ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων
Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Τεχνοοικονομική ανάλυση μονάδας μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας απορριμμάτων»

«Techno-economic study of a mechanical-biological waste treatment plant»

Του Φοιτητή

Φαλιέρου Φιλίππου

Επιβλέπων

Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2018

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., κ. Καρέλλα Σωτήριο για τη δυνατότητα που μου παρείχε να ασχοληθώ με την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και για την γενικότερη εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου. Η αφοσίωση στο αντικείμενό του αποτέλεσε και αποτελεί για μένα πηγή έμπνευσης και κίνητρο να συνεχίσω να προσπαθώ για το καλύτερο.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον MSc Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Θανόπουλο Σωτήριο για την άψογη συνεργασία και την μείζονος σημασίας βοήθεια του για την εκπόνηση της εργασίας μου. Τέλος πολύτιμη ήταν η βοήθεια του Ιωάννη Σοφρά μέλος του εργαστιρίου Ατμοκινητήρων και Λεβήτων.

Φίλιππος Φαλιέρος,
Αθήνα, Σεπτέμβριος 2018

Περιεχόμενα

Περίληψη **9**

Abstract **11**

Κατάλογος Ακρωνυμίων **13**

1. Η έννοια της διαχείρισης των ΑΣΑ **15**

1.1 Εισαγωγή στην έννοια των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων 15

1.2 Η υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης ΑΣΑ σε επίπεδο δήμων 16

1.3 Ευρωπαϊκό και Ελληνικό Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΣΑ 17

1.4 Εθνική στρατηγική στη διαχείριση αποβλήτων 20

1.5 Εθνικοί στόχοι στη διαχείριση αποβλήτων 22

2. Γενικά για τον δήμο ΒΒΒ **24**

2.1 Παραγωγή ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ 24

2.2 Υφιστάμενη διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ 26

2.2.1 Σύμμεικτα Απορρίμματα: Οικιακά - Κλαδέματα – Ογκώδη 26

2.2.2 Ανακυκλώσιμα απόβλητα 28

2.2.3 Αδρανή και διαχείριση αποβλήτων εναλλακτικής διαχείρισης 29

2.3 Ετήσιο λειτουργικό κόστος από την υφιστάμενη διαχείριση των απορριμμάτων στο δήμο ΒΒΒ 30

2.4 Μελλοντική διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ 34

3. Η Τεχνική Περιγραφή προτεινόμενης ΜΕΑ **37**

3.1 Τα επιμέρους τμήματα λειτουργίας της μονάδας 37

3.2 Γενικές πληροφορίες για την τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης 39

3.3 Επιλογή τύπου αναερόβιας χώνευσης 42

3.4 Δυναμικότητα έργου και παράμετροι σχεδιασμού 47

3.5 Περιγραφή διάταξης, οργάνωσης και τρόπου λειτουργίας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης 48

3.5.1 Έλεγχος και ζύγιση ΑΣΑ 48

3.5.2 Χώρος υποδοχής ΑΣΑ 49

3.5.3 Μηχανική προ-επεξεργασία ΑΣΑ 49

3.5.3.1 Οικιακά απορρίμματα 50

3.5.3.2 Πράσινα απόβλητα και προ-διαλεγμένα οργανικά 53

3.5.3.3 Παραχθέντα οργανικά υποστρώματα 53

3.5.4 Αναερόβια αποδόμηση οργανικού κλάσματος 54

3.5.5 Κομποστοποίηση και ωρίμανση χωνεμένης ιλύς σε κλειστά συστήματα 56
3.5.6 Ραφινάρισμα κομποστοποιημένου υλικού 57
3.5.7 Κομποστοποίηση τεμαχισμένων κλαδεμάτων σε ανοικτά συστήματα 57
3.6 Ισοζύγια Μάζας και Ενέργειας, Ανάκτηση & Εκτροπή 59
3.6.1 Ισοζύγιο μάζας 59
3.6.2 Ισοζύγιο ενέργειας 60
3.6.2.1 Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου (m^3/ton) 60
3.6.2.2 Θερμογόνος δύναμη βιοαερίου (MJ/m3) και βαθμοί απόδοσης 62
3.6.2.3 Ηλεκτρικός & Θερμικός βαθμός απόδοσης εγκατάστασης 62
3.6.2.4. Εκτιμώμενα επίπεδα παραγωγής ενέργειας εγκατάστασης 63
3.6.3 Επίπεδα παραγωγής κομπόστ 64
3.7 Σύνοψη αποτελεσμάτων 67
4. Γενική οικονομική αποτίμηση ολοκληρωμένων ΜΒΕ εγκαταστάσεων. 69
4.1 Μεθοδολογία εργασίας 69
4.2 Παραδοχές και επισημάνσεις 70
4.3 Εκτίμηση για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας του τμήματος Μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ (MTF) εγκατάστασης ΜΒΕ. 71
4.3.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού 72
4.3.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού 74
4.4 Εκτίμηση για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας (BTF) εγκατάστασης ΜΒΕ. 76
4.4.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης 77
4.4.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης 81
4.5 Τιμολογιακή πολιτική & απορρόφηση 83
4.6 Παρουσίαση βασικών οικονομικών σεναρίων 86
4.6.1 Ανάλυση Ευαισθησίας βασικού σεναρίου ΜΒΕ 86
5. Ειδική οικονομική αποτίμηση ολοκληρωμένης ΜΒΕ εγκατάστασης δήμου ΒΒΒ 90
5.1 Μεθοδολογία εργασίας 90
5.2 Παραδοχές και επισημάνσεις 91
5.3 Κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ (MTF) 93
5.3.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού 94
5.3.1.α Σχολιασμός αποτελεσμάτων 94

5.3.1.β. Εκτίμηση μελέτης για τα κόστη επένδυσης του τμήματος υποδοχής και μηχανικής διαλογής της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης για το Δήμο ΒΒΒ 95

5.3.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού 96

5.3.2.α. Σχολιασμός αποτελεσμάτων 97

5.3.2.β. Εκτίμηση μελέτης για τα κόστη λειτουργίας του τμήματος υποδοχής και μηχανικής διαλογής της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης για το Δήμο ΒΒΒ 98

5.4 Κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ (BTF) 98

5.4.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας βιολογικής επεξεργασίας 99

5.4.1.α. Σχολιασμός αποτελεσμάτων 99

5.4.1.β. Εκτίμηση μελέτης για τα κόστη επένδυσης του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας (BTF) της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης για το Δήμο ΒΒΒ 100

5.4.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης 101

5.4.2.α. Σχολιασμός αποτελεσμάτων 102

5.4.2.β. Εκτίμηση μελέτης για τα κόστη λειτουργίας του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας (BTF) της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης για το Δήμο ΒΒΒ 102

5.5. Συνολική οικονομική αποτίμηση προτεινόμενου έργου 103

5.5.1 Έλεγχος ορθότητας αποτελεσμάτων 106

5.6. Ετήσια έσοδα 108

5.6.1 Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο 108

5.6.2 Έσοδα από την πώληση των ανακυκλώσιμων υλικών 109

5.7. Υπολογισμός καθαρού ετήσιου κόστους (Net Annual Cost) 110

6. Διαμόρφωση του νέου κόστους αποκομιδής ΑΣΑ στο Δήμο ΒΒΒ 112

6.1 Βασική μεθοδολογία 112

6.2 Παραδοχές και επισημάνσεις 113

6.3. Δείκτες αποκομιδής σύμμεικτων απορριμμάτων 114

6.4 Συμβατικό σενάριο: Ταφή σύμμεικτων αποβλήτων Δήμου ΒΒΒ στο ΧΥΤΑ της Φυλής 115

6.4.1 Το υφιστάμενο κόστος αποκομιδής και η μεταβολή αυτού στο μέλλον 115

6.5 Εναλλακτικό σενάριο: Επεξεργασία σύμμεικτων αποβλήτων Δήμου ΒΒΒ εντός της προτεινόμενης ΜΕΑ 116

6.5.1 Άμεσες δαπάνες 116

6.5.1.1 Κόστος συλλογής και μεταφοράς στη ΜΕΑ 117

6.5.1.2 Κόστος μεταφοράς και εναπόθεσης των μη χρηστικών παραπροϊόντων της ΜΕΑ στο ΧΥΤΑ της Φυλής 117

6.5.1.3 Κόστη συντήρησης οχημάτων αποκομιδής και επενδύσεων 119

6.5.2 Έμμεσες δαπάνες 119
6.5.2.1 Κόστος προσωπικού 120
6.5.3 Διαμόρφωση νέου συνολικού κόστους αποκομιδής σύμμεικτων αποβλήτων (μη συμπεριλαμβανομένου τέλους εισόδου στη ΜΕΑ) 120
6.5.4 Διαμόρφωση νέου συνολικού κόστους αποκομιδής σύμμεικτων αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένου τέλους εισόδου στη ΜΕΑ) 122
7. Οικονομική βιωσιμότητα ολοκληρωμένης ΜΒΕ εγκατάστασης δήμου ΒΒΒ 125
7.1 Μεθοδολογία εργασίας 125
7.2 Περιγραφή υπολογιστικού μοντέλου 127
7.3 Παραδοχές και επισημάνσεις 128
7.4 Ιδιωτική χρηματοδότηση 129
7.4.1 Σενάριο χωρίς επιχορήγηση 130
7.4.2 Σενάριο με 40% επιχορήγηση 132
7.4.3 Σενάριο με 60% επιχορήγηση 134
7.4.4 Σενάριο με 80% επιχορήγηση 136
7.5 Δημόσια χρηματοδότηση 138
7.5.1 Βασική μεθοδολογία 138
7.5.2 Σενάριο χωρίς επιχορήγηση 139
7.5.3 Σενάριο με 40% επιχορήγηση 140
7.5.4 Σενάριο με 60% επιχορήγηση 142
7.5.5 Σενάριο με 80% επιχορήγηση 143
8. Επίλογος 146
8.1 Συμπεράσματα 146
8.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία 147
***Παράρτημα Ι: Ευρωπαϊκός κατάλογος αποβλήτων* 149**
Βιβλιογραφικές Αναφορές 152

Περίληψη

Το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι ο σχεδιασμός, η διαστασιολόγηση και η οικονομική αποτίμηση μιας ολοκληρωμένης εγκατάστασης μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας Αστικών Στερεών Αποβλήτων του δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης (ΒΒΒ) με στόχο την αξιοποίηση τους. Η εξεταζόμενη τεχνολογία είναι η αναερόβια χώνευση του μηχανικά διαχωριζόμενου βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των σύμμεικτων απορριμμάτων. Η συγκεκριμένη βιολογική μέθοδος φαίνεται να ξεχωρίζει σε σχέση με άλλες θερμικές μεθόδους τόσο από τεχνοοικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής άποψης.

Στο **πρώτο κεφάλαιο**, έπειτα από μια μικρή εισαγωγή γύρω από έννοιες που σχετίζονται άμεσα με τα αστικά απορρίμματα, περιγράφεται συνοπτικά η υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισής τους στα πλαίσια της Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Παρουσιάζονται, επίσης, οι σημαντικότερες αρχές που διέπουν το σχετικό Ευρωπαϊκό και Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο βάσει του οποίου προωθείται η υιοθέτηση εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας ΑΣΑ έτσι ώστε να επιτευχθεί η σταδιακή εγκατάλειψη των πρακτικών διάθεσης.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, παρατίθενται τα υπάρχοντα δεδομένα σχετικά με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση του συνόλου των παραγόμενων απορριμμάτων στο δήμο ΒΒΒ. Επιπλέον, καταγράφεται αφενός το ετήσιο υφιστάμενο λειτουργικό κόστος που απορρέει από τις διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς και εναπόθεσης των δημοτικών ΑΣΑ και αφετέρου η αναμενόμενη αναδιαμόρφωσή του εξαιτίας της προβλεπόμενης επιβολής ειδικού τέλους ταφής στο άμεσο μέλλον.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, γίνεται αναφορά στα κυριότερα χαρακτηριστικά της προκρινόμενης τεχνολογίας της Αναερόβιας Χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, τις παραμέτρους απόδοσής της αλλά και την περιβαλλοντική της συμπεριφορά. Επίσης, συνοψίζεται το σύνολο των εμπορικά διαθέσιμων παραλλαγών ενώ αναφέρονται επιγραμματικά και τα επιμέρους λειτουργικά στάδια μιας ολοκληρωμένης εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου. Επιπλέον, αναλύεται το σκεπτικό με βάση το οποίο επιλέγεται ο τύπος της χώνευσης που θα εφαρμοστεί για την αναερόβια βιοαποδόμηση του οργανικού υποστρώματος

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, διεξάγεται λεπτομερής τεχνοοικονομική ανάλυση για το σύνολο της μονάδας διαχείρισης των ΑΣΑ. Αρχικά, πραγματοποιούνται ορισμένες βασικές παραδοχές καθώς και επισημάνσεις σχετικά με την μεθοδολογία που εφαρμόζεται για την εξαγωγή των απαραίτητων οικονομικών αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, ερευνώνται τα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη ως συνάρτηση της δυναμικότητας για τις επιμέρους μονάδες μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας, έτσι ώστε συμπεριλαμβανομένου και των εσόδων από την πώληση των ανακτηθέντων υλικών και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας να διαμορφωθεί το τελικό ετήσιο κόστος που απορρέει από τη λειτουργία της μονάδας. Τέλος επιχειρείτε μια ανάλυση ευαισθησίας με οικονομικής φύσεως δείκτες, στο εύρος χωρητικότητας που μελετήθηκε συναρτήσει του τέλους εισόδου.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, διεξάγεται ειδική τεχνοοικονομική ανάλυση για την προτεινόμενη μονάδα διαχείρισης ΑΣΑ του δήμο ΒΒΒ. Αρχικά, πραγματοποιούνται ορισμένες βασικές παραδοχές καθώς και επισημάνσεις σχετικά με την μεθοδολογία που εφαρμόζεται για την εξαγωγή των απαραίτητων οικονομικών αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, ερευνώνται τα

επενδυτικά και λειτουργικά κόστη της προτεινόμενης εγκατάστασης όπως και των εσόδων από την πώληση των ανακτηθέντων υλικών και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο **έκτο κεφάλαιο**, υπολογίζεται η αναμενόμενη αναδιαμόρφωσή του λειτουργικού κόστους που απορρέει από τις διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς και εναπόθεσης των δημοτικών ΑΣΑ, στην περίπτωση υλοποίησης της μελετώμενης εγκατάστασης. Τέλος παρουσιάζεται η μείωση του κόστους διαχείρισης των ΑΣΑ συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση ως συνάρτηση του τέλους εισόδου.

Στο **έβδομο κεφάλαιο**, επιχειρείται αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας της εγκατάστασης μέσω οικονομικών δεικτών. Έτσι προκρίνονται δύο κύρια σενάρια χρηματοδότησης, ιδιωτικής και δημόσιας, τα οποία αναλύονται σε υποπεριπτώσεις ως προς το ποσοστό επιχορήγησης. Σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται αξιολόγηση ως προς την οικονομική βιωσιμότητα και πρόταση μιας τιμολογιακής πολιτικής του τέλους εισόδου.

Στο **όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται τα εξαγόμενα συμπεράσματα έπειτα από την ολοκλήρωση της μελέτης καθώς και ορισμένες προτάσεις για μελλοντική εργασία.

Abstract

The main subject of this postgraduate dissertation is the design and economic evaluation of an integrated mechanical and biological waste treatment of the Municipal Solid Waste produced into the municipality of Vari-Voula-Vouliagmeni (VVV). The examined technology is anaerobic digestion of mechanically separated biodegradable fraction of mixed waste. This biological process appears to stand out in comparison with other thermal processes from both a techno-economic and an environmental point of view.

In the **first chapter**, after a brief introduction of urban waste terminology, the current management situation at local and regional level is summarized. The main principles governing the European and Greek legislative framework are also presented. Under these principles the adoption of alternative MSW treatment methods is promoted so as to achieve a gradual abandonment of disposal practices.

The **second chapter**, lists the available data on the qualitative and quantitative composition of waste generated in the municipality BBB. Additionally, the current annual operating cost resulting from the collection, transportation and disposal of MSW as well as its expected reconfiguration due to the planned imposition of special burial fees in the near future, are recorded.

In the **third chapter**, the recommended waste treatment technology considered for the alternative management of MSW in municipality of VVV is presented. Additionally, all commercially available variants are summarized and the individual operating stages of a complete biogas plant are outlined.

In the **fourth chapter,** a techno-economic analysis is carried out for the MSW project. Initially, some basic assumptions are made as well as observations on the methodology used to extract the necessary financial results. Subsequently, the investment and operating costs for both mechanical and biological treatment sub-facilities are investigated according to the facility's capacity in order to form the final annual cost arising from the operation of the plant, including the revenues from the sale of recovered materials and generated electricity. Finally, economic indicators which show the viability levels of the plant are also calculated.

In the **fifth chapter**, a techno-economic analysis is carried out for the specific MSW project in municipality of VVV. Initially, some basic assumptions are made as well as observations on the methodology used to extract the necessary financial results. Subsequently, the investment and operating costs for both mechanical and biological treatment sub-facilities of the recommended facility are investigated in order to form the final annual cost arising from the operation of the plant, including the revenues from the sale of recovered materials and generated electricity.

In the **sixth** chapter, the new annual operating cost resulting from the collection, transportation and disposal of MSW in case of the implementation of the mechanical and biological waste treatment facility. Finally, the reduced cost of the MSW treatment is presented in comparison to the existing situation according to the Gate Fee.

In the **seventh** chapter, the economic sustainability of the facility is evaluated through economic indicators. Two main scenarios are being studied of public and private financing, with corresponding subsidy scenarios in both cases. Every case is economically evaluated and a Gate Fee pricing policy is proposed.

Finally, the **eighth** and last **chapter** presents the conclusions drawn after the completion of the thesis and some suggestions for future research.

Κατάλογος Ακρωνυμίων

BTF = Biological Treatment Facility

CLO = Compost Like Output

CHP = Combined Heat and Power

DEFRA = Department of Environment Food and Rural Affairs

DPBP = Discounted Payback Period

EURITS = European Union for Responsible Incineration and Treatment Special Waste

IRR = Internal rate of return – εσωτερικός βαθμός απόδοσης

MBT = Mechanical Biological Treatment

MTF = Mechanical Treatment Facility

NPV = Net Present Value

PCTF = Post-Composting Treatment Facility

RDF = Refuse Derived Fuel

SPBP = Simple Payback Period

SRF = Solid Recovered Fuel

ΑΕΠΟ = Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων

ΑΠΕ = Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΑΣΑ = Αστικά Στερεά Απόβλητα

ΒΑΑ = Βιοαποικοδομήσιμα Απόβλητα

ΒΒΒ = Βάρη-Βούλα-Βουλιαγμένη

ΕΕ = Ευρωπαϊκή Ένωση

Ε.Ε.Α.Α. = Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης και Ανακύκλωσης

ΕΚΑ = Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

ΕΣΔΑ = Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων

ΚΔΑΥ = Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών

ΚΥΑ = Κοινή Υπουργική Απόφαση

ΜΒΕ = Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία

ΜΕΑ = Μονάδα Ενεργειακής Αξιοποίησης

ΜΕΚ = Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

ΜΠΕ = Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

ΟΤΑ = Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΠΕΣΔΑ = Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

ΡΑΕ = Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

ΣΗΘ = Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας

ΣΜΑ = Σταθμός Μεταφόρτωσης Αποβλήτων

ΦοΔΣΑ = Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

ΧΑΔΑ = Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων

ΧΥΤΑ = Χώρος Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων

ΧΥΤΥ = Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

1. Η έννοια της διαχείρισης των ΑΣΑ

1.1 Εισαγωγή στην έννοια των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων

Σήμερα, ο όρος Αστικά Στερεά Απορρίμματα χρησιμοποιείται για να περιγράψει αφενός τα απόβλητα που προέρχονται από την οικιακή δραστηριότητα και αφετέρου τα απόβλητα που τα προσομοιάζουν λόγω σύστασης ή φύσεως με τα οικιακά. Τέτοια απόβλητα παράγονται στα πλαίσια είτε εμπορικών και άλλων συναφών δραστηριοτήτων είτε λειτουργίας ιδρυμάτων όπως είναι οι στρατιωτικές μονάδες, τα σχολεία και τα νοσοκομεία. Επιπλέον, στην κατηγορία των αστικών αποβλήτων συμπεριλαμβάνονται διάφορα ογκώδη απόβλητα (στρώματα, έπιπλα κ.α.), υπολείμματα κήπων (φύλλα, κλαδέματα, κηπευτικά κ.α.) καθώς και απόβλητα που προκύπτουν από τον καθαρισμό των δρόμων. **[1],[2].** Τα επιμέρους κλάσματα των ΑΣΑ παρουσιάζονται αναλυτικά στο ***Παράρτημα 1.***

Στην πραγματικότητα, τα αστικά απορρίμματα αποτελούν ένα ιδιαίτερα ετερογενές μίγμα υλικών του οποίου η ποιοτική και ποσοτική σύνθεση συνιστά μια δυναμική παράμετρο που μεταβάλλεται τόσο ως προς τον τόπο όσο και ως προς τον χρόνο.

Τοπικά, η σύσταση των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) μπορεί να διαφοροποιείται έντονα όχι μόνο από χώρα σε χώρα αλλά και μέσα στην ίδια χώρα, από περιφέρεια σε περιφέρεια και από περιοχή σε περιοχή. Χρονικά, η σύσταση των αποβλήτων εμφανίζει επίσης διαχρονικές μεταβολές από έτος σε έτος, από εποχή σε εποχή αλλά ακόμη και από ημέρα σε ημέρα της εβδομάδας.

Πολλοί παράγοντες είναι εκείνοι που υπεισέρχονται και αποτελούν αφορμή για τις τοπικές και χρονικές μεταβολές που εμφανίζονται στην ποιότητα των ΑΣΑ με τις καταναλωτικές και διατροφικές συνήθειες των κατοίκων της περιοχής, τις προτιμώμενες συσκευασίες και το σύνολο των δραστηριοτήτων τους να είναι οι κυριότεροι. **[2],[3]**

Με βάση μια σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στο πέρασμα των χρόνων, μια δόκιμη κατηγοριοποίηση των επιμέρους συστατικών των αστικών αποβλήτων οφείλει να περιλαμβάνει τις εξής ομάδες υλικών:

- Ζυμώσιμα: Περιλαμβάνονται τα υπολείμματα κουζίνας (τροφών) και κήπου.
- Χαρτί: Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων.
- Μέταλλα: Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών. Είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (αλουμίνιο), κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων. Σε ορισμένες αναλύσεις εξετάζονται ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.
- Γυαλί: Όσον αφορά την ανακύκλωση, γίνεται διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού απαιτεί υαλότριμμα μόνο του ίδιου χρώματος.

- Πλαστικό: Περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών αποβλήτων. Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λπ.).
- Δέρμα-Ξύλο-Λάστιχο-Ύφασμα: Χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα.
- Αδρανή: Περιλαμβάνονται χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απόβλητα (π.χ. χώματα, πέτρες, κ.λπ.).
- Λοιπά: Στο κλάσμα αυτό καταλήγουν τα υλικά εκείνα που δε μπορούν να κατανεμηθούν σε καμία από τις άλλες κατηγορίες.

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει και για τις επικίνδυνες ουσίες (υδράργυρος, μόλυβδος, κάδμιο, χρώμιο, βρώμιο) που εντοπίζονται πολλές φορές στα αστικά στερεά απόβλητα με αποτέλεσμα να καταλήγουν στους κοινούς πράσινους κάδους αποκομιδής.

Μάλιστα, σε πολλές περιπτώσεις, η έλλειψη περιβαλλοντικής συνείδησης σε συνδυασμό με την ελλιπή ενημέρωση των πολιτών έχει ως αποτέλεσμα τα επικίνδυνα αυτά υλικά που ενσωματώνονται στα ρεύματα των αστικών αποβλήτων να οδηγούνται τελικώς προς ταφή, ενώ στην πραγματικότητα θα έπρεπε να συλλέγονται ξεχωριστά και να υπόκειται σε ειδική επεξεργασία για την αντιμετώπιση των τοξικών, διαβρωτικών, εύφλεκτων ακόμα και καρκινογόνων χημικών ενώσεων από τις οποίες απαρτίζονται **[2]**.

1.2 Η υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης ΑΣΑ σε επίπεδο δήμων

Σήμερα, τόσο η ελάττωση των επιπέδων παραγωγής απορριμμάτων όσο και η εναλλακτική και συνάμα αποτελεσματική διαχείρισή τους αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις σε ολόκληρο τον πλανήτη**.** Σύμφωνα με την **Ευρωπαϊκή Οδηγία-Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ (ΟΠΑ) [4]**, η διαχείριση των ΑΣΑ εμπερικλείει το σύνολο των ενεργειών που σχετίζονται με την παραγωγή, την προσωρινή αποθήκευση, τη συλλογή, τη μεταφορά/μεταφόρτωση, την επεξεργασία/ανάκτηση καθώς και την τελική τους διάθεση. **[2],[3]**

Στην εγχώρια πραγματικότητα, η διαχείριση των αστικών απορριμμάτων έχει οικονομικές, κοινωνικές, πολιτικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις μιας και αφορά το σύνολο της κοινωνίας από τους διάφορους θεσμικούς κρατικούς φορείς (Υπουργεία, Περιφέρειες, ΟΤΑ-ΦοΔΣΑ) και τους επαγγελματίες (επιστήμονες, μελετητές, εργολήπτες) μέχρι τους απλούς πολίτες. Σε γενικές γραμμές, η Ελλάδα υστερούσε και εξακολουθεί να υστερεί σημαντικά σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη τόσο σε επίπεδο υποδομών όσο και σε επίπεδο ευαισθητοποίησης και συμμετοχής των πολιτών **[2]**.

Ειδικότερα, σε επίπεδο δήμων, η μέχρι στιγμής ακολουθούμενη πρακτική έγκειται στην εναπόθεση των συλλεγόμενων δημοτικών στερεών αποβλήτων τους σε χώρους υγειονομικής ταφής **(ΧΥΤΑ)**. Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης **(ΟΤΑ)** με την υποστήριξη των Περιφερειών επιφορτίζονται με την ευθύνη της συλλογής και μεταφοράς των αποβλήτων ενώ αντίθετα για την επεξεργασία και την τελική διάθεσή τους είναι υπεύθυνοι οι Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων **(ΦοΔΣΑ)** υποστηριζόμενοι από τις Περιφέρειες και τη κεντρική διοίκηση, αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, το σύστημα διαχείρισης αποβλήτων για τους περισσότερους δήμους χαρακτηρίζεται ανεπαρκές, καθώς υπάρχουν σοβαρές ελλείψεις σε

εξοπλισμό και τεχνολογία, σε ανθρώπινο δυναμικό καθώς και σε χρηματοδότηση από το κράτος.

Επιπρόσθετα, η Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης και Ανακύκλωσης **(ΕΕΑΑ)** είναι αρμόδια για την αξιοποίηση και ανακύκλωση των ΑΣΑ. Η ΕΕΑΑ, σε συνεργασία με τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης, είναι υπεύθυνη για τη συλλογή (π.χ. διαθέτοντας μπλε τσάντες στα νοικοκυριά και τοποθετώντας μπλε κάδους στους ΟΤΑ), τη μεταφορά (με ειδικά οχήματα συλλογής) και διάθεση των ΑΣΑ σε ειδικά Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών **(ΚΔΑΥ)**.

Γενικότερα, η περαιτέρω προώθηση της ανακύκλωσης και της αξιοποίησης των χρήσιμων υλικών που απορρίπτονται καθώς επίσης και του ζυμώσιμου κλάσματος των ΑΣΑ, διαμέσου της ανάκτησης του ενεργειακού τους περιεχόμενου, κρίνεται απαραίτητη όχι μόνο λόγω των πολλαπλών θετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα προκύψουν αλλά και επειδή θα συμβάλλουν στην μερική έστω απαλλαγή των ΟΤΑ και των Φορέων Διαχείρισης από την άμεση εξάρτηση που εμφανίζουν από την ταφή **[2]**.

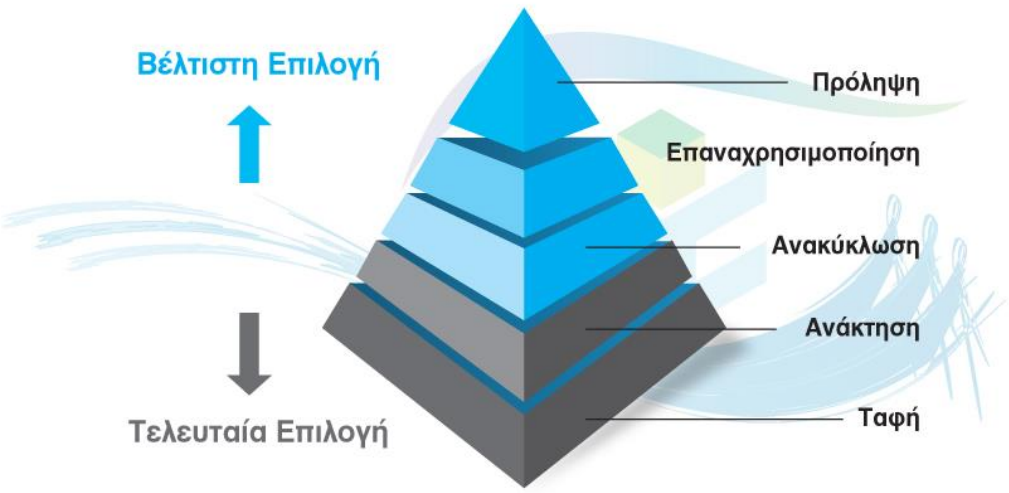
1.3 Ευρωπαϊκό και Ελληνικό Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΣΑ

Τα Εθνικά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων **(ΕΣΔΑ)** των 28 χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) διεκπεραιώνονται με βάση τις αρχές που περιγράφονται στην «Ευρωπαϊκή Οδηγία-Πλαίσιο για τη Διαχείριση Αποβλήτων» **(ΟΠΑ).** Εν συντομία, η προαναφερθείσα οδηγία καθορίζει τα μέτρα εκείνα που θα πρέπει να εφαρμόζονται έτσι ώστε να κατορθώνεται η αποφυγή ή η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία από την παραγωγή και τη διαχείριση των αποβλήτων.

Επιπλέον, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην βελτιστοποίηση των διαδικασιών διαχείρισης όσον αφορά τους καταναλισκόμενους πόρους και την αποδοτικότητά τους. Επίσης, γίνεται αναφορά στην διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού των αποβλήτων, στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», στις αρχές τις αυτάρκειας και της εγγύτητας καθώς και στην διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων. Τέλος, περιγράφονται οι εργασίες διάθεσης και ανάκτησης ενώ θεσμοθετούνται και οι στόχοι ανακύκλωσης, ανάκτησης και ταφής. **[3],[5]**

Η ΟΠΑ ουσιαστικά αποτυπώνει και την συνολική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως προς τη διαχείριση των ΑΣΑ μιας και εντός αυτής οι διάφορες εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης των αποβλήτων κατατάσσονται με περιβαλλοντικά κριτήρια από «βέλτιστες» ως «χείριστες» υπό μορφή ανεστραμμένης πυραμίδας.

Με βάση την επονομαζόμενη ως **ιεραρχία διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων,** η πρόληψη των απόβλητων προβάλλει ως το ιδανικότερο σενάριο. Ό,τι δεν μπορεί να προληφθεί πρέπει να επαναχρησιμοποιείται, να ανακυκλώνεται και να ανακτάται όσο είναι εφικτό, ενώ η υγειονομική ταφή πρέπει να αποτελεί την έσχατη λύση αφού είναι η πιο επιβλαβής επιλογή για το περιβάλλον. **[2],[3],[6]**



Εικόνα 1.1: Ιεράρχηση διαχείρισης αστικών απορριμμάτων [7]

Στην Ελλάδα, η ΟΠΑ ενσωματώθηκε στο εθνικό Δίκαιο διαμέσου του **Νόμου 4042/2012** ο οποίος δημοσιεύεται στο **ΦΕΚ 24/Α/13.02.2012**. Από τον συγκεκριμένο νόμο εξαιρούνται η διαχείριση των λυμάτων, των ζωικών υποπροϊόντων και των αποβλήτων εξόρυξης και λατομίας. **[5],[8]**

Η ενσωμάτωση της παραπάνω κοινοτικής οδηγίας στο ελληνικό θεσμικό πλαίσιο αποτέλεσε και την αφετηρία για το ριζικό επαναπροσδιορισμό των αξόνων σχεδιασμού στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ, η ικανοποίηση των οποίων απαιτούσε και απαιτεί την άμεση λήψη πρωτοβουλιών και αποφάσεων τόσο από τους **Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ)** όσο και από τους αντίστοιχους **Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦοΔΣΑ)**.

Πιο συγκεκριμένα, οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης καθώς και οι Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων καθίστανται πλέον ως οι βασικοί υπεύθυνοι για το σχεδιασμό αλλά και για τη λειτουργία των υφιστάμενων και προγραμματισμένων έργων. Επιπλέον, οι ΟΤΑ είναι αρμόδιοι για την ενεργοποίηση των πολιτών, η συμμετοχή των οποίων θα καθορίσει και το τελικό βαθμό αποτελεσματικότητας των έργων **[2]**.

Στις διατάξεις του Νόμου 4042/2012, πέραν της ενσωμάτωσης των άρθρων της ΟΠΑ, περιλαμβάνονται, συν τοις άλλοις, κυρώσεις για φυσικά και νομικά πρόσωπα που δεν συμμορφώνονται με τις υποχρεώσεις που απορρέουν από αυτόν. Επιπλέον, προβλέπεται η επιβολή προστίμων προς τους Δήμους και τα νομικά πρόσωπα των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης σε περιπτώσεις που διαπιστώνεται η λειτουργία Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων **(ΧΑΔΑ)**. Ταυτόχρονα, ορίζεται τόσο *το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων* **(ΕΣΔΑ)** με χρονικό ορίζοντα το έτος 2020 όσο και τα αντίστοιχα *Περιφερειακά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων* **(ΠΕΣΔΑ)** για τις 13 διοικητικές περιφέρειες της Ελλάδας.

Κάθε ΠΕΣΔΑ εκπονείται από τον αντίστοιχο Φορέα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων **(ΦοΔΣΑ)**. Επιπλέον, καλούνται οι φορείς επεξεργασίας αποβλήτων όχι μόνο να διαθέτουν Άδεια Λειτουργίας αλλά και να λαμβάνουν Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων **(ΑΕΠΟ)**, στην οποία περιλαμβάνεται η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων **(ΜΠΕ)**.

Όσον αφορά τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα **(ΒΑΑ)**,τίθενται δύο βασικοί στόχοι: Ο πρώτος στόχος αφορά στην ανέλιξη του ποσοστού της **χωριστής διαλογής των βιολογικών αποβλήτων σε επίπεδα τουλάχιστον του 5% επί του συνολικού τους βάρους έως το 2015 και σε ποσοστό τουλάχιστον του 10% έως το 2020**, με το αντίστοιχο συλλεχθέν κλάσμα να προορίζεται ως πρώτη ύλη για διαδικασίες κομποστοποίησης ή χώνευσης.

Ο δεύτερος στόχος αφορά τη **μείωση αυτών που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ κατά 35% κ.β. σε σχέση με το έτος αναφοράς (1995)**. Η επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου αφενός θα επιβραδύνει τον κορεσμό των ΧΥΤΑ και αφετέρου θα περιορίσει την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων στους ΧΥΤΑ, η οποία είναι και υπεύθυνη για εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, δημιουργία στραγγισμάτων, δυσωδίας, κ.λπ. **[6],[9]**

Τέλος, στο **Άρθρο 43** (Παράγραφος 1) τον νόμου ορίζεται **ειδικό τέλος ταφής** για τους Οργανισμούς και τις Επιχειρήσεις που διαθέτουν σε χώρους ταφής συγκεκριμένους τύπους αποβλήτων που δεν έχουν υποστεί προηγουμένως άλλου τύπου επεξεργασία. Ειδικότερα, επισημαίνεται ως ανεπιθύμητη και τιμωρείται η διάθεση τόσο των δημοτικών αποβλήτων (βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα και σύμμεικτα) όσο και των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις. Αντίθετα, *τα υπολείμματα από τις εργασίες επεξεργασίας των αποβλήτων δεν επιβαρύνονται με ειδικό τέλος ταφής κατά την διάθεσή τους σε Χώρο Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤ)*. **[8],[10]**

Ωστόσο, με το **Άρθρο 35** του **Ν.4447/2016**, η εφαρμογή της παραπάνω ρύθμισης αναστέλλεται μέχρι τις 31.12.2018. Η αναστολή αυτή έρχεται ως συνέχεια των αντίστοιχων αναστολών που εμπεριέχονται στις διατάξεις του **Άρθρου 7** της από 24/12/2015 ΠΝΠ (Α' 182), η οποία κυρώθηκε με το άρθρο πρώτο του **Ν.4366/2016** (Α' 18) για το έτος 2016 και της παραγράφου 2 του **Άρθρου 77** του **Ν.4257/2014** (Α' 93) για το έτος 2015 **[10]**.

Συμπερασματικά, η δευτεροβάθμια τοπική αυτοδιοίκηση καλείται να δώσει γρήγορες και άμεσες απαντήσεις σε ένα πολύπλοκο ζήτημα όπως είναι η εναλλακτική διαχείριση των ΑΣΑ ακολουθώντας όσα προβλέπει το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο και με τα χρονοδιαγράμματα που θέτουν οι Οδηγίες της Ε.Ε. να πιέζουν ασφυκτικά.

Με βάση την περιγράφουσα αυτή κατάσταση, καθίσταται αναγκαία η εκπόνηση και η υλοποίηση ενός ορθολογιστικού πλάνου διαχείρισης αστικών αποβλήτων εκ μέρους της εκάστοτε δημοτικής αρχής, η οποία θα κινείται γύρω από τρεις βασικούς άξονες δράσης:

- Στη διατύπωση γενικού σχεδίου.
- Στο ρυθμιστικό σύστημα και στο σύστημα ελέγχου.
- Στη διαθεσιμότητα κατάλληλων τεχνικών και εγκαταστάσεων διαχείρισης και διάθεσης, με σκοπό να υλοποιηθεί η επιλεγμένη πορεία για την διαχείριση των αποβλήτων.

Άλλωστε, σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων, η διάθεση των ανεπεξέργαστων στερεών αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής οφείλει να αποτελεί την τελευταία εναλλακτική λύση καθώς συνεπάγεται σπατάλη πόρων που θα μπορούσαν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να αξιοποιηθούν.

Πίνακας 1.1: Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία σχετικά με την διαχείριση των ΑΣΑ

Θέμα	Ευρωπαϊκή νομοθεσία	Ελληνική νομοθεσία
Διαχείριση στερεών αποβλήτων	Οδηγία 2008/98/ΕΚ	Νόμος 4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13.02.2012)
Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας σταθμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ	-	Νόμος 4254/2014 (ΦΕΚ 85/Α/7.04.2014)
Θέσπιση ΕΚΑ	Απόφαση 2000/532/ΕΚ	ΚΥΑ Η.Π 50910/2727 (ΦΕΚ 1909/Β/22.12.03)
Αποτέφρωση αποβλήτων	Οδηγία 2000/76/ΕΚ	ΚΥΑ 22/912/1117/2005 (ΦΕΚ 759/Β/06.06.2005)
Διάθεση – Υγειονομική ταφή	Οδηγία 1999/31/ΕΚ	ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572/Β/16.12.2002) ΚΥΑ 4641/232/2006 (ΦΕΚ 168/Β/13.02.2006)
Απόβλητα συσκευασίας	Οδηγία 94/62/ΕΚ	ΥΑ 9268/469/2007 (ΦΕΚ 286/Β/2.03.2007) ΥΑ 54461/1779/Ε.103/2013 (ΦΕΚ 2500/Β/4.10.2013)
Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΕΕ)	Οδηγία 2012/19/ΕΕ	ΠΔ 117/2004 (ΦΕΚ 82/Α/5.03.2004)
Απόβλητα φορητών Ηλεκτρικών Στηλών και Συσσωρευτών (ΗΣ&Σ)	Οδηγία 2006/66/ΕΚ	ΚΥΑ 41624/2057/2010 (ΦΕΚ 1625/Β/11.10.2010)

Τα τελευταία χρόνια, έχουν υπάρξει σημαντικά βήματα προόδου ως προς την εφαρμογή ολοκληρωμένων και συνάμα καινοτόμων συστημάτων διαχείρισης των αποβλήτων, εντός της ελληνικής επικράτειας. Παρόλα αυτά, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική υστέρηση σε σύγκριση με την υπόλοιπη Ευρώπη τόσο σε επίπεδο υποδομών όσο και σε επίπεδο ευαισθητοποίησης και συμμετοχής των πολιτών **[2]**.

1.4 Εθνική στρατηγική στη διαχείριση αποβλήτων

Η εθνική στρατηγική διαχείρισης αποβλήτων σύμφωνα με την απόφαση υπ΄αριθμών 414 του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών δείχνει να είναι συμβατή με την ιεραρχία διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων**.** Υιοθετούνται οι παρακάτω στρατηγικές κατά σειρά προτεραιότητας:

1) Πρόληψη- Επαναχρησιμοποίηση

Υιοθετούνται πλήρως οι κατευθύνσεις και στόχοι του Εθνικού Πρόγραμμα Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων.

2) Ανακύκλωση – Ανάκτηση

(Α) Χωριστή συλλογή και ανάκτηση ΒΑΑ με προτεραιότητα την ανακύκλωση υψηλής ποιότητας, με έμφαση στο χαρτί- χαρτόνι και σταδιακή εφαρμογή στα βιοαπόβλητα.

- Χαρτί- χαρτόνι: μεγιστοποίηση ανακύκλωσης για δύο υλικά στόχους, το χαρτί συσκευασίας και το έντυπο χαρτί.
- Βιοαπόβλητα, προώθηση και εφαρμογή συνεργιστικά και συμπληρωματικά των παρακάτω συστημάτων χωριστής συλλογής και ανάκτησης,

- Στα πράσινα σημεία μπορεί να πραγματοποιείται και ξεχωριστή συλλογή βιοαποβλήτων.

- Οικιακή κομποστοποίηση με έμφαση στα νοικοκυριά περιοχών με αγροτικό και ημιαστικό χαρακτήρα και επιτόπια μηχανική κομποστοποίηση σε δημόσιους χώρους πρασίνου, σχολεία, οικιστικά συγκροτήματα, ξενοδοχεία, στρατόπεδα κ.λπ.

- Εκτροπή των αποβλήτων βρώσιμων λιπών και ελαίων με έμφαση στους μεγάλους παραγωγούς τέτοιων αποβλήτων, όπως οι χώροι μαζικής εστίασης, μονάδες catering, στρατόπεδα, νοσοκομεία, ξενοδοχεία και παρασκευαστήρια έτοιμων τροφίμων.

- Χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων μέσω των Τοπικών Σχεδίων Διαχείρισης με έμφαση στους μεγάλους παραγωγούς βιοαποβλήτων (χώρους μαζικής εστίασης, μονάδες catering, ξενοδοχεία, στρατόπεδα, νοσοκομεία, λαχαναγορές, λαϊκές αγορές κ.λπ.). Επέκταση του υφιστάμενου δικτύου χωριστής συλλογής πρασίνων.

- Ανάκτηση των προ διαλεγμένων οργανικών αποβλήτων σε μονάδες επεξεργασίας, σε επίπεδο Δήμου ή όμορων Δήμων και σε κεντρικές μονάδες.

- Επίτευξη υψηλής ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος και ανάπτυξη συστημάτων διασφάλισης ποιότητας και πιστοποίησης της.

- Προωθητικές ενέργειες – ανάπτυξη αγορών για την επανατοποθέτηση του προϊόντος στον οικονομικό κύκλο.

- Επιλεκτική ανάκτηση και επεξεργασία βιο-αποβλήτων προς υλικά υψηλής προστιθέμενης αξίας (ζωοτροφές, κόλλες κ.λπ.)

(Β) Επεξεργασία ΒΑΑ σε κεντρικές μονάδες επεξεργασίας υπολειπόμενων σύμμεικτων ΑΣΑ για την συμπλήρωση των στόχων εκτροπής ΒΑΑ, σε συνδυασμό με τις μονάδες ανάκτησης προδιαλεγμένων οργανικών . Η επιλογή του κατάλληλου δικτύου είναι αποτέλεσμα των παρακάτω βασικών προϋποθέσεων:

-Η αξιοποίηση του εκτρεπόμενου κλάσματος ΒΑΑ με προτεραιότητα την ανάκτηση υλικών, εφόσον εξασφαλίζονται οι προϋποθέσεις για την επίτευξη των προδιαγραφών για κομπόστ ή χώνευμα τύπου Α της ΚΥΑ οικ. 56366/4351/2014 για την τελική χρήση των παραγόμενου προϊόντος σύμφωνα με τις προβλέψεις της ανωτέρω ΚΥΑ.

- Η ανάκτηση ενέργειας από τα ΒΑΑ στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η ανάκτηση υλικών κατάλληλων προδιαγραφών που να μπορούν να διατεθούν στην αγορά ή/και όταν η

εφαρμογή των ανώτερων ιεραρχικά λύσεων δεν επαρκεί για την επίτευξη των στόχων εκτροπής από την ταφή.

-Για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας και αποδοτικότητας των εναλλακτικών επιλογών διαχείρισης θα πρέπει να προβλέπεται στις μονάδες επεξεργασίας συμμείκτων, η δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας προδιαλεγμένων αποβλήτων και να λαμβάνεται υπ' όψιν η προοπτική μελλοντικής αύξησης των αποδόσεων χωριστής συλλογής και ανακύκλωσης.

- Για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας και αποδοτικότητας θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπ' όψιν το κόστος του συνόλου των σταδίων επεξεργασίας των ΒΑΑ μέχρι την τελική χρήση των δευτερογενών υλικών στην αγορά και την τελική διάθεση.

1.5 Εθνικοί στόχοι στη διαχείριση αποβλήτων

Οι εθνικοί στόχοι σχετικά με την διαχείριση των αποβλήτων προκύπτουν με βάση την αναπτυξιακή στρατηγική «**Ευρώπη 2020**» (Europe 2020 growth strategy) σε συνδυασμό με το **Πακέτο Κυκλικής Οικονομίας** (Circular Economy Package). **[11],[12]**

Πιο συγκεκριμένα, η στρατηγική «Ευρώπη 2020» προωθεί τους ακόλουθους περιβαλλοντικούς και ενεργειακούς στόχους:

- ✓ Μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% (έως και 30% υπό κατάλληλες προϋποθέσεις) σε σχέση με το έτος 1990
- ✓ 20% παραγόμενη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές
- ✓ 20% αύξηση στην ενεργειακή απόδοση

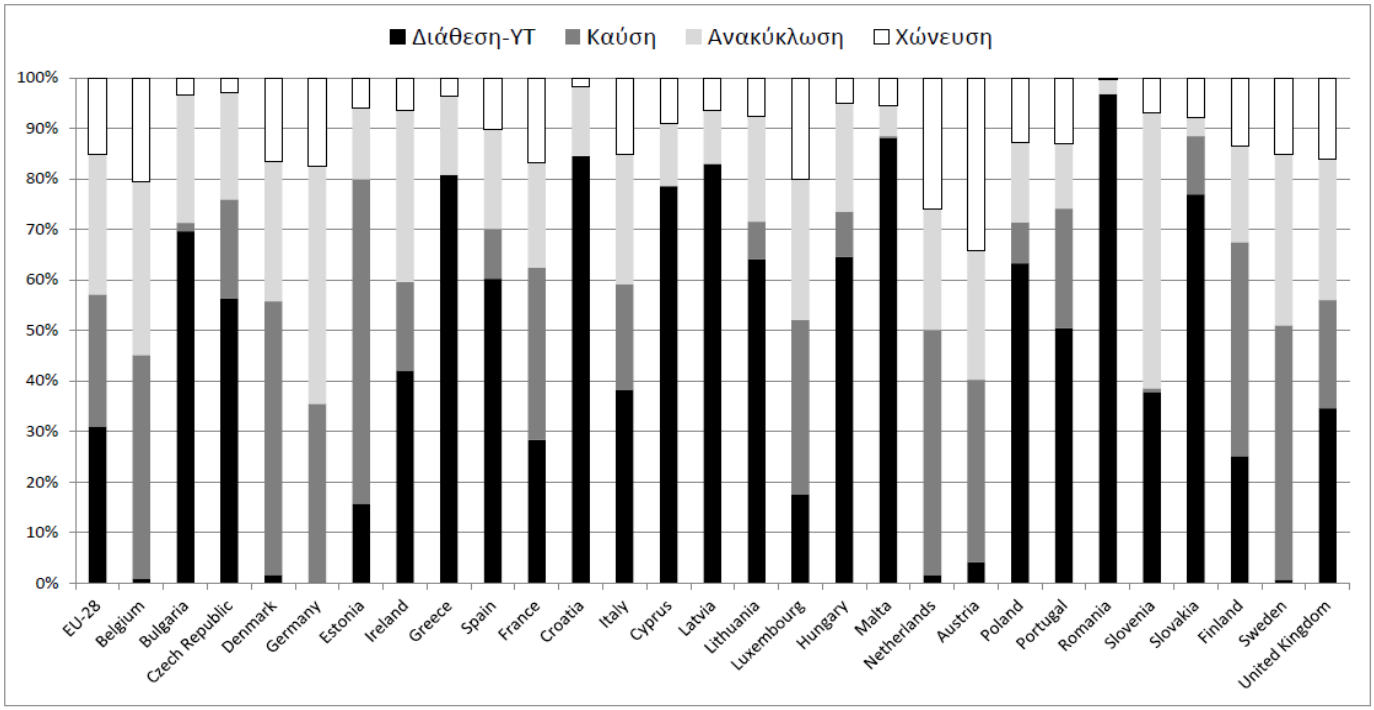
Από την άλλη πλευρά, ο περιβαλλοντικός στόχος του Πακέτου Κυκλικής Οικονομίας συνιστάται στη **μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα** (CO_2) κατά 450 εκατομμύρια τόνους (tn) στο σύνολο των 28 χωρών που ανήκουν στην ΕΕ. Προς την κατεύθυνση αυτή, στις 2 Ιουλίου του 2014, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ενέκρινε νομοθετική πρόταση και παράρτημα για την αναθεώρηση των στόχων επάνω στην διαχείριση των αστικών αποβλήτων όπως αυτοί περιγράφονται αναλυτικά στην ΟΠΑ αλλά και μέσω των Οδηγιών **1999/31/ΕΚ [9]** για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων και **94/62/ΕΚ** για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασιών.

