



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Χριστίνα Α. Παπαδημητρίου

Επιβλέπων:
Γ. Λυμπεράτος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Κο Γεράσιμο Λυμπεράτο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα και για τη βοήθεια και καθοδήγησή του καθόλη τη διάρκεια της ενασχόλησής μου με αυτό. Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ τη Δρ. Μάρθα Γεωργιοπούλου για τη συνεχή προθυμία, καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε και την καθοριστικής σημασίας συμβολή της στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ τους καθηγητές της εξεταστικής επιτροπής, Κα Μαγδαληνή Κροκίδα και Κο Απόστολο Βλυσίδα.

Αθήνα, Ιούλιος 2014
Χριστίνα Παπαδημητρίου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται ο σχεδιασμός και η ανάλυση του κύκλου ζωής μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) με τη χρήση διαφορετικών τεχνολογιών επεξεργασίας. Αναπτύσσονται τρία σενάρια ολοκληρωμένης διαχείρισης των στερεών αποβλήτων που παράγονται σε μία πόλη 1.000.000 κατοίκων ημερησίως.

Καθένα σενάριο περιλαμβάνει την ανακύκλωση ενός μέρους των ΑΣΑ στην πηγή, τη συγκέντρωση των ΑΣΑ σε κάδους, τη συλλογή των ΑΣΑ από τους κάδους, τη μεταφορά τους με απορριμματοφόρα οχήματα σε χώρο επεξεργασίας – διάθεσης, το μηχανικό διαχωρισμό των ΑΣΑ, την κύρια επεξεργασία και τη διάθεση των υπολειμμάτων του μηχανικού διαχωρισμού και της κύριας επεξεργασίας σε ΧΥΤΥ.

Η κύρια επεξεργασία διαφέρει σε κάθε σενάριο και ως κύρια επεξεργασία εφαρμόζονται διεργασίες όπως η αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ, η αερόβια επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου μέρους των ΑΣΑ και η καύση του πτητικού κλάσματος των ΑΣΑ.

Σκοπός της μελέτης είναι ο προσδιορισμός του φιλικότερου προς το περιβάλλον ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού κατασκευάζεται ένα μοντέλο τύπου ριζόχαρτου για το σχεδιασμό των διαφορετικών μεθόδων επεξεργασίας και τον υπολογισμό των βασικών χαρακτηριστικών τους. Ως εργαλείο χρησιμοποιείται η μεθοδολογία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ), η οποία εφαρμόζεται με τη χρήση του λογισμικού SimaPro 7, ευρέως χρησιμοποιούμενο πρόγραμμα για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή ενός συστήματος.

Η εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στα υπό μελέτη σενάρια οδηγεί στην παρουσίαση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αυτά εμφανίζουν στις διάφορες κατηγορίες επίπτωσης. Οι κύριες κατηγορίες ενδιαφέροντος είναι η οξίνιση, ο ευτροφισμός, το φαινόμενο θερμοκηπίου, η μείωση της στοιβάδας του όζοντος, οι οικοτοξικολογικές επιπτώσεις γλυκών υδάτων, οι θαλάσσιες οικοτοξικολογικές επιπτώσεις και η φωτοχημική οξειδωση.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι προτιμότερο από περιβαλλοντική σκοπιά είναι το σενάριο που έχει ως κύρια επεξεργασία την αναερόβια χώνευση με ταυτόχρονη αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας. Μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα προκαλούν το σενάριο με κύρια επεξεργασία την αναερόβια χώνευση χωρίς αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου και το σενάριο όπου κύρια επεξεργασία είναι η καύση.

ABSTRACT

This thesis concerns the life cycle analysis of Integrated Municipal Solid Waste (MSW) management scenaria based on alternative treatment technologies. Three integrated solid waste management scenaria are examined for a city of 1.000.000 citizens.

Each of these alternatives includes the recycling of part of the recyclable MSW at the source, the collection of MSW in bins, their transportation to a process - disposal site, the mechanical separation of MSW, the main treatment and the disposal of the residues of the mechanical separation and the main process in a landfill. The main treatment method differs in each scenario. The alternatives considered include: anaerobic digestion of the biodegradable solid waste, composting of the biodegradable solid waste, and incineration of volatile solids.

The purpose of this study is the selection of the most environmental friendly one out of the three scenaria. To this end, a spreadsheet model is constructed in order to assess and calculate the basic characteristics of the different treatment methods. The Life Cycle Analysis (LCA) method is used as a tool, which is applied with the use of the widely used software SimaPro 7, for the life cycle assessment of the environmental impact of a process or a system.

The application of LCA on the three scenaria leads to the assessment of the environmental impact of each in the diverse impact categories. The main categories are the following: Abiotic Depletion, Acidification, Eutrophication, Global Warming, Ozone Layer Depletion, Human Toxicity, Fresh Water Aquatic Ecotoxicity, Marine Aquatic Ecotoxicity, Terrestrial Ecotoxicity, Photochemical Oxidation.

The interpretation of the results provides the conclusion that the most environmentally friendly prospect is the scenario based on anaerobic digestion and simultaneous exploitation/utilisation of the generated biogas for energy production. Anaerobic digestion without exploitation of the produced biogas and incineration are the least desirable treatment methods from an environmental point of view.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΡΟΗΣ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	15
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.2 ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	18
1.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	19
1.3.1 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ	19
1.3.2 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ	21
1.3.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ	22
1.4 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΑ	23
1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	24
1.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
1.5.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ	27
1.5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ	27
1.5.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	27
1.5.3 ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	28
1.5.3.1 ΓΕΝΙΚΑ	28
1.5.3.2 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	29
1.5.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	31
1.5.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΑ	31
1.5.4.2 ΒΙΟΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ (ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ)	32
1.5.4.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	32
1.5.4.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	36
1.5.4.3 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	39
1.5.4.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	44
1.5.4.4.1 ΓΕΝΙΚΑ	44
1.5.4.4.2 ΚΑΥΣΗ	46
1.5.4.5 ΧΥΤΥ	47
1.5.4.6 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	50
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	50
2.2 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	52
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	55
2.3.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής στη Βιομηχανία	56
2.3.2 ΑΚΖ και Οικολογικός Σχεδιασμός (Eco-Design /Ecomaterials)	56

2.3.3 Η ΑΚΖ ως Εργαλείο Περιβαλλοντικής Διαχείρισης.....	56
2.3.4 Η ΑΚΖ ως Εργαλείο Εκτίμησης Κόστους	57
2.3.5 Εφαρμογή της ΑΚΖ στη διαχείριση ΑΣΑ	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΑ	58
3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ	58
3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ (FUNCTIONAL UNIT)	62
3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (SYSTEM AND SYSTEM BOUNDARY)	63
3.4 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ (ASSUMPTIONS)	64
3.5 ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	66
3.6 ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ.....	68
3.7 ΜΕΤΑΦΟΡΑ.....	72
3.8 ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	76
3.9 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΑΣΑ.....	81
3.10 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΑ.....	86
3.10.1 ΣΕΝΑΡΙΟ Ι.....	86
3.10.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΙΙ.....	95
3.10.3 ΣΕΝΑΡΙΟ ΙΙΙ	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	113
4.1 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	114
4.2 ΔΕΝΤΡΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ	117
4.2.1 Δέντρο διεργασιών Ηλεκτρικής ενέργειας	117
4.2.2 Δέντρο διεργασιών ΣΕΝΑΡΙΟΥ Ι.....	118
4.2.3 Δέντρο διεργασιών ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΙΙ	122
4.2.4 Δέντρο διεργασιών Σεναρίου ΙΙΙ	124
4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ & ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	126
4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ	136
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	139
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	141
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	155

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΡΟΗΣ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 1: Διάγραμμα Ροής Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης ΑΣΑ.....	66
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 2 : Διάγραμμα ροής Σεναρίου I.....	67
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 3: Διάγραμμα ροής Σεναρίου II.....	67
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 4: Διάγραμμα ροής Σεναρίου III.....	68
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 5: Εισροές – Εκροές προς και από το ΣΜΔ 1.....	79
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 6: Εισροές – Εκροές προς και από το ΣΜΔ 1.....	81
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 7: Διάγραμμα ροής Σεναρίου I.....	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 8: Διάγραμμα ροής Σεναρίου II.....	107
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 9: Διάγραμμα ροής Σεναρίου III.....	108
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 10: Διάγραμμα ροής Σεναρίου III.....	112
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 11 : Διάγραμμα ροής Σεναρίου I.....	119
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 12: Διάγραμμα ροής Σεναρίου II.....	123
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 13: Διάγραμμα ροής Σεναρίου III.....	125

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Τυπικό ποσοστό Επικίνδυνων Αποβλήτων στα ΑΣΑ (πηγή: Λυμπεράτος Γ., Τσιλιγιάννης Χ. (1998), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Τυπική σύσταση ΑΣΑ στην Αττική (πηγή: ΕΕΔΣΑ)	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Τυπική σύσταση ΑΣΑ στις ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Τυπική περιεκτικότητα σε υγρασία και πυκνότητα για τα είδη των ΑΣΑ των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Τυπικές τιμές % στοιχείων C, H, O, N, S, αδρανούς υπολείμματος και ενεργειακού περιεχομένου των ΑΣΑ των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Βέλτιστες τιμές παραμέτρων που επηρεάζουν την κομποστοποίηση (πηγή: Παπαχρήστου κ.α., 1987 και Τσομπάνογλου κ.α., 1993)	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Αριθμητικό μητρώο εκτίμησης 5x5	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Σύσταση ΑΣΑ στην Αττική (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Τυπικές τιμές Ποιοτικών χαρακτηριστικών ΑΣΑ ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Μέση Πυκνότητα & Μέση Υγρασία των ΑΣΑ	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Σταθερές a και b συναρτήσει της ταχύτητας του απορριμματοφόρου (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Αριθμός δοχείων ανά διαδρομή.....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Υπολογισμός Pscs (h/διαδρομή).....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Απαιτούμενος χρόνος ανά διαδρομή (Tscs).....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Απαιτούμενος χρόνος ανά ημέρα (H) & Απαιτούμενος χρόνος ανά εβδομάδα $T_{w(scs)}$	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Εισροές – εκροές μάζας στο ΣΜΔ 1	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Ποσότητα ΑΣΑ προς βιολογική επεξεργασία, ΧΥΤΥ & Ανάκτηση μετά το ΣΜΔ 1.....	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: Εισροές – εκροές μάζας στο ΣΜΔ 2	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: Ποσότητα ΑΣΑ προς βιολογική επεξεργασία, ΧΥΤΥ & Ανάκτηση μετά το ΣΜΔ 1.....	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: Τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία και σε C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	82

ΠΙΝΑΚΑΣ 21: Σύσταση βιοαποδομήσιμου κλάσματος ΑΣΑ	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: Ποσότητα υγρασίας, ξηρού βάρους & C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ.....	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: moles C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: Τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία & C, H, O, N, S & ενεργειακού περιεχομένου των πτητικών στερεών αποβλήτων των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 25: Ποσότητα υγρασίας, ξηρού βάρους & C, H, O, N, S των πτητικών στερεών αποβλήτων	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 26: moles C, H, O, N, S των πτητικών στερεών αποβλήτων	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 27: Στοιχειομετρικοί συντελεστές εξίσωσης Buswell	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 28: Μοριακό βάρος και πυκνότητα των $C_{27}H_{43}O_{18}N$, CH_4 & CO_2	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 29: moles των $C_{27}H_{43}O_{18}N$, CH_4 & CO_2	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 30: Παραγόμενο βιοαέριο αναερόβιας χώνευσης βάσει στοιχειομετρίας	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 31: Τυπικές τιμές σχεδιαστικών παραμέτρων αναερόβιας χώνευσης (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 32: Σχεδιαστικές παράμετροι αναερόβιας χώνευσης βάσει τυπικών τιμών .	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 33: Μέση πυκνότητα και όγκος βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 34: Παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση βάσει τυπικών τιμών και στοιχειομετρίας	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 35: Απαιτούμενος όγκος αντιδραστήρων για την αναερόβια χώνευση	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 36: Σχεδιασμός αναερόβιων αντιδραστήρων	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 37: Ποσότητα τσιμέντου κατασκευής αναερόβιων αντιδραστήρων	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 38: Ποσότητα παραγόμενης αναερόβιας ιλύος	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 39: Συνολικός όγκος υπολείμματος κατά το Σενάριο I	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 40: Μέση πυκνότητα και όγκος βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 41: Διαστάσεις σειραδίου.....	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 42: Περιορισμοί κατά το σχεδιασμό κομποστοποίησης.....	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 43: Λόγος ξηρού βάρους R_d & Λόγος υγρού βάρους R_w στην τροφοδοσία κατά την κομποστοποίηση.....	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 44: Πτητικό κλάσμα V_m	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 45: Ημερήσια απαίτηση σε αερισμό κατά τη βιολογική οξείδωση	101

ΠΙΝΑΚΑΣ 46: Σύσταση και περιεκτικότητα σε υγρασία βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ.....	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 47: Ημερήσια απαίτηση σε αερισμό κατά την απομάκρυνση υγρασίας	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 48: Συνολική ημερήσια απαίτηση αερισμού κατά την κομποστοποίηση ...	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 49: Συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις συστήματος κομποστοποίησης 1g	105
ΠΙΝΑΚΑΣ 50: Ενεργειακές απαιτήσεις κομποστοποίησης βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 51: Ποσότητα compost και υπολείμματος κομποστοποίησης	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 52: Συνολικός όγκος υπολείμματος κομποστοποίησης	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 53: Τυπικές τιμές αδρανούς υπολείμματος των ΑΣΑ των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 54: Σύσταση και μέση πυκνότητα πτητικών ΑΣΑ	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 55: Χαρακτηριστικά υπολείμματος Σεναρίου III	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 56: Συνολικός όγκος υπολείμματος Σεναρίου III.....	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 57: Ερμηνεία όρων περιγραφής διεργασιών στο λογισμικό SimaPro.....	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 58: Ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα (πηγή: ΥΠΕΚΑ)	115

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: Σχηματική απεικόνιση μαγνητικού διαχωρισμού.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 2: Απεικόνιση Κυκλωνικού Διαχωριστή.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 3: Ο κύκλος Ανθρακα (πηγή: SONOMA Ecology Center)	32
ΕΙΚΟΝΑ 4: Μονάδα κομποστοποίησης στο Viersen	38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: Παραγωγή αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα κατά τα έτη 1997-2001 (πηγή: Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Αποβλήτων).....	12
ΣΧΗΜΑ 2: Διάγραμμα Ροής Σταδίων διαχείρισης αποβλήτων (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	19
ΣΧΗΜΑ 3: Ιεράρχηση προτίμησης διαχείρισης αποβλήτων (πηγή: COVANTA).....	20
ΣΧΗΜΑ 4: Σύστημα Στάσιμου Δοχείου (πηγή: Λυμπεράτος Γ., Τσιλιγιάννης Χ. (1998), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	21
ΣΧΗΜΑ 5: Απεικόνιση συστημάτων κομποστοποίησης (πηγή: Λυμπεράτος, Γ. (2013), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	31
ΣΧΗΜΑ 6: Μείωση οργανικού φορτίου συναρτήσει της συγκέντρωσης τροφοδοσίας και του χρόνου παραμονής στον αντιδραστήρα (πηγή: Λυμπεράτος, Γ. (2013), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων).....	36
ΣΧΗΜΑ 7: Χωνευτήρας δύο σταδίων	38
ΣΧΗΜΑ 8: Συμβατικός χωνευτήρας.....	38
ΣΧΗΜΑ 9: Βασικά Στάδια Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (πηγή: Τριανταφυλλόπουλος, Α., Σκορδίλης, Α., Ανάλυση του κύκλου ζωής στο ΧΥΤΑ του δήμου Πατρέων) ..	45
ΣΧΗΜΑ 10: Καραγραφή των δεδομένων στην ΑΚΖ.....	47
ΣΧΗΜΑ 11: Σχηματική Παρουσίαση Συστήματος.....	63
ΣΧΗΜΑ 12: Σύστημα Στάσιμου Δοχείου (πηγή: Λυμπεράτος Γ., Τσιλιγιάννης Χ. (1998), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)	72
ΣΧΗΜΑ 13: Ισοζύγιο ενέργειας με βάση 1g στην τροφοδοσία κομποστοποίησης....	104
ΣΧΗΜΑ 14: Δέντρο Διεργασιών Ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	118
ΣΧΗΜΑ 15: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου I (χωρίς χρήση βιοαερίου)	119

ΣΧΗΜΑ 16: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου I (χωρίς χρήση βιοαερίου)	120
ΣΧΗΜΑ 17: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου I (με χρήση βιοαερίου)	121
ΣΧΗΜΑ 18: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου I (με χρήση βιοαερίου)	122
ΣΧΗΜΑ 19: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου II	123
ΣΧΗΜΑ 20: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου II	124
ΣΧΗΜΑ 21: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου III	125
ΣΧΗΜΑ 22: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου I (χωρίς χρήση βιοαερίου)	126
ΣΧΗΜΑ 23: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου I (με χρήση βιοαερίου)	127
ΣΧΗΜΑ 24: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου II	128
ΣΧΗΜΑ 25: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου III	129
ΣΧΗΜΑ 26: Διαγράμματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σεναρίων I, II & III ανά κατηγορία επίπτωσης	133
ΣΧΗΜΑ 27: Συγκεντρωτικό διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των Σεναρίων I, II & III σε όλες τις κατηγορίες επίπτωσης.....	135

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Απόβλητο σύμφωνα με την οδηγία 2008/98/ΕΚ (οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα) ορίζεται “κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του το απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να το απορρίψει”. Τα απόβλητα ανάλογα με την φυσική τους κατάσταση διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια.

Γενικότερα, τα “Στερεά Απόβλητα” ή “Απορρίμματα” είναι απόβλητα που προέρχονται κυρίως από τις ανθρώπινες διεργασίες και τα οποία στερούνται άμεσης αξίας. Ένας επιπλέον παράγοντας που οδηγεί στην απόρριψή τους είναι ότι το κόστος απόρριψης ή αποβολής τους είναι μικρότερο από το κόστος διατήρησής τους. Ωστόσο, πολλά από αυτά τα απόβλητα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, και έτσι να μετατραπούν, εάν υποστούν σωστή διαχείριση, σε έναν βασικό πόρο για τη βιομηχανική παραγωγή ή σε ενέργεια. [1]

Ο όρος Στερεά Απόβλητα (Σ.Α.) περιλαμβάνει τις κάτωθι κατηγορίες:

α) Αστικά Στερεά Απόβλητα (Α.Σ.Α.)

Τα Α.Σ.Α. είναι οικιακά και παρεμφερή στερεά απόβλητα (ή αστικά απορρίμματα) και περιλαμβάνουν τα απόβλητα που παράγονται κυρίως από οικισμούς, αλλά και τα απόβλητα άλλων δραστηριοτήτων (π.χ. εμπορικά καταστήματα, εστιατόρια, ξενοδοχεία κ.λπ.) που προσομοιάζουν με αυτά. Οι κυριότερες πηγές παραγωγής αστικών στερεών αποβλήτων είναι οι κατοικίες, τα εμπορικά καταστήματα, τα ιδρύματα, ο καθαρισμός των δρόμων και άλλων δημόσιων χώρων και άλλες αστικές δραστηριότητες. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται επίσης τα αστικού τύπου στερεά απόβλητα που παράγονται από άλλες δραστηριότητες τα οποία προσομοιάζουν με τα αστικά απορρίμματα και μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απόβλητα όπως ένα τμήμα των νοσοκομειακών στερεών απορριμμάτων και τα απόβλητα ορισμένων βιομηχανιών. Επιπλέον, στην κατηγορία αυτή εντοπίζονται διάφορα απόβλητα που χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα (0,01 έως 1 % των συνολικών ΑΣΑ). Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ποσοστό αυτών των αποβλήτων στα ΑΣΑ. [1,2]

Τύπος	Ποσοστό
Προϊόντα καθαρισμού	40%
Προϊόντα προσωπικής φροντίδας	16,4%
Προϊόντα αυτοκινήτου	30,1%
Μπογιές και σχετικά	7,5%
Ζιζανιοκτόνα, κατσαριδοκτόνα κλπ.	2,5%
Άλλα	3,5%
Σύνολο	100%

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Τυπικό ποσοστό Επικίνδυνων Αποβλήτων στα ΑΣΑ (πηγή: Λυμπεράτος Γ., Τσιλιγιάννης Χ. (1998), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

β) Ειδικά Απόβλητα

Η κατηγορία αυτή των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει την παραγόμενη ιλύ από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, τα υπολείμματα των γεωργικών (κλαδέματα κ.λπ.) και κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων, τα αδρανή απόβλητα από κατασκευές, εκσκαφές και κατεδαφίσεις και τα βιομηχανικά απόβλητα.

Τα απόβλητα διακρίνονται στα *μη επικίνδυνα* και στα *επικίνδυνα*.

Στην κατηγορία των *μη επικίνδυνων* αποβλήτων υπάγονται τα στερεά απόβλητα που προσομοιάζουν με τα Α.Σ.Α. όπως τα υλικά συσκευασίας, τα υπολείμματα φρούτων και λαχανικών, η ιλύς από εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με βιολογική επεξεργασία, απορρίμματα προσωπικού κ.λπ.

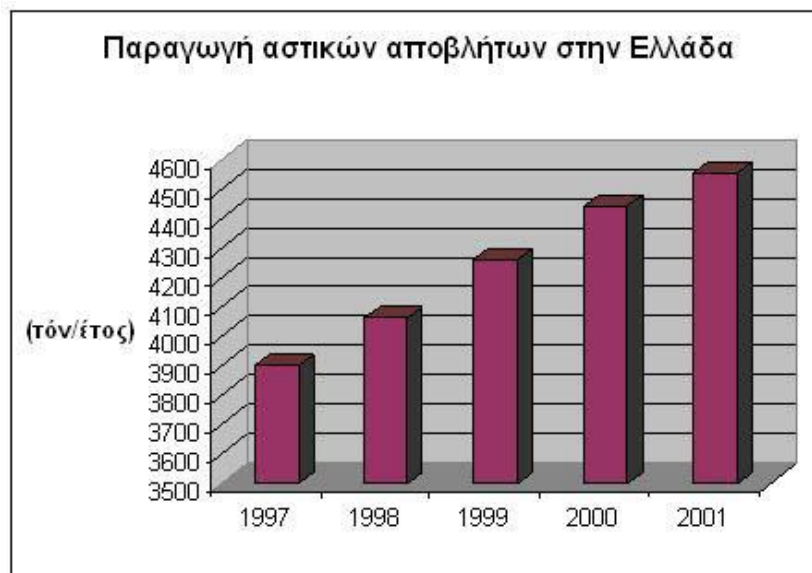
Ως *επικίνδυνα απόβλητα (hazardous)* χαρακτηρίζονται τα απορρίμματα τα οποία αποτελούν κίνδυνο για υγεία και την ασφάλεια του ανθρώπου και άλλων ζώντων οργανισμών διότι δεν αποδομούνται στη φύση, μπορούν να μεγιστοποιηθούν βιολογικά, μπορούν να αποβούν μοιραία για την ζωή και μπορούν να προκαλέσουν καταστροφικά συσσωρευτικά αποτελέσματα. Παραδείγματα επικίνδυνων ουσιών που απορρίπτονται στα Α.Σ.Α. είναι ο υδράργυρος (Hg) (μπαταρίες, ηλεκτρικός εξοπλισμός, θερμόμετρα, βαρόμετρα, λαμπτήρες φθορισμού, λυχνίες υδραργύρου κ.α.), ο μόλυβδος (Pb) (λαμπτήρες, γυαλί, χρώματα, κράματα κ.α.) και το κάδμιο (Cd) (επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, δέρματα, πυρανθεκτικά υλικά, πλαστικά και υφάσματα, ηλεκτρικός εξοπλισμός κ.α.). [1,3]

Για τη διαχείριση των επικινδύνων αποβλήτων, σύμφωνα με την εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία, προτείνεται η *επαναχρησιμοποίηση*. Επίσης, ως δεύτερο μέτρο επιλέγεται η *ανάκτηση* χρήσιμων υλικών ή/και ενέργειας. Επισημαίνεται ότι κατά τη διαχείριση των

επικινδύνων αποβλήτων σημαντικό ρόλο παίζει η *καταστροφή* ή τουλάχιστον η *αδρανοποίηση/παγίδευσή* τους. Οι τσιμεντοβιομηχανίες και γενικότερα οι επιχειρήσεις κατασκευής οικοδομικών υλικών δύνανται να αξιοποιήσουν πολλά από τα απόβλητα αυτής της κατηγορίας. [1]

1.2 ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) ποικίλουν ως προς τη σύσταση και την ποσότητά τους. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις μεταβλητές αυτές είναι το βιοτικό επίπεδο, τα καταναλωτικά πρότυπα, η κινητικότητα του αστικού πληθυσμού και οι εποχές του έτους. Όσον αφορά την Ελλάδα, στην Αττική παράγεται περίπου το 39% της ετήσιας ολικής ποσότητας ΑΣΑ. Το 1997, η μέση παραγωγή ανερχόταν σε 0,97 kg/κάτοικο/ημέρα η οποία μέχρι το 2001 αυξήθηκε σε 1,14 kg/κάτοικο/ημέρα και συνεχίζει να αυξάνεται συνεχώς. Η αυξητική, αυτή, τάση για τα έτη 1997 – 2001 παρουσιάζεται στο γράφημα που ακολουθεί: [4]



ΣΧΗΜΑ 1: Παραγωγή αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα κατά τα έτη 1997-2001
(πηγή: Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Αποβλήτων)

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μείωση των ζυμώσιμων υλικών και αύξηση των πλαστικών και του χαρτιού. Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας των ΑΣΑ είναι σημαντικό να γίνεται μελέτη για την ταυτοποίηση της σύστασής τους, χρησιμοποιώντας δείγμα τουλάχιστον 100 Kg. [1]

Στους πίνακες που ακολουθούν δίνεται η σύσταση των ΑΣΑ στην Αττική και τις ΗΠΑ:

Είδος	Ποσοστό (%)
οργανικά	55.3
χαρτί	15.7
ύφασμα	8.5
μέταλλα	2.8
γυαλί	2.8
πλαστικά	2
λεπτά (αδρανή)	7.7
υπόλοιπα	5.2
Σύνολο	100

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Τυπική σύσταση ΑΣΑ στην Αττική (πηγή: ΕΕΔΣΑ)

Είδος	Ποσοστό (%)
υπολείμματα τροφών	9
χαρτί	34
χαρτόνι	6
πλαστικά	7
υφάσματα	2
λάστιχο	0.5
δέρμα	0.5
υπολείμματα αυλών	18.5
ξύλο	2
λοιπά οργανικά	0
γυαλί	8
λευκοσίδηρος	6
αλουμίνιο	0.5
άλλα μέταλλα	3
λοιπά ανόργανα	3

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Τυπική σύσταση ΑΣΑ στις ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

1.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Εκτός από τη σύσταση των στερεών απορριμμάτων, για να επιτευχθεί ένας αποτελεσματικός σχεδιασμός απαιτείται ο προσδιορισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών των στερεών αποβλήτων, δηλαδή ο προσδιορισμός των φυσικών, των χημικών και των βιολογικών χαρακτηριστικών των στερεών αποβλήτων.

1.3.1 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ

Στα φυσικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται το *ειδικό βάρος* (πυκνότητα), το περιεχόμενο σε *υγρασία*, η *κατανομή μεγέθους*, η *χωρητικότητα κορεσμού σε υγρασία* και οι *οσμές* εξαιτίας μακρόχρονης αποθήκευσης στα σημεία συλλογής, μεταφόρτωσης και στις χωματερές.

Παρουσιάζονται στον πίνακα 4 οι τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία και πυκνότητας των επιμέρους κλασμάτων των ΑΣΑ των ΗΠΑ :

Είδος	Πυκνότητα (kg/m ³)	% Περιεκτικότητα σε υγρασία
υπολείμματα τροφών	291	70
χαρτί	89	6
χαρτόνι	50	5
πλαστικά	65	2
υφάσματα	65	10
λάστιχο	131	2
δέρμα	160	10
υπολείμματα αυλών	101	60
ξύλο	237	20
λοιπά οργανικά	0	0
γυαλί	196	2
λευκοσίδηρος	89	3
αλουμίνιο	160	2
άλλα μέταλλα	320	3
λοιπά ανόργανα	481	8

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Τυπική περιεκτικότητα σε υγρασία και πυκνότητα για τα είδη των ΑΣΑ των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

- Για τον υπολογισμό της μέσης υγρασίας των απορριμμάτων χρησιμοποιείται η

$$\text{σχέση: } M_{\text{μεση}} = \sum_{i=1}^n x_i M_i$$

- Για τον υπολογισμό της μέσης πυκνότητας των απορριμμάτων χρησιμοποιείται η

$$\text{σχέση: } \rho_{\text{μεση}} = \sum_{i=1}^n x_i \rho_i$$

- Για την εύρεση της κατανομής μεγέθους, το μέγεθος S_C (σε mm) προσδιορίζεται από ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα μέτρα:

$$S_C = l \quad (20 - 25 \text{ cm τυπικά})$$

$$S_C = (1+w)/2$$

$$S_C = (l + w + h)/3$$

$$S_C = (l \cdot x \cdot w)^{1/2}$$

$$S_C = (l \cdot x \cdot w \cdot x \cdot h)^{1/3}$$

όπου l : μήκος, w : πλάτος, h : ύψος

- Η χωρητικότητα κορεσμού είναι η συνολική υγρασία που μπορεί να συγκρατηθεί από τα απορρίμματα. Τυπικά κυμαίνεται από 50 - 60% και είναι σημαντική παράμετρος διότι σχετίζεται με την τάση για σχηματισμό στραγγισμάτων στις χωματερές. [1]

1.3.2 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ

Τα χημικά χαρακτηριστικά είναι σημαντικά για την εκτίμηση των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας και ανάκτησης και την εκτίμηση της καταλληλότητας των απορριμμάτων ως καύσιμου υλικού. Αυτά είναι τα εξής:

Άμεση Ανάλυση των ΑΣΑ:

Κατά την άμεση ανάλυση προσδιορίζονται:

- η υγρασία: απώλεια βάρους στους 105°C σε μία ώρα
- η πτητικότητα (*πτητική καύσιμη ύλη*): απώλεια βάρους στους 950°C σε καλυμμένο δοχείο
- ο σταθερός άνθρακας : η καύσιμη ύλη μετά την αφαίρεση του πτητικού κλάσματος
- η στάχτη: απώλεια βάρους μετά από καύση σε ανοικτό δοχείο

Σημείο Στερεοποίησης της Στάχτης:

Είναι η θερμοκρασία στην οποία γίνεται στερεοποίηση της στάχτης (τυπικές τιμές για ΑΣΑ: 1100 - 1200°C)

Στοιχειακή Ανάλυση των ΑΣΑ (περιεκτικότητα σε στοιχεία C, H, O, N, S και αδρανές υπόλειμμα):

Λαμβάνοντας υπ' όψη την περιεκτικότητα σε C, H, O, N, S στα απόβλητα, προσδιορίζεται ο λόγος C/N (σημαντικός για την κομποστοποίηση), τον εμπειρικό τύπο των απορριμμάτων και την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου για καύση. [1]

Ενεργειακό Περιεχόμενο (KJ/kg):

Πρόκειται για τη θερμογόνο δύναμη μίας καύσιμης ύλης, δηλαδή την ποσότητα της θερμικής ενέργειας που εκλύεται κατά την πλήρη καύση μίας ποσότητας της ουσίας αυτής (1kg). Η θερμογόνος δύναμη διακρίνεται σε ανώτερη και κατώτερη, ανάλογα με τη φάση του νερού στα προϊόντα της καύσης. Συγκεκριμένα, όταν το νερό είναι υγρό στα προϊόντα της καύσης πρόκειται για ανώτερη θερμογόνο δύναμη (ΑΘΔ), ενώ όταν είναι σε αέρια μορφή πρόκειται για κατώτερη θερμογόνο δύναμη (ΚΘΔ). Στην

πράξη, η θερμική αξία των καυσίμων καθορίζεται με βάση την ΚΘΔ επειδή το νερό απομακρύνεται από το θάλαμο καύσης σε ατμώδη μορφή μαζί με άλλα καυσαέρια. [1] Στον πίνακα παρατίθενται τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε C, H, O, N, S και αδρανές υπόλειμμα καθώς και ενεργειακού περιεχομένου για τα απόβλητα των ΗΠΑ:

Είδος	% C ξ.β.	% H ξ.β.	% O ξ.β.	% N ξ.β.	% S ξ.β.	% αδρανές υπόλειμμα ξ.β.	Ενεργειακό περιεχόμενο (kJ/kg)
υπολείμματα τροφών	48	6.4	37.6	2.6	0.40	5	4652
χαρτί	43.5	6	44	0.3	0.20	6	16747.2
χαρτόνι	44	5.9	44.6	0.3	0.20	5	16282
πλαστικά	60	7.2	22.8	0	0.00	10	32564
υφάσματα	55	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5	17445
λάστιχο	78	10		2	0.00	10	23260
δέρμα	60	8	11.6	10	0.40	10	17445
υπολείμματα αυλών	47.8	6	38	3.4	0.40	4.5	6512.8
ξύλο	49.5	6	42.7	0.2	0.10	1.5	18608
γυαλί	0.5	0.1	0.4	0.1		98.9	139.56
λευκοσίδηρος	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
αλουμίνιο	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	0
άλλα μέταλλα	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
λοιπά ανόργανα	26.3	3	2	0.5	0.2	68	697.8

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Τυπικές τιμές % στοιχείων C, H, O, N, S, αδρανούς υπολείμματος και ενεργειακού περιεχομένου των ΑΣΑ των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

1.3.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ

Με εξαίρεση το πλαστικό, το ελαστικό και τα δέρματα, το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ μπορεί να ταξινομηθεί επίσης με βάση την περιεκτικότητά του σε:

- Υδατοδιαλυτά συστατικά όπως σάκχαρα, άμυλα, αμινοξέα και διάφορα οργανικά οξέα
- Ημικυτταρίνη
- Κυτταρίνη
- Λίπη, έλαια και κεριά
- Λιγνίνη
- Λιγνοκυτταρίνη
- Πρωτεΐνες

Βιοαποδομησιμότητα Οργανικών Απορριμμάτων:

Ως μέτρο βιοαποδομησιμότητας των ΑΣΑ συχνά χρησιμοποιείται το περιεχόμενο σε πτητικά στερεά. Τα πτητικά στερεά (Volatile Solids, VS) αποτελούν τα οργανικά στερεά που οξειδώνονται κατά την καύση στους 950°C ενός στερεού δείγματος. Ωστόσο, μόνο ένα μέρος αυτών είναι πράγματι αποδομήσιμο. Το βιοαποδομήσιμο

κλάσμα (biodegradable fraction) του οργανικού μέρους των οικιακών στερεών απορριμμάτων μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την εμπειρική σχέση: [1, 6]

$$BF = 0,83 - 0,028 LC$$

όπου

BF: βιοαποδομήσιμο κλάσμα εκφρασμένο με βάση τα πτητικά στερεά και

LC: περιεκτικότητα σε λιγνίνη, εκφρασμένη ως ποσοστό του ξηρού βάρους

Δημιουργία οσμών:

Οι οσμές δημιουργούνται όταν έχουμε μακρόχρονη αποθήκευση στα σημεία συλλογής και μεταφόρτωσης και στις χωματερές. Προκαλούνται από την αναερόβια αποδόμηση των εύκολα αποδομήσιμων οργανικών των ΑΣΑ. Κύριες ενώσεις που προκαλούν δυσοσμία είναι οι αμμίνες, η αμμωνία, οι διαμίνες, το υδρόθειο, οι μερκαπτάνες (π.χ. CH₃SH), τα οργανικά σουλφίδια και η σκατόλη. [4]

1.4 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΑ

Το πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα οριοθετείται από το Νόμο 4042/2012 (ΦΕΚ24/Α/13-2-2012) που ενσωματώνει την **οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΚ** της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στο Νόμο δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην πρόληψη παραγωγής, στην επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των αποβλήτων, καθώς και στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει».

Εκτός από το Νόμο 4042/2012, η διαχείριση ΑΣΑ στην Ελλάδα διέπεται επίσης από:

- Την ΚΥΑ (Κοινή Υπουργική Απόφαση) 50910/2727/2003 με την οποία εγκρίθηκε το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), όπου τίθενται διαχρονικοί στόχοι για τη διαχείριση των ΑΣΑ και δίνονται γενικές κατευθύνσεις για τις δράσεις των στόχων.
- Την ΚΥΑ 29407/3508/2002 για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων όπου επιβάλλονται περιορισμοί για την ποσότητα και την ποιότητα των αποβλήτων που προορίζονται προς ταφή.
- Το θεσμικό πλαίσιο συμπληρώνεται με τις απαιτήσεις και τους όρους που θέτει ο Ν 2939/2001 όπως τροποποιήθηκε και ισχύει σήμερα, μαζί με τις σχετικές διατάξεις που ρυθμίζουν τη διαχείριση ειδικών ρευμάτων αποβλήτων στα ΑΣΑ. [7]

Η Ευρωπαϊκή οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 θεσπίζει νομοθετικό πλαίσιο επεξεργασίας των αποβλήτων για τα κράτη της Ε.Ε. με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και της

δημόσιας υγείας μέσω της πρόληψης των αρνητικών επιπτώσεων από την παραγωγή και τη διαχείριση αποβλήτων.

Έχει εφαρμογή σε απόβλητα που δεν περιέχουν:

- αέρια απόβλητα
- ραδιενεργά απόβλητα
- εκρηκτικά
- περιπτώματα
- λύματα
- ζωικά προϊόντα
- πτώματα ζώων τα οποία αποθνήσκουν εκτός σφαγείων
- απόβλητα που προκύπτουν από ορυκτούς πόρους

Λόγω της αυξητικής τάσης της παραγωγής αποβλήτων εντός της Ε.Ε., αποκτά πρωταρχική σημασία η ανάκτηση και η διάθεση, για τη διαφύλαξη των φυσικών πόρων. Εξίσου σημαντικές είναι η πρόληψη αλλά και η μείωση των επιπτώσεων της παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων στο περιβάλλον.

Η Οδηγία – πλαίσιο στηρίζεται στην αρχή του κοινοτικού δικαίου «ο *ρυπαίνων πληρώνει*». Σύμφωνα με αυτή την αρχή, το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων είναι ευθύνη του αρχικού παραγωγού των αποβλήτων και του τρέχοντα ή τους προηγούμενους κατόχους αποβλήτων. Ως παραγωγός αποβλήτων ορίζεται κάθε πρόσωπο του οποίου οι δραστηριότητες παράγουν απόβλητα (αρχικός παραγωγός αποβλήτων) ή κάθε πρόσωπο που πραγματοποιεί εργασίες προεπεξεργασίας, ανάμειξης ή άλλες οι οποίες οδηγούν σε μεταβολή της φύσης ή της σύνθεσης των αποβλήτων αυτών. Ως κάτοχος αποβλήτων ορίζεται ο παραγωγός αποβλήτων ή το φυσικό ή νομικό πρόσωπο, στην κατοχή του οποίου ευρίσκονται τα απόβλητα.[9,10,11]

1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

1.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

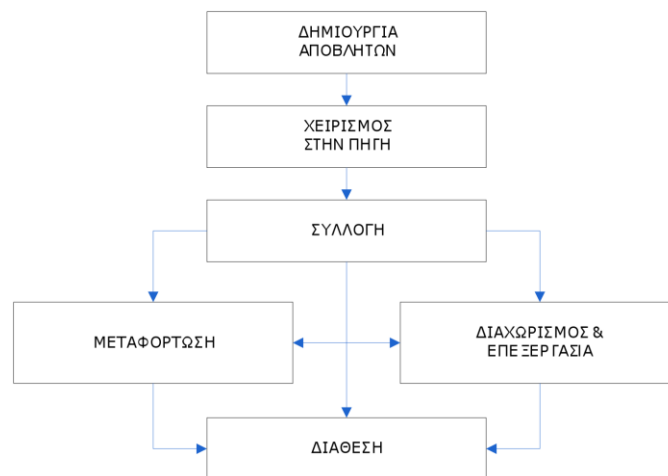
Ο όρος «διαχείριση στερεών αποβλήτων» εμπεριέχει τις τεχνικές διαδικασίες και μεθόδους οι οποίες σχετίζονται με τη συλλογή, τη μεταφορά, την προσωρινή αποθήκευση, την ανάκτηση των χρησιμων υλικών, την επεξεργασία και την τελική διάθεση των απορριμμάτων σε κατάλληλα επιλεγμένους χώρους, όπως επίσης και τη μετέπειτα φροντίδα των χώρων αυτών. Οι ενέργειες αυτές πρέπει να γίνονται με το

βέλτιστο δυνατό τρόπο από πλευράς δημόσιας υγιεινής, οικονομικών, συντήρησης, αισθητικής και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η υπόθεση της διαχείρισης αποβλήτων έχει διοικητικές, οικονομικές, νομικές και τεχνικές πλευρές.

Στάδια της διαχείρισης αποβλήτων:

- 1) Δημιουργία/Παραγωγή Αποβλήτων.
- 2) Χειρισμός στην Πηγή/Επιτόπου διαχείριση (αποθήκευση): Χειρισμός, διαχωρισμός, αποθήκευση και επεξεργασία (π.χ. διαλογή στην πηγή) πριν την κυρίως επεξεργασία.
- 3) Συλλογή: Τα απόβλητα συγκεντρώνονται και φορτώνονται στο μέσο μεταφοράς και οδηγούνται σε σταθμό μεταφόρτωσης, θέση επεξεργασίας ή χώρο διάθεσης.
- 4) Μεταφόρτωση/Μεταφορά: Τα απόβλητα μεταφέρονται σε σταθμό μεταφόρτωσης κι έπειτα οδηγούνται στο χώρο επεξεργασίας/διάθεσης.
- 5) Διαχωρισμός και Επεξεργασία/Ανάκτηση: Διαχωρισμός, επεξεργασία και φυσική ή χημική ή βιολογική μετατροπή των στερεών αποβλήτων. Στάδιο κατά το οποίο, με διάφορες διεργασίες και κατάλληλο εξοπλισμό, επιδιώκεται είτε η αξιοποίηση του ίδιου του αποβλήτου με βελτίωση κάποιων χαρακτηριστικών του, είτε η παραλαβή χρησίων συστατικών ή/και ενέργειας.
- 6) Διάθεση αποβλήτων: Τελική εναπόθεση

Τα στάδια της διαχείρισης στερεών απορριμμάτων σχηματικά:

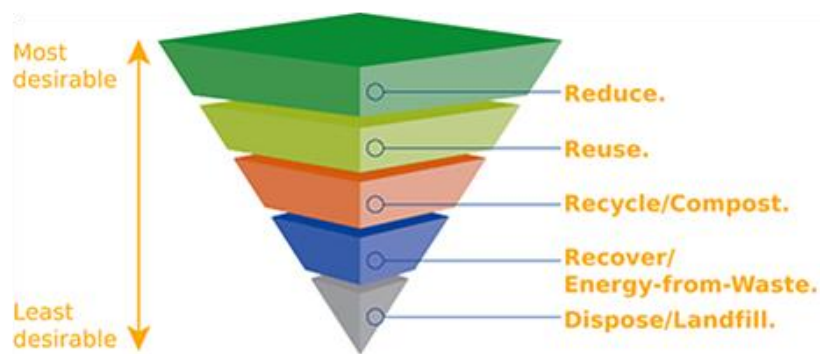


ΣΧΗΜΑ 2: Διάγραμμα Ροής Σταδίων διαχείρισης αποβλήτων (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Με την ολοκληρωμένη διαχείριση στερεών αποβλήτων (Integrated Solid Waste Management) γίνεται η προσπάθεια να προσδιοριστούν οι πιο συμφέρουσες αλληλουχίες και αλληλεξαρτήσεις των επιμέρους λειτουργικών σταδίων που οδηγούν σε μία βελτιστοποιημένη, συνολικά, διαχείριση. [1]

Η ιεράρχηση των αποβλήτων προσδιορίζεται από πέντε δραστηριότητες διαχείρισης αποβλήτων κατά φθίνουσα σειρά προτίμησης. Σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης η διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με την ιεράρχηση αυτή, και με τον τρόπο αυτό θα συντελέσει στη μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας και ταυτόχρονα στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Σύμφωνα με την ιεράρχηση αυτή, πρώτα απ' όλα οφείλεται να γίνεται προσπάθεια για "Μείωση" των αποβλήτων. Μετά τη "Μείωση" (Reduce) έρχεται η "Επαναχρησιμοποίηση" (Reuse) κι έπειτα η "Ανακύκλωση" (Recycle). Στη συνέχεια προτιμάται η "Μετατροπή" (Recover/Energy from Waste), η οποία περιλαμβάνει τη φυσική, χημική ή βιολογική μεταβολή των απορριμμάτων και χρησιμοποιείται προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα της διαχείρισης, να ανακτηθεί επαναχρησιμοποιήσιμο και ανακυκλώσιμο υλικό και να παραχθούν χρήσιμα προϊόντα όπως εδαφοβελτιωτικό ή/και βιοαέριο. Τελικό στάδιο στην πυραμίδα της διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων αποτελεί η "Διάθεση" (Dispose/Landfill) των άχρηστων μη ανακυκλώσιμων στερεών και των άχρηστων προϊόντων από το διαχωρισμό και την επεξεργασία. [1,8]



ΣΧΗΜΑ 3: Ιεράρχηση προτίμησης διαχείρισης αποβλήτων (πηγή: COVANTA)

1.5.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ

1.5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η συλλογή, η μεταφόρτωση και η μεταφορά αποτελούν τις πρώτες φάσεις της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Αυτές συμβάλλουν καθοριστικά στην αποτελεσματικότητα της συνολικής διαχείρισης των Α.Σ.Α. Για τα ογκώδη αντικείμενα που δεν είναι δυνατόν να μεταφερθούν με τα συμβατικά οχήματα συλλογής (όπως ο ηλεκτρικός εξοπλισμός, τα ελαστικά αυτοκινήτων, τα υλικά κατεδαφίσεων), χρησιμοποιούνται μεγάλοι υποδοχείς που τοποθετούνται σε προκαθορισμένα σημεία. Η απολύμανση των κάδων πρέπει να διενεργείται σε τακτά διαστήματα για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων, την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και την αποφυγή έκλυσης οσμών. [12]

1.5.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

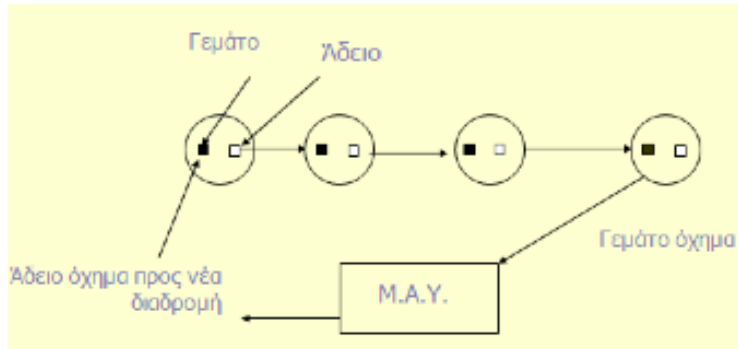
Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων μεταφοράς απορριμμάτων:

(α) Σύστημα Μεταφερόμενου Δοχείου (ΣΜΔ, HCS=hailed container system)

Στο Σύστημα Μεταφερόμενου Δοχείου ή Κάδου διακρίνονται δύο τύποι: ο **Συμβατικός τύπος** (το δοχείο αφού αδειάσει, επιστρέφεται στο ίδιο σημείο, το δε απορριμματοφόρο προχωρά στο επόμενο σημείο για να παραλάβει τον επόμενο κάδο) και ο **τύπος Ανταλλαγής Κάδων** (το απορριμματοφόρο αφήνει σε κάθε σημείο ένα άδειο κάδο, τον οποίο *ανταλλάσσει* με τον γεμάτο. Αφού αδειάσει τον γεμάτο στη Μονάδα Διαχείρισης ή στο ΧΥΤΑ, προχωρά στο επόμενο σημείο).

