



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής Εναλλακτικών Σεναρίων Διαχείρισης Βιοαποικοδομήσιμου Κλάσματος Αστικών Στερεών Απορριμμάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

Επιβλέπων:

Λυμπεράτος Γεράσιμος
Καθηγητής Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π

Εργαστηριακός συνεργάτης:

Μαθιουδάκης Δημήτρης
Χημικός Μηχανικός MSc, PhD Candidate

Αθήνα, 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη του καθηγητή του ΕΜΠ, κ. Γεράσιμου Λυμπεράτου, κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2019-2020.

Με την ολοκλήρωση της θα ήθελα να ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεράσιμο Λυμπεράτο που μου έδωσε πρωτίστως την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα, καθώς επίσης και για την καθοριστική καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της ενασχόλησής μου με αυτό.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π., κ. Δημήτρη Μαθιουδάκη για την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας καθώς και για την άψογη συνεργασία και τη συνεχή υποστήριξή του.

Τέλος, ειδική αναφορά θα ήθελα να κάνω στην οικογένειά μου και στο φιλικό μου περιβάλλον, καθώς αποτέλεσαν σημαντικό αρωγό της προσπάθειάς μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη μελέτη εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων μέσω της αξιοποίησης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος αυτών, σε σχέση με το υφιστάμενο σενάριο διαχείρισης απορριμμάτων που εφαρμόζεται στο Δήμο Χαλανδρίου. Στα πλαίσια αυτά εφαρμόστηκε για όλα τα εναλλακτικά σενάρια αλλά και για το σενάριο αναφοράς η μέθοδος ανάλυσης κύκλου ζωής (LCA) και ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής (LCC) προκειμένου τα σενάρια αυτά να αξιολογηθούν σε επίπεδο περιβαλλοντικό και οικονομικό περιλαμβάνοντας όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, από το σημείο παραγωγής και διαλογής των απορριμμάτων μέχρι και την τελική τους επεξεργασία και διάθεση.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν προοπτικές αξιοποίησης των τροφικών υπολειμμάτων και των απορριμμάτων κήπου για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας, τα οποία εν δυνάμει μπορούν να υποκαταστήσουν σημαντικό μερίδιο της εγχώρια αγοράς προϊόντων. Η μοντελοποίηση των σεναρίων αυτών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό EASETECH το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας (DTU) και το οποίο δίνει την δυνατότητα μελέτης της επίδρασης του κάθε σεναρίου σε διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων για τον άνθρωπο και το περιβάλλον καθώς επίσης και τη δυνατότητα οικονομικής αξιολόγησης.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατηρήθηκε ότι τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης εμφανίζουν σημαντικά καλύτερες τιμές για κάποιες από τις βασικές κατηγορίες επιπτώσεων όπως είναι η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση του όζοντος αλλά και το κόστος ωστόσο τα περιβαλλοντικά οφέλη περιορίζονται λόγω των ενεργοβόρων διεργασιών που περιλαμβάνουν (ξήρανση/τεμαχισμός, και σε μικρότερο βαθμό η αναερόβια χώνευση). Καθοριστική για την βελτιστοποίηση των εναλλακτικών σεναρίων είναι η στροφή από τις συμβατικές πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (καύση λιγνίτη) στη χρήση ανανεώσιμων όπως η αιολική και η ηλιακή.

Συμπληρωματικά με την ανάλυση του κύκλου ζωής, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας και αβεβαιότητας για όλα τα σενάρια. Η ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποιείται προκειμένου να αξιολογηθούν οι παράμετροι εκείνες των σεναρίων που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στη μεταβολή των αποτελεσμάτων. Παράλληλα η ανάλυση αβεβαιότητας πραγματοποιείται με τη μέθοδο Monte Carlo. Χρησιμοποιείται προκειμένου να εξεταστεί η ακρίβεια στις τιμές των επιπτώσεων που υπολογίστηκαν, υποδεικνύοντας ταυτόχρονα τις διεργασίες εκείνες που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη διακύμανση στα αποτελέσματά τους.

Λέξεις κλειδιά

Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής, Αστικά Στερεά Απορρίμματα, Τροφικά Υπολείμματα, Ξήρανση/Τεμαχισμός, FORBI

Abstract

The present study aims to examine the efficiency of alternative municipal solid waste management scenarios -via the valorization of the biodegradable fraction of waste-, in comparison to the current waste management scheme that is implemented in the municipality of Halandri. In this context, life cycle analysis (LCA) and life cycle costing analysis (LCC) were conducted in order to assess the scenarios in environmental and economic level. The analysis includes all phases in the life cycle of the system, from the production and source separation of waste to the final reprocessing and the disposal of residues.

More precisely, the prospects of food waste and green waste valorization were examined, in order to produce value-added products that could potentially substitute a significant share of the domestic market. All scenarios were modeled by EASETECH. Easetech is a software developed by the Danish Technical University that offers the possibility of a life cycle impact assessment in terms of economic, human health and environmental point.

Based on the exported results it was observed that the alternative waste management scenarios are much more efficient concerning some of the most critical impact categories such as climate change, depletion of ozone and cost too. However, environmental benefits are bounded by the energy-intensive processes that the alternative scenarios include (drying/shredding and anaerobic digestion to a lesser extent). The transition from fossil fuel-based electricity production (combustion of lignite) to renewable sources of energy such as wind and solar power is crucial so as to optimize the environmental profits of the alternative scenarios.

Alongside life cycle analysis, a sensitivity and uncertainty analysis were conducted. Sensitivity analysis is used in order to assess the parameters that have greater impacts in the change of the results. Uncertainty analysis is conducted using the method of Monte Carlo analysis. The aim of the uncertainty analysis is to examine the preciseness of the values of the impacts that were computed, indicating at the same time the processes of the scenarios that show the greatest variance in their results.

Key-words

Life Cycle Analysis, Life Cycle Costing Analysis, Municipal Solid Waste, Food Waste, Drying/Shredding, FORBI

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| Πίνακας περιεχομένων εικόνων | 6 |
| Πίνακας περιεχομένων διαγραμμάτων | 6 |
| Πίνακας περιεχομένων πινάκων | 8 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 11 |
| Αστικά στερεά απόβλητα | 11 |
| Υφιστάμενη κατάσταση και διαχείριση αστικών αποβλήτων | 12 |
| Απορρίμματα και Ευρωπαϊκή νομοθεσία..... | 13 |
| 1. LCA ΚΑΙ LCC | 15 |
| 1.1 Ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) | 15 |
| 1.1.1 Οι απαρχές της μεθόδου ως τη σημερινή της μορφή..... | 16 |
| 1.1.2 Στόχος της μεθόδου και οφέλη | 18 |
| 1.1.3 Στάδια της μεθόδου | 19 |
| 1.1.4 Περιορισμοί στην ανάλυση του κύκλου ζωής..... | 22 |
| 1.2 Ανάλυση κύκλου ζωής σε συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων..... | 23 |
| 1.2.1 Προκλήσεις στην ανάπτυξη των συστημάτων διαχείρισης ΑΣΑ | 24 |
| 1.2.2 Ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων | 26 |
| 1.2.3 Προσέγγιση μηδενικού φορτίου | 30 |
| 1.2.4 Ανάλυση δεδομένων στα συστήματα διαχείρισης ΑΣΑ..... | 31 |
| 1.2.5 Κατηγορίες επιπτώσεων | 33 |
| 1.3 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (LCC)..... | 34 |
| 1.3.1 LCC σε συνέργεια με την ανάλυση κύκλου ζωής | 34 |
| 1.3.2 Κατηγορίες LCC..... | 34 |
| 1.4 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής σε συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων..... | 36 |
| 1.4.1 Είδη κόστους | 37 |
| 1.4.2 Δομή μοντέλου κοστολόγησης | 38 |
| 1.4.3 Υπολογισμός για τα επιμέρους κόστη των διεργασιών | 39 |
| 1.5 Έλεγχος αξιοπιστίας και εγκυρότητας δεδομένων και αποτελεσμάτων..... | 40 |
| 1.5.1 Ανάλυση ευαισθησίας..... | 41 |
| 1.5.2 Αξιολόγηση ποιότητας δεδομένων - Pedigree Matrix | 41 |
| 1.5.3 Ανάλυση αβεβαιότητας | 43 |
| 2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΑ-CASE STUDY ΧΑΛΑΝΔΡΙ..... | 46 |
| 2.1 Υπάρχον σύστημα διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων | 46 |
| 2.2 Εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης αστικών αποβλήτων-Πρόγραμμα Waste4Think | 48 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3. | ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ | 56 |
| 3.1 | Καθορισμός σκοπού και πλαισίου, αρχές και οριοθέτηση του συστήματος | 56 |
| 3.2 | Απογραφή και ανάλυση δεδομένων (LCI) για το LCA..... | 56 |
| 3.3 | Απογραφή και ανάλυση δεδομένων κόστους..... | 66 |
| 3.4 | Ανάλυση και αποτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA) | 73 |
| 3.5 | Ερμηνεία αποτελεσμάτων | 81 |
| 3.6 | Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας..... | 85 |
| 3.7 | Αποτελέσματα ανάλυσης αβεβαιότητας..... | 96 |
| 4. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 104 |
| 5. | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 107 |
| 6. | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... | 110 |

Πίνακας περιεχομένων εικόνων

| | |
|--|----|
| ΕΙΚΟΝΑ 1. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ | 15 |
| ΕΙΚΟΝΑ 2. ΕΞΕΛΙΞΗ LCA..... | 17 |
| ΕΙΚΟΝΑ 3. ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ | 19 |
| ΕΙΚΟΝΑ 4. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΙΣΡΩΝ-ΕΚΡΩΝ ΚΑΙ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ..... | 20 |
| ΕΙΚΟΝΑ 5. ΤΥΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ..... | 26 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ | 31 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7. ΤΡΕΙΣ ΤΥΠΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ | 35 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ | 37 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9. PEDIGREE MATRIX..... | 42 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΑΣΙΚΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ..... | 44 |
| ΕΙΚΟΝΑ 11. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ | 44 |

Πίνακας περιεχομένων διαγραμμάτων

| | |
|---|-----|
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΔΗΜΟΥ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ..... | 46 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2. ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ..... | 47 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3. ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΚΗΠΩΝ..... | 49 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟ-CNG ΚΑΙ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ | 50 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟ-ΥΘΑΝΙΟΥ ΚΑΙ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ | 51 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6. ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΡΟΦΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ..... | 52 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ, ΒΙΟ-CNG ΚΑΙ COMPOST | 53 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΛΛΕΤ | 54 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (1)..... | 74 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (2)..... | 74 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (3)..... | 75 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (4)..... | 75 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (5)..... | 76 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14. ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.1 | 77 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ..... | 81 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16. ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ..... | 86 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17. ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ..... | 87 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18. ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ..... | 88 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19. ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΜΗ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ | 88 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20. ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ..... | 89 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21. ΛΟΓΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ | 90 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ | 99 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ | 99 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ..... | 100 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ | 101 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΜΗ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ | 101 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ | 102 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (1)..... | 124 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (2)..... | 124 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (3)..... | 125 |

| | |
|---|-----|
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ (1) | 125 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ (2) | 126 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ (3) | 126 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 34. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ (1)... | 127 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 35. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ (2)... | 127 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 36. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ (3)... | 128 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 37. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΜΗ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ (1) | 128 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 38. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΜΗ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ (2) | 129 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 39. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΜΗ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ (3) | 129 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 40. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (1)..... | 130 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 41. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (2)..... | 130 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 42. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (3)..... | 131 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 43. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (1) | 131 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 44. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (2) | 132 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 45. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (3) | 132 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 46. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟ ΝΕΦΟΣ (1)..... | 133 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 47. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟ ΝΕΦΟΣ (2)..... | 133 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 48. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟ ΝΕΦΟΣ (3)..... | 134 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 49. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΟΞΙΝΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (1) | 134 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 50. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΟΞΙΝΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (2) | 135 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 51. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΟΞΙΝΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (3) | 135 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 52. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (1) | 136 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 53. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (2) | 136 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 54. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (3) | 137 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 55. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (1)..... | 137 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 56. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (2)..... | 138 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 57. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (3)..... | 138 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 58. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (1) | 139 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 59. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (2) | 139 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 60. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (3) | 140 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 61. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (1) | 140 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 62. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (2) | 141 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 63. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (3) | 141 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 64. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ (1) | 142 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 65. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ (2) | 142 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 66. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ (3) | 143 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 67. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΜΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ (1) | 143 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 68. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΜΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ (2) | 144 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 69. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΜΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ (3) | 144 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 70. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΚΟΣΤΟΣ (1)..... | 145 |
| ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 71. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΚΟΣΤΟΣ (2)..... | 145 |

Πίνακας περιχομένων πινάκων

| | |
|--|-----|
| ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΣΑ ΔΗΜΟΥ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ..... | 57 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΔΗΜΟΥ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ, ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΠΗΓΗ..... | 58 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΛΛΟΓΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ..... | 59 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ..... | 59 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΔΑΥ..... | 60 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΚΔΑΥ ΣΤΟ ΧΥΤΑ..... | 60 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 7. ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ, ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ..... | 61 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 8. ΒΑΘΜΟΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ..... | 61 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 9. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ..... | 62 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 10. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ/ΤΕΜΑΧΙΣΤΗ..... | 63 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 11. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ..... | 64 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 12. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΩΝ..... | 65 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 13. ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ/ΥΘΑΝΙΟΥ, ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ..... | 65 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 14. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΝΖΥΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ..... | 66 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 15. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΔΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ..... | 67 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 16. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΔΩΝ, ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ..... | 67 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 17. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΟΦΟΡΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ..... | 67 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 18. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΟΦΟΡΩΝ, ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ..... | 68 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 19. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ..... | 68 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 20. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ..... | 69 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 21. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΕΞΟΔΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ..... | 69 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 22. ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ..... | 70 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 23. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ, ΞΗΡΑΝΣΗ/ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ..... | 71 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 24. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ..... | 71 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 25. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ..... | 72 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 26. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ..... | 72 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 27. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΛΛΕΤ..... | 72 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 28. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΕΛΛΕΤ..... | 73 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 29. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1..... | 90 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 30. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 2..... | 91 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 31. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.1..... | 91 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 32. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.2..... | 92 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 33. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 3..... | 92 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 34. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 4..... | 93 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 35. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ DIESEL_COLL_REC..... | 97 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 36. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ..... | 97 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 37. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ..... | 97 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 38. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΤΟΞΙΚΕΣ ΜΗ ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ..... | 98 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 39. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ..... | 110 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 40. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ..... | 115 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 41. PEDIGREE MATRIX ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ LCA..... | 117 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 42. PEDIGREE MATRIX ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ LCC..... | 120 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 43. ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΟΥ LCA..... | 121 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 44. ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΟΥ LCC..... | 123 |

| | |
|---|-----|
| ΠΙΝΑΚΑΣ 45. ΛΟΓΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ 0 | 146 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 46. ΛΟΓΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1 | 147 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 47. ΛΟΓΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.1 | 147 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 48. ΛΟΓΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.2 | 148 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 49. ΛΟΓΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ 2 | 149 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 50. ΛΟΓΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ 3 | 149 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 51. ΛΟΓΟΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΣΕΝΑΡΙΟ 4 | 150 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 52. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 0 (1)..... | 151 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 53. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 0 (2)..... | 151 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 54. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 0 (3)..... | 152 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 55. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 0 (4)..... | 152 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 56. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (1)..... | 153 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 57. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (2)..... | 153 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 58. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (3)..... | 154 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 59. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (4)..... | 154 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 60. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.1 (1) | 155 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 61. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.1 (2) | 155 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 62. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.1 (3) | 156 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 63. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.1 (4) | 157 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 64. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.2 (1)..... | 157 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 65. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.2 (2) | 158 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 66. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.2 (3) | 158 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 67. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 1.2 (4) | 159 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 68. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 2 (1)..... | 160 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 69. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 2 (2)..... | 160 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 70. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 2 (3)..... | 161 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 71. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 2 (4)..... | 161 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 72. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 3 (1)..... | 162 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 73. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 3 (2)..... | 162 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 74. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 3 (3)..... | 163 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 75. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 3 (4)..... | 164 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 76. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 4 (1)..... | 164 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 77. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 4(2)..... | 165 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 78. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 4 (3)..... | 165 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 79. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ, ΣΕΝΑΡΙΟ 4 (4)..... | 166 |

Ακρωνύμια και Συντομογραφίες

AKZ: Ανάλυση κύκλου ζωής

ΑΣΑ: Αστικά στερεά απορρίμματα

ΧΥΤΑ: Χώροι υγειονομικής ταφής

ΧΑΔΑ: Χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων

LCA: Life Cycle Analysis

SETAC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry

LCC: Life Cycle Costing

UBC: Unit Budget Cost

UT: Unit Transfer

UAT: Unit Anticipated Transfer

NTF: Net Tax Factor

UEC: Unit Externality Cost

AUR: Annual Usage Rate

CNG: Compressed Natural Gas

TR: Total Time of Round

ALT: Average Load of Truck

TPC: Total Plant Cost

EC: Equipment Cost

GSD: Geometric Standard Deviation

SR: Sensitivity ratio

SC: Sensitivity coefficient

Εισαγωγή

Το πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων ανέκαθεν αποτελούσε ένα μείζονος σημασίας και ευαίσθητο θέμα το οποίο απασχολεί κάθε κοινωνικό σύνολο από τα όρια ενός δήμου μέχρι και συνολικά το κάθε κράτος. Με την εντατικοποίηση της κλιματικής αλλαγής καθώς και την συνεχή επιβάρυνση του περιβάλλοντος το ζήτημα της ορθολογικής διαχείρισης των απορριμμάτων καθίσταται πιο επίκαιρο από ποτέ.

Η παραγωγή των στερεών αποβλήτων αποτελεί άμεση συνέπεια της παραγωγικής διαδικασίας και της κατανάλωσης. Η μείωση της παραγόμενης ποσότητας θα πρέπει να αποτελεί το μελλοντικό στόχο της πολιτείας ωστόσο βραχυπρόθεσμα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερο βάρος στην ορθολογική διαχείριση των απορριμμάτων. Η ανεξέλεγκτη καύση ή η διάθεση των απορριμμάτων στο έδαφος είτε στον υδροφόρα ορίζοντα αποτελούν παλαιότερες πρακτικές τις οποίες ωστόσο πολλές χώρες χωρίς ξεκάθαρο πλάνο για την περιβαλλοντικά ορθή μεταχείρισή τους, συνεχίζουν να εφαρμόζουν.

Η κύρια μέθοδος διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων στη χώρα μας ήταν -και εξακολουθεί να παραμένει- η διάθεσή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής καθώς ακόμα και σε παράνομες χωματερές. Το ποσοστό ανεξέλεγκτης απόρριψης ή ελλιπούς εφαρμογής της υγειονομικής ταφής είναι ιδιαίτερα υψηλό δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα μόλυνσης τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων ενώ συχνά είναι τα φαινόμενα αυτανάφλεξης των απορριμμάτων σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών οπότε και επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με παραγωγή τοξικών αερίων είτε ακόμη και αποτελούν εστίες πρόκλησης εκτεταμένων πυρκαγιών. Η χρήση εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων με σκοπό την μείωση των παραγόμενων αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική κυρίως για περιβαλλοντικούς λόγους δημιουργώντας ωστόσο τις προϋποθέσεις για οικονομικά οφέλη μέσω της θεμελίωσης μιας κυκλικής οικονομίας η οποία θα βασίζεται τόσο στην ανακύκλωση μέρους των παραγόμενων απορριμμάτων όσο και στην αξιοποίησή τους για την παραγωγή άλλων χρήσιμων προϊόντων προστιθέμενης αξίας (1).

Αστικά στερεά απόβλητα

Στα στερεά απόβλητα συμπεριλαμβάνεται ένα ευρύ φάσμα επιμέρους ρευμάτων (κατηγορίες) αποβλήτων, κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετική προέλευση και χαρακτηριστικά. Ανάλογα με την προέλευσή τους τα στερεά απόβλητα κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κατάλογο αποβλήτων. Μία από αυτές τις κατηγορίες είναι τα δημοτικά απόβλητα. Στα δημοτικά απόβλητα συμπεριλαμβάνονται τα οικιακά απορρίμματα καθώς και τα απόβλητα από εμπορικές και άλλες δραστηριότητες που προσομοιάζουν με τα οικιακά (2).

Πιο συγκεκριμένα στα δημοτικά απόβλητα περιλαμβάνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

Μικτά οικιακά απόβλητα

Περιλαμβάνουν τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τις οικίες και τις επιχειρήσεις και περιλαμβάνουν χαρτί και χαρτόνι, γυαλί, ξύλο, μέταλλα, πλαστικά, υλικά

συσκευασίας, βιοαποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα, υφάσματα, απόβλητα από τον καθαρισμό συστημάτων κεντρικής θέρμανσης κ.λπ.

Απόβλητα κήπων-πάρκων

Περιλαμβάνουν βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα όπως φύλλα, κλαδιά καθώς και μη βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα όπως χώμα, πέτρες κ.λπ.

Άλλα δημοτικά απόβλητα

Η κατηγορία αυτή αφορά απόβλητα που δεν περιλαμβάνονται στις προηγούμενες δύο κατηγορίες όπως απόβλητα δημοτικών αγορών, από καθαρισμό δρόμων, ίλυς σηπτικών δεξαμενών, ίλυς από την επεξεργασία αστικών λυμάτων

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των δημοτικών αποβλήτων είναι πως εμφανίζουν μεγάλη διαφοροποίηση ως προς τη σύστασή τους (2).

Υφιστάμενη κατάσταση και διαχείριση αστικών αποβλήτων

Ο βασικός τρόπος διαχείρισης απορριμμάτων στην χώρα μας περιλαμβάνει την μόνιμη διάθεσή τους στους χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) σε ποσοστό της τάξης του 81% σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής στατιστικής υπηρεσίας για το έτος 2017 (3). Παρά το γεγονός πως η Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρεί την χρήση αυτών των χώρων ως μη ενδεδειγμένη διαδικασία για την ορθολογική διαχείριση των απορριμμάτων οι ΧΥΤΑ παραμένουν ως οι βασικοί αποδέκτες των αστικών στερεών απορριμμάτων. Παράλληλα με βάση τα επίσημα στοιχεία της Eurostat, το ποσοστό των αστικών αποβλήτων το οποίο ανακυκλώνεται παραμένει σημαντικά χαμηλό συγκρινόμενο με αντίστοιχα ποσοστά άλλων Ευρωπαϊκών χωρών. Συγκεκριμένα με βάση τα στοιχεία για το 2017 η ποσότητα των αστικών στερεών απορριμμάτων που ανακυκλώνονται στην Ελλάδα αποτελεί το 18.9% των συνολικών παραγόμενων ενώ σε χώρες όπως η Γερμανία και η Σλοβενία το αντίστοιχο ποσοστό είναι ίσο με 67.3% και 58,9% αντίστοιχα (4).

Το μεγάλο πρόβλημα σχετικά με τους χώρους υγειονομικής ταφής έγκειται στην αποδόμηση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των απορριμμάτων και στην επακόλουθη παραγωγή του αερίου χωματερής (Landfill Gas, LFG). Το αέριο αυτό αποτελείται από περίπου 50% μεθάνιο και 50% διοξείδιο του άνθρακα και ένα πολύ μικρό ποσοστό οργανικών ενώσεων. Το μεθάνιο αποτελεί ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου και είναι 28-36 φορές πιο δραστικό συγκριτικά με το διοξείδιο του άνθρακα στο να παγιδεύει θερμότητα στην ατμόσφαιρα για μια περίοδο βάθους εκατό χρόνων. Η αποδόμηση των αστικών στερεών απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες πηγές εκπομπής μεθανίου που οφείλονται σε ανθρωπογενή δραστηριότητα. Όταν τα αστικά απόβλητα απορρίπτονται στα ΧΥΤΑ το βιοαποδομήσιμο κλάσμα αρχικά αρχίζει να υφίσταται μια αερόβια αποδόμηση κατά την οποία παράγεται ένα μικρό ποσό μεθανίου. Στη συνέχεια σε βάθος ενός χρόνου, ξεκινά

υπό αναερόβιες πλέον συνθήκες η αποικοδόμηση των αποβλήτων με τη βοήθεια βακτηρίων και η παραγωγή του αερίου χωματερής. Η ανεξέλεγκτη παραγωγή του LFG στους χώρους υγειονομικής ταφής είναι ιδιαίτερα επιζήμια για το περιβάλλον.

Μια ιδιαίτερα ωφέλιμη λύση τόσο από περιβαλλοντικής όσο και από οικονομικής πλευράς είναι η συλλογή του παραγόμενου αερίου χωματερής και η επεξεργασία και η μετατροπή του για την παραγωγή ενέργειας. Μέσω αυτής της μεθόδου το παραγόμενο αέριο μπορεί αφού υποστεί επεξεργασία να καεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού με ένα αρκετά μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα συγκριτικά με την άμεση διαφυγή του στην ατμόσφαιρα ή ακόμη μπορεί μειώνοντας το περιεχόμενο σε διοξείδιο του άνθρακα να συμπιεστεί για να χρησιμοποιηθεί ως φυσικό αέριο.

Μια πιο άμεση και πιθανώς και πιο αποτελεσματική μέθοδος προκειμένου να ελαττωθεί το μεθάνιο που παράγεται από την απόθεση των απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής είναι να μειωθεί η ποσότητα των μεθανιογενών υλικών που καταλήγουν σε αυτούς. Πιο συγκεκριμένα τόσο τα τροφικά υπολείμματα όσο και τα απορρίμματα που προέρχονται από κήπους είναι προτιμότερο να επεξεργάζονται και να αξιοποιούνται παρά να συλλέγονται και να απορρίπτονται ως έχει στους ΧΥΤΑ (5),(6).

Απορρίμματα και Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Τις τελευταίες δεκαετίες η ταχύτατη αύξηση του ετήσιου παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα –κύριου υπαίτιου για το φαινόμενο του θερμοκηπίου- αλλά και γενικότερα η κλιμάκωση της κλιματικής αλλαγής λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας είναι ιδιαίτερα ανησυχητική για τη βιωσιμότητα του πλανήτη. Συγκεκριμένα το διοξείδιο του άνθρακα προερχόμενο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ευθύνεται για το 63% της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα είναι σήμερα κατά 40% υψηλότερη από ότι ήταν κατά την έναρξη της εκβιομηχάνισης. Παράλληλα, η παραγωγή του μεθανίου και η απελευθέρωση του στην ατμόσφαιρα συνεισφέρει κατά 19% στην υπερθέρμανση του πλανήτη ενώ αυτή του υποξειδίου του αζώτου κατά 6% (7).

Στα πλαίσια αυτά η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει αρκετά μέτρα και στόχους για τα κράτη μέλη σε πολλούς τομείς που αφορούν άμεσα την προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι, όσον αφορά τα αστικά στερεά απορρίμματα έχει τεθεί ως στόχος η μείωση των αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής προκειμένου να ελαττωθεί η παραγωγή των αερίων του θερμοκηπίου που οφείλεται στην αποδόμηση των βιοαποικοδομήσιμων συστατικών τους. Παράλληλα με την επίτευξη των στόχων αυτών ενισχύεται το πλάνο της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης υποστηρίζοντας την κυκλική οικονομία. Αρχικά ο στόχος που θεσπίστηκε το 1995 προέβλεπε την μείωση των βιοαποικοδομήσιμων στερεών αποβλήτων στους ΧΥΤΑ στο 75% για το 2006, στο 50% για το 2009 και στο 35% για το 2016. Αποτελώντας μέρος του πακέτου για μια κυκλική οικονομία η οδηγία για τους χώρους υγειονομικής ταφής ανανεώθηκε το 2018 και ένας καινούριος στόχος θεσπίστηκε με γνώμονα το έτος 2035. Συγκεκριμένα σύμφωνα με τον νέο στόχο η μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα των αστικών στερεών απορριμμάτων που εναποθέτει κάθε κράτος μέλος στους ΧΥΤΑ δεν θα πρέπει

να ξεπερνάει το 10% της συνολικής παραγωγής. Δεδομένου ότι πολλές χώρες συμπεριλαμβανομένου και της Ελλάδας δεν είχαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα και εμφάνισαν σχετικά χαμηλή απόδοση συγκριτικά με άλλα μέλη (π.χ. βαθμό ενταφίασης >60% για το έτος 2013) δόθηκε μια παράταση 5 χρόνων -δηλαδή μέχρι το 2040- προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος, με την προϋπόθεση το ποσοστό των ΑΣΑ που θάβονται να μην ξεπερνάει το 25% μέχρι και το 2035. Ταυτόχρονα μέχρι και το 2020 υπήρχε ο στόχος της ανακύκλωσης τουλάχιστον του 50% των οικιακών ανακυκλώσιμων απορριμμάτων όπως πλαστικό, χαρτί, γυαλί, μέταλλο (8).

Με βάση τις παραπάνω Ευρωπαϊκές οδηγίες γίνεται φανερό ότι κάθε χώρα πρέπει να κινηθεί με γνώμονα την μείωση των απορριμμάτων που οδηγούνται στους χώρους υγειονομικής ταφής και να εξεταστούν εναλλακτικά σενάρια. Στα εναλλακτικά αυτά σενάρια θα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση των ανακυκλώσιμων υλικών αλλά και να εφαρμοστούν τεχνικές για την εκμετάλλευση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των απορριμμάτων που προέρχονται από τα υπολείμματα τροφίμων όσο και από τα κλαδέματα κήπων. Τα σενάρια θα πρέπει να είναι τόσο ωφέλιμα περιβαλλοντικά συγκριτικά με το υφιστάμενο τρόπο διαχείρισης όσο και βιώσιμα από οικονομικής πλευράς. Προκειμένου να εξεταστεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και το κόστος κάθε σεναρίου πραγματοποιείται ανάλυση του κύκλου ζωής και του κόστους κύκλου ζωής στα οποία εξετάζεται η επίδραση του κάθε σεναρίου από την αρχή της παραγωγής και συλλογής των απορριμμάτων μέχρι και την τελική τους διάθεση στους ΧΥΤΑ και στην παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας.

1. LCA και LCC

1.1 Ανάλυση κύκλου ζωής (LCA)

Η ιδέα της μελέτης των καταναλωτικών προϊόντων και της επίπτωσης που αυτά εμφανίζουν για το περιβάλλον ξεκινά από την δεκαετία του 1960. Ειδικά η ανάγκη σύγκρισης μεταξύ δύο προϊόντων όσον αφορά το χρόνο ζωής και την κατανάλωση ενέργειας αποτέλεσε την αφορμή για την μελέτη και επινόηση μεθόδων αποτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματός τους. Σταδιακά αναγνωρίστηκε ότι για την πλειοψηφία των προϊόντων το μεγαλύτερο μέρος της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης δεν οφείλεται τόσο στη χρήση του προϊόντος αλλά κυρίως στην παραγωγή, την μεταφορά και εντέλει την απόρριψή του. Η σημασία του καθορισμού του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή πολλών εναλλακτικών προϊόντων αποτέλεσε ιδιαίτερα ελκυστικό ζήτημα κατά τις δεκαετίες 1980 και 1990. Έτσι προέκυψε η ιδέα της ανάλυσης του κύκλου ζωής η οποία πρόκειται για τη συλλογή και αξιολόγηση των εισαγόμενων και εξαγόμενων δεδομένων και την αποτίμηση των αναμενόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος παραγωγής προϊόντος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του (9).

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί ένα χρήσιμο διαχειριστικό εργαλείο χάρη στο οποίο μπορεί να αποτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις (περιβαλλοντικό αποτύπωμα) από την παραγωγή και χρήση ενός προϊόντος ή από την ανάπτυξη μιας διεργασίας ή δραστηριότητας. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό υπολογίζονται και ποσοτικοποιούνται η ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα καθώς και τα απόβλητα που δημιουργούνται εκτιμώντας τί επίπτωση έχουν τα στοιχεία αυτά για το περιβάλλον. Ο τελικός στόχος της ανάλυσης αυτής είναι ο υπολογισμός των δυσμενέστερων περιπτώσεων περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών σεναρίων καθώς και η αποτίμηση των προοπτικών για εφαρμογή βελτιώσεων στα υπάρχοντα σενάκια (10).



Εικόνα 1. Κύκλος ζωής προϊόντος

Πρόκειται για μια προσέγγιση που περιλαμβάνει όλες τις φάσεις «από τη γέννηση έως το θάνατο» για την αξιολόγηση προϊόντων, διεργασιών, και βιομηχανικών συστημάτων. Η μέθοδος ξεκινά από τη συλλογή των πρώτων υλών που χρειάζονται για την παραγωγή ενός προϊόντος και καταλήγει στο σημείο που όλα τα υλικά επιστρέφουν πάλι πίσω στη γη. Η ανάλυση του κύκλου ζωής αξιολογεί όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος δεδομένου ότι είναι αλληλοεξαρτώμενα καθώς το καθένα συνδέεται άμεσα με το επόμενο. Συγκεκριμένα η ανάλυση περιλαμβάνει την εξαγωγή/συλλογή και επεξεργασία πρώτων υλών, την παραγωγή και συσκευασία, την μεταφορά και διανομή, τη χρήση και επαναχρησιμοποίηση, την συντήρηση, την ανακύκλωση και εντέλει την τελική απόρριψη (Εικόνα 1).

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι μια μέθοδος η οποία εφαρμόζεται από χώρες σε όλο τον κόσμο και η οποία έχει αποτελέσει ένα βασικό στοιχείο στην περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των ΗΠΑ, της Ιαπωνίας της Κορέας καθώς και ακμαζόντων οικονομιών όπως αυτή της Ινδίας και σχετικά πρόσφατα της Κίνας. Η μέθοδος αυτή με την πάροδο των χρόνων έχει εξελιχθεί έτσι ώστε σήμερα να βρίσκει εφαρμογές σε πληθώρα κλάδων όπως η διαχείριση των αποβλήτων, στον κατασκευαστικό τομέα, σε στρατιωτικά συστήματα και ακόμη στον τουρισμό. Επιπρόσθετα, ενώ οι πρώιμες μελέτες περιορίζονταν ως προς το πλήθος των κατηγοριών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (όπως η αθροιστική κατανάλωση ενέργειας και τα στερεά απόβλητα) πλέον παρατηρείται η διεύρυνση σε πιο εξειδικευμένες κατηγορίες επίδρασης όπως αυτή της βιοποικιλότητας και του θορύβου. Ταυτόχρονα παρατηρείται και η επέκταση της ανάλυσης σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο λαμβάνοντας υπόψη το κόστος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας καθώς και τον κοινωνικό αντίκτυπο που αυτό θα έχει (9).

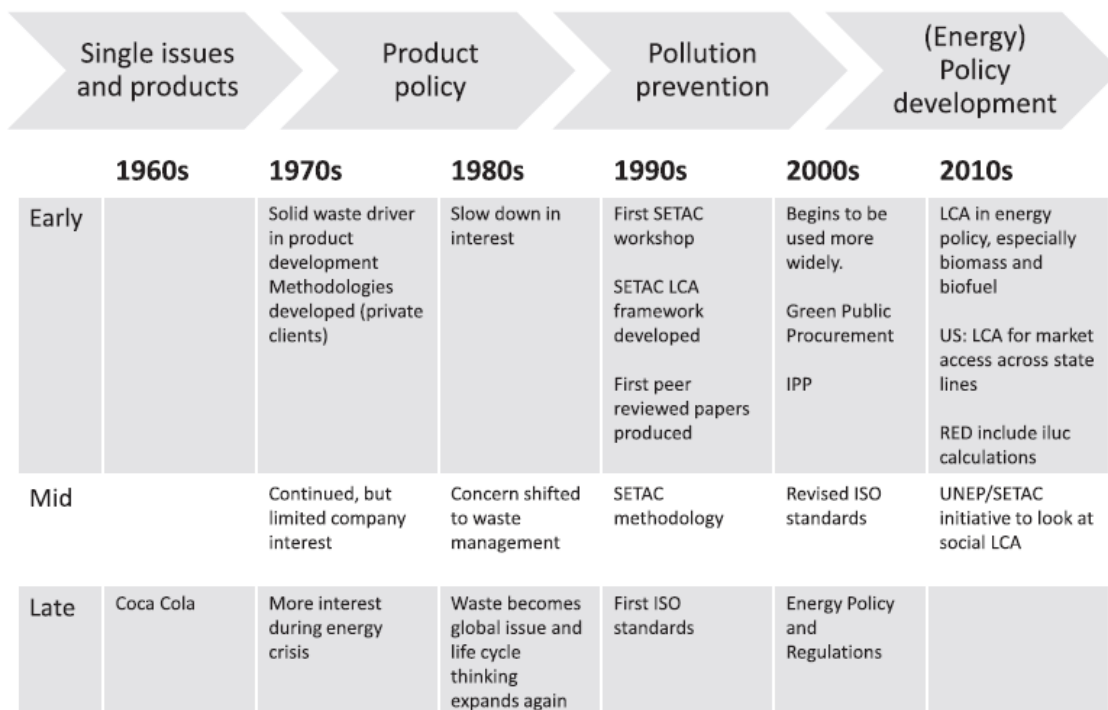
1.1.1 Οι απαρχές της μεθόδου ως τη σημερινή της μορφή

Οι πρώτες μελέτες που σήμερα αναγνωρίζονται ως οι πρώτες απόπειρες αποτύπωσης του κύκλου ζωής χρονολογούνται στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και στις αρχές του 1970, μια περίοδος στην οποία περιβαλλοντικά θέματα όπως η αποδοτικότητα πόρων και ενέργειας και ο έλεγχος της μόλυνσης και των στερεών αποβλήτων απέκτησαν ένα έντονο δημόσιο ενδιαφέρον και κινητοποίησαν ιδιαίτερα την κοινωνία στο σύνολό της. Το μοντέλο ενώ αρχικά για αρκετά χρόνια αφορούσε την ανάλυση σε επίπεδα ενέργειας για την παραγωγή ενός προϊόντος διευρύνθηκε προκειμένου να συμπεριλάβει απαιτήσεις σε πρώτες ύλες, φορτίο εκπομπών ανά μονάδα προϊόντος που παράγεται καθώς και ποσότητες παραγόμενων αποβλήτων. Μία από τις πρώτες αναλύσεις που ποσοτικοποίησε τις απαιτήσεις σε πρώτες ύλες, τις εκπομπές καθώς και τις ροές αποβλήτων αφορούσε τον τομέα των αναψυκτικών και διεξήχθη το 1969 από το MidWest Research Institute (MRI) για χρέος της εταιρίας Coca Cola. Η δεύτερη επίσημη ανάλυση πραγματοποιήθηκε από το ίδιο ινστιτούτο το 1974 για την υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών ενώ την ακολούθησε από την Ευρώπη και συγκεκριμένα την Ελβετία η εταιρεία Basler and Hofman θέτοντας την βάση για να αναπτυχθεί το LCA στη σημερινή του μορφή. Το 1984 πάλι από την Ελβετία δημοσιεύθηκε ένα άρθρο με μία περιεκτική λίστα των απαραίτητων δεδομένων για την διεξαγωγή ανάλυσης κύκλου ζωής ενώ προτάθηκε για πρώτη φορά η μέθοδος αξιολόγησης των επιπτώσεων. (13)

Στη δεκαετία του 1990 παρουσιάστηκε μια μεγάλη βελτίωση στη διεξαγωγή των μεθόδων ανάλυσης αλλά και στο συντονισμό των ερευνητών και των επιστημόνων. Ηγετικό και συντονιστικό ρόλο σε αυτή την προσπάθεια ανέλαβε το SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) ενώ ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) αναμίχθηκε το 1994. Ενώ το SETAC ανέλαβε την ανάπτυξη και εναρμόνιση των μεθόδων ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης υιοθέτησε το επίσημο ζήτημα της τυποποίησης των μεθόδων και διαδικασιών εκδίδοντας δύο πρότυπα:

- ISO 14040 (2006E): 'Environmental management – Life cycle assessment - Principles and framework' (11)
- ISO 14044 (2006E): 'Environmental management - Lifecycle assessment - Requirements and guidelines' (12)

Παράλληλα κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1980 και κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 ήρθαν στο προσκήνιο θέματα που συγκέντρωναν παγκόσμιο ενδιαφέρον όπως η εξάντληση του όζοντος και η κλιματική αλλαγή ξεπερνώντας τα όρια της εκάστοτε χώρας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η ανάλυση του κύκλου ζωής να στραφεί με στόχο τον περιορισμό της μόλυνσης και υπερθέρμανσης του πλανήτη.



Εικόνα 2. Εξέλιξη LCA

Κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας του 21^{ου} αιώνα παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση στο ενδιαφέρον γύρω από το LCA. Κατά το διάστημα αυτό η ανάλυση του κύκλου ζωής άρχισε να εντάσσεται και να εδραιώνεται στην πολιτική τόσο των κρατών όσο και των διεθνών οργανισμών γενικότερα. Το 2005 συστάθηκε η Ευρωπαϊκή πλατφόρμα αξιολόγησης κύκλου ζωής η οποία εξασφαλίζει την διαθεσιμότητα και τη χρήση ποιοτικά διασφαλισμένων δεδομένων, μεθόδων και μελετών σχετικά με την ανάλυση του κύκλου ζωής με σκοπό την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για την Ευρωπαϊκή Ένωση σε

θέματα δημόσιας πολιτικής και επιχειρήσεων. Ταυτόχρονα η ανάλυση του κύκλου ζωής εντάσσεται όλο και περισσότερο στην περιβαλλοντική πολιτική διεθνώς καθώς θεσπίζονται πολλά πρότυπα σχετικά με το αποτύπωμα άνθρακα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής διαφόρων διεργασιών.

Σήμερα η ανάλυση του κύκλου ζωής έχει στρέψει το ενδιαφέρον και εφαρμόζεται κυρίως σε θέματα ενεργειακής πολιτικής και κυρίως σε θέματα βιομάζας και βιοκαυσίμων. Πλέον η μέθοδος μέτρησης των εκπομπών έχει μεταβληθεί και προσαρμοστεί ώστε πλέον να μετρούνται οι εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου αντί για εκπομπές στο έδαφος, το νερό και τον αέρα. Ταυτόχρονα υπάρχει πλέον επέκταση της ανάλυσης σε επίπεδο οικονομικό και κοινωνικό με την εισαγωγή των μεθόδων Life cycle costing (LCC) και του Social-LCA. (13)

1.1.2 Στόχος της μεθόδου και οφέλη

Η ανάλυση του κύκλου ζωής δίνει βάση στα δεδομένα εισόδου και εξόδου του συστήματος υπό ανάλυση, στον καθορισμό των αντίστοιχων ισοζυγίων μάζας και ενέργειας μεταξύ των διεργασιών και στην αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με αυτά. Στη συνέχεια, οι επιπτώσεις που οφείλονται στο σύνολο των πρώτων υλών, στη χρήση ενέργειας καθώς και τελικά στα παραγόμενα απόβλητα ποσοτικοποιούνται. Τέλος, αξιολογείται με βάση τα αποτελέσματα η εγκυρότητά τους και η ευαισθησία του σεναρίου σε κάθε παράμετρο που εισέρχεται στο σύστημα και κατόπιν πραγματοποιείται εισήγηση σχετικά με πιθανές αλλαγές που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τον κύκλο ζωής τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική άποψη. Γενικότερα οι βασικοί στόχοι της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι οι ακόλουθοι:

- Παρέχει ενδείξεις σχετικά με το ποιο προϊόν, διεργασία ή γενικότερα ποια τεχνολογία καταλήγει στη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση για το περιβάλλον.
- Η παραπάνω πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί λαμβάνοντας υπόψη και άλλους παράγοντες όπως το κόστος και τον κοινωνικό αντίκτυπο ώστε να επιλεγεί το βέλτιστο σενάριο.
- Αποτελεί βοηθητικό στοιχείο για τη λήψη αποφάσεων ώστε να υπάρξουν βελτιώσεις στην περιβαλλοντική επίδοση του υπό μελέτη συστήματος.
- Παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της αλληλεπίδρασης μεταξύ μιας ανθρωπογενούς δραστηριότητας και του περιβάλλοντος.

Η μέθοδος ανάλυσης του κύκλου ζωής παρουσιάζει σημαντικά οφέλη σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο και έχει αντίκτυπο τόσο στις εκάστοτε χώρες που την εφαρμόζουν όσο και στις εταιρίες και στους καταναλωτές.

Από οικονομικής απόψεως η ανάλυση κύκλου ζωής εξετάζει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή ενός συστήματος εντοπίζοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η πρόληψη και η μείωση των επιπτώσεων αυτών στηρίζονται στην αποτελεσματικότητα με την οποία χρησιμοποιούνται ή διαχειρίζονται οι πρώτες ύλες και οι διαθέσιμοι πόροι του συστήματος. Η αποτελεσματικότερη διαχείριση αυτών των πρώτων υλών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος καθώς για τους ίδιους

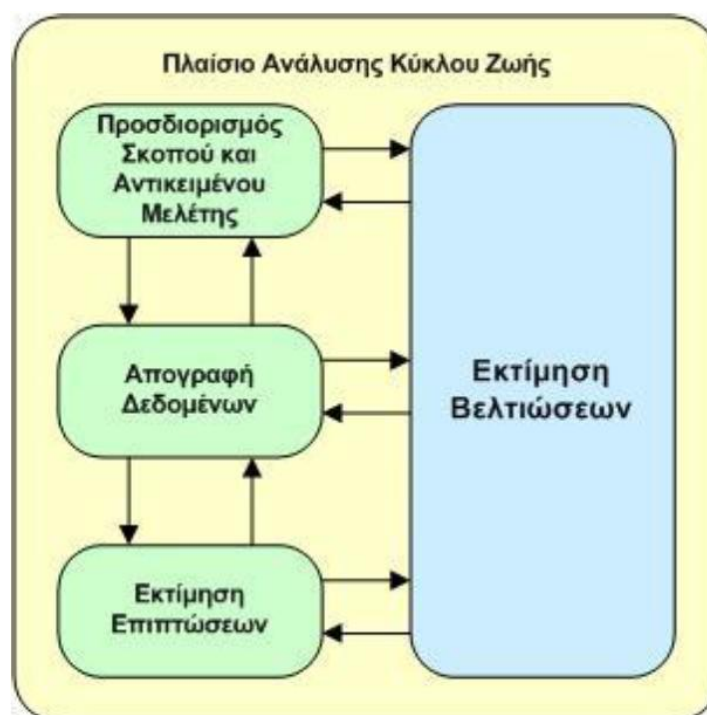
δεδομένους πόρους που εισέρχονται σε αυτό έχουμε αποτελεσματικότερη και μεγαλύτερη παραγωγή προϊόντος ή μείωση παραγόμενων αποβλήτων –η διαχείριση των οποίων θα επιβάρυνε το σύστημα με επιπλέον κόστος-. Παράλληλα, το ίδιο συμβαίνει και σε επίπεδα ενέργειας καθώς η καλύτερη διαχείριση των πρώτων υλών έχει σαν αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης ενέργειας επεξεργασίας τους και συνεπώς τη μείωση του απαιτούμενου κόστους.

Όσον αφορά το περιβαλλοντικό κομμάτι η ΑΚΖ δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα του αποτυπώματος του σεναρίου και τις επιπτώσεις που αυτό έχει για όλο το οικοσύστημα. Χάρη σε αυτό, οι επιμέρους διεργασίες που περιλαμβάνονται στην ανάλυση μπορούν να εξεταστούν ξεχωριστά και να αποτιμηθούν ποια κομμάτια της διεργασίας είναι τα πιο επιζήμια για το περιβάλλον αλλά και γενικότερα για το οικοσύστημα. Τα κομμάτια αυτά μπορούν να επανασχεδιαστούν ή να τροποποιηθούν προκειμένου το τελικό σενάριο να έχει όσο το δυνατόν μικρότερη επιβάρυνση για το περιβάλλον. Επιπλέον παρέχεται η δυνατότητα σύγκρισης διαφορετικών σεναρίων μεταξύ τους, αξιολόγησή τους με βάση το πόσο περιβαλλοντικά επιζήμια είναι και επιλογή αυτού με το μικρότερο αποτύπωμα (10),(14).

1.1.3 Στάδια της μεθόδου

Μια τυπική ανάλυση κύκλου ζωής μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα βασικά στάδια:

1. Καθορισμός σκοπού και πλαισίου, αρχές και οριοθέτηση του συστήματος
2. Απογραφή και ανάλυση δεδομένων (Inventory analysis, LCI)
3. Ανάλυση και αποτίμηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής (Impact Assessment, LCIA)
4. Ερμηνεία αποτελεσμάτων



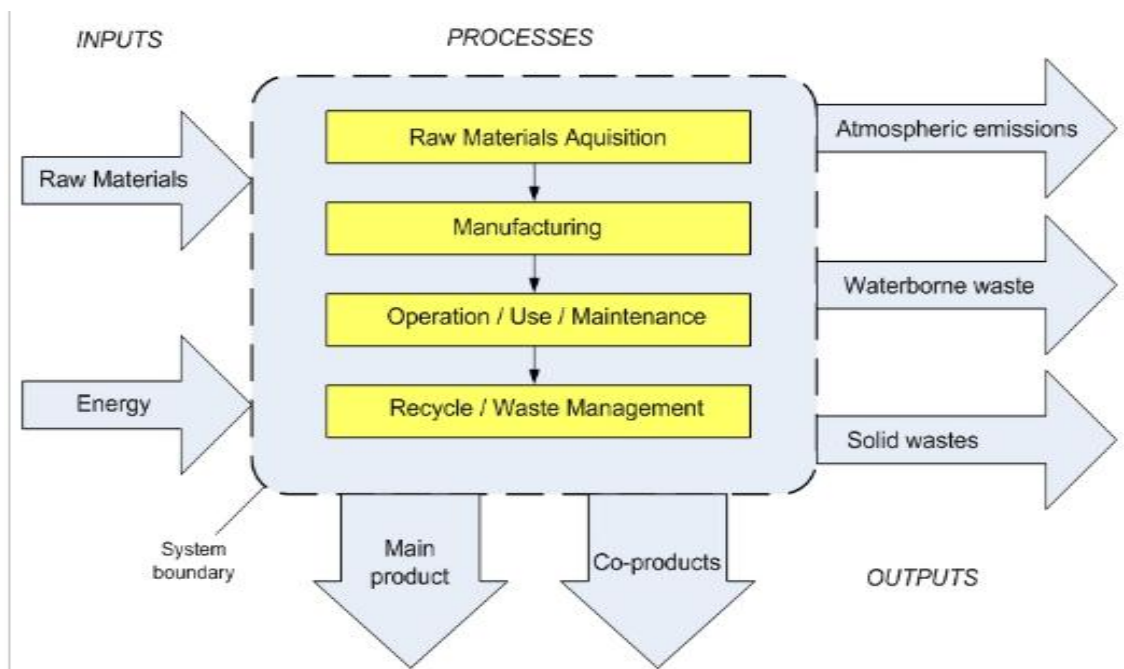
Εικόνα 3. Στάδια ανάλυσης κύκλου ζωής

Καθορισμός σκοπού και πλαισίου, αρχές και οριοθέτηση του συστήματος

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, κατά την ανάλυση κύκλου ζωής μοντελοποιείται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της διαδικασίας παραγωγής ενός προϊόντος, μιας διεργασίας ή ενός συστήματος. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονιστεί ότι ένα μοντέλο αποτελεί απεικόνιση μιας πολύ σύνθετης πραγματικής διαδικασίας και δεδομένου αυτού είναι φυσικό επόμενο να περιλαμβάνει αρκετές παραδοχές και απλουστεύσεις. Η πρόκληση έγκειται στην ικανότητα της ανάπτυξης αυτού του μοντέλου έτσι ώστε οι παραδοχές αυτές να έχουν τη μικρότερη δυνατή επίδραση στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο να γίνει ο ακριβής καθορισμός του σκοπού για τον οποίο διεξάγεται η ανάλυση (10),(14).

Μαζί με την διασαφήνιση του σκοπού της ανάλυσης κύκλου ζωής πρωταρχικό μέλημα αποτελεί και ο ορισμός της λειτουργικής μονάδας του συστήματος. Η λειτουργική μονάδα είναι άμεσα συνδεδεμένη με την θέσπιση του στόχου της ανάλυσης κύκλου ζωής και είναι ο παράγοντας που τη διαφοροποιεί από τις άλλες προσεγγίσεις περιβαλλοντικής αξιολόγησης. Πρόκειται για μία ποσοτικοποιημένη περιγραφή της απόδοσης του συστήματος που μελετάται και καθορίζεται με βάση την υπηρεσία που παρέχεται από αυτό (15).

Παράλληλα, πρέπει να γίνει η οριοθέτηση του συστήματος. Η υπό εξέταση διεργασία αποτελεί ένα ενιαίο σύστημα που περιλαμβάνει επιμέρους διεργασίες. Οι επιμέρους αυτές διεργασίες συνδέονται μεταξύ τους και έχουν απαίτηση σε ύλη και ενέργεια. Οτιδήποτε δεν ανήκει στα όρια της ενιαίας διεργασίας καλείται περιβάλλον του συστήματος. Επίσης, απαραίτητη είναι η αποτύπωση των εισροών και εκροών του συστήματος καθώς και αναλυτική περιγραφή των επιμέρους σταδίων του συστήματος. Ιδιαίτερα σημαντικό για την οριοθέτηση του συστήματος είναι επίσης ο καθορισμός των γεωγραφικών και χρονικών ορίων του, π.χ. αποστάσεις μεταφοράς πρώτων υλών και προϊόντων.



Εικόνα 4. διάγραμμα εισροών-εκροών και οριοθέτηση του συστήματος

Όσον αφορά τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της ανάλυσης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πλήρη και αξιόπιστα ώστε να εξασφαλιστεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που θα εξαχθούν. Η πηγή των δεδομένων μπορεί να είναι είτε πρωτογενής που πρόκειται για αποτελέσματα μετρήσεων και πειραματικών δεδομένων είτε δευτερογενής οπότε πρόκειται για τεχνικές αναφορές, δημοσιεύσεις ή δεδομένα παρεμφερών μελετών (10),(14).

Απογραφή και ανάλυση δεδομένων (LCI)

Στο στάδιο αυτό προσδιορίζονται και ποσοτικοποιούνται οι ροές από και προς το περιβάλλον για το υπό εξέταση σύστημα. Στις εισροές περιλαμβάνονται οι πρώτες και βοηθητικές ύλες καθώς και το χρησιμοποιούμενο νερό και ενέργεια ενώ στις εκροές οι εκπομπές διαφόρων μολυσματικών ουσιών, τα απόβλητα (στερεά ή υγρά) και τα προϊόντα και παραπροϊόντα της διεργασίας. Ιδιαίτερα σημαντικός σε αυτό το στάδιο είναι ο υπολογισμός των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας μεταξύ των εσωτερικών διεργασιών του συστήματος. Ένα τυπικό διάγραμμα ροής για την ανάλυση του κύκλου ζωής απεικονίζεται στην εικόνα 4 (10),(14).

Ανάλυση και αποτίμηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων της ανάλυσης κύκλου ζωής οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων για το σύστημα που μελετάται και συμβάλει στην λήψη αποφάσεων. Αρχικά οι επιπτώσεις μπορούν να χωριστούν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τον αποδέκτη στον οποίο επιδρούν. Πρόκειται για επιπτώσεις στο οικοσύστημα, στην ανθρώπινη υγεία και στους φυσικούς πόρους.

Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει φαινόμενα που έχουν άμεση σχέση με την χλωρίδα και την πανίδα όπως το φαινόμενο της όξινης βροχής, ο ευτροφισμός, και η οικοτοξικότητα (αναφέρεται σε απώλεια ειδών σε μια περιοχή για συγκεκριμένη χρονική περίοδο).

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις επιπτώσεις του εξεταζόμενου συστήματος στον άνθρωπο. Σε αυτές συμπεριλαμβάνεται η υπερθέρμανση του πλανήτη, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το φωτοχημικό νέφος, η μείωση της στιβάδας του όζοντος, η αιθαλομίχλη, η ιονίζουσα ακτινοβολία και οι εισπνεόμενοι παράγοντες οι οποίοι αναφέρονται σε απώλεια ζωής από πρόωρο θάνατο λαμβάνοντας υπόψη και τα έτη ασθένειας,

Τέλος η τρίτη κατηγορία αφορά την εξάντληση των φυσικών πόρων και περιλαμβάνει την εξόρυξη μεταλλευμάτων καθώς και ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας (10).

Ο υπολογισμός των επιπτώσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας κατάλληλα υπολογιστικά λογισμικά μοντελοποίησης του κύκλου ζωής του συστήματος. Τέτοια λογισμικά είναι το SimaPro, το Gabi και το Easetech το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα μελέτη. Το συγκεκριμένο μοντέλο επιτρέπει να εξεταστεί το πόσο συμβάλει κάθε διεργασία του συστήματος αλλά και πιο συγκεκριμένα κάθε παράμετρος των διεργασιών στις διάφορες κατηγορίες των επιπτώσεων.

Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Μετά την αποτίμηση των επιπτώσεων ακολουθεί η ερμηνεία των εξαχθέντων αποτελεσμάτων. Στην ερμηνεία αυτή περιλαμβάνεται η αξιολόγηση των πιο σημαντικών επιπτώσεων που προέκυψαν με βάση τις φάσεις των LCI και LCIA. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό τα αποτελέσματα να αξιολογούνται έχοντας ως γνώμονα το σκοπό για τον οποίο πραγματοποιήθηκε εξ αρχής η ανάλυση του κύκλου ζωής (πχ σύγκριση μεταξύ εναλλακτικών σεναρίων, αξιολόγηση περιβαλλοντικού αποτυπώματος παραγωγής ενός προϊόντος, βελτίωση παραγωγικής διαδικασίας κ.α.). Τελικός στόχος είναι είτε η επιλογή μεταξύ του βέλτιστου σεναρίου είτε η ανάδειξη πιθανών βελτιώσεων και αναβάθμισης του συστήματος.

Ιδιαίτερα σημαντική και για την εξαγωγή και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι η εγκυρότητα των δεδομένων που εισάγονται στο σύστημα. Για το λόγο αυτό προκειμένου να αξιολογηθεί η εγκυρότητά τους και το μέγεθος της αβεβαιότητας που κάθε δεδομένο φέρει, συνηθίζεται να διεξάγεται στο τέλος της μελέτης ανάλυση ευαισθησίας η οποία εμφανίζει την ελαστικότητα του τελικού αποτελέσματος στην αλλαγή τιμών των δεδομένων και ανάλυση αβεβαιότητας για να αξιολογηθεί ο βαθμός της αβεβαιότητας που φέρουν τα αποτελέσματα (10),(15).

1.1.4 Περιορισμοί στην ανάλυση του κύκλου ζωής

Όπως με όλα τα σύνθετα εργαλεία αξιολόγησης, η μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής εμφανίζει κάποιες ιδιαιτερότητες και περιορισμούς στην εφαρμογή της. Παρόλο που τα πρότυπα ISO παρέχουν ένα γενικό πλαίσιο για τη διεξαγωγή της ανάλυσης εντούτοις αφήνει πολλά περιθώρια ερμηνείας της μεθόδου. Ως αποτέλεσμα, οι μελέτες LCA έχουν δεχτεί κριτική σχετικά με την απόδοση διαφορετικών αποτελεσμάτων για αναλύσεις που αφορούν την ίδια διεργασία.

Ένας βασικός περιορισμός που εμφανίζεται στην διεξαγωγή του LCA αφορά την συλλογή και χρήση των δεδομένων. Παρόλο που τα σχετικά λογισμικά και οι βάσεις δεδομένων είναι ευρέως διαθέσιμα τα τελευταία χρόνια, η έλλειψη αξιόπιστων διαθέσιμων δεδομένων παραμένει ένα εμπόδιο. Για αυτό το λόγο είναι ιδιαίτερα σημαντικό να εξετάζεται η εγκυρότητα των δεδομένων αυτών και να λαμβάνονται από όσο το δυνατόν αξιόπιστες πηγές και σχετικές με το αντικείμενο που μελετάται. Παράλληλα μια καλή λύση για την λήψη δεδομένων αποτελεί η χρήση δημόσιων διαθέσιμων βάσεων δεδομένων οι οποίες είναι συνήθως επιχορηγούμενες από τα κράτη (πχ US EPA's Toxic Release Inventory, Australia's National Pollutant Inventory). Οι βάσεις αυτές είναι εύκολα προσβάσιμες και έχουν μηδενικό κόστος. Ωστόσο επειδή τα δεδομένα αυτά είναι αρκετά εξειδικευμένα για συγκεκριμένα μέρη και εγκαταστάσεις και προκειμένου να προσαρμοστούν σε άλλες μελέτες, πρέπει να υιοθετηθούν διάφορες υποθέσεις. Αντίστοιχες βάσεις δεδομένων υπάρχουν και για την Ευρώπη (Ecoinvent, European Commission's Platform on LCA).

Ένας άλλος περιορισμός που έχει άμεση σχέση με τη συλλογή των δεδομένων είναι η αβεβαιότητα που αυτά εμφανίζουν. Ενώ η αστάθεια των δεδομένων έχει μεγάλο αντίκτυπο στο πώς τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την λήψη αποφάσεων, η πραγματική επίδραση της αβεβαιότητας δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Επιπρόσθετα,

πολλές μελέτες LCA διεξάγονται χωρίς καν να λαμβάνουν υπόψη την αβεβαιότητα των δεδομένων του συστήματος. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να εφαρμόζεται ανάλυση αβεβαιότητας για τα δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα ώστε να αποτυπώνεται η διακύμανση των αποτελεσμάτων και να αξιολογείται αναλόγως. Παράλληλα οι προσπάθειες των ερευνητών πρέπει να επικεντρωθούν στην καθιέρωση συνιστώμενων πρακτικών για την αξιολόγηση της αβεβαιότητας και την καθοδήγηση των αναλυτών στο πώς να την υπολογίσουν, διαχειριστούν και αξιολογήσουν τόσο στο στάδιο της απογραφής και ανάλυσης δεδομένων όσο και στην αποτίμηση των επιπτώσεων.

Ένας ακόμη περιορισμός ο οποίος υπάρχει στο LCA αφορά την εκτίμηση του κινδύνου. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να γίνει κατανοητή η διαφορά μεταξύ της ανάλυσης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής και της παραδοσιακής μεθόδου ανάλυσης κινδύνου. Η κλασική προσέγγιση της αξιολόγησης κινδύνου είναι μια πολύ σύνθετη διαδικασία η οποία περιλαμβάνει την ενσωμάτωση ενός εύρους πληροφοριών και δεδομένων σχετικά με τον χαρακτηρισμό της πηγής, τη μεταφορά και την έκθεση στον κίνδυνο, καθώς και την εξέταση της αντίδρασης στην έκθεση. Αντίθετα, στην ανάλυση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής μελετάται η σύνδεση μεταξύ μιας διεργασίας ή ενός συνδυασμού διεργασιών και των πιθανών επιπτώσεων που αυτός έχει χωρίς να επιχειρεί να ποσοτικοποιήσει πραγματικές επιπτώσεις για συγκεκριμένη περιοχή και χρονικό ορίζοντα. Έτσι η μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε ένα σύστημα ανάλυσης κύκλου ζωής αποτελεί ένα απλοποιημένο δείκτη επιπτώσεων για ένα πολύ σύνθετο σύστημα που ωστόσο αποτελεί ποιοτική αναπαράσταση του πραγματικού κινδύνου. Αν και δεν είναι άκρως αποτελεσματικό εργαλείο για την απόλυτη πρόβλεψη κινδύνου το μοντέλο ανάλυσης επιπτώσεων και τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι ιδανικά για την πραγματοποίηση σχετικών συγκρίσεων μεταξύ σεναρίων.

Τέλος όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής θα πρέπει να συνοδεύονται από τη χρήση και άλλων υπολογιστικών ή αναλυτικών εργαλείων. Ενώ μια μελέτη LCA εξάγει πολύ χρήσιμες πληροφορίες, τα αποτελέσματα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ένας μόνο παράγοντας στην διαδικασία της λήψης απόφασης. Συνήθως προκειμένου να καταλήξει κάποιος στην τελική απόφαση πρέπει να λάβει υπόψη του και άλλους παράγοντες όπως η εκτίμηση του κινδύνου καθώς και η ανάλυση του κόστους. Στη διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντικό να εκτιμηθεί το πώς τα εργαλεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να λειτουργήσουν συμπληρωματικά και να επεκτείνουν τα ευρήματα που προκύπτουν από την ανάλυση του κύκλου ζωής (15).

1.2 Ανάλυση κύκλου ζωής σε συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων

Ο στόχος μιας βιώσιμης και ορθολογικής διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων είναι να καταφέρει να χειριστεί τα παραγόμενα απορρίμματα με ένα τρόπο ο οποίος είναι περιβαλλοντικά αποτελεσματικός, οικονομικά εφικτός και συνάμα αποδεκτός από το σύνολο της κοινωνίας. Στα πλαίσια αυτά η μέθοδος της ανάλυσης κύκλου ζωής

αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο εφαρμόζεται επιτυχώς για την ολοκλήρωση των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων. Στη μέθοδο αυτή περιλαμβάνονται όλες οι διαδικασίες του κύκλου ζωής των αποβλήτων αρχής γενομένης από την παραγωγή τους μέχρι και την τελική διάθεση. Σκοπός της μοντελοποίησης είναι η εύρεση του σεναρίου με το μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος καθώς και η οικονομική βελτιστοποίηση λαμβάνοντας υπόψη και τον κοινωνικό αντίκτυπο για τους πολίτες. (16)

1.2.1 Προκλήσεις στην ανάπτυξη των συστημάτων διαχείρισης ΑΣΑ

Παρόλο που αποτελεί ένα εξαιρετικό εργαλείο μοντελοποίησης για την αξιολόγηση των σεναρίων διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων, εντούτοις η εφαρμογή της μεθόδου ανάλυση κύκλου ζωής σε αυτά τα συστήματα είναι ιδιαίτερη απαιτητική.

Η επεξεργασία των αστικών απορριμμάτων στις διάφορες κατάλληλες εγκαταστάσεις έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων. Για παράδειγμα στα κέντρα διαλογής και ανάκτησης υλικών (Material recovery facilities, MRFs) μπορούν να παραχθούν διαφόρων ειδών υλικά όπως χαρτί, χαρτόνι, γυαλί και πλαστικό. Σε μια εγκατάσταση μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας παράγεται RDF το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο στην τσιμεντοβιομηχανία προς αντικατάσταση των συμβατικών στερεών καυσίμων. Στις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας πραγματοποιείται χρήση των αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θέρμανσης. Έτσι οι εγκαταστάσεις οφείλουν να αξιολογηθούν όσον αφορά τα οφέλη από την παραγωγή των προϊόντων αυτών.

Παράλληλα όπως έχει αναφερθεί σε γενικότερο πλαίσιο και στην παράγραφο 1.1.4 μια μεγάλη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπίσει κάποιος που επιχειρεί την ανάλυση του κύκλου ζωής μιας διεργασίας είναι η αβεβαιότητα που υπεισέρχεται σε πολλά δεδομένα. Ειδικά για τη διαχείριση των στερεών απορριμμάτων συναντάται μεγάλη αβεβαιότητα στις βασικές μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων αυτών όπως την ταφή τους στο ΧΥΤΑ. Η έλλειψη ποιοτικών και αντιπροσωπευτικών δεδομένων είναι ένα σύνηθες πρόβλημα στην ανάλυση του κύκλου ζωής. Το ζήτημα της συλλογής αξιόπιστων δεδομένων αποτελεί κομβικό σημείο της ανάλυσης στα συστήματα διαχείρισης στερεών αστικών απορριμμάτων προκειμένου να ληφθούν αποτελέσματα τα οποία προσομοιάζουν και προσεγγίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματικότητα (17).

Άλλα τεχνικά ζητήματα που αφορούν την ανάλυση κύκλου ζωής στα συστήματα διαχείρισης ΑΣΑ περιλαμβάνουν τον ορισμό της λειτουργικής μονάδας, την ταξινόμηση των απορριμμάτων καθώς και αλλαγές στη σύσταση και την ποσότητα των παραγόμενων αστικών απορριμμάτων, την απαιτούμενη ενέργεια για την επεξεργασία τους, τα ισοζύγια μάζας άνθρακα μεταξύ των διεργασιών, τις βασικές παραμέτρους που επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα με τη βοήθεια ανάλυσης ευαισθησίας καθώς και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Η λειτουργική μονάδα είναι η βάση με την οποία καθορίζεται η απόδοση του υπό μελέτη συστήματος ενώ πρέπει να είναι σαφώς ορισμένη και μετρήσιμη. Προκειμένου να οριστεί ο σκοπός της μεθόδου ανάλυσης πρέπει να καθοριστούν οι προδιαγραφές

των λειτουργιών του συστήματος. Η λειτουργική μονάδα καθορίζει την ποσοτικοποίηση αυτών των καθορισμένων λειτουργιών. Σε ένα σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων η λειτουργική μονάδα μπορεί να είναι ένα συγκεκριμένο ποσό αποβλήτων, για παράδειγμα 100,000 τόνοι από τη συγκεκριμένη ποσότητα που παράγεται από τους υποκείμενους της μελέτης για ένα συγκεκριμένο χρόνο. Στην περίπτωση των ΑΣΑ η αντίστοιχη ποσότητα θα αφορούσε τον πληθυσμό της συνοικίας, της περιοχής ή του δήμου που εξετάζεται.

Σε μια μελέτη διαχείρισης αποβλήτων, η λειτουργική μονάδα είναι στενά συνδεδεμένη με τη σύσταση των υλικών που αποτελούν το αντικείμενο της μελέτης. Προκειμένου η μελέτη να είναι αποτελεσματική και να αποδώσει ουσιαστικά ευρήματα κάθε ανάλυση του κύκλου ζωής θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- τα συστατικά που βρίσκονται στο σύνολο των αποβλήτων καθώς και την αναλογία τους σε αυτό
- γνώση σχετικά με τη μικρο και μακρο-σύσταση των συστατικών των ρευμάτων που μελετούνται
- τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα συστατικά αλληλεπιδρούν με τις διεργασίες επεξεργασίας τους και τι παράγεται ως αποτέλεσμα της εφαρμογής των διεργασιών αυτών

Όσον αφορά την σύσταση των αποβλήτων είναι συνηθισμένο να πραγματοποιείται ανάλυση των διαφόρων υλικών που τα αποτελούν. Κάθε ένα από αυτά παρουσιάζει διαφορετικές προοπτικές διαχείρισης και συνεισφέρει σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό στις επιπτώσεις. Ταυτόχρονα, υπάρχουν και διαφορετικές επιλογές για τη διαχείριση του ίδιου συστατικού. Για παράδειγμα οι επιλογές για την διαχείριση του χαρτιού περιλαμβάνουν την ανακύκλωση, την χώνευση, τη διάθεση στους χώρους υγειονομικής ταφής καθώς και την καύση του. Κάθε μέθοδος επεξεργασίας ενός συγκεκριμένου υλικού εμπεριέχει οφέλη αλλά και συνεπάγεται κάποια επιβάρυνση είτε οικονομική είτε περιβαλλοντική. Η ανάλυση του κύκλου ζωής ως εργαλείο παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης των διαφορετικών αυτών μεθόδων ωστόσο θα πρέπει να συνυπολογιστούν στην μοντελοποίηση παράμετροι που σχετίζονται με την ποσότητα και τη σύσταση κάθε υλικού των απορριμμάτων.

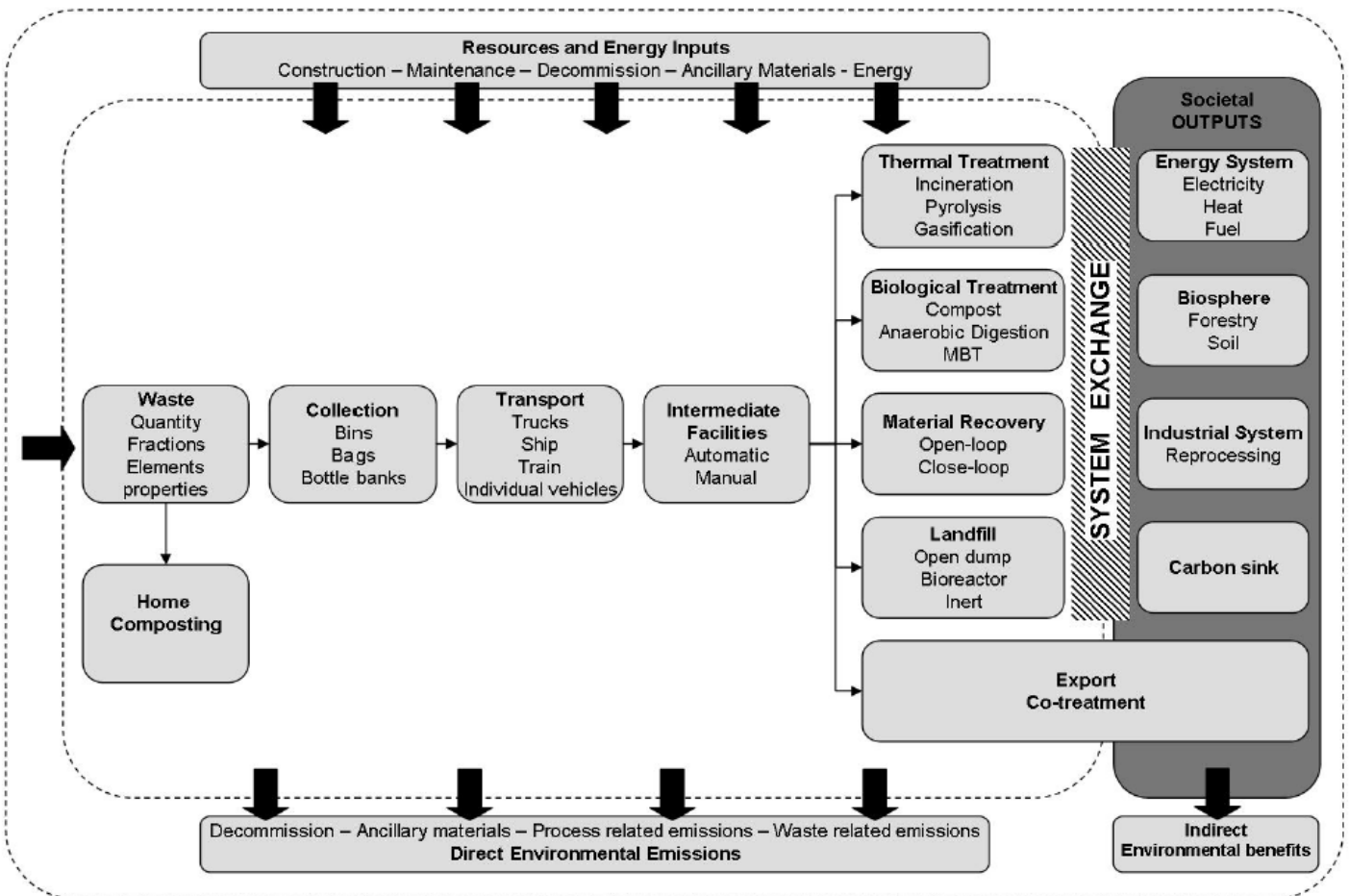
Παράλληλα, όταν αξιολογούνται οι επιπτώσεις του κύκλου ζωής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο η μακρο όσο και η μικρο-σύσταση των συστατικών αυτών. Η μακρο-σύσταση περιλαμβάνει όλα εκείνα τα στοιχεία τα οποία αποτελούν τη βάση για το σχηματισμό του συστατικού και χάρη στα οποία μπορεί κάποιος να το αναγνωρίσει (πχ ο άνθρακας, το οξυγόνο και το υδρογόνο για το χαρτί). Κάποιες ουσίες ωστόσο μπορεί να συναντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες και παρόλα αυτά να είναι καθοριστικής σημασίας για την έκβαση των αποτελεσμάτων και τις επιλογές του τρόπου διαχείρισης των αποβλήτων. Αυτές οι ουσίες συνήθως υπόκεινται σε συγκεκριμένα όρια εκπομπών λόγω της υψηλής τους τοξικότητας (κυρίως για τον άνθρωπο). Τέτοιες ουσίες είναι το κάδμιο, το χρώμιο, διοξίνες και ο υδράργυρος.

Επιπρόσθετα, ιδιαίτερα σημαντική για τον καθορισμό της φύσης των διαφορετικών ουσιών που παράγονται αλλά και την ποσοτικοποίηση αυτών είναι η επίδραση της κάθε

διεργασίας στα συστατικά των αποβλήτων. Για παράδειγμα, ένα ποσοστό του βιοαποικοδομήσιμου άνθρακα που περιέχεται στο χαρτί, θα αποδομηθεί στις αναερόβιες συνθήκες ενός χώρου υγειονομικής ταφής παράγοντας μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Κάποιο μέρος του άνθρακα θα είναι στη μορφή «ξυλώδους» υλικού (πχ λιγνίτης) και θα παραμείνει στο έδαφος σαν στερεό. Αντίθετα, αν το χαρτί αυτό καταλήξει σε έναν αποτεφρωτή, θα παράγει μόνο διοξείδιο του άνθρακα και ένα μικρό ποσοστό άνθρακα. Τέτοιες αναλύσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν και εντέλει να μοντελοποιηθούν για όλα τα συστατικά και τις ενδεχόμενες διεργασίες επεξεργασίας αποβλήτων (16).

1.2.2 Ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων

Τα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων περιλαμβάνουν ένα πλήθος διαφορετικών δραστηριοτήτων οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε τρεις φάσεις την συλλογή και μεταφορά, την επεξεργασία και την τελική διάθεση. Ένα τυπικό διάγραμμα ροής ενός συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων αποτυπώνεται στην εικόνα 5 (18).



Εικόνα 5. Τυπικό σύστημα διαχείρισης αποβλήτων

Το εξωτερικό περίγραμμα, αντιπροσωπεύει την κοινωνία ευρύτερα (γήινο σύστημα και τεχνόσφαιρα). Το εσωτερικό περίγραμμα αντίστοιχα αντιπροσωπεύει τα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων αποτελούμενο από διάφορες τεχνολογίες διαχείρισης (σκιασμένα τμήματα με ανοιχτό γκρι). Το τμήμα που είναι σκιασμένο με σκούρο γκρι

περιγράφει τα έμμεσα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την υποκατάσταση υλικών και ενέργειας από τη χρήση προϊόντων που παράγονται από την διαχείριση των απορριμμάτων.

Το αρχικό σημείο σε ένα σύστημα διαχείρισης αποβλήτων είναι αυτό της παραγωγής τους. Σε αυτό το σημείο τα απόβλητα μπορεί είτε να έχουν υποστεί διαχωρισμό από τον παραγωγό τους με βάση την προκαθορισμένη ποιότητά τους ή στέλνονται κατευθείαν για επεξεργασία. Ακολουθεί η συλλογή τους και η μεταφορά στους χώρους επεξεργασίας. Η πλειοψηφία των συλλεγόμενων απορριμμάτων θα κατευθυνθούν πρώτα σε ένα ενδιάμεσο χώρο επεξεργασίας (όπως τα κέντρα ανάκτησης υλικών, εγκατάσταση κομποστοποίησης, εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης) από όπου θα πάνε εντέλει στα τελικά σημεία επεξεργασίας ή διάθεσης (εγκατάσταση ανακύκλωσης, ΧΥΤΑ).

Κατά τη διάρκεια κάθε σταδίου του συστήματος, παρουσιάζεται ένας αριθμός άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων. Συγκεκριμένα πραγματοποιούνται εκπομπές ουσιών στο περιβάλλον λόγω της ίδιας της διαδικασίας επεξεργασίας (πχ ελευθέρωση μεθανίου από ΧΥΤΑ) αλλά και εξαιτίας της χρήσης βοηθητικών υλικών και ενέργειας. Επιπλέον, πολύ συχνά προϊόν της διαδικασίας επεξεργασίας απορριμμάτων είναι η παραγωγή ενέργειας (πχ κατά την καύση του χαρτιού σε αποτεφρωτή). Αυτό έχει σαν έμμεσο αποτέλεσμα να επηρεάσει το σύστημα υποκαθιστώντας την ενέργεια που μπορεί να χρειαζόταν σε κάποια άλλη διεργασία. Τέλος, υλικά από το ρεύμα των αποβλήτων μπορούν να ανακυκλωθούν και να μετατραπούν σε νέα, αντικαθιστώντας την ανάγκη για πρωτογενή παραγωγή του ίδιου υλικού. (16)

Στη συνέχεια θα περιγραφούν οι βασικές διεργασίες που συναντώνται στα συστήματα διαχείρισης και επεξεργασίας των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Παραγωγή απορριμμάτων και διαλογή στην πηγή

Το πρώτο στάδιο μετά την παραγωγή των αστικών απορριμμάτων από το εκάστοτε νοικοκυριό αποτελεί η διαλογή τους στην πηγή. Η διαλογή στην πηγή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική διαχείριση του συνόλου των αστικών απορριμμάτων. Πρόκειται για την διάκριση των απορριμμάτων σε διαφορετικές κατηγορίες στην πηγή παραγωγής τους και βασίζεται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά του κάθε υλικού. Η διαλογή αυτή είναι πολύ σημαντική για την βελτιστοποίηση της συλλογής των απορριμμάτων και έχει αποδειχθεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για τη μείωση του κόστους τόσο στα συστήματα διαχωρισμού των ανακυκλώσιμων υλικών όσο και σε αυτά των οργανικών αποβλήτων. Η διαλογή στην πηγή περιλαμβάνει την κατηγοριοποίηση των απορριμμάτων σε γυαλί, πλαστικό, μέταλλα και χαρτί/χαρτόνια τα οποία είναι τα ανακυκλώσιμα υλικά, σε τροφικά υπολείμματα και τα κλαδέματα κήπων τα οποία επεξεργάζονται για την παραγωγή χρησιμων προϊόντων (βιοαέριο, κομπόστ) και στα υπολείμματα τα οποία καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής. (19)

Συλλογή και μεταφορά

Η συλλογή και μεταφορά των αστικών απορριμμάτων συμβαίνει μετά την διαλογή τους και περιλαμβάνει την προσωρινή αποθήκευση των αποβλήτων είτε στους χώρους

παραγωγής τους είτε σε ειδικά σημεία συλλογής (κάδοι απορριμμάτων), την συλλογή από τα απορριμματοφόρα τα οποία εκτελούν συγκεκριμένο δρομολόγιο και την μεταφορά τους από τα απορριμματοφόρα στους χώρους επεξεργασίας ή τελικής διάθεσης στην περίπτωση των υπολειμμάτων. Παρατηρούνται δύο μέθοδοι συλλογής απορριμμάτων. Η πρώτη μέθοδος είναι η συλλογή πόρτα-πόρτα. Στην τεχνική αυτή οι κάτοικοι τοποθετούν τα προς ανάκτηση υλικά έξω από το σπίτι τους προκαθορισμένες μέρες έτσι ώστε να συλλεχθούν από το προσωπικό του αρμόδιου φορέα. Εφαρμόζεται κυρίως για τα ανακυκλώσιμα υλικά όπως χαρτί και χαρτόνι, πλαστικές και γυάλινες φιάλες και μεταλλικά κουτιά. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου τα υλικά πρέπει να είναι διαχωρισμένα (πχ μπουκάλια καθαρισμένα και κουτιά συμπιεσμένα). Η άλλη μέθοδος είναι η βασική μέθοδος συλλογής των απορριμμάτων στη χώρα μας και περιλαμβάνει την προσωρινή αποθήκευσή τους σε κάδους. Υπάρχουν διαφορετικοί κάδοι για κάθε είδος απορρίμματος. Ο όγκος τους κυμαίνεται από 1-5 m³ και συνήθως έχουν ιδιαίτερη διαμόρφωση ανάλογα με το υλικό. Η συχνότητα συλλογής τους εξαρτάται από τη ποσότητα και τον όγκο των υλικών, καθώς επίσης και από τη θέση και τον αριθμό των κάδων. Η μέθοδος αυτή είναι προτιμότερη στις πυκνοδομημένες περιοχές. Η συλλογή και η μεταφορά των απορριμμάτων στους αντίστοιχους χώρους πραγματοποιείται με ειδικά οχήματα του δήμου. (2)

Ανάκτηση υλικών και αποστολή στους τελικούς αποδέκτες ανακύκλωσης

Το ανακυκλώσιμο μέρος των αστικών απορριμμάτων έχει συλλεχθεί ξεχωριστά από τα υπόλοιπα απορρίμματα και οδηγείται αρχικά στα κέντρα διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών (ΚΔΑΥ). Στα ΚΔΑΥ πραγματοποιείται διαλογή των υλικών αυτών προκειμένου να είναι στην απαραίτητη κατάσταση ώστε να ανακυκλωθούν στους τελικούς αποδέκτες. Ο διαχωρισμός των υλικών πραγματοποιείται είτε μηχανικά είτε χειρωνακτικά. Έτσι τα απορρίμματα διαχωρίζονται ανά υλικό σε χαρτί, χαρτόνι, γυαλί, αλουμίνιο, μέταλλα και διάφορα πλαστικά. Στη συνέχεια δεματοποιούνται και αποστέλλονται στις κατάλληλες βιομηχανίες για την τελική επεξεργασία και την παραγωγή νέων προϊόντων.

Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση πρόκειται για μια διεργασία κατά την οποία το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων μετατρέπεται σε βιοαέριο (μίγμα κυρίως μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα) ενώ παραμένει και στερεό προϊόν που περιέχει σταθεροποιημένα οργανικά συστατικά. Κατά τη διάρκεια της χώνευσης πραγματοποιείται βιοαποδόμηση των οργανικών ουσιών απουσία οξυγόνου μέσα σε κλειστό σύστημα. Τα κύρια βήματα της διεργασίας είναι η προεπεξεργασία, το στάδιο της αναερόβιας χώνευσης και η τελική επεξεργασία για αναβάθμισή του.

Η προεπεξεργασία των απορριμμάτων περιλαμβάνει τα στάδια της ξήρανσης και του τεμαχισμού ενώ αποσκοπεί στην αύξηση της πεπτικότητας τους και της αποδοτικότητας για την παραγωγή βιοαερίου. Η διαδικασία της αναερόβιας βιοαποδόμησης χωρίζεται σε δύο διακριτά στάδια το οξυγενές και το μεθανογενές. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης ο ρυθμός μετατροπής διάσπασης της οργανικής ύλης είναι ανάλογος με το ρυθμό παραγωγής μεθανίου. Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται παρουσία

βακτηρίων το καθένα εκ των οποίων έχει περιορισμένη δράση σε συγκεκριμένες μόνο οργανικές ενώσεις. Μετά το πέρας της χώνευσης το παραγόμενο αέριο πρέπει να υποστεί επεξεργασία προκειμένου να μπορεί να αποκτήσει εμπορική χρήση. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει διαχωρισμό του μεθανίου από το διοξείδιο του άνθρακα και συμπίεση του μεθανίου (2),(20).

Κομποστοποίηση

Πρόκειται για μια διαδικασία ρυθμιζόμενης αποσύνθεσης του οργανικού φορτίου για την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος που ονομάζεται κομπόστ. Η διαδικασία της κομποστοποίησης περιλαμβάνει την διαχείριση και επιτάχυνση της βιολογικής και αερόβιας αποδόμησης του αποβλήτου. Εξελίσσεται από ένα αρχικό στάδιο που χαρακτηρίζεται από υψηλούς ρυθμούς οξυγόνωσης, θερμοφιλικές θερμοκρασίες και υψηλό ρυθμό μείωσης των βιοαποδομήσιμων πτητικών στερεών προς ένα στάδιο με χαμηλότερες θερμοκρασίες και μειωμένους ρυθμούς οξυγόνωσης και παραγωγής οσμών. Περιλαμβάνει τη χρήση κατάλληλων πληθυσμών μικροοργανισμών και οδηγεί στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, νερού και ενός σταθεροποιημένου οργανικού υλικού (Compost) κατάλληλο για τη χρήση ως βελτιωτικό του εδάφους και λιπάσματα (2),(21).

Υγειονομική ταφή

Η διάθεση των απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος διαχείρισης των αποβλήτων. Με τον όρο υγειονομική ταφή περιγράφεται η διαδικασία ταφής των στερεών απορριμμάτων με την οποία ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία, μέσω κατάλληλων έργων υποδομής και συγκεκριμένες διαδικασίες λειτουργίας και ελέγχου. Βασική προϋπόθεση προκειμένου να λειτουργεί αποτελεσματικά ένας χώρος υγειονομικής ταφής είναι η καταλληλότητα του επιλεγμένου χώρου αλλά και της εφαρμοσμένης τεχνολογίας.

Κατά την ταφή των απορριμμάτων στους ΧΥΤΑ υφίσταται αποδόμηση του οργανικού τους φορτίου παρουσία μικροοργανισμών του εδάφους. Αρχικά τα βιοαποδομήσιμα οργανικά υλικά διασπώνται από αερόβιους οργανισμούς, οι οποίοι χρησιμοποιούν το εγκλωβισμένο στη μάζα των απορριμμάτων οξυγόνο. Στη συνέχεια, όταν το οξυγόνο καταναλωθεί πλήρως, πραγματοποιείται το επόμενο στάδιο της αποδόμησης από προαιρετικά αναερόβιους οργανισμούς και κατόπιν από αποκλειστικά αναερόβιους. Στο στάδιο αυτό που είναι το οξυγενές, παράγεται διοξείδιο του άνθρακα, και απλά οργανικά οξέα και αλκοόλες. Τέλος, ακολουθεί το στάδιο της μεθανογένεσης κατά το οποίο άλλες κατηγορίες βακτηρίων αποδομούν τα ενδιάμεσα οργανικά παράγωγα υπό αυστηρά αναερόβιες συνθήκες προς το σχηματισμό μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα (landfill gas).

Απαραίτητη μέριμνα πρέπει να δίνεται στην όσο το δυνατό μειωμένη παραγωγή στραγγισμάτων καθώς και αποτελεσματικό έλεγχο αυτών, έτσι ώστε να περιορίζονται οι επιπτώσεις για το περιβάλλον. Τα στραγγίσματα είναι ποσότητα νερού στους ΧΥΤΑ προερχόμενα από την αποδόμηση των αποβλήτων, είτε από τη βροχή και τα οποία

ρυπαίνονται από ουσίες που υπάρχουν αρχικά στο έδαφος και στα απορρίμματα, είτε παράγονται κατά την αποδόμηση αυτών. Περιέχουν πολλές ρυπαντικές ουσίες και διαφεύγοντας από το χώρο διάθεσης προκαλούν σημαντικά προβλήματα μόλυνσης (2),(17).

Θερμική επεξεργασία

Στις μεθόδους επεξεργασίας των απορριμμάτων περιλαμβάνεται και η θερμική επεξεργασία. Η μέθοδος αυτή αφορά τη μετατροπή των στερεών αποβλήτων σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα και συνοδεύεται από την αποδέσμευση θερμικής ενέργειας. Η θερμική επεξεργασία μπορεί να γίνει με διαφορετικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές είναι:

- αποτέφρωση, η οποία πρόκειται για καύση με στοιχειομετρική ποσότητα ή περίσσεια οξυγόνου προς ολική οξειδωση του άνθρακα των οργανικών συστατικών προς διοξείδιο του άνθρακα.
- πυρόλυση, στην οποία πραγματοποιείται θερμική διάσπαση των οργανικών στερεών αποβλήτων απουσία οξυγόνου.
- αεριοποίηση, η οποία είναι ατελής καύση με συγκεκριμένη αναλογία οξυγόνου/οργανικού άνθρακα ώστε να παραχθεί αέριο αποτελούμενο κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, και αέριους υδρογονάνθρακες.
- τεχνική πλάσματος, στην οποία το οργανικό κλάσμα αεριοποιείται σχηματίζοντας αέριο σύνθεσης (μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο) και απαέρια υπό την επίδραση πολύ υψηλών θερμοκρασιών, ενώ το ανόργανο τμήμα υαλοποιείται. (2)

1.2.3 Προσέγγιση μηδενικού φορτίου

Κατά την ανάλυση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος στο στάδιο της απογραφής και ανάλυσης δεδομένων, τα εισερχόμενα και εξερχόμενα δεδομένα τα οποία καθορίζουν τα όρια του συστήματος πρόκειται για ροές οι οποίες προέρχονται από το περιβάλλον ή αντίστοιχα που καταλήγουν σε αυτό (στοιχειώδεις ροές). Ωστόσο, στα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων οι ροές εισόδου είναι κοινές για όλα τα συστήματα προϊόντων και για αυτό το λόγο μπορούν να παραβλεφθούν ξεκινώντας την ανάλυση από το σημείο μετατροπής των προϊόντων σε απόβλητα.

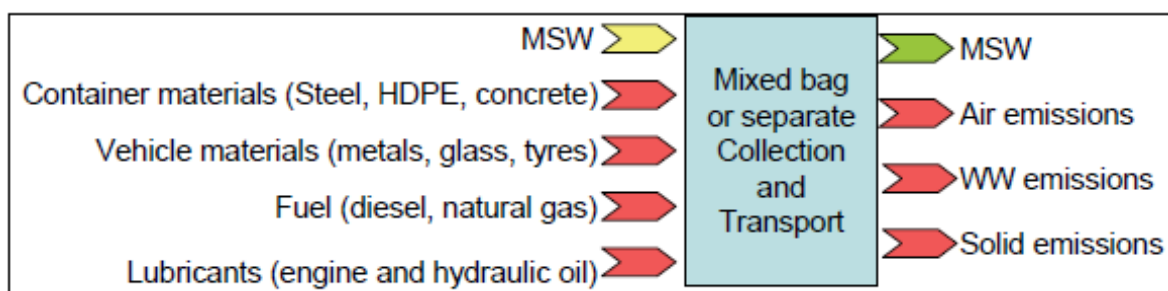
Σύμφωνα με τη προσέγγιση μηδενικού φορτίου (Zero Burden Approach) για τα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων, τα απόβλητα λαμβάνονται από το σύστημα ως δεδομένα χωρίς να αποδίδεται σε αυτά κάποιο περιβαλλοντικό φορτίο με βάση το πώς παρήχθησαν, τί θερμογόνο δύναμη έχουν, είτε ακόμη λόγω της χημικής τους σύστασης. Επίσης δεν περιλαμβάνεται στο σύστημα κανένα φορτίο το οποίο να σχετίζεται με την προηγούμενη χρήση των προϊόντων ή των υλικών από τα οποία προέρχονται τα συγκεκριμένα απόβλητα. Συνεπώς με βάση την προσέγγιση αυτή, το όριο του υπό μελέτη συστήματος καθορίζεται ως το σημείο παραγωγής των απορριμμάτων, μη λαμβάνοντας υπόψη οποιαδήποτε επίπτωση σημειώθηκε πριν από το στάδιο αυτό (22),(23).

1.2.4 Ανάλυση δεδομένων στα συστήματα διαχείρισης ΑΣΑ

Όπως έχει τονιστεί, η ανάλυση κύκλου ζωής αξιολογεί την αποτελεσματική χρήση πόρων καθώς και την ελευθέρωση εκπομπών στην ατμόσφαιρα και την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων. Όλη αυτή η εισαγωγή δεδομένων (υλικοί και ενεργειακοί πόροι), καθώς και η εξαγωγή τους μετά την επεξεργασία (εκπομπές και παραγόμενα προϊόντα), πρέπει να προσδιοριστούν και να ποσοτικοποιηθούν κατά τη διάρκεια της φάσης απογραφής και ανάλυσης δεδομένων (LCI). Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν τα στοιχεία της φάσης απογραφής και ανάλυσης δεδομένων για τα βασικά στάδια του συστήματος επεξεργασίας των ΑΣΑ.

Ξεκινώντας από την παραγωγή των απορριμμάτων και το κομμάτι της διαλογής στην πηγή, πρέπει να εισαχθεί στο σύστημα η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων καθώς και η σύστασή τους. Έπειτα καθώς τα απορρίμματα χωρίζονται προκειμένου να κατανεμηθούν ανά υλικό, πρέπει να εισαχθεί το ποσοστό των διαφόρων υλικών που πάνε στο κάθε ρεύμα.

Στη συνέχεια ακολουθεί η συλλογή τους. Η ξεχωριστή συλλογή των απορριμμάτων από διαφορετικούς κάδους είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική ανάκτηση υλικών. Στην εικόνα 6 παρουσιάζονται τα κύρια δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν κατά την μοντελοποίηση της διεργασίας συλλογής και μεταφοράς, καθώς και τα στοιχεία που εξάγονται από τη διεργασία αυτή.



Εικόνα 6. Δεδομένα για το στάδιο της συλλογής και μεταφοράς

Τα στοιχεία που εισάγονται είναι τα αστικά στερεά απόβλητα (ποσότητα και σύσταση) και τα υλικά και η ενέργεια που απαιτούνται για τις απαραίτητες υποδομές (κάδοι προσωρινής αποθήκευσης απορριμμάτων και απορριμματοφόρα οχήματα). Στην έξοδο της διεργασίας λαμβάνονται πάλι τα ΑΣΑ με αλλαγμένες φυσικές ιδιότητες όπως η πυκνότητα καθώς και εκπομπές που πραγματοποιούνται κατά την μεταφορά. Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη για το στάδιο της συλλογής και μεταφοράς είναι:

- Επιλογή συστήματος συλλογής
- Μέγεθος κάδων και υλικά κατασκευής
- Πληρότητα κάδων
- Συχνότητα συλλογής
- Απόσταση ανά γύρο συλλογής
- Είδος απορριμματοφόρου και καύσιμο οχήματος
- Πυκνότητα των απορριμμάτων στους κάδους και στα απορριμματοφόρα

Έπειτα ακολουθούν οι διαδικασίες επεξεργασίας και διάθεσης των απορριμμάτων. Σχετικά με το ανακυκλώσιμο μέρος των αστικών απορριμμάτων αρχικά αφού συλλεχθούν οδηγούνται στο ΚΔΑΥ, όπου υφίσταται η διαλογή τους ανά είδος υλικού. Τα απαραίτητα δεδομένα για την μοντελοποίηση της διεργασίας αυτής είναι η ποσότητα και η σύσταση των απορριμμάτων που φτάνουν στο κέντρο διαλογής, καθώς και οι λειτουργικές παράμετροί του, όπως η καταναλωμένη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Μετά τη διαλογή και τη δεματοποίηση των υλικών, αυτά αποστέλλονται στους τελικούς αποδέκτες ανακύκλωσης. Τα δεδομένα που χρειάζονται για τη μοντελοποίηση της μεταφοράς στους τελικούς αποδέκτες πάλι περιλαμβάνουν την ποσότητα των ανακυκλώσιμων υλικών που πάνε σε κάθε αποδέκτη καθώς και την ποσότητα καυσίμου που θα καταναλωθεί για τη μεταφορά σε αυτούς.

Όσον αφορά τη βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων περιλαμβάνονται η διαδικασία της κομποστοποίησης και της αναερόβιας χώνευσης. Και στις δύο αυτές διεργασίες εμπλέκεται το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την μοντελοποίηση της κομποστοποίησης είναι η ποσότητα και η σύσταση της τροφοδοσίας των ΑΣΑ, η κατανάλωση ενέργειας και καυσίμων για τη διεργασία, καθώς και ο βαθμός αποδόμησης των πτητικών στερεών, του άνθρακα και του αζώτου. Στην έξοδο της κομποστοποίησης λαμβάνεται ως προϊόν το κομπόστ καθώς και υπολείμματα της διεργασίας που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ.

Για την μοντελοποίηση της αναερόβιας χώνευσης τα δεδομένα που εισέρχονται είναι η ποσότητα και η σύσταση των ΑΣΑ, ποσότητα νερού, απαραίτητο ρεύμα για τις ανάγκες της εγκατάστασης, ενέργεια για θέρμανση του νερού και των στερεών. Στην έξοδο της διεργασίας λαμβάνεται το βιοαέριο και στερεά προϊόντα της χώνευσης που θα οδηγηθούν για παραγωγή κομπόστ. Όσον αφορά τις εκπομπές έχουμε διαρροή μικρής ποσότητας μεθανίου από το σύστημα συλλογής.

Για τους χώρους υγειονομικής ταφής οι τύποι των εγκαταστάσεων διαφέρουν πολύ σε τεχνολογία ξεκινώντας από τις ανεξέλεγκτες χωματερές μέχρι και υψηλής τεχνολογίας ΧΥΤΑ. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα το μεγαλύτερο μέρος του μετατρεπόμενου οργανικού άνθρακα ελευθερώνεται ως αέριο χωματερής, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό παραμένει στα στραγγίσματα. Έτσι τα εξαγόμενα στοιχεία της διεργασίας αυτής είναι το αέριο χωματερής το οποίο εάν συλλεχθεί μπορεί να καεί για την παραγωγή ενέργειας, και τα στραγγίσματα τα οποία παραμένουν στο έδαφος. Αντίστοιχα τα στοιχεία που εισάγονται στην ανάλυση περιλαμβάνουν τη σύσταση και την ποσότητα των ΑΣΑ, τα υλικά κατασκευής του, τις ενεργειακές απαιτήσεις σε καύσιμα και ηλεκτρισμό καθώς και χαρακτηριστικά σχετικά με τις ιδιότητες του ΧΥΤΑ, όπως η διάρκεια ζωής, το ύψος του στρώματος, η φαινόμενη πυκνότητα.

Τέλος τα απαραίτητα δεδομένα που πρέπει να ληφθούν υπόψη όσον αφορά τη θερμική επεξεργασία είναι τα αστικά στερεά απορρίμματα που οδηγούνται προς καύση, η απαιτούμενη ποσότητα ηλεκτρισμού, καύσιμα για τις λειτουργίες της μονάδας, (ντίζελ, φυσικό αέριο ή ακόμη και άνθρακας), νερό, και ενεργός άνθρακας για τον έλεγχο της ενδεχόμενης αέριας μόλυνσης. Κατά την έξοδο της διεργασίας παράγονται απαέρια (HCl, SO₂, NO_x, διοξίνες, CO, PM10, HF) και στάχτη λόγω της καύσης. (17)

1.2.5 Κατηγορίες επιπτώσεων

Οι κατηγορίες επιπτώσεων συσχετίζουν τις διάφορες εκπομπές με μία συγκεκριμένη επίδραση στο περιβάλλον. Οι εκπομπές αυτές είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους. Προκειμένου να υπάρχει ένα μέτρο συσχετισμού των εκπομπών μεταξύ τους, κατά το στάδιο της αξιολόγησης των επιπτώσεων μετατρέπονται σε μία κοινή μονάδα η οποία αντιστοιχεί σε μία κατηγορία επιπτώσεων. Οι βασικές κατηγορίες επιπτώσεων είναι οι ακόλουθες:

- Κλιματική αλλαγή: Πρόκειται για το δείκτη της υπερθέρμανσης του πλανήτη εξαιτίας των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στον αέρα. Μετριέται σε kg CO₂-eq.
- Εξάντληση του όζοντος: Δείκτης των εκπομπών στον αέρα που προκαλούν την καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος στην στρατόσφαιρα. Μετριέται σε kg CFC-11 eq.
- Τοξικότητα για τον άνθρωπο: Αφορά τις τοξικές ουσίες που εκπέμπονται στο περιβάλλον. Χωρίζονται σε καρκινογόνες και μη. Η μονάδα μέτρησης είναι CTUh.
- Αιωρούμενα σωματίδια: Πρόκειται για μικροσκοπικά σωματίδια με αρνητικές επιπτώσεις για την υγεία του ανθρώπου. Μετριούνται σε kg PM_{2,5}-eq.
- Ιονίζουσα ακτινοβολία: Πρόκειται για ενέργεια που προέρχεται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα και επιδρά στην ανθρώπινη υγεία. Μονάδα μέτρησης είναι τα kBq U235 eq.
- Φωτοχημικό νέφος: Δείκτης εκπομπών αερίων που ενισχύουν το σχηματισμό φωτοχημικού νέφους στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Μονάδα μέτρησης είναι τα kg NMVOC.
- Οξίνιση του εδάφους: Αφορά τους παράγοντες που προκαλούν την όξινη του εδάφους επιδρώντας αρνητικά στο οικοσύστημα. Μονάδα μέτρησης είναι τα mol H⁺ eq.
- Ευτροφισμός: Αποτελεί δείκτη του εμπλουτισμού του οικοσυστήματος (υδατικού και χερσαίου) με θρεπτικά συστατικά, λόγω εκπομπών συμπλόκων που περιέχουν άζωτο και φώσφορο. Μονάδα μέτρησης είναι mol N eq. για το έδαφος, kg N eq. για θαλάσσιο οικοσύστημα και kg P eq. για οικοσυστήματα γλυκού νερού.
- Οικοτοξικότητα γλυκού νερού: Πρόκειται για δείκτη της επίδρασης τοξικών ουσιών που εκπέμπονται στο περιβάλλον στους οργανισμούς του γλυκού νερού. Μονάδα μέτρησης είναι τα CTUe.
- Εξάντληση των αβιοτικών πόρων: Είναι ο δείκτης που σχετίζεται με την εξάντληση των φυσικών πόρων. Διακρίνεται στους πόρους ορυκτών καυσίμων (μονάδα μέτρησης MJ) και στα μη ορυκτά (μονάδα μέτρησης τα kg antimony-eq). (10),(24).

1.3 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (LCC)

1.3.1 LCC σε συνέργεια με την ανάλυση κύκλου ζωής

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η μέθοδος της ανάλυσης κύκλου ζωής αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση σεναρίων ωστόσο περιορίζεται στην αποτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής δεν είναι πάντα ικανά ώστε να καθοδηγήσουν έναν αναλυτή στην λήψη αποφάσεων. Συνεπώς για να είναι η αξιολόγηση όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το συνολικό σύστημα, όπως το κόστος. Σε αυτό το κομμάτι υπεισέρχεται η ανάλυση του κόστους του κύκλου ζωής ενός συστήματος (Life Cycle Costing). Η έννοια της ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής είναι αρκετά όμοια με αυτή του LCA. Όπως ακριβώς η ανάλυση του κύκλου ζωής λαμβάνει υπόψη και αποτιμά τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο ενός προϊόντος, μιας διεργασίας ή γενικότερα ενός συστήματος καθόλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, έτσι και η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής υπολογίζει όλα τα κόστη που σχετίζονται με το προϊόν, τη διεργασία ή το σύνολο των διεργασιών αυτών. Τα κόστη που περιλαμβάνονται στην ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής είναι:

- Τιμή αγοράς κάποιου προϊόντος ή υπηρεσίας και όλα τα συνοδευόμενα κόστη (αποστολή, εγκατάσταση, ασφάλεια κτλ)
- Λειτουργικά κόστη, συμπεριλαμβανομένου και κόστους ενέργειας, υλικών, καυσίμων, κατανάλωσης νερού, συντήρησης κ.ο.κ.
- Κόστη παροχής υπηρεσιών
- Κόστη τέλους ζωής, όπως κόστος διάθεσης ή κόστη υπολειμματικής αξίας (έσοδα από πώληση ενός προϊόντος)
- Κόστη που σχετίζονται με εκπομπές στο περιβάλλον (cost of externalities)
- Κόστη που σχετίζονται με φόρους και κόμιστρα (πχ φόρους διάθεσης απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής)

Συνολικά η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι ένα οικονομικό εργαλείο το οποίο ενσωματώνει την περιβαλλοντική έννοια του κόστους στον κύκλο ζωής και το οποίο λειτουργεί συμπληρωματικά για την λήψη αποφάσεων μεταξύ διαφορετικών πιθανών σεναρίων. (25),(26)

1.3.2 Κατηγορίες LCC

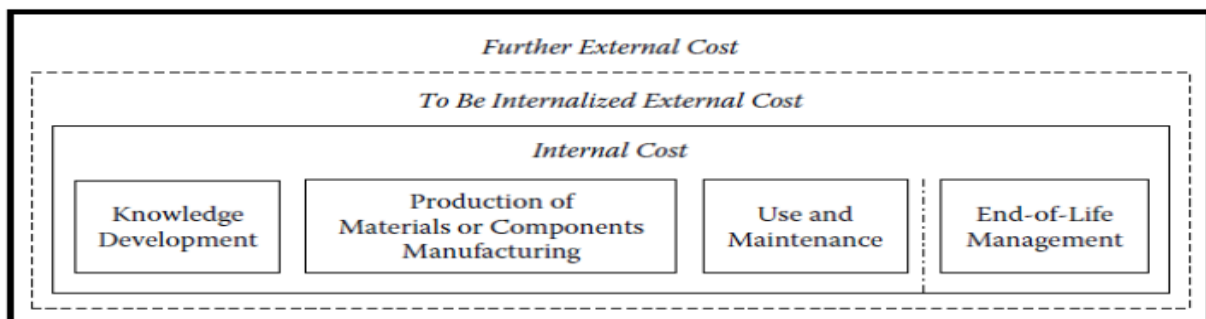
Η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής αποτελείται από τρεις τύπους οικονομικής αξιολόγησης, τον συμβατικό (Conventional LCC), τον περιβαλλοντικό (Environmental LCC) και τον κοινωνικό (Social LCC).

Η συμβατική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής είναι η πλέον διαδεδομένη και βασίζεται σε μία καθαρά οικονομική αξιολόγηση, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των σταδίων του κύκλου ζωής. Περιλαμβάνει κόστη που σχετίζονται με ένα προϊόν ή μια διεργασία και συνήθως αφορά μόνο τη σκοπιά του παραγωγού ή του καταναλωτή. Είθισται να

χρησιμοποιείται από ιδιωτικές εταιρείες οι οποίες επικεντρώνονται στο δικό τους κόστος. Συνήθως, κόστη τα οποία δεν είναι άμεσα απτά για την εταιρεία ή που αναμένεται να παρουσιαστούν στο μέλλον μπορεί να παραμεληθούν ενώ στις μελέτες δεν περιλαμβάνονται απαραίτητα όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, αρκεί να ορίζονται σαφώς τα όρια του συστήματος που μελετάται.

Η περιβαλλοντική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής χρησιμοποιεί όρια συστήματος και λειτουργική μονάδα ανάλογα με αυτά του LCA ενώ βασίζεται στο ίδιο μοντέλο, περιλαμβάνοντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής. Ουσιαστικά επεκτείνει την συμβατική μέθοδο έτσι ώστε να είναι συνεπής με τα όρια του συστήματος της ανάλυσης κύκλου ζωής. Οι δύο αναλύσεις (LCA και LCC) λειτουργούν συμπληρωματικά. Η περιβαλλοντική ανάλυση κόστους εκτός από τα κόστη της συμβατικής ανάλυσης μπορεί να περιλαμβάνει και κόστη από εξωγενείς παράγοντες που ενδέχεται πιθανώς να εσωτερικευτούν στο σύστημα (πχ φόρους για εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα). Για αυτό το λόγο πρέπει να διεξάγεται συμπληρωματικά με την ανάλυση κύκλου ζωής. Κάποια αποτελέσματα του LCA που αποτελούν εξωγενείς παράγοντες μπορούν να συμπεριληφθούν στο κόστος προσδίδοντάς τους νομισματική αξία. Με τον όρο εξωγενείς παράγοντες περιγράφονται οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις που δεν σχετίζονται κατευθείαν με κάποιον από τους συμμετέχοντες στον κύκλο ζωής.

Η κοινωνική ανάλυση κόστους συμπεριλαμβάνει όλα τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά κόστη προσδίδοντάς τους νομισματική αξία. Μια σημαντική διαφορά μεταξύ της κοινωνικής ανάλυσης κόστους και των άλλων δύο είναι ότι περιλαμβάνει κόστη που σχετίζονται με όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη είτε αυτά είναι άμεσα είτε έμμεσα. Στους έμμεσα ενδιαφερόμενους ανήκουν οι κυβερνήσεις και άλλα δημόσια σώματα και συνεπώς οι φόροι και οι επιχορηγήσεις δεν περιλαμβάνονται στην ανάλυση καθώς πλέον πρόκειται για εσωτερικούς παράγοντες του συστήματος. Πρακτικά στη μέθοδο αυτή, εκτός από τα κόστη της συμβατικής και τη περιβαλλοντικής ανάλυσης, πρόσθετοι κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί εξωγενείς παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, και να μετατρέπονται σε νομισματικούς όρους. Έτσι η κοινωνική ανάλυση κόστους στοχεύει στο να αποτελεί μια ανεξάρτητη μέθοδο με την προϋπόθεση ότι όλοι οι εξωγενείς παράγοντες έχουν αποκτήσει νομισματική αξία και οι πληρωμές μεταβίβασης (φόροι και επιδοτήσεις) να αφαιρούνται. (27),(28)



- Conventional LCC: Assessment of internal costs, mostly without EoL costs; no LCA
- Environmental LCC: Additional assessment of external costs anticipated to be internalized in the decision relevant future; plus LCA in societal = natural boundaries
- Societal LCC: Additional assessment of further external costs

Εικόνα 7. Τρεις τύποι ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής

1.4 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής σε συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων

Ενώ η μέθοδος ανάλυσης κύκλου ζωής παρέχει ένα συστηματικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την διαχείριση των αποβλήτων, οι περισσότερες αποφάσεις που σχετίζονται με την ρεαλιστική εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών στις σύγχρονες κοινωνίες επηρεάζονται από οικονομικούς περιορισμούς. Για τους αναλυτές που καλούνται να αποφανθούν ανάμεσα σε εναλλακτικά σενάρια, η έλλειψη μιας ισορροπημένης οικονομικής αξιολόγησης παράλληλα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής περιορίζει την αξία της ίδιας της ανάλυσης καθώς το ένα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με το άλλο.

Παρόλο που έχει γίνει πληθώρα μελετών σχετικά με τα οικονομικά των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων, εντούτοις πολύ λίγες εξ αυτών περιλαμβάνουν με λεπτομέρειες τις βασικές αρχές υπολογισμού του κόστους για τις εμπλεκόμενες τεχνολογίες διαχείρισης. Παράλληλα υπάρχει ασάφεια γύρω από τα όρια του συστήματος και τις βασικές παραδοχές που χρησιμοποιούνται. Το γεγονός αυτό όχι μόνο περιορίζει την εγκυρότητα των μελετών αυτών και την υιοθέτηση των αποτελεσμάτων της, αλλά ταυτόχρονα δείχνει ότι ο τομέας της οικονομικής αξιολόγησης των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων χρίζει πολλών βελτιώσεων.

Η οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων περιλαμβάνει τρεις άξονες συζήτησης:

- Ποιοι τύποι κόστους πρέπει να αξιολογηθούν (για παράδειγμα ιδιωτικά ή κοινωνικά κόστη)
- Για ποιους πρέπει να γίνει αυτή η αξιολόγηση (για παράδειγμα υπεύθυνοι εγκαταστάσεων, παραγωγοί απορριμμάτων, δημόσιες υπηρεσίες)
- Ποιες αρχές υπολογισμού κόστους πρέπει να εφαρμοστούν για τις ξεχωριστές τεχνολογίες διαχείρισης απορριμμάτων του συστήματος

Τα συστήματα διαχείρισης αστικών απορριμμάτων εμπλέκουν πολλά ενδιαφερόμενα μέρη των οποίων τα συμφέροντα είναι τελείως διαφορετικά. Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται οι παραγωγοί των απορριμμάτων που στην περίπτωση των αστικών στερεών απορριμμάτων είναι κατά κύριο λόγο οι δημότες, οι υπεύθυνοι των εγκαταστάσεων διαχείρισης, καθώς και οι αρμόδιες αρχές. Τα οικονομικά κόστη για την διαχείριση των αποβλήτων συνήθως επιβαρύνουν τα νοικοκυριά υπό μορφή φόρων ενώ οι λειτουργοί των εγκαταστάσεων εμπλέκονται μόνο σε συγκεκριμένα κομμάτια της αλυσίδας διαχείρισης και είναι υπεύθυνοι μόνο για τα κόστη λειτουργίας της εγκατάστασής τους. Παράλληλα οι αρμόδιες αρχές ενδιαφέρονται κυρίως για τις κοινωνικο-οικονομικές επιδράσεις του συστήματος διαχείρισης και τον αντίκτυπο που αυτές έχουν για την κοινωνία. Παρόλο που πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν επιχειρήσει να αξιολογήσουν τα συνολικά κόστη των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων, εντούτοις δεν κατάφεραν να συνδυάσουν την αποτίμηση του κόστους για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη και να τα προσαρμόσουν στα πλαίσια των αποτελεσμάτων της ανάλυσης του κύκλου ζωής. Η ανάλυση του κόστους του κύκλου

ζωής προτείνεται ως μια συνεπής μέθοδος κατάλληλη για τα συγκεκριμένα συστήματα αναπτύσσοντας μοντέλα κόστους για όλες τις κύριες δραστηριότητες που σχετίζονται με τη διαχείριση των απορριμμάτων και λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους που αφορούν όλα τα εμπλεκόμενα μέρη.

1.4.1 Είδη κόστους

Τα κόστη μπορεί να χωριστούν σε τρεις διαφορετικούς τύπους. Πρόκειται για τα κόστη προϋπολογισμού, τα κόστη μεταβιβάσεων, και κόστη από εξωγενείς παράγοντες. Τα κόστη προϋπολογισμού συναντώνται και στις τρεις κατηγορίες ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής, τα κόστη μεταβιβάσεων εμφανίζονται στην συμβατική και την περιβαλλοντική ανάλυση ενώ τα κόστη εξωγενών παραγόντων μόνο στην κοινωνική. Μια χαρακτηριστική σύνοψη των διαφόρων τύπων κόστους σε ένα σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων αποτυπώνεται στην εικόνα 8.

Το κόστος προϋπολογισμού προκύπτει από τη δράση των νοικοκυριών που παράγουν τα απορρίμματα αλλά και από τους λειτουργούς των εγκαταστάσεων διαχείρισης και επεξεργασίας. Μπορεί να είναι είτε εφάπαξ (παραδείγματος χάρη κεφαλαιακή επένδυση για το στήσιμο μιας εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης) ή επαναλαμβανόμενο όπως είναι τα λειτουργικά κόστη.

Το κόστος μεταβίβασης πρόκειται για νομισματική ροή η οποία αντιπροσωπεύει αναδιανομή εισοδήματος μεταξύ εμπλεκόμενων μερών ενώ δεν περιλαμβάνει κάποια αναδιανομή πόρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι περιβαλλοντικοί φόροι.

Τέλος το κόστος από εξωγενείς παράγοντες αντιπροσωπεύει επιπτώσεις στην ευημερία των ατόμων η οποία προκαλείται από δραστηριότητες οι οποίες δεν σχετίζονται άμεσα με τα εμπλεκόμενα μέρη. Τέτοια κόστη σχετικά με τα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων είναι οι εκπομπές στον αέρα, το νερό και το έδαφος οι οποίες επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία, επιδρούν στο φυσικό περιβάλλον και ευθύνονται για κλιματικά προβλήματα. (29)

| | Internal costs | External costs | Social costs |
|--------------------|--|--|--|
| Incurring by | Waste agents (e.g. waste generator and operators) | All the members of society | Society |
| Budget cost | <ul style="list-style-type: none"> - Bags - Bins - Capital goods - Materials and energy consumption - Labour costs - Material and energy sales | | |
| Externalities cost | | <ul style="list-style-type: none"> - Time consumption to source separate - Health issues - Disamenities - Working environment issues | Sum of internal costs (excluding transfers) and external costs for society (i.e. waste generator, waste operator and other agents) |
| Transfers | <ul style="list-style-type: none"> - Fees - Taxes - Pecuniary externalities* | | Not applicable |

Εικόνα 8. Ταξινόμηση κόστους σε σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων

1.4.2 Δομή μοντέλου κοστολόγησης

Το μοντέλο που εφαρμόζεται περιλαμβάνει τη διάκριση του συστήματος στα διάφορα στάδια (διαχωρισμό στην πηγή, συλλογή και μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση) και τον διαχωρισμό τους σε επιμέρους κόστη όπως εξοπλισμός μισθοί, καύσιμα, κόστη συντήρησης κ.ο.κ. . Για κάθε ένα από αυτά τα μεγέθη που σχετίζονται με μια δραστηριότητα (πχ κατανάλωση ντίζελ κατά την συλλογή) πρέπει να καθοριστούν δύο χαρακτηριστικές παράμετροι. Η μια παράμετρος είναι φυσική και περιγράφει την ποσότητα που απαιτείται από το κάθε μέγεθος για τη συλλογή/επεξεργασία/διάθεση ενός τόνου αποβλήτων (για παράδειγμα 1 λίτρο πετρελαίου κίνησης για τη συλλογή ενός τόνου απορριμμάτων), ενώ η άλλη παράμετρος είναι οικονομική και αντιπροσωπεύει τη μονάδα κόστους του μεγέθους αυτού (πχ 0.9 €/ l diesel). Το κόστος της συνολικής ποσότητας κάθε μεγέθους προκύπτει ως το γινόμενο των δύο αυτών παραμέτρων. Η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων εντέλει υπολογίζεται αθροίζοντας τα κόστη όλων των δραστηριοτήτων που περιλαμβάνονται στο σενάριο.

Η συμβατική ανάλυση κόστους αποτελείται από όλα τα κόστη προϋπολογισμού και τα κόστη μεταβίβασης για τις δραστηριότητες του σεναρίου. Το άθροισμα του κόστους κεφαλαίου (Unit Budget Cost) με αυτό του κόστους μεταβίβασης (Unit Transfer) πολλαπλασιασμένο με το ποσό των αποβλήτων κάθε δραστηριότητας (W_i) δίνουν το συνολικό συμβατικό κόστος του κύκλου ζωής.

$$\text{Συμβατική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής} = \sum_i^n [W_i * (UBC_i + UT_i)] \quad (1)$$

Ο ίδιος τύπος επεκτείνεται και για την περιβαλλοντική ανάλυση κόστους προσθέτοντας τα κόστη μεταβιβάσεων που αναμένεται να πραγματοποιηθούν στο κοντινό μέλλον (πχ εξωγενείς παράγοντες που αναμένεται να εσωτερικευτούν αποδίδοντάς τους νομισματική αξία).

$$\text{Περιβαλλοντική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής} = \sum_i^n [W_i * (UBC_i + UT_i + UAT_i)] \quad (2)$$

Τέλος η κοινωνική ανάλυση περιλαμβάνει τα κόστη προϋπολογισμού και κόστη εξωγενών παραγόντων και είναι υπολογισμένα με βάση αριθμητικές τιμές (“shadow prices”) οι οποίες είναι υποκειμενικές και εκφράζουν την επιθυμία κάποιου να πληρώσει για ένα αγαθό ή μια υπηρεσία. Προκειμένου οι τιμές του κόστους κεφαλαίου να μετατραπούν σε αριθμητικές τιμές υπάρχουν διάφορες μέθοδοι όπως η χρήση συντελεστή διόρθωσης (Net tax factor). Συνολικά το κοινωνικό κόστος κύκλου ζωής δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Κοινωνική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής} = \sum_i^n [W_i * (UBC_i * NTF + UEC_i)] \quad (3)$$

1.4.3 Υπολογισμός για τα επιμέρους κόστη των διεργασιών

Κόστος προϋπολογισμού

Το συγκεκριμένο κόστος στην ανάλυση κύκλου ζωής μπορεί να είναι είτε κάποιο εφάπαξ ποσό όπως η αγορά εξοπλισμού εγκατάστασης είτε να αναφέρεται σε λειτουργικά έξοδα και κόστη συντήρησης. Στην πρώτη περίπτωση το ποσό κατανέμεται ισόποσα μεταξύ των τόπων των απορριμμάτων που καταλήγουν στη συγκεκριμένη μονάδα κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής του εξοπλισμού. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας το εφάπαξ κόστος σε ετήσια πρόσοδο σύμφωνα με τον τύπο:

$$A = \frac{P}{\left[\frac{(1 + ir)^n - 1}{ir(1 + ir)^n} \right]} \quad (4)$$

Όπου, P = κόστος εξοπλισμού

n = ο χρόνος ζωής του εξοπλισμού

ir = το επιτόκιο προεξόφλησης

Κατόπιν το ποσό αυτό διαιρείται με τον ετήσιο ρυθμό χρήσης του εξοπλισμού. Το μέγεθος αυτό μπορεί να είναι ίσο είτε με την χωρητικότητα της εγκατάστασης αυτής, είτε ένα κλάσμα αυτής, εφόσον η εγκατάσταση λειτουργεί σε συνθήκες χαμηλότερες από τη σχεδιαστική της χωρητικότητα. Για παράδειγμα η θερμική χωρητικότητα ενός αποτεφρωτή περιορίζει την ποσότητα αποβλήτων που μπορεί να επεξεργαστεί. Έτσι ο ετήσιος ρυθμός χρήσης (σε τόνο/χρόνο) σε ένα συγκεκριμένο σενάριο διαχείρισης απορριμμάτων, είναι αντιστρόφως ανάλογος με τη θερμική αξία του αποβλήτου. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων, τόσο λιγότερη ποσότητα μπορεί να καεί από την εγκατάσταση. Προκειμένου να υπολογιστεί ο ρυθμός αυτός, η ετήσια χωρητικότητα μάζας πολλαπλασιάζεται με την σχεδιαστική θερμική τιμή της εγκατάστασης και διαιρείται με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη ενός τόνου αποβλήτου (29).

Όσον αφορά τα λειτουργικά και τα κόστη συντήρησης, αυτά μπορεί να είναι είτε σταθερά, όπως για παράδειγμα το κόστος εργασίας και ασφάλισης είτε μεταβλητά όπως η κατανάλωση ρεύματος. Στην περίπτωση των σταθερών εξόδων, το ετήσιο κόστος διαιρείται με τον ρυθμό χρήσης της εγκατάστασης (t/year) προκειμένου να υπολογιστεί το σταθερό κόστος για τη διαχείριση ενός τόνου αποβλήτων (€/t). Για τα μεταβλητά κόστη οι φυσικές παράμετροι οι οποίες εκφράζουν την ποσότητα κάθε μεγέθους που απαιτείται για την επεξεργασία ενός τόνου αποβλήτου (kg ή MJ/ t) πολλαπλασιάζονται με την τιμή του μεγέθους αυτού (€/ kg ή MJ). Έτσι προκύπτει ότι:

$$\text{Σταθερό κόστος ανά μέγεθος} = \frac{\text{Ετήσιο κόστος}}{\text{Ετήσιος ρυθμός χρήσης}} \quad (5)$$

Μεταβλητό κόστος ανά μέγεθος

$$= \text{Τιμή μονάδας μεγέθους} * \text{Μέγεθος ανά τόνο αποβλήτου} \quad (6)$$

Κόστος μεταβίβασης

Τα κόστη μεταβίβασης διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη νομοθεσία του κάθε κράτους αλλά και με την τεχνολογία επεξεργασίας, βασίζονται ωστόσο συνήθως σε μετρήσιμα μεγέθη όπως για παράδειγμα κόστος ανά ποσότητα αποβλήτων (τέλη ταφής στους ΧΥΤΑ), ή ανά άμεσες εκπομπές στο περιβάλλον (ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα). Το μετρήσιμο μέγεθος ανά τόνο απορρίμματος αντιπροσωπεύει τη φυσική παράμετρο, ενώ η οικονομική επιβάρυνση ανά μέγεθος είναι η οικονομική παράμετρος. Πολλαπλασιάζοντας αυτά τα δύο μεγέθη προκύπτει το συνολικό κόστος μεταβίβασης ανά τόνο αποβλήτων.

$$\text{Κόστος μεταβίβασης} = \text{Μέγεθος ανά τόνο αποβλήτου} * \text{Μεταβίβαση άνα τεμάχιο} \quad (7)$$

Κόστος από εξωγενείς παράγοντες

Αντίστοιχα τα κόστη από εξωγενείς παράγοντες αποτελούνται και αυτά από δύο παραμέτρους. Η μία παράμετρος είναι η οικονομική και πρόκειται για την αριθμητική τιμή ανά μονάδα περιβαλλοντικής εκπομπής, και η άλλη είναι η φυσική και αντιπροσωπεύει την μονάδα αυτή (πχ ποσότητα εκπομπών ανά τόνο αποβλήτων). Ενώ αυτές οι αριθμητικές τιμές των περιβαλλοντικών εκπομπών πρέπει ιδανικά να ανταποκρίνονται στην επιθυμία της κοινωνίας να πληρώσει προκειμένου να αποφευχθούν οι εκπομπές αυτές και άλλες σχετιζόμενες επιπτώσεις, μπορεί επίσης να αντιπροσωπεύουν το κόστος του περιθωρίου μείωσης της ευημερίας ώστε να αποφευχθούν οι συνέπειες αυτές. (29)

1.5 Έλεγχος αξιοπιστίας και εγκυρότητας δεδομένων και αποτελεσμάτων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση προέρχονται είτε από πειραματικές μετρήσεις άμεσα συνδεδεμένες με το σύστημα που μελετάται, είτε από βιβλιογραφικές πηγές οι οποίες είναι σχετικές με αυτό είτε ακόμη με βάση την γνώμη ειδικών επιστημόνων που ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα. Με βάση αυτό και δεδομένου ότι η μοντελοποίηση του κύκλου ζωής ενός συστήματος είναι μια προσεγγιστική ανάλυση ενός συστήματος διεργασιών γίνεται φανερό πως τα δεδομένα της θα εμφανίζουν -σε διαφορετικό βαθμό το καθένα ανάλογα με την προέλευσή τους- κάποια αβεβαιότητα ως προς την εγκυρότητα και την ακρίβειά τους. Η αβεβαιότητα αυτή όπως είναι λογικό επεκτείνεται και στα αποτελέσματα της ανάλυσης επηρεάζοντας εντέλει τα τελικά συμπεράσματα. Ιδιαίτερα σημαντικό για την εξαγωγή όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικών και έγκυρων αποτελεσμάτων είναι η ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας που εμφανίζεται σε κάθε διεργασία του συστήματος. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό αρχικά πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας έτσι ώστε να εξεταστεί η επίδραση της αλλαγής της τιμής κάθε παραμέτρου του μοντέλου στο τελικό αποτέλεσμα. Κατόπιν με την ανάλυση αβεβαιότητας αξιολογείται το ποσό της αβεβαιότητας που φέρει κάθε παράμετρος ξεχωριστά στο τελικό αποτέλεσμα, αλλά και η συνολική αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων.

1.5.1 Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι στις μεθόδους προσδιορισμού της αβεβαιότητας. Η ανάλυση αυτή προσδιορίζει πόσο μεταβάλλονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ως συνέπεια μια αλλαγής στην τιμή των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην μοντελοποίηση του συστήματος. Με βάση την ανάλυση αυτή μπορεί να εκτιμηθεί η σημαντικότητα όλων των παραμέτρων που εισάγονται στο σύστημα σε σχέση με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση του κύκλου ζωής. Αποτελείται από την ανάλυση συνεισφοράς (contribution analysis) στην οποία τα αποτελέσματα αποσυντίθεται στις επιμέρους διεργασίες προκειμένου να αποτυπωθεί η συνεισφορά της καθεμίας, την ανάλυση διαταραχής (perturbation analysis) στην οποία μεταβάλλεται η τιμή κάθε παραμέτρου ξεχωριστά (στην περίπτωση μας κατά 10%) διατηρώντας όλες τις υπόλοιπες στις τιμές αναφοράς τους, και τέλος τον υπολογισμό του συντελεστή ευαισθησίας και του λόγου ευαισθησίας που σχετίζεται με κάθε παράμετρο.

Ο συντελεστής ευαισθησίας (sensitivity coefficient, SC) είναι ο λόγος μεταξύ των απόλυτων διαφορών του αποτελέσματος και της κάθε παραμέτρου. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό και την κατάταξη της συνεισφοράς κάθε παραμέτρου στη συνολική διακύμανση (στην αναλυτική μέθοδο ανάλυσης αβεβαιότητας), και ως εκ τούτου αξιολογεί την σημαντικότητα των παραμέτρων σε σχέση με τα αποτελέσματα καθορίζοντας τις πιο κρίσιμες εξ αυτών.

$$SC_i^j = \frac{(\Delta \text{αποτέλεσμα})_j}{(\Delta \text{παραμέτρος})_i} \approx \frac{\theta z_j}{\theta x_i} \quad (8)$$

Ο λόγος ευαισθησίας (sensitivity ratio, SR) ορίζεται ως ο λόγος των σχετικών διαφορών του αποτελέσματος και της κάθε παραμέτρου. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ευαισθησία του μοντέλου σε κάθε παράμετρο.

$$SR_i^j = \frac{\left(\frac{\Delta \text{αποτέλεσμα}}{\text{αρχικό αποτέλεσμα}} \right)_j}{\left(\frac{\Delta \text{παραμέτρος}}{\text{αρχική τιμή παραμέτρου}} \right)_i} \approx \frac{\theta z_j * x_i}{\theta x_i * z_j} \quad (9)$$

Ο συντελεστής i παίρνει τιμές από 1 έως n και αντιπροσωπεύει τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο ενώ ο συντελεστής j παίρνει τιμές από 1 έως m και σχετίζεται με τις κατηγορίες επιπτώσεων του εξεταζόμενου συστήματος. Σημειώνεται ότι για κάθε κατηγορία επιπτώσεων στην AKZ του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων αντιστοιχεί μια διαφορετική τιμή SR και SC για κάθε παράμετρο (30),(31).

1.5.2 Αξιολόγηση ποιότητας δεδομένων - Pedigree Matrix

Το πρώτο βήμα για τον έλεγχο της ακρίβειας των δεδομένων εισαγωγής και συνεπώς των εξαγόμενων αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι η αξιολόγηση της ποιότητας των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση του συστήματος. Η αξιολόγηση αυτή γίνεται μέσω της χρήσης του Pedigree Matrix.

Πρόκειται για ένα ‘ημι-ποσοτικό εργαλείο’ το οποίο δίνει την δυνατότητα ποιοτικής αξιολόγησης των δεδομένων του συστήματος βάση κάποιων συγκεκριμένων δεικτών που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά τους. Το σύνολο των δεικτών αυτών εξετάζονται για κάθε παράμετρο αποδίδοντάς τους μία τιμή από το 1 μέχρι το 5 (όπου 1 θεωρείται το βέλτιστο).

Οι βασικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι η αξιοπιστία και η πληρότητα των δεδομένων, η χρονική και γεωγραφική συσχέτιση καθώς και η περαιτέρω τεχνολογική συσχέτιση (εικόνα 9).

| Indicator score | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 (default) |
|--|--|--|--|---|---|
| Reliability | Verified ³ data based on measurements ⁴ | Verified data partly based on assumptions <i>or</i> non-verified data based on measurements | Non-verified data partly based on qualified estimates | Qualified estimate (e.g. by industrial expert) | Non-qualified estimate |
| Completeness | Representative data from all sites relevant for the market considered, over an adequate period to even out normal fluctuations | Representative data from >50% of the sites relevant for the market considered, over an adequate period to even out normal fluctuations | Representative data from only some sites (<<50%) relevant for the market considered <i>or</i> >50% of sites but from shorter periods | Representative data from only one site relevant for the market considered <i>or</i> some sites but from shorter periods | Representativeness unknown <i>or</i> data from a small number of sites <i>and</i> from shorter periods |
| Temporal correlation | Less than 3 years of difference to the time period of the dataset | Less than 6 years of difference to the time period of the dataset | Less than 10 years of difference to the time period of the dataset | Less than 15 years of difference to the time period of the dataset | Age of data unknown <i>or</i> more than 15 years of difference to the time period of the dataset |
| Geographical correlation | Data from area under study | Average data from larger area in which the area under study is included | Data from area with similar production conditions | Data from area with slightly similar production conditions | Data from unknown <i>or</i> distinctly different area (North America instead of Middle East, OECD-Europe instead of Russia) |
| Further technological correlation | Data from enterprises, processes and materials under study | Data from processes and materials under study (i.e. identical technology) but from different enterprises | Data from processes and materials under study but from different technology | Data on related processes or materials | Data on related processes on laboratory scale <i>or</i> from different technology |

Εικόνα 9. Pedigree matrix

Ο ‘δείκτης αξιοπιστίας’ σχετίζεται με την πηγή των δεδομένων, τις μεθόδους απόκτησής τους και τις διαδικασίες εξακρίβωσής τους. Ο ‘δείκτης πληρότητας’ σχετίζεται με το πόσο αντιπροσωπευτικό είναι το δείγμα, εάν περιλαμβάνει ικανοποιητικό αριθμό δεδομένων και αν η χρονική περίοδος λήψης είναι επαρκής ώστε να εξισορροπήσει τις φυσιολογικές διακυμάνσεις. Ο χρονικός δείκτης, αντιπροσωπεύει τη χρονική συσχέτιση μεταξύ του χρόνου της πραγματοποιούμενης μελέτης και του

χρόνου αναφοράς των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Αντίστοιχα ο δείκτης γεωγραφικής συσχέτισης αποτυπώνει την σχέση μεταξύ του τόπου διεξαγωγής της ανάλυσης και του τόπου προέλευσης των δεδομένων. Τέλος ο τελευταίος δείκτης αφορά οποιαδήποτε συσχέτιση εκτός από γεωγραφική και χρονική (πχ διαφορετική εταιρεία, διεργασία, υλικά σε σχέση με αυτά της μελέτης).

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονιστεί ότι κάθε δείκτης θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ξεχωριστά και να μην σχετίζονται μεταξύ τους. Κάθε δείκτης αντιπροσωπεύει ένα ανεξάρτητο κομμάτι αξιολόγησης της ποιότητας των δεδομένων (32),(33).

1.5.3 Ανάλυση αβεβαιότητας

Όσον αφορά την ανάλυση αβεβαιότητας υπάρχουν κατά κύριο λόγο δύο προσεγγίσεις οι οποίες εφαρμόζονται για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων ενός συστήματος. Η πρώτη προσέγγιση είναι η αναλυτική, η οποία στηρίζεται στη θεωρία της διάδοσης σφαλμάτων και αποτυπώνει με διαφορετικό λογισμό τον τρόπο με τον οποίο η αβεβαιότητα των δεδομένων εισαγωγής μεταφέρεται στην αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων.

Η δεύτερη προσέγγιση η οποία και εφαρμόζεται στην παρούσα μελέτη, βασίζεται σε μέθοδο δειγματοληψίας όπου υπολογίζεται η αβεβαιότητα χρησιμοποιώντας τυχαία δεδομένα από μια συγκεκριμένη κατανομή πιθανοτήτων. Τα περισσότερα λογισμικά μοντελοποίησης ανάλυσης κύκλου ζωής, δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού της αβεβαιότητας με τη μέθοδο δειγματοληψίας, κυρίως χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις Monte Carlo (31).

Ιδανικά, η αβεβαιότητα των εισαγόμενων δεδομένων θα πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία μετρήσεων με βάση τα οποία θα κατασκευάζεται μια συγκεκριμένη κατανομή πιθανότητας. Η κατανομή αυτή έχει τη μορφή κανονικής κατανομής και για να οριστεί απαιτείται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση.

Εντούτοις, λόγω της πολυπλοκότητας της ανάλυσης κύκλου ζωής και της πληθώρας των παραμέτρων του συστήματος, είναι σύνηθες για πολλές παραμέτρους να μην υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων, είτε ακόμη να υπάρχει μόνο μια τιμή. Στην περίπτωση αυτή συνηθίζεται να αποδίδεται η αβεβαιότητα της παραμέτρου με βάση συγκεκριμένους παράγοντες αβεβαιότητας, και η κατανομή που χρησιμοποιείται έχει τη μορφή λογαριθμικής (31). Η λογαριθμική κατανομή αντιπροσωπεύεται από δύο μεγέθη, το γεωμετρικό μέσο όρο (μ_g) και γεωμετρική τυπική απόκλιση (GSD).

Στην περίπτωση χρήσης της λογαριθμικής κατανομής λαμβάνονται υπόψη δύο είδη αβεβαιότητας. Το πρώτο είναι η βασική αβεβαιότητα η οποία πρόκειται για εγγενή μεταβλητότητα των παραμέτρων που μπορεί να οφείλεται σε αβεβαιότητα των μετρήσεων, μεταβλητότητα σχετική με την συγκεκριμένη δραστηριότητα ή και χρονική μεταβλητότητα (34). Για παράδειγμα θεωρείται ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εμφανίζουν αρκετά μεγαλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με τις εκπομπές μονοξειδίου. Προκειμένου να υπολογιστεί η αβεβαιότητα αυτή χρησιμοποιείται ένας πίνακας παραγόντων οι οποίοι είναι διαφορετικοί για κάθε δραστηριότητα και ουσία. Οι παράγοντες αυτοί χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με το είδος των

εκπομπών. Πρόκειται για εκπομπές λόγω καύσης, εκπομπές διεργασιών και εκπομπές από γεωργικές δραστηριότητες (Εικόνα 10) (35).

Το άλλο είδος είναι η πρόσθετη αβεβαιότητα η οποία έχει να κάνει με την ατέλεια των δεδομένων παραδείγματος χάρη δεδομένα από υποθέσεις, με ελλιπή εξακρίβωση, ή δεδομένα που αποκτήθηκαν από διαφορετικές χρονικές, γεωγραφικές ή τεχνολογικές συνθήκες συγκριτικά με το εξεταζόμενο σύστημα. Προκειμένου να υπολογιστεί η αβεβαιότητα αυτή για κάθε παράμετρο, χρησιμοποιείται το Pedigree Matrix που έχει κατασκευαστεί. Έτσι, κάθε τιμή του Pedigree Matrix αντιστοιχίζεται σε ένα παράγοντα πρόσθετης αβεβαιότητας σύμφωνα με την εικόνα 11. Για παράδειγμα μια παράμετρος με τιμή στο δείκτη αξιοπιστίας ίση με 5 αντιστοιχεί σε παράγοντα πρόσθετης αβεβαιότητας ίσο με 0,04 (34).

| input / output group | c | p | a | input / output group | c | p | a |
|---|--------|--------|--------|--|--------|--------|-------|
| demand of: | | | | pollutants emitted to air: | | | |
| thermal energy, electricity, semi-finished products, working material, waste treatment services | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | CO ₂ | 0.0006 | 0.0006 | |
| transport services (tkm) | 0.12 | 0.12 | 0.12 | SO ₂ | 0.0006 | | |
| Infrastructure | 0.3 | 0.3 | 0.3 | NM VOC total | 0.04 | | |
| resources: | | | | NO _x , N ₂ O | 0.04 | | 0.03 |
| Primary energy carriers, metals, salts | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | CH ₄ , NH ₃ | 0.04 | | 0.008 |
| Land use, occupation | 0.04 | 0.04 | 0.002 | Individual hydrocarbons | 0.04 | 0.12 | |
| Land use, transformation | 0.12 | 0.12 | 0.008 | PM>10 | 0.04 | 0.04 | |
| pollutants emitted to water: | | | | PM10 | 0.12 | 0.12 | |
| BOD, COD, DOC, TOC, inorganic compounds (NH ₄ , PO ₄ , NO ₃ , Cl, Na etc.) | | 0.04 | | PM2.5 | 0.3 | 0.3 | |
| Individual hydrocarbons, PAH | | 0.3 | | Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) | 0.3 | | |
| Heavy metals | | 0.65 | 0.09 | CO, heavy metals | 0.65 | | |
| Pesticides | | | 0.04 | Inorganic emissions, others | | 0.04 | |
| NO ₃ , PO ₄ | | | 0.04 | Radionuclides (e.g., Radon-222) | | 0.3 | |
| pollutants emitted to soil: | | | | | | | |
| Oil, hydrocarbon total | | 0.04 | | | | | |
| Heavy metals | | 0.04 | 0.04 | | | | |
| Pesticides | | | 0.033 | | | | |

Εικόνα 10. Παράγοντες υπολογισμού βασικής αβεβαιότητας

| Indicator score | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-------|--------|--------|--------|-------|
| Reliability | 0.000 | 0.0006 | 0.002 | 0.008 | 0.04 |
| Completeness | 0.000 | 0.0001 | 0.0006 | 0.002 | 0.008 |
| Temporal correlation | 0.000 | 0.0002 | 0.002 | 0.008 | 0.04 |
| Geographical correlation | 0.000 | 2.5e-5 | 0.0001 | 0.0006 | 0.002 |
| Further technological correlation | 0.000 | 0.0006 | 0.008 | 0.04 | 0.12 |

Εικόνα 11. Παράγοντες υπολογισμού πρόσθετης αβεβαιότητας

Όσον αφορά τον ορισμό της λογαριθμικής κατανομής, ο γεωμετρικός μέσος όρος αντιστοιχεί στην τιμή αναφοράς της κάθε παραμέτρου (εισάγεται ως ο φυσικός λογάριθμος της τιμής κάθε παραμέτρου) ενώ η γεωμετρική τυπική απόκλιση υπολογίζεται με βάση την βασική και πρόσθετη αβεβαιότητα σύμφωνα με τον τύπο:

$$GSD = \exp\left(\left(U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_\beta\right)^{\frac{1}{2}}\right) \quad (10)$$

Όπου, U_1 = παράγοντας αβεβαιότητας ακρίβειας

U_2 = παράγοντας αβεβαιότητας πληρότητας

U_3 = παράγοντας αβεβαιότητας χρονικής συσχέτισης

U_4 = παράγοντας αβεβαιότητας γεωγραφικής συσχέτισης

U_5 = παράγοντας αβεβαιότητας περαιτέρω τεχνολογικής συσχέτισης

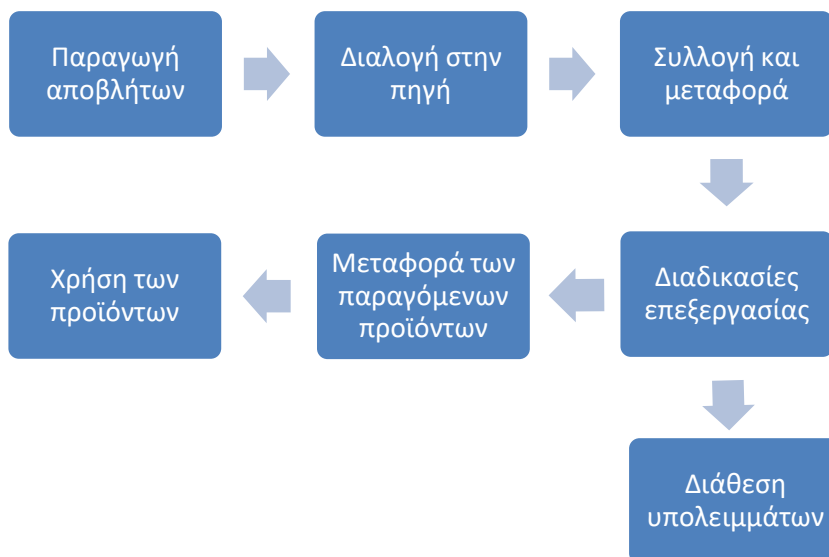
U_β = παράγοντας βασικής αβεβαιότητας

(35).

2. Συστήματα διαχείρισης ΑΣΑ-case study Χαλάνδρι

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται το υπάρχον σύστημα διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων για το Δήμο Χαλανδρίου καθώς και εναλλακτικά σενάρια που μελετώνται για να εφαρμοστούν. Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιείται ανάλυση του κύκλου ζωής για όλα τα σενάρια χρησιμοποιώντας το λογισμικό μοντελοποίησης EASETECH το οποίο αναπτύχθηκε από το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας (DTU). Η μοντελοποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος Waste4Think. Ο στόχος της μελέτης είναι η σύγκριση του υπάρχοντος συστήματος διαχείρισης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος αστικών στερεών απορριμμάτων του Δήμου Χαλανδρίου σε σχέση με τα εναλλακτικά σενάρια που προτείνονται στα πλαίσια του προγράμματος Waste4Think.

Η λειτουργική μονάδα της παρούσας μελέτης είναι η συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση 1000 κιλών αστικών στερεών απορριμμάτων, τα οποία παράγονται στο δήμο Χαλανδρίου. Συνεπώς οι διεργασίες που περιλαμβάνονται στην μελέτη περιγράφονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



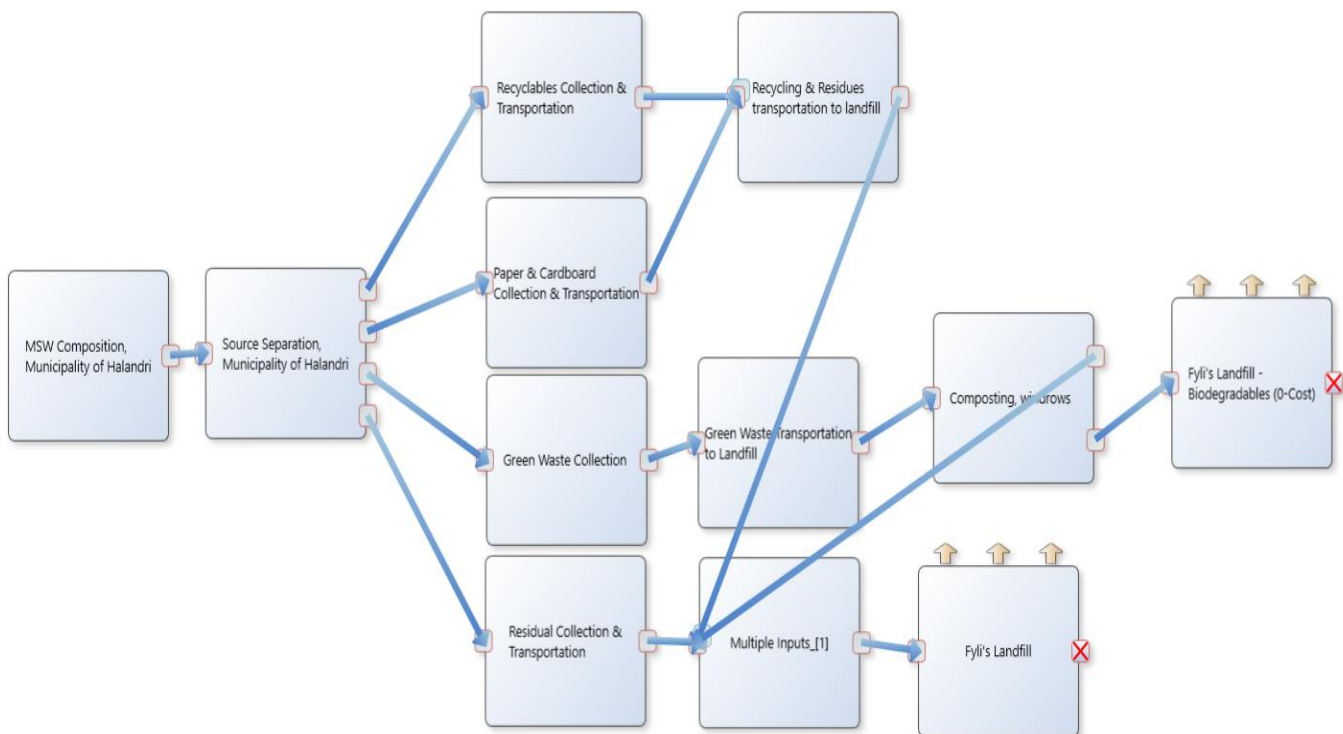
Διάγραμμα 1. Κύκλος ζωής απορριμμάτων δήμου Χαλανδρίου

2.1 Υπάρχον σύστημα διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων

Το σενάριο αναφοράς της μελέτης είναι το σενάριο διαχείρισης των τροφικών υπολειμμάτων που εφαρμόζεται αυτή τη στιγμή στο Δήμο Χαλανδρίου. Σύμφωνα με αυτό, τα τροφικά υπολείμματα δεν διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα απορρίμματα, αλλά συλλέγονται σύμμεικτα στους πράσινους κάδους και οδηγούνται στο χώρο υγειονομικής ταφής της Φυλής ο οποίος απέχει περίπου 25 χιλιόμετρα από το Χαλάνδρι (διάγραμμα 2).

Αναλυτικά στο σενάριο αυτό αρχικά τα αστικά απορρίμματα διαχωρίζονται στην πηγή σε τέσσερα επιμέρους ρεύματα. Το πρώτο ρεύμα είναι τα ανακυκλώσιμα υλικά όπως πλαστικό, μέταλλο, αλουμίνιο τα οποία απορρίπτονται από τους πολίτες στους μπλε

κάδους όπου και αποθηκεύονται προσωρινά. Το δεύτερο ρεύμα αφορά και αυτό ανακυκλώσιμα υλικά αλλά πρόκειται μόνο για απορρίμματα που αποτελούνται από χαρτί και χαρτόνι. Αυτού του είδους τα ανακυκλώσιμα υλικά απορρίπτονται στον κίτρινο κάδο. Απορριματοφόρα του δήμου πραγματοποιούν καθορισμένα τακτικά δρομολόγια στις γειτονίες του Χαλανδρίου και συλλέγουν από τα ανακυκλώσιμα υλικά από τους κάδους. Τα υλικά αυτά μεταφέρονται στο κέντρο διαλογής και ανάκτησης υλικών της εταιρείας Watt στο Κορωπί όπου υφίστανται μηχανική και χειρωνακτική διαλογή προκειμένου να ξεδιαλεχτούν, να χωριστούν ανά είδος υλικού και εντέλει να δεματοποιηθούν. Κατόπιν αποστέλλονται στα κατάλληλα σημεία ανακύκλωσης. Παράλληλα δημιουργείται ένα υπολειμματικό ρεύμα απορριμμάτων που δεν είναι κατάλληλο για ανακύκλωση και το οποίο μεταφέρεται στους χώρους υγειονομικής ταφής όπου και απορρίπτεται.



Διάγραμμα 2. Σενάριο αναφοράς

Το τρίτο ρεύμα που περιλαμβάνει το σενάριο πρόκειται για απορρίμματα κήπων όπως κλαδέματα, φύλα, κλαδιά. Τα κλαδέματα κήπων μαζεύονται από τις αρμόδιες υπηρεσίες του δήμου και οδηγούνται στο ΧΥΤΑ της Φυλής. Εκεί υφίσταται κομποστοποίηση. Το παραγόμενο κομπόστ χρησιμοποιείται ως υλικό επικάλυψης ή τελικής κάλυψης στο χώρο υγειονομικής ταφής. Παράλληλα με την παραγωγή του κομπόστ, παραμένει και μικρή ποσότητα από υπολείμματα της κομποστοποίησης τα οποία θάβονται.

Το τέταρτο ρεύμα των αστικών στερεών απορριμμάτων είναι τα υπολείμματα στα οποία στο σενάριο αναφοράς συμπεριλαμβάνονται και τα τροφικά απόβλητα. Το ρεύμα αυτό των υπολειμματικών αποβλήτων εναποτίθεται και συλλέγεται από τους πράσινους κάδους σε τακτικά ημερήσια δρομολόγια και μεταφέρεται στο ΧΥΤΑ στην περιοχή της Φυλής όπου και απορρίπτεται.

2.2 Εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης αστικών αποβλήτων-Πρόγραμμα Waste4Think

Το πρόγραμμα Waste4Think αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό πρόγραμμα καθοδηγούμενο από το πανεπιστήμιο του Deusto, το οποίο επιχειρεί να σχεδιάσει λύσεις για την βελτίωση όλων των σταδίων της διαχείρισης των αποβλήτων, υιοθετώντας μια παγκόσμια προσέγγιση και στοχεύοντας στη συμμετοχή των πολιτών για την δημιουργία πιο βιώσιμων και φιλικών στο περιβάλλον πόλεων.

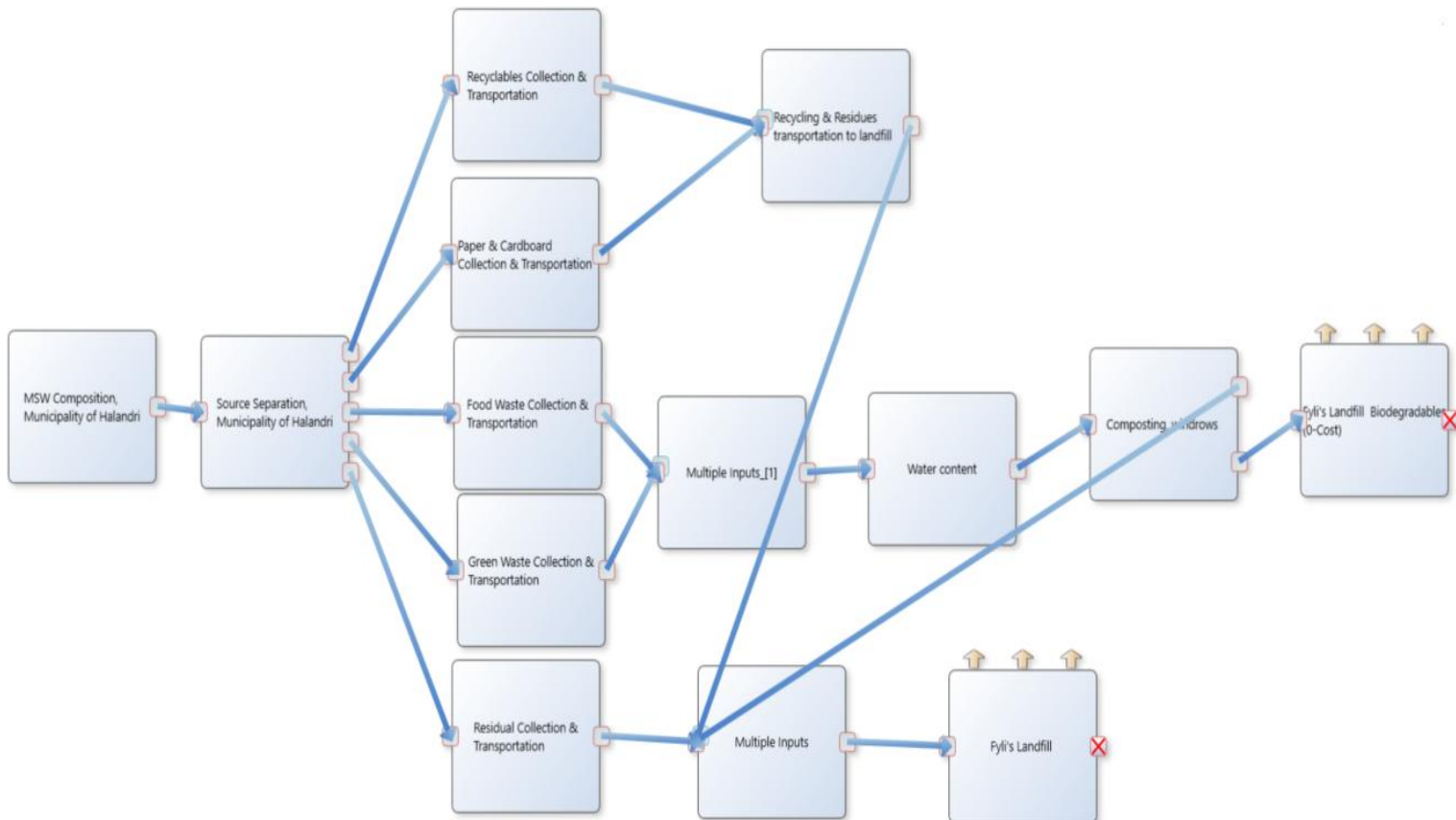
Ο Δήμος Χαλανδρίου είναι μία από τις πόλεις που συμμετέχουν στο πρόγραμμα αυτό. Σε συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο έχει επικεντρωθεί στην προώθηση της ολοκληρωμένης διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων και στα πλαίσια αυτά εντείνονται οι προσπάθειες για την εκμετάλλευση των βιοαποβλήτων όπως είναι τα υπολείμματα τροφών. Στόχος είναι να μεγιστοποιήσει την ανάκτηση πρώτων υλών από τα αστικά βιοαπορρίμματα και την μετατροπή αυτών σε στερεά καύσιμα όπως είναι το πέλλετ αλλά και υγρά (αιθανόλη) και αέρια (υδρογόνο, μεθάνιο) ενώ ταυτόχρονα να παράγει υψηλής ποιότητας κομπόστ από αυτά. Με το σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων και με την εκμετάλλευση του βιοαποδομήσιμου οργανικού κλάσματος που περιέχεται στα τροφικά υπολείμματα, επιδιώκεται η ελάττωση του όγκου των αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής με σκοπό τη μείωση των παραγόμενων αέριων του θερμοκηπίου, καθώς και των εκπομπών των απορριμματοφόρων εφόσον τα δρομολόγια συλλογής και μεταφοράς τείνουν να μειωθούν αντίστοιχα. Ταυτόχρονα υιοθετούνται τεχνικές κυκλικής οικονομίας εντάσσοντας τη χρήση των προϊόντων προστιθέμενης αξίας που προέρχονται από επεξεργασμένα απορρίμματα στην αλυσίδα του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων. Στο πλαίσιο αυτό μελετήθηκαν 6 εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ τα οποία και αξιολογήθηκαν με βάση τον περιβαλλοντικό και τον οικονομικό τους αντίκτυπο.

Σενάριο 1. Κομποστοποίηση τροφικών και υπολειμμάτων κήπων

Το σενάριο αυτό βασίζεται στην ταυτόχρονη κομποστοποίηση (συγκομποστοποίηση) των τροφικών υπολειμμάτων και των απορριμμάτων που προέρχονται από κήπους. (Διάγραμμα 3).

Στο σενάριο αυτό υπάρχει διαφοροποίηση σχετικά με το σενάριο αναφοράς όσον αφορά τη διαλογή στην πηγή των τροφικών απορριμμάτων. Πλέον δεν απορρίπτονται στον πράσινο κάδο μαζί με τα υπόλοιπα απόβλητα που θα οδηγηθούν στο ΧΥΤΑ της Φυλής, αλλά αντιθέτως διαχωρίζονται από αυτά και αποθηκεύονται στους καφέ κάδους προκειμένου να υποστούν επεξεργασία και να αξιοποιηθούν. Τα τροφικά υπολείμματα αφού συλλεχθούν, ενώνονται με το ρεύμα των απορριμμάτων κήπων και οδηγούνται προς κομποστοποίηση. Πριν από την έναρξη της κομποστοποίησης θα πρέπει να ρυθμιστεί η υγρασία των απορριμμάτων. Η ρύθμιση της υγρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την διεργασία καθώς συσχετίζεται με την ανάπτυξη της μικροβιακής δράσης. Η βέλτιστη τιμή ποικίλει και εξαρτάται από τη φύση και το μέγεθος των κόκκων του υλικού καθώς και από τη μέθοδο κομποστοποίησης που εφαρμόζεται. Χαμηλές τιμές είναι ενδεικτικές της πρόωρης αφυδάτωσης του υλικού, κάτι το οποίο συνεπάγεται

την επιβράδυνση της βιολογικής διεργασίας. Αυξημένα επίπεδα υγρασίας αντίθετα φράζουν του πόρους του υλικού εμποδίζοντας τον αερισμό του, με αποτέλεσμα να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Αφότου ρυθμιστεί η υγρασία στα επιθυμητά επίπεδα, ακολουθεί η κομποστοποίηση. Με το πέρας της διεργασίας παράγεται το επιθυμητό σταθεροποιημένο οργανικό προϊόν (compost) το οποίο και σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιείται ως υλικό επικάλυψης για το ΧΥΤΑ Φυλής ενώ παραμένουν μικρό ποσοστό υπολειμμάτων τα οποία θάβονται σε αυτό.



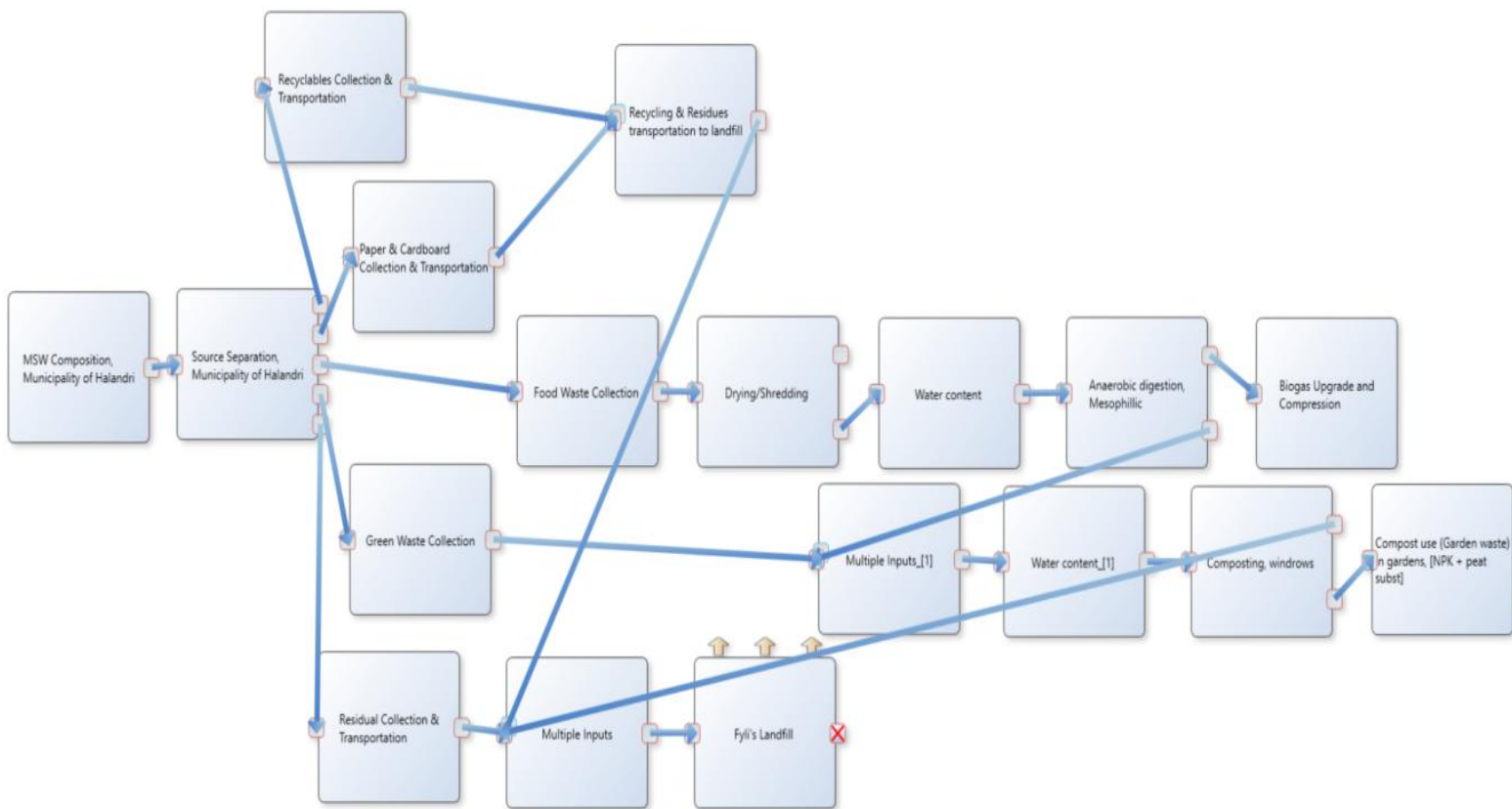
Διάγραμμα 3. Κομποστοποίηση τροφικών και υπολειμμάτων κήπων

Σενάριο 1.1 Παραγωγή Bio-CNG και κομποστοποίηση

Στο σενάριο αυτό τα τροφικά υπολείμματα αξιοποιούνται μέσω της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή συμπιεσμένου φυσικού αερίου το οποίο χρησιμοποιείται σαν εναλλακτικό καύσιμο, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται κομποστοποίηση των απορριμμάτων κήπου μαζί με το χωνευμένο υπόλειμμα που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση και χρήση του παραγόμενου κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό σε κήπους (διάγραμμα 4).