Μεταξύ άλλων, η πρόταση αυτή αποσκοπεί τόσο στην ενίσχυση της ανακύκλωσης όσο και στην απόκτηση πρόσβασης σε δευτερεύουσες πρώτες ύλες. Πιο συγκεκριμένα, θέτει τους ακόλουθους «φιλόδοξους» στόχους:

- Αύξηση της ανακύκλωσης των αστικών αποβλήτων σε ποσοστό 65% κατά βάρος επί του συνόλου αυτών μέχρι το 2030.
- Αύξηση της ανακύκλωσης των αποβλήτων συσκευασίας σε ποσοστό 75% κατά βάρος επί του συνόλου αυτών έως το 2030.
- Μείωση της υγειονομικής ταφής στο 10% κατά βάρος επί όλων των ρευμάτων των αποβλήτων έως το 2030.
- Απαγόρευση ταφής των χωριστά συλλεχθέντων αποβλήτων.

- Λήψη μέτρων για την προώθηση της βιομηχανικής συμβίωσης, της αξιοποίησης δηλαδή των παρελκόμενων προϊόντων (by-products) μιας βιομηχανίας ως πρώτη ύλη μιας άλλης βιομηχανίας.

Παρόλο που οι Ευρωπαϊκές κατευθύνσεις είναι πολύ σαφείς και έχουν νομοθετηθεί μέσω των ΕΣΔΑ σε όλα τα Κοινοβούλια της ΕΕ-28, η κατάσταση που επικρατεί στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Το **Γράφημα 1.1** παρουσιάζει τις τεχνικές επεξεργασίας των ΑΣΑ που ακολουθεί κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ-28, βάσει των πιο πρόσφατων στατιστικών στοιχείων της Eurostat **[13]**.



Γράφημα 1.1: Διαχείριση ΑΣΑ στην ΕΕ-28, Έτος 2013 [13]

2. Γενικά για τον δήμο ΒΒΒ

2.1 Παραγωγή ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ

Ο δήμος Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης (ΒΒΒ) εντάσσεται διοικητικά στην Περιφέρεια Αττικής (περιφερειακή ενότητα Ανατ. Αττικής). Έχει έκταση περίπου **33,94 km^2** και σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2011 φιλοξενεί περίπου **48.817 κατοίκους.** Ο συγκεκριμένος δήμος προέκυψε από την εφαρμογή του Προγράμματος «Καλλικράτης» και ουσιαστικά δεν είναι τίποτα άλλο από την συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Βούλας, Βάρης και Βουλιαγμένης. Η μεγαλύτερη πληθυσμιακά Δημοτική Ενότητα είναι αυτή της Βούλας με μόνιμο πληθυσμό 28.314 κατοίκους, ακολουθεί η Βάρη με 15.744 κατοίκους και τέλος η Βουλιαγμένη με πληθυσμό 4.759 κατοίκους **[14].**

Εικόνα 2.1 : Στοιχειώδη χαρτογράφηση του Δήμου ΒΒΒ

Σήμερα, στον δήμο ΒΒΒ παράγονται περίπου **34.500 τόνοι** Αστικών Στερεών Αποβλήτων ετησίως, νούμερο που ισοδυναμεί με κατά κεφαλή παραγωγή ΑΣΑ **706,62 Kg/κάτοικο**. Τα παραγόμενα ΑΣΑ έχουν κατά βάση τη μορφή σύμμεικτων αποβλήτων που προέρχονται είτε

από τις οικιακές σακούλες σκουπιδιών είτε από διάφορες εμπορικές δραστηριότητες (καταστήματα, εστιατόρια κ.ά.) που παράγουν απόβλητα με σύσταση παρόμοια με εκείνη των οικιακών απορριμμάτων.

Γενικότερα, στο σύνολο των αστικών απορριμμάτων που καλούνται να διαχειριστούν οι φορείς αποκομιδής του δήμου εμπεριέχονται συνήθως οι εξής τύποι αποβλήτων: **[1],[2]**

- Κατάλοιπα κάθε φύσης, όπως οικιακά απορρίμματα, φύλλα, σκουπίσματα, χαρτιά που τοποθετούνται μέσα στις πλαστικές σακούλες.
- Απορρίμματα από εμπορικές εγκαταστάσεις και βιοτεχνίες, κτίρια γραφείων που τοποθετούνται επίσης σε σακούλες ή κάδους όπως τα οικιακά
- Κοπριές, αφυδατωμένες ιλύες, προϊόντα από καθαρισμούς δρόμων και δημοσίων χώρων, που συγκεντρώνονται σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Κατάλοιπα από χώρους εκθέσεων αγορές, εορτές, κλπ , που συγκεντρώνονται επίσης σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Απορρίμματα από σχολεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία (πλην των μολυσματικών) που συγκεντρώνονται σε ειδικούς χώρους.
- Ογκώδη αντικείμενα

Πίνακας 2.1: Συγκεντρωτικά στοιχεία για τα απορρίμματα στο δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης (*ΠΗΓΗ: ΕΔΣΝΑ - Οδηγός Σύνταξης Τοπικού Σχεδίου Αποκεντρωμένης Διαχείρισης Αποβλήτων) [14]

Περιοχή	Σύμμεικτα (tn)	ΚΔΑΥ (tn)			Σύνολο ΑΣΑ (tn)	Ποσοστό Ανακύ-κλωσης
		Μεικτά	Υπόλειμμα	Καθαρά Ανακυκλώσιμα		
ΔΗΜΟΣ ΒΒΒ	31.763	2.732	1.324	1.408	34.495	4,08%
Περιφέρεια Αττικής *	1.667.820	122.122	74.835	47.287	1.789.942	2,64%

Σημειώνεται ότι ο συγκεκριμένος δήμος θεωρείται από τους πλέον αραιοκατοικημένους σε σύγκριση με τους άλλους Δήμους της πρωτεύουσας ενώ παρουσιάζει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το 1/3 περίπου των παραγόμενων αποβλήτων του να είναι κλαδέματα και απόβλητα κήπων. Το φαινόμενο αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι στο Δήμο ΒΒΒ εντοπίζονται αρκετές εκτάσεις με πράσινο μιας και θεωρείται προάστιο της Αθήνας που βρίσκεται εκτός του αστικού ιστού.

Τέλος, ο δήμος Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης δεν θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση από τις επιταγές του σύγχρονου τρόπου ζωής οι οποίες έχουν οδηγήσει στην ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση του ρυθμού παραγωγής των απορριμμάτων, που παρατηρείται χρόνο με το χρόνο. Μάλιστα, το φαινόμενο αυτό ενισχύεται ακόμα περισσότερο αν αναλογιστεί κανείς ότι στον συγκεκριμένο δήμο διαμένουν αρκετά άτομα υψηλών εισοδημάτων με υψηλό ακόμα επίπεδο κατανάλωσης.

2.2 Υφιστάμενη διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ

Η ετήσια παραγωγή Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) στο δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης (ΒΒΒ) ισούται με **34.495,18 tn/year**. Κατά τις διαδικασίες αποκομιδής στην ευρύτερη περιοχή εντοπίζονται τέσσερεις βασικοί τύποι αποβλήτων: Οικιακά απόβλητα, Ογκώδη απόβλητα, Πράσινα απόβλητα και Ανακυκλώσιμα απόβλητα. **[14]**

- Τα **οικιακά απόβλητα** είναι ένα ανομοιογενές μίγμα απορριμμάτων με βασικότερο συστατικό τα βιοαποδομήσιμα υπολείμματα τροφών που προέρχονται από κουζίνες σπιτιών, μαγειρείων, εστιατορίων, εγκαταστάσεων μαζικής εστίασης και χώρων πωλήσεων λιανικής που βρίσκονται εντός του δήμου. Στο όλο μίγμα εμπεριέχονται και αδρανή απόβλητα (χώματα, πέτρες, απόβλητα εκσκαφών και οικοδομικών κατεδαφίσεων κ.λπ.)

- Τα **πράσινα απόβλητα** είναι κυρίως κλαδέματα καθώς και τα διάφορα φυτικά υπολείμματα που προκύπτουν από τις εργασίες συντήρησης και καθαρισμού των χώρων πρασίνων του δήμου (πλατείες, πεζοδρόμια, νησίδες, πάρκα, κήποι κ.α.)

- Τα **ογκώδη απόβλητα** περιλαμβάνουν κυρίως άχρηστες ηλεκτρικές συσκευές, παλιά έπιπλα και στρώματα, τζάμια, μεγάλου μεγέθους πλαστικά κτλ.

- Τα **ανακυκλώσιμα απόβλητα** είναι κυρίως απόβλητα συσκευασιών με πρώτη ύλη το χαρτί, το πλαστικό, το γυαλί και το αλουμίνιο. Εντάσσονται στο Εθνικό Πρόγραμμα Εναλλακτικής Διαχείρισης συσκευασιών, συλλέγονται στους μπλε κάδους του δήμου και οδηγούνται σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών.

2.2.1 Σύμμεικτα Απορρίμματα: Οικιακά - Κλαδέματα – Ογκώδη

Τα **σύμμεικτα απορρίμματα** αποτελούν ουσιαστικά το σύνολο των οικιακών, πράσινων και ογκωδών αποβλήτων που εναποτίθενται κατά τη διάρκεια του έτους στους **πράσινους** και **γκρι** κάδους του δήμου ΒΒΒ. Από εκεί συλλέγονται μέσω των απορριμματοφόρων που ανήκουν στο στόλο καθαριότητας προκειμένου να οδηγηθούν στη συνέχεια για εναπόθεση στο **Χώρο Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων των Άνω Λιοσίων (ΧΥΤΑ Φυλής)**.

Τα ισοζύγια του Ειδικού Διαβαθμιδικού Συνδέσμου του Νομού Αττικής **(ΕΔΣΝΑ)** καθώς και η «Μελέτη Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Απορριμμάτων για το Δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης», η οποία εκπονήθηκε κατά τα έτη 2012 και 2013, ανέδειξαν μια ετήσια δυναμικότητα για τα δημοτικά σύμμεικτα απόβλητα ίση με 31.763,18 tn/year.

Η **ποιοτική τους σύσταση**, μπορεί να αποτυπωθεί υπό τη μορφή ποσοστών, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα: **[14]**

Πίνακας 2.2: Ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ (πλην ανακυκλώσιμων) για το δήμο ΒΒΒ

ΟΙΚΙΑΚΑ	ΚΛΑΔΕΜΑΤΑ	ΟΓΚΩΔΗ
59 %	32 %	9 %

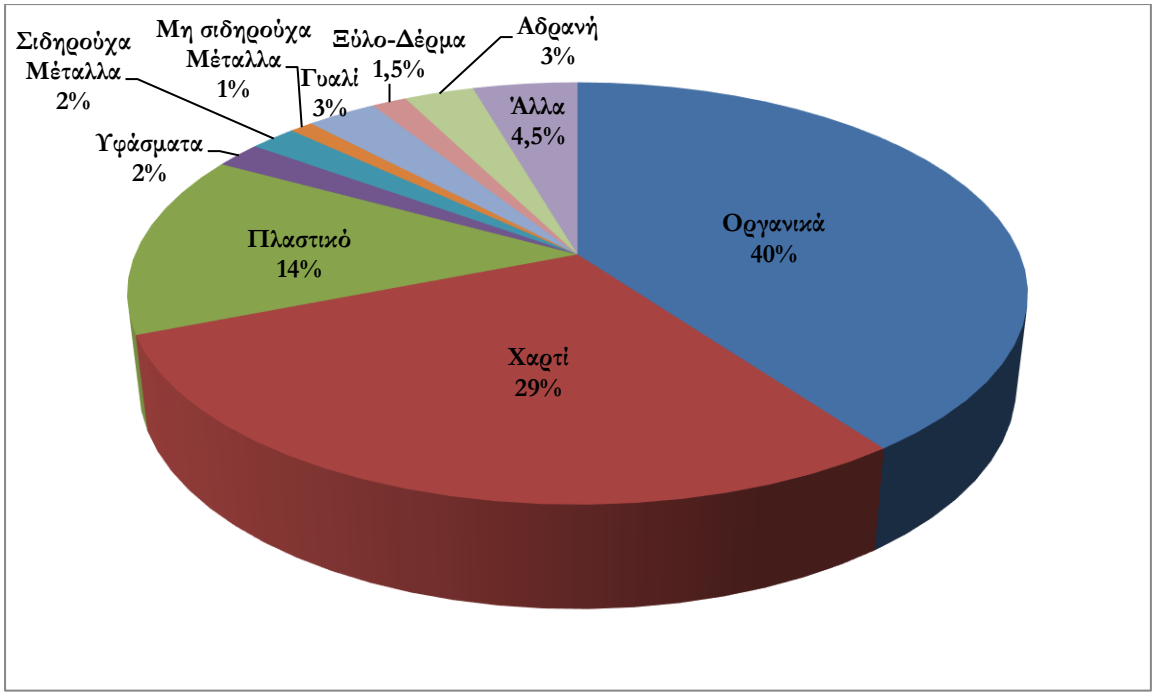
Επιπλέον, ο πίνακας που ακολουθεί καταγράφει τα επίπεδα μηνιαίας παραγωγής για τις επιμέρους κατηγορίες αποβλήτων *(πλην ανακυκλώσιμων)* για το έτος 2013. Σημειώνεται πως μέχρι και σήμερα δεν έχει παρατηρηθεί κάποια σημαντική διαφοροποίηση στην **ποσοτική σύνθεση** των ΑΣΑ του δήμου ΒΒΒ [14].

Πίνακας 2.3: Ποσότητες απορριμμάτων Δήμου Βάρης Βούλας Βουλιαγμένης (πλην Ανακυκλώσιμων)

Μήνας	Οικιακά (tn)	Κλαδέματα (tn)	Ογκώδη (tn)	Σύνολο (tn)
Ιανουάριος	1.504,71	783,04	297,69	2.585,44
Φεβρουάριος	1.332,87	785,41	417,43	2.535,71
Μάρτιος	1.539,10	1.013,74	309,55	2.862,40
Απρίλιος	1.614,96	795,24	214,89	2.625,09
Μάιος	1.504,19	778,63	133,08	2.415,90
Ιούνιος	1.584,05	794,78	184,81	2.563,64
Ιούλιος	1.679,68	730,11	96,48	2.506,27
Αύγουστος	1.698,54	828,96	153,01	2.680,51
Σεπτέμβριος	1.496,91	947,13	260,94	2.704,98
Οκτώβριος	1.562,70	1.083,35	445,33	3.091,38
Νοέμβριος	1.675,63	832,15	91,53	2.599,31
Δεκέμβριος	1.804,20	737,62	189,28	2.731,09
Μέσος όρος	**1.513,31**	**825,14**	**259,58**	**2598,03**
Τυπική απόκλιση	98,71	92,63	102,43	147,66
ΣΥΝΟΛΟ	**18.997,52 tn**	**10.110,17 tn**	**2.794,03 tn**	**31.763,18 tn**

Καταλήγοντας, στην παρούσα μελέτη έχει θεωρηθεί πως τα οικιακά απόβλητα του δήμου παρουσιάζουν παρόμοια σύνθεση με αυτήν των εν Ελλάδι σύμμεικτων απορριμμάτων από πράσινο κάδο. Η σύνθεση των ΑΣΑ στην Ελλάδα είναι παρόμοια με την αντίστοιχη στην υπόλοιπη Ευρώπη με τις μόνες διαφορές να εντοπίζονται στα μεγαλύτερα ποσοστά των οργανικών και στα επίπεδα της περιεχόμενης υγρασίας που μπορεί να φτάνουν μέχρι και το 40% [15].

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η τυπική ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ στην Ελλάδα (%κ.β.) σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία από τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας **(ΥΠΕΝ)** [6],[15].



Γράφημα 2.1: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ πράσινων κάδων στην Ελλάδα ως έχει (%κ.β.)

2.2.2 Ανακυκλώσιμα απόβλητα

Ο Δήμος ΒΒΒ συμμετέχει στο πρόγραμμα ανακύκλωσης αποβλήτων συσκευασίας μέσω της συνεργασίας του με την Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης ΑΕ **(Ε.Ε.Α.Α)**. Τα ανακυκλώσιμα μεταφέρονται σε μονάδα της ΕΕΑΑ και πιο συγκεκριμένα στο **Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (Κ.Δ.Α.Υ)** το οποίο βρίσκεται εντός της Βιομηχανικής Ζώνης Μαρκοπούλου **[14]**.

Από το σύνολο των απορριμμάτων που συλλέγονται από τους **μπλε κάδους** του δήμου, τα **καθαρά ανακυκλώσιμα** είναι **1.408 tn/year**. Η υπόλοιπη ποσότητα των **1.324 tn/year** προκύπτει ως **υπόλειμμα** από τις διαδικασίες ανάκτησης στο Κ.Δ.Α.Υ και μεταφέρεται στο ΧΥΤΑ, με την εναπόθεση του να επιβαρύνει οικονομικά τον ίδιο το δήμο.

Πίνακας 2.4: Ποσότητες ανακυκλώσιμων αποβλήτων συσκευασίας Δήμου ΒΒΒ

Δρομολόγια που εκτελούνται κατά τη διάρκεια του έτους	**830**
Συλλεγόμενες Ποσότητες Ανακυκλώσιμων αποβλήτων	**2.732 tn**
Μέσο Φορτίο Δρομολογίου (tn)	3
Διάθεση Υπολείμματος (tn)	**1.324 tn**
Εκτίμηση ποσότητας αποβλήτων συσκευασίας του δήμου που ανακτήθηκε στα ΚΔΑΥ και σε άλλες αδειοδοτημένες υποδομές ανακύκλωσης	**1.408 tn**

2.2.3 Αδρανή και διαχείριση αποβλήτων εναλλακτικής διαχείρισης

Για λόγους πληρότητας στην περιγραφή των υφιστάμενων διαδικασιών ανακύκλωσης εντός του δήμου ΒΒΒ, κρίνεται σκόπιμη η παράθεση του **Πίνακα 12** από το αντίστοιχο τοπικό σχέδιο δράσης. Ο συγκεκριμένος πίνακας αποτυπώνει με σαφήνεια τους προβλεπόμενους τρόπους εκμετάλλευσης/ανακύκλωσης των διάφορων αδρανών υλικών, των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών καθώς και των αποσυρόμενων ή/και εγκαταλελειμμένων οχημάτων **[14]**.

Πίνακας 2.5: Διαδικασίες Αξιοποίησης αποβλήτων εναλλακτικής διαχείρισης

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΟΝΟΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ / ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Εκτίμηση ποσότητας Αποβλήτων Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) που συλλέχθηκαν με ευθύνη του δήμου το 2013	1,98 tn	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΕ/ ΚΑΛΛΙΘΕΑ
Εκτίμηση των αποσυρόμενων οχημάτων (ΟΤΚΖ) που συνέλλεξε ο Δήμος το 2013 είτε με ιδία μέσα είτε μέσω τρίτων	40 τεμάχια	ΑΝΤΥΜΕΤ PLUS ΑΕΒΕ - ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΣ
Εκτίμηση ποσότητας Αποβλήτων Φορητών Ηλεκτρικών Στηλών που συλλέχθηκαν από χώρους ευθύνης (π.χ. δημοτικά καταστήματα, ανοικτοί χώροι, κλπ) του δήμου το 2013	10.000 τεμάχια	ΑΦΗΣ ΑΕ (Ανακύκλωση Φορητών Ηλεκτρικών Στηλών ΑΕ)/Μελίσσια
Εκτίμηση ποσότητας Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) που παρήχθησαν από τα έργα που εκτέλεσε ο Δήμος το 2013 ή/και που περισυνέλεξε από δημότες του ή δημοτικούς χώρους	300 tn	ΚΟΡΩΠΙ ΕΜΠΟΡΟΛΑΤΟΜΙΚΗ/ ΚΟΡΩΠΙ-ΛΑΤΟΜΕΙΟ

2.3 Ετήσιο λειτουργικό κόστος από την υφιστάμενη διαχείριση των απορριμμάτων στο δήμο ΒΒΒ

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος από τη διαχείριση των απορριμμάτων στο δήμο ΒΒΒ, η οποία εμπεριέχει την **εναπόθεση των σύμμεικτων απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ** καθώς και την **ορισμένη ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών στο ΚΔΑΥ**, διακρίνεται σε **άμεσο** και **έμμεσο.**

Παρακάτω, απαριθμούνται τα επιμέρους εκείνα κόστη τα οποία εντασσόμενα στις δύο προ-αναφερθέντες υποκατηγορίες διαμορφώνουν το τελικό ύψος που ανέρχεται το κόστος λειτουργίας για τη συλλογή, τη μεταφορά και τη διάθεση των δημοτικών αποβλήτων: **[14]**

- **ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**
  - Κόστος Καυσίμων και Λιπαντικών που χρησιμοποιούνται από τα οχήματα αποκομιδής
  - Κόστος διέλευσης Διοδίων των οχημάτων αποκομιδής
  - Εισφορά υπέρ ΕΔΣΝΑ
  - Κόστος ασφάλιστρων οχημάτων αποκομιδής
  - Κόστος συντήρησης οχημάτων αποκομιδής (εργασίες και ανταλλακτικά)
  - Τέλη Κυκλοφορίας Οχημάτων αποκομιδής

- **ΕΜΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**
  - Κόστος Προσωπικού (Αμοιβές, Είδη Ατομικής Προστασίας, Γάλα κλπ)
  - Κόστος Καυσίμων και Λιπαντικών λοιπών οχημάτων Διεύθυνσης Καθαριότητας & Ανακύκλωσης
  - Κόστος ενοικίασης οχημάτων και εγκαταστάσεων
  - Προμήθειες / Αποσβέσεις οχημάτων και εγκαταστάσεων
  - Κόστος συντήρησης λοιπών οχημάτων και εγκαταστάσεων Διεύθυνσης Καθαριότητας & Ανακύκλωσης (εργασίες και ανταλλακτικά)
  - Αναλώσιμα (σάκοι απορριμμάτων, εμβόλια προσωπικού κλπ)
  - Ασφάλιστρα λοιπών Διεύθυνσης Καθαριότητας & Ανακύκλωσης
  - Τέλη Κυκλοφορίας Οχημάτων λοιπών οχημάτων Διεύθυνσης Καθαριότητας & Ανακύκλωσης

Το απασχολούμενο προσωπικό στον τομέα της καθαριότητας και ανακύκλωσης του δήμου ΒΒΒ είναι σήμερα **104 άτομα**. Ωστόσο, οι δαπάνες για την ικανοποίηση των αναγκών του προσωπικού (μισθοί, σεμινάρια κ.α.) δεν κατατάσσονται στα άμεσα κόστη, ούτε καν αυτές που σχετίζονται με το προσωπικό που εργάζεται στα απορριμματοφόρα και στους συρμούς αποκομιδής. Οι βασικότεροι λόγοι είναι δύο:

α. Η οποιαδήποτε **βελτίωση στους χρόνους αποκομιδής** και η **μείωση των αποστάσεων μεταφοράς των απορριμμάτων** μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τις καλύτερες υπηρεσίες προς τους δημότες αλλά **όχι την οποιαδήποτε μείωση του κόστους του προσωπικού**, το οποίο θα εξακολουθεί, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα για τους δημοτικούς υπαλλήλους, να εργάζεται. Εξάλλου σήμερα η υπηρεσία υποστελεχώνεται.

β. Η πρόσληψη υπαλλήλων Ιδιωτικού Δικαίου Ορισμένου Χρόνου (8 μηνών συνήθως) καλύπτει ανάγκες που δεν μπορεί να καλύψει το μόνιμο προσωπικό και είναι εφικτή λόγω της ανταποδοτικότητας των υπηρεσιών Καθαριότητας και Ανακύκλωσης. Τυχόν χρήματα που μπορούν να εξοικονομηθούν από την ανάγκη λιγότερων προσλήψεων λόγω βελτίωσης της οργάνωσης της υπηρεσίας, αναγκαστικά θα πρέπει να επενδυθούν σε άλλες ανταποδοτικές δραστηριότητες στην Καθαριότητα και Ανακύκλωση, δηλαδή πάλι σε κέντρα έμμεσου κόστους.

Οι επιμέρους δαπάνες που συνθέτουν τόσο το άμεσο όσο και έμμεσο κόστος λειτουργίας για τη διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ για το **έτος 2013** συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες, σύμφωνα με το τοπικό σχέδιο του δήμου **(Πίνακες 2.6 και 2.7)** : **[14]**

Πίνακας 2.6: Επιμέρους κόστη που συνθέτουν το άμεσο ετήσιο λειτουργικό κόστος

Άμεσες Δαπάνες Υπηρεσιών Καθαριότητας και Ανακύκλωσης	**Ευρώ (€)**
Ασφάλιστρα οχημάτων αποκομιδής	28.996
Συντήρηση και Επισκευή αγαθών διαρκούς χρήσης από τρίτους για τα οχήματα αποκομιδής	7.219
Τέλη Κυκλοφορίας οχημάτων αποκομιδής	1.980
Τέλη διοδίων οχημάτων αποκομιδής	27.000
Καύσιμα οχημάτων αποκομιδής	274.477
Ανταλλακτικά μηχανικού και λοιπού εξοπλισμού οχημάτων αποκομιδής	39.321
Εισφορά υπέρ ΕΣΔΝΑ (ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗ)	1.620.923 (45 €/tn)
ΣΥΝΟΛΟ	**2.027.919**

Πίνακας 2.7: Επιμέρους κόστη που συνθέτουν το έμμεσο ετήσιο λειτουργικό κόστος

Έμμεσες δαπάνες διεύθυνσης καθαριότητας και ανακύκλωσης	**Ευρώ (€)**
Αμοιβές και Έξοδα προσωπικού	3.353.270 €
Ενοίκια – Μισθώματα	3.177 €
Ασφάλιστρα λοιπών οχημάτων διεύθυνσης καθαριότητας & ανακύκλωσης	34.220 €
Συντήρηση και Επισκευή λοιπών αγαθών διαρκούς χρήσης διεύθυνσης καθαριότητας & ανακύκλωσης	8.520 €
Τέλη κυκλοφορίας λοιπών μεταφορικών μέσων διεύθυνσης καθαριότητας & ανακύκλωσης	14.492 €
Προμήθεια χημικού υλικού (απολυμαντικά, χημικά κλπ)	2.996 €
Προμήθεια ειδών καθαριότητας και ευπρεπισμού	16.834 €
Προμήθεια λοιπών ειδών υγιεινής και καθαριότητας	37.826 €
Καύσιμα και λιπαντικά λοιπών οχημάτων διεύθυνσης καθαριότητας & ανακύκλωσης	57.180 €
Προμήθεια μικρών υλικών & εργαλείων για συνεργεία	18.903 €
Ανταλλακτικά μηχανικού και λοιπού εξοπλισμού	8.191 €
Προμήθεια συστήματος τηλεματικής διαχείρισης οχημάτων	29.030 €
Λοιπός εξοπλισμός (Κάδοι κλπ)	15.266 €
ΣΥΝΟΛΟ	**3.823.237 €**

Συνολικά, το ετήσιο κόστος λειτουργίας για την διαχείριση των ΑΣΑ προκύπτει ως άθροισμα των άμεσων και έμμεσων δαπανών για τις υπηρεσίες καθαριότητας και ανακύκλωσης του δήμου. Επιπλέον, η παρούσα μελέτη αναγάγει το δαπανηθέν χρηματικό ποσό σε **ειδικό κόστος ανά τόνο παραγόμενου ΑΣΑ (€/tn)** προκειμένου να υπάρξει ένα μέτρο σύγκρισης με την εναλλακτική πρόταση για την επεξεργασία των ΑΣΑ που θα ακολουθήσει **[14]**.

Πίνακας 2.8: Συνολικό Ετήσιο λειτουργικό κόστος και ειδικό ετήσιο λειτουργικό κόστος διαχείρισης ΑΣΑ για τον δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης

Άμεσο κόστος/δαπάνες για υπηρεσίες καθαριότητας και ανακύκλωσης	**2.027.919 €**
Έμμεσο κόστος/δαπάνες για υπηρεσίες καθαριότητας και ανακύκλωσης	**3.823.236 €**
Συνολικό Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας	**5.850.155 €**
Ειδικό Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας	**167 €/tn ΑΣΑ**

Με βάση την ισχύουσα νομοθεσία, από του χρόνου (έτος 2019) ο **παραπάνω αριθμός αναμένεται αρκετά αυξημένος** μιας και προβλέπεται η επιβολή ειδικού τέλους ταφής με τιμή αφετηρίας τα 35€/tn. Μάλιστα, η τιμή αυτή δεν παραμένει σταθερή αλλά αντίθετα προσαυξάνεται κατά 5 €/tn ετησίως μέχρι και το έτος 2024 όταν και θα ισούται με 60€/tn. Συνεπώς, για την **περίοδο 2019-2024**, υπολογίζονται τα ειδικά κόστη ταφής του Πίνακα 2.9, τα οποία θα αναδιαμορφώνουν αντιστοίχως και την ετήσια εισφορά υπέρ ΕΣΔΝΑ.

Πίνακας 2.9: Ειδικά τέλη ταφής για την περίοδο 2019-2024 και η αντίστοιχη διαμόρφωση του κόστους διάθεσης (τέλος ΕΣΔΝΑ) ανά έτος

ΕΤΟΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΤΕΛΟΣ ΤΑΦΗΣ	ΕΙΣΦΟΡΑ ΥΠΕΡ ΕΣΔΝΑ
2019	35 €/tn	84 €/tn
2020	40 €/tn	89 €/tn
2021	45 €/tn	94 €/tn
2022	50 €/tn	99 €/tn
2023	55 €/tn	104 €/tn
2024	60 €/tn	109 €/tn

Με άλλα λόγια, το ειδικό κόστος διάθεσης των ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ Φυλής θα λαμβάνεται ίσο με 49€/tn **(Εισφορά ΕΣΔΝΑ)** πλέον τέλους ταφής που κλιμακώνεται από 35 έως 60 €/tn για τα έτη 2018-2023. Επομένως, θα προκύπτει ένα νέο κόστος εισφοράς της τάξης των **84-109€/tn**. **[6],[8],[10]**

Ο επόμενος πίνακας αποτυπώνει την αναμενόμενη προσαύξηση στα ετήσια λειτουργικά κόστη διαχείρισης των ΑΣΑ του δήμου ΒΒΒ ως συνέπεια της επιβολής του ειδικού κόστους ταφής. Θεωρείται από τη μελέτη πως το ύψος των **επιμέρους άμεσων και έμμεσων δαπανών,** όπως αυτά αναφέρθηκαν προηγουμένως, **δεν έχει διαφοροποιηθεί σημαντικά** με το πέρασμα των χρόνων αλλά κυμαίνεται πάνω κάτω στα ίδια επίπεδα μέχρι και σήμερα.

Πίνακας 2.10: Εκτίμηση του συνολικού ετήσιου λειτουργικού κόστους διαχείρισης ΑΣΑ για τον δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης κατά την περίοδο 2019-2024

Έτος	Ειδικό τέλος ταφής (€/ton)	Ειδικό συνολικό κόστος αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ (€/ton)	Συνολικό κόστος αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ (€)
2019	35	211	6.752.000
2020	40	216	6.912.000
2021	45	221	7.072.000
2022	50	226	7.232.000
2023	55	231	7.392.000
2024	60	236	7.552.000

Υπενθυμίζεται πως, σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα, στο ΧΥΤΑ καταλήγει η **ποσότητα των σύμμεικτων απορριμμάτων** (31.763,18 tn/year) συν την **ποσότητα του υπολείμματος** των Αποβλήτων Συσκευασίας Προς Ανακύκλωση (1.324 tn/year) το οποίο αν και στέλνεται από το ΚΔΑΥ, το κόστος ταφής του επιβαρύνει οικονομικά το δήμο. Συνεπώς, μια συνολική μάζα αποβλήτων ίση με **33.087,18 tn/year** είναι αυτή που οδηγείται σήμερα προς υγειονομική ταφή. Υπενθυμίζεται ότι το υπόλειμμα εξαιρείται από την επιβολή του ειδικού τέλους διάθεσης **[14]**.

2.4 Μελλοντική διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ

Από τις αρχές του 2018, ο δήμος ΒΒΒ έχει θέσει σε εφαρμογή πρόγραμμα **διαλογής στην πηγή (ΔσΠ)** για τη χωριστή συλλογή των βιοαποβλήτων που παράγονται εντός της ευρύτερης περιοχής, με έμφαση στα υπολείμματα τροφών που προέρχονται είτε από κατοικίες είτε από επιχειρήσεις εστίασης. Πιο συγκεκριμένα, καφέ κάδοι έχουν τοποθετηθεί σε διάφορα σημεία εντός των διοικητικών ορίων του δήμου προκειμένου οι κάτοικοι να εναποθέτουν εντός αυτών όσο το δυνατόν μεγαλύτερες ποσότητες οργανικών αποβλήτων.

Το εφαρμοζόμενο σύστημα διαλογής στη πηγή με τη χρήση καφέ καδών αναμένεται να επιφέρει την βαθμιαία μείωση του ποσοστού του οργανικού που εναποθετόταν μέχρι σήμερα από τους πολίτες στους πράσινους/γκρι κάδους του δήμου ως βασικό συστατικό των οικιακών σύμμεικτων απορριμμάτων. Σε προχωρημένα στάδια, οι βαθμοί διαχωρισμού του οργανικού κλάσματος είναι δυνατόν να αγγίξουν ακόμα και το 60-80%. Με βάση την ελληνική πραγματικότητα, ένα ποσοστό εκτροπής των οργανικών της τάξης του 60% μπορεί να είναι ένας ρεαλιστικός στόχος για το εγγύς μέλλον όταν οι συνθήκες θα είναι πλέον πιο ώριμες και οι πολίτες θα έχουν εμπεδώσει τον τρόπο χρήσης των καφέ κάδων μέσω και της κατάλληλης ενημέρωσης τους. Ωστόσο, στο πιλοτικό στάδιο εφαρμογής του προγράμματος, οι βαθμοί διαχωρισμού θα είναι αρκετά μικρότεροι λόγω της αναμενόμενης μη εξοικείωσης των κατοίκων με τους βιοκάδους.

Παράλληλα, η καθαρή πρώτη ύλη που συλλέγεται είναι πιο πιθανό να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές για το κομπόστ, ώστε να είναι κατάλληλο για πώληση και χρήση. Ομοίως,

προσφέρει τη δυνατότητα μιας υψηλής ποιότητας πρώτης ύλης για αναερόβια χώνευση, χωρίς απαιτήσεις για υψηλή κατανάλωση ενέργειας στο στάδιο της προεπεξεργασίας, όπως θα γινόταν στην περίπτωση που το εισερχόμενο υπόστρωμα θα προερχόταν από Αστικά Σύμμεικτα Απορρίμματα. Επιπλέον, η απόδοση παραγωγής μεθανίου και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της χωνεμένης ιλύος ποικίλουν και επηρεάζονται από την στρατηγική διαλογής και συλλογής του ρεύματος αυτού καθώς έχουν παρατηρηθεί υψηλότερη παραγωγή μεθανίου από το προ-διαλεγμένο οργανικό κλάσμα σε σχέση με το μηχανικώς διαχωριζόμενο από το κλάσμα των ΑΣΑ **[16],[17]**.

Στην παρούσα μελέτη, έχουν ληφθεί τρία σενάρια. Το πρώτο αντιστοιχεί σε μια δυσμενή πρόβλεψη (**Σενάριο 1**) που αφορά κατά βάση το αρχικό στάδιο εφαρμογής του συστήματος διαλογής στη πηγή για τα βιοαπόβλητα. Το δεύτερο αφορά μια αναμενόμενη πρόβλεψη για την αποτελεσματικότητα του ΔσΠ σε μερικά χρόνια (**Σενάριο 2**) ενώ το τρίτο και τελευταίο αναφέρεται σε μια αισιόδοξη πρόβλεψη η οποία ρεαλιστικά δεν είναι εύκολη αλλά δεν είναι και ακατόρθωτη. Για καθένα από τα τρία προαναφερόμενα σενάρια έχουν θεωρηθεί βαθμοί διαχωρισμού του οργανικού κλάσματος ίσοι με 20%, 30% και 40% αντίστοιχα. Επιπλέον, και στις τρεις περιπτώσεις, η συλλεγόμενη οργανική ύλη δεν θα είναι τελείως καθαρή αλλά θα εμφανίζονται κατά αντιστοιχία προσμίξεις οι οποίες θα διαμορφώνουν και το τελικό μίγμα αποβλήτων που θα εντοπίζεται εντός των καφέ κάδων. Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό, το ποσοστό των προσμίξεων των διαφόρων άλλων υλικών θα μειώνεται όσο προοδευτικά αυξάνεται η ποσότητα των οργανικών που εναποτίθενται εντός των καφέ κάδων.

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται αναλυτικά η ποιοτική και ποσοτική σύσταση του καφέ κάδου και για τα τρία ερευνώμενα σενάρια. Ωστόσο, για τη συνέχεια της μελέτης έχει γίνει η παραδοχή πως θα ισχύουν τα δεδομένα που αναφέρονται στο δεύτερο σενάριο το οποίο μοιάζει να είναι το πιο ρεαλιστικό.

Πίνακας 2.11: Σενάρια μελέτης για τη σύσταση του καφέ κάδου στο δήμο ΒΒΒ (δυσμενής, αναμενόμενη και αισιόδοξη προσέγγιση)

Συστατικά υλικά καφέ κάδου	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (β.δ.=20%)	%υ.β.	ΣΕΝΑΡΙΟ 2 (β.δ.=30%)	%υ.β.	ΣΕΝΑΡΙΟ 3 (β.δ.=40%)	%υ.β.
Οργανικά	1558,00	59,6	2337,00	74,79	3116,00	88,71
Χαρτί	495,90	19,0	358,15	11,46	192,85	5,49
Πλαστικό	266,00	10,2	199,50	6,38	93,10	2,65
Μέταλλα	59,85	2,3	44,89	1,44	23,28	0,66
Γυαλί	63,18	2,4	48,21	1,54	23,28	0,66
Διάφορα	142,50	5,5	114,00	3,65	53,44	1,52
Αδρανή	28,50	1,1	22,80	0,73	10,69	0,30
ΣΥΝΟΛΟ	**2.613,9**	**100,0**	**3.124,6**	**100,00**	**3.512,6**	**100,0**

Σύμφωνα με τα στοιχεία του προ ηγηθέντα πίνακα, οι προσμίξεις άλλων υλικών πέρα των οργανικών θα είναι αρκετά υψηλές σε πρώτη φάση και θα κυμαίνονται γύρω στο 40% του συνόλου των αποβλήτων που εναποτίθενται από τους πολίτες στους καφέ κάδους του δήμου (Σενάριο 1) . Ωστόσο, το ποσοστό αυτό αναμένεται να μειωθεί σε σημαντικό βαθμό στο άμεσο μέλλον ως άμεση συνέπεια της ωρίμανσης του προγράμματος ΔσΠ. Έτσι, υπολογίζεται προσεγγιστικά ότι θα πέσει περίπου στο μισό και θα κυμαίνεται κοντά στο 25% (Σενάριο 2)

ενώ υπάρχουν προοπτικές οι προσμίξεις να φτάσουν και το 10% (Σενάριο 3), πράγμα που θα σημαίνει πως η αποδοτικότητα του συστήματος διαλογής στη πηγή για τα οργανικά θα είναι η πλέον υψηλή και ο δήμος ΒΒΒ θα έχει πετύχει ένα τέλειο αποτέλεσμα.

Τέλος, σύμφωνα με τα εξαγόμενα αποτελέσματα του σεναρίου 2, δύναται να υπολογιστούν κατά προσέγγιση και οι νέες ποσότητες των επιμέρους συστατικών που απαρτίζουν τα σύμμεικτα οικιακά απόβλητα που θα απορρίπτονται πλέον στους πράσινους/γκρι κάδους του δήμου ΒΒΒ μετά και την τοποθέτηση των καφέ κάδων. Όπως αποτυπώνεται στον **Πίνακα,** όταν πλέον έχει σταθεροποιηθεί η κατάσταση σχετικά με τη ΔσΠ των οργανικών, η ετήσια ποσότητα των οικιακών απορριμμάτων που θα καταλήγει στους πράσινους/γκρι κάδους θα εμφανίζεται μειωμένη σε σχέση με την τωρινή της τιμή (περίπου 19.000tn/year), προσεγγίζοντας τους 15.875 tn/year . Η διαφοροποίηση αυτή θα οφείλεται κατά βάση στην εκτροπή μέρους της οργανικής τους ύλης στους δημοτικούς βιοκάδους.

Πίνακας 2.12: Αναδιαμόρφωση της ποσοτικής και ποιοτικής σύστασης των οικιακών αποβλήτων που θα καταλήγουν στους πράσινους/γκρι κάδους του δήμου ΒΒΒ μετά την εφαρμογή διαλογής στη πηγή (ΔσΠ) για τα οργανικά

Συστατικά υλικά οικιακών αποβλήτων	Επιμέρους μάζες (tn/year)	% υ.β.
Οργανικά	5.453	34,3%
Χαρτί	5.152	32,5%
Πλαστικό	2.461	15,5%
Μέταλλα	620	3,9%
Γυαλί	617	3,9%
Διάφορα	1.311	8,3%
Αδρανή	262	1,7%
ΣΥΝΟΛΟ	**15.875**	**100,0**

3. Η Τεχνική Περιγραφή προτεινόμενης ΜΕΑ

3.1 Τα επιμέρους τμήματα λειτουργίας της μονάδας

Η πλήρης τεχνική πρόταση της μελέτης αναφέρεται σε μια **ολοκληρωμένη εγκατάσταση διαχείρισης αστικών απορριμμάτων** η οποία υποστηρίζει την Μηχανική Επεξεργασία για την ανάκτηση εμπορεύσιμων ανακυκλώσιμων προϊόντων από τα ΑΣΑ σε συνδυασμό με τη Βιολογική Επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εδαφικού υλικού τύπου κομπόστ (CLO) αλλά και κομπόστ υψηλής ποιότητας. Πιο συγκεκριμένα, η προτεινόμενη μονάδα Μηχανικής-Βιολογικής Επεξεργασίας (ΜΒΕ) αποβλήτων θα ενσωματώνει πέντε (5) βασικές και συνάμα διακριτές μεταξύ τους δυνατότητες-τμήματα λειτουργίας:

- **Μονάδα μηχανικής προ-επεξεργασίας απορριμμάτων** (Mechanical Treatment Facility-MTF) στην οποία επιδιώκεται ο διαχωρισμός των οργανικών από το υπόλοιπο ετερογενές μίγμα απορριμμάτων του Δήμου ΒΒΒ. Στη συνέχεια, το εναπομένων βαρύ κλάσμα αποβλήτων (χαρτί, πλαστικό, γυαλί και μέταλλα) υφίσταται επιμέρους διαδικασίες διαχωρισμού μέσω του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού. Διαδικασίες μηχανικής επεξεργασίας, σε μικρότερη βέβαια έκταση, θα διέρχονται και τα προ-διαλεγμένα οργανικά.

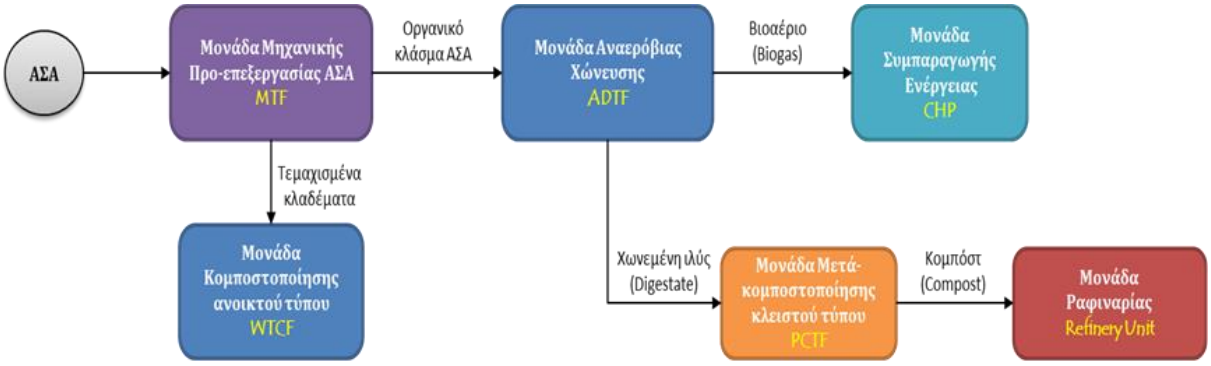
- **Μονάδα αναερόβιας χώνευσης** (Anaerobic Digestion Treatment Facility-ADTF) όπου το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ αποσυντίθεται εντός χωνευτήρων τύπου γκαράζ προς παραγωγή κατάλληλης ποσότητας βιοαερίου. Δύο ξεχωριστές γραμμές χώνευσης θα αναπτύσσονται: μία για το μηχανικά διαχωρισμένο οργανικό κλάσμα των οικιακών αποβλήτων των πράσινων/γκρι κάδων και μία για τα προ-διαλεγμένα οργανικά των καφέ κάδων, τα οποία θα αναμειγνύονται με κατάλληλη ποσότητα πράσινων αποβλήτων.

- **Μονάδα συμπαραγωγής** (Combined Heat and Power-CHP) όπου το παραγόμενο βιοαέριο στο σύνολό του χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μια Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ) με σκοπό την ανάκτηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

- **Μονάδα μετα-κομποστοποίησης κλειστού τύπου** (Post-Composting Treatment Facility-PCTF) προς αερόβια σταθεροποίηση μέρους του παραγόμενου χωνεμένου υπολείμματος των αναερόβιων διεργασιών. Εντός της μονάδας θα λειτουργεί και χώρος για την ωρίμανση των ημι-κομποστοποιημένων υλικών.

- **Μονάδα ραφιναρίσματος** (Refinery Unit) όπου πραγματοποιείται η περαιτέρω μηχανική επεξεργασία του σταθεροποιημένου υλικού προς παραγωγή εδαφικού υλικού τύπου κομπόστ.

- **Μονάδα κομποστοποίησης ανοικτού τύπου** (Windrow Composting Treatment Facility-WCTF) στην οποία θα οδηγείται μεγάλη ποσότητα από τα εισερχόμενα στην εγκατάσταση κλαδέματα προς παραγωγή εδαφοβελτιωτικού πολύ υψηλής ποιότητας.



Εικόνα 3.1: Συνοπτικό διάγραμμα λειτουργίας προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης

Συνεπώς, προτείνεται η κατασκευή μιας **αυτόνομης Μονάδας Επεξεργασίας Αποβλήτων (ΜΕΑ)** στην οποία θα υπάρχουν διάφορες περιοχές λειτουργίας, καθεμία από τις οποίες θα συνεισφέρει ξεχωριστά στην επίτευξη των αντικειμενικών σκοπών της σχεδιαζόμενης εγκατάστασης, που θα είναι κατά σειρά προτεραιότητας οι εξής:

- ✓ **Ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ** (Energy Recovery)
- ✓ **Ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών** (Material Recovery)
- ✓ **Παραγωγή Στερεού Ανακτηθέντος Καυσίμου** (RDF Production)
- ✓ **Παραγωγή εδαφοβελτιωτικού υλικού** (Compost Production)

Η υλοποίηση του συγκεκριμένου έργου εκτιμάται ότι θα συμβάλλει αποφασιστικά στην επίτευξη του συνόλου των **στόχων** που έχει θέσει η διοικούσα αρχή του δήμου ΒΒΒ σχετικά με την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων της και οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με:

→ Την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.
→ Την συνεισφορά στην επίτευξη των στόχων που τίθενται από το εθνικό και ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο σε σχέση με τη διαχείριση απορριμμάτων.
→ Την εξοικονόμηση φυσικών πόρων.
→ Την μεγιστοποίηση της αξιοποίησης των υλικών που περιέχονται στα απόβλητα
→ Την μείωση των αποβλήτων και ιδιαίτερα του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος αυτών που διατίθενται προς ταφή.