(β) Σύστημα Στάσιμου Δοχείου (ΣΣΔ, SCS=stationary container system)

Σε αυτό το σύστημα, το απορριμματοφόρο χωρά το περιεχόμενο πολλών κάδων. Σε κάθε σημείο αδειάζει τον κάδο, τον αφήνει άδειο, και προχωρά στο επόμενο σημείο, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί:[2]



ΣΧΗΜΑ 4: Σύστημα Στάσιμου Δοχείου (πηγή: Λυμπεράτος Γ., Τσιλιγιάννης Χ. (1998), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

1.5.3 ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

1.5.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Μετά τη μεταφορά των απορριμμάτων στο σταθμό επεξεργασίας ή διάθεσης ακολουθεί, μηχανικός διαχωρισμός των αποβλήτων. Κατά το Μηχανικό Διαχωρισμό (ΜΔ) με τη χρήση μηχανικών μέσων χωρίζονται διάφορα υλικά από το ρεύμα σύμμεικτων απορριμμάτων σε διάφορα συστατικά ή ομοιογενείς κατηγορίες συστατικών, τα οποία μπορούν να επιστρέψουν ως δευτερογενείς πρώτες ύλες στον παραγωγικό και οικονομικό κύκλο. Οι διεργασίες που περιλαμβάνει μία τυπική μονάδα μηχανικού διαχωρισμού διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- α) Υποβιβασμός μεγέθους
- β) Διαχωρισμός και ταξινόμηση

Κατά το Μηχανικό Διαχωρισμό πραγματοποιούνται διαδοχικά ζύγισμα, διαλογή, θραύση και κοσκίνισμα. Οι διεργασίες αυτές εμφανίζονται με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς στις εγκαταστάσεις μηχανικού διαχωρισμού.

Οι βασικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπ' όψη στο σχεδιασμό του μηχανικού διαχωρισμού είναι:

- α) Ο βαθμός ανάκτησης (ποσότητα ανακτώμενων υλικών)
- β) Η ποιότητα των ανακτώμενων υλικών

Τα προϊόντα που μπορούν να ανακτηθούν από μία μονάδα μηχανικού διαχωρισμού απορριμμάτων είναι:

- Σιδηρούχα μέταλλα, με συντελεστή ανάκτησης 65-95%.
- Ζυμώσιμα υλικά με συντελεστή ανάκτησης 70-90%

- RDF, με συντελεστή ανάκτησης 70-80% ή, αλλιώς, χαρτί και πλαστικά με χαμηλότερο συντελεστή ανάκτησης. Το RDF (Refuse Derived Fuel) αποτελείται κυρίως από χαρτί και πλαστικό, δηλαδή από υλικά που είτε μεμονωμένα είτε συνδυασμένα εμφανίζουν υψηλή τιμή θερμογόνου δύναμης.
- Γυαλί, με συντελεστή ανάκτησης 50-90%. Το γυαλί μπορεί να διαχωριστεί με εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου. Προς το παρόν, η μόνη αξιόπιστη μέθοδος είναι η χειροδιαλογή. Από μονάδες μηχανικού διαχωρισμού λαμβάνεται ανάμεικτο γυαλί, από το οποίο μπορεί να παραχθεί πράσινο γυαλί που έχει μειωμένη αγορά.
- Αλουμίνιο, με συντελεστή ανάκτησης 55-90%
- Χαρτί. Το χαρτί που προέρχεται από σύμμεικτα απόβλητα, ανακτώμενο μόνο του έχει υψηλή υγρασία και είναι έντονα ρυπασμένο από την επαφή του με το ζυμώσιμο κλάσμα επομένως είναι δύσκολη η ανάκτησή του και η διοχέτευσή του στην αγορά.
- Πλαστικά [13]

1.5.3.2 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Προκειμένου να επιτευχθεί ο υποβιβασμός του μεγέθους, ο διαχωρισμός και η ταξινόμηση των διαφόρων υλικών των στερεών αποβλήτων έχουν σχεδιαστεί διάφορα μηχανήματα που μπορούν να χωριστούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

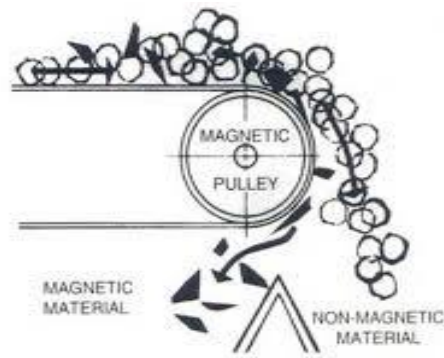
Οι **κατεργαστές** (processors) είναι μηχανήματα που επιτυγχάνουν ελάττωση του όγκου, σχίσιμο των σακουλών και αποκατάσταση της ομοιομορφίας των αποβλήτων. Οι σημαντικότερες συσκευές κατεργασίας είναι οι θραυστήρες κρούσης, οι σφυρόμυλοι, οι περιστροφικοί κόπτες, οι θραυστήρες κυλίνδρου και οι θραυστήρες σιαγόνων.

Οι **διαχωριστές** (separators) επιτυγχάνουν το διαχωρισμό της εισερχόμενης μάζας των απορριμμάτων σε δύο ρεύματα, όπου το ένα περιέχει το προς ανάκτηση υλικό σε υψηλή συγκέντρωση, ενώ το άλλο είναι απαλλαγμένο από την παρουσία του. Οι πιο διαδεδομένες συσκευές διαχωρισμού είναι τα κόσκινα (δονούμενα, περιστροφικά, κόσκινα Mogensen), οι τράπεζες διαχωρισμού (διαχωρισμός με βάση τη βαρύτητα, την τριβή και την υδραυλική ροή), οι βαλλιστικοί διαχωριστές, οι αεροδιαχωριστές, οι ηλεκτρομαγνητικοί διαχωριστές, οι διαχωριστές με ρεύματα Eddy (διαχωρισμός αλουμινίου), οι οπτικοί διαχωριστές και οι διαχωριστές με επίπλευση αφρού.

Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη για ανάκτηση υλικών και το διαχωρισμό κλασμάτων από τα σύμμεικτα απόβλητα είναι τα εξής:

Μαγνητικοί διαλογείς

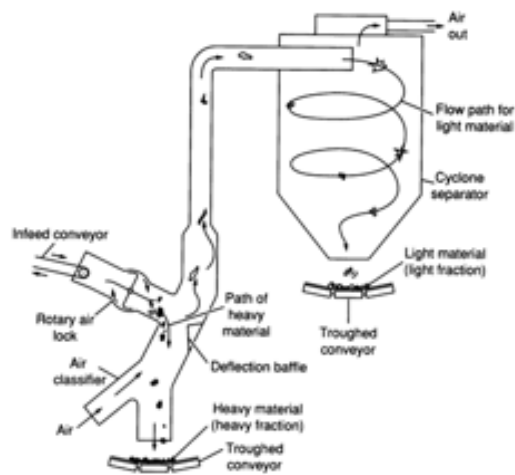
Με τους ηλεκτρομαγνήτες ή τα μαγνητικά ράουλα επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των μικρών σιδηρούχων αντικειμένων.



ΕΙΚΟΝΑ 1: Σχηματική απεικόνιση μαγνητικού διαχωρισμού

Αεροδιαχωριστές

Ο αεροδιαχωρισμός βασίζεται στις διαφορές βάρους μεταξύ των διαφόρων ειδών αποβλήτων και έτσι διαχωρίζονται τα πλαστικά και χαρτιά (ελαφρύ κλάσμα) από τα βαρέα απόβλητα, δηλαδή το γυαλί και τα ανόργανα (πέτρες). [13,14]



ΕΙΚΟΝΑ 2: Απεικόνιση Κυκλωνικού Διαχωριστή

Ηλεκτροδιαχωριστές

Ο ηλεκτροδιαχωρισμός είναι μία κατάλληλη μέθοδος για το διαχωρισμό των μη σιδηρούχων μετάλλων από τα απορρίμματα, καθώς επίσης και του χαρτιού και των πλαστικών. [13]

1.5.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

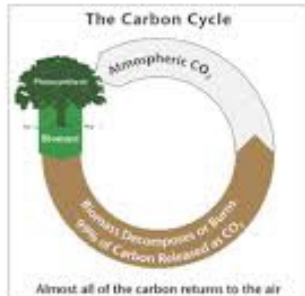
1.5.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΑ

Οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας έχουν εφαρμογή στα βιοαποδομήσιμα ή οργανικά απόβλητα. Σε αυτά ανήκουν τα περισσότερα απόβλητα από αγροτικές διαδικασίες, πολλά στερεά απόβλητα και ιλύες επεργασίας των αποβλήτων των βιομηχανιών τροφίμων, η ιλύς βιολογικών καθαρισμών αστικών λυμάτων καθώς και το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών αποβλήτων. Τα μη βιοαποδομήσιμα υλικά που εισέρχονται σε μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας λαμβάνονται αναλλοίωτα στην έξοδό της. Στην περίπτωση των αστικών αποβλήτων τέτοια υλικά περιλαμβάνουν προσμείξεις γυαλιού ή πλαστικού, αλλά και μη βιοδιασπάσιμους ρύπους, όπως βαρέα μέταλλα, που είναι μη ορατοί μακροσκοπικά, αλλά που ανιχνεύονται στο τελικό προϊόν, υποβαθμίζοντας την αξία του και περιορίζοντας τις δυνατότητες χρήσης του. Επομένως, η καθαρότητα των υλικών εισόδου καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Γι' αυτό το λόγο, οι μονάδες βιολογικής επεξεργασίας μπορούν να δεχθούν:

- Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα μετά από διαλογή στην πηγή [16]
- Ένα εμπλουτισμένο σε βιοαποδομήσιμα υλικά κλάσμα, που προέρχεται από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής, η ποιότητα του οποίου εξαρτάται από τις επιμέρους διεργασίες της μηχανικής διαλογής. Αναπόφευκτα θα υπάρχουν ανεπιθύμητες προσμίξεις στο τελικό προϊόν και η ποιότητά του θα είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του διαλεγμένου στην πηγή κλάσματος παρ' ότι η βιολογική επεξεργασία μπορεί να λειτουργήσει εξίσου καλά όσον αφορά στις βιολογικά εξαρτώμενες παραμέτρους (καταστροφή παθογόνων και βιοσταθεροποίηση). Διακρίνονται δύο βασικές μορφές βιοεπεξεργασίας οργανικών αποβλήτων: η *κομποστοποίηση* (αερόβια, θερμόφιλη βιο-οξειδωση) και η *ανασερόβια χώνευση*. Η πρώτη οδηγεί στην παραγωγή ενός σταθεροποιημένου εδαφοβελτιωτικού, το κομπόστ, ενώ η δεύτερη στην παραγωγή βιοαερίου και ενός σχετικά σταθεροποιημένου υπολείμματος, το οποίο μετά από περεταίρω αερόβια

σταθεροποίηση μπορεί να μετατραπεί επίσης σε κομπόστ και να έχει ανάλογες χρήσεις. [12,16]

Το βασικό όφελος των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων είναι η δυνατότητα επιστροφής των οργανικών υλικών στο έδαφος, συντελώντας με αυτό τον τρόπο στην ολοκλήρωση ενός σημαντικού κύκλου και υποκαθιστώντας μέρος της χρήσης χημικών λιπασμάτων στη γεωργία.



ΕΙΚΟΝΑ 3: Ο κύκλος Ανθρακα (πηγή: SONOMA Ecology Center)

Για την αξιοποίηση του οργανικού μέρους των αποβλήτων είναι απαραίτητη η τήρηση υψηλών ποιοτικών προδιαγραφών που να διασφαλίζουν τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και την προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα.

Παράμετροι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που συνήθως ρυθμίζονται από τη σχετική νομοθεσία αποτελούν η συγκέντρωση σε βαρέα μέταλλα και άλλους πιθανούς τοξικούς ρυπαντές (Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAHs), διοξίνες, υπολείμματα φυτοφαρμάκων), η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών για τον άνθρωπο ή τα φυτά, οι ξένες προσμίξεις (πλαστικό, αιχμηρά αντικείμενα) και η φυτοτοξικότητα. [16]

1.5.4.2 ΒΙΟΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ (ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ)

1.5.4.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η βιοσταθεροποίηση (λιπασματοποίηση, χουμποποίηση ή κομποστοποίηση - composting) είναι η βιολογική αποδόμηση και σταθεροποίηση οργανικής ύλης και μικροβίων κάτω από συνθήκες που επιτρέπουν την ανάπτυξη θερμοκρασιών στη θερμοφιλική περιοχή (50-60°C), η οποία διασφαλίζεται από βιολογικά παραγόμενη θερμότητα, με παραγωγή τελικού προϊόντος αρκετά σταθεροποιημένου για αποθήκευση και χρήση ως εδαφοβελτιωτικό (κομπόστ) χωρίς περιβαλλοντικές

επιπτώσεις. Για τη διασφάλιση των επικυμητών συνθηκών απαιτούνται ειδικές συνθήκες υγρασίας και αερισμού.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της αερόβιας βιοασταθεροποίησης είναι ότι πρόκειται για μια ρυθμιζόμενη διάσπαση ή αδρανοποίηση οργανικών ενώσεων, πραγματοποιείται με τη συμβολή μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα), λαμβάνει χώρα παρουσία υψηλής συγκέντρωσης O_2 , ολοκληρώνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και είναι άοσμη. Εκτός από το εδαφοβελτιωτικό προϊόν (κομπόστ), παράγονται επίσης CO_2 και H_2O . [16]

Οι βασικές ανάγκες ανάπτυξης των μικροοργανισμών προκύπτουν από τη χημική σύνθεση των κυττάρων. Το 80-90% του ολικού κυτταρικού βάρους είναι νερό, συνεπώς το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο στη διατροφή των μικροοργανισμών. Εκτός από το υδρογόνο και το οξυγόνο, τα βασικά ανόργανα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί είναι ο άνθρακας, το άζωτο, ο φώσφορος και το θείο (σε μειωμένες ποσότητες). Τα οργανικά θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται από τους μικροοργανισμούς είναι ενώσεις που δε μπορούν να συντεθούν από άλλες πηγές άνθρακα όπως τα αμινοξέα, οι πουρίνες και πυριμιδίνες και οι βιταμίνες. [13]

Η παρουσία των μικροοργανισμών στη διεργασία θέτει διάφορους περιορισμούς οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της διεργασίας σε παράγοντες όπως:

- η αναλογία C/N (ο άνθρακας αποτελεί πηγή ενέργειας και το άζωτο τροφή των μικροοργανισμών)
- η υγρασία των απορριμμάτων (η τροφή των μικροοργανισμών είναι πάντα σε υδάτινη μορφή)
- το διαθέσιμο οξυγόνο (αερόβια διεργασία)
- το pH
- η θερμοκρασία [16]

Εδαφοβελτιωτικό (κομπόστ)

Το κομπόστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό σε καλλιέργειες. Εκτός από εδαφοβελτιωτικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μορφή αδρομερούς για την αποκατάσταση διαταραγμένων εδαφών (περιοχές λιγνιτωρυχείων, μεταλλείων, νταμαριών κτλ.), αλλά και ως υλικό κάλυψης ΧΥΤΑ. [1]

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κομπόστ ποικίλουν ανάλογα με:

- Τη σύσταση των προς κομποστοποίηση απορριμμάτων
- Τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνει χώρα η βιολογική επεξεργασία
- Το βαθμό αποσύνθεσης [12,16]

Η χρήση του κομπόστ παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως:

- Αυξάνει τα οργανικά συστατικά του χώματος και την ικανότητα του εδάφους για συγκράτηση νερού και άλλων θρεπτικών ουσιών
- Αυξάνει το πορώδες και εξισορροπεί το pH του εδάφους
- Βοηθά στον έλεγχο της διάβρωσης του εδάφους
- Αυξάνει την καλλιεργησιμότητα του εδάφους
- Αυξάνει το περιεχόμενο της διατροφής των φυτών σε βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία
- Συντελεί στην επέκταση της περιόδου ανάπτυξης των φυτών
- Αντικαθιστά τα πετροχημικά λιπάσματα περιορίζοντας τη χρήση τους. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα αφού η παραγωγή τους δημιουργεί επικίνδυνα απόβλητα που μολύνουν την ατμόσφαιρα, δηλητηριώδη νιτρικά άλατα που μολύνουν τα νερά και επιταχύνουν την εξάντληση των φυσικών πόρων. [1]

Η βιολογική μετατροπή ενός οργανικού κλάσματος απαιτεί το βιολογικό σύστημα να έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Πρέπει το περιβάλλον να είναι ελεύθερο από μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, αμμωνίας, σουλφιδίων και άλλων τοξικών παραγόντων. Η θερμοκρασία, το pH και η υγρασία του περιβάλλοντος είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και, συνεπώς, τη διεργασία της κομποστοποίησης. Γενικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη της αερόβιας επεξεργασίας και κάποιες τυπικές οριακές τιμές τους είναι: [12,16]

- Θερμοκρασία:

Υπάρχει κάποια βέλτιστη θερμοκρασία για το κάθε σύστημα προς κομποστοποίηση, ανάλογα με τις επιθυμητές συνθήκες (μεσοφιλικές, θερμοφιλικές). Η μέγιστη θερμοκρασία που επιτρέπεται να αναπτυχθεί ώστε να μη σκοτώνονται τα μικρόβια είναι 55-60°C. Η θερμοκρασία είναι παράγοντας που εξασφαλίζει την ανάπτυξη της μικροχλωρίδας και την εξαφάνιση των διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών.

- pH:

Το pH πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή από 6 έως 9, με βέλτιστη τιμή για την ανάπτυξη των βακτηρίων μεταξύ 6.5-7.5. Όταν παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 9 ή

μικρότερες του 4.5 τότε μόρια ασθενών οξέων και βάσεων εισέρχονται στο κύτταρο πιο εύκολα από ότι τα ιόντα υδρογόνου και υδροξειδίου, με αποτέλεσμα να μεταβάλλουν το εσωτερικό pH του κυττάρου και να το καταστρέφουν.

▪ Υγρασία:

Η υγρασία επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Όταν η περιεκτικότητα υγρασίας δεν είναι αρκετή, οι μικροοργανισμοί που είναι απαραίτητοι για τη ζύμωση δεν μπορούν να αναπτυχθούν. Σε αντίθετη περίπτωση, δεν υπάρχει η απαιτούμενη επαφή με το οξυγόνο που επίσης είναι απαραίτητο για τη ζύμωση. Ως ακραία όρια θεωρούνται 30-70%, με βέλτιστη τιμή μεταξύ 50-60%. Συχνά ρυθμίζεται κοντά στη βέλτιστη τιμή με ανάμειξη συστατικών ή με προσθήκη νερού. Πτώση της περιεκτικότητας κάτω από 40% επιβραδύνει το βαθμό κομποστοποίησης, ενώ υπερβολική αύξηση ώστε ο αέρας που υπάρχει στο σύστημα να αντικαθίσταται με νερό, δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες συνοδευόμενες πάντα από δυσοσμία και παύση της κομποστοποίησης.

▪ Λόγος C/N:

Ο λόγος C/N είναι πολύ σημαντικός παράγοντας γιατί επηρεάζει την ταχύτητα της βιολογικής αντίδρασης των υλικών. Βέλτιστες τιμές του λόγου είναι 20/1-30/1 για το φρέσκο οργανικό κλάσμα, που, καθώς η κομποστοποίηση προχωρά, σταδιακά μειώνεται.

▪ Λόγος C/P:

Ο λόγος C/P μπορεί να κυμαίνεται από 75/1 έως 150/1.

▪ Αερισμός:

Οι αερόβιες συνθήκες κατά την κομποστοποίηση είναι απαραίτητες για τη βιολογική οξειδωση και την απομάκρυνση της υγρασίας του προς λιπασματοποίηση μίγματος. Η ανεπάρκεια αέρα οδηγεί σε αναερόβιες συνθήκες και οσμές, ενώ ο πολύ έντονος αερισμός έχει ως αποτέλεσμα την πρόωρη ψύξη του υλικού. Πραγματοποιείται με τις εξής μεθόδους:

- α) Γύρισμα των απορριμμάτων
- β) Συνεχής ανάδευση
- γ) Εισαγωγή αέρα μέσω διάτρητων σωλήνων

▪ Κοκκομετρία:

Το μέγεθος των σωματιδίων καθορίζει τη διαθέσιμη συνολική επιφάνεια που προσφέρεται στους μικροοργανισμούς για προσβολή. Η ζύμωση είναι τόσο πιο αποτελεσματική όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια προσβολής της οργανικής ύλης.

Για το λόγο αυτό πάντα προηγείται τεμαχισμός. Ενδείκνυται το μέγεθος των σωματιδίων να είναι μικρότερο από 5 cm.

▪ Ανάδευση:

Η ανάδευση αφενός συμβάλλει στην επίτευξη βέλτιστου περιεχομένου υγρασίας και ομοιογένειας στη μάζα του υλικού, αφετέρου βοηθά στη διατήρηση αερόβιων συνθηκών ζύμωσης.

▪ Έλεγχος παθογόνων οργανισμών:

Η καταστροφή των παθογόνων οργανισμών εξαρτάται από το χρόνο και τη θερμοκρασία και εξαφανίζονται ολοκληρωτικά με παραμονή των κομποστοποιημένων απορριμμάτων σε 70°C για 1-2 ώρες.

▪ Έλεγχος οσμών:

Τα προβλήματα οσμών έχουν σχέση με την απουσία αερόβιων συνθηκών. Κάποια αίτια είναι ο χαμηλός λόγος C/N, η υπερβολική υγρασία, η μη ικανοποιητική ανάδευση και ο ανεπαρκής έλεγχος της θερμοκρασίας.

Μέγεθος σωματιδίων	1-3 in(25-75 mm) 0,5-1,5 in για ανάδευση και αερισμό 1,5-3 in για φυσικό αερισμό χωρίς ανάδ.
Λόγος C/N (τροφοδοσία)	<30/1
Λόγος C/P (τροφοδοσία)	75-150/1
Αναμίξεις και προσθήκες	μέχρι 1-5% κατά βάρος
Περιεχόμενο υγρασίας	50-60%(ή 45-55%)
Ανάδευση	Μικρές περιόδους έντονης ανάδευσης εναλλασσόμενες με διακοπές.
Θερμοκρασία	50-55°C τις πρώτες μέρες 55-60°C τις υπόλοιπες
Έλεγχος παθογόνων οργανισμών	Παραμονή στους 60-70°C για 24 h
Ρύθμιση του PH	7-7,5
Βαθμός αποσύνθεσης	φαίνεται από το λόγο C/N

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Βέλτιστες τιμές παραμέτρων που επηρεάζουν την κομποστοποίηση
(πηγή: Παπαχρήστου κ.α., 1987 και Τσομπάνογλου κ.α., 1993)

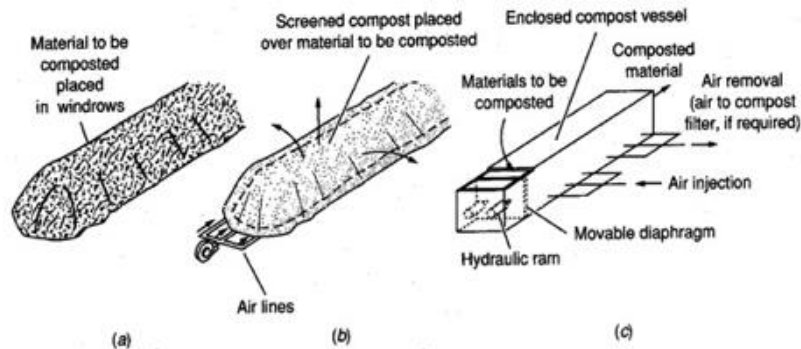
Όταν ένα σύστημα προς κομποστοποίηση πληροί τις ανωτέρω προϋποθέσεις κρίνεται ως κατάλληλο για αερόβια επεξεργασία. [13]

1.5.4.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Τα συστήματα κομποστοποίησης διακρίνονται σε *ανοικτά* και *κλειστά* συστήματα. Στα ανοικτά συστήματα η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα στην ύπαιθρο ή σε ημίκλειστα κτίρια, ενώ στα κλειστά πραγματοποιείται σε ειδικά σχεδιασμένους βιοαντιδραστήρες ή κλειστά κτίρια, απ' όπου γίνεται απαγωγή κι επεξεργασία των εκπεμπόμενων αερίων

και οσμών, παράγοντες που δημιουργούν μεγάλο πρόβλημα όταν η μονάδα είναι εγκατεστημένη κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Στα ανοικτά συστήματα ανήκουν τα συστήματα των **Σειραδίων** και του **Αεριζόμενου Στατικού Σωρού**. Τα κλειστά συστήματα αποτελούν οι **Κλειστοί Βιοαντιδραστήρες** συνεχούς ή ασυνεχούς λειτουργίας. Οι διατάξεις αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



ΣΧΗΜΑ 5: Απεικόνιση συστημάτων κομποστοποίησης (πηγή: Λυμπεράτος, Γ. (2013), *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*)

Σύστημα Σειραδίων (windrows)

Τα απόβλητα (τεμαχισμένα σε μεγέθη 25-75 mm) τοποθετούνται σε παράλληλους σωρούς τριγωνικής, τραπεζοειδούς ή ορθογώνιας διατομής, οι οποίοι αναδεύονται σε τακτά χρονικά διαστήματα με μηχανικό μέσο ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός και ομοιογένεια στο σωρό. Συχνά προστίθεται ανακυκλοφορούμενο προϊόν της βιοσταθεροποίησης ή/ και κάποιοι προσθετικοί παράγοντες για αύξηση των αερόκενων και τη βελτίωση της σύστασης του υποστρώματος όσον αφορά την υγρασία, τα οργανικά και τα άλλα θρεπτικά καθώς και τους μικροοργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την βιοσταθεροποίηση. Οι σωροί μπορεί να αερίζονται πρόσθετα από φυσητήρες, προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής παροχή οξυγόνου, ρύθμιση της θερμοκρασίας και να απομακρυνθεί η πρόσθετη υγρασία. Τα παραγόμενα υγρά παροχετεύονται με κατάλληλες σωληνώσεις.

Ο χρόνος διάρκειας της βιοσταθεροποίησης ανέρχεται περίπου σε 20 ημέρες και ακολουθεί στάδιο ωρίμανσης διάρκειας περίπου 30 ημερών, όπου γίνεται οξείδωση διαφόρων οργανικών οξέων που παρήχθησαν στο πρώτο στάδιο και βελτίωση της τελικής σύστασης του κομποστ.

Σύστημα αεριζόμενου στατικού σωρού

Το σύστημα του αεριζόμενου στατικού σωρού διαφέρει από το σύστημα των σειραδίων στο ότι δεν υπάρχει ανάδευση, αλλά ο αερισμός επιτυγχάνεται με συνεχή παροχή αέρα διά μέσω του σωρού και δε χρησιμοποιείται ανακυκλοφορία προϊόντος. Ένα συνηθισμένο πρόβλημα που εμφανίζεται στους αεριζόμενους στατικούς σωρούς είναι το φαινόμενο της πρόωρης ξήρανσης του υλικού που οδηγεί στον περιορισμό της μικροβιακής δραστηριότητας πριν την ολοκλήρωση της σταθεροποίησης, με όλα τα δυσμενή αποτελέσματα που προκύπτουν για τη μετέπειτα χρησιμοποίηση του.

Κλειστοί Βιοαντιδραστήρες

Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι αντιδραστήρων όπως της κινούμενης αναδευόμενης κλίνης, της κινούμενης στερεής κλίνης, του περιστρεφόμενου τυμπάνου και της αναδευόμενης στερεής κλίνης, με ή χωρίς ανάδευση. [1,16]

Ένα παράδειγμα μονάδας κομποστοποίησης είναι η μονάδα κομποστοποίησης στο Viersen, δυναμικότητας 51.000 τόνων, όπου η εντατική χώνευση γίνεται σε κλειστό σύστημα και η τελική φάση κομποστοποίησης υπαίθρια. Η μονάδα επεξεργάζεται 48.000 τόνους βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που συλλέγονται στην πηγή ανά έτος. [17]



ΕΙΚΟΝΑ 4: Μονάδα κομποστοποίησης στο Viersen

1.5.4.3 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Αναερόβια χώνευση καλείται η βιολογική επεξεργασία κατά την οποία οργανική ύλη μετατρέπεται σε CH₄ και CO₂ (βιοαέριο) με τη συνδυασμένη δράση μεικτού πληθυσμού μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου.

Συνολική αντίδραση αναερόβιας χώνευσης:

Οργανική ύλη + νερό → CH₄ + CO₂ + NH₃ + H₂S + νέα κύτταρα + θερμότητα

Το βιοαέριο που παράγεται είναι μείγμα CH₄ και CO₂ ενδεικτικής σύστασης 30-35% CH₄ και 65-70% CO₂. Όταν η περιεκτικότητα μεθανίου είναι χαμηλή, της τάξης 5-15 %, τότε το μίγμα είναι εκρηκτικό. [1,16]

Στην αναερόβια χώνευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα βιομάζας ως υπόστρωμα (πρώτη ύλη) για την παραγωγή βιοαερίου. Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη είναι οι εξής:

- Ζωικά περιττώματα και πολτοί
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα τροφίμων (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
- Το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων
- Λυματολάσπη
- Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες: Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε πολλές χώρες έχει εξεταστεί και εισαχθεί μια άλλη κατηγορία πρώτων υλών αναερόβιας χώνευσης, οι αποκλειστικές καλλιέργειες, οι οποίες καλλιεργούνται και φροντίζονται αποκλειστικά για την παραγωγή βιοαερίου, και τελικά ενέργειας. [18]

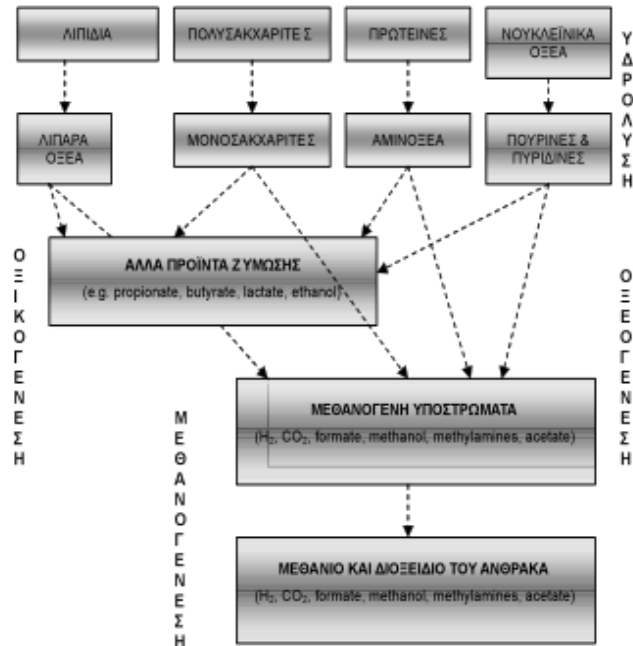
Η αναερόβια επεξεργασία ως μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα:

- Δεν υπάρχει περιορισμός στη συγκέντρωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα να επεξεργαζόμαστε υγρά βιομηχανικά απόβλητα υψηλών οργανικών φορτίων, υλικά που δεν βιοαποδομούνται με αερόβιες διεργασίες (όπως κυτταρίνη) και προκαλούν προβλήματα (όπως λιπαρές ουσίες).
- Εμφανίζει μικρές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορο).

- Οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί, σε αντίθεση με τους αερόβιους, μπορούν να διατηρούνται χωρίς τροφή για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς να σημειώνεται καμία σημαντική μείωση στην ενεργότητά τους.
- Δεν απαιτείται μεγάλο ποσό ενέργειας, η οποία μάλιστα καταναλώνεται κυρίως για θέρμανση, για τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών.
- Δεν εμφανίζονται προβλήματα όχλησης στην περιοχή εφαρμογής από οσμές, έντομα ή θόρυβο, διότι αποφεύγεται η επαφή του αέρα με τα απόβλητα οπότε η επεξεργασία πραγματοποιείται σε τελείως κλειστά δοχεία. [13,18]

Κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης ακολουθούνται κάποια βήματα σε συνέχεια και με τον τρόπο αυτό το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ακολουθούνται τέσσερα διακριτά στάδια:

- 1) Υδρόλυση: Κατά το στάδιο αυτό, ενώσεις όπως οι πρωτεΐνες, το άμυλο και κάποια απλά σάκχαρα υδρολύονται από αερόβια βακτήρια. Η υδρόλυση των υδρογονανθράκων ολοκληρώνεται εντός κάποιων ωρών, ενώ εκείνη των πρωτεϊνών και των λιπιδίων εντός λίγων ημερών. Το διαλυμένο οξυγόνο καταναλώνεται από τα βακτήρια.
- 2) Οξυγένεση: Κατά τη διάρκεια της οξυγένεσης τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Πιο συγκεκριμένα, οι ολιγοσακχαρίτες, οι μονοσακχαρίτες, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό οξύ (CH_3COOH) (50%), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρογόνο (H_2) (20%) καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA's) και αλκοόλες (30%).
- 3) Μεθανογένεση: Μεθανογενή βακτήρια διασπούν τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης. Παράγεται αέριο μεθάνιο (CH_4), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και μεταλλικά άλατα. Εξαιτίας της αναγωγικής ατμόσφαιρας μέσα στον αντιδραστήρα και της παραγωγής αμμωνίας από την αναερόβια διάσπαση των πρωτεϊνών, η τιμή του pH στο σύστημα συνεχώς αυξάνεται, με τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 7,5 - 8,5. Περίπου το 70% του παραγόμενου μεθανίου προέρχεται από το οξικό οξύ. Το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα. [13]

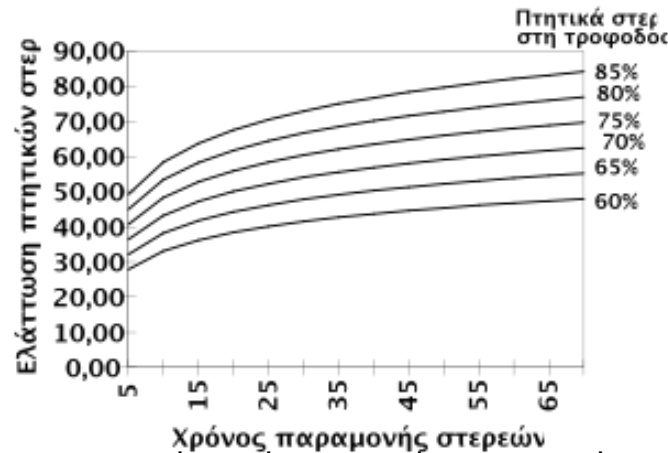


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 1: Μετατροπή της Βιομάζας σε βιοαέριο (πηγή: Λυμπεράτος, Γ. (2013), *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*)

Υπάρχουν διάφορες κρίσιμες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την αποδοτικότητα της αναερόβιας και είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία: Η αναερόβια χώνευση είναι είτε μεσοφιλική (περίπου 33- 37°C), είτε θερμοφιλική (περίπου 55-60°C). Γενικά προτιμώνται θερμοκρασίες 25 – 30°C γιατί δημιουργούν καλύτερους βιολογικούς ρυθμούς και πιο σταθερές συνθήκες. Στις πιο χαμηλές θερμοκρασίες ο ρυθμός της αντίδρασης πέφτει, απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής στερεών και μεγαλύτεροι όγκοι αντιδραστήρα.
- Χημική σύσταση της τροφοδοσίας
- Θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φώσφορος)
- Τοξικές ουσίες- παρεμποδιστές
- Τύπος του αντιδραστήρα
- Ο χρόνος παραμονής στερεών (solids retention time, SRT) στον αναερόβιο αντιδραστήρα, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία διεξαγωγής της αναερόβιας χώνευσης είναι καθοριστικής σημασίας για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας τέτοιου είδους μονάδας. Γενικά, για τα συμβατικά συστήματα αναερόβιας

χώνευσης απαιτείται SRT της τάξης των 20 ημερών για θερμοκρασία 30°C. Οι χρόνοι είναι πολύ μεγαλύτεροι για χαμηλότερες θερμοκρασίες. [13]



ΣΧΗΜΑ 6: Μείωση οργανικού φορτίου συναρτήσει της συγκέντρωσης τροφοδοσίας και του χρόνου παραμονής στον αντιδραστήρα (πηγή: Λυμπεράτος, Γ. (2013), *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*)

Με την ολοκλήρωση της αναερόβιας χώνευσης, εκτός από βιοαέριο, παράγεται και αναερόβια ιλύς. Η παραγόμενη ιλύς υπόκειται σε επεξεργασία κατά την οποία αφαιρείται η υγρασία, η οποία φιλτράρεται και οδηγείται στον αναερόβιο χωνευτήρα με επανακυκλοφορία, ενώ η αφυδατωμένη ιλύς υφίσταται αερόβια επεξεργασία, συνήθως σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς, με σκοπό το σχηματισμό εδαφοβελτιωτικού (κομπόστ). Το παραγόμενο κομπόστ ελέγχεται για τυχόν ανεπιθύμητες προσμίξεις, όπως κομμάτια γυαλιού, μετάλλου ή πλαστικού, ανάλογα με τα όρια που έχουν θεσπιστεί σε κάθε χώρα. [20]

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης σε μία τυπική μονάδα ακολουθεί τα κάτωθι βασικά στάδια:

- 1) Διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος από τα ανεπιθύμητα υλικά, όπως τα μέταλλα, τα πλαστικά, το γυαλί και άλλα ανόργανα υλικά
- 2) Αιώρηση των οργανικών σε νερό και τροφοδότηση στο βιοαντιδραστήρα (ανάλογα με την επιθυμητή περιεκτικότητα σε υγρασία)
- 3) Αναερόβια χώνευση (χρόνος παραμονής 2-3 εβδομάδες)
- 4) Διήθηση ή φυγοκέντρωση αναερόβιας ιλύος (αφυδάτωση)
- 5) Αερόβια σταθεροποίηση αναερόβιας ιλύος

Σε ένα αποτελεσματικό αναερόβιο σύστημα εξασφαλίζονται οι παρακάτω συνθήκες:

- μεγάλος χρόνος παραμονής της βιομάζας
- καλή επαφή βιομάζας και υποστρώματος
- υψηλά ποσοστά αντίδρασης
- επικράτηση ευνοικών περιβαλλοντικών συνθηκών για όλους τους μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας

Το βιοαέριο που παράγεται δύναται να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία για παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας. Επισημαίνεται ότι μία μονάδα αναερόβιας χώνευσης συνήθως ιδιοκαταναλώνει ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας.[1]

ΤΕΧΝΙΚΕΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι τεχνικές αναερόβιας επεξεργασίας των ΑΣΑ είναι οι:

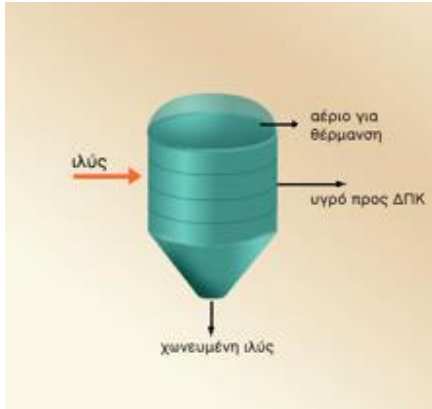
- α) Συμβατική υγρή αποσύνθεση υπό μορφή αιωρήματος. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί με ποσοστό ολικών στερεών στην τροφοδοσία έως 15-20%, τυπικά 10%.
- β) Ξηρή αναερόβια αποσύνθεση. Λειτουργεί με ποσοστό ολικών στερεών στην τροφοδοσία του αντιδραστήρα περίπου 35-40%, τυπικά 30%. Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται η μείωση κατά ένα πέμπτο του απαιτούμενου όγκου του αντιδραστήρα. Τα ξηρά συστήματα απαιτούν λιγότερη χρήση νερού, αλλά έναν αντιδραστήρα υψηλότερης τεχνολογίας.
- γ) Αναερόβια αποσύνθεση δύο φάσεων. Η υδρόλυση και οξίνιση του υλικού γίνονται σε διαφορετικούς αντιδραστήρες.

Μία μέθοδος αναερόβιας χώνευσης που εφαρμόζεται σήμερα στην Ευρώπη είναι η μέθοδος Dranco. Η μέθοδος αυτή, είναι μέθοδος ξηρής αναερόβιας αποσύνθεσης και έχει αναπτυχθεί για τη μετατροπή των στερεών οργανικών αποβλήτων, ειδικότερα για τη μετατροπή του οργανικού κλάσματος των στερεών αστικών απορριμμάτων, σε ενέργεια και ένα χουμοειδές υλικό που λέγεται Humotex. [2]

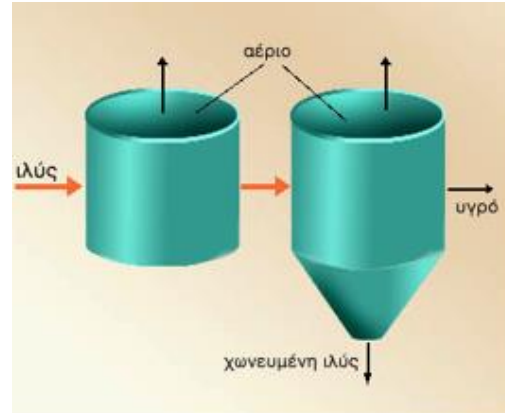
Εως σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης και είναι τα εξής:

- **Συμβατικοί χωνευτήρες** (χωρίς ανάδευση και συνήθως χωρίς θέρμανση)
- **Χωνευτήρες χαμηλής ταχύτητας μιας βαθμίδας** (όπου πραγματοποιείται ανάδευση και θέρμανση)

- **Χωνευτήρες υψηλής ταχύτητας δυο βαθμίδων**
- **Χωνευτήρες με ανακυκλοφορία ιλύος** (για αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών)
- **Χωνευτήρες ανοδικής ροής** με αιωρούμενη ή προσκολλημένη βιομάζα
- **Βιολογικά αναερόβια φίλτρα** [1]



ΣΧΗΜΑ 8: Συμβατικός χωνευτήρας



ΣΧΗΜΑ 7: Χωνευτήρας δύο σταδίων

Ανά τόνο απορρίμματος (και ανάλογα με τη σύσταση των αποβλήτων) τυπικά παράγονται:

- 100-200 m³ βιοαερίου (μεθάνιο 55-70%)
- 200-300 kg compost

Εν κατακλείδι, η αναερόβια χώνευση είναι μια ιδιαίτερα διεργασία με ευρεία εφαρμογή διότι εκτός από τη χρήση της για επεξεργασία ιλύος που προέρχεται από βιολογικό καθαρισμό, τα τελευταία έτη χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας, επεξεργασία αποβλήτων με ισχυρό οργανικό φορτίο και επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων. Κερδίζει έδαφος διότι κατά τη διεργασία αυτή αφενός παράγεται μεθάνιο, αφετέρου η διεργασία έχει μικρές απαιτήσεις σε υποστρώμα και περιορισμούς. [1]

1.5.4.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

1.5.4.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων ορίζονται ως "διαδικασίες μετατροπής των στερεών αποβλήτων σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας".