Όπως και στο σενάριο 1, τα τροφικά υπολείμματα διαλέγονται στην πηγή και απορρίπτονται στους καφέ κάδους. Απορριμματοφόρα του Δήμου τα συλλέγουν και τα μεταφέρουν στην εγκατάσταση της αναερόβιας χώνευσης, η οποία βρίσκεται εντός των ορίων του Δήμου Χαλανδρίου. Αρχικά τα τροφικά υπολείμματα υφίστανται προεπεξεργασία. Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει ξήρανση και τεμαχισμό οπότε παράγεται ένα προϊόν βιομάζας από τα υπολείμματα των τροφών (FORBI, food residue

biomass). Στα πλεονεκτήματα του FORBI συμπεριλαμβάνεται ότι έχει μειωμένο όγκο και μάζα έως και 80% συγκριτικά με τα βιοαπόβλητα από τα οποία παράχθηκε κάνοντάς το πιο εύκολο στη διαχείριση και ειδικότερα μειώνοντας σημαντικά το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς. Παράλληλα λόγω της πολύ χαμηλής υγρασίας του μπορεί να αποθηκεύεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να αποσυντίθεται ενώ είναι και άοσμο διευκολύνοντας την αποθήκευσή του. Επιπλέον, η παραγωγή του απαιτεί τη μισή ενέργεια από το ενεργειακό του περιεχόμενο με αποτέλεσμα η αξιοποίηση του να καθίσταται συμφέρουσα. Αιώρημα του FORBI χρησιμοποιείται ως τροφοδοσία για την αναερόβια χώνευση προκειμένου να παραχθεί βιοαέριο (μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα). Το παραγόμενο βιοαέριο οδηγείται σε μια διεργασία αναβάθμισης όπου απομακρύνεται το περιεχόμενο ποσό υγρασίας, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο και εντέλει συμπιέζεται για την παραγωγή συμπιεσμένου φυσικού αερίου (Bio-CNG). Το συμπιεσμένο αυτό αέριο θα χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό καύσιμο για τα απορριμματοφόρα του Δήμου.

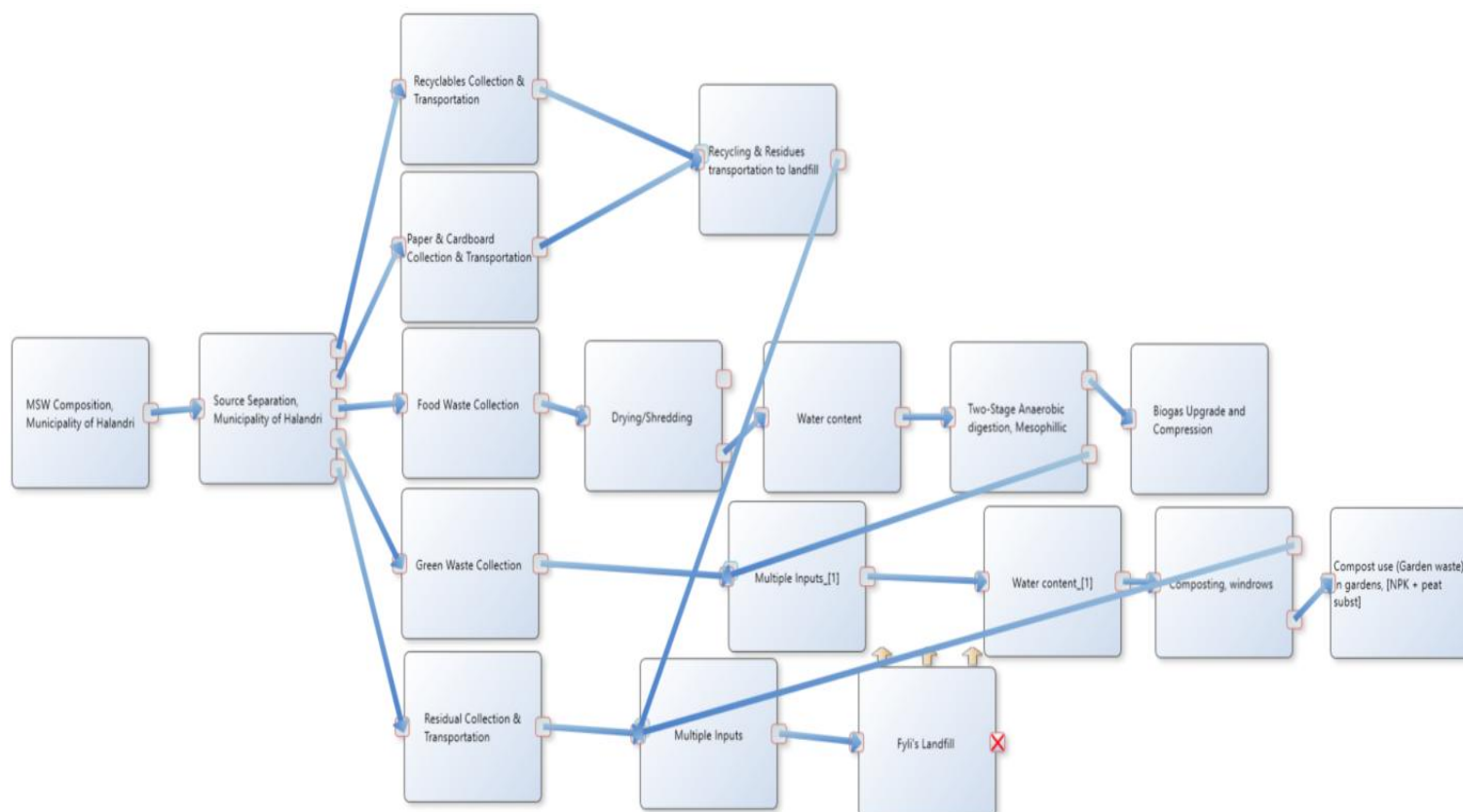


Διάγραμμα 4. Παραγωγή Bio-CNG και κομποστοποίηση

Το χωνευμένο υπόλειμμα της διεργασίας οδηγείται για κομποστοποίηση μαζί με το ρεύμα των υπολειμμάτων κήπου. Η ταυτόχρονη κομποστοποίηση των δύο ρευμάτων στην κατάλληλη αναλογία (1:1), έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τον απαιτούμενο χρόνο της διεργασίας οδηγώντας στην παραγωγή προϊόντος υψηλής ποιότητας. Στο εν λόγω σενάριο το παραγόμενο κομπόστ δεν χρησιμοποιείται ως επικάλυψη στο χώρο υγειονομικής ταφής αλλά ως εδαφοβελτιωτικό σε κήπους του Δήμου Χαλανδρίου υποκαθιστώντας τη χρήση των χημικών λιπασμάτων.

Σενάριο 1.2 Παραγωγή βιο-υθανίου και κομποστοποίηση

Στο συγκεκριμένο σενάριο επιτυγχάνεται η παραγωγή υθανίου (μίγμα από υδρογόνο και μεθάνιο) μέσω μιας διεργασίας αναερόβιας χώνευσης δύο σταδίων ενώ ταυτόχρονα όπως και στο σενάριο 1.1 πραγματοποιείται συγκομποστοποίηση των απορριμμάτων κήπων με το χωνευμένο υπόλειμμα της αναερόβιας χώνευσης. (διάγραμμα 5)



Διάγραμμα 5. Παραγωγή Βιο-Υθανίου και κομποστοποίηση

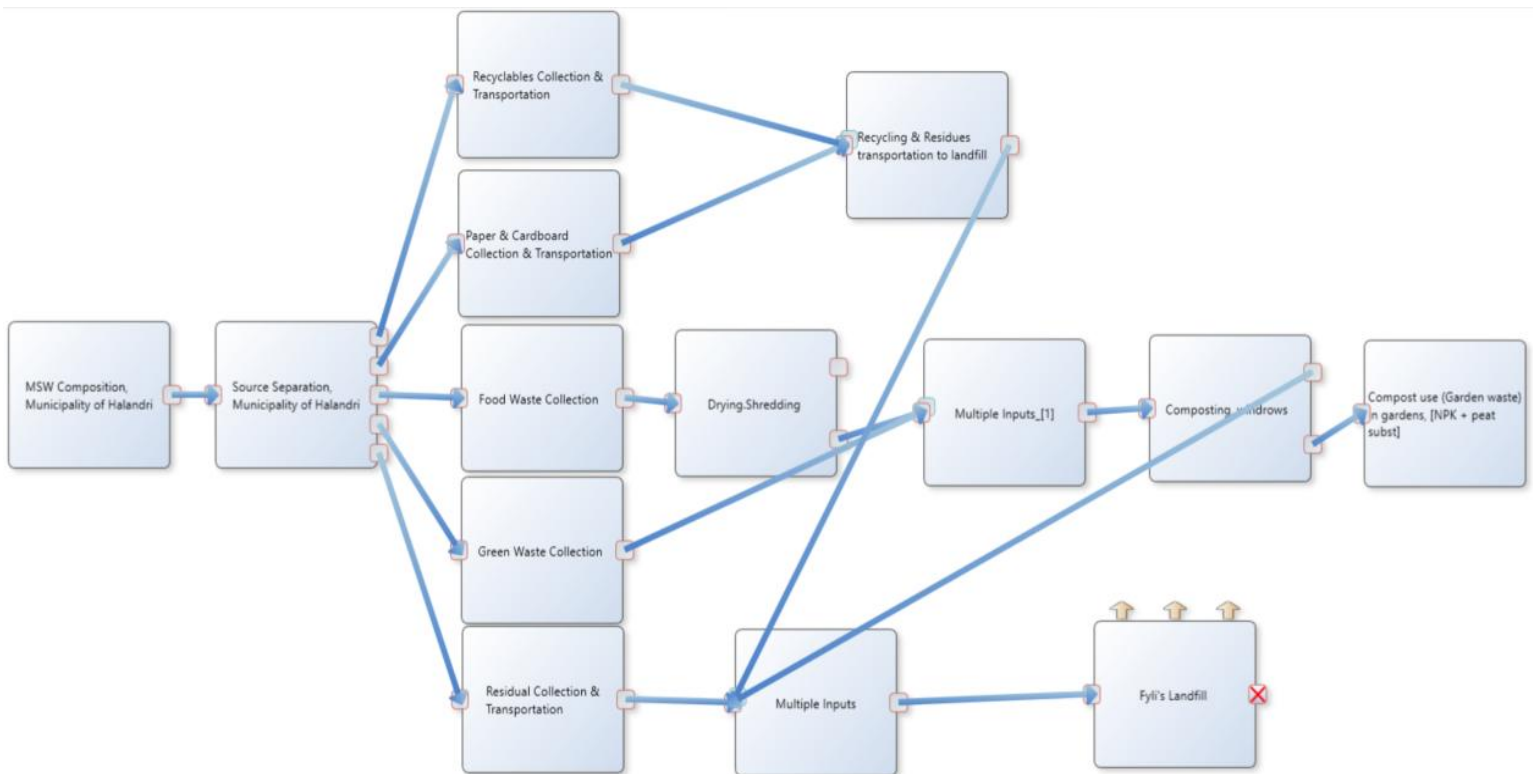
Αναλυτικότερα, τα τροφικά υπολείμματα αφού συλληθούν από τους καφέ κάδους και μεταφερθούν στο χώρο επεξεργασίας, ξηραίνονται και τεμαχίζονται για την παραγωγή FORBI. Η διαφοροποίηση σε σχέση με το σενάριο 1.1 έγκειται στο ότι πλέον η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης πραγματοποιείται σε δύο διαφορετικά στάδια, χρησιμοποιώντας δύο αντιδραστήρες διαφορετικού όγκου. Στον πρώτο αντιδραστήρα που είναι και ο μικρότερος αντιδραστήρας πραγματοποιείται το πρώτο στάδιο της χώνευσης που είναι η οξυογένεση και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο σε αναλογία 35-45% H₂ και 55-65% CO₂. Στο στάδιο αυτό επικρατούν θερμοφιλικές συνθήκες, ενώ ο αντιδραστήρας είναι συνεχούς έργου (CSTR) όγκου 500 L, και με χρόνο παραμονής 4 ημέρες. Το δεύτερο στάδιο της χώνευσης πραγματοποιείται σε μεσόφιλες συνθήκες. Από το στάδιο αυτό παράγονται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα σε αναλογία 50-70% v/v CH₄ και 30-50% CO₂. Και αυτός ο αντιδραστήρας είναι συνεχούς έργου, όγκου 4 m³ ενώ ο χρόνος παραμονής είναι 40 ημέρες.

Το τελικό μίγμα του υθανίου θα έχει ογκομετρική σύσταση 10% υδρογόνο και 90% μεθάνιο. Και σε αυτό το σενάριο το παραγόμενο αέριο υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία για την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα, του νερού και του

υδρόθειου και κατόπιν συμπιέζεται. Το τελικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτό ως εναλλακτικό καύσιμο. Τα πλεονεκτήματά του συγκριτικά με το bio-CNG είναι από άποψη απόδοσης ότι προσφέρει βελτιωμένη αναφλεξιμότητα καθώς το υδρογόνο καίγεται 8 φορές πιο γρήγορα συγκριτικά με το μεθάνιο, ενώ παράλληλα βοηθάει το μεθάνιο να καεί με αυξημένη καταλυτική απόδοση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ταυτόχρονα από περιβαλλοντική άποψη συνεπάγεται μειωμένες εκπομπές άνθρακα. Όσον αφορά το χωνευμένο υπόλειμμα της ζύμωσης, όπως και στο σενάριο 1.1 κομποστοποιείται μαζί με τα υπολείμματα κήπων προς την παραγωγή υψηλής ποιότητας κομπόστ το οποίο χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό. Τα υπολείμματα της κομποστοποίησης καθώς και τα υπολείμματα από τη διαδικασία της διαλογής των ανακυκλώσιμων υλικών οδηγούνται στο ΧΥΤΑ της Φυλής όπου και απορρίπτονται.

Σενάριο 2. Κομποστοποίηση FORBI και απορριμμάτων κήπων

Στο σενάριο 2 πραγματοποιείται συγκομποστοποίηση του FORBI μαζί με τα απορρίμματα των κήπων. Η διαφοροποίηση σχετικά με το σενάριο 1 έγκειται στο γεγονός ότι το κλάσμα των τροφικών υπολειμμάτων υφίσταται πρώτα επεξεργασία για την παραγωγή FORBI, καθώς επίσης και στο γεγονός ότι η διεργασία πραγματοποιείται τοπικά στο Δήμο Χαλανδρίου με το παραγόμενο εδαφοβελτιωτικό να αξιοποιείται από το Δήμο (διάγραμμα 6).



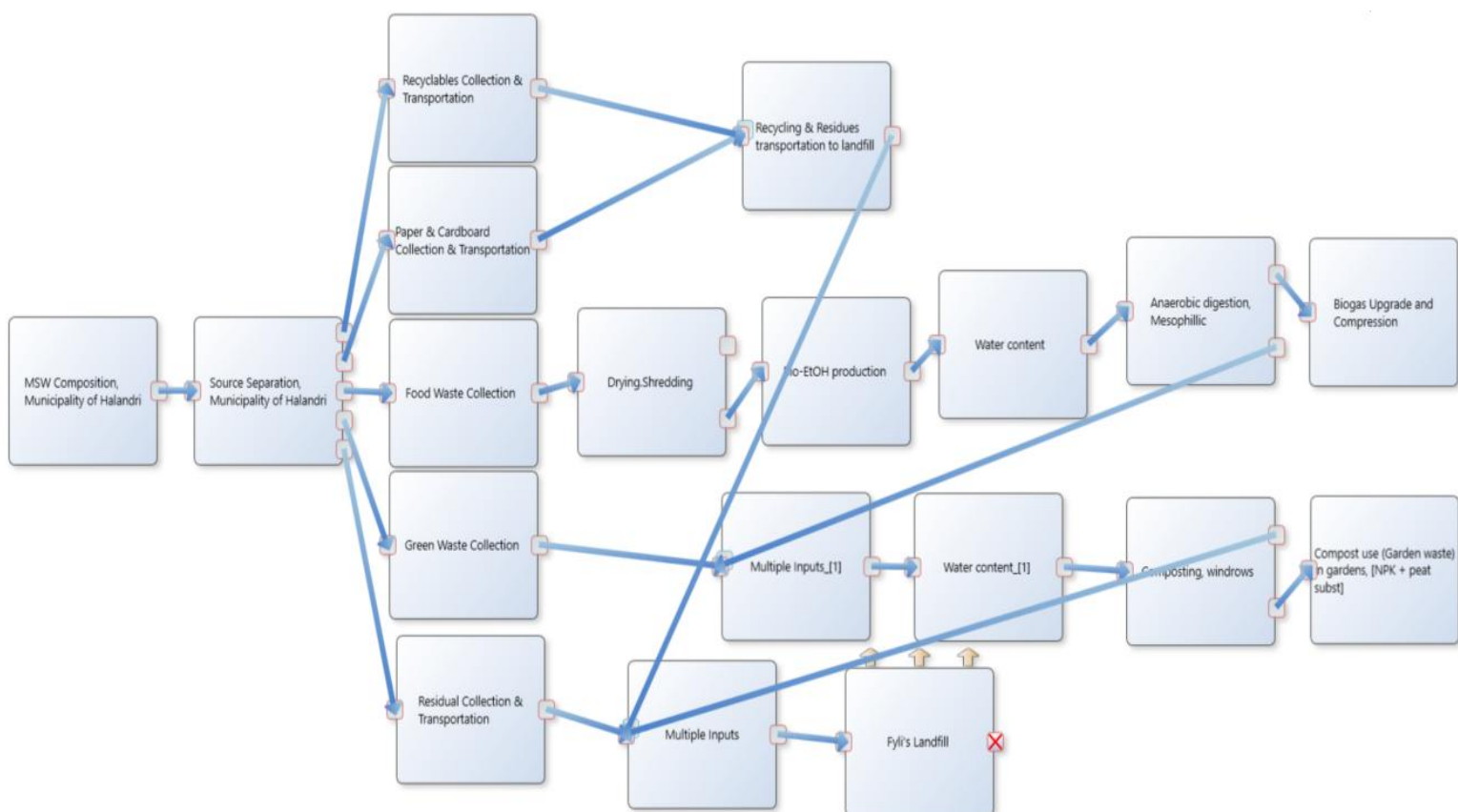
Διάγραμμα 6. Κομποστοποίηση με προεπεξεργασία τροφικών υπολειμμάτων

Τα τροφικά υπολείμματα συλλέγονται από τους καφέ κάδους και οδηγούνται στην κατάλληλη τοπική εγκατάσταση κομποστοποίησης. Σε πρώτη φάση υφίστανται

τεμαχισμό και ξήρανση προκειμένου να παραχθεί το FORBI. Παράλληλα συλλέγονται απορρίμματα από κήπους και μεταφέρονται και αυτά στο χώρο της κομποστοποίησης. Τα δύο ρεύματα (FORBI και κλαδέματα) αναμιγνύονται και κομποστοποιούνται. Πειράματα πιλοτικής κλίμακας έχουν δείξει ότι η συγκομποστοποίηση των δύο αυτών ρευμάτων βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο στο μισό. Το παραγόμενο κομπόστ χρησιμοποιείται ως θρεπτικό υλικό σε κήπους. Τα υπολείμματα της κομποστοποίησης καταλήγουν στο χώρο υγειονομικής ταφής της Φυλής όπου απορρίπτονται μαζί με τα υπολειμματικά αστικά στερεά απορρίμματα που συλλέγονται από τους πράσινους κάδους.

Σενάριο 3. Παραγωγή βιοαιθανόλης

Το σενάριο 3 περιλαμβάνει την επεξεργασία των τροφικών υπολειμμάτων με σκοπό σε πρώτο στάδιο την παραγωγή βιοαιθανόλης μέσω αλκοολικής ζύμωσης και εν συνεχεία την χώνευση του υπολείμματος της απόσταξης για την παραγωγή συμπιεσμένου φυσικού αερίου. Παράλληλα πραγματοποιείται συγκομποστοποίηση των κλαδεμάτων με τα υπολείμματα της αναερόβιας χώνευσης (διάγραμμα 7).



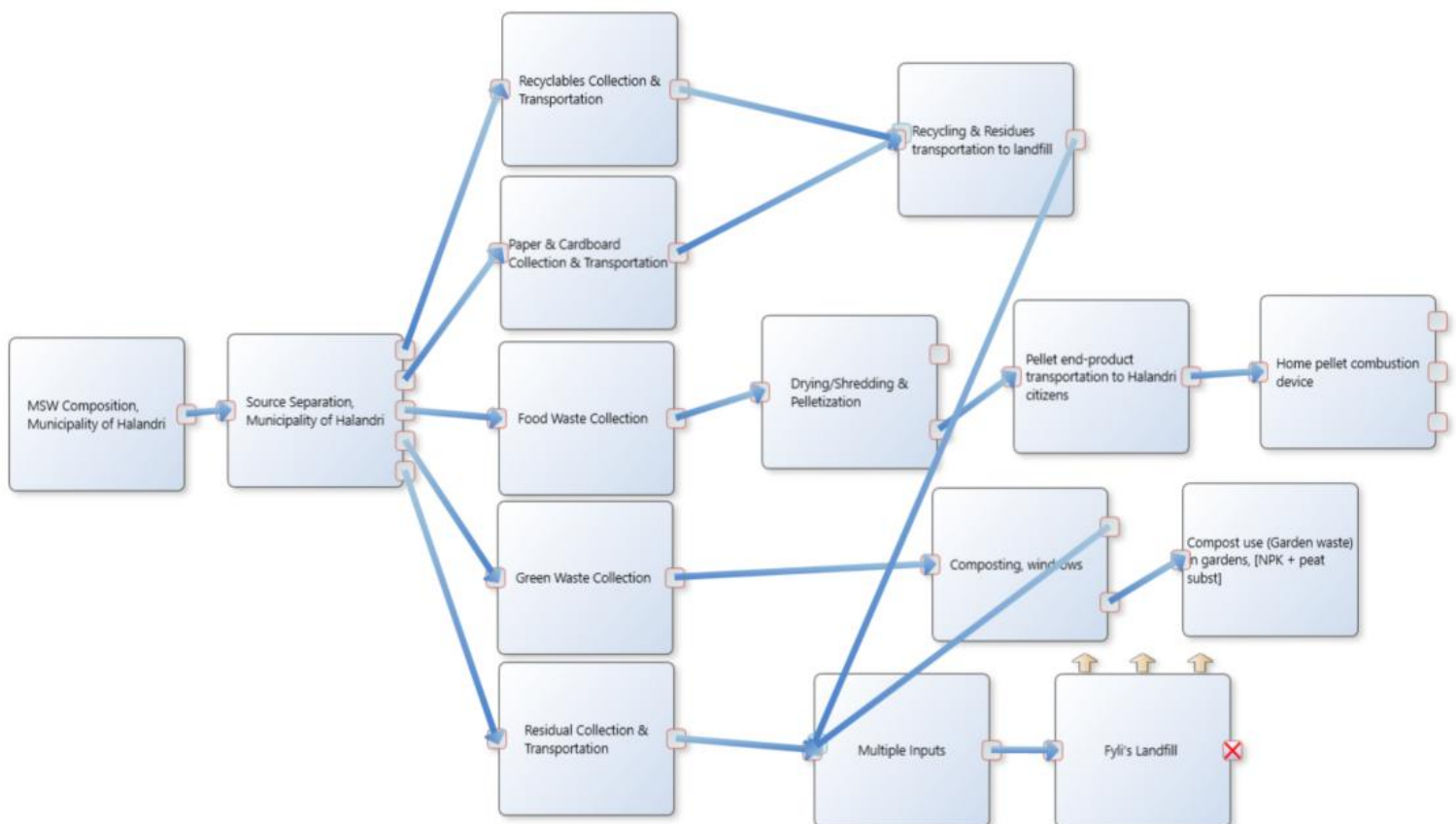
Διάγραμμα 7. Παραγωγή βιοαιθανόλης, Bio-CNG και compost

Αρχικά αφού τα τροφικά υπολείμματα συλλεχθούν και μεταφερθούν στο χώρο επεξεργασίας, τεμαχίζονται και ξηραίνονται παράγοντας το FORBI. Το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας είναι η μετατροπή μέρους της βιομάζας σε βιοαιθανόλη. Η διεργασία που εφαρμόζεται περιλαμβάνει υδρόλυση, σακχαροποίηση και αλκοολική ζύμωση. Από τη διεργασία αυτή παράγεται βιολογικής προέλευσης αιθανόλη. Η παραγόμενη

βιοαιθανόλη θεωρείται ότι θα χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο κατά 10% συμβατικής βενζίνης κίνησης. Για το διαχωρισμό της αιθανόλης από το υπόλοιπο μίγμα πραγματοποιείται κλασματική απόσταξη. Το υπόλειμμα της απόσταξης αξιοποιείται περαιτέρω για την παραγωγή συμπιεσμένου φυσικού αερίου. Έτσι, όπως και στο σενάριο 1.1 το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των υπολειμμάτων της παραγωγής αιθανόλης αποσυντίθεται υπό αναερόβιες συνθήκες. Το παραγόμενο αέριο αναβαθμίζεται και συμπιέζεται ώστε να γίνει εμπορικά αξιοποιήσιμο. Το χωνευμένο υπόλειμμα της διεργασίας αναμιγνύεται με το ρεύμα των απορριμμάτων που προέρχονται από κήπους και υπόκεινται σε κομποστοποίηση. Και σε αυτή την περίπτωση το κομπόστ χρησιμοποιείται για λίπασμα σε κήπους ενώ το υπολειμματικό κομμάτι διατίθεται στο ΧΥΤΑ.

Σενάριο 4. Παραγωγή Πέλλετ

Το σενάριο αυτό περιλαμβάνει την αξιοποίηση των υπολειμμάτων των τροφών για την παραγωγή Πέλλετ το οποίο χρησιμοποιείται εντέλει ως τροφοδοσία σε οικιακές συσκευές θέρμανσης (διάγραμμα 8).



Διάγραμμα 8. Παραγωγή Πέλλετ

Στο έκτο και τελευταίο εναλλακτικό σενάριο που μελετήθηκε, τα τροφικά υπολείμματα αφού συλλεχθούν και μεταφερθούν στο χώρο επεξεργασίας ξηραίνονται, τεμαχίζονται και εντέλει διέρχονται από κατάλληλο πελλετοποιητή τον οποίο προμηθεύτηκε ο Δήμος

στο πλαίσιο του Waste4Think. Το πέλλετ πρόκειται για συμπυκνωμένη βιομάζα που παράγεται από κονιοποιημένα πριονίδια, γρασίδι ή όπως και στην περίπτωση μας από υπολείμματα τροφών. Η τεχνολογία παραγωγής του βασίζεται στην εφαρμογή πίεσης μεταξύ των κόκκων, αύξηση των τριβών και συνεπαγόμενη αύξηση θερμοκρασίας με αποτέλεσμα τη συγκόλλησή τους. Το παραγόμενο προϊόν μεταφέρεται στους πολίτες του Χαλανδρίου και όπου και χρησιμοποιείται για θέρμανση σε σπίτια ή δημόσιους χώρους με κατάλληλη συσκευή καύσης.

Όσον αφορά το ρεύμα των κλαδεμάτων, στο σενάριο αυτό αφού συλλεχθούν από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Δήμου, κομποστοποιείται για την παραγωγή κομπόστ κατάλληλο ως εδαφοβελτιωτικό για χρήση είτε σε δημόσιους χώρους πρασίνου είτε σε κήπους ιδιωτών. Τα υπολείμματα της διεργασίας παραγωγής κομπόστ, θάβονται μαζί με τα υπόλοιπα απορρίμματα των πράσινων κάδων καθώς και το μη ανακυκλώσιμο κλάσμα που ξεχωρίζεται στο χώρο διαλογής και ανάκτησης υλικών.

3. Μοντελοποίηση σεναρίων

Για τη μοντελοποίηση των σεναρίων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EASETECH. Το συγκεκριμένο υπολογιστικό εργαλείο έχει σχεδιαστεί από το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας (DTU) και προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα μοντελοποίησης της ανάλυσης κύκλου ζωής καθώς και ανάλυση κόστους κύκλου ζωής διεργασιών για συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων. Περιέχει βάση δεδομένων σχετικά με την παραγωγή αποβλήτων, τη συλλογή και μεταφορά, τις διάφορες τεχνολογίες διαχείρισης, για εξωτερικές διεργασίες του συστήματος όπως η κατανάλωση ενέργειας καθώς και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA). Δίνει τη ευκαιρία στο χρήστη να διαμορφώσει τα σενάρια διαχείρισης λεπτομερώς παρέχοντας τη δυνατότητα αποτίμησης τόσο του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, όσο και του οικονομικού αντίκτυπου του σεναρίου. Κάθε σενάριο ξεκινά από την αρχή της παραγωγής των απορριμμάτων δίδοντας στο μοντέλο καθορισμένη ποσότητα και σύσταση αποβλήτων και καταλήγει στην παραγωγή χρήσιμων προϊόντων και την τελική διάθεση των υπολειμμάτων. Παράλληλα, επιτρέπει την εισαγωγή παραμέτρων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση ευαισθησίας και την ανάλυση αβεβαιότητας.

Στη συνέχεια θα εξεταστεί η μοντελοποίηση του σεναρίου αναφοράς και των έξι εναλλακτικών σεναρίων, ακολουθώντας τη δομή και τα στάδια που περιλαμβάνονται στην ανάλυση του κύκλου ζωής μιας διεργασίας.

3.1 Καθορισμός σκοπού και πλαισίου, αρχές και οριοθέτηση του συστήματος

Ο σκοπός της ανάλυσης κύκλου ζωής και της ανάλυσης κόστους του κύκλου ζωής είναι η μελέτη των εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των αστικών στερεών απορριμμάτων και η σύγκριση μεταξύ τους αλλά και με το υπάρχον σενάριο διαχείρισης απορριμμάτων στο Δήμο Χαλανδρίου σχετικά με το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα και την οικονομική τους βιωσιμότητα. Το σύστημα ορίζεται από την παραγωγή των απορριμμάτων από τους πολίτες και φτάνει μέχρι την τελική επεξεργασία, παραγωγή προϊόντων αυξημένης αξίας και την διάθεση των υπολειμμάτων που δεν μπορούν να κατεργαστούν περαιτέρω. Προκειμένου να αξιολογηθεί το οικονομικό κόστος του κάθε σεναρίου εφαρμόζεται η συμβατική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής.

Η λειτουργική μονάδα της παρούσας μελέτης είναι η συλλογή, μεταφορά, αξιοποίηση και τελική διάθεση 1000 kg αστικών στερεών απορριμμάτων.

3.2 Απογραφή και ανάλυση δεδομένων (LCI) για το LCA

Η συλλογή των δεδομένων για την ανάλυση του κύκλου ζωής και του κόστους κύκλου ζωής περιλαμβάνει διάφορες πηγές. Για την παραγωγή και τον διαχωρισμό των απορριμμάτων πραγματοποιήθηκε ανάλυση από τα σημεία παραγωγής έτσι ώστε τα αποτελέσματα των αναλύσεων να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου για τα

σενάρια. Για τις διάφορες διεργασίες επεξεργασίας πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακά και πιλοτικής κλίμακας πειράματα. Παράλληλα κάποια δεδομένα προέρχονται από τη βάση δεδομένων Ecoinvent v3 και από βιβλιογραφικές πηγές σχετικές με τη μελέτη που διεξήχθη. Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα δεδομένα εισόδου και εξόδου για κάθε σενάριο τόσο για το LCA όσο και για το LCC .

3.2.1 Διεργασίες κοινές για όλα τα σενάρια

Δεδομένα για παραγωγή αποβλήτων και διαλογή στην πηγή

Τα δεδομένα για τη σύσταση των αποβλήτων καθώς και για τα ποσοστά των υλικών που καταλήγουν στον κάθε κάδο, αποκτήθηκαν μετά από ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο Δήμο Χαλανδρίου. Η ίδια σύσταση χρησιμοποιήθηκε για όλα τα σενάρια με τη διαφοροποίηση ότι στα εναλλακτικά σενάρια το κλάσμα των τροφικών υπολειμμάτων δεν καταλήγει ως έχει στο πράσινο κάδο, αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό 98,02% αποθηκεύεται προσωρινά στον καφέ κάδο προκειμένου να συλλεχθεί και να αξιοποιηθεί. Στον πίνακα 1 απεικονίζεται αναλυτικά η σύσταση των υπό μελέτη ΑΣΑ.

Πίνακας 1. Σύσταση ΑΣΑ Δήμου Χαλανδρίου

| Σύσταση απορριμμάτων | % |
|--|----------|
| Τροφικά υπολείμματα | 26.56% |
| Υπολείμματα κήπων, λουλούδια | 19,82% |
| Περιττώματα και στρώμνη (άχυρα) | 0,65% |
| Συσκευασίες από χαρτί και χαρτόνι | 8,79% |
| Βρώμικο χαρτί | 3,83% |
| Βρώμικο χαρτόνι | 3,90% |
| Πλαστικά μπουκάλια | 5,03% |
| Πλαστικές μεμβράνες | 4,11% |
| Πλαστικά προϊόντα (παιχνίδια, κρεμάστρες, στυλό) | 1,98% |
| Κονσέρβες τροφών (λευκοσίδηρος/χάλυβας) | 1,22% |
| Κουτάλια αναψυκτικών από αλουμίνιο | 0,79% |
| Άλλα μέταλλα | 0,33% |
| Συσκευασίες από αλουμίνιο | 0,80% |
| Συσκευασίες γάλακτος (χάρτινες/πλαστικές) | 1,66% |
| Αλουμινόχαρτο | 0,57% |
| Υφάσματα | 1,07% |
| Παπούτσια, δερμάτινα ρούχα | 0,47% |
| Πάνες, προϊόντα προσωπικής υγιεινής | 5,56% |
| Άλλα εύφλεκτα | 1,46% |
| Χώμα | 1,29% |
| Πέτρες, τσιμέντο | 2,70% |
| Άλλα μη εύφλεκτα | 0,69% |
| Μπαταρίες | 0,00% |
| Ξύλο | 0,23% |
| Καθαρό γυαλί | 6,33% |
| Μη ανακυκλώσιμο γυαλί | 0,16% |

Στον πίνακα 2 απεικονίζεται το κλάσμα του διαχωρισμού κάθε υλικού στον κατάλληλο κάδο. Για το σενάριο αναφοράς οι κάδοι προσωρινής αποθήκευσης είναι τρεις (μπλε, κίτρινος, πράσινος) ενώ για τα εναλλακτικά σενάρια υπάρχει και ο καφέ κάδος στον οποίο απορρίπτονται τα τροφικά υπολείμματα.

Πίνακας 2. Δημοτικά απόβλητα Δήμου Χαλανδρίου, Διαχωρισμός στην πηγή

| Διαχωρισμός απορριμμάτων ανά κάδο | Μπλε κάδος | Κίτρινος κάδος | Καφέ κάδος | Πράσινος κάδος |
|--|------------|----------------|------------|----------------|
| Μη ανακυκλώσιμο γυαλί | 5,26 | 0,00 | 0 | 94,74 |
| Καθαρό γυαλί | 89,68 | 0,94 | 0 | 9,38 |
| Ξύλο | 15,67 | 0,00 | 0 | 84,33 |
| Μπαταρίες | 100,00 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Άλλα μη εύφλεκτα υλικά | 55,09 | 0,00 | 0 | 44,91 |
| Πέτρες, τσιμέντο | 11,12 | 0,00 | 0 | 88,88 |
| Χώμα | 1,72 | 0,13 | 0 | 98,15 |
| Άλλα εύφλεκτα | 52,28 | 1,52 | 0 | 46,20 |
| Πάνες, προϊόντα προσωπικής υγιεινής | 5,96 | 0,15 | 0 | 93,89 |
| Παπούτσια, δερμάτινα ρούχα | 31,77 | 0,00 | 0 | 68,23 |
| Υφάσματα | 54,05 | 0,16 | 0 | 45,79 |
| Αλουμινόχαρτο | 20,66 | 0,30 | 0 | 79,04 |
| Συσκευασίες γάλακτος | 44,16 | 3,86 | 0 | 51,98 |
| Συσκευασίες αλουμινίου | 64,81 | 0,11 | 0 | 35,08 |
| Άλλα μέταλλα | 40,93 | 0,00 | 0 | 59,07 |
| Κουτάκια αναψυκτικών (αλουμίνιο) | 70,97 | 1,72 | 0 | 27,31 |
| Κονσέρβες τροφών (λευκοσίδηρος/χάλυβας) | 79,27 | 0,00 | 0 | 20,73 |
| Πλαστικά προϊόντα (παιχνίδια, κρεμάστρες, στυλό) | 89,64 | 1,04 | 0 | 9,32 |
| Πλαστικές μεμβράνες | 51,31 | 1,58 | 0 | 47,11 |
| Πλαστικά μπουκάλια | 63,53 | 1,36 | 0 | 35,11 |
| Βρώμικο χαρτόνι | 35,11 | 44,12 | 0 | 20,77 |
| Βρώμικο χαρτί | 35,11 | 44,12 | 0 | 20,77 |
| Συσκευασίες από χαρτί και χαρτόνι | 48,73 | 34,71 | 0 | 16,56 |
| Περιττώματα και στρώμνη (άχυρα) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100,00 |
| Υπολείμματα κήπων, λουλούδια | 0,06 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Τροφικά υπολείμματα | 1,89 | 0,09 | 98,02 | 0,00 |

Όσον αφορά τα υπολείμματα που προέρχονται από κήπους συλλέγονται ξεχωριστά από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Δήμου. Ένα πολύ μικρό ποσοστό από τα απορρίμματα κήπων βρέθηκε στα ανακυκλώσιμα υλικά του μπλε κάδου (0.06%).

Όσον αφορά το κλάσμα των τροφικών υπολειμμάτων έχει υποτεθεί σχεδόν πλήρης διαλογή στην πηγή (ποσοστό σχεδόν 100%). Ο λόγος που έχει εφαρμοστεί η συγκεκριμένη παραδοχή είναι για να μελετηθούν τα ακραία σενάρια, δηλαδή αυτό της

μηδαμινής διαλογής στην πηγή των τροφικών υπολειμμάτων (όπως περιγράφεται στο σενάριο αναφοράς) και αυτό της απόλυτης διαλογής στην πηγή.

Δεδομένα για συλλογή και μεταφορά

Σχετικά με τη συλλογή και τη μεταφορά των απορριμμάτων μοντελοποιήθηκαν τέσσερις διαδρομές για το σενάριο αναφοράς και πέντε για τα εναλλακτικά σενάρια, δηλαδή μία διαδρομή για κάθε ρεύμα απορριμμάτων. Όσον αφορά τη συλλογή τα απαραίτητα δεδομένα εισαγωγής για τη μοντελοποίηση ήταν ο τύπος του απορριμματοφόρου και η κατανάλωση καυσίμου. Για τα απορριμματοφόρα επιλέχθηκαν οχήματα συνολικής χωρητικότητας 10 τόνων με τύπο κινητήρα Euro 6. Τα οχήματα αυτά χρησιμοποιούν πετρέλαιο κίνησης ενώ η καταναλωμένη ποσότητα ανά κιλά απορριμμάτων για κάθε ρεύμα αποβλήτων φαίνεται στον πίνακα 3. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης έχει χρησιμοποιηθεί συνδυασμός βιβλιογραφικών και τοπικών δεδομένων καθώς και η μεθοδολογία που περιγράφεται από τους Martinez Sanchez et al (29).

Πίνακας 3. Παράμετροι για την συλλογή απορριμμάτων

| Εισαγόμενα δεδομένα | Ανακυκλώσιμα μπλε κάδου | Χαρτί και Χαρτόνι | Τροφικά υπολείμματα | Απορρίμματα κήπων | Υπολείμματα |
|--|---|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| Όχημα συλλογής | 10 τόνους, Euro6, υπόθεση αστικής κίνησης | | | | |
| Κατανάλωση καυσίμου (ldiesel/kg _{total wet weight}) | 0,0023 | 0,0028 | 0,0024 | 0,0024 | 0,0024 |

Για τη μεταφορά των απορριμμάτων στους κατάλληλους χώρους επεξεργασίας και διάθεσης πρέπει να εισαχθούν τα δεδομένα σχετικά με τον τύπο του οχήματος, την διανυόμενη απόσταση, και την κατανάλωση καυσίμου (Πίνακας 4).

Τα ανακυκλώσιμα υλικά του μπλε και κίτρινου κάδου οδηγούνται στο κέντρο διάθεσης και ανάκτησης υλικών που βρίσκεται στο Κορωπί σε απόσταση 22 km από το σημείο συλλογής. Το υπολειμματικό ρεύμα των απορριμμάτων που συλλέγεται από το πράσινο κάδο οδηγείται στο ΧΥΤΑ της Φυλής σε μια απόσταση 25 km από το σημείο συλλογής. Σημειώνεται ότι για τα ρεύματα των τροφικών υπολειμμάτων και των απορριμμάτων κήπου η απόσταση είναι αμελητέα, καθότι θεωρείται ότι η επεξεργασία τους θα γίνεται τοπικά εντός των ορίων του Δήμου Χαλανδρίου οπότε το κομμάτι της μεταφοράς παραλείφθηκε από την μοντελοποίηση.

Πίνακας 4. Παράμετροι για τη μεταφορά των απορριμμάτων

| Εισαγόμενα δεδομένα | Ανακυκλώσιμα μπλε κάδου | Χαρτί και Χαρτόνι | Υπολείμματα |
|---|---|-------------------|-------------|
| Όχημα συλλογής | 10 τόνους, Euro6, υπόθεση αστικής κίνησης | | |
| Απόσταση μεταφοράς (km) | 22 | 22 | 25 |
| Κατανάλωση καυσίμου (ldiesel/kg _{total wet weight} *km) | 0,000115 | 0,00009 | 0,00008 |

Κέντρο διάθεσης και ανάκτησης υλικών

Τόσο τα ανακυκλώσιμα υλικά που συλλέγονται από τον μπλε κάδο όσο και το ρεύμα του χαρτιού-χαρτονιού, μεταφέρονται στο κέντρο διαλογής και ανάκτησης υλικών που βρίσκεται στο Κορωπί. Η διεργασία της διαλογής των ανακυκλώσιμων και ο διαχωρισμός τους στο ΚΔΑΥ μοντελοποιείται προκειμένου να εξαχθούν τα υπολειμματικά απορρίμματα που περιέχονται στα δύο αυτά ρεύματα και τα οποία είναι ακατάλληλα για ανακύκλωση. Αυτά θα οδηγηθούν στο χώρο υγειονομικής ταφής που βρίσκεται στη Φυλή σε απόσταση 38 km από το ΚΔΑΥ. Με βάση τη σύσταση των αποβλήτων που μελετήθηκε, η ποσότητα των απορριμμάτων που οδηγούνται από το ΚΔΑΥ στο ΧΥΤΑ είναι ίση με 40,74 kg σε σύνολο ενός τόνου ΑΣΑ. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση του ΚΔΑΥ είναι η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που απαιτούνται για τη λειτουργία του (πίνακας 5). Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται από την βάση δεδομένων Ecoinvent. Παράλληλα λαμβάνεται υπόψη και η μεταφορά των υπολειμμάτων στο ΧΥΤΑ (πίνακας 6).

Πίνακας 5. Παράμετροι για τη μοντελοποίηση του ΚΔΑΥ

| Εισαγόμενα δεδομένα | Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (KWh/kg) | Θερμότητα (MJ/kg) |
|-----------------------------|--|-------------------|
| Διαλογή και ανάκτηση υλικών | 0,05 | 0,0189 |

Πίνακας 6. Παράμετροι μεταφοράς υπολειμμάτων ΚΔΑΥ στο ΧΥΤΑ

| Εισαγόμενα δεδομένα | Όχημα μεταφοράς | Κατανάλωση καυσίμου (ldiesel/kgtotal wet weight/km) | Απόσταση μεταφοράς (km) |
|----------------------|-----------------|---|-------------------------|
| Υπολείμματα από ΚΔΑΥ | 10 t, Euro 6 | 0,0189 | 38 |

Επιπλέον, τα υλικά που ανακτώνται, αφού δεματοποιηθούν στέλνονται στους τελικούς αποδέκτες όπου και ανακυκλώνονται. Το κομμάτι της ανακύκλωσης δεν περιλαμβάνεται στην παρούσα μελέτη. Τα όρια του συστήματος ορίζονται στην μεταφορά των ανακτώμενων υλικών από τα ΚΔΑΥ στους τελικούς προορισμούς ανακύκλωσης. Οι περισσότερες βιομηχανίες ανακύκλωσης βρίσκονται στην Β. Ελλάδα. Για τη μεταφορά τους στους προορισμούς αυτούς ορίστηκε μία μέση απόσταση ίση με 300 km, ενώ η κατανάλωση για τα απορριμματοφόρα χωρητικότητας 10 τόνων, ορίστηκε ίση με 0,00008 λίτρα πετρελαίου κίνησης ανά κιλό απορρίμματος ανά χιλιόμετρο.

Κομποστοποίηση

Η διεργασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται σε όλα τα σενάρια ωστόσο υπάρχουν διαφοροποιήσεις τόσο ως προς την τροφοδοσία όσο και ως προς την τελική χρήση του παραγόμενου κομπόστ.

Ξεκινώντας με το σενάριο αναφοράς, η τροφοδοσία αποτελείται από τα απορρίμματα κήπων ως έχει, χωρίς να έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία. Η υγρασία είναι στα επιθυμητά επίπεδα (περίπου στο 50%). Η διεργασία μοντελοποιείται με βάση την αποδόμηση των πτητικών στερεών (54,6%), και του περιεχόμενου άνθρακα (54,6%) και αζώτου (71%).

Στα επόμενα σενάρια η τροφοδοσία είναι είτε μίγμα των απορριμμάτων κήπου με τα τροφικά υπολείμματα ή FORBI (σενάρια 1 και 2) είτε με τα υπολείμματα από τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης (σενάρια 1.1, 1.2, 3). Για το σενάριο 4 η τροφοδοσία είναι ίδια με του σεναρίου αναφοράς. Η αποδόμηση των στοιχείων για τα συστατικά των απορριμμάτων κήπου είναι ίδια με πριν. Για τα τροφικά υπολείμματα το ποσοστό αποδόμησης των πτητικών στερεών και του άνθρακα είναι 73,5% ενώ του αζώτου παραμένει ίσο με 71 % (πίνακας 7).

Πίνακας 7. Αποδόμηση κατά την κομποστοποίηση, Σενάριο αναφοράς

| Στοιχείο | Αποδόμηση κατά την κομποστοποίηση (%) |
|--------------------------|---------------------------------------|
| VS τροφικών υπολειμμάτων | 73,5 |
| C τροφικών υπολειμμάτων | 73,5 |
| VS απορριμμάτων κήπου | 54,6 |
| C απορριμμάτων κήπου | 54,6 |
| N | 71 |

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη ρύθμιση της υγρασίας βρέθηκε από τη βάση δεδομένων Ecoinvent βασισμένη σε μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και είναι ίση με 0,0436 kWh/kg. Παράλληλα η κατανάλωση καυσίμου για τα απαραίτητα μηχανήματα της εγκατάστασης ισούται με 0,001 I_{diesel}/kg .

Το παραγόμενο προϊόν για όλα τα σενάρια εκτός του σεναρίου αναφοράς και του σεναρίου 1, αξιοποιείται ως υποκατάστατο χημικών λιπασμάτων. Για τους παράγοντες υποκατάστασης των λιπασμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι προκαθορισμένες τιμές του Easetech (πίνακας 8).

Πίνακας 8. Βαθμός υποκατάστασης συμβατικών λιπασμάτων

| Συμβατικό προϊόν | Βαθμός υποκατάστασης (%) |
|-----------------------|--------------------------|
| Μέσο λίπασμα Καλίου | 28 |
| Μέσο λίπασμα Φωσφόρου | 28 |
| Μέσο λίπασμα Αζώτου | 30 |
| Τύρφη | 28 |

Χώρος υγειονομικής ταφής

Για τη μοντελοποίηση της διάθεσης των απορριμμάτων στο χώρο υγειονομικής ταφής το Easetech παρέχει ένα σύνθετο μοντέλο το οποίο περιλαμβάνει μια σειρά διεργασιών.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για αυτές τις διεργασίες συλλέχθηκαν από επιστημονικά άρθρα, σχετική βιβλιογραφία αλλά και την κρίση ειδικών με το αντικείμενο επιστημόνων.

Το πρώτο κομμάτι του μοντέλου αυτού αφορά την κατασκευή και τη λειτουργία του ΧΥΤΑ. Στα απαιτούμενα δεδομένα για τη μοντελοποίηση της κατασκευής του περιλαμβάνονται οι απαραίτητες πρώτες ύλες (όπως πλαστικά, μέταλλα, και χαλίκι). Όσον αφορά τη λειτουργία του υπολογίζεται η κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για τα μηχανήματα μεταφοράς εντός του ΧΥΤΑ καθώς και επίσης η καταναλωμένη ηλεκτρική ενέργεια. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το κομμάτι της διεργασίας αντιπροσωπεύουν τις μέσες Ευρωπαϊκές συνθήκες και είναι τα προεπιλεγμένα στοιχεία του Easetech.

Αμέσως μετά ακολουθεί το κομμάτι της παραγωγής αερίων χωματερής (Landfill gas). Σε αυτό το σημείο καθορίζεται ο ρυθμός παραγωγής των αερίων. Το κύριο αέριο χωματερής είναι το μεθάνιο για την παραγωγή του οποίου έχει υποθεθεί πρώτης τάξης βαθμός αποδόμησης χρησιμοποιώντας τη σταθερά αποδόμησης $k/year$ η οποία είναι διαφορετική για κάθε κλάσμα αποβλήτου. Με βάση τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής έχουν καθοριστεί τέσσερα μοντέλα για την αποδόμηση. Δεδομένου των κλιματικών συνθηκών της Ελλάδας, επιλέχθηκε για το ρεύμα των αποβλήτων μέτριας συνθήκες και με βάση τα χαρακτηριστικά του κλάσματος επιλέχθηκε $k=0,137$. Κατόπιν, για το αέριο χωματερής μοντελοποιείται η συγκέντρωση των περιεχόμενων ιχνοστοιχείων χρησιμοποιώντας τα προκαθορισμένα δεδομένα του Easetech που προέρχονται από κρίση ειδικών. Το παραγόμενο αέριο συλλέγεται προκειμένου να καεί για την παραγωγή ενέργειας. Χρησιμοποιώντας δεδομένα ενός μέσης απόδοσης ΧΥΤΑ, το ποσοστό του αερίου που συλλέγεται στα πέντε πρώτα χρόνια είναι ίσο με 35%, στα επόμενα 10 65% ενώ στα επόμενα 40 ίσο με 75%. Το συλλεγόμενο αέριο καίγεται για την παραγωγή θερμότητας (απόδοση 60%) και ηλεκτρικής ενέργειας (25%) υποκαθιστώντας την παραγωγή και καύση πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος με βάση τα δεδομένα του Ecoinvent για την Ελλάδα. Ένα ποσοστό του συλλεγόμενου αερίου της τάξεως του 10% θεωρείται ότι διαρρέει από τους αγωγούς στην ατμόσφαιρα χωρίς επεξεργασία. Τέλος το αέριο που δεν συλλέγεται τείνει να οδηγείται προς την κορυφή όπου οξειδώνεται μερικώς προς την παραγωγή διοξειδίου. Ο ρυθμός οξείδωσης τείνει να αυξάνει με τα χρόνια (από 10% έως 36%).

Τα υπολείμματα από την παραγωγή του αερίου χωματερής σχηματίζουν τα στραγγίσματα. Οι βασικοί παράμετροι που καθορίζουν την ποσότητα τους είναι ο χρόνος ζωής του ΧΥΤΑ, η διήθηση νερού στα απόβλητα, το ύψος του στρώματος των αποβλήτων και η πυκνότητά τους (πίνακας 9).

Πίνακας 9. Παράμετροι για την παραγωγή στραγγισμάτων

| Παράμετρος | Τιμή |
|---|------|
| Χρονικός ορίζοντας μελέτης (years) | 100 |
| Καθαρή διήθηση νερού (mm/year) | 330 |
| Ύψος στρώματος αποβλήτων (m) | 15 |
| Φαινόμενη πυκνότητα (t/m ³) | 1 |

Τα στραγγίσματα συλλέγονται και επεξεργάζονται. Η αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας μοντελοποιήθηκε στο 99,9% για τα πρώτα 80 χρόνια, και στο 87% για τα επόμενα 20. Από την επεξεργασία παράγεται ηλεκτρική ενέργεια η οποία αξιοποιείται.

Τα στραγγίσματα που δεν συλλέγονται θεωρείται ότι περνάνε σε υπόγεια ρεύματα, κάποιο επιφανειακό σώμα νερού ή να καταλήγουν στον ωκεανό.

Τέλος, μέρος των υπολειμμάτων παραμένει ως στερεό υπόλειμμα στο υπέδαφος όπου και ο βιολογικός άνθρακας αποθηκεύεται, θεωρώντας ότι δεν αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον.

3.2.2 Δεδομένα για τις διεργασίες των εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης ΑΣΑ

Τα εναλλακτικά σεναρία μοντελοποιήθηκαν με βάση τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν από την ανάλυση στα αστικά απορρίμματα του Δήμου Χαλανδρίου. Παράλληλα, οι διεργασίες της συλλογής και μεταφοράς καθώς και αυτή της ανάκτησης υλικών στο ΚΔΑΥ είναι ακριβώς οι ίδιες με του σεναρίου αναφοράς. Όσον αφορά το ΧΥΤΑ το σύνολο των διεργασιών είναι ίδιο με αυτό που περιγράφηκε προηγουμένως με τη μόνη διαφορά ότι τα τροφικά υπολείμματα εκτρέπονται εξολοκλήρου από το ρεύμα που καταλήγει στο ΧΥΤΑ και συλλέγονται ξεχωριστά στους καφέ κάδους.

Ξήρανση/τεμαχισμός

Όσον αφορά τις λειτουργικές παραμέτρους του ξηραντήρα/τεμαχιστή αυτές ορίστηκαν με βάση τις προδιαγραφές της εταιρείας GAIA από όπου και προμηθεύτηκε ο εξοπλισμός. Συγκεκριμένα για ανάγκες σε θερμική ενέργεια απαιτείται 4,23 MJ φυσικού αερίου ανά κιλό τροφοδοσίας ενώ η αντίστοιχη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με 0,1008 KWh ανά κιλό.

Η διεργασία αυτή έχει μοντελοποιηθεί στο Easetech έτσι ώστε η εισαγόμενη τροφοδοσία να εξάγεται από τον ξηραντήρα/τεμαχιστή σε δύο διαφορετικές εξόδους, στη συγκεκριμένη περίπτωση FORBI και συμπύκνωμα. Έτσι κάθε στοιχείο της τροφοδοσίας χωρίζεται σε διαφορετικό βαθμό το καθένα σε ένα από τα δύο ρεύματα. Τα βασικά στοιχεία που μοντελοποιήθηκαν ως ισοζύγια μάζας είναι αυτά που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του FORBI ως τροφοδοσία, δηλαδή το νερό, τα πτητικά στερεά (VS) και ο βιοαποδομήσιμος άνθρακας ($C_{bio_an_d}$) (πίνακας 10).

Πίνακας 10. Δεδομένα εισαγωγής ξηραντήρα/τεμαχιστή

| Συστατικά | Συμπύκνωμα (%) | FORBI (%) |
|------------------|----------------|-----------|
| Water | 97,5 | 2,5 |
| VS | 50 | 50 |
| $C_{bio_an_d}$ | 30,54 | 69,46 |

Αναερόβια χώνευση

Το πρώτο βήμα πριν την αναερόβια χώνευση είναι η προσθήκη νερού προκειμένου να δημιουργηθεί ένα εναιώρημα του FORBI. Το συνολικό ποσοστό των στερεών στο αιώρημα ισούται με 15% ενώ το υπόλοιπο 85% είναι νερό (προσθήκη 4,93 kg νερού

ανά κιλό απορρίμματος). Για το στάδιο αυτό της προσθήκης νερού υπολογίζεται ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος που αυτό εμφανίζει.

Οι βασικές παράμετροι που απαιτούνται για τη μοντελοποίηση της αναερόβιας χώνευσης είναι η απόδοση του αποδομήσιμου άνθρακα ($C_{bio_an_d}$) δηλαδή το ποσοστό εκείνο του άνθρακα που μετατρέπεται σε μεθάνιο, η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο και η απώλεια των πτητικών στερεών συγκριτικά με την απώλεια σε βιογενή άνθρακα. Η τιμή της απόδοσης επιλέχθηκε ίση με 90% έτσι ώστε να επιτευχθεί η πειραματικά μετρημένη παραγωγή μεθανίου ανά κιλό πτητικών στερεών ($0.485 \text{ m}^3/\text{kg VS}$). Η ποσότητα του μεθανίου στο βιοαέριο υπολογίστηκε και αυτή πειραματικά ίση με 65,5%. Τέλος, η τιμή της απώλειας πτητικών στερεών θεωρήθηκε με βάση τα χαρακτηριστικά του FORBI ίση με 1,91.

Όσον αφορά τις απαιτήσεις της διεργασίας σε ενέργεια αυτές περιλαμβάνουν την κατανάλωση καυσίμου για τα μηχανήματα της εγκατάστασης, ηλεκτρική ενέργεια για τις λειτουργίες της εγκατάστασης, και θερμική ενέργεια προκειμένου το εναιώρημα να φτάσει στους 35°C της αναερόβιας χώνευσης (πίνακας 11). Τέλος, έχει θεωρηθεί ένα ποσοστό διαρροής μεθανίου από τους αγωγούς της τάξεως του 2% το οποίο πάει στις αντίστοιχες εκπομπές του αέρα.

Πίνακας 11. Ενεργειακές απαιτήσεις αναερόβιας χώνευσης

| Εισαγόμενα δεδομένα | Τιμή |
|---|------------------------|
| Μηχάνημα φόρτωσης (L_{diesel}/kg) | 0,0009 |
| Ηλεκτρική ενέργεια (kWh/kg) | 0,049 |
| Θέρμανση για νερό (MJ/kg) | $(35-16)*4,2*0,85/100$ |
| Θέρμανση για στερεά (MJ/kg) | $(35-16)*3*0,85/100$ |

Αναερόβια χώνευση δύο σταδίων, παραγωγή υθανίου

Η διεργασία παραγωγής του υθανίου μοντελοποιήθηκε στο Easetech ως ένας αντιδραστήρας αλλά τα δεδομένα όσον αφορά την ενέργεια προσαρμόστηκαν στα επίπεδα της διεργασίας δύο σταδίων. Υπενθυμίζεται ότι το πρώτο στάδιο είναι θερμόφιλο (50°C) συνεπώς η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση της τροφοδοσίας αναφέρεται μόνο σε αυτό (πίνακας 12) και θεωρείται ότι αρκεί για τη θέρμανση κατάλληλα και του δεύτερου αντιδραστήρα στις μεσόφιλες συνθήκες.

Πειραματικά υπολογίστηκε ότι η παραγωγικότητα υθανίου ανά κιλό πτητικών στερεών της τροφοδοσίας είναι ίση με 0,556. Συνεπώς επιλέχθηκε για τη μοντελοποίηση μετατροπή του αποδομήσιμου άνθρακα ($C_{bio_an_d}$) σε μεθάνιο ίση με 91% και υπολογίστηκε το παραγόμενο βιοαέριο. Με βάση αυτό και χρησιμοποιώντας τη θερμογόνο δύναμη του υδρογόνου και του μεθανίου στην κατάλληλη αναλογία υπολογίστηκε το παραγόμενο υθάνιο. Ο λόγος της απώλειας πτητικών στερεών σε σχέση με την απώλεια βιογενή άνθρακα είναι ίσος με 1,71.

Πίνακας 12. Ενεργειακές απαιτήσεις αναερόβιας χώνευσης δύο σταδίων

| Εισαγόμενα δεδομένα | Τιμή |
|---|------------------------|
| Μηχάνημα φόρτωσης ($L_{\text{diesel}}/\text{kg}$) | 0.0018 |
| Ηλεκτρική ενέργεια (kWh/kg) | 0,049 |
| Θέρμανση για νερό (MJ/kg) | $(50-16)*4,2*0,85/100$ |
| Θέρμανση για στερεά (MJ/kg) | $(50-16)*3*0,85/100$ |

Τέλος, θεωρήθηκε διαρροή αερίου από τις σωληνώσεις της τάξεως του 2%.

Αναβάθμιση βιοαερίου/υθανίου και υποκατάσταση καυσίμου

Η αναβάθμιση του προϊόντος της αναερόβιας χώνευσης ενός ή δύο σταδίων μοντελοποιείται στο Easetech διαχωρίζοντας το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα σε δύο ρεύματα. Οι συντελεστές μεταφοράς του μεθανίου, του διοξειδίου και του νερού στα δύο ρεύματα φαίνεται στον πίνακα 13.

Πίνακας 13. Αναβάθμιση βιοαερίου/υθανίου, Συντελεστές μεταφοράς

| Συστατικά | Στο ρεύμα CH ₄ | Στο ρεύμα CO ₂ |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| CH ₄ | 98% | 2% |
| CO ₂ | 1% | 99% |
| Νερό | 0% | 100% |

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αναβάθμισης υπολογίστηκε πειραματικά ίση με $0,1 \text{ kWh}/\text{m}^3_{\text{CH}_4}$ ενώ η αντίστοιχη απαίτηση σε θέρμανση είναι $2,25 \text{ MJ}/\text{m}^3_{\text{CH}_4}$.

Στη συνέχεια, το αναβαθμισμένο προϊόν συμπιέζεται. Οι απαιτήσεις της συγκεκριμένης διεργασίας περιλαμβάνουν την κατανάλωση ρεύματος σύμφωνα με τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου συμπιεστή ($0,43 \text{ kWh}/\text{m}^3_{\text{αναβαθμισμένου αερίου}}$).

Τέλος, το παραγόμενο προϊόν χρησιμοποιείται για την υποκατάσταση του πετρελαίου κίνησης που χρησιμοποιούν τα απορριμματοφόρα του Δήμου. Ο παράγοντας υποκατάστασης είναι ίσος με $-0,994 \text{ } l_{\text{diesel}}/\text{m}^3_{\text{CH}_4}$ για το συμπιεσμένο φυσικό αέριο και $-0,946 \text{ } l_{\text{diesel}}/\text{m}^3_{\text{hythane}}$ για το υθάνιο.

Παραγωγή βιοαιθανόλης

Τα απαιτούμενα δεδομένα για την ενζυμική παραγωγή της βιοαιθανόλης περιλαμβάνουν την χρήση ενζύμων για τη ζύμωση, θειϊκού οξέος για την προεπεξεργασία της τροφοδοσίας (δεδομένα από ecoinvent) καθώς και την κατανάλωση ηλεκτρισμού και θερμότητας (πίνακας 14).

Η βιοαιθανόλη αναμένεται να υποκαταστήσει σε αναλογία 10% τη συμβατική βενζίνη των οχημάτων. Ο παράγοντας υποκατάστασης με βάση την θερμογόνο δύναμη των δύο καυσίμων είναι ίσος με $-4,4 \text{ MJ}_{\text{βενζίνη}}/\text{kg}_{\text{βιοαιθανόλη}}$.

Πίνακας 14. Δεδομένα ενζυμικής παραγωγής βιοαιθανόλης

| Εισαγόμενα δεδομένα | Τιμή |
|--------------------------------|-------|
| Θειϊκό οξύ (kg/kg τροφοδοσίας) | 0,01 |
| Ένζυμα (kg/kg τροφοδοσίας) | 0,009 |
| Ηλεκτρική ενέργεια (kWh/kg) | 0,045 |
| Θερμότητα (MJ/kg) | 3,2 |

Παραγωγή Πέλλετ, μεταφορά και υποκατάσταση φυσικού αερίου

Η παραγωγή του πέλλετ πραγματοποιείται μετά την παραγωγή του FORBI με χρήση μιας κοινής μηχανής παραγωγής πέλλετ. Η διεργασία αυτή με βάση το Ecoinvent για τα ελληνικά δεδομένα απαιτεί την κατανάλωση ρεύματος ίσο με 0,0202 kWh/kg_{τροφοδοσίας}. Το παραγόμενο προϊόν μεταφέρεται στο Δήμο Χαλανδρίου όπου και θα χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο για θέρμανση. Η κατανάλωση καυσίμου για τη μεταφορά είναι ίση με 0,00006 l_{diesel}/kg_{total_wet_weight} ενώ η απόσταση για τη διανομή στους κατοίκους είναι ίση με 12 km. Ο παράγοντας υποκατάστασης ισούται με -0,77 MJ_{φυσικού αερίου}/MJ_{pellet}.

3.3 Απογραφή και ανάλυση δεδομένων κόστους

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν τα απαραίτητα δεδομένα εισαγωγής τα οποία καθορίζουν το κόστος κάθε διεργασίας.

3.3.1 Δεδομένα κόστους κοινά για όλα τα σενάρια

Συλλογή και μεταφορά

Τα κόστη που αφορούν το κομμάτι της συλλογής και της μεταφοράς των απορριμμάτων είναι το κόστος χρήσης των κάδων αποθήκευσης και των απορριμματοφόρων, το κόστος εργασίας για τους υπαλλήλους της θέσης αυτής και το κόστος καυσίμων των απορριμματοφόρων.

Όσον αφορά το κόστος της χρήσης των κάδων, οι παράμετροι που το καθορίζουν είναι η μοναδιαία τιμή του κάδου, ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής καθώς και ο ετήσιος ρυθμός χρήσης τους. Ο ετήσιος ρυθμός χρήσης είναι διαφορετικός για κάθε κάδο και υπολογίζεται με το κλάσμα των απορριμμάτων που καταλήγουν σε αυτούς ανά νοικοκυριό, με τον αριθμό των νοικοκυριών ανά σημείο συλλογής, καθώς και με τον αριθμό των κάδων ανά σημείο συλλογής. Συγκεντρωτικά οι παράμετροι αυτοί για το σενάριο αναφοράς αλλά και για τα εναλλακτικά σενάρια απεικονίζονται στους πίνακες 15 και 16.

Στα εναλλακτικά σενάρια η μόνη παράμετρος που αλλάζει είναι ο ετήσιος ρυθμός χρήσης των πράσινων κάδων καθώς πλέον το κλάσμα των τροφικών υπολειμμάτων εκτρέπεται από το ρεύμα αυτό και αποθηκεύεται στους καφέ κάδους. Σημειώνεται ότι σε όλα τα σενάρια, για τα κλαδέματα και τα απορρίμματα κήπων έχει γίνει η παραδοχή ότι συλλέγονται ξεχωριστά σε κάδους. Στην πραγματικότητα, στο υφιστάμενο σύστημα συλλογής τα απορρίμματα αυτά δεν συλλέγονται σε συγκεκριμένους κάδους αλλά

οχήματα του Δήμου που ελέγχουν όλη την περιοχή τα εντοπίζουν (συνήθως δίπλα από τους πράσινους κάδους) και ενημερώνουν τους αρμόδιους φορείς οι οποίοι τα συλλέγουν και τα διαχειρίζονται. Ο υποθετικός ετήσιος ρυθμός χρήσης των κάδων για τα απορρίμματα αυτά είναι ίσος με 4,75 t/bin. Για το σενάριο αναφοράς υπάρχει ένα σταθερό κόστος ανά κιλό απορριμμάτων κήπων από την εταιρεία που τα συλλέγει και τα επεξεργάζεται το οποίο ισούται με 16 ευρώ ανά τόνο απορριμμάτων.

Πίνακας 15. Παράμετροι κόστους κάδων, σενάριο αναφοράς

| Παράμετρος | Πράσινος κάδος | Μπλε κάδος | Κίτρινος κάδος |
|---|----------------|------------|----------------|
| Αριθμός νοικοκυριών ανά σημείο συλλογής (nhscp) | 10 | 16,4 | 35,8 |
| Αριθμός κάδων ανά σημείο συλλογής (ncsp) | 2 | 1 | 1 |
| Απορρίμματα κάθε κάδου ανά νοικοκυριό | 0,44 | 0,24 | 0,063 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (τόνος/κάδος) | 2,21 | 3,95 | 2,27 |
| Μοναδιαία τιμή κάδου (€/κάδος) | 85,2 | 85,2 | 85,2 |
| Εκτιμώμενος χρόνος ζωής (χρόνια) | 5 | 5 | 5 |

Πίνακας 16. Παράμετρος κόστους κάδων, εναλλακτικά σενάρια

| Παράμετρος | Πράσινος κάδος | Μπλε κάδος | Κίτρινος κάδος | Καφέ κάδος |
|---|----------------|------------|----------------|------------|
| Αριθμός νοικοκυριών ανά σημείο συλλογής (nhscp) | 10 | 16,4 | 35,8 | 25,8 |
| Αριθμός κάδων ανά σημείο συλλογής (ncsp) | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Απορρίμματα κάθε κάδου ανά νοικοκυριό | 0,2 | 0,24 | 0,063 | 0,24 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (τόνος/κάδος) | 0,99 | 3,95 | 2,27 | 6,25 |
| Μοναδιαία τιμή κάδου (€/κάδος) | 85,2 | 85,2 | 85,2 | 85,2 |
| Εκτιμώμενος χρόνος ζωής (χρόνια) | 5 | 5 | 5 | 5 |

Το επόμενο κομμάτι του κόστους της συλλογής και μεταφοράς αφορά τα απορριμματοφόρα. Το κόστος χρήσης των απορριμματοφόρων σχετίζεται με τη μοναδιαία τιμή τους, το χρόνο ζωής του οχήματος και τον ετήσιο ρυθμό χρήσης. Σε αυτή την περίπτωση ο ετήσιος ρυθμός χρήσης εξαρτάται από το μέσο φορτίο του απορριμματοφόρου (ALt), το ετήσιο χρόνο λειτουργίας του (ATt) καθώς και το χρόνο του κάθε γύρου συλλογής (Tr).

Πίνακας 17. Δεδομένα κόστους απορριμματοφόρων, Σενάριο αναφοράς

| Παράμετρος | Υπολειμματικά απορρίμματα | Ανακυκλώσιμα μπλε κάδου | Χαρτί-Χαρτόνι | Υπολείμματα κήπων |
|------------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|
| Μέσο φορτίο απορριμματοφόρου (ALT) | 2,2 | 3 | 4 | 1,6 |
| Ετήσιος χρόνος λειτουργίας (ATt) | 1500 | 1500 | 1500 | 3000 |
| Χρόνος γύρου συλλογής (Tr) | 8,65 | 4,56 | 3,82 | 1,84 |

| | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (τόνος/χρόνος) | 381,5 | 986,1 | 1571,4 | 2608,2 |
| Μοναδιαία τιμή κάδου (€/κάδο) | 105000 | 105000 | 105000 | 105000 |
| Εκτιμώμενος χρόνος ζωής (χρόνια) | 10 | 10 | 10 | 10 |

Πίνακας 18. Δεδομένα κόστους απορριμματοφόρων, Εναλλακτικά σενάρια

| Παράμετρος | Υπολειμματικά απορρίμματα | Ανακυκλώσιμα μπλε κάδου | Χαρτί-Χαρτόνι | Υπολείμματα κήπων | Τροφικά υπολείμματα |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| Μέσο φορτίο απορριμματοφόρου (ALT) | 2,2 | 3 | 4 | 1,6 | 1,6 |
| Ετήσιος χρόνος λειτουργίας (ATt) | 1500 | 1500 | 1500 | 3000 | 3000 |
| Χρόνος γύρου συλλογής (Tr) | 8,44 | 4,56 | 3,82 | 1,84 | 1,48 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (τόνος/χρόνος) | 391,19 | 986,1 | 1571,4 | 2608,2 | 3247,98 |
| Μοναδιαία τιμή κάδου (€/κάδο) | 105000 | 105000 | 105000 | 105000 | 105000 |
| Εκτιμώμενος χρόνος ζωής (χρόνια) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Αναφορικά με το κόστος εργασίας της συλλογής και μεταφοράς αυτό υπολογίζεται με βάση το προσωπικό του κάθε απορριμματοφόρου, το ημερομίσθιο του προσωπικού και τις εργατοώρες ανά τόνο απορρίμματος που συλλέγεται/μεταφέρεται. Η παράμετρος αυτή είναι συνάρτηση των Tr, ALt και του προσωπικού του κάθε απορριμματοφόρου.

Πίνακας 19. Δεδομένα κόστους εργασίας, Σενάριο αναφοράς

| Παράμετρος | Υπολείμματα πράσινου κάδου | Ανακυκλώσιμα μπλε κάδου | Χαρτί-Χαρτόνι | Υπολείμματα κήπων |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|
| Μέσο φορτίο απορριμματοφόρου (ALT) | 2,2 | 3 | 4 | 1,6 |
| Χρόνος γύρου συλλογής (Tr) | 8,65 | 4,56 | 3,82 | 1,84 |
| Εργατοώρες/τόνο απορριμμάτων | 11,8 | 4,56 | 2,86 | 2,3 |
| Ωρομίσθιο (€/h) | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 5,9 |
| Προσωπικό ανά απορριμματοφόρο | 3 | 3 | 3 | 2 |

Πίνακας 20. Δεδομένα κόστους εργασίας, Εναλλακτικά σενάρια

| Παράμετρος | Υπολείμματα πράσινου κάδου | Ανακυκλώσιμα μπλε κάδου | Χαρτί-Χαρτόνι | Υπολείμματα κήπων | Τροφικά υπολείμματα |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| Μέσο φορτίο απορριματοφόρου (t) | 2,2 | 3 | 4 | 1,6 | 1,6 |
| Χρόνος γύρου συλλογής (ώρες) | 8,44 | 4,56 | 3,82 | 1,84 | 1,48 |
| Εργατοώρες/τόνο απορριμμάτων | 11,5 | 4,56 | 2,86 | 2,3 | 1,85 |
| Ωρομίσθιο (€/h) | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 5,9 |
| Προσωπικό ανά απορριματοφόρο | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 |

Τέλος, το κόστος κατανάλωσης καυσίμου είναι συνάρτηση της τιμής του πετρελαίου κίνησης, και της κατανάλωσης βενζίνης των απορριματοφόρων κατά τη συλλογή και τη μεταφορά. Η τιμή του πετρελαίου κίνησης λαμβάνεται ίση με 1,43 €/L ενώ οι αντίστοιχες καταναλώσεις βρίσκονται στους πίνακες 3 και 4.

Χώρος υγειονομικής ταφής

Όσον αφορά το χώρο υγειονομικής ταφής δημιουργείται ένα κόστος εισόδου των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Φυλής. Τα τέλη εισόδου των απορριμμάτων ανέρχονται στα 49 ευρώ ανά τόνο αποβλήτων και είναι κοινό για όλα τα σενάρια.

Έξοδα προσωπικού

Για κάθε ένα σενάριο έχουν ληφθεί υπόψη έξοδα σχετικά με το σχεδιασμό, την εφαρμογή και τη λειτουργία τους στα οποία συμπεριλαμβάνονται έξοδα για λογιστή, για μηχανικούς, για διαχειριστή έργου καθώς και το απαραίτητο προσωπικό εργασίας. Τα κόστη συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 21. Δεδομένα κόστους για έξοδα προσωπικού

| | Λογιστής | Διαχειριστής έργου | Μηχανικός | Εργάτες (20) |
|---------------------|----------|--------------------|-----------|--------------|
| Κόστος (Ευρώ/Χρόνο) | 24000 | 36000 | 27000 | 191120 |

3.3.2 Δεδομένα κόστους εναλλακτικών σεναρίων

Για τις διεργασίες των εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης τα δεδομένα κόστους χωρίζονται σε αυτά που αφορούν κεφαλαιουχικές δαπάνες και τα λειτουργικά έξοδα κάθε εγκατάστασης.

Όσον αφορά τις κεφαλαιουχικές δαπάνες, πέρα από την αγορά του εξοπλισμού περιλαμβάνουν την αγορά γης για την εγκατάσταση, την αμοιβή του εργολήπτη, την εγκατάσταση του εξοπλισμού, κτιριακές εργασίες, επιτόκιο δανεισμού, κόστη για τους

επιβλέποντες μηχανικούς, κόστη για την ανάπτυξη του έργου καθώς και ένα ποσό χρημάτων τα οποία υπολογίζονται για κάποια απρόβλεπτα έξοδα που δεν περιλαμβάνονται στον αρχικό σχεδιασμό και εντέλει μπορεί να προκύψουν (Πίνακας 22). Τόσο τα κεφαλαιουχικά κόστη όσο και τα λειτουργικά υπολογίζονται συναρτήσει του συνολικού κόστους της εγκατάστασης (TPC) ή/και του κόστους εξοπλισμού (EC). Το TPC ορίζεται ως:

$$\begin{aligned}
 TPC = & \text{Κόστος αγοράς εξοπλισμού} + \text{Κόστος αγοράς γης} \\
 & + \text{Κόστος επιβλέποντα μηχανικού} + \text{Επιτόκιο δανεισμού} \\
 & + \text{Κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού} + \text{Κτιριακές εργασίες} \\
 & + \text{Αμοιβή αναδόχων}
 \end{aligned}$$

Πίνακας 22. Κεφαλαιουχικά και λειτουργικά έξοδα εναλλακτικών σεναρίων

| Δεδομένα | Ποσό | |
|--|--------------------------------|-------|
| Απρόβλεπτα έξοδα | 5% *(TPC-EC) | CAPEX |
| Κόστη ανάπτυξης έργου | 7,5%*(TPC-EC) | |
| Συνολικά κόστη εγκατάστασης (TPC) | | |
| Εξοπλισμός εγκατάστασης (EC) | Διαφορετικό για κάθε διεργασία | |
| Αγορά γης | - | |
| Κόστη επιβλέποντα μηχανικού | 30%*EC | |
| Επιτόκιο δανεισμού | 4,5%*EC | |
| Εγκατάσταση εξοπλισμού | 43%*EC | |
| Κτιριακές εργασίες | 50%*EC | |
| Αμοιβή αναδόχων | 10%*EC | |
| Κόστος λειτουργίας και συντήρησης | 7,5%*TPC | OPEX |
| Κόστος ασφάλισης | 1%*TPC | |

Από την πλευρά των λειτουργικών εξόδων, πέρα από τις ετήσιες απαιτήσεις της εγκατάστασης σε ηλεκτρική ενέργεια, νερό και καύσιμα, υπολογίζεται και ένα σταθερό ποσό ως ποσοστό του συνολικού κόστους της εγκατάστασης το οποίο προορίζεται για τη συντήρηση του χώρου καθώς και ένα ποσό για την ασφάλιση της εγκατάστασης (Πίνακας 22).

Να σημειωθεί ότι αυτά τα κόστη περιλαμβάνονται σε όλα τα εναλλακτικά σενάρια και εξαρτώνται άμεσα από την τιμή του εξοπλισμού και το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Επίσης τα ποσά αυτά μετατρέπονται σε ετήσια πρόσοδο σύμφωνα με τον τύπο (4) προκειμένου τα κεφαλαιουχικά έξοδα και τα κόστη συντήρησης και ασφάλισης να ισοκατανεμηθούν στον εκτιμώμενο χρόνο ζωής του εξοπλισμού.

Ξήρανση/ Τεμαχισμός

Τα κόστη που σχετίζονται με τον εξοπλισμό της διεργασίας αυτής είναι η αγορά του ξηραντήρα/τεμαχιστή και ενός μηχανήματος φόρτωσης και μεταφοράς των απορριμμάτων. Οι λειτουργικές απαιτήσεις της διεργασίας περιλαμβάνουν την κατανάλωση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον υπολογισμό του κόστους

χρησιμοποιείται και ο ετήσιος ρυθμός χρήσης του εξοπλισμού ενώ η τιμή αγοράς του μετατρέπεται σε ετήσια πρόσοδο.

Πίνακας 23. Δεδομένα κόστους, Ξήρανση/Τεμαχισμός

| Εισαγόμενα Δεδομένα | Τιμή |
|-------------------------------------|----------|
| Μηχάνημα φόρτωσης και μεταφοράς (€) | 17000 |
| Ξηραντήρας/Τεμαχιστής (€) | 2000000 |
| Τιμή Ρεύματος (€/kWh) | 0,12 |
| Φυσικό αέριο (€/MJ) | 0,0092 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (kg/year) | 14139000 |

Αναερόβια χώνευση και αναβάθμιση παραγόμενου αερίου

Τα δεδομένα κόστους για την αναερόβια χώνευση λαμβάνονται με βάση την κρίση ειδικών επιστημόνων καθώς και από δεδομένα της αγοράς. Ο απαραίτητος εξοπλισμός περιλαμβάνει τον αναερόβιο αντιδραστήρα, ένα αεριοφυλάκιο για την αποθήκευση του παραγόμενου αερίου καθώς την εγκατάσταση αναβάθμισής του. Στα κόστη λειτουργίας, εκτός από το φυσικό αέριο και το ρεύμα συμπεριλαμβάνεται η τιμή του νερού που χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα.

Πίνακας 24. Δεδομένα κόστους αναερόβιας χώνευσης

| Εισαγόμενα Δεδομένα | Τιμή |
|---|----------|
| Αεριοφυλάκιο και εγκατάσταση αναβάθμισης αερίου (€) | 500000 |
| Αναερόβιος Αντιδραστήρας (€) | 1000000 |
| Τιμή Ρεύματος (€/kWh) | 0,12 |
| Φυσικό αέριο (€/MJ) | 0,0092 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (kg/year) | 14139000 |
| Νερό (€/kg) | 0,00098 |

Τα στοιχεία για την τιμή του φυσικού αερίου λαμβάνονται από τη Eurostat ενώ αντίστοιχα για το νερό και το ηλεκτρικό ρεύμα από τις αρμόδιες υπηρεσίες ύδρευσης και ηλεκτρισμού.

Σημειώνεται ότι τα δεδομένα κόστους για την αερόβια χώνευση δύο σταδίων είναι ακριβώς τα ίδια, με τη μόνη διαφοροποίηση να έγκειται στη μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος και στο απαιτούμενο ποσό θέρμανσης για το νερό και τα στερεά.