3.2 Γενικές πληροφορίες για την τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης

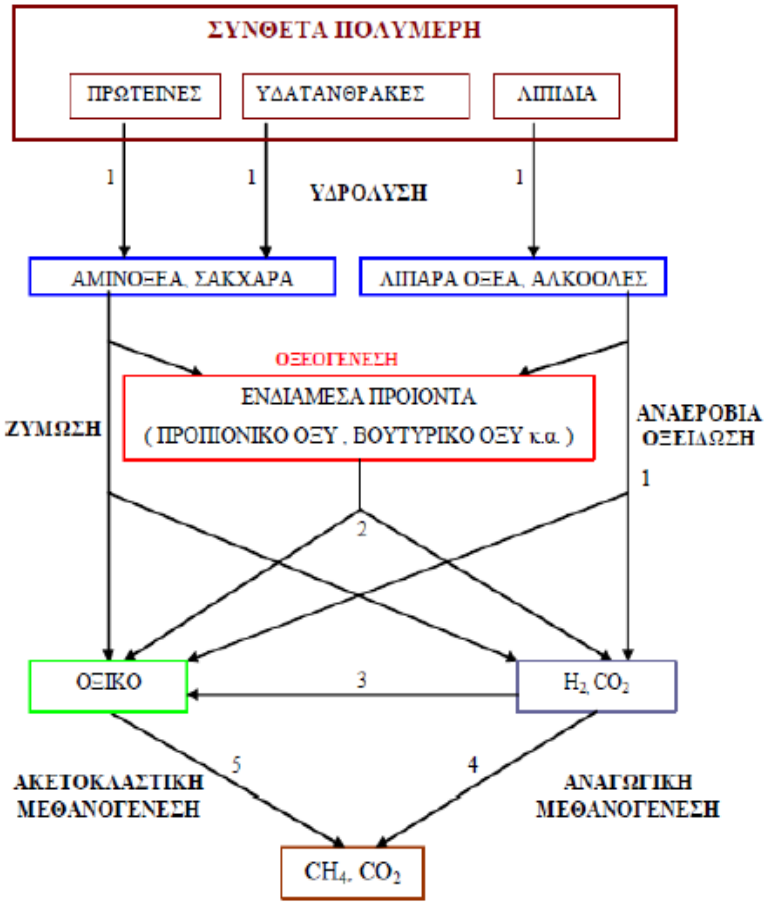
Η Αναερόβια Χώνευση (Anaerobic Digestion) αποτελεί μια βιολογική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Σε μία εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης, το βασικό προϊόν των βιοχημικών διεργασιών είναι το **βιοαέριο**, αέριο καύσιμο μίγμα με βασικά συστατικά το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το μεθάνιο (CH_4), και η **χωνεμένη ιλύς**, το αποσυντιθέμενο υπόστρωμα της χώνευσης το οποίο είναι πλούσιο σε άζωτο **[34]**.

Η συνολική διαδικασία μετατροπής του οργανικού υλικού σε βιοαέριο περιλαμβάνει τέσσερα (4) διακριτά μεταξύ τους χημικά και βιολογικά στάδια, τα οποία είναι η υδρόλυση, η οξεογένεση, η οξικογένεση, και η μεθανογένεση. Τα επιμέρους αυτά στάδια λαμβάνουν χώρα εντός των βιοαντιδραστήρων, παράλληλα στο χώρο και στο χρόνο, παραμένοντας πάντα ίδια ανεξάρτητα από τον τύπο της χώνευσης που εφαρμόζεται κάθε φορά. Η παραγωγή βιοαερίου φθάνει στην αιχμή της κατά την μεθανογένεση.

Κατά το πρώτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης, σύνθετες πολυμερικές ενώσεις όπως είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη υδρολύονται από εξωκυτταρικά ένζυμα σε διαλυτά προϊόντα μικρότερου μεγέθους (μονομερή ή ολιγομερή) έτσι ώστε να μπορούν να εισχωρήσουν διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης στο εσωτερικό του κυττάρου. Εν συνέχεια, οι παραγόμενες σχετικά απλές ενώσεις της προηγηθείσας διεργασίας ζυμώνονται ή οξειδώνονται αναερόβια σε πτητικά λιπαρά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία. Τα πτητικά λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, είτε από την αναγωγή του διοξειδίου του άνθρακα από το υδρογόνο είτε από το οξικό.

Οι κυριότερες ομάδες βακτηρίων που παίρνουν μέρος στο σύνολο των αντιδράσεων που εξελίσσονται κατά την αναερόβια βιοαποδόμηση του υποστρώματος χωρίζονται, με βάση τη μεταβολική τους δραστηριότητα, στις ακόλουθες κατηγορίες,:

- Βακτήρια ζύμωσης
- Οξικογόνα βακτήρια που παράγουν υδρογόνο
- Οξικογόνα βακτήρια που καταναλώνουν υδρογόνο
- Μεθανογόνα βακτήρια που ανάγουν το διοξείδιο του άνθρακα
- Ακετοκλαστικά μεθανογόνα βακτήρια **[18],[19]**



Σχήμα 3.1 Μετατροπή του οργανικού υλικού προς μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης [18]

Έπειτα, οι κυριότεροι **παράμετροι** που επηρεάζουν την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης είναι η θερμοκρασία, το είδος και ο βαθμός βιοδιασπασιμότητας του υποστρώματος, ο λόγος C/N, η τιμή του pH, ο ρυθμός οργανικής φόρτισης, η απουσία οξυγόνου καθώς και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ) στον αντιδραστήρα **[16],[19]**. Επιπλέον, η πιθανή παρουσία τοξικών ουσιών στο υπόστρωμα χρήζει ιδιαίτερης προσοχής μιας και ορισμένες εξ' αυτών μπορεί να δράσουν ως **ανασταλτικοί παράγοντες** στις διαδικασίες αναερόβιας χώνευσης αν υπερβούν κάποια συγκεκριμένα όρια συγκέντρωσης **[18]**.

Αναλυτικότερα, σε ένα οργανικό υπόστρωμα προερχόμενο από ΑΣΑ, η ύπαρξη ουσιών που μπορούν να έχουν αρνητική επίδραση στον μικροβιακό πληθυσμό (βαρέα μέταλλα, τοξικές οργανικές ενώσεις, κ.λπ.) είναι ένα σύνηθες φαινόμενο. Η όλη διεργασία μπορεί να ανασταλεί με διάφορους τρόπους είτε από ενδογενή είτε από εξωγενή αίτια. Οι πιο συνηθισμένοι ενδογενείς αναστολείς είναι κατά σειρά η **αμμωνία** (NH_3), τα **οργανικά οξέα** (κυρίως το οξικό οξύ) και οι **θειικές ενώσεις** (θειικά και θειώδη ιόντα, υδρόθειο), η παρουσία των οποίων σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να αποδειχτεί εξαιρετικά τοξική για τους μικροοργανισμούς. **[18]**

Πίνακας 3.1: Όρια παρεμποδιστικών συγκεντρώσεων ορισμένων ουσιών στο υγρό κλάσμα κατά την αναερόβια χώνευση ΑΣΑ [18]

Ουσία	Όρια συγκεντρώσεων (mg/L)	Παρατηρήσεις
Αέρια αμμωνία	1500-1300	pH>7.4
Αμμωνιακό κατιόν	300	-
Θειώδη	50-100	-
Μέταλλα	<10 (συνήθως)	-
Νάτριο (Na)	3500	Θρεπτικό συστατικό σε επίπεδα 100-200 mg/L
Κάλιο (K)	2500	Θρεπτικό συστατικό σε επίπεδα 200-400 mg/L

Εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων, η χρήση της αναερόβιας χώνευσης σε Αστικά Στερεά απόβλητα ήταν περιορισμένη σε παγκόσμιο επίπεδο έως και την αρχή της δεκαετίας του 1980. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας αυτής ήταν που παρατηρήθηκε μία βαθμιαία αύξηση στη χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής ως συνοδευτικής ή εναλλακτικής λύσης της πιο συχνά χρησιμοποιούμενης αερόβιας βιοεπεξεργασίας (κομποστοποίησης) των ΑΣΑ **[18]**.

Μάλιστα, η ανάπτυξη μεθόδων αναερόβιας χώνευσης υποστρωμάτων με υψηλή περιεκτικότητα στερεών (High Dry Content) φαίνεται να ήταν κομβικής σημασίας για την ραγδαία αύξηση του παρουσιαζόμενου ενδιαφέροντος για την συγκεκριμένη τεχνολογία.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (**Eurostat**), σήμερα στην Ευρώπη, έχουν κατασκευαστεί ή είναι υπό τη διαδικασία κατασκευής περισσότερες από 250 εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης οι οποίες διαχειρίζονται διαφορετικούς τύπους οργανικών κλασμάτων προερχόμενων από αστικά απορρίμματα, παρουσιάζοντας ένα εύρος χωρητικοτήτων που ποικίλλει από 2.500 tpa μέχρι 150.000 tpa. **[16],[20]**

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται κάποιες από τις σημαντικότερες μονάδες αναερόβιας χώνευσης σε παγκόσμια κλίμακα:

Πίνακας 3.2: Σύνοψη και βασικές προδιαγραφές των εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων αναερόβιας χώνευσης (στοιχεία για το έτος 2008) [21]

Εμπορική ονομασία συστήματος	Αριθμός μονάδων	Εύρος χωρητικότητας (tn/year)	Αριθμός Σταδίων		Συγκέντρωση σε στερεά		Θερμοκρασία λειτουργίας	
			1	2	<20%	>20%	35˚C	55˚C
AAT	8	3.000-55.000	x		x		x	
ArrowBio	4	90.000-180.000		x	x		x	
BTA	23	1.000-150.000	x	x	x		x	x
Bekon	27	4.500-70.000	x			x	x	
Biocel	1	35.000	x			x	x	
Biopercolat	1	100.000		x		x	x	
Biostab	13	10.000-90.000	x		x			x
DBA-Wabio	4	6.000-60.000	x		x		x	
DRANCO	17	3.000-120.000	x			x		x
Entec	2	40.000-150.000	x		x		x	
Haase	4	50.000-200.000		x	x		x	x
Kompogas	38	1000-110.000	x			x		x
Linde-KCA/BRV	8	15.000-150.000	x	x	x	x	x	x
Preseco	2	24.000-30.000						
Schwarting-Uhde	3	25.000-87.600		x	x			x
Valorga	22	10.000-270.000	x			x	x	x
Waasa	10+	3.000-230.000	x		x		x	x

Συνήθως οι σύγχρονες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης συνδυάζονται με συστήματα μετα-κομποστοποίησης για την επεξεργασία της χωνεμένης ιλύς. *[22] [23]*

3.3 Επιλογή τύπου αναερόβιας χώνευσης

Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας αναερόβιας χώνευσης για την βιολογική επεξεργασία του οργανικού υποστρώματος στην σχεδιαζόμενη εγκατάσταση, προκύπτει έπειτα από τη διεξαγωγή μιας στοιχειώδους σύγκρισης των εμπορικά διαθέσιμων μεθόδων. Κατά την διάρκεια των συγκριτικών αυτών διαδικασιών, εξετάζεται μια σειρά **τεχνικών κριτηρίων** (technical screening criteria) **[24]**, η ικανοποίηση των οποίων συνιστά βασικό ζητούμενο της μελέτης, επηρεάζοντας σημαντικά και την τελική της απόφαση.

Οι βασικότεροι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη αφορούν:

- Την ωριμότητα των επιμέρους υφιστάμενων τεχνολογιών σύμφωνα με τον αριθμό των μονάδων που η κάθε μια από αυτές λειτουργεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις μονάδες μικρής κλίμακας σαν και αυτή που σχεδιάζεται.
- Την ευελιξία και την αποδοτικότητα τους ως προς τον χειρισμό οργανικών κλασμάτων που προέρχονται από αστικά απόβλητα.
- Την δυνατότητα χειρισμού οργανικών υποστρωμάτων παρόμοιας σύνθεσης με αυτήν που προκύπτει από τα ΑΣΑ του δήμου ΒΒΒ, δηλαδή κατά βάση υπολειμμάτων τροφών και πράσινων αποβλήτων.

- Την παραγωγή τέτοιας ποσότητας και ποιότητας βιοαερίου που να επιτρέπει σχετικά υψηλά επίπεδα ανάκτησης ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω της καύσης του.
- Το επίπεδο των ιδιοκαταναλώσεων σε παρόμοιου τύπου μονάδες. Γενικότερα, επιδιώκεται χαμηλό παρασιτικό φορτίο μιας και η πώληση του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο αποτελεί στρατηγικής σημασίας στόχο από τη στιγμή που συνεπάγεται με άμεσα έσοδα για το δήμο.
- Την επαρκή παροχή πληροφοριών σχετικά με τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας των εξεταζόμενων τεχνολογιών έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης τους ως προς την οικονομική αποδοτικότητά τους.
- Τις χωροθετικές απαιτήσεις παρόμοιων μονάδων που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία ανά τον κόσμο. Με άλλα λόγια, θα πρέπει η τεχνολογία που θα επιλεγεί να ικανοποιεί και τους επιπλέον περιορισμούς που έχουν προκύψει για τη περίπτωση που μελετάται, μιας και η έκταση του παρεχόμενου οικοπέδου είναι συγκεκριμένη.

Τελικά, η μέθοδος που προκρίνεται ως η πλέον κατάλληλη για την αναερόβια χώνευση του οργανικού υποστρώματος των ΑΣΑ του δήμου ΒΒΒ είναι η **ξηρού τύπου με διακοπτόμενη τροφοδοσία** (dry-batch fermentation) ενώ οι χωνευτήρες που θα χρησιμοποιούνται θα είναι **τύπου γκαράζ** (garage-shaped digesters).

Σήμερα, η ξηρή αναερόβια χώνευση εμφανίζεται ως η πλέον ενδεδειγμένη τεχνολογία για την επεξεργασία οργανικών κλασμάτων που προέρχονται από οικιακά και πράσινα απόβλητα. Αντίθετα, η υγρή χώνευση προτιμάται κυρίως για τον χειρισμό παχύρρευστων υδαρών υπολειμμάτων από γεωκτηνοτροφικές και άλλες δραστηριότητες (slurries) αλλά και διάφορων ειδών λυματολάσπης (sewage sludge) με περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία μικρότερη του 15% **[25,26]**.

Ειδικότερα, για περιπτώσεις μονάδων μικρής κλίμακας, όπως είναι αυτή που εξετάζεται, συνηθίζεται η εφαρμογή ξηρών-διακοπτόμενων διεργασιών ζύμωσης οι οποίες λαμβάνουν χώρα εντός αντιδραστήρων σχήματος γκαράζ (garage-shaped fermenters) **[27,28]**. Αυτού του είδους τα συστήματα κατορθώνουν σημαντική εξοικονόμηση χώρου, μείωση των απαιτήσεων σε νερό καθώς και ελαχιστοποίηση των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών σε ιδιοκατανάλωση **[28,29,30]**.

Οι χωνευτήρες τύπου γκαράζ οι οποίοι διακρίνονται για τη σταθερότητά και την αξιοπιστία τους, χρησιμοποιούνται ευρέως σε παρόμοιες μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ ανά την Ευρώπη εμφανίζοντας δυνατότητες επεξεργασίας που εκτείνονται σε ένα μεγάλο εύρος ετήσιων δυναμικοτήτων που ξεκινά από 5.000 τόνους και φτάνει μέχρι 100.000 τόνους οργανικού κλάσματος ΑΣΑ **[25]**. Έπειτα, εμφανίζουν **μεγάλη διάρκεια ζωής** που μπορεί να προσεγγίσει ακόμα και τα 30 χρόνια **[25]** ενώ επιτρέπουν και **δυνατότητα επέκτασης** σε περίπτωση που το θελήσει κάποια στιγμή στο μέλλον η Δημοτική Αρχή **[25,27,28]**. Ωστόσο, το βασικότερο πλεονέκτημα τους έγκειται στα **χαμηλά κόστη επένδυσης** και στα επίσης χαμηλά **ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης** που παρουσιάζουν **[31,32].**

Τέλος, σχετικά με τη θερμοκρασιακές συνθήκες που αναμένεται να επικρατούν εντός των χωνευτήρων αυτές συνηθίζεται να είναι μεσοφιλικές (37-40˚C) **[33,34]**. Γενικότερα, οι μεσόφιλες διεργασίες διακρίνονται για την σταθερότητά τους και για τα χαμηλότερα κόστη

επένδυσης και λειτουργίας για αυτό και μέχρι πρότινος ήταν οι πλέον δημοφιλείς σε τέτοιου είδους εφαρμογές [35,36]. Ωστόσο, οι θερμοφιλικές διεργασίες (50-55˚C) εξαπλώνονται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια μιας και επιτυγχάνουν υψηλότερα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου, της τάξης του 20%, σε συνδυασμό με μεγαλύτερη απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών από τα απορρίμματα [31,32]. Θεωρούνται πιο απαιτητικές και επομένως πιο ακριβές σε σχέση με τις μεσόφιλες, λόγω της ιδιαίτερης ευαισθησίας που παρουσιάζουν οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί στις μεταβολές του περιβάλλοντός τους [21,35].

Σήμερα, στην Ευρώπη και όχι μόνο λειτουργούν δεκάδες ολοκληρωμένες μονάδες αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ αυτής της τεχνολογίας. Κάποιες από αυτές παρατίθενται στον **πίνακα 3.3.**

Πίνακας 3.3: Αξιοσημείωτες μονάδες αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ σε παγκόσμια κλίμακα [37],[22]

Εγκατάσταση	Δυναμικότητα (tn/day)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/tn)
Munich, Γερμανία	18	256
Ostrhauderfehn, Γερμανία	33	384
Kusel, Γερμανία	21	385
Pohlsche Heide, Γερμανία	110	-
Munich – expansion, Γερμανία	51	270
Bassum, Γερμανία	49	256
Saalfeld, Γερμανία	55	460
Schmölln, Γερμανία	44	548
Melzingen, Γερμανία	36	354
Iffezheim, Γερμανία	49	256
Göhren, Γερμανία	38	391
Steinfurt, Γερμανία	123	205
Erfurt, Γερμανία	55	289
Ostrhauderfehn – expansion, Γερμανία	14	263
Rendsburg, Γερμανία	82	307
Rendsburg – expansion, Γερμανία	93	180
Vechta, Γερμανία	27	289
Cesena, Ιταλία	96	250
Voltana, Ιταλία	96	250
Naples, Ιταλία	96	250
Rimini, Ιταλία	96	250
Baar, Ελβετία	49	256
Krauchthal, Ελβετία	33	321
Thun, Ελβετία	55	416
Santa Barbara, Αμερική	192	283
Gloucester City, Αμερική	178	162
Culiacan, Sinaloa/Μεξικό	12	195

Συνοψίζοντας, η επένδυση σε μια εγκατάσταση μικρής κλίμακας η οποία κατά το στάδιο της αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ θα ενσωματώνει τις τεχνολογίες εκείνες που αναλύθηκαν προηγουμένως, εκτιμάται ότι θα αποφέρει σημαντικά κέρδη στον

Δήμο ΒΒΒ τόσο από άποψη ενεργειακής και οικονομικής αποδοτικότητας της εγκατάστασης όσο και περιβαλλοντικής της συμπεριφοράς μέσω της εξοικονόμησης σημαντικών φυσικών πόρων (νερό).

Συγκεντρωτικά, τα **κυριότερα οφέλη** που προβλέπονται από την συνολική υιοθέτηση των προτάσεων της μελέτης για τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης κρίνεται ότι είναι τα εξής:

- ✓ Μικρός όγκος μονάδας εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης στερεών (>40% κ.β.) στα χρησιμοποιούμενα οργανικά υποστρώματα καθώς και δυνατότητα επέκτασής της

- ✓ Χαμηλό κόστος συντήρησης και μείωση του θορύβου σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση και των μηχανικών μερών.

- ✓ Αυτοματοποιημένη διαδικασία με ελάχιστα κινητά μέρη στο σύνολο της μονάδας, γεγονός που μειώνει δραματικά το κόστος συντήρησης και συνολικά τις φθορές που ίσως να εμφανίζονταν σε άλλες περιπτώσεις.

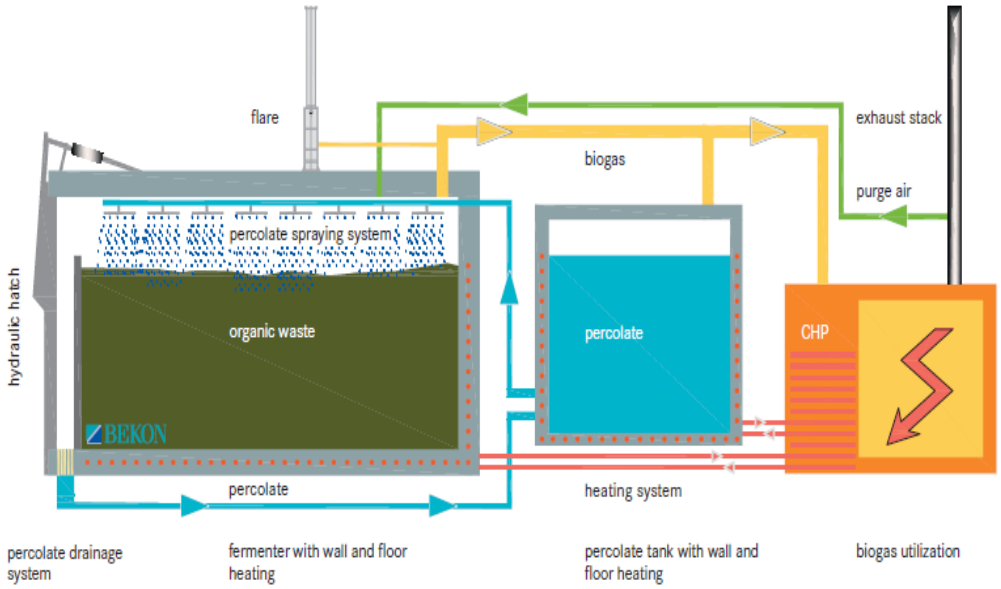
- ✓ Απλό αλλά σύγχρονο, ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα παρακολούθησης των κυριότερων παραμέτρων (θερμοκρασία, pH, κλπ.) της διεργασίας.

- ✓ Χαμηλές ιδιοκαταναλώσεις ενέργειας κατά τη διάρκεια της διεργασίας (λιγότερο από το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη μονάδα συμπαραγωγής).

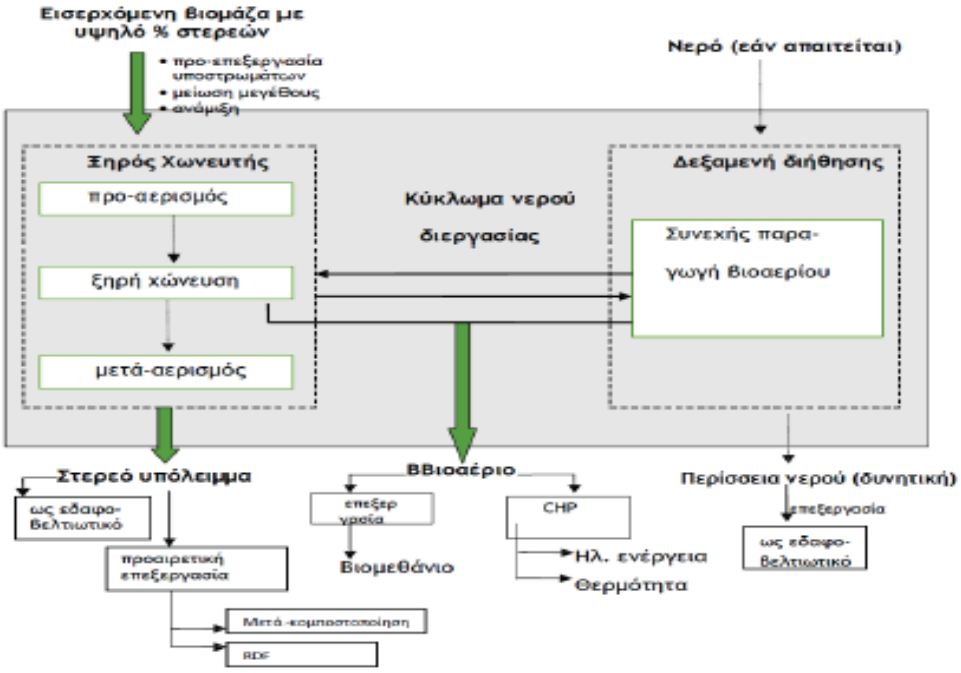
- ✓ Μειωμένη χρήση νερού που δεν εξαντλεί τους υδατικούς πόρους ειδικά σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν μεγάλα αποθέματα. Για την παροχή της απαραίτητης υγρασίας χρησιμοποιούνται τα στραγγίσματα μέσω ανακυκλοφορίας. **[30,31]**

- ✓ Παραγωγή ξηρού χωνεμένου υπολείμματος που δεν απαιτεί περαιτέρω διεργασίες επεξεργασίας, διαχωρισμού και αφυδάτωσης. **[25,38]**

Παρακάτω, απεικονίζεται η **αρχή λειτουργίας** δύο εκ των πιο δημοφιλών από τις σύγχρονες εμπορικές τεχνολογίες στην κατασκευή ολοκληρωμένων dry-batch μονάδων αναερόβιας ζύμωσης οργανικών κλασμάτων ΑΣΑ, τα οποία μπορεί να είναι είτε προ-διαλεγμένα (SS-OFMSW) είτε να διαχωρίζονται από το υπόλοιπο των σύμμεικτων απορριμμάτων κατά το στάδιο της μηχανικής προ-επεξεργασίας (MS-OFMSW).



Εικόνα 3.2: Τεχνολογία ξηρής αναερόβιας χώνευσης τύπου Bekon GmbH [31]



Εικόνα 3.3: Τεχνολογία ξηρής αναερόβιας χώνευσης τύπου Helector GmbH (πρώην Loock TNS) [30]

3.4 Δυναμικότητα έργου και παράμετροι σχεδιασμού

Η ΜΒΕ εγκατάσταση θα έχει ετήσια ονομαστική χωρητικότητα ίση με 40.000 tons/year ενώ το τμήμα βιολογικής επεξεργασίας (μονάδα αναερόβιας χώνευσης και μονάδα κομποστοποίησης) θα είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί στο σύνολό του να δεχτεί ποσότητα οργανικών αποβλήτων ίση με 20.000 tons/year. Η λειτουργία της μονάδας θα λαμβάνει χώρα έξι ημέρες (ή πέντε μέρες) την εβδομάδα και σε μία βάρδια ημερησίως, που αντιστοιχεί σε 312 ημέρες (260 ημέρες) ετησίως και 8 ώρες ημερησίως (επτά ώρες λειτουργίας εξοπλισμού). Συνολικά, δηλαδή, θα εκτελούνται 2184 ώρες/έτος (1820 ώρες/έτος). Εξαίρεση αποτελεί το τμήμα βιολογικής επεξεργασίας το οποίο θα λειτουργεί επτά ημέρας την εβδομάδα και εικοσιτέσσερις ώρες ημερησίως. Επομένως, η δυναμικότητα της μονάδας θα είναι 128 tons/day (154 tons/day) ή 18,31 tons/h (21,98 tons/h) ενώ η συνολική διάρκεια ζωής της υπολογίζεται στα 25 χρόνια.

Η χωρητικότητα της μονάδας επιλέγεται σύμφωνα με την ετήσια παραγωγή ΑΣΑ στο Δήμο ΒΒΒ συμπεριλαμβανομένου και των περίπου 450 τόνων ΑΣΑ που παράγονται ανά έτος εντός της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων. Από την άλλη πλευρά, η συνολική ετήσια δυναμικότητα της μονάδων βιολογικής επεξεργασίας επιλέγεται βάσει : 1) της ετήσιας ποσότητας του οργανικού κλάσματος που διαχωρίζεται στο στάδιο μηχανικής επεξεργασίας από τα σύμμεικτα οικιακά απόβλητα και οδηγείται προς αναερόβια χώνευση, 2) της παραδοχής που έχει γίνει στα πλαίσια της μελέτης (**βλ. Κεφάλαιο 2**) για τις ποσότητες των προ-διαλεγμένων οργανικών που θα συλλέγονται σε ετήσια βάση από τους βιοκάδους του Δήμου στο εγγύς μέλλον και 3) της ετήσιας ποσότητας των κλαδεμάτων που θα εισέρχονται εντός της μονάδας.

Σημειώνεται ότι η ποιοτική και ποσοτική σύνθεση για τα οικιακά απορρίμματα είναι αυτή που έχει υπολογιστεί για εκτροπή της τάξης του 30% των οργανικών συστατικών τους από τους πράσινους/γκρι κάδους στους αντίστοιχους καφέ κάδους του Δήμου, σύμφωνα με τον **Πίνακα 2.11**. Αυτό μεταφράζεται σε σχεδιασμό των μονάδων αναερόβιας χώνευσης και κομποστοποίησης με εκτίμηση περιεκτικότητας σε οργανικό της τάξης του 34% όσον αφορά τα εισερχόμενα οικιακά απόβλητα (Grey waste) και όχι με 41% (όσο δηλαδή ήταν μέχρι πρότινος η περιεκτικότητά τους σε οργανικό η οποία σταδιακά θα μειώνεται εξαιτίας της τοποθέτησης των καφέ κάδων). Την ίδια στιγμή, η ετήσια ποσότητα του οργανικού κλάσματος που διαχωρίζεται κατά το στάδιο της μηχανικής τους επεξεργασίας και οδηγείται προς αναερόβια χώνευση υπολογίζεται περί τους 6.560 tons/year. Όλα τα παραπάνω θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα σε επόμενη υπο-ενότητα του Κεφαλαίου, όπου θα εξετάζονται διεξοδικά τα αποτελέσματα του ισοζυγίου μάζας για το στάδιο της μηχανικής προ-επεξεργασίας.

Επιπρόσθετα, η ετήσια καθαρή ποσότητα σε προ-διαλεχθέντα οργανικά απόβλητα όταν το πρόγραμμα διαλογής στην πηγή (ΔσΠ) έχει μετέλθει πια σε μια ώριμη φάση εφαρμογής του, έχει υπολογιστεί ότι θα κυμαίνεται γύρω στους 2.500 tons/year, σύμφωνα και με το **Σενάριο 2** του **Πίνακα 2.11**. Στην ποσότητα αυτή θα προστίθεται και το σύνολο της μάζας (80%) των ΑΣΑ της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων αφού στην πλειοψηφία τους είναι υπολείμματα τροφών εντός των οποίων υπάρχει και ένα πολύ μικρό ποσοστό μη οργανικών υλικών που θα απομακρύνεται. Τέλος, όσον αφορά την ποσότητα των πράσινων αποβλήτων που θα

αναμειγνύεται ετησίως με τα προ-διαλεγμένα οργανικά πριν αυτά εισέλθουν εντός των αναερόβιων κελιών προς απόκτηση του απαιτούμενου πορώδους, προτείνεται το τελικό βιογενές μίγμα να αποτελείται από 70% προ-διαλεγμένα και 30% τεμαχισμένα κλαδέματα, ένας ποσοστιαίος επιμερισμός που προκρίνεται ως βέλτιστος και από διάφορες εταιρείες. Συνεπώς, περίπου 1.285 tons/year πράσινων αποβλήτων θα αναμειγνύονται με τους περίπου 3.000 tons/year οργανικών από διαλογή στη πηγή, συνθέτοντας μια ετήσια φρέσκια μάζα της τάξης των 4.285 tons/year. Συνολικά, δηλαδή η ετήσια δυναμικότητα της προς χώνευση οργανικής πρώτης ύλης υπολογίζεται γύρω στους 11.000 τόνους. Η υπόλοιπη ποσότητα των κλαδεμάτων σε ποσοστό της τάξης του 80% (περίπου 7.050 tons/year) θα οδηγείται απευθείας για κομποστοποίηση προς παραγωγή κομπόστ υψηλής ποιότητας για γεωργικές εφαρμογές. Αντίθετα, το 20% περίπου εξ αυτών (περίπου 1.575 tons/year) θα χρησιμεύει ως πρόσθετο κομποστοποίησης (bulking agent) και θα αναμειγνύεται με το ξηρό υπόλειμμα που απομένει μετά τη χώνευση στα αναερόβια κελιά του οργανικού κλάσματος των οικιακών αποβλήτων **[39,40,41]**. Η ισχύουσα ογκομετρική αναλογία θα είναι 2:1 (χωνεμένο υλικό/πρόσθετο) **[40]** προκειμένου να επιτυγχάνεται ο απαραίτητος εμπλουτισμός της χωνεμένη ιλύς με φρέσκια οργανική πρώτη ύλη, πριν την εισαγωγή της στη μονάδα μετα-κομποστοποίησης **[39,41]**. Αξίζει να αναφερθεί πως κατά τον τεμαχισμό των κλαδεμάτων θα εμφανίζονται απώλειες της τάξης του 2% επί της αρχικής τους μάζας **[42]**.

Φυσικά, στο σχεδιασμό του έργου έχει προβλεφθεί η δυνατότητα αύξησης της δυναμικότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, στα στάδια της μηχανικής επεξεργασίας με διπλασιασμό των ημερήσιων βαρδιών, και στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας με προσθήκη νέων κελιών αναερόβιας χώνευσης και κομποστοποίησης σε χώρο που θα προβλέπεται για αυτό το λόγο. Επιπλέον, ο σχεδιασμός της μονάδας επιτρέπει την ευελιξία των διεργασιών και την προσαρμοστικότητα σε τυχόν μελλοντικές διαφοροποιήσεις στη σύνθεση των εισερχόμενων αποβλήτων τόσο στην είσοδο της εγκατάστασης όσο και στην είσοδο της αναερόβιας χώνευσης.

3.5 Περιγραφή διάταξης, οργάνωσης και τρόπου λειτουργίας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης

3.5.1 Έλεγχος και ζύγιση ΑΣΑ

Τα οχήματα αποκομιδής του Δήμου ΒΒΒ εισέρχονται εντός του περιφραγμένου χώρου που βρίσκεται η εγκατάσταση, διερχόμενα από την Κεντρική Πύλη. Σε μικρή απόσταση, αναμένεται να συναντήσουν την Πλατεία Εισόδου-Ζυγιστηρίων, σε κεντρική νησίδα της οποίας είναι τοποθετημένο το Κτίριο Ζυγιστηρίου. Δύο γεφυροπλάστιγγες, μία εισόδου και μία εξόδου, χρησιμοποιούνται για την καθημερινή καταγραφή τόσο των προσκομιζόμενων υλικών όσο και των εξερχόμενων προϊόντων (ανακτηθέντα υλικά προς ανακύκλωση και υπολείμματα).

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός των ζυγιστικών διατάξεων θα εγκατασταθεί σε φυλάκια τα οποία θα βρίσκονται πλησίον της έκαστης γεφυροπλάστιγγας. Η όλη διαδικασία ελέγχου, ζύγισης,

καταγραφής και καθοδήγησης των απορριμματοφόρων οχημάτων θα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, χωρίς να απαιτείται η έξοδος του οδηγού του οχήματος ή η πληκτρολόγηση πληροφοριών από τον χειριστή στην Κονσόλα Η/Υ. ***[24]***

3.5.2 Χώρος υποδοχής ΑΣΑ

Τα απορριμματοφόρα οχήματα, μετά τη ζύγισή τους κατευθύνονται μέσω της εσωτερικής οδοποιίας προς τη Μονάδα Υποδοχής προκειμένου να προσεγγίσουν τη θέση εκκένωσης που έχει αυτόματα υποδειχθεί κατά την είσοδο. Ειδικότερα, η εναπόθεση των αποβλήτων θα γίνεται εντός τάφρου υποδοχής με κατ' ελάχιστον δυνατότητα παραλαβής της μέγιστης ποσότητας των ημερησίως τροφοδοτούμενων στην εγκατάσταση αποβλήτων. Η τάφρος θα διαθέτει ξεχωριστούς χώρους εναπόθεσης αφενός για τα σύμμεικτα ΑΣΑ (πράσινοι/γκρι κάδοι) και αφετέρου για τα προ-διαλεγμένα οργανικά απόβλητα (καφέ κάδοι). Επιπλέον, ηλεκτροκίνητες πύλες υποδοχής ανοίγουν και κλείνουν μέσω αυτοματισμού κατά την έναρξη και λήξη της εκκένωσης των απορριμματοφόρων και των οχημάτων μεταφοράς.

Οι χώροι υποδοχής βρίσκονται εντός κλειστού και στεγανού κτιρίου, το οποίο αποτελεί μέρος της μονάδας μηχανικού διαχωρισμού που ακολουθεί. Συν τοις άλλοις, μπροστά από την πρόσοψη του κτιρίου προβλέπεται ικανός χώρος για τους απρόσκοπτους ελιγμούς των οχημάτων προσκόμισης των ΑΣΑ (πλατεία ελιγμών). Τα προσωρινώς αποθηκευμένα αστικά απορρίμματα παραλαμβάνονται από τις δεξαμενές (bunkers) με μια πολύποδη αρπάγη και απορρίπτονται μέσω γερανογέφυρας στη χοάνη τροφοδοσίας της μηχανικής επεξεργασίας. Ο έλεγχος της γερανογέφυρας θα πραγματοποιείται τηλεματικά από τα γραφεία διοίκησης και ελέγχου της εγκατάστασης εντός του κτιρίου Μηχανικής Επεξεργασίας μέσω καμερών που παρέχουν άριστη εποπτεία των χώρων της πλατείας ελιγμών και του υποδοχέα. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της εγκατάστασης, ο χειριστής μέσω του συστήματος γερανογέφυρας-αρπάγης δοσομετρεί τη διάταξη τροφοδοσίας της Μονάδας Μηχανικής Επεξεργασίας. ***[24]***

Στη μονάδα υποδοχής αναμένεται να υπάρχει μεταξύ των άλλων και επιπλέον επαρκής χώρος για την προσωρινή εναπόθεση ογκωδών απορριμμάτων, όπως λάστιχα αυτοκινήτων, καρέκλες, κλπ., που πιθανώς έχουν προσαχθεί με τα απορριμματοφόρα. Ακολούθως, τα ογκώδη θα οδηγούνται μέσω container προς υγειονομική ταφή. ***[24]***

3.5.3 Μηχανική προ-επεξεργασία ΑΣΑ

Η τροφοδοσία των αποβλήτων από την αρπάγη στις διατάξεις της μηχανικής επεξεργασίας (Mechanical Treatment Facility-MTF) γίνεται μέσω **ταινιόδρομου με ιμάντα** (conveyor) αφού προηγουμένως έχει πραγματοποιηθεί η **διάνοιξη των σακών** των απορριμμάτων μέσω κατάλληλης μηχανικής διάταξης (Bag breaker machine). Συνολικά, θα υπάρχουν δύο βασικές γραμμές μηχανικής διαλογής μια για τα σύμμεικτα οικιακά απορρίμματα των πράσινων/γκρι κάδων του Δήμου και μια για τα προ-διαλεγμένα οργανικά των καφέ κάδων. Όσον αφορά τα ογκώδη (έπιπλα, οικιακές συσκευές, ποδήλατα κ.α.) καθώς και άλλα ανεπιθύμητα υλικά, το μεγαλύτερο μέρος αυτών θα έχει ήδη απομακρυνθεί κατά το στάδιο της υποδοχής των ΑΣΑ και θα έχει αποθηκευτεί σε containers για να μεταφερθούν στο ΧΥΤΑ μαζί με το κλάσμα των

αχρήστων υλικών και του αδρανούς υπολείμματος (πέτρες, γυαλί, σκόνες, κεραμικά κ.α.) από τους διαχωρισμούς της μονάδας.

3.5.3.1 Οικιακά απορρίμματα

Το κλάσμα των ***οικιακών αποβλήτων*** οδηγείται σε πρώτη φάση στο χώρο **χειροδιαλογής** (manual sorting 1) για την απομάκρυνση πιθανών ογκωδών και ανεπιθύμητων υλικών εντός αυτού. Εν συνεχεία διέρχεται από ένα **περιστρεφόμενο κυλινδρικό τύμπανο** (trommel screening 1) το οποίο είναι τοποθετημένο σε οριζόντια διεύθυνση και εμφανίζει σε όλο το μήκος της επιφάνειας του, οπές διαμέτρου 80 mm **[35,39,43].** Η διάμετρος αυτή των οπών είναι ενδεικτική και συνήθως μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 80 και 100mm **[44]**. Μέσω της περιστροφής του τυμπάνου, επιτυγχάνεται μιας πρώτης τάξης ανάμειξη, ομογενοποίηση αλλά και μείωση των διαστάσεων των συστατικών του ρεύματος αφού αντικείμενα όπως είναι το γυαλί, τα μέταλλα και τα αδρανή τεμαχίζουν άλλα μαλθακότερα υλικά, όπως είναι το χαρτί και τα οργανικά **[6]**. Στην έξοδο του κόσκινου, τα οικιακά απορρίμματα έχουν διαχωριστεί εκ νέου σε δύο επιμέρους ρεύματα με κριτήριο το μέγεθός τους:

Το πρώτο ρεύμα που συνιστά και τη βασικό στόχο της λειτουργίας του περιστροφικού τυμπάνου είναι ένα λεπτόκοκκο υγρό κλάσμα *(**fine fraction<80mm**)* που κατορθώνει και διέρχεται των οπών του, αποτελούμενο σε μεγάλο βαθμό από το σύνολο του οργανικού κλάσματος (organic matter) που εμπεριεχόταν στα σύμμεικτα οικιακά απορρίμματα μαζί με κάποιες προσμίξεις άλλων υλικών.

Το δεύτερο ρεύμα είναι αυτό που δεν εξέρχεται από τις οπές αλλά από την άκρη του τυμπάνου και συνιστά ένα βαρύ λιγότερο υγρό κλάσμα *(**coarse fraction>80mm**)* που στην σύνθεση του εμπεριέχονται κατά βάση συστατικά μεγάλου σχετικά μεγέθους και υψηλής θερμογόνου ικανότητας, όπως είναι τα χαρτιά/χαρτόνια, τα διαφόρων ειδών πλαστικά (PET,PE,PP,PVC,film), τα υφάσματα, το ξύλο κ.α. Επίσης, η περιεκτικότητα του σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα θα κυμαίνεται σε σχετικώς υψηλά επίπεδα πάντα σε αντιστοιχία με τις αρχικές τους ποσότητες.

Ειδικότερα, για τα οργανικής φύσεως συστατικά των οικιακών τα οποία στην περίπτωση του Δήμου ΒΒΒ είναι κυρίως υπολείμματα τροφών, κουζίνας, μαγειρείων και άλλων χώρων εστίασης που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή **[17]** αναμένεται μια ανάκτηση της τάξης του 80-90% επί της αρχικής τους μάζας σύμφωνα με τη βιβλιογραφία **[6,45]**. Συνολικά, ένα ποσοστό κοντά στο 52% από την ετήσια μάζα των οικιακών σύμμεικτων αποβλήτων υπολογίστηκε ότι θα αντιστοιχεί στην ποσότητα των διερχόμενων από τις οπές του τυμπάνου υλικών (<80mm), σχηματίζοντας το ελαφρύ λεπτόκοκκο κλάσμα που στην πλειοψηφία του χωνεύεται υπό αναερόβιες συνθήκες. Αντίστοιχα, ένα ποσοστό της τάξης του 48% της αρχικής μάζας θα αντιστοιχεί στο βαρύ ευμεγέθες κλάσμα (>80mm) που διέρχεται διεργασιών μηχανικής διαλογής προς ανάκτηση υλικών. Η αποδοτικότητα του κόσκινου ως προς το διαχωρισμό των διάφορων υλικών (trommel separation efficiency) αποτυπώνεται λεπτομερώς στον **Πίνακα 3.4**.

Πίνακας 3.4: Απόδοση περιστροφικού κόσκινου με οπές 80mm ως προς το διαχωρισμό των επιμέρους υλικών του εισερχόμενου σύμμεικτου ρεύματος οικιακών αποβλήτων

Συστατικά υλικά οικιακών σύμμεικτων αποβλήτων	%υ.β.	Μάζες σε τόνους υγρού βάρους	Ποσοστά ανάκτησης υλικών κόσκινου (%κ.β.)		Μάζες ξηρού κλάσματος (tons/year)	Μάζες ελαφριού κλάσματος (tons/year)
			Βαρύ κλάσμα (>80mm)	Ελαφρύ κλάσμα (<80mm)		
Οργανικά	34,30	5.453	15	85	818	4.635
Χαρτί/Χαρτόνια	32,50	5.152	80	20	4.121	1.030
Πλαστικό	15,50	2.461	75	25	1.845	615
Μέταλλα	3,90	617	50	50	308	308
Γυαλί	3,90	620	25	75	155	465
Διάφορα (καιόμενα)*	8,30	1.311	15	85	197	1.114
Αδρανή	1,70	262	40	60	105	157
Σύνολο	**100**	**15.875**			**7.550**	**8.326**

(*Διάφορα = Υφάσματα-Ξύλο-Λάστιχα και άλλα καιόμενα υλικά)

Κατά την εξέλιξη των σταδίου του μηχανικού διαχωρισμού, το βαρύ κλάσμα αποβλήτων θα οδηγείται σε έναν **τεμαχιστή** (shredder 1) ώστε να επιτευχθεί η ελάττωση του μεγέθους των συστατικών του σε διαστάσεις μικρότερες ή ίσες των 50mm (<=50mm) και συνάμα η απαραίτητη αύξηση της ειδικής επιφάνειάς τους **[26,36]**. Άλλωστε, μέσω του τεμαχισμού εξασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό αφενός (i) η περαιτέρω ομογενοποίηση του διερχόμενου ρεύματος ΑΣΑ και αφετέρου (ii) η μείωση της αλληλοεπικάλυψης των επιμέρους υλικών, με αποτέλεσμα να λειτουργούν αποδοτικότερα οι επόμενοι διαχωριστές και να εξάγεται στο τέλος του σταδίου μηχανικής προ-επεξεργασίας σχετικά καλής ποιότητας δευτερογενές καύσιμο RDF από το παραχθέν υπόλειμμα **[6]**.

Το τεμαχισμένο βαρύ κλάσμα θα διέρχεται από έναν **μαγνητικό διαχωριστή μετάλλων** (magnetic separator 1) προς απομάκρυνση της πλειοψηφίας των σιδηρούχων προσμίξεων του και στη συνέχεια θα τροφοδοτείται μέσω ταινιόδρομου σε ένα **βαλλιστικό διαχωριστή** (ballistic separator) **[46,35,47]**. Στη διάταξη αυτή, τα απορρίμματα θα διαστρώνονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια μιας διάτρητης τράπεζας, τοποθετημένης με κλίση ως προς την οριζόντια. Η επιφάνεια της τράπεζας θα δονείται συνεχώς, εκτελώντας κυκλική προς τα ανωτέρω κατακόρυφη κίνηση (τινακτική), που θα έχει σαν αποτέλεσμα τη διαφορετική μετακίνηση των υλικών ανάλογα με το σχήμα τους και τις ιδιότητές τους **[6,46]**.

Πιο συγκεκριμένα, τα σκληρά, άκαμπτα στερεά αντικείμενα ***(3D fraction)*** κατά την πρόσπτωσή τους στη δονούμενη επιφάνεια αναπηδούν εκ νέου, τείνοντας να οδηγηθούν στην χαμηλότερη πλευρά του διαχωριστή. Τέτοια κλάσματα είναι τα μεταλλικά αντικείμενα, οι πλαστικές συσκευασίες, το γυαλί, τα ξύλα, κ.ο.κ. Τα ελαφρά, επίπεδα και εύκαμπτα υλικά αντικείμενα ***(2D fraction)***, λόγω της αυξημένης πρόσφυσης που εμφανίζουν σε σχέση με την κατακόρυφη κυκλική κίνηση της επιφάνειας, κατευθύνονται προς την πάνω πλευρά του διαχωριστή. Τέτοια υλικά είναι κυρίως το χαρτί, το χαρτόνι και το πλαστικό φιλμ, κατάλληλα για τη τροφοδοσία της γραμμής παραγωγής RDF. Τέλος, κατά τη διάρκεια της παραμονής των απορριμμάτων επί του βαλλιστικού διαχωριστή και λόγω της συνεχούς ανατάραξης, ένα

σημαντικό μέρος του λεπτόκοκκου υλικού ***(fine fraction I)***, το οποίο είναι κυρίως οργανικό, υαλοθραύσματα και fluff, διέρχεται μέσω της διάτρητης επιφάνειας της τράπεζας.

Έπειτα, το 2D ρεύμα διέρχεται διαδοχικά από έναν **οπτικό διαχωριστή για χαρτί** και από έναν **οπτικό διαχωριστή για πλαστικό φιλμ** (optical sorting 1). Τα υπολειπόμενα μετά τον οπτικό διαχωρισμό εύκαμπτα ελαφρά υλικά (RDF) θα υφίστανται ελάττωση του μεγέθους τους με τη διέλευσή τους από έναν **τεμαχιστή** (shredder 2). Σχετικά με το 3D ρεύμα, αυτό θα διέρχεται αρχικά από ένα **μαγνητικό** (magnetic separator 2) και έναν **επαγωγικό** (eddy current separator 1) διαχωριστή προς ανάκτηση σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων, και ακολούθως θα τροφοδοτεί **τέσσερεις (4) οπτικούς διαχωριστές πλαστικού -PP, PE, PET και PVC-** (optical sorting 2) **[6,46,47]**.