Οι πλέον βασικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας κατηγοριοποιούνται βάσει των απαιτήσεων τους σε αέρα και είναι οι εξής: [14]

1. **Καύση:** Είναι η ταχεία μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική, με οξείδωση της οργανικής ύλης των αστικών στερεών αποβλήτων υπό συνθήκες περίσσειας οξυγόνου, προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Προκειμένου να αποφευχθεί η ημιτελής καύση χρησιμοποιείται περίσσεια αέρα μέχρι και 100%. Όσο υψηλότερη είναι η περίσσεια αέρα ωστόσο, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση των αερίων με αποτέλεσμα να υπάρχει χαμηλότερη θερμοκρασία κατά την καύση. Τα ανόργανα συστατικά των απορριμμάτων παραμένουν στο στερεό υπόλειμμα. [1,14]
2. **Πυρόλυση:** Είναι η αποδόμηση των οργανικών ουσιών των απορριμμάτων, απουσία ή παρουσία ελάχιστης ποσότητας οξυγόνου. Τα προϊόντα της πυρόλυσης είναι στερεά, υγρά και αέρια και η σύστασή τους εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας, όπως τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής των απορριμμάτων στον πυρολυτικό θάλαμο.
3. **Αεριοποίηση:** Είναι η μερική οξείδωση (με αέρα ή οξυγόνο) της οργανικής ύλης των απορριμμάτων, που μετατρέπεται σε μείγμα μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογόνου και μεθανίου. Σε όλα τα στάδια αυτής της διαδικασίας παράγονται αέρια, στερεό υπόλειμμα και θερμική ενέργεια, η οποία καταναλώνεται για την πραγματοποίηση αλυσιδωτών αντιδράσεων. Συνεπώς, η αεριοποίηση απαιτεί την τήρηση αυστηρών στοιχειομετρικών αναλογιών μεταξύ αποβλήτων - αέρα έτσι ώστε να επιτευχθεί ατελής καύση των αποβλήτων και να παραχθεί αέριο αποτελούμενο από CO, H₂ και αέριους υδρογονάνθρακες

Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων, στοχεύει :

- Στη *μείωση του όγκου* των απορριμμάτων τα οποία οδηγούνται προς τελική διάθεση
- Στη *σταθεροποίηση* των προς διάθεση απορριμμάτων
- Στην *ανάκτηση ενέργειας* από τα απορρίμματα

Γενικά, η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω των Οδηγιών που εκδίδει για τα κράτη μέλη της, προάγει την εφαρμογή των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας, ως έναν αποτελεσματικό τρόπο μείωσης της παραγόμενης ποσότητας στερεών αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής και συρρίκνωσης του υφιστάμενου ενεργειακού

προβλήματος, μέσω της αξιοποίησης του θερμικού περιεχομένου των απορριμμάτων για την παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρικής ενέργειας.

Η θερμική επεξεργασία μπορεί να εφαρμοσθεί σε σύμμεικτα ανεπεξέργαστα απορρίμματα ή στο προϊόν μηχανικού διαχωρισμού RDF που εμφανίζει υψηλή θερμογόνο αξία.

Αναλύεται περαιτέρω η καύση από τις θερμικές μεθόδους επεξεργασίας, ως η πιο γνωστή κι εφαρμοσμένη μέθοδος και όντας η θερμική μέθοδος που επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί σε ένα από τα σενάρια επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων κατά την παρούσα μελέτη. [14]

1.5.4.4.2 ΚΑΥΣΗ

Πρόκειται για μία αρκετά παλιά και διαδεδομένη διεργασία, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη υψηλών θεοκρασιών (850-1500°C), με παρουσία φλόγας, για την οξειδωση των επιμέρους στοιχείων των απορριμμάτων. Στόχος της είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση ή/και η καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, παρουσία οξυγόνου (είτε σε στοιχειομετρική αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του τελικού όγκου τους.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται κατά την αποτέφρωση των απορριμμάτων :

- Οι κινούμενες σχάρες (είναι η παλαιότερη και ευρύτερα εφαρμοζόμενη μέθοδος)
- Η ρευστοποιημένη κλίνη
- Η αποτέφρωση σε κάμινο [14]

Τα κύρια προϊόντα της καύσης είναι ουσιαστικά *ενέργεια* και *ανακυκλώσιμα υλικά* (ανακτώνται τα σιδηρούχα μέταλλα από την παραγόμενη τέφρα). Κατά τη θερμική επεξεργασία παράγονται επίσης *τέφρα* και *ιπτάμενη τέφρα*. Η τέφρα είναι σταθεροποιημένο προϊόν το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο κατασκευαστικών υλικών ή να διατεθεί ως μη επικίνδυνο υπόλειμμα και η ιπτάμενη τέφρα θεωρείται επικίνδυνη και πρέπει να επεξεργάζεται περαιτέρω και να απομακρύνονται τα σιδηρούχα και βαρέα μέταλλα που υπάρχουν σε αυτή και όχι να διατίθεται στο περιβάλλον. [14,20]

Τα αέρια της καύσης ασκούν μεγάλη περιβαλλοντική πίεση διότι περιέχουν υψηλές ποσότητες διοξινών, βαρέων μετάλλων, NO_x, SO_x, και άλλων ενώσεων που είναι

επικίνδυνες για τη δημόσια υγεία γι' αυτό το λόγο τίθενται αυστηρά όρια για την εκπομπή τους στο περιβάλλον. Έχουν αναπτυχθεί ειδικές τεχνολογίες στα συστήματα καύσης και καθαρισμού των αερίων με σκοπό την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, των οξέων, των οξειδίων του αζώτου και των διοξειδίων.

Εκτός από τους αέριους ρύπους της καύσης απορριμμάτων, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται και στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων που παραμένουν μετά από μια τέτοια επεξεργασία. Αυτά είναι κυρίως: η *υπολειμματική τέφρα* (bottom ash) (συλλέγεται στον πυθμένα του θαλάμου καύσης και αποτελείται κυρίως από άκαυστα υλικά και υπολειμματική άκαυστη οργανική ύλη – περίπου 20-25% του αρχικού βάρους απορριμμάτων), η *τέφρα* από το σύστημα ενεργειακής αξιοποίησης (περιέχει το πιο αδρό κλάσμα της σωματιδιακής ύλης το οποίο μεταφέρεται από τα καυσαέρια), η *ιπτάμενη τέφρα* (fly ash) (το λεπτόκοκκο κλάσμα της σωματιδιακής ύλης που απομακρύνεται κατά 95% πριν την επεξεργασία των καυσαερίων) και τα *υπολείμματα από την επεξεργασία των καυσαερίων* (συλλέγονται μετά την κατεργασία των όξινων αερίων της καύσης).[14,21]

1.5.4.5 ΧΥΤΥ

Ο διαχωρισμός και η ανακύκλωση κάποιων υλικών, η βιολογική και θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων μειώνουν σημαντικά την ποσότητα των στερεών αποβλήτων, όμως δεν τα εξαφανίζουν. Έτσι, σε κάθε μέθοδο επεξεργασίας υπάρχει κάποιο σημαντικό υπόλειμμα το οποίο οδηγείται σε χώρο ταφής.

Χωματερή είναι η εγκατάσταση για τη διάθεση των υπολειμμάτων των στερεών απορριμμάτων σε εδάφη. Υγειονομική Ταφή ονομάζεται η διαδικασία ταφής των στερεών με την οποία ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Η Ασφαλής Ταφή εφαρμόζεται στην περίπτωση ταφής επικίνδυνων αποβλήτων. [22]

Από τους χώρους υγειονομικής ταφής αναλύεται ο ΧΥΤΥ εφόσον χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη.

ΧΥΤΥ (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων)

Με τον όρο ΧΥΤΥ εννοείται μια μέθοδος ελεγχόμενης και οργανωμένης διάθεσης των απορριμμάτων στο έδαφος, κάτω από συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Το πιο σημαντικό στοιχείο είναι ότι στο ΧΥΤΥ δεν αποθέτουμε όλα τα απορρίμματα.

Εκεί καταλήγουν απορρίμματα που έχουν υποστεί συστηματική ανακύκλωση (χαρτί, αλουμίνιο, πλαστικό, λευκοσίδηρος, σίδηρος, ύφασμα, γυαλί, ξύλο και ό,τι άλλο υλικό μπορεί να ανακυκλωθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί) και βιολογική ή θερμική επεξεργασία.

Αποτέλεσμα όλης αυτής της διαδικασίας είναι να καταλήγουν στο ΧΥΤΥ τα υπολείμματα αυτών των διεργασιών.

Ένας ΧΥΤΥ είναι επιστρωμένος με κατάλληλο υλικό (μεμβράνη), που αποτρέπει τη διαρροή των υγρών που παράγονται από την αποσύνθεση των αποβλήτων στα υπόγεια νερά και το έδαφος. [23,24]

1.5.4.6 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Η ανακύκλωση αποτελεί την αφετηρία για όλες τις σύγχρονες μεθόδους διάθεσης και συντελεί σε:

- *εξοικονόμηση υλικών και ενέργειας*
- *μείωση της ρύπανσης*
- *μείωση της ποσότητας διακινούμενων και απορριπτόμενων αποβλήτων*[2]

Η στροφή προς την ανακύκλωση υλικών συντελεί στην προστασία του περιβάλλοντος από τους ρύπους της παραγωγής υλικών εκ νέου αλλά και της διάθεσής τους σε ΧΥΤΑ. Σύμφωνα με έρευνα που αφορά στην Ε.Ε. υπολογίζεται η εξοικονόμηση αερίων του θερμοκηπίου από την τρέχουσα ανακύκλωση των αστικών στερεών αποβλήτων σε 160εκ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα, που αντιστοιχεί στη συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που παράγουν δύο χώρες μαζί. Ένα άλλο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εμφανίζεται στις ΗΠΑ, όπου η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (EPA) έχει υπολογίσει ότι η απόρριψη 100 τόνων χαρτιού παράγει 62 τόνους CO₂, ενώ η ανακύκλωση 50 τόνων από το ίδιο χαρτί έχει το αντίστροφο αποτέλεσμα και απορροφά 3 τόνους CO₂. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται σε ανάλυση του κύκλου ζωής της διεργασίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ανακύκλωση οδηγεί στη μείωση της κοπής δέντρων που με τη σειρά τους δεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα. [25]

Τα βασικά πρωτογενή υλικά που ανακυκλώνονται είναι:

- Χαρτί
- Γυαλί
- Αλουμίνιο
- Άλλα Μέταλλα

- Πλαστικά
- Οργανικό κλάσμα
- Έπιπλα και είδη ένδυσης
- Υπολείμματα κατασκευών
- Ελαστικά οχημάτων
- Υπολείμματα κηπουρικής [2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των αποβλήτων απαιτεί μία ολιστική προσέγγιση στην περιβαλλοντική μηχανική και διαχείριση πόρων. Η αξιολόγηση των διαφόρων επιλογών διαχείρισης αποβλήτων απαιτεί την εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ, Life Cycle Assessment – LCA). Η AKZ για τη διαχείριση των αποβλήτων θεωρείται σαν ένας τρόπος συγκέντρωσης πληροφοριών που βοηθούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.[26]

Ένα βασικό σημείο της αειφόρου ανάπτυξης και της προσπάθειας προστασίας του περιβάλλοντος είναι ότι οι κατασκευαστές διαχειρίζονται το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συντήρηση και την ανακύκλωση των προϊόντων με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κοινωνία. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής δίνει τη δυνατότητα να εξετάζονται τα ζητήματα και οι τεχνικές αυτές με επίσημο και ολιστικό τρόπο.

Ειδικότερα η AKZ εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υπό μελέτη συστήματος στους τομείς της ανθρώπινης υγείας, της οικολογίας και της εξάντλησης των πόρων. Οι πρωταρχικοί στόχοι της διεξαγωγής της είναι:

- 1) Να παρέχει την πληρέστερη δυνατή εικόνα των αλληλεπιδράσεων μιας δραστηριότητας με το περιβάλλον.
- 2) Να συμβάλει στην κατανόηση της αλληλοεξαρτώμενης φύσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.
- 3) Να παρέχει στους ιθύνοντες πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων αυτών και με αυτό τον τρόπο να συντελεί στην εύρεση ευκαιριών για περιβαλλοντικές βελτιώσεις. [26,27]

Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO), μια περιβαλλοντική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) μελετά τις περιβαλλοντικές παρεμβάσεις και τις πιθανές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή, τη χρήση και τη διάθεσή του. Αυτό γίνεται με την απογραφή των σχετικών εισροών και εκροών ενός συστήματος (**απογραφή δεδομένων – inventory analysis**), την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων αυτών των εισροών και εκροών (**εκτίμηση επιπτώσεων – impact assessment**), καθώς και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (**ερμηνεία - interpretation**) σε σχέση με τους

στόχους που καθορίζονται στην αρχή της μελέτης (**σκοπός και πλαίσιο – goal and scope**).

Οι γενικές κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που χρήζουν εξέτασης περιλαμβάνουν την αξιοποίηση των πόρων, την ανθρώπινη υγεία και οικολογικούς περιορισμούς.

Στον ορισμό της ΑΚΖ, ο όρος «προϊόν» δεν περιλαμβάνει μόνο συστήματα προϊόντων, αλλά μπορεί επίσης να περιλαμβάνει συστήματα παροχής υπηρεσιών, όπως είναι για παράδειγμα τα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων. [26]

Όσον αφορά τα απόβλητα, ο κύκλος ζωής τους ξεκινά όταν τα προϊόντα διατίθενται στο καλάθι των αχρήστων και τελειώνει όταν το υλικό των αποβλήτων υποβαθμίζεται ή επιστρέφει στο τεχνολογικό σύστημα μέσω της ανακύκλωσης και αντικαθιστά άλλα προϊόντα. [26,29]



ΣΧΗΜΑ 9: Βασικά Στάδια Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (πηγή: Τριανταφυλλόπουλος, Α., Σκορδίλης, Α., *Ανάλυση του κύκλου ζωής στο ΧΥΤΑ του δήμου Πατρέων*)

Η ΑΚΖ χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τα συστήματα διαχείρισης στερεών αποβλήτων, ιδίως στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και το στρατηγικό σχεδιασμό. Η χρήση της στο πεδίο της διαχείρισης στερεών αποβλήτων ξεκίνησε το έτος 1995. Είναι ένα εργαλείο του οποίου η εφαρμογή ενδείκνυται στον τομέα αυτόν, επειδή λαμβάνονται υπόψη πολλοί παράγοντες που παίζουν ρόλο όπως οι γεωγραφικές περιοχές, τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, οι πηγές ενέργειας, η διαθεσιμότητα των επιλογών διάθεσης και το μέγεθος των αγορών των ανακτώμενων προϊόντων. Η διαδικασία της ΑΚΖ τυποποιήθηκε το 1998 και αναθεωρήθηκε το 2006 (ISO 14040, 2006).

Η εφαρμογή της ΑΚΖ στη διαχείριση των ΑΣΑ είναι ένα απαιτητικό έργο. Κάθε προσπάθεια διαχείρισης αποβλήτων θεωρείται εκ των προτέρων φιλική προς το περιβάλλον. Όμως, οι εγκαταστάσεις διαχείρισης στερεών αποβλήτων απαιτούν γη (μεγάλης έκτασης στην περίπτωση των χώρων υγειονομικής ταφής), καταναλώνουν μη ανανεώσιμους φυσικούς πόρους για τη λειτουργία τους (π.χ. καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια) και εκπέμπουν μια σειρά ατμοσφαιρικών ρύπων και στραγγίσματα στο αέριο ή υδάτινο περιβάλλον. Πρέπει, επομένως, να αναζητείται η ισορροπία μεταξύ περιβαλλοντικού οφέλους και επιβάρυνσης. [30]

2.2 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Κατά την εφαρμογή της ΑΚΖ ακολουθούνται απαραίτητως τα εξής στάδια:

1. Σκοπός και Πλαίσιο (Goal and Scope Definition)

Ο καθορισμός του σκοπού και πλαισίου της ανάλυσης είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο στην εφαρμογή της τεχνικής γιατί από αυτό καθορίζεται η έκτασή της σε χρόνο, ανθρώπινο δυναμικό και οικονομικούς πόρους. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την ΑΚΖ περιέχει απλοποιήσεις και παραδοχές και πρέπει σε αυτό το στάδιο να εξασφαλίζεται ότι αυτές δεν θα επιφέρουν σημαντική αλλοίωση στο τελικό αποτέλεσμα. Το στάδιο αυτό αποτελείται από τις εξής ενέργειες:

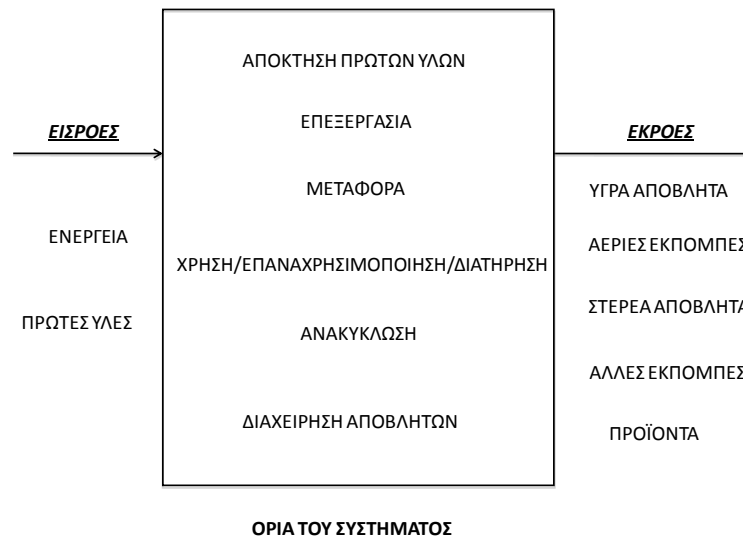
- Ακριβής αποτύπωση του σκοπού για τον οποίο γίνεται η ΑΚΖ
- Λεπτομερής καθορισμός του κύκλου ζωής και της χρήσης του προϊόντος
- Καθορισμός των υποθέσεων, των περιορισμών και των απαιτήσεων
- Εντοπισμός του ακροατηρίου θα διαχυθούν όπου τα αποτελέσματα
- Καθορισμός της λειτουργικής μονάδας (Functional Unit): Η λειτουργική μονάδα δείχνει τη λειτουργία του υπό μελέτη συστήματος και παρέχει πληροφορίες τόσο για τα εισαγόμενα στοιχεία όσο και για τα αποτελέσματα, επιτρέποντας τη σύγκριση δύο ή περισσότερων διαφορετικών συστημάτων.
- Ορισμός και περιγραφή των ορίων του συστήματος (System Boundary): Αφορά, για παράδειγμα, τα όρια μεταξύ τεχνόσφαιρας (διεργασίες, υλικά και είδη που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας) και οικόσφαιρας (φυσικές διεργασίες), καθώς και γεωγραφικά και χρονικά όρια.

2. Απογραφή των Δεδομένων (Inventory Analysis)

Το επόμενο στάδιο είναι να προσδιοριστούν και να ποσοτικοποιηθούν τα υλικά και οι εκπομπές που διαπερνούν τα όρια του συστήματος. Οι ροές εισόδου και εξόδου ονομάζονται “περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις” ή “περιβαλλοντικές παρεμβάσεις” (environmental burdens/interventions). Το πλήρες σύνολο των επιβαρύνσεων ανά λειτουργική μονάδα αποτελεί τον “πίνακα Απογραφής” (Inventory Table).

Μία διεργασία που λαμβάνεται σίγουρα υπόψη είναι οι μεταφορές. Στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, η εφοδιαστική διαχείριση τις περισσότερες φορές αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μερίδιο του συνολικού οικονομικού κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Από την άποψη της μηχανικής διεργασιών, η Καταγραφή των Δεδομένων καταγράφει τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί: [27]



ΣΧΗΜΑ 10: Καταγραφή των δεδομένων στην ΑΚΖ

3. Εκτίμηση των Επιπτώσεων (Impact Assessment)

Η εκτίμηση των επιπτώσεων στην ΑΚΖ είναι ένα στάδιο που αποσκοπεί στην κατανόηση και αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος προϊόντων. Η εκτίμηση αυτή αποτελείται από επιμέρους στοιχεία που την καθιστούν πιο λεπτομερή. Το πρώτο είναι η επιλογή των κατηγοριών επίπτωσης (impact categories) των διάφορων εισροών και εκπομπών του συστήματος. Το

δεύτερο στοιχείο (κατηγοριοποίηση – classification) είναι μια κατηγοριοποίηση των στοιχείων της καταγραφής των δεδομένων στις κατηγορίες επιπτώσεων. Το τρίτο στοιχείο (χαρακτηρισμός - characterization) είναι η ποσοτικοποίηση της συμβολής του κύκλου ζωής του προϊόντος στις επιλεγμένες επιπτώσεις. [26]

4. Εκτίμηση Βελτιώσεων (Improvement Analysis)

Ο οργανισμός SETAC ορίζει την εκτίμηση βελτιώσεων ως εξής: “Η εκτίμηση βελτιώσεων αποτελεί μια συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση ενέργειας και πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ’ όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής των προϊόντων, διεργασιών και υπηρεσιών. Η ανάλυση αυτή είναι δυνατό να περιέχει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά μέτρα βελτίωσης, όπως αλλαγές στο προϊόν, στη διεργασία και στο σχεδιασμό, στη χρήση των πρώτων υλών, στη χρήση από τον καταναλωτή και στη διαχείριση των απορριμμάτων”. Μια εκτίμηση βελτιώσεων ενός προϊόντος μπορεί να γίνει με την βοήθεια του *αριθμητικού μητρώου 5x5*. Η διαδικασία εκτίμησης με την βοήθεια του μητρώου 5x5 αποτελεί μια “ημιποιοτική” μεθοδολογία της AKZ, σε αντίθεση με άλλες οι οποίες είναι ποσοτικές και ταυτόχρονα επιλεκτικές. Το μητρώο σχεδιάζεται έτσι ώστε στον οριζόντιο άξονα να περιλαμβάνονται οι πέντε βασικοί τομείς περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος και στον κατακόρυφο τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής. Κάθε στάδιο του πίνακα βαθμολογείται από το 0 (υψηλότερη επίπτωση, πολύ αρνητική αξιολόγηση) μέχρι το 4 (χαμηλότερη επίπτωση, πολύ θετική αξιολόγηση) αφού προηγηθεί εξέταση του προϊόντος ως προς τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συσκευασία, τη χρήση και το πιθανό σενάριο τελικής διάθεσης του. Στην ουσία, δίδεται ένας βαθμός αξιολόγησης (0-4) σε κάθε στοιχείο, ο οποίος παριστάνει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα στάδια της αναλυτικής απογραφής δεδομένων και της εκτίμησης των επιπτώσεων κατά την AKZ. Η αξιολόγηση γίνεται εμπειρικά και στηρίζεται σε σχεδιαστικές και κατασκευαστικές μελέτες ή άλλες πληροφορίες.

Τομείς Περιβαλλοντικού Ενδιαφέροντος	Επιλογή Υλικών	Χρήση Ενέργειας	Στερεά Απορρίμματα	Υγρά Απόβλητα	Αέριες Εκπομπές
Στάδια Κύκλου Ζωής					
Απόκτηση Πρώτων Υλών / Προκατασκευή	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
Κατασκευή	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
Μεταφορά / Συσκευασία	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
Χρήση	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)
Ανακύκλωση / Τελική Διάθεση	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Αριθμητικό μητρώο εκτίμησης 5x5

5. Ερμηνεία (Interpretation)

Μία πολύ σημαντική ενέργεια κατά την Ανάλυση Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος ή ενός συστήματος γενικότερα είναι η ερμηνεία των δεδομένων και των αποτελεσμάτων όλων των επιμέρους σταδίων από το μελετητή έτσι ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα με τον κατά το δυνατόν σωστότερο τρόπο. Η ερμηνεία είναι η διαδικασία προσδιορισμού, ελέγχου και εκτίμησης των πληροφοριών από τα συμπεράσματα της ανάλυσης απογραφής δεδομένων ή / και την εκτίμηση των επιδράσεων ενός συστήματος και παρουσιάζονται προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις της εφαρμογής, όπως περιγράφονται στη φάση προσδιορισμού του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης. Είναι μια διαδικασία επικοινωνίας και έχει σχεδιαστεί για να δώσει αξιοπιστία στα αποτελέσματα των περισσότερων τεχνικών φάσεων της ΑΚΖ, δηλαδή στη φάση της καταγραφής δεδομένων και τη φάση της εκτίμησης, και έχει μορφή που είναι και κατανοητή και χρήσιμη στους υπεύθυνους αποφάσεων. Η ερμηνεία περιέχει τον προσδιορισμό σημαντικών περιβαλλοντικών ζητημάτων και την εκτίμηση των συμπερασμάτων. Η ερμηνεία εκτελείται παράλληλα με τις άλλες φάσεις της ΑΚΖ. Εάν τα αποτελέσματα της φάσης απογραφής δεδομένων ή της φάσης εκτίμησης επιπτώσεων δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις που καθορίζονται στη φάση προσδιορισμού του σκοπού, η φάση καταγραφής δεδομένων πρέπει να βελτιωθεί με π.χ. επιθεώρηση των ορίων του συστήματος, περαιτέρω συλλογή δεδομένων κλπ. και εν συνεχεία να ακολουθήσει μια πιο βελτιωμένη εκτίμηση επιπτώσεων. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία πρέπει να αναπαράγεται έως ότου ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της φάσης προσδιορισμού σκοπού και πλαισίου της μελέτης. [26,27]

2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) παίζει καθοριστικό ρόλο και βρίσκει εφαρμογές σε όλο το φάσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

2.3.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής στη Βιομηχανία

Στη βιομηχανία χρειάζονται δημιουργικές, αποτελεσματικές, και αποδοτικές μέθοδοι για να αντιμετωπιστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που είναι γνωστές αλλά και εκείνες που μόλις αρχίζουν να παρουσιάζονται. Η αποτελεσματική προσέγγιση αντιμετώπισης περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι η χρήση ΑΚΖ στις αρχικές φάσεις σχεδιασμού και η αναγνώριση της έκτασης του προβλήματος, επιβάλλοντας προτεραιότητες και δίνοντας έμφαση σε αποτελεσματικές λύσεις. Η ΑΚΖ ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης, συμβάλλει στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων μέσω της επιλογής των υλικών, της διαδικασίας αλλαγής του σχεδιασμού προϊόντων, της αυξημένης επαναχρησιμοποίησης, της εκμετάλλευσης των υποπροϊόντων και της ανακύκλωσης.

2.3.2 ΑΚΖ και Οικολογικός Σχεδιασμός (Eco-Design /Ecomaterials)

Για την κατασκευή ενός προϊόντος ή την ανάπτυξη μιας παραγωγικής διαδικασίας χρησιμοποιούνται ορισμένα τεχνικά δεδομένα. Με βάση αυτά τα δεδομένα είναι δυνατόν να εφαρμοστεί η ΑΚΖ από την αρχή του σχεδιασμού. Κατά τον οικολογικό σχεδιασμό ο παράγοντας περιβάλλον εισέρχεται δυναμικά στα στάδια έρευνας, ανάπτυξης και σχεδιασμού.

2.3.3 Η ΑΚΖ ως Εργαλείο Περιβαλλοντικής Διαχείρισης

Εντάσσοντας την ΑΚΖ στο γενικότερο πλαίσιο της περιβαλλοντικής διαχείρισης, αυτή αποτελεί μια μόνο από τις διάφορες τεχνικές περιβαλλοντικής διαχείρισης. Συμπληρώνει άλλες τεχνικές όπως την ανάλυση περιβαλλοντικής επίπτωσης, την αναγνώριση πηγών κινδύνου (hazard identification), την εκτίμηση κινδύνου (risk assessment), την τεχνολογική ανάλυση (technology assessment), τις μεθοδικές και λεπτομερείς εξετάσεις αποβλήτων (waste audits) και τον περιορισμό των αποβλήτων και των διεργασιών (waste minimization assessment of process) με σκοπό το περιβαλλοντικό σχεδιασμό, την υπεύθυνη διαχείριση του προϊόντος, και την δημιουργία, μέτρων σύγκρισης συστημάτων διαχείρισης. Όλες αυτές οι τεχνικές και τα εργαλεία διαχείρισης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όπου, κατά περίπτωση, κρίνονται ως κατάλληλα.

2.3.4 Η AKZ ως Εργαλείο Εκτίμησης Κόστους

Η απόφαση για την κατασκευή μιας βιομηχανικής μονάδας εξαρτάται συνήθως από το πόσο επικερδής θα είναι η λειτουργία της. Με την χρήση της AKZ μας δίδεται η δυνατότητα ανάλυσης του ολικού κόστους της παραγωγής ενός προϊόντος, συμπεριλαμβανομένων και των επί μέρους επιπτώσεων της χρήσης του προϊόντος.

2.3.5 Εφαρμογή της AKZ στη διαχείριση ΑΣΑ

Η AKZ έχει εφαρμοσθεί για τον καθορισμό του λιγότερο επιβαρυντικού περιβαλλοντικά σεναρίου στην πόλη Καστεγιόν της Ισπανίας. Δημιουργήθηκαν 24 σενάρια στα οποία υπάρχει ένας συνδυασμός διεργασιών, όπως διαλογή στην πηγή, βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και διάθεση σε χώρο υγειονομικής ταφής με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας. Ένα σημαντικό συμπέρασμα της μελέτης αυτής είναι ότι οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις ελαττώνονται στην περίπτωση της αξιοποίησης ενέργειας από τα απόβλητα, δηλαδή αξιοποίησης μεθανίου από την αναερόβια χώνευση ή το ΧΥΤΑ.

Ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής της AKZ για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων είναι η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τον κύκλο ζωής του ΧΥΤΑ Πατρών. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά του εν λόγω ΧΥΤΑ έχουν θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, όπως η υδατοστεγανότητα της βάσης του ΧΥΤΑ με μόνωση με στρώση αργίλου και το χρησιμοποιούμενο σύστημα ανακυκλοφορίας που λειτουργεί για τη διαχείριση στραγγισμάτων. [1,31,32]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΑ

Στις μέρες μας έχει γίνει κατανοητό ότι ακόμη και τα συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων, που θεωρούνται φιλικά προς το περιβάλλον, μπορεί να έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας κατά το σχεδιασμό των συστημάτων επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων εξαρτάται από τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται κατά την κατασκευή και λειτουργία των συστημάτων καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Συνεπώς, η επιλογή της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας για την επεξεργασία των ΑΣΑ απαιτεί μια καλά δομημένη και περιεκτική μεθοδολογία για συστηματική αποτίμηση των εναλλακτικών τεχνολογιών.

3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η επιλογή του καταλληλότερου από περιβαλλοντική άποψη ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων. Ως εκ τούτου, ερευνήθηκαν διαφορετικές τεχνολογίες επεξεργασίας και συγκρίθηκαν ολοκληρωμένα εναλλακτικά συστήματα διαχείρισης στερεών αποβλήτων (σενάρια). Κατασκευάστηκε ένα μοντέλο τύπου ριζόχαρτου (spreadsheet) για τον σχεδιασμό των διαφορετικών τεχνολογιών επεξεργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές αρχές κάθε τεχνολογίας, και κατ' επέκταση για τον σχεδιασμό των εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης (σεναρίων).

Ως εργαλεία χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της Ανάλυσης/Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ), μεθοδολογία αποτίμησης, που στο τομέα της επεξεργασίας των αστικών στερεών αποβλήτων χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στο περιβάλλον που προκαλούνται από την εφαρμογή διαφορετικών τεχνολογιών καθώς και για την σύγκριση των τεχνολογιών και των εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης.

Εξετάστηκαν διαφορετικές τεχνολογίες διαχείρισης στερεών αποβλήτων και αποτιμήθηκαν οι συνολικές πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέκυψαν από την φάση της κατασκευής και από την φάση της λειτουργίας για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε επιλεγόμενη και εφαρμοζόμενη τεχνολογία επεξεργασίας, και κατ' επέκταση για κάθε εναλλακτικό ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων (σενάριο). Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην επιλογή των τεχνολογιών επεξεργασίας.

Η μεθοδολογία AKZ χρησιμοποιήθηκε για την υποστήριξη της λήψης απόφασης κατά την επιλογή του φιλικότερου προς το περιβάλλον ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων μέσω της σύγκρισης και της επιλογής των πιο κατάλληλων συνδυασμών τεχνολογίας. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας AKZ πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος SimaPro 7.1, που είναι παγκοσμίως η πιο πρόσφατη παραγωγή λογισμικού AKZ και χρησιμοποιείται ευρύτατα. Το πρόγραμμα SimaPro 7.1 περιέχει ένα μεγάλο αριθμό μεθόδων αξιολόγησης της επίπτωσης, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό και την εκτίμηση των αποτελεσμάτων της AKZ και ένα μεγάλο αριθμό βάσεων δεδομένων που βοηθούν στην επίτευξη μιας λεπτομερούς ανάλυσης των περιβαλλοντικών πτυχών με ένα συστηματικό και συνεπή τρόπο. Η βασική δομή της μεθοδολογίας AKZ σύμφωνα με το πρόγραμμα SimaPro αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- Το Χαρακτηρισμό (Characterisation): Κατά το βήμα του χαρακτηρισμού οι ουσίες που συμβάλλουν σε μια κατηγορία επίπτωσης πολλαπλασιάζονται με έναν παράγοντα χαρακτηρισμού, ο οποίος εκφράζει τη σχετική συμβολή κάθε ουσίας.
- Την Αξιολόγηση Ζημιάς (Damage Assessment): Προστίθενται δείκτες κατηγορίας επίπτωσης κοινής βάσης στις μεθόδους αξιολόγησης που περιέχονται στο πρόγραμμα SimaPro.
- Την Κανονικοποίηση (Normalisation): Κατά το βήμα της κανονικοποίησης οι δείκτες των κατηγοριών επίπτωσης διαμορφώνονται στην ίδια μονάδα έτσι ώστε να καθίσταται ευκολότερη η σύγκριση τους. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγορίας επίπτωσης πραγματοποιείται σε σχέση με μια τιμή αναφοράς, η οποία είτε επιλέγεται, είτε συχνά υπολογίζεται (για παράδειγμα το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο μιας χώρας ή ηπείρου, διαιρείται με τον αριθμό των κατοίκων και το αποτέλεσμα χρησιμοποιείται ως τιμή αναφοράς).
- Τη Στάθμιση (Weighting): Σε αυτό το βήμα τα αποτελέσματα των δεικτών κάθε κατηγορίας επίπτωσης των παραπάνω βημάτων πολλαπλασιάζονται με παράγοντες στάθμισης και προστίθενται για να διαμορφώσουν ένα συνολικό αποτέλεσμα. Το βήμα της στάθμισης εφαρμόζεται σε κανονικοποιημένα ή μη κανονικοποιημένα αποτελέσματα, δεδομένου ότι μερικές μέθοδοι αξιολόγησης δεν περιέχουν το βήμα της κανονικοποίησης.

Κατά την εφαρμογή του προγράμματος SimaPro 7.1, η μέθοδος αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος CML 2 Baseline 2000 Factors [Centre for

Environmental Studies (CML), University of Leiden, September 2001], η οποία εφαρμόστηκε κατά την ανάλυση του κύκλου ζωής στις φάσεις χαρακτηρισμού και κανονικοποίησης. Η μέθοδος αυτή είναι μια εκσυγχρονισμένη αναπροσαρμογή του Ολλανδικού Οδηγού για την ΑΚΖ [Dutch Guide to LCA, Centre of Environmental Science (CML), 1992]. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή στο βήμα του χαρακτηρισμού ο Οδηγός CML παρέχει ένα κατάλογο κατηγοριών αξιολόγησης επίπτωσης που ομαδοποιούνται σε: υποχρεωτικές κατηγορίες επίπτωσης (οι δείκτες των κατηγοριών αυτών χρησιμοποιούνται στις περισσότερες ΑΚΖ), πρόσθετες κατηγορίες επίπτωσης (οι λειτουργικοί δείκτες που προκύπτουν, δεν συμπεριλαμβάνονται συχνά στις μελέτες ΑΚΖ) και άλλες κατηγορίες επίπτωσης (οι λειτουργικοί δείκτες δεν είναι διαθέσιμοι, επομένως οι κατηγορίες αυτές δεν περιέχονται σε ποσοτικές ΑΚΖ). Με αυτή τη μέθοδο αξιολόγησης εκτιμούνται οι εκπομπές στο έδαφος, τα ύδατα και την ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές στο έδαφος διαχωρίζονται σε εκπομπές στο γεωργικό έδαφος (agricultural soil) και εκπομπές στο βιομηχανικό έδαφος (industrial soil) και υποδεικνύονται με τις ενδείξεις (agr.) ή (ind.) αντίστοιχα μετά τα ονόματα των ουσιών που εκπέμπονται. Επίσης οι εκπομπές στη θάλασσα υποδεικνύονται με την ένδειξη (sea), ενώ οι εκπομπές στο γλυκό νερό δεν έχουν καμία προσθήκη μετά το όνομα των ουσιών που εκπέμπονται.

Οι κατηγορίες επίπτωσης που ερευνήθηκαν και αποτιμήθηκαν για κάθε εφαρμοζόμενη τεχνολογία και για κάθε εναλλακτικό σύστημα διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων με την μεθοδολογία ΑΚΖ (Ανάλυση/Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής) και ειδικότερα με την μέθοδο αξιολόγησης CML 2 Baseline 2000 Factors είναι οι ακόλουθες:

- **Μείωση αβιοτικών πόρων (Abiotic Depletion)**

Αυτή η κατηγορία επιπτώσεων ασχολείται με την προστασία της ανθρώπινης ευημερίας και υγείας καθώς και της υγείας των οικοσυστημάτων. Σχετίζεται με την εξόρυξη ανόργανων ουσιών και ορυκτών καυσίμων που πραγματοποιούνται για τις εισροές υλών και ενέργειας στο σύστημα που μελετάται. Ο δείκτης μείωσης αβιοτικών πόρων (Abiotic Depletion Potential, ADF) καθορίζεται για κάθε εξόρυξη ανόργανων ουσιών και ορυκτών καυσίμων (kg ισοδύναμων αντιμονίου (kg Sb eq) / kg εξόρυξης) με βάση τη συγκέντρωση των αποθεμάτων και το ρυθμό εξαγωγής.

- **Οξίνιση (Acidification)**

Οι ουσίες που προκαλούν οξίνιση (μείωση του pH) μπορούν να επιφέρουν ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων στο έδαφος, τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, τους ζώντες οργανισμούς, τα οικοσυστήματα και σε υλικά αγαθά όπως κτίρια. Ο δείκτης οξίνισης (Acidification Potentials, AP) για τις ατμοσφαιρικές εκπομπές περιγράφει την απόθεση όξινων ουσιών και εκφράζεται ως ισοδύναμα $\text{kg SO}_2 / \text{kg}$ εκπομπών.

- **Ευτροφισμός (Eutrophication)**

Ο ευτροφισμός περιλαμβάνει όλες τις επιπτώσεις που οφείλονται σε αύξηση των εκπομπών των θρεπτικών συστατικών, κυρίως αζώτου και φωσφόρου, στο περιβάλλον, κυρίως το υδάτινο. Ο δείκτης παρουσίας θρεπτικών συστατικών (Nutrification potential, NP) εκφράζεται ως ισοδύναμα $\text{kg PO}_4 / \text{kg}$ εκπομπών.

- **Φαινόμενο Θερμοκηπίου (Global warming)**

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των οικοσυστημάτων και των ανθρώπων. Η αλλαγή του κλίματος σχετίζεται με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Οι δείκτες εκφράζονται ως Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη για χρονικό ορίζοντα 100 ετών (Global Warming Potential, GWP100), σε kg διοξειδίου του άνθρακα ($\text{kg CO}_2 \text{ eq}$) / kg εκπομπών.

- **Μείωση στοιβάδας του όζοντος (Ozone layer depletion)**

Λόγω της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος, φτάνει στην επιφάνεια της γης μεγαλύτερο ποσοστό της UV-B ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, την υγεία των ζώων, τα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα και τους βιοχημικούς κύκλους. Το μοντέλο χαρακτηρισμού καθορίζει το δυναμικό καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος διαφόρων αερίων (kg ισοδύναμων CFC-11 / kg εκπομπών).

- **Επιπτώσεις τοξικότητας στον άνθρωπο (Human Toxicity)**

Η κατηγορία αυτή αφορά στις επιπτώσεις των τοξικών ουσιών στο ανθρώπινο περιβάλλον. Οι δείκτες χαρακτηρισμού περιγράφουν τη δυνατότητα τοξικότητας στον άνθρωπο (Human Toxicity Potential, HTP) μέσω της έκθεσης και των επιπτώσεων των τοξικών ουσιών χωρίς συγκεκριμένο χρονικό όριο. Οι δείκτες εκφράζονται ως ισοδύναμα 1,4-διχλωροβενζολίου (kg 1,4 DB eq) / kg εκπομπών.

- **Οικοτοξικολογικές επιπτώσεις γλυκών υδάτων (Fresh water aquatic ecotoxicity)**

Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στην κατηγορία των επιπτώσεων στα οικοσυστήματα γλυκού νερού, ως αποτέλεσμα των εκπομπών τοξικών ουσιών στον αέρα, το νερό και το έδαφος. Ο δείκτης το δυναμικού οικοτοξικότητας (Eco-Toxicity Potential, FAETP) περιγράφει την έκταση της έκθεσης σε τοξικές ουσίες και τις επιπτώσεις από αυτή. Εκφράζεται ως ισοδύναμα 1,4-διχλωροβενζολίου (kg 1,4 DB eq) / kg εκπομπών.

- **Θαλάσσιες οικοτοξικολογικές επιπτώσεις (Marine aquatic ecotoxicity)**

Αναφέρεται στις επιπτώσεις των τοξικών ουσιών στα θαλάσσια οικοσυστήματα κατά τρόπο αντίστοιχο με τις επιπτώσεις στα γλυκά ύδατα. Εκφράζεται ως ισοδύναμα 1,4-διχλωροβενζολίου (kg 1,4 DB eq) / kg εκπομπών.

- **Επίγεια οικοτοξικότητα (Terrestrial ecotoxicity)**

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται και εξετάζει αντίστοιχα τις επιπτώσεις των τοξικών ουσιών στα χερσαία οικοσυστήματα και μετράται σε ισοδύναμα 1,4-διχλωροβενζολίου (kg 1,4 DB eq) / kg εκπομπών.

- **Φωτοχημική οξειδωση (Photochemical oxidation)**

Κατά τη φωτοχημική οξειδωση σχηματίζονται δραστικές ουσίες (κυρίως όζον), που είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα και που επίσης μπορούν να βλάψουν τις καλλιέργειες. Ο δείκτης δυναμικότητας δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP) εκφράζεται σε ισοδύναμα kg αιθυλενίου (kg C₂H₄ eq) / kg εκπομπών. Αναφέρεται σε χρονικό διάστημα 5 ημερών.

3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ (FUNCTIONAL UNIT)

Μια βασική μονάδα που πρέπει να οριστεί σύμφωνα με την μεθοδολογία AKZ είναι η λειτουργική μονάδα. Η καλύτερη επιλογή της λειτουργικής μονάδας ισούται με την ποσότητα της ανεπεξέργαστης ροής που εισέρχεται στο σύστημα επεξεργασίας (εισροή), σύμφωνα με τις συστάσεις των Suh and Rousseaux (2001) και Hospido et. al. (2004). [34,35]

Στα πλαίσια της μελέτης, η λειτουργική μονάδα, καθορίστηκε ίση με την ημερήσια παραγόμενη ποσότητα αστικών στερεών αποβλήτων.

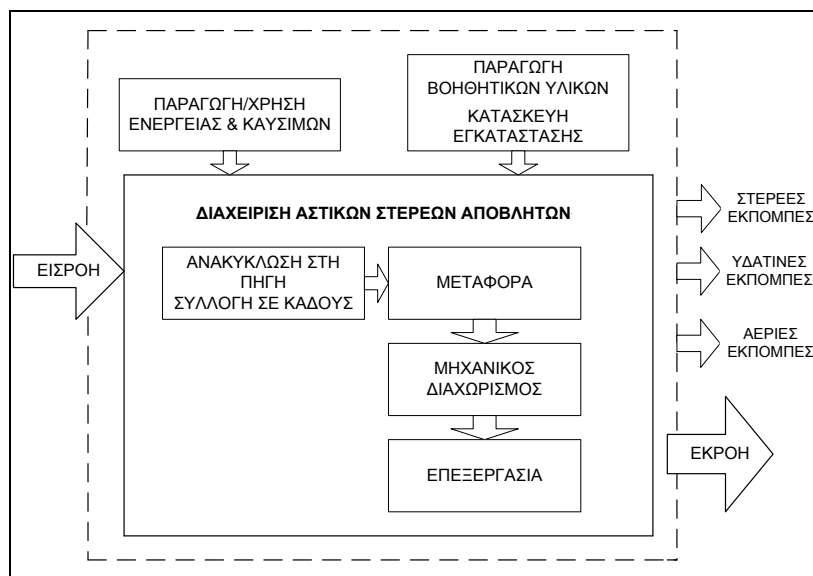
Εξετάζεται η διαχείριση κι επεξεργασία των στερεών αποβλήτων μίας πόλης 1.000.000 κατοίκων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ένας κάτοικος παράγει περίπου 1kg στερεών απορριμμάτων ανά ημέρα. Συνεπώς η συνολική ποσότητα αποβλήτων που παράγεται στην πόλη ανέρχεται σε:

$$1.000.000 \text{ κάτοικοι} \cdot 1 \text{ kg/κάτοικος/day} = 1.000.000 \text{ kg/day} \text{ ή } \mathbf{1.000 \text{ tn/day}}$$

Η Λειτουργική Μονάδα (Functional unit) λαμβάνεται ίση με: **1.000 tn** παραγόμενων στερεών αποβλήτων / ημέρα.

3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (SYSTEM AND SYSTEM BOUNDARY)

Το σύστημα που μελετάται πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Αποτελείται από την συλλογή των αστικών στερεών αποβλήτων, τον μηχανικό διαχωρισμό και την επεξεργασία των βιοαποδομήσιμων ή πτητικών στερεών αποβλήτων.



ΣΧΗΜΑ 11: Σχηματική Παρουσίαση Συστήματος

Εντός των ορίων του συστήματος, εκτός από την επεξεργασία των αστικών στερεών αποβλήτων, περιλαμβάνονται επίσης η παραγωγή και η χρήση καυσίμων και ενέργειας για τη μεταφορά των αποβλήτων, το μηχανικό διαχωρισμό τους και την λειτουργία της εγκατάστασης κύριας επεξεργασίας, καθώς και η παραγωγή

βοηθητικών υλικών για την πραγματοποίηση των διεργασιών. Ειδικότερα, ο όρος παραγωγή και χρήση καυσίμων και ενέργειας περικλείει την παραγωγή της απαιτούμενης για την λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας και των λοιπών διεργασιών ηλεκτρικής ενέργειας και την παραγωγή των απαιτούμενων για τις μεταφορές και την λειτουργία της εγκατάστασης καυσίμων. Ο όρος βοηθητικά υλικά περικλείει την παραγωγή και χρήση όλων των απαιτούμενων υλικών που εισέρχονται στο σύστημα διαχείρισης όπως τα απαιτούμενα υλικά για την παραγωγή των κάδων συλλογής των απορριμμάτων ή τα απαιτούμενα υλικά για την κατασκευή του μηχανολογικού εξοπλισμού.