Κομποστοποίηση

Τα αντίστοιχα δεδομένα που απαιτούνται για τον εξοπλισμό της κομποστοποίησης είναι η αγορά μιας αντλίας νερού, ενός φορτωτή πρόσθιας φόρτωσης, ενός μηχανήματος για το σχηματισμό των σειραδίων και μια δεξαμενή αποθήκευσης. Παράλληλα, θεωρήθηκε τιμή για το παραγόμενο κομπόστ ίση με 0,072 €/kg κομπόστ (Πίνακας 25).

Πίνακας 25. Δεδομένα κόστους κομποστοποίησης

| Εισαγόμενα Δεδομένα | Τιμή |
|---------------------------------|----------|
| Φορτωτής πρόσθιας φόρτωσης (€) | 500000 |
| Μηχανικός αναστροφέας (€) | 1000000 |
| Αντλία νερού (€) | 0,12 |
| Δεξαμενή αποθήκευσης (€) | 0,0092 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (kg/year) | 14139000 |
| Τιμή ρεύματος (€/kWh) | 0,00098 |
| Τιμή πετρελαίου κίνησης (€/L) | 1,46 |

Παραγωγή βιοαιθανόλης

Όσον αφορά τα κόστη του εξοπλισμού για την παραγωγή της βιοαιθανόλης αυτά περιλαμβάνουν την αγορά ενός ζυμωτήρα και περιφερειακού εξοπλισμού συνολικής αξίας 150.000 ευρώ. Στα έξοδα των πρώτων υλών περιλαμβάνεται η αγορά των απαραίτητων ενζύμων για την αλκοολική ζύμωση καθώς και του θειικού οξέος που χρησιμοποιείται στην προεπεξεργασία των αποβλήτων (Πίνακας 26).

Πίνακας 26. Δεδομένα κόστους παραγωγής βιοαιθανόλης

| Εισαγόμενα Δεδομένα | Τιμή |
|--|----------|
| Ζυμωτήρας (€) | 150000 |
| Περιφερειακός εξοπλισμός (€) | 50000 |
| Ένζυμα (€/kg) | 10 |
| Θειικό οξύ (€/kg) | 0,24 |
| Τιμή παραγόμενης βιοαιθανόλης (€/L) | 1,46 |
| Παραγωγικότητα βιοαιθανόλης (L/kg FORBI) | 0,2 |
| Ρεύμα (€/kWh) | 0,12 |
| Φυσικό αέριο (€/MJ) | 0,0092 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (kg/χρόνο) | 14139000 |

Παραγωγή πέλλετ

Για το σενάριο αυτό απαιτείται η αγορά μιας μηχανής παραγωγής πέλλετ καθώς και συμπληρωματικού εξοπλισμού. Από τα κόστη λειτουργίας λαμβάνεται υπόψη και εδώ η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Από το συνολικό κόστος της διεργασίας θα αφαιρεθούν τα έσοδα από τις πωλήσεις του παραγόμενου προϊόντος. Με βάση την ποιότητα του πέλλετ και τη θερμογόνο δύναμη υπολογίστηκε το ποσό υποκατάστασης του φυσικού αερίου (Πίνακας 27).

Πίνακας 27. Δεδομένα κόστους για παραγωγή Πέλλετ

| Εισαγόμενα Δεδομένα | Τιμή |
|----------------------------------|----------|
| Μηχάνημα παραγωγής πέλλετ (€) | 50000 |
| Περιφερειακός εξοπλισμός (€) | 35000 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (kg/χρόνο) | 14139000 |
| Ρεύμα (€/kWh) | 0,12 |
| Τιμή Φυσικού αερίου (€/MJ) | 0,0092 |

Τέλος, όσον αφορά τη μεταφορά του παραγόμενου προϊόντος στο Δήμο Χαλανδρίου λαμβάνεται υπόψη το κόστος εργασίας, το κόστος χρήσης απορριμματοφόρων καθώς και το κόστος για τα καύσιμα (Πίνακας 28).

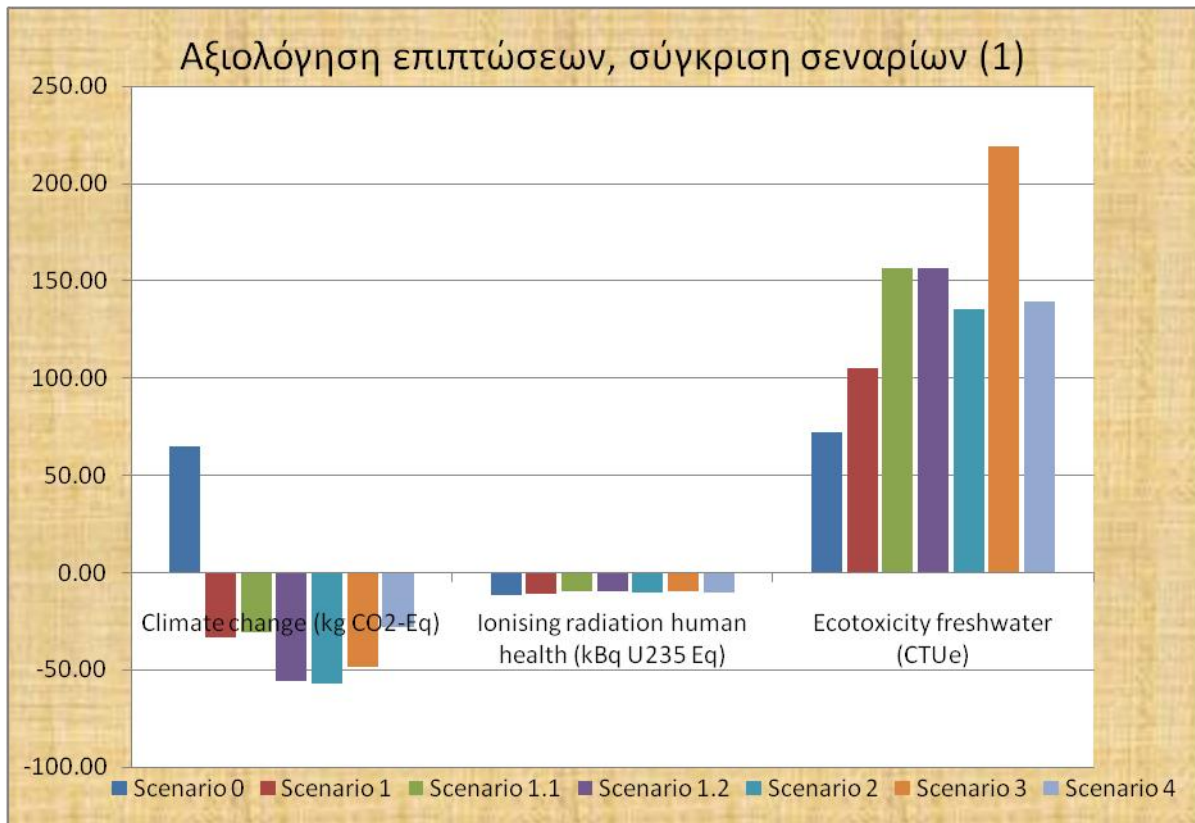
Πίνακας 28. Δεδομένα κόστους μεταφοράς Πέλλετ

| Εισαγόμενα Δεδομένα | Τιμή | |
|--------------------------------------|---------|--------------------------------|
| Απόσταση μεταφοράς (km) | 12 | Κόστος καυσίμων |
| Τιμή πετρελαίου κίνησης (€/L) | 1,46 | |
| Κατανάλωση καυσίμου (L/kg προϊόντος) | 0,00006 | |
| Εργατοώρες ανά τόνο προϊόντος | 4 | Κόστος εργασίας |
| Ωρομίσθιο (€/h) | 5,9 | |
| Τιμή απορριμματοφόρου (€) | 105.000 | Κόστος χρήσης απορριμματοφόρων |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης (τόνους/χρόνο) | 7500 | |
| Εκτιμώμενος χρόνος ζωής (χρόνια) | 10 | |

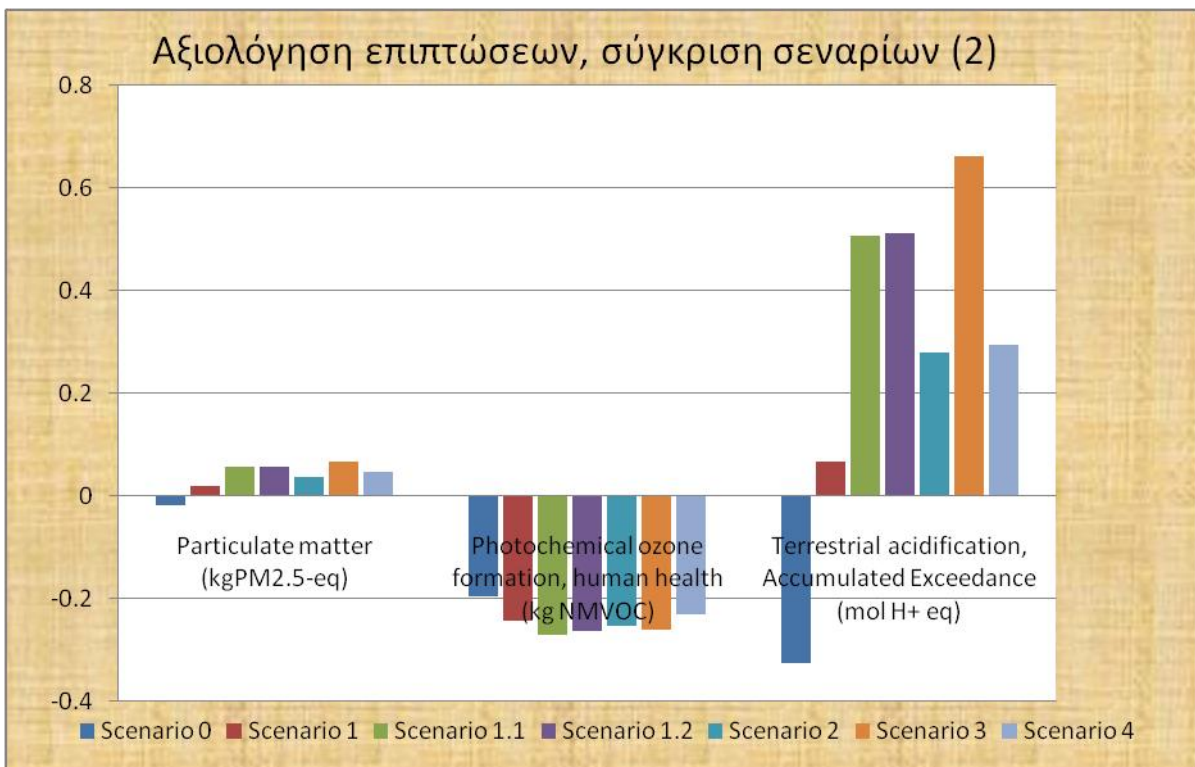
3.4 Ανάλυση και αποτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA)

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την μοντελοποίηση κάθε σεναρίου όσον αφορά τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων καθώς και από άποψη κόστους. Παράλληλα, προσδιορίζονται οι παράμετροι που έχουν τον μεγαλύτερο αντίκτυπο για κάθε σενάριο και κατηγορία επιπτώσεων όπως προκύπτει από την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε. Τέλος, στα αποτελέσματα της ανάλυσης ενσωματώνεται και η αβεβαιότητα που εμφανίζει κάθε σενάριο στο σύνολό του αλλά και οι διεργασίες που φέρουν τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση για το κάθε σενάριο ξεχωριστά.

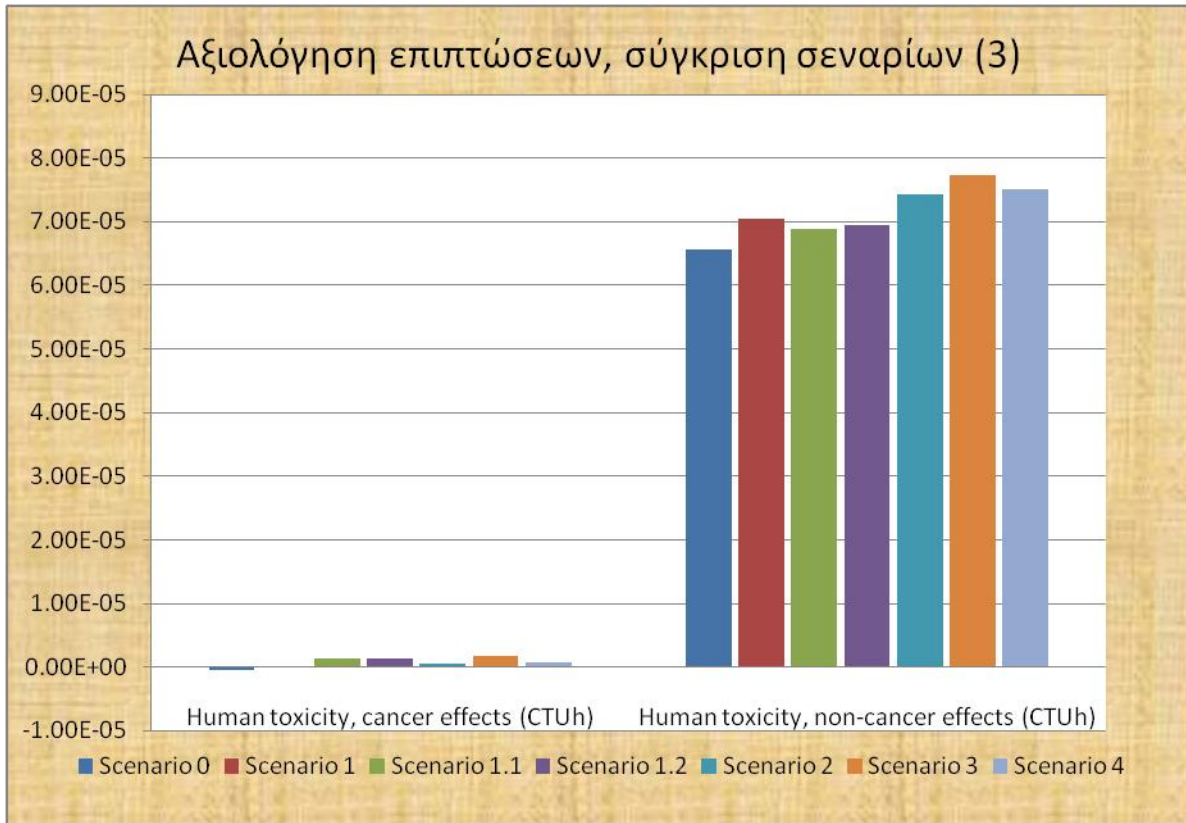
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση των επιπτώσεων για κάθε σενάριο. Οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν θετική επίδραση (περιορισμό του αντίστοιχου φαινομένου) του σεναρίου όσον αφορά τη συγκεκριμένη κατηγορία επιπτώσεων. Η μέθοδος αξιολόγησης των επιπτώσεων που επιλέχθηκε από το Easetech ήταν η “ILCD recommended – 2013 Prosuit Global NR w/o LT”.



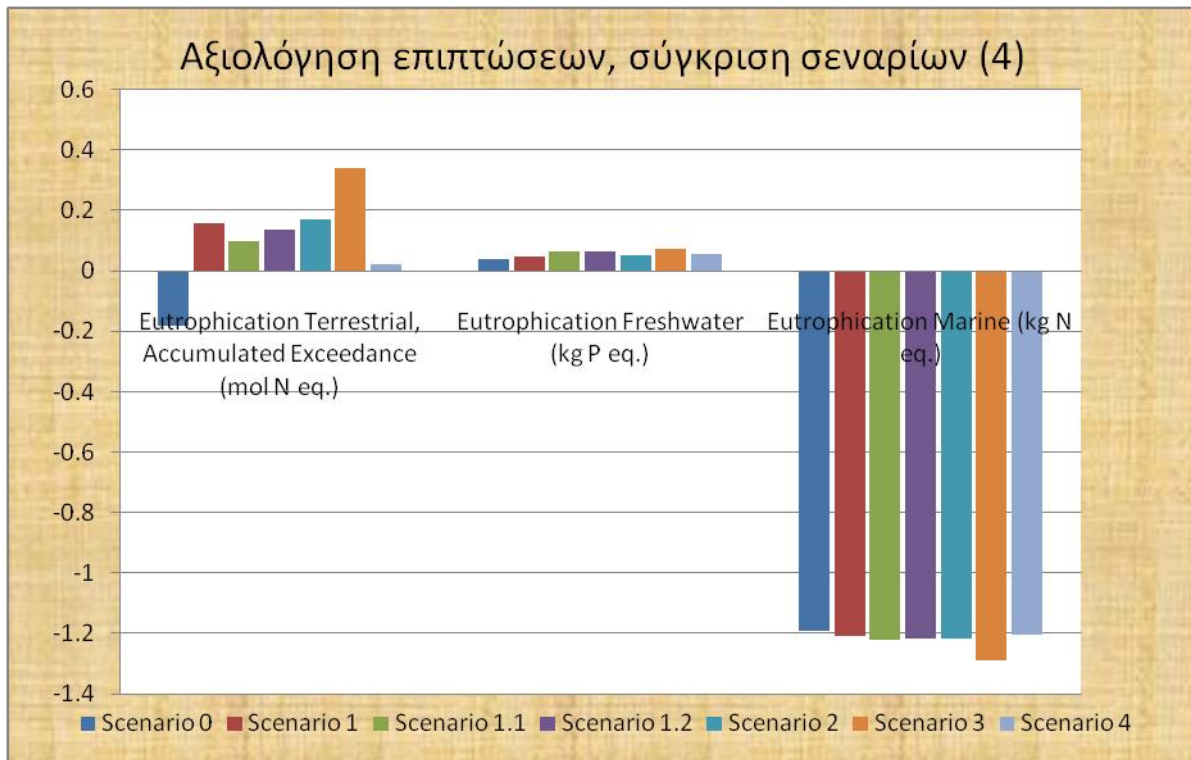
Διάγραμμα 9. Αξιολόγηση επιπτώσεων σεναρίων (1)



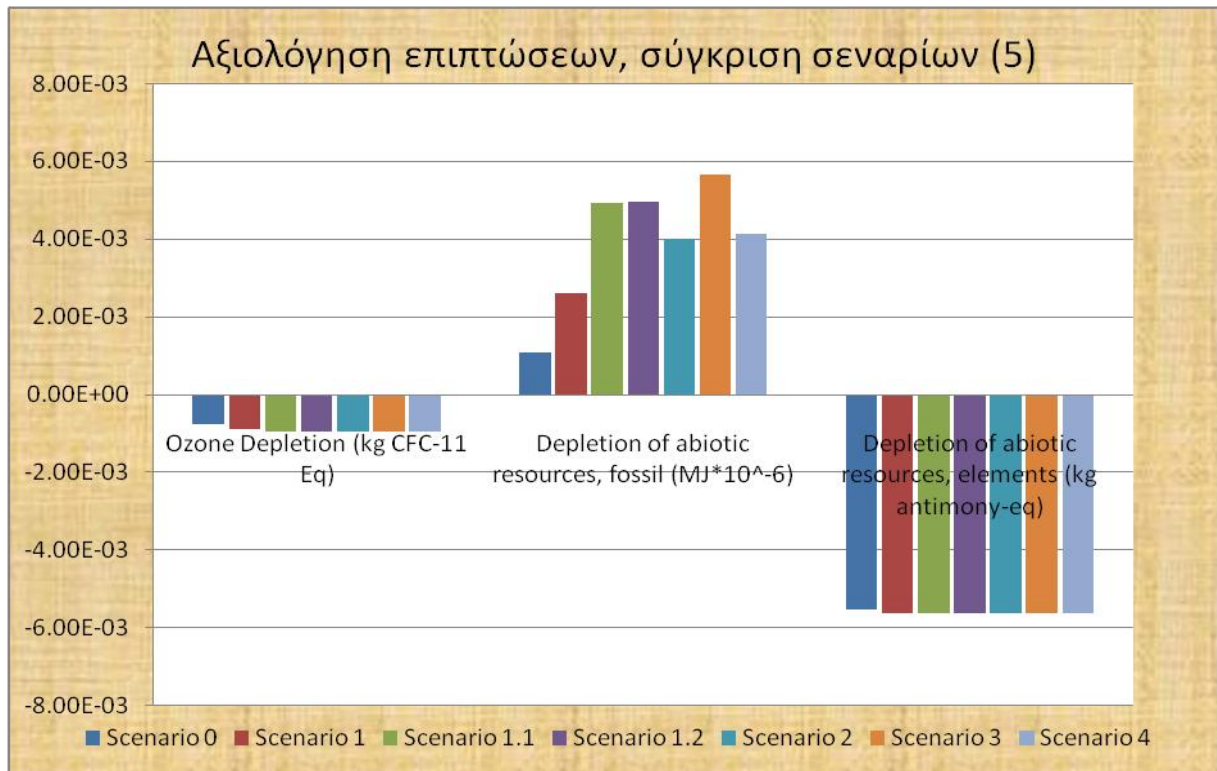
Διάγραμμα 10. Αξιολόγηση επιπτώσεων σεναρίων (2)



Διάγραμμα 11. Αξιολόγηση επιπτώσεων σεναρίων (3)



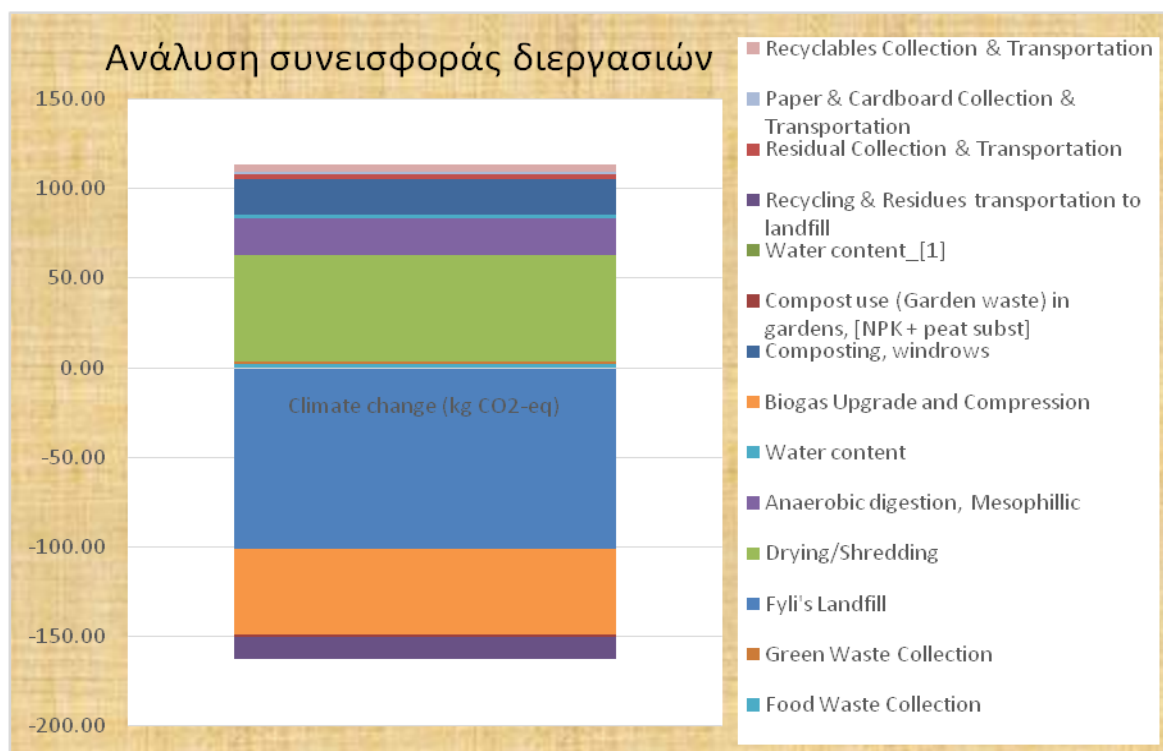
Διάγραμμα 12. Αξιολόγηση επιπτώσεων σεναρίων (4)



Διάγραμμα 13. Αξιολόγηση επιπτώσεων σεναρίων (5)

Κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 1.2.5 μετράται σε όρους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα και σχετίζεται με τις εκπομπές στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου. Από τα αποτελέσματα του διαγράμματος 9 παρατηρείται για το σενάριο αναφοράς αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη ίσο με 64,58 kg CO₂-eq. Αντίθετα, όλα τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης των ΑΣΑ έχουν θετικό αντίκτυπο καθώς συνεισφέρουν στη μείωση της κλιματικής αλλαγής. Τα δύο σενάρια που έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι το σενάριο 1.2 και το σενάριο 2 με ανθρακικό αποτύπωμα ίσο με -56,02 και -57,42 kg CO₂-eq αντίστοιχα. Όσον αφορά τις επιμέρους διεργασίες, για το σενάριο αναφοράς η μεγαλύτερη συνεισφορά στην κλιματική αλλαγή οφείλεται στην ταφή των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Φυλής (78,36 kg CO₂-eq). Για τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης, η ταφή των απορριμμάτων αποτελεί τη διεργασία με τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στη μείωση της κλιματικής αλλαγής. Παράλληλα καθοριστικής σημασίας είναι η υποκατάσταση του πετρελαίου κίνησης από το βιοαέριο και το υθάνιο. Με την υποκατάσταση του πετρελαίου με καύσιμο προερχόμενο από τα τροφικά υπολείμματα ο ήδη υπάρχον ορυκτός άνθρακας μετατρέπεται στη βιογενή του μορφή χωρίς πρόσθετη επιβάρυνση στο συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα. Αντίστοιχα, οι διεργασίες των εναλλακτικών σεναρίων με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις φαίνεται να είναι η ξήρανση/τεμαχισμός και αμέσως μετά οι διεργασίες της κομποστοποίησης και της αναερόβιας χώνευσης. Αναλυτικότερα οι πίνακες και τα διαγράμματα με τη συνεισφορά των επιμέρους διεργασιών στην κλιματική αλλαγή αποτυπώνονται στο παράρτημα.



Διάγραμμα 14. Συνεισφορά επιμέρους διεργασιών στην κλιματική αλλαγή, Σενάριο 1.1

Εξάντληση του Οζοντος

Όσον αφορά την εξάντληση της στοιβάδας του όζοντος παρατηρήθηκε για όλα τα σενάρια ότι συνεισφέρουν στην μείωση του φαινομένου. Το σενάριο αναφοράς υπολογίστηκε ότι βοηθάει στην εξάλειψη του φαινομένου με ένα ποσό ίσο με $-7,56 \cdot 10^{-4}$ kg CFC-11 eq. Ο αντίκτυπος των εναλλακτικών σεναρίων ήταν περίπου ο ίδιος για όλα τα σενάρια και κυμαίνεται από $-9 \cdot 10^{-4}$ έως $-9,65 \cdot 10^{-4}$ το οποίο αντιστοιχεί στο σενάριο 4. Σχετικά με τις επιμέρους διεργασίες, η ταφή των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Φυλής έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην εξάντληση του όζοντος στην ατμόσφαιρα για όλα τα σενάρια.

Τοξικότητα για τον άνθρωπο

Η τοξικότητα των ουσιών που περιλαμβάνονται στα σενάρια μετράται σε μονάδες CTUh. Οι ουσίες αυτές χωρίζονται σε καρκινογόνες και μη. Όσον αφορά τις καρκινογόνες ουσίες για το σενάριο αναφοράς παρατηρείται αρνητική τιμή ίση με $-5,63 \cdot 10^{-7}$ CTUh. Για τα εναλλακτικά σενάρια προκύπτει από τα αποτελέσματα ότι όλα εμφανίζουν θετική τιμή τοξικότητας για καρκινογενείς ουσίες. Η μεγαλύτερη τιμή τοξικότητας εμφανίζεται για το σενάριο 3 ίση με $1,69 \cdot 10^{-6}$ CTUh. Σχετικά με τις επιμέρους διεργασίες των σεναρίων παρατηρείται ότι η ξήρανση/τεμαχισμός των τροφικών υπολειμμάτων είναι η διεργασία που συμβάλει περισσότερο στην αύξηση των επιπτώσεων της κατηγορίας αυτής για τα σενάρια 1.1, 1.2, 2, 3, 4. Αντίστοιχα για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο 1 στα οποία δεν πραγματοποιείται ξήρανση του ρεύματος των τροφικών υπολειμμάτων, η διεργασία με τον μεγαλύτερο αντίκτυπο όσον

αφορά τις καρκινογόνες ουσίες είναι το κομμάτι της ανακύκλωσης και συγκεκριμένα της ανακύκλωσης χαρτονιού και ανάμικτου χαρτιού.

Όσον αφορά την τοξικότητα που οφείλεται σε μη καρκινογόνες ουσίες, όλα τα σενάρια εμφανίζουν θετικές τιμές οι οποίες κυμαίνονται από $6,55 \cdot 10^5$ CTUh -η οποία αντιστοιχεί στο σενάριο αναφοράς- έως $7,73 \cdot 10^5$ CTUh η οποία παρατηρείται για το σενάριο 3. Για όλα τα σενάρια η ανακύκλωση του χαρτιού συνεισφέρει περισσότερο στην αύξηση των μη καρκινογόνων τοξικών ουσιών, ενώ η ξήρανση/τεμαχισμός είναι η διεργασία με την αμέσως μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο για τα σενάρια 1.1 έως και 4. Αναλυτικά στο παράρτημα αποτυπώνεται η συνεισφορά όλων των διεργασιών στο τελικό αποτέλεσμα.

Αιωρούμενα σωματίδια

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το Easetech το σενάριο αναφοράς είναι το μόνο με αρνητική τιμή συνεπώς ενισχύει τον περιορισμό του φαινομένου (-0,01773 kg PM_{2,5}-eq). Τα εναλλακτικά σενάρια συμβάλλουν στην παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων. Το σενάριο με τη μεγαλύτερη τιμή για τα αιωρούμενα σωματίδια είναι το σενάριο 3 (0,06774 kg PM_{2,5}-eq). Όσον αφορά το σενάριο αναφοράς η διεργασία ταφής των απορριμμάτων συνεισφέρει περισσότερο στη μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων (-0,0429 kg PM_{2,5}-eq) ενώ η ανακύκλωση χαρτιού και χαρτονιού ενισχύει την αύξηση των σωματιδίων κατά 0.02606 kg PM_{2,5}-eq. Αντίστοιχα για τα εναλλακτικά σενάρια οι διεργασίες που συμβάλλουν περισσότερο στην αύξηση του φαινομένου είναι η ανακύκλωση του χαρτιού και χαρτονιού και κατόπιν η διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού.

Ιονίζουσα ακτινοβολία

Αναφορικά με την ιονίζουσα ακτινοβολία υπολογίστηκαν αρνητικές τιμές για όλα τα σενάρια. Συγκεκριμένα η χαμηλότερη τιμή παρουσιάστηκε για το σενάριο αναφοράς ίση με -11,66 kBq U235 Eq και αμέσως μετά για τα σενάρια 1 και 2 με -10,75 και -10,25 kBq U235 Eq αντίστοιχα. Η διεργασία που συμβάλλει περισσότερο στην αύξηση του φαινομένου για τα σενάρια 1.1, 1.2, 2, 3, 4 είναι η ξήρανση και ο τεμαχισμός των τροφικών υπολειμμάτων, ενώ για τα σενάρια αναφοράς και το σενάριο 1 δεν υπάρχει κάποια διεργασία η οποία να ξεχωρίζει συγκριτικά με τις υπόλοιπες.

Φωτοχημικό νέφος

Όλα τα σενάρια εμφανίζουν αρνητικές τιμές το οποίο μεταφράζεται σε περιβαλλοντικό όφελος όσον αφορά το σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους. Τα σενάρια με την πιο αρνητική τιμή είναι τα 1.1 και 1.2 ίσες με -0,2708 και -0,2625 kg NMVOC αντίστοιχα. Το σενάριο αναφοράς υπολογίστηκε να έχει το μικρότερο περιβαλλοντικό όφελος σε σχέση με τα υπόλοιπα, με τιμή ίση με -0,1958 kg NMVOC. Για τα σενάρια 1.1 έως και 4, η διεργασία που επιβαρύνει περισσότερο την ατμόσφαιρα με αέρια υπεύθυνα για το φωτοχημικό νέφος είναι η ξήρανση και ο τεμαχισμός ενώ αντίστοιχα για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο 1 είναι η διάθεση των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Φυλής.

Οξίνιση του εδάφους

Όλα τα εναλλακτικά σενάρια συμβάλλουν στην εντατικοποίηση του φαινομένου. Το σενάριο 3 είναι αυτό με τη μεγαλύτερη τιμή, ίση με 0,6623 mol H+ eq. Από τα εναλλακτικά σενάρια το σενάριο 1 έχει τη χαμηλότερη τιμή (0,0665 mol H+ eq) ενώ το σενάριο αναφοράς είναι το μοναδικό με αρνητική τιμή (-0,1958 mol H+ eq). Όσον αφορά τις επιμέρους διεργασίες, για τα σενάρια 1,1 έως και το σενάριο 4, η ξήρανση/τεμαχισμός είναι εκείνη με τον μεγαλύτερο αντίκτυπο για την οξίνιση του εδάφους. Αντίστοιχα για το σενάριο αναφοράς και το σενάριο 1 η κύρια διεργασία που ευθύνεται για το φαινόμενο αυτό είναι η κομποστοποίηση.

Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος

Σχετικά με τον ευτροφισμό που αφορά τα χερσαία οικοσυστήματα παρατηρούνται θετικές τιμές για όλα τα εναλλακτικά σενάρια. Η μεγαλύτερη τιμή σημειώνεται στο σενάριο 3 ίση με 0,3418 mol N eq. Το σενάριο αναφοράς είναι το μόνο το οποίο έχει αρνητική τιμή και συνεπώς συμβάλλει στον περιορισμό του φαινομένου (-0,1827 mol N eq). Αναφορικά με τις επιμέρους διεργασίες των σεναρίων, για τα σενάρια 0 και 1 παρατηρείται ότι η διεργασία με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην επιδείνωση του φαινομένου είναι αυτή της κομποστοποίησης ενώ αντίστοιχα για τα υπόλοιπα σενάρια η διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού.

Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος

Ο ευτροφισμός που αφορά τα υδάτινα οικοσυστήματα διακρίνεται σε θαλάσσια οικοσυστήματα και οικοσυστήματα του γλυκού νερού.

Όσον αφορά τα θαλάσσια οικοσυστήματα, για όλα τα σενάρια παρατηρούνται αρνητικές τιμές και συνεπώς συμβάλλουν στη μείωση του φαινομένου. Παρατηρείται ότι όλες οι τιμές είναι αρκετά κοντά ενώ η περισσότερο αρνητική σημειώνεται για το σενάριο 3 (-1,291 kg N eq). Η υψηλότερη τιμή αντιστοιχεί στο σενάριο αναφοράς ίση με -1,191 kg N eq. Για όλα τα σενάρια η διεργασία που συνεισφέρει περισσότερο στην αύξηση του φαινομένου είναι η διάθεση των απορριμμάτων στο χώρο υγειονομικής ταφής της Φυλής.

Σχετικά με τον ευτροφισμό που αφορά τα οικοσυστήματα του γλυκού νερού, για όλα τα σενάρια σημειώνονται θετικές τιμές το οποίο συνεπάγεται την αύξηση του φαινομένου. Η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται στο σενάριο αναφοράς (0,03812 kg P eq) ενώ η μεγαλύτερη αντιστοιχεί στο σενάριο 3 (0,07103 kg P eq). Όσον αφορά τις επιμέρους διεργασίες των σεναρίων παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση του φαινομένου έχει η ανακύκλωση του χαρτιού και χαρτονιού ενώ αμέσως μετά ακολουθεί για τα σενάρια 1.1 έως και 4 η ξήρανση/τεμαχισμός.

Οικοτοξικότητα γλυκού νερού

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται ότι για όλα τα σενάρια οι τιμές σχετικά με την οικοτοξικότητα είναι θετικές υποδεικνύοντας αύξηση του φαινομένου. Το σενάριο αναφοράς έχει τη μικρότερη τιμή συγκριτικά με όλα τα υπόλοιπα σενάρια, ίση με 72,38

CTUe. Το σενάριο που έχει τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στην κατηγορία αυτή είναι το σενάριο παραγωγής βιοαιθανόλης (σενάριο 3) με τιμή 218,9 CTUe. Σε όλα τα σενάρια η διεργασία με τη μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση της οικοτοξικότητας είναι η ανακύκλωση του χαρτιού και χαρτονιού ενώ ακολουθεί για τα σενάρια 1.1 έως και 4 η διεργασία της ξήρανσης και τεμαχισμού του ρεύματος των τροφικών υπολειμμάτων.

Εξάντληση αβιοτικών πόρων

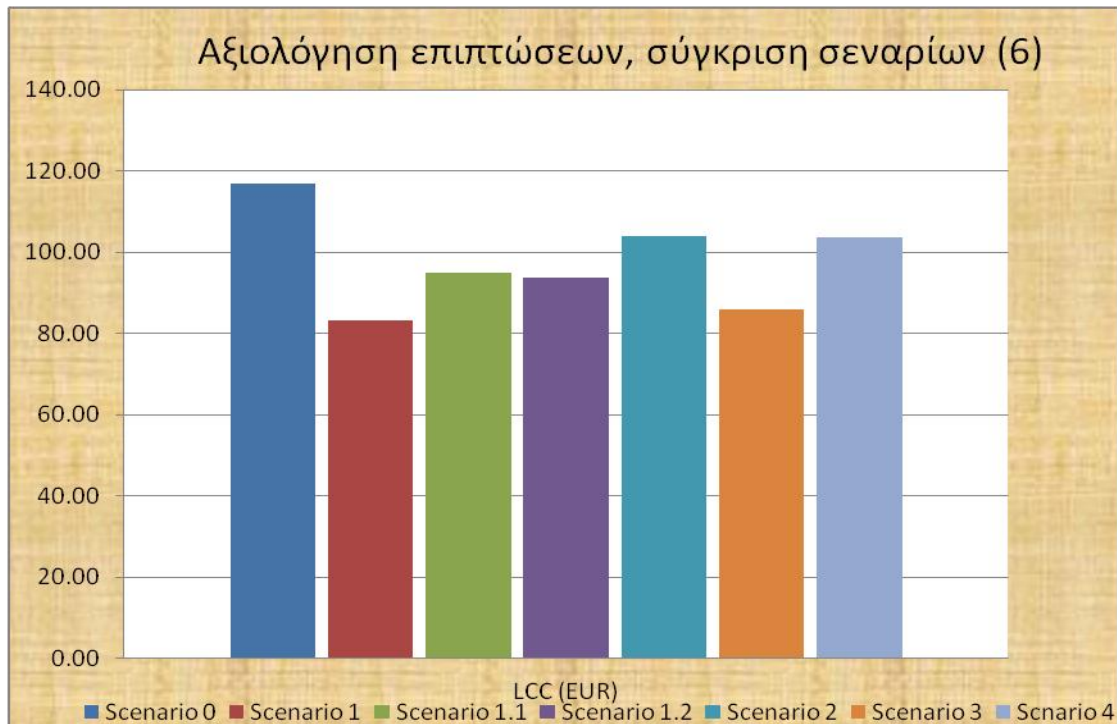
Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 1.2.5, οι αβιοτικοί πόροι διακρίνονται στους ορυκτούς και στους μη ορυκτούς (στοιχεία).

Αναφορικά με την εξάντληση των ορυκτών πόρων, από τη μοντελοποίηση προέκυψε ότι όλα τα σενάρια έχουν θετικές τιμές και συνεπώς συμβάλλουν στην αύξηση του φαινομένου. Το σενάριο αναφοράς είναι αυτό με τη μικρότερη τιμή συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια και συγκεκριμένα ίση με 1087 MJ. Αντίθετα, το σενάριο με τη μεγαλύτερη συμβολή στην εξάντληση των φυσικών ορυκτών πόρων είναι το σενάριο της παραγωγής βιοαιθανόλης το οποίο έχει τιμή ίση με 5663 MJ. Όσον αφορά τις επιμέρους διεργασίες, σε όλα τα σενάρια η διεργασία με τη μεγαλύτερη επιρροή στην αύξηση του φαινομένου είναι η ανακύκλωση του χαρτιού και του χαρτονιού ενώ για τα σενάρια 1.1 έως και 4 η αμέσως επόμενη διεργασία είναι η ξήρανση και ο τεμαχισμός των τροφικών υπολειμμάτων.

Για την εξάντληση των μη ορυκτών πόρων παρατηρείται ότι όλα τα σενάρια έχουν αρνητικές τιμές επιδρώντας θετικά στον περιορισμό του φαινομένου αυτού. Για όλα τα σενάρια σημειώνονται παραπλήσιες τιμές με τη χαμηλότερη να αντιστοιχεί στο σενάριο αναφοράς ίση με -0,005527 kg antimony-eq. Εξετάζοντας τις επιμέρους διεργασίες των σεναρίων παρατηρείται για όλα τα σενάρια ότι δεν υπάρχει κάποιο κομμάτι της διεργασίας το οποίο να επιδρά σημαντικά στην αύξηση του φαινομένου. Η μεγαλύτερη επίδραση οφείλεται στη διάθεση των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Φυλής ωστόσο η τιμή είναι πολύ χαμηλή για να ληφθεί υπόψη (της τάξεως του 10^{-5} kg antimony-eq).

Αξιολόγηση κόστους σεναρίων

Όσον αφορά το συνολικό κόστος των σεναρίων που μελετήθηκαν, παρατηρείται ότι το σενάριο με το μεγαλύτερο κόστος είναι το σενάριο αναφοράς. Το κόστος του συγκεκριμένου σεναρίου ανέρχεται στα 116,8 ευρώ για τη διαχείριση ενός τόνου αστικών στερεών απορριμμάτων. Αμέσως επόμενο έρχεται το σενάριο 2 του οποίου το κόστος είναι ίσο με 103,8 ευρώ ανά τόνο και το σενάριο 4 με 103,8 ευρώ ανά τόνο. Το σενάριο με τη χαμηλότερη τιμή είναι το σενάριο 1 που ισούται με 83,08 ευρώ ανά τόνο ενώ ακολουθούν τα σενάρια 1.1 και 1.2 με 94,96 και 93,63 €/t αντίστοιχα. Εξετάζοντας τις διεργασίες ξεχωριστά παρατηρείται ότι για τα σενάρια 0 και 1, η μεταφορά των υπολειμματικών απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Φυλής είναι η πιο κοστοβόρα διεργασία και ανέρχεται στα 56,6 και 27,5 €/t αντίστοιχα. Για τα σενάρια 1.1 έως και 4 η διεργασία με το μεγαλύτερο κόστος είναι η ξήρανση/τεμαχισμός ενώ ακολουθεί η μεταφορά των υπολειμμάτων στο ΧΥΤΑ.



Διάγραμμα 15. Αξιολόγηση κόστους σεναρίων

3.5 Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Με βάση τη μοντελοποίηση των σεναρίων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, παρατηρείται ότι τα εναλλακτικά σενάρια εμφανίζουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη συγκριτικά με το υφιστάμενο σενάριο διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων για κάποιες από τις πιο κομβικές κατηγορίες επιπτώσεων. Συγκεκριμένα οι κατηγορίες επιπτώσεων για τις οποίες τα εναλλακτικά σενάρια φαίνεται να αποδίδουν καλύτερα είναι η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση του όζοντος στην ατμόσφαιρα, ο σχηματισμός του φωτοχημικού νέφους, ο ευτροφισμός του θαλάσσιου οικοσυστήματος, η εξάντληση των αβιοτικών μη ορυκτών πόρων, καθώς και το κομμάτι που αφορά το κόστος του κάθε σεναρίου. Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα κάποιων εκ των σημαντικότερων κατηγοριών επιπτώσεων.

Ιδιαίτερη αναφορά οφείλει να γίνει στην κατηγορία επιπτώσεων “κλιματική αλλαγή”. Η κλιματική αλλαγή είναι ένα ζήτημα το οποίο τις τελευταίες δεκαετίες έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις. Στο πλαίσιο αυτό, η εύρεση μεθόδων διαχείρισης των απορριμμάτων που έχουν ως αποτέλεσμα τη ελάττωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε όρους ισοδύναμου CO₂ είναι ιδιαίτερα σημαντική και περιβαλλοντικά θεμιτή. Πράγματι, από την ανάλυση του κύκλου ζωής των εναλλακτικών σεναρίων παρατηρήθηκε ότι η μετατροπή του σχεδίου διαχείρισης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ, δηλαδή η εκτροπή του ρεύματος των τροφικών υπολειμμάτων, η ξεχωριστή διαλογή και η μετέπειτα επεξεργασία τους οδήγησε σε μια μεγάλη βελτίωση όσον αφορά τις επιπτώσεις για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Συγκεκριμένα, ενώ το σενάριο αναφοράς συνεισέφερε στην εντατικοποίηση του φαινομένου κατά 64,58 kg CO₂-eq, τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης όχι μόνο επέφεραν μείωση του περιβαλλοντικού

αποτυπώματος αλλά επέτυχαν περιβαλλοντικό όφελος από τη διαχείριση και την αξιοποίηση των τροφικών υπολειμμάτων (έως και $-57,42 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$, 189%).

Το όφελος που σημειώνεται στα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης αποβλήτων έχει να κάνει με την αξιοποίηση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των αστικών στερεών απορριμμάτων. Καταρχάς, με την ξεχωριστή διαλογή των τροφικών υπολειμμάτων και την αξιοποίησή τους μειώνεται η ποσότητα των απορριμμάτων του Δήμου που καταλήγουν στο ΧΥΤΑ της Φυλής. Αυτό συνεπάγεται την ελάττωση της παραγωγής του αερίου χωματερής που αποτελείται κατά κύριο λόγο από διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο, δύο από τα βασικά αέρια του θερμοκηπίου.

Έπειτα, ιδιαίτερα καθοριστική για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος των εναλλακτικών σεναρίων συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς είναι η υποκατάσταση των συμβατικών προϊόντων και η εξοικονόμηση των ορυκτών πρώτων υλών με χρήση των προϊόντων που παράγονται από τα ίδια τα απορρίμματα. Για παράδειγμα, η αξιοποίηση των τροφικών υπολειμμάτων στο σενάριο 1.1 και στο σενάριο 1.2 για την παραγωγή bio-CNG και υθανίου αντίστοιχα προκειμένου να αντικαταστήσει τη χρήση πετρελαίου κίνησης στα απορριμματοφόρα, αποδεικνύεται να έχει αρκετά μικρότερο αντίκτυπο στην κλιματική αλλαγή από την παραγωγή και χρήση συμβατικού καυσίμου ενώ παράλληλα μειώνεται η εξόρυξη του ορυκτού πλούτου της γης.

Επίσης, το γεγονός ότι η αξιοποίηση των τροφικών υπολειμμάτων πραγματοποιείται στα όρια του Δήμου συνεισφέρει και αυτό στην δημιουργία ενός περιβαλλοντικού οφέλους σε όρους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. Εν αντιθέσει με το σενάριο αναφοράς όπου τα τροφικά υπολείμματα μεταφέρονται στο ΧΥΤΑ της Φυλής σε μία απόσταση 25 χλμ από το Δήμο, πλέον στα εναλλακτικά σενάρια επεξεργάζονται εντός του Δήμου το οποίο μεταφράζεται σε ελάττωση των εκπομπών καυσαερίων (μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνεται και το CO_2) από τα απορριμματοφόρα.

Η αμέσως επόμενη κατηγορία επιπτώσεων ιδιαίτερης σημασίας για τη βιωσιμότητα του πλανήτη είναι η εξάντληση του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Το φαινόμενο αυτό που οφείλεται στην παραγωγή χλωροφθορανθράκων είναι άμεσα συνδεδεμένο με το λιώσιμο των πάγων και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατηρήθηκε ότι τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης των απορριμμάτων εμφανίζουν μεγαλύτερο περιβαλλοντικό όφελος συγκριτικά με το υφιστάμενο σενάριο αναφοράς. Το όφελος συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς μπορεί να φτάσει έως και $-2,09 \cdot 10^{-4} \text{ kg CFC 11-eq}$. Το κέρδος όσον αφορά τις μειωμένες εκπομπές χλωροφθορανθράκων των εναλλακτικών σεναρίων σε σχέση με το σενάριο αναφοράς ευθύνεται εν μέρει στην μείωση της ποσότητας των τροφικών υπολειμμάτων που καταλήγουν στο ΧΥΤΑ. Αυτό προκύπτει καθώς το αέριο χωματερής που δεν συλλέγεται τείνει να ανέρχεται στην κορυφή και να οξειδώνεται και εντέλει μέρος αυτού να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Μειώνοντας την ποσότητα των απορριμμάτων που οδηγούνται στη χωματερή μειώνεται το παραγόμενο αέριο χωματερής και συνεπώς η παραγωγή χλωροφθορανθράκων. Συγκεκριμένα για το ΧΥΤΑ, από $0,0002358 \text{ kg CFC-11 eq}$ ανά τόνο ΑΣΑ στα εναλλακτικά σενάρια το μέγεθος αυτό είναι ίσο με $3,891 \cdot 10^{-5} \text{ kg CFC-11 eq}$.

Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν για το φωτοχημικό νέφος. Το φωτοχημικό νέφος αποτελεί ένα πρόβλημα κυρίως των μεγάλων αστικών κέντρων με επιβλαβείς συνέπειες

για την υγεία των ανθρώπων. Στα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης παρατηρείται σημαντική αύξηση του περιβαλλοντικού οφέλους έως και 38,4% για το σενάριο 1.1 και 34,1 % για το σενάριο 1.2 το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε συνδυασμό με τα οφέλη που προκύπτουν για τις προηγούμενες δύο κατηγορίες. Οι βασικοί λόγοι που ευθύνονται για την καλύτερη επίδοση των εναλλακτικών σεναρίων όσον αφορά τη συγκεκριμένη κατηγορία επιπτώσεων, οφείλεται στην μείωση των απορριμμάτων που καταλήγουν στο ΧΥΤΑ, στη μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων που μεταφέρεται καθώς και στην χρήση του παραγόμενου κομπόστ ως λίπασμα. Αρχικά, όσον αφορά το ΧΥΤΑ, η εκτροπή του ρεύματος των τροφικών υπολειμμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του παραγόμενου αέριου χωματερής και συνεπώς τη μείωση της ποσότητας των πτητικών οργανικών σωματιδίων (εκτός του μεθανίου) που είτε παράγονται από την καύση του αέριου χωματερής είτε οξειδώνονται και διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα. Αντίστοιχα ερμηνεύεται και η μείωση των παραγόμενων NMVOC από την καύση του πετρελαίου κίνησης στα απορριμματοφόρα κατά τη μεταφορά των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ. Τέλος ιδιαίτερα σημαντική είναι η χρήση του κομπόστ καθώς υποκαθιστά χημικά λιπάσματα. Με βάση τα αποτελέσματα του σεναρίου 1.1 και του 1.2 η χρήση του κομπόστ συνεισφέρει στη μείωση του φαινομένου του φωτοχημικού νέφους κατά -0,002107 και -0,002086 kg NMVOC αντίστοιχα.

Όσον αφορά το κόστος, πρόκειται για έναν παράγοντα ο οποίος είναι καθοριστικός για την υλοποίηση οποιουδήποτε σεναρίου. Για να μπορέσει να εφαρμοστεί ένα σενάριο είτε αυτό είναι το υφιστάμενο σενάριο διαχείρισης των απορριμμάτων είτε κάποιο από τα εναλλακτικά, θα πρέπει αυτό να είναι βιώσιμο οικονομικά. Από την ανάλυση LCC που πραγματοποιήθηκε παρατηρείται ότι ανεξάρτητα του ποιο από τα εναλλακτικά σενάρια θα εφαρμοστεί, η ξεχωριστή διαλογή των τροφικών υπολειμμάτων, η επεξεργασία τους για την παραγωγή FORBI και η μετέπειτα αξιοποίησή τους για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων παρουσιάζει οικονομικά οφέλη για το Δήμο συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς. Συγκεκριμένα, μπορεί να εξοικονομηθεί έως και 28,9% σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Η εξοικονόμηση αυτή μπορεί να ερμηνευτεί με βάση τρεις παραμέτρους.

Αρχικά, η πρώτη παράμετρος που συνεισφέρει καθοριστικά στην μείωση του κόστους των εναλλακτικών σεναρίων είναι η αξιοποίηση των τροφικών υπολειμμάτων για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας. Παρόλο που προκειμένου να αξιοποιηθεί το ρεύμα των τροφικών υπολειμμάτων απαιτείται δαπάνη χρηματικών πόρων τόσο για την αγορά του απαραίτητου εξοπλισμού όσο και για τα λειτουργικά έξοδα των διεργασιών που πραγματοποιούνται, εντούτοις η υποκατάσταση των συμβατικών προϊόντων από προϊόντα προστιθέμενης αξίας παρουσιάζει οικονομικό όφελος για το Δήμο.

Ταυτόχρονα, με την ξεχωριστή διαλογή των τροφικών υπολειμμάτων αποφεύγεται η διάθεσή τους ως έχει στο χώρο υγειονομικής ταφής της Φυλής. Αυτό συνεπάγεται μειωμένα τέλη ταφής των απορριμμάτων για το Δήμο καθώς πλέον στο ΧΥΤΑ καταλήγει μικρότερη ποσότητα απορριμμάτων συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς.

Τέλος, η αξιοποίηση του ρεύματος των τροφικών υπολειμμάτων αλλά και των απορριμμάτων κήπων στα εναλλακτικά σενάρια έχει σχεδιαστεί ώστε να πραγματοποιείται τοπικά σε κατάλληλες εγκαταστάσεις που θα βρίσκονται εντός του

Δήμου. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους μεταφοράς των απορριμμάτων.

Παρόλα τα περιβαλλοντικά οφέλη που παρουσιάζει η εφαρμογή των εναλλακτικών σεναρίων στις κατηγορίες επιπτώσεων που αναφέρθηκαν, εντούτοις σε άλλες κατηγορίες φαίνεται ότι το σενάριο αναφοράς έχει καλύτερα αποτελέσματα. Μια από αυτές τις κατηγορίες είναι τα αιωρούμενα σωματίδια. Η παραγωγή των αιωρούμενων σωματιδίων στο περιβάλλον οφείλεται κυρίως στη βιομηχανική δραστηριότητα και στις διεργασίες καύσης ενώ είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία (αιτία αναπνευστικών και καρδιαγγειακών προβλημάτων). Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι τα εναλλακτικά σενάρια συμβάλλουν στην αύξηση του φαινομένου (έως και 0,677 kg PM_{2,5-εφ} για το σενάριο 3) σε αντίθεση με το σενάριο αναφοράς. Ο βασικός λόγος για τον οποίο παρατηρείται η διαφορά αυτή έγκειται στις διεργασίες των εναλλακτικών σεναρίων οι οποίες καταναλώνουν υψηλά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας (πχ ξήρανση/τεμαχισμός, μείωση υγρασίας πριν την κομποστοποίηση). Η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα παράγεται μέσω της καύσης του λιγνίτη εκπέμποντας μεγάλη ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα στο σενάριο αναφοράς η μόνη έντονη διεργασία από άποψη κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ανακύκλωση χαρτιού και χαρτονιού η οποία είναι κοινή για όλα τα σενάρια.

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται για την κατηγορία των τοξικών καρκινογόνων ουσιών. Ενώ το σενάριο αναφοράς παρουσιάζει περιβαλλοντικό όφελος ίσο με $-5.63 \cdot 10^{-7}$ CTU_h, τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα έως και με $1,69 \cdot 10^{-6}$ CTU_h ανά τόνο αποβλήτων. Και σε αυτή την περίπτωση μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης φέρουν οι διεργασίες στις οποίες καταναλώνονται μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της καύσης του λιγνίτη. Το ίδιο συμβαίνει και για τις μη καρκινογόνες τοξικές ουσίες με τη διαφορά ότι η διαφορά μεταξύ του σεναρίου αναφοράς και των εναλλακτικών σεναρίων είναι σχετικά μικρή ($6,55 \cdot 10^{-5}$ CTU_h για το σενάριο 0 και $6,89 \cdot 10^{-5}$ CTU_h για το σενάριο 1.1).

Στην κατηγορία της εξάντλησης των φυσικών πόρων, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα το σενάριο αναφοράς εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τους ορυκτούς πόρους. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη ποσότητα απορριμμάτων που διατίθεται στο ΧΥΤΑ. Όλα τα στερεά υπολείμματα στο ΧΥΤΑ θεωρούνται ότι αποθηκεύονται χωρίς να έχουν καμία επίδραση με το γύρω περιβάλλον. Έτσι θεωρείται εξοικονόμηση βιολογικού άνθρακα και συνεπώς προκύπτει βελτίωση στο φαινόμενο της εξάντλησης των ορυκτών πόρων. Ενώ στο σενάριο αναφοράς η τιμή σχετικά με την εξάντληση των ορυκτών πόρων είναι ίση με -1712 MJ η αντίστοιχη του σεναρίου 1 είναι μόλις -476,5 MJ. Αναφορικά με τους μη ορυκτούς πόρους όλα τα σενάρια εμφανίζουν περιβαλλοντικά οφέλη καθώς η βασική πηγή εξοικονόμησης πρώτων υλών έγκειται στην ανακύκλωση η οποία είναι κοινή για όλα τα σενάρια. Ωστόσο, τα εναλλακτικά σενάρια φαίνεται να έχουν ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα καθώς η παραγωγή των προϊόντων προστιθέμενης αξίας (πχ κομποστ βιοαέριο κτλ) συνεπάγεται την υποκατάσταση λιπασμάτων και καυσίμων θέρμανσης και κίνησης και συνεπώς παρατηρείται εξοικονόμηση πρώτων υλών.

Αναφορικά με τις διεργασίες που περιλαμβάνονται στα σενάρια διαχείρισης απορριμμάτων, παρατηρείται ότι εκείνες οι οποίες φέρουν τη μεγαλύτερη επιβάρυνση

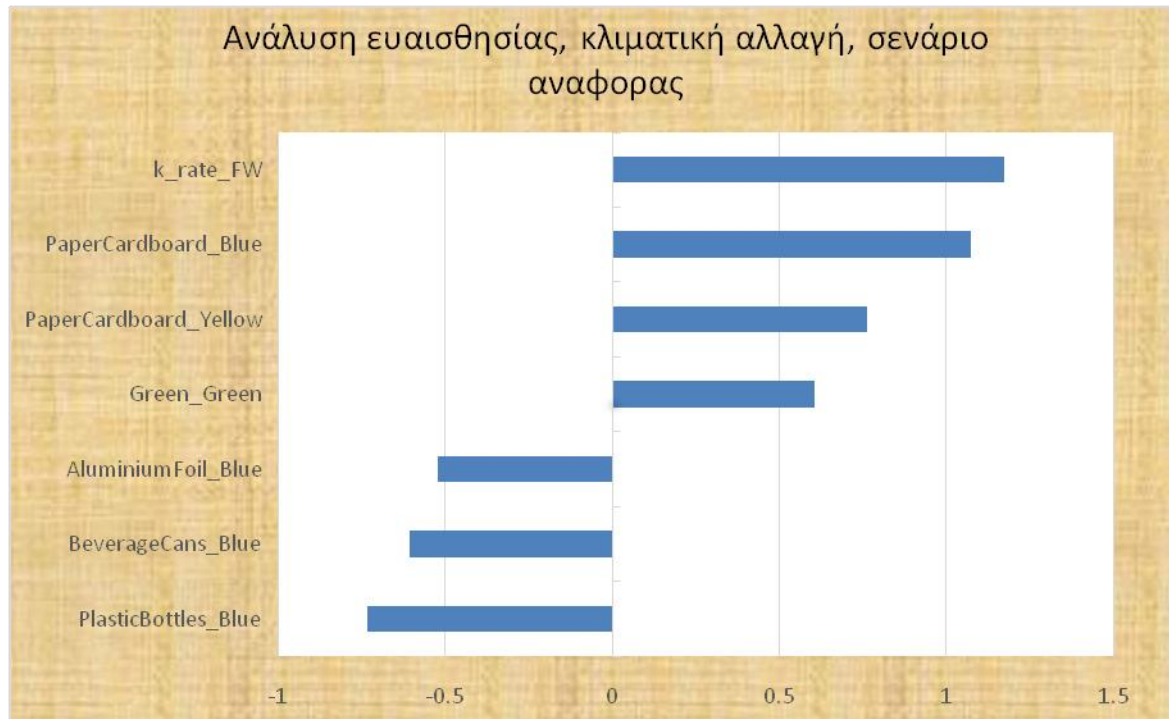
για το περιβάλλον για τις περισσότερες από τις κατηγορίες επιπτώσεων είναι η ανακύκλωση των ανάμικτων χαρτιών και των χαρτονιού καθώς και η διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού. Η ανακύκλωση χαρτιού και χαρτονιού είναι κοινή για όλα τα σενάρια συνεπώς δεν παίζει ρόλο όσον αφορά τη επιλογή των βέλτιστων σεναρίων διαχείρισης ΑΣΑ. Η διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού περιλαμβάνεται στα σενάρια 1.1, 1.2, 2, 3 και 4 και συνεπώς είναι ιδιαίτερα σημαντικό να εξεταστεί η αιτία που αποτελεί περιορισμό στο ενδεχόμενο περιβαλλοντικό όφελος αυτών των εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης. Ο βασικός λόγος που η διεργασία αυτή φέρει τις μεγαλύτερες επιπτώσεις για το περιβάλλον είναι η ένταση της ενέργειας που απαιτείται σε συνδυασμό με το βασικό μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα παράγεται κατά κύριο λόγο από την καύση του λιγνίτη το οποίο συνεπάγεται εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων πτητικών οργανικών ενώσεων και τοξικών ουσιών καθώς και εξάντληση των ορυκτών πόρων της χώρας. Σε συνδυασμό με το μεγάλο ποσό ενέργειας που απαιτείται για την ξήρανση και τον τεμαχισμό των τροφικών υπολειμμάτων γίνεται φανερό ότι η διεργασία αυτή αποτελεί ένα εμπόδιο στα περιβαλλοντικά οφέλη που μπορούν να αποκομιστούν από τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων.

3.6 Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας

Παράλληλα με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας για όλες τις παραμέτρους των σεναρίων προκειμένου να εξεταστεί ποιες παράμετροι έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα για κάθε κατηγορία επιπτώσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας με τις σημαντικότερες παραμέτρους για κάθε σενάριο για τις κατηγορίες επιπτώσεων κλιματική αλλαγή, εξάντληση του όζοντος, αιωρούμενα σωματίδια, τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες, εξάντληση ορυκτών πόρων καθώς και για το κόστος. Τα διαγράμματα σχετικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων περιλαμβάνονται στο παράρτημα. Σημειώνεται ότι για κατηγορίες επιπτώσεων με αρνητικές τιμές, η θετική τιμή του λόγου ευαισθησίας μιας παραμέτρου συνεπάγεται ότι μια ενδεχόμενη αύξηση της τιμής SR έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των επιπτώσεων της κατηγορίας αυτής.

Ξεκινώντας με το σενάριο αναφοράς, η παράμετρος εκείνη η οποία έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο για την αύξηση της κλιματικής αλλαγής είναι ο ρυθμός αποδόμησης των τροφικών υπολειμμάτων που καταλήγουν στο ΧΥΤΑ της Φυλής. Τα απορρίμματα που θάβονται στο ΧΥΤΑ αποσυντίθενται με ένα σταθερό ρυθμό παράγοντας αέρια χωματερής τα οποία οδηγούν στην αύξηση του ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σενάριο αναφοράς. Ο λόγος ευαισθησίας για τη συγκεκριμένη παράμετρο ισούται με 1,17 το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι μια μεταβολή στην τιμή της παραμέτρου αυτής ίση με +10% έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της κλιματικής αλλαγής κατά 11,7%. Οι παράμετροι με την αμέσως μεγαλύτερη επίδραση στο ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα του σεναρίου είναι το ποσοστό των συσκευασιών από χαρτί και χαρτόνι που καταλήγουν στον μπλε και στον κίτρινο κάδο,

με δείκτη ευαισθησίας ίσο με 1,07 και 0,76 αντίστοιχα. Η μεγάλη αυτή τιμή των δύο δεικτών οφείλεται κυρίως στο κομμάτι της ανακύκλωσης των συσκευασιών αυτών. Η επεξεργασία τους στους τελικούς αποδέκτες ανακύκλωσης απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ρεύματος. Το γεγονός ότι η παραγωγή του ρεύματος στην Ελλάδα προέρχεται κατά κύριο λόγο από λιγνίτη (45,8%) είναι καθοριστική για το ανθρακικό αποτύπωμα που δημιουργείται.



Διάγραμμα 16. Λόγος ευαισθησίας παραμέτρων, κλιματική αλλαγή

Αντίθετα, η παράμετρος που συνεισφέρει περισσότερο στη μείωση της τιμής της κλιματικής αλλαγής είναι τα πλαστικά μπουκάλια που καταλήγουν στους μπλε κάδους ανακύκλωσης. Συγκεκριμένα μια αύξηση 10% στην ποσότητα των πλαστικών μπουκαλιών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του σεναρίου κατά 7,3%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το περιβαλλοντικό όφελος από την υποκατάσταση της αγοράς πλαστικών μπουκαλιών από ανακυκλωμένα μπουκάλια είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το παραγόμενο ισοδύναμο CO₂ από τη συλλογή, τη μεταφορά, το διαχωρισμό και την τελική επεξεργασία των ανακυκλώσιμων αυτών υλικών. Στο διάγραμμα 16 παρουσιάζονται οι παράμετροι με τη μεγαλύτερη επίδραση στο αποτέλεσμα μαζί με τους αντίστοιχους λόγους ευαισθησίας.

Αναφορικά με την εξάντληση του όζοντος για το σενάριο αναφοράς, τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας παρουσιάζονται στο διάγραμμα 17. Παρατηρείται ότι η παράμετρος που αφορά το βαθμό αποδόμησης των υπολειμμάτων στο ΧΥΤΑ είναι αυτή με τη πιο αρνητική επίπτωση στην επιδείνωση του φαινομένου (SR=-0,056) Αυτό οφείλεται στο ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αποδόμησης των υπολειμμάτων τόσο περισσότερο αέριο χλωματερής παράγεται συνεπώς τόσο περισσότεροι και οι χλωροφθοράνθρακες που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα οι δύο παράμετροι που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία όσον αφορά την μείωση του

φαινομένου είναι η ποσότητα συσκευασιών αλουμινίου και τα αλουμινένια κουτάκια αναψυκτικών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την υποκατάσταση της αγοράς από ανακυκλώσιμα αλουμινένια απορρίμματα παρατηρείται περιβαλλοντικό όφελος λόγω μείωσης της παραγόμενης ουσίας $C_2Cl_2F_4$. Πράγματι, παρατηρείται ότι η αύξηση της ποσότητας των δύο παραμέτρων αυτών κατά 10% συνεπάγεται τη μείωση της παραγόμενης ποσότητας χλωροφθορανθράκων κατά 6,4% και 7% αντίστοιχα.

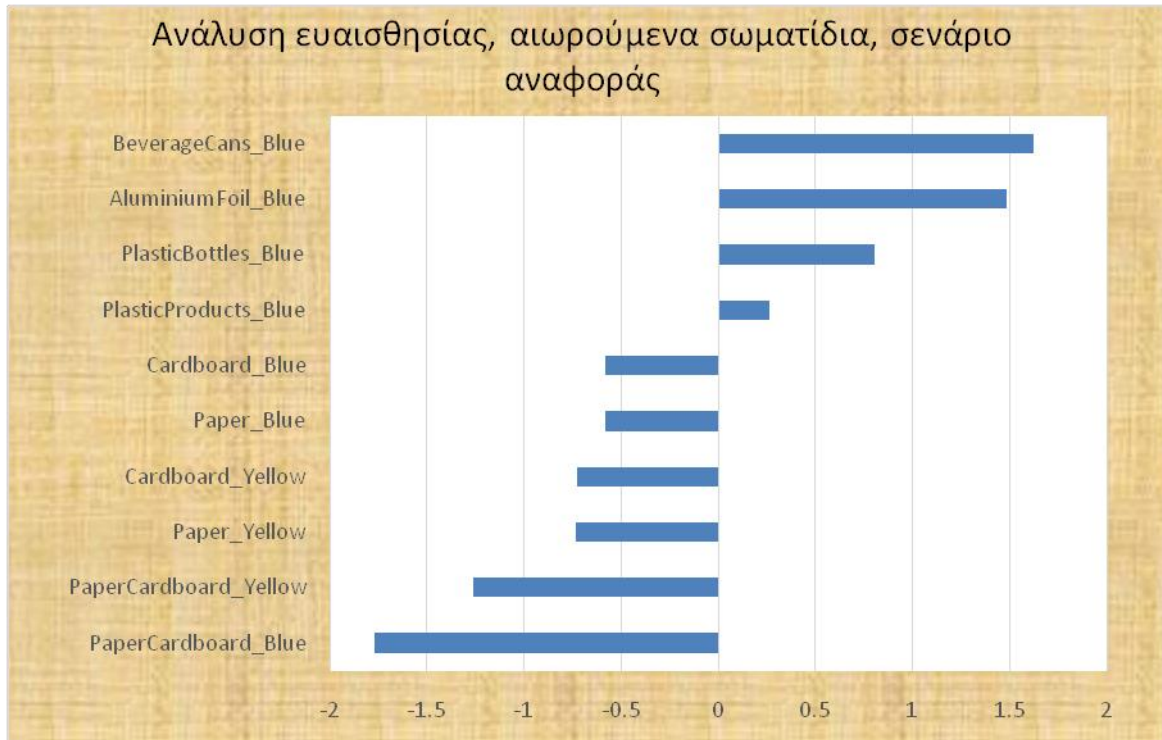


Διάγραμμα 17. Λόγος ευαισθησίας παραμέτρων, τρύπα του όζοντος

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια (διάγραμμα 18). Οι δύο βασικότερες παράμετροι η μεταβολή στην τιμή των οποίων επιφέρει όφελος για τα αποτελέσματα είναι οι συσκευασίες αλουμινίου και τα αναψυκτικά από αλουμίνιο. Και σε αυτή την περίπτωση η υποκατάσταση της αγοράς από ανακυκλωμένα προϊόντα έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή εκπομπών διοξειδίων αζώτου και θείου. Αύξηση των παραμέτρων αυτών κατά 10% συνεπάγεται επιπλέον μείωση των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων κατά 14,9% και 16,2% αντίστοιχα. Αντίθετα, η παράμετρος με τη μεγαλύτερη ευαισθησία ως προς την αύξηση των παραγόμενων αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι συσκευασίες από χαρτί και χαρτόνι που συλλέγονται στους μπλε κάδους. Αύξηση στην τιμή της παραμέτρου αυτής συνεπάγεται μεγαλύτερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας κατά την ανακύκλωσή της συνεπώς περισσότερες εκπομπές σωματιδίων λόγω της καύσης λιγνίτη.

Κατόπιν, από την ανάλυση ευαισθησίας προέκυψε ότι η παράμετρος με τη μεγαλύτερη ευαισθησία για την παραγωγή τοξικών μη καρκινογόνων ουσιών ήταν –με μεγάλη διαφορά από τις επόμενες- οι κονσέρβες φαγητού που οδηγούνται στους μπλε κάδους ανακύκλωσης (διάγραμμα 19). Συγκεκριμένα μια μεταβολή στην τιμή της παραμέτρου αυτής κατά +10% έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των τοξικών ουσιών κατά 56,4%.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την ανακύκλωση των μεταλλικών αυτών συσκευασιών παρατηρούνται εκπομπές διαφόρων ουσιών όπως ψευδαργύρου και μολύβδου. Μια αύξηση στον αριθμό των κονσερβών φαγητού που οδηγούνται προς ανακύκλωση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών αυτών.



Διάγραμμα 18. Λόγος ευαισθησίας παραμέτρων, αιωρούμενα σωματίδια



Διάγραμμα 19. Λόγος ευαισθησίας παραμέτρων, τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες

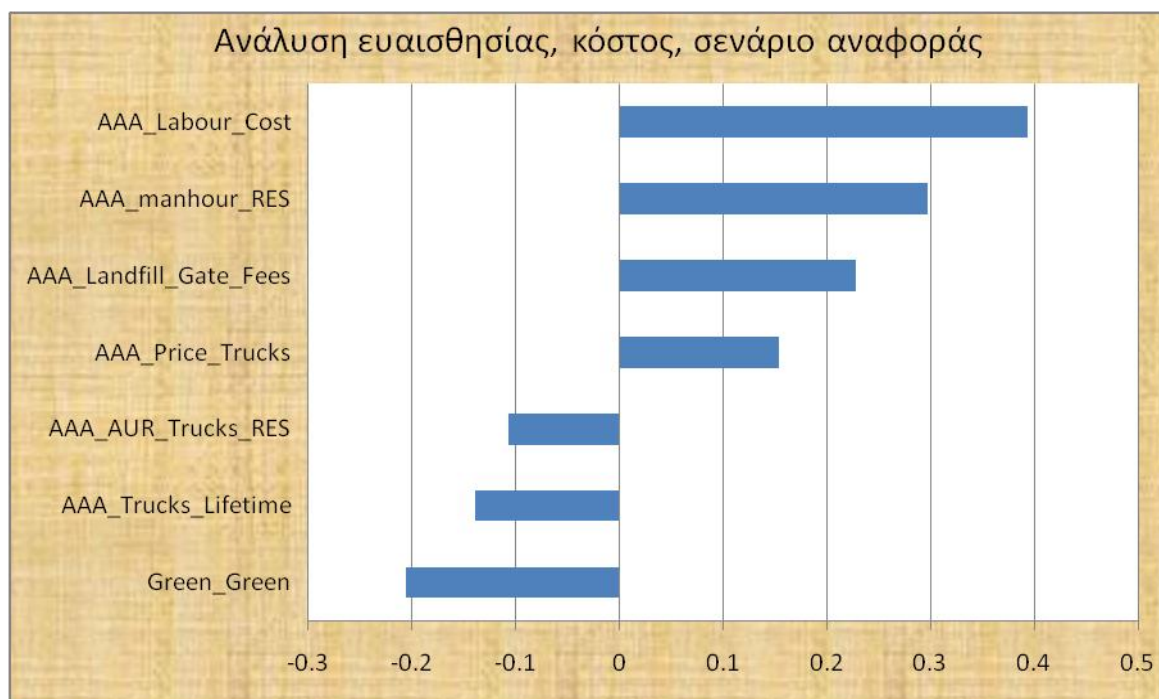
Έπειτα, αναφορικά με την εξάντληση των ορυκτών πόρων για το σενάριο αναφοράς, παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση του φαινομένου έχει να κάνει με την αύξηση της ποσότητας των συσκευασιών από χαρτί και χαρτόνι που οδηγούνται προς ανακύκλωση. Η ανακύκλωση του χαρτιού περιλαμβάνει τεμαχισμό και επανεπεξεργασία, διεργασίες οι οποίες απαιτούν μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας και συνεπώς έμμεσα απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα άνθρακα (καύση λιγνίτη).



Διάγραμμα 20. Λόγος ευαισθησίας παραμέτρων, εξάντληση ορυκτών πόρων

Όσον αφορά το κόστος του σεναρίου και τις βασικές παραμέτρους που το επηρεάζουν, προέκυψε από την ανάλυση ευαισθησίας ότι η παράμετρος που έχει μεγαλύτερη επίδραση στην αύξησή του είναι το κόστος εργασίας για τη συλλογή και τη μεταφορά των απορριμμάτων. Το κόστος αυτό είναι ίσο με 5,9 €/ώρα. Αύξηση του κόστους εργασίας κατά 10% έχει ως αποτέλεσμα την συνολική αύξηση του κόστους στο σενάριο αναφοράς κατά 3,94%. Μια άλλη παράμετρος, η τιμή της οποίας επιδρά σημαντικά στην οικονομική ανάλυση είναι οι εργατοώρες συλλογής και μεταφοράς ανά τόνο αστικών αποβλήτων και συγκεκριμένα για τα απορρίμματα που συλλέγονται από τους πράσινους κάδους. Η συγκεκριμένη παράμετρος προκύπτει ως συνάρτηση του αριθμού εργαζομένων ανά γύρο συλλογής απορριμμάτων, της ποσότητας του φορτίου ανά γύρο καθώς και του χρόνου που διαρκεί ο γύρος συλλογής. Σημαντική συνεισφορά στην βελτίωση των οικονομικών της διεργασίας θα είχε η αύξηση του συνολικού φορτίου απορριμμάτων ανά γύρο συλλογής καθώς και η βελτιστοποίηση του δρομολογίου των απορριμματοφόρων με σκοπό τη μείωση του χρόνου συλλογής αλλά και της χιλιομετρικής απόστασης που διανύουν. Στο συγκεκριμένο ενδεχόμενο είναι απαραίτητο να εξεταστεί αν η επιλογή για την ανάθεση και υλοποίηση της βελτιστοποίησης αυτής είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά από τη διατήρηση του υπάρχοντος πλάνου συλλογής με το υπάρχον πάγιο κόστος ανά τόνο αποβλήτων.

Αντίθετα, η μεταβολή στην ποσότητα των απορριμμάτων κήπων έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στη μείωση του κόστους. Συγκεκριμένα, μεταβολή της τιμής της παραμέτρου αυτής κατά +10% έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού κόστους του σεναρίου κατά 2,06%.



Διάγραμμα 21. Λόγος ευαισθησίας κόστους

Στους παρακάτω πίνακες, αποτυπώνονται οι σημαντικότερες παράμετροι (με τους αντίστοιχους λόγους ευαισθησίας, SR) για τα εναλλακτικά σενάρια για τις 6 κατηγορίες που μελετήθηκαν και για το σενάριο αναφοράς.

Πίνακας 29. Ανάλυση ευαισθησίας, Σενάριο 1

| Σενάριο 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-------------------------|----------|
| Κλιματική αλλαγή | | Ανάλυση κόστους | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -1.97799 | Food_Brown | -0.44873 |
| PaperCardboard_Yellow | -1.40877 | Green_Green | -0.30693 |
| Food_Brown | 3.05147 | AAA_manhour_RES | 0.18400 |
| Comp_C_Deg_FW | 3.68402 | AAA_Labour_Cost | 0.35627 |
| Εξάντληση όζοντος | | Αιωρούμενα σωματίδια | |
| | SR | | SR |
| k_rate_FW | -0.01324 | BeverageCans_Blue | -1.48011 |
| Comp_C_Deg_FW | 0.16101 | AluminiumFoil_Blue | -1.35472 |
| AluminiumFoil_Blue | 0.54057 | PaperCardboard_Blue | 1.61372 |
| BeverageCans_Blue | 0.59058 | Food_Brown | 1.69128 |
| Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | | Εξάντληση ορυκτών πόρων | |
| | SR | | SR |
| BeverageCans_Blue | -0.03156 | PlasticBottles_Blue | -0.40010 |
| AluminiumFoil_Blue | -0.02888 | PlasticProducts_Blue | -0.38434 |
| PaperCardboard_Blue | 0.10518 | PaperCardboard_Yellow | 0.56080 |
| FoodCans_Blue | 0.52383 | PaperCardboard_Blue | 0.78736 |

Πίνακας 30. Ανάλυση ευαισθησίας, Σενάριο 2

| Σενάριο 2 | | | |
|--------------------------------|----------|-------------------------|----------|
| Κλιματική αλλαγή | SR | Ανάλυση κόστους | SR |
| PaperCardboard_Blue | -1.17336 | Green_Green | -0.26813 |
| Green_Green | -1.03846 | AAA_DS_AUR | -0.13091 |
| Comp_C_Deg_FW | 1.36695 | AAA_DS_Eq | 0.14400 |
| Food_Brown | 2.47084 | AAA_Labour_Cost | 0.27514 |
| Εξάντληση όζοντος | SR | Αιωρούμενα σωματίδια | SR |
| DS_heat | -0.01034 | BeverageCans_Blue | -0.78478 |
| Food_Brown | 0.17762 | AluminiumFoil_Blue | -0.71830 |
| AluminiumFoil_Blue | 0.51432 | PaperCardboard_Blue | 0.85563 |
| BeverageCans_Blue | 0.56190 | Food_Brown | 1.35874 |
| Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | SR | Εξάντληση ορυκτών πορών | SR |
| BeverageCans_Blue | -0.02998 | PlasticBottles_Blue | -0.26067 |
| PaperCardboard_Blue | 0.09991 | PlasticProducts_Blue | -0.25040 |
| Food_Brown | 0.10473 | PaperCardboard_Blue | 0.51297 |
| FoodCans_Blue | 0.49762 | Food_Brown | 0.68586 |

Πίνακας 31. Ανάλυση ευαισθησίας, Σενάριο 1.1

| Σενάριο 1.1 | | | |
|--------------------------------|----------|-------------------------|----------|
| Κλιματική αλλαγή | SR | Ανάλυση κόστους | SR |
| Water_TotalWeight | -10.403 | Green_Green | -0.36848 |
| Green_Green | -2.14537 | Compr_Diesel_Subst | -0.32927 |
| AD_Cbioand_to_CH4 | 1.89146 | AAA_Labour_Cost | 0.33059 |
| Food_Brown | 3.92886 | Water_TotalWeight | 2.24302 |
| Εξάντληση όζοντος | SR | Αιωρούμενα σωματίδια | SR |
| Water_TotalWeight | -0.01742 | BeverageCans_Blue | -0.51941 |
| Food_Brown | 0.19012 | AluminiumFoil_Blue | -0.47541 |
| AluminiumFoil_Blue | 0.50674 | Food_Brown | 1.15092 |
| BeverageCans_Blue | 0.55362 | Water_TotalWeight | 3.28071 |
| Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | SR | Εξάντληση ορυκτών πόρων | SR |
| Compr_Diesel_Subst | -0.17034 | PlasticBottles_Blue | -0.21278 |
| CH4_to_CH4Frac | -0.15270 | PlasticProducts_Blue | -0.20440 |
| FoodCans_Blue | 0.53643 | Food_Brown | 0.67903 |
| Water_TotalWeight | 0.69985 | Water_TotalWeight | 2.47087 |

Πίνακας 32. Ανάλυση ευαισθησίας, Σενάριο 1.2

| Σενάριο 1.2 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| Κλιματική αλλαγή | SR | Ανάλυση κόστους | SR |
| Water_TotalWeight | -6.18520 | Green_Green | -0.36226 |
| Green_Green | -1.21706 | TwoStage_Compr_Diesel_Subst | -0.31152 |
| TwoStage_Compr_Diesel_Subst | 0.99362 | AAA_Labour_Cost | 0.32503 |
| Food_Brown | 2.66153 | Water_TotalWeight | 2.26432 |
| Εξάντληση όζοντος | SR | Αιωρούμενα σωματίδια | SR |
| Water_TotalWeight | -0.04919 | BeverageCans_Blue | -0.51421 |
| Food_Brown | 0.01464 | AluminiumFoil_Blue | -0.47065 |
| AluminiumFoil_Blue | 0.47967 | Food_Brown | 1.14941 |
| BeverageCans_Blue | 0.52404 | Water_TotalWeight | 3.28822 |
| Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | SR | Εξάντληση ορυκτών πόρων | SR |
| TwoStage_Compr_Diesel_Subst | -0.16250 | PlasticBottles_Blue | -0.21048 |
| CH4_to_CH4Frac | -0.14482 | PlasticProducts_Blue | -0.20219 |
| FoodCans_Blue | 0.53180 | Food_Brown | 0.68250 |
| Water_TotalWeight | 0.72160 | Water_TotalWeight | 2.49339 |

Πίνακας 33. Ανάλυση ευαισθησίας, Σενάριο 3

| Σενάριο 3 | | | |
|--------------------------------|----------|-------------------------|----------|
| Κλιματική αλλαγή | SR | Ανάλυση κόστους | SR |
| Water_TotalWeight | -4.88447 | Food_Brown | -0.36562 |
| Green_Green | -1.00730 | Compr_Diesel_Subst | -0.34076 |
| Compr_Diesel_Subst | 0.85460 | DS_Water_Condensate | 0.38266 |
| Food_Brown | 2.37517 | Water_TotalWeight | 2.32130 |
| Εξάντληση όζοντος | SR | Αιωρούμενα σωματίδια | SR |
| Water_TotalWeight | -0.01745 | BeverageCans_Blue | -0.49514 |
| Food_Brown | 0.18851 | AluminiumFoil_Blue | -0.45319 |
| AluminiumFoil_Blue | 0.50776 | Food_Brown | 1.14387 |
| BeverageCans_Blue | 0.55473 | Water_TotalWeight | 3.12742 |
| Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | SR | Εξάντληση ορυκτών πόρων | SR |
| DS_Water_Condensate | -0.33815 | PlasticBottles_Blue | -0.20400 |
| Compr_Diesel_Subst | -0.15615 | PlasticProducts_Blue | -0.19597 |
| FoodCans_Blue | 0.49175 | Food_Brown | 0.69227 |
| Water_TotalWeight | 0.64155 | Water_TotalWeight | 2.36896 |

Πίνακας 34. Ανάλυση ευαισθησίας, Σενάριο 4

| Σενάριο 4 | | | |
|--------------------------------|----------|-------------------------|----------|
| Κλιματική αλλαγή | | Ανάλυση κόστους | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -2.34908 | Green_Green | -0.27230 |
| Green_Green | -2.07901 | AAA_DS_AUR | -0.13294 |
| PlasticBottles_Blue | 1.60787 | AAA_DS_Eq | 0.14624 |
| Food_Brown | 3.94463 | AAA_Labour_Cost | 0.28045 |
| Εξάντληση όζοντος | | Αιωρούμενα σωματίδια | |
| | SR | | SR |
| DS_heat | -0.01012 | BeverageCans_Blue | -0.63188 |
| Food_Brown | 0.19441 | AluminiumFoil_Blue | -0.57835 |
| AluminiumFoil_Blue | 0.50382 | PaperCardboard_Blue | 0.68893 |
| BeverageCans_Blue | 0.55040 | Food_Brown | 1.28885 |
| Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | | Εξάντληση ορυκτών πόρων | |
| | SR | | SR |
| BeverageCans_Blue | -0.02964 | PlasticBottles_Blue | -0.24802 |
| PaperCardboard_Blue | 0.09879 | PlasticProducts_Blue | -0.23825 |
| Food_Brown | 0.11485 | PaperCardboard_Blue | 0.48808 |
| FoodCans_Blue | 0.49200 | Food_Brown | 0.70110 |

Με βάση την ανάλυση ευαισθησίας, όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, παρατηρείται ότι για τα σενάρια 1.1, 1.2 και 3 η παράμετρος με την πιο αρνητική τιμή είναι η προσθήκη νερού πριν την αναερόβια χώνευση προκειμένου να δημιουργηθεί το αιώρημα του FORBI. Σημειώνεται ότι ενδεχόμενη αύξηση της τιμής της παραμέτρου αυτής κατά 10% έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ισοδύναμου άνθρακα του σεναρίου ακόμη και ως 104% (για το σενάριο 1.1). Αυτή η μεγάλη αύξηση οφείλεται στο γεγονός ότι προκειμένου να πραγματοποιηθεί στη συνέχεια η αναερόβια χώνευση, απαιτείται μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος. Δεδομένου ότι το ρεύμα που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα προέρχεται επί το πλείστον από την καύση του λιγνίτη αυτό συνεπάγεται την επιβάρυνση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής λόγω των εκπομπών αερίων καύσης (μεταξύ των οποίων και αέρια του θερμοκηπίου). Αναφορικά με τα σενάρια 1, 2 και 4 φαίνεται ότι τα χαρτιά και τα χαρτόνια που οδηγούνται στους μπλε κάδους είναι η παράμετρος με το πιο αρνητικό SR. Αύξηση στο ποσοστό των χαρτονιών και χαρτιών που καταλήγουν στους μπλε κάδους συνεπάγεται τη μείωση του περιβαλλοντικού οφέλους του σεναρίου σε όρους εξοικονόμησης ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. Και σε αυτή την περίπτωση η μείωση αυτή στο περιβαλλοντικό όφελος ερμηνεύεται λαμβάνοντας υπόψη ότι για την ανακύκλωση του χαρτιού και του χαρτονιού απαιτείται κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, η παραγωγή του οποίου είναι αρκετά επιζήμια για το περιβάλλον.