Όσον αφορά το ελαφρύ κλάσμα που πρόεκυψε κατά το στάδιο του κοσκινίσματος ***(fine fraction<80mm)*** αφού έχει διέλθει από έναν **μαγνητικό διαχωριστή** σιδηρούχων μετάλλων (magnetic separator 2) θα αναμειγνύεται ακολούθως με το ρεύμα των παραλαμβανόμενων από το βαλλιστικό διαχωριστή λεπτόκοκκων οργανικών ***(fine fraction I)*** και όλο μαζί το οργανικό μίγμα θα αποστέλλεται σε ένα **δονητικό κόσκινο τύπου flip-flop** (flip-flop separator). Σε σχέση με τα συμβατικά δονούμενα κόσκινα, σε αυτού του τύπου τους διαχωριστές χρησιμοποιείται μια δονούμενη τράπεζα, η οποία είναι κατασκευασμένη από πολυουρεθάνη και έχει τη δυνατότητα αναπήδησης προς τα πάνω και προς τα κάτω *(κίνηση flip-flop)* κατά τη διέλευση του διαχωριζόμενου ρεύματος. Ειδικότερα, τα κόσκινα αυτά περιλαμβάνουν πλαίσια με ελαστικά συνθετικά πλέγματα, οι σύνθετες κινήσεις των οποίων αναπτύσσουν στα διερχόμενα σωματίδια υψηλές επιταχύνσεις με αποτέλεσμα οι προκύπτουσες ισχυρές δυνάμεις να αποκλείουν την έμφραξη των οπών του πλέγματος και να επιτυγχάνουν μεγάλη απόδοση διαχωρισμού, η οποία απαιτείται να είναι μεγαλύτερη από 90% **[6,46]**.

Έτσι, το ρεύμα που δεν κατορθώνει να διέλθει μέσω του διαχωριστή flip-flop θα οδηγείται σε ένα **αεροδιαχωριστή** (air classifier), όπου με την εμφύσηση αέρα τα ελαφριά υλικά του ***(fine fraction II)*** κατευθύνονται μαζί με τη συλλεγμένη ποσότητα από τον flip-flop σε ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης, συνιστώντας την οργανική πρώτη ύλη τροφοδοσίας της μονάδας αναερόβιας ζύμωσης. Αντίθετα, τα βαριά υλικά οδηγούνται σε έναν **μαγνητικό** (magnetic separator 3) και έναν **επαγωγικό** (eddy current separator 2) διαχωριστή με το υπόλειμμα (residues) μετά το τέλος της ανάκτησης των μετάλλων να συλλέγεται σε ενιαίο ταινιόδρομο και να οδηγείται στο χώρος συμπίεσης ή και πελετοποίησης, προς τελική δεματοποίηση του.

Σημειώνεται τέλος πως από τα διαχωριζόμενα προϊόντα διαλογής, τα διάφορα είδη χαρτιού και πλαστικού καθώς και το τεμαχισμένο RDF, θα συμπιέζονται και θα δεματοποιούνται σε ανεξάρτητα δέματα, μέσω διάταξης συμπίεσης με **δεματοποιητή διπλού εμβόλου** (2-way baler), η οποία θα αναπτύσσεται σε μία (1) γραμμή λειτουργίας. Όλα τα ανακτηθέντα μεταλλικά υλικά στις διάφορες θέσεις της μονάδας μηχανικής διαλογής θα οδηγούνται επίσης σε μια παρόμοια διάταξη συμπίεσης που αναπτύσσεται σε μια (1) άλλη κοινή γραμμή λειτουργίας. Εκεί, τόσο τα σιδηρούχα όσο και τα αλουμινούχα μέταλλα, κάθε κατηγορία ξεχωριστά, συμπιέζονται και κυβοποιούνται αυτόματα. Όλα τα παραπάνω τελικά προϊόντα της Μονάδας μηχανικής διαλογής θα οδηγούνται σε χώρους προσωρινής αποθήκευσης (4 εβδομάδες τουλάχιστον) μέχρι να διατεθούν στους τελικούς αποδέκτες. Το γυαλί επειδή δεν

μπορεί να συμπιεσθεί, θα συλλέγεται και θα αποθηκεύεται σε ειδικό μεταλλικό κάδο (container).

Τέλος, τα άχρηστα υλικά από τις επιμέρους γραμμές του μηχανικού διαχωρισμού μαζί με τα ογκώδη και τα ανεπιθύμητα υλικά που έχουν απομακρυνθεί ήδη από την αρχή της παραγωγικής διαδικασίας, θα συλλέγονται σε containers και θα οδηγούνται προς τελική διάθεση στο Χ.Υ.Τ.Α μέσω των απορριμματοφόρων του Δήμου. Το ίδιο θα συμβαίνει και για το υπόλειμμα των μπλε κάδων που επιστρέφεται ως μη ανακυκλώσιμο από το ΚΔΑΥ. **[24]**.

3.5.3.2 Πράσινα απόβλητα και προ-διαλεγμένα οργανικά

Παράλληλα με την προ-επεξεργασία του ρεύματος των οικιακών αποβλήτων, το ρεύμα των ***πράσινων αποβλήτων*** θα διέρχεται από έναν **τεμαχιστή** (shredder 3) προς μείωση του μεγέθους των κλαδεμάτων σε διαστάσεις τουλάχιστον 50mm ενώ σε μια άλλη ξεχωριστή γραμμή μηχανικής διαλογής, το ρεύμα των ***προ-διαλεγμένων οργανικών*** που θα συλλέγεται από τους βιοκάδους που σταδιακά τοποθετούνται σε διάφορα κεντρικά και περιφερειακά σημεία του Δήμου ΒΒΒ θα υφίσταται ανάλογες διεργασίες διαχωρισμού με τα οικιακά απόβλητα πολύ μικρότερης όμως έκτασης μιας και τα επίπεδα καθαρότητάς του υπολογίζονται αρκετά μεγαλύτερα **[48,49]**.

Ειδικότερα, μετά το αρχικό στάδιο της **χειροδιαλογής** (manual sorting 2) όπου λαμβάνει χώρα ούτως ώστε να απομακρυνθούν πιθανά ογκώδη και άλλα ανεπιθύμητά υλικά, τα προ-διαλεγμένα οργανικά θα διέρχονται διαδοχικά από έναν **τεμαχιστή** (shredder 4) προς μείωση του μεγέθους των συστατικών τους (<50mm), ένα **περιστροφικό κόσκινο** (trommel screening 2) για την απομάκρυνση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας μη βιοαποικοδομήσιμων προσμίξεων καθώς και από **δύο ιμάντες**, έναν **μαγνητισμού** (magnetic separator 4) και έναν **επαγωγικών ρευμάτων** (eddy current separator 3) για την απομάκρυνση σιδηρούχων και αλουμινούχων μετάλλων, αντίστοιχα **[48,36,50]**.

Στη συνέχεια, το εναπομένων κλάσμα των προ-διαλεγμένων οργανικών θα αναμειγνύεται με μια ορισμένη ποσότητα τεμαχισμένων κλαδεμάτων, τα οποία θα έχουν το ρόλο του πρόσθετου προς αύξηση του πορώδους **[40,50]**. Η αναλογία μίξης καθορίζεται σαφώς από την σύσταση του οργανικού κλάσματος αλλά σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει οι ποσότητες των κλαδεμάτων να ξεπερνούν τις αντίστοιχες των προ-διαλεγμένων οργανικών μιας και η υψηλή περιεκτικότητά τους σε λιγνίνη (ξυλώδες υλικό) εμποδίζει την επίτευξη ικανοποιητικών επιπέδων παραγωγής βιοαερίου, απαραίτητη προϋπόθεση για την οποία είναι μια πλούσια σε υδατοδιαλυτούς υδατάνθρακες (water soluble carbohydrates) και πτητικά στερεά (volatile solids,VS>60%) οργανική πρώτη ύλη **[49]**.

3.5.3.3 Παραχθέντα οργανικά υποστρώματα

Συνεπώς, στην έξοδο της μονάδας μηχανικής διαλογής, έχουν τελικά παραχθεί δύο είδη οργανικών υποστρωμάτων. Το πρώτο οργανικό υπόστρωμα **(οργανικό υπόστρωμα 1)** θα είναι το μηχανικά διαχωρισμένο οργανικό κλάσμα από τα σύμμεικτα οικιακά απόβλητα (MS-OFMSW) με βασικό συστατικό του τα υπολείμματα τροφών (food waste) ενώ το δεύτερο οργανικό υπόστρωμα **(οργανικό υπόστρωμα 2)** θα είναι ένα ομογενοποιημένο μίγμα

βιοαποβλήτων (biowaste) συναποτελούμενο από προ-διαλεγμένα οργανικά (SS-OFMSW) απαλλαγμένα από τις διάφορες προσμίξεις και από πράσινα απόβλητα (green waste).

Τα δύο παραγόμενα οργανικά υποστρώματα θα χωνεύονται κατά τον ίδιο τρόπο προς παραγωγή βιοαερίου αλλά εντός διαφορετικών αναερόβιων βιοαντιδραστήρων. Αυτό σημαίνει ότι στην εγκατάσταση θα αναπτύσσονται **δύο ξεχωριστές γραμμές τροφοδοσίας της μονάδας αναερόβιας χώνευσης** εντός της οποίας η πλειοψηφία των χωνευτήρων θα υποδέχεται τον πρώτο τύπο οργανικού υποστρώματος (MS-OFMSW) ενώ ένας μικρός αριθμός από αυτούς θα υποδέχεται το δεύτερο τύπο οργανικού υποστρώματος (biowaste), αντίστοιχα.

Σε περίπτωση δε μελλοντικών διαφοροποιήσεων στις ετήσιες μάζες των εισερχόμενων στη μονάδα οργανικών υποστρωμάτων, η εφαρμοζόμενη τεχνολογία και ειδικότερα η εφαρμογή αρθρωτού συστήματος αντιδραστήρων διαλείποντος έργου, υποστηρίζει τη δυνατότητα χρήσης ενός μικρότερου αριθμού κελιών για την αναερόβια χώνευση του οργανικού κλάσματος των σύμμεικτων αποβλήτων και την αξιοποίηση μεγαλύτερου αριθμού κελιών για τη χώνευση οργανικών αποβλήτων από διαλογή στην πηγή.

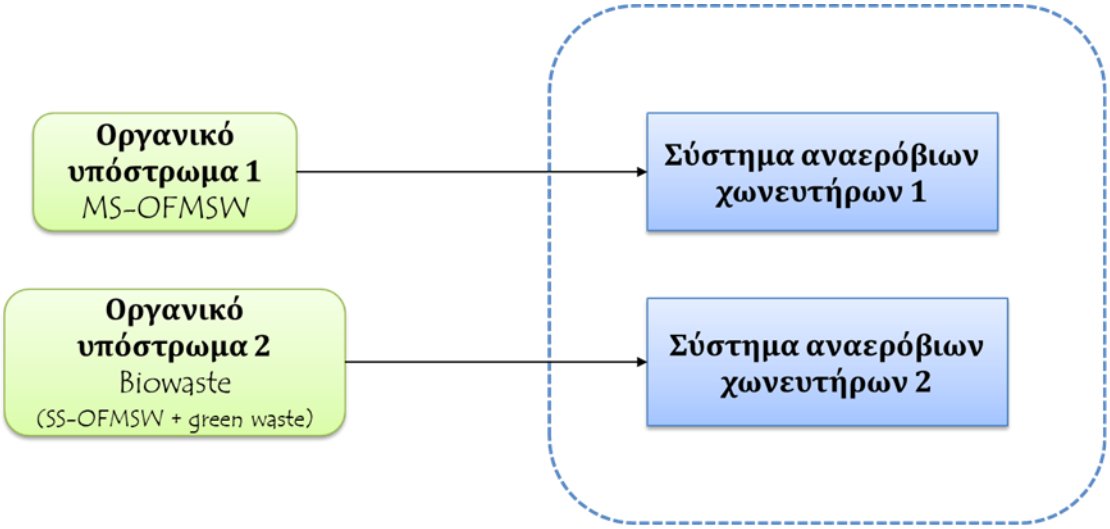
Πίνακας 3.5: Είδη οργανικών υποστρωμάτων προς τροφοδοσία της μονάδας αναερόβιας χώνευσης της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης

Τύποι οργανικών υποστρωμάτων	Βασικά Συστατικά/Χαρακτηριστικά
Οργανικό υπόστρωμα 1	Μηχανικά διαχωρισμένο οργανικό κλάσμα από τα οικιακά απόβλητα (MS-OFMSW)
Οργανικό υπόστρωμα 2	Προ-διαλεγμένα οργανικά & πράσινα απόβλητα-τεμαχισμένα κλαδέματα (biowaste)

3.5.4 Αναερόβια αποδόμηση οργανικού κλάσματος

Μετά το τέλος του σταδίου της μηχανικής προ-επεξεργασίας, τα οργανικά υποστρώματα μεταφέρονται στη μονάδα ξηρής αναερόβιας χώνευσης της πρότυπης εγκατάστασης (Anaerobic Digestion Treatment Facility - ADTF) όπου και τοποθετούνται προσωρινά σε ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης εντός κλειστού κτιρίου (tipping building). Σε πρώτη φάση, καθένα από τα οργανικά κλάσματα οδηγούνται στην **περιοχή ανάμειξης** (mixing area) όπου και αναμειγνύονται με το ξηρό υπόλειμμα -χωνεμένο υλικό - προηγουμένων διαδικασιών χώνευσης με σκοπό τον εμβολιασμό τους με κατάλληλο μικροβιακό πληθυσμό **[31,44]**.

Αμέσως μετά, το εμβολιασμένο πλέον οργανικό υπόστρωμα μεταφέρεται μέσω **μηχανικού φορτωτή** (wheel loader) εντός των χωνευτήρων όπου ζυμώνεται υπό αναερόβιες συνθήκες για ένα διάστημα περίπου 3-4 εβδομάδων **[44,51]**. Κάθε χωνευτήρας λειτουργεί αυτόνομα και εξοπλίζεται με συστήματα διαχείρισης βιοαερίου, αερισμού, εξαερισμού, διαβροχής και αεροστεγή θύρα.

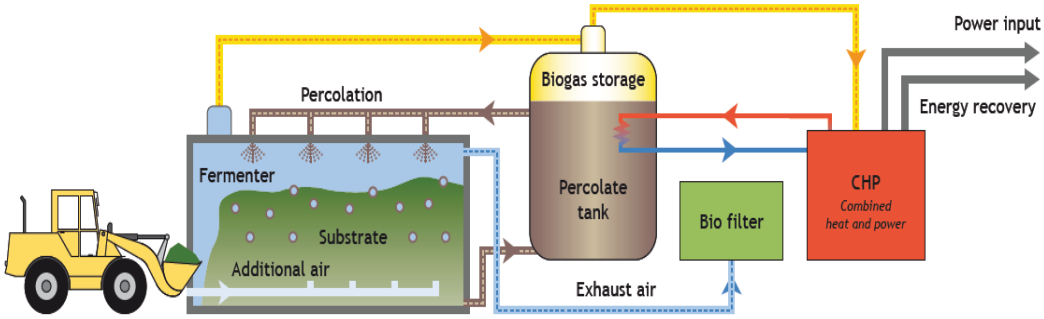


Εικόνα 3.4: *Βασική αρχή λειτουργίας του τμήματος ξηρής αναερόβιας χώνευσης*

Ειδικότερα, μέσω κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων (drainage system), ενσωματωμένου στο δάπεδο, επιτυγχάνεται τόσο ο αερισμός των αποβλήτων όσο και η απομάκρυνση των παραγόμενων στραγγισμάτων τα οποία θα οδηγούνται στη συνέχεια σε μια θερμαινόμενη δεξαμενή αποθήκευσης (percolate tank). Έπειτα, στο δάπεδο καθώς και στα τοιχώματα των επιμέρους βιοαντιδραστήρων αναπτύσσεται **σύστημα θέρμανσης** (heating system) αποτελούμενο από αγωγούς εντός των οποίων διοχετεύεται ζεστό νερό από την μηχανή συμπαραγωγής για την διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα. Επιπλέον, στην οροφή κάθε χωνευτή είναι εγκατεστημένο **σύστημα διαβροχής** (percolate spraying system) μέσω του οποίου ανακυκλοφορούνται τα θερμαινόμενα στραγγίσματα εντός του απορριμματικού όγκου, για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας αλλά και τον περαιτέρω εμβολιασμό του υλικού με μικροβιακή μάζα. **[31,40,44]**

Το παραγόμενο βιοαέριο αναρροφάται από την οροφή των βιοαντιδραστήρων μέσω συστήματος αντλιών και κατευθύνεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Από το αεροφυλάκιο (gasholder) προωθείται σε εξελιγμένα **συστήματα καθαρισμού** (biogas cleaning system) και **μείωσης της υγρασίας** του (humidity control system) προς βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του **[26,35]**. Στη συνέχεια, το αναβαθμισμένο εν δυνάμει βιοκαύσιμο διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων (piping components) εντός μιας πλήρως εξοπλισμένης **Μηχανής Εσωτερικής Καύσης** (gas engine) προς συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας **[38,44]**.

Η ροή του παραγόμενου βιοαερίου παρακολουθείται συνεχώς μέσω ενός μετρητή παροχής. Εάν η μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας είναι εκτός λειτουργίας ή εάν η παραγωγή αερίου υπερβαίνει την απαίτηση της μονάδας, το μη χρησιμοποιήσιμο αέριο ζύμωσης καίγεται σε έναν πυρσό έκτακτης ανάγκης.



Εικόνα 3.5: *Ενδεικτική απεικόνιση της ακολουθούμενης διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου σε αναερόβια κελιά σχήματος γκαράζ (Herhof GmbH)* ***[30]***

3.5.5 Κομποστοποίηση και ωρίμανση χωνεμένης ιλύς σε κλειστά συστήματα

Η ποσότητα του χωνεμένου υλικού (75-80%) **[35,40]** που δεν επαναχρησιμοποιείται για τον εμβολιασμό της καινούργιας τροφοδοσίας θα οδηγείται στο χώρο μετεπεξεργασίας (Post-Composting Treatment Facility-PCTF) όπου λαμβάνουν χώρα διεργασίες αερόβιας σταθεροποίησής της.

Σε πρώτη φάση, πραγματοποιείται η κομποστοποίηση (composting stage) της οργανικής μάζας εντός **οριζόντιων κλειστών συστημάτων** (βιοκελιά ή τούνελ) η τροφοδοσία των οποίων γίνεται μέσω θύρας, με φορτωτή **[44,51]**. Το υλικό παραμένει στα κελιά για ένα χρονικό διάστημα της τάξης των 2-3 εβδομάδων **[35,45]** κατά τη διάρκεια των οποίων εξελίσσεται η βιοαποδόμηση των επιμέρους συστατικών του εν μέσω διαρκούς αερισμού και υπό την παρουσία διαφόρων μικροοργανισμών **[51]**.

Μέσω της ρύθμισης των συστημάτων αερισμού και διαβροχής διασφαλίζεται η πλήρως ελεγχόμενη λειτουργία σε καθένα από τα αερόβια κελιά **[46,40]**. Τα απαέρια της διεργασίας αναρροφούνται μέσω δικτύου αεραγωγών και ανεμιστήρα απαγωγής που είναι εγκατεστημένο στην οροφή του κελιού. Από εκεί οδηγούνται σε χημική πλυντηρίδα και βιόφιλτρο (biofilter) για επεξεργασία πριν τη διάθεση στην ατμόσφαιρα. Παράλληλα, η ρύθμιση της υγρασίας του υλικού θα γίνεται με δίκτυο διαβροχής προσαρμοσμένο στην οροφή έκαστου κελιού **[40,44]**.

Σε δεύτερη φάση, το ημι-σταθεροποιημένο υλικό που παράγεται από την κομποστοποίηση της χωνεμένης ιλύς τοποθετείται σε στεγασμένα **ανοικτά συστήματα** (open windrows) με στόχο την περαιτέρω ωρίμανσή του (maturation stage) και την πλήρη σταθεροποίησή του **[31,39,40]**. Η επιφάνεια που θα καταλαμβάνεται από τα αναστρεφόμενα σειράδια θα είναι επιστρωμένη ενώ θα υπάρχει και σύστημα αποχέτευσης και ύδρευσης. Οι διεργασίες αναστροφής των σειραδίων οι οποίες είναι απαραίτητες για την παροχή οξυγόνου και τον έλεγχο της θερμοκρασίας τους θα λαμβάνουν χώρα με μια συχνότητα της τάξης των 1-2 φορών την εβδομάδα και θα πραγματοποιούνται είτε με φορτωτές είτε με ειδικά μηχανήματα αναστροφής του υλικού **[46,40]**. Οι αναστροφείς μπορεί να είναι ελκόμενοι από ένα τρακτέρ ή συναφές μηχάνημα (συνήθως σε μονάδες χαμηλής δυναμικότητας) ή αυτοκινούμενοι **[46]**.

Η όλη διαδικασία ωρίμανσης αναμένεται να διαρκέσει περίπου 2 μήνες **[39,40]** και θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός κομποστοποιημένου υλικού. Το βέλτιστο ύψος για τα αναστρεφόμενα σειράδια θεωρούνται τα 1,5-3,0m μιας και σε μικρότερα ύψη υπάρχουν μεγάλες απώλειες θερμότητας και κατά συνέπεια η θερμοκρασία είναι χαμηλή, ενώ σε μεγαλύτερα ύψη υπάρχει κίνδυνος εγκατάστασης αναερόβιων συνθηκών. Το πλάτος του σειραδιού δεν έχει μεγάλη επίδραση στη διεργασία και κυμαίνεται γύρω στα 3-5m, (ανάλογα με το μέγεθος του αναστροφέα), όπως και το μήκος που επιλέγεται συνήθως ως η ισοδύναμη παραγωγή μιας ημέρας ή ανάλογα με τη γεωμετρία της κομποστοπλατίας. Η διατομή των σειραδίων είναι συνήθως τριγωνική **[46,39]**.

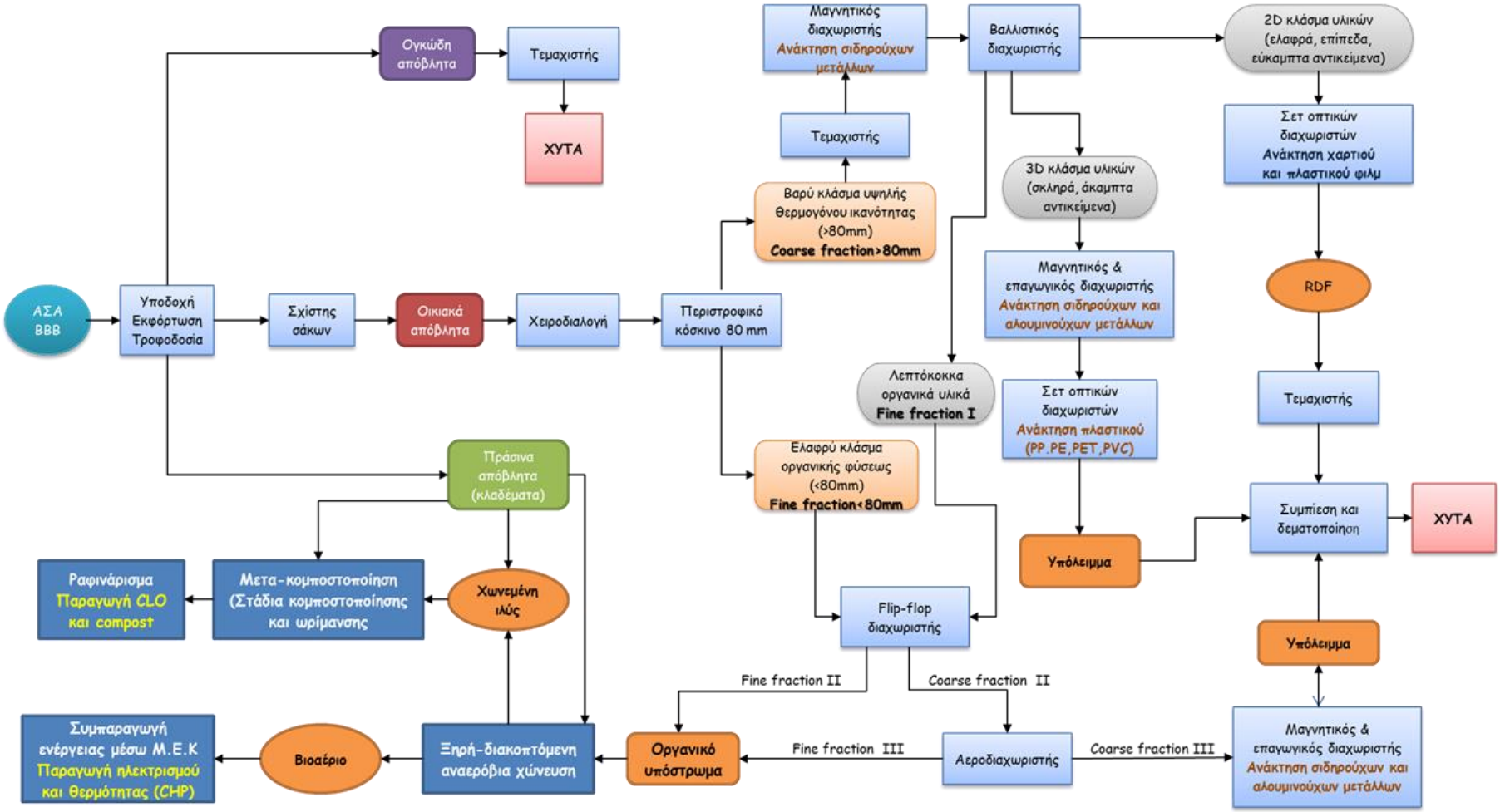
3.5.6 Ραφινάρισμα κομποστοποιημένου υλικού

Στη συνέχεια, το παραγόμενο εδαφικό υλικό από το χώρο ωρίμανσης μεταφέρεται στη γραμμή εξευγενισμού. Ειδικότερα, η διαδικασία του ραφιναρίσματος συνιστάται στο διαχωρισμό του κομποστοποιημένου υλικού από ξένες προσμίξεις (πλαστικά, γυαλιά, αδρανή), καθώς και από τα μη πλήρως κομποστοποιημένα οργανικά στερεά **[35,39,42]**. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της λειτουργίας ενός περιστροφικού κόσκινου με οπές διαμέτρου μεταξύ 11-15mm **[50]** (ενδεικτικά προτείνεται διάμετρος ίση με 12mm) και μιας βαρυμετρικής τράπεζας που συνιστά ένα συνδυασμό βαλλιστικού διαχωρισμού και αεροδιαχωρισμού και είναι τύπου δονούμενης τράπεζας ρευστοποίησης **[35,47]**.

Τέλος, το υλικό που διέρχεται των οπών αποθηκεύεται προσωρινά στον υποκείμενου του κόσκινου χώρο και εν συνεχεία φορτώνεται σε φορτηγό/ φορτωτή και οδηγείται στο χώρο αποθήκευσης τόσο σε χύδην μορφή όσο και σε σάκους. Το ευμέγεθες υλικό απορρίπτεται σε container προ της τελικής μεταφοράς και διάθεσής του στο ΧΥΤΑ **[46,35]**. Ωστόσο, στην περίπτωση του κοσκινίσματος του κομπόστ που έχει προέλθει από την αερόβια σταθεροποίηση του μίγματος της χωνεμένης ιλύς του μηχανικά διαχωρισμένου οργανικού κλάσματος των οικιακών αποβλήτων και μιας ορισμένης ποσότητας κλαδεμάτων (πρόσθετο κομποστοποίησης), το ανακτηθέν χονδρόκοκκο κλάσμα των πράσινων αποβλήτων δύναται να επανεισαχθεί στο αρχικό μίγμα και να υποστεί ξανά αερόβια αποδόμηση **[26,36,42]**.

3.5.7 Κομποστοποίηση τεμαχισμένων κλαδεμάτων σε ανοικτά συστήματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα εισερχόμενα εντός της μονάδας κλαδεμάτα θα τεμαχίζονται και το μεγαλύτερο μέρος αυτών θα στέλνεται στη συνέχεια σε ειδικό χώρο όπου θα πραγματοποιείται η κομποστοποίηση τους σε **ανοιχτού τύπου σειράδια** (open windrows) ή εναλλακτικά σε **αεριζόμενους στατικούς σωρούς** (aerated static pile - ASP). Η επιφάνεια που θα καταλαμβάνεται από τα σειράδια οφείλει να είναι επιστρωμένη ενώ θα πρέπει να υπάρχει και σύστημα αποχέτευσης και ύδρευσης. Σε γενικές γραμμές, αυτού του είδους τα συστήματα χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τα αντίστοιχα κλειστά που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση της χωνεμένης ιλύς του συστήματος.



***Εικόνα 3.6**: Αναλυτικό διάγραμμα λειτουργίας προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάσταση*

3.6 Ισοζύγια Μάζας και Ενέργειας, Ανάκτηση & Εκτροπή

3.6.1 Ισοζύγιο μάζας

Παρά τη σταδιακή εκτροπή όλου και μεγαλύτερου μέρους των οργανικών από το ρεύμα των οικιακών αποβλήτων εξαιτίας της παρουσίας καφέ κάδων εντός του δήμου ΒΒΒ, το εναπομένων κλάσμα εντός των πράσινων κάδων θα εξακολουθεί να περιέχει διάφορες προσμίξεις οργανικού κυρίως υλικού. Με άλλα λόγια, αν και η περιεκτικότητα των οικιακών αποβλήτων ως προς τα επιμέρους συστατικά του θα μεταβάλλεται, η σύμμεικτη φύση τους θα διατηρείται. Συνεπώς, οι προσμίξεις σε μη ανακτήσιμα υλικά και κυρίως σε υπολείμματα τροφών/κουζίνας εντός του βαρέως κλάσματος αποβλήτων που δεν θα εξέρχεται των οπών του περιστροφικού τυμπάνου θα είναι αναπόφευκτες (βλ. Πίνακα 3.4), γεγονός το οποίο θα περιορίζει σε σημαντικό βαθμό τα ποσοστά ανάκτησης των ανακυκλώσιμων υλικών όπως το χαρτί, το πλαστικό και το γυαλί**.** Έτσι, τα μοναδικά στην ουσία υλικά που θα ανακτώνται σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό κατά τη μηχανική επεξεργασία των ΑΣΑ θα είναι τα μέταλλα (σιδηρούχα και μη) **[24,40]**. Λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη το παραπάνω δεδομένο, στην παρούσα μελέτη έχουν θεωρηθεί τα εξής ποσοστά ανάκτησης για τα επιμέρους ανακυκλώσιμα υλικά επί της αντίστοιχης μάζας τους εντός των οικιακών αποβλήτων (grey waste) : 15% για το χαρτί / χαρτόνια, 25% για τα πλαστικά, 90% για τα σιδηρούχα μέταλλα, 85% για τα μη σιδηρούχα μέταλλα ενώ για το γυαλί αναμένεται μηδενικό (0%) ποσοστό ανακύκλωσης.

Σε ετησία βάση, θα λαμβάνονται περίπου 1.940 τόνοι ανακυκλώσιμων υλικών και 7.375 τόνους υπολείμματος/RDF. Ειδικότερα, οι διεργασίες μηχανικής διαλογής που υφίσταται το βαρύ κλάσμα αποβλήτων που εξέρχεται του κόσκινου συμβάλλει στην ανάκτηση 1.980 τόνων ανακυκλώσιμων υλικών. Ωστόσο, η ποσότητα αυτή θα αυξάνεται κατά περίπου 12% μετά την απομάκρυνση των σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων από το αντίστοιχο ελαφρύ-οργανικό κλάσμα αποβλήτων. Στον **Πίνακα 3.6** συνοψίζεται η σύνθεση τόσο του οργανικού υποστρώματος που προέρχεται από το οικιακά απόβλητα όσο και του υπολείμματος/RDF που προκύπτει ως παραπροϊόν της μηχανικής επεξεργασίας του ελαφριού και βαρέως κλάσματος υλικών που εξέρχονται από το περιστροφικό κόσκινο. Επίσης, παρουσιάζονται οι επιμέρους ετήσιες μάζες των ανακτηθέντων υλικών μετά το τέλος του σταδίου μηχανικής διαλογής.

Πίνακας 3.6: i) Σύνθεση και ετήσια ποσότητα οργανικού υποστρώματος και υπολειμμάτων/RDF που παράγονται στο τέλος του σταδίου μηχανικής επεξεργασίας των οικιακών αποβλήτων – ii) Συμβολή της ΜΕΑ στην ανακύκλωση

Συστατικά υλικά οικιακών σύμμεικτων αποβλήτων	Οργανικό υπόστρωμα (προερχόμενο από τα οικιακά απόβλητα)		Υπόλειμμα/ RDF		Ανακυκλώσιμα υλικά
	Υγρή μάζα (tn/year)	%κ.β.	Υγρή μάζα (tn/year)	%κ.β.	Υγρή μάζα (tn/year)
Οργανικά	4.744,11	72,34	708,89	9,61	
Χαρτί/Χαρτόνια	875,81	13,36	3.503,26	47,51	772,78
Πλαστικό	123,03	1,88	1.722,35	23,36	615,13
Μέταλλα	0,00	0,00	61,68	0,84	555,11
Γυαλί	31,01	0,47	589,10	7,99	0,00
Διάφορα (καιόμενα)	655,50	10,00	655,50	8,89	0,00
Αδρανή	128,48	1,96	133,72	1,81	0,00
Σύνολο	**6.557,93**	100	**7.374,50**	100	**1.943,01**
Ποσοστιαία αναλογία (%) επί της εισερχόμενης μάζας οικιακών (15.875 tons/year)	**41%**		**46%**		**12%**

3.6.2 Ισοζύγιο ενέργειας

Για τον υπολογισμό των παραγόμενων από την εγκατάσταση ποσοτήτων ηλεκτρισμού και θερμότητας έχουν γίνει συγκεκριμένες θεωρήσεις για τα παρακάτω μεγέθη:

- την παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από την χώνευση της οργανικής πρώτης ύλης,
- τη θερμογόνο ικανότητά του και
- τον ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης της Μ.Ε.Κ.

3.6.2.1 Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου (m^3/ton)

Σε πρώτη φάση, επιδιώκεται η εξαγωγή μιας τυπικής τιμής για την **ποσότητα βιοαερίου ανά τόνο φρέσκιας μάζας** (m^3/ton) που παράγεται κατά τη διάρκεια των αναερόβιων διεργασιών επεξεργασίας των οργανικών υποστρωμάτων του υπό μελέτη συστήματος. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, εμφανίζεται ένα ευρύ φάσμα εκτιμήσεων σχετικά με τα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου για μονάδες αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ (OFMSW), οι οποίες κάθε φορά διαμορφώνονται σύμφωνα με το είδος/σύσταση του οργανικού υποστρώματος, τον τρόπο συλλογής του καθώς και την εφαρμοζόμενη μέθοδο αναερόβιας χώνευσης **[52]**.

Ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει τα εύρη παραγωγής βιοαερίου είναι το ποσοστό των πτητικών στερεών (Volatile Solids,%VS) που εντοπίζεται στα επιμέρους συστατικά υλικά του οργανικού υποστρώματος και το οποίο εκφράζει το βιοδιασπώμενο τμήμα της στερεής ύλης που εμπεριέχεται σε καθένα από αυτά. **[29]**. Επισημαίνεται πως ο Brown (2011) στην έρευνά του υποστηρίζει πως η διατήρηση της περιεκτικότητας των πτητικών στερεών στην οργανική πρώτη ύλη τροφοδοσίας σε ποσοστά μεγαλύτερα του 60%

είναι ιδιαιτέρως σημαντική προκειμένου να εξασφαλίζονται υψηλές αποδόσεις παραγωγής βιοαερίου [52].

Γενικότερα, για τεχνολογίες ξηρής διακοπτόμενης ζύμωσης, το εύρος της παραγόμενης ποσότητας παραγωγής βιοαερίου κυμαίνεται μεταξύ 80 και 125 m^3/ton οργανικής πρώτης ύλης με μια μέση περιεκτικότητα σε μεθάνιο (CH_4) της τάξης του 60 vol % [52]. Στην παρούσα μελέτη, δεδομένου των δύο διαφορετικών τύπων οργανικού υποστρώματος που χωνεύονται ξεχωριστά ο ένας με τον άλλον (σε διαφορετικούς χωνευτήρες) έχουν θεωρηθεί οι παρακάτω τιμές για τα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου (**Πίνακας 1.5**).

Πίνακας 3.7: Παραδοχές μελέτης για τα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου των επιμέρους ειδών οργανικής πρώτης ύλης

Οργανική ύλη	Παραγωγή βιοαερίου (m3/ton φρέσκιας μάζας)
1. Οργανικό κλάσμα σύμμεικτων οικιακών αποβλήτων	80
2. Πράσινα απόβλητα (κλαδέματα)	60
3. Προ-διαλεγμένα οργανικά	90

Σημειώνεται πως οι εκτιμήσεις για την ποσότητα βιοαερίου ανά τόνο φρέσκιας μάζας για τα δύο οργανικά υποστρώματα έγιναν βάσει δοθέντων στοιχείων από εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της επεξεργασίας απορριμμάτων και είναι οι πλέον συντηρητικές προκειμένου τα αποτελέσματα σχετικά με την ενεργειακή απόδοση της μονάδας να χαρακτηρίζονται από ένα καλό βαθμό ρεαλιστικότητας.

Επομένως, με βάση τις παραδοχές του **Πίνακα 3.7** και τις ετήσιες ποσότητες των δύο οργανικών υποστρωμάτων της εγκατάστασης **όπως αυτές έχουν εξαχθεί στα προηγούμενα Κεφάλαια,** μπορεί να προκύψει και η **συνολική παραγωγή βιοαερίου** κατά το στάδιο της ξηρής αναερόβιας χώνευσης. Πιο συγκεκριμένα, από τη βιοαποσύνθεση του μηχανικά διαχωρισμένου οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ (**οργανικό υπόστρωμα 1**) θα παράγονται περίπου 524.800 m^3/year ενώ αντίστοιχα από την βιοαποσύνθεση του μίγματος των προ-διαλεγμένων οργανικών και των πράσινων απόβλητων (**οργανικό υπόστρωμα 2**) θα παράγονται περίπου 347.100 m3/year. Συνολικά, υπολογίζεται ετήσια παραγωγή βιοαερίου της τάξης των 871.900 m^3.

Πίνακας 3.8: Εκτίμηση ετήσιας παραγωγής βιοαερίου (m3/year)

Οργανικά υποστρώματα ΜΒΕ εγκατάστασης	Τύπος	Ετήσια παραγωγή βιοαερίου (m^3/year)
Οργανικό υπόστρωμα 1	Μηχανικά διαχωρισμένο οργανικό κλάσμα οικιακών αποβλήτων	524.800 m^3
Οργανικό υπόστρωμα 2	Πράσινα απόβλητα	77.100 m^3
	Προ-διαλεγμένα οργανικά	270.000 m^3

3.6.2.2 Θερμογόνος δύναμη βιοαερίου (MJ/m3) και βαθμοί απόδοσης

Το **ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου** είναι άμεσα συνδεδεμένο με την κατ΄όγκο περιεκτικότητά του σε μεθάνιο **[42]**. Άλλωστε, το μεθάνιο είναι αυτό που μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα αποτελούν τα βασικά χημικά συστατικά του εξαχθέντος αέριου μίγματος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, εκτιμάται ότι και για τα δύο είδη οργανικού υποστρώματος, η συγκέντρωση του μεθανίου (CH_4) στο παραγόμενο βιοαέριο θα κυμαίνεται κοντά στο 55-60% ενώ η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) κοντά στο 35-40%. Σε μικρότερα ποσοστά θα υπάρχουν άλλα αέρια (υδρόθειο, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο, υδρατμοί κ.α.). Ταυτόχρονα, η κατώτατη θερμογόνος ικανότητα του αέριου καυσίμου έχει οριστεί κοντά στα 23 MJ/m^3.

Πίνακας 3.9: Τυπικά χαρακτηριστικά του βιοαερίου

Ετήσια παραγωγή βιοαερίου	871.900 m^3/year
Περιεκτικότητα σε CH_4	55-60% v/v
Περιεκτικότητα σε CO_2	35-40% v/v
Θερμογόνος ικανότητα (LHV)	23 MJ/m^3

3.6.2.3 Ηλεκτρικός & Θερμικός βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Ο **ηλεκτρικός και θερμικός βαθμός απόδοσης** κατά την καύση του βιοαερίου στην αεριομηχανή διπλού καυσίμου (Μ.Ε.Κ.) αποτελούν τις τελευταίες κρίσιμες μεταβλητές που πρέπει να προσεγγιστούν έτσι ώστε να επιτευχθεί ο υπολογισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στη μονάδα συμπαραγωγής. Σε γενικές γραμμές, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (η_{el}) για μονάδες βιοαερίου μικρής κλίμακας κυμαίνεται μεταξύ 30-40% ενώ ο αντίστοιχος θερμικός βαθμός (η_{th}) μεταξύ 35-45% **[33]**. Ενδεικτικά, παρατίθεται ο παρακάτω Πίνακας 3.10 στον οποίο συγκεντρώνονται οι θεωρούμενοι βαθμοί απόδοσης διαφόρων μελετών για παρόμοιες ΜΒΕ εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ.

Πίνακας 3.10: Εκτιμήσεις μελετών για τον ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης ΜΒΕ εγκαταστάσεων παρόμοιας τεχνολογίας

Ποσοστιαίος ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (η_{el})	Ποσοστιαίος θερμικός βαθμός απόδοσης (η_{th})	Πηγή
35-38 %	50 %	Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes
35 %	45 %	Feasibility of Generating Green Power through Anaerobic Digestion of Garden Refuse from the Sacramento Area
33 %	47 %	Σύγκριση βιολογικών μεθόδων αξιοποίησης του προ-διαλεγμένου οργανικού κλάσματος των Αστικών Σύμμεικτων Απορριμμάτων βάσει των αρχών της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.
40 %	40 %	Life-cycle assessment of a waste refinery process for enzymatic treatment of municipal solid waste
40 %	60 %	Material resources, energy, and nutrient recovery from waste: are waste refineries the solution for the future?

Στην παρούσα μελέτη, έχουν γίνει οι παραδοχές που παρατίθενται στον **Πίνακα 3.11** σχετικά με τον ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης της ΜΕΑ:

Πίνακας 3.11: Παραδοχές για βαθμούς απόδοσης εγκατάστασης

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (η_{el})	38 %
Θερμικός βαθμός απόδοσης (η_{th})	42 %
Ολικός Βαθμός Συμπαραγωγής (η_{CHP}= η_{el}+η_{th})	80 %

3.6.2.4. Εκτιμώμενα επίπεδα παραγωγής ενέργειας εγκατάστασης

Με βάση τις παραδοχές στους **Πίνακες 3.9, 3.10 και 3.11**, πραγματοποιείται μια πρώτη εκτίμηση για τα επίπεδα παραγωγής ενέργειας στη σχεδιαζόμενη ΜΒΕ εγκατάσταση σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

- **Για την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς :**

$$P_{el} = \eta_{el} * \dot{m}_B * H_u$$

όπου :

η_{el} = Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)

P_{el} = Ηλεκτρική ισχύς (Watt)

$\dot{m}_B$ = Παροχή βιοαερίου στην Μ.Ε.Κ (m^3/sec)

Hu = Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα βιοαερίου (MJ/m^3)

- **Για την παραγόμενη θερμική ισχύς :**

$$\dot{Q}_{th} = \eta_{th} * \dot{m}_B * H_u$$

όπου :

η_{th} = Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)

$\dot{Q}_{th}$ = Θερμική ισχύς (Watt)

$\dot{m}_B$ = Παροχή βιοαερίου στην Μ.Ε.Κ (m^3/sec)

Hu = Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα βιοαερίου (MJ/m^3)

Επομένως, για ετήσια λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής της εγκατάστασης κοντά στις 7.800 ώρες, υπολογίζεται ότι η **παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς** θα είναι περίπου ίση με 270 kW_{el} ενώ η **παραγόμενη θερμική ισχύς** θα αγγίζει τα 300 kW_{th}. Οι εξαγόμενες αυτές τιμές για τις ισχύεις αντιστοιχούν σε ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 2.106.000 kWh_{el} και θερμικής ενέργειας περίπου 2.340.000 kWh_{th}.