3.4 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ (ASSUMPTIONS)

Κατά το σχεδιασμό των σεναρίων διαχείρισης αποβλήτων έχουν ληφθεί υπόψη οι εξής υποθέσεις:

- Ως λειτουργική μονάδα λαμβάνεται η ημερήσια ποσότητα παραγωγής ΑΣΑ, δηλαδή ποσότητα 1.000 τόνοι ΑΣΑ / ημέρα
- Θεωρείται ότι αρχικά γίνεται ανακύκλωση στην πηγή σε ποσοστό. 15% της συνολικής ποσότητας των στερεών αστικών αποβλήτων.

Το ποσοστό αυτό προκύπτει από την ανακύκλωση στην πηγή του 40% της ημερήσιας παραγόμενης ποσότητας του κάθε κατοίκου, από το 37,5 % του πληθυσμού. Τα υλικά που θεωρήθηκε ότι ανακυκλώνονται στην πηγή είναι: *χαρτί, ύφασμα, μέταλλα, γυαλί, πλαστικά, αδρανή, υπόλοιπα*. Τα ανακυκλωμένα στην πηγή υλικά οδηγούνται είτε σε κάδο ανακύκλωσης (χαρτί, πλαστικό, γυαλί, αλουμίνιο κ.α.) και στη συνέχεια οδηγούνται για ανάκτηση, είτε για αξιοποίηση κι επαναχρησιμοποίηση (ρούχα, ελαστικά κ.α.) από άλλους πολίτες.

- Στο Σύστημα Μηχανικού Διαχωρισμού (ΣΜΔ) σύμφωνα με το σχεδιασμό οδηγούνται μόνο τα σύμμεικτα υλικά.

Δηλαδή έχει θεωρηθεί ότι απαιτείται προεπεξεργασία των στερεών αποβλήτων έτσι ώστε να διαχωριστούν και απομακρυνθούν τα ανακτήσιμα και τα άλλα κλάσματα που δυσχεραίνουν την κύρια επεξεργασία.

- Ως κύρια επεξεργασία έχουν επιλεγεί βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας όπως η αναερόβια χώνευση, και η κομποστοποίηση, μέθοδοι που απαιτούν για τη λειτουργία τους βιοαποδομήσιμα απόβλητα, δηλαδή απόβλητα με όσο το δυνατόν καθαρότερο οργανικό κλάσμα, και το σύστημα μηχανικού διαχωρισμού (ΣΜΔ 1) που εφαρμόζεται για την απομάκρυνση των μη βιοαποδομήσιμων υλικών έχει

σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτυγχάνει την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παραλαβή καθαρού οργανικού κλάσματος.

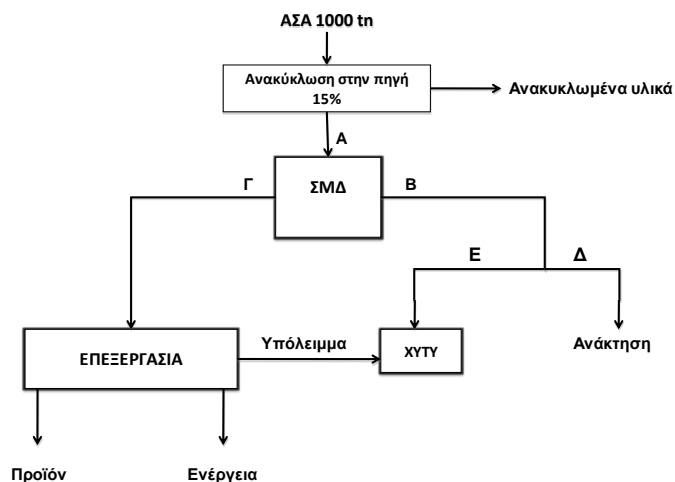
Επίσης ως κύρια μέθοδος επεξεργασίας εφαρμόζεται και η καύση. Εξαιτίας των διαφορετικών απαιτήσεων της διεργασίας αυτής, τα απόβλητα που υπόκεινται σε καύση θεωρείται ότι περνούν από άλλο σύστημα μηχανικού διαχωρισμού (ΣΜΔ 2) έτσι ώστε το προς επεξεργασία κλάσμα να έχει το δυνατόν μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη. Τα συστήματα μηχανικού διαχωρισμού ΣΜΔ 1 και ΣΜΔ 2 αναλύονται περαιτέρω στις αντίστοιχες ενότητες.

Στο διάγραμμα ροής (Διάγραμμα Ροής 2) παρουσιάζονται οι κύριες διεργασίες διαχείρισης που εφαρμόστηκαν κατά το σχεδιασμό των σεναρίων διαχείρισης αστικών αποβλήτων.

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής το ρεύμα αποβλήτων εισέρχεται στο ΣΜΔ (Α) διαχωρίζεται σε ένα ρεύμα το οποίο οδηγείται προς επεξεργασία (Γ) και σε ένα ρεύμα (Β) (ρεύμα υπολειμμάτων), από το οποίο ένα ποσοστό ανακτάται (Δ) και το υπόλοιπο οδηγείται σε ΧΥΤΥ (Ε).

Κατά το ΣΜΔ τηρείται το ισοζύγιο μάζας $A = B + \Gamma = E + \Delta + \Gamma$

Το ρεύμα που οδηγείται προς επεξεργασία υπόκειται σε αναερόβια χώνευση, αερόβια επεξεργασία ή καύση. Από τις βιολογικές διεργασίες (αναερόβια χώνευση ή αερόβια επεξεργασία) παράγεται εδαφοβελτιωτικό (κομπόστ) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα στις γεωργικές καλλιέργειες, βιοαέριο από οποίο με περαιτέρω επεξεργασία παράγεται ενέργεια (ηλεκτρική ή/και θερμική) (μόνο στην περίπτωση της αναερόβιας επεξεργασίας) και υπόλειμμα το οποίο σύμφωνα με το σχεδιασμό οδηγείται προς διάθεση σε Χώρο Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ).

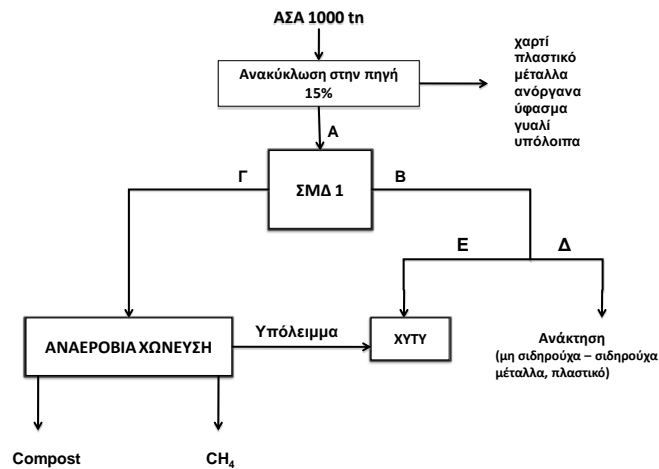


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 1: Διάγραμμα Ροής Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης ΑΣΑ

3.5 ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

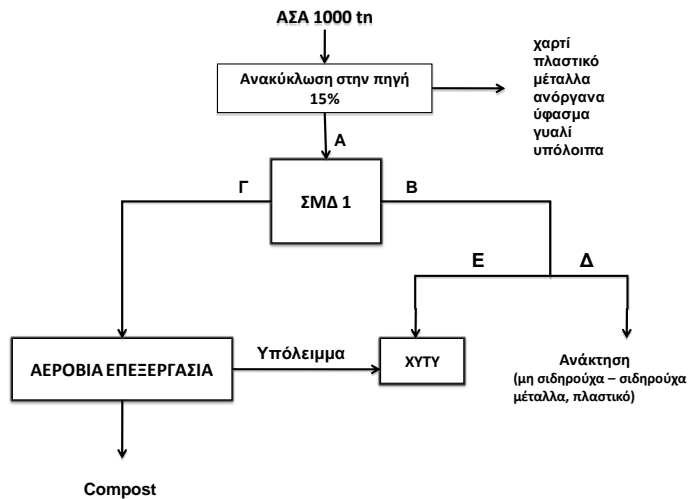
Στα πλαίσια του σχεδιασμού ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ έχουν αναπτυχθεί τρία σενάρια. Τα σενάρια αυτά παρουσιάζουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ΑΣΑ το οποίο περιλαμβάνει την ανακύκλωση των ΑΣΑ στην πηγή, τη συγκέντρωση των ΑΣΑ σε κάδους, την συλλογή των ΑΣΑ από τους κάδους, τη μεταφορά τους με απορριματοφόρα οχήματα σε χώρο επεξεργασίας, το μηχανικό διαχωρισμό (ΣΜΔ), και την τελική επεξεργασία. Τα σενάρια που αναπτύχθηκαν στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- **ΣΕΝΑΡΙΟ Ι:** Στο σενάριο αυτό ως κύρια επεξεργασία εφαρμόζεται η **αναερόβια χώνευση** του πτητικού κλάσματος των απορριμμάτων



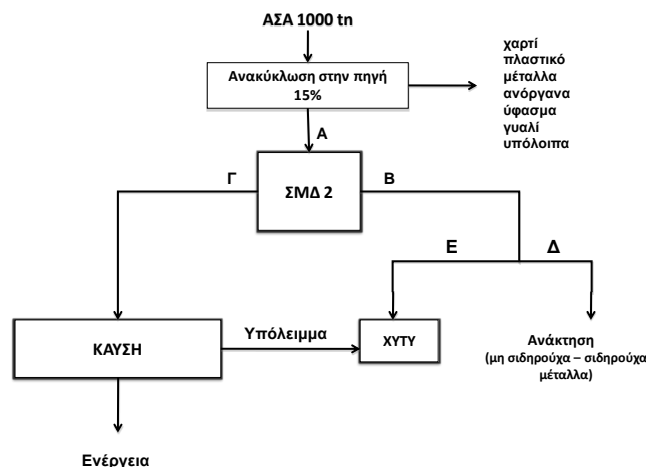
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 2: Διάγραμμα ροής Σεναρίου I

- **ΣΕΝΑΡΙΟ II:** Στο σενάριο αυτό ως κύρια επεξεργασία εφαρμόζεται η **αερόβια** επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 3: Διάγραμμα ροής Σεναρίου II

- **ΣΕΝΑΡΙΟ III:** Στο σενάριο αυτό ως κύρια μέθοδος επεξεργασία εφαρμόζεται η **καύση** όπου γίνεται καύση του μεγαλύτερου μέρους του κλάσματος στερεών αποβλήτων



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 4: Διάγραμμα ροής Σεναρίου III

3.6 ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ

Η σύσταση των προς επεξεργασία ΑΣΑ υπολογίστηκε με βάση τη σύσταση των στερεών αποβλήτων στην Αττική (Πίνακας 8) και σε συνδυασμό με τη σύσταση των στερεών αποβλήτων στις ΗΠΑ.

Είδος	Ποσοστό (%)
οργανικά	55.3
χαρτί	15.7
ύφασμα	8.5
μέταλλα	2.8
γυαλί	2.8
πλαστικά	2
λεπτά (αδρανή)	7.7
υπόλοιπα	5.2
Σύνολο	100

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Σύσταση ΑΣΑ στην Αττική (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Ειδικότερα, στη μελέτη θεωρείται ότι η σύσταση των προς επεξεργασία ΑΣΑ ισούται με την σύσταση των ΑΣΑ της Αττικής. Δηλαδή θεωρείται ότι τα προς επεξεργασία ΑΣΑ περιέχουν 55,3% σε οργανικά, 15,7% σε χαρτί, 8,5% σε υφάσματα, 2,8% σε μέταλλα, 2,8% σε γυαλί, 2% σε πλαστικά, 7,7% σε λεπτά (αδρανή) και 5,2% σε υπόλοιπα. Στη συνέχεια έγινε χρήση της βάσης δεδομένων της σύστασης των ΑΣΑ

των ΗΠΑ για κάθε κατηγορία, δηλαδή χρησιμοποιήθηκε η βάση αυτή για να υπολογιστεί το ποσοστό των αντίστοιχων υποκατηγοριών. Για παράδειγμα, η κατηγορία οργανικά περιλαμβάνει τα υπολείμματα τροφών, τα υπολείμματα αυλών και λοιπά οργανικά σε ποσοστό 40%, 60% και 0% αντίστοιχα (σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της σύστασης των ΑΣΑ των ΗΠΑ). Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα ποσοστά σε κάθε κατηγορία αποβλήτων.

<u>Είδος ΗΠΑ</u>		<u>Είδος Απτική</u>
υπολείμματα τροφών (40%) υπολείμματα αυλών (60%) λοιπά οργανικά (0%)	→	οργανικά
χαρτί (85%) χαρτόνι (15%)	→	χαρτί
υφάσματα (100%)	→	υφάσματα
λευκοσίδηρος (65%) αλουμίνιο (5%) άλλα μέταλλα (30%, <i>εκ των οποίων 50% σιδηρούχα και 50% μη σιδηρούχα</i>)	→	μέταλλα
γυαλί (100%)	→	γυαλί
πλαστικά (100%)	→	πλαστικά
λοιπά ανόργανα	→	αδρανή

λάστιχο (16%)

δέρμα (16%)

→

υπόλοιπα

ξύλο (68%)

Για τον υπολογισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προς επεξεργασία ΑΣΑ χρησιμοποιήθηκαν οι τυπικές τιμές της περιεκτικότητας σε υγρασία, της πυκνότητας, της περιεκτικότητας σε στοιχεία C, H, O, S και αδρανές υπόλειμμα (μετά από θερμική επεξεργασία), καθώς και οι τυπικές τιμές του ενεργειακού περιεχομένου που παρουσιάζονται στον πίνακα 9.

	Πυκνότητα (kg/m ³)	% Περιεκτικότητα σε υγρασία	% C ξ.β.	% H ξ.β.	%O ξ.β.	%N ξ.β.	%S ξ.β.	Αδρανές υπόλειμμα %	Ενεργειακό περιεχόμενο (kJ/kg)
υπολείμματα τροφών	291	70	48	6.4	37.6	2.6	0.40	5	4652
χαρτί	89	6	43.5	6	44	0.3	0.20	6	16747.2
χαρτόνι	50	5	44	5.9	44.6	0.3	0.20	5	16282
πλαστικά	65	2	60	7.2	22.8	0	0.00	10	32564
υφάσματα	65	10	55	6.6	31.2	4.6	0.15	6.5	17445
λάστιχο	131	2	78	10		2	0.00	9.9	23260
δέρμα	160	10	60	8	11.6	10	0.40	8	17445
υπολείμματα αυλών	101	60	47.8	6	38	3.4	0.40	4.5	6512.8
ξύλο	237	20	49.5	6	42.7	0.2	0.10	1.5	18608
γυαλί	196	2	0.5	0.1	0.4	0.1		98.9	139.56
λευκοσίδηρος	89	3	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
αλουμίνιο	160	2	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	
άλλα μέταλλα	320	3	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
λοιπά ανόργανα	481	8	26.3	3	2	0.5	0.2	68	697.8

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Τυπικές τιμές Ποιοτικών χαρακτηριστικών ΑΣΑ ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Στις επόμενες παραγράφους δίνονται αναλυτικοί υπολογισμοί της μέσης πυκνότητας και της περιεκτικότητας σε υγρασία των προς επεξεργασία ΑΣΑ.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΥΓΡΑΣΙΑ

Για τον υπολογισμό της μέσης υγρασίας των προς επεξεργασία ΑΣΑ χρησιμοποιείται η

$$\text{σχέση: } M_{\text{μεση}} = \sum_{i=1}^n x_i M_i$$

Για τον υπολογισμό της μέσης πυκνότητας των προς επεξεργασία ΑΣΑ χρησιμοποιείται

$$\text{η σχέση: } \rho_{\text{μέση}} = \sum_{i=1}^n x_i \rho_i$$

Κατά τον υπολογισμό της μέσης υγρασίας και πυκνότητας της κάθε κατηγορίας ΑΣΑ λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό των υποκατηγοριών και τα αποτελέσματα υπολογίζονται με βάση τις τυπικές τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ΑΣΑ των ΗΠΑ.

Για παράδειγμα η σύσταση των *οργανικών* στα προς επεξεργασία ΑΣΑ ισούται με 55,30%. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τις υποκατηγορίες *υπολείμματα τροφών* (ποσοστό 40%), *υπολείμματα αυλών* (ποσοστό 60%) και *λοιπά οργανικά* (ποσοστό 0%). Σύμφωνα με τον πίνακα 9 η τυπική τιμή της περιεκτικότητας σε υγρασία για τα υπολείμματα τροφών, και τα υπολείμματα αυλών ισούται με 70% και 60% αντίστοιχα. Συνεπώς η μέση τιμή της περιεκτικότητας σε υγρασία της κατηγορίας οργανικών των προς επεξεργασία ΑΣΑ ισούται με:

$$Μμεση_οργ = 55,3\% \cdot (70\% \cdot 40\% + 60\% \cdot 60\%) = 35,39$$

Τα συνολικά αποτελέσματα των υπολογισμών της μέσης υγρασίας και πυκνότητας των προς επεξεργασία ΑΣΑ παρουσιάζονται στον πίνακα 10.

Είδος	Ποσοστό (%)	Μέση υγρασία	Πυκνότητα (kg/m ³)
οργανικά	55.3	35.39	97.88
χαρτί	15.7	0.92	13.05
ύφασμα	2.8	0.28	1.82
μέταλλα	2.8	0.08	4.53
γυαλί	2	0.04	3.92
πλαστικά	8.5	0.17	5.53
λεπτά (αδρανή)	7.7	0.62	37.04
υπόλοιπα	5.2	0.81	10.80
Σύνολο	100	38.31	174.57

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Μέση Πυκνότητα & Μέση Υγρασία των ΑΣΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι στα προς επεξεργασία ΑΣΑ η μέση περιεκτικότητα σε **υγρασία** ισούται με **38,3%** και η μέση **πυκνότητα** ισούται με **175 kg/m³**.

3.7 ΜΕΤΑΦΟΡΑ

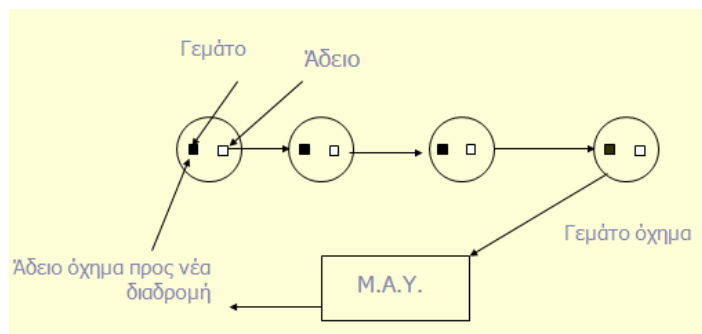
Σύμφωνα με το σχεδιασμό του ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης τα ΑΣΑ μετά την ανακύκλωση στη πηγή συλλέγονται σε μεταλλικούς κάδους. Ακολουθεί η μεταφορά των ΑΣΑ με απορριμματοφόρα οχήματα. Η μεταφορά των αποβλήτων γίνεται από τις θέσεις συλλογής (τοποθεσία κάδων) στο κέντρο επεξεργασίας και διάθεσης.

Υπολογίζεται ότι η ποσότητα των αποβλήτων που οδηγείται στους κάδους μετά την ανακύκλωση στη πηγή ανέρχεται σε 932.950 kg/day ή 5.344,25 m³/day.

Σημειώνεται ότι θεωρούμε ότι τα υλικά που ανακυκλώνονται στην πηγή μεταφέρονται σε διαφορετικό σταθμό ανάκτησης από τα προς επεξεργασία ΑΣΑ, και συνεπώς στα πλαίσια της παρούσας μελέτης δεν εξετάζεται η μεταφορά και η περαιτέρω επεξεργασία αυτών των υλικών.

Τα συστήματα μεταφοράς στερεών απορριμμάτων διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στο Σύστημα Μεταφερόμενου Δοχείου (ΣΜΔ) και στο Σύστημα Σταθερού Δοχείου (ΣΣΔ).

Στην παρούσα μελέτη έχει επιλεγεί το ΣΣΔ για τη μεταφορά των απορριμμάτων από τους κάδους συλλογής στο κέντρο επεξεργασίας και διάθεσης. Στο ΣΣΔ το απορριμματοφόρο όχημα περνά από τα σημεία συλλογής που είναι τοποθετημένοι οι κάδοι, αδειάζει το περιεχόμενο τους και συνεχίζει στο επόμενο σημείο συλλογής.



ΣΧΗΜΑ 12: Σύστημα Στάσιμου Δοχείου (πηγή: Λυμπεράτος Γ., Τσιλιγιάννης Χ. (1998), Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Οι βασικές διεργασίες κατά τη συλλογή των απορριμμάτων με απορριμματοφόρα οχήματα είναι: το Μάζεμα, η Μεταφορά, οι Επιτόπιες εργασίες και οι εργασίες Εκτός διαδρομής.

Μάζεμα (P_{scs}): Το Μάζεμα ή P_{scs} είναι ο χρόνος που καταναλώνεται από τη στιγμή της φόρτωσης του πρώτου δοχείου μέχρι το άδειασμα του τελευταίου.

Μεταφορά (h): Το h είναι ο χρόνος από το φόρτωμα του τελευταίου κάδου μέχρι την εκφόρτωση συν ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει το άδειο όχημα στην αρχή της νέας διαδρομής.

Επιτόπιες Εργασίες (S): Είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτωση ή εκφόρτωση.

Εκτός Διαδρομής (W): Είναι ο συνολικός μη παραγωγικός χρόνος, απαραίτητος και μη, π.χ. για ξεκίνημα και παράδοση στον σταθμό απορριμματοφόρων, σε περίπτωση κίνησης στους δρόμους, για επισκευές, συντήρηση κλπ. ή για καθυστερήσεις του προσωπικού κλπ.

Εκτός από τις βασικές διεργασίες, υπάρχουν διάφορες άλλες παράμετροι οι οποίες πρέπει να υπολογιστούν κατά το σχεδιασμό του συστήματος μεταφοράς απορριμμάτων οι οποίες αναλύονται και υπολογίζονται στη συνέχεια:

Απαιτούμενος χρόνος ανά διαδρομή: $T_{scs} = P_{scs} + s + a + b\xi$

όπου $P_{scs} = C_t (uc) + (n_p - 1) \cdot (dbc)$

C_t : αριθμός των δοχείων που αδειάζονται ανά διαδρομή

uc : μέσος χρόνος αδειάσματος ανά στάση

n_p : αριθμός σημείων μαζέματος ανά διαδρομή (σε κάθε θέση υπάρχει ένας κάδος, επομένως ταυτίζεται με τον αριθμό δοχείων C_t)

dbc : μέσος χρόνος οδήγησης μεταξύ σημείων

Σε περίπτωση που ο απαιτούμενος χρόνος dbc είναι άγνωστος χρησιμοποιείται η σχέση: $h = a + b\xi$

όπου ξ : η μέση (διπλή) απόσταση ανάμεσα στους σταθμούς

Οι σταθερές a και b εξαρτώνται από τη ταχύτητα του απορριμματοφόρου και δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

όριο ταχύτητας (km/h)	a	b
88	0.016	0.011
72	0.022	0.04
56	0.034	0.018
40	0.05	0.025
24	0.06	0.042

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Σταθερές a και b συναρτήσεως της ταχύτητας του απορριμματοφόρου
(πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Ο αριθμός των δοχείων που μπορούν να αδειάσουν ανά διαδρομή: $C_t = (v \cdot r) / (c \cdot f)$

όπου C_t : αριθμός δοχείων που αδειάζονται/διαδρομή

v: όγκος οχήματος m^3 /διαδρομή

r: λόγος συμπίεσης (συνήθως 2 – 2,5)

c: χωρητικότητα κάδου

f: μέσος παράγοντας χρήσης κάδου

Σύμφωνα με το μοντέλο που έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια της παρούσας μελέτης

Αρχικά σύμφωνα με την ποσότητα των προς επεξεργασία ΑΣΑ υπολογίζεται ο αριθμός των δοχείων που αδειάζονται ανά διαδρομή (C_t) χρησιμοποιώντας τις τυπικές τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 12.

v (m^3)	24
r	2
c (m^3)	1.1
f	0.67
ct (δοχεια/διαδρομή)	65

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Αριθμός δοχείων ανά διαδρομή

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς προκύπτει ότι απαιτούνται 65 μεταλλικοί κάδοι ανά διαδρομή.

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το Pscs

uc (h)	0.05
np (θέσεις/διαδρομή)	65
ct (δοχεια/διαδρομή)	65
ξ' (km)	0.16
a' (h/διαδρομή)	0.06
b' (h/km)	0.0263
Pscs (h/διαδρομή)	7.37

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Υπολογισμός Pscs (h/διαδρομή)

Τελικά, υπολογίζεται ο απαιτούμενος χρόνος ανά διαδρομή (Tscs) με τη χρήση των ήδη υπολογισμένων μεγεθών:

s (h/διαδρομή)	0.1
ξ (km)	40
a (h/διαδρομή)	0.022
b (h/km)	0.0138
Pscs (h/διαδρομή)	7.37
Tscs (h/διαδρομή)	8

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Απαιτούμενος χρόνος ανά διαδρομή (Tscs)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα κάθε διαδρομή διαρκεί 8 ώρες.

Ο αριθμός των απαιτούμενων διαδρομών ανά ημέρα δίνεται από τη σχέση:

$$N_d = V_d / (v \cdot r)$$

όπου V_d : μέση ποσότητα ΑΣΑ που συλλέγονται ημερησίως (m^3/d)

Ο αριθμός απαιτούμενων διαδρομών / εβδομάδα δίνεται από τη σχέση:

$$N_w = V_w / (v \cdot r)$$

όπου V_w : μέση ποσότητα ΑΣΑ που συλλέγεται εβδομαδιαίως ($m^3/week$)

Για $V_d = 5.344,25 m^3/d$ και $V_w = 37.409,75 m^3/week$ υπολογίζεται:

$N_d = 111$ διαδρομές/day και $N_w = 779$ διαδρομές/week αντίστοιχα.

Ο απαιτούμενος χρόνος ανά ημέρα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$H = [(t_1 + t_2) + N_d \cdot (Tscs)] / (1 - w)$$

όπου

t_1 : απαιτούμενος χρόνος από τον σταθμό προς την πρώτη θέση

t_2 : απαιτούμενος χρόνος από την τελευταία θέση προς τον σταθμό

Αντίστοιχα υπολογίζεται ο απαιτούμενος χρόνος/εβδομάδα (T_w):

$$T_{w(scS)} = N_w \cdot P_{scS} + [N_w \cdot (s + a + b \cdot \xi)] / [H \cdot (1 - w)]$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι ο απαιτούμενος χρόνος ανά ημέρα ισούται με 896 h και ο απαιτούμενος χρόνος ανά εβδομάδα ισούται με 5.824 h. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

t1 (h)	0.25
t2 (h)	0.33
w (h)	0.15
Nd (διαδρομή/day)	111
Nw (διαδρομή/week)	779
Tscs (h/διαδρομή)	8
Pscs (h/διαδρομή)	7.37
s (h/διαδρομή)	0.1
ξ (km)	40
a (h/διαδρομή)	0.022
b (h/km)	0.01375
H (h/day)	896
Tw(scs) (h/week)	5824

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Απαιτούμενος χρόνος ανά ημέρα (H) & Απαιτούμενος χρόνος ανά εβδομάδα $T_{w(scs)}$

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου αριθμού απορριμματοφόρων οχημάτων υποθέτουμε ότι κάθε απορριμματοφόρο όχημα πραγματοποιεί δύο διαδρομές την ημέρα (δηλαδή 16 ώρες λειτουργία ανά ημέρα), επομένως για να γίνουν $N_d = 111$ διαδρομές/ημέρα θα πρέπει να διατίθενται 56 απορριμματοφόρα οχήματα. Επιπλέον θεωρούμε ότι κάθε κάδος αδειάζεται μία φορά την ημέρα, επομένως ο συνολικός αριθμός των κάδων ισούται με:

$$65 \text{ κάδοι/διαδρομή} \cdot 56 \text{ οχήματα} \cdot 2 \text{ διαδρομές/όχημα} = 7.251 \text{ κάδοι}$$

Οι κάδοι είναι μεταλλικοί, κατασκευασμένοι από γαλβανισμένο χάλυβα με σκέπαστρο από πλαστικό (HDPE).

3.8 ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

Τα ΑΣΑ συλλέγονται με απορριμματοφόρα οχήματα και μεταφέρονται σε κέντρο επεξεργασίας και διάθεσης. Θεωρούμε ότι οι εγκαταστάσεις του μηχανικού διαχωρισμού και της επεξεργασίας και διάθεσης βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Επιπλέον θεωρείται ότι στα σενάρια εφαρμόζονται δύο Συστήματα Μηχανικού Διαχωρισμού το ΣΜΔ 1 και το ΣΜΔ 2 ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται κατά την κύρια επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το σχεδιασμό στα Σενάρια I και II εφαρμόζεται η αναερόβια χώνευση και η κομποστοποίηση αντίστοιχα, δηλαδή απαιτείται η εκροή από το μηχανικό διαχωρισμό να περιέχει καθαρότερο οργανικό κλάσμα σε σχέση με το Σενάριο III όπου ως κύρια επεξεργασία εφαρμόζεται η καύση.

Το Σύστημα Μηχανικού Διαχωρισμού 1 (ΣΜΔ 1) εφαρμόζεται για το διαχωρισμό των ΑΣΑ στα Σενάρια I και II και περιλαμβάνει τις κάτωθι διαδοχικές διεργασίες:

A) Χειρωνακτική Απομάκρυνση ανακτήσιμων υλικών: Απομάκρυνση του 80% της ποσότητας πλαστικού, γυαλιού, υφάσματος, ανόργανων, μετάλλων, υπολοίπων.

Περιλαμβάνεται ο τεμαχισμός της μάζας των απορριμμάτων με στόχο την δημιουργία σωματιδίων μεγέθους 2-5 cm. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται καλύτερες ιδιότητες της βιοαποδομήσιμης ύλης καθώς αυξάνεται η αντιδρούσα επιφάνεια κι επιταχύνεται η διαδικασία. [35]

B) Επαγωγικά Ρεύματα: Διαχωρισμός και ανάκτηση του 80% της ποσότητας των μη σιδηρούχων μετάλλων που έχουν απομείνει από τη χειρωνακτική απομάκρυνση.

Γ) Μαγνητικός Διαχωρισμός: Διαχωρισμός και ανάκτηση του 95% της ποσότητας των σιδηρούχων μετάλλων που έχουν απομείνει από τη χειρωνακτική απομάκρυνση.

Οι υπολογισμοί από αυτές τις διεργασίες παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	Ποσοστό (%)	Ανακύκλωση στην Πηγή 15%		Χειρωνακτική απομάκρυνση υλικών 80%		μαγνητικός διαχωρισμός 95%		επαγωγικά ρεύματα 80%		Προς Περαιτέρω Επεξεργασία
		Απομένουν	Απομένουν	Απομένουν	Απομένουν	Απομένουν	Απομένουν			
		Ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)
οργανικά	55.3	553000	0	553000	0	553000				553000
χαρτί	15.7	157000	23550	133450	0	133450				133450
ύφασμα	2.8	28000	4200	23800	19040	4760				4760
μέταλλα	2.8	28000	4200	23800	19040	4760	678	2776		1306
γυαλί	2	20000	3000	17000	13600	3400				3400
πλαστικά	8.5	85000	12750	72250	57800	14450				14450
αδρανή	7.7	77000	11550	65450	52360	13090				13090
υπόλοιπα	5.2	52000	7800	44200	35360	8840				8840
Σύνολο	100	1000000	67050	932950	197200	735750	678	2776		732296

ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Εισροές – εκροές μάζας στο ΣΜΔ 1

Όλοι οι υπολογισμοί στην παρούσα εργασία έχουν γίνει με βάση την ημερήσια παραγωγή ΑΣΑ, δηλαδή 1.000 τόνων ΑΣΑ ανά ημέρα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα μετά το μηχανικό διαχωρισμό (ΣΜΔ1) η ποσότητα των οργανικών αποβλήτων που οδηγείται προς επεξεργασία ανέρχεται σε 732,3 τόνους ανά ημέρα. Θεωρούμε ότι κατά το μηχανικό διαχωρισμό (ΣΜΔ1) γίνεται τέλειος διαχωρισμός των υλικών (100%) και ότι η εκροή από το διαχωρισμό αποτελείται από καθαρό οργανικό μέρος κατάλληλο για βιολογική επεξεργασία.

Επισημαίνεται ότι αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να επιτευχθεί στην περίπτωση που θα είχε πραγματοποιηθεί διαλογή στην πηγή με διαχωρισμό των κλασμάτων σε διαφορετικούς κάδους (γυαλί, πλαστικό, αλουμίνιο, οργανικά, υπόλοιπα κτλ.).

Επίσης, θεωρείται ότι κατά το μηχανικό διαχωρισμό (ΣΔΜ1) γίνεται ανάκτηση των πλαστικών κατά ποσοστό 80%, των σιδηρούχων μετάλλων κατά ποσοστό 95% και των μη σιδηρούχων μετάλλων κατά ποσοστό 80% . Όλα τα υπόλοιπα απόβλητα που προκύπτουν ως παραπροϊόντα από το διαχωρισμό οδηγούνται σε ΧΥΤΥ για περαιτέρω επεξεργασία.

Σύμφωνα με τις ανωτέρω παραδοχές, τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Σημείωση: με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η ποσότητα του πτητικού κλάσματος το οποίο οδηγείται προς βιολογική επεξεργασία).

	Χειρωνακτική απομακρυνση υλικων (πλαστικά/γυαλί/ύφασματα/υπόλοιπα/ανοργανα/μέταλλα) 80%	μαγνητικός διαχωρισμός 95%	επαγωγικά ρεύματα 80%	Προς Περαιτέρω Επεξεργ.	Προς Βιολογική Επεξεργ.	Προς ΧΥΤΥ	ΑΝΑΚΤΗΣΗ
	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)
οργανικά χαρτί				553000	553000		
ύφασμα	19040			133450	133450	23800	
μέταλλα	19040	678	2776	4760		1306	22494
γυαλί	13600			1306		17000	
πλαστικά	57800			3400		14450	57800
αδρανή	52360			14450		65450	
υπόλοιπα	35360			13090		44200	
Σύνολο	197200	678	2776	8840	686450	166206	80294

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: Ποσότητα ΑΣΑ προς βιολογική επεξεργασία, ΧΥΤΥ & Ανάκτηση μετά το ΣΜΔ 1

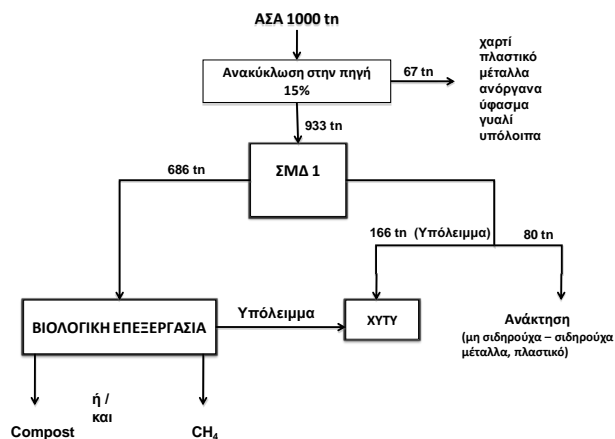
Ποσότητες ΑΣΑ που ανακτώνται ανά κατηγορία:

- μέταλλα (kg) = 19.040 + 678 + 2.776 = 22.494 kg
- πλαστικά (kg) = 57.800 kg

Ποσότητες ΑΣΑ που διατίθενται σε ΧΥΤΥ ανά κατηγορία:

- υφάσματα (kg) = 19.040 + 4.760 = 23.800 kg
- μέταλλα (kg) = 23.800 - 22.494 = 1.306 kg
- γυαλί (kg) = 13.600 + 3.400 = 17.000 kg
- πλαστικά (kg) = 72.250 - 57.800 = 14.450 kg
- αδρανή (kg) = 52.360 + 13.090 = 65.450 kg
- υπόλοιπα (kg) = 35.360 + 8.840 = 44.200 kg

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα συγκεντρωτικό γενικό διάγραμμα ροής στο οποίο αναγράφονται η ποσότητα ανακυκλωμένων υλικών στην πηγή και οι εισροές – εκροές προς και από το ΣΜΔ 1.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 5: Εισροές – Εκροές προς και από το ΣΜΔ 1

Το Σύστημα Μηχανικού Διαχωρισμού 2 (ΣΜΔ 2) εφαρμόζεται για το διαχωρισμό των ΑΣΑ στο σενάριο I II και περιλαμβάνει τις κάτωθι διαδοχικές διεργασίες:

A) Αεροδιαχωρισμός: προσπάθεια του διαχωρισμού του ελαφρού (οργανικά, χαρτί, ύφασμα, πλαστικό, υπόλοιπα) κλάσματος από το βαρύ (μέταλλα, γυαλί, αδρανή), με οδήγηση του πρώτου προς τη θερμική επεξεργασία. Κατά τον αεροδιαχωρισμό, το 6% του βαρέος κλάσματος συμπαρασύρεται με το ελαφρύ και αντίστοιχα το 10% του ελαφρού συμπαρασύρεται στο βαρύ κλάσμα.

B) Μαγνητικός Διαχωρισμός: διαχωρισμός και ανάκτηση του 95% της ποσότητας των σιδηρούχων μετάλλων του ελαφρού κλάσματος.

Γ) Επαγωγικά Ρεύματα: διαχωρισμός και ανάκτηση του 80% της ποσότητας των μη σιδηρούχων μετάλλων του ελαφρού κλάσματος.

Οι υπολογισμοί από αυτές τις ενέργειες παρουσιάζονται ολοκληρωμένα στον πίνακα που ακολουθεί:

	Ποσότητα (kg)	Ανακύκλωση στην Πηγή 15%	Προς Περαιτέρω Επεξεργασία	6% του βαρέος στο ελαφρύ	10% του ελαφρού στο βαρύ	βαρύ κλάσμα - προς ΧΥΤΥ	ελαφρύ κλάσμα	μαγνητικός διαχωρισμός 95% (ελαφ. κλάσμα)	επαγωγικά ρεύματα 80%	Προς Καύση
οργανικά	553000	0	553000	0	55300	55300	497700			497700
χαρτί	157000	23550	133450	0	13345	13345	120105			120105
ύφασμα	28000	4200	23800	0	2380	2380	21420			21420
μέταλλα	28000	4200	23800	1428	0	22372	1428	203	971	253
γυαλί	20000	3000	17000	1020	0	15980	1020			1020
πλαστικά	85000	12750	72250	0	7225	7225	65025			65025
λεπτά (αδρανή)	77000	11550	65450	3927	0	61523	3927			3927
υπόλοιπα	52000	7800	44200	0	4420	4420	39780			39780
Σύνολο	1000000	67050	932950	6375	82670	182545	750405	203	971	749230

ΠΙΝΑΚΑΣ 18: Εισροές – εκροές μάζας στο ΣΜΔ 2

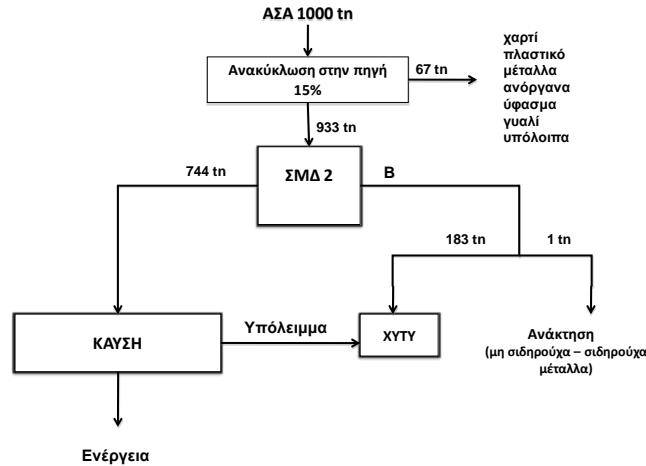
Λαμβάνεται η πληροφορία ότι μετά το Σύστημα Μηχανικού Διαχωρισμού απομένουν για θερμική επεξεργασία 749 τόνοι απορριμμάτων. Δεχόμαστε την ιδανική περίπτωση ότι κατά το μηχανικό διαχωρισμό έχουμε τέλειο διαχωρισμό υλικών (100%) και ότι τελικά παραλαμβάνουμε καθαρό το ελαφρύ κλάσμα από τον αεροδιαχωριστήρα. Δηλαδή, θεωρείται ότι το κλάσμα προς καύση αποτελείται μόνο από οργανικά, χαρτί, ύφασμα, πλαστικά και υπόλοιπα απόβλητα και δεν περιέχει προσμίξεις από μέταλλα, γυαλί και αδρανή. Επίσης, θεωρείται ότι γίνεται ανάκτηση των σιδηρούχων (95%) και μη σιδηρούχων (80%) μετάλλων που απομακρύνθηκαν από το μηχανικό διαχωρισμό. Τα υπόλοιπα απόβλητα οδηγούνται σε ΧΥΤΥ. Τελικά, οι υπολογισμοί των ποσοτήτων προς επεξεργασία σύμφωνα με αυτές τις παραδοχές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	Προς Καύση (kg)	Προς ΧΥΤΥ (kg)	Ανάκτηση (kg)
οργανικά	497700	55300	
χαρτί	120105	13345	
ύφασμα	21420	2380	
μέταλλα		22625	1175
γυαλί		17000	
πλαστικά	65025	7225	
λεπτά (αδρανή)		65450	
υπόλοιπα	39780	4420	
Σύνολο	744030	182545	1175

ΠΙΝΑΚΑΣ 19: Ποσότητα ΑΣΑ προς βιολογική επεξεργασία, ΧΥΤΥ & Ανάκτηση μετά το ΣΜΔ 1

Φαίνεται ότι στην παρούσα μελέτη γίνεται επεξεργασία με καύση 744 τόνων στερεών αποβλήτων καθημερινά, ανακτώνται 1175 κιλά μετάλλων και 183 τόνοι σύμμεικτων υπολειμμάτων καταλήγουν σε ΧΥΤΥ.

Οι εισροές – εκροές από και προς το ΣΜΔ 2 παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 6: Εισροές – Εκροές προς και από το ΣΜΔ 1

3.9 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΑΣΑ

Μετά από την επεξεργασία του μηχανικού διαχωρισμού των κλασμάτων, απαιτείται ο υπολογισμός των φυσικών χαρακτηριστικών των πτητικών, καθώς και του εμπειρικού τύπου τους.

Λόγω της διαφορετικής απαίτησης σε ιδιότητες των προς επεξεργασία ΑΣΑ στις βιολογικές και θερμικές μεθόδους και το διαφορετικό σύστημα μηχανικού διαχωρισμού (ΣΜΔ) που εφαρμόστηκε στα σενάρια I & II και στο σενάριο III, τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ μελετώνται κοινά για τα σενάρια I & II κι έπειτα γίνεται η αντίστοιχη μελέτη για το σενάριο III.

ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (Σενάρια I & II)

ΑΣΑ ΗΠΑ	% C ξ.β.	% H ξ.β.	% O ξ.β.	% N ξ.β.	% S ξ.β.	% Περιεκτικότητα σε υγρασία	ΑΣΑ Αττική
υπολείμματα τροφών (40%)	48	6.4	37.6	2.6	0.40	70.00	οργανικά
υπολείμματα αυλών (60%)	47.8	6	38	3.4	0.40	60	
χαρτί (85%)	43.5	6	44	0.3	0.20	6.00	χαρτί
χαρτόνι (15%)	44	5.9	44.6	0.3	0.20	5.00	

ΠΙΝΑΚΑΣ 20: Τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία και σε C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Χρησιμοποιούνται οι τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία και σε C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων με χρήση της βάσης δεδομένων των ΑΣΑ των ΗΠΑ.

Λαμβάνοντας ως παράδειγμα τα οργανικά με:

	ποσότητα (kg)
οργανικά	553000
χαρτί	133450
Σύνολο	686450

ΠΙΝΑΚΑΣ 21: Σύσταση βιοαποδομήσιμου κλάσματος ΑΣΑ

Το **ξηρό βάρος σε C, H, O, N, S** υπολογίζεται βάσει των περιεκτικότητων C, H, O, N, S στα απόβλητα των ΗΠΑ και του ξηρού βάρους του κάθε είδους αποβλήτου στο πτητικό κλάσμα:

Το **βάρος υγρασίας** (β.υ.) υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{β.υ. οργ. Κλάσμα} = [(70\% \cdot 40\%) + (60\% \cdot 60\%)] \cdot 553.000\text{kg} = 353.920 \text{ kg}$$

Το **ξηρό βάρος** (ξ.β.) προκύπτει αφαιρώντας από την ολική μάζα την ποσότητα υγρασίας:

$$\begin{aligned} \text{ξ.β. οργ. κλάσμα} &= 553.000\text{kg} - [(70\% \cdot 40\% + 60\% \cdot 60\%) \cdot 553.000\text{kg}] = \\ &= 199.080 \text{ kg} \end{aligned}$$

Τελικά υπολογίζεται το **ξηρό βάρος C** (ξ.β. C):

$$\begin{aligned} \text{ξ.β. C (οργ. κλάσμα)} &= [(40\% \cdot 48\%) + (60\% \cdot 47,8\%)] \cdot 199.080 \text{ kg} = \\ &= 47,88 \cdot 199.080 \text{ kg} = 95.320 \text{ kg} \end{aligned}$$

Αντίστοιχα γίνονται οι υπολογισμοί για τα υπόλοιπα ζητούμενα για τα οργανικά απόβλητα και το χαρτί και στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

	ποσότητα (kg)	βάρος υγρασίας (kg)	Ξηρό βάρος (kg)	Βάρος C (kg)	Βάρος H (kg)	Βάρος O (kg)	Βάρος N (kg)	Βάρος S (kg)
οργανικά	553000	353920	199080	95320	12263	75332	6132	796
χαρτί	133450	7807	125643	54749	7520	55396	377	251
Σύνολο	686450	361727	324723	150069	19783	130728	6509	1048

ΠΙΝΑΚΑΣ 22: Ποσότητα υγρασίας, ξηρού βάρους & C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ

Για τον υπολογισμό του εμπειρικού τύπου ξηρού βάρους του βιοαποδομήσιμου μέρους των αποβλήτων, υπολογίζουμε τα mol των C, H, O, N, S (μάζα/Ar) κι έπειτα διαιρώντας με τα mol N ή S βρίσκουμε τους αντίστοιχους εμπειρικούς τύπους.

$$\text{molesC} = \frac{m}{Ar} = \frac{150069}{12} = 12.506 \text{ kmol}$$

$$\text{molesN} = \frac{m}{Ar} = \frac{6509}{14} = 465 \text{ kmol}$$

$$\frac{\text{molesC}}{\text{molesN}} = \frac{12506}{465} = 27$$

Αντίστοιχα στον κάτωθι πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών:

	C	H	O	N	S
βάρος (kg)	150069	19783	130728	6509	1048
Ar	12	1	16	14	32.07
molesx10 ³	12506	19783	8170	465	33
moles/moles N	27	43	18	1	-
moles/moles S	383	606	250	14	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 23: moles C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών ο εμπειρικός τύπος, ξηρού βάρους, του οργανικού μέρους των αποβλήτων που θα οδηγηθούν προς επεξεργασία είναι:



ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (Σενάριο III)

Όπως έγινε και στα σενάρια βιολογικών μεθόδων, αρχικά υπολογίζονται κάποια φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων που είναι χρήσιμα για το σχεδιασμό της επεξεργασίας τους. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία και σε C, H, O, N, S και το ενεργειακό περιεχόμενο του κλάσματος προς καύση για τα απόβλητα των ΗΠΑ και γίνονται οι

αντίστοιχοι υπολογισμοί των ποσοτήτων των μεγεθών αυτών για τα προς επεξεργασία απόβλητα της παρούσας μελέτης.

