοποίησης – Εφαρμογή στο Νησί των Κυθέρων*. Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου Περιβάλλοντος HELECO 2003, Τ.Ε.Ε., Τόμος Β, σελ. 53-60, Αθήνα.
44. Τέγου, Π. Χ. (2017). *Ορθολογική διαχείριση βιοαποβλήτων στον Ελλαδικό χώρο* (No. GRI-2017-20528). (Master's thesis, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο).
45. Φουρκιώτης, Η. (2014). *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και θερμότητας μέσω της Αναερόβιας Χώνευσης κτηνοτροφικών απορριμμάτων/υπολειμμάτων*. (Doctoral dissertation, Φουρκιώτης Ηλίας).

46. Ekvall, T., Azapagic, A., Finnveden, G., Rydberg, T., Weidema, B. P., & Zamagni, A. (2016). Attributional and consequential LCA in the ILCD handbook. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(3), 293-296.
47. EC-JRC. (2010). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. (E. C. J. R. C. I. for E. and Sustainability, Ed.) (1st ed.). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
48. Sustainability, P. (2020). SimaPro database manual Methods library. *SimaPro: Utrecht, The Netherlands*.
49. Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., ... & van Zelm, R. (2016). ReCiPe 2016: a harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level report I: characterization. *Int J Life Cycle Assess.*
50. Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & Van Zelm, R. (2009). ReCiPe 2008. *A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*, 1, 1-126.
51. García-Cruz, A., Díaz-Jiménez, L., Ilyina, A., & Carlos-Hernández, S. (2022). Prospective life cycle assessment of a based orange wax fungicide. *Industrial Crops and Products*, 180, 114769.
52. Verbitsky, O., & Pushkar, S. (2018). ECO-INDICATOR 99, ReCiPe And Anova For Evaluating Building Technologies Under Lca Uncertainties. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 17(11).
53. Goedkoop, M. (2007). The eco-indicator 99 methodology. *Journal of Life Cycle Assessment*, Japan, 3(1), 32-38.
54. Ζυγούρας, Γ. (2005). Η ανάλυση κύκλου ζωής ως εργαλείο εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η περίπτωση της παραγωγής αλεύρων σε Ελληνική βιομηχανία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.