Αντίθετα, αναφορικά με τις παραμέτρους που συνεισφέρουν στην μείωση του φαινομένου, προκύπτει για τα σενάρια 1.1, 1.2, 2, 3 και 4 η παράμετρος η οποία εμφανίζει το μεγαλύτερο λόγο ευαισθησίας είναι τα τροφικά υπολείμματα που συλλέγονται στον καφέ κάδο (Food_Brown). Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι μια ενδεχόμενη αύξηση της τάξεως του 10% στην ποσότητα των τροφικών υπολειμμάτων που συλλέγονται στον καφέ κάδο έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του ανθρακικού

αποτυπώματος (μείωση έως και 39,44 % για το σενάριο 4). Αυτό οφείλεται στο ότι εκτρέποντας όσο το δυνατόν περισσότερη ποσότητα από τα τροφικά υπολείμματα στους καφέ κάδους επιτυγχάνεται η αξιοποίησή της, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η ποσότητα των απορριμμάτων που καταλήγουν στο ΧΥΤΑ. Αντίστοιχα για το σενάριο 1 η παράμετρος με το μεγαλύτερο λόγο ευαισθησίας όσον αφορά την κλιματική αλλαγή είναι η αποδόμηση του άνθρακα των τροφικών υπολειμμάτων κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης. Αύξηση του βαθμού της αποδόμησης των τροφικών υπολειμμάτων έχει σαν αποτέλεσμα το παραγόμενο κομπόστ που χρησιμοποιείται ως επικαλυπτικό στο ΧΥΤΑ να περιέχει στη σύστασή του μικρότερο ποσοστό βιοαποικοδομήσιμου άνθρακα με συνέπεια να οξειδώνεται μικρότερο ποσό προς παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου.

Όσον αφορά την εξάντληση του όζοντος η παράμετρος με τον μεγαλύτερο αρνητικό αντίκτυπο για τα αποτελέσματα κατά τη μεταβολή της τιμής της ποικίλει αναλόγως το σενάριο. Για το σενάριο 1, παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος αρνητικός λόγος ευαισθησίας αντιστοιχεί στο ρυθμό αποδόμησης των υπολειμμάτων στο ΧΥΤΑ. Αύξηση στην τιμή του ρυθμού κατά 10% συνεπάγεται αύξηση στην ισοδύναμη ποσότητα CFC κατά 0,13%. Για τα σενάρια 2 και 4 η παράμετρος με τον αρνητικότερο λόγο ευαισθησίας είναι η θερμότητα που απαιτείται κατά τη διεργασία της ξήρανσης (DS_heat). Αυτό οφείλεται στην παραγωγή χλωροφθορανθράκων κατά την καύση του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται ως καύσιμο θέρμανσης. Ο λόγος ευαισθησίας για το σενάριο 2 ισούται με -0,01034 ενώ για το σενάριο 4 είναι ίσος με -0,01012. Τέλος, για τα σενάρια 1.1, 1.2, 3 η αντίστοιχη παράμετρος είναι η ποσότητα νερού που προστίθεται για τη δημιουργία εναιωρήματος FORBI. Ο λόγος ευαισθησίας της συγκεκριμένης παραμέτρου για τα σενάρια αυτά είναι -0,01742, 0,04919 και 0,01745.

Παρατηρείται ότι όπως και το σενάριο αναφοράς έτσι και για όλα τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης, οι δύο παράμετροι που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία ως προς τη μείωση του φαινομένου είναι η ποσότητα των συσκευασιών αλουμινίου και των αλουμινένιων αναψυκτικών που οδηγούνται στην ανακύκλωση. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως αυτό οφείλεται στην υποκατάσταση της αγοράς με ανακυκλώσιμα υλικά. Μια μεταβολή της τάξεως του +10% στις τιμές των παραμέτρων αυτών οδηγεί σε μείωση του φαινομένου έως και 5,9% και 5,4% αντίστοιχα (για το σενάριο 2).

Έπειτα, σχετικά με την κατηγορία των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρείται για τα σενάρια 1, 2 και 4 ότι η παράμετρος με το θετικότερο λόγο ευαισθησίας είναι η ποσότητα των τροφικών υπολειμμάτων που συλλέγονται στον καφέ κάδο. Συγκεκριμένα, μεταβάλλοντας την τιμή της παραμέτρου αυτής κατά 10% έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων των σεναρίων κατά 16,9%, 13,6% και 12,9% αντίστοιχα. Η παράμετρος με το μεγαλύτερο λόγο ευαισθησίας για τα σενάρια 1.1, 1.2 και 3 είναι η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία εναιωρήματος του FORBI πριν την αναερόβια χώνευση. Αύξηση στη τιμή της παραμέτρου αυτή μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των παραγόμενων σωματιδίων έως και κατά 32,9% (για το σενάριο 1.2).

Αντίθετα, η παράμετρος που έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο για τη μείωση του φαινομένου είναι η ποσότητα των αλουμινένιων αναψυκτικών και των συσκευασιών από αλουμίνιο όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και για το σενάριο αναφοράς.

Κατόπιν, σε ότι έχει να κάνει με την κατηγορία των τοξικών μη καρκινογόνων ουσιών, παρατηρείται ότι όπως και στο σενάριο αναφοράς, έτσι και στα σενάρια 1, 2, και 4 η παράμετρος με το μεγαλύτερο λόγο ευαισθησίας είναι η ποσότητα των μεταλλικών κονσερβών φαγητού. Ο λόγος ευαισθησίας για τα τρία σενάρια είναι αντίστοιχα 0,5238, 0,4976 και 0,492. Για τα 1.1, 1.2 και 3 η αντίστοιχη παράμετρος είναι και σε αυτή την περίπτωση η ποσότητα νερού που προστίθεται για τη δημιουργία εναιωρήματος πριν την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης ενώ αμέσως μετά ακολουθεί η ποσότητα των κονσερβών φαγητού.

Για το σενάριο 1.1 και 1.2 η παράμετρος υποκατάστασης του πετρελαίου κίνησης είναι αυτή η οποία έχει τον θετικότερο αντίκτυπο στον περιορισμό των παραγόμενων τοξικών μη καρκινογόνων ουσιών. Το παραγόμενο από τα τροφικά υπολείμματα βιοαέριο και το υθάνιο χρησιμοποιούνται αντικαθιστώντας το πετρέλαιο στα απορριμματοφόρα με αποτέλεσμα να περιορίζονται οι εκπομπές μετάλλων και ιχνοστοιχείων (ψευδάργυρος, μόλυβδος, υδράργυρος) τα οποία συναντώνται σε μικροποσότητα στη σύσταση του πετρελαίου. Αύξηση στο ποσοστό υποκατάστασης του πετρελαίου κίνησης κατά 10% συνεπάγεται μείωση της αντίστοιχης τιμής σε CTU_h κατά 1,7% και 1,6% αντίστοιχα για τα δύο σενάρια. Όσον αφορά τα σενάρια 1, 2 και 4 η παράμετρος με το πιο αρνητικό λόγο ευαισθησίας είναι τα κουτάκια αναψυκτικών από αλουμίνιο που συλλέγονται στους μπλε κάδους ανακύκλωσης. Αυτό οφείλεται στο ότι η ανακύκλωση των αλουμινένιων συσκευασιών και η υποκατάσταση της αγοράς από ανακυκλώσιμα υλικά έναντι της παραγωγής από πρωτογενή υλικά έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των εκπομπών μετάλλων και ιχνοστοιχείων. Τέλος, για το σενάριο 3 η παράμετρος με τον πιο αρνητικό λόγο ευαισθησίας είναι κατά τη διεργασία της ξήρανσης, το ποσοστό του νερού που συμπυκνώνεται και απομακρύνεται από το παραγόμενο FORBI. Αύξηση της τιμής της παραμέτρου κατά 10% έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των καρκινογόνων ουσιών κατά 3,38%.

Για την κατηγορία εξάντλησης των ορυκτών πόρων οι κύριες παράμετροι με τον μεγαλύτερο αντίκτυπο για την εντατικοποίηση του φαινομένου είναι το χαρτί και χαρτόνι των μπλε κάδων για το σενάριο 1, η ποσότητα νερού για τη δημιουργία εναιωρήματος FORBI για τα σενάρια 1.1, 1.2, 3 και το ποσοστό των τροφικών υπολειμμάτων του καφέ κάδου για τα σενάρια 2 και 4. Όσον αφορά το σενάριο 1, όπως και στο σενάριο αναφοράς η μεγάλη ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται για τον τεμαχισμό και την επανεπεξεργασία του χαρτιού προϋποθέτει τη αξιοποίηση του ορυκτού πλούτου και συγκεκριμένα την καύση λιγνίτη μειώνοντας τα αποθέματά του. Ο λόγος ευαισθησίας για τη συγκεκριμένη παράμετρο είναι ίσος με 0,7873. Σχετικά με την ποσότητα νερού πριν την αναερόβια χώνευση, οι λόγοι ευαισθησίας είναι ίσοι με 2,47, 2,49 και 2,36. Η ποσότητα των τροφικών υπολειμμάτων είναι η πιο καθοριστική παράμετρος για τα σενάρια 2 και 4. Αυτό συμβαίνει διότι, εκτρέποντας το ρεύμα των τροφικών υπολειμμάτων από το ΧΥΤΑ μειώνεται η ποσότητα του βιολογικού άνθρακα που

θεωρείται ότι αποθηκεύεται στο έδαφος. Αύξηση 10% στην τιμή της παραμέτρου συνεπάγεται αύξηση της εξάντλησης των ορυκτών πόρων κατά 6,86% για το σενάριο 2 και κατά 7,01% για το σενάριο 4.

Τέλος, η παράμετρος με τον πιο αρνητικό λόγο ευαισθησίας είναι η ποσότητα των πλαστικών μπουκαλιών των μπλε κάδων ανακύκλωσης και είναι κοινή για όλα τα σενάρια. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η ανακύκλωση των πλαστικών μπουκαλιών οδηγεί στην υποκατάσταση μεριδίου της αγοράς από ανακυκλωμένα προϊόντα και συνεπώς τη μείωση της ανθρακικής πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται κατά την πρωτογενή παραγωγή τους. Οι λόγοι ευαισθησίας της συγκεκριμένης παραμέτρου κυμαίνονται από -0,21048 για το σενάριο 1.2 έως και -0,4001 για το σενάριο 1.

Σε ότι αφορά την ανάλυση κόστους του κάθε σεναρίου, από την ανάλυση ευαισθησίας προέκυψε ότι για τα σενάρια 1, 2 και 4 η παράμετρος η οποία αν μεταβληθεί έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στην αύξηση του κόστους είναι το κόστος εργασίας των υπαλλήλων στη συλλογή και τη μεταφορά των απορριμμάτων. Συγκεκριμένα αύξηση της τάξεως του 10% στο ωρομίσθιο των εργαζομένων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού κόστους των σεναρίων 1, 2 και 4 κατά 35,63%, 27,51% και 29,05 % αντίστοιχα. Για τα σενάρια 1.1, 1.2 και 3 παρατηρείται ότι η παράμετρος με τη μεγαλύτερη επιρροή για το σύστημα είναι η συνολική ποσότητα νερού που προστίθεται προκειμένου να δημιουργηθεί το εναιώρημα του FORBI. Αύξηση της ποσότητας του νερού συνεπάγεται την αύξηση της συνολικής μάζας του ρεύματος που οδηγείται στην αναερόβια χώνευση, αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για την θέρμανση του νερού καθώς και αύξηση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας της διεργασίας. Συνεπώς συνολικά το κόστος της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης αυξάνεται.

Τέλος, οι παράμετροι με την μεγαλύτερη επίδραση για τη μείωση του κόστους είναι για τα σενάρια 1.1, 1.2, 2 και 4 το ρεύμα των απορριμμάτων κήπων ενώ για τα σενάρια 1 και 3 το ποσοστό των τροφικών υπολειμμάτων που συλλέγονται στον καφέ κάδο. Ενδεχόμενη αύξηση του ποσοστού των κλαδεμάτων που οδηγούνται για κομποστοποίηση έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των απορριμμάτων που καταλήγουν στο ΧΥΤΑ και συνεπώς τη μείωση του τέλους εισόδου σε αυτό. Αύξηση της τάξης του 10% οδηγεί σε μείωση του συνολικού κόστους του σεναρίου έως και 36,9% για το σενάριο 1.1. Αντίστοιχα αύξηση 10% στο ρεύμα των τροφικών υπολειμμάτων, συνεπάγεται μείωση του τέλους εισόδου αλλά και του κόστους μεταφοράς στο ΧΥΤΑ φτάνοντας έως και συνολικά οφέλη της τάξης του 44,9% για το σενάριο 1.

3.7 Αποτελέσματα ανάλυσης αβεβαιότητας

Η ανάλυση αβεβαιότητας πραγματοποιήθηκε με χρήση της μεθόδου Monte Carlo η οποία και συμπεριλαμβάνεται στις δυνατότητες του λογισμικού μοντελοποίησης Easetech. Η λογαριθμική κατανομή ορίζεται στο Easetech ως LD(φυσικός λογάριθμος τιμής παραμέτρου, φυσικός λογάριθμός γεωμετρικής τυπικής απόκλισης) ενώ η κανονική ως ND(τιμή, τυπική απόκλιση). Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το πώς υπολογίζεται η αβεβαιότητα της παραμέτρου Diesel_Coll_Rec καθώς και πώς αυτή καταχωρείται στο Easetech.

Πίνακας 35. Υπολογισμός αβεβαιότητας παραμέτρου Diesel_Coll_Rec

| Υπολογισμός αβεβαιότητας παραμέτρου | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|------------|--------|--------|--------|
| Παράμετρος | Diesel_Coll_Rec | | | | |
| Τιμή (L diesel/kg total wet weight) | 0.0023 | | | | |
| Pedigree | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Παράγοντες βασικής αβεβαιότητας | 0.0002 | 0 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0006 |
| Παράγοντες πρόσθετης αβεβαιότητας | 0.12 | | | | |
| Γεωμετρική τυπική απόκλιση | 1.416224 | (τύπος 10) | | | |
| Ln(GSD) | 0.34799 | | | | |
| Καταχώρηση Easetech | LD(-6.07484,0.34799) | | | | |

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης αβεβαιότητας για όλα τα σενάρια για τις έξι κύριες κατηγορίες. Αναλυτικά στο παράρτημα συνοψίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης αβεβαιότητας που προέκυψαν και για τις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων.

Πίνακας 36. Ανάλυση αβεβαιότητας, κλιματική αλλαγή και κόστος

| | Κλιματική αλλαγή (kg CO2-eq) | Τυπική απόκλιση | Ανάλυση κόστους (EUR) | Τυπική απόκλιση |
|-------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| Σενάριο 0 | 64.58 | 5.678 | 116.8 | 15.44 |
| Σενάριο 1 | -33.44 | 9.532 | 83.08 | 9.699 |
| Σενάριο 1.1 | -30.91 | 9.898 | 94.96 | 18.43 |
| Σενάριο 1.2 | -56.02 | 8.411 | 93.63 | 18.08 |
| Σενάριο 2 | -57.42 | 8.493 | 111.2 | 15.18 |
| Σενάριο 3 | -48.31 | 9.196 | 90.19 | 17.74 |
| Σενάριο 4 | -28.08 | 6.373 | 108.3 | 14.68 |

Πίνακας 37. Ανάλυση αβεβαιότητας, εξάντληση του όζοντος και αιωρούμενα σωματίδια

| | Εξάντληση του όζοντος (kg CFC 11-eq) | Τυπική απόκλιση | Αιωρούμενα σωματίδια (kg PM2.5-eq) | Τυπική απόκλιση |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|
| Σενάριο 0 | -7.56E-04 | 2.59E-05 | -0.01773 | 0.002328 |
| Σενάριο 1 | -9.00E-04 | 2.67E-05 | 0.01999 | 0.003103 |
| Σενάριο 1.1 | -9.60E-04 | 1.82E-05 | 0.05664 | 0.003166 |
| Σενάριο 1.2 | -9.59E-04 | 2.63E-05 | 0.05694 | 0.003599 |
| Σενάριο 2 | -9.46E-04 | 2.63E-05 | 0.03762 | 0.003004 |
| Σενάριο 3 | -9.63E-04 | 2.54E-05 | 0.06774 | 0.00373 |
| Σενάριο 4 | -9.65E-04 | 2.54E-05 | 0.04654 | 0.00309 |

Πίνακας 38. Ανάλυση αβεβαιότητας, τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες και εξάντληση ορυκτών πόρων

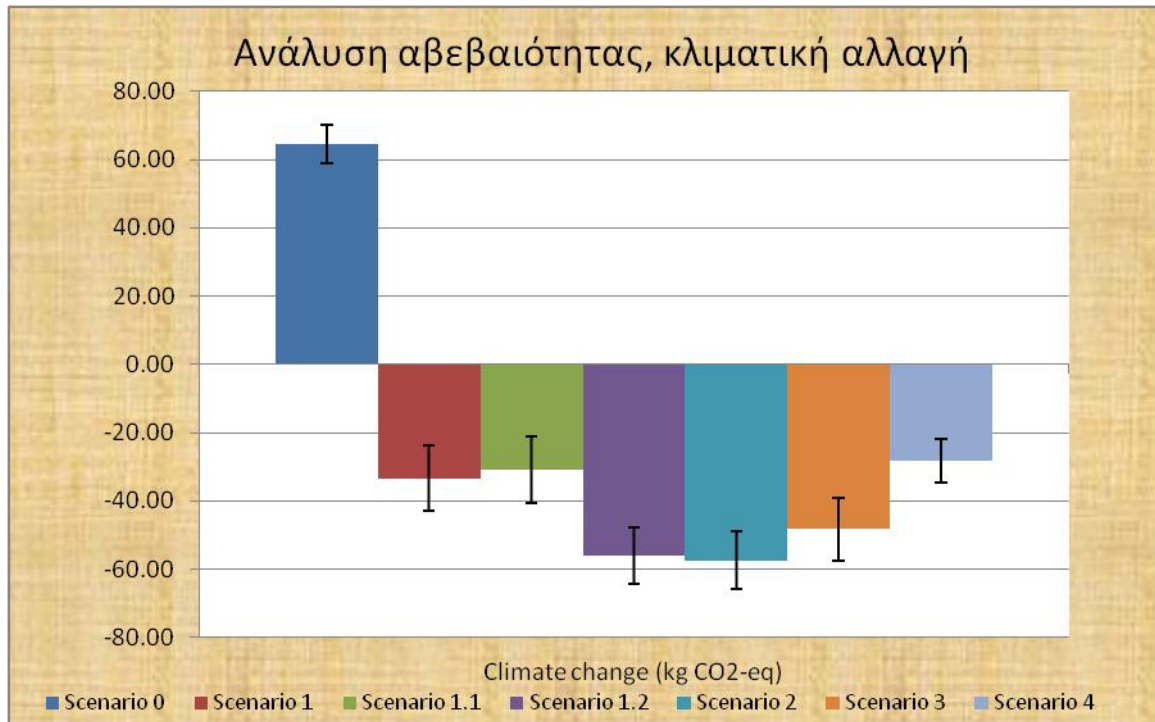
| | Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες (CTUh) | Τυπική απόκλιση | Εξάντληση ορυκτών πόρων (MJ) | Τυπική απόκλιση |
|-------------|---------------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| Σενάριο 0 | 6.55E-05 | 1.49E-06 | 1087 | 125.4 |
| Σενάριο 1 | 7.05E-05 | 1.45E-06 | 2612 | 142.5 |
| Σενάριο 1.1 | 6.89E-05 | 1.84E-06 | 4919 | 173.2 |
| Σενάριο 1.2 | 6.94E-05 | 1.72E-06 | 4951 | 193.8 |
| Σενάριο 2 | 7.43E-05 | 1.44E-06 | 4018 | 160 |
| Σενάριο 3 | 7.73E-05 | 2.01E-06 | 5663 | 192.8 |
| Σενάριο 4 | 7.52E-05 | 1.37E-06 | 4213 | 159.8 |

Τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων για την ανάλυση αβεβαιότητας των βασικών κατηγοριών επιπτώσεων παρουσιάζονται και γραφικά στα παρακάτω διαγράμματα. Η αβεβαιότητα κάθε σεναρίου αποτυπώνεται με μια γραμμή σφάλματος η οποία αντιστοιχεί στην τυπική απόκλιση του καθενός.

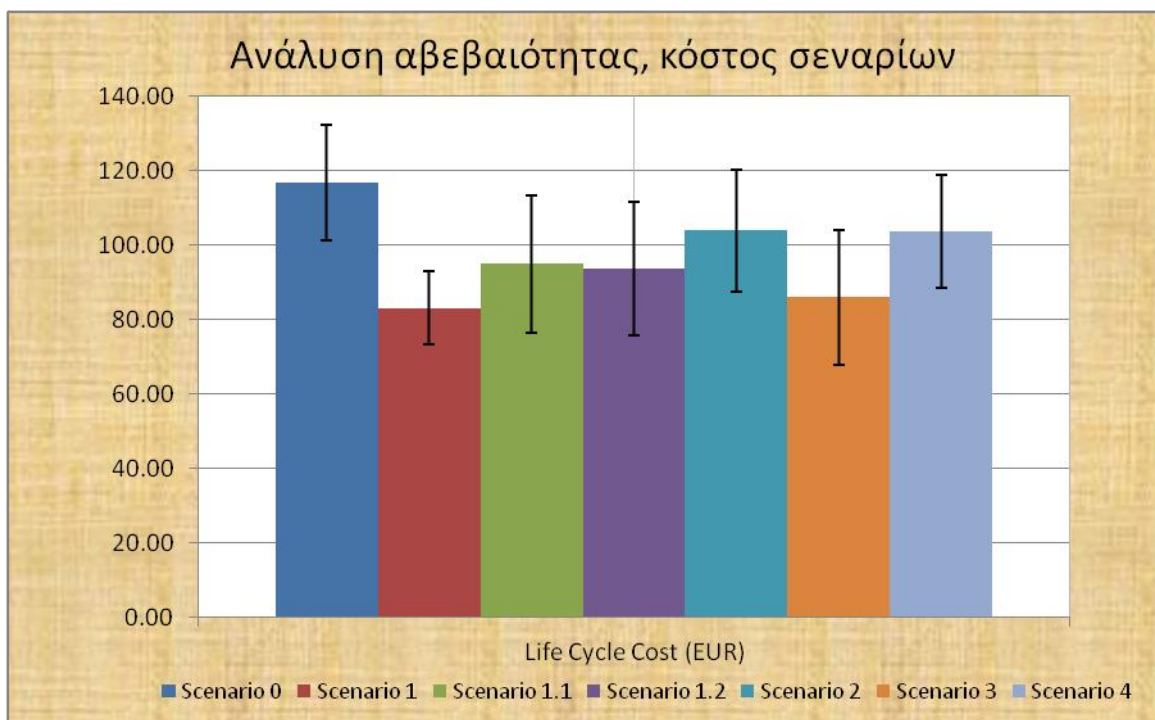
Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης για την κλιματική αλλαγή προκύπτει ότι το σενάριο αναφοράς είναι αυτό με τη μικρότερη αβεβαιότητα καθώς ισούται με $\pm 8,8\%$. Αμέσως μετά ακολουθούν τα σενάρια 2 και 1.2 τα αποτελέσματα των οποίων εμφανίζουν αβεβαιότητα της τάξεως του $\pm 14,9\%$ και $\pm 15,01\%$ αντίστοιχα. Το σενάριο που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα ως προς τα αποτελέσματά του είναι το σενάριο 1.1 καθώς υπολογίστηκε στο $\pm 32,02\%$ (τυπική απόκλιση ίση με 9,9) ενώ αμέσως μετά ακολουθεί το σενάριο 2 με $\pm 28,5$. Εξετάζοντας κάθε μια διεργασία ξεχωριστά, παρατηρείται ότι για το σενάρια 1.1, 1.2 και 3 η διεργασία που εμφανίζει τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα είναι η ταφή των απορριμμάτων στο χώρο υγειονομικής ταφής της Φυλής, με τυπική απόκλιση ίση με 7,16 (για το σενάριο 1.1), ενώ αμέσως μετά ακολουθεί η αναβάθμιση και συμπίεση του παραγόμενου βιοαερίου. Σημαντική είναι και η απόκλιση για τις διεργασίες ανακύκλωσης των απορριμμάτων καθώς και της ξήρανσης/τεμαχισμού. Για τα σενάρια 2 και 4 προκύπτει ότι η διεργασία με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση είναι η ταφή των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ ενώ αμέσως μετά ακολουθεί η ανακύκλωση των απορριμμάτων των μπλε και κίτρινων κάδων. Τέλος για το σενάριο αναφοράς η ανακύκλωση των απορριμμάτων εμφανίζει το μεγαλύτερο σφάλμα με μια τυπική απόκλιση ίση με 3,92 (διάγραμμα 22).

Αντίστοιχα όσον αφορά τα αποτελέσματα της ανάλυσης αβεβαιότητας για το κόστος των σεναρίων παρατηρείται ότι το σενάριο 1 είναι αυτό με το μικρότερο ποσοστό αβεβαιότητας. Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα του σεναρίου αυτού ως προς το κόστος κυμαίνονται στο 83,08 € $\pm 11,7\%$. Κατόπιν ακολουθεί το σενάριο αναφοράς με αβεβαιότητα που φτάνει στο $\pm 13,2\%$ ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τα σενάρια 4 και 2 είναι $\pm 14,59\%$ και $15,63\%$ αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη αβεβαιότητα αντιστοιχεί στο σενάριο 3 καθώς τα αποτελέσματα εμφανίζουν μια διακύμανση της τάξεως του $\pm 20,98\%$. Όσον αφορά τις επιμέρους διεργασίες, για το σενάριο αναφοράς και το

σενάριο 1 παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη αβεβαιότητα εμφανίζεται στη μεταφορά των υπολειμμάτων του πράσινου κάδου στο ΧΥΤΑ της Φυλής. Αντίστοιχα για τα σενάρια 1.1, 1.2 και 3 η διεργασία με τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα στα αποτελέσματά της είναι η ξήρανση/τεμαχισμός ενώ ακολουθεί η αναερόβια χώνευση. Τέλος για τα σενάρια 2 και 4 το μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζεται και εδώ στη διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού.

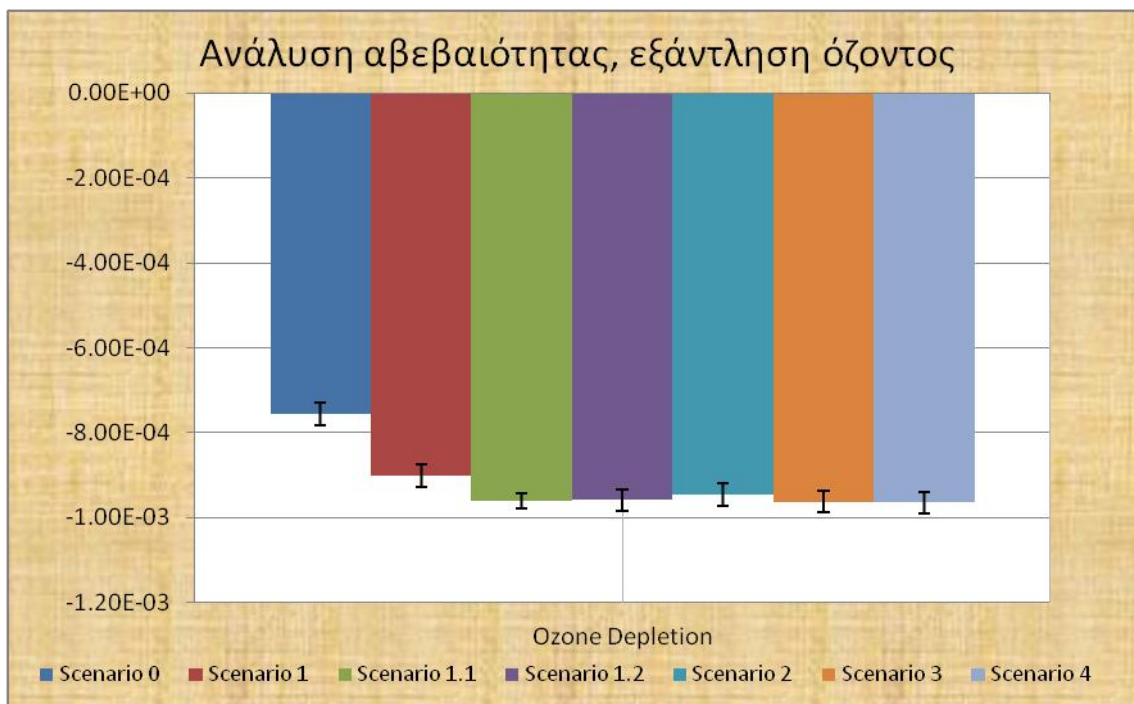


Διάγραμμα 22. Ανάλυση αβεβαιότητας αποτελεσμάτων, κλιματική αλλαγή



Διάγραμμα 23. Ανάλυση αβεβαιότητας αποτελεσμάτων, κόστος κύκλου ζωής

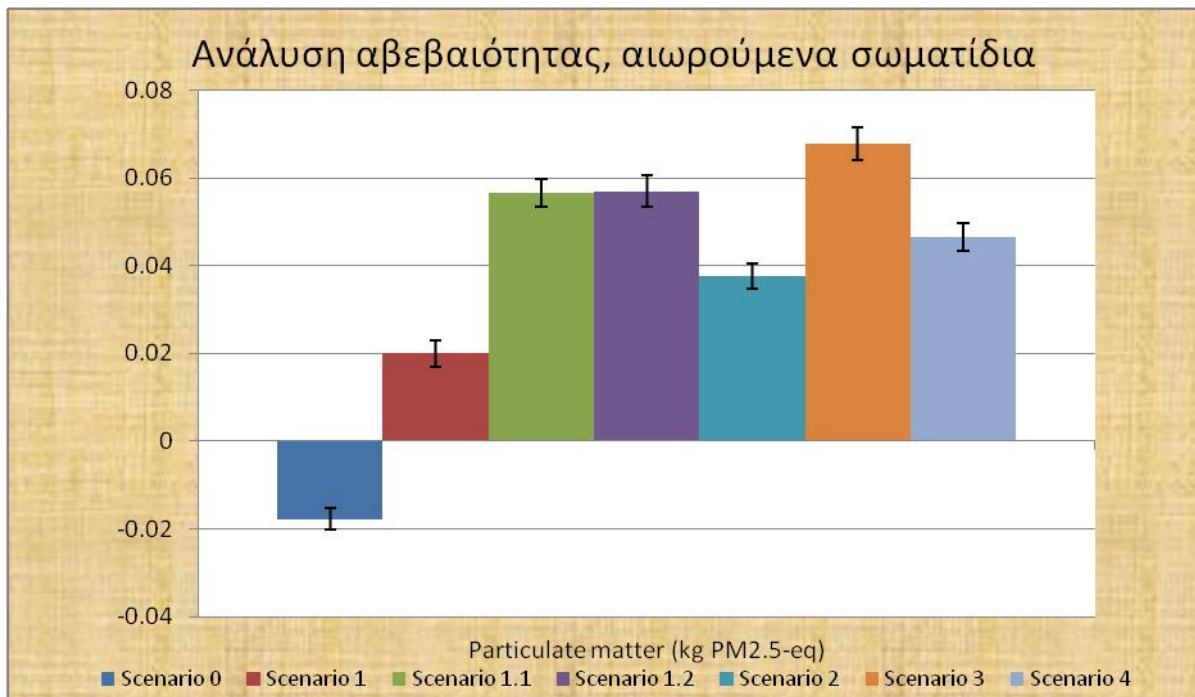
Αναφορικά με την ανάλυση αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων για την κατηγορία επιπτώσεων εξάντληση του όζοντος παρατηρείται ότι όλα τα σενάρια εμφανίζουν μικρές τιμές αποκλίσεων στα αποτελέσματα, οι οποίες κυμαίνονται από το $\pm 1,89\%$ για το σενάριο 1.1 έως και $\pm 3,49\%$ το οποίο αντιστοιχεί στο σενάριο αναφοράς (διάγραμμα 24). Εξετάζοντας τις επιμέρους διεργασίες των σεναρίων προκύπτει ότι για όλα τα σενάρια η διεργασία η οποία συνεισφέρει περισσότερο στην αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων είναι η ανακύκλωση των απορριμμάτων τα οποία συλλέγονται από τους μπλε και κίτρινους κάδους. Η διεργασία με την αμέσως μεγαλύτερη τυπική απόκλιση είναι για όλα τα σενάρια η υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων, ενώ για τα σενάρια 1.1 έως και 4 σημαντική είναι και η συνεισφορά της διεργασίας ξήρανσης/τεμαχισμού στην τελική αβεβαιότητα.



Διάγραμμα 24. Ανάλυση αβεβαιότητας αποτελεσμάτων, εξάντληση του όζοντος

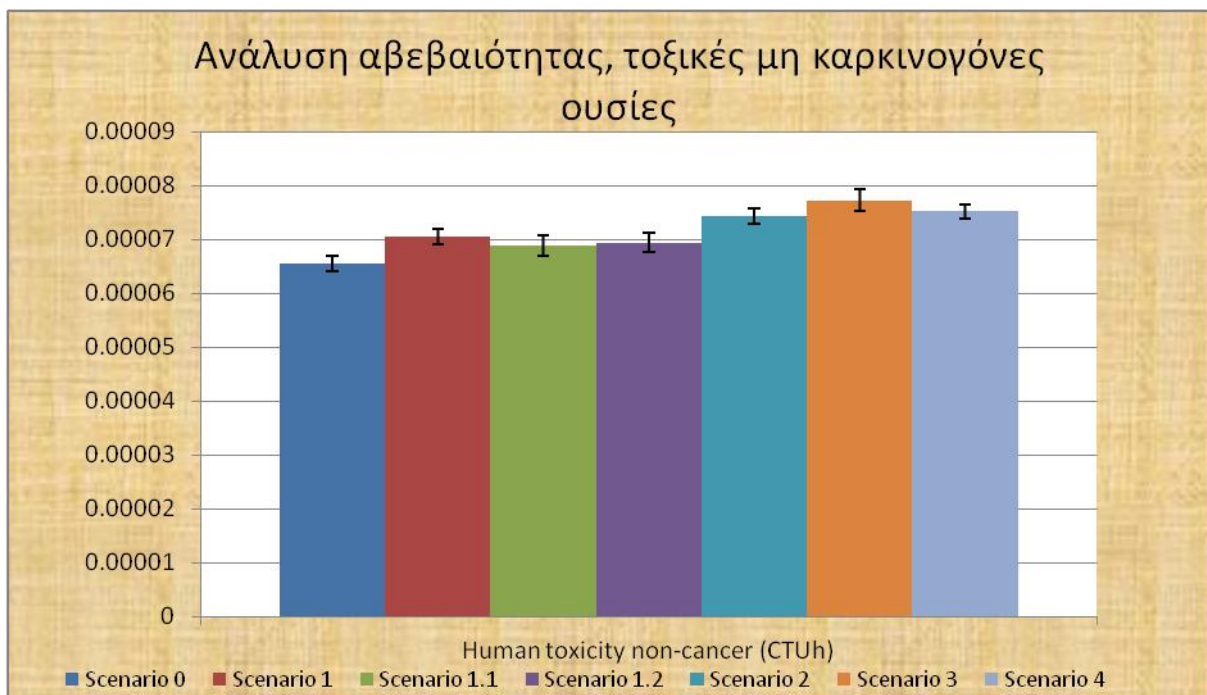
Κατόπιν εξετάζεται η αβεβαιότητα στα αποτελέσματα που αφορούν τα αιωρούμενα σωματίδια (διάγραμμα 25). Στην κατηγορία αυτή παρατηρείται ότι υπάρχει μια σημαντική διαφορά στην αβεβαιότητα των σεναρίων 0 και 1 συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα, ενώ η αβεβαιότητα των σεναρίων 1.1 έως και 4 κυμαίνεται μεταξύ του $\pm 5,51\%$ (η οποία αντιστοιχεί στο σενάριο 3) έως και $\pm 7,99\%$, υπολογίστηκε ότι το σενάριο αναφοράς και το σενάριο 1 εμφανίζουν αισθητά μεγαλύτερη τιμή ($\pm 13,13\%$ και $15,52\%$ αντίστοιχα). Όσον αφορά τις επιμέρους διεργασίες, από την ανάλυση του Easetech προκύπτει ότι για το σενάριο αναφοράς η διεργασία με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση και συνεπώς με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων της κατηγορίας αυτής είναι και σε αυτή την περίπτωση με διαφορά από τις επόμενες η ανακύκλωση των απορριμμάτων που συλλέγονται από τους μπλε και κίτρινους κάδους ($\sigma=0,002029$). Αντίστοιχα για το σενάριο 1 η ταφή των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Φυλής και η ανακύκλωση των απορριμμάτων είναι οι δύο διεργασίες με τις μεγαλύτερες τιμές τυπικής απόκλισης. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για

τα υπόλοιπα σενάρια με τις δύο αυτές διεργασίες να συνεισφέρουν περισσότερο στην συνολική αβεβαιότητα του σεναρίου, ενώ οι τυπικές αποκλίσεις τους εμφανίζουν πολύ κοντινές τιμές.



Διάγραμμα 25. Ανάλυση αβεβαιότητας αποτελεσμάτων, αιωρούμενα σωματίδια

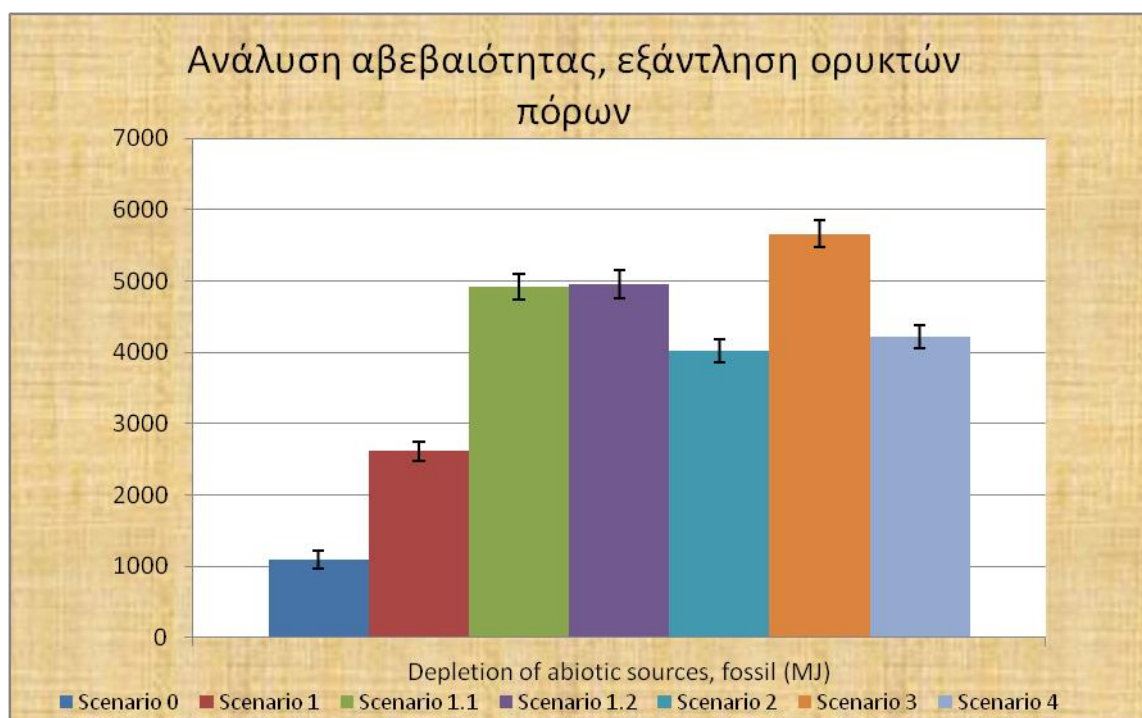
Σχετικά με τα αποτελέσματα των τοξικών μη καρκινογόνων ουσιών, από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει ότι όλα τα σενάρια εμφανίζουν πολύ μικρή αβεβαιότητα και συνεπώς τα αποτελέσματά τους όσον αφορά τη συγκεκριμένη κατηγορία επιπτώσεων είναι αρκετά ακριβή.



Διάγραμμα 26. Ανάλυση αβεβαιότητας αποτελεσμάτων, τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες

Συγκεκριμένα το ποσοστό αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων κυμαίνεται από $\pm 1,82\%$ -το οποίο αντιστοιχεί στο σενάριο 4- μέχρι και $\pm 2,67\%$ το οποίο εμφανίζεται στο σενάριο 1.1 (Διάγραμμα 26). Στις επιμέρους διεργασίες και σε αυτή την περίπτωση για όλα τα σενάρια η ανακύκλωση των απορριμμάτων που συλλέγονται από τους μπλε και κίτρινους κάδους εμφανίζει το μεγαλύτερο σφάλμα ως προς τα αποτελέσματα. Για τα σενάρια 1.1, 1.2 και 3 η διεργασία της συμπίεσης και αναβάθμισης του βιοαερίου και του υθανίου εμφανίζουν τη δεύτερη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση και συνεπώς συνεισφέρουν σημαντικά στην αβεβαιότητα των αντίστοιχων σεναρίων.

Τέλος, αναφορικά με την κατηγορία επιπτώσεων εξάντληση αβιοτικών ορυκτών πόρων παρατηρείται ότι το σενάριο αναφοράς είναι το σενάριο που εμφανίζει τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα με τιμή αποτελεσμάτων ίση με 1087 MJ και τυπική απόκλιση 125,4 υπολογίζεται ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του κύκλου ζωής πιθανώς φέρουν ένα σφάλμα της τάξεως του $\pm 11,54\%$.



Διάγραμμα 27. Ανάλυση αβεβαιότητας αποτελεσμάτων, εξάντληση ορυκτών πόρων

Παρατηρείται ότι για το σενάριο αυτό η διεργασία της ανακύκλωσης των απορριμμάτων εμφανίζει -με μεγάλη διαφορά από την επόμενη- τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα με τυπική απόκλιση ίση με 111,3. Κατόπιν ακολουθούν οι διεργασίες της συλλογής και μεταφοράς των υπολειμμάτων του πράσινου κάδου στο ΧΥΤΑ καθώς και η ταφή τους σε αυτόν με τυπικές αποκλίσεις ίσες με 23,1 και 16,6 αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης εμφανίζουν αισθητά μικρότερη αβεβαιότητα στα αποτελέσματά τους με τα σενάρια 3 και 1.1 να έχουν τα χαμηλότερα ποσοστά σφάλματος, ίσα με 3,4% και 3,52% (διάγραμμα 27). Το σενάριο 1 έχει την αμέσως μεγαλύτερη αβεβαιότητα της τάξεως του 5,46% ($\sigma=142,5$) ενώ οι διεργασίες με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση είναι η ανακύκλωση των απορριμμάτων και η διάθεσή

τους στο ΧΥΤΑ της Φυλής. Για τα σενάρια 1.1, 1.2 και 3, μετά την ανακύκλωση των απορριμμάτων η οποία και σε αυτή την περίπτωση φέρει τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα, η διεργασία της αναερόβιας ξήρανσης είναι αυτή η οποία συνεισφέρει περισσότερο στο ενδεχόμενο σφάλμα των αποτελεσμάτων. Σημαντική συνεισφορά έχει και η διαδικασία αναβάθμισης και συμπίεσης του παραγόμενου βιοαερίου για τα σενάρια 1.1 και 1.2 και του υθανίου για το σενάριο 3.

Αναλυτικά στο παράρτημα παρουσιάζονται οι τυπικές αποκλίσεις και για τις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων ενώ περιλαμβάνεται και η συνεισφορά των επιμέρους διεργασιών στην εξαγωγή της συνολικής αβεβαιότητας για κάθε σενάριο και κατηγορία επιπτώσεων.

4. Συμπεράσματα-Συζήτηση

Όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό μέρος της παρούσας εργασίας, η ανάλυση του κύκλου ζωής και η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής είναι εργαλεία τα οποία επιτρέπουν στο χειριστή να αξιολογήσει την απόδοση σεναρίων, να τα συγκρίνει μεταξύ τους καθώς και να εντοπίσει ενδεχόμενα μειονεκτήματα του κάθε σεναρίου ώστε να μπορέσουν να υπάρξουν βελτιώσεις. Με δεδομένο αυτό, από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για το υφιστάμενο σενάριο που εφαρμόζεται στο Δήμο Χαλανδρίου όσο και για τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Αρχικά από τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής παρατηρήθηκε ότι τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε κομβικές κατηγορίες επιπτώσεων όπως είναι η κλιματική αλλαγή, το φαινόμενο εξάντλησης του όζοντος, το φωτοχημικό νέφος και η εξάντληση των αβιοτικών μη ορυκτών πόρων. Συνεπώς η ξεχωριστή διαλογή των τροφικών υπολειμμάτων και η εκμετάλλευση του ρεύματος αυτού για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων αποτελεί μια επιλογή διαχείρισης με εξαιρετικές προοπτικές. Αξίζει να σημειωθεί ότι ειδικά για την κατηγορία της κλιματικής αλλαγής, η οποία είναι η πιο κομβική και η πιο χαρακτηριστική από τις κατηγορίες επιπτώσεων παρατηρείται πολύ σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα μεταξύ του σεναρίου αναφοράς και των εναλλακτικών σεναρίων, υποδεικνύοντας το περιβαλλοντικά οφέλη της αξιοποίησης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των αστικών στερεών απορριμμάτων. Συγκεκριμένα, από τα 64,58 kg CO₂-eq ανά τόνο απορριμμάτων που υπολογίστηκαν για το σενάριο αναφοράς για τα εναλλακτικά σενάρια το αντίστοιχο ποσό συνεισφοράς στο ανθρακικό αποτύπωμα ισούται με έως και -57,42 kg CO₂-eq. Τα σημαντικά πλεονεκτήματα της ξεχωριστής διαλογής των τροφικών υπολειμμάτων συνοψίζονται στα ακόλουθα δύο σημεία:

- Μείωση των απορριμμάτων που καταλήγουν στο ΧΥΤΑ.

Η αξιοποίηση του ρεύματος των τροφικών υπολειμμάτων έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση των απορριμμάτων που θάβονται στους χώρους υγειονομικής ταφής. Ειδικά για τα δεδομένα της Ελλάδας όπου η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων υγειονομικής ταφής υστερεί από άποψη τεχνολογικού υποβάθρου και δυνατοτήτων συλλογής του παραγόμενου αερίου χωματερής, η ελάττωση των απορριμμάτων που καταλήγουν σε αυτές είναι κομβικής σημασίας. Η μείωση του ρεύματος που οδηγείται στη χωματερή συνεπάγεται τη μείωση του παραγόμενου αερίου χωματερής το οποίο αποτελείται κατά κύριο λόγο από μεθάνιο και διοξείδιο, δύο από τα βασικότερα αέρια του θερμοκηπίου.

- Παραγωγή προϊόντων από τροφικά υπολείμματα και απορρίμματα κήπου.

Το ρεύμα των τροφικών υπολειμμάτων καθώς και αυτό των απορριμμάτων κήπων αξιοποιούνται για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων τα οποία εν δυνάμει μπορούν να υποκαταστήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της αγοράς. Η υποκατάσταση αυτή στην αγορά με προϊόντα που παράγονται από αστικά απορρίμματα συνεπάγεται εξοικονόμηση σε

πρώτες ύλες και συνεπώς συνεισφέρει στον περιορισμό του φαινομένου εξάντλησης των αβιοτικών πόρων. Η παραγωγή των προϊόντων αυτών σε συνδυασμό με την αξιοποίηση των ανακυκλώσιμων υλικών θέτουν τις βάσεις για ένα σύστημα που προσεγγίζει τα όρια της κυκλικής οικονομίας, στοχεύοντας στην ελαχιστοποίηση της ποσότητας των απορριμμάτων που παραμένει ανεκμετάλλευτη.

Σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη δύνανται να αποκομιστούν και από την ελάττωση των εκπομπών καυσαερίων από τα απορριμματοφόρα που μεταφέρουν απορρίμματα από το Δήμο στο ΧΥΤΑ της Φυλής. Η αξιοποίηση των τροφικών υπολειμμάτων θα γίνεται τοπικά, σε κατάλληλες εγκαταστάσεις εντός του Δήμου Χαλανδρίου ελαττώνοντας τα δρομολόγια προς το ΧΥΤΑ και συνεπώς περιορίζοντας τις εκπομπές καυσαερίων των απορριμματοφόρων.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα τα οποία εμφανίζουν τα εναλλακτικά σενάρια για τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν, εντούτοις φαίνεται ότι το υφιστάμενο σενάριο αποδίδει καλύτερα για αρκετές κατηγορίες επιπτώσεων όπως είναι η εξάντληση των ορυκτών πόρων, τα αιωρούμενα σωματίδια και οι τοξικές καρκινογόνες και μη ουσίες. Ο βασικός λόγος για τον οποίο τα εναλλακτικά σενάρια επιφέρουν σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τις συγκεκριμένες κατηγορίες έγκειται στο γεγονός ότι αρκετές από τις διεργασίες εκμετάλλευσης των τροφικών υπολειμμάτων αλλά και των απορριμμάτων κήπου είναι αρκετά ενεργοβόρες καθώς απαιτούν μεγάλη ποσότητα ρεύματος. Ειδικότερα η διεργασία της ξήρανσης και του τεμαχισμού για την παραγωγή του FORBI καταναλώνει σημαντικά ποσά ενέργειας. Το βασικό πρόβλημα στα μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούνται, έγκειται στην πρώτη ύλη από την οποία παράγεται το ρεύμα στην Ελλάδα. Η κύρια πηγή παραγωγής ρεύματος όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι η χρήση του λιγνίτη, ενός ορυκτού καυσίμου με σχετικά χαμηλή θερμογόνο δύναμη του οποίου η καύση είναι εξαιρετικά επιβλαβής για το περιβάλλον.

Συνολικά όσον αφορά τον αντίκτυπο για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης των απορριμμάτων εμφανίζουν εξαιρετικές προοπτικές με την προϋπόθεση της βελτίωσης ορισμένων σημείων του συστήματος. Συγκεκριμένα οι έντονα ενεργοβόρες διεργασίες πρέπει να μελετηθούν προκειμένου να βρεθούν τρόποι βελτιστοποίησής τους. Ιδανικά, η χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως πιο πράσινες και περιβαλλοντικά φιλικές (πχ αιολική και ηλιακή) σε σχέση με το υφιστάμενο τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, αποτελεί κομβικό σημείο για την αποτελεσματικότητα των εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης και της αξιοποίησης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Αναφορικά με την ανάλυση κόστους παρατηρείται ότι όλα τα εναλλακτικά σενάρια εμφανίζουν αρκετά μειωμένο συνολικό κόστος σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Το γεγονός αυτό έχει να κάνει με την μείωση των απορριμμάτων που οδηγούνται στο ΧΥΤΑ της Φυλής καθώς πλέον εξοικονομείται ένα μέρος χρημάτων που αφορά τα τέλη εισόδου (49€/ τόνο) στο χώρο υγειονομικής ταφής, αλλά κυρίως με την υποκατάσταση της αγοράς με τα προϊόντα που παράγονται από τα τροφικά υπολείμματα και τα απορρίμματα κήπου. Οι δύο αυτοί παράγοντες αντισταθμίζουν το μεγάλο κόστος που αντιστοιχεί στην αγορά εξοπλισμού αλλά και στα λειτουργικά έξοδα των εγκαταστάσεων αξιοποίησης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ. Συνεπώς από οικονομικής

άποψης τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης είναι βιώσιμα και φαίνονται σημαντικά πιο συμφέροντα σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

Όσον αφορά τη σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης μεταξύ τους, παρατηρείται ότι όλα εμφανίζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με αρκετά κοντινές τιμές για την πλειονότητα των κατηγοριών επιπτώσεων με κάποια ωστόσο να ξεχωρίζουν σε συγκεκριμένες κατηγορίες. Από όλα τα σενάρια αυτό που φαίνεται να ξεχωρίζει συγκριτικά με τα υπόλοιπα είναι το σενάριο 1 το οποίο εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα σε 8 από τις κατηγορίες επιπτώσεων. Τα αποτελέσματα αυτά είναι εν μέρει αναμενόμενα, δεδομένου ότι το σενάριο αυτό δεν περιλαμβάνει την διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού η οποία όπως φάνηκε από την ανάλυση είναι η πιο επιζήμια διεργασία περιβαλλοντικά. Από κει και πέρα, το σενάριο 1.1 της παραγωγής βιοαερίου εμφανίζει τα περισσότερα περιβαλλοντικά οφέλη σε 3 κατηγορίες επιπτώσεων (τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες, φωτοχημικό νέφος και εξάντληση μη ορυκτών πόρων). Πρόκειται για ένα σενάριο το οποίο πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι βιώσιμο και οικονομικά καθώς με την παραγωγή του βιοαερίου υποκαθίσταται η χρήση πετρελαίου κίνησης στα απορριμματοφόρα εξοικονομώντας χρηματικούς πόρους. Με γνώμονα τη βελτίωση της διεργασίας της ξήρανσης/τεμαχισμού, το σενάριο αυτό αποτελεί μια επιλογή στη διαχείριση των απορριμμάτων με αρκετές προοπτικές σε περιβαλλοντικό και οικονομικό επίπεδο. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται για το σενάριο παραγωγής υθανίου (1.2) το οποίο έχει πολύ κοντινές τιμές με το σενάριο 1.1 (σε τρεις κατηγορίες κατατάσσεται δεύτερο ενώ σε τέσσερις είναι τρίτο). Τα χειρότερα αποτελέσματα συγκριτικά φαίνεται να παρουσιάζει το σενάριο 3 το οποίο ενώ δεν διαφέρει πολύ στις τιμές των αποτελεσμάτων εντούτοις κατατάσσεται τελευταίο σε 8 κατηγορίες. Ωστόσο, οι διαφορές μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων για τις περισσότερες κατηγορίες είναι αρκετά μικρές καθιστώντας δύσκολη την επιλογή ή την απόρριψη κάποιου σεναρίου.

Τέλος, σχετικά με την ανάλυση αβεβαιότητας παρατηρείται ότι για τις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων οι τυπικές αποκλίσεις έχουν χαμηλές τιμές υποδεικνύοντας ότι τα αποτελέσματα είναι αρκετά ακριβή. Οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις των αποτελεσμάτων εμφανίζονται για την κατηγορία της κλιματικής αλλαγής ωστόσο σύμφωνα και με παρόμοιες μελέτες είναι κάτι το οποίο αναμενόταν. Στις προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση της παρούσας ανάλυσης προτείνεται η βελτιστοποίηση των δεδομένων που εισάγονται στο σύστημα όσον αφορά την εγκυρότητά τους. Συγκεκριμένα, σε μελλοντική μελέτη θα πρέπει να αναζητηθούν πιο ακριβή και εξιδανικευμένα δεδομένα για τις παραμέτρους εκείνες οι οποίες εμφανίζουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας (με βάση την πρόσθετη αβεβαιότητα) και οι οποίες είναι καθοριστικές για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων με βάση την ανάλυση ευαισθησίας.

5. Βιβλιογραφία

1. http://www.wwf.gr/images/pdfs/fact_sheet_sterea_apovlita.pdf
2. Λοϊζίδου, Μ. (2006). *Στερεά απόβλητα*. Αθήνα: ΕΜΠ.
3. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
4. https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcod=e=t2020_rt120&plugin=1
5. <https://ensia.com/features/methane-landfills/>
6. <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>
7. https://ec.europa.eu/clima/change/causes_el
8. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/targets>
9. Jeroen B. Guinee, R. H. (2010). *Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future*. Leiden: Institute of Environmental Sciences, Leiden University.
10. Ανάλυση κύκλου ζωής, Πράσινη Χημεία και Μηχανική, Σημειώσεις μαθήματος, ΕΜΠ, Αθήνα, 2019
11. ISO 14040 International Standard. *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2006.
12. ISO 14044 International Standard. *Environmental management- Life cycle assessment - Requirements and guidelines*; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2006.
13. Marcelle C. McManus, Caroline M. Taylor (2015). *The changing nature of life cycle assessment*. Elsevier.
14. <https://www.e-education.psu.edu/eme807/node/690>
15. Mary Ann Curran, (2014). *Strengths and Limitations of Life Cycle Assessment*.
16. Terry Coleman, P. Masoni, A. Dryer, F. Mcdougall. *International Expert Group on Life Cycle Assessment for Integrated Waste Management*.
17. Konstantinos Abeliotis, (2011). *Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management*.

18. Anders Damgaard, (2010). *Implementation of life cycle assessment models in solid waste management*. PhD thesis, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark.
19. H. Chen, Y. Yang, W. Jiang, M. Song, Y. Wang and T. Xiang, (2016). *Source separation of municipal solid waste: The effects of different separation methods and citizens' inclination- case study of Changsha, China*
20. Yee Van Fan, Jiri Jaromir Klemes, Chew Tin Lee, Simon Perry, (2018). *Anaerobic digestion of municipal solid waste: Energy and carbon emission footprint*.
21. A.K. Pathak, M.M. Singh, V. Kumar, (2011). *Composting of municipal solid waste: a sustainable waste management technique in indian cities- a review*.
22. Jun Nakatani, (2014). *Life Cycle Inventory Analysis of Recycling: Mathematical and Graphical Frameworks*
23. F. McDougall, P. White, M. Franke, P. Hindle. *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*
24. <https://ecochain.com/knowledge/impact-categories-lca/>
25. <http://ecoconception.oree.org/EN/what-is-a-life-cycle-cost-analysis.html>
26. <https://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm>
27. David Hunkeler, Kerstin Lichtenvort, Gerald Rebitzer, (2008). *Environmental Life Cycle Costing*
28. Fabio De Menna, M. Loubiere, J. Dietershagen, N. Unger, M. Vittuary , (2016). *Methodology for evaluating LCC*
29. Veronica Martinez-Sanchez, Mikkel A. Kromann, Thomas Fruergaard Astrup, (2014). *Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation, principles and case studies*
30. Faraca Giorgia, Martinez-Sanchez Veronica, Astrup Thomas F., (2019). *Environmental life cycle cost assessment: Recycling of hard plastic waste collected at Danish recycling centres*
31. Bisinella Valentina, Conradsen Knut, Christensen Thomas, Astrup Thomas F., (2016). *A global approach for sparse representation of uncertainty in Life Cycle Assessments of waste management systems*

32. Edelen A., Ingwersen W., (2016). *Guidance on Data Quality Assessment for Life Cycle Inventory Data*
33. Bo Pedersen Weidema, Marianne Suhr Wesnæs, (1996). *Data quality management for life cycle inventories-an example of using data quality indicators*
34. Muller S., Lesage P., Citroth A., Mutel C., (2014). *The application of the pedigree approach to the distributions foreseen in ecoinvent v3*
35. https://www.ecoinvent.org/support/faqs/methodology-of-ecoinvent-3/how-to-interpret-the-uncertainty-fields-in-ecoinvent.html?fbclid=IwAR1RWtE89wnhaBKX9yC9lw8N9IzP-WLL79sE2DDLK_kzuHBafGkp-tTS5MU

6. Παράρτημα

Πίνακας 39. Παράμετροι μοντελοποίησης ανάλυσης κύκλου ζωής

| Παράμετροι Μοντελοποίησης του Easetech (LCA) | | |
|--|--------------------------|--------|
| Όνομα | Παράμετρος | Τιμή |
| Στον μπλε κάδο | | |
| Μη ανακυκλώσιμο γυαλί | NonRecGlass_Blue | 5.26 |
| Καθαρό γυαλί | ClearGlass_Blue | 89.68 |
| Ξύλο | Wood_Blue | 15.67 |
| Μπαταρίες | Batteries_Blue | 100.00 |
| Άλλα μη εύφλεκτα υλικά | OtherNonComb_Blue | 55.09 |
| Πέτρες, τσιμέντο | StonesConcrete_Blue | 11.12 |
| Χώμα | Soil_Blue | 1.72 |
| Άλλα εύφλεκτα υλικά | OtherCombustibles_Blue | 52.28 |
| Πάνες | DiapersSanitary_Blue | 5.96 |
| Παπούτσια, δερμάτινα ρούχα | ShoesLeather_Blue | 31.77 |
| Υφάσματα | Textiles_Blue | 54.05 |
| Αλουμινόχαρτο | PlasticCoated_Blue | 20.66 |
| Συσκευασίες γάλακτος | MilkCartons_Blue | 44.16 |
| Συσκευασίες αλουμινίου | AluminiumFoil_Blue | 64.81 |
| Άλλα μέταλλα | OtherMetals_Blue | 40.93 |
| Κουτάκια αναψυκτικών από αλουμίνιο | BeverageCans_Blue | 70.97 |
| Κονσέρβες τροφών (λευκοσίδηρος/χάλυβας) | FoodCans_Blue | 79.27 |
| Πλαστικά προϊόντα (παιχνίδια, κρεμάστρες, στυλό) | PlasticProducts_Blue | 89.64 |
| Πλαστικές μεμβράνες | SoftPlastic_Blue | 51.31 |
| Πλαστικά μπουκάλια | PlasticBottles_Blue | 63.53 |
| Βρώμικο χαρτόνι | Cardboard_Blue | 35.11 |
| Βρώμικο χαρτί | Paper_Blue | 35.11 |
| Συσκευασίες από χαρτί και χαρτόνι | PaperCardboard_Blue | 48.73 |
| Περιττώματα και στρώμνη | BiodOther_Blue | 0.00 |
| Υπολείμματα κήπων, λουλούδια | Green_Blue | 0.06 |
| Food Waste | Food_Blue | 1.89 |
| Στον κίτρινο κάδο | | |
| Μη ανακυκλώσιμο γυαλί | NonRecGlass_Yellow | 0.0000 |
| Καθαρό γυαλί | ClearGlass_Yellow | 0.9400 |
| Ξύλο | Wood_Yellow | 0.0000 |
| Μπαταρίες | Batteries_Yellow | 0.0000 |
| Άλλα μη εύφλεκτα υλικά | OtherNonComb_Yellow | 0.0000 |
| Πέτρες, τσιμέντο | StonesConcrete_Yellow | 0.0000 |
| Χώμα | Soil_Yellow | 0.1300 |
| Άλλα εύφλεκτα υλικά | OtherCombustibles_Yellow | 1.5200 |
| Πάνες | DiapersSanitary_Yellow | 0.1500 |
| Παπούτσια, δερμάτινα ρούχα | ShoesLeather_Yellow | 0.0000 |

| | | |
|--|-------------------------|---------|
| Υφάσματα | Textiles_Yellow | 0.1600 |
| Αλουμινόχαρτο | PlasticCoated_Yellow | 0.3000 |
| Συσκευασίες γάλακτος | MilkCartons_Yellow | 3.8600 |
| Συσκευασίες αλουμινίου | AluminiumFoil_Yellow | 0.1100 |
| Άλλα μέταλλα | OtherMetals_Yellow | 0.0000 |
| Κουτάκια αναψυκτικων από αλουμίνιο | BeverageCans_Yellow | 1.7200 |
| Κονσέρβες τροφών (λευκοσίδηρος/χάλυβας) | FoodCans_Yellow | 0.0000 |
| Πλαστικά προϊόντα (παιχνίδια, κρεμάστρες, στυλό) | PlasticProducts_Yellow | 1.0400 |
| Πλαστικές μεμβράνες | SoftPlastic_Yellow | 1.5800 |
| Πλαστικά μπουκάλια | PlasticBottles_Yellow | 1.3600 |
| Βρώμικο χαρτόνι | Cardboard_Yellow | 44.1200 |
| Βρώμικο χαρτί | Paper_Yellow | 44.1200 |
| Συσκευασίες από χαρτί και χαρτόνι | PaperCardboard_Yellow | 34.7100 |
| Περιττώματα και στρώμνη | BiodOther_Yellow | 0.0000 |
| Υπολείμματα κήπων, λουλούδια | Green_Yellow | 0.0000 |
| Τροφικά υπολείμματα | Food_Yellow | 0.0900 |
| Στον καφέ κάδο | | |
| Μη ανακυκλώσιμο γυαλί | NonRecGlass_Brown | 0 |
| Καθαρό γυαλί | ClearGlass_Brown | 0 |
| Ξύλο | Wood_Brown | 0 |
| Μπαταρίες | Batteries_Brown | 0 |
| Άλλα μη εύφλεκτα υλικά | OtherNonComb_Brown | 0 |
| Πέτρες, τσιμέντο | StonesConcrete_Brown | 0 |
| Χώμα | Soil_Brown | 0 |
| Άλλα εύφλεκτα υλικά | OtherCombustibles_Brown | 0 |
| Πάνες | DiapersSanitary_Brown | 0 |
| Παπούτσια, δερμάτινα ρούχα | ShoesLeather_Brown | 0 |
| Υφάσματα | Textiles_Brown | 0 |
| Αλουμινόχαρτο | PlasticCoated_Brown | 0 |
| Συσκευασίες γάλακτος | MilkCartons_Brown | 0 |
| Συσκευασίες αλουμινίου | AluminiumFoil_Brown | 0 |
| Άλλα μέταλλα | OtherMetals_Brown | 0 |
| Κουτάκια αναψυκτικων από αλουμίνιο | BeverageCans_Brown | 0 |
| Κονσέρβες τροφών (λευκοσίδηρος/χάλυβας) | FoodCans_Brown | 0 |
| Πλαστικά προϊόντα (παιχνίδια, κρεμάστρες, στυλό) | PlasticProducts_Brown | 0 |
| Πλαστικές μεμβράνες | SoftPlastic_Brown | 0 |
| Πλαστικά μπουκάλια | PlasticBottles_Brown | 0 |
| Βρώμικο χαρτόνι | Cardboard_Brown | 0 |
| Βρώμικο χαρτί | Paper_Brown | 0 |
| Συσκευασίες από χαρτί και χαρτόνι | PaperCardboard_Brown | 0 |
| Περιττώματα και στρώμνη | BiodOther_Brown | 0 |
| Υπολείμματα κήπων, λουλούδια | Green_Brown | 0 |
| Τροφικά υπολείμματα | Food_Brown | 98.0200 |

| | | |
|---|-----------------------------|----------|
| Υπολείμματα κήπων, λουλούδια | Green_Green | 99.94 |
| Συλλογή και μεταφορά | | |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για συλλογή ανακυκλώσιμων μπλε κάδου (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Coll_Rec | 0.002300 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για συλλογή χαρτιού-χαρτονιού (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Coll_PaCa | 0.002800 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για συλλογή απορριμμάτων πράσινου κάδου (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Coll_Res | 0.002400 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για συλλογή τροφικών υπολειμμάτων (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Coll_Food | 0.002400 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για συλλογή κλαδεμάτων και απορριμμάτων κήπου (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Coll_Green | 0.002400 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μεταφορά ανακυκλώσιμων μπλε κάδου (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Transp_Rec | 0.000115 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μεταφορά χαρτιού-χαρτονιού (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Transp_PaCa | 0.00009 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μεταφορά απορριμμάτων πράσινου κάδου (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Transp_Res | 0.00008 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μεταφορά τροφικών υπολειμμάτων (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Transp_Food | 0.00008 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μεταφορά κλαδεμάτων και απορριμμάτων κήπου (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Transp_Green | 0.00008 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μεταφορά παραγόμενου πέλετ στους κατοίκους Χαλανδρίου (Ldiesel/kg TotalWetWeight) | Diesel_Transp_Pellet | 0.00006 |
| Απόσταση από το Κέντρο διαλογής και ανάκτησης έως το Κορωπί | Dis_MRF | 22 |
| Απόσταση από το σημείο συλλογής μέχρι το ΧΥΤΑ Φυλής (km) | Dis_Landfill | 25 |
| Απόσταση διανομής πέλλετ στους κατοίκους του Χαλανδρίου | Dis_Halandri | 12 |
| Κέντρο διαλογής και ανάκτησης υλικών | | |
| Καταναλώσιμο ηλεκτρικό ρεύμα στο ΚΔΑΥ (KWh/kg) | MRF_elec | 0.0500 |
| Καταναλώσιμη θερμική ενέργεια στο ΚΔΑΥ (MJ/kg) | MRF_heat | 0.0189 |
| Απόσταση ΚΔΑΥ από ΧΥΤΑ Φυλής (km) | Dis_MRFToLandfill | 38.00 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μεταφορά υπολειμμάτων ΚΔΑΥ στο ΧΥΤΑ Φυλής (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Diesel_Transp_MRFToLandfill | 0.00008 |
| Χώρος υγειονομικής ταφής | | |

| | | |
|---|------------------------|---------|
| Βαθμός αποδόμησης τροφικών υπολειμμάτων | k_rate_FW | 0.137 |
| Χρονικός ορίζοντας μελέτης | Time_Horizon | 100.00 |
| Καθαρή διήθηση νερού (mm/year) | Net_Inf | 330.00 |
| Ύψος στρώματος αποβλήτων (m) | Height_Landfill | 15.00 |
| Φαινόμενη πυκνότητα (t/m ³) | Density_Landfill | 1.00 |
| Ξήρανση/τεμαχισμός | | |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ξήρανση/τεμαχισμό (KWh/kg) | DS_elec | 0.1008 |
| Κατανάλωση θερμικής ενέργειας για ξήρανση/τεμαχισμό (MJ/kg) | DS_heat | 4.2300 |
| Ποσοστό νερού συμπυκνώματος (%) | DS_Water_Condensate | 97.50 |
| Ποσοστό πτητικών στερεών στο συμπύκνωμα (%) | DS_VS_Condensate | 50.00 |
| Ποσοστό βιοαποδομήσιμου άνθρακα στο συμπύκνωμα (%) | DS_Cbioand_Condensate | 30.54 |
| Περιεχόμενο νερο στο συνολικό βάρος (%) | Water_TotalWeight | 85.00 |
| Απαιτούμενο νερό για δημιουργία εναιωρήματος (kgWater/kgTotalWetWeight) | Water_Process | 4.93 |
| Αναερόβια χώνευση | | |
| Μετατροπή αποδομήσιμου άνθρακα σε μεθάνιο (%) | AD_Cbioand_to_CH4 | 90.00 |
| Περιεχόμενο μεθάνιο στο βιοαέριο (%) | AD_CH4_Content | 65.50 |
| Απώλεια πτητικών στερεών σε σχέση με απώλεια βιογενή άνθρακα | AD_VSloss_to_BiogCloss | 1.91 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μηχάνημα φόρτωσης (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | AD_Diesel | 0.0009 |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (KWh/kgTotalWetWeight) | AD_elec | 0.04900 |
| Κατανάλωση θερμότητας για θέρμανση νερού (MJ/kgTotalWetWeight) | AD_Water_heat | 0.06783 |
| Κατανάλωση θερμότητας για θέρμανση στερεών (MJ/kgTotalWetWeight) | AD_Solids_heat | 0.00855 |
| Διαρροή μεθανίου (%) | AD_CH4_leak | 2.00 |
| Αναβάθμιση και συμπίεση βιοαερίου | | |
| Ποσοστό μεθανίου που οδηγείται στο ρεύμα μεθανίου (%) | CH4_to_CH4Frac | 98.00 |
| Ποσοστό διοξειδίου που οδηγείται στο ρεύμα μεθανίου (%) | CO2_to_CH4Frac | 1.00 |
| Ποσοστό νερού που οδηγείται στο ρεύμα μεθανίου (%) | Water_to_CH4Frac | 0.00 |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για αναβάθμιση βιοαερίου (KWh/kgTotalWetWeight) | Biog_Upgr_elec | 0.10 |
| Κατανάλωση θερμότητας (MJ/kgTotalWetWeight) | Biog_Upgr_heat | 2.25 |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για συμπίεση βιοαερίου (KWh/kgTotalWetWeight) | Compr_elec | 0.43 |

| | | |
|---|--------------------------------|---------|
| Υποκατάσταση συμβατικού υγρού καυσίμου μεταφοράς (L diesel/m ³ CH ₄) | Compr_Diesel_Subst | -0.994 |
| Μείωση υγρασίας πριν την κομποστοποίηση | | |
| Μείωση υγρασίας (%) | Comp_Moist_Red | 45.00 |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για μείωση υγρασίας (KWh/kgTotalWetWeight) | Moist_Red_elec | 0.0436 |
| Κομποστοποίηση | | |
| Αποδόμηση πτητικών στερεών τροφικών υπολειμμάτων (%) | Comp_VS_Deg_FW | 73.50 |
| Αποδόμηση πτητικών στερεών απορριμμάτων κήπου και κλαδεμάτων (%) | Comp_VS_Deg_GW | 54.60 |
| Αποδόμηση άνθρακα τροφικών υπολειμμάτων (%) | Comp_C_Deg_FW | 73.50 |
| Αποδόμηση άνθρακα απορριμμάτων κήπου και κλαδεμάτων (%) | Comp_C_Deg_GW | 54.60 |
| Αποδόμηση αζώτου (%) | Comp_N_Deg | 71.00 |
| Κατανάλωση καυσίμου για μηχάνημα φόρτωσης (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | Comp_Diesel | 0.001 |
| Αναερόβια χώνευση δύο σταδίων | | |
| Μετατροπή αποδομήσιμου άνθρακα σε μεθάνιο (%) | TwoStageAD_Cbioand_to_CH4 | 91.00 |
| Περιεχόμενο μεθάνιο στο βιοαέριο (%) | TwoStageAD_CH4_Content | 65.50 |
| Απώλεια πτητικών στερεών σε σχέση με βιογενή άνθρακα | TwoStageAD_VSloss_to_BiogCloss | 1.91 |
| Κατανάλωση πετρελαίου κίνησης για μηχάνημα φόρτωσης (Ldiesel/kgTotalWetWeight) | TwoStageAD_Diesel | 0.0018 |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (KWh/kgTotalWetWeight) | TwoStageAD_elec | 0.04900 |
| Κατανάλωση θερμότητας για θέρμανση νερού (MJ/kgTotalWetWeight) | TwoStageAD_Water_heat | 0.12138 |
| Κατανάλωση θερμότητας για θέρμανση στερεών (MJ/kgTotalWetWeight) | TwoStageAD_Solids_heat | 0.01530 |
| Διαρροή μεθανίου (%) | TwoStageAD_CH4_leak | 2.00 |
| Υποκατάσταση συμβατικού υγρού καυσίμου μεταφοράς (L diesel/m ³ CH ₄) | TwoStage_Compr_Diesel_Subst | -0.946 |
| Bioethanol generation | | |
| Κατανάλωση θεικού οξέος (kg/kg Total Wet Weight) | BioEtOH_Sulf_Ac | 0.01 |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (KWh/kgTotalWetWeight) | BioEtOH_elec | 0.05 |
| Κατανάλωση θερμότητας (MJ/kgTotalWetWeight) | BioEtOH_heat | 3.40 |
| Υποκατάσταση συμβατικού καυσίμου στα οχήματα (MJ from Petrol/kg BioOH) | BioEtOH_Petrol_Subst | -4.40 |
| Κατανάλωση ενζύμων (kg/kg Total Wet Weight) | BioEtOH_Enzymes | 0.009 |
| Pelletizer | | |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας | Pellet_elec | 0.0202 |

| | | |
|--|-------------------|-------|
| (KWh/kgTotalWetWeight) | | |
| Home Pellet combustion device | | |
| Υποκατάσταση φυσικού αερίου (MJnatural gas/MJpellet) | Pellet_Heat_Subst | -0.77 |