ΑΣΑ ΗΠΑ	% Περιεκτικότητα σε υγρασία	Ενεργειακό περιεχόμενο (kJ/kg)	% C ξ.β.	% H ξ.β.	% O ξ.β.	% N ξ.β.	% S ξ.β.	% αδρανές υπολείμμα ξ.β.	ΑΣΑ Αττική
υπολείμματα τροφών	70	4652	48	6.4	37.6	2.6	0.40	5	οργανικά
υπολείμματα αυλών	60	6512.8	47.8	6	38	3.4	0.40	4.5	
χαρτί	6	16747.2	43.5	6	44	0.3	0.20	6	χαρτί
χαρτόνι	5	16282	44	5.9	44.6	0.3	0.20	5	
υφάσματα	10	17445	55	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5	ύφασμα
πλαστικά	2	32564	60	7.2	22.8	0	0.00	10	πλαστικά
λάστιχο	2	23260	78	10		2	0.00	10	
δέρμα	10	17445	60	8	11.6	10	0.40	10	υπόλοιπα
ξύλο	20	18608	49.5	6	42.7	0.2	0.10	1.5	

ΠΙΝΑΚΑΣ 24: Τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία & C, H, O, N, S & ενεργειακού περιεχομένου των πτητικών στερεών αποβλήτων των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Οι υπολογισμοί γίνονται όπως και στο σχεδιασμό των σεναρίων βιολογικών μεθόδων (σενάρια I και II), δηλαδή:

Το **βάρος σε C, N, S** υπολογίζεται βάσει των περιεκτικότητων **C, N, S** στα απόβλητα των ΗΠΑ και του ξηρού βάρους του κάθε είδους αποβλήτου στο πτητικό κλάσμα. Λαμβάνοντας ως παράδειγμα τα οργανικά:

Το **βάρος υγρασίας** (β.υ.) υπολογίζεται ακολούθως:

$$\text{β.υ. οργ. κλάσμα} = [(70\% \cdot 40\%) + (60\% \cdot 60\%)] \cdot 497.700 \text{ kg} = 318.528 \text{ kg}$$

Το **ξηρό βάρος** (ξ.β.) υπολογίζεται αφαιρώντας από την ολική μάζα την ποσότητα υγρασίας:

$$\text{ξ.β. οργ. κλάσμα} = 497.700 \text{ kg} - 318.528 = 179.172 \text{ kg}$$

Τελικά το **ξηρό βάρος C** (ξ.β. C) υπολογίζεται:

$$\begin{aligned} \text{ξ.β. C (οργ. κλάσμα)} &= [(40\% \cdot 48\%) + (60\% \cdot 47,8\%)] \cdot 179.172 \text{ kg} = \\ &= 47,88 \cdot 179.172 \text{ kg} = 85.788 \text{ kg} \end{aligned}$$

Στο σενάριο III υπολογίζεται ο εμπειρικός τύπος των αποβλήτων με βάση το υγρό βάρος, σε αντίθεση με τα σενάρια I & II όπου χρησιμοποιήθηκε ο εμπειρικός τύπος ξηρού βάρους. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την καύση λαμβάνεται υπόψη η υγρασία που περιέχουν τα απόβλητα, η οποία απομακρύνεται σε ατμώδη μορφή μαζί με τα καυσαέρια. Γι' αυτό και το ενεργειακό περιεχόμενο που υπολογίζεται ταυτίζεται με την ΚΘΔ.

Οι υπολογισμοί για τον εμπειρικό τύπο υγρού βάρους διαφέρουν από αυτούς για το ξηρό βάρος στο ότι λαμβάνεται υπόψη η ποσότητα Η₂O, δηλαδή αυξάνεται το ποσό των στοιχείων Η και Ο.

Επομένως, το βάρος Η και Ο υπολογίζονται ως εξής:

$$\text{Βάρος Η (орг. κλάσμα)} = [(40\% \cdot 6,4\%) + (60\% \cdot 6\%)] \cdot 179.172 \text{ kg} + \frac{\beta.υγρασιας}{9} = 12.263 + 35.392 = 46.429 \text{ kg}$$

$$\text{Βάρος Ο (орг. κλάσμα)} = [(40\% \cdot 37,6\%) + (60\% \cdot 38\%)] \cdot 179.172 \text{ kg} + \frac{8}{9} \cdot \beta.υγρασιας = 130.728 + 299.778 = 350.935 \text{ kg}$$

Αντίστοιχα γίνονται οι υπολογισμοί για τα υπόλοιπα ζητούμενα για το κλάσμα αποβλήτων που μελετάται και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 25:

	ποσότητα (kg)	ξηρό βάρος (kg)	βάρος υγρασίας (kg)	Ενεργειακό περιεχόμενο (MJ)	Βάρος C (kg)	Βάρος Η (kg)	Βάρος Ο (kg)	Βάρος Ν (kg)	Βάρος S (kg)
οργανικά	497700	179172	318528	926124	85788	46429	350935	5518	717
χαρτί	120105	113079	7026	293347	49274	7548	56102	339	226
ύφασμα	21420	19278	2142	373672	10603	1510	7919	887	29
πλαστικά	65025	63725	1301	13613	38235	4733	15685	0	0
υπόλοιπα	39780	33606	6174	5552	18732	3025	15869	691	44
Σύνολο	744030	408860	335170	1612308	202631	63245	446510	7435	1016

ΠΙΝΑΚΑΣ 25: Ποσότητα υγρασίας, ξηρού βάρους & C, H, O, N, S των πτητικών στερεών αποβλήτων

Ο εμπειρικός τύπος υγρού βάρους υπολογίζεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως αυτός του ξηρού βάρους που υπολογίστηκε κατά το σχεδιασμό των σεναρίων βιολογικής επεξεργασίας:

$$\text{molesC} = \frac{m}{Ar} = \frac{85768}{12} = 16.886 \text{ kmol}$$

$$\text{molesN} = \frac{m}{Ar} = \frac{7435}{14} = 531 \text{ kmol}$$

$$\frac{\text{molesC}}{\text{molesN}} = \frac{16886}{531} = 32$$

Τελικά λαμβάνονται τα αποτελέσματα όπως φαίνονται στον πίνακα 26.

	C	H	O	N	S
βάρος (kg)	202631	63245	446510	7435	1016
Ar	12	1	16	14	32.07
kmoles	16886	63245	27907	531	32
moles/moles N	32	119	53	1	
moles/moles S	533	1996	881	17	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 26: moles C, H, O, N, S των πτητικών στερεών αποβλήτων

Τα απόβλητα που εξετάζονται έχουν εμπειρικό τύπο υγρού βάρους **C₃₂H₁₁₉O₅₃N** ή **C₅₃₃H₁₉₉₆O₈₈₁N₁₇S**

Όσον αφορά το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων, αυτό είναι **1.612 GJ** ή **2,166 MJ/τόνο απορρίμματος**.

3.10 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΑ

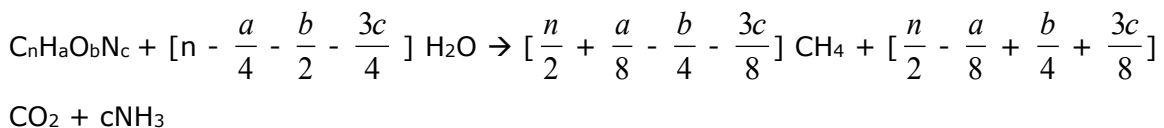
3.10.1 ΣΕΝΑΡΙΟ I

Στο Σενάριο I ως κύρια επεξεργασία εφαρμόζεται η **Αναερόβια Χώνευση**. Η αναερόβια χώνευση είναι μια βιολογική επεξεργασία κατά την οποία ακολουθείται η συνολική αντίδραση:



Αυτή η αντίδραση μας δίνει πολλές πληροφορίες για τα προϊόντα της διεργασίας και κυρίως για την ποσότητα βιοαερίου, μίγμα CH₄ και CO₂, που παράγεται και δύναται να αξιοποιηθεί για τη παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής).

Για την αναερόβια χώνευση ενός σύνθετου υποστρώματος με γενικό τύπο C_nH_aO_bN_c έχει αναπτυχθεί από τον Buswell η εξής εξίσωση:



Με χρήση της εξίσωσης Buswell στη παρούσα μελέτη, για οργανική ύλη με

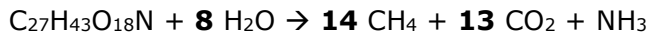
εμπειρικό τύπο C₂₇H₄₃O₁₈N και

γενική μορφή **Εξίσωσης Buswell:** C₂₇H₄₃O₁₈N + **B** H₂O → **C** CH₄ + **D** CO₂ + **c** NH₃

Υπολογίζονται οι στοιχειομετρικοί συντελεστές όπως εμφανίζονται στον πίνακα 27 και παρουσιάζεται η τελική μορφή της εξίσωσης Buswell για την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ υπό μελέτη.

n	a	b	c	B	C	D
47	23	18	1	8	14	13

ΠΙΝΑΚΑΣ 27: Στοιχειομετρικοί συντελεστές εξίσωσης Buswell



ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση αυτή υπολογίζουμε την παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου και CH₄ ως εξής:

- Αρχικά, υπολογίζονται τα μοριακά βάρη των C₂₇H₄₃O₁₈N, CH₄ και CO₂ και δίνονται οι πυκνότητες των CH₄ και CO₂ σύμφωνα με τη βιβλιογραφία διότι θα χρησιμοποιηθούν για τους μετέπειτα υπολογισμούς.[5]

$$Mr(C_{27}H_{43}O_{18}N) = 27 \cdot 12 + 43 \cdot 1 + 18 \cdot 16 + 14 = 669$$

$$Mr(CH_4) = 12 + 4 \cdot 1 = 16$$

$$Mr(CO_2) = 12 + 2 \cdot 16 = 44$$

Ιδιότητες	
Mr C ₂₇ H ₄₃ O ₁₈ N	669
Mr CH ₄	16
Mr CO ₂	44
ρ CO ₂ (kg/m ³)	1.826
ρ CH ₄ (kg/m ³)	0.666

ΠΙΝΑΚΑΣ 28: Μοριακό βάρος και πυκνότητα των C₂₇H₄₃O₁₈N, CH₄ & CO₂

- Για την επεξεργασία 324.723 kg (ξ.β.) οργανικών:

$$n = \frac{m}{Mr} = \frac{324723}{669} = 243 \text{ kmol } C_{27}H_{43}O_{18}N$$

Επομένως, παράγονται 14 · 243 = 3398 kmol CH₄

και 13 · 243 = 3155 kmol CO₂

Υπολογισμός mol	
n C ₂₇ H ₄₃ O ₁₈ N (kmol)	243
C	14
n CH ₄ (kmol)	3398
D	13
n CO ₂ (kmol)	3155

- Υπολογίζεται η μάζα των CH₄ και CO₂ ως $m = n \cdot Mr$

$$m(CO_2) = 138.820 \text{ kg}$$

$$m(CH_4) = 54.363 \text{ kg}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 29: moles των C₂₇H₄₃O₁₈N, CH₄ & CO₂

- Για τον υπολογισμό του παραγόμενου όγκου CH₄, CO₂ και βιοαερίου χρησιμοποιείται τη σχέση $\rho = \frac{m}{V}$

Όγκος βιοαερίου	
V CO ₂ (m ³ /day)	76024
V CH ₄ (m ³ /day)	81626
παραγόμενο βιοαέριο (m³/day)	157651

ΠΙΝΑΚΑΣ 30: Παραγόμενο βιοαέριο αναερόβιας χώνευσης βάσει στοιχειομετρίας

Επιπλέον, από τη στοιχειομετρία υπολογίζεται ότι με την αναερόβια επεξεργασία 324.723 kg οργανικών παράγονται **157.651 m³ βιοαερίου ημερησίως**.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν τυπικές τιμές για διάφορα μεγέθη που αφορούν στο σχεδιασμό της αναερόβιας χώνευσης, οι οποίες παρατίθενται στον πίνακα 31.

αποδόμηση οργ. [χώνευση] (%)	50
αποδόμηση οργ. [λιπασμ/ση αναερόβιας] (%)	30
ειδ. Παραγωγή βιοαερίου (m ³ /ton)	115
περιεκτικότητα CH ₄ v/v (%)	65
περιεκτικότητα CO ₂ v/v (%)	35
ειδ. Ενέργεια βιοαερίου (kWh/m ³)	6.46
Ενεργειακή απόδοση σε ρεύμα (%)	35
Ενεργειακή απόδοση σε θερμότητα (%)	55

ΠΙΝΑΚΑΣ 31: Τυπικές τιμές σχεδιαστικών παραμέτρων αναερόβιας χώνευσης (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Σύμφωνα με τον πίνακα 31 τυπικά αποδομείται το **50%** του πτητικού κλάσματος για παραγωγή βιοαερίου, ενώ το περίπου το **30%** του πτητικού κλάσματος αποδομείται για παραγωγή αναερόβιας ιλύος. Συνεπώς, το υπόλειμμα της επεξεργασίας είναι περίπου ίσο με το **20%** του οργανικού κλάσματος.

Επιπλέον λαμβάνεται υπόψη ότι τυπικά παράγονται **115 m³ βιοαερίου ανά τόνο** (οργανικού) απορρίμματος. Σύμφωνα με τις εμπειρικές σχέσεις κατά την αναερόβια χώνευση 1 τόνου οργανικής μάζας παράγονται 100-200 m³ βιοαερίου και 200-300 kg αναερόβιας ιλύος.

Με χρήση των τυπικών τιμών για την αναερόβια χώνευση, υπολογίζεται το παραγόμενο compost, βιοαέριο και μεθάνιο για την αποδόμηση 325 τόνων (ξ.β.) οργανικών. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Ενεργειακή απόδοση σε ρεύμα (MJ)	1040	Υπολογισμοί	
αποδόμηση οργ. [χώνευση] (%)	50	αποδομούμενα πτητικά (kg/day)	162362
αποδόμηση οργ. [λιπασμ/ση αναερόβιας] (%)	30	παραγόμενο compost (ξ.β.)(kg/day)	97417
		παραγόμενο compost (ξ.β.)(m ³ /day)	614
ειδ. Παραγωγή βιοαερίου (m ³ /ton)	115	παραγόμενο βιοαέριο (m ³ /day)	137290
περιεκτικότητα CH ₄ v/v (%)	65	παραγόμενο CH ₄ (m ³ /day)	89239
περιεκτικότητα CO ₂ v/v (%)	35	παραγόμενο CO ₂ (m ³ /day)	48052
Ενεργειακή απόδοση σε ρεύμα (%)	35	LHV _{CH₄} (kJ/kg)	50.011
		Ενεργειακή απόδοση σε ρεύμα (MJ)	1040
Ενεργειακή απόδοση σε θερμότητα (%)	55	Ενεργειακή απόδοση σε θερμότητα (MJ)	1635

ΠΙΝΑΚΑΣ 32: Σχεδιαστικές παράμετροι αναερόβιας χώνευσης βάσει τυπικών τιμών

Στην παρούσα μελέτη η μάζα οργανικών απορριμμάτων που υφίσταται αναερόβια χώνευση ισούται με 686,5 τόνους. Από αυτή την ποσότητα χρησιμοποιείται το ξηρό βάρος των ολικών πτητικών στερεών, με στόχο τον υπολογισμό της ύλης που τελικά αποδομείται με βιοαποδομησιμότητα 50% κατά την αναερόβια χώνευση.

Η ποσότητα των αποδομούμενων πτητικών για παραγωγή βιοαερίου εκτιμάται σε:

$$\text{αποδομούμενα πτητικά (kg/day)} = \mathbf{50\%} \cdot 324.723 \text{ kg/day} = 162.362 \text{ kg/day}$$

Το παραγόμενο compost υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{παραγόμενο compost (ξ.β.)(kg/day)} = \mathbf{30\%} \cdot 324.723 \text{ kg/day} = 97.417 \text{ kg/day}$$

Για τον υπολογισμό του όγκου της παραγόμενης αναερόβιας ιλύος υπολογίζεται η

μέση πυκνότητα των πτητικών στερεών και χρησιμοποιώντας τη σχέση $\rho = \frac{m}{V}$

υπολογίζεται ο όγκος στερεών (47% του όγκου συνολικών οργανικών).

Πτητικό κλάσμα	ποσότητα (kg)	% Περιεκτικότητα	Μέση Πυκνότητα (kg/m ³)	Όγκος (m ³ /day)	Όγκος (στερεών) (m ³ /day)
οργανικά	553000	0.806	143		
χαρτί	133450	0.19	16		
Σύνολο	686450		159	4324	2045

ΠΙΝΑΚΑΣ 33: Μέση πυκνότητα και όγκος βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ

$$\text{παραγόμενο compost (ξ.β.) (m}^3\text{/day)} = 30\% \cdot 2.045 \text{ m}^3\text{/day} = 614 \text{ m}^3\text{/day}$$

Το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται με χρήση της τυπικής τιμής παραγωγής βιοαερίου ανά τόνο, δηλαδή:

$$\text{παραγόμενο βιοαέριο (m}^3\text{/day)} = 115 \text{ m}^3\text{/ton} \cdot 162.362 \text{ kg} \cdot 0,001 \text{ ton/kg} = 18.672 \text{ m}^3\text{/day}$$

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την παραγωγή βιοαερίου βάσει τυπικών τιμών και στοιχειομετρίας.

(m ³ /day)	Τυπικές Τιμές	Στοιχειομετρία
παραγόμενο βιοαέριο	18672	157651
παραγόμενο CH ₄	12137	81626

ΠΙΝΑΚΑΣ 34: Παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση βάσει τυπικών τιμών και στοιχειομετρίας

Κατά το σχεδιασμό επιλέχθηκαν τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με τη χρήση τυπικών τιμών ως πιο κατάλληλα για την καταγραφή δεδομένων στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής που θα ακολουθήσει.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Η αναερόβια χώνευση επιλέγεται να πραγματοποιηθεί σε σύστημα περιεκτικότητας 30% σε στερεά (70% υγρασία) διότι με αυτό τον τρόπο μειώνεται ο απαιτούμενος όγκος αντιδραστήρα. Η βιολογική διεργασία διεξάγεται σε αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας πλήρους ανάμειξης (CSTR). Θεωρείται ότι για την αποφυγή προβλημάτων σε περίπτωση βλάβης ή για την αποφυγή μόλυνσης του αντιδρώντος μίγματος σε έναν αντιδραστήρα, η ποσότητα του βιοαποδομήσιμου κλάσματος διαιρείται ισόποσα σε δύο ίδιου όγκου αντιδραστήρες. Έτσι, σε περίπτωση αναγκαστικής διακοπής της λειτουργίας του ενός αντιδραστήρα, υπάρχει η δυνατότητα εφεδρικής λειτουργίας από

τον άλλο αντιδραστήρα κι έτσι δεν αχρηστεύεται το αντιδρών μίγμα, αλλά διοχετεύεται στον εφεδρικό αντιδραστήρα όπου βρίσκεται σε εξέλιξη η ίδια διεργασία με αντιδρών μίγμα ιδίων ιδιοτήτων.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς η υγρασία του πτητικού μέρους ισούται περίπου με 53%. Συνεπώς υπολογίζεται η ποσότητα του νερού (προσθήκη νερού) που πρέπει να προστεθεί έτσι ώστε η υγρασία του πτητικού μέρους να ανέρχεται στο 70%.

Για να αποτελεί το ξηρό βάρος των στερεών (324.723 kg ή 2.045 m³) το 30% του όγκου της αντιδρούσας μάζας θα πρέπει να υπάρχουν συνολικά 4.773 m³ H₂O στον αντιδραστήρα. Δεδομένης της ήδη υπάρχουσας υγρασίας των στερεών (361.727 kg ή 361,7 m³) συμπεραίνουμε ότι πρέπει να προστεθούν 4.773 – 361,7 = 4.411 m³ H₂O για να πραγματοποιηθεί η αναερόβια χώνευση.

Ο **συνολικός όγκος** που εισέρχεται ημερησίως σε ένα τέτοιο σύστημα είναι:

6.818 m³/day (= 4.411 + 361,7 + 2.045 m³/day)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αναερόβια χώνευση είναι είτε μεσοφιλική (θερμοκρασία 33-37°C), είτε θερμοφιλική (θερμοκρασία περίπου 55°C). Παρ' ότι η θερμοφιλική είναι ελαφρά ταχύτερη, απαιτεί ακριβή ρύθμιση θερμοκρασίας και είναι ασύμφορη ενεργειακά κι επομένως επιλέγονται μεσοφιλικές συνθήκες για την πραγματοποίηση της αντίδρασης.

Ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής για την ολοκλήρωση των αντιδράσεων αναερόβιας χώνευσης ποικίλλει ανάλογα με τις διαφορετικές τεχνολογίες, τη θερμοκρασία πραγματοποίησης, και τη σύσταση των αποβλήτων. Ο χρόνος παραμονής για τα απόβλητα που βιοαποδομούνται σε μεσόφιλες συνθήκες κυμαίνεται μεταξύ 10-40 ημερών. Χωνευτήρες που λειτουργούν στη θερμοφιλική περιοχή απαιτούν χαμηλότερους χρόνους.

Κατά το σχεδιασμό έχει επιλεγεί χρόνος παραμονής στον αερόβιο αντιδραστήρα περίπου 20 μέρες. [19]

Ο όγκος αντιδραστήρα συνεχούς ροής πλήρους ανάμειξης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V = t \cdot Q$$

όπου Q : η ογκομετρική παροχή στον αντιδραστήρα (6.818 m³/day)

t : ο χρόνος παραμονής (20 days).

Απαιτούμενος Όγκος	
$V_{mix} (m^3/day)$	6818
$V_{H_2O} (m^3/day)$	4773
$\theta (days)$	20
απαιτούμενος όγκος αντιδραστήρων (m^3)	136362

ΠΙΝΑΚΑΣ 35: Απαιτούμενος όγκος αντιδραστήρων για την αναερόβια χώνευση

Επειδή η ποσότητα που καλούμαστε να διαχειριστούμε είναι αρκετά μεγάλη, απαιτούνται περισσότερα του ενός συστήματα αντιδραστήρων (σύστημα δύο αντιδραστήρων). Δεχόμαστε ότι θα σχεδιαστούν 60 συστήματα (δηλαδή 120 αντιδραστήρες) με ολικό ύψος έκαστου $H = 8 \text{ m}$ και ωφέλιμο ύψος αντιδραστήρα ίσο με $H = 7 \text{ m}$.

Σχεδιασμός Αντιδραστήρων	
H (m)	8
H _{ωφ} (m)	7
αρ. Συστημάτων αντιδραστήρων	60
αρ. Αντιδραστήρων	120
V _{ωφ.} αντιδραστήρα (m^3)	2273
V _{ολικό} αντιδραστήρα (m^3)	2597
r (m)	10
D (m)	20

*Συμπερασματικά, απαιτούνται 60 συστήματα αναερόβιων αντιδραστήρων με ύψος **H = 8 m** και ακτίνα **r = 10 m***

ΠΙΝΑΚΑΣ 36: Σχεδιασμός αναερόβιων αντιδραστήρων

Θεωρούμε ότι οι αντιδραστήρες κατασκευάζονται από τσιμέντο και το πάχος του τοιχώματος είναι περίπου 1 cm. Η πυκνότητα του τσιμέντου σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ισούται με $\rho_{concrete} = 2.320 \text{ kg/m}^3$

Υπολογισμός τσιμέντου	
πάχος (m)	0.01
όγκος τσιμέντου 1 αντιδραστήρα (m ³)	5
συνολ. όγκος τσιμέντου (m ³)	613
$\rho_{concrete}$ (kg/m ³)	2320
$m_{concrete}$ (tn)	1422

Η ποσότητα τσιμέντου που απαιτείται για την κατασκευή των αναερόβιων χωνευτήρων ανέρχεται σε
1422 τόνους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 37: Ποσότητα τσιμέντου κατασκευής αναερόβιων αντιδραστήρων

Κατά την αναερόβια χώνευση, το 30% της αποδόμησης οδηγεί στην παραγωγή αναερόβιας ιλύος σε ποσότητα:

Αναερόβια ιλύς	
αποδόμηση οργ. [λιπασμ/ση αναερόβιας] (%)	30
Ξηρό Βάρος οργανικών (kg)	324723
Όγκος Ξηρού Βάρους οργανικών (m ³ /day)	2045
παραγόμενο compost (ξ.β.)(kg/day)	97417
παραγόμενο compost (ξ.β.)(m ³ /day)	614
γ_m (g/cm ³)	0.96
παραγόμενο compost (υ.β.)(υγρασία 30%)(kg/day)	324723
παραγόμενο compost (υ.β.)(m ³ /day)	338

ΠΙΝΑΚΑΣ 38: Ποσότητα παραγόμενης αναερόβιας ιλύος

γ_m : τυπική πυκνότητα της παραγόμενης ιλύος από την αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια ιλύς που παράγεται κατά τη διεργασία δεχόμαστε ότι είναι αρκετά σταθεροποιημένο compost υγρασίας 30% και υπολογίζεται ότι η παραγωγή της ανέρχεται σε 325 τόνους ημερησίως.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με το **ΣΕΝΑΡΙΟ I** ένα σημαντικό μέρος των προς διαχείριση ΑΣΑ διατίθεται σε ΧΥΤΥ. Η ποσότητα αυτή αποτελείται από δύο ρεύματα:

1. Ρεύμα 1: Το ρεύμα 1 περιλαμβάνει τα υλικά που παράγονται ως παραπροϊόντα από το ΣΜΔ 1 και το διαχωρισμό των ανακτήσιμων υλικών (μέταλλα, πλαστικό). Η

ποσότητα αυτή ανέρχεται σε περίπου 166 τόνους ημερησίως (592 m³/day) και οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία σε ΧΥΤΥ.

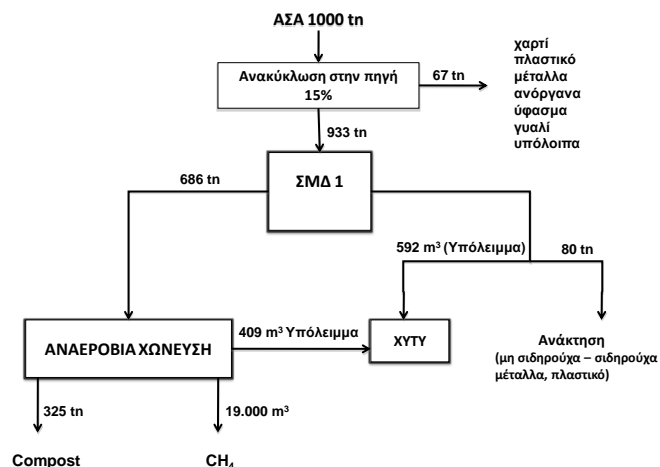
2. Ρεύμα 2: Το ρεύμα 2 περιλαμβάνει τα υλικά που παράγονται ως παραπροϊόντα από την αναερόβια χώνευση και ανέρχονται στο 20% του συνολικού επεξεργαζόμενου κλάσματος, δηλαδή σε περίπου 65 τόνους ημερησίως (409 m³/day).

Υπόλειμμα ΣΕΝΑΡΙΟΥ I προς ΧΥΤΥ	
υπόλειμμα ΣΜΔ 1 (kg/day)	166206
υπόλειμμα ΣΜΔ 1 (m ³ /day)	592
υπόλειμμα αναερόβιας χων. (kg/day)	64945
υπόλειμμα αναερόβιας χων. (m ³ /day)	409
Συνολικός όγκος υπολείμματος (m³/day)	1001

ΠΙΝΑΚΑΣ 39: Συνολικός όγκος υπολείμματος κατά το Σενάριο I

Θεωρώντας ότι ο ΧΥΤΥ έχει περίπου 5 χρόνια διάρκεια ζωής, συμπεραίνουμε ότι θα δέχεται ετησίως $365 \cdot 1001 = 365.365 \text{ m}^3$ και μετά το πέρας και του 5^{ου} έτους θα έχει δεχθεί συνολικά $5 \cdot 365.365 = 1.826.825 \text{ m}^3 \sim 1.830.000 \text{ m}^3$ υπολειμμάτων ΑΣΑ. Εκτιμάται ότι η απαιτούμενη έκταση του ΧΥΤΥ θα πρέπει να είναι ίση περίπου με 500 στρέμματα.

Το συνολικό διάγραμμα ροής που περιγράφει το **ΣΕΝΑΡΙΟ I** παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 7: Διάγραμμα ροής Σεναρίου I

3.10.2 ΣΕΝΑΡΙΟ II

Στο Σενάριο II ως κύρια επεξεργασία εφαρμόζεται η αερόβια βιολογική επεξεργασία.

ΕΚΤΑΣΗ ΣΕΙΡΑΔΙΩΝ

Ο σχεδιασμός του Σεναρίου II ξεκινά με τον υπολογισμό της απαιτούμενης έκτασης στην οποία θα πραγματοποιηθεί η κύρια επεξεργασία των βιοαποδομήσιμων στερεών, η αερόβια επεξεργασία.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι αερόβιας βιοσταθεροποίησης: το σύστημα σειραδίων, το σύστημα του αεριζόμενου στατικού σωρού και οι κλειστοί βιοαντιδραστήρες. Από αυτά, επιλέγεται το σύστημα σειραδίων για την αερόβια επεξεργασία στη συγκεκριμένη μελέτη και γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την εκτίμηση της απαιτούμενης έκτασης σειραδίων για την επεξεργασία 686,5 τόνων στερεών οργανικών αποβλήτων ανά ημέρα.

Πτητικό κλάσμα	ποσότητα (kg)	% Περιεκτικότητα	Μέση Πυκνότητα (kg/m ³)	Όγκος (m ³ /day)	Όγκος (ξ.β.) (m ³ /day)
οργανικά	553000	0.806	143		
χαρτί	133450	0.19	16		
Σύνολο	686450		159	4324	2045

ΠΙΝΑΚΑΣ 40: Μέση πυκνότητα και όγκος βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ

Κατά την αερόβια επεξεργασία σε σειράδια τα απόβλητα τοποθετούνται σε παράλληλους σωρούς τριγωνικής, τραπεζοειδούς ή ορθογώνιας διατομής, οι οποίοι αναδεύονται σε τακτά διαστήματα με μηχανικό τρόπο με στόχο την επίτευξη επαρκούς αερισμού και ομοιογένειας στο σωρό.

Κατά το σχεδιασμό θεωρούμε ότι εφαρμόζονται σειράδια τριγωνικής διατομής (ισοσκελούς τριγώνου) τυπικού ύψους 2 μέτρων (εμβαδό διατομής 4 m²).

Επιπλέον θεωρείται ότι η διάρκεια κομποστοποίησης ανέρχεται σε περίπου 25 ημέρες.

Άρα έχουμε 25 days · 4.324 m³/day = 118.231 m³ ποσότητα αποβλήτων που οδηγούνται προς επεξεργασία σε αυτό το χρονικό διάστημα.

Χαρακτηριστικά σειραδίου:

Διαστάσεις σειραδίου	
ύψος σειραδίου (m) (ισοσκελές τριγ.)	2
βάση τριγώνου (m)	4
εμβαδόν διατομής (m ²)	4
βάθος σειραδίου (m)	100

Επομένως, ο όγκος ενός σειραδίου ισούται με: 4 · 100 = 400 m³

ΠΙΝΑΚΑΣ 41: Διαστάσεις σειραδίου

Υπολογίζεται ότι απαιτούνται:

$$\text{Απαιτούνται } \frac{118.231}{400} = \mathbf{296 \text{ σειράδια}}$$

Η επιφάνεια που καλύπτει στη γη ένα σειράδι είναι: βάθος x βάση τριγώνου = 400 m²

Σημειώνεται ότι μεταξύ δύο σειραδίων παρεμβάλλεται δρόμος επιφάνειας 4 · 100 m² = 400m²

Έτσι η απαιτούμενη συνολική επιφάνεια διπλασιάζεται και ισούται με 2 · 296 · 400 m² = 236.461 m² ή **236,5 στρέμματα**.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΠΤΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ

Κατά την αερόβια επεξεργασία πρέπει να καλύπτονται διάφορες προϋποθέσεις για τις ιδιότητες του οργανικού κλάσματος και τις συνθήκες που επικρατούν. Οι πιο βασικοί περιορισμοί παρουσιάζονται στον πίνακα:

Μέγεθος σωματιδίων	1-3 in(25-75 mm) 0,5-1,5 in για ανάδευση και αερισμό 1,5-3 in για φυσικό αερισμό χωρίς ανάδ.
Λόγος C/N (τροφοδοσία)	<30/1
Λόγος C/P (τροφοδοσία)	75-150/1
Αναμίξεις και προσθήκες	μέχρι 1-5% κατά βάρος
Περιεχόμενο υγρασίας	50-60%(ή 45-55%)
Ανάδευση	Μικρές περίοδοι έντονης ανάδευσης εναλλασσόμενες με διακοπές.
Θερμοκρασία	50-55°C τις πρώτες μέρες 55-60°C τις υπόλοιπες
Έλεγχος παθογόνων οργανισμών	Παραμονή στους 60-70°C για 24 h
Ρύθμιση του PH	7-7,5
Βαθμός αποσύνθεσης	φαίνεται από το λόγο C/N

ΠΙΝΑΚΑΣ 42: Περιορισμοί κατά το σχεδιασμό κομποστοποίησης
(πηγή: Παπαχρήστου κ.α., 1987 και Τσομπάνογλου κ.α., 1993)

Για το λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητο να γίνουν υπολογισμοί βελτίωσης κάποιων ιδιοτήτων του βιοαποδομήσιμου κλάσματος έτσι ώστε να αποκτήσουν τις επιθυμητές τιμές.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Η υγρασία των πτητικών στερεών τροφοδοσίας (52,7%) στην αερόβια επεξεργασία κρίνεται απαραίτητο να βελτιωθεί στο 50% με χρήση ανακυκλοφορούμενου τελικού προϊόντος. Μία εναλλακτική μέθοδος επίτευξης αυτού του στόχου θα ήταν η χρήση προσθέτων όπως πριονίδια ή τεμάχια ξύλου. Επειδή η υγρασία είναι αρκετά κοντά στην τελική επιθυμητή επιλέγεται η απλή προσθήκη ανακυκλοφορούμενου προϊόντος ως οικονομικότερη.

Υπολογίζεται ο **λόγος Ξηρού βάρους R_d** στην ανακυκλοφορία προς το ξηρό βάρος στην τροφοδοσία και ο **λόγος του υγρού βάρους R_w** από τις σχέσεις:

$$R_d = \frac{S_m - 1}{S_c - \frac{S_m}{S_r}}$$

$$R_w = \frac{S_m - S_c}{S_r - S_m}$$

Υποθέτουμε ότι το τελικό προϊόν θα έχει 70% στερεά, τα οποία θα είναι όλα πτητικά, αφού στην τροφοδοσία υπάρχουν μόνο πτητικά στερεά.

Sr	0.7
Sm	0.5
Sc	0.47
Rd	0.20
Rw	0.135

ΠΙΝΑΚΑΣ 43: Λόγος ξηρού βάρους Rd & Λόγος υγρού βάρους Rw στην τροφοδοσία κατά την κομποστοποίηση

Sm : επιθυμητό κλάσμα στερεών μείγματος

Sc : κλάσμα στερεών τροφοδοσίας

Sr : επιθυμητό κλάσμα στερεών ανακυκλοφορούμενου προϊόντος

Υπολογίζεται ότι απαιτείται επαναφορά **13,5%** του τελικού προϊόντος στην τροφοδοσία.

Το πηητικό κλάσμα V_m του μείγματος δίδεται από τη σχέση:

$$V_m = \frac{V_c + V_r R_d}{1 + R_d}$$

όπου

Vc: πηητικό κλάσμα τροφοδοσίας

Vr: πηητικό κλάσμα εξόδου

Συνεπώς το πηητικό κλάσμα του μίγματος θα είναι **0,95**.

Rd	0.20
Vc	1.00
Vr	0.70
Vm	0.95

ΠΙΝΑΚΑΣ 44: Πηητικό κλάσμα V_m

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ

Ο ελεύθερος αέριος χώρος (free air space, FAS) είναι το κλάσμα του όγκου του μείγματος που καταλαμβάνεται από αέρια. Φανερώνει την επάρκεια αερόβιων συνθηκών στο σύστημα κομποστοποίησης και δίνεται από τη σχέση:

$$f = 1 - \frac{\gamma_m S_m}{G_m \gamma_w} - \frac{\gamma_m (1 - S_m)}{\gamma_w}$$

όπου

γ_m : πυκνότητα μείγματος

γ_w : πυκνότητα νερού (=1 g/cm³)

G_m : ειδικό βάρος στερεών μείγματος

Ο υπολογισμός των παραμέτρων γ_m και G_m ξεκινάει από το ειδικό βάρος των στερεών της τροφοδοσίας.

Θεωρώντας

G_v : μέσο ειδικό βάρος πτητικών στερεών = 1

G_f : μέσο ειδικό βάρος μη πτητικών στερεών = 2,5

V_s :1,00

$$\frac{1}{G_s} = \frac{V_s}{G_v} + \frac{1-V_s}{G_f}$$

Τελικά υπολογίζεται ότι $G_s = 1 \text{ g/cm}^3$

Η πυκνότητα στην τροφοδοσία γ_c θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\gamma_c = \frac{\gamma_w}{\frac{S_c}{G_s} + 1 - S_c}$$

και προκύπτει $\gamma_c = 1,00 \text{ g/cm}^3$

και η πυκνότητα μείγματος γ_m είναι:

$$\gamma_m = \frac{G_s + \gamma_r R_w}{1 + R_w}$$

Θεωρώντας $\gamma_r = 0,65 \text{ g/cm}^3$ (τυπική τιμή)

Τελικά $\gamma_m = 0,958 \text{ g/cm}^3$

Υπολογίζεται έπειτα το ειδικό βάρος των στερεών του ανακυκλοφορούμενου μείγματος (G_{sm}) από την σχέση:

$$\frac{1}{G_{sm}} = \frac{V_r}{G_v} + \frac{1-V_r}{G_f}$$

Τελικά $G_{sm} = 1,43$

Το ειδικό βάρος των στερεών του μείγματος (G_m) δίνεται από τη σχέση:

$$G_m = \frac{G_s + G_{sm} R_d}{1 + R_d}$$

προκύπτει $G_m = 1,07$

Υπολογίζεται τελικά ότι ο ελεύθερος αέριος χώρος (free air space, FAS) ισούται με $f = 0,07$

Η τιμή αυτή του ελεύθερου αέριου χώρου (αρχικά) κρίνεται ικανοποιητική.

Καθώς το μείγμα λιπασματοποιείται το f ανέρχεται τελικά σε:

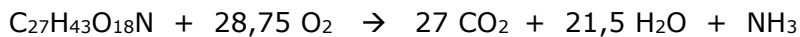
$$f = 1 - \frac{\gamma_r S_r}{G_{sm} \gamma_w} - \frac{\gamma_r (1 - S_r)}{\gamma_r} \quad \text{Δηλαδή } f = 0,38$$

ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Ο αερισμός κατά την κομποστοποίηση είναι μία πολύ σημαντική ενέργεια και γίνεται αφενός για την παροχή επαρκούς οξυγόνου για την *βιολογική οξείδωση* και αφετέρου για την *ξηράνση* του προς λιπασματοποίηση μείγματος.

Βιολογική οξείδωση

Με εμπειρικό τύπο του (ξηρού βάρους) οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων τον **C₂₇H₄₃O₁₈N**, η βιολογική οξείδωση ακολουθεί την κάτωθι αντίδραση:



Βάσει της στοιχειομετρίας προκύπτει ότι απαιτούνται 1,55 g O₂/g ξ.β.

Τυπικά κατά τη βιολογική οξείδωση αποδομείται το 50% του πτητικού κλάσματος των απορριμμάτων. Επίσης δεχόμαστε ότι οατμοσφαιρικός αέρας περιέχει 21% O₂.

Βάσει των στοιχείων αυτών, στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ημερήσια απαίτηση σε αερισμό για τη βιολογική οξείδωση 686 τόνων οργανικών αποβλήτων (325 τόνοι ξηρού βάρους).

βιοαποδομησιμότητα	0.5
g O ₂ / g ξ.β. (στοιχειομ.)	1.55
g O ₂ / g ξ.β. (*0.5)	0.78
g αέρα / g ξ.β.	3.69
ton O ₂ / day	252
ton air / day	1198

ΠΙΝΑΚΑΣ 45: Ημερήσια απαίτηση σε αερισμό κατά τη βιολογική οξείδωση

Απομάκρυνση υγρασίας

Η υγρασία που πρέπει να απομακρυνθεί για να επιτευχθεί περιεκτικότητα 70% σε στερεά στο τελικό προϊόν προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{\Delta H_2O}{S_c X_c} = \frac{1-S_c}{S_c} - \frac{1-V_c}{1-V_r} \frac{1-S_i}{S_r}$$

όπου

X_c : υγρό βάρος στην τροφοδοσία = 361.727 kg/day

	ποσότητα (kg)	Ποσότητα υγρασίας (kg)
οργανικά	553000	353920
χαρτί	133450	7807
Σύνολο	686450	361727

ΠΙΝΑΚΑΣ 46: Σύσταση και περιεκτικότητα σε υγρασία βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ

Η σχέση μας δίνει τελικά ΔH₂O = 190.613 kg/day ή 0,59 g H₂O/g ξ.β. στην τροφοδοσία.

Βάσει βιβλιογραφίας, η υγρασία που προσλαμβάνει ο ξηρός αέρας ισούται με: 0,137 g H₂O / g αέρα (20-60°C).

Άρα η απαίτηση σε αέρα = $\frac{0,59}{0,137} = 4,28$ g ξηρού αέρα / g ξ.β. στην τροφοδοσία ή

1391 τόνοι αέρα ημερησίως.

Χc (kg/day)	361727
ΔH ₂ O (kg/day)	190613
ΔH ₂ O (g/g ξ.β.)	0.59
απαιτ. αέρα (g/g ξ.β.)	4.28
ton air / day	1391

Στον πίνακα 47 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του αερισμού για την απομάκρυνση υγρασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 47: Ημερήσια απαίτηση σε αερισμό κατά την απομάκρυνση υγρασίας

Οι συνολικές απαιτήσεις αερισμού ημερησίως:

ton air / day (οξειδωση)	1198
ton air / day (απομ. υγρασίας)	1391
Συνολ. Απαιτ. Αέρα (ton air/day)	2590

Για τη βιολογική οξειδωση και ξήρανση του προς κομποστοποίηση κλάσματος απαιτούνται **2590 τόνοι**

ΠΙΝΑΚΑΣ 48: Συνολική ημερήσια απαίτηση αερισμού κατά την κομποστοποίηση

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Στην αερόβια επεξεργασία απαιτείται ενέργεια για την ανύψωση της θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση (θέρμανση στερεών, νερού και αέρα) και για την εξάτμιση της υγρασίας. Κατά τη βιοαποδόμηση, όμως, απελευθερώνεται σημαντικό ποσό ενέργειας, ικανό πολλές φορές να καλύψει αυτές τις ανάγκες.

Ερευνάται εάν και σε ποιο βαθμό η απελευθερούμενη ενέργεια κατά τη βιολογική οξειδωση επαρκεί για την ανύψωση της θερμοκρασίας στους 60°C και την επίτευξη υγρασίας 30% στο τελικό προϊόν.

Θεωρείται ισοζύγιο ενέργειας με βάση 1 g στερεού στην τροφοδοσία.

αποδόμηση πτητικών στερεών: 50%

περιεκτικότητα σε πτητικά: 100%

άρα στο προϊόν απομένουν $1 - (0,5 \cdot 1) \text{ g} = 0,5 \text{ g}$ στερεών.

αρχική περιεκτικότητα σε στερεά: 47%

άρα η υγρασία στην τροφοδοσία είναι $(\frac{1}{0,47} - 1) = 1,28 \text{ g}$ υγρασία.

τελική (επιθυμητή) υγρασία: 30%

η τελική υγρασία είναι $[\frac{0,47}{0,7} - 0,47] = 0,2$ g υγρασία.

$Rd: 0,2$

$Rw: 0,135$

άρα στην ανακυκλοφορία θα υπάρχουν $(0,2 \cdot 1)$ g = 0,2 g στερεά και $(0,135 \cdot 1,22)$ g = 0,11 g υγρασία

Βάσει της στοιχειομετρικής εξίσωσης $C_{27}H_{43}O_{18}N + 28,75 O_2 \rightarrow 27 CO_2 + 21,5 H_2O + NH_3$

υπολογίζεται ότι για κάθε 1g στερεού (βιοαπ/τα 50%) παράγονται 0,29 g H₂O και 1 g υπόλοιπων αερίων (CO₂ και NH₃).