Πίνακας 3.12: Επίπεδα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας εγκατάστασης

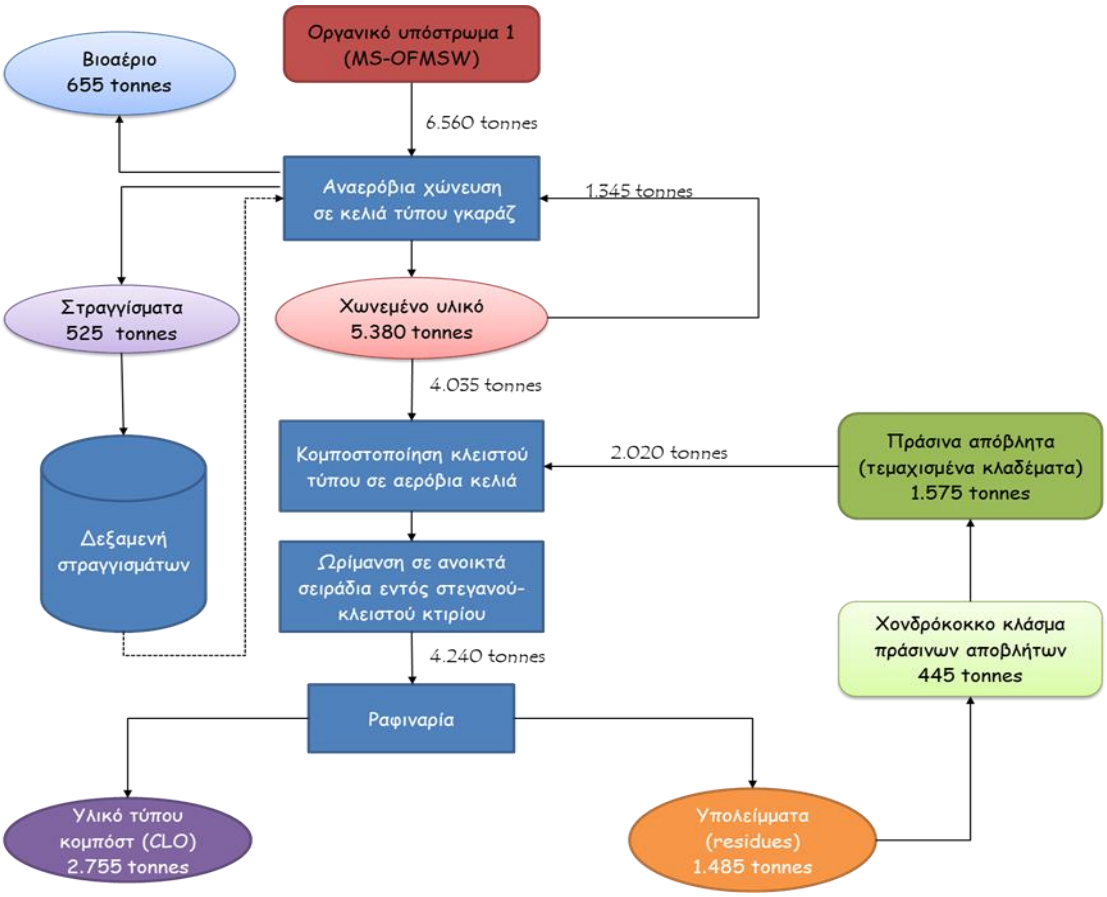
Ηλεκτρική ισχύς	270 kW_{el}
Θερμική ισχύς	300 kW_{th}
Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	2.100 MWh_{el} / year
Ετήσια παραγόμενη θερμική ενέργεια	2.350 MWh_{th} / year

3.6.3 Επίπεδα παραγωγής κομπόστ

Ο υπολογισμός των επιπέδων παραγωγής βιοαερίου και κομπόστ στη μονάδα βασίζεται ουσιαστικά στο **ισοζύγιο μάζας για το χωνεμένο υλικό**. Πιο αναλυτικά, από την ετήσια μάζα του οργανικού υλικού που εισέρχεται εντός των αναερόβιων κελιών υπολογίζεται πως ένα ποσοστό της τάξης του 10-15% θα μετατρέπεται σε βιοαέριο. Η υπόλοιπη ποσότητα σε ποσοστό 80-85% θα αντιστοιχεί στη χωνεμένη ιλύς που εξάγεται μετά το τέλος των αναερόβιων διεργασιών υπό τη μορφή υπολείμματος ενώ ένα μικρό ποσοστό κοντά στο 10% θα είναι τα στραγγίσματα που θα συλλέγονται εντός θερμαινόμενων δεξαμενών αποθήκευσης και θα ανακυκλώνονται εντός της διαδικασίας χώνευσης **[46]**. Επόμενη κρίσιμη παράμετρος που οφείλεται να προσδιοριστεί είναι η ποσότητα του χωνεμένου υλικού που θα επανακυκλοφορείται προς μικροβιακό εμβολιασμό της εισερχόμενης στα αναερόβια κελιά φρέσκιας μάζας. Με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία **[53,29]**, ένα ποσοστό κοντά στο 20-25% της παραγόμενης χωνεμένης ιλύς έχει θεωρηθεί ότι θα ανακυκλοφορείται

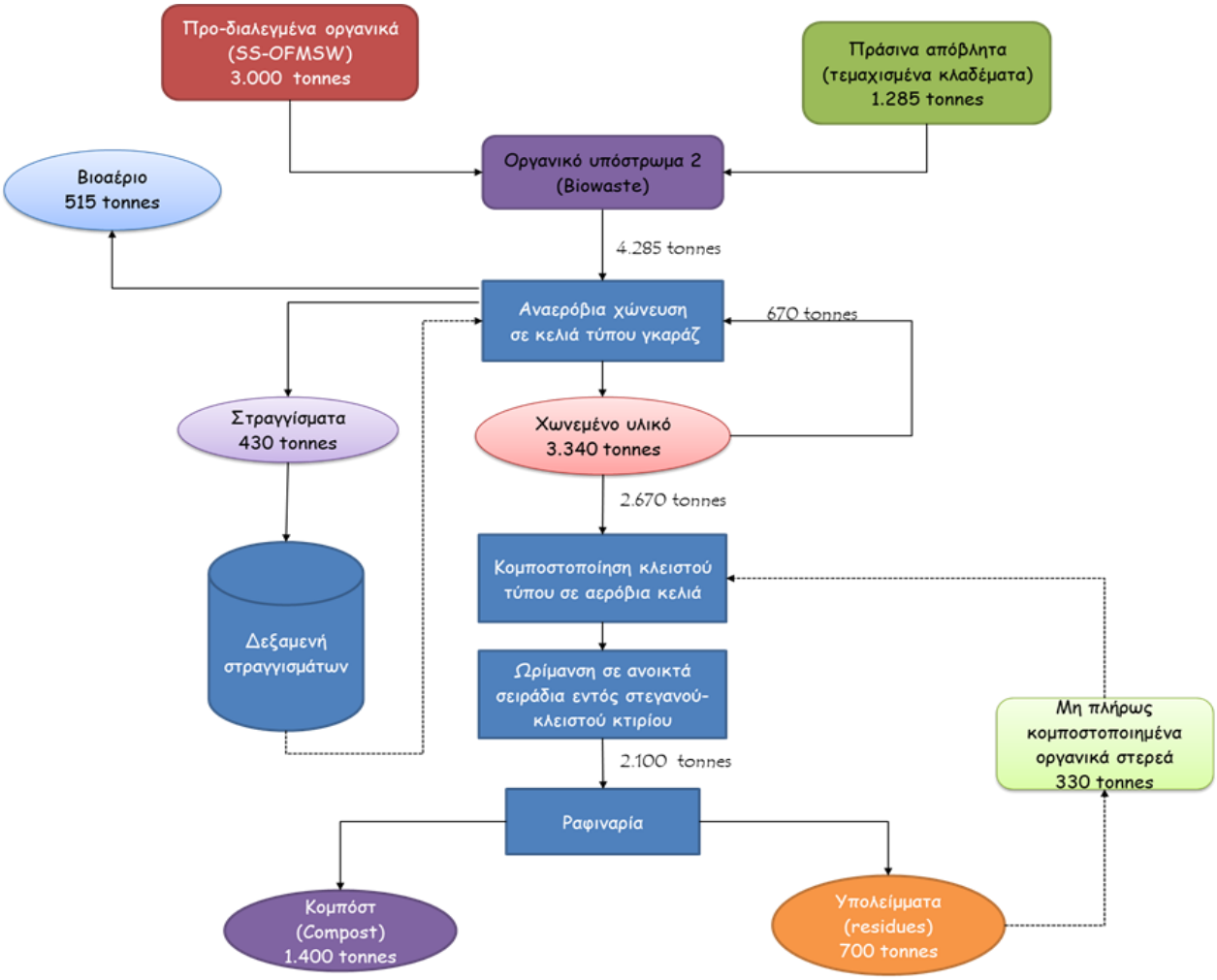
σε κάθε νέο κύκλο αναερόβιας χώνευσης ανεξαρτήτως του είδους της οργανικού υποστρώματος. Επιπλέον, η ετήσια μάζα των στραγγισμάτων με την οποία θα ψεκάζεται το οργανικό υλικό που βρίσκεται εντός των χωνευτήρων έχει θεωρηθεί ότι θα μεταβάλλεται σύμφωνα με την αρχική περιεκτικότητα του υλικού σε υγρασία (εποχιακή διακύμανση) **[53,29].**

Στη συνέχεια, η εναπομένουσα ποσότητα του χωνεμένου υλικού με προέλευση το μηχανικά διαχωρισμένο οργανικό κλάσμα των σύμμεικτων οικιακών αποβλήτων θα αναμειγνύεται με προκαθορισμένη ποσότητα κλαδεμάτων (ογκομετρική αναλογία 2:1), συνθέτοντας ένα μίγμα της τάξης των 6.055 tons/year το οποίο στέλνεται διαδοχικά για κομποστοποίηση και ωρίμανση. Κατά τη διάρκεια των διεργασιών σταθεροποίησης του, ένα ποσοστό της τάξης του 30% της αρχικής του μάζας υπολογίζεται ότι θα χάνεται υπό τη μορφή απωλειών οι οποίες στο πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης μεταφράζονται σε εξάτμιση νερού (υγρασίας) και πτητικών στερεών (VS) ενώ στο δεύτερο στάδιο της ωρίμανσης ως εκπομπές απαερίων **[49].** Επομένως, στην έξοδο της μονάδας μετα-κομποστοποίησης θα παράγονται κάθε χρόνο 4.240 τόνοι σταθεροποιημένου υλικού το οποίο μετά και τον εξευγενισμό του στο χώρο της ραφιναρίας θα παραμένει με το 65% της αρχικής του μάζας, μιας το υπόλοιπο 35% θα αντιστοιχεί στις ανεπιθύμητες προσμίξεις και στα ημι-κομποστοποιημένα ευμεγέθη πράσινα απόβλητα. Το τελικό προϊόν θα συνιστά ένα υλικό τύπου κομπόστ (CLO), η ετήσια παραγωγή του οποίου ισοδυναμεί κοντά με 2.750 τόνους. Ένα ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα** 3.1:



Διάγραμμα 3.1*: Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας για το μηχανικά διαχωρισμένο οργανικό κλάσμα του ρεύματος των οικιακών αποβλήτων (MS-OFMSW)*

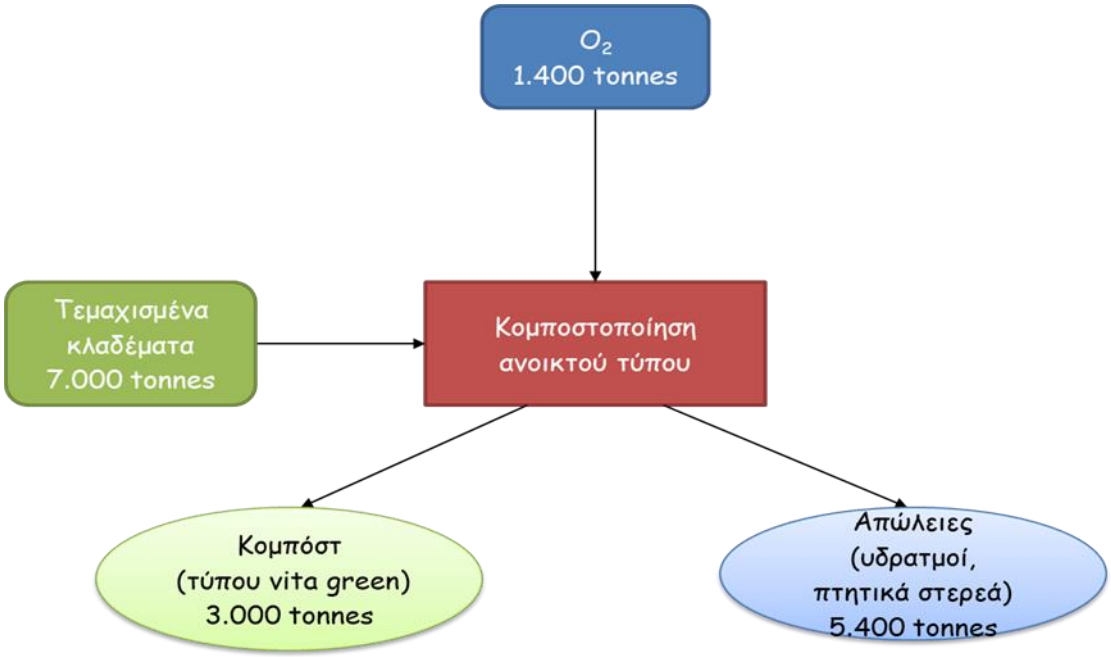
Παρόμοια διαδικασία θα ακολουθείται και για το χωνεμένο υλικό με προέλευση το μίγμα βιοαποβλήτων (προ-διαλεγμένα οργανικά και τεμαχισμένα κλαδέματα). Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η παρουσία σημαντικής ποσότητας πράσινων αποβλήτων εντός του οργανικού μίγματος που εισάγεται αρχικά στους χωνευτήρες θα απαλείφει την ανάγκη ανάδευσης του παραγόμενου υπολείμματος με επιπλέον πρόσθετα κομποστοποίησης (κλαδέματα) προ της εισαγωγής αυτού στους αερόβια κελιά [54]. Αντίθετα, αν αυτό κρίνεται αναγκαίο πραγματοποιείται ανάμειξη του μόνο με μη πλήρως κομποστοποιημένα οργανικά στερεά που θα έχουν διαχωριστεί από το παραγόμενο κομπόστ κατά τη διάρκεια του ραφιναρίσματος[54]. Συνεπώς, περίπου 2.670 tons/year χωνεμένου υλικού θα μεταφέρονται στη μονάδα μετα-κομποστοποίησης από την οποία θα εξάγονται περίπου 2.100 τόνοι σταθεροποιημένου υλικού. Μετά και το τέλος του σταδίου εξευγενισμού, θα έχει τελικώς παραχθεί ένα αρκετά καλής ποιότητας κομπόστ (compost) ποσότητας κοντά στους 1.500 tons/year μιας και το 30-35% της μάζας του σταθεροποιημένου υλικού εκτιμάται ότι θα απομακρύνεται υπό τη μορφή ανεπιθύμητων προσμίξεων (πλαστικά, γυαλιά, πέτρες, χαλίκια κ.α.) και μη πλήρως κομποστοποιημένων οργανικών στερεών, με τα τελευταία είτε να επαναχρησιμοποιούνται στο στάδιο της κομποστοποίησης είτε να συλλέγονται και να οδηγούνται μαζί με τα υπόλοιπα ανόργανα αντικείμενα στο ΧΥΤΑ. Ένα ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας αποτυπώνεται στο **Διάγραμμα 3.2**:



Διάγραμμα 3.2: *Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας για το μίγμα βιοαποβλήτων (biowaste) αποτελούμενο από προ-διαλεγμένα οργανικά και πράσινα απόβλητα*

Τέλος, όσον αφορά τους περίπου 7.000 τόνους κλαδεμάτων που θα οδηγούνται ετησίως σε ανοικτά συστήματα κομποστοποίησης, υπολογίζεται πως η αρχική τους μάζα θα έχει μειωθεί κατά 2/3 μετά το τέλος της αερόβιας επεξεργασίας τους. Αυτό σημαίνει ότι από το 100% του οργανικού υλικού που θα κομποστοποιείται, περίπου το 37% θα μετατρέπεται σε κομπόστ υψηλής ποιότητας (τύπου vita green) ενώ το υπόλοιπο 63% θα εγκαταλείπει το σύστημα υπό τη μορφή εξατμιζόμενου νερού και αποσυντιθέμενων πτητικών στερεών **[54]**. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι παραπάνω τιμές αφορούν περιπτώσεις κομποστοποίησης φρέσκου υλικού και όχι χωνεμένου όπως στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις που περιγράφηκαν, όπου ένα μεγάλο μέρος οργανικής πρώτης ύλης έχει ήδη βιοαποκοδομηθεί από το στάδιο της ξηρής αναερόβιας χώνευσης.

Ένα ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης του φρέσκου οργανικού υλικού φαίνεται στο **Διάγραμμα 3.3**:



Διάγραμμα 3.3: *Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας για την κομποστοποίηση ανοικτού τύπου που θα υφίσταται η πλειοψηφία των κλαδεμάτων*

3.7 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στην υποενότητα αυτή συγκεντρώνονται τα προϊόντα καθώς που θα εξάγονται από την προτεινόμενη μονάδα καθώς και οι ετήσιες ποσότητες αυτών. Εκτός της συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, η προτεινόμενη ΜΕΑ θα συμβάλλει έστω και σε μικρό βαθμό στην ανακύκλωση υλικών ενώ θα παράγονται και τριών (3) ειδών κομπόστ:

- Το πρώτο θα προέρχεται από το μηχανικό διαχωρισμένο οργανικό κλάσμα των οικιακών αποβλήτων θα είναι χαμηλής ποιότητας (CLO) και είναι πολύ πιθανό να καταλήξει στο ΧΥΤΑ σε περίπτωση που δεν καταστεί δυνατή η αξιοποίησή του με

οικονομικά βιώσιμους όρους κυρίως ως υλικό επικάλυψης σε ΧΥΤΑ ή υλικό αποκατάστασης λατομείων ή παλαιών χωματερών.

- Το δεύτερο θα προέρχεται από το μίγμα βιοαποβλήτων (προ-διαλεγμένα οργανικά και κλαδέματα). Λόγω της συλλογής των αποβλήτων από πρόγραμμα ΔσΠ δίδεται η δυνατότητα παραγωγής κομπόστ καλής ποιότητας, ικανού για χρήση αυτού ως εδαφοβελτιωτικού υλικού, με αποτέλεσμα την κατά πάσα πιθανότητα την πλήρη αξιοποίηση και εμπορική εκμετάλλευση του κλάσματος αυτού.

- Το τρίτο θα προέρχεται από την ανοικτού τύπου κομποστοποίηση του μεγαλύτερου μέρους των εισερχόμενων στη εγκατάσταση πράσινων αποβλήτων- κλαδεμάτων. Το συγκεκριμένο κομπόστ αναμένεται να είναι πολύ υψηλής ποιότητας με αποτέλεσμα να μπορεί να αξιοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό σε γεωργικές χρήσεις. Επιπλέον, μπορεί να πετύχει μια πολύ καλή τιμή πώλησης αν τελικώς αποφασιστεί η εμπορική του χρήση.

Τέλος, i) τα επιμέρους υπολείμματα/RDF από το στάδιο μηχανικής διαλογής μαζί ii) με τα τεμαχισμένα ογκώδη απόβλητα και iii) τα υπολείμματα που απομακρύνονται ως ξένες προσμίξεις από τα κομποστοποιημένα υλικά κατά το στάδιο του ραφιναρίσματος, θα συνθέτουν το σύνολο των υπολειμμάτων που παράγονται από τις εργασίες επεξεργασίας που λαμβάνουν χώρα στη Μ.Ε.Α. και θα οδηγούνται προς ταφή στο ΧΥΤΑ, χωρίς ωστόσο να επιβαρύνονται με το ειδικό τέλος ταφής. Στην ποσότητα αυτή είναι πολύ πιθανό να προστίθεται και iv) το παραγόμενο υλικό τύπου κομπόστ (CLO).

Πίνακας 3.13: Ετήσιες ποσότητες εξαγόμενων προϊόντων προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης

Προϊόντα προτεινόμενης ΜΕΑ	Ετήσια ποσότητα
1. Ηλεκτρική ενέργεια	2.100 MWh_{el}
2. Θερμική ενέργεια	2.350 MWh_{th}
3. Κομπόστ χαμηλής ποιότητας (CLO)	2.750 tonnes
4. Κομπόστ καλής ποιότητας	1.400 tonnes
5. Κομπόστ πολύ υψηλής ποίοτητας	3.000 tonnes
6.a Υπολείμματα (χωρίς το CLO)	11.785 tonnes
6.b Υπολείμματα (με το CLO)	14.540 tonnes

4. Γενική οικονομική αποτίμηση ολοκληρωμένων ΜΒΕ εγκαταστάσεων

4.1 Μεθοδολογία εργασίας

Σε πρώτη φάση, τόσο το ***κόστος επένδυσης*** (investment cost) όσο και το ετήσιο ***κόστος λειτουργίας*** (operating cost) αποτελούν τα χαρακτηριστικότερα οικονομικά μεγέθη της εξεταζόμενης εγκατάστασης και συνεπώς η ρεαλιστική προσέγγισή τους είναι καθοριστικής σημασίας.

Σε δεύτερη φάση, από το άθροισμα του ετήσιου επενδυτικού και λειτουργικού κόστους της μονάδας με το εκ νέου διαμορφωμένο κόστος αποκομιδής αφαιρούνται όλα εκείνα τα έσοδα που προέρχονται από την ***πώληση του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας*** στο δίκτυο, από την ***πώληση των ανακτηθέντων υλικών*** από τη μηχανική προ-επεξεργασία και από τα **έσοδα μέσω των τελών εισόδου** που ο διαχειριστής των ΑΣΑ θα είναι υποχρεωμένος να πληρώνει στους λειτουργούς της ΜΕΑ για την είσοδο και επεξεργασία των απορριμμάτων του εντός αυτής.

Τελικά, το αποτέλεσμα είναι μια χρηματορροή που αντικατοπτρίζει το ετήσιο κόστος που θα χαρακτηρίζει την ΜΒΤ μονάδα στο σύνολό της. Επισημαίνεται πως για την εύρεση του **ειδικού συνολικού ετήσιου κόστους** (annual specific treatment cost) το οποίο μετράται σε ευρώ ανά τόνο ΑΣΑ (€/tn) απαιτείται η διαίρεση του εξαχθέντος ετησίου κόστους με την ονομαστική χωρητικότητα της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.1: Τρόπος υπολογισμού του ετήσιου συνολικού κόστους της προτεινόμενης ΜΒΤ μονάδας

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΒΤ ΜΟΝΑΔΑΣ
=
ΕΤΗΣΙΟ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)
+
ΕΤΗΣΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)
-
ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΩΛΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€)
-
ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΩΛΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΚΤΗΘΕΝΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΙΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ (€)
-
ΕΣΟΔΑ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΤΕΛΛΟΥΣ ΕΙΣΩΔΟΥ (€)

4.2 Παραδοχές και επισημάνσεις

Πηγή εσόδων για τη μονάδα θα μπορούσαν επίσης να αποτελέσουν τόσο i) το **κομπόστ από την κλειστού τύπου κομποστοποίηση** μέρους του ξηρού υπολείμματος που έχει προκύψει από τη χώνευση του μίγματος των προ-διαλεγμένων οργανικών και των πράσινων αποβλήτων όσο και ii) το **κομπόστ από την ανοικτού τύπου κομποστοποίηση** μεγάλου μέρους των εισερχόμενων στη μονάδα κλαδεμάτων. Ειδικότερα, λόγω της πολύ καλής ποιότητάς τους, αναμένεται να εμφανίζουν εμπορική αξία σε περίπτωση που αποφασιστεί η πώληση τους στην αγορά λιπασμάτων. Η ακριβής χρήση και τιμή πώλησής τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τελική ποιότητά τους **[24],[55],[52]**. Για το λόγο αυτό και όπως έχει ήδη αναφερθεί, θεωρείται πολύ πρόωρο ακόμα να υπάρξει κάποια εκτίμηση έστω και τυπική σχετικά με την τιμή πώλησής τους καθενός από αυτά, ιδίως όταν δεν είναι καν σίγουρο αν η αξιοποίησή τους γίνει μέσω της μεταπώλησής του ή υπάρξει κάποιου άλλου είδους συμφωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων με τη μονάδα φορέων (πχ: δωρεάν διάθεση σε νοικοκυριά ή σε δημοτικά πάρκα, κήπους και χώρους πρασίνου). **(Παραδοχή 1)**

Ενδεικτικά, η εμπειρία από Ευρωπαϊκές χώρες δείχνει πως το κομπόστ που πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές ποιότητας εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο στη γεωργία με μηδενική ή μικρή τιμή πώλησης (0-3 €/ton) ενώ μια προτεινόμενη μέση τιμή πώλησης για την ΕΕ τόσο από την Eunomia (2009) όσο και από τον Barth (2008) είναι τα 7 €/ton κομπόστ, δηλαδή περίπου 3,5 €/ton εισερχομένων απορριμμάτων **[16],[38]**. Σε ορισμένες χώρες η τιμή πώλησης υψηλής ποιότητας κομπόστ μπορεί να είναι υψηλότερη (20-40 €/ton), σε περιορισμένες όμως ποσότητες και έπειτα από σημαντικό εξευγενισμό **[24]**. Ωστόσο, σε περιπτώσεις κομποστοποίησης πράσινων αποβλήτων, τα δεδομένα είναι διαφορετικά μιας και το παραγόμενο κομπόστ είναι πάρα πολύ πιθανό να επιτύχει υψηλές τιμές πώλησης στην αγορά λιπασμάτων κι εδαφοβελτιωτικών που μπορεί να φτάνουν τα 10-15 €/ton για χύμα διάθεση και τα 100-120 €/ton για ενσακισμένο **[55]**.

Κατά τη διάρκεια της τεχνοοικονομικής μελέτης, έχει επίσης θεωρηθεί πως το κόστος απόκτησης του οικοπέδου για την τοποθέτηση της εγκατάστασης είναι μηδενικό. **(Παραδοχή 2)**

Ακολούθως, ένα ποσοστό της τάξης του 10% και 20% αντίστοιχα από τις παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας θα χρησιμοποιείται ετησίως υπό τη μορφή ιδιοκαταναλώσεων προς εξυπηρέτηση μέρους των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης κυρίως σε ό,τι αφορά τα τμήματα βιολογικής επεξεργασίας και συμπαραγωγής ενέργειας. Αντίθετα, οι ενεργειακές ανάγκες του τμήματος μηχανικής προ-επεξεργασίας που είναι και οι περισσότερες θεωρείται ότι αρχικά τουλάχιστον, θα καλύπτονται από το δίκτυο. **(Παραδοχή 3)**

Τέλος, στους επιμέρους υπολογισμούς έχει αρχικά χρησιμοποιηθεί επιτόκιο αναγωγής ίσο με 9% για συνολική διάρκεια ζωής της μονάδας/επένδυσης τα 30 χρόνια**.** Στην εξέλιξη της μελέτης, οι παραπάνω τιμές θα μεταβάλλονται στα πλαίσια της **ανάλυσης ευαισθησίας** των επιμέρους αποτελεσμάτων του βασικού σεναρίου. **(Παραδοχή 4)**

Πίνακας 4.2: Υπολογιστικές παραδοχές για την τεχνοοικονομική μελέτη

Επιτόκιο Αναγωγής	9%
Διάρκεια ζωής	30 χρόνια
Ιδιοκαταναλώσεις σε ηλεκτρική ενέργεια	10%
Ιδιοκαταναλώσεις σε θερμική ενέργεια	20%

Ανακεφαλαιώνοντας, μια ολοκληρωμένη και συνάμα ρεαλιστική προσέγγιση των οικονομικών απαιτήσεων της υπό εξέταση εγκατάστασης μικρής κλίμακας για την διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ προϋποθέτει την εκτίμηση του αρχικού κεφαλαίου και των ετήσιων δαπανών λειτουργίας τόσο για τη μονάδα μηχανικής επεξεργασίας (MTF) όσο και για τη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας (BTF).

Για το λόγο αυτό, η τεχνοοικονομική ανάλυση χωρίζεται σε **δύο διακριτά μέρη**. Στο **πρώτο μέρος** εξετάζονται τα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη που απορρέουν από το μηχανικό σκέλος προ-επεξεργασίας των εισερχόμενων σύμμεικτων απορριμμάτων ενώ το **δεύτερο μέρος** ασχολείται με τα αντίστοιχα κόστη της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, στα οποία θα εμπεριέχονται και τα κόστη που σχετίζονται με το σύστημα συμπαραγωγής που ακολουθεί.

Υπολογίζεται πως οι εξειδικευμένες και πολύπλοκες μηχανικές διεργασίες διαχωρισμού των σύμμεικτων αποβλήτων θα αυξάνουν σε αρκετά υπολογίσιμο βαθμό τα συνολικά κόστη επένδυσης και λειτουργίας για την πρότυπη εγκατάσταση, σε σχέση με την περίπτωση που στην εγκατάσταση εισέρχονταν βιοαποικοδομήσιμα ΑΣΑ που είχαν συλλεχτεί χωριστά μέσω διαλογής στην πηγή (καφέ κάδοι). **[33],[52]**

4.3 Εκτίμηση για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας του τμήματος Μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ (MTF) εγκατάστασης ΜΒΕ.

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής που αποτυπώνει την αρχή λειτουργίας της εγκατάστασης ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη μονάδα μηχανικής επεξεργασίας απαρτίζεται από τα παρακάτω μηχανήματα (βλ. διάγραμμα ροής):

- Μηχανή ανοίγματος για τις σακούλες σκουπιδιών (Bag breaker machine)
- Ταινιόδρομος με ιμάντα (Conveyor)
- Κόσκινο περιστρεφόμενου τυμπάνου (Trommel Screen)
- Τεμαχιστές (Shredders)
- Μαγνητικοί διαχωριστές (Magnetic Separators)
- διαχωριστές δινορρευμάτων (Eddy Current Separators)
- Διαχωριστής έμφυσης αέρα (Air Classifier)
- Οπτικός διαχωριστής χαρτιού (Optical paper sorting)
- Οπτικός διαχωριστής πλαστικού (Optical plastic sorting)

- Οπτικός διαχωριστής γυαλιού (Optical glass sorting)
- Δεματοποιητές (Balers)

Η μονάδα προ-επεξεργασίας των ΑΣΑ φαίνεται να προσομοιάζει περισσότερο με μια απλή μονάδα ανάκτησης υλικών (Material Recovery Facility- MRF), με την μοναδική αλλά **ουσιώδη ωστόσο διαφορά τους** να έγκειται στο είδος των αποβλήτων που διαχειρίζονται.

Αναλυτικότερα, οι μονάδες ανάκτησης υλικών επεξεργάζονται καθαρά κλάσματα ανακυκλώσιμων αποβλήτων που προέρχονται από μπλε κάδους (Clean MRF). Αντίθετα, στην περίπτωση του δήμου ΒΒΒ, η μονάδα προ-επεξεργασίας *καλείται να* ***διαχειριστεί ένα βρώμικο κλάσμα σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων από πράσινους και γκρι κάδους***. Τέτοιου τύπου μονάδες εμφανίζονται σε πολλές βιβλιογραφίες **[39],[40]** με τον όρο Dirty MRF ή Mixed Waste MRF.

Επομένως, η μονάδα μηχανικής προ-επεξεργασίας της εγκατάστασης θα εμφανίζει αρκετά **μεγαλύτερα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη** σε σχέση με τα αντίστοιχα των Clean MRF μονάδων, εξαιτίας της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας και εξειδίκευσης των απαιτούμενων μηχανικών διεργασιών διαχωρισμού **[40]**.

Στο επόμενο στάδιο της μελέτης, μέσω της αξιοποίησης οικονομικών στοιχείων από παρόμοιας λειτουργίας μονάδες μηχανικής προ-επεξεργασίας αλλά και βάσει εκτιμήσεων εμπορικών εταιριών που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ενεργειακής εκμετάλλευσης αστικών απορριμμάτων, γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης των επενδυτικών και λειτουργικών δαπανών που απορρέουν από το μηχανικό σκέλος της μονάδας.

4.3.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού

Η αγορά του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού μαζί με τα έξοδα που απορρέουν από το σχεδιασμό και την κατασκευή τόσο του κτιρίου όπου θα στεγάζεται η Μονάδα Μηχανικής Επεξεργασίας όσο και των υπόλοιπων κτιριακών εγκαταστάσεων που απαρτίζουν το συγκεκριμένο τμήμα επεξεργασίας διαμορφώνουν σε σημαντικό βαθμό το τελικό ύψος της επενδυτικής δαπάνης για τέτοιου είδους μονάδες. **[40],[42]**

Τα εύρη τιμών όλων των μηχανημάτων που ως επί το πλείστων επανδρώνουν μια σύγχρονη μονάδα μηχανικού διαχωρισμού αστικών αποβλήτων συγκεντρώνονται στην δημοσιευμένη έρευνα των Arina et al. (2014)**[42]**, χωρίς να μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο οι παρατιθέμενες τιμές να έχουν υποστεί ορισμένες μεταβολές με το πέρασμα των χρόνων και την αύξηση του ανταγωνισμού της αγοράς.

Πίνακας 4.3: Ενδεικτικό εύρος τιμών μηχανολογικού εξοπλισμού συναρτήσει της χωρητικότητας [41]

Μηχανολογικός Εξοπλισμός	Χωρητικότητα (ton/h)	Τιμή (€)
Σχίστης σάκων (Bag breakers)	10	150.000
Τεμαχιστές (Shredders)	10-80	270.000 - 950.000
Περιστροφικά κόσκινα (Screens)	10-80	160.000 - 1.200.000
Μαγνητικοί διαχωριστές (Magnetic Separators)	10-80	60.000 - 200.000
Διαχωριστές δινορρευμάτων (Eddy Current Separators)	10-80	120.000 - 240.000
Καμπίνα χειροδιαλογής (Manually sorting cabin)	10-80	120.000 - 180.000
Βαλλιστικός διαχωριστής (Ballistic separator)	10-80	220.000 - 750.000
Μετα-τεμαχιστής (Post shredder)	10-80	80.000-350.000
Συμπιεστής - Δεματοποιητής (press - baler)	10-80	150.000-350.000

Σύμφωνα με τα στοιχεία που είναι αναρτημένα στο διαδικτυακό ιστότοπο της Εταιρείας Περιβαλλοντικών Μελετών (epem.gr), το αρχικό δαπανηθέν κεφάλαιο για την υλοποίηση της μονάδας ανάκτησης ανακυκλώσιμων υλικών που βρίσκεται στην περιοχή της Ελευσίνας και είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να δέχεται 30.000 tn/year αποβλήτων από μπλε κάδους, ανήλθε στα 5.390.000€. **[43]**

Μάλιστα, η συγκεκριμένη MRF μονάδα περιλαμβάνει μηχανήματα όπως περιστρεφόμενο τύμπανο, μαγνητικούς και μη μαγνητικούς διαχωριστές, βαλλιστικούς διαχωριστές, οπτικούς διαχωριστές Titech NIR ενώ ενσωματώνει και διαδικασίες χειροδιαλογής **[43]**. Η μηχανολογική στελέχωση της μονάδας επισημαίνεται γιατί αν εξαιρεθεί το είδος των απορριμμάτων που καλείται να διαχωρίσει, *φαίνεται να προσομοιάζει σε σημαντικό βαθμό ως προς τη λειτουργία της με τη σχεδιαζόμενη μονάδα προ-επεξεργασίας ΑΣΑ.*

Το παραπάνω οικονομικό δεδομένο θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό αν συνδυαστεί με τα συμπεράσματα από διάφορες μελέτες οικονομικής ευαισθησίας για τους διάφορους τύπους MRF, με κυριότερες αυτές των Pressley et al. (2014) **[40]** και Combs (2012) **[44].**

Στις προ-αναφερθείσες μελέτες εκτιμάται ότι τα συνολικά επενδυτικά κόστη των "Mixed Waste" μονάδων ανάκτησης υλικών θα είναι **αρκετά μεγαλύτερα** από τα αντίστοιχα των "Recyclable Waste" μονάδων ανάκτησης υλικών, εξαιτίας κυρίως της αύξησης των εξόδων για την απόκτηση του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού (περισσότερα σε πλήθος μηχανήματα με πιο πολύπλοκη τεχνολογία).

Μάλιστα, στην έρευνα του Pressley και της ομάδας του **[40]** υπολογίζεται πως τα ειδικά κόστη αγοράς και συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού μιας μονάδας ανάκτησης

υλικών από σύμμεικτα απόβλητα (Mixed waste MRF) θα είναι 1.3 *φορές μεγαλύτερα* από αυτά που αντιστοιχούν σε μια μονάδα ανάκτησης υλικών από ανακυκλώσιμο μίγμα αποβλήτων (Single-stream MRF), συνιστώντας το 32% του συνολικού κόστους στο οποίο έχει συμπεριληφθεί το σύνολο των ειδικών επενδυτικών όσο και λειτουργικών δαπανών για την εκάστοτε μονάδα (€/tn).

Τέλος, πολύτιμη αποδείχτηκε η βοήθεια αφενός της εταιρείας Helactor (Herhof Gmbh) **[66]** με ειδίκευση σε MBT μεθόδους επεξεργασίας ΑΣΑ και αφετέρου του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (Ε.ΚΕ.ΤΑ.), μιας και οι δύο συμφώνησαν πως μια τιμή κοντά στα 300 €/tn συνιστά μια ρεαλιστική προσέγγιση για το ειδικό επενδυτικό κόστος μιας μονάδας μηχανικής προ-επεξεργασίας χωρητικότητας περίπου 30.000 tn/year.

Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημανθεί πως η προσέγγιση των κατασκευαστικών δαπανών για τη γραμμή μηχανικής διαλογής της σχεδιαζόμενης εγκατάστασης είναι αρκετά δύσκολη εξαιτίας της σημαντικής έλλειψης πληροφοριών. Έτσι, τα σενάρια που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.4** έχουν προκύψει ως συνδυασμός των αποτελεσμάτων μιας σχετικής έρευνας για τη χώρα της Λετονίας **[42]** και των εκτιμήσεων εγχώριων εταιρειών που ειδικεύονται μεταξύ των άλλων και στην κατασκευή μονάδων ανάκτησης υλικών **[44]**. Παράλληλα, έχει συνεκτιμηθεί η αρχή λειτουργίας της σχεδιαζόμενης μονάδας μηχανικού διαχωρισμού καθώς και ο εγκατεστημένος σε αυτή μηχανολογικός εξοπλισμός. Σημειώνεται ότι καθένα από τα τρία σενάρια αντιστοιχεί σε μηχανολογικό εξοπλισμό χωρητικότητας 10,20 και 80 tons/h, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.4: Σενάρια για τα επενδυτικά κόστη μονάδων μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας δυναμικότητάς τους

Επενδυτικά κόστη (Ευρώ)	**Σενάριο 1 (20.000 tons/year)**	**Σενάριο 2 (40.000 tons/year)**	**Σενάριο 3 (160.000 tons/year)**
Κόστη Η/Μ εξοπλισμού (Electromechanical equipment costs)	2.250.000 (50%)	3.120.000 (52%)	8.320.000 (52%)
Κόστη έργων Π/Μ & Η/Μ εγκαταστάσεων (Design and construction works costs)	1.800.000 (40%)	2.400.000 (40%)	6.400.000 (40%)
Άλλα κόστη επένδυσης (Other costs of investment)	450.000 (10%)	480.000 (8%)	1.280.000 (8%)
Σύνολο	*4.500.000*	*6.000.000*	*16.000.000*

4.3.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού

Τα **λειτουργικά κόστη** της μονάδας μηχανικής προ-επεξεργασίας ΑΣΑ (MTFs operational costs) θα διαμορφώνονται με βάση μια σειρά από ετήσιες δαπάνες που σχετίζονται με το ***κόστος συντήρησης του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού*** (maintenance costs), τις ***αμοιβές του απασχολούμενου στο μηχανικό στάδιο της εγκατάστασης προσωπικού*** (Personnel costs), τα ***έξοδα για την ικανοποίηση των ενεργειακών της απαιτήσεων*** *σε νερό, ηλεκτρισμό, καύσιμα, κ.α.* (Consumables and Utilities costs) καθώς και ***διάφορα άλλα κόστη*** που αφορούν τη συνολική πολιτική διαχείρισής της (Other costs of management).

Κατά αντιστοιχία με τα επενδυτικά κόστη, η μελέτη του Dace Arina (2014) **[42]** αναφέρει τιμές και για τα κόστη λειτουργίας των μονάδων μηχανικού διαχωρισμού σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων, όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί. Σημειώνεται ότι στα «Άλλα κόστη» διαχείρισης της μονάδας MTF, όπως είναι προφανές συμπεριλαμβάνονται και *τα κόστη συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού*.

Πίνακας 4.5: Λειτουργικά κόστη για μηχανική επεξεργασία σύμμεικτων απορριμμάτων στη χώρα της Λετονίας [42]

Λειτουργικά κόστη (Ευρώ)	**Σενάριο 1 (20.000 tons/year)**	**Σενάριο 2 (40.000 tons/year)**	**Σενάριο 3 (160.000 tons/year)**
Κόστη προσωπικού (Personnel costs and overheads)	127.500 (17%)	157.500 (15%)	175.000 (7%)
Κόστη για καύσιμα και ενέργεια (Fuel and Energy costs)	300.000 (40%)	378.000 (36%)	1.025.000 (41%)
Κόστη συντήρησης και άλλα κόστη λειτουργίας (Maintenance costs and other costs of operation)	322.500 (43%)	514.500 (49%)	1.300.000 (52%)
Σύνολο	*750.000*	*1.050.000*	*2.500.000*

Παρατηρείται πως μια μονάδα μηχανικής ανάκτησης υλικών που εμφανίζει δυνατότητες διαχείρισης σύμμεικτων αποβλήτων ετήσιας δυναμικότητας της τάξης των 40.000 tn/year και διαθέτει μηχανολογικό εξοπλισμό ονομαστικής χωρητικότητας που αγγίζει τα 20 tn/h, παρουσιάζει λειτουργικά κόστη ίσα με 1.050.000 € (34€/tn).

Ωστόσο, στην προαναφερθείσα μελέτη, σε σχέση με τα κόστη επένδυσης, παρατίθενται και κάποια επιπλέον αποτελέσματα οικονομικής φύσεως που σχετίζονται με την προσέγγιση των ειδικών λειτουργικών δαπανών τεσσάρων τύπων μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ οι οποίοι εμφανίζουν μεν *διαφορετικά μηχανήματα* και *διαφορετική αλληλουχία διεργασιών* διαχωρισμού των ανακτώμενων υλικών, ενσωματώνουν δε μηχανολογικό εξοπλισμό *κοινής δυναμικότητας μεγέθους* 10 tn/h **[42]**.

Πιο συγκεκριμένα, οι αναφερόμενες ειδικές τιμές εκτείνονται από 32€/tn μέχρι 39€/tn, με την περίπτωση που ομοιάζει περισσότερο με τις διεργασίες που θα λαμβάνουν χώρα στο τμήμα μηχανικής διαλογής αποβλήτων της εγκατάστασης ενεργειακής εκμετάλλευσης ΑΣΑ που σχεδιάζεται για λογαριασμό του δήμου ΒΒΒ, να εμφανίζει λειτουργικά κόστη 36 €/tn **[42]**.

Επιπρόσθετα, ο Stegmann (2015) **[47]** σε μια παρόμοια τύπου δημοσίευση, που αφορά τη χώρα της Γερμανίας, αναζητά τα επιμέρους κόστη των MBT μεθόδων επεξεργασίας ΑΣΑ προς παραγωγή δευτερογενούς καυσίμου (RDF) κατάλληλου για χρησιμοποίηση ως καύσιμης ύλης σε μονάδα αποτέφρωσης. Το ενδιαφέρον στοιχείο της συγκεκριμένης μελέτης έχει να κάνει με τη ξεχωριστή αναφορά σχετικά με τα ειδικά λειτουργικά κόστη του μηχανικού σκέλους προ-επεξεργασίας των σύμμεικτων απορριμμάτων.

Αναλυτικότερα, έπειτα από την καταγραφή τριών (3) διαφορετικών συνδυασμών-σεναρίων μηχανολογικού εξοπλισμού, η πολυπλοκότητα και η εξειδίκευση των οποίων αυξάνεται σταδιακά από συνδυασμό σε συνδυασμό, εξάγεται το συμπέρασμα ότι για χωρητικότητα

30.000 tn/year, τα αντίστοιχα ειδικά λειτουργικά κόστη κυμαίνονται μεταξύ 32 και 39 €/tn **[47]**.

Στα πλαίσια της έρευνας που πραγματοποιήθηκε για τα λειτουργικά κόστη του τμήματος μηχανικού διαχωρισμού των σύμμεικτων απορριμμάτων της εγκατάστασης, η μελέτη συνεργαζόμενη και πάλι με την εταιρεία Helactor (Herhof GmbH) **[45]** κατέληξε πως μια τιμή γύρω στα 35 €/tn επεξεργαζόμενου ΑΣΑ, ποσό που μεταφράζεται σε 1.000.000 € ετησίως, αποτελεί μια αρκετά ρεαλιστική προσέγγιση.

Συμπερασματικά, συνεκτιμώντας όλα τα παραπάνω δεδομένα, θεωρείται πως τα επιμέρους αποτελέσματα των προ-αναφερόμενων ερευνών σχετικά με τις λειτουργικές δαπάνες για μονάδες μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ δεν διαφοροποιούνται πολύ από την ελληνική πραγματικότητα.

Ωστόσο, κατά τη διαδικασία δημιουργίας των σεναρίων θα λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ένα σημαντικό συμπέρασμα που έχει προκύψει από την προσεκτική ανάλυση των στοιχείων που παρατέθηκαν. Αυτό έγκειται στο ότι *η αύξηση στις ποσότητες των σύμμεικτων απορριμμάτων που καλείται να επεξεργαστεί μηχανικά η μονάδα σε συνδυασμό με την αύξηση της χωρητικότητας του μηχανολογικού εξοπλισμού (tn/h) έχει ως αποτέλεσμα την όλο και μεγαλύτερη μείωση των ειδικών δαπανών λειτουργίας (€/tn).*

4.4 Εκτίμηση για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας (BTF) εγκατάστασης ΜΒΕ.

Σύμφωνα με το σχεδιασμό της μελέτης για τη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας του μηχανικά ανακτώμενου οργανικού υποστρώματος των ΑΣΑ, το σύστημα αναερόβιας χώνευσης (dry-batch fermentation) περιλαμβάνει τις εξής διατάξεις:

- Συστήματα αποθήκευσης και μεταφοράς του οργανικού υποστρώματος (Tipping building, Wheel loaders, conveyors)
- Αντλία ανάμειξης οργανικής πρώτης ύλης με χωνεμένη ιλύς προηγούμενων διαδικασιών (Mixing unit)
- Χωνευτήρες τύπου γκαράζ (Garage shaped fermenters)
- Δεξαμενή άντλησης και ψεκασμού του νερού που ανακυκλώνεται κατά τις αναερόβιες διαδικασίες εντός των χωνευτήρων (Percolate Tank)
- Συστήματα καθαρισμού του βιοαερίου (biogas cleaning system) και ελέγχου της υγρασίας του (humidity control equipment)
- Συστήματα σωληνώσεων και βαλβίδων (gas pipeline and valves)
- Δεξαμενή αποθήκευσης του εξευγενισμένου βιοαερίου (Gas storage tank)
- Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP system with gas engine)
- Δεξαμενή αποθήκευσης χωνεμένης ιλύς (digestate storage area)

Η απόκτηση του προ-αναφερθέντα εξοπλισμού και οι ετήσιες ανάγκες συντήρησης αυτού επηρεάζουν καθοριστικά τη διαμόρφωση τόσο του επενδυτικού όσο και του λειτουργικού κόστους για τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης.

Όπως παρατηρείται παραπάνω, ανάμεσα στις άλλες διατάξεις εμφανίζονται και αυτές που χρησιμοποιούνται για τη **συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας** από την καύση του

παραγόμενου βιοαερίου. Η τακτική αυτή είναι συνηθισμένη προκείμενου να επιτυγχάνεται ο πλήρης υπολογισμός του αρχικού κεφαλαίου αλλά και των λειτουργικών δαπανών μονάδων ζύμωσης που ενσωματώνουν πανομοιότυπου τύπου διεργασίες με την περίπτωση που εξετάζεται για το δήμο ΒΒΒ.

Στην έρευνα από Eunomia (2009) **[50]** προσεγγίζονται τα επιμέρους κόστη για διάφορες μεθόδους ενεργειακής εκμετάλλευσης ΑΣΑ. Ειδικά για τη χώρα της Ελλάδας, μια μονάδα ξηρής αναερόβιας χώνευσης βιοαποβλήτων δυναμικότητας 20.000 tn/year με διατάξεις συμπαραγωγής ενέργειας και συνολική διάρκειας ζωής τα 15 χρόνια εκτιμάται πως θα εμφανίζει αρχικό κόστος επένδυσης ίσο με 399 €/tn και ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης κοντά στα 31 €/tn. Στα λειτουργικά έξοδα συμπεριλαμβάνεται και το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού.

Τα αποτελέσματα της προ-αναφερθείσας μελέτης αποτελούν μια πρώτη εκτίμηση του επενδυτικού και λειτουργικού κόστους για το κομμάτι της αναερόβιας χώνευσης και στη συνέχεια δύναται να λειτουργήσουν ως ένα είδος επαλήθευσης για την ορθότητα των υπολογισμών που θα ακολουθήσουν για παρόμοιου μεγέθους δυναμικότητες.

Η μεθοδολογία που υιοθετείται για την εκτίμηση των δαπανών επένδυσης και λειτουργίας του συστήματος αναερόβιας χώνευσης της εγκατάστασης συνδέεται άμεσα με την εξαγωγή **γραμμών τάσης** που προκύπτουν από την συγκέντρωση και τη μετέπειτα κατάλληλη αξιοποίησή στοιχείων από την *βιβλιογραφία, από ήδη υπάρχουσες μονάδες καθώς και από παρόμοια προσεγγιστικά μοντέλα που έχουν αναπτυχτεί σε διάφορες έρευνες.*

4.4.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Τα επενδυτικά κόστη για τη dry-batch μονάδα αναερόβιας χώνευσης συνδέονται κυρίως με την ***αγορά του βασικού εξοπλισμού***, όπως αυτός περιγράφτηκε στην εισαγωγή του δεύτερου σκέλους της τεχνοοικονομικής ανάλυσης. Σε γενικές γραμμές ισχύει πως όσο υψηλότερη είναι η απαιτούμενη τεχνολογία (π.χ. βιοαντιδραστήρες), τόσο υψηλότερο είναι και το κόστος κατασκευής, ενώ συνήθως αντιστρόφως ανάλογα κυμαίνεται το εργατικό κόστος.

Μαζί με τις εξοπλιστικές δαπάνες συνυπολογίζονται όλα εκείνα τα έξοδα που απορρέουν από το σύνολο των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τον ***αρχικό σχεδιασμό*** *και την* ***μετέπειτα υλοποίηση της εγκατάστασης*** και οι οποίες συνήθως κατηγοριοποιούνται ως εξής: **[53],[69]**

- Εργασίες Πολιτικών Μηχανικών (Civil works)
- Ηλεκτρολογικές εργασίες (Electrical works)
- Προετοιμασία του οικοπέδου που θα εγκατασταθεί η μονάδα αναερόβιας χώνευσης (καθαρισμός, γεωτεχνικές μελέτες κ.α.) καθώς και κατασκευή των απαραίτητων έργων υποδομής για τη λειτουργία της (δρόμοι, υπόγειες σωληνώσεις, συστήματα φωτισμού, συστήματα πυρασφάλειας κ.α.) (General site works)
- Ανέγερση κτιρίων διαφόρων χρήσεων (στεγανοί χώροι υποδοχής και αποθήκευσης, χώροι εποπτείας της λειτουργίας της μονάδας, εργαστήρια κ.α.) (Building costs)
- Διάφορα απρόβλεπτα-συμπληρωματικά κόστη (Miscellaneous costs)

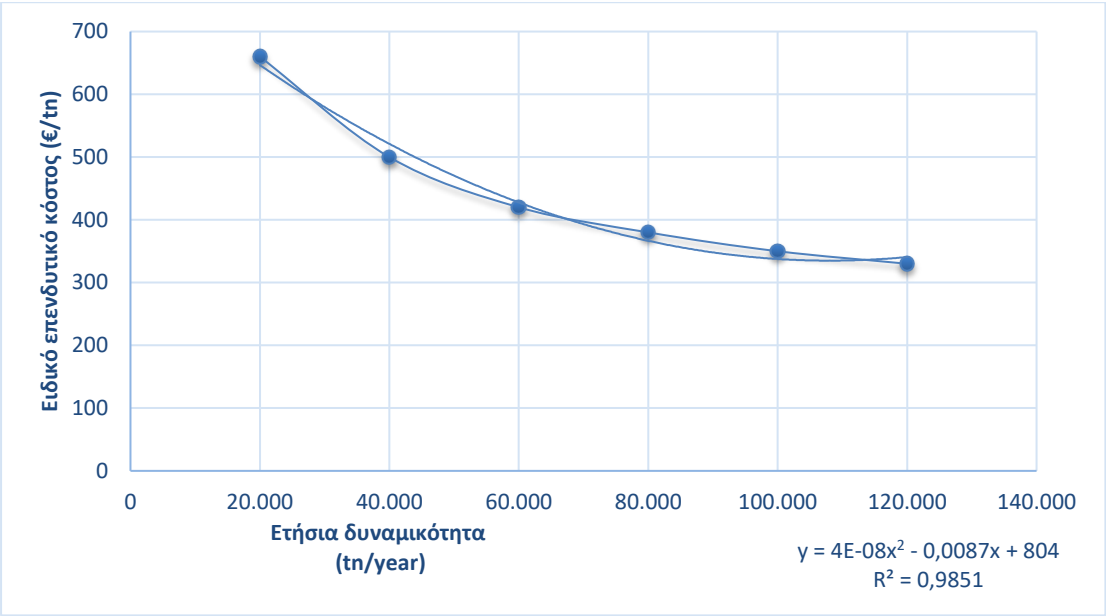
Τέλος, το **σύστημα συμπαραγωγής** (Cogeneration unit), το οποίο μπορεί να ενσωματώνει μία ή περισσότερες μηχανές εσωτερικής καύσης, επιδρά σημαντικά στην διαμόρφωση του τελικού κόστους επένδυσης αφού αποτελεί συνήθως την **υψηλότερη δαπάνη** ανάμεσα σε αυτές που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα.