Πίνακας 40. Παράμετροι μοντελοποίησης ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής

| Παράμετροι μοντελοποίησης του Easetech (LCC) | | |
|---|------------------------|------------|
| Παράμετρος | Όνομα | Τιμή |
| Συλλογή και μεταφορά | | |
| Στον μπλε κάδο | | |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης μπλε κάδων (kg/year) | AAA_AUR_Containers_REC | 3945.7 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης απορριμματοφόρων (kg/year) | AAA_AUR_Trucks_REC | 986048.293 |
| Εργατοώρες ανά κιλό απορριμμάτων (manhour/kg) | AAA_manhour_REC | 0.00456367 |
| Στον κίτρινο κάδο | | |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης κίτρινων κάδων (kg/year) | AAA_AUR_Containers_PC | 2268.32476 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης απορριμματοφόρων (kg/year) | AAA_AUR_Trucks_PC | 1571407.1 |
| Εργατοώρες ανά κιλό απορριμμάτων (manhour/kg) | AAA_manhour_PC | 0.00286368 |
| Στον πράσινο κάδο | | |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης πράσινων κάδων (kg/year) | AAA_AUR_Containers_RES | 998.822 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης απορριμματοφόρων (kg/year) | AAA_AUR_Trucks_RES | 391189.929 |
| Εργατοώρες ανά κιλό απορριμμάτων (manhour/kg) | AAA_manhour_RES | 0.01150338 |
| Στον καφέ κάδο | | |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης καφέ κάδων (kg/year) | AAA_AUR_Containers_FW | 6245.651 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης απορριμματοφόρων (kg/year) | AAA_AUR_Trucks_FW | 3247976.95 |
| Εργατοώρες ανά κιλό απορριμμάτων (manhour/kg) | AAA_manhour_FW | 0.0018473 |
| Απορρίμματα κήπου και κλαδέματα | | |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης κάδων (kg/year) | AAA_AUR_Containers_GW | 4753.221 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης απορριμματοφόρων (kg/year) | AAA_AUR_Trucks_GW | 2608213.7 |
| Εργατοώρες ανά κιλό απορριμμάτων (manhour/kg) | AAA_manhour_GW | 0.00230042 |
| Υγειονομική ταφή | | |
| Τέλη εισόδου (EUR/kg) | AAA_Landfill_Gate_Fees | 0.049 |
| Ξήρανση/τεμαχισμός | | |
| Κόστος εξοπλισμού (EUR) | AAA_DS_Eq | 2017000 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης ξηραντήρα/τεμαχιστή (kg/year) | AAA_DS_AUR | 14139000 |
| Αναερόβια χώνευση | | |
| Κόστος εξοπλισμού (EUR) | AAA_AD_Eq | 1500000 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης αναερόβιου αντιδραστήρα (kg/year) | AAA_AD_AUR | 14139000 |

| Κομποστοποίηση | | |
|--|-------------------------|----------|
| Κόστος εξοπλισμού (EUR) | AAA_Comp_Eq | 51000 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης κομποστοποιητή (kg/year) | AAA_Comp_AUR | 14139000 |
| Τιμή κομπόστ (EUR/kg) | AAA_Comp_Price | 0.072 |
| Παραγωγή βιοαιθανόλης | | |
| Κόστος εξοπλισμού (EUR) | AAA_BioetOH_Eq | 200000 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης εξοπλισμού (kg/year) | AAA_BioetOH_AUR | 14139000 |
| Τιμή βιοαιθανόλης (EUR/kg) | AAA_BioetOH_Price | 1.46 |
| Παραγωγικότητα βιοαιθανόλης (L/kg FORBI) | AAA_BioetOH_Prod | 0.2 |
| Πελλετοποίηση | | |
| Κόστος εξοπλισμού (EUR) | AAA_Pellet_Eq | 85000 |
| Ετήσιος ρυθμός χρήσης εξοπλισμού (kg/year) | AAA_Pellet_AUR | 14139000 |
| Τιμή πέλλετ (EUR/kg) | AAA_Pellet_Price | 0.005 |
| Υπόλοιπες παράμετροι κόστους | | |
| Παράμετρος | Όνομα | Τιμή |
| Τιμή πετρελαίου κίνησης (EUR/kg) | AAA_Price_Diesel | 1.46 |
| Χρόνος ζωής κάδων (Years) | AAA_Containers_Lifetime | 5 |
| Τιμή κάδων (EUR/bin) | AAA_Price_Containers | 85.2 |
| Χρόνος ζωής απορριματοφόρων (Years) | AAA_Trucks_Lifetime | 10 |
| Τιμή απορριματοφόρων (EUR/Truck) | AAA_Price_Trucks | 105000 |
| Κόστος εργασίας (EUR/h) | AAA_Labour_Cost | 5.9 |
| Αριθμός νοικοκυριών ανά σημείο συλλογής | AAA_nhhcp | 16.4 |
| Αριθμός κάδων ανά σημείο συλλογής | AAA_nccp | 1 |
| Επιτόκιο δανεισμού (%) | AAA_IR | 0.045 |
| Αμοιβή αναδόχων (%) | AAA_Contractor_Fee | 0.1 |
| Κόστη επιβλέποντα μηχανικού (%) | AAA_Eng_Sup | 0.3 |
| Εγκατάσταση εξοπλισμού (%) | AAA_Eq_Inst | 0.43 |
| Κτιριακές εργασίες (%) | AAA_Build_Civil | 0.5 |
| Απρόβλεπτα έξοδα (%) | AAA_Cont | 0.05 |
| Ανάπτυξη έργου (%) | AAA_Proj_Dev | 0.075 |
| Εκτιμώμενος χρόνος ζωής τεχνολογίας (Years) | AAA_Tech_Lifetime | 20 |
| Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (%) | AAA_OM | 0.075 |
| Τιμή ηλεκτρικού ρεύματος (EUR/kWh) | AAA_Price_Elec | 0.12 |
| Τιμή φυσικού αερίου (EUR/MJ) | AAA_Price_NG | 0.0092 |
| Κόστος ασφάλισης (%) | AAA_Ins | 0.01 |
| Τιμή νερού (EUR/kg) | AAA_Price_Water | 0.00098 |
| Τιμή θειικού οξέος (EUR/kg) | AAA_Price_Sulf | 0.24 |
| Τιμή ενζύμων (EUR/kg) | AAA_Price_Enzymes | 10 |
| Κόστος αγοράς γης (EUR) | AAA_Land | 0 |
| Κόστος συλλογής και επεξεργασίας απορριμμάτων κήπου (EUR/kg) | GW_Treatment | 0.016 |
| Προσωπικό | | |
| Λογιστής (EUR/Year) | | 24000 |
| Διαχειριστής έργου (EUR/Year) | | 36000 |
| Μηχανικός (EUR/Year) | | 27000 |
| Εργάτες (EUR/Year) | | 191120 |
| Συνολικό κόστος προσωπικού (EUR/Year) | AAA_Personnel | 278120 |

Πίνακας 41. Pedigree matrix παραμέτρων LCA

| Παράμετρος | Αξιοπιστία | Πληρότητα | Χρονική συσχέτιση | Γεωγραφική συσχέτιση | Περαιτέρω τεχνολογική συσχέτιση |
|--------------------------|------------|-----------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| NonRecGlass_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| ClearGlass_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Wood_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Batteries_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| OtherNonComb_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| StonesConcrete_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Soil_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| OtherCombustibles_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| DiapersSanitary_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| ShoesLeather_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Textiles_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticCoated_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| MilkCartons_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| AluminiumFoil_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| OtherMetals_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| BeverageCans_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| FoodCans_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticProducts_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| SoftPlastic_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticBottles_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Cardboard_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Paper_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| PaperCardboard_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| BiodOther_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Green_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Food_Blue | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| NonRecGlass_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| ClearGlass_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Wood_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Batteries_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| OtherNonComb_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| StonesConcrete_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Soil_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| OtherCombustibles_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| DiapersSanitary_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| ShoesLeather_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Textiles_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticCoated_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| MilkCartons_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| AluminiumFoil_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| OtherMetals_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| BeverageCans_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| FoodCans_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticProducts_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| SoftPlastic_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticBottles_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Cardboard_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Paper_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| PaperCardboard_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| BiodOther_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Green_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Food_Yellow | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| NonRecGlass_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ClearGlass_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Wood_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Batteries_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| OtherNonComb_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| StonesConcrete_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Soil_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| OtherCombustibles_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| DiapersSanitary_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ShoesLeather_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Textiles_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticCoated_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MilkCartons_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AluminiumFoil_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| OtherMetals_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| BeverageCans_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| FoodCans_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticProducts_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SoftPlastic_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PlasticBottles_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Cardboard_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Paper_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PaperCardboard_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| BiodOther_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Green_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Food_Brown | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Green_Green | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Diesel_Coll_Rec | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Diesel_Coll_PaCa | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Diesel_Coll_Res | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Diesel_Coll_Food | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Diesel_Coll_Green | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Diesel_Transp_Rec | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Diesel_Transp_PaCa | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Diesel_Transp_Res | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Diesel_Transp_Pellet | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |

| | | | | | |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|
| Dis_MRF | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Dis_Landfill | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Dis_Halandri | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MRF_elec | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| MRF_heat | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Dis_MRFToLandfill | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Diesel_Transp_MRFToLandfill | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| k_rate_FW | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Time_Horizon | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Net_Inf | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Height_Landfill | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Density_Landfill | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| DS_elec | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| DS_heat | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| DS_Water_Condensate | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| DS_VS_Condensate | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| DS_Cbioand_Condensate | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Water_TotalWeight | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Water_Process | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AD_Cbioand_to_CH4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AD_CH4_Content | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AD_VSloss_to_BiogCloss | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AD_Diesel | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| AD_elec | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| AD_Water_heat | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AD_Solids_heat | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AD_CH4_leak | 4 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| CH4_to_CH4Frac | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| CO2_to_CH4Frac | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Water_to_CH4Frac | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Biog_Upgr_elec | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Biog_Upgr_heat | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Compr_elec | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Compr_Diesel_Subst | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Comp_Moist_Red | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Moist_Red_elec | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Comp_VS_Deg | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Comp_C_Deg | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Comp_N_Deg | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Comp_Diesel | 4 | 4 | 1 | 1 | 4 |
| TwoStageAD_Cbioand_to_CH4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TwoStageAD_CH4_Content | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TwoStageAD_VSloss_to_BiogCloss | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TwoStageAD_Diesel | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| TwoStageAD_elec | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| TwoStageAD_Water_heat | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|
| TwoStageAD_Solids_heat | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TwoStageAD_CH4_leak | 4 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| TwoStage_Compr_Diesel_Subst | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| BioEtOH_Sulf_Ac | 3 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| BioEtOH_elec | 3 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| BioEtOH_heat | 3 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| BioEtOH_Petrol_Subst | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| BioEtOH_Enzymes | 3 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| DS&Pellet_elec | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Pellet_Heat_Subst | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Πίνακας 42. Pedigree matrix παραμέτρων LCC

| Παράμετρος | Αξιοπιστία | Πληρότητα | Χρονική συσχέτιση | Γεωγραφική συσχέτιση | Περαιτέρω τεχνολογική συσχέτιση |
|------------------------|------------|-----------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| AAA_AUR_Containers_REC | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Trucks_REC | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_manhour_REC | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Containers_PC | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Trucks_PC | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_manhour_PC | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Containers_RES | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Trucks_RES | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_manhour_RES | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Containers_FW | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Trucks_FW | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_manhour_FW | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Containers_GW | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Trucks_GW | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_manhour_GW | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Landfill_Gate_Fees | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_DS_Eq | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_DS_AUR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AD_Eq | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| AAA_AD_AUR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Comp_Eq | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| AAA_Comp_AUR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Comp_Price | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| AAA_BioetOH_Eq | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| AAA_BioetOH_AUR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_BioetOH_Price | 4 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| AAA_BioetOH_Prod | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Pellet_Eq | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| AAA_Pellet_AUR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Pellet_Price | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 |

| | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| AAA_AUR_Trucks_Pellet | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_manhour_Pellet | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Containers_RES | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_AUR_Trucks_RES | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_manhour_RES | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Price_Diesel | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| AAA_Containers_Lifetime | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Price_Containers | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Trucks_Lifetime | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Price_Trucks | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Labour_Cost | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_nhhcp | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_nccp | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_IR | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| AAA_Contractor_Fee | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| AAA_Eng_Sup | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| AAA_Eq_Inst | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| AAA_Build_Civil | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| AAA_Cont | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| AAA_Proj_Dev | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| AAA_Annuities_Den | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Tech_Lifetime | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_OM | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| AAA_Price_Elec | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| AAA_Price_NG | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| AAA_Ins | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| AAA_Price_Water | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| AAA_Price_Sulf | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| AAA_Price_Enzymes | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| AAA_Land | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AAA_Personnel | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Πίνακας 43. Παράγοντας βασικής αβεβαιότητας για τις παραμέτρους του LCA

| Παράμετρος | Παράγοντας βασικής αβεβαιότητας | Παράμετρος | Παράγοντας βασικής αβεβαιότητας |
|------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|
| NonRecGlass_Blue | 0.0006 | BiodOther_Yellow | 0.0006 |
| ClearGlass_Blue | 0.0006 | Green_Yellow | 0.0006 |
| Wood_Blue | 0.0006 | Food_Yellow | 0.0006 |
| Batteries_Blue | 0.0006 | Food_Brown | 0.0006 |
| OtherNonComb_Blue | 0.0006 | Green_Green | 0.0006 |
| StonesConcrete_Blue | 0.0006 | Diesel_Coll_Rec | 0.12 |
| Soil_Blue | 0.0006 | Diesel_Coll_PaCa | 0.12 |
| OtherCombustibles_Blue | 0.0006 | Diesel_Coll_Res | 0.12 |
| DiapersSanitary_Blue | 0.0006 | Diesel_Coll_Food | 0.12 |

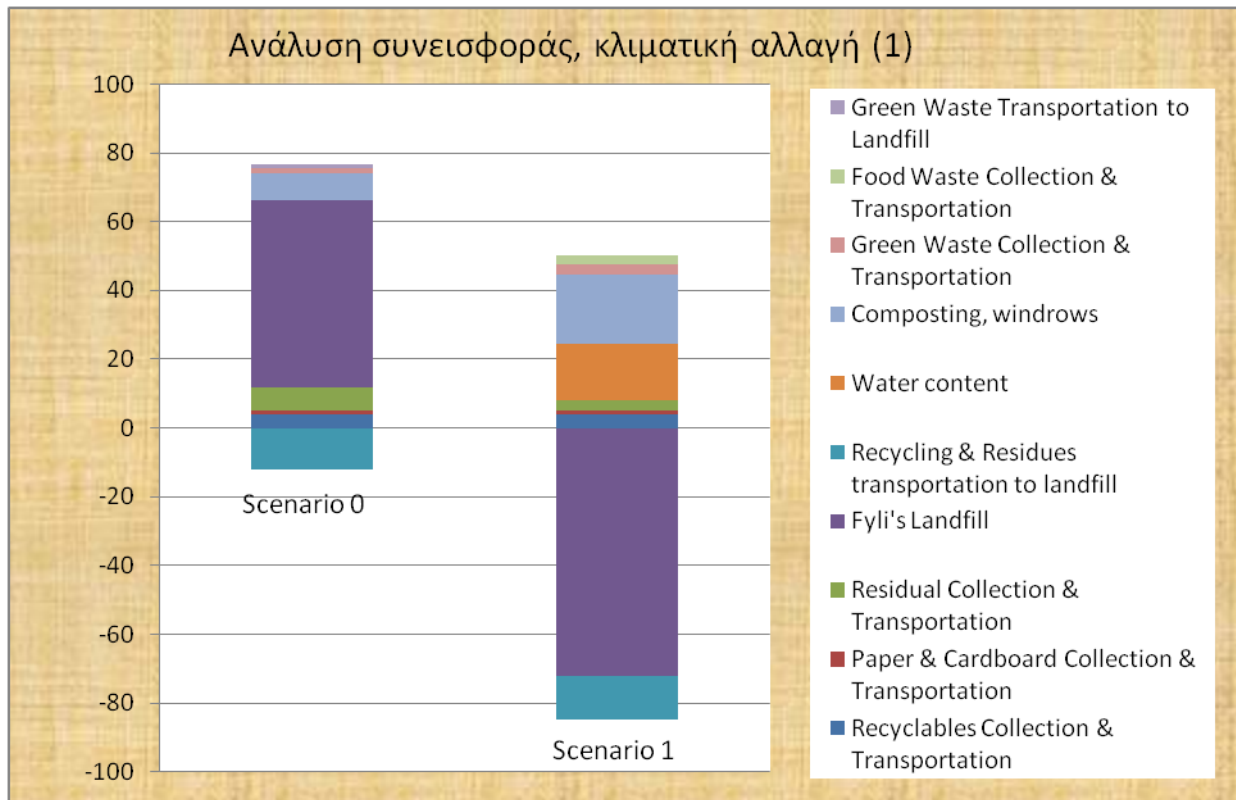
| | | | |
|--------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| ShoesLeather_Blue | 0.0006 | Diesel_Coll_Green | 0.12 |
| Textiles_Blue | 0.0006 | Diesel_Transp_Rec | 0.12 |
| PlasticCoated_Blue | 0.0006 | Diesel_Transp_PaCa | 0.12 |
| MilkCartons_Blue | 0.0006 | Diesel_Transp_Res | 0.12 |
| AluminiumFoil_Blue | 0.0006 | Diesel_Transp_Food | 0.12 |
| OtherMetals_Blue | 0.0006 | Diesel_Transp_Green | 0.12 |
| BeverageCans_Blue | 0.0006 | Diesel_Transp_Pellet | 0.12 |
| FoodCans_Blue | 0.0006 | MRF_elec | 0.0006 |
| PlasticProducts_Blue | 0.0006 | MRF_heat | 0.0006 |
| SoftPlastic_Blue | 0.0006 | Diesel_Transp_MRftoLandfill | 0.12 |
| PlasticBottles_Blue | 0.0006 | k_rate_FW | 0.0006 |
| Cardboard_Blue | 0.0006 | Net_Inf | 0.0006 |
| Paper_Blue | 0.0006 | Height_Landfill | 0.0006 |
| PaperCardboard_Blue | 0.0006 | Density_Landfill | 0.0006 |
| BiodOther_Blue | 0.0006 | DS_elec | 0.0006 |
| Green_Blue | 0.0006 | DS_heat | 0.0006 |
| Food_Blue | 0.0006 | AD_Diesel | 0.0006 |
| NonRecGlass_Yellow | 0.0006 | AD_elec | 0.0006 |
| ClearGlass_Yellow | 0.0006 | AD_Water_heat | 0.0006 |
| Wood_Yellow | 0.0006 | AD_Solids_heat | 0.0006 |
| Batteries_Yellow | 0.0006 | AD_CH4_leak | 0.0006 |
| OtherNonComb_Yellow | 0.0006 | Biog_Upgr_elec | 0.0006 |
| StonesConcrete_Yellow | 0.0006 | Biog_Upgr_heat | 0.0006 |
| Soil_Yellow | 0.0006 | Compr_elec | 0.0006 |
| OtherCombustibles_Yellow | 0.0006 | Comp_VS_Deg_FW | 0.0006 |
| DiapersSanitary_Yellow | 0.0006 | Comp_VS_Deg_GW | 0.0006 |
| ShoesLeather_Yellow | 0.0006 | Comp_C_Deg_FW | 0.0006 |
| Textiles_Yellow | 0.0006 | Comp_C_Deg_GW | 0.0006 |
| PlasticCoated_Yellow | 0.0006 | Comp_N_Deg | 0.0006 |
| MilkCartons_Yellow | 0.0006 | Comp_Diesel | 0.0006 |
| AluminiumFoil_Yellow | 0.0006 | TwoStageAD_Diesel | 0.0006 |
| OtherMetals_Yellow | 0.0006 | TwoStageAD_elec | 0.0006 |
| BeverageCans_Yellow | 0.0006 | TwoStageAD_Water_heat | 0.0006 |
| FoodCans_Yellow | 0.0006 | TwoStageAD_Solids_heat | 0.0006 |
| PlasticProducts_Yellow | 0.0006 | TwoStageAD_CH4_leak | 0.0006 |
| SoftPlastic_Yellow | 0.0006 | BioEtOH_Sulf_Ac | 0.0006 |
| PlasticBottles_Yellow | 0.0006 | BioEtOH_elec | 0.0006 |
| Cardboard_Yellow | 0.0006 | BioEtOH_heat | 0.0006 |
| Paper_Yellow | 0.0006 | BioEtOH_Enzymes | 0.0006 |
| PaperCardboard_Yellow | 0.0006 | Pellet_elec | 0.0006 |

Πίνακας 44. Παράγοντας βασικής αβεβαιότητας για τις παραμέτρους του LCC

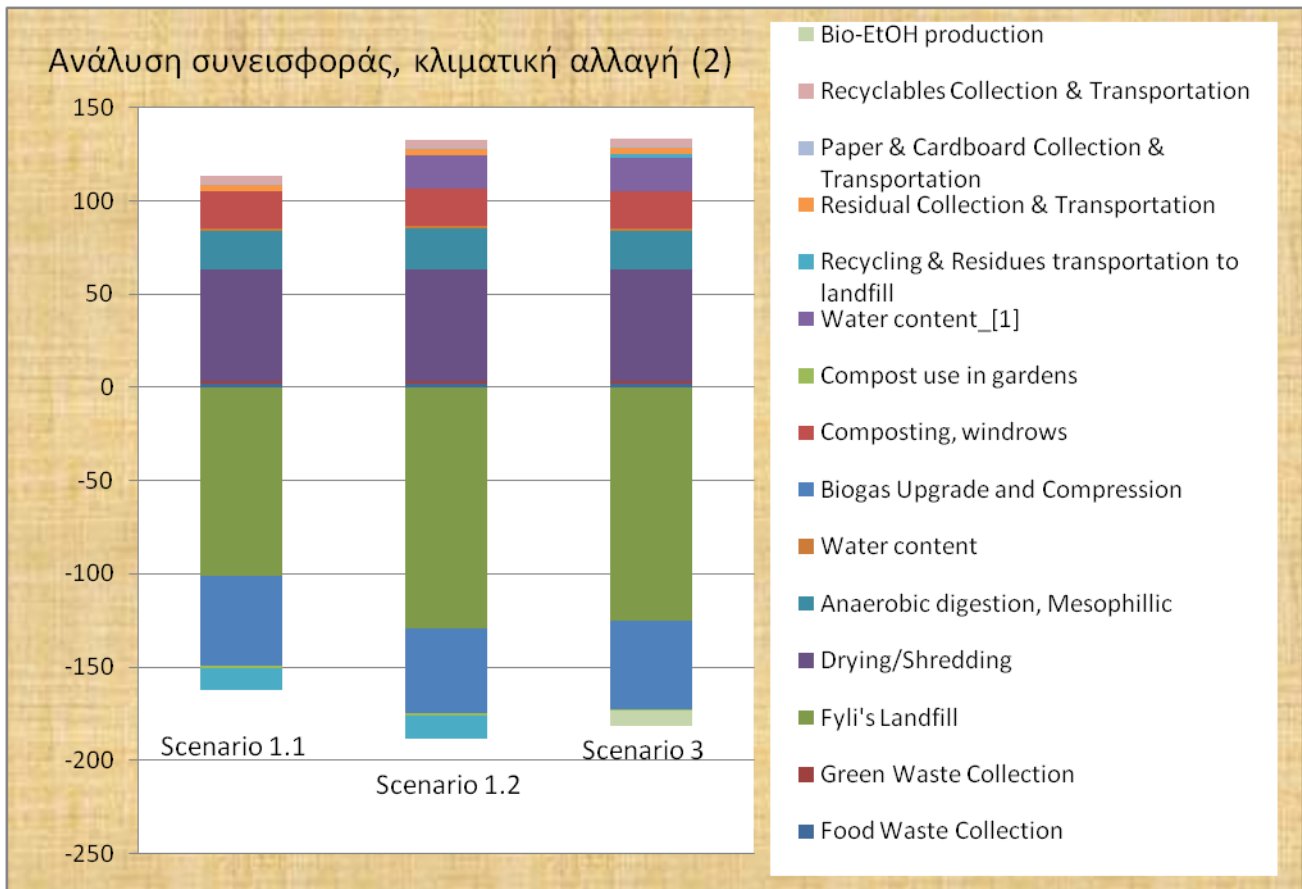
| Παράμετρος | Παράγοντας βασικής αβεβαιότητας | Παράμετρος | Παράγοντας βασικής αβεβαιότητας |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| AAA_AUR_Containers_REC | 0.0006 | AAA_manhour_Pellet | 0.0006 |
| AAA_AUR_Trucks_REC | 0.12 | AAA_AUR_Containers_RES | 0.0006 |
| AAA_manhour_REC | 0.0006 | AAA_AUR_Trucks_RES | 0.12 |
| AAA_AUR_Containers_PC | 0.0006 | AAA_manhour_RES | 0.0006 |
| AAA_AUR_Trucks_PC | 0.12 | AAA_Price_Diesel | 0.0006 |
| AAA_manhour_PC | 0.0006 | AAA_Containers_Lifetime | 0.3 |
| AAA_AUR_Containers_RES | 0.0006 | AAA_Price_Containers | 0.0006 |
| AAA_AUR_Trucks_RES | 0.12 | AAA_Trucks_Lifetime | 0.3 |
| AAA_manhour_RES | 0.0006 | AAA_Price_Trucks | 0.0006 |
| AAA_AUR_Containers_FW | 0.0006 | AAA_Labour_Cost | 0.0006 |
| AAA_AUR_Trucks_FW | 0.12 | AAA_nhhcp | 0.0006 |
| AAA_manhour_FW | 0.0006 | AAA_nccp | 0.0006 |
| AAA_AUR_Containers_GW | 0.0006 | AAA_IR | 0.0006 |
| AAA_AUR_Trucks_GW | 0.12 | AAA_Contractor_Fee | 0.0006 |
| AAA_manhour_GW | 0.0006 | AAA_Eng_Sup | 0.0006 |
| AAA_Landfill_Gate_Fees | - | AAA_Eq_Inst | 0.0006 |
| AAA_DS_Eq | 0.3 | AAA_Build_Civil | 0.0006 |
| AAA_DS_AUR | 0.0006 | AAA_Cont | 0.0006 |
| AAA_AD_Eq | 0.3 | AAA_Proj_Dev | 0.0006 |
| AAA_AD_AUR | 0.0006 | AAA_Annuities_Den | 0.0006 |
| AAA_Comp_Eq | 0.3 | AAA_Tech_Lifetime | 0.3 |
| AAA_Comp_AUR | 0.0006 | AAA_OM | 0.0006 |
| AAA_Comp_Price | 0.0006 | AAA_Price_Elec | 0.0006 |
| AAA_BioetOH_Eq | 0.3 | AAA_Price_NG | 0.0006 |
| AAA_BioetOH_AUR | 0.0006 | AAA_Ins | 0.0006 |
| AAA_BioetOH_Price | 0.0006 | AAA_Price_Water | 0.0006 |
| AAA_BioetOH_Prod | 0.0006 | AAA_Price_Sulf | 0.0006 |
| AAA_Pellet_Eq | 0.3 | AAA_Price_Enzymes | 0.0006 |
| AAA_Pellet_AUR | 0.0006 | AAA_Land | 0.04 |
| AAA_Pellet_Price | 0.0006 | AAA_Personnel | 0.0006 |
| AAA_AUR_Trucks_Pellet | 0.12 | | |

Ανάλυση συνεισφοράς

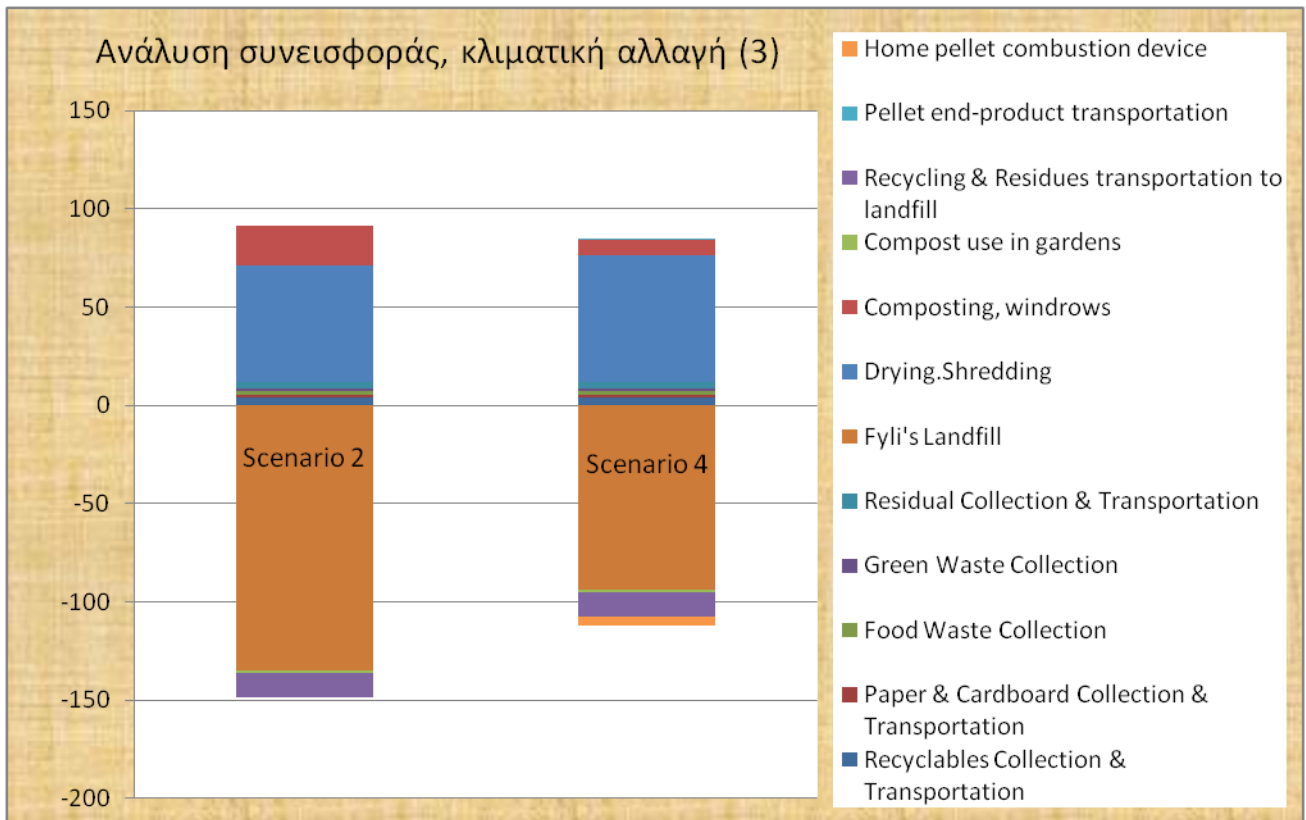
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζεται η συνεισφορά των διεργασιών στα αποτελέσματα των σεναρίων για κάθε κατηγορία επιπτώσεων.



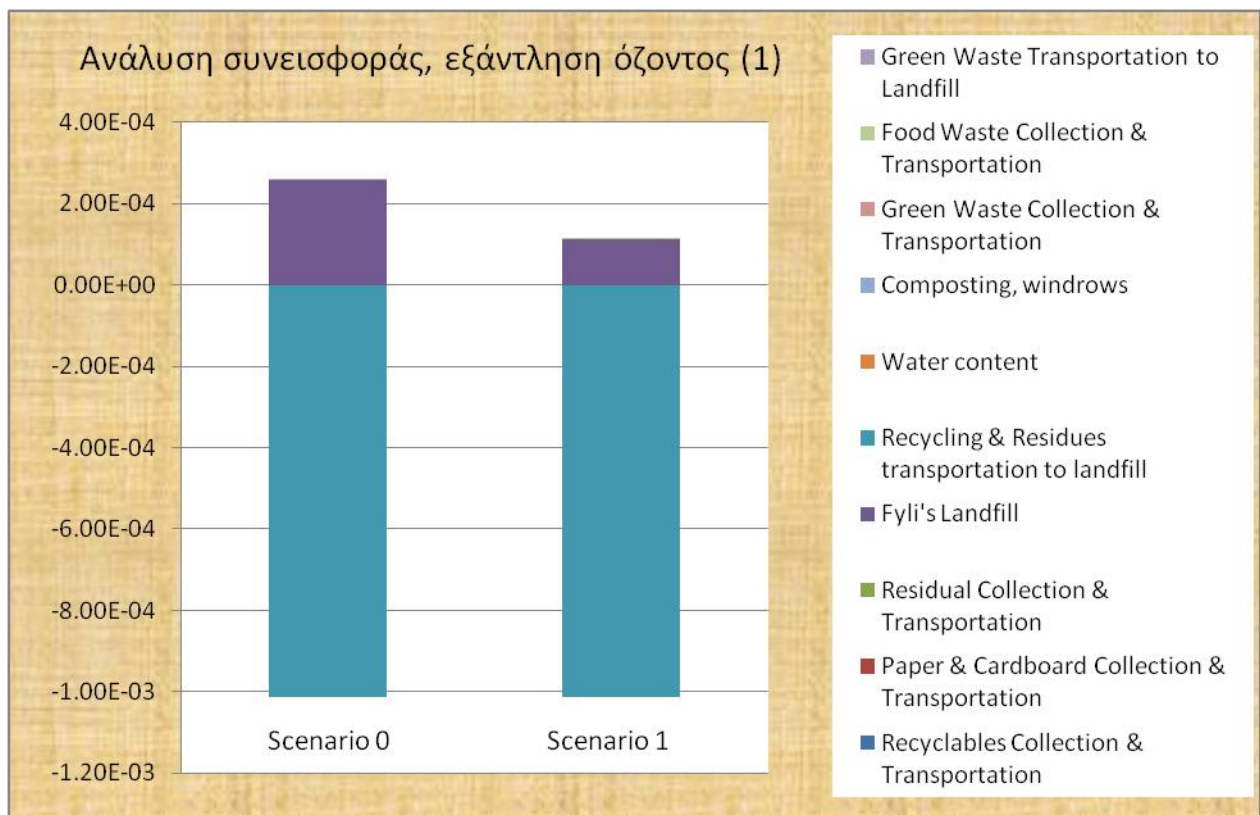
Διάγραμμα 28. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, κλιματική αλλαγή (1)



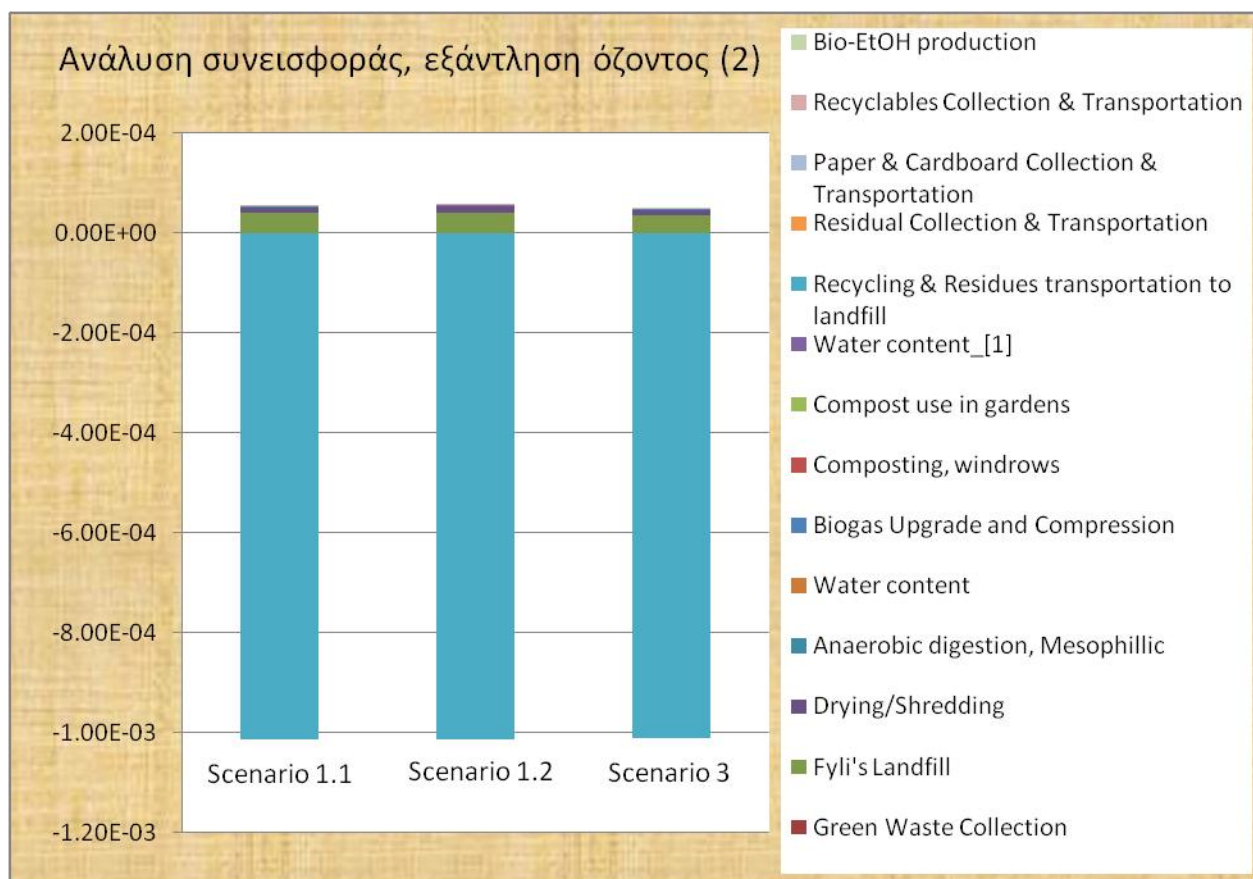
Διάγραμμα 29. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, κλιματική αλλαγή (2)



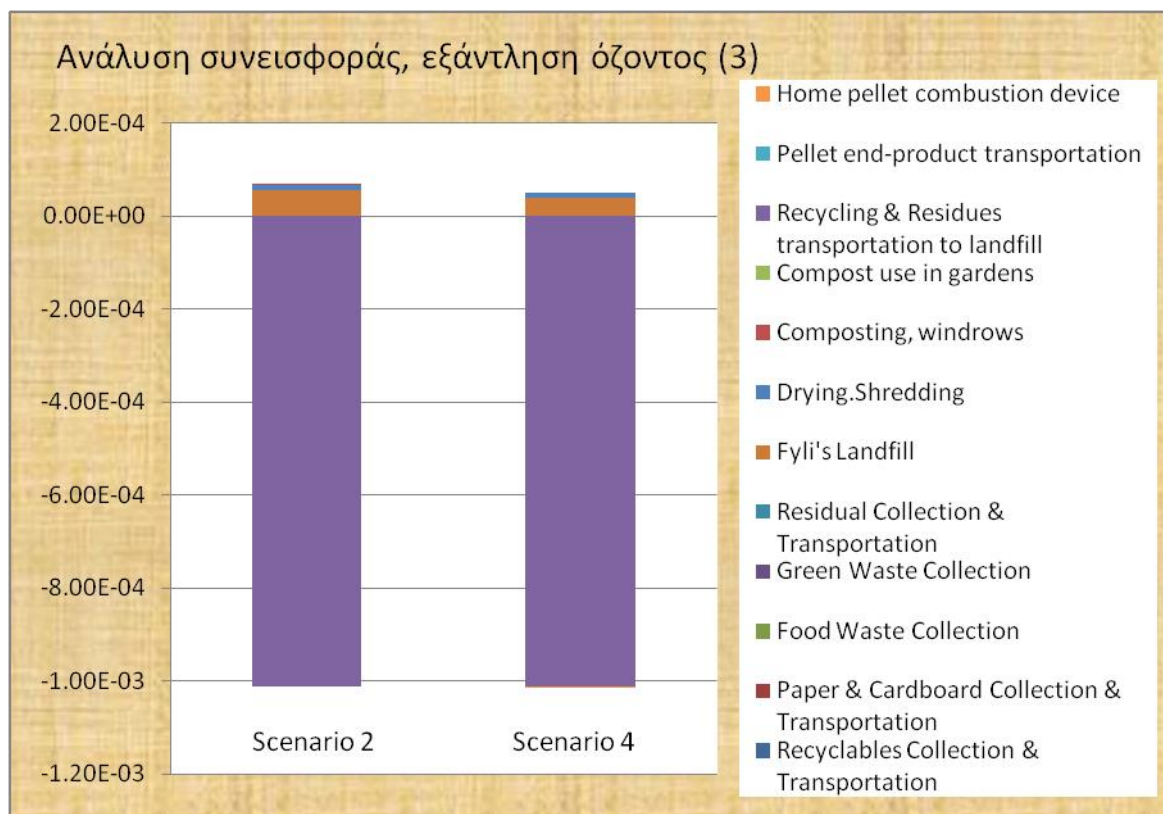
Διάγραμμα 30. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, κλιματική αλλαγή (3)



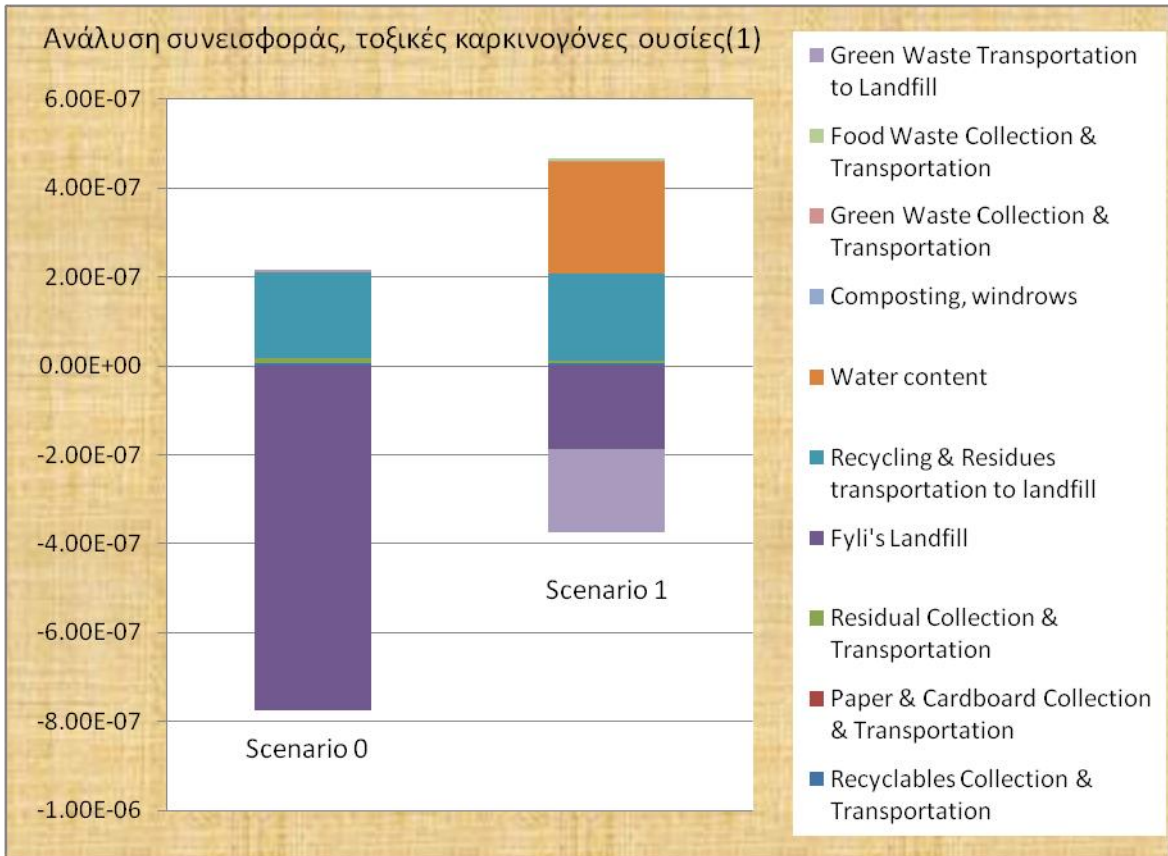
Διάγραμμα 31. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση του όζοντος (1)



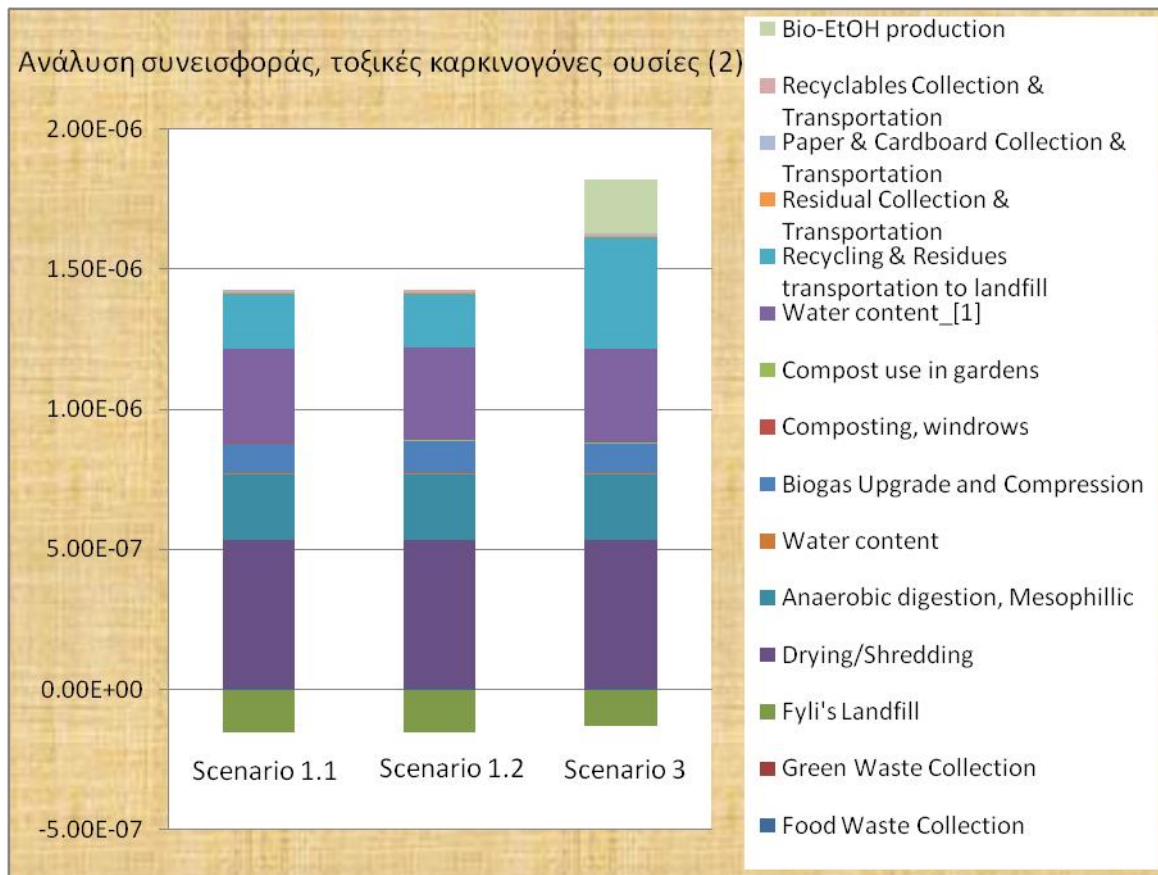
Διάγραμμα 32. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση του όζοντος (2)



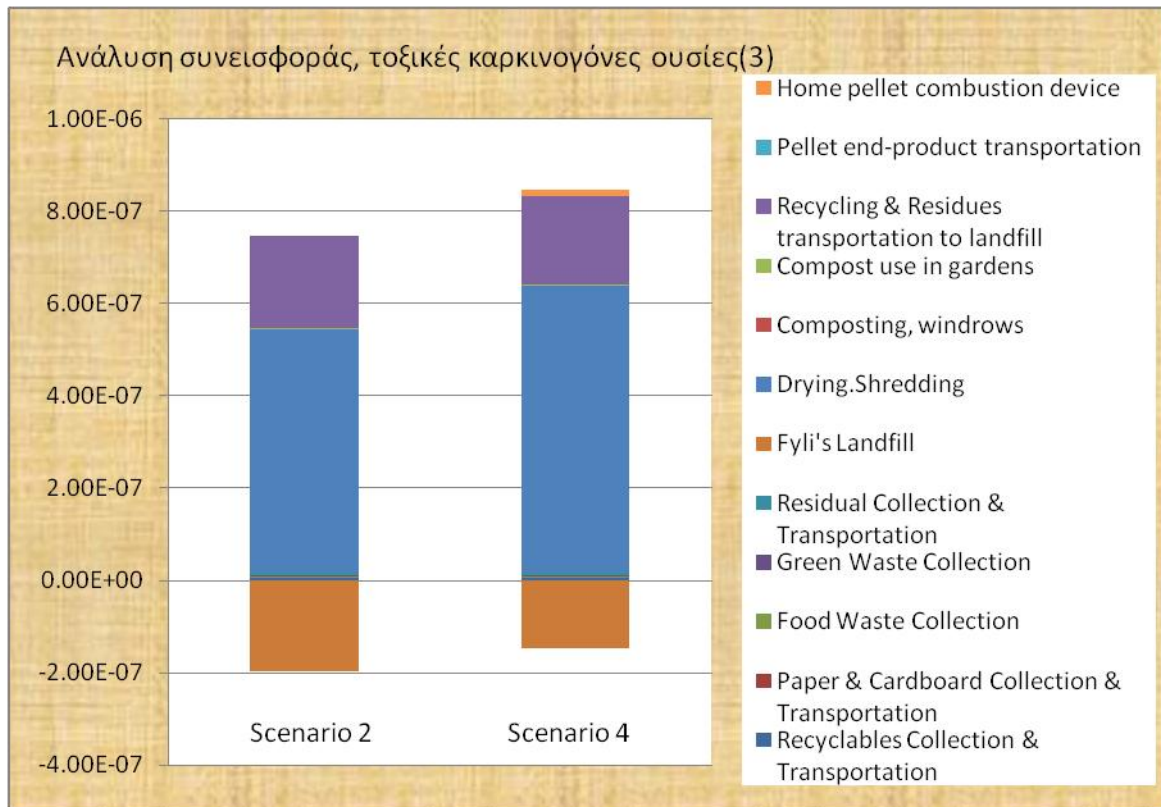
Διάγραμμα 33. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση του όζοντος (3)



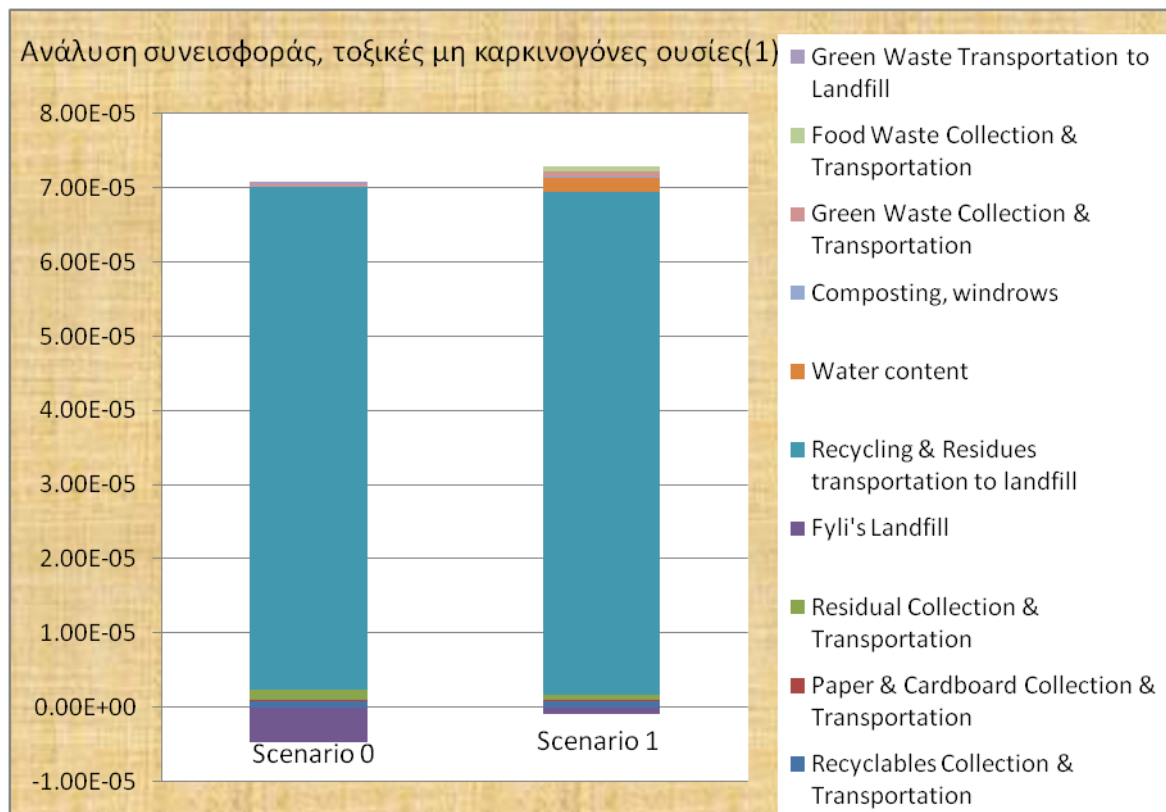
Διάγραμμα 34. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, τοξικές καρκινογόνες ουσίες (1)



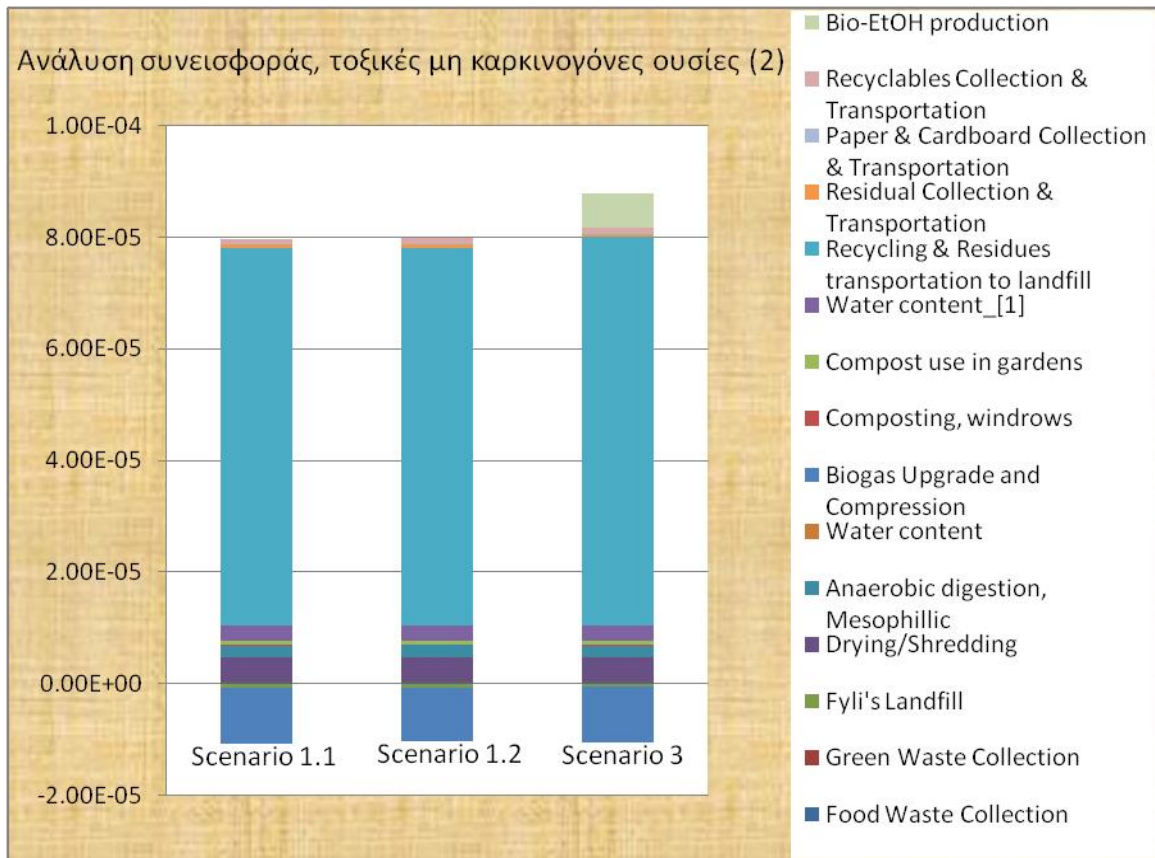
Διάγραμμα 35. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, τοξικές καρκινογόνες ουσίες (2)



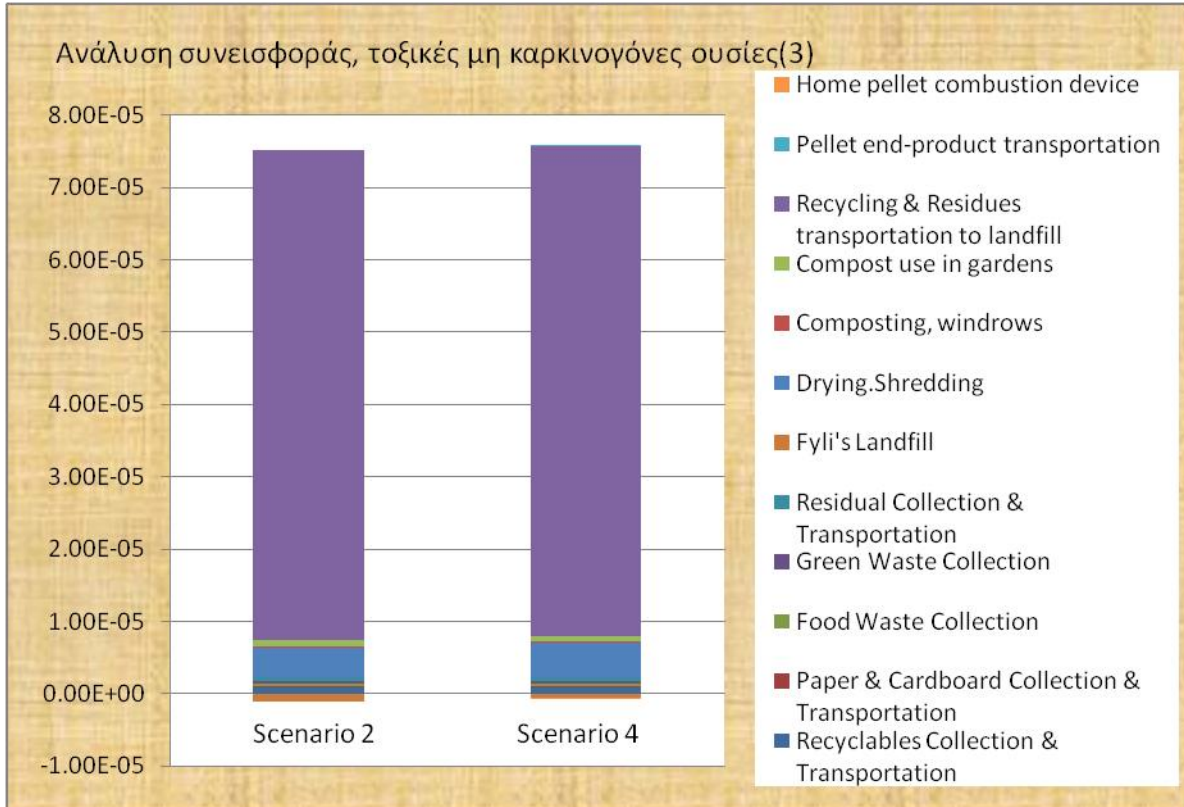
Διάγραμμα 36. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, τοξικές καρκινογόνες ουσίες (3)



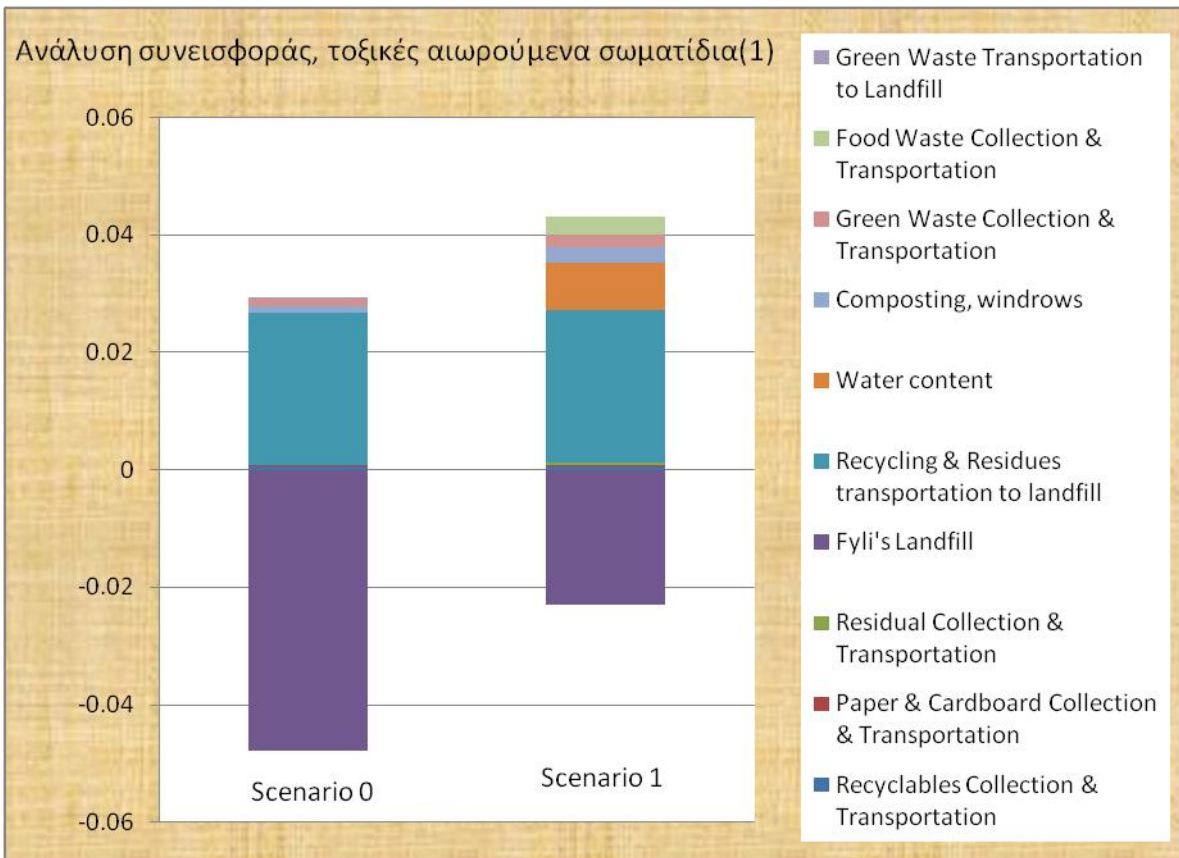
Διάγραμμα 37. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες (1)



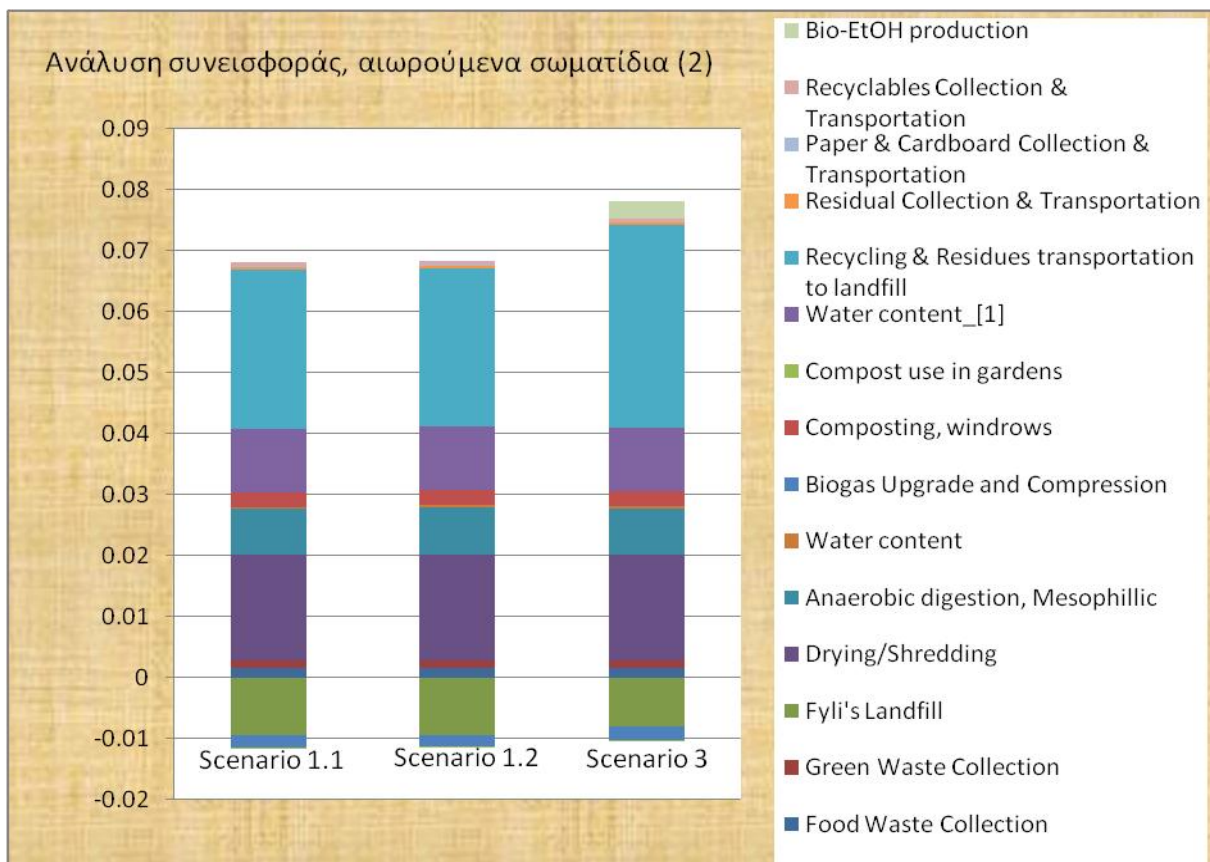
Διάγραμμα 38. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες (2)



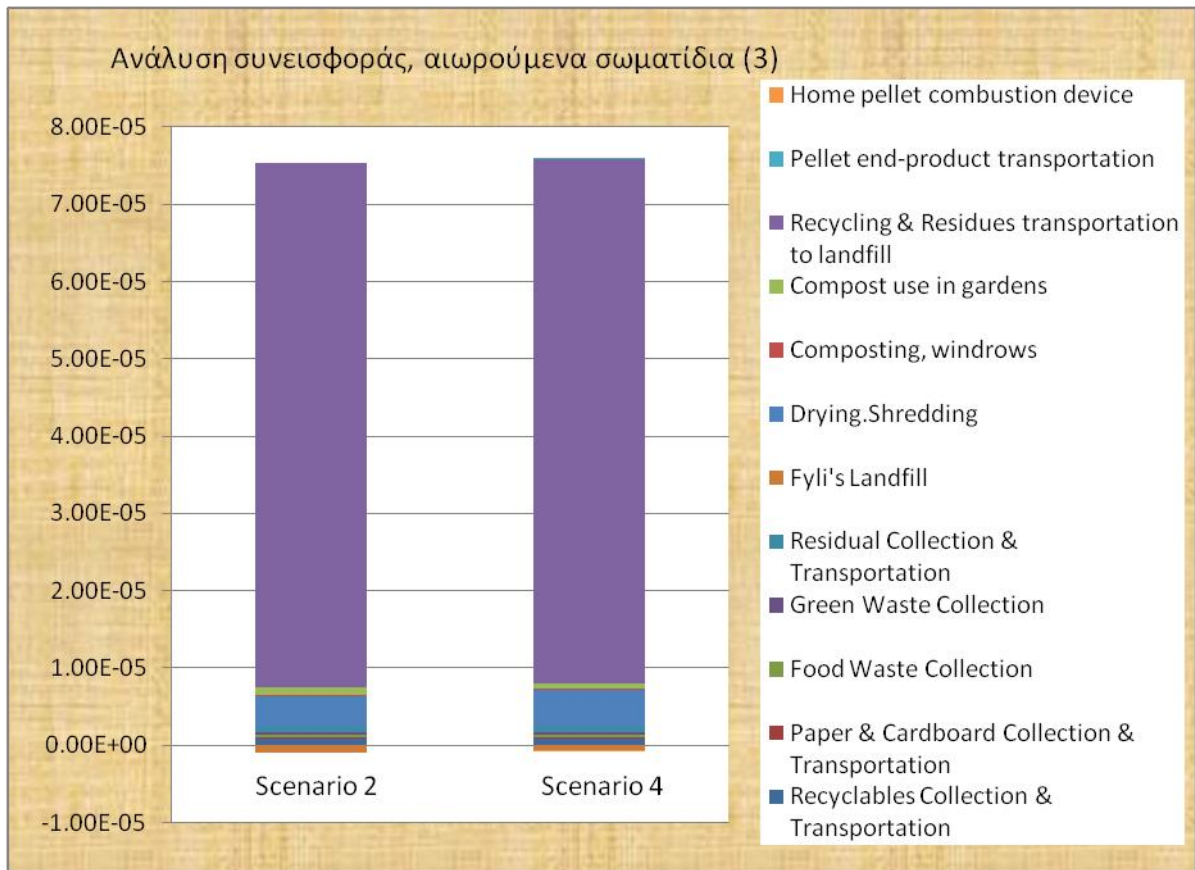
Διάγραμμα 39. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες (3)



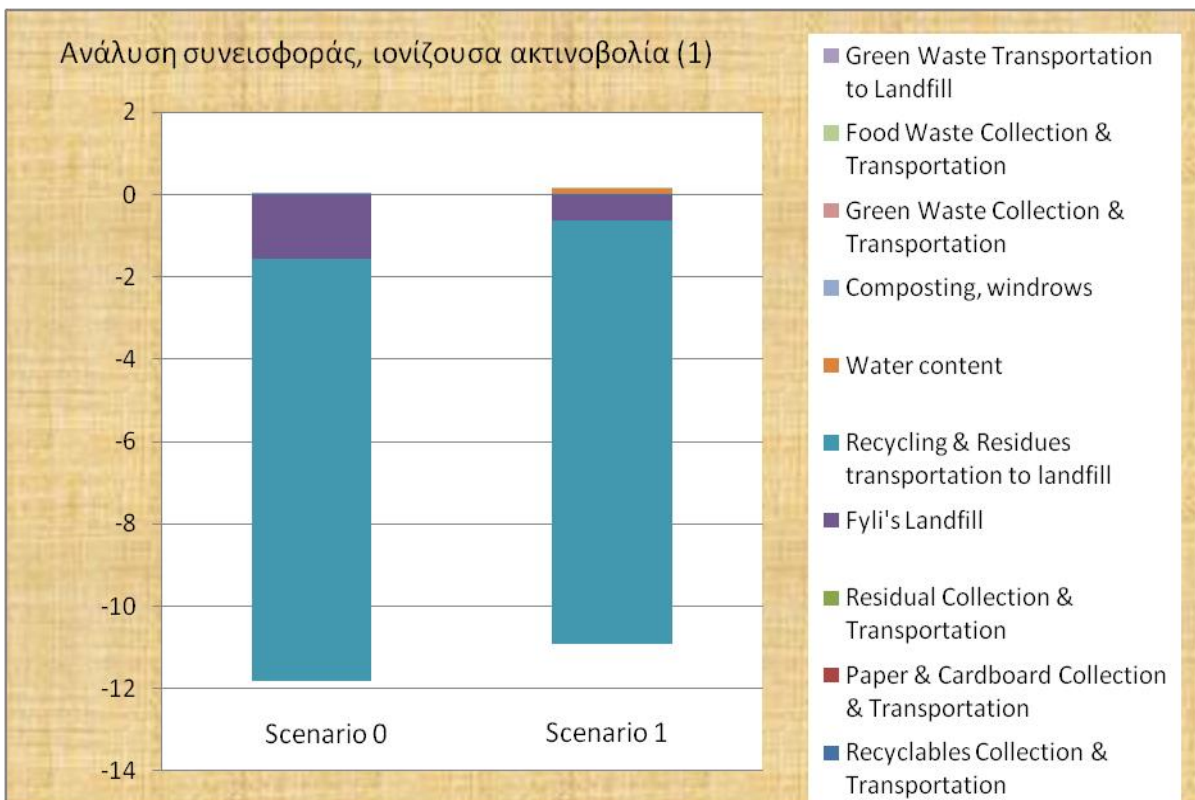
Διάγραμμα 40. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, αιωρούμενα σωματίδια (1)



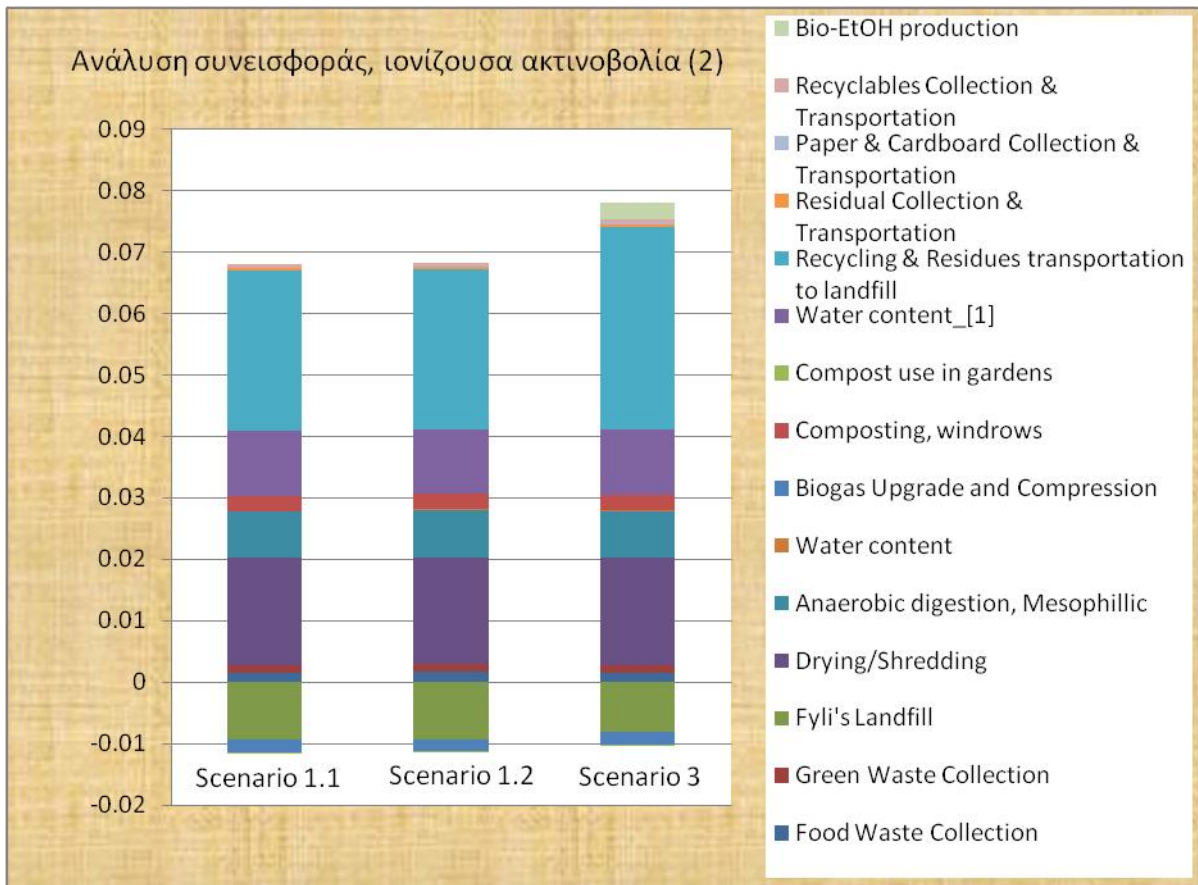
Διάγραμμα 41. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, αιωρούμενα σωματίδια (2)



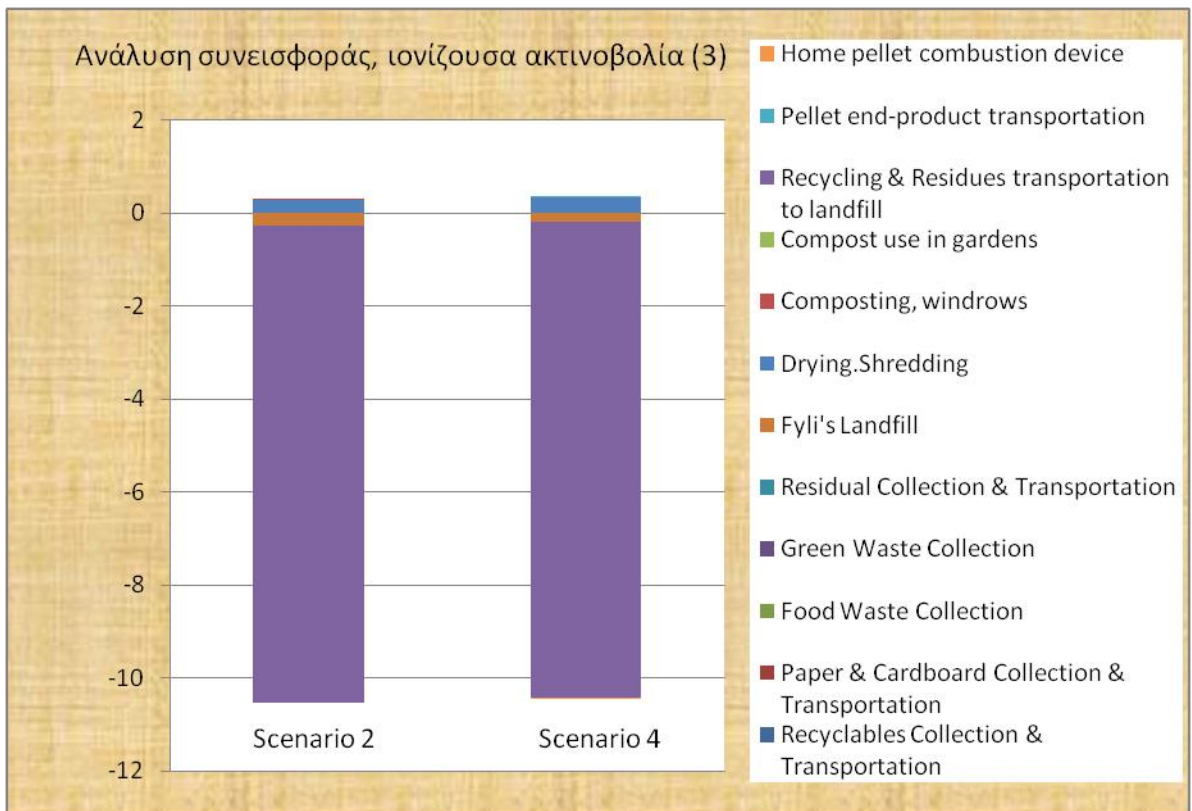
Διάγραμμα 42. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, αιωρούμενα σωματίδια (3)



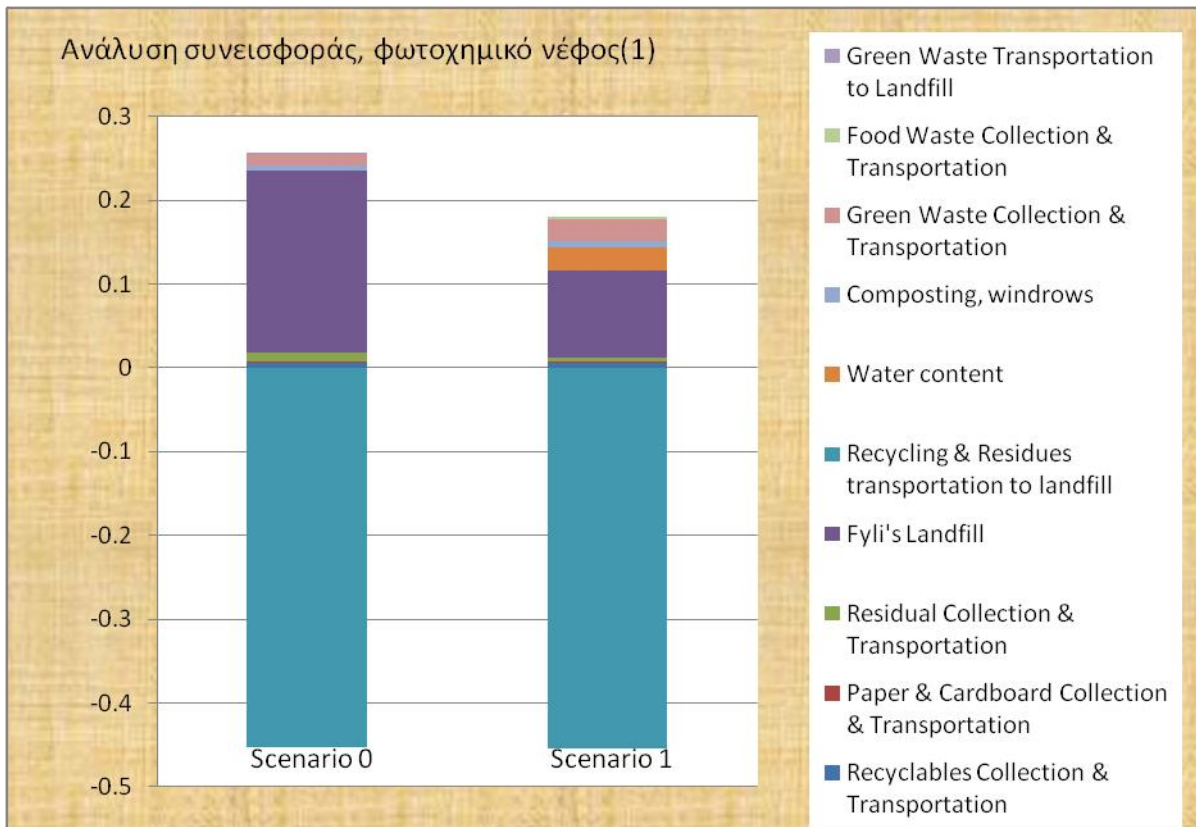
Διάγραμμα 43. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ιονίζουσα ακτινοβολία (1)



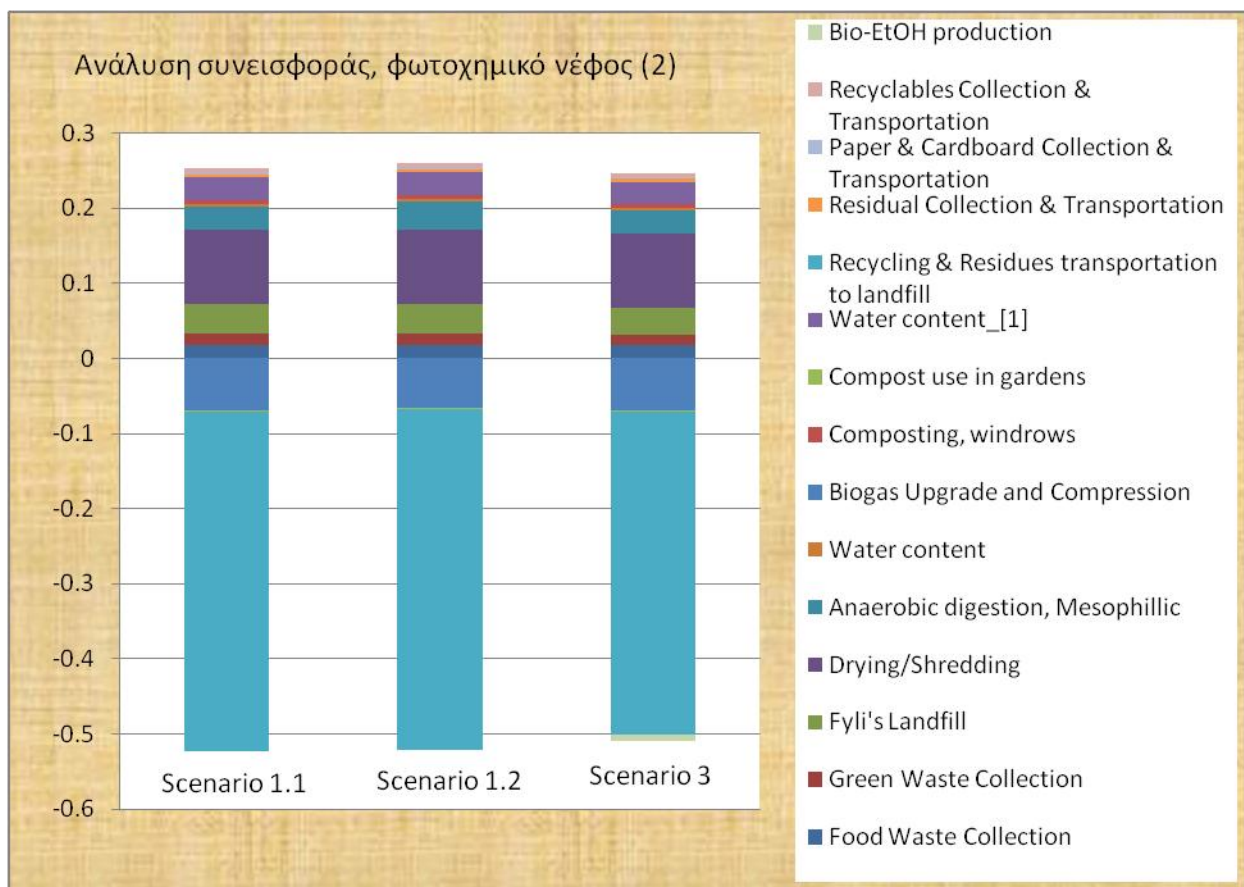
Διάγραμμα 44. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ιονίζουσα ακτινοβολία (2)