Γίνεται η παραδοχή ότι η βιοαποδομησιμότητα του σταθεροποιημένου προϊόντος μπορεί να αγνοηθεί.

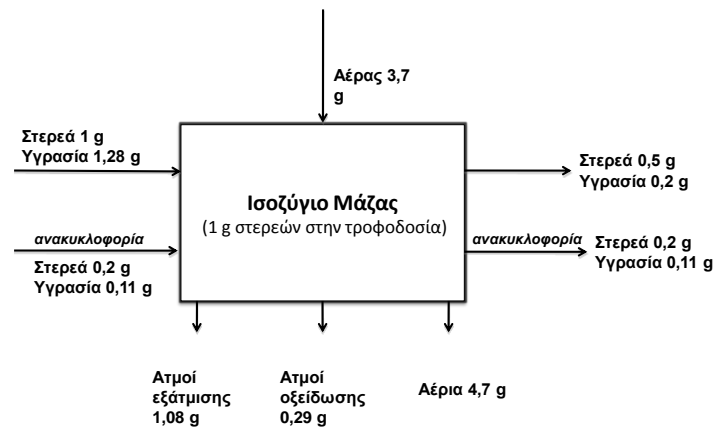
Επίσης, υπολογίζεται ότι για κάθε 1g στερεού (βιοαπ/τα 50%) απαιτείται;

0,77 g O₂ δηλαδή $0,77/0,21 = 3,7$ g αέρα.

Παρέχοντας 3,7 g αέρα, διαφεύγουν κατά τη βιοαποδόμηση:

- $3,7 + 1 = 4,7$ g αερίων
- 0,29 g υδρατμών από βιολογική οξείδωση
- $1,28 - 0,2 = 1,08$ g υγρασίας λόγω εξάτμισης (υγρασία τελικού προϊόντος 30%)

Σχηματικά το Ι.Μ.:



ΣΧΗΜΑ 13: Ισοζύγιο ενέργειας με βάση 1g στην τροφοδοσία κομποστοποίησης

Εν συνεχεία υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις για το Ι.Μ. κι έπειτα οι αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις για τη διαχείριση των 686 τόνων οργανικών αποβλήτων.

Ανύψωση Θερμοκρασίας:

Θέρμανση στερεών: $q_s = m \cdot c_p \cdot \Delta T = (1 + 0,2) \text{ g} \cdot 0,25 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \cdot (60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 11,99 \text{ cal}$

Θέρμανση νερού: $q_w = (1,28 + 0,11) \cdot 1 \cdot 40 = 55,6 \text{ cal}$

Θέρμανση αέρα: $q_a = (3,7 + 4,7)/2 \cdot 0,25 \cdot 40 = 89,8 \text{ cal}$

Εξάτμιση υγρασίας:

Θερμότητα εξάτμισης: $q_v = 540 \text{ cal/g} \cdot (1,08 + 0,29) = 804 \text{ cal}$

Οι υπολογισμοί αυτοί καθώς και η συνολική ενεργειακή απαίτηση για το σύστημα παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα:

cp (στερ.) (cal/g°C) (τυπ. Τιμή)	0.25
Ταρχ. (°C)	20
Ττελ. (°C)	60
q _s (cal)	11.99
cp (H ₂ O.) (cal/g°C) (τυπ. Τιμή)	1
q _w (cal)	55.6
cp (air.) (cal/g°C) (τυπ. Τιμή)	0.25
q _a (cal)	89.8
ΔH _{vap} (water)(τυπ. Τιμή) (cal/g)	587
q _v (cal)	804
Συνολ. Εν. Απαιτήση (cal)	961.5

ΠΙΝΑΚΑΣ 49: Συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις συστήματος κομποστοποίησης 1g

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα απαιτούνται **961,5 cal** για την ανύψωση θερμοκρασίας και την εξάτμιση του νερού κατά την αποδόμηση 1 g (50% βιοαπ/τα) στερεών.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη βιολογική οξείδωση:

$$q_{ox} = 5500 \text{ cal/g οργ.} \cdot 1 \text{ g οργ.} \cdot 0,5 = \mathbf{2.750 \text{ cal}}$$

Επομένως, η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη βιολογική οξείδωση επαρκεί για τις ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος.

Ένα άλλο κριτήριο το οποίο, επίσης, χρειάζεται να τηρείται κατά το σχεδιασμό αερόβιας επεξεργασίας συστήματος είναι ο *λόγος W του νερού προς τα αποδομήσιμα οργανικά* που δίνεται από τη σχέση:

$$W = \frac{\left(\frac{1}{S_c}\right) + R_d \left(\frac{1}{S_c} - 1\right)}{k_c V_c + k_r V_r R_d}$$

και πρέπει να ισχύει $W < 10$

Σύμφωνα με το σχεδιασμό για τυπικές τιμές $k_c = 0,5$ και $k_r = 2,5$ υπολογίζεται ότι:

$$W = 2,75 < 10.$$

Υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις για το σύστημα 324,7 τόνων στερεών οργανικών (ξ.β.) στην τροφοδοσία (Q_s, Q_w, Q_a, Q_v, Q_{ox}, συνολικές απαιτήσεις):

Ξηρό Βάρος (kg)	324723
q _s (cal)	11.99
Q _s (kcal)	3895
q _w (cal)	55.6
Q _w (kcal)	18055
q _a (cal)	89.8
Q _a (kcal)	29144
q _v (cal)	804
Q _v (kcal)	261139
Συνολ. Εν. Απαίτηση (cal)	962
Συνολ. Εν. Απαίτηση (kcal)	312233
q _{ox} (cal)	2750
Q _{ox} (kcal)	892989

Η θερμότητα που εκλύεται κατά τη βιολογική οξείδωση (Q_{ox} = 893Mcal) επαρκεί για να καλύψει τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες του συστήματος (312 Mcal) κατά την αερόβια επεξεργασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 50: Ενεργειακές απαιτήσεις κομποστοποίησης βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ

Υπολογίζεται η ποσότητα του παραγόμενου compost και ο όγκος του υπολείμματος της αερόβιας επεξεργασίας με σκοπό τον υπολογισμό της απαιτούμενης έκτασης του ΧΥΤΥ στον οποίο θα καταλήξει το συνολικό υπόλειμμα της επεξεργασίας.

Για βιοαποδομήσιμη μάζα 324,7 τόνων και βιοαποδομησιμότητα 50% υπολογίζεται:

Ξηρό Βάρος (kg)	324723
βιοαποδομησιμότητα	0.5
βιοσταθεροποιείται (kg ξ.β.)	162362
υπόλειμμα (kg ξ.β.)	162362
γ _m (g/cm ³)	0.96
compost (ξηρό βάρος) (m ³)	169
compost (υγρασία 30%) (m ³)	242
compost (υγρασία 30%) (kg)	231945
υπόλειμμα (ξηρό βάρος) (m ³)	169
υπόλειμμα (υγρασία 30%) (m ³)	242

ΠΙΝΑΚΑΣ 51: Ποσότητα compost και υπολείμματος κομποστοποίησης

Παράγονται, επομένως, 232 τόνοι εδαφοβελτιωτικό (υγρασία 30%) και 242 m³ υπολείμματος, το οποίο διοχετεύεται σε ΧΥΤΥ.

Κατά το σχεδιασμό του ΣΕΝΑΡΙΟΥ II ένα σημαντικό μέρος των προς διαχείριση ΑΣΑ οδηγείται σε ΧΥΤΥ, και συγκεκριμένα:

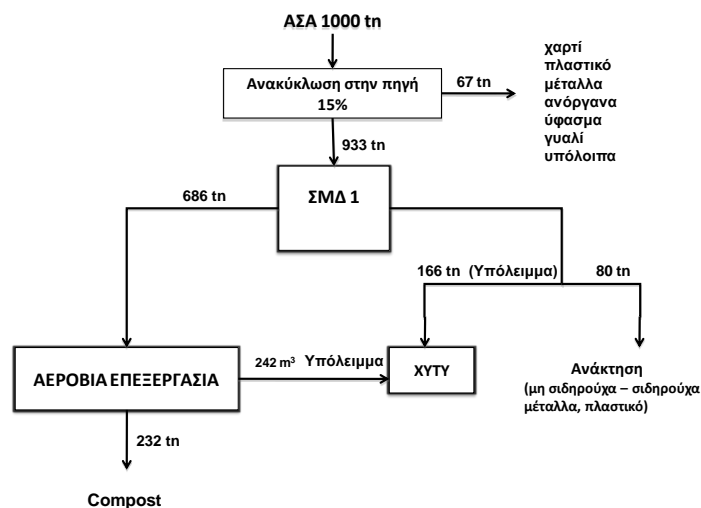
1. Μετά το ΣΜΔ 1 και το διαχωρισμό των ανακτήσιμων υλικών (μέταλλα, πλαστικό), το υπόλειμμα, που ανέρχεται σε 166 τόνους ημερησίως (592 m³/day) οδηγείται σε ΧΥΤΥ.
2. Μετά την αερόβια επεξεργασία και την παραγωγή compost, παράγονται 242 m³ υπολείμματος από τη διεργασία, το οποίο επίσης καταλήγει σε ΧΥΤΥ.

Υπόλειμμα ΣΕΝΑΡΙΟΥ II προς ΧΥΤΥ	
υπόλειμμα ΣΜΔ 1 (kg/day)	166206
υπόλειμμα ΣΜΔ 1 (m ³ /day)	592
υπόλειμμα αερόβιας χων. (kg/day)	231945
υπόλειμμα αερόβιας χων. (m ³ /day)	242
Συνολικός όγκος υπολείμματος (m³/day)	833.63

ΠΙΝΑΚΑΣ 52: Συνολικός όγκος υπολείμματος κομποστοποίησης

Θεωρώντας ότι ο ΧΥΤΥ έχει 5 χρόνια ζωής, συμπεραίνουμε ότι θα δέχεται ετησίως $365 \cdot 834 = 304.410 \text{ m}^3$ και μετά το πέρας και του 5^{ου} έτους θα έχει δεχθεί συνολικά $5 \cdot 365.365 = 1.522.050 \text{ m}^3 \sim 1.500.000 \text{ m}^3$ υπολειμμάτων ΑΣΑ. Ο ΧΥΤΥ που θα δέχεται την ποσότητα αυτή διαλέγεται να έχει έκταση περίπου 500 στρέμματα.

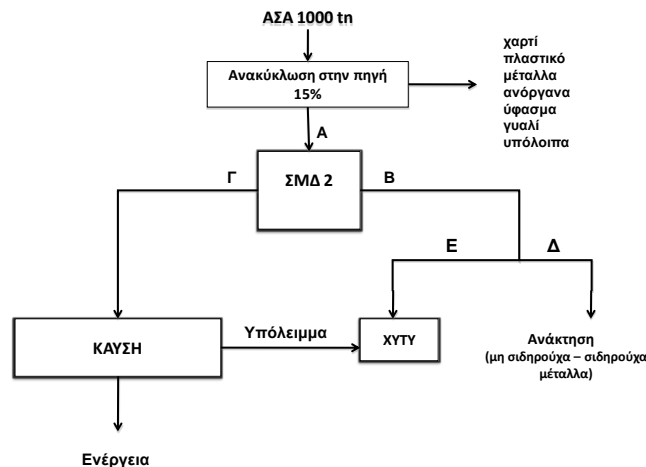
Το συνολικό διάγραμμα ροής που περιγράφει το **ΣΕΝΑΡΙΟ II** είναι:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 8: Διάγραμμα ροής Σεναρίου II

3.10.3 ΣΕΝΑΡΙΟ III

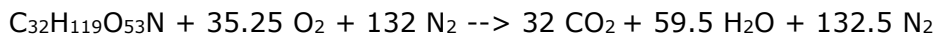
Κατά το Σενάριο III, η κύρια επεξεργασία την οποία υφίσταται το μεγαλύτερο μέρος των ΑΣΑ προς διαχείριση είναι η καύση. Η γενική μορφή του σεναρίου αυτού παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 9: Διάγραμμα ροής Σεναρίου III

ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η αντίδραση οξειδωσης που ακολουθούν τα απόβλητα με εμπειρικό τύπο $C_{32}H_{119}O_{53}N$ είναι η:



Απαιτηση σε O_2 :

Δίνονται τα μοριακά βάρη των $C_{32}H_{119}O_{53}N$ και O_2 και μετέπειτα γίνεται ο υπολογισμός της ποσότητας O_2 που απαιτείται για την καύση 744 τόνων ΑΣΑ ημερησίως.

$$Mr C_{32}H_{119}O_{53}N = 32 \cdot 12 + 119 \cdot 1 + 53 \cdot 16 + 14 = 1365$$

$$Mr O_2 = 16 \cdot 2 = 32$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση $n = \frac{m}{Mr}$ παράγονται 545 mol ΑΣΑ προς καύση ημερησίως, για τα οποία απαιτούνται $32,25 \cdot 545 = 17579$ mol O_2 για πλήρη οξειδωση, ή αλλιώς **562.519 kg O_2** .

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει O₂ σε ποσοστό 21%, υπολογίζεται ότι απαιτούνται **2679 tn αέρα ημερησίως** για την καύση των αποβλήτων που μελετώνται.

Ανά τόνο απορρίμματος προς καύση, απαιτούνται $32,23 \cdot (1.000/1.365) = 25$ kmol O₂, ή 826 kg O₂. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (T=20°C) είναι 1,204 kg/m³ και δεχόμαστε ότι είναι ίδια με αυτή στις συνθήκες που επικρατούν κατά την καύση. Επομένως, απαιτούνται 3.935 kg αέρα (21% O₂), ή αλλιώς **3.268 m³ αέρα ανά τόνο καύσιμης ύλης**.

Προκειμένου να αποφευχθεί ημιτελής καύση συνήθως διοχετεύεται περίσσεια αέρα μέχρι και 100% στη διεργασία. Η περίσσεια αυτή, ωστόσο, δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη διότι συμβάλλει στην απαίτηση περισσότερης ενέργειας για θέρμανση των αερίων, με αποτέλεσμα να επικρατεί χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης.

Στην περίπτωση μας χρησιμοποιείται περίσσεια αέρα 100%, οπότε τελικά απαιτούνται **6537 m³ αέρα ανά τόνο καύσιμης ύλης**. [1]

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ

Κατά τη θερμική οξειδωση ο όγκος των απορριμμάτων μειώνεται έως και 85-95% και παράγεται μία ποσότητα αδρανούς υπολείμματος. Τυπικές τιμές αδρανούς υπολείμματος για τα απόβλητα των ΗΠΑ είναι οι ακόλουθες:

ΑΣΑ ΗΠΑ	% αδρανές υπολείμμα (ξ.β.)	ΑΣΑ Αττική
υπολείμματα τροφών	5	οργανικά
υπολείμματα αυλών	4.5	
χαρτί	6	χαρτί
χαρτόνι	5	
υφάσματα	2.5	ύφασμα
πλαστικά	10	πλαστικά
λάστιχο	10	
δέρμα	10	υπόλοιπα
ξύλο	1.5	

ΠΙΝΑΚΑΣ 53: Τυπικές τιμές αδρανούς υπολείμματος των ΑΣΑ των ΗΠΑ (πηγή: Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

Κατά τον τρόπο που υπολογίστηκαν τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ στην ενότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών, υπολογίζεται και το συνολικό υπόλειμμα της θερμικής επεξεργασίας των 744 τόνων ΑΣΑ και η μέση πυκνότητά

του. Υπολογίζονται σαν υπόδειγμα τα μεγέθη αυτά για το οργανικό κλάσμα και η ίδια μεθοδολογία ακολουθείται για να υπολογιστεί τελικά η συνολική ποσότητα υπολείμματος. Παρατίθενται η ποσότητα των επιμέρους ειδών πτητικών αποβλήτων, οι τιμές μέσης πυκνότητας των πτητικών στερεών αποβλήτων στον πίνακα 54 και τα αποτελέσματα των υπολογισμών της ποσότητας υπολείμματος κατά την καύση στον πίνακα 55.

	Προς Καύση (kg)	Μέση Πυκνότητα (kg/m ³)
οργανικά	497700	97.88
χαρτί	120105	13.05
ύφασμα	21420	1.82
πλαστικά	65025	5.53
υπόλοιπα	39780	10.8
Σύνολο	744030	

ΠΙΝΑΚΑΣ 54: Σύσταση και μέση πυκνότητα πτητικών ΑΣΑ

$$\text{υπόλειμμα οργ. Κλάσμα} = [(5\% \cdot 40\%) + (4,5\% \cdot 60\%)] \cdot 497.700 \text{ kg} = 23.392 \text{ kg}$$

$$\text{πυκνότητα υπολείμματος οργ.} = (\text{περιεκτικότητα οργανικών}) \cdot [(291 \cdot 40\%) + (101 \cdot 60\%)] = \frac{497700}{744030} \cdot [(291 \cdot 40\%) + (101 \cdot 60\%)] = 105,2 \text{ kg/m}^3$$

	Ποσότητα υπολείμματος (kg)	Περιεκτικότητα υπολείμματος	Μέση πυκνότητα υπολείμματος (kg/m ³)
οργανικά	23392	0.594	105.2
χαρτί	7026	0.179	14.8
ύφασμα	1392	0.035	2.3
πλαστικά	6503	0.165	10.7
υπόλοιπα	1042	0.026	5.5
Σύνολο	39355		138.6

ΠΙΝΑΚΑΣ 55: Χαρακτηριστικά υπολείμματος Σεναρίου III

Το υπόλειμμα περιέχει κάποια ποσότητα σιδηρούχων μετάλλων τα οποία ανακτώνται καθώς επίσης *τέφρα* και *ιπτάμενη τέφρα*. Η τέφρα μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο κατασκευαστικών υλικών είτε να διατεθεί ως μη επικίνδυνο υπόλειμμα και η ιπτάμενη τέφρα θεωρείται επικίνδυνη και πρέπει να υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία και όχι να διατίθεται στο περιβάλλον. Στη μελέτη αυτή θεωρείται ότι όλο το αδρανές υπόλειμμα είναι αβλαβές για το περιβάλλον και διατίθεται σε ΧΥΤΥ.

Σύμφωνα με το σχεδιασμό του σεναρίου III οδηγείται σε ΧΥΤΥ το υπόλειμμα που παράγεται στις εξής φάσεις:

1. Μετά το ΣΜΔ 2 και το διαχωρισμό των ανακτήσιμων μετάλλων, το υπόλειμμα, που ανέρχεται σε 183 τόνους ημερησίως ($1.075 \text{ m}^3/\text{day}$), οδηγείται σε ΧΥΤΥ.
2. Μετά την καύση, εκτός από ενέργεια παράγονται 39.355 kg ($V = 39.355/138,6 = 284 \text{ m}^3$) υπολείμματος από τη διεργασία, το οποίο επίσης καταλήγει σε ΧΥΤΥ.

Το συνολικό υπόλειμμα του Σεναρίου III που οδηγείται σε ΧΥΤΥ είναι:

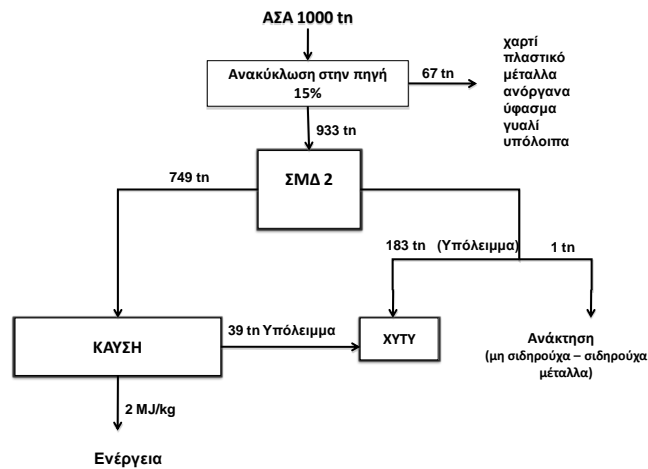
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ III ΠΡΟΣ ΧΥΤΥ	
υπόλειμμα ΣΜΔ 2 (kg/day)	187745
υπόλειμμα ΣΜΔ 2 (m^3/day)	1075
υπόλειμμα θερμικής επεξ. (kg/day)	39355
υπόλειμμα θερμικής επεξ. (m^3/day)	284
Συνολικός όγκος υπολείμματος (m^3/day)	1359

ΠΙΝΑΚΑΣ 56: Συνολικός όγκος υπολείμματος Σεναρίου III

Θεωρώντας ότι ο ΧΥΤΥ έχει 5 χρόνια ζωής, συμπεραίνουμε ότι θα δέχεται ετησίως $365 \cdot 1359 = 496.095 \text{ m}^3$ και μετά το πέρας και του 5^{ου} έτους θα έχει δεχθεί συνολικά $5 \cdot 496.095 = 2.480.475 \text{ m}^3 \sim 2.500.000 \text{ m}^3$ υπολειμμάτων ΑΣΑ.

Εκτιμάται ότι η απαιτούμενη έκταση του ΧΥΤΥ είναι ίση περίπου με 500 στρέμματα.

Στο διάγραμμα ροής 11 παρουσιάζεται το ολοκληρωμένο διάγραμμα ροής που περιγράφει το Σενάριο III:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 10: Διάγραμμα ροής Σεναρίου III

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός των σεναρίων I, II & III που μελετούνται και οι υπολογισμοί των βασικών χαρακτηριστικών των διεργασιών κατά τον κύκλο ζωής τους. Ακολουθεί η παρουσίαση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων, όπως αυτά λαμβάνονται με τη χρήση του προγράμματος SimaPro.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής των τριών Σεναρίων Ολοκληρωμένης Διαχείρισης ΑΣΑ. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τριών Σεναρίων Ολοκληρωμένης Διαχείρισης ΑΣΑ υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος SimaPro7.1 και είναι ομαδοποιημένες σύμφωνα με τις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παρουσιάζει η μεθοδολογία που επιλέχθηκε (CML baseline 2000).

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα δεδομένα και οι υποθέσεις που λήφθηκαν υπόψη κατά την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό στην ενότητα της απογραφής δεδομένων. Έπειτα παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, καθώς και τα δέντρα διεργασιών των σεναρίων που έχουν αναπτυχθεί, όπου απεικονίζεται σχηματικά η σύνδεση μεταξύ των διαφόρων διεργασιών ολόκληρου του κύκλου ζωής των σεναρίων.

Λόγω της υποχρεωτικής χρήσης της αγγλικής γλώσσας για τη χρήση του SimaPro 7.1, τα ονόματα όλων των σταδίων που περιγράφουν τα δέντρα διεργασιών έχουν γραφτεί στη γλώσσα αυτή. Είναι απαραίτητη μία αντιστοίχιση της σημασίας των όρων που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα με την ελληνική, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα 57.

Έκφραση SimaPro	Σημασία
LIFE CYCLE_anaerobic scenario I	Κύκλος Ζωής ΣΕΝΑΡΙΟΥ I (χωρίς χρήση βιοαερίου)
LIFE CYCLE_anaerobic scenario II	Κύκλος Ζωής ΣΕΝΑΡΙΟΥ I (με χρήση βιοαερίου)
LIFE CYCLE_composting scenario	Κύκλος Ζωής ΣΕΝΑΡΙΟΥ II
LIFE CYCLE_incineration scenario	Κύκλος Ζωής ΣΕΝΑΡΙΟΥ III
Electricity GR	Μίγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα
collection bins	Παραγωγή υλικών από τα οποία κατασκευάζονται οι κάδοι συλλογής (χάλυβας & HDPE)
collection-transportation	Καύσιμα για τη μεταφορά των ΑΣΑ από τις θέσεις συλλογής στο σταθμό επεξεργασίας-διάθεσης (σε tkm)
mechanical separation	Ηλεκτρική ενέργεια για τη μονάδα μηχανικού διαχωρισμού
anaerobic digestion resources I	Πρώτες ύλες και ενέργεια που απαιτούνται για τη διεργασία
anaerobic digestion_resources II	
composting_resources	
incineration_resources	
anaerobic digestion waste_treatment	Διαχείριση του υπολείμματος από τη διεργασία
composting waste_treatment	
incineration waste_treatment	
mechanical separation(1) waste_treatment	Διαχείριση του υπολείμματος του Μηχανικού Διαχωρισμού (εμπεριέχεται η ανακύκλωση των ανακτώμενων υλικών)
mechanical separation(2) waste_treatment	
waste treatment_anaerobic scenario I	Ολοκληρωμένη μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ για κάθε σενάριο
waste treatment_anaerobic scenario II	
waste treatment_composting scenario	
waste treatment_incineration scenario	

ΠΙΝΑΚΑΣ 57: Ερμηνεία όρων περιγραφής διεργασιών στο λογισμικό SimaPro

4.1 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα χαρακτηριστικά των διεργασιών και των υλών που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό των σεναρίων στην Ανάλυση του Κύκλου Ζωής έχουν αντληθεί ως δεδομένα από τη βιβλιογραφία (ή έχουν γίνει παραδοχές βάσει συνδυασμού πολλαπλών δεδομένων), ή από τις βάσεις δεδομένων BUWAL250 και ETH-ESU 96 του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκαν. Οι συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων έχουν δημιουργηθεί και καθοριστεί σύμφωνα με ελβετικά δεδομένα, επομένως έχει γίνει τροποποίηση του μίγματος πηγών ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την κατάσταση στην Ελλάδα λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία από το ΥΠΕΚΑ. Η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα αποτελείται από τις πηγές και τα ποσοστά που φαίνονται στον πίνακα:

	MWh/έτος	περιεκτικότητα
Λιγνίτης	35	56.5%
Πετρέλαιο	9	14.5%
Φυσικό Αέριο	13	21.0%
Υδροηλεκτρική Ενέργεια	5	8.1%
Συνολικά	62	100%

ΠΙΝΑΚΑΣ 58: Ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα (πηγή: ΥΠΕΚΑ)

Σημειώνεται ότι τα τελευταία χρόνια εμφανίζει κάποιο ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η αιολική ενέργεια, και μάλιστα με αυξητική τάση. Επειδή, όμως, είναι μικρή η ποσότητά της ακόμα δε λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη. Αναλύονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην κάθε επιμέρους διεργασία του κύκλου ζωής διαχείρισης αποβλήτων στα Σενάρια I, II & III:

Κάδοι συλλογής (collection bins)

Στο στάδιο αυτό υπολογίζεται η επιβάρυνση στο περιβάλλον από την παραγωγή της γαλβανισμένης λαμαρίνας από χάλυβα (steel) και του πλαστικού (HDPE), υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι μεταλλικοί κάδοι απορριμμάτων. Οι κάδοι είναι διαστάσεων 1,245 x 1,37 x 0,78 (m) (μήκος x πλάτος x ύψος) ($V = 1,3 \text{ m}^3$) και 0,015 m πάχους. Για την αποθήκευση 933 τόνων ΑΣΑ καθημερινά χρειάζονται 7.251 κάδοι ωφέλιμου όγκου $1,1 \text{ m}^3$. Υπολογίζεται ότι απαιτούνται 5 τόνοι χάλυβα για το μεταλλικό σώμα των κάδων και 24 kg πλαστικού για τα πλαστικά σκέπαστρα. Η καταναλισκόμενη ενέργεια για την κατασκευή των κάδων δε λαμβάνεται υπόψη.

Συλλογή και Μεταφορά (collection transportation)

Κατά τη συλλογή των απορριμμάτων από τις θέσεις απόρριψής τους χρησιμοποιούνται λεωφορεία χωρητικότητας 28 τόνων (Truck 28t). Η διεργασία της μεταφοράς μεταφράζεται σε tkm, δηλαδή στη μεταφορά φορτίου 1 tn για απόσταση 1 km ή 1 kg για 1.000 km. Η μέση απόσταση μεταξύ των κάδων είναι 0,16 km ενώ η απόσταση από τον τελευταίο κάδο έως το σημείο επεξεργασίας/διάθεσης είναι 40 km. Η συνολική απόσταση που διανύει ένα απορριμματοφόρο σε μία διαδρομή είναι 50 km και ο αριθμός των οχημάτων που χρησιμοποιούνται είναι 56 και πραγματοποιούν δύο διαδρομές ημερησίως. Υπολογίζεται ότι διανύονται καθημερινά 5.614 km από τα απορριμματοφόρα μεταφέροντας 933 τόνους απορριμμάτων, δηλαδή 52.373.565,5 tkm/day.

Μηχανικός Διαχωρισμός (mechanical separation)

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μία μονάδα επεξεργασίας 117 tn/day καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 150 kW ετησίως. Ανάγοντας την ποσότητα ισχύος για την επεξεργασία 933 tn/day υπολογίζεται ότι ετησίως καταναλώνεται ισχύς 1.200 kW ή 28.800 kWh, δηλαδή 82 kWh ημερησίως. Δεχόμαστε ότι κατά τα ΣΜΔ 1 και ΣΜΔ 2 καταναλώνεται ίσο ποσό ενέργειας.

Μέθοδοι επεξεργασίας

Οι μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό των σεναρίων διαχείρισης στερεών αποβλήτων είναι η ανακύκλωση (μετάλλων και πλαστικού), η αναερόβια χώνευση, η κομποστοποίηση και η καύση.

Το ανακτώμενο κλάσμα από το Μηχανικό Διαχωρισμό αποτελείται από μη σιδηρούχα και σιδηρούχα μέταλλα καθώς και πλαστικό στην περίπτωση των βιολογικών επεξεργασιών, και μη σιδηρούχα και σιδηρούχα μέταλλα στην περίπτωση της καύσης. Τα μη σιδηρούχα μέταλλα θεωρείται ότι προσομοιάζουν με αλουμίνιο και τα σιδηρούχα με χάλυβα, οπότε χρησιμοποιούνται οι διεργασίες των αντίστοιχων υλικών της βάσης δεδομένων BUWAL250 για την ανακύκλωσή τους. Όσον αφορά τα πλαστικά, θεωρείται ότι δεν υπάρχει ποσότητα PVC στα απόβλητα που μελετώνται, κι επίσης χρησιμοποιείται κάποια διεργασία από τη βάση δεδομένων με αντίστοιχη σύσταση για την ανακύκλωση των πλαστικών.

Κατά την αναερόβια χώνευση απαιτείται νερό 4.411tn για την εξασφάλιση υγρασίας 70% στον αντιδραστήρα. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των αντιδραστήρων, η ποσότητα του οποίου ανέρχεται σε 1.422 tn. Στην περίπτωση μη αξιοποίησης του βιοαερίου ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ίδια τη μονάδα ή σε εξωτερικό χώρο υπολογίζεται ότι καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια 4.910 GJ ημερησίως για την υποστήριξη της διεργασίας.

Για την πραγματοποίηση της κομποστοποίησης απαιτούνται 622 tn O₂ για τη βιολογική οξειδωση και ξήρανση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος ημερησίως. Επιπλέον, η αερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται σε ανοιχτό χώρο έκτασης 236,5 στρεμμάτων όπου χρησιμοποιούνται διάφορα οχήματα και μηχανήματα για τη σωστή και αποτελεσματική λειτουργία της μονάδας. Αυτά τα μηχανήματα είναι οι αυτοκινούμενοι συμπιεστές, οι ερπυστριοφοροι φορτωτές και τα φορτηγά, τα οποία σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, καταναλώνουν 68m³ πετρελαίου ετησίως για την επεξεργασία 1.627 τόνων βιοαποδομήσιμων αποβλήτων. Θεωρούμε ότι κατά τη

συγκεκριμένη μελέτη καταναλώνονται 700 kg πετρελαίου ημερησίως για να καλυφθούν οι απαιτούμενες ανάγκες.

Για τη διεξαγωγή της καύσης χρησιμοποιούνται 562.519 kg O₂ και 4.000 GJ ηλεκτρικής ενέργειας.

Για τη διάθεση των υπολειμμάτων σε ΧΥΤΥ γίνεται χρήση της αντίστοιχης διεργασίας από τη βάση δεδομένων του προγράμματος.

4.2 ΔΕΝΤΡΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

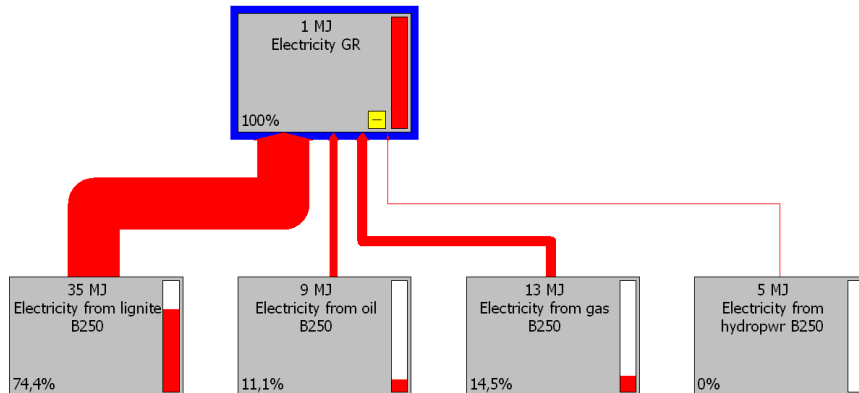
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα δέντρα των διεργασιών όπως λαμβάνονται από το σχεδιασμό και την εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στα ολοκληρωμένα σενάρια διαχείρισης των ΑΣΑ.

4.2.1 Δέντρο διεργασιών Ηλεκτρικής ενέργειας

Αρχικά παρουσιάζεται το δέντρο διεργασιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (Electricity GR), μιας και είναι μία διεργασία που αφενός έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως κατά το σχεδιασμό των σεναρίων διαχείρισης ΑΣΑ, αφετέρου εμφανίζει αρκετά σημαντικές επιπτώσεις στις περισσότερες περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση της.

Η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα παράγεται από λιγνίτη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και υδροηλεκτρική ενέργεια με ποσοστό συμμετοχής της κάθε πηγής όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 58.[36]

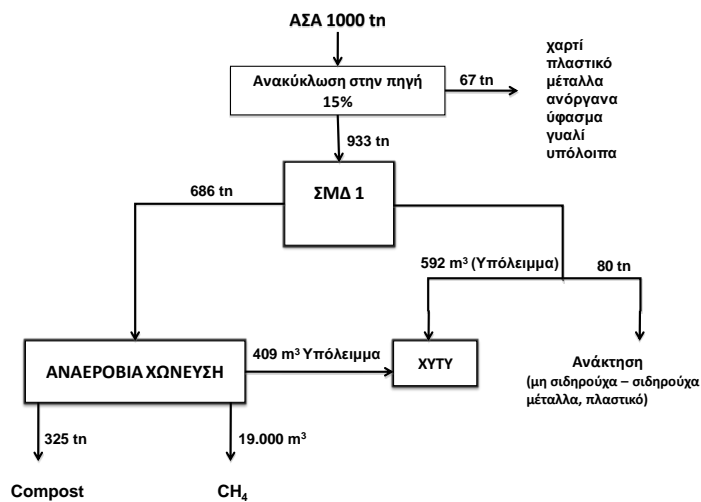
Στο σχήμα 14 παρουσιάζεται το δέντρο διεργασιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Σύμφωνα με το σχήμα η καύση του λιγνίτη είναι η κύρια πηγή περιβαλλοντικής επιβάρυνσης σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από καύση πετρελαίου και φυσικού αερίου οι οποίες συνεισφέρουν επίσης ένα σημαντικό ποσοστό επιβάρυνσης. Σε αντίθεση η υδροηλεκτρική ενέργεια εμφανίζει μηδενικό περιβαλλοντικό επιβαρυντικό φορτίο σύμφωνα με το δέντρο διεργασιών, αφενός λόγω του βιώσιμου χαρακτήρα της, αφετέρου λόγω της μικρής ποσότητας χρήσης της στην Ελλάδα συγκριτικά με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται.



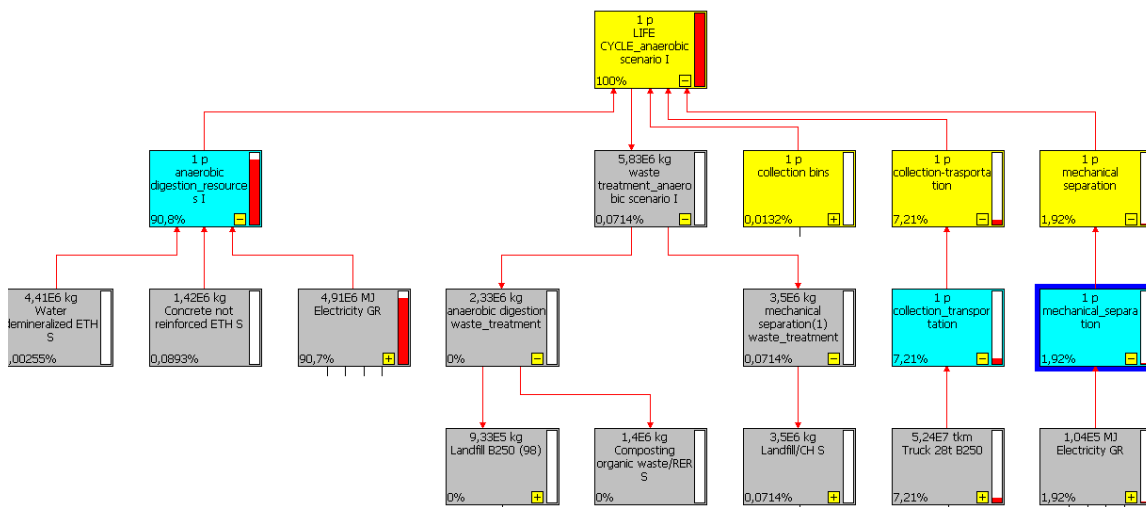
ΣΧΗΜΑ 14: Δέντρο Διεργασιών Ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

4.2.2 Δέντρο διεργασιών ΣΕΝΑΡΙΟΥ I

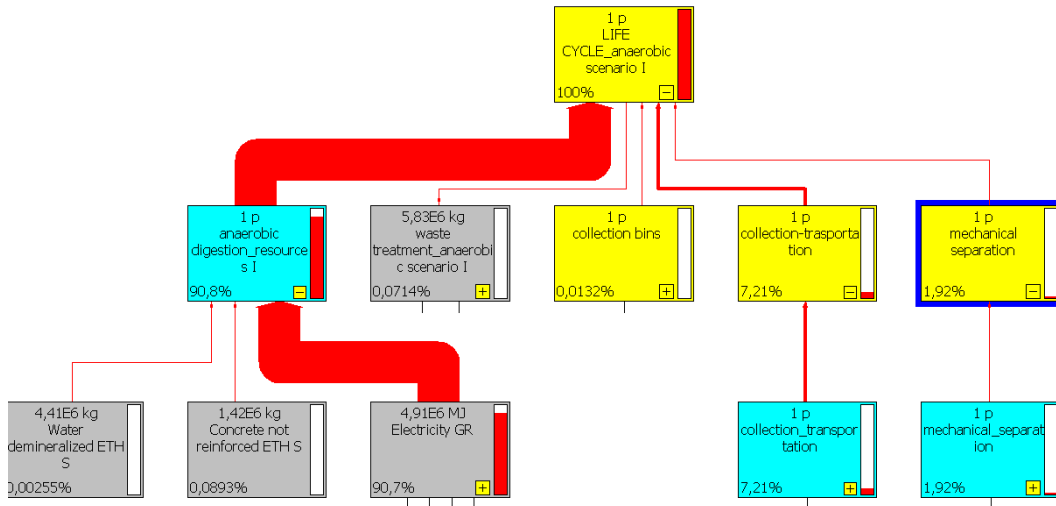
Στο διάγραμμα ροής 12 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του ΣΕΝΑΡΙΟΥ I σύμφωνα με το οποίο έχει γίνει ο σχεδιασμός και η καταγραφή δεδομένων στο πρόγραμμα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Στη συνέχεια, παρατίθεται το δέντρο διεργασιών που λαμβάνεται ως αποτέλεσμα του σχεδιασμού αυτού. Στο δέντρο παρουσιάζονται όλες τις διεργασίες που λήφθηκαν υπόψη κατά το σχεδιασμό του Σεναρίου I, καθώς και οι χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες και η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας. Τέλος, στο σχήμα 16 παρατίθεται μία επιπλέον μορφή του δέντρου, στην οποία δίνεται έμφαση στις κύριες επιβαρυντικές για το περιβάλλον διεργασίες κατά την εφαρμογή του ΣΕΝΑΡΙΟΥ I για τη διαχείριση των ΑΣΑ μιας πόλης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 11 : Διάγραμμα ροής Σεναρίου I



ΣΧΗΜΑ 15: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου I (χωρίς χρήση βιοαερίου)



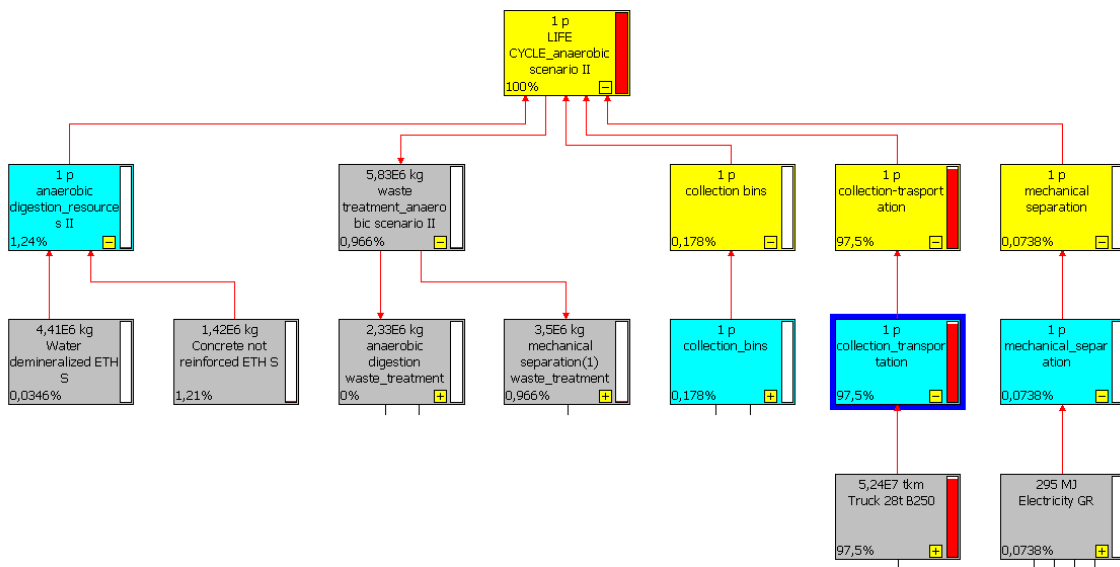
ΣΧΗΜΑ 16: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου I (χωρίς χρήση βιοαερίου)

Συμπερασματικά, το δέντρο του ΣΕΝΑΡΙΟΥ I παρέχει την πληροφορία ότι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης συμβάλλει κατά 90,7% στο συνολικό φορτίο επιπτώσεων, με την κατανάλωση καυσίμου για τη μεταφορά των στερεών αποβλήτων στο σταθμό επεξεργασίας – διάθεσης να έπεται με 7,21%.

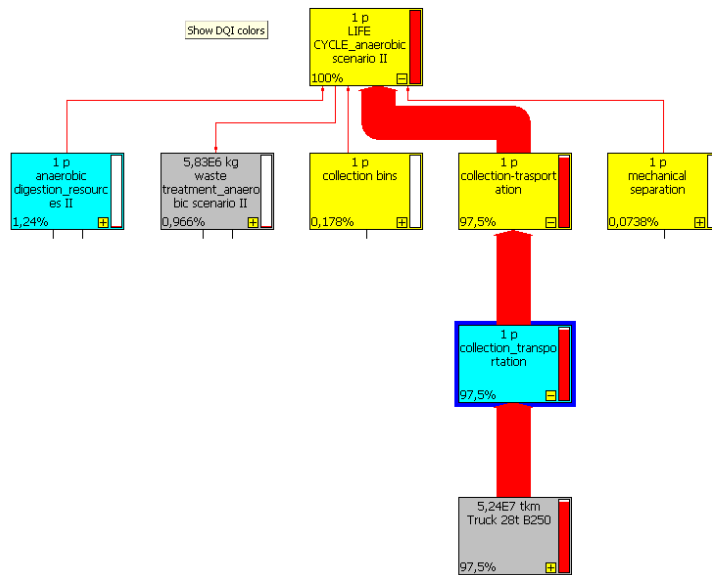
Όσον αφορά στις επιπτώσεις από τις μεθόδους διαχείρισης των ΑΣΑ που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό του συγκεκριμένου σεναρίου (waste treatment_anaerobic scenarioI) φαίνεται να είναι σχεδόν αμελητέες σε σχέση με αυτές της μεταφοράς, του μηχανικού διαχωρισμού και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για υποστήριξη της μονάδας αναερόβιας χώνευσης. Η διεργασία της διάθεσης σε ΧΥΤΥ έχει ληφθεί από τη βάση δεδομένων BUWAL250 του προγράμματος (Landfill B250) και έχει θεωρηθεί ότι προσομοιάζει με διάθεση των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν αυτές οι δύο μέθοδοι διαχείρισης. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη βάση δεδομένων θεωρείται ότι το παραγόμενο βιοαέριο κατά την παραμονή και βιοαποδόμηση του πτητικού κλάσματος των ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ αξιοποιείται ενεργειακά, γεγονός που οδηγεί τελικά στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων.

Εν συνεχεία, εξετάζεται μία παραλλαγή του ΣΕΝΑΡΙΟΥ I, κατά την οποία θεωρείται ότι όλη η ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ ιδιοκαταναλώνεται από τη μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας για να καλύψει τις ενεργειακές της ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια ή

καταναλώνεται από κάποια άλλη μονάδα. Η ενεργειακή αξιοποίηση του μεθανίου έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που δύναται να ιδιοκαταναλωθεί για τη λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης αλλά και για τις ανάγκες λειτουργίας των άλλων διεργασιών του σεναρίου. Το δέντρο διεργασιών στην περίπτωση του ΣΕΝΑΡΙΟΥ I (με χρήση του βιοαερίου) παρουσιάζεται στο σχήμα 17. Αναφορικά με τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης (anaerobic digestion_resources II), στην περίπτωση αυτή απουσιάζει η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας ως απαραίτητη πρώτη ύλη για τη διεξαγωγή της επεξεργασίας. Επομένως, το κύριο φορτίο επιβάρυνσης μετατοπίζεται στη μεταφορά, η οποία εμφανίζει ποσοστό 97,5% και ακολουθούν οι πρώτες ύλες και ενέργεια για την πραγματοποίηση της αναερόβιας χώνευσης που ευθύνονται για το 1,24% των συνολικών αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Παρατίθεται ένα δέντρο διεργασιών στο οποίο δίνεται έμφαση στις κύριες διεργασίες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης κατά την παραλλαγή του Σεναρίου I.