Μάλιστα, στη σχετική βιβλιογραφία **[29],[31]** αναφέρεται πως το απαιτούμενο χρηματικό ποσό για την απόκτηση των διατάξεων παραγωγής ενέργειας (ΣΗΘ) οι οποίες εντοπίζονται στα τελικά στάδια των μονάδων αναερόβιας χώνευσης, συνιστά ένα ποσοστό της τάξης του 30% επί του συνολικού κόστους επένδυσης.

Πίνακας 4.6: Επενδυτικά Κόστη για τη μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης ΑΣΑ

Επενδυτικό Κόστος Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας ΑΣΑ (“Turn-Key cost”)	**1. Έργα Π/Μ** ○ **Χωματουργικές εργασίες (εκσκαφές, επιχώσεις, κλπ)** ○ **Σχεδιασμός και κατασκευή κτιριακών εγκαταστάσεων** ○ **Έργα οδοποιίας**
	2. Μηχανολογικός Εξοπλισμός για το στάδιο της ξηρής-διακοπτόμενης αναερόβιας χώνευσης του ζυμώσιμου κλάσματος των ΑΣΑ ○ **Αναερόβιοι αντιδραστήρες τύπου γκαράζ,** ○ **Δεξαμενές αποθήκευσης πρώτων υλών (οργανικό υπόστρωμα, νερό κ.α.) και προϊόντων της διαδικασίας (βιοαέριο, χωνεμένη ιλύς κ.α.),** ○ **Μηχανικοί φορτωτές και συστήματα σωληνώσεων και αντλιών,** ○ **Συστήματα διαχείρισης του παραγόμενου βιοαερίου (φίλτρο – δοχείο συμπυκνωμάτων, συστήματα καθαρισμού βιοαερίου, αφυγραντήρας, πυρσός καύσης, κ.α.)**
	3. Μηχανολογικός Εξοπλισμός για το στάδιο κομποστοποίησης κλειστού και ανοικτού τύπου ○ **Αερόβιοι αντιδραστήρες κλειστού τύπου,** ○ **Ανοικτά σειράδια ωρίμανσης/κομποστοποίησης** ○ **Σύστημα επεξεργασίας απαερίων/δυσοσμιών με βιόφιλτρο και χημική πλυντηρίδα,** ○ **Μηχανήματα τμήματος ραφιναρίας εδαφικών υλικών (περιστροφικό κόσκινο, βαρυμετρική τράπεζα κ.α.)** ○ **Δεξαμενές αποθήκευσης χωνεμένου υλικού, κομποστοποιημένων υλικών και υπολειμμάτων αερόβιων διαδικασιών.**
	4. Μηχανολογικός εξοπλισμός για το στάδιο της συμπαραγωγής ενέργειας (Μ.Ε.Κ-γεννήτρια, εναλλάκτες θερμότητας, μετασχηματιστής, κ.α.)
	5. Λοιπά έργα υποδομής, έργα Η.Μ εγκαταστάσεων, συμπληρωματικός εξοπλισμός, δοκιμαστική λειτουργία κ.α.

Στο **Διάγραμμα 4.1** απεικονίζεται η εξαγόμενη γραμμή τάσης για τα ειδικά επενδυτικά κόστη μονάδων βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ διαφορετικών ονομαστικών χωρητικοτήτων.



Διάγραμμα 4.1: *Ειδικό κόστος επένδυσης (turn-key cost) μονάδων βιολογικής επεξεργασίας ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας χωρητικότητας τους (€/ton biowaste)*

Όπως παρατηρείται το ειδικό επενδυτικό κόστος και η ετήσια δυναμικότητα σε συστήματα με διαδοχικές διεργασίες αναερόβιας και αερόβιας επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων είναι δύο μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα που συνδέονται μεταξύ τους με μια μη γραμμική σχέση. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στις σύγχρονες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης ισχύει σε πολύ μεγάλο βαθμό η αρχή των **οικονομιών κλίμακας** (economies of scales), η οποία θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό έργων τέτοιου είδους.

Στη συνέχεια, ο **Πίνακας** αποτυπώνει υπό τη μορφή αριθμών τη μείωση του ειδικού κόστους επένδυσης που προκύπτει συνδυαστικά με την αύξηση της ετήσιας χωρητικότητας της Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας. Σε πρακτικό επίπεδο, το συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι πως η επένδυση σε μια μεγαλύτερης κλίμακας μονάδα αυτού του τύπου μπορεί να αποδειχτεί μακροχρόνια πιο οικονομικά αποδοτική από μια επένδυση σε μια αντίστοιχη μονάδα μικρότερης κλίμακας.

Πίνακας 4.7: *Σενάρια για τα επενδυτικά κόστη (turn-key cost) μονάδων βιολογικής επεξεργασίας ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας δυναμικότητας τους*

Ετήσια δυναμικότητα Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας (tons/year)	**Ειδικό κόστος Επένδυσης (€/ton)**	**Κόστος επένδυσης (€)**
20.000	660	13.200.000 €
40.000	500	20.000.000 €
60.000	420	25.200.000 €
80.000	380	30.400.000 €
100.000	350	35.000.000 €

Σύμφωνα με τα οικονομικά στοιχεία που δίνονται στην έρευνα των Di Maria et al. **[56]**, ο μηχανικός φορτωτής (wheel loader) που θα μεταφέρει το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ στα αναερόβια και αερόβια κελιά της εγκατάστασης θα κοστίζει γύρω στα 200.000€ ενώ όσον αφορά το πλήθος τους, υπολογίζεται ότι για κάθε 15.000 tons/year οργανικής φρέσκιας μάζας αντιστοιχεί ένας φορτωτής. Επομένως στη σχεδιαζόμενη μονάδα, θα χρειαστούν κατά πάσα πιθανότητα δύο (2) συνολικά μηχανικοί φορτωτές.

Επιπρόσθετα, στην ίδια έρευνα αναφέρεται πως το υποσύστημα συμπαραγωγής ενέργειας (CHP unit) θα κοστίζει κοντά στα 950 €/kW για εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς κοντά στα 500kW. Παρόμοιες τιμές δίνονται και στην έρευνα των Karellas et al. **[51]** όπου τα έργα βιοαερίου (ΜΕΚ-Γεννήτρια) υπολογίζονται στα 1040 €/kW για εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς ίση με 816 kW_{el}.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του **Πίνακα 4.7** για τα κόστη επένδυσης του συνόλου του βιολογικού σταδίου επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, αυτά ταυτίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό με τα επενδυτικά κόστη που αναφέρονται στα φυλλάδια της διεθνώς αναγνωρισμένης εταιρείας Bekon Gmbh **[31]**. Πιο συγκεκριμένα, για ολοκληρωμένες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας αστικών αποβλήτων ετήσιων δυναμικοτήτων 20.000, 50.000 και 100.000 tons/year με συμπαραγωγή ενέργειας έχουν υπολογιστεί επενδυτικά κόστη (turn-key cost) της τάξης των 7.000.000, 15.000.000 και 25.000.000€, αντίστοιχα.

Άλλωστε, στην έρευνα των Browne et al. (2011) **[52]** υπολογίστηκε πως μια ολοκληρωμένη μονάδα αναερόβιας χώνευσης ετήσιας δυναμικότητας 50.000 tons/year προ-διαλεγμένων οργανικών θα κοστίζει περί τα 14.000.000€ ή 280€/ton ενώ στον ιστότοπο της Εταιρείας Περιβαλλοντικών Μελετών (epem.gr) αναφέρεται κόστος επένδυσης ίσο με 8.500.000€ ή 340€/ton για παρόμοια μονάδα ετήσιας δυναμικότητας ίσης με 25.000 tons/year **[57]**.

Τέλος, σε συζητήσεις που έγιναν με την εταιρεία Μεσόγειος Α.Ε. (Mesogeos SA), στα πλαίσια της μελέτης, εκτιμήθηκε πως το τμήμα βιολογικής επεξεργασίας στο οποίο θα εισέρχονται περίπου 20.000 τόνων ετησίως οργανικών αποβλήτων και το τμήμα παραγωγής ενέργειας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης, θα κοστίσει συνολικά γύρω στα 8.000.0000-9.000.000 €, μη συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ. **[58]**

4.4.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Τα **ετήσια λειτουργικά κόστη** που απορρέουν από το σύνολο των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ συνιστούν έναν εξίσου σημαντικό παράγοντα επιρροής του τελικού βαθμού οικονομικής βιωσιμότητας της πρότυπης MBT εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων.

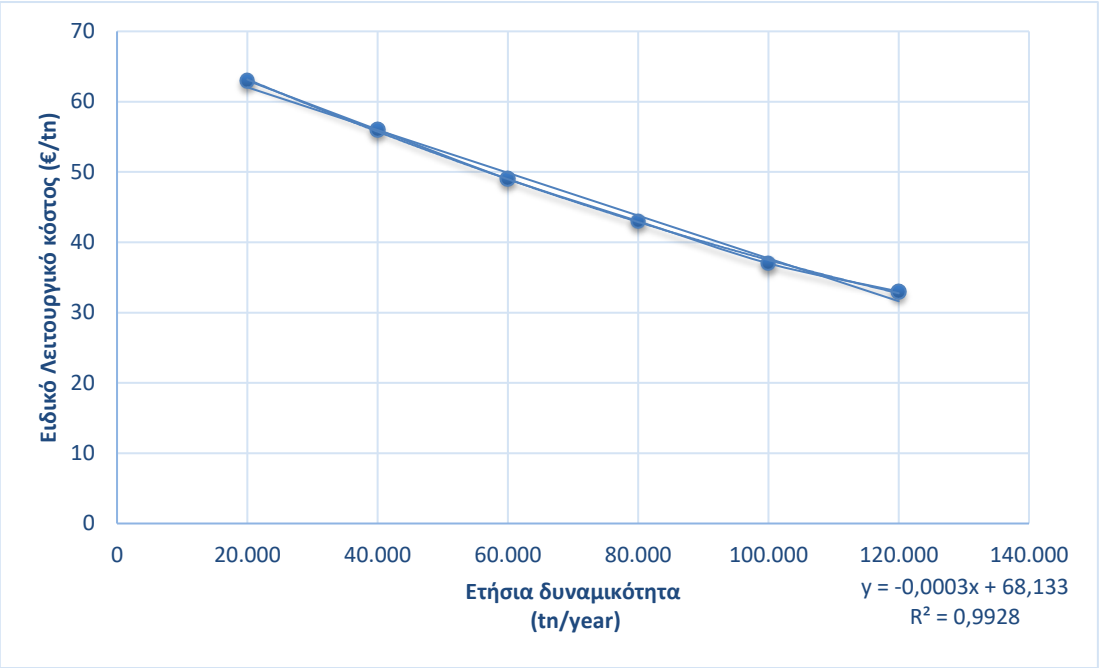
Ειδικότερα, η απλότητα του σχεδιασμού και η έλλειψη κινούμενων μερών των τεχνολογιών ξηρής αναερόβιας χώνευσης σαν και αυτή που έχει επιλεγεί για στο τμήμα βιολογικής επεξεργασίας της εγκατάστασης εξασφαλίζει τη διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα του κόστους συντήρησης και λειτουργίας του (O&M costs) **[52]**. Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα της εφαρμοζόμενης μεθόδου χώνευσης είναι οι χαμηλές ενεργειακές της απαιτήσεις οι οποίες υπολογίζονται σε λιγότερο από 15% του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας **[16,59,28]** και γύρω στο 20% του συνόλου της παραγόμενης θερμικής ενέργειας (θέρμανση των δεξαμενών παραγόμενων κατά την αναερόβια χώνευση στραγγισμάτων καθώς και των κελιών αναερόβιας χώνευσης), αντίστοιχα **[16,58].**

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα λειτουργικά κόστη που αφορούν τις ενεργειακές ανάγκες του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας (Utilities) θεωρούνται πολύ μικρά εξαιτίας των ιδιοκαταναλώσεων σε ηλεκτρισμό και θερμότητα **[59,29,51]**. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται και ένα είδος εξισορρόπησης των σχετικώς υψηλών δαπανών του σχετίζονται με το απασχολούμενο στο συγκεκριμένο τμήμα λειτουργίας εργατοτεχνικό και διοικητικό προσωπικό (Labour costs and overheads) **[52,59]**.

Πίνακας 4.8: Επιμέρους Λειτουργικά Κόστη για τη μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης ΑΣΑ

Λειτουργικό Κόστος Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας ΑΣΑ	**1. Εργατοτεχνικό και διοικητικό προσωπικό** ○ **Αμοιβές,** ○ **Σεμινάρια,** ○ **Ασφάλιση κλπ.**
	2. Λειτουργία και συντήρηση Η/Μ εξοπλισμού και κτιριακών εγκαταστάσεων
	3. Πρώτες ύλες και διάφορα άλλα αναλώσιμα υλικά ○ **Χημικές ουσίες βιόφιλτρου προς απομάκρυνση των οσμών και άλλων βλαβερών αερίων (ασβέστης και ενεργός άνθρακας)** ○ **Καύσιμα** ○ **Νερό** ○ **Άλλες πρώτες ύλες λειτουργίας**
	4. Ενεργειακές απαιτήσεις σε ηλεκτρισμό και θερμότητα* **(*Σημείωση: Θεωρούνται αμελητέες στο συγκεκριμένο τμήμα λειτουργίας της εγκατάστασης γιατί καλύπτονται μέσω ιδιοκαταναλώσεων)**
	5. Άλλα λειτουργικά κόστη ○ **Διαχείριση στραγγισμάτων,** ○ **Μεταφορά χωνεμένης ιλύς, κομποστοποιημένων υλικών κ.α.**

Κατά αντιστοιχία με τα επενδυτικά κόστη, στο **Διάγραμμα 4.2** παρουσιάζεται η εξαγόμενη γραμμή τάσης για τα λειτουργικά κόστη μονάδων βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων συναρτήσει της ετήσιας δυναμικότητά τους. Οφείλεται να επισημανθεί πως αυτού του είδους οι δαπάνες μεταβάλλονται σημαντικά από μονάδα σε μονάδα, με αποτέλεσμα η ακρίβεια των αποτελεσμάτων να μην είναι η απολύτως επιθυμητή.



Διάγραμμα 4.2: *Ειδικό κόστος λειτουργίας μονάδων βιολογικής επεξεργασίας ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας χωρητικότητας τους (€/ton biowaste)*

Με βάση την παραπάνω γραμμή τάσης, παρουσιάζεται εν συνεχεία, στον **Πίνακα 4.9,** η μεταβολή του κόστους λειτουργίας για διαφορετικές ετήσιες ονομαστικές χωρητικότητες. Παρατηρείται ότι τα οικονομικά οφέλη από την αύξηση των επεξεργαζόμενων ποσοτήτων οργανικής πρώτης ύλης είναι ακόμα πιο εμφανή στα ειδικά λειτουργικά κόστη σε σχέση με τα αντίστοιχα επενδυτικά (€/ton φρέσκιας μάζας) **[29].**

Πίνακας 4.9: *Σενάρια για τα λειτουργικά κόστη μονάδων βιολογικής επεξεργασίας ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας δυναμικότητας τους*

Ετήσια δυναμικότητα Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας ΑΣΑ (tons/year)	**Ειδικό κόστος λειτουργίας (€/ton)**	**Κόστος λειτουργίας (€)**
20.000	63	1.260.000 €
40.000	56	2.240.000 €
60.000	49	2.940.000 €
80.000	43	3.440.000 €
100.000	37	3.700.000 €

Πίνακας 4.9: Εκτίμηση για τον ποσοστιαίο καταμερισμό του ετήσιου κόστους λειτουργίας της μονάδας BTF [29],[51],[58]

Ετήσιες Λειτουργικές δαπάνες	Ποσοστό επί του λειτουργικού κόστους
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας	15-25 %
Κόστη προσωπικού	30-45 %
Κόστη για πρώτες ύλες, καύσιμα	5-10 %
Άλλα κόστη	10-20 %

Όπως συμβαίνει και με τα ειδικά επενδυτικά κόστη της Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας , τα ειδικά λειτουργικά κόστη διαμορφώνονται με βάση τη θεμελιώδη αρχή των **οικονομιών κλίμακας** (economies of scale). Ως ένα είδος επιβεβαίωσης αφενός της παραπάνω αρχής και αφετέρου των προ ηγηθέντων αποτελεσμάτων για τα λειτουργικά κόστη της Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας ονομαστικής χωρητικότητας 20.000 tons/year δύναται να αποτελέσει παρόμοια μελέτη στην οποία αναφέρεται ειδικό λειτουργικό κόστος ίσο με 50€/ton για μονάδα ξηρής αναερόβιας χώνευσης ετήσιας δυναμικότητας 50.000 τόνων προ-διαλεγμένων οργανικών αποβλήτων **[52]**.

Έπειτα, τα κόστη συντήρησης του χρησιμοποιούμενου Η/Μ εξοπλισμού ισούνται περίπου με το 2% του αρχικού κεφαλαίου που δαπανάται για την υλοποίησή μιας ολοκληρωμένης μονάδας μικρής κλίμακας αυτού του τύπου **[59]**.

Με βάση την εξαγόμενη γραμμή τάσης, η μελέτη απεργάζεται **διαφορετικά σενάρια** για το (ειδικό) κόστος επένδυσης της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ συναρτήσει της χωρητικότητά της.

4.5 Τιμολογιακή πολιτική & απορρόφηση

Σημαντική παράμετρος για την οικονομική βιωσιμότητα μιας μονάδας διαχείρισης απορριμμάτων είναι η τιμολογιακή πολιτική η οποία περιλαμβάνει την τιμή πώλησης και το τέλος εισερχόμενων απορριμμάτων ή αλλιώς το τέλος εισόδου (gate fee) καθώς και η απορρόφηση του τελικού προϊόντος.

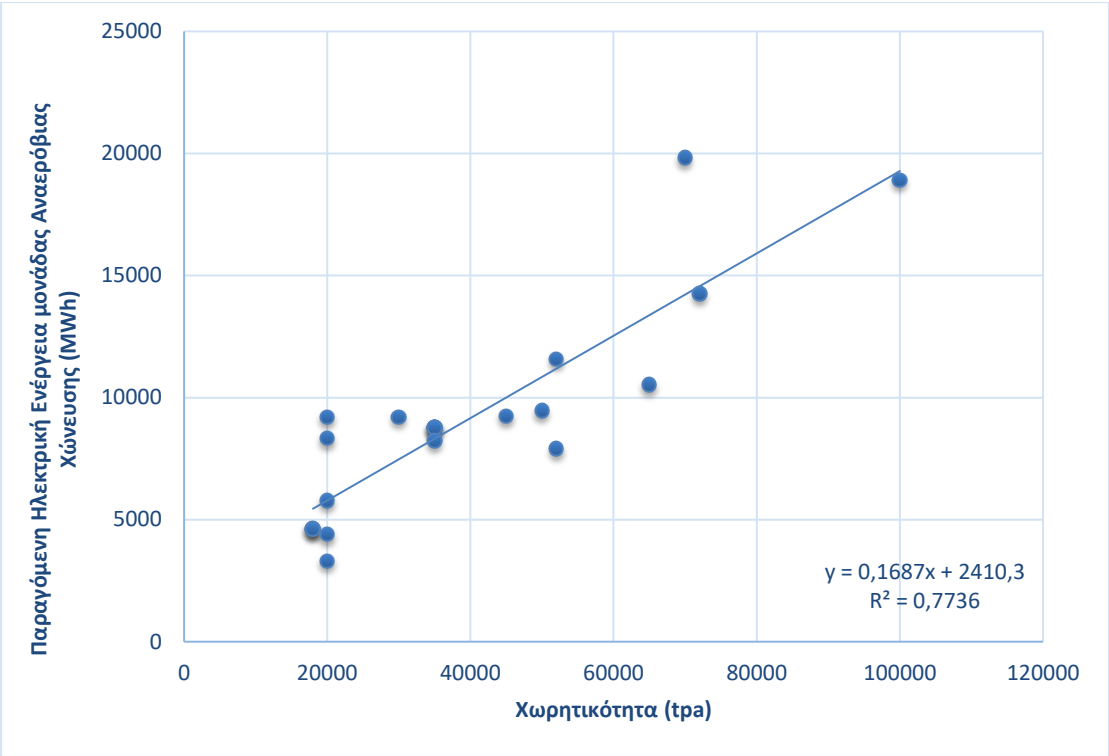
Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο πωλείται σε εγγυημένη τιμή. Αντίθετα για το κομπόστ δεν υπάρχει καθορισμένη τιμή πώλησης όπως αναλύθηκε στη αρχή του κεφαλαίου.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια απορροφάτε 100% από το Σύστημα καθώς η αναερόβια χώνευση αποτελεί ΑΠΕ και ο ΛΑΓΗΕ υποχρεούται να την αγοράσει. Συγκεντρώνοντας στοιχεία από την βιβλιογραφία, από ήδη υπάρχουσες μονάδας δημιουργήθηκαν γραμμές

τάσεις για την προσέγγιση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει της ετήσιας χωρητικότητας.

Πίνακας 4.10: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια BTF μονάδων.

ΧΩΡΑ / ΠΕΡΙΟΧΗ	Χωρητικότητα (tpa)	MWh
Γερμανία/Bassum	18.000	3282,24
Γερμανία/Iffezheim	18.000	3288,48
Ελβετία/Baar	18.000	3282,24
Γερμανία/Munich expansion	18.500	3556,8
Γερμανία/Saafeld	20.000	6552
Γερμανία/Erfurt	20.000	4118,4
Ελβετία/Thun	20.000	5928
Θήβα	20.000	3900
Brecht1/Βέλγιο	20.000	3300
Saltburg/Αυστρία	20.000	4400
Γερμανία/Rendsburg	30.000	6552
Ιταλία/Cesena	35.000	6240
Ιταλία/Voltana	35.000	6240
Ιταλία/Naples	35.000	6240
Ιταλία/Rimini	35.000	6240
Engelskirchen/Γερμανία	35.000	8225
Ηλεία	36.000	6435
Γερμανία/Steinfurt	45.000	6576,96
Αμερική/Sacramento	50.000	8424
Arnhem/Ολλανδία	50.000	8250
Tilburg/Ολλανδία	52.000	7904
Η.Π.Α/Cloucester City	65.000	7488
Η.Π.Α/Santa Barbara	70.000	17643,6
Amiens/Γαλλία	85.000	16830
Αμερική/Sacramento	100.000	16848



Διάγραμμα 4.3: *Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μονάδων βιολογικής επεξεργασίας ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας χωρητικότητας τους (€/ton biowaste)*

Από την άλλη μεριά η απορρόφηση για το σύστημα της κομποστοποίησης εξαρτάται τόσο από την αγορά που απευθύνεται αλλά και από την παραγόμενη ποσότητα του κομπόστ. Πιο συγκεκριμένα, μια μονάδα κομποστοποίησης πρέπει να εφαρμόζεται σε αγροτικές και ημιαστικές περιοχές για την απορρόφηση του τελικού κομπόστ. Οι ήδη υπάρχουσες μονάδες στην Ευρώπη καταγράφουν ένα ευρύ φάσμα δυναμικοτήτων. Για παράδειγμα στην πόλη Gironde της Γαλλίας η δυναμικότητα ανέρχεται σε 36.000 Mg/έτος ενώ σε μονάδα κομποστοποίησης στο Cupello στην Ιταλία η δυναμικότητα ανέρχεται σε 315 Mg/έτος.

Λόγω της της αβεβαιότητας ως προς την ποιότητα του κομπόστ και της εκτίμησης ότι δεν θα έχει εμπορική αξία , στην παρούσα μελέτη δεν λαμβάνονται υπ' όψη πιθανά έσοδα από τη πώληση του. Η ποιότητα του κομπόστ εξαρτάται από την ποιότητα-σύσταση του οργανικού κλάσματος μέσο τού προγράμματος διαλογή στην πηγή. Είναι πιθανότερο στο μέλλον και αφού οι πολίτες ενημερωθούν- ευαισθητοποιηθούν κατάλληλα να βελτιωθεί ποιοτικά το κομπόστ και να διατίθεται στην αγορά

Τέλος η παραγόμενη ποσότητα ανακτώμενων υλικών συνάρτηση της χωρητικότητας καθορίστηκε σύμφωνα με στοιχεία που συλλέχθηκαν από την εταιρία που δραστηριοποιείται στον κλάδο. Η ανακτώμενη ποσότητα αυτή συλλέγεται στο τμήμα μηχανικής διαλογής της εγκατάστασης και υπολογίζεται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Το ποσό που προκύπτει από τη πώληση των ανακτόμενα υλικών στην αγορά είναι 12 €/εισερχόμενο τόνο.

Πίνακας 4.11:Τιμή πώλησης ανακτώμενων υλικών

Ανακτηθέντα υλικά	Τιμή Πώλησης (€/ton)
Χαρτί	100
Πλαστικό	280
Σιδηρούχα μέταλλα	125
Μη σιδηρούχα μέταλλα	1000
Γυαλί	40
Ξύλο	20

4.6 Παρουσίαση βασικών οικονομικών σεναρίων

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την οικονομικότητα της κάθε επένδυσης υπολογίζονται οι εξής οικονομικοί δείκτες: ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης επένδυσης (IRR), η καθαρά παρούσα αξία (NPV) και τέλος τα έτη αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου.

Για την τεχνοοικονομική ανάλυση δημιουργείται υπολογιστικό μοντέλο για το αρχικό κόστος επένδυσης και για τα κόστη λειτουργίας & συντήρησης βάσει των στοιχείων που συλλέχθηκαν από την βιβλιογραφία.

Στον Πίνακα 4.12 συνοψίζονται οι παραδοχές. Θεωρείται ότι δεν λαμβάνονται δάνεια πέρα της επιχορήγησης. Το υπόλοιπο κεφάλαιο προέρχεται από ίδια κεφάλαια.

Πίνακας 4.12:Παραδοχές για τα οικονομικά σενάρια

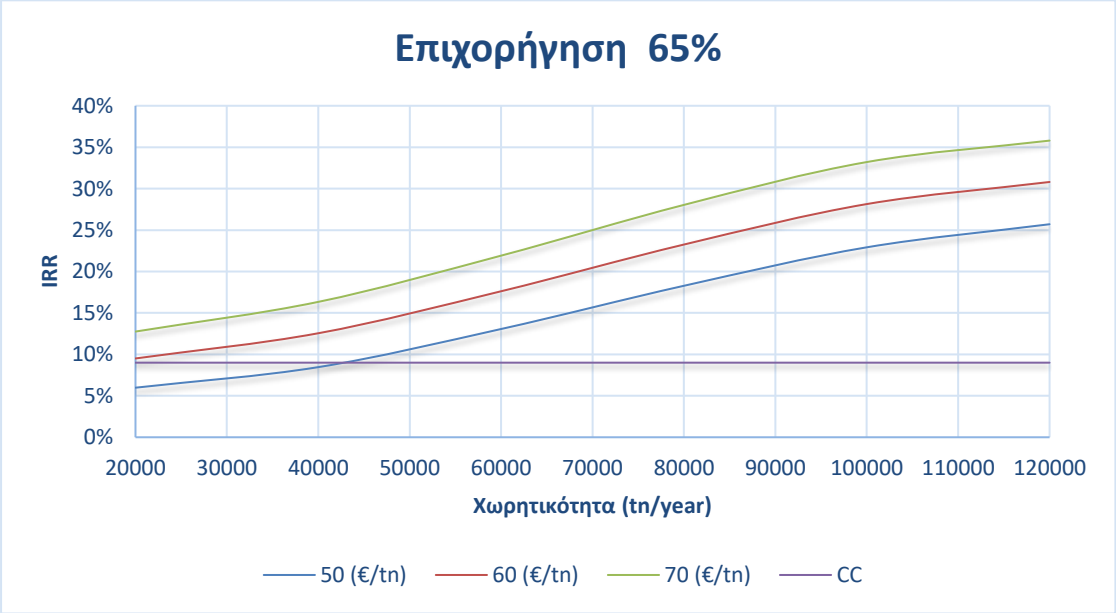
Επιτόκιο αναγωγής	**9%**
Έτη λειτουργίας μονάδων	30 έτη
Διάρκεια επένδυσης έτη	15 έτη
Τιμή πώλησης ηλ. ρεύματος	129 €/MWh
Έσοδα από πώληση ανακτώμενων υλικών	12 €/εισερχόμενο τόνο

4.6.1 Ανάλυση Ευαισθησίας βασικού σεναρίου ΜΒΕ

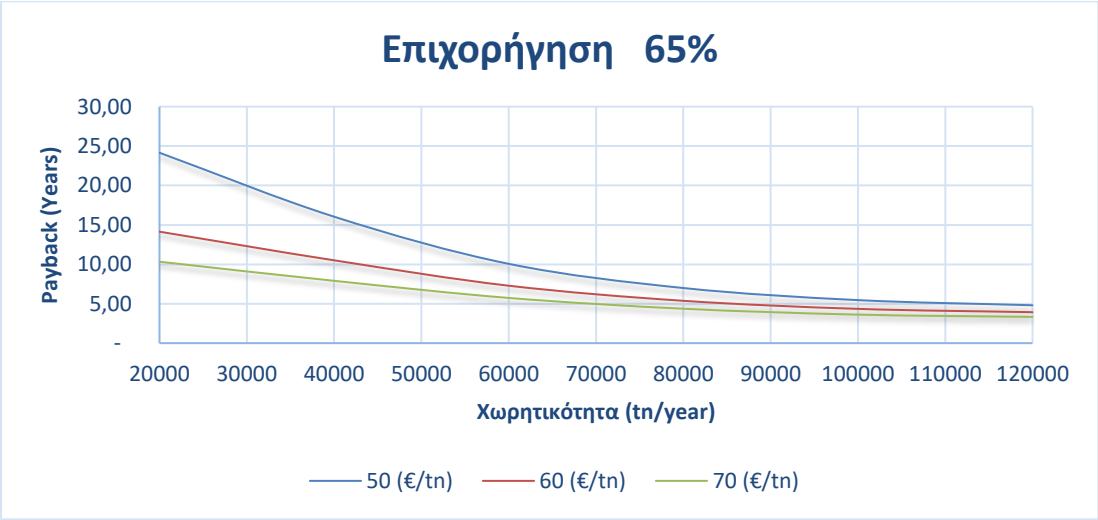
Αρχικά πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας βάσει τέλους εισερχομένων απορριμμάτων και του ποσοστού επιχορήγησης. Εξετάζονται 3 σενάρια για το τέλος εισόδου με 50, 60 και 70€/τν και 2 σενάρια για το ποσοστό επιχορήγησης 30, 65 % του κόστους επένδυσης . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω **διαγράμματα (4.4-4.7).** Πιο συγκεκριμένα στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζεται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης επένδυσης (IRR) μονάδας αναερόβιας χώνευσης συναρτήσει τέλους εισόδου εισερχομένων απορριμμάτων και δυναμικότητας . Ενώ στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται η διάρκεια αποπληρωμής μονάδας σε έτη (Payback) αναερόβιας χώνευσης συναρτήσει τέλους εισόδου εισερχομένων απορριμμάτων και δυναμικότητας.

Οι δείκτες αυτοί που παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα θεωρούνται απαραίτητοι για να χαρακτηριστεί μια επένδυση βιώσιμη, προσοδοφόρα ή μη βιώσιμη. Πιο συγκεκριμένα οικονομικά βιώσιμες θεωρούνται οι επενδύσεις που διαθέτουν εσωτερικό βαθμό απόδοση

επένδυσης μεγαλύτερο από το επιτόκιο αναγωγής και διάρκεια αποπληρωμής της επένδυσης μικρότερη από 15 χρόνια. Όμως μια επένδυση , ακόμα και με κοινωνικό χαρακτήρα όπως αυτή της αξιοποίησης απορριμμάτων, για να πραγματοποιηθεί δεν αρκεί να είναι βιώσιμη πρέπει να είναι και προσοδοφόρα. Πιο συγκεκριμένα οικονομικά προσοδοφόρες θεωρούνται οι επενδύσεις που διαθέτουν εσωτερικό βαθμό απόδοση επένδυσης μεγαλύτερο από 14% και διάρκεια αποπληρωμής της επένδυσης μικρότερη από 10 χρόνια.



Διάγραμμα 4.4: *Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης κεφάλαιού συναρτήσει της χωρητικότητας της εγκατάστασης*



Διάγραμμα 4.5: *Χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων συναρτήσει της χωρητικότητας της εγκατάστασης*

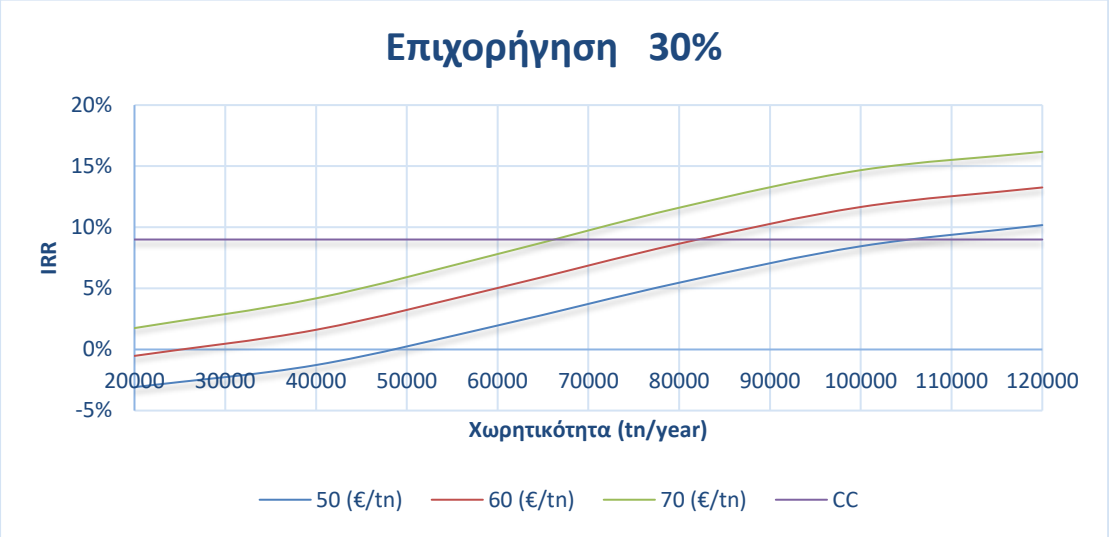
Παρατηρείται πως, στο σενάριο κατά το οποίο η Επιχορήγηση καλύπτει το 65% του κόστους επένδυσης, η ΜΒΕ είναι οικονομικά βιώσιμη στο μεγαλύτερο εύρος περιπτώσεων που παρουσιάζονται. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την παραπάνω

μελέτη στον παρακάτω Πίνακα. Εκεί κατανέμονται τα σενάριά επένδυσης σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια στις τρείς κατηγορίες μη βιώσιμη, βιώσιμη και προσοδοφόρα.

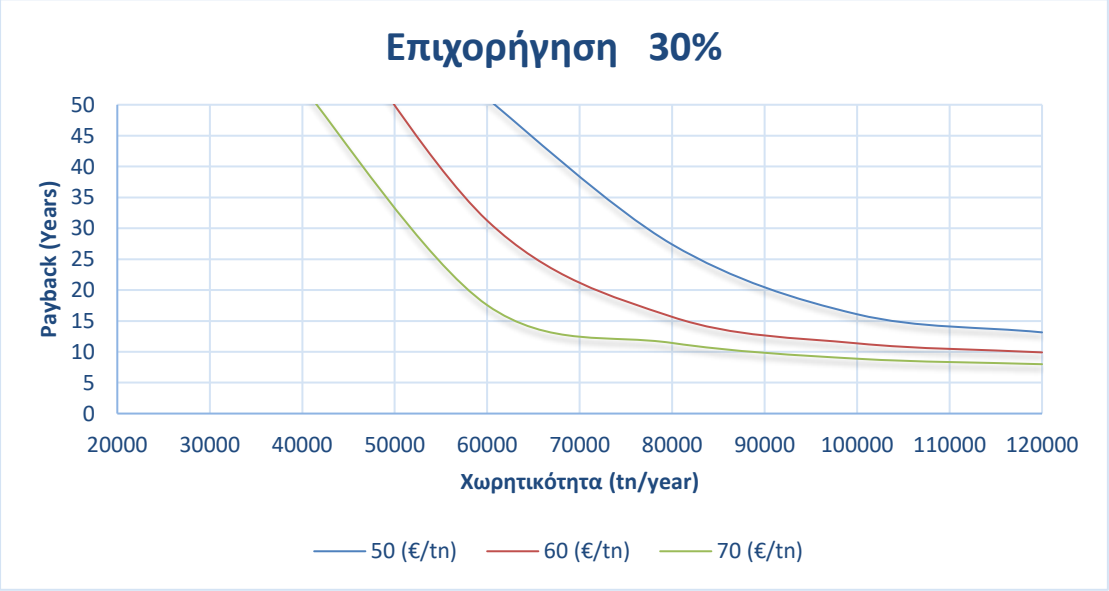
Πίνακας 4.13: Συγκεντρωτικός πίνακας αξιολόγησης επενδύσεων για 65% επιχορήγηση.

Τέλος εισόδου	50€/τν	60€/τν	70€/τν
Μη βιώσιμη (τν/έτος)	20.000-42.000	-	-
Βιώσιμη (τν/έτος)	42.000-60.000	20.000-42.000	-
Προσοδοφόρα (τν/έτος)	60.000-120.000	42.000-120.000	20.000-120.000

Στα παρακάτω **διαγράμματα 4.6, 4.7** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για επιχορήγηση 30%.



Διάγραμμα 4.6: *Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης κεφάλαιού συναρτήσει της χωρητικότητας της εγκατάστασης*



Διάγραμμα 4.7: *Χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων συναρτήσει της χωρητικότητας της εγκατάστασης*

Παρατηρείται πως, στο σενάριο κατά το οποίο η Επιχορήγηση καλύπτει το 30% του κόστους επένδυσης, η ΜΒΕ είναι οικονομικά βιώσιμη σε πολύ μικρότερο εύρος περιπτώσεων που παρουσιάζονται. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την παραπάνω μελέτη στον παρακάτω Πίνακα. Εκεί κατανέμονται τα σενάριά επένδυσης σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια στις τρείς κατηγορίες μη βιώσιμη, βιώσιμη και προσοδοφόρα.

Πίνακας 4.14: Συγκεντρωτικός πίνακας αξιολόγησης επενδύσεων για 35% επιχορήγηση.

Τέλος εισόδου	50€/τν	60€/τν	70€/τν
Μη βιώσιμη (τν/έτος)	20.000-105.000	20.000-80.000	20.000-65.000
Βιώσιμη (τν/έτος)	105.000-120.000	80.000-95.000	65.000-80.000
Προσοδοφόρα (τν/έτος)	-	95.000-120.000	80.000-120.000

Έχοντας μελετηθεί η ανάλυση ευαισθησίας που προηγήθηκε οδηγούμαστε στα εξής συμπεράσματα. Συγκρίνοντας τις δυο περιπτώσεις επιχορήγησης που μελετήθηκαν παρατηρούμε ότι η συμβολή της και το μέγεθος της αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την βιωσιμότητα άρα και την υλοποίηση μιας τέτοιας επένδυσης. Δεύτερος κυριότερος παράγοντας για την τιμολογιακή πολιτική αποτελεί το τέλος εισόδου. Το γεγονός αυτό μπορεί να γίνει ευκολότερα κατανοητό από το παρακάτω διάγραμμα καθώς παρατηρούμε ότι το 65% των εσόδων της εγκατάστασης προέρχεται από το τέλος εισόδου.

Διάγραμμα 4.8: *Έσοδα Εγκατάστασης για τέλος ταφής 60(*€/τν)

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ακόμα ότι μικρότερες εγκαταστάσεις απαιτούν μεγαλύτερο τέλος ταφής για την οικονομικά βιώσιμη λειτουργεία τους. Η παρατήρηση αυτή ήταν αναμενόμενη λόγω του μη γραμμικού κόστους επένδυσης που παρουσιάστηκε στην αρχή του κεφαλαίου.

5. Ειδική οικονομική αποτίμηση ολοκληρωμένης ΜΒΕ εγκατάστασης δήμου ΒΒΒ

5.1 Μεθοδολογία εργασίας

Η συγκεκριμένη ενότητα της μελέτης εστιάζει στον υπολογισμό του **καθαρού ετήσιου κόστους** (net annual cost) που περιγράφει την υλοποίηση και λειτουργία της προτεινόμενης μονάδας αποτελεί την παράμετρο εκείνη που θα αποτυπώνει σε μεγάλο βαθμό τις συνολικές οικονομικές της απαιτήσεις σε ετήσια βάση. Το καθαρό ετήσιο κόστος θα προκύψει από την υλοποίηση του προτεινόμενου εναλλακτικού σχεδίου δράσης στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ από το δήμο ΒΒΒ με βάση το οποίο προβλέπεται η κατασκευή αυτόνομης ΜΒΤ μονάδας.

Η μονάδα που προκρίνεται αποτελεί μία εγκατάσταση ΜΒΕ ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 tons/year, που αποτελούν την ετήσια παραγωγή απορριμμάτων και κλαδεμάτων της περιφέρειας όπως αναλύθηκε και στο 2^{ο} κεφάλαιο.

Σε πρώτη φάση, τόσο το ***κόστος επένδυσης*** (investment cost) όσο και το ετήσιο ***κόστος λειτουργίας*** (operating cost) αποτελούν τα χαρακτηριστικότερα οικονομικά μεγέθη της εξεταζόμενης εγκατάστασης και συνεπώς η ρεαλιστική προσέγγισή τους είναι καθοριστικής σημασίας.

Σε δεύτερη φάση, από το άθροισμα του ετήσιου επενδυτικού και λειτουργικού κόστους της μονάδας με το εκ νέου διαμορφωμένο κόστος αποκομιδής αφαιρούνται όλα εκείνα τα έσοδα που προέρχονται από την ***πώληση του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας*** στο δίκτυο, από την ***πώληση των ανακτηθέντων υλικών*** από τη μηχανική προ-επεξεργασία του ρεύματος των οικιακών αποβλήτων, στις διάφορες εγχώριες βιομηχανίες που δραστηριοποιούνται σήμερα στον τομέα της ανακύκλωσης και από τα **έσοδα μέσω των τελών εισόδου** που ο διαχειριστής των ΑΣΑ θα είναι υποχρεωμένος να πληρώνει στους λειτουργούς της ΜΕΑ για την είσοδο και επεξεργασία των απορριμμάτων του εντός αυτής.

Τελικά, το αποτέλεσμα είναι μια χρηματορροή που αντικατοπτρίζει το ετήσιο κόστος που θα χαρακτηρίζει την ΜΒΤ μονάδα στο σύνολό της. Επισημαίνεται πως για την εύρεση του **ειδικού συνολικού ετήσιου κόστους** (annual specific treatment cost) το οποίο μετράται σε ευρώ ανά τόνο ΑΣΑ (€/tn) απαιτείται η διαίρεση του εξαχθέντος ετησίου κόστους με την ονομαστική χωρητικότητα της εγκατάστασης.

Πίνακας 5.1: Τρόπος υπολογισμού του ετήσιου συνολικού κόστους της προτεινόμενης MBT μονάδας

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ MBT ΜΟΝΑΔΑΣ
=
ΕΤΗΣΙΟ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)
+
ΕΤΗΣΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)
-
ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΩΛΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€)
-
ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΩΛΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΚΤΗΘΕΝΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΙΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ (€)
-
ΕΣΟΔΑ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΤΕΛΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ (€)

5.2 Παραδοχές και επισημάνσεις

Πηγή εσόδων για τη μονάδα θα μπορούσαν επίσης να αποτελέσουν τόσο i) το **κομπόστ από την κλειστού τύπου κομποστοποίηση** μέρους του ξηρού υπολείμματος που έχει προκύψει από τη χώνευση του μίγματος των προ-διαλεγμένων οργανικών και των πράσινων αποβλήτων όσο και ii) το **κομπόστ από την ανοικτού τύπου κομποστοποίηση** μεγάλου μέρους των εισερχόμενων στη μονάδα κλαδεμάτων. Ειδικότερα, λόγω της πολύ καλής ποιότητάς τους, αναμένεται να εμφανίζουν εμπορική αξία σε περίπτωση που αποφασιστεί η πώληση τους στην αγορά λιπασμάτων. Η ακριβής χρήση και τιμή πώλησής τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τελική ποιότητά τους **[24],[55],[52]**. Για το λόγο αυτό και όπως έχει ήδη αναφερθεί, θεωρείται πολύ πρόωρο ακόμα να υπάρξει κάποια εκτίμηση έστω και τυπική σχετικά με την τιμή πώλησής τους καθενός από αυτά, ιδίως όταν δεν είναι καν σίγουρο αν η αξιοποίησή τους γίνει μέσω της μεταπώλησής του ή υπάρξει κάποιου άλλου είδους συμφωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων με τη μονάδα φορέων (πχ: δωρεάν διάθεση σε νοικοκυριά ή σε δημοτικά πάρκα, κήπους και χώρους πρασίνου). **(Παραδοχή 1)**

Ενδεικτικά, η εμπειρία από Ευρωπαϊκές χώρες δείχνει πως το κομπόστ που πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές ποιότητας εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο στη γεωργία με μηδενική ή μικρή τιμή πώλησης (0-3 €/ton) ενώ μια προτεινόμενη μέση τιμή πώλησης για την ΕΕ τόσο από την Eunomia (2009) όσο και από τον Barth (2008) είναι τα 7 €/ton κομπόστ, δηλαδή περίπου 3,5 €/ton εισερχομένων απορριμμάτων **[16],[38]**. Σε ορισμένες χώρες η τιμή πώλησης υψηλής ποιότητας κομπόστ μπορεί να είναι υψηλότερη (20-40 €/ton), σε περιορισμένες όμως ποσότητες και έπειτα από σημαντικό εξευγενισμό **[24]**. Ωστόσο, σε περιπτώσεις κομποστοποίησης πράσινων αποβλήτων, τα δεδομένα είναι διαφορετικά μιας και το παραγόμενο κομπόστ είναι πάρα πολύ πιθανό να επιτύχει υψηλές τιμές πώλησης στην αγορά λιπασμάτων κι εδαφοβελτιωτικών που μπορεί να φτάνουν τα 10-15 €/ton για χύμα διάθεση και τα 100-120 €/ton για ενσακισμένο **[55]**.

Κατά τη διάρκεια της τεχνοοικονομικής μελέτης, έχει επίσης θεωρηθεί πως το κόστος απόκτησης του οικοπέδου για την τοποθέτηση της εγκατάστασης είναι μηδενικό. **(Παραδοχή 2)**

Ακολούθως, ένα ποσοστό της τάξης του 10% και 20% αντίστοιχα από τις παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας θα χρησιμοποιείται ετησίως υπό τη μορφή ιδιοκαταναλώσεων προς εξυπηρέτηση μέρους των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης κυρίως σε ό,τι αφορά τα τμήματα βιολογικής επεξεργασίας και συμπαραγωγής ενέργειας. Αντίθετα, οι ενεργειακές ανάγκες του τμήματος μηχανικής προ-επεξεργασίας που είναι και οι περισσότερες θεωρείται ότι αρχικά τουλάχιστον, θα καλύπτονται από το δίκτυο. **(Παραδοχή 3)**

Τέλος, στους επιμέρους υπολογισμούς έχει αρχικά χρησιμοποιηθεί επιτόκιο αναγωγής ίσο με 9% για συνολική διάρκεια ζωής της μονάδας/επένδυσης τα 30 χρόνια**.** Στην εξέλιξη της μελέτης, οι παραπάνω τιμές θα μεταβάλλονται στα πλαίσια της **ανάλυσης ευαισθησίας** των επιμέρους αποτελεσμάτων του βασικού σεναρίου. **(Παραδοχή 4)**

Πίνακας 5.2: *Υπολογιστικές παραδοχές για την τεχνοοικονομική μελέτη*

Επιτόκιο Αναγωγής	9%
Διάρκεια ζωής	30 χρόνια
Ιδιοκαταναλώσεις σε ηλεκτρική ενέργεια	10%
Ιδιοκαταναλώσεις σε θερμική ενέργεια	20%

Ανακεφαλαιώνοντας, μια ολοκληρωμένη και συνάμα ρεαλιστική προσέγγιση των οικονομικών απαιτήσεων της υπό εξέταση εγκατάστασης μικρής κλίμακας για την διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ προϋποθέτει την εκτίμηση του αρχικού κεφαλαίου και των ετήσιων δαπανών λειτουργίας τόσο για τη μονάδα μηχανικής επεξεργασίας (MTF) όσο και για τη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας (BTF).