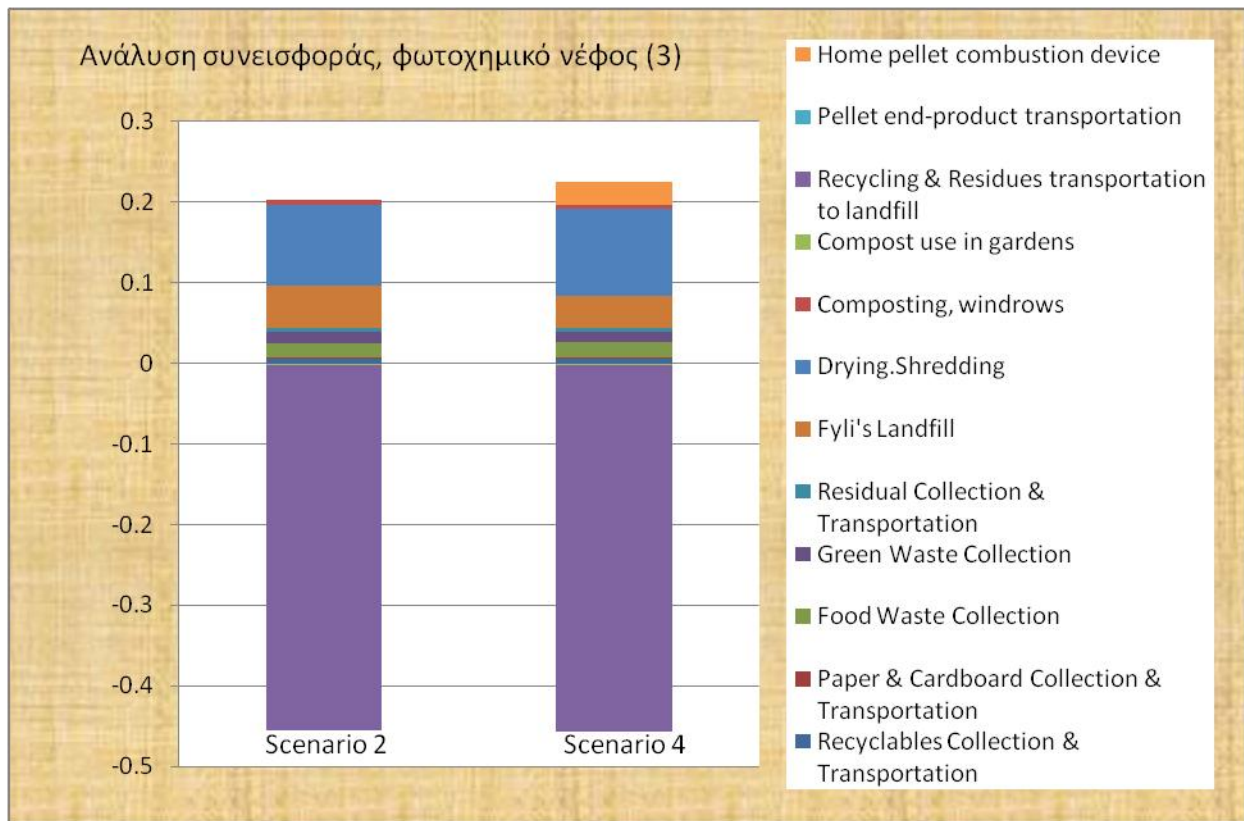
Διάγραμμα 45. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ιονίζουσα ακτινοβολία (3)



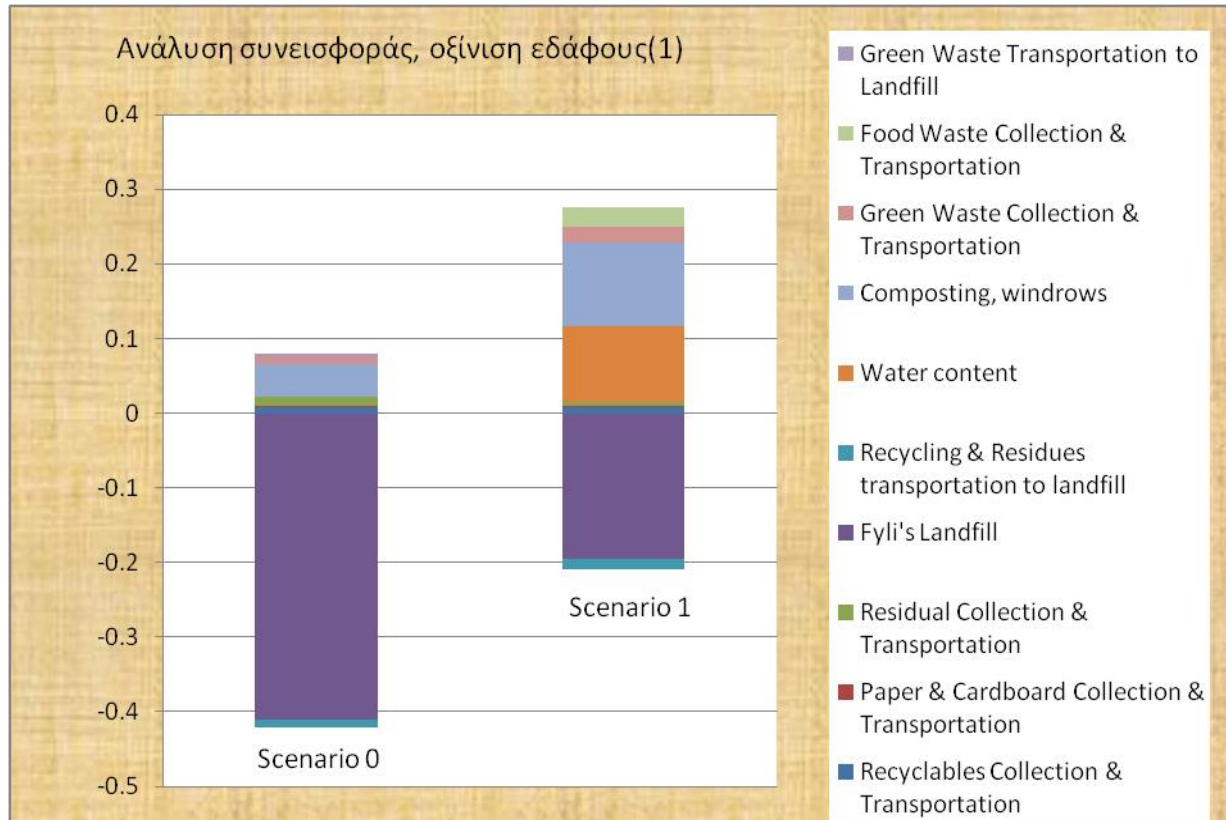
Διάγραμμα 46. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, φωτοχημικό νέφος (1)



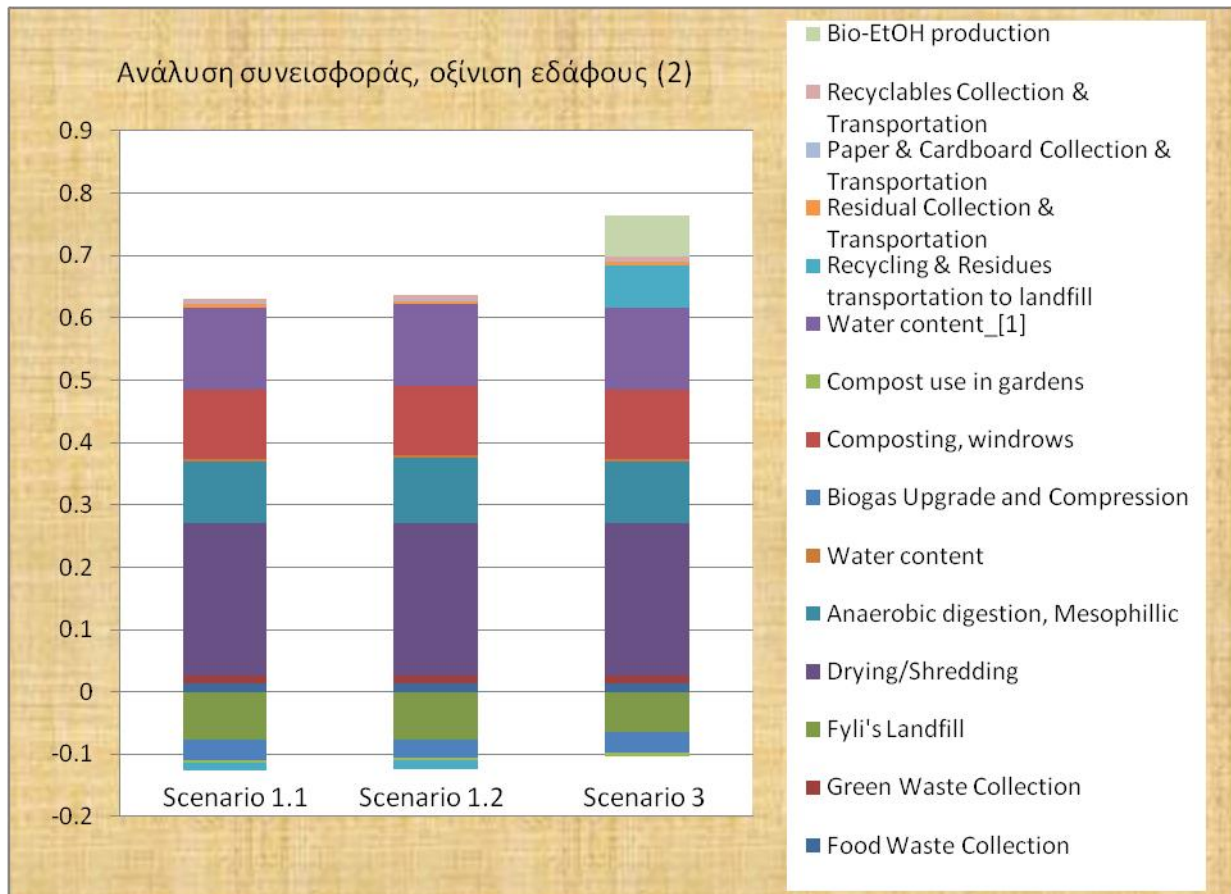
Διάγραμμα 47. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, φωτοχημικό νέφος (2)



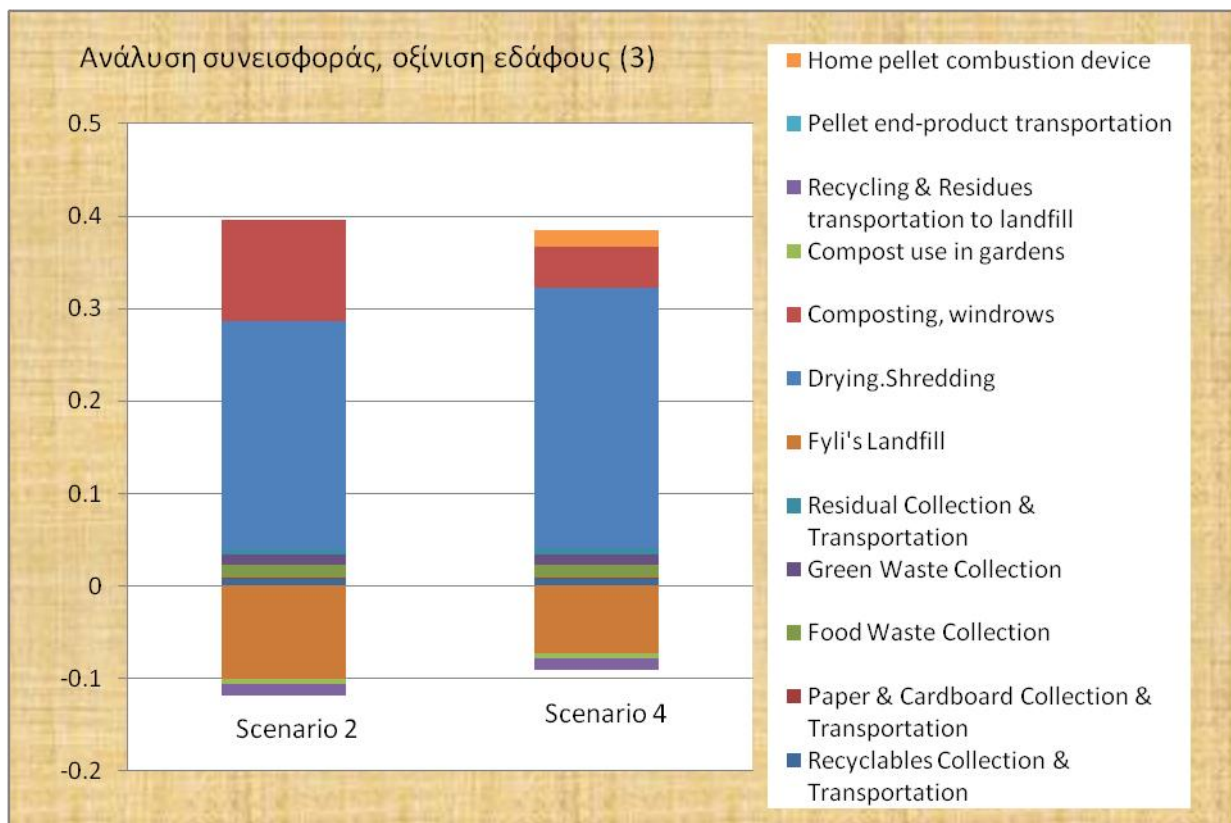
Διάγραμμα 48. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, φωτοχημικό νέφος (3)



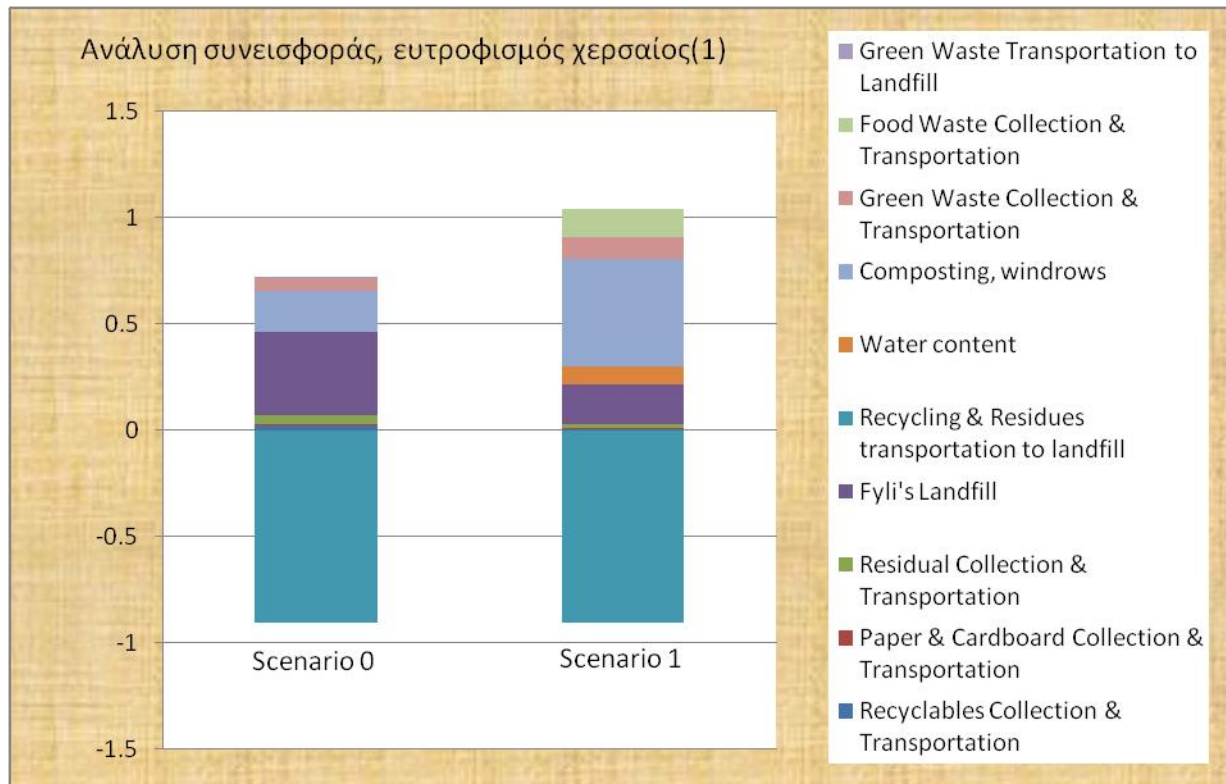
Διάγραμμα 49. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, οξίνιση εδάφους (1)



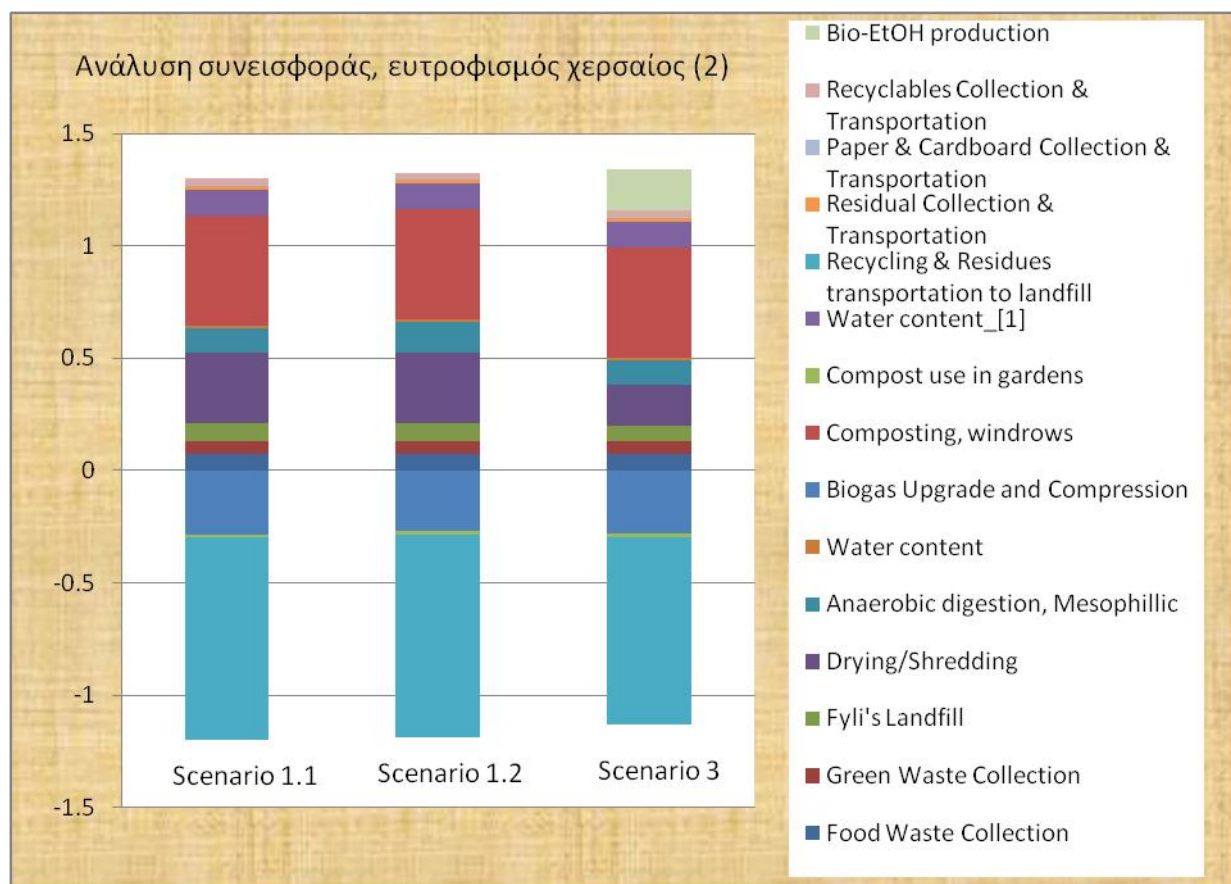
Διάγραμμα 50. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, οξίνιση εδάφους (2)



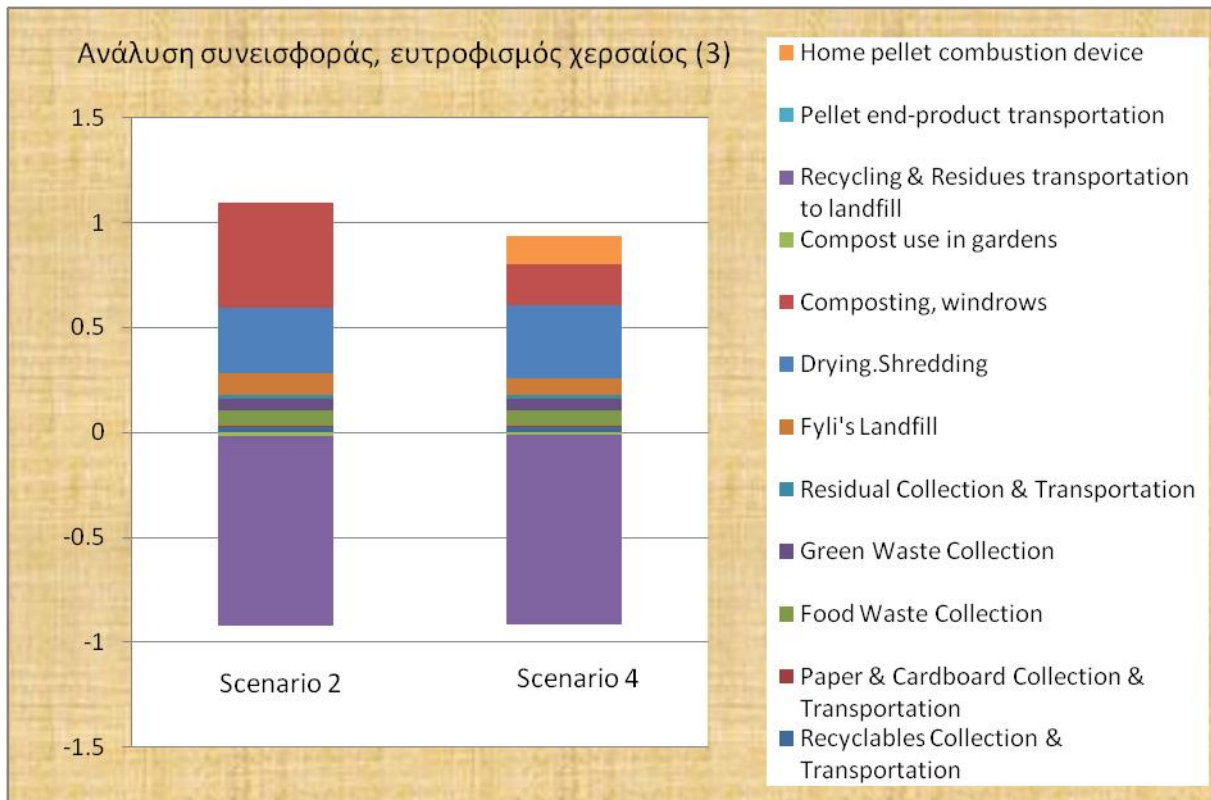
Διάγραμμα 51. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, οξίνιση εδάφους (3)



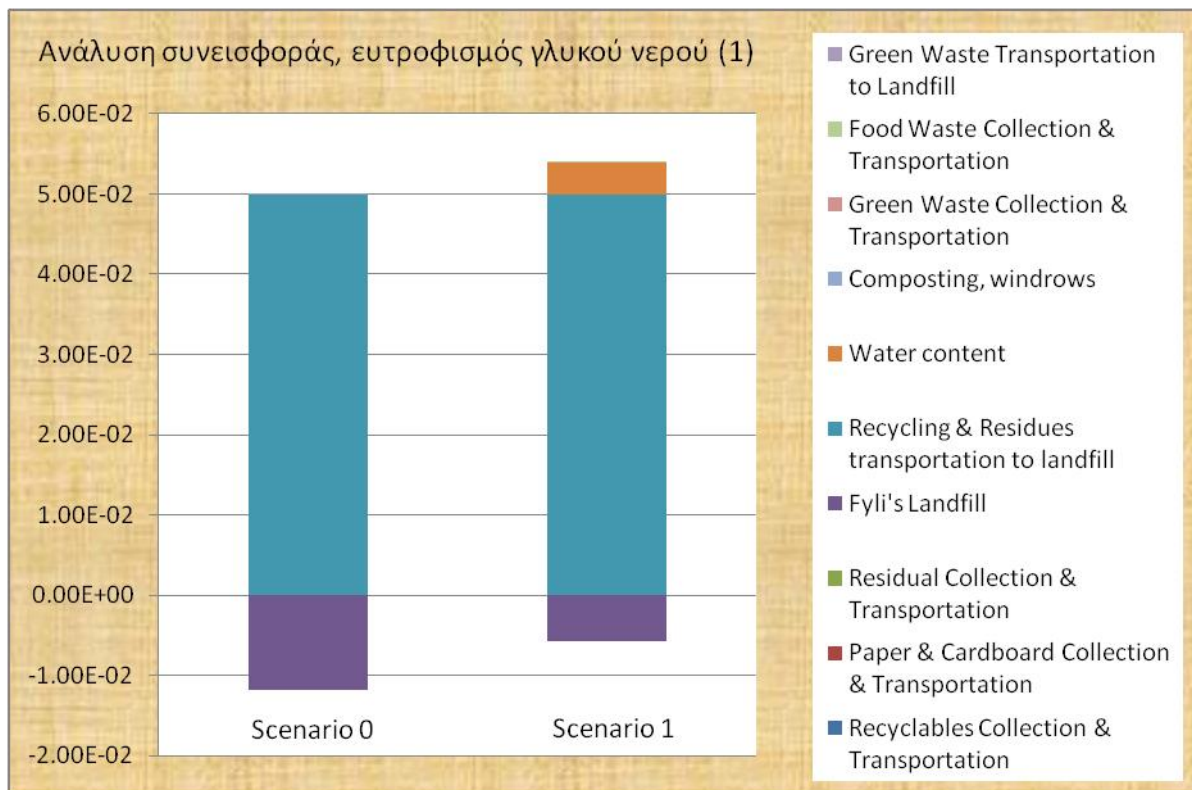
Διάγραμμα 52. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος (1)



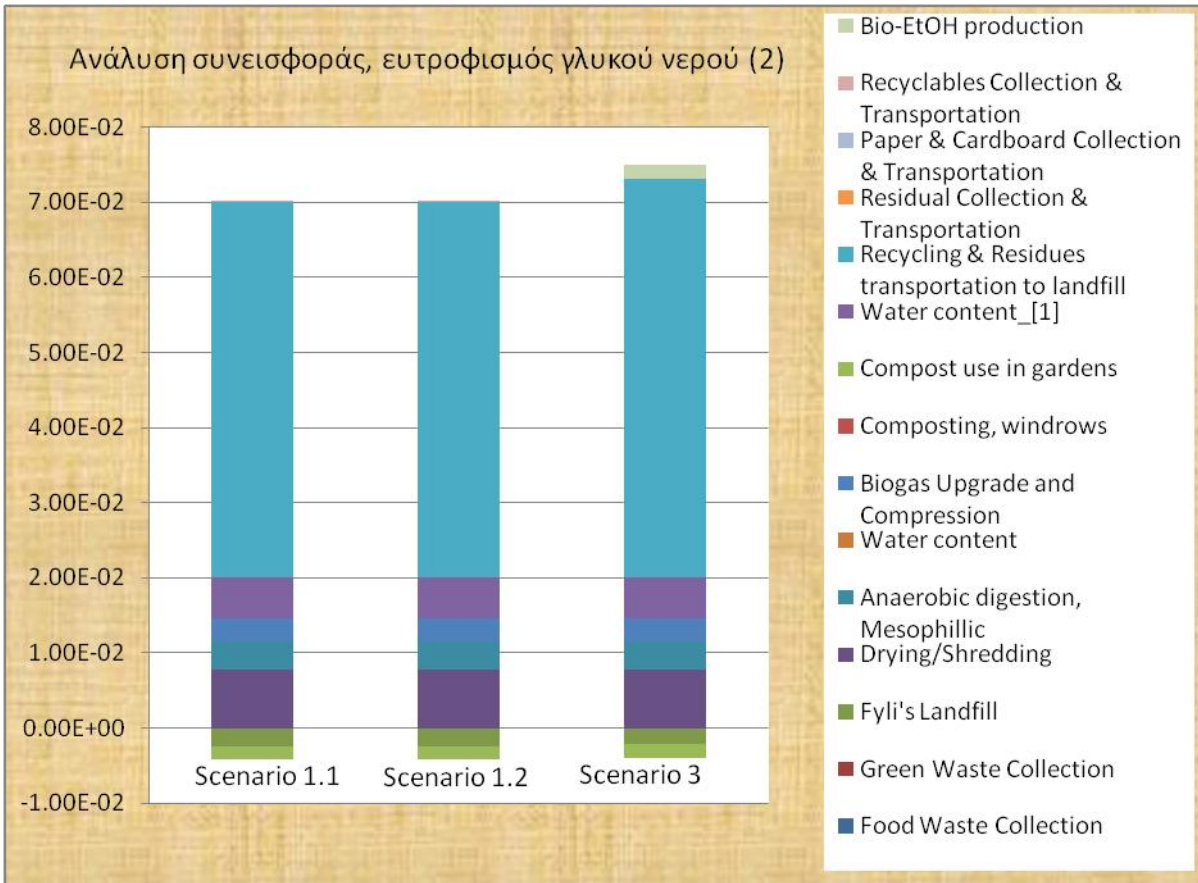
Διάγραμμα 53. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος (2)



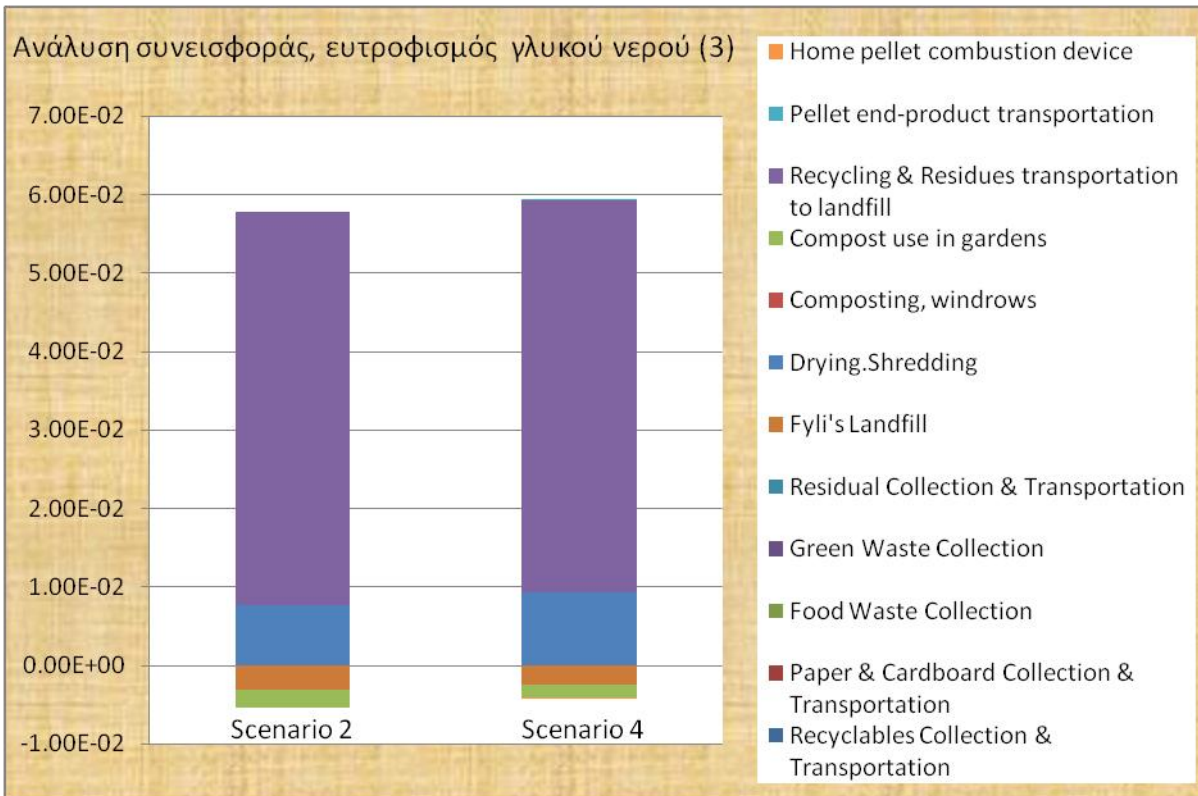
Διάγραμμα 54. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος (3)



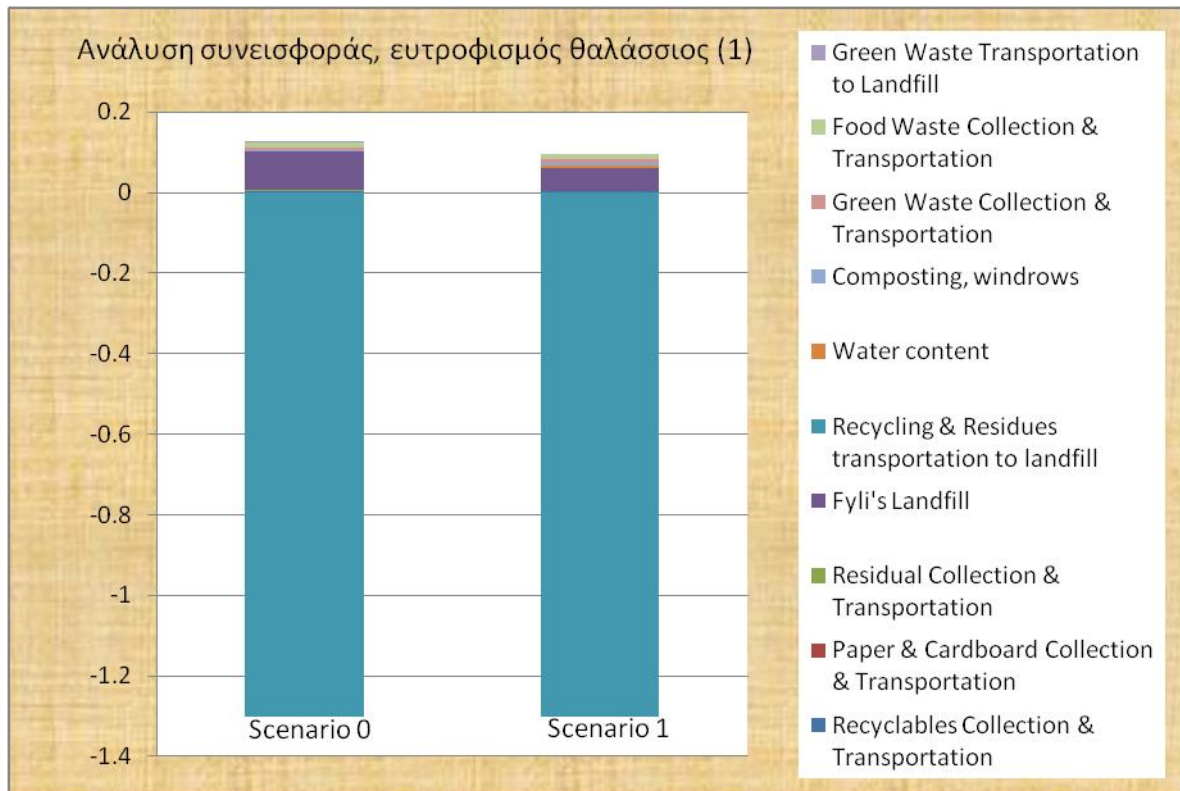
Διάγραμμα 55. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός γλυκού νερού (1)



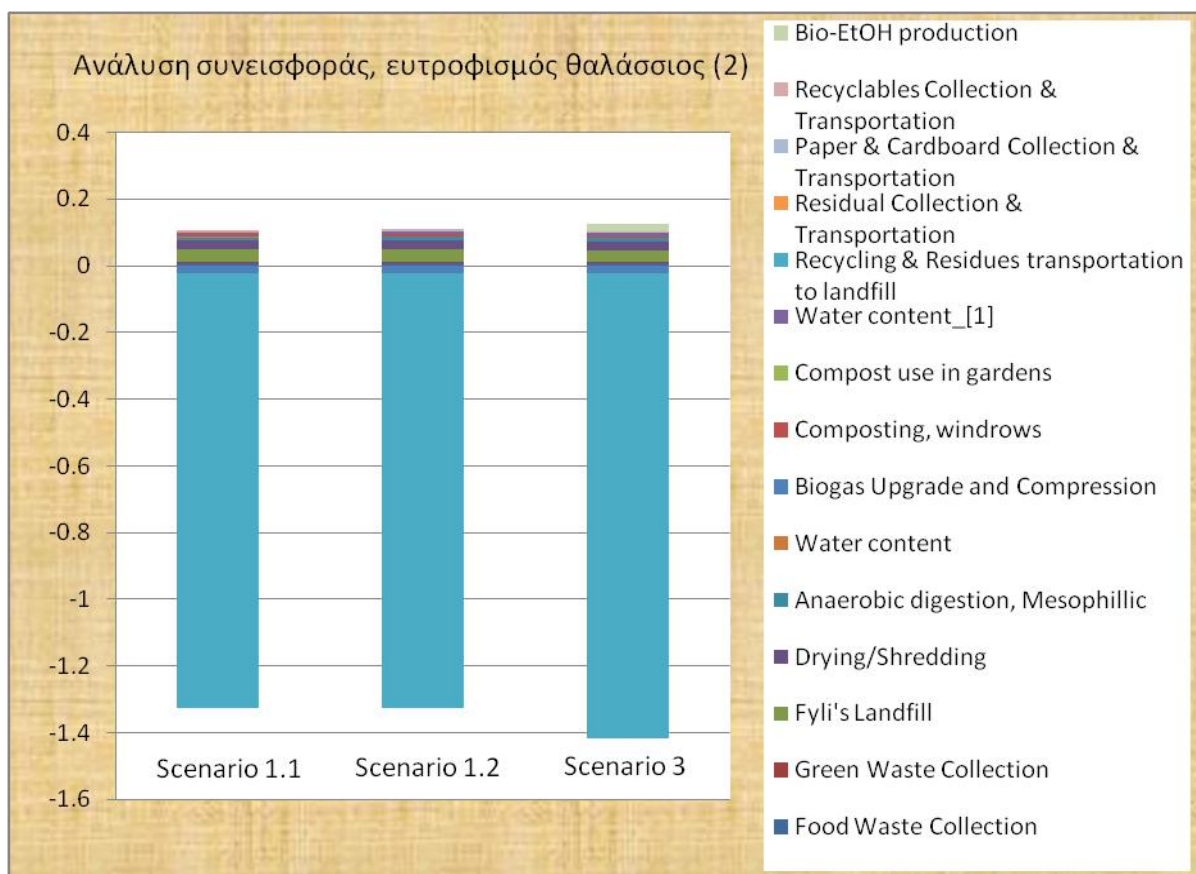
Διάγραμμα 56. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός γλυκού νερού (2)



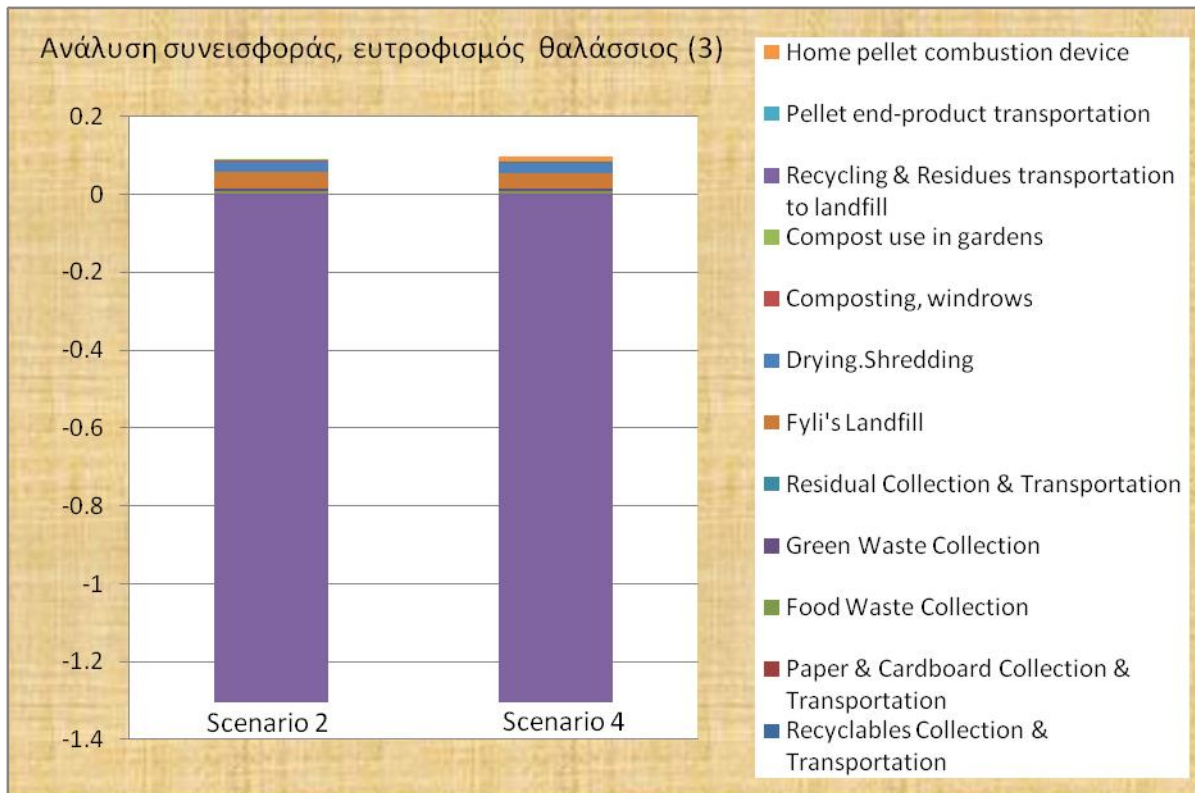
Διάγραμμα 57. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός γλυκού νερού (3)



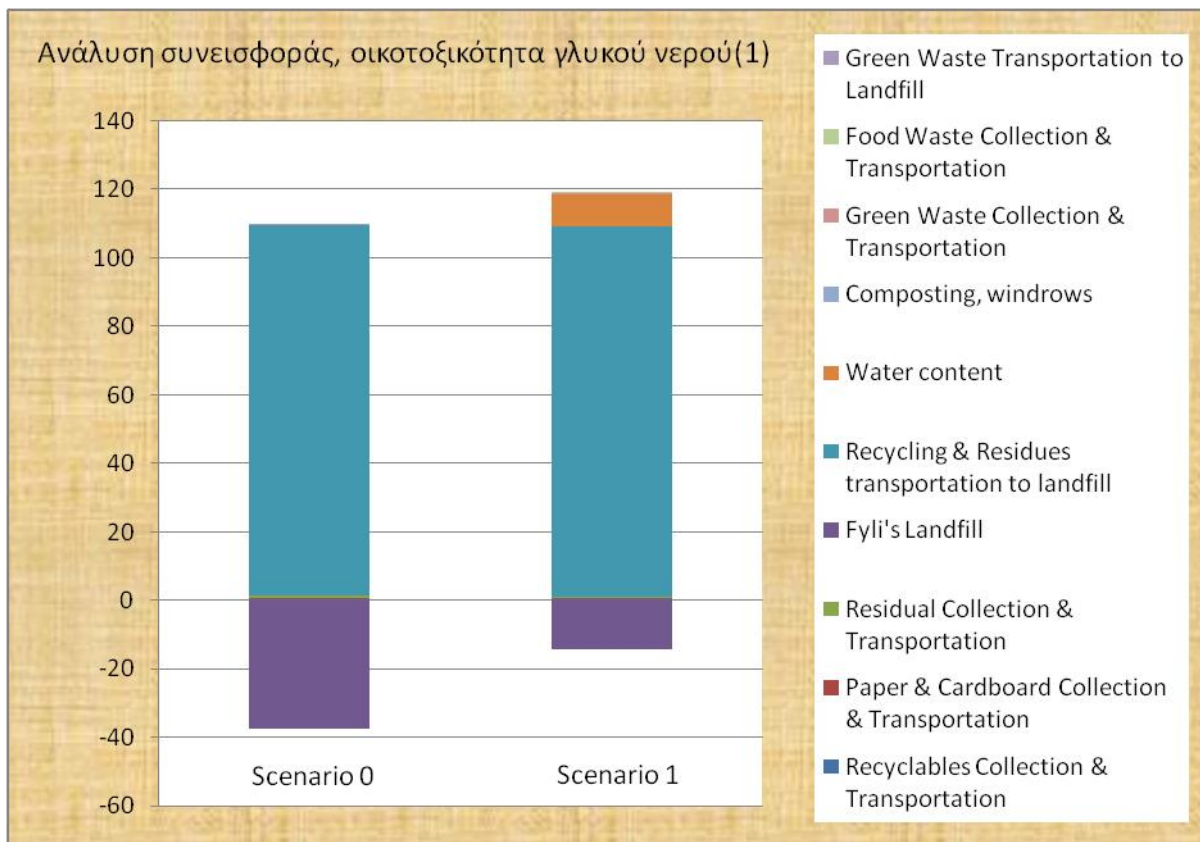
Διάγραμμα 58. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος (1)



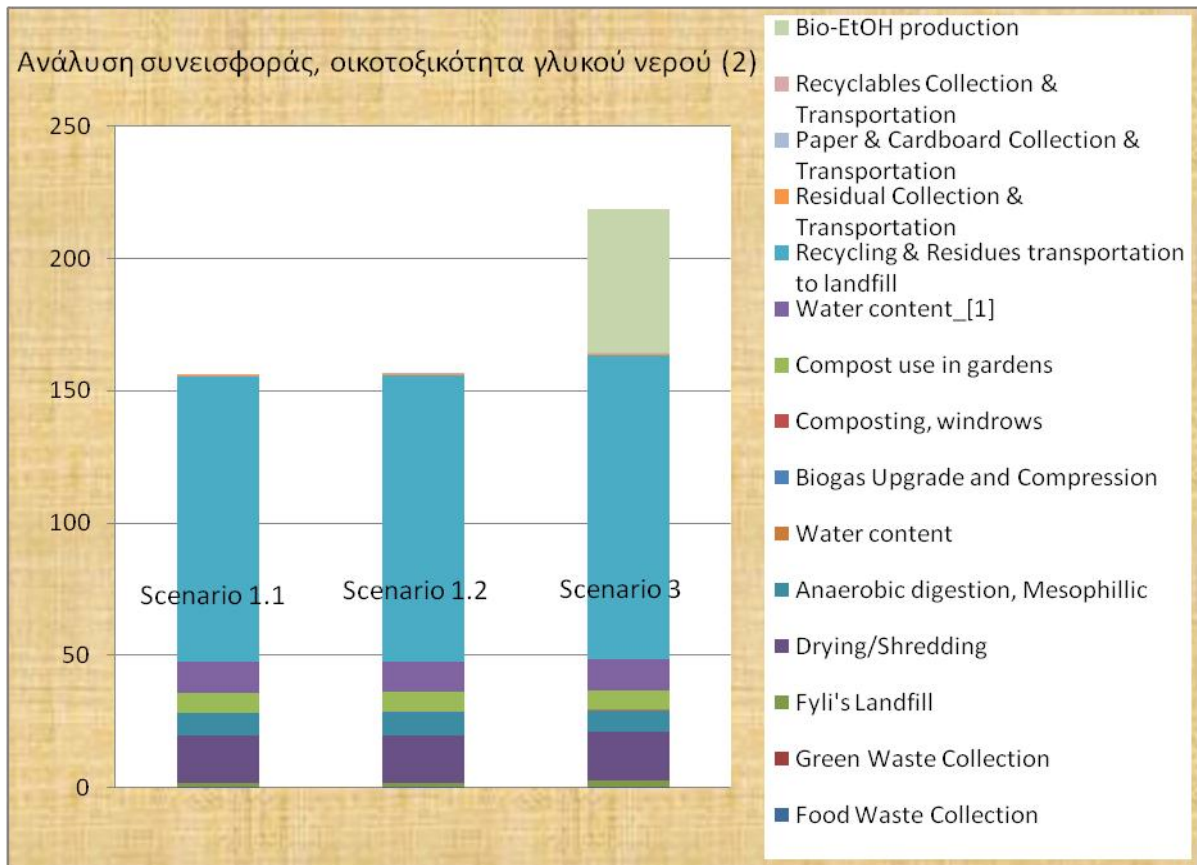
Διάγραμμα 59. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος (2)



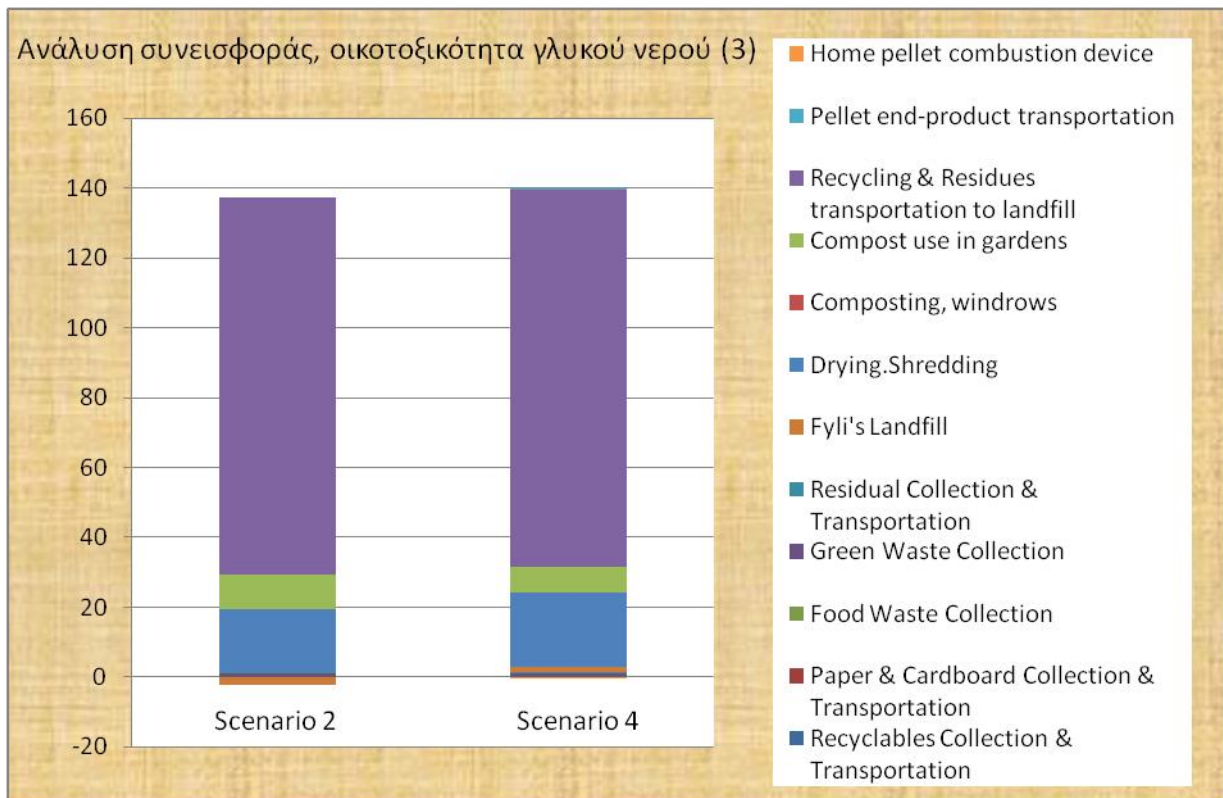
Διάγραμμα 60. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος (3)



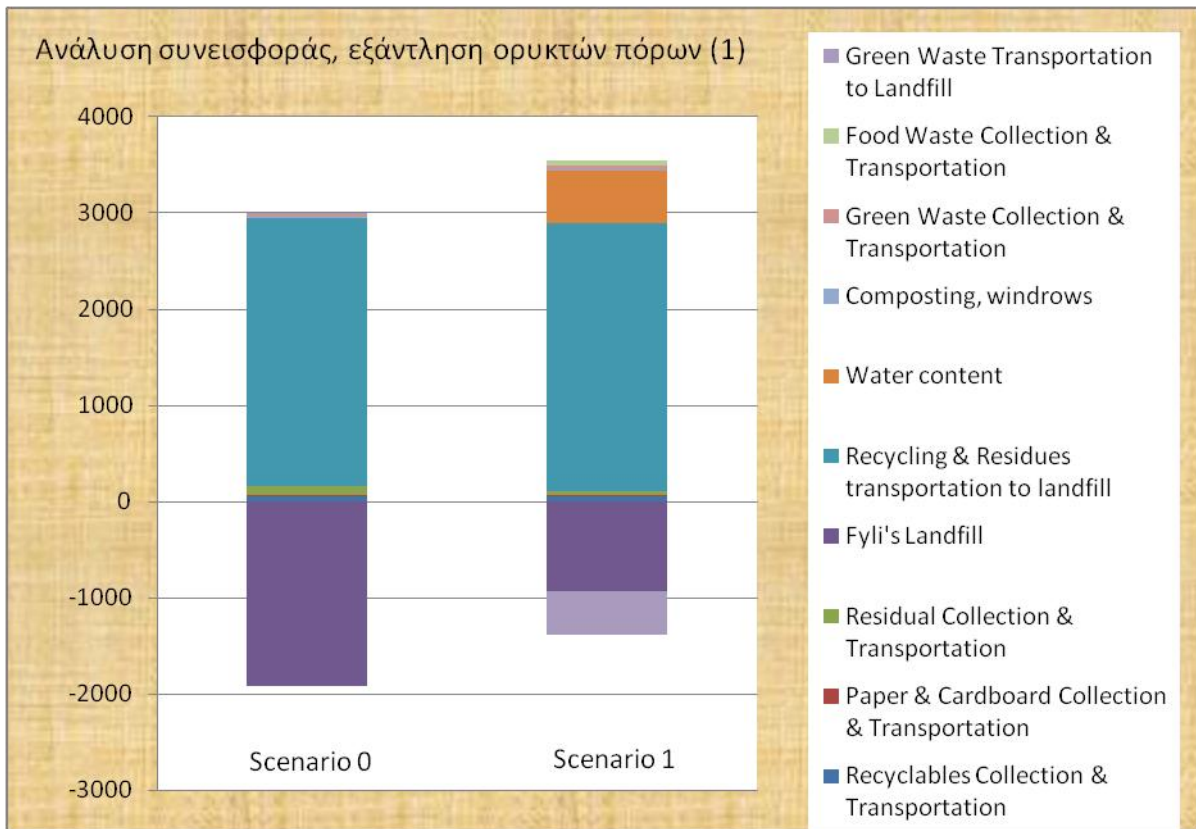
Διάγραμμα 61. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, οικοτοξικότητα γλυκού νερού (1)



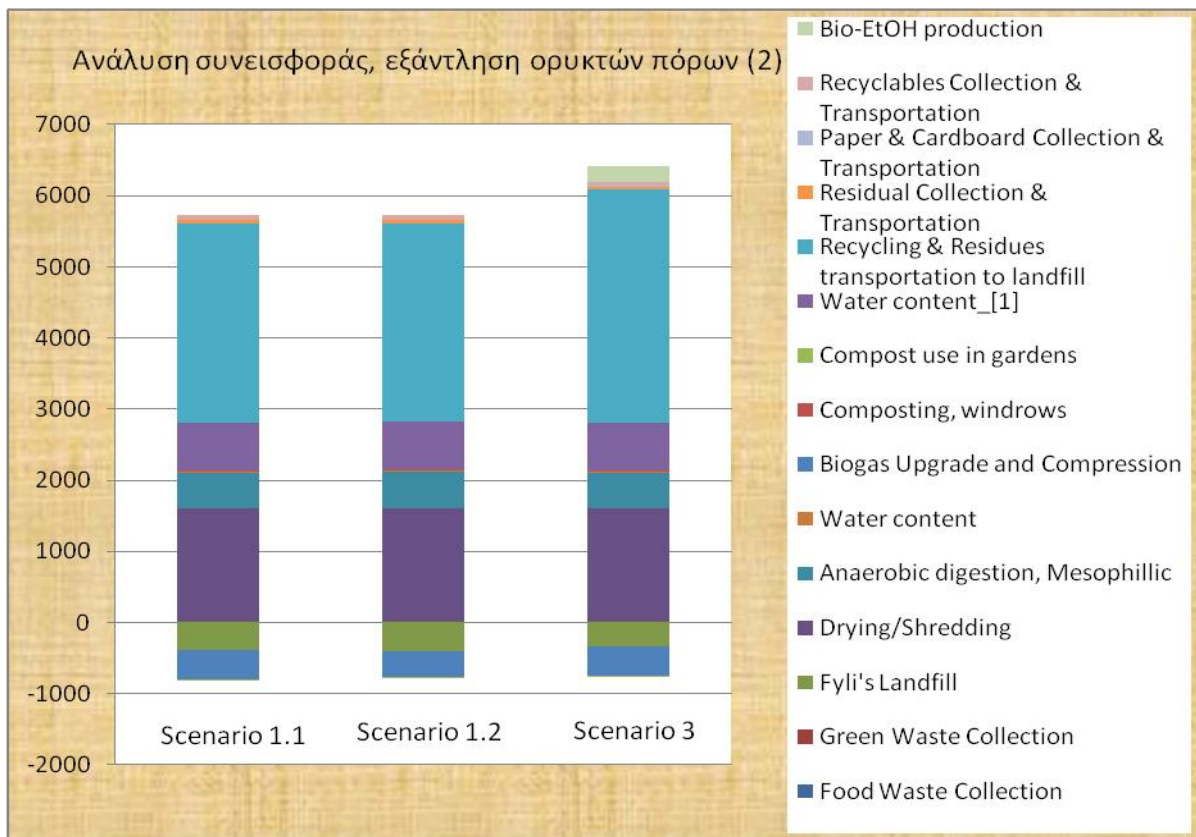
Διάγραμμα 62. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, οικοτοξικότητα γλυκού νερού (2)



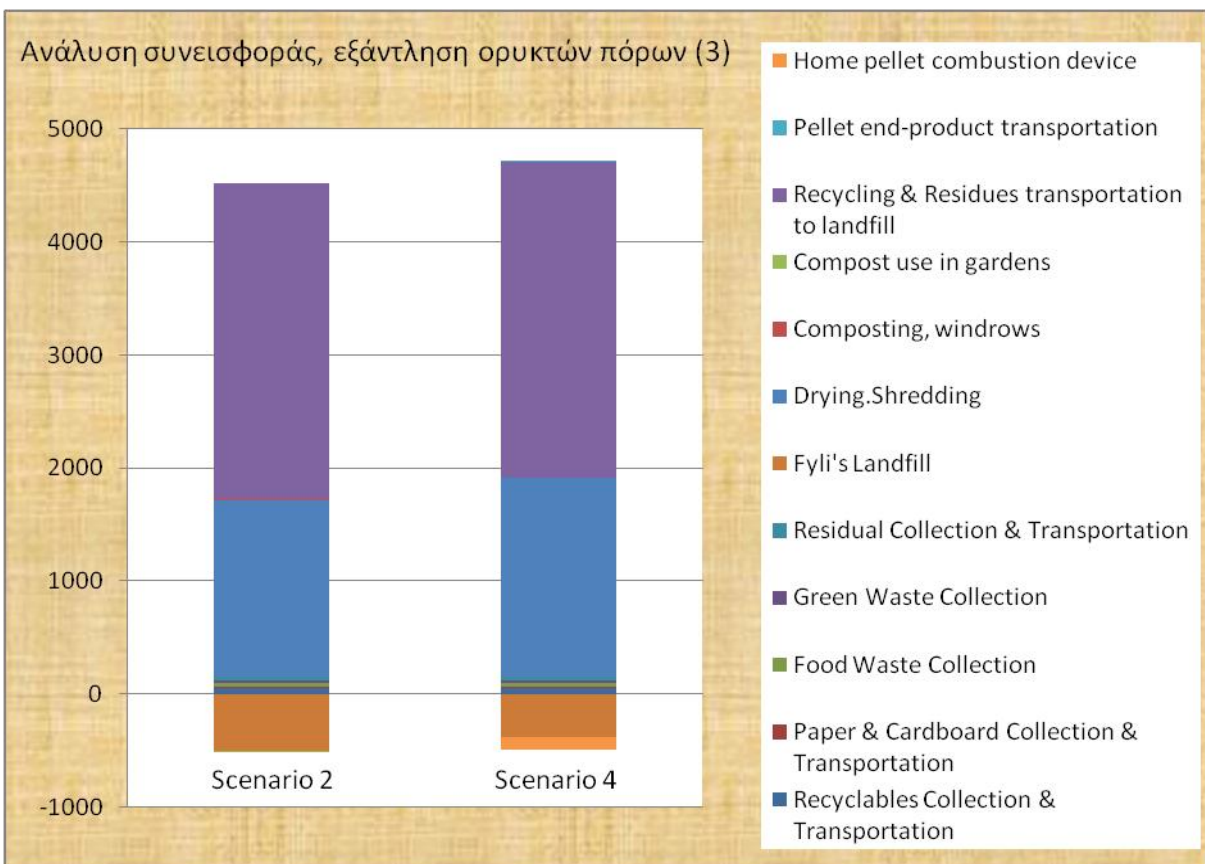
Διάγραμμα 63. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, οικοτοξικότητα γλυκού νερού (3)



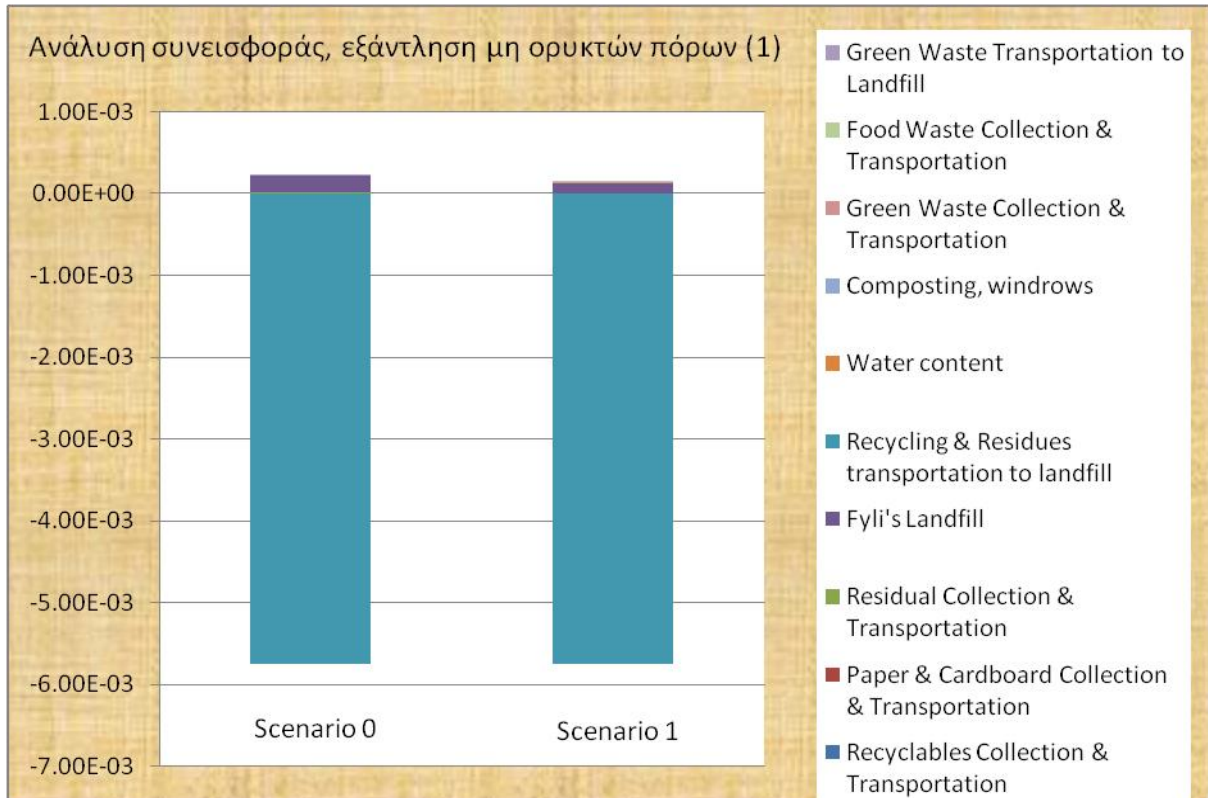
Διάγραμμα 64. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση ορυκτών πόρων (1)



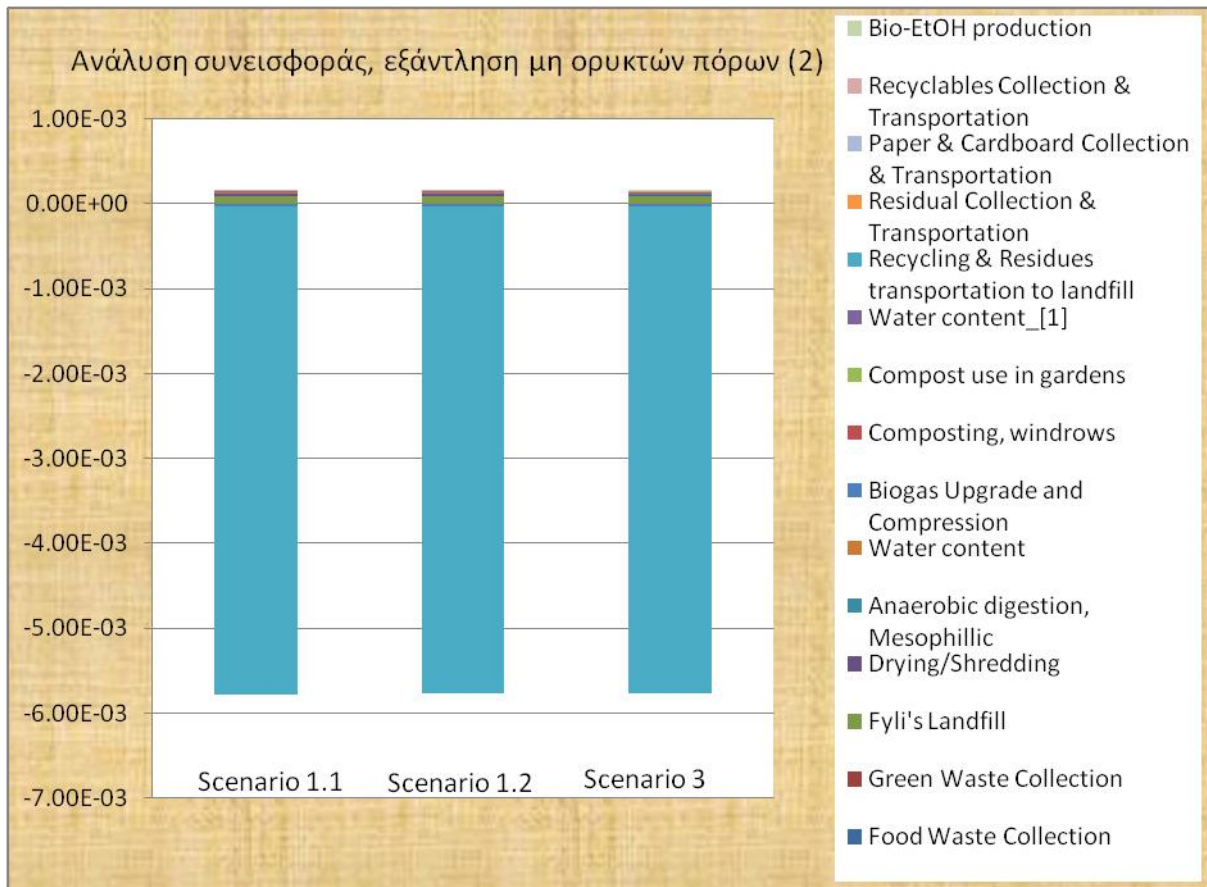
Διάγραμμα 65. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση ορυκτών πόρων (2)



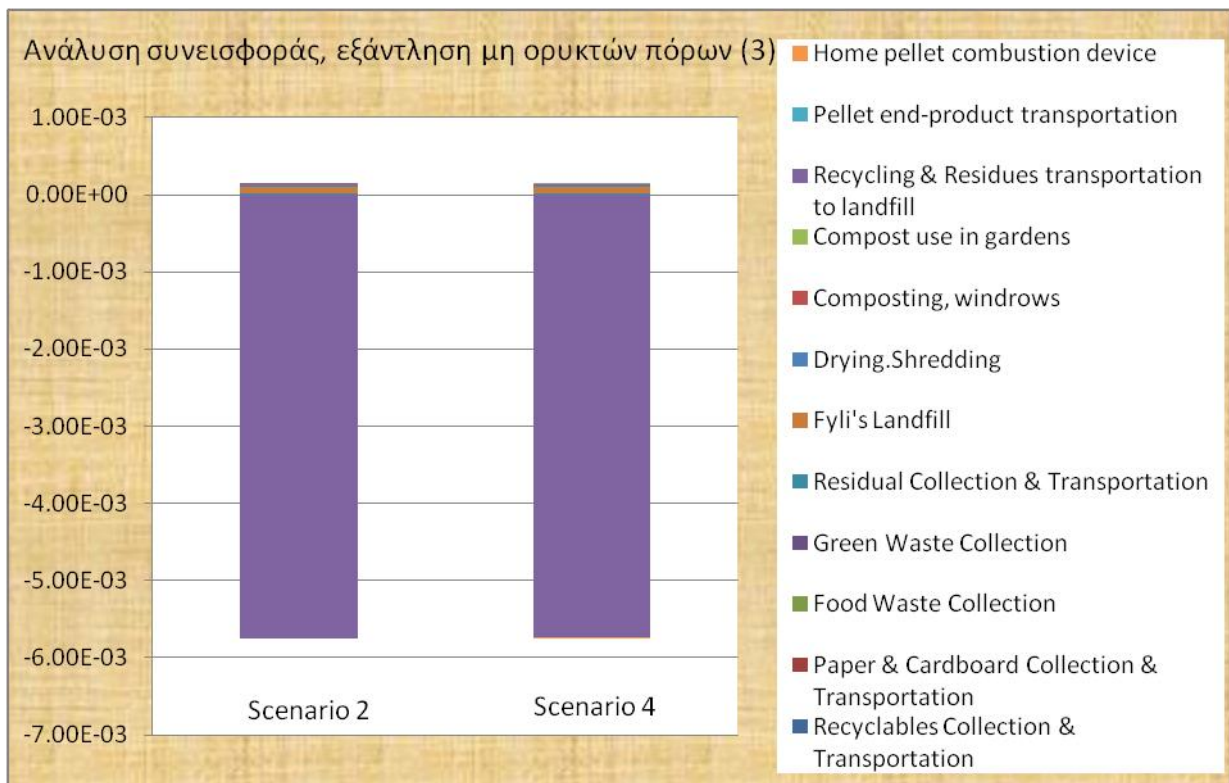
Διάγραμμα 66. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση ορυκτών πόρων (3)



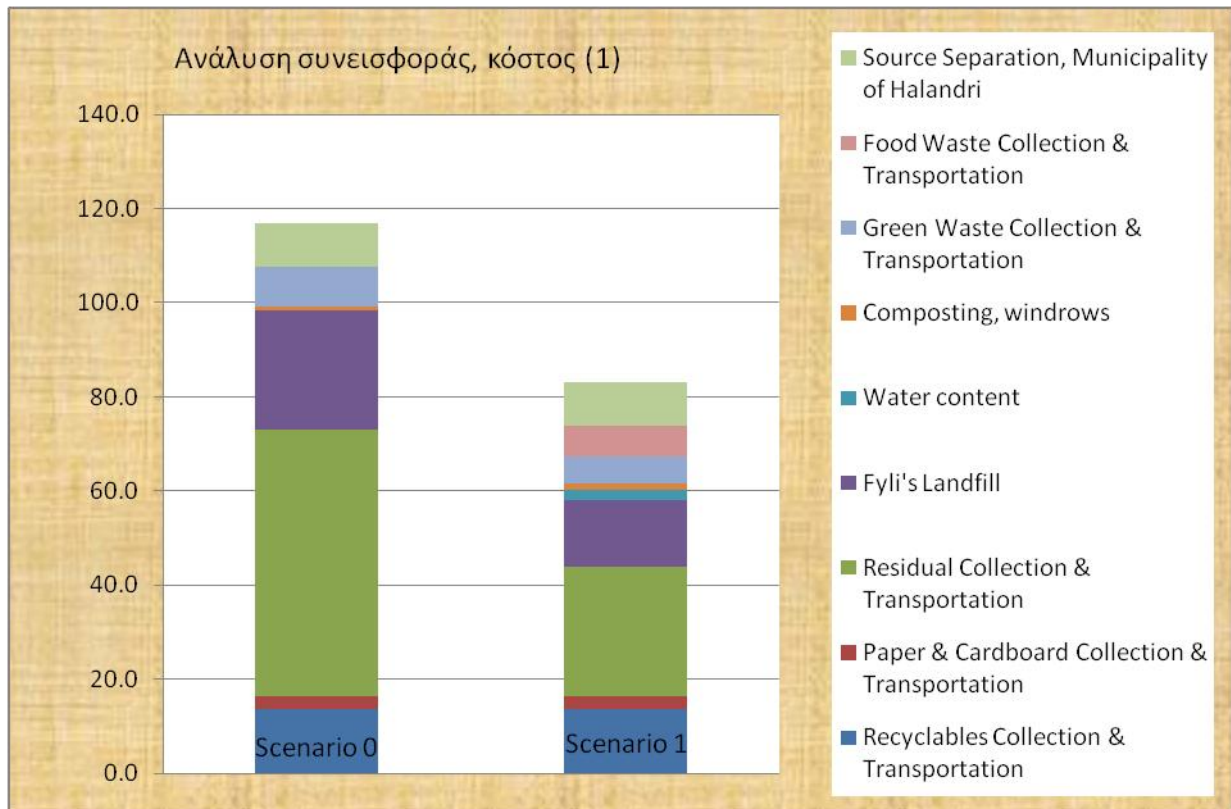
Διάγραμμα 67. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση μη ορυκτών πόρων (1)



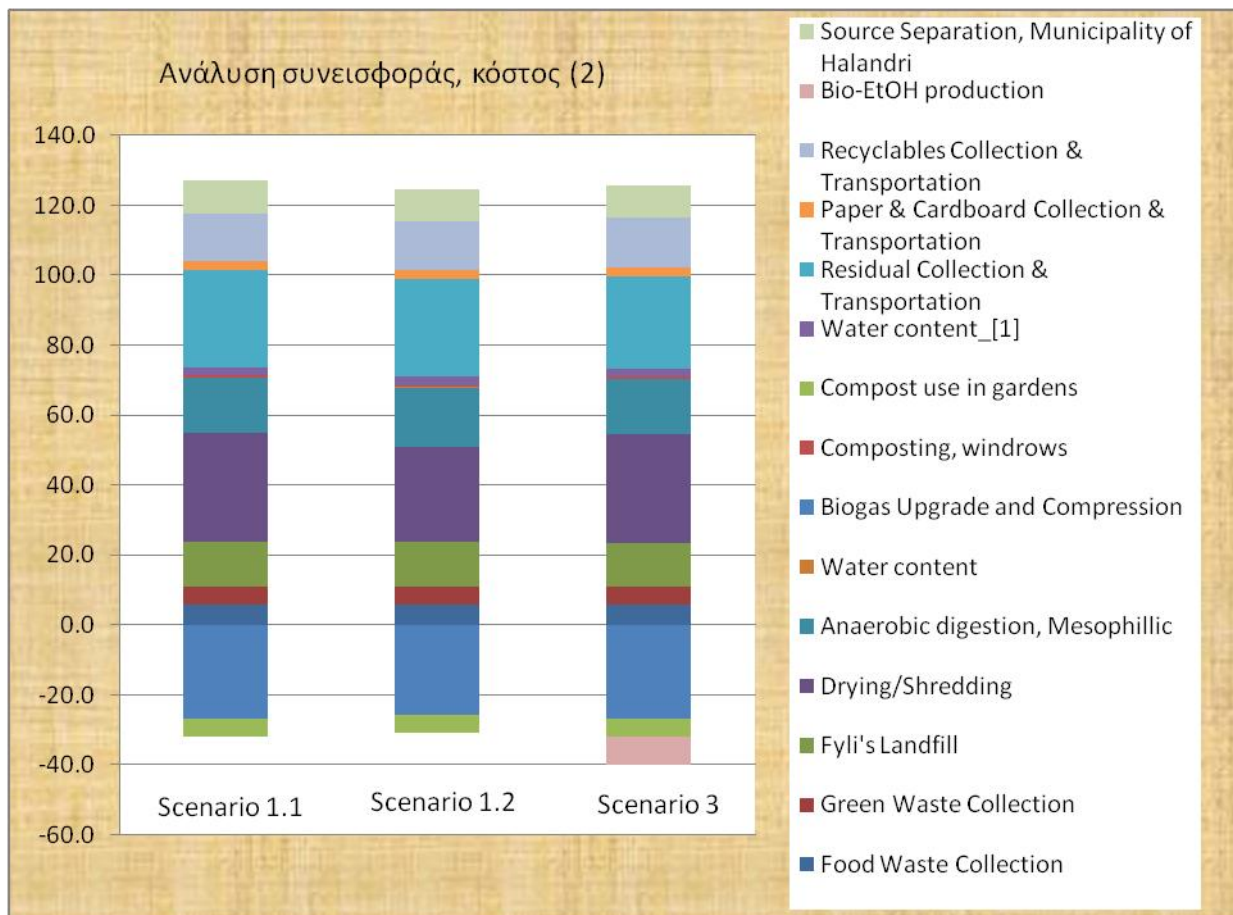
Διάγραμμα 68. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση μη ορυκτών πόρων (2)



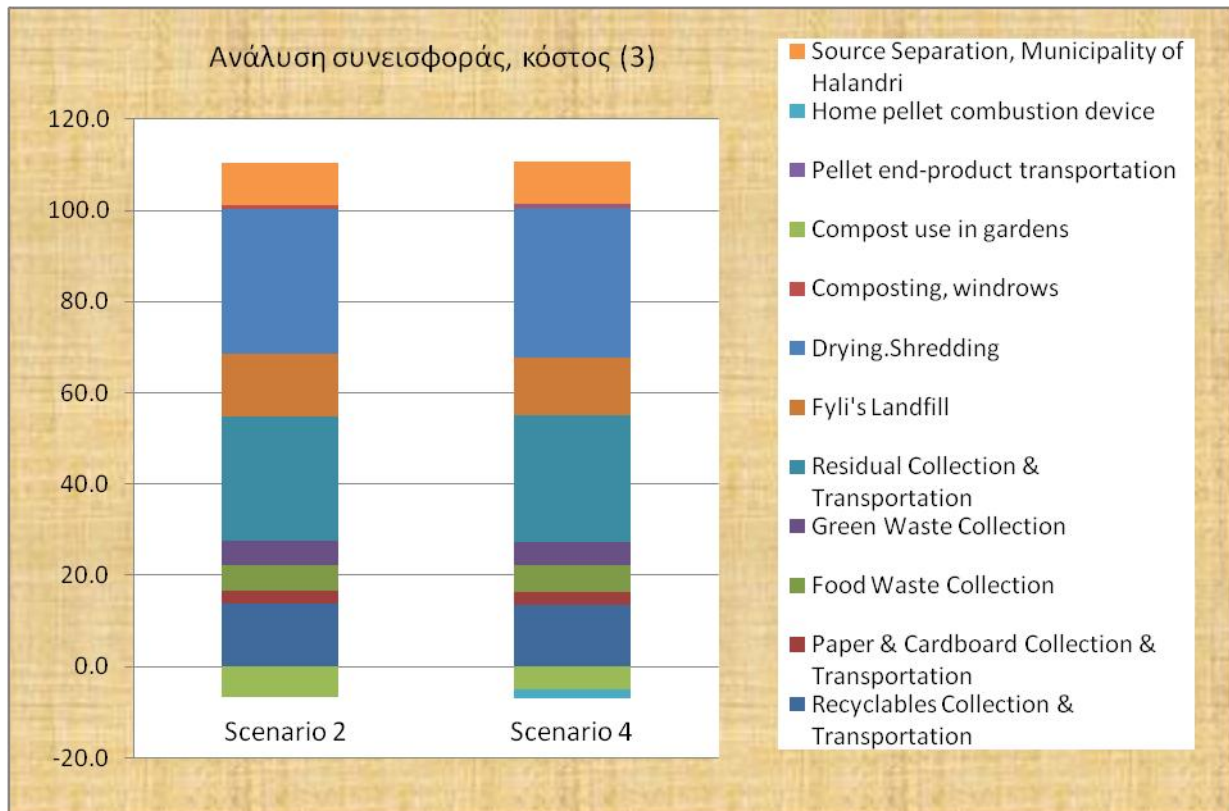
Διάγραμμα 69. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, εξάντληση μη ορυκτών πόρων (3)



Διάγραμμα 70. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, κόστος (1)



Διάγραμμα 71. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, κόστος (2)



Διάγραμμα 72. Ανάλυση συνεισφοράς διεργασιών, κόστος (3)

Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας

Στη συνέχεια στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι παράμετροι με το μεγαλύτερο λόγο ευαισθησίας για τις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων.