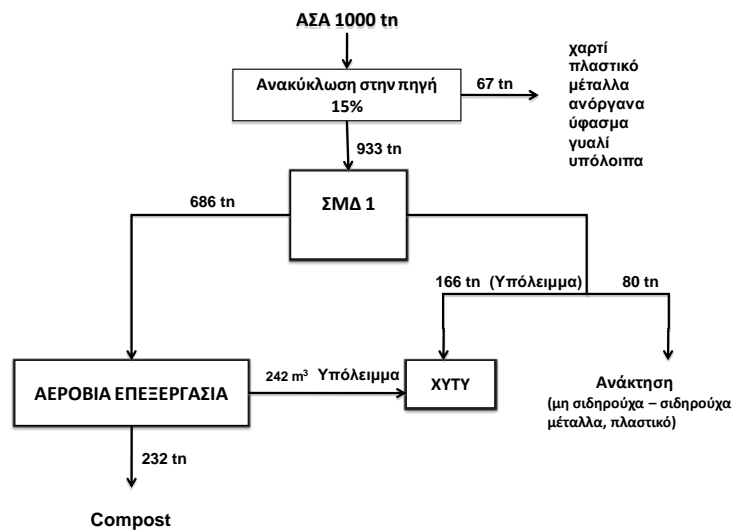
ΣΧΗΜΑ 17: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου I (με χρήση βιοαερίου)



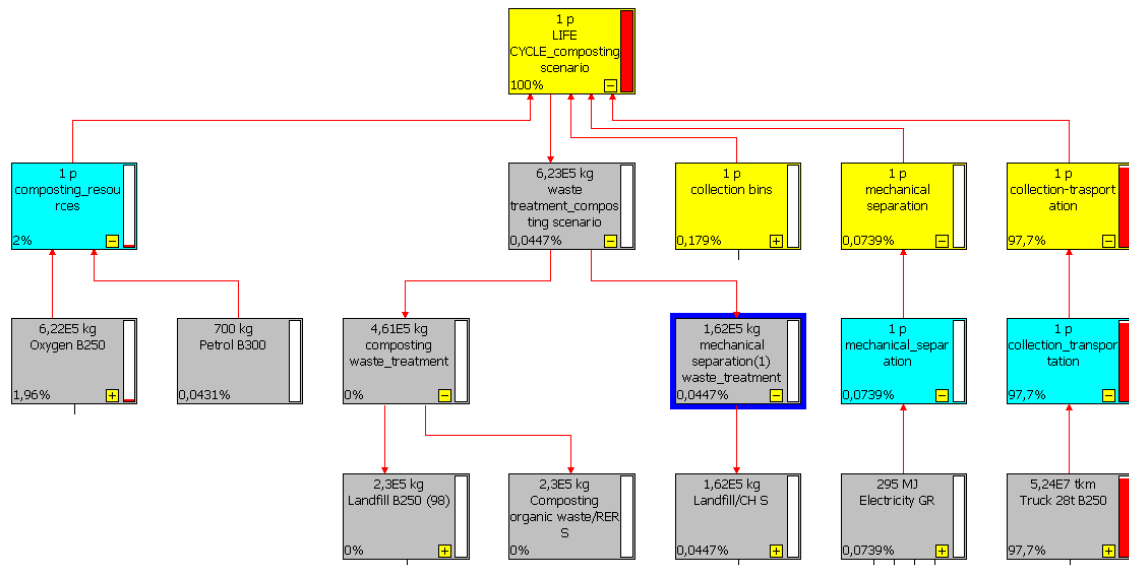
ΣΧΗΜΑ 18: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου I (με χρήση βιοαερίου)

4.2.3 Δέντρο διεργασιών ΣΕΝΑΡΙΟΥ II

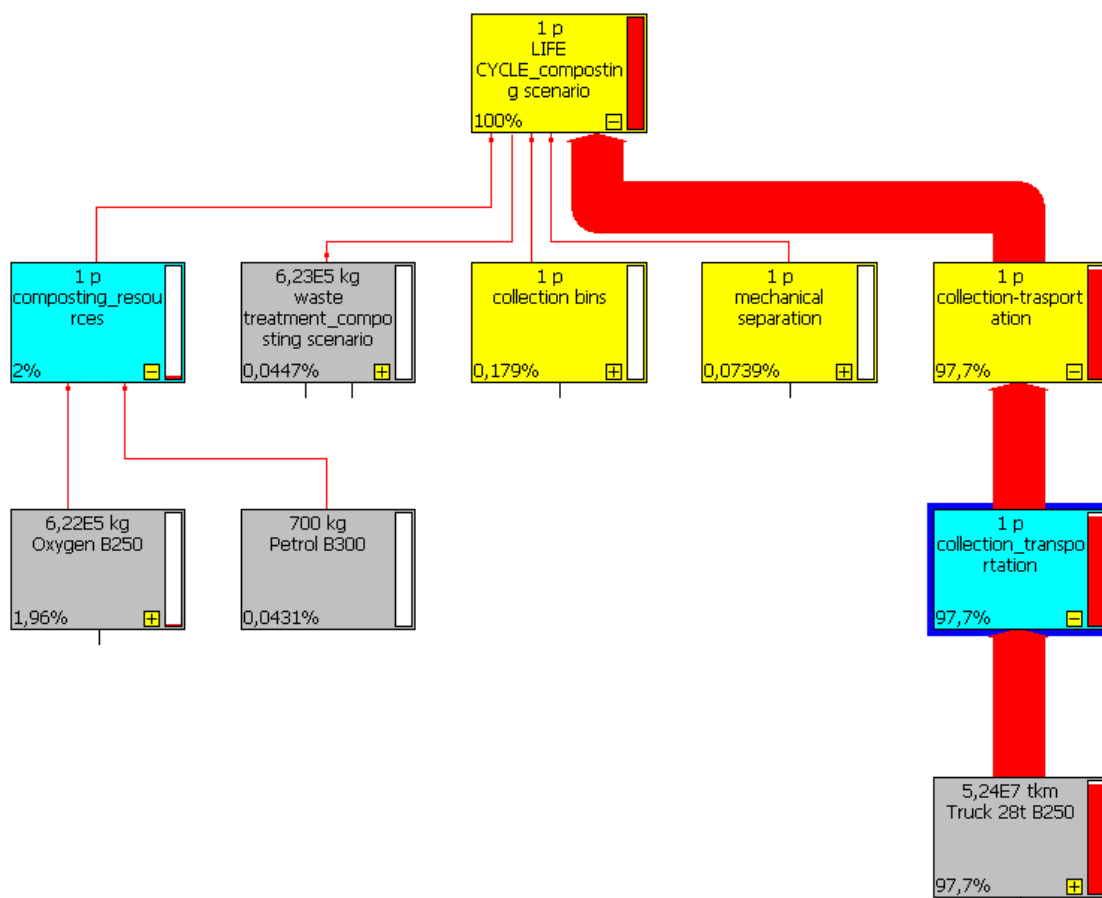
Στο διάγραμμα ροής 13 παρουσιάζεται το γενικό διάγραμμα ροής που ακολουθεί το Σενάριο II και σύμφωνα με το οποίο έχει σχεδιαστεί και αναλυθεί ο κύκλος ζωής του. Στο σχήμα 19 παρατίθεται το δέντρο διεργασιών που εμφανίζει όλες τις διεργασίες προεπεξεργασίας κι επεξεργασίας των αποβλήτων που λαμβάνουν χώρα, καθώς και το ποσοστό συμβολής τους στο συνολικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχει η εφαρμογή του εν λόγω σεναρίου. Παρατίθεται, επιπλέον, μία επιπλέον μορφή του δέντρου, στην οποία δίνεται έμφαση στις κύριες επιβαρυντικές διεργασίες για το περιβάλλον κατά την εφαρμογή του Σεναρίου II για τη διαχείριση των ΑΣΑ μιας πόλης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 12: Διάγραμμα ροής Σεναρίου II



ΣΧΗΜΑ 19: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου II

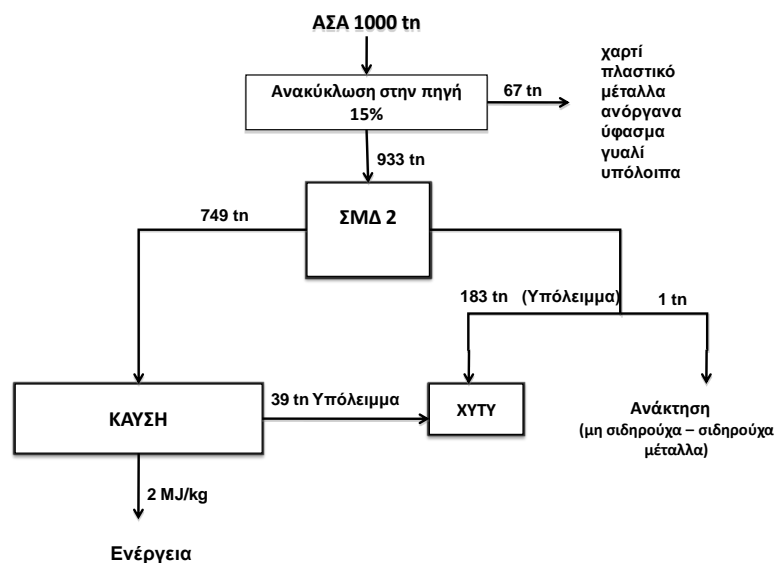


ΣΧΗΜΑ 20: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου II

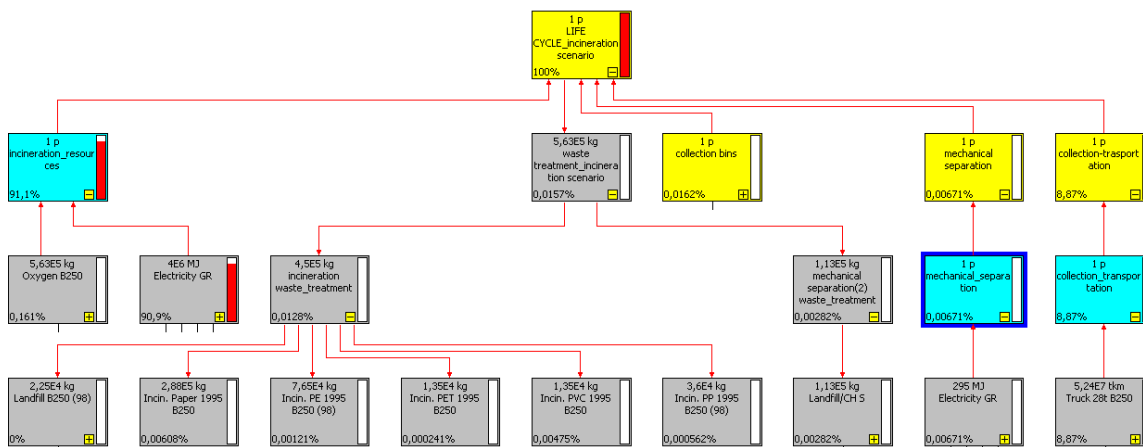
Παρατηρείται ότι η συλλογή και η μεταφορά των ΑΣΑ προς το κέντρο επεξεργασίας – διάθεσης επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον, με ποσοστό συμβολής 97,7%. Αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον επιφέρει η απομόνωση του οξυγόνου και η κατανάλωσή του κατά την αερόβια επεξεργασία.

4.2.4 Δέντρο διεργασιών Σεναρίου III

Στο διάγραμμα ροής 14 παρουσιάζεται το γενικό διάγραμμα ροής του Σενάριο III και στο σχήμα 21 παρουσιάζεται το δέντρο διεργασιών του Σενάριο III που λαμβάνεται από το πρόγραμμα σύμφωνα με τις βασικές εισροές και εκροές προς και από το σύστημα και κατά το σχεδιασμό και την καταγραφή δεδομένων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 13: Διάγραμμα ροής Σεναρίου III



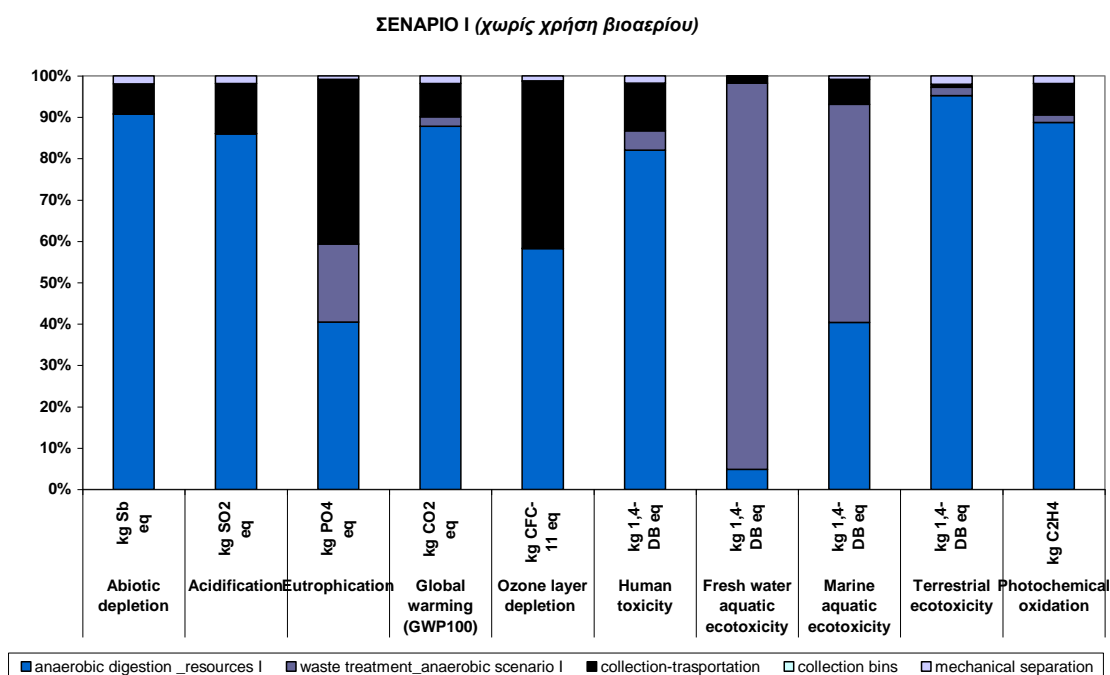
ΣΧΗΜΑ 21: Δέντρο διεργασιών Σεναρίου III

Σύμφωνα με το δέντρο διεργασιών προκύπτει ότι η κύρια πηγή περιβαλλοντικών προβλημάτων κατά την ανάλυση κύκλου ζωής του σεναρίου III είναι η καύση των ΑΣΑ η οποία χρησιμοποιείται ως η κύρια μέθοδος επεξεργασίας τους. Σε αυτό το αποτέλεσμα συμβάλλει και η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία της μονάδας θερμικής επεξεργασίας. Επιπλέον, σημαντική συμβολή στη ρύπανση του περιβάλλοντος έχουν η συλλογή και η μεταφορά των ΑΣΑ λόγω της χρήσης μη ανανεώσιμων πόρων για την υποστήριξη της συγκεκριμένης ενέργειας. Η διεργασία

της καύσης (incineration B250) έχει ληφθεί από τη βάση δεδομένων του προγράμματος BUWAL 250, σύμφωνα με την οποία θεωρείται ότι γίνεται ανάκτηση ενέργειας από τη θερμική επεξεργασία των πλαστικών και χαρτιού που λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό ότι υφίστανται καύση.

4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ & ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται και ερμηνεύονται τα κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως λαμβάνονται από το πρόγραμμα της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής SimaPro 7.1. Οι τομείς κατηγοριοποίησης επιπτώσεων έχουν ληφθεί με χρήση της μέθοδο CML baseline 2000. Αρχικά, εξετάζεται το καθένα ολοκληρωμένο σενάριο διαχείρισης ΑΣΑ ξεχωριστά και αναλύονται οι ποσοστιαίες επιπτώσεις των διαφορετικών διεργασιών στις αντίστοιχες κατηγορίες επιπτώσεων:

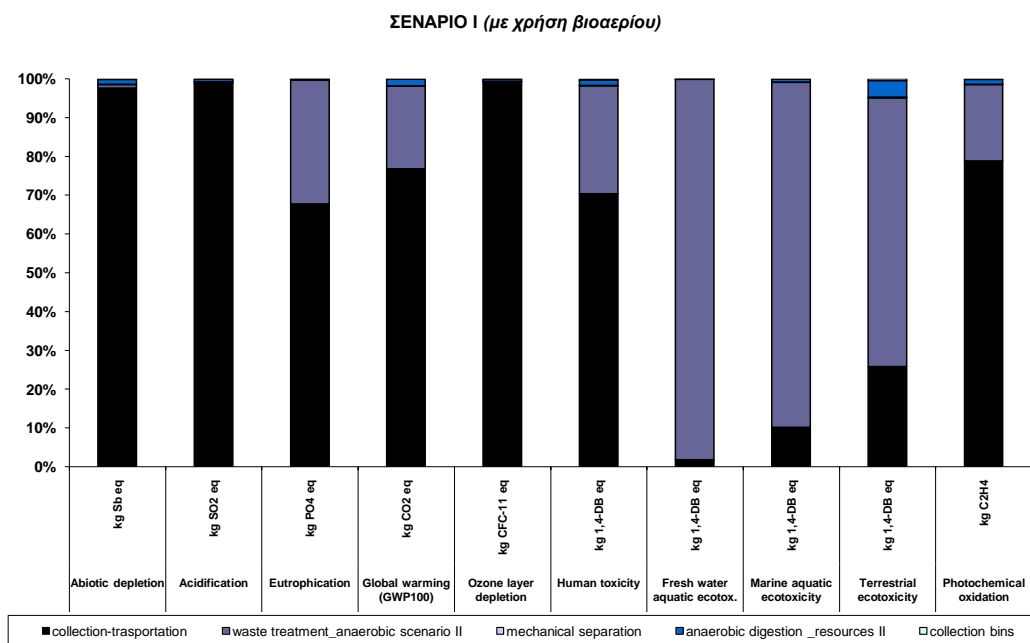


ΣΧΗΜΑ 22: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου I (χωρίς χρήση βιοαερίου)

Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από το παραπάνω διάγραμμα έρχονται εν γένει σε συμφωνία με εκείνες που λαμβάνονται από τα δέντρα διεργασιών, ότι δηλαδή η ενέργεια (η ηλεκτρική ενέργεια) που καταναλώνεται για τη λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης είναι ο κύριος παράγοντας που έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον

από το ΣΕΝΑΡΙΟ I (σενάριο στο οποίο δεν γίνεται αξιοποίηση του βιοαερίου). Ειδικότερα η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και κυρίως η καύση λιγνίτη, παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό επιβάρυνσης στις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων. Επιπλέον, σημαντική συνεισφορά έχει η χρήση καυσίμων από τη μεταφορά των ΑΣΑ από τις θέσεις συλλογής (κάδους) στο σταθμό επεξεργασίας και διάθεσης. Μία πληροφορία που δε λαμβάνουμε από το δέντρο διεργασιών του αντίστοιχου σεναρίου είναι οι υπολογίσιμες επιπτώσεις που υπάρχουν στα θαλάσσια και γλυκά ύδατα και η σημαντική συμβολή στο φαινόμενο του ευτροφισμού εξαιτίας των μεθόδων διαχείρισης, κυρίως της διάθεσης σε ΧΥΤΥ των υπολειμμάτων της συνολικής διεργασίας. Η επιβάρυνση των υδάτων αποδίδεται στην πιθανή επιβάρυνση του υδροφόρου ορίζοντα και των υπόγειων υδάτων από τα στραγγίσματα που παράγονται σε ένα χώρο υγειονομικής ταφής και που δεν αποτρέπονται πάντα επιτυχώς με τα υπάρχοντα τεχνικά μέσα (συμπυκνωμένη άργιλος, μεμβράνες). [1]

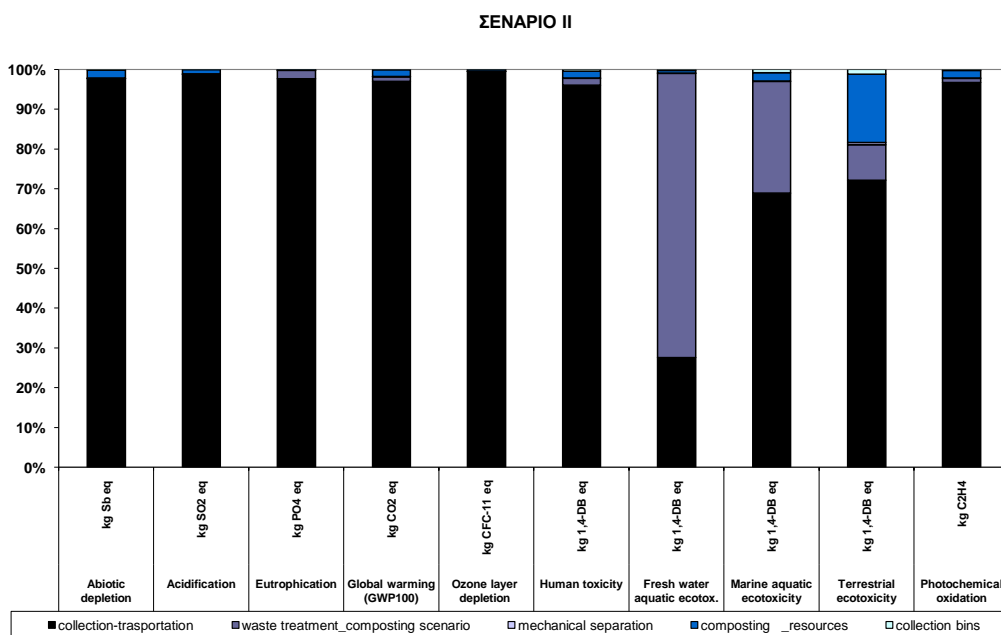
Εν συνεχεία, παρουσιάζεται το διάγραμμα επιπτώσεων της παραλλαγής του ΣΕΝΑΡΙΟΥ I, στο οποίο γίνεται αξιοποίηση του παραγόμενου μεθανίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



ΣΧΗΜΑ 23: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου I (με χρήση βιοαερίου)

Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται ότι οι χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες για τη λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης χωρίς τη χρήση εξωτερικής ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζουν πολύ μικρότερο επιβαρυντικό φορτίο, το οποίο στις περισσότερες κατηγορίες επίπτωσης είναι σχεδόν μηδενικό. Οι υπόλοιπες διεργασίες εκπέμπουν την ίδια ποσότητα ρύπων στον αέρα, τα ύδατα και το έδαφος σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο που μελετήθηκε, με τη μόνη διαφορά ότι η ποσοστιαία συμβολή τους στην κάθε κατηγορία επίπτωσης αλλάζει λόγω της απουσίας της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, κι επομένως, η μεταφορά είναι η διεργασία που παρουσιάζει τον εντονότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Για το ΣΕΝΑΡΙΟ II, το αντίστοιχο διάγραμμα έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στο σχήμα 24.

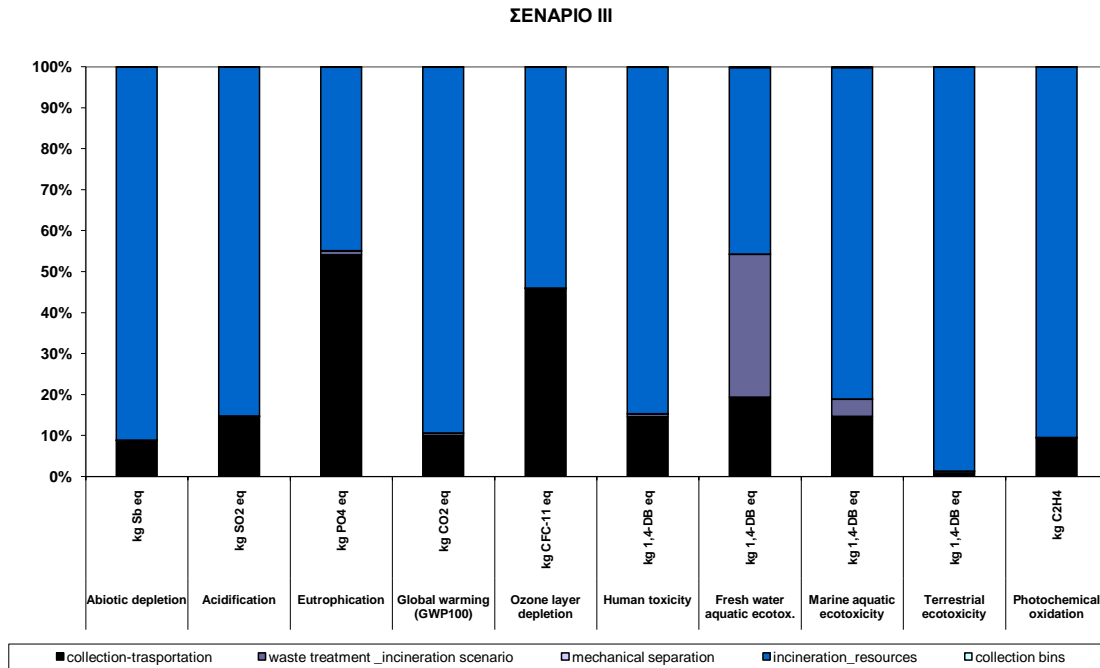


ΣΧΗΜΑ 24: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου II

Από το διάγραμμα λαμβάνουμε την εικόνα ότι μέγιστο επιβαρυντικό ρόλο παίζει και στην περίπτωση αυτή η διεργασία της συλλογής – μεταφοράς, καλύπτοντας πάνω από το 50% των εκπομπών στην πλειοψηφία των κατηγοριών επίπτωσης. Όσον αφορά τις μεθόδους διαχείρισης των ΑΣΑ, αυτές προκαλούν σημαντικό πρόβλημα στα γλυκά και θαλάσσια ύδατα κι εκτιμάται, όπως και στο ΣΕΝΑΡΙΟ I, ότι η μόλυνση αυτή

προέρχεται από τα στραγγίσματα που διαπερνούν το έδαφος στο χώρο υγειονομικής ταφής. Οι πρώτες ύλες για την πραγματοποίηση της κομποστοποίησης έχουν μια σημαντική συμβολή επίσης, η οποία αποδίδεται σε μεγάλο ποσοστό στην απομόνωση και χρήση οξυγόνου κατά τη βιολογική οξείδωση.

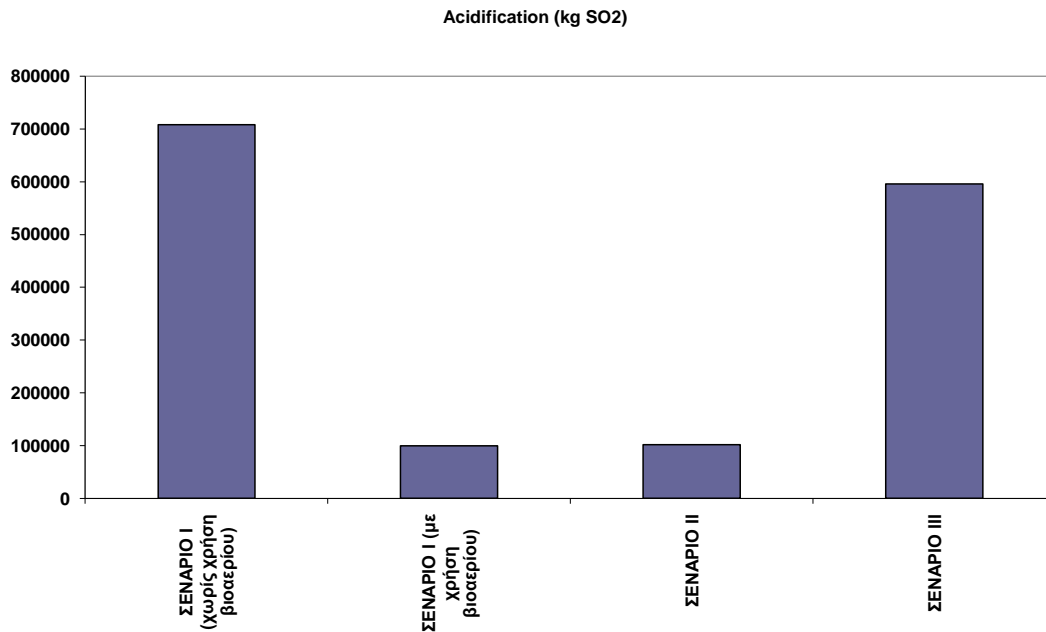
Τέλος, οι διεργασίες του ΣΕΝΑΡΙΟΥ III εμφανίζουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις με τον τρόπο που παρουσιάζει το διάγραμμα που ακολουθεί:



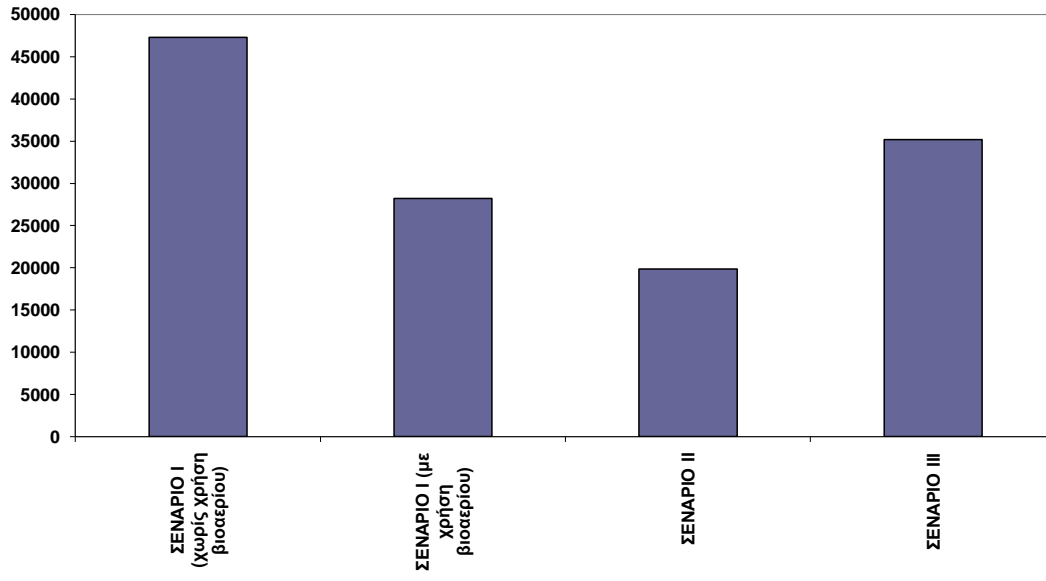
ΣΧΗΜΑ 25: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σεναρίου III

Στο παρόν σενάριο φαίνεται ότι η ενέργεια που απαιτείται για τη διεξαγωγή της διεργασίας της καύσης των ΑΣΑ μπορεί να δημιουργήσει αρκετά σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα σε όλες τις εξεταζόμενες κατηγορίες επιπτώσεων, είτε πρόκειται για εκπομπές στο αέριο και υδάτινο περιβάλλον, είτε στο έδαφος. Σημαντική επιρροή επίσης παρουσιάζει σε όλες τις κατηγορίες ενδιαφέροντος η μεταφορά των ΑΣΑ προς το κέντρο διαχείρισης, και κυρίως στην επιδείνωση των φαινομένων του ευτροφισμού και της μείωσης της στοιβάδας του όζοντος. Οι μέθοδοι διαχείρισης που εξετάζονται στο σενάριο αυτό προκαλούν σημαντική επιβάρυνση στο υδάτινο περιβάλλον.

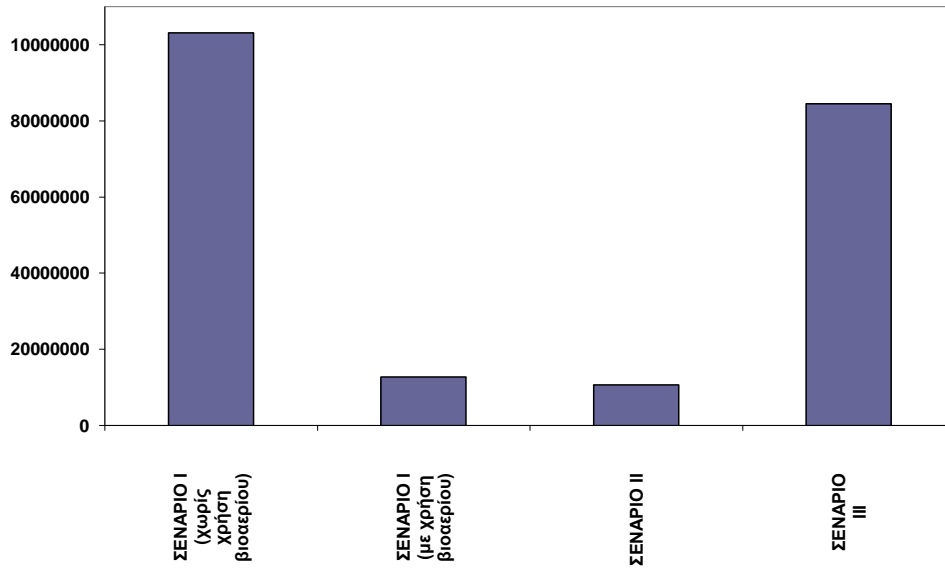
Στη συνέχεια πραγματοποιείται μία διαφορετική ανάλυση με σκοπό τον καθορισμό της επιρροής που έχει κάθε σενάριο ξεχωριστά σε κάθε μία από τις πιο σημαντικές κατηγορίες επίπτωσης. Επιλέγεται η οξίνιση (Acidification), ο ευτροφισμός (eutrophication), το φαινόμενο θερμοκηπίου (global warming), η μείωση της στοιβάδας του όζοντος (ozone layer depletion), οι οικοτοξικολογικές επιπτώσεις γλυκών υδάτων (fresh water aquatic ecotoxicity), οι θαλάσσιες οικοτοξικολογικές επιπτώσεις (marine aquatic ecotoxicity) και η φωτοχημική οξείδωση (photochemical oxidation). Στο τέλος παρουσιάζεται ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα όπου εμφανίζεται το ποσοστό συμβολής των συνολικών επιπτώσεων κάθε σεναρίου σε όλες τις κατηγορίες επίπτωσης που προσφέρονται από τη μέθοδο που έχει επιλεγεί.



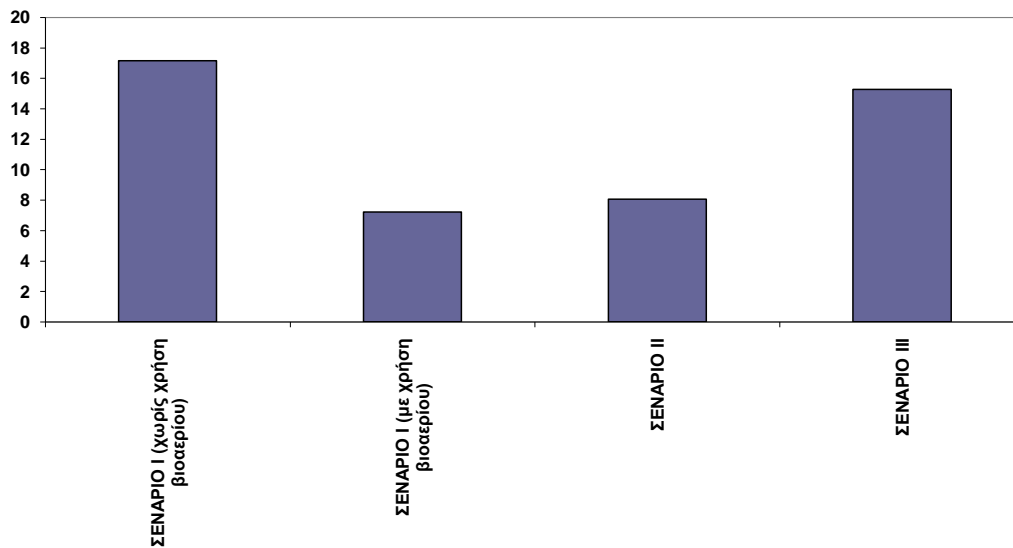
Eutrophication (kg PO4)



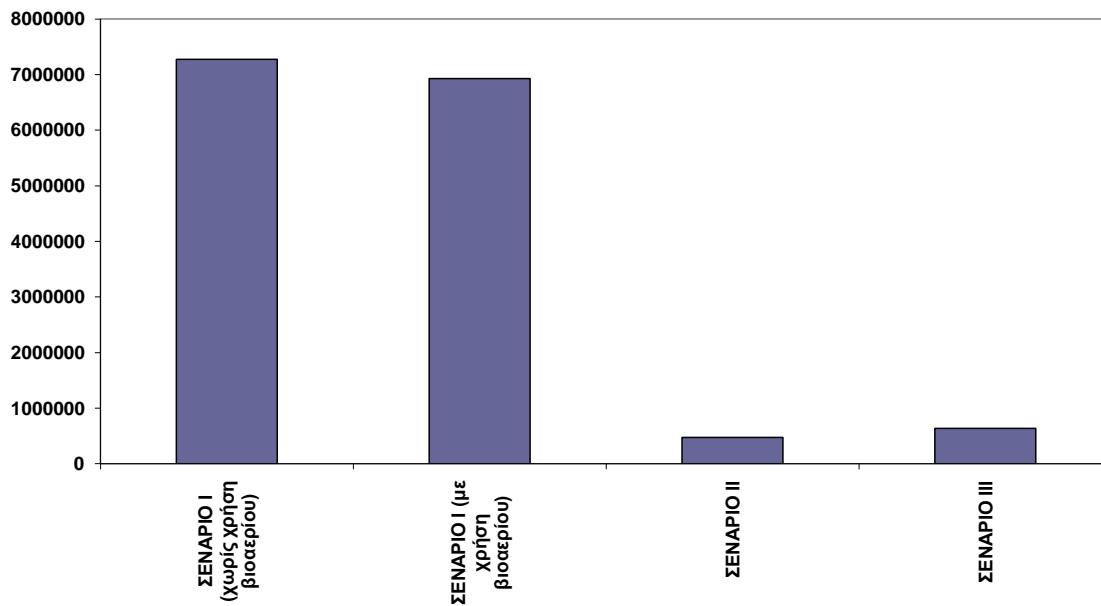
Global Warming (kg CO2)



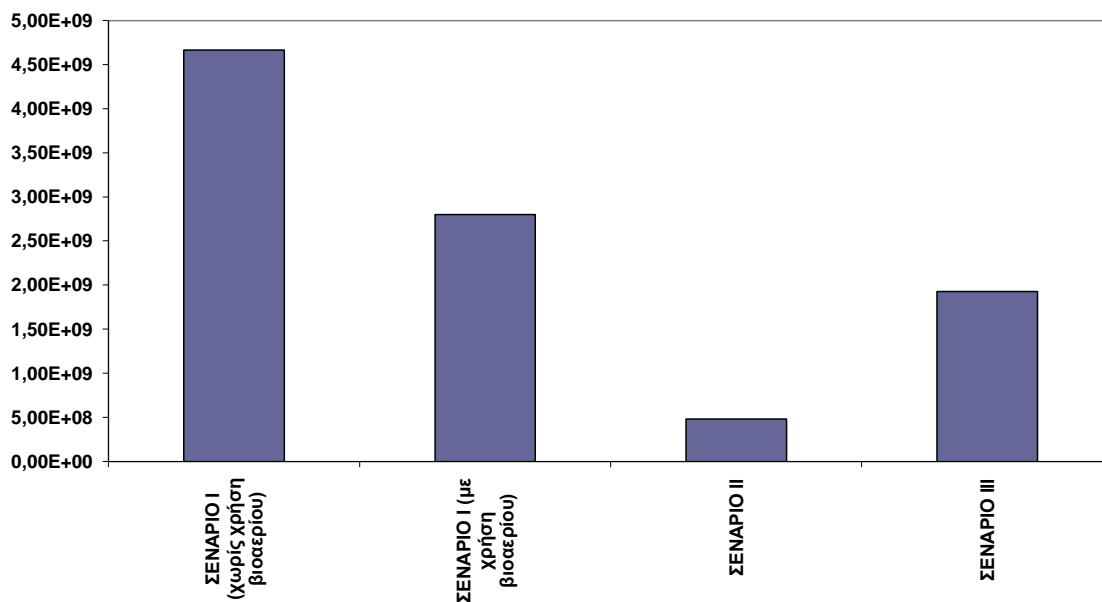
Ozone Layer Depletion (kg CFC-11)



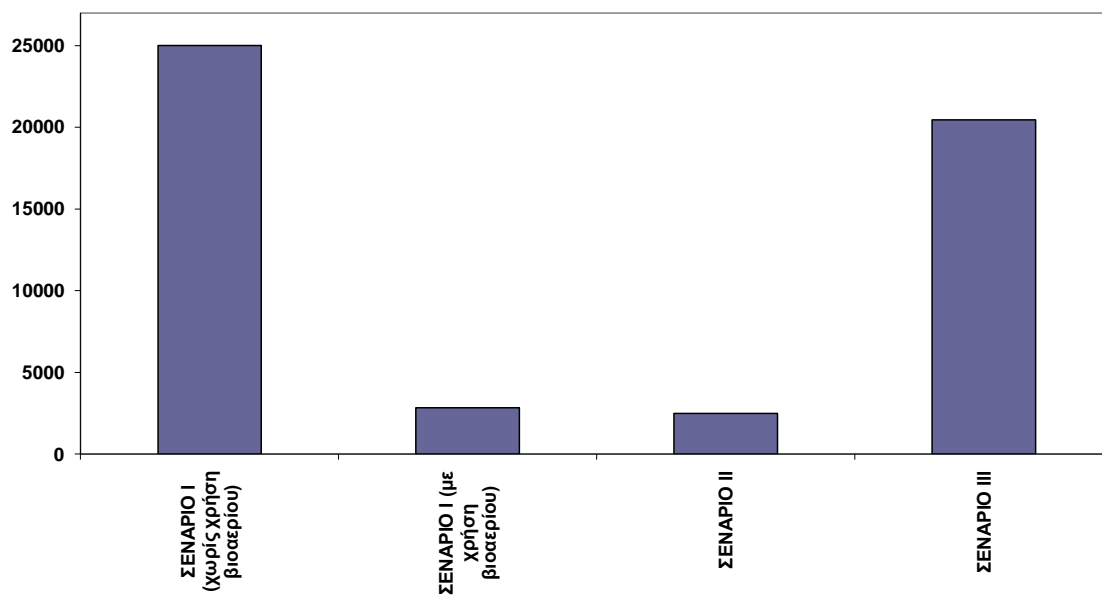
Fresh Water Aquatic Ecotoxicity (kg 1,4-DB)



Marine Aquatic Ecotoxicity (kg 1,4-DB)



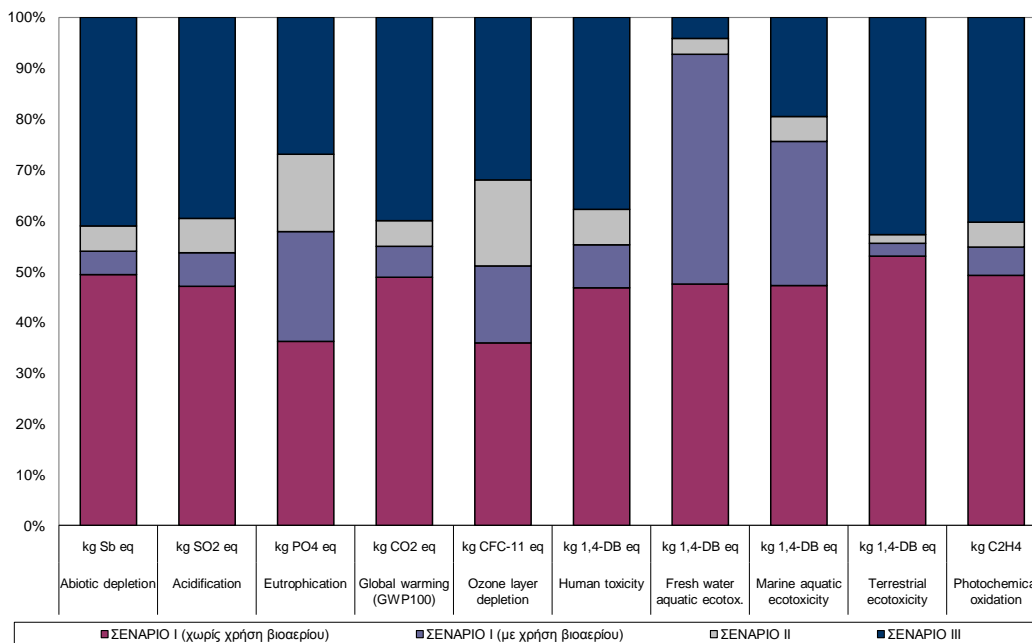
Photochemical Oxidation (kg C2H4)



ΣΧΗΜΑ 26: Διαγράμματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σεναρίων I, II & III ανά κατηγορία επίπτωσης

Ένα βασικό συμπέρασμα που εξάγεται από τα διαγράμματα επιπτώσεων είναι ότι το Σενάριο I στο οποίο εφαρμόζεται η αναερόβια χώνευση του βιολογικού κλάσματος των ΑΣΑ χωρίς χρήση του παραγόμενου βιοαερίου προβάλλει τις υψηλότερες επιπτώσεις σε κάθε κατηγορία, τις περισσότερες φορές με αρκετά μεγάλη διαφορά από αυτές των υπόλοιπων σεναρίων. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στα υψηλά επίπεδα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για την πραγματοποίηση της διεργασίας εάν εκείνη δεν παρέχεται από την καύση του παραγόμενου μεθανίου. Ακολουθεί με μεγαλύτερο βαθμό επίπτωσης στο περιβάλλον το Σενάριο III, έχοντας σημαντικές εκπομπές τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στο υδάτινο περιβάλλον, καθιστώντας το μάλλον μη προτιμητέο για εφαρμογή. Όσον αφορά στο Σενάριο I (αναερόβια χώνευση με χρήση του βιοαερίου), αυτό συμβάλλει αρκετά λιγότερο στην επιδείνωση των εξεταζόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων συγκριτικά με το εναλλακτικό Σενάριο I (αναερόβια χώνευση χωρίς χρήση του βιοαερίου). Σε σχέση με το Σενάριο II όπου η κύρια μέθοδος επεξεργασίας είναι η κομποστοποίηση, ο κύκλος ζωής του Σεναρίου I (αναερόβια χώνευση με χρήση του βιοαερίου) εμφανίζει μεγαλύτερη επιβάρυνση σε όλες τις κατηγορίες επίπτωσης πλην της μείωσης της στοιβάδας του όζοντος. Σε κάποιες περιπτώσεις η διαφορά που εμφανίζεται μεταξύ των δύο σεναρίων είναι αισθητή, σε άλλες, όπως στην επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου και της φωτοχημικής οξειδωσης, οι επιπτώσεις τους κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που ελήφθησαν από το SimaPro 7.1 ολοκληρώνεται με την παρουσίαση ενός συγκεντρωτικού διαγράμματος στο οποίο παρουσιάζεται η ποσοστιαία συμβολή του κάθε σεναρίου ολοκληρωμένης διαχείρισης ΑΣΑ στις διαφορετικές κατηγορίες επίπτωσης:



ΣΧΗΜΑ 25: Συγκεντρωτικό διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των Σεναρίων I, II & III σε όλες τις κατηγορίες επίπτωσης

Το παρόν διάγραμμα παρέχει μια ολοκληρωμένη συγκριτική εικόνα των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παρουσιάζει κάθε σενάριο διαχείρισης, αθροίζοντας τις επιπτώσεις των επιμέρους διεργασιών τους. Από το διάγραμμα διεξάγεται το συμπέρασμα ότι το Σενάριο I (αναερόβια χώνευση χωρίς χρήση του βιοαερίου) κατέχει το υψηλότερο ποσοστό συμβολής σε όλες τις κατηγορίες επίπτωσης. Το Σενάριο II επίσης συμβάλλει σημαντικά στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος στις περισσότερες από τις κατηγορίες που μελετώνται, με μεγαλύτερο μερίδιο στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, της φωτοχημικής οξειδωσης και στην επίγεια τοξικότητα. Επιπλέον, επαληθεύεται το γενικό συμπέρασμα που προέκυψε από τα διαγράμματα που παρατέθηκαν και σχολιάστηκαν προηγουμένως, δηλαδή ότι το σενάριο της κομποστοποίησης (Σενάριο II) εμφανίζει σε πολλές περιπτώσεις μικρότερη συνεισφορά στα περιβαλλοντικά φαινόμενα που εξετάζονται σε σχέση με το σενάριο αναερόβιας χώνευσης (αναερόβια χώνευση με χρήση βιοαερίου) (Σενάριο I), σε άλλες όμως περιπτώσεις τα επίπεδα επίπτωσης των δύο σεναρίων συμπίπτουν.