Για το λόγο αυτό, η τεχνοοικονομική ανάλυση χωρίζεται σε **δύο διακριτά μέρη**. Στο **πρώτο μέρος** εξετάζονται τα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη που απορρέουν από το μηχανικό σκέλος προ-επεξεργασίας των εισερχόμενων σύμμεικτων απορριμμάτων ενώ το **δεύτερο μέρος** ασχολείται με τα αντίστοιχα κόστη της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, δηλαδή του βιολογικού σκέλους επεξεργασίας , στα οποία θα εμπεριέχονται και τα κόστη που σχετίζονται με το σύστημα συμπαραγωγής που ακολουθεί.

Τα **επενδυτικά κόστη** και στις δύο περιπτώσεις αυτά διαμορφώνονται σύμφωνα με τα κόστη του βασικού ηλεκτρομηχανικού (Η/Μ) εξοπλισμού μεταφοράς και επεξεργασίας συν τα επιμέρους έξοδα που απορρέουν από τα έργα πολιτικών μηχανικών (Π/Μ), τις διάφορες χωματουργικές και γεωτεχνικές εργασίες, την κατασκευή των προβλεπόμενων κτιριακών εγκαταστάσεων και άλλων έργων υποδομής, τα έργα Η/Μ δικτύων και εγκαταστάσεων, τη

δοκιμαστική λειτουργία της μονάδας (commissioning) - διαδικασίες επιθεώρησης, ελέγχου και πιστοποίησης - ενώ και διάφορα άλλα επενδυτικά κόστη (λοιπός Η/Μ εξοπλισμός, συστήματα προστασίας του περιβάλλοντος, συστήματα καθαρισμού του βιοαερίου, κάδοι, κοντέινερ κα.) έχουν επίσης θεωρηθεί. Αντίθετα, στα αρχικά αποτελέσματα δεν συμπεριλαμβάνονται διάφορα απρόβλεπτα κόστη (contingency), έξοδα που αφορούν εγγυητικές και ασφαλίσεις (project development costs), γενικά έξοδα και εργολαβικό όφελος. **[29,58]**

Από την άλλη πλευρά, στα αντίστοιχα **λειτουργικά κόστη** εμπεριέχονται οι ετήσιες δαπάνες για το απασχολούμενο στη μονάδα εργατοτεχνικό και διοικητικό προσωπικό, τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας του χρησιμοποιούμενου Η/Μ εξοπλισμού και των κτιριακών εγκαταστάσεων, τα κόστη ενέργειας (ηλεκτρισμός/θέρμανση), τα κόστη καυσίμων και άλλων αναλώσιμων υλικών (χημικές ουσίες για την απομάκρυνση των οσμών και άλλων βλαβερών αερίων, καύσιμα, νερό και άλλες πρώτες ύλες) καθώς και διάφορα άλλα λειτουργικά κόστη (διαχείριση στραγγισμάτων, περιβαλλοντική παρακολούθηση μονάδας κ.α.) **[32].** Σε πρώτη φάση, στα επιμέρους αποτελέσματα για τα λειτουργικά κόστη δεν θα συμπεριλαμβάνονται ούτε άλλα απρόβλεπτα/έκτακτα κόστη λειτουργίας (contingency) ούτε γενικά έξοδα και εργολαβικό όφελος ενώ σε κανένα στάδιο των υπολογισμών δεν λαμβάνονται υπόψη αποσβέσεις (amortisation) **[58].**

Υπολογίζεται πως οι εξειδικευμένες και πολύπλοκες μηχανικές διεργασίες διαχωρισμού των σύμμεικτων αποβλήτων θα αυξάνουν σε αρκετά υπολογίσιμο βαθμό τα συνολικά κόστη επένδυσης και λειτουργίας για την πρότυπη εγκατάσταση, σε σχέση με την περίπτωση που στην εγκατάσταση εισέρχονταν βιοαποικοδομήσιμα ΑΣΑ που είχαν συλλεχτεί χωριστά μέσω διαλογής στην πηγή (καφέ κάδοι). **[55],[52]**

5.3 Κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ (MTF)

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής που αποτυπώνει την αρχή λειτουργίας της εγκατάστασης ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη μονάδα μηχανικής επεξεργασίας απαρτίζεται από τα παρακάτω μηχανήματα (βλ. διάγραμμα ροής):

- 1 Μηχανή ανοίγματος για τις σακούλες σκουπιδιών (Bag breaker machine)
- 1 ταινιόδρομος με ιμάντα (Conveyor)
- 1 Κόσκινο περιστρεφόμενου τυμπάνου (Trommel Screen)
- 2 Τεμαχιστές (Shredders)
- 2 Μαγνητικοί διαχωριστές (Magnetic Separators)
- 2 διαχωριστές δινορρευμάτων (Eddy Current Separators)
- 1 Διαχωριστής έμφυσης αέρα (Air Classifier)
- 1 Οπτικός διαχωριστής χαρτιού (Optical paper sorting)
- 1 Οπτικός διαχωριστής πλαστικού (Optical plastic sorting)
- 1 Οπτικός διαχωριστής γυαλιού (Optical glass sorting)
- 2 δεματοποιητές (Balers)

Η μονάδα προ-επεξεργασίας των ΑΣΑ φαίνεται να προσομοιάζει περισσότερο με μια απλή μονάδα ανάκτησης υλικών (Material Recovery Facility- MRF), με την μοναδική αλλά **ουσιώδη ωστόσο διαφορά τους** να έγκειται στο είδος των αποβλήτων που διαχειρίζονται. Τέτοιου τύπου μονάδες εμφανίζονται σε πολλές βιβλιογραφίες **[39],[40]** με τον όρο Dirty MRF ή Mixed Waste MRF.

Επομένως, η μονάδα μηχανικής προ-επεξεργασίας της εγκατάστασης θα εμφανίζει αρκετά μεγαλύτερα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη σε σχέση με τα αντίστοιχα των Clean MRF μονάδων, εξαιτίας της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας και εξειδίκευσης των απαιτούμενων μηχανικών διεργασιών διαχωρισμού **[40]**.

5.3.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού

Η παράμετρος εκείνη που διαμορφώνει το ύψος του αρχικού κεφαλαίου που προορίζεται για την υλοποίηση της μονάδας προ-επεξεργασίας (MTFs investment costs) έχει να κάνει κυρίως με την **αγορά του απαραίτητου για τη λειτουργία της μηχανολογικού εξοπλισμού [61].** Έπειτα από τη σχετική ανάλυση στο **κεφάλαιο 5.3** το εκτιμώμενο κόστος μονάδας MTF της εγκατάστασης παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.3: Εκτιμώμενο κόστος επένδυσης της μονάδας MTF της εγκατάστασης

Χωρητικότητα	40.000 tons/year
Κόστη Η/Μ εξοπλισμού (Electromechanical equipment costs)	3.120.000 (52%)
Κόστη έργων Π/Μ & Η/Μ εγκαταστάσεων (Design and construction works costs)	2.400.000 (40%)
Άλλα κόστη επένδυσης (Other costs of investment)	480.000 (8%)
Σύνολο	*6.000.000*

5.3.1.α Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν μονάδες μηχανικής διαλογής για σύμμεικτα απορρίμματα που προέρχονται από πράσινους και γκρι κάδους. Αντίθετα, λειτουργούν Μονάδες Ανάκτησης Υλικών (MRF) από συσκευασίες αποβλήτων που απορρίπτονται στους μπλε κάδους των δήμων. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα εντός Αττικής είναι το Κ.Δ.Α.Υ που βρίσκεται στην Ελευσίνα ετήσιας δυναμικότητας ίσης με 30.000 tons/year και το Κ.Δ.Α.Υ στην Κρωπία ετήσιας δυναμικότητας κοντά στους 100.000 tons/year, στον οποίον στέλνει το σύνολο των συλλεγόμενων ανακυκλώσιμων αποβλήτων του και ο Δήμος ΒΒΒ.

Και οι δύο MRF εγκαταστάσεις είναι πλήρως εξοπλισμένες και περιλαμβάνουν μια σειρά μηχανημάτων όπως περιστροφικό κόσκινο, μαγνητικούς και μη μαγνητικούς διαχωριστές,

βαλλιστικούς διαχωριστές, οπτικούς διαχωριστές Titech NIR ενώ ενσωματώνουν και διαδικασίες χειροδιαλογής **[43]**. Η μηχανολογική τους στελέχωση επισημαίνεται γιατί αν εξαιρεθεί το είδος των απορριμμάτων που καλούνται να διαχειριστούν, *φαίνεται να προσομοιάζουν σε σημαντικό βαθμό ως προς τη λειτουργία τους με το τμήμα υποδοχής και μηχανικής διαλογής της σχεδιαζόμενης για το Δήμο ΒΒΒ εγκατάστασης επεξεργασίας ΑΣΑ.*

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία που υπάρχουν στο διαδίκτυο, το αρχικό δαπανηθέν κεφάλαιο για την υλοποίηση του Κ.Δ.Α.Υ Ελευσίνας ήταν περίπου 5.390.000€ **[43]** ενώ αντίστοιχα το κατασκευαστικό κόστος για το Κ.Δ.Α.Υ. Κρωπίας ήταν περί τα 10.000.000€ . Τα παραπάνω οικονομικά δεδομένα είναι ενδεικτικά της ελληνικής πραγματικότητας αν συνδυαστούν καταλλήλως με τα βασικά συμπεράσματα διαφόρων οικονομικών αναλύσεων για τους διάφορους τύπους MRF, με κυριότερες αυτές των Pressley et al. (2014) **[40]** και Combs (2012) **[44].**

Στις προ-αναφερθείσες μελέτες εκτιμάται ότι τα συνολικά επενδυτικά κόστη των "Mixed Waste" μονάδων ανάκτησης υλικών θα εμφανίζονται πιο αυξημένα από τα αντίστοιχα των "Recyclable Waste" μονάδων ανάκτησης υλικών, εξαιτίας κυρίως της αύξησης των εξόδων για την απόκτηση του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού (περισσότερα σε πλήθος μηχανήματα με πιο πολύπλοκη τεχνολογία).

Ειδικότερα, στην έρευνα του Pressley και της ομάδας του **[40]** υπολογίζεται πως τα ειδικά κόστη αγοράς και συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού μιας μονάδας ανάκτησης υλικών από σύμμεικτα απόβλητα (Mixed waste MRF) θα είναι 1.3 *φορές μεγαλύτερα* από αυτά που αντιστοιχούν σε μια μονάδα ανάκτησης υλικών από ανακυκλώσιμο μίγμα αποβλήτων (Single-stream MRF), συνιστώντας το 32% του συνολικού κόστους στο οποίο έχει συμπεριληφθεί το σύνολο των ειδικών επενδυτικών όσο και λειτουργικών δαπανών για την εκάστοτε μονάδα (€/ton).

Τέλος, εταιρείες όπως η Watt S.A. **[45]** και η Mesogeos S.A. **[58]** με ειδίκευση σε ΜΒΕ μεθόδους διαχείρισης ΑΣΑ συμφώνησαν πως μια τιμή κοντά στα 125-150€/ton είναι μια αρκετά ρεαλιστική προσέγγιση για το ειδικό επενδυτικό κόστος μιας πλήρους εξοπλισμένης μονάδας μηχανικής προ-επεξεργασίας χωρητικότητας κοντά στους 40.000 tons/year.

5.3.1.β. Εκτίμηση μελέτης για τα κόστη επένδυσης του τμήματος υποδοχής και μηχανικής διαλογής της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης για το Δήμο ΒΒΒ

Συμπερασματικά, το ειδικό επενδυτικό κόστος για τη Μονάδα Υποδοχής και Μηχανικής Επεξεργασίας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 τόνων αστικών αποβλήτων ετησίως υπολογίζεται γύρω στα 140-160€/ton ενώ θα επιμερίζεται κατά παρόμοιο τρόπο όπως και στον **Πίνακα 5.3.** Το πιθανό εύρος διακύμανσης για τα επιμέρους επενδυτικά κόστη εκτιμάται σύμφωνα με τον **Πίνακα 5.4**, με την αγορά και αποστολή του μηχανολογικού εξοπλισμού να απαιτεί πάντοτε τη μεγαλύτερη δαπάνη.

Πίνακας 5.4: *Ποσοστιαίος επιμερισμός του επενδυτικού κόστους της Μονάδας Μηχανικής Επεξεργασίας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης* ***[39],[42],[58]***

Είδος Επενδυτικής Δαπάνης για Μονάδα Μηχανικής Επεξεργασίας	Εύρος ποσοστού επί του συνολικού κόστους επένδυσης
1. Αγορά Η/Μ εξοπλισμού (Μηχανήματα διαχωρισμού υλικών, μεταφορικές ταινίες τεμαχιστές, δεματοποιητές, κ.α.)	50-60%
2. Έργα Π/Μ (Κτιριακές εργασίες, χωματουργικές εργασίες, έργα οδοποιίας κ.α.)	40-45%
3. Άλλα επενδυτικά κόστη (Έργα περιβαλλοντικής προστασίας, έργα Η/Μ εγκαταστάσεων, έργα υποδομής, δοκιμαστική λειτουργία κ.α.)	8-12%

Σημείωση: Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί πως ειδικά για την περίπτωση του Δήμου ΒΒΒ, <u>το επενδυτικό κόστος για το τμήμα Υποδοχής και Μηχανικής Επεξεργασίας αναμένεται μειωμένο σε ποσοστό της τάξης του 15-20% σε σχέση με τις εκτιμήσεις που προηγήθηκαν για αυτό, εξαιτίας της μεγάλης ετήσιας παραγωγής κλαδεμάτων στην ευρύτερη περιοχή</u>. Με άλλα λόγια, μπορεί φαινομενικά η ετήσια ποσότητα ΑΣΑ που εισέρχεται στη μονάδα να είναι κοντά στους 35.000 τόνους αλλά στην πραγματικότητα μόνο το οικιακό ρεύμα αποβλήτων (~16.000 τόνοι) θα έχει σύμμεικτη μορφή και θα απαιτεί μηχανική διαλογή ενώ και τα προ-διαλεγμένα οργανικά των καφέ κάδων (~3.000 τόνοι) θα περνάνε και αυτά από μια ξεχωριστή πολύ πιο απλοϊκή όμως γραμμή προ-επεξεργασίας. Η υπόλοιπη ποσότητα αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό της σε κλαδέματα (~10.000 τόνοι) και σε μικρότερο ποσοστό σε ογκώδη (~3.000 τόνοι), τα οποία διέρχονται μόνο διαδικασίες μείωσης του μεγέθους τους μέσω τεμαχιστών.

Επομένως, η εκτίμηση για το επενδυτικό κόστος της Μονάδας Μηχανικής Επεξεργασίας της εγκατάστασης είναι πιο ορθό σε επόμενο πιο προχωρημένο στάδιο να γίνει για δυναμικότητα ίση με 20.000 τόνους ετησίως μιας και σε πρακτικό επίπεδο τόση θα είναι η ποσότητα των αποβλήτων (οικιακά και προ-διαλεγμένα οργανικά) που θα διέρχονται διαδικασιών μηχανικού διαχωρισμού κάθε χρόνο.

5.3.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού

Τα λειτουργικά κόστη της μονάδας μηχανικής προ-επεξεργασίας ΑΣΑ (MTFs operational costs) θα διαμορφώνονται με βάση μια σειρά από ετήσιες δαπάνες που σχετίζονται με το κόστος συντήρησης του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού (maintenance costs), τις αμοιβές του απασχολούμενου στο μηχανικό στάδιο της εγκατάστασης προσωπικού (Personnel costs), τα έξοδα για την ικανοποίηση των ενεργειακών της απαιτήσεων σε νερό, ηλεκτρισμό, καύσιμα, κ.α. (Consumables and Utilities costs) καθώς και διάφορα άλλα κόστη που αφορούν τη συνολική πολιτική διαχείρισής της (Other costs of management). Όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 5.5**, τα εξαγόμενα αποτελέσματα αυτή τη φορά συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με εκείνα που αναφέρονται στη μελέτη του Dace Arina (2014) **[42]**.

Πίνακας 5.5: *Σενάρια για τα λειτουργικά κόστη μονάδων μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας δυναμικότητάς τους*

Λειτουργικά κόστη (Ευρώ)	**40.000 tons/year**
Κόστη προσωπικού (Personnel costs and overheads)	157.500 (15%)
Κόστη για καύσιμα και ενέργεια (Fuel and Energy costs)	378.000 (36%)
Κόστη συντήρησης και άλλα κόστη λειτουργίας (Maintenance costs and other costs of operation)	514.500 (49%)
Σύνολο	*1.050.000*

Παρατηρείται πως μια μονάδα μηχανικής ανάκτησης υλικών που εμφανίζει δυνατότητες διαχείρισης σύμμεικτων αποβλήτων ετήσιας δυναμικότητας της τάξης των 40.000 tn/year και διαθέτει μηχανολογικό εξοπλισμό ονομαστικής χωρητικότητας που αγγίζει τα 20 tn/h, παρουσιάζει λειτουργικά κόστη ίσα με *1.050.000*€ (25€/tn).

5.3.2.α. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στη μελέτη των Arina et al. (2014) **[42]**, εξάγονται εκτός των άλλων και κάποια επιπλέον οικονομικά αποτελέσματα σχετικά με τα ειδικά λειτουργικά κόστη τεσσάρων ξεχωριστών τύπων μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ με μηχανολογικό εξοπλισμό κοινής δυναμικότητας τάξης μεγέθους 10 tons/h, ο οποίος καλείται να διαχειριστεί 20.000 τόνους αστικών αποβλήτων ανά έτος. Καθεμία από τις τέσσερεις συνδεσμολογίες μηχανικής διαλογής είναι διαφορετική όπως επίσης και η αλληλουχία των διεργασιών διαχωρισμού**[42]**.

Πιο συγκεκριμένα, οι αναφερόμενες ειδικές τιμές εκτείνονται από 32€/ton μέχρι 39€/ton, με την περίπτωση που ομοιάζει περισσότερο με τις διεργασίες που θα λαμβάνουν χώρα στο τμήμα μηχανικής διαλογής αποβλήτων της εγκατάστασης που μελετάται για το Δήμο ΒΒΒ, να εμφανίζει λειτουργικά κόστη ίσα με 36 €/ton **[42]**.

Επιπρόσθετα, ο Stegmann (2015) **[47]** σε μια παρόμοια τύπου δημοσίευση, που αφορά τη χώρα της Γερμανίας, αναζητά τα επιμέρους κόστη των MBE μεθόδων επεξεργασίας ΑΣΑ προς παραγωγή δευτερογενούς καυσίμου (RDF) κατάλληλου για χρησιμοποίηση ως καύσιμης ύλης σε μονάδα αποτέφρωσης. Το ενδιαφέρον στοιχείο αυτής της μελέτης έχει να κάνει με τη ξεχωριστή αναφορά στα ειδικά λειτουργικά κόστη του μηχανικού σκέλους προ-επεξεργασίας των σύμμεικτων απορριμμάτων.

Αναλυτικότερα, έπειτα από την καταγραφή τριών (3) διαφορετικών συνδυασμών-σεναρίων μηχανολογικού εξοπλισμού, η πολυπλοκότητα και η εξειδίκευση των οποίων αυξάνεται σταδιακά από συνδυασμό σε συνδυασμό, εξάγεται το συμπέρασμα ότι για χωρητικότητα 30.000 tons/year, τα αντίστοιχα ειδικά λειτουργικά κόστη κυμαίνονται μεταξύ 24 και 33

€/ton (24 €/ton, 27 €/ton και 33 €/ton, αντίστοιχα) **[47]**. Άλλωστε, τα συγκεκριμένα αποτελέσματα συμπίπτουν και με τις εκτιμήσεις των υπευθύνων της εταιρείας Helactor (Herhof GmbH) **[46]**, οι οποίοι θεώρησαν μια τιμή γύρω στα 30 €/ton ως μια αρκετά ρεαλιστική προσέγγιση για τα λειτουργικά κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού δυναμικότητας 30.000 - 40.000 tons/year.

Καταλήγοντας, θα πρέπει να αναφερθεί πως στις δημοσιεύσεις και του Pressley **[40]** και του Arina **[42]** γίνεται σαφές πως όσο πιο εξελιγμένος τεχνολογικά είναι ο χρησιμοποιούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός στις μονάδες αυτού του τύπου τόσο μεγαλύτερα είναι τα επίπεδα αυτοματοποίησης, με αποτέλεσμα να παρατηρείται δραστική μείωση του αριθμού του απασχολούμενου σε αυτές προσωπικού και άρα και των συσχετιζόμενων με αυτό λειτουργικών εξόδων.

5.3.2.β. Εκτίμηση μελέτης για τα κόστη λειτουργίας του τμήματος υποδοχής και μηχανικής διαλογής της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης για το Δήμο ΒΒΒ

Συμπερασματικά, το ειδικό λειτουργικό κόστος της Μονάδας Υποδοχής και Μηχανικής Επεξεργασίας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 τόνων αστικών αποβλήτων ετησίως θα κυμαίνεται στα 24-30€/ton. Σε αντίθεση με τα κόστη επένδυσης, ο καταμερισμός του κόστους λειτουργίας υπό τη μορφή ποσοστών θεωρείται αδόκιμος σε αυτό το στάδιο μιας και εκτός από την έλλειψη σχετικών αναφορών και πληροφοριών, είναι άμεσα εξαρτώμενος από διάφορες λειτουργικές παραμέτρους όπως είναι ο βαθμός αυτοματοποίησης, ο αριθμός του απασχολούμενου προσωπικού και ο τρόπος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών κυρίως σε ηλεκτρισμό στο συγκεκριμένο τμήμα λειτουργίας της ΜΒΕ εγκατάστασης.

Σημείωση: Όπως συνέβη και με τα επενδυτικά κόστη, τα λειτουργικά κόστη της Μονάδας Μηχανικής Επεξεργασίας της προτεινόμενης εγκατάστασης εκτιμάται ότι τελικώς θα είναι αρκετά ελαττωμένα και θα πλησιάζουν σε αυτά που αντιστοιχούν στο Σενάριο για τους 20.000 τόνους ετησίως. Υπενθυμίζεται ότι αυτό οφείλεται στη μεγάλη ετήσια παραγωγή κλαδεμάτων εντός του Δήμου ΒΒΒ, γεγονός το οποίο θα μειώνει δραματικά την ποσότητα των αποβλήτων που θα πρέπει να διέλθει μηχανικής διαλογής.

5.4 Κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ (BTF)

Σύμφωνα με το σχεδιασμό της μελέτης για τη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας του μηχανικά ανακτώμενου οργανικού υποστρώματος των ΑΣΑ, το σύστημα αναερόβιας χώνευσης (dry-batch fermentation) περιλαμβάνει τις εξής διατάξεις:

- Συστήματα αποθήκευσης και μεταφοράς του οργανικού υποστρώματος (Tipping building, Wheel loaders, conveyors)

- Αντλία ανάμειξης οργανικής πρώτης ύλης με χωνεμένη ιλύς προηγούμενων διαδικασιών (Mixing unit)
- Χωνευτήρες τύπου γκαράζ (Garage shaped fermenters)
- Δεξαμενή άντλησης και ψεκασμού του νερού που ανακυκλώνεται κατά τις αναερόβιες διαδικασίες εντός των χωνευτήρων (Percolate Tank)
- Συστήματα καθαρισμού του βιοαερίου (biogas cleaning system) και ελέγχου της υγρασίας του (humidity control equipment)
- Συστήματα σωληνώσεων και βαλβίδων (gas pipeline and valves)
- Δεξαμενή αποθήκευσης του εξευγενισμένου βιοαερίου (Gas storage tank)
- Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP system with gas engine)
- Δεξαμενή αποθήκευσης χωνεμένης ιλύς (digestate storage area)

5.4.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας βιολογικής επεξεργασίας

Η απόκτηση του προ-αναφερθέντα εξοπλισμού και οι ετήσιες ανάγκες συντήρησης αυτού επηρεάζουν καθοριστικά τη διαμόρφωση τόσο του επενδυτικού όσο και του λειτουργικού κόστους του συνόλου της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας που θα πραγματοποιείται με την τεχνολογία της ξηράς αναερόβιας χώνευσης και της κομποστοποίησης σε αρθρωτό σύστημα τύπου tunnel. Έπειτα από τη σχετική ανάλυση στο **κεφάλαιο 5.3** το εκτιμώμενο κόστος μονάδας BTF της εγκατάστασης παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.6: *Κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ (BTF)*

Επενδυτικά κόστη (Ευρώ)	40.000 tons/year
Ειδικό κόστος Επένδυσης (€/ton)	325
Κόστος επένδυσης (€)	13.000.000

5.4.1.α. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα οικονομικά στοιχεία που δίνονται στην έρευνα των Di Maria et al. **[56]**, ο μηχανικός φορτωτής (wheel loader) που θα μεταφέρει το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ στα αναερόβια και αερόβια κελιά της εγκατάστασης θα κοστίζει γύρω στα 200.000€ ενώ όσον αφορά το πλήθος τους, υπολογίζεται ότι για κάθε 15.000 tons/year οργανικής φρέσκιας μάζας αντιστοιχεί ένας φορτωτής. Επομένως στη σχεδιαζόμενη μονάδα, θα χρειαστούν κατά πάσα πιθανότητα δύο (2) συνολικά μηχανικοί φορτωτές.

Επιπρόσθετα, στην ίδια έρευνα αναφέρεται πως το υποσύστημα συμπαραγωγής ενέργειας (CHP unit) θα κοστίζει κοντά στα 950 €/kW για εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς κοντά στα

500kW. Παρόμοιες τιμές δίνονται και στην έρευνα των Karellas et al. **[51]** όπου τα έργα βιοαερίου (ΜΕΚ-Γεννήτρια) υπολογίζονται στα 1040 €/kW για εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς ίση με 816 kW_{el}.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του **Πίνακα 5.6** για τα κόστη επένδυσης του συνόλου του βιολογικού σταδίου επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, αυτά ταυτίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό με τα επενδυτικά κόστη που αναφέρονται στα φυλλάδια της διεθνώς αναγνωρισμένης εταιρείας Bekon Gmbh **[31]**. Πιο συγκεκριμένα, για ολοκληρωμένες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας αστικών αποβλήτων ετήσιων δυναμικοτήτων 20.000, 50.000 και 100.000 tons/year με συμπαραγωγή ενέργειας έχουν υπολογιστεί επενδυτικά κόστη (turn-key cost) της τάξης των 7.000.000, 15.000.000 και 25.000.000€, αντίστοιχα.

Άλλωστε, στην έρευνα των Browne et al. (2011) **[52]** υπολογίστηκε πως μια ολοκληρωμένη μονάδα αναερόβιας χώνευσης ετήσιας δυναμικότητας 50.000 tons/year προ-διαλεγμένων οργανικών θα κοστίζει περί τα 14.000.000€ ή 280€/ton ενώ στον ιστότοπο της Εταιρείας Περιβαλλοντικών Μελετών (epem.gr) αναφέρεται κόστος επένδυσης ίσο με 8.500.000€ ή 340€/ton για παρόμοια μονάδα ετήσιας δυναμικότητας ίσης με 25.000 tons/year **[57]**.

Τέλος, σε συζητήσεις που έγιναν με την εταιρεία Μεσόγειος Α.Ε. (Mesogeos SA), στα πλαίσια της μελέτης, εκτιμήθηκε πως το τμήμα βιολογικής επεξεργασίας στο οποίο θα εισέρχονται περίπου 20.000 τόνων ετησίως οργανικών αποβλήτων και το τμήμα παραγωγής ενέργειας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης, θα κοστίσει συνολικά γύρω στα 8.000.0000-9.000.000 €, μη συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ. **[58]**

5.4.1.β. Εκτίμηση μελέτης για τα κόστη επένδυσης του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας (BTF) της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης για το Δήμο ΒΒΒ

Συμπερασματικά, το ειδικό κόστος επένδυσης για τη Μονάδα Βιολογικής Επεξεργασίας (τμήμα ξηρής αναερόβιας χώνευσης - τμήμα κομποστοποίησης κλειστού και ανοικτού τύπου - τμήμα συμπαραγωγής ενέργειας) στην οποία, σύμφωνα με το σχεδιασμό και τους υπολογισμούς που έχουν γίνει σε προηγούμενο κεφάλαιο της μελέτης, θα εισέρχονται περί τους 20.000 τόνους οργανικών αποβλήτων ετησίως, θα κυμαίνεται γύρω στα 375-420€/ton. Άλλωστε, το χαμηλό κόστος επένδυσης των ξηρών-διακοπτόμενων τεχνολογιών χώνευσης είναι από τα κυριότερα πλεονεκτήματα τους εν συγκρίσει με τις αντίστοιχες συνεχείς **[60]**. Τέλος, ο ποσοστιαίος καταμερισμός του εκτιμώμενου επενδυτικού κόστους της Μονάδας Βιολογικής επεξεργασίας υπολογίζεται στον **Πίνακα 5.7** ως εξής:

Πίνακας 5.7: *Ποσοστιαίος επιμερισμός του επενδυτικού κόστους της Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης* **[39],[42]**

Είδος Επενδυτικής Δαπάνης για Μονάδα Βιολογικής Επεξεργασίας	Εύρος ποσοστού επί του συνολικού κόστους επένδυσης
Έργα Π/Μ - Σχεδιασμός και κατασκευή κτιριακών εγκαταστάσεων Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας	35%
Αγορά Η/Μ εξοπλισμού βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας (αναερόβιοι και αερόβιοι βιοαντιδραστήρες, σειράδια ωρίμανσης κομπόστ, διαχωριστές τμήματος ραφιναρίας, δεξαμενές αποθήκευσης προϊόντων κ.α.)	45%
Αγορά Η/Μ εξοπλισμού συμπαραγωγής ενέργειας (συστήματα καθαρισμού βιοαερίου, μετασχηματιστές, Μ.Ε.Κ κ.α.)	6%
Έργα Η/Μ εγκαταστάσεων (δίκτυα ύδρευσης, πυρόσβεσης, άδρευσης, φωτισμού, κλιματισμού-θέρμανσης-αερισμού, τηλεελέγχου, εγκατάσταση αυτοματισμών, δίκτυα εγκαταστάσεων ισχυρών ρευμάτων Μέσης/Χαμηλής Τάσης κ.α.)	4%
Άλλα κόστη (Λοιπά έργα υποδομής, Δοκιμαστική λειτουργία, Συστήματα περιβαλλοντικής προστασίας, διαχείρισης απαερίων κ.α.)	10%

5.4.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Τα ετήσια κόστη λειτουργίας της Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας συνιστούν την τελευταία οικονομική μεταβλητή που χρήζει διερεύνησης προκειμένου να υπάρξει μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τα τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά της σχεδιαζόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 tons/year.

Ειδικότερα, η απλότητα του σχεδιασμού και η έλλειψη κινούμενων μερών των τεχνολογιών ξηρής αναερόβιας χώνευσης σαν και αυτή που έχει επιλεγεί για στο τμήμα βιολογικής επεξεργασίας της εγκατάστασης εξασφαλίζει τη διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα του κόστους συντήρησης και λειτουργίας του (O&M costs) **[52]**. Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα της εφαρμοζόμενης μεθόδου χώνευσης είναι οι χαμηλές ενεργειακές της απαιτήσεις οι οποίες υπολογίζονται σε λιγότερο από 15% του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας **[61,38,62]** και γύρω στο 20% του συνόλου της παραγόμενης θερμικής ενέργειας (θέρμανση των δεξαμενών παραγόμενων κατά την αναερόβια χώνευση στραγγισμάτων καθώς και των κελιών αναερόβιας χώνευσης), αντίστοιχα **[62,36].**

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα λειτουργικά κόστη που αφορούν τις ενεργειακές ανάγκες του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας (Utilities) θεωρούνται πολύ μικρά εξαιτίας των ιδιοκαταναλώσεων σε ηλεκτρισμό και θερμότητα **[38,63,27]**. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται και ένα είδος εξισορρόπησης των σχετικώς υψηλών δαπανών του σχετίζονται

με το απασχολούμενο στο συγκεκριμένο τμήμα λειτουργίας εργατοτεχνικό και διοικητικό προσωπικό (Labour costs and overheads) **[28,38]**. Με βάση την γραμμή τάσης που παρουσιάστηκε στην **παράγραφο 4.4**, παρουσιάζεται εν συνεχεία, στον **Πίνακα 5.8** το εκτιμώμενο λειτουργικό κόστος μονάδας βιολογικής επεξεργασίας.

Πίνακας 5.8: Εκτιμώμενο λειτουργικό κόστος μονάδας βιολογικής επεξεργασίας

Λειτουργικά κόστη (Ευρώ)	**40.000 tons/year**
Ειδικό λειτουργικό κόστος (€/ton)	38
Λειτουργικό κόστος (€)	1.520.000

5.4.2.α. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σχετικά, με τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος συμπαραγωγής ενέργειας, αυτά υπολογίζονται κοντά στα 40€/MWh_{el}. Σοβαρά υπόψη θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται και οι συχνές επιχειρήσεις των μηχανικών φορτωτών για το γέμισμα και άδειασμα των αναερόβιων και αερόβιων κελιών **[28]**. Μια σχετική μελέτη **[30]**, αναφέρει κόστη συντήρησης και λειτουργίας για τους μηχανικούς φορτωτές ίσα με 300€/day.

Επιπλέον, οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια (ιδιοκαταναλώσεις) είναι πολύ χαμηλές και αντιστοιχούν σε 6 kWh_{el}/ton, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις εταιρειών που εμπορεύονται τις πλέον σύγχρονες τεχνολογίες ξηρής-διακοπτόμενης χώνευσης **[28]**. Τέλος, τα κόστη του απασχολούμενου προσωπικού υπολογίζονται κοντά στο 30% των ετήσιων λειτουργικών δαπανών **[50]**.

Ενδεικτικά, υπολογίζεται πως σε μια ολοκληρωμένη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας στην οποία εισάγεται προ-διαλεγμένη οργανική πρώτη ύλη από υπολείμματα τροφών και πράσινα απόβλητα δυναμικότητας 10.000 tons/year, το απασχολούμενο προσωπικό ανέρχεται σε συνολικά έξι (6) άτομα εκ των οποίων τα τέσσερα (4) απασχολούνται στο λειτουργικό κομμάτι και δύο (2) στο κομμάτι της διεύθυνσης **[59]**. Με βάση την εκτίμηση αυτή, στην περίπτωση που μελετάται, υπολογίζεται ότι το προσωπικό που θα αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο τμήμα λειτουργίας της ΜΒΕ εγκατάστασης θα είναι γύρω στα 10-12 άτομα.

Με δεδομένες δε τις υποχρεώσεις και τις κρατικές συμβάσεις με τις οποίες δεσμεύεται η Δημοτική Αρχή σχετικά με το απασχολούμενο προσωπικό στον τομέα Καθαριότητας και Ανακύκλωσης, προτείνεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη στελέχωση του διοικητικού και τεχνικού προσωπικού της ΜΒΕ εγκατάστασης με υπάλληλους που ήδη εργάζονται στο Δήμο και των οποίων τα καθήκοντα θα αναβαθμιστούν. Στόχος είναι η εξοικονόμηση κόστους και η πλήρης απασχόληση τυχόν υποαπασχολούμενου προσωπικού του Δήμου.

5.4.2.β. Εκτίμηση μελέτης για τα κόστη λειτουργίας του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας (BTF) της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης για το Δήμο ΒΒΒ

Συμπερασματικά, το ειδικό κόστος λειτουργίας της Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας (τμήμα αναερόβιας χώνευσης - τμήμα κομποστοποίησης ανοικτού και κλειστού τύπου -

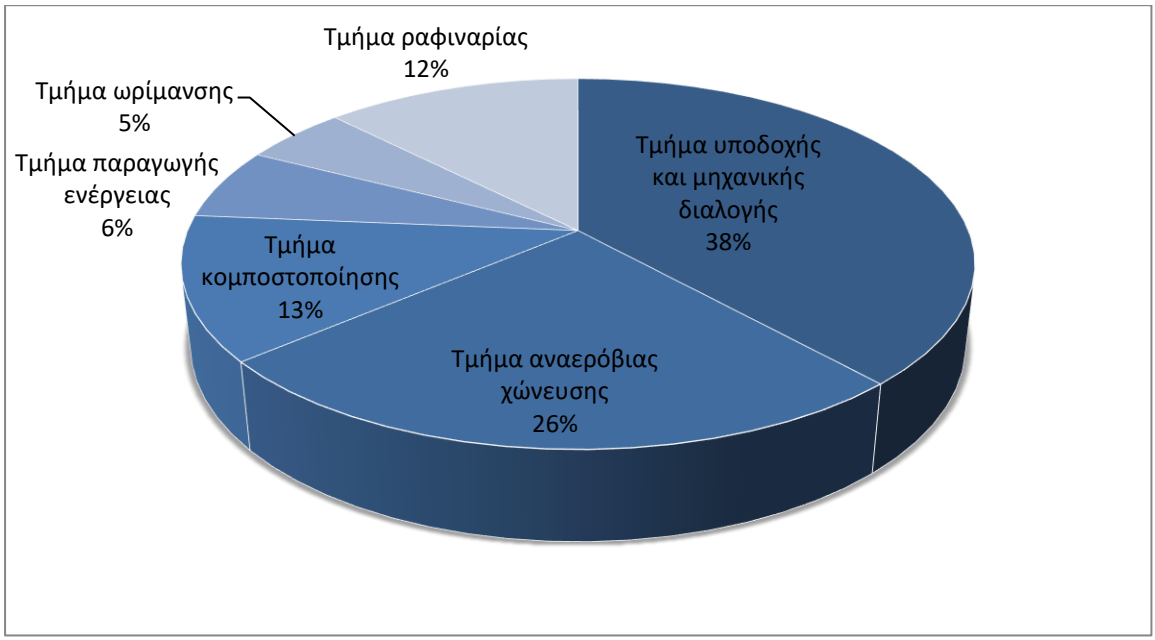
τμήμα συμπαραγωγής ενέργειας - τμήμα ραφιναρίσματος) ονομαστικής χωρητικότητας 20.000 τόνων οργανικών αποβλήτων ετησίως, θα κυμαίνεται γύρω στα 45-50€/ton.

Όπως συνέβη και για τη Μονάδα Υποδοχής και Μηχανικής Επεξεργασίας έτσι και εδώ δεν έχει επιχειρηθεί ποσοστιαίος καταμερισμός του λειτουργικού κόστους. Στην περίπτωση πάντως που οι ενεργειακές ανάγκες του συγκεκριμένου τμήματος λειτουργίας καλύπτονται μέσω ιδιοκαταναλώσεων, γίνεται αντιληπτό πως τα κόστη προσωπικού μαζί με τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας θα παίζουν τον καθοριστικότερο ρόλο στη διαμόρφωσή του λειτουργικού κόστους της Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας.

5.5. Συνολική οικονομική αποτίμηση προτεινόμενου έργου

Με βάση τα εξαχθέντα αποτελέσματα των **ενοτήτων 5.3 και 5.4** καθίσταται δυνατή η διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης εικόνας σχετικά με τα συνολικές επενδυτικές (CAPEX) και λειτουργικές (OPEX) δαπάνες της ολοκληρωμένης ΜΒΕ εγκατάστασης ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 tons/year που μελετάται για το Δήμο ΒΒΒ. Ενδεικτικά, το κόστος επένδυσης για καθένα από τα τμήματα μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας της μονάδας εκτιμάται στα 6.000.000 € και 8.000.000 € ενώ τα αντίστοιχα ετήσια κόστη λειτουργίας κοντά στα 1.000.000 € και 940.000 €.

Συνεπώς, το **καθαρό επενδυτικό κεφάλαιο** που απαιτείται για την κατασκευή του έργου θα ανέρχεται στα 14.000.000 € (**ΣΥΝΟΛΟ 1**) και θα επιμερίζεται ανά τμήμα λειτουργίας σύμφωνα με το **Διάγραμμα 2.3** που ακολουθεί:



Διάγραμμα 2.3: *Επιμερισμός (%) της καθαρής επενδυτικής δαπάνης ανά τμήμα λειτουργίας*

Στη συνέχεια, στο καθαρό επενδυτικό κεφάλαιο θα προστίθενται τόσο τα γενικά έξοδα μαζί με το εργολαβικό όφελος (**ΣΥΝΟΛΟ 2**) όσο και διάφορα απρόβλεπτα κόστη (**ΣΥΝΟΛΟ 3**). Τέλος, η **συνολική επενδυτική δαπάνη** (CAPEX) θα προκύπτει μετά και την θεώρηση ΦΠΑ ίσο με 24% επί του Συνόλου 3. Αναλυτικά, ο υπολογισμός του CAPEX της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης αποτυπώνεται στον **Πίνακα 5,9**.

Πίνακας 5.9: *Συνολική επενδυτική δαπάνη (CAPEX) ολοκληρωμένης ΜΒΕ εγκατάστασης ετήσιας ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 τόνων ΑΣΑ*

Συνολική Επενδυτική Δαπάνη (CAPEX)	Χρηματικό ποσό (€)
1. Αρχικό Κεφάλαιο	14.000.000
ΣΥΝΟΛΟ 1	14.000.000
2. Γενικά έξοδα & εργολαβικό όφελος (ΓΕ&ΟΕ) – 18% επί του αρχικού κεφαλαίου	2.520.000
ΣΥΝΟΛΟ 2	16.520.000
3. Απρόβλεπτα κόστη (Contingency) – 10% επί του αρχικού κεφαλαίου	1.400.000
ΣΥΝΟΛΟ 3	17.920.000
Φ.Π.Α = 24% επί του Συνόλου 3	4.300.800
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ *(CAPEX)*	*22.220.800€*
ΕΙΔΙΚΟ ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ *(Specific CAPEX)* Απροβλεπτα-10% γε%οε-15%	*555,5€/ton ΑΣΑ*

Με παρόμοιο τρόπο, υπολογίζεται και η **συνολική λειτουργική δαπάνη** (OPEX) της ΜΒΕ εγκατάστασης, η οποία προκύπτει αν στο καθαρό λειτουργικό κόστος που ανέρχεται στα 1.990.000€ προστεθούν αλλά γενικά και απρόβλεπτα λειτουργικά κόστη καθώς και το εργολαβικό όφελος. Αναλυτικά, ο υπολογισμός του OPEX της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης αποτυπώνεται στον **Πίνακα 5.10**.

Πίνακας 5.10: *Συνολική λειτουργική δαπάνη (OPEX) ολοκληρωμένης ΜΒΕ εγκατάστασης ετήσιας ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 τόνων ΑΣΑ* ***[53],[69],[70]***

Συνολική Λειτουργική Δαπάνη (OPEX)	Χρηματικό ποσό (€)
1. Καθαρό λειτουργικό κόστος	1.990.000
ΣΥΝΟΛΟ 1	1.990.000
2. Γενικά έξοδα και απρόβλεπτα (General expenses & contingency) – 8% επί του καθαρού λειτουργικού κόστους	159.200
ΣΥΝΟΛΟ 2	2.149.200
3. Εργολαβικό όφελος (Operator profit) – 10% επί του καθαρού λειτουργικού κόστους	199.000
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ *(OPEX)*	*2.348.200€*
ΕΙΔΙΚΟ ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ *(Specific OPEX)*	*58,7€/ton ΑΣΑ*

***Στους υπολογισμούς δεν έχουν συμπεριληφθεί αποσβέσεις**

Σημείωση: Σε αυτό το σημείο, είναι ορθό να επισημανθεί πως οι παραπάνω τιμές για το CAPEX και το OPEX της προτεινόμενης εγκατάστασης χωρητικότητας 40.000 τόνων ΑΣΑ ετησίως, μπορεί τελικώς στην περίπτωση του Δήμου ΒΒΒ να εμφανίζονται ελαττωμένες κατά 10-15%. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες του **Κεφαλαίου 2**, ο βασικός λόγος που οδηγεί στο συγκεκριμένο συμπέρασμα είναι οι ιδιαίτερα μεγάλες ποσότητας κλαδεμάτων (~10.000 τόνοι) που συλλέγονται εντός του Δήμου ΒΒΒ κατά την αποκομιδή των ΑΣΑ μέσα στο χρόνο. Το ιδιαίτερο αυτό στοιχείο αναμένεται να επιφέρει μείωση στα επενδυτικά και λειτουργικά έξοδα ιδίως στα τμήματα της μηχανικής προ-επεξεργασίας και της ραφιναρίας.

Ακολούθως, τόσο το CAPEX όσο και το OPEX της προτεινόμενης εγκατάστασης δύναται να επιμεριστούν ανάλογα με τα επιμέρους κόστη που συνθέτουν το καθένα από αυτά. Στους **Πίνακες 5.11** και **5.12** παρουσιάζεται ο επιμερισμός της συνολικής επενδυτικής (προ ΦΠΑ) και λειτουργικής δαπάνης ανά κέντρο κόστους τόσο υπό τη μορφή χρηματικών ποσών όσο και με τη μορφή ποσοστών.

Πίνακας 5.11: *Επιμερισμός συνολικής επενδυτικής δαπάνης (CAPEX)*

Περιγραφή είδους επενδυτικής δαπάνης	**(€)**	**(%)**
1. Εξοπλισμός επεξεργασίας ΑΣΑ	6.545.455	36,53
2. Έργα βιοαερίου	545.455	3,04
3. Έργα περιβαλλοντικής προστασίας	484.848	2,71
4. Έργα Η/Μ εγκαταστάσεων	533.333	2,98
5. Έργα υποδομής	557.576	3,11
6. Έργα Π/Μ	5.090.909	28,41
7. Δοκιμαστική λειτουργία	242.424	1,35
8. Γενικά έξοδα και εργολαβικό όφελος	2.520.000	14,06
9. Απρόβλεπτα	1.400.000	7,81
ΣΥΝΟΛΟ (χωρίς ΦΠΑ)	17.920.000	100
ΣΥΝΟΛΟ (με ΦΠΑ)	22.220.800	124

Πίνακας 5.12:*Επιμερισμός συνολικής λειτουργικής δαπάνης (OPEX)*

Περιγραφή είδους λειτουργικής δαπάνης	**(€)**	**(%)**
1.Κόστη προσωπικού	690.950	29,42
Σύνολο 1	***690.950***	***29,42***
2.Κόστη συντήρησης και λειτουργίας	402.577	17,14
Σύνολο 2	***402.577***	***17,14***
3. Ενεργειακές ανάγκες		
3α. Ηλεκτρισμός	525.021	22,36
3β. Καύσιμα	147.619	6,29
3γ. Νερό	2.060	0,09
Σύνολο 3	***674.700***	***28,74***
4. Άλλα αναλώσιμα υλικά	48.978	2,09
Σύνολο 4	***48.978***	***2,09***
5. Υπηρεσίες λειτουργίας		
5α. Περιβαλλοντική ανάλυση	32.957	1,40
5β. Χημικές ουσίες καθαρισμού	10.757	0,46
5γ. Διαχείριση στραγγισμάτων	14.419	0,61
5δ. Ασφαλιστική κάλυψη	30.210	1,29
5ε. Ασφάλεια	84.452	3,60
Σύνολο 5	***172.795***	***7,36***
6. Γενικά έξοδα και όφελος		
6α. Γενικά έξοδα & απρόβλεπτα	159.200	6,78
6β. Εργολαβικό όφελος	199.000	8,47
Σύνολο 6	***358.200***	***15,25***
ΣΥΝΟΛΟ	*2.348.200*	*100*

5.5.1 Έλεγχος ορθότητας αποτελεσμάτων

Σε αυτήν την υποενότητα επιχειρείται η **αντιπαραβολή των εξαγόμενων αποτελεσμάτων** με αντίστοιχες εκτιμήσεις που καταγράφονται σε διάφορες βιβλιογραφικές πηγές σχετικά με τα κόστη παρεμφερών εγκαταστάσεων με αυτή που σχεδιάζεται για λογαριασμό του Δήμου ΒΒΒ.

Ειδικότερα, ο De Mes και η ομάδα του (2003) στην εργασία τους αναφέρουν ενδεικτικά εύρη τιμών τόσο για τα επενδυτικά όσο και για τα λειτουργικά κόστη ολοκληρωμένων εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης είτε προ-διαλεγμένων οργανικών είτε του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ που έχει διαχωριστεί προηγουμένως με μηχανικό τρόπο από το υπόλοιπο ετερογενές μίγμα αποβλήτων **[31]**.