Πίνακας 45. Λόγοι ευαισθησίας παραμέτρων, σενάριο 0

| Σενάριο 0 | | | |
|-------------------------------------|----------|--------------------------|----------|
| Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -1.52325 | PaperCardboard_Blue | -0.08075 |
| PaperCardboard_Yellow | -1.08499 | PaperCardboard_Yellow | -0.05751 |
| SoftPlastic_Blue | 2.34278 | AluminiumFoil_Blue | 0.48615 |
| PlasticProducts_Blue | 2.59669 | BeverageCans_Blue | 0.53113 |
| Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -0.36271 | PaperCardboard_Blue | -1.01475 |
| SoftPlastic_Blue | 0.50668 | PaperCardboard_Yellow | -0.72278 |
| PlasticProducts_Blue | 0.57792 | BeverageCans_Blue | 0.82215 |
| PlasticBottles_Blue | 1.53024 | PlasticBottles_Blue | 0.82561 |
| Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -1.23601 | ClearGlass_Blue | 0.01108 |
| Green_Green | -0.97785 | Cardboard_Yellow | 0.14330 |
| PlasticBottles_Blue | 2.37796 | PaperCardboard_Yellow | 0.25044 |
| ClearGlass_Blue | 2.58051 | PaperCardboard_Blue | 0.35160 |

| Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|----------|
| | SR | | SR |
| Net_Inf | -0.05278 | Density_Landfill | -0.37330 |
| Cardboard_Yellow | 0.11930 | Height_Landfill | -0.37330 |
| PaperCardboard_Yellow | 0.21125 | Net_Inf | 0.41063 |
| PaperCardboard_Blue | 0.29657 | PaperCardboard_Blue | 0.42421 |
| Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -0.00105 | AluminiumFoil_Blue | 0.48839 |
| BeverageCans_Yellow | 0.01293 | BeverageCans_Blue | 0.53357 |

Πίνακας 46. Λόγοι ευαισθησίας παραμέτρων, σενάριο 1

| Σενάριο 1 | | | |
|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|----------|
| Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | |
| | SR | | SR |
| PlasticProducts_Blue | -16.06894 | PaperCardboard_Blue | -0.08761 |
| SoftPlastic_Blue | -14.49767 | Comp_C_Deg_FW | -0.08710 |
| Food_Brown | 5.99953 | AluminiumFoil_Blue | 0.52750 |
| PaperCardboard_Yellow | 6.71411 | BeverageCans_Blue | 0.57630 |
| Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -0.29237 | PlasticBottles_Blue | -4.42256 |
| PaperCardboard_Yellow | -0.20822 | BeverageCans_Blue | -4.40397 |
| Comp_C_Deg_FW | 0.45524 | PaperCardboard_Blue | 5.43566 |
| PlasticProducts_Blue | 0.46585 | Food_Brown | 5.57770 |
| Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | |
| | SR | | SR |
| ClearGlass_Blue | -3.41893 | Net_Inf | -0.00727 |
| PlasticBottles_Blue | -3.15056 | PlasticProducts_Blue | 0.01042 |
| Food_Brown | 1.82532 | PaperCardboard_Yellow | 0.19845 |
| Comp_N_Deg | 3.25170 | PaperCardboard_Blue | 0.27861 |
| Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
| | SR | | SR |
| Net_Inf | -0.03235 | Density_Landfill | -0.15859 |
| Cardboard_Yellow | 0.11762 | Height_Landfill | -0.15859 |
| PaperCardboard_Yellow | 0.20826 | PaperCardboard_Blue | 0.28991 |
| PaperCardboard_Blue | 0.29238 | Comp_C_Deg_FW | 0.35581 |
| Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -0.00103 | AluminiumFoil_Blue | 0.48130 |
| Food_Brown | 0.01427 | BeverageCans_Blue | 0.52582 |

Πίνακας 47. Λόγοι ευαισθησίας παραμέτρων, σενάριο 1.1

| Σενάριο 1.1 | | | |
|-----------------------------|----------|-----------------------|----------|
| Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | |
| | SR | | SR |
| PlasticProducts_Blue | -1.15322 | Water_TotalWeight | -0.29912 |
| SoftPlastic_Blue | -1.04046 | Food_Brown | -0.18051 |

| | | | |
|---|-----------|---|-----------|
| Food_Brown | 1.25865 | AluminiumFoil_Blue | 0.58469 |
| Water_TotalWeight | 4.56566 | BeverageCans_Blue | 0.63878 |
| Φωτοχημικό νέφος | SR | Οξίνιση εδάφους | SR |
| Water_TotalWeight | -2.20017 | PlasticBottles_Blue | -0.57031 |
| PaperCardboard_Blue | -0.26222 | BeverageCans_Blue | -0.56791 |
| CH4_to_CH4Frac | 0.41781 | Food_Brown | 1.49854 |
| AluminiumFoil_Blue | 1.10631 | Water_TotalWeight | 4.70640 |
| Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | SR | Ευτροφισμός γλυκού νερού | SR |
| ClearGlass_Blue | -5.81364 | DS_VS_Condensate | -0.09467 |
| PlasticBottles_Blue | -5.35730 | PaperCardboard_Blue | 0.20408 |
| Comp_N_Deg | 5.52929 | Food_Brown | 0.38817 |
| Water_TotalWeight | 27.04822 | Water_TotalWeight | 1.43510 |
| Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | SR | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | SR |
| Water_TotalWeight | -0.14747 | DS_VS_Condensate | -0.09456 |
| Cardboard_Yellow | 0.11621 | PaperCardboard_Blue | 0.19530 |
| PaperCardboard_Yellow | 0.20578 | Food_Brown | 0.43865 |
| PaperCardboard_Blue | 0.28889 | Water_TotalWeight | 1.30888 |
| Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | SR | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | SR |
| Water_TotalWeight | -0.04785 | AluminiumFoil_Blue | 0.47949 |
| Food_Brown | 0.01502 | BeverageCans_Blue | 0.52384 |

Πίνακας 48. Λόγοι ευαισθησίας παραμέτρων, σενάριο 1.2

| Σενάριο 1.2 | | | |
|---|-----------|------------------------------------|-----------|
| Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | SR | Ιονίζουσα ακτινοβολία | SR |
| PlasticProducts_Blue | -1.14738 | Water_TotalWeight | -0.30144 |
| SoftPlastic_Blue | -1.03519 | Food_Brown | -0.18128 |
| Food_Brown | 1.25734 | AluminiumFoil_Blue | 0.58507 |
| Water_TotalWeight | 4.55467 | BeverageCans_Blue | 0.63920 |
| Φωτοχημικό νέφος | SR | Οξίνιση εδάφους | SR |
| Water_TotalWeight | -2.60496 | PlasticBottles_Blue | -0.55840 |
| PaperCardboard_Blue | -0.27195 | BeverageCans_Blue | -0.55605 |
| PlasticProducts_Blue | 0.43331 | Food_Brown | 1.48813 |
| PlasticBottles_Blue | 1.14733 | Water_TotalWeight | 4.75209 |
| Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | SR | Ευτροφισμός γλυκού νερού | SR |
| ClearGlass_Blue | -3.96117 | DS_VS_Condensate | -0.11038 |
| PlasticBottles_Blue | -3.65024 | MilkCartons_Blue | 0.03556 |
| Comp_N_Deg | 3.76743 | Food_Brown | 0.38870 |
| Water_TotalWeight | 21.18353 | Water_TotalWeight | 1.43413 |
| Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | SR | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | SR |
| Water_TotalWeight | -0.17325 | DS_VS_Condensate | -0.09456 |
| Cardboard_Yellow | 0.11654 | PaperCardboard_Blue | 0.19487 |
| PaperCardboard_Yellow | 0.20635 | Food_Brown | 0.43990 |
| PaperCardboard_Blue | 0.28969 | Water_TotalWeight | 1.31417 |

| Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | SR | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | SR |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|---------|
| Water_TotalWeight | -0.04919 | AluminiumFoil_Blue | 0.47967 |
| DS_elec | -0.00378 | BeverageCans_Blue | 0.52404 |

Πίνακας 49. Λόγοι ευαισθησίας παραμέτρων, σενάριο 2

| Σενάριο 2 | | | |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|----------|
| Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | SR | Ιονίζουσα ακτινοβολία | SR |
| PlasticProducts_Blue | -2.69451 | Food_Brown | -0.12283 |
| SoftPlastic_Blue | -2.43103 | PaperCardboard_Blue | -0.09175 |
| PaperCardboard_Blue | 1.58062 | AluminiumFoil_Blue | 0.55241 |
| Food_Brown | 1.88831 | BeverageCans_Blue | 0.60352 |
| Φωτοχημικό νέφος | SR | Οξίνιση εδάφους | SR |
| PaperCardboard_Blue | -0.28143 | PlasticBottles_Blue | -1.04343 |
| SoftPlastic_Blue | 0.39314 | BeverageCans_Blue | -1.03904 |
| PlasticProducts_Blue | 0.44841 | PaperCardboard_Blue | 1.28245 |
| PlasticBottles_Blue | 1.18733 | Food_Brown | 2.13507 |
| Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | SR | Ευτροφισμός γλυκού νερού | SR |
| ClearGlass_Blue | -3.09842 | Net_Inf | -0.00551 |
| PlasticBottles_Blue | -2.85521 | PaperCardboard_Yellow | 0.18294 |
| Food_Brown | 2.58440 | PaperCardboard_Blue | 0.25684 |
| Comp_N_Deg | 2.94687 | Food_Brown | 0.27821 |
| Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | SR | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | SR |
| Net_Inf | -0.02650 | Density_Landfill | -0.10160 |
| Cardboard_Yellow | 0.11712 | Height_Landfill | -0.10160 |
| PaperCardboard_Yellow | 0.20739 | PaperCardboard_Blue | 0.22574 |
| PaperCardboard_Blue | 0.29116 | Food_Brown | 0.39130 |
| Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | SR | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | SR |
| DS_elec | -0.00379 | AluminiumFoil_Blue | 0.48075 |
| PaperCardboard_Blue | -0.00103 | BeverageCans_Blue | 0.52522 |

Πίνακας 50. Λόγοι ευαισθησίας παραμέτρων, σενάριο 3

| Σενάριο 3 | | | |
|-----------------------------|----------|-----------------------|----------|
| Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | SR | Ιονίζουσα ακτινοβολία | SR |
| PlasticProducts_Blue | -1.00175 | Water_TotalWeight | -0.30873 |
| SoftPlastic_Blue | -0.90380 | Food_Brown | -0.21845 |
| Food_Brown | 1.22468 | AluminiumFoil_Blue | 0.60348 |
| Water_TotalWeight | 3.96599 | BeverageCans_Blue | 0.65931 |
| Φωτοχημικό νέφος | SR | Οξίνιση εδάφους | SR |
| Water_TotalWeight | -2.13515 | PlasticBottles_Blue | -0.50461 |
| PaperCardboard_Blue | -0.25448 | BeverageCans_Blue | -0.50249 |
| PlasticProducts_Blue | 0.40547 | Food_Brown | 1.44111 |
| PlasticBottles_Blue | 1.07362 | Water_TotalWeight | 4.16424 |

| Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|----------|
| | SR | | SR |
| DS_Water_Condensate | -2.91686 | DS_VS_Condensate | -0.10719 |
| ClearGlass_Blue | -1.85067 | PaperCardboard_Blue | 0.19864 |
| Comp_N_Deg | 1.76015 | Food_Brown | 0.40449 |
| Water_TotalWeight | 8.61031 | Water_TotalWeight | 1.39681 |
| Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
| | SR | | SR |
| Water_TotalWeight | -0.15036 | DS_Water_Condensate | -1.04176 |
| Cardboard_Yellow | 0.11849 | DS_VS_Condensate | -0.28563 |
| PaperCardboard_Yellow | 0.20981 | Food_Brown | 0.58314 |
| PaperCardboard_Blue | 0.29455 | Water_TotalWeight | 0.97196 |
| Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | |
| | SR | | SR |
| Water_TotalWeight | -0.04788 | AluminiumFoil_Blue | 0.47971 |
| Food_Brown | 0.01456 | BeverageCans_Blue | 0.52409 |

Πίνακας 51. Λόγοι ευαισθησίας παραμέτρων, σενάριο 4

| Σενάριο 4 | | | |
|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|----------|
| Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | |
| | SR | | SR |
| PlasticProducts_Blue | -2.09025 | Food_Brown | -0.13869 |
| SoftPlastic_Blue | -1.88586 | PaperCardboard_Blue | -0.09305 |
| PaperCardboard_Blue | 1.22615 | AluminiumFoil_Blue | 0.56022 |
| Food_Brown | 1.68910 | BeverageCans_Blue | 0.61204 |
| Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
| | SR | | SR |
| PaperCardboard_Blue | -0.30799 | PlasticBottles_Blue | -0.98397 |
| DS_heat | -0.24532 | BeverageCans_Blue | -0.97983 |
| PlasticProducts_Blue | 0.49073 | PaperCardboard_Blue | 1.20937 |
| PlasticBottles_Blue | 1.29939 | Food_Brown | 2.07039 |
| Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | |
| | SR | | SR |
| ClearGlass_Blue | -59.87121 | Net_Inf | -0.00491 |
| PlasticBottles_Blue | -55.17166 | PaperCardboard_Yellow | 0.17343 |
| PaperCardboard_Blue | 28.67669 | PaperCardboard_Blue | 0.24348 |
| Food_Brown | 31.61555 | Food_Brown | 0.31576 |
| Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
| | SR | | SR |
| Net_Inf | -0.02507 | Density_Landfill | -0.09277 |
| Cardboard_Yellow | 0.11792 | PaperCardboard_Yellow | 0.15622 |
| PaperCardboard_Yellow | 0.20880 | PaperCardboard_Blue | 0.21933 |
| PaperCardboard_Blue | 0.29314 | Food_Brown | 0.40857 |
| Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων, στοιχεία | |
| | SR | | SR |
| DS_elec | -0.00378 | AluminiumFoil_Blue | 0.48048 |
| PlasticBottles_Blue | 0.00115 | BeverageCans_Blue | 0.52493 |

Αποτελέσματα ανάλυσης αβεβαιότητας

Στους παρακάτω πίνακες αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης αβεβαιότητας συνολικά για κάθε σενάριο αλλά και ανά διεργασία ξεχωριστά.

Πίνακας 52. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 0 (1)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Κλιματική αλλαγή | | Εξάντληση όζοντος | | Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | |
|---|------------------|-------|-------------------|----------|-----------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| | kg CO2-Eq | Dev | kg CFC-11 Eq | Dev | CTUh | Dev | CTUh | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | 64.58 | 5.68 | -7.56E-04 | 2.59E-05 | -5.63E-07 | 8.26E-08 | 6.55E-05 | 1.49E-06 |
| Fyli's Landfill | 78.36 | 2.17 | 2.36E-04 | 1.77E-06 | -6.96E-07 | 5.48E-09 | -4.75E-06 | 1.59E-07 |
| Recyclables Collection & Transportation | 4.03 | 1.05 | 1.48E-09 | 3.83E-10 | 5.52E-09 | 1.43E-09 | 8.10E-07 | 2.10E-07 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.04 | 0.27 | 3.79E-10 | 1.00E-10 | 1.42E-09 | 3.74E-10 | 2.08E-07 | 5.49E-08 |
| Residual Coll. & Transp. | 6.78 | 1.69 | 2.48E-09 | 6.19E-10 | 9.29E-09 | 2.32E-09 | 1.36E-06 | 3.40E-07 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -12.14 | 3.92 | -1.01E-03 | 2.56E-05 | 1.93E-07 | 8.02E-08 | 6.77E-05 | 1.39E-06 |
| Green Waste Collection | 1.56 | 0.57 | 5.69E-10 | 2.09E-10 | 2.13E-09 | 7.81E-10 | 3.13E-07 | 1.15E-07 |
| Composting, windrows | 7.85 | 0.42 | 2.20E-10 | 2.68E-11 | 7.73E-10 | 9.40E-11 | 1.18E-07 | 1.43E-08 |
| Fyli's Landfill - Biodegradables (0-Cost) | -24.16 | 1.625 | 2.14E-05 | 1.44E-06 | -8.03E-08 | 5.45E-09 | -5.18E-07 | 5.30E-08 |
| Green Waste Transportation to Landfill | 1.284 | 0.472 | 4.70E-10 | 1.73E-10 | 1.76E-09 | 6.46E-10 | 2.58E-07 | 9.48E-08 |

Πίνακας 53. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 0 (2)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Αιωρούμενα σωματίδια | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | | Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
|---|----------------------|---------|-----------------------|----------|------------------|----------|-----------------|----------|
| | kgPM2.5-eq | Dev | kBq U235 eq | Dev | kg NMVOC | Dev | mol H+ eq. | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | -0.01773 | 0.00233 | -1.17E+01 | 3.02E-01 | -1.96E-01 | 1.45E-02 | -3.25E-01 | 2.59E-02 |
| Fyli's Landfill | -0.04290 | 0.00033 | -1.27E+00 | 1.16E-02 | 1.94E-01 | 1.24E-03 | -3.68E-01 | 2.98E-03 |
| Recyclables Collection & Transportation | 0.00056 | 0.00015 | 5.82E-03 | 1.51E-03 | 5.96E-03 | 1.55E-03 | 7.45E-03 | 1.94E-03 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 0.00014 | 0.00004 | 1.50E-03 | 3.94E-04 | 1.53E-03 | 4.04E-04 | 1.91E-03 | 5.05E-04 |
| Residual Collection & Transportation | 0.00009 | 0.00023 | 9.79E-03 | 2.44E-03 | 1.00E-02 | 2.50E-03 | 1.25E-02 | 3.13E-03 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 0.02606 | 0.00203 | -1.03E+01 | 3.00E-01 | -4.53E-01 | 1.32E-02 | -1.20E-02 | 2.32E-02 |
| Green Waste Collection | 0.00126 | 0.00046 | 2.25E-03 | 8.23E-04 | 1.43E-02 | 5.24E-03 | 1.12E-02 | 4.11E-03 |
| Composting, windrows | 0.00099 | 0.00005 | 8.68E-04 | 1.06E-04 | 4.94E-03 | 5.73E-04 | 4.35E-02 | 2.33E-03 |
| Fyli's Landfill - Biodegradables (0-Cost) | -0.00495 | 0.00034 | -1.40E-01 | 1.28E-02 | 2.43E-02 | 1.59E-03 | -4.22E-02 | 3.01E-03 |
| Green Waste Transportation to Landfill | 0.00018 | 0.00007 | 1.85E-03 | 6.81E-04 | 1.90E-03 | 6.97E-04 | 2.37E-03 | 8.72E-04 |

Πίνακας 54. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 0 (3)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | | Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
|---|---|---------|-----------------------------|----------|--|----------|--------------------------------|----------|
| | mol N eq. | Dev | kg P eq. | Dev | kg N eq. | Dev | CTUe | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | -0.18270 | 0.04032 | 3.81E-02 | 7.21E-04 | -1.19E+00 | 2.00E-02 | 7.24E+01 | 4.52E+00 |
| Fyli's Landfill | 0.34770 | 0.00319 | -1.06E-02 | 1.06E-04 | 8.64E-02 | 7.58E-03 | -3.42E+01 | 3.61E+00 |
| Recyclables Collection & Transportation | 0.02409 | 0.00626 | 3.50E-06 | 8.83E-07 | 1.98E-03 | 5.13E-04 | 4.57E-01 | 1.19E-01 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 0.00619 | 0.00163 | 9.00E-07 | 2.35E-07 | 5.08E-04 | 1.34E-04 | 1.18E-01 | 3.10E-02 |
| Residual Collection & Transportation | 0.04053 | 0.01012 | 5.89E-06 | 1.48E-06 | 3.32E-03 | 8.30E-04 | 7.69E-01 | 1.92E-01 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -0.90300 | 0.03047 | 5.00E-02 | 6.44E-04 | -1.30E+00 | 1.80E-02 | 1.08E+02 | 1.45E+00 |
| Green Waste Collection | 0.05728 | 0.02100 | 1.35E-06 | 4.52E-07 | 5.14E-03 | 1.89E-03 | 1.77E-01 | 6.47E-02 |
| Composting, windrows | 0.19640 | 0.01042 | 5.22E-07 | 6.36E-08 | 2.99E-03 | 2.26E-04 | 6.37E-02 | 7.74E-03 |
| Fyli's Landfill - Biodegradables (0-Cost) | 0.04035 | 0.00260 | -1.24E-03 | 1.06E-04 | 1.15E-02 | 1.16E-03 | -3.26E+00 | 7.34E-01 |
| Green Waste Transportation to Landfill | 0.00768 | 0.00282 | 1.16E-06 | 4.09E-07 | 6.30E-04 | 2.31E-04 | 1.46E-01 | 5.36E-02 |

Πίνακας 55. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 0 (4)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Εξάντληση ορυκτών πόρων | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων | | Ανάλυση κόστους | |
|---|----------------------------|--------|-------------------------------|----------|--------------------|-------|
| | MJ | Dev | kg antimony- eq | Dev | EUR | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | |
| Σύνολο | 1087.00 | 125.40 | -5.53E-03 | 1.37E-04 | 116.80 | 15.44 |
| Fyli's Landfill | -1712.00 | 16.60 | 1.80E-04 | 1.13E-06 | 25.43 | 0.16 |
| Recyclables Collection & Transportation | 55.02 | 14.29 | 3.13E-06 | 7.90E-07 | 13.64 | 2.85 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 14.14 | 3.73 | 8.04E-07 | 2.10E-07 | 2.83 | 0.58 |
| Residual Collection & Transportation | 92.54 | 23.10 | 5.27E-06 | 1.33E-06 | 56.55 | 12.17 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2789.00 | 111.30 | -5.74E-03 | 1.37E-04 | 0.00 | 0.00 |
| Green Waste Collection | 21.24 | 7.79 | 1.21E-06 | 4.04E-07 | 8.43 | 0.98 |
| Composting, windrows | 8.20 | 1.00 | 4.67E-07 | 5.68E-08 | 0.64 | 0.24 |
| Fyli's Landfill - Biodegradables (0-Cost) | -198.90 | 12.99 | 2.42E-05 | 1.36E-06 | 0.00 | 0.00 |
| Green Waste Transportation to Landfill | 17.53 | 6.44 | 9.98E-07 | 3.66E-07 | 0.00 | 0.00 |
| Source Separation, Municipality of Halandri | 0.00 | 0.00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.28 | 0.49 |

Πίνακας 56. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1 (1)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Κλιματική αλλαγή | | Εξάντληση όζοντος | | Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | |
|---|------------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| | Μονάδα μέτρησης | kg CO2-Eq | Dev | kg CFC-11 Eq | Dev | CTUh | Dev | CTUh |
| Σύνολο | -33.44 | 9.53 | -9.00E-04 | 2.67E-05 | 9.30E-08 | 8.56E-08 | 7.05E-05 | 1.45E-06 |
| Recyclables Collection & Transportation | 4.02 | 1.08 | 1.47E-09 | 3.94E-10 | 5.50E-09 | 1.45E-09 | 8.07E-07 | 2.16E-07 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.06 | 0.27 | 3.88E-10 | 9.99E-11 | 1.45E-09 | 4.18E-10 | 2.13E-07 | 5.48E-08 |
| Residual Collection & Transportation | 3.05 | 0.79 | 1.12E-09 | 2.90E-10 | 4.18E-09 | 1.08E-09 | 6.13E-07 | 1.59E-07 |
| Fyli's Landfill | -105.4 | 6.32 | 4.91E-05 | 7.24E-06 | -1.86E-07 | 2.07E-08 | -8.85E-07 | 1.74E-07 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -12.38 | 3.87 | -1.01E-03 | 2.49E-05 | 1.97E-07 | 7.81E-08 | 6.78E-05 | 1.35E-06 |
| Water content | 16.21 | 0.4089 | 1.38E-06 | 3.47E-08 | 2.49E-07 | 6.29E-09 | 1.99E-06 | 5.01E-08 |
| Composting, windrows | 20.41 | 1.209 | 3.96E-10 | 4.95E-11 | 1.39E-09 | 1.74E-10 | 2.12E-07 | 2.65E-08 |
| Green Waste Collection & Transportation | 2.799 | 0.7246 | 1.03E-09 | 2.65E-10 | 3.84E-09 | 9.93E-10 | 5.63E-07 | 1.46E-07 |
| Food Waste Collection & Transportation | 2.641 | 0.9043 | 1.33E-09 | 3.31E-10 | 4.99E-09 | 1.24E-09 | 7.32E-07 | 1.82E-07 |
| Fyli's Landfill Biodegradables (0-Cost) | 33.18 | 7.371 | 6.35E-05 | 8.38E-06 | -1.88E-07 | 2.35E-08 | -1.48E-06 | 2.07E-07 |

Πίνακας 57. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1 (2)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Αιωρούμενα σωματίδια | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | | Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
|---|----------------------|------------|-----------------------|-------------|------------------|----------|-----------------|------------|
| | Μονάδα μέτρησης | kgPM2.5-eq | Dev | kBq U235 eq | Dev | kg NMVOC | Dev | mol H+ eq. |
| Σύνολο | 0.01999 | 0.003103 | -10.75 | 0.3027 | -0.2429 | 0.0180 | 0.0665 | 0.0327 |
| Recyclables Collection & Transportation | 0.0005576 | 1.49E-04 | 0.0058 | 0.00155 | 0.005937 | 0.0016 | 0.0074 | 0.002 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 0.0001472 | 3.79E-05 | 0.0015 | 0.00039 | 0.001567 | 0.0004 | 0.002 | 0.0005 |
| Residual Collection & Transportation | 0.0004231 | 0.00011 | 0.0044 | 0.00114 | 0.004504 | 0.0012 | 0.0056 | 0.0015 |
| Fyli's Landfill | -0.01147 | 0.001272 | -0.2414 | 0.04077 | 0.05048 | 0.0058 | -0.094 | 0.0110 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 0.02598 | 2.02E-03 | -10.28 | 0.2944 | -0.4539 | 0.0131 | -0.014 | 0.0228 |
| Water content | 0.008223 | 0.000208 | 0.138 | 0.00348 | 0.02688 | 0.0007 | 0.1014 | 0.0026 |
| Composting, windrows | 0.002537 | 1.49E-04 | 0.001562 | 0.0002 | 0.008908 | 0.0011 | 0.1127 | 0.0067 |
| Green Waste Collection & Transportation | 0.002259 | 5.85E-04 | 0.004042 | 0.00105 | 0.0257 | 0.0067 | 0.0202 | 0.0052 |
| Food Waste Collection & Transportation | 0.002938 | 7.30E-04 | 0.005258 | 0.00131 | 0.003343 | 0.0083 | 0.0262 | 0.0065 |
| Fyli's Landfill Biodegradables (0-Cost) | -0.0116 | 1.45E-03 | -0.3919 | 0.05432 | 0.05355 | 0.0065 | -0.102 | 0.013 |

Πίνακας 58. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1 (3)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | | Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
|---|---|---------|-----------------------------|----------|--|--------|--------------------------------|--------|
| | mol N eq. | Dev | kg P eq. | Dev | kg N eq. | Dev | CTUe | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | 0.15750 | 0.06008 | 4.81E-02 | 8.60E-04 | -1.2080 | 0.0191 | 105.20 | 3.85 |
| Recyclables Collection & Transportation | 0.00240 | 0.00643 | 3.49E-06 | 9.35E-07 | 0.0020 | 0.0005 | 0.4561 | 0.1221 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 0.00634 | 0.00163 | 9.22E-07 | 2.37E-07 | 0.0005 | 0.0001 | 0.1204 | 0.0310 |
| Residual Collection & Transportation | 0.01822 | 0.00473 | 2.65E-06 | 6.88E-07 | 0.0015 | 0.0004 | 0.3460 | 0.0898 |
| Fyli's Landfill | 0.09799 | 0.01016 | -3.02E-03 | 3.13E-04 | 0.0424 | 0.0050 | -0.5932 | 2.4230 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -0.90570 | 0.02969 | 5.00E-02 | 6.43E-04 | -1.3030 | 0.0174 | 108.10 | 1.412 |
| Water content | 0.08082 | 0.00204 | 3.93E-03 | 9.92E-05 | 0.0075 | 0.0002 | 9.4870 | 0.2393 |
| Composting, windrows | 0.50720 | 0.02990 | 9.41E-07 | 1.18E-07 | 0.0064 | 0.0005 | 0.1146 | 0.0143 |
| Green Waste Collection & Transportation | 0.10310 | 0.02669 | 2.43E-06 | 6.30E-07 | 0.0093 | 0.0024 | 0.3178 | 0.0823 |
| Food Waste Collection & Transportation | 0.13410 | 0.03331 | 3.17E-06 | 7.86E-07 | 0.0120 | 0.0030 | 0.4134 | 0.1027 |
| Fyli's Landfill Biodegradables (0-Cost) | 0.09144 | 0.01119 | -2.77E-03 | 3.37E-04 | 0.0135 | 0.0011 | -13.610 | 2.218 |

Πίνακας 59. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1 (4)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Εξάντληση ορυκτών πόρων | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων | | Ανάλυση κόστους | |
|---|----------------------------|--------|-------------------------------|----------|--------------------|--------|
| | MJ | Dev | kg antimony-eq | Dev | EUR | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | |
| Σύνολο | 2612 | 142.5 | -5.61E-03 | 1.39E-04 | 83.08 | 9.699 |
| Recyclables Collection & Transportation | 54.85 | 14.68 | 3.12E-06 | 8.35E-07 | 13.56 | 2.442 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 14.48 | 3.724 | 8.24E-07 | 2.12E-07 | 2.777 | 0.4805 |
| Residual Collection & Transportation | 41.62 | 10.8 | 2.37E-06 | 6.15E-07 | 27.54 | 6.091 |
| Fyli's Landfill | -476.5 | 50.82 | 1.00E-04 | 4.05E-06 | 14.07 | 0.571 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2786 | 109.40 | -5.75E-03 | 1.38E-04 | 0 | 0 |
| Water content | 542.5 | 13.68 | 2.09E-07 | 5.28E-09 | 2.394 | 0.1054 |
| Composting, windrows | 14.77 | 1.85 | 8.41E-07 | 1.05E-07 | 1.183 | 0.4459 |
| Green Waste Collection & Transportation | 38.22 | 9.90 | 2.18E-06 | 5.63E-07 | 5.835 | 0.9377 |
| Food Waste Collection & Transportation | 49.72 | 12.35 | 2.83E-06 | 7.03E-07 | 6.433 | 0.9744 |
| Fyli's Landfill Biodegradables (0-Cost) | -453.1 | 55.67 | 2.25E-05 | 1.50E-06 | 0 | 0 |
| Source Separation, Municipality of Halandri | 0 | 0 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.3 | 0.48 |

Πίνακας 60. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1.1 (1)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Κλιματική αλλαγή | | Εξάντληση όζοντος | | Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | |
|---|------------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| | Μονάδα μέτρησης | kg CO2-Eq | Dev | kg CFC-11 Eq | Dev | CTUh | Dev | CTUh |
| Σύνολο | -30.91 | 9.90 | -9.60E-04 | 1.82E-05 | 1.27E-06 | 9.81E-08 | 6.89E-05 | 1.84E-06 |
| Food Waste Collection | 1.99 | 0.71 | 7.29E-10 | 2.61E-10 | 2.73E-09 | 9.77E-10 | 4.01E-07 | 1.43E-07 |
| Green Waste Collection | 1.55 | 0.55 | 5.66E-10 | 2.03E-10 | 2.12E-09 | 7.58E-10 | 3.11E-07 | 1.11E-07 |
| Fyli's Landfill | -101.30 | 7.16 | 4.03E-05 | 7.53E-06 | -1.52E-07 | 2.15E-08 | -6.45E-07 | 1.82E-07 |
| Drying/Shredding | 59.51 | 2.51 | 1.10E-05 | 5.09E-07 | 5.27E-07 | 2.39E-08 | 4.07E-06 | 1.87E-07 |
| Anaerobic digestion, Mesophilic | 20.7 | 1.6 | 7.64E-07 | 6.32E-08 | 2.35E-07 | 2.43E-08 | 2.02E-06 | 1.96E-07 |
| Water content | 1.44 | 0.05 | 1.50E-07 | 5.43E-10 | 3.66E-09 | 1.32E-10 | 3.32E-08 | 1.20E-09 |
| Biogas Upgrade and Compression | -47.92 | 5.619 | 4.48E-07 | 5.41E-08 | 1.08E-07 | 1.39E-08 | -1.02E-05 | 1.20E-06 |
| Composting, windrows | 20.01 | 1.21 | 2.36E-10 | 3.23E-11 | 8.30E-10 | 1.14E-10 | 1.27E-07 | 1.73E-08 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.276 | 0.0618 | -4.45E-13 | 2.16E-14 | 2.18E-09 | 1.05E-10 | 6.95E-07 | 3.37E-08 |
| Water content_[1] | 18,24 | 0.4898 | 8.30E-07 | 2.23E-08 | 3.33E-07 | 8.95E-09 | 2.67E-06 | 7.17E-08 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -12 | 3.534 | -1.01E-03 | 1.68E-05 | 1.99E-07 | 7.51E-08 | 6.78E-05 | 1.37E-06 |
| Residual Collection & Transportation | 3.03 | 0.8136 | 1.11E-09 | 2.98E-10 | 4.15E-09 | 1.12E-09 | 6.09E-07 | 1.64E-07 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.05 | 0.2849 | 3.85E-10 | 1.04E-10 | 1.44E-09 | 3.90E-10 | 2.11E-07 | 5.73E-08 |
| Recyclables Collection & Transportation | 4.049 | 1.067 | 1.48E-09 | 3.91E-10 | 5.55E-09 | 1.46E-09 | 8.14E-07 | 2.14E-07 |

Πίνακας 61. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1.1 (2)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Αιωρούμενα σωματίδια | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | | Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
|---------------------------------|----------------------|------------|-----------------------|-------------|------------------|----------|-----------------|------------|
| | Μονάδα μέτρησης | kgPM2.5-eq | Dev | kBq U235 eq | Dev | kg NMVOC | Dev | mol H+ eq. |
| Σύνολο | 5.66E-02 | 3.17E-03 | -9.69E+00 | 2.12E-01 | -2.71E-01 | 1.85E-02 | 5.06E-01 | 3.67E-02 |
| Food Waste Collection | 1.61E-03 | 5.75E-04 | 2.88E-03 | 1.03E-03 | 1.83E-02 | 6.55E-03 | 1.44E-02 | 5.14E-03 |
| Green Waste Collection | 1.25E-03 | 4.47E-04 | 2.23E-03 | 7.99E-04 | 1.42E-02 | 5.08E-03 | 1.12E-02 | 3.99E-03 |
| Fyli's Landfill | -9.33E-03 | 1.32E-03 | -1.79E-01 | 4.24E-02 | 4.00E-02 | 6.09E-03 | -7.57E-02 | 1.15E-02 |
| Drying/Shredding | 1.74E-02 | 7.77E-04 | 2.70E-01 | 1.21E-02 | 9.93E-02 | 4.19E-03 | 2.45E-01 | 1.06E-02 |
| Anaerobic digestion, Mesophilic | 7.57E-03 | 7.70E-04 | 1.19E-01 | 1.22E-02 | 3.07E-02 | 2.36E-03 | 9.85E-02 | 9.68E-03 |
| Water content | 2.54E-05 | 9.15E-06 | 1.80E-01 | 6.49E-03 | 3.00E-03 | 1.08E-04 | 4.99E-03 | 1.80E-04 |
| Biogas Upgrade and Compression | -2.15E-03 | 3.24E-04 | 9.84E-03 | 3.30E-03 | -6.93E-02 | 8.14E-03 | -3.33E-02 | 4.67E-03 |

| | | | | | | | | |
|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| Composting, windrows | 2.46E-03 | 1.48E-04 | 9.32E-04 | 1.28E-04 | 5.33E-03 | 6.99E-04 | 1.10E-01 | 6.67E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.44E-04 | 6.99E-06 | -1.75E-06 | 8.50E-08 | -2.11E-03 | 1.02E-04 | -4.96E-03 | 2.40E-04 |
| Water content_[1] | 1.05E-02 | 2.83E-04 | 1.67E-01 | 4.47E-03 | 2.98E-02 | 8.01E-04 | 1.32E-01 | 3.55E-03 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2.61E-02 | 1.69E-03 | -1.03E+01 | 2.01E-01 | -4.52E-01 | 1.25E-02 | -1.12E-02 | 2.02E-02 |
| Residual Collection & Transportation | 4.21E-04 | 1.13E-04 | 4.38E-03 | 1.18E-03 | 4.48E-03 | 1.20E-03 | 5.60E-03 | 1.50E-03 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.46E-04 | 3.96E-05 | 1.52E-03 | 4.11E-04 | 1.55E-03 | 4.21E-04 | 1.94E-03 | 5.27E-04 |
| Recyclables Collection & Transportation | 5.62E-04 | 1.48E-04 | 5.85E-03 | 1.54E-03 | 5.99E-03 | 1.58E-03 | 7.48E-03 | 1.97E-03 |

Πίνακας 62. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1.1 (3)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | | Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
|---|-------------------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| | mol N eq. | Dev | kg P eq. | Dev | kg N eq. | Dev | CTUe | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | 9.97E-02 | 6.48E-02 | 6.57E-02 | 1.25E-03 | -1.22E+00 | 1.74E-02 | 1.57E+02 | 3.70E+00 |
| Food Waste Collection | 7.34E-02 | 2.63E-02 | 1.73E-06 | 6.20E-07 | 6.59E-03 | 2.36E-03 | 2.26E-01 | 8.10E-02 |
| Green Waste Collection | 5.70E-02 | 2.04E-02 | 1.35E-06 | 4.81E-07 | 5.12E-03 | 1.83E-03 | 1.76E-01 | 6.28E-02 |
| Fyli's Landfill | 8.06E-02 | 1.06E-02 | -2.50E-03 | 3.23E-04 | 3.82E-02 | 4.94E-03 | 1.17E+00 | 2.50E+00 |
| Drying/Shredding | 3.14E-01 | 1.32E-02 | 7.71E-03 | 3.66E-04 | 2.63E-02 | 1.10E-03 | 1.81E+01 | 8.30E-01 |
| Anaerobic digestion, Mesophilic | 1.07E-01 | 8.77E-03 | 3.83E-03 | 3.98E-04 | 8.85E-03 | 6.79E-04 | 8.34E+00 | 8.58E-01 |
| Water content | 1.12E-02 | 4.04E-04 | 2.79E-06 | 1.01E-07 | 1.18E-03 | 4.26E-05 | 9.97E-02 | 3.60E-03 |
| Biogas Upgrade and Compression | -2.85E-01 | 3.34E-02 | 3.03E-03 | 3.66E-04 | -2.38E-02 | 2.79E-03 | 1.40E-02 | 2.21E-01 |
| Composting, windrows | 4.94E-01 | 2.98E-02 | 5.61E-07 | 7.68E-08 | 5.15E-03 | 3.46E-04 | 6.84E-02 | 9.36E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.45E-02 | 7.01E-04 | -1.76E-03 | 8.52E-05 | 4.97E-04 | 2.41E-05 | 7.44E+00 | 3.60E-01 |
| Water content_[1] | 1.13E-01 | 3.04E-03 | 5.46E-03 | 1.47E-04 | 8.62E-03 | 2.31E-04 | 1.18E+01 | 3.15E-01 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -9.00E-01 | 2.83E-02 | 5.00E-02 | 5.90E-04 | -1.30E+00 | 1.58E-02 | 1.08E+02 | 1.31E+00 |
| Residual Collection & Transportation | 1.81E-02 | 4.87E-03 | 2.64E-06 | 7.07E-07 | 1.49E-03 | 3.99E-04 | 3.44E-01 | 9.24E-02 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 6.28E-03 | 1.70E-03 | 9.13E-07 | 2.48E-07 | 5.15E-04 | 1.40E-04 | 1.19E-01 | 3.24E-02 |
| Recyclables Collection & Transportation | 2.42E-02 | 6.38E-03 | 3.52E-06 | 9.27E-07 | 1.99E-03 | 5.23E-04 | 4.60E-01 | 1.21E-01 |

Πίνακας 63. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1.1 (4)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Εξάντληση ορυκτών πόρων | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων | | Ανάλυση κόστους | |
|---|-------------------------|-------|----------------------------|----------|-----------------|-------|
| | ΜJ | Dev | kg antimony -eq | Dev | EUR | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | |
| Σύνολο | 4919 | 173.2 | -5.63E-03 | 9.33E-05 | 94.96 | 18.43 |
| Food Waste Collection | 27.21 | 9.74 | 1.55E-06 | 5.54E-07 | 5.66 | 0.97 |
| Green Waste Collection | 21.12 | 7.56 | 1.20E-06 | 4.30E-07 | 5.24 | 0.92 |
| Fyli's Landfill | -391.60 | 52.56 | 9.07E-05 | 4.19E-06 | 12.79 | 0.58 |
| Drying/Shredding | 1556 | 65.55 | 2.14E-05 | 1.02E-06 | 31.38 | 10.68 |
| Anaerobic digestion, Mesophilic | 501 | 50.14 | 1.12E-05 | 1.11E-06 | 15.55 | 8.50 |
| Water content | 17.31 | 0.63 | 2.16E-06 | 7.79E-08 | 0.22 | 0.01 |
| Biogas Upgrade and Compression | -410.1 | 49.98 | -3.68E-05 | 4.31E-06 | -26.81 | 3.22 |
| Composting, windrows | 8.813 | 1.21 | 5.02E-07 | 6.86E-08 | 0.68 | 0.25 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -0.0199 | 0.00 | -9.44E-10 | 4.57E-11 | -5.24 | 0.73 |
| Water content_[1] | 684.5 | 18.38 | 1.52E-05 | 4.07E-07 | 2.24 | 0.11 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2794 | 101.6 | -5.74E-03 | 9.32E-05 | 0.00 | 0.00 |
| Residual Collection & Transportation | 41.38 | 11.11 | 2.36E-06 | 6.32E-07 | 27.58 | 6.31 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 14.34 | 3.89 | 8.16E-07 | 2.21E-07 | 2.82 | 0.61 |
| Recyclables Collection & Transportation | 55.29 | 14.57 | 3.15E-06 | 8.29E-07 | 13.55 | 2.76 |
| Source Separation, Municipality of Halandri | 0.0 | 0.00 | 0 | 0 | 9.3 | 0.46 |

Πίνακας 64. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1.2 (1)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Κλιματική αλλαγή | | Εξάντληση όζοντος | | Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | |
|---|------------------|------|-------------------|----------|-----------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| | kg CO2-Eq | Dev | kg CFC-11 Eq | Dev | CTUh | Dev | CTUh | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | -56.02 | 8.41 | -9.59E-04 | 2.63E-05 | 1.27E-06 | 1.05E-07 | 6.94E-05 | 1.72E-06 |
| Recyclables Collection & Transportation | 3.99 | 0.98 | 1.46E-09 | 3.58E-10 | 5.47E-09 | 1.34E-09 | 8.02E-07 | 1.97E-07 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.04 | 0.28 | 3.81E-10 | 1.02E-10 | 1.43E-09 | 3.80E-10 | 2.09E-07 | 5.58E-08 |
| Food Waste Collection | 2.03 | 0.75 | 7.42E-10 | 2.74E-10 | 2.78E-09 | 1.03E-09 | 4.07E-07 | 1.51E-07 |
| Green Waste Collection | 1.53 | 0.53 | 5.59E-10 | 1.93E-10 | 2.09E-09 | 7.21E-09 | 3.07E-07 | 1.06E-07 |
| Residual Collection & Transportation | 3.02 | 0.79 | 1.11E-09 | 2.89E-10 | 4.14E-09 | 1.08E-09 | 6.07E-07 | 1.59E-07 |
| Fyli's Landfill | -129.50 | 7.90 | 4.07E-05 | 7.53E-06 | -1.54E-07 | 2.15E-08 | -6.53E-07 | 1.77E-07 |
| Drying/Shredding | 59.43 | 2.66 | 1.09E-05 | 5.39E-07 | 5.26E-07 | 2.53E-08 | 4.07E-06 | 1.98E-07 |
| Water content | 1.44 | 0.05 | 1.50E-07 | 5.41E-09 | 3.66E-09 | 1.32E-10 | 3.32E-08 | 1.20E-09 |
| Two-Stage Anaerobic digestion, Mesophilic | 22.00 | 1.57 | 9.08E-07 | 6.56E-08 | 2.37E-07 | 2.37E-08 | 2.17E-06 | 1.97E-07 |
| Biogas Upgrade and Compression | -45.43 | 4.32 | 4.54E-07 | 4.62E-08 | 1.14E-07 | 1.27E-08 | -9.73E-06 | 9.24E-07 |
| Composting, windrows | 19.96 | 1.19 | 2.35E-10 | 2.96E-11 | 8.25E-10 | 1.04E-10 | 1.26E-07 | 1.59E-08 |

| | | | | | | | | |
|---|--------|------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.26 | 0.07 | -4.38E-13 | 2.52E-14 | 2.14E-09 | 1.23E-10 | 6.85E-07 | 3.93E-08 |
| Water content_[1] | 18.16 | 0.46 | 8.27E-07 | 2.11E-08 | 3.32E-07 | 8.48E-09 | 2.66E-06 | 6.80E-08 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -12.45 | 3.94 | -1.01E-03 | 2.52E-05 | 1.92E-07 | 8.35E-08 | 6.77E-05 | 1.38E-06 |

Πίνακας 65. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1.2 (2)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Αιωρούμενα σωματίδια | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | | Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
|---|----------------------|------------|-----------------------|-------------|------------------|----------|-----------------|------------|
| | Μονάδα μέτρησης | kgPM2.5-eq | Dev | kBq U235 eq | Dev | kg NMVOC | Dev | mol H+ eq. |
| Σύνολο | 5.69E-02 | 3.60E-03 | -9.68E+00 | 3.06E-01 | -2.63E-01 | 1.82E-02 | 5.13E-01 | 4.15E-02 |
| Recyclables Collection & Transportation | 5.54E-04 | 1.36E-04 | 5.76E-03 | 1.41E-03 | 5.90E-03 | 1.45E-03 | 7.38E-03 | 1.81E-03 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.45E-04 | 3.85E-05 | 1.50E-03 | 4.01E-04 | 1.54E-03 | 4.10E-04 | 1.93E-03 | 5.13E-04 |
| Food Waste Collection | 1.63E-03 | 6.04E-04 | 2.92E-03 | 1.08E-03 | 1.86E-02 | 6.87E-03 | 1.46E-02 | 5.40E-03 |
| Green Waste Collection | 1.23E-03 | 4.25E-04 | 2.20E-03 | 7.60E-04 | 1.40E-02 | 4.84E-03 | 1.10E-02 | 3.80E-03 |
| Residual Collection & Transportation | 4.19E-04 | 1.10E-04 | 4.36E-03 | 1.14E-03 | 4.46E-03 | 1.17E-03 | 5.58E-03 | 1.46E-03 |
| Fyli's Landfill | -9.43E-03 | 1.32E-03 | -1.83E-01 | 4.24E-02 | 4.04E-02 | 6.08E-03 | -7.66E-02 | 1.15E-02 |
| Drying/Shredding | 1.74E-02 | 8.24E-04 | 2.69E-01 | 1.29E-02 | 9.91E-02 | 4.45E-03 | 2.45E-01 | 1.13E-02 |
| Water content | 2.53E-04 | 9.13E-06 | 1.80E-01 | 6.47E-03 | 2.99E-03 | 1.08E-04 | 4.98E-03 | 1.80E-04 |
| Two-Stage Anaerobic digestion, Mesophilic | 7.76E-03 | 7.54E-04 | 1.20E-01 | 1.19E-02 | 3.73E-02 | 2.68E-03 | 1.04E-01 | 9.61E-03 |
| Biogas Upgrade and Compression | -1.75E-03 | 2.62E-04 | 1.43E-02 | 3.53E-03 | -6.56E-02 | 6.25E-03 | -2.81E-02 | 3.67E-03 |
| Composting, windrows | 2.46E-03 | 1.45E-04 | 9.27E-04 | 1.17E-04 | 5.28E-03 | 6.37E-04 | 1.10E-01 | 6.57E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.42E-04 | 8.16E-06 | -1.73E-06 | 9.92E-08 | -2.08E-03 | 1.19E-04 | -4.88E-03 | 2.80E-04 |
| Water content_[1] | 1.05E-02 | 2.68E-04 | 1.66E-01 | 4.24E-03 | 2.97E-02 | 7.60E-04 | 1.31E-01 | 3.36E-03 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2.60E-02 | 2.09E-03 | -1.03E+01 | 2.98E-01 | -4.54E-01 | 1.34E-02 | -1.38E-02 | 2.36E-02 |

Πίνακας 66. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1.2 (3)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | | Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------------------|----------|--------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| | Μονάδα μέτρησης | mol N eq. | Dev | kg P eq. | Dev | kg N eq. | Dev | CTUe |
| Σύνολο | 1.36E-01 | 6.25E-02 | 6.57E-02 | 1.34E-03 | -1.22E+00 | 1.91E-02 | 1.57E+02 | 3.82E+00 |
| Recyclables Collection & | 2.39E-02 | 5.85E- | 3.47E-06 | 8.51E- | 1.96E-03 | 4.80E- | 4.53E-01 | 1.11E- |

| | | | | | | | | |
|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Transportation | | 03 | | 07 | | 04 | | 01 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 6.23E-03 | 1.66E-03 | 9.06E-07 | 2.41E-07 | 5.11E-04 | 1.36E-04 | 1.18E-01 | 3.15E-02 |
| Food Waste Collection | 7.46E-02 | 2.76E-02 | 1.76E-06 | 6.51E-07 | 6.70E-03 | 2.48E-03 | 2.30E-01 | 8.50E-02 |
| Green Waste Collection | 5.62E-02 | 1.94E-02 | 1.33E-06 | 4.58E-07 | 5.05E-03 | 1.74E-03 | 1.73E-01 | 5.98E-02 |
| Residual Collection & Transportation | 1.81E-02 | 4.72E-03 | 2.63E-06 | 6.86E-07 | 1.48E-03 | 3.87E-04 | 3.43E-01 | 8.96E-02 |
| Fyli's Landfill | 8.13E-02 | 1.06E-02 | -2.52E-03 | 3.25E-04 | 3.86E-02 | 4.91E-03 | 1.17E+00 | 2.40E+00 |
| Drying/Shredding | 3.14E-01 | 1.40E-02 | 7.71E-03 | 3.88E-04 | 2.63E-02 | 1.17E-03 | 1.81E+01 | 8.80E-01 |
| Water content | 1.12E-02 | 4.02E-04 | 2.79E-06 | 1.00E-07 | 1.18E-03 | 4.25E-05 | 9.96E-02 | 3.59E-03 |
| Two-Stage Anaerobic digestion, Mesophilic | 1.33E-01 | 1.02E-02 | 3.84E-03 | 3.87E-04 | 1.09E-02 | 8.20E-04 | 8.46E+00 | 8.37E-01 |
| Biogas Upgrade and Compression | -2.70E-01 | 2.57E-02 | 3.07E-03 | 3.11E-04 | -2.25E-02 | 2.14E-03 | 3.55E-01 | 2.31E-01 |
| Composting, windrows | 4.94E-01 | 2.93E-02 | 5.58E-07 | 7.02E-08 | 5.14E-03 | 3.13E-04 | 6.80E-02 | 8.56E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.43E-02 | 8.19E-04 | -1.73E-03 | 9.95E-05 | 4.89E-04 | 2.81E-05 | 7.33E+00 | 4.21E-01 |
| Water content_[1] | 1.13E-01 | 2.88E-03 | 5.43E-03 | 1.39E-04 | 8.58E-03 | 2.19E-04 | 1.17E+01 | 2.99E-01 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -9.05E-01 | 3.07E-02 | 4.99E-02 | 6.37E-04 | -1.30E+00 | 1.75E-02 | 1.08E+02 | 1.43E+00 |

Πίνακας 67. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 1.2 (4)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Εξάντληση ορυκτών πόρων | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων | | Ανάλυση κόστους | |
|---|-------------------------|--------|----------------------------|----------|-----------------|-------|
| | MJ | Dev | kg antimony-eq | Dev | EUR | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | |
| Σύνολο | 4951 | 193.8 | -5.62E-03 | 1.40E-04 | 93.63 | 18.08 |
| Recyclables Collection & Transportation | 54.49 | 1.36 | 3.10E-06 | 7.60E-07 | 13.67 | 2.80 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 14.22 | 3.79 | 8.09E-07 | 2.16E-07 | 2.81 | 0.56 |
| Food Waste Collection | 27.65 | 10.22 | 1.57E-06 | 5.82E-07 | 5.72 | 1.07 |
| Green Waste Collection | 20.84 | 7.19 | 1.19E-06 | 4.09E-07 | 5.22 | 0.93 |
| Residual Collection & Transportation | 41.24 | 10.78 | 2.35E-06 | 6.13E-07 | 27.89 | 6.65 |
| Fyli's Landfill | -395.8 | 52.84 | 9.09E-05 | 4.24E-06 | 12.79 | 0.60 |
| Drying/Shredding | 1554.0 | 69.61 | 2.14E-05 | 1.08E-06 | 27.06 | 8.97 |
| Water content | 17.3 | 0.62 | 2.16E-06 | 7.77E-08 | 0.22 | 0.01 |
| Two-Stage Anaerobic digestion, Mesophilic | 520.5 | 49.28 | 1.18E-05 | 1.10E-06 | 16.93 | 9.61 |
| Biogas Upgrade and Compression | -373.5 | 37.65 | -3.48E-05 | 3.31E-06 | -25.64 | 2.59 |
| Composting, windrows | 8.77 | 1.10 | 4.99E-07 | 6.28E-08 | 0.68 | 0.24 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -0.02 | 0.00 | -9.30E-10 | 5.34E-11 | -5.20 | 0.75 |
| Water content_[1] | 681.50 | 17.43 | 1.51E-05 | 3.86E-07 | 2.24 | 0.11 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2780 | 112.20 | -5.74E-03 | 1.40E-04 | 0.00 | 0.00 |
| Source Separation, Municipality of Halandri | 0.0 | 0.00 | 0 | 0 | 9.2 | 0.46 |

Πίνακας 68. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 2 (1)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Κλιματική αλλαγή | | Εξάντληση όζοντος | | Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | |
|---|------------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| | Μονάδα μέτρησης | kg CO2-Eq | Dev | kg CFC-11 Eq | Dev | CTUh | Dev | CTUh |
| Σύνολο | -57.42 | 8.49 | -9.46E-04 | 2.63E-05 | 5.48E-07 | 9.03E-08 | 7.43E-05 | 1.44E-06 |
| Recyclables Collection & Transportation | 3.98 | 1.03 | 1.46E-09 | 3.78E-10 | 5.45E-09 | 1.41E-09 | 7.99E-07 | 2.07E-07 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.05 | 0.28 | 3.85E-09 | 1.01E-10 | 1.44E-09 | 3.78E-10 | 2.11E-07 | 5.55E-08 |
| Food Waste Collection | 1.96 | 0.71 | 7.18E-10 | 2.61E-10 | 2.69E-09 | 9.77E-10 | 3.94E-07 | 1.43E-07 |
| Green Waste Collection | 1.55 | 0.55 | 5.67E-10 | 2.03E-10 | 2.12E-09 | 7.60E-10 | 3.11E-07 | 1.12E-07 |
| Residual Collection & Transportation | 3.00 | 0.78 | 1.10E-09 | 2.87E-10 | 4.12E-09 | 1.07E-09 | 6.04E-07 | 1.57E+07 |
| Fyli's Landfill | -134.80 | 8.45 | 5.66E-05 | 6.73E-06 | -1.97E-07 | 1.93E-08 | -1.01E-06 | 1.71E-07 |
| Drying,Shredding | 59.58 | 2.47 | 1.10E-05 | 4.91E-07 | 5.28E-07 | 2.48E-08 | 4.08E-06 | 1.95E-07 |
| Composting, windrows | 20.03 | 1.21 | 2.70E-10 | 3.40E-11 | 9.49E-10 | 1.19E-10 | 1.45E-07 | 1.82E-08 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.66 | 0.07 | -5.77E-13 | 2.31E-14 | 2.82E-09 | 1.13E-10 | 9.02E-07 | 3.61E-08 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -12.09 | 4.04 | -1.01E-03 | 2.55E-05 | 1.98E-07 | 7.99E-08 | 6.78E-05 | 1.36E-06 |

Πίνακας 69. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 2 (2)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Αιωρούμενα σωματίδια | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | | Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
|---|----------------------|------------|-----------------------|-------------|------------------|----------|-----------------|------------|
| | Μονάδα μέτρησης | kgPM2.5-eq | Dev | kBq U235 eq | Dev | kg NMVOC | Dev | mol H+ eq. |
| Σύνολο | 3.76E-02 | 3.00E-03 | -1.03E+01 | 3.11E-01 | -2.53E-01 | 1.64E-02 | 2.78E-01 | 3.40E-02 |
| Recyclables Collection & Transportation | 5.52E-04 | 1.43E-04 | 5.74E-03 | 1.49E-03 | 5.88E-03 | 1.53E-03 | 7.35E-03 | 1.91E-03 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.46E-04 | 3.83E-05 | 1.52E-03 | 3.98E-04 | 1.55E-03 | 4.08E-04 | 1.94E-03 | 5.10E-04 |
| Food Waste Collection | 1.58E-03 | 5.75E-04 | 2.83E-03 | 1.03E-03 | 1.80E-02 | 6.55E-03 | 1.41E-02 | 5.14E-03 |
| Green Waste Collection | 1.25E-03 | 4.48E-04 | 2.24E-03 | 8.01E-04 | 1.42E-02 | 5.09E-03 | 1.12E-02 | 4.00E-03 |
| Residual Collection & Transportation | 4.17E-04 | 1.09E-04 | 4.34E-03 | 1.13E-03 | 4.44E-03 | 1.16E-03 | 5.55E-03 | 1.45E-03 |
| Fyli's Landfill | -1.21E-02 | 1.19E-03 | -2.72E-01 | 3.88E-02 | 5.29E-02 | 5.48E-03 | -1.00E-01 | 1.04E-02 |
| Drying,Shredding | 1.74E-02 | 8.04E-04 | 2.70E-01 | 1.26E-02 | 9.94E-02 | 4.12E-03 | 2.46E-01 | 1.09E-02 |
| Composting, windrows | 2.48E-03 | 1.48E-04 | 1.07E-03 | 1.34E-04 | 6.06E-03 | 7.30E-04 | 1.11E-01 | 6.67E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.87E-04 | 7.49E-06 | -2.28E-06 | 9.10E-08 | -2.74E-03 | 1.10E-04 | -6.43E-03 | 2.57E-04 |

| | | | | | | | | |
|---|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2.61E-02 | 2.08E-03 | -1.03E+01 | 3.06E-01 | -4.53E-01 | 1.32E-02 | -1.15E-02 | 2.37E-02 |
|---|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|

Πίνακας 70. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 2 (3)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | | Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
|---|-------------------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| | mol N eq. | Dev | kg P eq. | Dev | kg N eq. | Dev | CTUe | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | 1.71E-01 | 5.39E-02 | 5.23E-02 | 8.74E-04 | -1.22E+00 | 1.83E-02 | 1.35E+02 | 3.29E+00 |
| Recyclables Collection & Transportation | 2.38E-02 | 6.17E-03 | 3.46E-06 | 8.97E-07 | 1.95E-03 | 5.06E-04 | 4.52E-01 | 1.17E-01 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 6.29E-03 | 1.65E-03 | 9.14E-07 | 2.40E-07 | 5.16E-04 | 1.35E-04 | 1.19E-01 | 3.13E-02 |
| Food Waste Collection | 7.22E-02 | 2.63E-02 | 1.71E-06 | 6.20E-07 | 6.49E-03 | 2.36E-03 | 2.23E-01 | 8.09E-02 |
| Green Waste Collection | 5.70E-02 | 2.04E-02 | 1.35E-06 | 4.82E-07 | 5.12E-03 | 1.84E-03 | 1.76E-01 | 6.30E-02 |
| Residual Collection & Transportation | 1.80E-02 | 4.68E-03 | 2.61E-06 | 6.81E-07 | 1.47E-03 | 3.84E-04 | 3.41E-01 | 8.89E-02 |
| Fyli's Landfill | 1.03E-01 | 9.51E-03 | -3.17E-03 | 2.89E-04 | 4.14E-02 | 4.65E-03 | -2.17E+00 | 2.42E+00 |
| Drying.Shredding | 3.15E-01 | 1.31E-02 | 7.72E-03 | 3.84E-04 | 2.63E-02 | 1.09E-03 | 1.82E+01 | 8.64E-01 |
| Composting, windrows | 4.97E-01 | 2.99E-02 | 6.42E-07 | 8.07E-08 | 5.42E-03 | 3.65E-04 | 7.82E-02 | 9.83E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.88E-02 | 7.51E-04 | -2.28E-03 | 9.12E-05 | 6.44E-04 | 2.58E-05 | 9.65E+00 | 3.86E-01 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -9.03E-01 | 3.11E-02 | 5.00E-02 | 6.28E-04 | -1.30E+00 | 1.73E-02 | 1.08E+02 | 1.40E+00 |

Πίνακας 71. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 2 (4)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Εξάντληση ορυκτών πόρων | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων | | Ανάλυση κόστους | |
|---|-------------------------|-------|----------------------------|----------|-----------------|-------|
| | MJ | Dev | kg antimony-eq | Dev | EUR | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | |
| Σύνολο | 4018 | 160 | -5.62E-03 | 1.42E-04 | 103.80 | 16.22 |
| Recyclables Collection & Transportation | 54.30 | 14.09 | 3.09E-06 | 8.02E-07 | 13.70 | 2.70 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 14.36 | 3.77 | 8.17E-07 | 2.14E-07 | 2.80 | 0.60 |
| Food Waste Collection | 26.78 | 9.73 | 1.52E-06 | 5.54E-07 | 5.70 | 1.04 |
| Green Waste Collection | 21.15 | 7.57 | 1.20E-06 | 4.31E-07 | 5.29 | 0.98 |
| Residual Collection & Transportation | 41.02 | 10.69 | 2.33E-06 | 6.08E-07 | 27.40 | 6.28 |
| Fyli's Landfill | -501.1 | 47.03 | 9.73E-05 | 3.78E-06 | 13.70 | 0.55 |
| Drying.Shredding | 1558 | 65.96 | 2.15E-05 | 1.07E-06 | 31.80 | 13.16 |
| Composting, windrows | 10.08 | 1.27 | 5.73E-07 | 7.21E-08 | 0.80 | 0.29 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -0.03 | 0.00 | -1.22E-09 | 4.90E-11 | -6.80 | 0.96 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2793 | 112 | -5.74E-03 | 1.42E-04 | 0.00 | 0.00 |
| Source Separation, Municipality of Halandri | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.30 | 0.47 |

Πίνακας 72. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 3 (1)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Κλιματική αλλαγή | | Εξάντληση όζοντος | | Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | |
|---|------------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| | Μονάδα μέτρησης | kg CO2-Eq | Dev | kg CFC-11 Eq | Dev | CTUh | Dev | CTUh |
| Σύνολο | -48.31 | 9.20 | -9.63E-04 | 2.54E-05 | 1.69E-06 | 1.09E-07 | 7.73E-05 | 2.01E-06 |
| Recyclables Collection & Transportation | 4.14 | 1.06 | 1.52E-09 | 3.88E-10 | 5.67E-09 | 1.45E-09 | 8.32E-07 | 2.13E-07 |
| Food Waste Collection | 1.96 | 0.70 | 7.17E-10 | 2.55E-10 | 2.68E-09 | 9.55E-10 | 3.93E-07 | 1.40E-07 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.03 | 0.26 | 3.77E-10 | 9.57E-11 | 1.41E-09 | 3.58E-10 | 2.07E-07 | 5.26E-08 |
| Green Waste Collection | 1.54 | 0.57 | 5.65E-10 | 2.08E-10 | 2.12E-09 | 7.79E-10 | 3.10E-07 | 1.14E-07 |
| Residual Collection & Transportation | 2.86 | 0.74 | 1.05E-09 | 2.70E-10 | 3.92E-09 | 1.01E-09 | 5.74E-07 | 1.48E-07 |
| Fyli's Landfill | -125.1 | 7.37 | 3.41E-05 | 7.13E-06 | -1.31E-07 | 2.03E-08 | -4.97E-07 | 1.75E-07 |
| Water content_[1] | 18.24 | 0.47 | 8.30E-07 | 2.16E-08 | 3.33E-07 | 8.66E-09 | 2.67E-06 | 6.94E-08 |
| Composting, windrows | 19.95 | 1.21 | 2.39E-10 | 3.16E-11 | 8.40E-10 | 1.11E-10 | 1.28E-07 | 1.69E-08 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.27 | 0.08 | -4.43E-13 | 2.75E-14 | 2.17E-09 | 1.34E-10 | 6.92E-07 | 4.29E-08 |
| Drying.Shredding | 59.42 | 2.50 | 1.09E-05 | 5.10E-07 | 5.26E-07 | 2.40E-08 | 4.07E-06 | 1.88E-07 |
| Bio-EtOH production | -8.00 | 0.81 | 1.93E-06 | 1.84E-07 | 1.92E-07 | 1.86E-08 | 6.27E-06 | 7.14E-07 |
| Water content | 1.43 | 0.05 | 1.50E-07 | 5.02E-09 | 3.65E-09 | 1.22E-10 | 3.31E-08 | 1.11E-09 |
| Anaerobic digestion, Mesophilic | 20.66 | 1.63 | 7.65E-07 | 6.25E-08 | 2.36E-07 | 2.42E-08 | 2.03E-06 | 1.96E-07 |
| Biogas Upgrade and Compression | -47.30 | 5.63 | 4.42E-07 | 5.44E-08 | 1.07E-07 | 1.41E-08 | -1.01E-05 | 1.20E-06 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2.11 | 4.02 | -0.001012 | 2.49E-05 | 4.01E-07 | 8.41E-08 | 6.97E-05 | 1.41E-06 |

Πίνακας 73. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 3 (2)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Αιωρούμενα σωματίδια | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | | Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
|---|----------------------|------------|-----------------------|-------------|------------------|----------|-----------------|------------|
| | Μονάδα μέτρησης | kgPM2.5-eq | Dev | kBq U235 eq | Dev | kg NMVOC | Dev | mol H+ eq. |
| Σύνολο | 6.77E-02 | 3.73E-03 | -9.31E+00 | 3.19E-01 | -2.62E-01 | 1.91E-02 | 6.62E-01 | 4.38E-02 |
| Recyclables Collection & Transportation | 5.75E-04 | 1.47E-04 | 5.98E-03 | 1.53E-03 | 6.12E-03 | 1.57E-03 | 7.65E-03 | 1.96E-03 |
| Food Waste Collection | 1.58E-03 | 5.63E-04 | 2.83E-03 | 1.01E-03 | 1.80E-02 | 6.40E-03 | 1.41E-02 | 5.03E-03 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.43E-04 | 3.63E-05 | 1.49E-03 | 3.78E-04 | 1.52E-03 | 3.87E-04 | 1.90E-03 | 4.83E-04 |

| | | | | | | | | |
|---|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| Green Waste Collection | 1.25E-03 | 4.59E-04 | 2.23E-03 | 8.21E-04 | 1.42E-02 | 5.22E-03 | 1.11E-02 | 4.10E-03 |
| Residual Collection & Transportation | 3.97E-04 | 1.02E-04 | 4.13E-03 | 1.06E-03 | 4.22E-03 | 1.09E-03 | 5.28E-03 | 1.36E-03 |
| Fyli's Landfill | -8.07E-03 | 1.25E-03 | -1.39E-01 | 4.00E-02 | 3.49E-02 | 5.79E-03 | -6.48E-02 | 1.09E-02 |
| Water content_[1] | 1.05E-02 | 2.74E-04 | 1.67E-01 | 4.33E-03 | 2.98E-02 | 7.75E-04 | 1.32E-01 | 3.43E-03 |
| Composting, windrows | 2.46E-03 | 1.47E-04 | 9.44E-04 | 1.25E-04 | 5.37E-03 | 6.82E-04 | 1.10E-01 | 6.65E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.44E-04 | 8.91E-06 | -1.75E-06 | 1.08E-07 | -2.10E-03 | 1.30E-04 | -4.93E-03 | 3.06E-04 |
| Drying.Shredding | 1.74E-02 | 7.80E-04 | 2.69E-01 | 1.22E-02 | 9.91E-02 | 4.18E-03 | 2.45E-01 | 1.06E-02 |
| Bio-EtOH production | 2.78E-03 | 4.34E-04 | 3.03E-01 | 3.39E-02 | -8.14E-03 | 2.28E-03 | 6.56E-02 | 7.46E-03 |
| Water content | 2.53E-04 | 8.47E-06 | 1.79E-01 | 6.00E-03 | 2.99E-03 | 1.00E-04 | 4.98E-03 | 1.67E-04 |
| Anaerobic digestion, Mesophilic | 7.60E-03 | 7.67E-04 | 1.19E-01 | 1.21E-02 | 3.07E-02 | 2.37E-03 | 9.88E-02 | 9.64E-03 |
| Biogas Upgrade and Compression | -2.12E-03 | 3.27E-04 | 9.79E-03 | 3.37E-03 | -6.84E-02 | 8.16E-03 | -3.28E-02 | 4.70E-03 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 3.31E-02 | 2.12E-03 | -10.06 | 2.98E-01 | -4.30E-01 | 1.31E-02 | 6.83E-02 | 2.39E-02 |

Πίνακας 74. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 3 (3)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | | Ευτροφισμός γλυκού νερού | | Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού | |
|---|-------------------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| | mol N eq. | Dev | kg P eq. | Dev | kg N eq. | Dev | CTUe | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | 3.42E-01 | 7.55E-02 | 7.10E-02 | 1.38E-03 | -1.29E+00 | 1.98E-02 | 2.19E+02 | 8.27E+00 |
| Recyclables Collection & Transportation | 2.48E-02 | 6.34E-03 | 3.60E-06 | 9.22E-07 | 2.03E-03 | 5.20E-04 | 4.70E-01 | 1.20E-01 |
| Food Waste Collection | 7.21E-02 | 2.57E-02 | 1.70E-06 | 6.06E-07 | 6.47E-03 | 2.31E-03 | 2.22E-01 | 7.92E-02 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 6.16E-03 | 1.56E-03 | 8.95E-07 | 2.27E-07 | 5.05E-04 | 1.28E-04 | 1.17E-01 | 2.97E-02 |
| Green Waste Collection | 5.69E-02 | 2.09E-02 | 1.34E-06 | 4.94E-07 | 5.11E-03 | 1.88E-03 | 1.75E-01 | 6.45E-02 |
| Residual Collection & Transportation | 1.71E-02 | 4.40E-03 | 2.48E-06 | 6.40E-07 | 1.40E-03 | 3.61E-04 | 3.24E-01 | 8.36E-02 |
| Fyli's Landfill | 7.06E-02 | 1.01E-02 | -2.19E-03 | 3.05E-04 | 3.61E-02 | 4.51E-03 | 2.35E+00 | 2.38E+00 |
| Water content_[1] | 1.13E-01 | 2.94E-03 | 5.45E-03 | 1.42E-04 | 8.61E-03 | 2.24E-04 | 1.18E+01 | 3.05E-01 |
| Composting, windrows | 4.94E-01 | 2.97E-02 | 5.68E-07 | 7.51E-08 | 5.17E-03 | 3.34E-04 | 6.93E-02 | 9.15E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.44E-02 | 8.94E-04 | -1.75E-03 | 1.09E-04 | 4.94E-04 | 3.06E-05 | 7.40E+00 | 4.59E-01 |
| Drying.Shredding | 3.14E-01 | 1.31E-02 | 7.71E-03 | 3.69E-04 | 2.62E-02 | 1.10E-03 | 1.81E+01 | 8.35E-01 |
| Bio-EtOH production | 1.84E-01 | 2.62E-02 | 1.80E-03 | 1.66E-04 | 2.37E-02 | 3.24E-03 | 5.44E+01 | 6.39E+00 |

| | | | | | | | | |
|---|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Water content | 1.12E-02 | 3.73E-04 | 2.78E-06 | 9.31E-08 | 1.18E-03 | 3.94E-05 | 9.95E-02 | 3.33E-03 |
| Anaerobic digestion, Mesophilic | 1.07E-01 | 8.77E-03 | 3.84E-03 | 3.96E-04 | 8.49E-03 | 6.80E-04 | 8.37E+00 | 8.54E-01 |
| Biogas Upgrade and Compression | -2.81E-01 | 3.35E-02 | 3.00E-03 | 3.68E-04 | -2.35E-02 | 2.79E-03 | 1.87E-02 | 2.25E-01 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -8.33E-01 | 3.12E-02 | 5.32E-02 | 6.89E-04 | -1.39E+00 | 1.87E-02 | 1.15E+02 | 1.54E+00 |

Πίνακας 75. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 3 (4)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Εξάντληση ορυκτών πόρων | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων | | Ανάλυση κόστους | |
|---|-------------------------|-------|----------------------------|----------|-----------------|-------|
| | MJ | Dev | kg antimony-eq | Dev | EUR | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | |
| Σύνολο | 5663 | 192.8 | -5.63E-03 | 1.38E-04 | 85.88 | 18.02 |
| Recyclables Collection & Transportation | 56.51 | 14.47 | 3.22E-06 | 8.24E-07 | 14.20 | 2.69 |
| Food Waste Collection | 26.73 | 9.52 | 1.52E-06 | 5.42E-07 | 5.70 | 1.00 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 14.06 | 3.57 | 8.00E-07 | 2.03E-07 | 2.80 | 0.60 |
| Green Waste Collection | 21.09 | 7.763 | 1.20E-06 | 4.42E-07 | 5.27 | 0.94 |
| Residual Collection & Transportation | 39.02 | 10.06 | 2.22E-06 | 5.72E-07 | 26.21 | 5.75 |
| Fyli's Landfill | -341.3 | 49.57 | 8.70E-05 | 4.06E-06 | 12.30 | 0.59 |
| Water content_[1] | 684.3 | 17.78 | 1.52E-05 | 3.94E-07 | 2.20 | 0.10 |
| Composting, windrows | 8.925 | 1.18 | 5.08E-07 | 6.71E-08 | 0.70 | 0.26 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -0.0198 | 0.00 | -9.39E-10 | 5.82E-11 | -5.20 | 0.76 |
| Drying.Shredding | 1554 | 65.45 | 2.14E-05 | 1.03E-06 | 31.30 | 11.79 |
| Bio-EtOH production | 212.1 | 16.31 | 2.77E-06 | 2.59E-07 | -8.00 | 1.51 |
| Water content | 17.28 | 0.578 | 2.16E-06 | 7.21E-08 | 0.20 | 0.01 |
| Anaerobic digestion, Mesophilic | 502.6 | 49.9 | 1.12E-05 | 1.11E-06 | 15.60 | 8.24 |
| Biogas Upgrade and Compression | -404.5 | 50.12 | -3.63E-05 | 4.33E-06 | -26.70 | 3.14 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 3273 | 115.4 | -5.74E-03 | 1.38E-04 | 0.0 | 0.00 |
| Source Separation, Municipality of Halandri | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.3 | 0.46 |

Πίνακας 76. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 4 (1)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Κλιματική αλλαγή | | Εξάντληση όζοντος | | Τοξικές καρκινογόνες ουσίες | | Τοξικές μη καρκινογόνες ουσίες | |
|---|------------------|------|-------------------|----------|-----------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| | kg CO2-Eq | Dev | kg CFC-11 Eq | Dev | CTUh | Dev | CTUh | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | -28.08 | 6.37 | -9.65E-04 | 2.54E-05 | 6.98E-07 | 9.04E-08 | 7.52E-05 | 1.37E-06 |
| Recyclables Collection & Transportation | 3.98 | 1.01 | 1.46E-09 | 3.71E-10 | 5.45E-09 | 1.39E-09 | 8.00E-07 | 2.04E-07 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.03 | 0.28 | 3.78E-10 | 1.01E-10 | 1.42E-09 | 3.80E-10 | 2.08E-07 | 5.57E-08 |
| Residual Collection & Transportation | 3.04 | 0.84 | 1.11E-09 | 3.07E-10 | 4.16E-09 | 1.15E-09 | 6.10E-07 | 1.68E-07 |
| Food Waste Collection | 1.97 | 0.71 | 7.22E-10 | 2.58E-10 | 2.70E-09 | 9.67E-10 | 3.96E-07 | 1.42E-07 |

| | | | | | | | | |
|---|--------|------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| Green Waste Collection | 1.55 | 0.53 | 5.66E-10 | 1.95E-10 | 2.12E-09 | 7.31E-10 | 3.11E-07 | 1.07E-07 |
| Fyli's Landfill | -94.02 | 6.10 | 3.87E-05 | 7.15E-06 | -1.48E-07 | 2.05E-08 | -6.14E-07 | 1.70E-07 |
| Composting, windrows | 7.88 | 0.52 | 2.22E-10 | 2.84E-11 | 7.70E-10 | 9.96E-11 | 1.19E-07 | 1.52E-08 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.22 | 0.07 | -4.27E-13 | 2.27E-14 | 2.09E-09 | 1.11E-10 | 6.67E-07 | 3.55E-08 |
| Pellet end-product transportation | 0.10 | 0.04 | 3.78E-11 | 1.40E-11 | 1.41E-10 | 5.23E-11 | 2.07E-08 | 7.67E-09 |
| Home pellet combustion device | -4.87 | 0.17 | -1.81E-06 | 6.18E-08 | 1.32E-08 | 4.53E-10 | -4.97E-08 | 1.70E-09 |
| Drying/Shredding & Pelletization | 64.73 | 2.68 | 1.12E-05 | 5.26E-07 | 6.21E-07 | 2.68E-08 | 4.83E-06 | 2.10E-07 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -12.24 | 3.79 | -1.01E-03 | 2.44E-05 | 1.92E-07 | 7.94E-08 | 6.79E-05 | 1.29E-06 |

Πίνακας 77. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 4(2)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Αιωρούμενα σωματίδια | | Ιονίζουσα ακτινοβολία | | Φωτοχημικό νέφος | | Οξίνιση εδάφους | |
|---|----------------------|----------|-----------------------|----------|------------------|----------|-----------------|----------|
| | kgPM2.5-eq | Dev | kBq U235 eq | Dev | kg NMVOC | Dev | mol H+ eq. | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | | | |
| Σύνολο | 4.65E-02 | 3.09E-03 | -1.01E+01 | 2.90E-01 | -2.32E-01 | 1.56E-02 | 2.94E-01 | 3.31E-02 |
| Recyclables Collection & Transportation | 5.53E-04 | 1.41E-04 | 5.75E-03 | 1.47E-03 | 5.88E-03 | 1.50E-03 | 7.36E-03 | 1.88E-03 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 1.43E-04 | 3.85E-05 | 1.49E-03 | 4.00E-04 | 1.53E-03 | 4.09E-04 | 1.91E-03 | 5.12E-04 |
| Residual Collection & Transportation | 4.21E-04 | 1.16E-04 | 4.38E-03 | 1.21E-03 | 4.49E-03 | 1.24E-03 | 5.61E-03 | 1.55E-03 |
| Food Waste Collection | 1.59E-03 | 5.70E-04 | 2.85E-03 | 1.02E-03 | 1.81E-02 | 6.48E-03 | 1.42E-02 | 5.09E-03 |
| Green Waste Collection | 1.25E-03 | 4.31E-04 | 2.23E-03 | 7.70E-04 | 1.42E-02 | 4.90E-03 | 1.11E-02 | 3.84E-03 |
| Fyli's Landfill | -9.08E-03 | 1.26E-03 | -1.71E-01 | 4.01E-02 | 3.88E-02 | 5.80E-03 | -7.35E-02 | 1.09E-02 |
| Composting, windrows | 9.90E-04 | 6.42E-05 | 8.75E-04 | 1.12E-04 | 4.98E-03 | 6.10E-04 | 4.36E-02 | 2.85E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -1.39E-04 | 7.37E-06 | -1.68E-06 | 8.96E-08 | -2.03E-03 | 1.08E-04 | -4.76E-03 | 2.53E-04 |
| Pellet end-product transportation | 8.33E-05 | 3.08E-05 | 1.49E-04 | 5.51E-05 | 9.47E-04 | 3.51E-04 | 7.44E-04 | 2.75E-04 |
| Home pellet combustion device | 4.29E-03 | 1.47E-04 | -6.62E-03 | 2.26E-04 | 2.74E-02 | 9.38E-04 | 1.72E-02 | 5.88E-04 |
| Drying/Shredding & Pelletization | 2.04E-02 | 8.68E-04 | 3.17E-01 | 1.36E-02 | 1.08E-01 | 4.47E-03 | 2.83E-01 | 1.18E-02 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2.61E-02 | 1.98E-03 | -1.03E+01 | 2.84E-01 | -4.54E-01 | 1.29E-02 | -1.22E-02 | 2.23E-02 |

Πίνακας 78. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 4 (3)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Ευτροφισμός χερσαίου οικοσυστήματος | Ευτροφισμός γλυκού νερού | Ευτροφισμός θαλάσσιου οικοσυστήματος | Οικοτοξικότητα γλυκού νερού |
|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|

| Μονάδα μέτρησης | mol N eq. | Dev | kg P eq. | Dev | kg N eq. | Dev | CTUe | Dev |
|---|-----------|--------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| Σύνολο | 0.0198 | 0.0478 | 5.51E-02 | 9.65E-04 | -1.21E+00 | 1.80E-02 | 1.39E+02 | 3.29E+00 |
| Recyclables Collection & Transportation | 0.0238 | 0.0061 | 3.46E-06 | 8.82E-07 | 1.95E-03 | 4.98E-03 | 4.52E-01 | 1.15E-01 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 0.0062 | 0.0017 | 8.98E-07 | 2.41E-07 | 5.07E-04 | 1.36E-04 | 1.17E-01 | 3.15E-02 |
| Residual Collection & Transportation | 0.0182 | 0.0050 | 2.64E-07 | 7.28E-07 | 1.49E-03 | 4.11E-04 | 3.45E-01 | 9.51E-02 |
| Food Waste Collection | 0.0726 | 0.0260 | 1.71E-06 | 6.14E-07 | 6.52E-03 | 2.33E-03 | 2.24E-01 | 8.01E-02 |
| Green Waste Collection | 0.0569 | 0.0197 | 1.34E-06 | 4.64E-07 | 5.11E-03 | 1.76E-03 | 1.75E-01 | 6.06E-02 |
| Fyli's Landfill | 0.0785 | 0.0101 | -2.43E-03 | 3.10E-04 | 3.78E-02 | 4.89E-03 | 1.44E+00 | 2.35E+00 |
| Composting, windrows | 0.1970 | 0.0128 | 5.27E-07 | 6.74E-08 | 3.01E-03 | 2.56E-04 | 6.42E-02 | 8.21E-03 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -0.0139 | 0.0007 | -1.69E-03 | 8.99E-05 | 4.77E-04 | 2.54E-05 | 7.14E+00 | 3.80E-01 |
| Pellet end-product transportation | 0.0038 | 0.0014 | 8.97E-08 | 3.32E-08 | 3.41E-04 | 1.26E-04 | 1.17E-02 | 4.33E-03 |
| Home pellet combustion device | 0.1330 | 0.0045 | -9.84E-06 | 3.37E-07 | 1.21E-02 | 4.15E-04 | -3.03E-01 | 1.04E-02 |
| Drying/Shredding & Pelletization | 0.3467 | 0.0142 | 9.25E-03 | 4.13E-04 | 2.87E-02 | 1.18E-03 | 2.15E+01 | 9.31E-01 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | -0.9029 | 0.0289 | 5.00E-02 | 6.31E-04 | -1.30E+00 | 1.69E-02 | 1.08E+02 | 1.39E+00 |

Πίνακας 79. Ανάλυση αβεβαιότητας, σενάριο 4 (4)

| Κατηγορία επιπτώσεων | Εξάντληση ορυκτών πόρων | | Εξάντληση μη ορυκτών πόρων | | Ανάλυση κόστους | |
|---|-------------------------|-------|----------------------------|----------|-----------------|-------|
| | MJ | Dev | kg antimony-eq | Dev | EUR | Dev |
| Μονάδα μέτρησης | | | | | | |
| Σύνολο | 4213 | 159.8 | -5.62E-03 | 1.35E-04 | 103.74 | 15.14 |
| Recyclables Collection & Transportation | 54.35 | 13.85 | 3.09E-06 | 7.88E-07 | 13.60 | 2.60 |
| Paper & Cardboard Collection & Transportation | 14.10 | 3.78 | 8.03E-07 | 2.15E-07 | 2.80 | 0.60 |
| Residual Collection & Transportation | 41.44 | 11.44 | 2.36E-06 | 6.51E-07 | 27.70 | 6.00 |
| Food Waste Collection | 26.91 | 9.636 | 1.53E-06 | 5.48E-07 | 5.70 | 0.97 |
| Green Waste Collection | 21.09 | 7.284 | 1.20E-06 | 4.15E-07 | 5.26 | 0.96 |
| Fyli's Landfill | -381.4 | 50.41 | 9.00E-05 | 4.11E-06 | 12.70 | 0.56 |
| Composting, windrows | 8.273 | 1.058 | 4.71E-07 | 6.02E-08 | 0.70 | 0.22 |
| Compost use (Garden waste) in gardens | -0.019 | 0.001 | -9.06E-10 | 4.82E-11 | -5.10 | 0.73 |
| Pellet end-product transportation | 1.409 | 0.521 | 8.02E-08 | 2.97E-08 | 0.20 | 0.06 |
| Home pellet combustion device | -110 | 3.76 | -2.67E-08 | 9.12E-10 | -1.90 | 0.10 |
| Drying/Shredding & Pelletization | 1750 | 71.58 | 2.57E-05 | 1.15E-06 | 32.80 | 11.77 |
| Recycling & Residues transportation to landfill | 2787 | 107.5 | -5.74E-03 | 1.35E-04 | 0.00 | 0.00 |
| Source Separation, Municipality of Halandri | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.3 | 0.48 |