Από τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που λήφθηκαν εξάγεται το συμπέρασμα ότι το λιγότερο φιλικό προς το περιβάλλον σενάριο είναι το ΣΕΝΑΡΙΟ I

(αναερόβια χώνευση χωρίς χρήση του βιοαερίου) καθώς και το ΣΕΝΑΡΙΟ III με κύρια μέθοδο επεξεργασίας την καύση. Τα δύο αυτά σενάρια εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά επιβάρυνσης στις περισσότερες κατηγορίες επίπτωσης.

Βάσει των αποτελεσμάτων, η προτιμότερη μέθοδος κύριας επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων είναι η αερόβια επεξεργασία και το Σενάριο II. Στην πραγματικότητα, όμως, επιλέγεται το Σενάριο I (αναερόβια χώνευση με χρήση του βιοαερίου) ως το προτιμότερο για εφαρμογή στη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων που παράγουν οι κάτοικοι μιας πόλης. Στην επιλογή αυτή παίζουν ρόλο αφενός οι μικρές διαφορές που εμφανίζουν τα δύο σενάρια βιολογικής επεξεργασίας σε σημαντικές κατηγορίες επίπτωσης όπως η οξίνιση, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η φωτοχημική οξειδωση και αφετέρου, η δεδομένη υπεροχή της αναερόβιας επεξεργασίας έναντι της αερόβιας και η πληθώρα πλεονεκτημάτων που εμφανίζει η μέθοδος κατά την εφαρμογή της για τη διαχείριση των ΑΣΑ ανά τον κόσμο.

Για παράδειγμα, η εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης δε θέτει περιορισμούς όσον αφορά το υπόστρωμα προς βιοαποδόμηση, καθιστώντας ευκολότερη την προεπεξεργασία του μίγματος. Επιπλέον, κατά τη διεργασία αυτή δεν εκπέμπονται αέρια του θερμοκηπίου και οι ρύποι γενικά είναι μηδενικοί. Τέλος, συγκριτικά με την αερόβια επεξεργασία, κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης παράγεται μεθάνιο, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά συμβάλλοντας στη μείωση της χρησιμοποίησης ορυκτών πόρων για την παραγωγή ενέργειας, καθώς και ένα μικρό ποσό εδαφοβελτιωτικού, ενώ κατά την κομποστοποίηση παράγεται μόνο το τελευταίο. Επισημαίνεται ότι η μικρή, πλην όμως σημαντική, απόκλιση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται κατά το Σενάριο II από την πραγματικότητα αποδίδεται στην έλλειψη λεπτομερών βάσεων δεδομένων από το πρόγραμμα για τις διεργασίες που χρησιμοποιούνται στο σενάριο αυτό, καθώς και η πραγματοποίηση πιο λεπτομερούς σχεδιασμού κατά το Σενάριο I.

4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ

Μετά από την παρουσίαση κι ερμηνεία των αποτελεσμάτων που αντλήθηκαν από το SimaPro 7,1, σειρά έχει ο εντοπισμός των σημείων που χρήζουν βελτίωσης λαμβάνοντας υπόψη την περιβαλλοντική επιβάρυνση καθ' όλο τον κύκλο ζωής των αστικών στερεών αποβλήτων που μελετώνται. Η εκτίμηση των βελτιώσεων θα ήταν αδύνατη χωρίς την παρουσία και κατανόηση των αποτελεσμάτων που σχολιάστηκαν στο προηγούμενο στάδιο.

Τα στάδια και οι διεργασίες του κύκλου ζωής των αποβλήτων που παρουσιάζουν περιθώρια βελτίωσης είναι τα εξής:

- Όπως έχει ήδη σχολιαστεί, οι μεταφορές φαίνεται να είναι από τις πιο επιβαρυντικές για το περιβάλλον ενέργεια κατά τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Ο λόγος είναι η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την τροφοδότηση των οχημάτων και οι εκπομπές της καύσης τους στο περιβάλλον. Εκτιμάται ότι ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος είναι η μείωση των διανυόμενων αποστάσεων, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την κατασκευή περισσότερων και μικρότερων χώρων επεξεργασίας – διάθεσης στην περιοχή που μελετάται, εάν θεωρηθούν αμελητέες οι επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει μία τέτοια κατασκευή. Ένας άλλος τρόπος μείωσης των επιβαρυντικών εκπομπών από τα καύσιμα των οχημάτων είναι η στροφή σε πιο φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα, όπως τα ηλεκτρικά ή υβριδικά, με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ή η χρήση βιοκαυσίμων, λύση που, όμως, φαντάζει ουτοπική. Τέλος, η εφαρμογή του αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής με τη χρήση κενού αέρος, είναι μία λύση που εφαρμόζεται σε όλο τον κόσμο και την Ευρώπη και κατά την οποία πραγματοποιείται, όχι μόνο μεταφορά των αποβλήτων στο κέντρο συλλογής, αλλά και διαχωρισμός κάποιων κλασμάτων προς ανακύκλωση ή βιολογική επεξεργασία. Με το συγκεκριμένο σύστημα τα απορρίμματα μεταφέρονται με υψηλή ταχύτητα μέσω ενός υπόγειου δικτύου αγωγών μεταφοράς σε ένα κεντρικό σταθμό συλλογής, όπου συμπιέζονται, σφραγίζονται μέσα σε δεξαμενές και στη συνέχεια, εάν είναι επιθυμητό, διαχωρίζονται σε διάφορα κλάσματα. Επομένως η συγκεκριμένη μέθοδος απαλλάσσει το περιβάλλον από επιπλέον ρύπους κατά τα στάδια της μεταφοράς και του μηχανικού διαχωρισμού των στερεών αποβλήτων. [37]
- Ένα άλλο στάδιο που εμφανίζει περιθώρια βελτίωσης στο θέμα που μελετάται είναι ο μηχανικός διαχωρισμός, ο οποίος ευθύνεται επίσης για σημαντικό φορτίο εκπομπών στο περιβάλλον. Η πιο προφανής και αποτελεσματική λύση είναι η διαλογή στην πηγή, η οποία, αν γίνεται με αυστηρά κριτήρια, μπορεί να οδηγήσει σε ελαχιστοποίηση των αναγκών μηχανικού διαχωρισμού.
- Γενικότερα, συμπεραίνεται ότι οφείλεται να αποφεύγεται η χρήση ορυκτών πόρων για την υποστήριξη των διεργασιών κατά τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, διότι συμβάλλει αρκετά στην επιδείνωση αρκετών φαινομένων που πλήττουν την περιβαλλοντική ισορροπία και αλλοιώνουν το βιώσιμο χαρακτήρα της ολοκληρωμένης διαχείρισης αποβλήτων.

- Η επιλογή ΧΥΤΥ για τη διάθεση των υπολειμμάτων των διεργασιών στα διάφορα σενάρια έχει έντονες αρνητικές επιδράσεις στα θαλάσσια και γλυκά ύδατα όπως τονίστηκε κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Γενικά, η βελτιστοποίηση της τεχνολογίας στεγάνωσης των χώρων υγειονομικής ταφής είναι ένας τρόπος που μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των εν λόγω επιπτώσεων. Πιο αποτελεσματική και με πραγματική συρρίκνωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί να φανεί η μείωση της χρήσης των ΧΥΤΥ. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί η μείωση αυτή είναι η στροφή σε αποτελεσματική και σχολαστική διαλογή στην πηγή, με στόχο την ανάκτηση μεγαλύτερης ποσότητας υλικών και κατά συνέπεια τη διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής όλο και λιγότερων αντικειμένων που μπορούν να ανακυκλωθούν αλλά απορρίπτονται ως υπολείμματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές κατά τις διεργασίες του ολοκληρωμένου σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αστικών αποβλήτων συμβάλλει σε πολύ μεγάλο βαθμό στην περιβαλλοντική ρύπανση. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο επιβαρυντικό φορτίο παρουσιάζει η καύση του λιγνίτη που παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα μέχρι τις μέρες μας.
2. Η συλλογή των στερεών αποβλήτων από τα σημεία συλλογής και η μεταφορά τους προς το κέντρο επεξεργασίας και διάθεσης είναι μία απαραίτητη, πλην όμως ρυπογόνα ενέργεια. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τα οχήματα μεταφοράς συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη ρύπανση του αέρα προκαλώντας επιδείνωση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και τη φωτοχημική οξείδωση.
3. Ο μηχανικός διαχωρισμός είναι μια διεργασία μεγάλης σημασίας για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό διαχείρισης σύμμεικτων αστικών στερεών αποβλήτων διότι συμβάλλει στην εξασφάλιση των απαιτούμενων προϋποθέσεων που θέτει η εφαρμογή των μεθόδων επεξεργασίας. Όμως η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την υποστήριξη του μηχανολογικού εξοπλισμού είναι μία δραστηριότητα που μπορεί να επενεργήσει αρνητικά στη βιωσιμότητα της διαχείρισης των ΑΣΑ σε υπολογίσιμο βαθμό.
4. Η διάθεση των υπολειμμάτων σε χώρο υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ) επιφέρει αρκετά αρνητικά αποτελέσματα όσον αφορά τη ρύπανση σε θαλάσσια ή υπόγεια ύδατα, λόγω της διαρροής στραγγιδίων που περιέχουν μολυσματικούς παράγοντες στο έδαφος και κατ' επέκταση στα ύδατα.
5. Η αναερόβια χώνευση είναι μία μέθοδος διαχείρισης οργανικών αποβλήτων η οποία έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον εάν το παραγόμενο μεθάνιο από τη διεργασία δεν αξιοποιείται ενεργειακά. Η επίδραση προέρχεται, αφενός από την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας αναερόβιας χώνευσης από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας με τους ρύπους που αυτή συνεπάγεται, και αφετέρου από την απόρριψη στην ατμόσφαιρα της μεγάλης ποσότητας παραγόμενου μεθανίου, ενός από τα επικίνδυνα αέρια του θερμοκηπίου.
6. Η καύση είναι μία μέθοδος διαχείρισης που συντελεί στην επιδείνωση των περιβαλλοντικών φαινομένων με ποικίλους τρόπους. Χρησιμοποιείται ηλεκτρική

ενέργεια για τη λειτουργία μιας μονάδας καύσης των στερεών αστικών αποβλήτων. Από τη διεργασία παράγεται μία πληθώρα ρύπων που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα όπως διοξίνες, τοξικά βαρέα μέταλλα και αιωρούμενα σωματίδια, καθώς και επικίνδυνη για το έδαφος τέφρα η οποία απαιτεί ειδική τεχνολογία διαχείρισης.

7. Το σενάριο II με μέθοδο κύριας επεξεργασίας την αερόβια επεξεργασία εμφανίζει μειωμένους ρύπους στην ατμόσφαιρα, στα ύδατα και το έδαφος συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια, σύμφωνα με τις βάσεις δεδομένων στο SimaPro 7.1 για τις διεργασίες που ακολουθούνται σε αυτό, επομένως η εφαρμογή του κρίνεται σχετικά φιλική προς το περιβάλλον.
8. Η αναερόβια χώνευση με ταυτόχρονη αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας αναερόβιας χώνευσης ή άλλης μονάδας επιλέγεται ως η πιο ενδεδειγμένη, περιβαλλοντικά, μέθοδος επεξεργασίας των αστικών στερεών αποβλήτων. Συνεπώς, το σενάριο I (αναερόβια χώνευση με χρήση βιοαερίου) επιλέγεται ως το βέλτιστο σενάριο κατά την παρούσα μελέτη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΤΥΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΑ ΣΤΙΣ ΗΠΑ

	Τυπικές Τιμές Ποσοστό (%)	Τυπικές Τιμές Πυκνότητα (kg/m3)	Τυπικές Τιμές % Περιεκτικότητα σε υγρασία	Τυπική τιμή ενεργειακού περιεχομένου (kJ/kg)	Τυπική Τιμή Αδρανούς υπολείμματος %	Τυπικές τιμές % C ξ.β.	Τυπικές τιμές % H ξ.β.	Τυπικές τιμές %O ξ.β.	Τυπικές τιμές %N ξ.β.	Τυπικές τιμές %S ξ.β.	Τυπικές τιμές %στάχτη ξ.β.
υπολείμματα τροφών	9	291	70	4652	5	48	6.4	37.6	2.6	0.40	5
χαρτί	34	89	6	16747.2	6	43.5	6	44	0.3	0.20	6
χαρτόνι	6	50	5	16282	5	44	5.9	44.6	0.3	0.20	5
πλαστικά	7	65	2	32564	10	60	7.2	22.8	0	0.00	10
υφάσματα	2	65	10	17445	6.5	55	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
λάστιχο	0.5	131	2	23260	9.9	78	10		2	0.00	10
δέρμα	0.5	160	10	17445	8	60	8	11.6	10	0.40	10
υπολείμματα αυλών	18.5	101	60	6512.8	4.5	47.8	6	38	3.4	0.40	4.5
ξύλο	2	237	20	18608	1.5	49.5	6	42.7	0.2	0.10	1.5
λοιπά οργανικά	0	0	0		0						
γυαλί	8	196	2	139.56	98.9	0.5	0.1	0.4	0.1		98.9
λευκοσίδηρος	6	89	3	697.8	90.5	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5
αλουμίνιο	0.5	160	2	0	90.5	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5
άλλα μέταλλα	3	320	3	697.8	90.5	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5
λοιπά ανόργανα	3	481	8	697.8	68	26.3	3	2	0.5	0.2	68

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ 1

	Τυπικές Τιμές Ποσοστό (%)	Υπολογ. Μέσης Πυκνότητας (kg/m ³)	Υπολογ. Μέσης υγρασίας	Υπολογ. Ποσότητα (kg)	Ανακύκλωση στην Πηγή 15%	Υπόλοιπο προς Περαιτέρω Επεξεργ.	Χειρωνακτική απομακρυνση υλικων (πλαστικά/γυαλι/υφασματα/υπολοιπα/ανοργανα/ μεταλλα) 80%	Υπόλοιπο προς Περαιτέρω Επεξεργ.
					ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)
οργανικά	55.3	97.88	35.39	553000	0	553000		553000
χαρτί	15.7	13.05	0.92	157000	23550	133450		133450
ύφασμα	2.8	1.82	0.28	28000	4200	23800	19040	4760
μέταλλα	2.8	4.53	0.08	28000	4200	23800	19040	4760
γυαλί	2	3.92	0.04	20000	3000	17000	13600	3400
πλαστικά	8.5	5.53	0.17	85000	12750	72250	57800	14450
λεπτά (αδρανή)	7.7	37.04	0.62	77000	11550	65450	52360	13090
υπόλοιπα	5.2	10.80	0.81	52000	7800	44200	35360	8840
Σύνολο	100	175	38	1000000	67050	932950	197200	735750

μαγνητικός διαχωρισμός 95%	Υπόλοιπο προς Περαιτέρω Επεξεργ.	επαγωγικά ρεύματα 80%	Υπόλοιπο προς Περαιτέρω Επεξεργ.	Προς Βιολογική Επεξεργ.	Προς ΧΥΤΥ	Προς ΧΥΤΥ	ΑΝΑΚΤΗΣΗ	Υπολογ. Μέσης Πυκνότητας Υπολείμματος (kg/m ³)	Προς ΧΥΤΥ
ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	Ποσοστό (%)	ποσότητα (kg)		Ογκος (m ³)
	553000		553000	553000					
	133450		133450	133450					
	4760		4760		23800	0.143		9.3	
678.3	4081.7	2776	1306		1306	0.008	22494	1.3	
	3400		3400		17000	0.102		20.0	
	14450		14450		14450	0.087	57800	5.7	
	13090		13090		65450	0.394		189.4	
	8840		8840		44200	0.266		55.2	
678	735072	2776	732296	686450	166206		80294	281	592

ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΑΣΑ

ΤΥΠΟΣ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΑΣΑ												
	ποσότητα (kg)	Ξηρό βάρος (kg)	Τυπικές τιμές % C ξ.β.	Βάρος C (kg)	Τυπικές τιμές % H ξ.β.	Βάρος H (kg)	Τυπικές τιμές %O ξ.β.	Βάρος O (kg)	Τυπικές τιμές %N ξ.β.	Βάρος N (kg)	Τυπικές τιμές %S ξ.β.	Βάρος S (kg)
οργανικά	553000	199080	47.88	95319.5	6.2	12263.3	37.8	75331.9	3.1	6131.7	0.4	796.3
χαρτί	133450	125643	43.575	54749.0	6.0	7519.7	44.1	55396.1	0.3	376.9	0.2	251.3
Σύνολο	686450	324723		150068.5		19783.1		130727.9		6508.6		1047.6
	molesx10 ³			12506		19783		8170		465		33
	moles/moles N			27		43		18		1		
	moles/moles S			383		606		250		14		1
	moles/moles O			1.53		2.42		1.00				
ΑΡΑ: C ₂₇ H ₄₃ O ₁₈ N και C ₃₈₃ H ₆₀₆ O ₂₅₀ N ₁₄ S												

ΤΥΠΟΣ ΥΓΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΑΣΑ													
	ποσότητα (kg)	Ξηρό βάρος (kg)	βάρος υγρασίας (kg)	Τυπικές τιμές % C ξ.β.	Βάρος C (kg)	Τυπικές τιμές % H ξ.β.	Βάρος H (kg)	Τυπικές τιμές %O ξ.β.	Βάρος O (kg)	Τυπικές τιμές %N ξ.β.	Βάρος N (kg)	Τυπικές τιμές %S ξ.β.	Βάρος S (kg)
οργανικά	553000	199080	353920	47.88	95320	6.2	51588	37.8	389927	3.1	6132	0.4	796.32
χαρτί	133450	125643.175	7806.825	43.58	54749	6.0	8387	44.1	62335	0.3	377	0.2	251.3
Σύνολο	686450	324723.175	361726.825		150069		59975		452263		6509		1047.6
	molesx10 ³				12506		59975		28266		465		33
	moles/moles N				27		129		61		1		
	moles/moles S				383		1836		865		14		1
ΑΡΑ: C ₂₇ H ₁₂₉ O ₆₁ N και C ₃₈₃ H ₁₈₃₆ O ₈₆₅ N ₁₄ S													

ΣΥΛΛΟΓΗ / ΜΕΤΑΦΟΡΑ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑΣΙΜΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑΣΙΜΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ					
w (h)	0.15	a (h/διαδρομή)	0.022	Μέγεθος Κάδου	
t1 (h)	0.25	b (h/km)	0.01375	μήκος (m)	1.245
t2 (h)	0.33	ξ' (km)	0.16	πλάτος	1.37
v (m3)	24	a' (h/διαδρομή)	0.06	ύψος	0.78
r	2	b' (h/km)	0.02625	πάχος	0.015
c (m3)	1.1	Nd (διαδρομή/day)	111	A (m3)	0.015
f	0.67	Nw (διαδρομή/week)	779	B	0.016
uc (h)	0.05	Tscs (h/διαδρομή)	8	Γ	0.026
np (θέσεις/διαδρομή)	65	Tw(sc) (h/διαδρομή)	5824	συνολ. Αλουμίνιο (m3)	0.087
dbc (h)	0.0642	αρ. Φορτηγών/day (16ωρη λειτ.)	56	συνολ. Αλουμίνιο (7251 κάδοι)	629.2
s (h/διαδρομή)	0.1	αρ. Κάδων	7251	density of steel kg/m3	7.8
Pscs (h/διαδρομή)	7.37	συνολ. Απόσταση κάδων km	10	συνολ. Αλουμίνιο (7251 κάδοι) kg	4908.1
Vd (m3/day)	5344.25	συνολ. Απόσταση φορτηγών km/day	5614	συνολ. Πλαστικό	0.026
Vw (m3/week)	37409.75	h/day	896	density of HDPE kg/m3	950
ct (δοχεια/διαδρομή)	65	tkm/day	52373565.5	συνολ. Πλαστικό kg	24.3055125
ξ (km)	40				

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΟ ΚΛΑΣΜΑ ΠΡΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ							
	ποσότητα (kg)	Υπολογ. Ποσοστό	Ποσότητα υγρασίας (kg)	Ξηρό Βάρος (kg)	Μέση Πυκνότητα (kg/m ³)	Ογκος (m ³ /day)	Ογκος (ξηρού βάρους)(m ³ /day)
οργανικά	553000	81%	353920	199080	142.59		
χαρτί	133450	19%	7807	125643	16.16		
Σύνολο	686450		361727	324723	158.75	4324	2045
Περιεκτικότητα στερεών (κ.β.)	47%						
Περιεκτικότητα υγρασίας (κ.β.)	53%						

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ			
<i>Τυπικές τιμές</i>		<i>Υπολογισμοί</i>	
αποδόμηση οργ. [χώνευση] (%)	50	αποδομούμενα πτητικά (kg/day)	162362
αποδόμηση οργ. [λιπασμ/ση αναερόβιας] (%)	30	παραγόμενο compost (ξ.β.)(kg/day)	97417
		παραγόμενο compost (ξ.β.)(m ³ /day)	614
ειδ. Παραγωγή βιοαερίου (m ³ /ton)	200	παραγόμενο βιοαέριο (m ³ /day)	137290
περιεκτικότητα CH ₄ v/v (%)	65	παραγόμενο CH ₄ (m ³ /day)	89239
περιεκτικότητα CO ₂ v/v (%)	35	παραγόμενο CO ₂ (m ³ /day)	48052
Ενεργειακή απόδοση σε ρεύμα (%)	35	Ενεργειακή απόδοση σε ρεύμα (kJ)	1040304
Ενεργειακή απόδοση σε θερμότητα (%)	55	Ενεργειακή απόδοση σε θερμότητα (kJ)	1634763
ειδ. Απαίτηση ηλ.εν (kWh/ton)	100	Απαίτηση Ηλ. Ενέργεια (kWh)	1363624

Σχειδασμός Αντιδραστήρα (Υγρασία 70%)			
Vmix (m ³ /day)	6818	r (m)	10
mmix (kg/day)	6818120	D (m)	20
V _{H2O} (m ³ /day)--(kg/day)	4773	αρ. Αντιδραστήρων	120
θ (days)	20	αρ. συστημάτων (2 αντιραστήρες)	60
απαιτούμενος όγκος αντιδραστήρων (m ³)	136362	πάχος (m)	0.01
H (m)	8	όγκος τσιμέντου (m ³) (1 αντιδραστήρας)	5
Hωφ (m)	7	συνολικός όγκος τσιμέντου (m ³)	613
Vωφέλιμος (m ³)	2273	ρconcrete (kg/m ³)	2320
Vσυνολικός (m ³)	2597	mconcrete (tn)	1422

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΒΑΣΕΙ ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑΣ $C_{27}H_{43}O_{18}N + 8 H_2O \rightarrow 14 CH_4 + 13 CO_2 + NH_3$			
Mr C ₂₇ H ₄₃ O ₁₈ N	669	ρ CH ₄ (kg/m ³)	0.666
Mr CH ₄	16	V CO ₂ (m ³ /day)	76024
Mr CO ₂	44	V CH ₄ (m ³ /day)	81626
n C ₂₇ H ₄₃ O ₁₈ N (mol)	242693	παραγόμενο βιοαέριο (m ³ /day)	157651
n CH ₄ (mol)	3397701	ειδική παραγωγή βιοαερίου (m ³ /ton)	971
n CO ₂ (mol)	3155008	LHV _{CH4} (kJ/kg)	50.011
m CO ₂ (kg)	138820.4	Ενεργειακή απόδοση σε ρεύμα (kJ)	951566
m CH ₄ (kg)	54363	Ενεργειακή απόδοση σε θερμότητα (kJ)	1495318
ρ CO ₂ (kg/m ³)	1.826		

Αερόβια σταθεροποίηση compost	
αποδόμηση οργ. [λιπασμ/ση αναερόβιας]	30%
Υπολογ. Ξηρό Βάρος (kg)	324723
Υπολογ. Ογκος (στερεών)(m ³ /day)	2045
παραγόμενο compost (ξ.β.)(kg/day)	97417
παραγόμενο compost (ξ.β.)(m ³ /day)	614
Υγρό βάρος (30% υγρασία) (kg/day)	324723
γm (g/cm ³)	0.97
Υγρός όγκος compost (m ³ /day)	335
βιοαποδομησιμότητα	50%
compost (kg/day) (ξ.β.)	48708
υπολειμμα (kg/day) (ξ.β.)	48708
υπολειμμα (m ³ /day) (ξ.β.)	50.2
υπολειμμα (m ³ /day)	71.7

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΥΤΥ- ΣΕΝΑΡΙΟ Ι	
υπόλειμμα ΣΜΔ 1 (kg/day)	166206
υπόλειμμα ΣΜΔ 1 (m ³ /day)	592
υπόλειμμα αναερόβιας χων. (kg/day)	64945
υπόλειμμα αναερόβιας χων. (m ³ /day)	409
Συνολικός όγκος υπολείμματος (m ³ /day)	1001

ΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΟ ΚΛΑΣΜΑ ΠΡΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ							
	ποσότητα (kg)	Υπολογ. Ποσοστό	Ποσότητα υγρασίας (kg)	Ξηρό Βάρος (kg)	Μέση Πυκνότητα (kg/m ³)	Ογκος (m ³ /day)	Ογκος (ξηρού βάρους)(m ³ /day)
οργανικά	553000	81%	353920	199080	142.59		
χαρτί	133450	19%	7807	125643	16.16		
Σύνολο	686450		361727	324723	158.75	4324	2045
Περιεκτικότητα στερεών (κ.β.)				47%			
Περιεκτικότητα υγρασίας (κ.β.)				53%			

ΕΚΤΑΣΗ ΣΕΙΡΑΔΙΩΝ		ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	
διάρκεια (days)	25	Sr	0.7
όγκος (m ³ /day)	4324	πτητικά (ξ.β.)[αρχ.]	1.00
όγκος (m ³) (Υπολογ.)	108099	πτητικά (ξ.β.)[τελ.]	0.5
ύψος σειραδίου (m) (ισοσκελές τρίγωνο)	2.0	Sm	0.5
εμβαδόν τριγώνου (m ²)	4.0	Sc	0.47
βάθος σειραδίου (m)	100.0	Rd	0.20
όγκος σειραδίου (m ³)	400.0	Rw	0.135
αρ. Σειραδίων	270	Vc	1.00
έκταση (m ²)	216198	Vr	0.7
		Vm	0.950
		Vs	1

ΑΕΡΙΣΜΟΣ			
ΟΞΕΙΔΩΣΗ		ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	
βιοαποδομησιμότητα	50%	Χc (kg/day)	361727
g O ₂ / g οργανικού (τυπ. Τιμή)	1.7	ΔH ₂ O (kg/day)	190613
g O ₂ / g οργανικού [πραγματικό]	0.85	ΔH ₂ O (g/g ξ.β.)	0.59
απαιτ. αέρα (g/g ξ.β.)	4.05	απαιτ. αέρα (g/g ξ.β.)	4.28
g O ₂ / g οργανικού (υπολ. Στοιχειομετρία)	0.78	ton air / day	1391
απαιτ. αέρα (g/g ξ.β.) (υπολ. Στοιχειομετρία)	3.69		
ton O ₂ / day	252		
ton air / day	1198		
Συνολική Απαίτηση Αέρα = 2590 ton air/day			

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (1g στερεών στην τροφοδοσία)		ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (kcal)
Ταρχ. (°C)	20	
Ττελ. (°C)	60	
cp(στερ.) (cal/g°C)	0.25	
Qs (cal)	11.99	3894796
cp(H ₂ O.) (cal/g°C)	1	
Qw (cal)	55.6	18054609
cp(air.) (cal/g°C)	0.25	
Qa (cal)	89.8	29144421
ΔHvap(water) (cal/g)	587	
Qv (cal)	804	261139130
Συνολ. Εν. Απαίτηση (cal)	962	312232955
ΔHr (cal/g) (τυπ. Τιμή)	5500	
Qox (cal)	2750	892988731

kc	0.5
kr	2.5
W	2.75

ΑΕΡΙΟΣ ΧΩΡΟΣ			
Gv	1	γ_r (g/cm ³)	0.65
Gf	2.5	1/Gsm	0.7
1/Gs	1	Gsm	1.43
Gs	1.00	Gm	1.07
γ_w (g/cm ³)	1	f	0.07
γ_m (g/cm ³)	0.958	f'	0.38
γ_c (g/cm ³)	1.000		

ΟΓΚΟΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ	
βιοαποδομησιμότητα	50%
βιοσταθεροποιείται (kg ξ.β.):	162362
υπόλειμμα (kg ξ.β.):	162362
υπόλειμμα (kg) (υγρό β.):	231945
γ_m (g/cm ³)	0.958
υπόλειμμα (m ³)(ξ.β.):	169
υπόλειμμα (m ³):	242
compost (ξηρό βάρος) (m ³)	169
compost (υγρασία 30%) (m ³)	242
compost (υγρασία 30%) (kg)	231945

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΥΤΥ	
υπόλειμμα ΣΜΔ (kg/day)	166206
υπόλειμμα ΣΜΔ (m ³ /day)	592
υπόλειμμα αερόβιας χων. (kg/day)	231945
υπόλειμμα αερόβιας χων. (m ³ /day)	242
Συνολικός όγκος υπολείμματος (m ³ /day)	833.63

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ 2

					<i>Ανακύκλωση στην Πηγή 15%</i>	Υπόλοιπο προς Περαιτέρω Επεξεργ.	6% του βαρέος στο ελαφρύ	10% του ελαφρού στο βαρύ
	Ποσοστό (%)	Μέση Πυκνότητα (kg/m ³)	Μέση υγρασία	Ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)
οργανικά	55.3	97.88	35%	553000	0	553000	0	55300
χαρτί	15.7	13.05	92%	157000	23550	133450	0	13345
ύφασμα	2.8	1.82	28%	28000	4200	23800	0	2380
μέταλλα	2.8	4.53	8%	28000	4200	23800	1428	0
γυαλί	2	3.92	4%	20000	3000	17000	1020	0
πλαστικά	8.5	5.53	17%	85000	12750	72250	0	7225
αδρανή	7.7	37.04	62%	77000	11550	65450	3927	0
υπόλοιπα	5.2	10.80	81%	52000	7800	44200	0	4420
Σύνολο	100	174.57	38%	1000000	67050	932950	6375	82670

βαρύ κλάσμα - προς ΧΥΤΥ	βαρύ κλάσμα - προς ΧΥΤΥ	ελαφρύ κλάσμα	μαγνητικός διαχωρισμός 95% (ελαφ.κλάσμα)	επαγωγικά ρεύματα 80%	ΚΑΥΣΗ	ΚΑΥΣΗ	ΑΝΑΚΤΗΣΗ
ποσότητα (kg)	Ογκος (m ³)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	ποσότητα (kg)	Ογκος (m ³)	ποσότητα (kg)
55300		497700			497700		
13345		120105			120105		
2380		21420			21420		
22372		1428	203	971.04	253		1175
15980		1020			1020		
7225		65025			65025		
61523		3927			3927		
4420		39780			39780		
182545	1046	750405	203	971.04	749230	4292	1175

ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΠΤΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΣΑ

ΤΥΠΟΣ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΠΤΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΣΑ												
	ποσότητα (kg)	Ξηρό βάρος (kg)	Τυπικές τιμές % C ξ.β.	Βάρος C (kg)	Τυπικές τιμές % H ξ.β.	Βάρος H (kg)	Τυπικές τιμές %O ξ.β.	Βάρος O (kg)	Τυπικές τιμές %N ξ.β.	Βάρος N (kg)	Τυπικές τιμές %S ξ.β.	Βάρος S (kg)
οργανικά	497700	179172	47.88	85787.55	6.16	11037.00	37.84	67798.68	3.08	5518.50	0.4	716.688
χαρτί	120105	113078.86	43.575	49274.11	5.985	6767.77	44.09	49856.47	0.3	339.24	0.2	226.157715
ύφασμα	21420	19278	55	10602.9	6.6	1272.35	31.2	6014.74	4.6	886.79	0.15	28.917
πλαστικά	65025	63724.5	60	38234.7	7.2	4588.16	22.8	14529.19	0	0	0	0
υπόλοιπα	39780	33606.14	55.74	18732.06	6.96	2338.99	30.892	10381.61	2.056	690.94	0.132	44.36011008
Σύνολο	744030	408859.50		202631.33		26004.26		148580.69		7435.46		1016.122825
			molesx10 ³	16886		26004		9286		531		32
			moles/moles N	32		49		17		1		
			moles/moles S	533		821		293		17		1
ΑΡΑ C ₃₂ H ₄₉ O ₁₇ N και C ₅₃₃ H ₈₂₁ O ₂₉₃ N ₁₇ S												

ΤΥΠΟΣ ΥΓΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΠΤΗΤΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΣΑ													
	ποσότητα (kg)	Ξηρό βάρος (kg)	βάρος υγρασίας (kg)	% C ξ.β.	Βάρος C (kg)	% H ξ.β.	Βάρος H (kg)	%O ξ.β.	Βάρος O (kg)	%N ξ.β.	Βάρος N (kg)	%S ξ.β.	Βάρος S (kg)
οργανικά	497700	179172	318528	47.88	85787.55	6.16	46429.00	37.84	350934.68	3.08	5518.50	0.4	716.688
χαρτί	120105	113078.8575	7026.1425	43.575	49274.11	5.985	7548.45	44.09	56101.93	0.3	339.24	0.2	226.157715
ύφασμα	21420	19278	2142	55	10602.9	6.6	1510.35	31.2	7918.74	4.6	886.79	0.15	28.917
πλαστικά	65025	63724.5	1300.5	60	38234.7	7.2	4732.66	22.8	15685.19	0	0	0	0
υπόλοιπα	39780	33606.14	6173.86	55.74	18732.06	6.96	3024.97	30.892	15869.48	2.056	690.94	0.132	44.3601101
Σύνολο	744030	408860	335170		202631		63245		446510		7435		1016

molesx10 ³	16886	63245	27907	531	32
moles/moles N	32	119	53	1	
moles/moles S	533	1996	881	17	1

ΑΡΑ C₃₂H₁₁₉O₅₃N και C₅₃₃H₁₉₉₆O₈₈₁N₁₇S

ΚΑΥΣΗ

ΕΛΑΦΡΥ ΚΛΑΣΜΑ ΠΡΟΣ ΚΑΥΣΗ											
	ποσότητα (kg)	Περιεκτικότητα	Ποσότητα υγρασίας (kg)	Ξηρό Βάρος (kg)	Μέση Πυκνότητα (kg/m ³)	Ογκος (m ³)	Ενεργειακό περιεχόμενο (kJ)	Ποσότητα υπολείμματος (kg)	Περιεκτικότητα υπολείμματος	Μέση πυκνότητα υπολείμματος (kg/m ³)	Ογκος υπολείμματος (m ³)
οργανικά	497700	66.9%	318528	179172	97.88		926124068	23392	0.594	105.2	
χαρτί	120105	16.1%	7026	113079	13.05		293346677	7026	0.179	14.8	
ύφασμα	21420	2.9%	2142	19278	1.82		373671900	1392	0.035	2.3	
πλαστικά	65025	8.7%	1301	63725	5.53		13612787	6503	0.165	10.7	
υπόλοιπα	39780	5.3%	6174	33606	10.80		5551697	1042	0.026	5.5	
Σύνολο	744030		335170	408860	129.08	5764	1612307128	39355		138.6	284
Ποσοστό υγρασίας			45%								
μείωση Ογκου			95%								
Μέσο Ενεργειακό περιεχόμενο (kJ/kg)			2166992								

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΥΤΥ	
υπόλειμμα ΣΜΔ (kg/day)	187745
υπόλειμμα ΣΜΔ (m ³ /day)	1075
υπόλειμμα θερμικής επεξ. (kg/day)	39355
υπόλειμμα θερμικής επεξ. (m ³ /day)	284
Συνολικός όγκος υπολείμματος (m ³ /day)	1359

αντίδραση καύσης: $C_{32}H_{119}O_{53}N + 35.25 O_2 + 132 N_2 \rightarrow 32 CO_2 + 59.5 H_2O + 132.5 N_2$	
<i>απαίτηση οξυγόνου / day</i>	
m C ₃₂ H ₁₁₉ / mol (g)	1365
m O ₂ / mol (g)	32.00
απαίτηση οξυγόνου (kmol)	17579
απαίτηση οξυγόνου (kg)	562519
απαίτηση αέρα (kg) (21% O ₂)	2678664
<i>απαίτηση οξυγόνου / tn απορρίμματος</i>	
απαίτηση οξυγόνου (kmol)	26
απαίτηση οξυγόνου (kg)	826
απαίτηση αέρα (kg) (21% O ₂)	3935
ραέρα (T=20C) (kg/m ³)	1.204
απαίτηση οξυγόνου (m ³)	686
απαίτηση αέρα (m ³) (21% O ₂)	3268
απαίτηση αέρα (m ³) (περίσσεια αέρα 100%)	6537

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Λυμπεράτος, Γ.** (2013), *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*, εκδ. ΕΜΠ
2. **Λυμπεράτος Γ., Τσιλιγιάννης Χ.** (1998), *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*
3. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (2010), *Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την περιφέρεια Ηπείρου*, Μελέτη χωροθέτησης εργοστασίου επεξεργασίας στερεών αποβλήτων
4. Ελληνική εταιρία διαχείρισης στερεών αποβλήτων ΕΕΔΣΑ, *Σύσταση αστικών αποβλήτων*, <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=95>
5. **Παπαιωάννου, Α.** (2002), *Θερμοφυσικές Ιδιότητες Χημικών Ουσιών και Συστήματα Μονάδων*, εκδ. Κοράλι, σελ. 90-91
6. **Δεσποτίδου Μ.,** Μέθοδοι Μέτρησης Παραμέτρων Ποιότητας Υγρών Αποβλήτων, <http://www.moa.gov.cy>
7. ΕΠΠΕΡΑΑ, (03/06/2013), *Αναθεώρηση εθνικού σχεδιασμού διαχείρισης αποβλήτων*
8. COVANTA, Energy-from-Waste, <http://www.covanta.com/en/sustainable-solutions/energy-from-waste/waste-hierarchy.aspx>
9. Europa.eu, Σύνοψη της νομοθεσίας της ΕΕ, http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/ev0010_el.htm
10. Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Αρ. Φύλλου: 24 (13 Φεβρουαρίου 2012), Νόμος υπ' αριθ. 4042
11. Κάλλια, Α. (2007), *Το νομικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής ένωσης για τη διαχείριση των αστικών αποβλήτων*
12. **Θεοχάρη Χ. et al.** (2006) , *Διαχείριση στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα/ Η περίπτωση της Αττικής*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
13. LHTEE – Εργαστήριο μεταφοράς θερμότητας και περιβαλλοντικής μηχανικής Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, *Μηχανικός Διαχωρισμός – Λιπασματοποίηση* <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/swm4.pdf>
14. Εναλλακτικές λύσεις επεξεργασίας σύμμεικτων απορριμμάτων, Παράστημα κεφαλαίου 7, Τροποποίηση Περιφερειακού Σχεδιασμού Διαχείρισης Απορριμμάτων Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας Θράκης
15. Inside Power station, <http://anto-hendarto.blogspot.gr/2012/02/magnetic-separator.html>
16. **Λαζαρίδη Κ.,** *Βιολογικές Επεξεργασίες Στερεών Αποβλήτων*, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

17. Σύνδεσμος Επιχειρήσεων Κομποστοποίησης ΣΕΚ, *Μονάδα κομποστοποίησης στο Viersen*,
<http://sek-hellas.gr/index.php/technologies-kompostopoiisis/2012-07-26-09-23-57/76-monada-kompostopoihsis-sto-viersen>
18. AgroEnergy, *Υποστρώματα για την αναερόβια χώνευση*,
<http://www.agroenergy.gr>
19. **Verma S.** (2002), *Anaerobic Digestion of Biodegradable organics in municipal solid wastes*, Columbia University
20. **Chandler, A. et al** (1997), *Municipal Solid Waste Incinerator Residues*, Elsevier
21. **Σαχινίδης, Σ. et al**, *Τεχνολογίες απορρύπανσης των αερίων και τέφρας που παράγεται από μια μονάδα αποτέφρωσης φυτικών υπολειμμάτων που περιέχουν βαρέα μέταλλα και ειδικότερα μόλυβδο που συλλέχθηκαν με την μέθοδο της φυτοαποκατάστασης*
22. **Γρηγοροπούλου Ε., Λυμπεράτος Γ., Χαλουλάκου Α., Βλυσίδης Α.** (2013), *Περιβαλλοντική Μηχανική* (σελ.195), Αθήνα, εκδ. ΕΜΠ
23. Οικολογική επιθεώρηση, *ΧΥΤΥ, όχι ΧΥΤΑ*,
http://www.oikologos.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=269:0271&catid=42:recycling&Itemid=205
24. Πράσινο & Μπλε, *από ΧΑΔΑ έως τους ΧΥΤΥ*,
http://www.prasinomple.gr/news_Full.asp?articleID=621
25. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης, <http://www.eoan.gr/el/content/22>
26. **Clift R. et al.** (2000), *The application of Life Cycle Assessment to integrated solid waste management Part 1 – Methodology*, IChemE
27. **Pap N., Pongracz E.** (2004), *Introduction to Life Cycle Assessment (LCA)*, University of Oulu
28. **Bjarnadottir H. et al.**, *Guidelines for the use of LCA in the waste management sector*, NORDEST
29. **Αβραμίδης Μ., Κυθραιώτου Ν., Φάπτα Δ.**, *Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως υποστηρικτικό εργαλείο λήψης αποφάσεων για την οικολογική παραγωγή ελαιόλαδου*, Πανεπιστήμιο Κύπρου
30. **Abeliotis K.**, *Life Cycle Assessment in municipal solid waste management*, Harokopio University
31. **Bovea, M. et al** (2009), *Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study*, Elsevier

32. **Τριανταφυλλόπουλος, Α., Σκορδίλης, Α.,** *Ανάλυση του κύκλου ζωής στο ΧΥΤΑ του δήμου Πατρέων, ΥΠΕΧΩΔΕ*
33. **Suh Y.J. & Rousseaux P.,** (2001). *Considerations in Life Cycle Inventory Analysis of Municipal Wastewater Treatment Systems.* Laboratoire LAEPSI, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, COST 624 WG Meeting, Bologna, Italy (26-27 April 2001)
34. **Hospido Almudena, M. Teresa Moreira, Mercedes Fernández-Couto & Gumersindo Feijoo,** (2004). *Environmental Performance of a Municipal Wastewater Treatment Plant.* Department of Chemical Engineering, University of Santiago de Compostela, SPAIN
35. Standard Handbook of Environmental Engineering,
<http://www.scribd.com/doc/16998461/Standard-Handbook-of-Environmental-Engineering>
36. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα,
http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=277&language=en-US&SkinSrc=%5BG%5DSkins%2F_default%2FNo+Skin&ContainerSrc=%5BG%5DContainers%2F_default%2FNo+Container&dnnprintmode=true
37. Πρόγραμμα μεταφοράς της καινοτομίας 2011-GR1-LEO05-06797 CARE WASTE,
<http://www.care-waste.eu/index.php/el/u2-waste-generation-paramedical-practitioners-egf-4/learning-outcome-3-paramedical-practitioners-egf4/14-book/195-3-5-automated-vacuum-collection>
38. SimaPro 7 Manual «Introduction to LCA»