Στην πρώτη περίπτωση (SS-MSW), αναφέρονται ειδικά επενδυτικά κόστη που κυμαίνονται από 596-230 €/ton για δυναμικότητες από 10.000-100.000 tons/year ενώ για την δεύτερη περίπτωση (mixed waste separated at the plant) παρατηρείται μια προσαύξηση των αντίστοιχων τιμών, που εκτείνονται μεταξύ 648-249 €/ton, εξαιτίας του αρχικού σταδίου της μηχανικής διαλογής που θα λαμβάνει χώρα εντός της μονάδας **[31]**.

Παρατήρηση 1: Γίνεται αντιληπτό πως αν τα παραπάνω εύρη δαπανών για μονάδες μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ προσαρμοστούν (μέσω τις μεθόδου της γραμμικής παρεμβολής) σε δυναμικότητες τάξης μεγέθους παρόμοιας με αυτή που εξετάζεται για το Δήμο ΒΒΒ, το τελικό αποτέλεσμα προσομοιάζει σε σημαντικό βαθμό με τα εξαγόμενα αποτελέσματα της μελέτης. Η μόνη υποσημείωση που μπορεί να γίνει είναι πως τα επενδυτικά κόστη στη μελέτη (βλ. Πίνακα 12) εμφανίζονται ελάχιστα μικρότερα όταν στους υπολογισμούς δεν συμπεριλαμβάνεται ΦΠΑ (448€/ton έναντι 515€/ton) και αντιθέτως ελάχιστα αυξημένα όταν στους υπολογισμούς έχει συμπεριληφθεί και ο ΦΠΑ (555€/ton έναντι 515€/ton).Υπενθυμίζεται ότι το ειδικό κόστος επένδυσης μειώνεται όσο αυξάνεται η δυναμικότητα της μονάδας.

Επιπρόσθετα, σε επικοινωνία με διάφορες εγχώριες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον ενεργειακή αξιοποίηση των αστικών απορριμμάτων, επαληθεύτηκε πως μια ολοκληρωμένη ΜΒΕ εγκατάσταση με δυνατότητες συμπαραγωγής ενέργειας και ετήσια δυνατότητα επεξεργασίας 40.000 τόνων ΑΣΑ θα κοστίσει κοντά στα 20.000.000€ (ή 500€/ton εισερχόμενων αποβλήτων) ενώ το κόστος λειτουργίας θα κυμαίνεται κοντά στα 50-55€/ton, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη αποσβέσεις.

Εξάλλου, Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) παρόμοιας δυναμικότητας (40.000 tons/year) και λειτουργίας με αυτή που μελετάται για το δήμο ΒΒΒ, κατασκευάζεται αυτή τη στιγμή στην περιοχή της Θήβας του Νομού Βοιωτίας, υπό την επίβλεψη της WATT SA , με το συνολικό κόστος για την κατασκευή της να υπολογίζεται ότι θα αγγίξει τα 20.000.000€ ενώ το κόστος λειτουργίας της προσδιορίζεται πολύ συντηρητικά κοντά στα 50€/ton εισερχόμενου ΑΣΑ (χωρίς αποσβέσεις). Ταυτόχρονα, αντίστοιχη μονάδα διπλάσιας ονομαστικής χωρητικότητας (80.000 tons/year) κατασκευάζεται στην Ηλεία, υπό την επίβλεψη της Mesogeos SA **[58]**.Το συνολικό αρχικό κεφάλαιο για την κατασκευή της ολοκληρωμένης αυτής εγκατάστασης ανέρχεται στα 29.000.000 - 31.000.000€ (χωρίς Φ.Π.Α)

ενώ το ειδικό λειτουργικό κόστος στα 38-39€/ton ΑΣΑ [49]. Ο συνολικός δε προϋπολογισμός για το συγκεκριμένο έργο έχει υπολογιστεί στα 39.000.000€.

Σε όλες τις παραπάνω ΜΒΕ εγκαταστάσεις περιλαμβάνονται τμήματα i) μηχανικής προ-επεξεργασίας των σύμμεικτων αποβλήτων, ii) ξηρής-διακοπτόμενης αναερόβιας χώνευσης του μηχανικά διαχωρισμένου οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, iii) μετα-κομποστοποίησης μέρους του χωνεμένου στερεού υπολείμματος, iv) ραφιναρίας του παραγόμενων εδαφικών υλικών, v) παραγωγής ενέργειας καθώς και vi) χώρος για τα υπολείμματα εκείνα που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν με κανένα τρόπο και οδηγούνται προς ταφή [49].

Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως πρόσφατα αποφασίστηκε η χρηματοδότηση αντίστοιχου έργου ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων στην Αλεξανδρούπολη, εκτιμώμενης συνολικής αξίας 28.214.384,16€ (προϋπολογισμός έργου χωρίς ΦΠΑ). Η Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων θα αποτελείται και αυτή από το σύνολο των τμημάτων λειτουργίας που αναφέρθηκαν παραπάνω ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το παραγόμενο βιοαέριο θα πραγματοποιείται σε υπο-μονάδα ισχύος 600 kW.

Η συνολική ποσότητα αποβλήτων που θα οδηγείται ετησίως στη μονάδα είναι 44.826 τόνοι εκ των οποίων ένα μέρος θα είναι προ-διαλεγμένα βιοαπόβλητα (5.971 τόνοι) και αφορά εξυπηρετούμενο πληθυσμό 200.000 κατοίκων όλων των Δήμων της ΠΕ Ροδόπης και των Δήμων Σουφλίου και Αλεξανδρούπολης της ΠΕ Έβρου.

Πίνακας 5.13: *Προϋπολογισμοί παρόμοιων μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων (ΜΕΑ)* [64], [65],[66]

ΜΕΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ (tonnes/year)	ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ (€)
1. Ν. Βοιωτίας	40.000	21.445.336,51
2. Ν. Ηλείας	80.000	39.000.000
3. Ν. Αλεξανδρούπολης	45.000	28.214.384,16
4. Ν. Σερρών	63.000	36.200.000

Παρατήρηση 2: Τα παραπάνω δεδομένα κατασκευαστικού και λειτουργικού κόστους φανερώνουν και αυτά έναν πολύ ικανοποιητικό βαθμό ρεαλιστικότητας για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας που έχουν προβλεφθεί από τη μελέτη για την πρότυπη εγκατάσταση διαχείρισης ΑΣΑ που προτείνεται για το δήμο ΒΒΒ, ετήσιας δυναμικότητας ίσης με 40.000 tons/year. Η ΜΕΑ της Αλεξανδρούπολης μάλιστα ομοιάζει σημαντικά με την υπό μελέτη εγκατάσταση μιας και θα δέχεται ποσότητες αστικών αποβλήτων και προ-διαλεγμένων οργανικών παρόμοιες με αυτές που εκτιμώνται στην περίπτωση του Δήμου ΒΒΒ. Επομένως, η συγκεκριμένη ΜΕΑ κρίνεται ότι μπορεί να λειτουργήσει και σαν ένα είδος υποδείγματος για τη Δημοτική Αρχή ως προς τις επιμέρους δαπάνες που αναμένεται να απαιτηθούν για την υλοποίηση ενός αντίστοιχου έργου εντός της ευρύτερης περιοχής της Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης.

Επιπλέον, είναι αναμενόμενο τα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη μονάδων μεγαλύτερης ονομαστικής χωρητικότητας να ανέρχονται σε υψηλότερα επίπεδα. Για παράδειγμα, η ΜΒΕ

εγκατάσταση στην Ηλεία είναι σχεδιασμένη ώστε να δέχεται ετήσια ποσότητα αστικών απορριμμάτων 2 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του δήμου ΒΒΒ. Η τεχνική αυτή παράμετρος μεταφράζεται σε αρκετά μεγαλύτερα χρηματικά ποσά (€) όσον αφορά το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο και το ετήσιο κόστος λειτουργίας αλλά και σε αρκετά μικρότερα ειδικά επενδυτικά και λειτουργικά κόστη (€/ton εισερχόμενου ΑΣΑ).

Συγκεντρωτικά, όλα συνηγορούν στο συμπέρασμα πως τα εξαχθέντα νούμερα για τις επενδυτικές και λειτουργικές δαπάνες της προτεινόμενης για το δήμο ΒΒΒ εγκατάστασης ετήσιας δυναμικότητας 40.000 τόνων ΑΣΑ κινούνται προς τη σωστή κατεύθυνση, αποτυπώνοντας με αρκετά καλή ακρίβεια τις οικονομικές απαιτήσεις που θα χαρακτηρίζουν ένα τέτοιου είδους έργο ενεργειακής αξιοποίησης αστικών αποβλήτων που υποστηρίζει δυνατότητες τόσο μηχανικής όσο και βιολογικής επεξεργασίας τους.

5.6. Ετήσια έσοδα

5.6.1 Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο

Η **τιμολόγηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας** από την προτεινόμενη ΜΒΕ εγκατάσταση γίνεται με βάση το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα που αφορά την παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε).Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με το Νόμο 4414/2016 (ΦΕΚ Α' 149/9-8-2016), η τιμή πώλησης για ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από μονάδες αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ είναι εγγυημένη και ανέρχεται είτε σε 129 €/MWh_{el} για συνολική εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των 2MW είτε σε 106 €/MWh_{el} για εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 2MW **[67]**.

Στον **Πίνακα 5.14** αναφέρονται όλες οι ισχύουσες τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ. Επισημαίνεται πως για τη θερμική ενέργεια δεν προβλέπονται δυνατότητες πώλησής της στην ισχύουσα νομοθεσία.

Πίνακας 5.14: *Τιμολόγηση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ (€/MWh_{el})*

Μέθοδος Επεξεργασίας ΑΣΑ	Κατηγορία με βάση την ισχύουσα ελληνική νομοθεσία	Τιμολόγηση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh_{el})
Αποτέφρωση/ Αεριοποίηση βιοαποδομήσιμου κλάσματος ΑΣΑ	*«Λοιπές ΑΠΕ εκτός Φωτοβολταϊκών (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων μη εντασσόμενων σε άλλη κατηγορία του πίνακα, που πληρούν τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως εκάστοτε αυτές ισχύουν»*	90

Αναερόβια Χώνευση οργανικού κλάσματος ΑΣΑ	*«Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων και την οργανική ίλη/λάσπη βιολογικών καθαρισμών και αξιοποιούνται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 2MW»*	129
	«Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων και την οργανική ίλη/λάσπη βιολογικών καθαρισμών και αξιοποιούνται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ > 2MW»	106

Με βάση τα επίπεδα της εγκατεστημένης ισχύς που υπολογίστηκαν για την υπό μελέτη εγκατάσταση και τα οποία θα είναι λίγο μεγαλύτερα από 250kW$_{el,}$, η τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο της Δ.Ε.Η θα είναι ίση με 129 €/MWh. Με δεδομένο ότι το 10% περίπου αυτής θα χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση ιδιοκαταναλώσεων εντός της μονάδας, τα ετήσια έσοδα που θα προέρχονται από την πώληση της υπόλοιπης ποσότητας (90%) θα ανέρχονται στα 243.810€.

$$0{,}9 \times 2100\,MWh_{el} \times 129€/MWh_{el} = 243.810\ €$$

5.6.2 Έσοδα από την πώληση των ανακυκλώσιμων υλικών

Στον **Πίνακα 5.15** παρουσιάζονται τα εκτιμώμενα **επίπεδα ανάκτησης για καθένα από τα ανακυκλώσιμα υλικά** που εμπεριέχεται εντός των σύμμεικτων οικιακών αποβλήτων που θα συλλέγονται ετησίως από τους πράσινους/γκρι κάδους του Δήμου ΒΒΒ (περίπου 15.875 τόνοι) και θα οδηγούνται προς επεξεργασία στη ΜΒΕ μονάδα. Τα αποτελέσματα που ακολουθούν είναι απόρροια του **ισοζυγίου μάζας** που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της μελέτης για το στάδιο μηχανικής προ-επεξεργασίας των οικιακών απορριμμάτων και με την παραδοχή ότι το πρόσφατα εφαρμοζόμενο εντός του Δήμου πρόγραμμα ΔσΠ για τα οργανικά θα έχει ωριμάσει και ένα μέρος των οργανικών που μέχρι πρότινος κατέληγε στους πράσινους/γκρι κάδους θα καταλήγει πλέον στους αντίστοιχους καφέ.

Πίνακας 5.15: *Επίπεδα ανάκτησης ανακυκλώσιμων υλικών σε τόνους*

Ανακτηθέντα υλικά	Ποσότητα ανάκτησης (tons/year)
Χαρτί	772,78
Πλαστικό	615,13
Σιδηρούχα μέταλλα	416,33
Μη σιδηρούχα μέταλλα	138,77
Γυαλί	0
ΣΥΝΟΛΟ	*1943,01*

Έπειτα, οι **τιμές πώλησης των ανακτηθέντων υλικών** στις βιομηχανίες ανακύκλωσης λαμβάνονται σύμφωνα με τον **Πίνακα 5.16** : **[73]**

Πίνακας 5.16: *Τιμές πώλησης των ανακτηθέντων υλικών στις βιομηχανίες ανακύκλωσης* ***[68]***

Ανακτηθέντα υλικά	Τιμή Πώλησης (€/ton)
Χαρτί	100
Πλαστικό	280
Σιδηρούχα μέταλλα	125
Μη σιδηρούχα μέταλλα	1000
Γυαλί	40
Ξύλο	20

Με βάση τους δύο παραπάνω πίνακες προκύπτει ο τελικός **Πίνακας 5.17** που συγκεντρώνει τα ετήσια έσοδα που προέρχονται από την πώληση των ανακτηθέντων υλικών στην αγορά ανακύκλωσης και τα οποία στο σύνολό τους ισούνται με 440.326€. Οφείλεται να επισημανθεί πως οι ακριβείς δυνατότητες εμπορικής αξιοποίησης κάθε υλικού εξαρτώνται άμεσα από τη ζήτηση και τις συνθήκες που επικρατούν ανά περίοδο στην αγορά. Αυτό σημαίνει ότι τα παρακάτω αποτελέσματα είναι πολύ πιθανό να χαρακτηρίζονται από σημαντική μεταβλητότητα μιας και πχ. μπορεί οι βιομηχανίες ανακύκλωσης να θεωρούν το ανακτώμενο χαρτί πολύ χαμηλής ποιότητας για να το αγοράσουν.

Πίνακας 5.17: *Ετήσια έσοδα από την πώληση των ανακτηθέντων υλικών*

Ανακτηθέντα υλικά	Ετήσια έσοδα (€)
Χαρτί	77.278
Πλαστικό	172.236
Σιδηρούχα μέταλλα	52.041
Μη σιδηρούχα μέταλλα	138.770
Γυαλί	0
ΣΥΝΟΛΟ	*440.326*

5.7. Υπολογισμός καθαρού ετήσιου κόστους (Net Annual Cost)

Μετά τον προσδιορισμό όλων των εξόδων και των εσόδων που θα απορρέουν από μια ΜΒΕ μονάδα σαν και αυτή που προτάθηκε για την εναλλακτική διαχείριση των ΑΣΑ του Δήμου ΒΒΒ, μπορεί πλέον να εξαχθεί το ζητούμενο από την αρχή του Κεφαλαίου 2 μέγεθος που δεν είναι άλλο από το «**καθαρό ετήσιο κόστος**». Στην ουσία, το μέγεθος αυτό είναι που περιγράφει τις συνολικές οικονομικές ανάγκες της μονάδας ανοιγμένες σε ετήσια βάση μιας και πέρα από τις επενδυτικές (CAPEX) και λειτουργικές (OPEX) δαπάνες λαμβάνει υπόψη και τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας και των ανακυκλώσιμων υλικών.

Στον **Πίνακα 5.18** παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός του καθαρού ετήσιου κόστους (net annual cost) της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης. Υπενθυμίζεται ότι το τελικό

αποτέλεσμα αναμένεται ακόμα πιο βελτιωμένο μιας και στην παρούσα μελέτη έχουν αγνοηθεί τόσα τα έσοδα από την πώληση του κομπόστ όσο και από την είσπραξη από τους διαχειριστές της μονάδας του τέλους εισόδου που θα πληρώνει ο παραγωγός των απορριμμάτων, δηλαδή ο Δήμος ΒΒΒ.

Πίνακας 5.18: *Υπολογισμός ετήσιου καθαρού κόστους μονάδας Δήμου ΒΒΒ*

	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
ΈΞΟΔΑ		
1.α Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800	€
1.β Ετήσια επενδυτική δαπάνη (Annuity)	2.262.216	€/year
2. Ετήσια λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200	€/year
Σύνολο 1	*4.610.416*	€/year
ΈΣΟΔΑ		€/year
3. Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810	€/year
4. Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326	€/year
Σύνολο 2	*684.136*	€/year
Καθαρό ετήσιο κόστος = (Σύνολο 1 - Σύνολο 2)	3.926.280	€/year
Ειδικό καθαρό ετήσιο κόστος = (Καθαρό ετήσιο κόστος) / (ονομαστική χωρητικότητα)	98,16	€/ton

Σημείωση: Το παραπάνω αποτέλεσμα επιβεβαιώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό και από τη σχετική βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, στη μελέτη των De Mes et al. (2003) αναφέρεται πως το καθαρό ετήσιο κόστος για μονάδες παρόμοιες με αυτή που μελετάται για το Δήμο ΒΒΒ θα κυμαίνεται στα 116-54€/ton για ονομαστικές χωρητικότητες 10.000-100.000 tons/year, αντίστοιχα. Εφαρμόζοντας γραμμική παρεμβολή, υπολογίζεται πως για μια ΜΒΕ μονάδα ετήσιας δυναμικότητας 40.000 tons/year, το καθαρό ετήσιο κόστος ισούται με 95,33€/ton. Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως οι αντίστοιχες τιμές για επεξεργασία αποκλειστικά προ-διαλεγμένων οργανικών εμφανίζονται μειωμένες μιας και κυμαίνονται στα 92-39€/ton, ένα εύρος τιμών που για μονάδα χωρητικότητας 40.000 tons/year μεταφράζεται σε 74,33 €/ton.

6. Διαμόρφωση του νέου κόστους αποκομιδής ΑΣΑ στο Δήμο ΒΒΒ

6.1 Βασική μεθοδολογία

Μετά τον υπολογισμό βασικών οικονομικών μεγεθών του υπό μελέτη έργου όπως είναι το κατασκευαστικό, το λειτουργικό αλλά και το καθαρό ετήσιο κόστος του, μέσω του οποίου συνεκτιμούνται και τα ετήσια έσοδα της μονάδας, επιχειρείται ο **επαναπροσδιορισμός του ετήσιου κόστους αποκομιδής των σύμμεικτων αποβλήτων του Δήμου ΒΒΒ** μιας και η μεταβολή τους θα αποτελεί άμεσο επακόλουθο του εναλλακτικού σεναρίου διαχείρισης των σύμμεικτων δημοτικών αποβλήτων σε μια ΜΒΕ εγκατάσταση μικρής κλίμακας σαν και αυτή που εξετάζεται.

Σε αυτό το σημείο, οφείλεται να επισημανθεί ότι εκτός απροόπτου η Δημοτική Αρχή δεν θα επιβαρυνθεί οικονομικά από την κατασκευή της ΜΕΑ μιας και η εμπειρία από παρόμοιου είδους έργα στην Ελλάδα δείχνει ότι αυτά γίνονται υπό τη μορφή Σύμβασης Δημόσιου - Ιδιωτικού Τομέα (**Σ.Δ.Ι.Τ**), στην οποία η Αναθέτουσα Αρχή (ο Δήμος ΒΒΒ στην προκειμένη περίπτωση), συμμετέχει στο πρόγραμμα χρηματοδότησης μέσω αξιοποίησης εθνικών και κοινοτικών κονδυλίων (**ΕΣΠΑ**) προς προώθηση των στόχων του εθνικού σχεδιασμού διαχείρισης αποβλήτων (βλ. Κεφάλαιο 1). Σε περίπτωση που απαιτείται η καταβολή επιπλέον χρηματικού ποσού πέραν του ΕΣΠΑ, αυτό θα καλύπτεται από τον Ιδιωτικό Φορέα Σύμπραξης (**ΙΦΣ**) που θα αποτελεί και τον προσωρινό ανάδοχο του έργου.

Με δεδομένη λοιπόν τη λειτουργία της προτεινόμενης ΜΕΑ, οι επιμέρους δαπάνες που αναμένεται να επιβαρύνουν τη Δημοτική Αρχή αφορούν αφενός i) τη συλλογή και μεταφορά του συνόλου των σύμμεικτων απορριμμάτων στη μονάδα και αφετέρου ii) την εναπόθεση στο ΧΥΤΑ των υπολειμμάτων/ RDF που παράγονται κατά τα στάδια μηχανικού διαχωρισμού των ΑΣΑ στην αρχή και στο τέλος των διαδικασιών επεξεργασίας στην εγκατάσταση, μαζί με τα ογκώδη και το υπόλειμμα που επιστρέφεται από το ΚΔΑΥ. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο Κεφάλαιο, ο Δήμος ΒΒΒ θα πληρώνει λογικά και ένα iii) τέλος εισόδου (gate fee) στους διαχειριστές της μονάδας για την επεξεργασία του συνόλου των απορριμμάτων του εντός αυτής, το οποίο θα διαμορφώνεται με βάση τον τρόπο χρηματοδότησης του έργου.

Πίνακας 6.1: *Τρόπος υπολογισμού ετήσιου κόστους αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ στο Δήμο ΒΒΒ*

ΝΕΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΚΟΜΙΔΗΣ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΣΑ
=
ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΣΑ ΣΤΗ ΜΕΑ (€)
+
ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΤΟ ΧΥΤΑ (€)

Συνοπτικά, ο υπολογισμός του νέου συνολικού κόστους αποκομιδής που θα απορρέει σε ετήσια βάση από την εφαρμογή της προτεινόμενης εναλλακτικής διαχείρισης των σύμμεικτων αποβλήτων του Δήμου ΒΒΒ θεωρείται πολύ σημαντικός προκειμένου να γίνει στη συνέχεια η σύγκρισή του με το υφιστάμενο κόστος διαχείρισης τους που είναι βασισμένο στην συμβατική πρακτική της ταφής τους στο ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων και το οποίο αναμένεται να εκτιναχθεί με την επιβολή του ειδικού τέλους ταφής στο άμεσο μέλλον (Ν. 4042/2012, Άρθρο 43).
Με άλλα λόγια θα εξετάζονται συγκριτικά **δύο βασικά σενάρια**: ένα που θέλει το Δήμο ΒΒΒ να εξακολουθεί και μελλοντικά να εφαρμόζει την συμβατική πρακτική της διάθεσης των σύμμεικτων απορριμμάτων του στο ΧΥΤΑ της Φυλής και το άλλο που υποθέτει την υιοθέτηση εναλλακτικού σχεδίου δράσης μέσω της λειτουργίας της μελετώμενης ΜΒΕ εγκατάστασης στην ευρύτερη περιοχή.

6.2 Παραδοχές και επισημάνσεις

Η πρώτη και βασική παραδοχή είναι ότι όλα τα υπολείμματα των διεργασιών μηχανικού διαχωρισμού που λαμβάνουν χώρα τόσο στο στάδιο προ-επεξεργασίας όσο και στο στάδιο της ραφιναρίας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης θα καταλήγουν στο ΧΥΤΑ με την διάθεσή τους να επιβαρύνει το Δήμο ΒΒΒ. **(Παραδοχή 1)**

Ειδικότερα, υπάρχει η δυνατότητα το παραγόμενο υπόλειμμα στην περίπτωση που συνιστά ένα δευτερογενές καύσιμο τύπου RDF με υψηλή περιεκτικότητα σε χαρτί και πλαστικό να βρει εμπορική χρήση ως καύσιμο υλικό σε εγχώριες τσιμεντοβιομηχανίες ή εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας **[20,21]**. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι η αποτέφρωση του σε εγκαταστάσεις ειδικά σχεδιασμένες για το σκοπό αυτό, με την πρακτική αυτή να είναι μεν πολύ συνηθισμένη κυρίως λόγου του ότι προσφέρει ανεξαρτησία από τις τάσεις της αγοράς των στερεών καυσίμων αλλά να αυξάνει τα συνολικά κόστη επένδυσης και λειτουργίας **[46]**. Παρά ταύτα και με βάση τις συνθήκες που έχουν διαμορφωθεί στην εγχώρια αγορά για τα προερχόμενα από την επεξεργασία στερεών αποβλήτων δευτερογενή καύσιμα, τα παραπάνω ενδεχόμενα δεν συγκεντρώνουν παρά ελάχιστες πιθανότητες.

Αξίζει να σημειωθεί πως η Ευρωπαϊκή Ένωση Εταιρειών Θερμικής Επεξεργασίας Αποβλήτων (EURITS) έχει εκδώσει συγκεκριμένα ποιοτικά κριτήρια που πρέπει να πληρούνται για τη συναποτέφρωση RDF/SRF στην τσιμεντοβιομηχανία **[69]**, με τους εκπροσώπους όμως των τσιμεντοβιομηχανιών να θεωρούν τις τιμές αυτές πολύ αυστηρές και ειδικότερα αυτές που αναφέρονται στη θερμογόνο δύναμη του υλικού (15 MJ/Kg). Σύμφωνα άλλωστε με την ευρωπαϊκή εμπειρία, μόνο το RDF που προέρχεται από ΑΣΑ που υφίστανται ΔσΠ ικανοποιεί τις απαιτήσεις της EURITS μιας και εμφανίζει μέση θερμογόνο δύναμη της τάξης των 20-23 MJ/kg. Αντίθετα, η θερμογόνος ικανότητα τόσο του RDF των σύμμεικτων ΑΣΑ (13-15 MJ/kg) όσο και του RDF από μη επεξεργασμένα ΑΣΑ (8-11 MJ/kg) δεν πληροί τις αντίστοιχες προδιαγραφές για χρήση του παραγόμενου RDF ως δευτερογενούς καυσίμου στην τσιμεντοβιομηχανία **[46]**.

Επιπλέον, το υλικό τύπου κομπόστ (CLO) που θα παράγεται από τη μονάδα θα καταλήγει και αυτό στο ΧΥΤΑ μιας και η αγορά δεν είναι ακόμα ώριμη για την απορρόφηση CLO προερχόμενου από αστικά απορρίμματα, ως εδαφοβελτιωτικού για γεωργικές χρήσεις, πόσο μάλλον από τη στιγμή που η ευρωπαϊκή προσέγγιση για την προστασία του εδάφους είναι πολύ αυστηρή. **(Παραδοχή 2)**

Ταυτόχρονα, οι ακριβείς προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται για την αξιοποίηση του υλικού αυτού σε διάφορες άλλες χρήσεις συνεχίζουν να είναι θολές, με αποτέλεσμα οι προοπτικές αξιοποίησης του CLO να περιορίζονται σήμερα σε εφαρμογές που είτε αποφέρουν χαμηλά έσοδα, είτε έχουν μηδενική εισφορά, είτε δημιουργούν έξοδα (υλικό επικάλυψης, αποκαταστάσεις χώρων). Δεδομένου του ότι η αποζημίωση του τελικού αποδέκτη του υλικού είναι συνήθως απαραίτητη για διάφορες χρήσεις όπως στη δασοκομία και τα τεχνικά έργα, η λύση αυτή είναι επιθυμητή μόνο εφόσον η ζητούμενη αποζημίωση είναι χαμηλότερη από το κόστος διάθεσης του υλικού σε ΧΥΤΑ, η οποία θα αποτελεί και την μοναδική εναλλακτική λύση για τη διαχείριση του CLO.

6.3. Δείκτες αποκομιδής σύμμεικτων απορριμμάτων

Εντός του Τοπικού Σχεδίου Δράσης για τη διαχείριση των απορριμμάτων του Δήμου ΒΒΒ αναπτύσσονται κατάλληλοι μοναδιαίοι δείκτες (€/ton) για κάθε μια από τις επιμέρους κατηγορίες κόστους αποκομιδής των σύμμεικτων απορριμμάτων **[17]**. Οι δείκτες αυτοί επικαιροποιήθηκαν πρόσφατα από τη Διεύθυνση Καθαριότητας και Ανακύκλωσης του Δήμου, παίρνοντας τις τιμές που φαίνονται στον **Πίνακα 6.2**.

Πίνακας 6.2: *Ειδικά κόστη (€/ton) κατά τις διαδικασίες αποκομιδής σύμμεικτων απορριμμάτων*

Δείκτες κόστους για αποκομιδή σύμμεικτων ΑΣΑ	Κατηγορία κόστους	Μοναδιαία Τιμή (€/ton)
ΜΚΚΤ	άμεσο	6,83
ΜΣΚΚΤ	άμεσο	10,00
ΕΤ	άμεσο	49,00
ΚΣΤ	άμεσο	7,81
ΚΕ	άμεσο	15,63
ΚΠ	έμμεσο	93,75

όπου:

- Μοναδιαίο Κόστος Καυσίμου ανά τόνο - **(ΜΚΚΤ)**
- Μοναδιαίο Συνολικό Κόστος Καυσίμου ανά τόνο **- (ΜΣΚΚΤ)**
- Κόστος Εισφοράς ΕΣΔΝΑ ανά τόνο - **(ΕΤ)**
- Κόστος Συντήρησης οχημάτων αποκομιδής ανά τόνο - **(ΚΣΤ)**
- Κόστος επενδύσεων (απορριμματοφόρα, μηχανήματα έργου, πράσινοι/γκρι και καφέ κάδοι) - **(ΚΕ)**
- Κόστος προσωπικού - **(ΚΠ)**

Επισημαίνεται πως ο δείκτης καυσίμων **(ΜΚΚΤ)** αφορά αποκλειστικά τις διαδρομές που ακολουθούνται για την μεταφορά των συλλεχθέντων σύμμεικτων απορριμμάτων από το Δήμο στο ΧΥΤΑ ενώ ο δείκτης **(ΜΣΚΚΤ)** περικλείει και τις διαδρομές για την συλλογή τους εντός του Δήμου **[17]**.

6.4 Συμβατικό σενάριο: Ταφή σύμμεικτων αποβλήτων Δήμου ΒΒΒ στο ΧΥΤΑ της Φυλής

6.4.1 Το υφιστάμενο κόστος αποκομιδής και η μεταβολή αυτού στο μέλλον

Προσθέτοντας τους άμεσους και έμμεσους δείκτες που αναφέρονται στον **Πίνακα 6.2** του προηγηθέντος υποκεφαλαίου είναι δυνατόν να εξαχθεί ο αντίστοιχος μοναδιαίος δείκτης **(ΜΣΚ)** που εκφράζει το συνολικό κόστος με το οποίο επιβαρύνεται σήμερα ο Δήμος ΒΒΒ για τη συλλογή, μεταφορά και εναπόθεση των σύμμεικτων απορριμμάτων του στο ΧΥΤΑ της Φυλής. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης ΜΣΚ υπολογίζεται ως εξής:

(ΜΣΚ) = (ΜΣΚΚΤ) + (ΕΤ) + (ΚΣΤ) + (ΚΕ) + (ΚΠ) = 10,00 + 49,00 + 7,81 + 15,63 + 93,75 = 176,19 €/ton σύμμεικτων αποβλήτων

Πολλαπλασιάζοντας τον παραπάνω μοναδιαίο συντελεστή με την ετήσια ποσότητα παραγωγής σύμμεικτων αποβλήτων (οικιακά - κλαδέματα - ογκώδη) εντός του Δήμου ΒΒΒ η οποία συνήθως κυμαίνεται κοντά στους 32.000 τόνους προκύπτει κατά προσέγγιση η *ετήσια δαπάνη αποκομιδής τους*, η οποία θα ισούται με 5.638.080 €.

Με βάση ωστόσο την ισχύουσα νομοθεσία, από το επόμενο έτος (2019), η παραπάνω δαπάνη αναμένεται αρκετά αυξημένη μιας και προβλέπεται η επιβολή ειδικού τέλους ταφής με τιμή αφετηρίας τα 35 €/ton **[8,10,11]**. Μάλιστα, η τιμή αυτή δεν παραμένει σταθερή αλλά αντίθετα προσαυξάνεται κατά 5 €/ton ετησίως μέχρι και το έτος 2024 όταν και θα ισούται με 60 €/ton. Από τη χρηματική αυτή επιβάρυνση θα εξαιρούνται τα υπολείμματα των διεργασιών επεξεργασίας που θα διατίθενται σε Χώρο Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤ) **[8]**.

Συνεπώς, για την **περίοδο 2019-2024**, υπολογίζονται τα ειδικά κόστη ταφής του **Πίνακα 6.3**, τα οποία θα αναδιαμορφώνουν αντιστοίχως και την ετήσια εισφορά υπέρ ΕΣΔΝΑ.

Πίνακας 6.3: *Ειδικά τέλη ταφής για την περίοδο 2019-2024 και η αντίστοιχη διαμόρφωση του κόστους διάθεσης (τέλος ΕΣΔΝΑ) ανά έτος*

Έτος	Ειδικό τέλος ταφής	Εισφορά υπέρ ΕΣΔΝΑ
2019	35 €/ton	84 €/ton
2020	40 €/ton	89 €/ton
2021	45 €/ton	94 €/ton
2022	50 €/ton	99 €/ton
2023	55 €/ton	104 €/ton
2024	60 €/ton	109 €/ton

Με άλλα λόγια, το ειδικό κόστος διάθεσης των ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ Φυλής θα λαμβάνεται ίσο με 49 €/ton (Εισφορά ΕΣΔΝΑ) πλέον τέλους ταφής που κλιμακώνεται από 35 έως 60 €/ton για τα έτη 2019-2024. Επομένως, θα προκύπτει ένα νέο κόστος εισφοράς της τάξης των 84-109 €/ton.

Ο επόμενος πίνακας (**Πίνακας 6.4**) αποτυπώνει την αναμενόμενη προσαύξηση στα ετήσια κόστη αποκομιδής των σύμμεικτων αποβλήτων του Δήμου ΒΒΒ ως συνέπεια της επιβολής του ειδικού κόστους ταφής. Στην παρούσα μελέτη, έχει θεωρηθεί πως οι σημερινές τιμές των σχετικών με τις επιμέρους άμεσες και έμμεσες δαπάνες μοναδιαίων δεικτών δεν θα διαφοροποιούνται σημαντικά με το πέρασμα των χρόνων αλλά θα κυμαίνονται πάνω κάτω στα ίδια επίπεδα, με αποτέλεσμα και ο συνολικός δείκτης (ΜΣΚ) να παραμένει σταθερός.

Πίνακας 6.4: *Προσεγγιστική εκτίμηση του συνολικού ετήσιου κόστους αποκομιδής σύμμεικτων αποβλήτων στο Δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης κατά την περίοδο 2019-2024*

Έτος	Ειδικό τέλος ταφής (€/ton)	Ειδικό συνολικό κόστος αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ (€/ton)	Συνολικό κόστος αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ (€)
2019	35	211	6.752.000
2020	40	216	6.912.000
2021	45	221	7.072.000
2022	50	226	7.232.000
2023	55	231	7.392.000
2024	60	236	7.552.000

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον **Πίνακα 6.4**, στο άμεσο μέλλον αναμένεται σημαντική προσαύξηση της τάξης του 35% στο κόστος αποκομιδής (συλλογή - μεταφορά - εναπόθεση) των σύμμεικτων αποβλήτων του Δήμου ΒΒΒ εξαιτίας της θεσμοθετημένης επιβολής ειδικού τέλους ταφής, γεγονός που καθιστά πολύ δύσκολη και οικονομικά τουλάχιστον ασύμφορη τη συνέχιση των συμβατικών πρακτικών ταφής.

6.5 Εναλλακτικό σενάριο: Επεξεργασία σύμμεικτων αποβλήτων Δήμου ΒΒΒ εντός της προτεινόμενης ΜΕΑ

6.5.1 Άμεσες δαπάνες

Η κατασκευή και λειτουργία της προτεινόμενης ΜΕΑ ετήσιας ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 τόνων ΑΣΑ εντός της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων, εντός δηλαδή της Δημοτικής Κοινότητας Βάρης, αναμένεται να συμβάλλει στην καθοριστική ελάττωση των άμεσων δαπανών αποκομιδής των σύμμεικτων αποβλήτων, ως επακόλουθο της αποσύνδεσης της Δημοτικής Αρχής από το ΧΥΤΑ της Φυλής και της εγκατάλειψης της συμβατικής πρακτικής της ταφής, στα πλαίσια πάντα που αυτό είναι εφικτό. Βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν προς αυτή τη κατεύθυνση είναι:

- Η ελάττωση της ποσότητας των αποβλήτων/υπολειμμάτων που θα οδηγούνται πλέον για ταφή στο ΧΥΤΑ της Φυλής με αποτέλεσμα το πλήθος των δρομολογίων που εκτελούν τα οχήματα αποκομιδής προς το ΧΥΤΑ να μειώνεται και αυτό σημαντικά σε σχέση με τη τωρινή κατάσταση. Η εξέλιξη αυτή θα συνεπάγεται την εμφανή μείωση των

καταναλισκόμενων από τα απορριμματοφόρα καύσιμων καθώς και των σχετικών με αυτά δαπανών. **(Βασική Μεταβολή 1)**

- Ο μη επηρεασμός από την επιβολή του ειδικού τέλους ταφής, το οποίο σταδιακά θα εκτοξεύσει τα τέλη εισόδου στο ΧΥΤΑ Φυλής σε τιμές που υπερβαίνουν τα 100 €/ton εισερχόμενου ΑΣΑ. Με άλλα λόγια, ο Δήμος θα συνεχίσει να πληρώνει στον ΕΣΔΝΑ το τέλος ταφής με τη σημερινή τιμή του των 49€/ton εισερχόμενου ΑΣΑ, μιας και στο ΧΥΤΑ θα μεταφέρονται απορριμματογενή υπολείμματα/παραπροϊόντα που προέρχονται από τις διεργασίες επεξεργασίας εντός της ΜΕΑ. **(Βασική Μεταβολή 2)**

6.5.1.1 Κόστος συλλογής και μεταφοράς στη ΜΕΑ

Το κόστος για τη συλλογή των ΑΣΑ από τους πράσινους/γκρι και καφέ κάδους του Δήμου ΒΒΒ και για την εν συνεχεία μεταφορά τους στη ΜΕΑ μπορεί προσεγγιστικά να ταυτιστεί με το κόστος καυσίμου που περιγράφει τις διαδρομές των οχημάτων αποκομιδής εντός των διοικητικών του ορίων.

Για το λόγο αυτό, στην παρούσα μελέτη έχει υπολογιστεί και άλλος ένας επιπλέον μοναδιαίος δείκτης ο οποίος θα συμβολίζεται ως **(ΜΚΚΤ3Β)** και θα εκφράζει το κόστος καυσίμου ανά τόνο αποκομιδής για τις διαδρομές που πραγματοποιούνται από τα απορριμματοφόρα εντός του Δήμου ΒΒΒ προς συλλογή των σύμμεικτων αποβλήτων. Ο μοναδιαίος αυτός δείκτης θα υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση που ακολουθεί και θα ισοδυναμεί με το κόστος συλλογής και μεταφοράς των σύμμεικτων ΑΣΑ στη ΜΕΑ.

$$\text{ΜΚΚΤ3Β} = (\text{ΜΣΚΚΤ}) - (\text{ΜΚΚΤ}) = 10{,}00\ €/\text{ton} - 6{,}83\ €/\text{ton} = 3{,}17\ €/\text{ton}$$

Πολλαπλασιάζοντας το μοναδιαίο δείκτη (ΜΚΚΤ3Β) με την ετήσια ποσότητα παραγωγής σύμμεικτων αποβλήτων στο Δήμο ΒΒΒ (~32.000 τόνοι) προκύπτει κατά προσέγγιση η *ετήσια δαπάνη για τη συλλογή και μεταφορά τους στην προτεινόμενη ΜΕΑ*, η οποία θα ισούται με 101.440 €.

6.5.1.2 Κόστος μεταφοράς και εναπόθεσης των μη χρηστικών παραπροϊόντων της ΜΕΑ στο ΧΥΤΑ της Φυλής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μετά τη λειτουργία της μονάδας, ο Δήμος ΒΒΒ θα αποσυνδεθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από το ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων όπου μέχρι σήμερα εναποθέτει το σύνολο των σύμμεικτων αποβλήτων του. Πλέον, η Δημοτική αρχή θα είναι επιφορτισμένη κατά κύριο λόγο με τη μεταφορά στο ΧΥΤΑ, μέσω των οχημάτων αποκομιδής, i) των υπολειμμάτων που θα προκύπτουν ως παραπροϊόντα των επιμέρους σταδίων επεξεργασίας της εγκατάστασης. Επιπλέον, ii) τα ογκώδη απορρίμματα (έπιπλα, στρώματα, κ.α.) που εισέρχονται στην εγκατάσταση αφού τεμαχιστούν προς μείωση του μεγέθους τους θα οδηγούνται και αυτά προς ταφή στο ΧΥΤΑ. Τέλος, κατά πιθανότητα και iii) το παραγόμενο CLO θα καταλήγει και αυτό στο ΧΥΤΑ (**απαισιόδοξο - πιθανότερο σενάριο**). Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη για

λόγους πληρότητας εξετάζεται και το σενάριο που θέλει να κατορθώνεται η βιώσιμη αξιοποίηση του CLO είτε ως υλικό αποκατάστασης λατομείων ή παλιών χωματερών είτε ως εδαφοβελτιωτικό στο τομέα της δασοκομίας και σε διάφορα άλλα τεχνικά έργα (**αισιόδοξο σενάριο**).

Συγκεντρωτικά, η ετήσια ποσότητα υπολειμμάτων/επεξεργασμένων αποβλήτων (με και χωρίς CLO) που θα καταλήγει στο ΧΥΤΑ, με δεδομένη τη λειτουργία της ΜΕΑ εντός του Δήμου ΒΒΒ αποτυπώνεται στο **Πίνακα 6.5**. Υπενθυμίζεται πως τα εκτιμώμενα ισοζύγια μάζας της προτεινόμενης ΜΒΕ εγκατάστασης από όπου και πρόεκυψαν οι ετήσιες ποσότητες παραγωγής υπολειμμάτων/RDF και CLO, παρουσιάζονται αναλυτικά στο **Κεφάλαιο 4** της μελέτης.

Πίνακας 6.5: *Σύνολο επεξεργασμένων αποβλήτων/υπολειμμάτων που θα οδηγούνται προς διάθεση στο ΧΥΤΑ Φυλής*

Απόβλητα προς ταφή στο ΧΥΤΑ	Ετήσια παραγόμενη Ποσότητα (tons/year)
1. Ογκώδη αντικείμενα	3.000
2. Υπολείμματα ΜΒΕ μονάδας	8.785
ΣΥΝΟΛΟ 1	*11.785 τόνοι*
3. Υλικό τύπου κομπόστ (CLO)	2.755
ΣΥΝΟΛΟ 2	*14.540 τόνοι*

*Υπολείμματα ΜΒΕ Εγκατάστασης (στάδιο μηχανικής διαλογής & ραφιναρίας)= 7.374,5 + 1.410 = 8.784,5 tons/year

Στη συνέχεια, για τον υπολογισμό του νέου ετήσιου κόστους που θα απορρέει από το σύνολο όλων των σχετικών με την διάθεση στο ΧΥΤΑ διαδικασιών αξιοποιήθηκαν οι υφιστάμενοι μοναδιαίοι άμεσοι δείκτες τόσο για το κόστος καυσίμου για διαδρομές από το Δήμο στο ΧΥΤΑ (ΜΚΚΤ) όσο και το τέλος εισόδου στο ΧΥΤΑ (ΕΤ) (**Πίνακας 6.6**). Υπενθυμίζεται πως σύμφωνα με την υπάρχουσα νομοθεσία (Ν. 4042/2012, Άρθρο 43), τα διαφόρων ειδών παραπροϊόντα από τη ΜΕΑ που θα καταλήγουν τελικά στο ΧΥΤΑ δεν θα επιβαρύνονται με το ειδικό τέλος ταφής, ως άμεση συνέπεια της επεξεργασίας των εισερχόμενων σε αυτή σύμμεικτων αποβλήτων που έχει προηγηθεί.

Πίνακας 6.6: *Υπολογισμός νέου άμεσου μοναδιαίου δείκτη κόστους ταφής*

Χρησιμοποιούμενοι άμεσοι δείκτες κόστους	Μοναδιαία τιμή (€/ton)
ΜΚΚΤ	6,83
ΕΤ	49,00
ΣΥΝΟΛΟ	*55,83 €/ton*

Σύμφωνα με τους **Πίνακες 6.5** και **6.6**, η *ετήσια δαπάνη για την ταφή των προερχομένων από επεξεργασία αποβλήτων* θα διαμορφώνεται στην καλύτερη περίπτωση (αν βρεθεί κατάλληλη αγορά για την εκμετάλλευση του παραγόμενου CLO) σε 657.957 € και στην χειρότερη περίπτωση (το παραγόμενο CLO θα καταλήγει στο ΧΥΤΑ Φυλής) σε 811.768 €.

6.5.1.3 Κόστη συντήρησης οχημάτων αποκομιδής και επενδύσεων

Τα άμεσα κόστη συντήρησης των οχημάτων αποκομιδής θα παραμένουν σταθερά μιας και κατά κύριο λόγο οφείλονται στην παλαιότητά τους σε συνδυασμό με την πολλές φορές μη προσεκτική τους χρήση από τους οδηγούς και λιγότερο στις μεγάλες χιλιομετρικές αποστάσεις που εκτελούν από το Δήμο ΒΒΒ στο ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων. Τέλος, τα διάφορα άμεσα κόστη επενδύσεων έχουν θεωρηθεί και αυτά πως δε αλλάζουν και παραμένουν επίσης σταθερά. Συνεπώς, οι χρησιμοποιούμενοι μοναδιαίοι δείκτες που περιγράφουν τις δύο αυτές κατηγορίες άμεσων δαπανών είναι ίδιοι με αυτούς του Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.7: *Νέα άμεσα κόστη συντήρησης οχημάτων αποκομιδής και επενδύσεων*

Είδος άμεσου κόστους	**Μοναδιαίος δείκτης (€/ton)**	**Χρηματική δαπάνη (€) {μοναδιαίος δείκτης x 32.000 τόνους σύμμεικτων αποβλήτων}**
1. Συντήρηση οχημάτων αποκομιδής	7,81	249.920
2. Επενδύσεις (απορριμματοφόρα, πράσινοι, γκρι και καφέ κάδοι, μηχανήματα έργου)	15,63	500.160

Συνεπώς, τα *ετήσια κόστη συντήρησης των οχημάτων αποκομιδής και επενδύσεων* θα ισούνται αντίστοιχα με περίπου 250.000€ και 500.000€ (**Πίνακας 6.7**) και θα συνυπολογίζονται στο συνολικές άμεσες δαπάνες που θα απορρέουν από τη εφαρμογή του εναλλακτικού σχεδίου διαχείρισης των σύμμεικτων ΑΣΑ στο Δήμο ΒΒΒ και την κατασκευή της προτεινόμενης ΜΕΑ.

6.5.2 Έμμεσες δαπάνες

Η λειτουργία της ΜΕΑ εντός του Δήμου ΒΒΒ δεν πρόκειται να μεταβάλλει τις **έμμεσες δαπάνες** αποκομιδής των ΑΣΑ μιας και δεν υπάρχει δυνατότητα μείωσης του προσωπικού που απασχολείται στην Υπηρεσία Καθαριότητας του Δήμου και του οποίου το κόστος διαμορφώνει σε πολύ μεγάλο βαθμό αυτού του είδους τα έξοδα. Το δεδομένο αυτό προκύπτει ως συνέπεια των παρακάτω παραγόντων που αναφέρονται στο Τοπικό Σχέδιο Δράσης **[17]**:

- Η οποιαδήποτε βελτίωση στους χρόνους αποκομιδής και η μείωση των αποστάσεων μεταφοράς των απορριμμάτων έχουν ως αποτέλεσμα τις καλύτερες υπηρεσίες προς τους δημότες και όχι την οποιαδήποτε μείωση του κόστους του προσωπικού, το οποίο θα εξακολουθεί, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα για τους δημοτικούς υπαλλήλους, να εργάζεται. Εξάλλου σήμερα η υπηρεσία υποστελεχώνεται.

- Η πρόσληψη υπαλλήλων Ιδιωτικού Δικαίου Ορισμένου Χρόνου (8 μηνών συνήθως) καλύπτει ανάγκες που δεν μπορεί να καλύψει το μόνιμο προσωπικό και είναι εφικτή λόγω της ανταποδοτικότητας των υπηρεσιών Καθαριότητας και Ανακύκλωσης. Τυχόν χρήματα που μπορούν να εξοικονομηθούν από την ανάγκη λιγότερων προσλήψεων λόγω βελτίωσης της οργάνωσης της υπηρεσίας, αναγκαστικά θα πρέπει να επενδυθούν σε άλλες ανταποδοτικές δραστηριότητες στην Καθαριότητα και Ανακύκλωση, δηλαδή πάλι σε κέντρα έμμεσου κόστους.

6.5.2.1 Κόστος προσωπικού

Ο μοναδιαίος δείκτης που περιγράφει τις *έμμεσες δαπάνες για το προσωπικό* είναι ίδιος με αυτόν του Πίνακα 3.2 και σε απόλυτες τιμές ισοδυναμεί με 3.000.000 € (**Πίνακας 6.8**). Όσον αφορά το προσωπικό που θα απασχολείται στη μονάδα αυτό είτε θα ανήκει στην εταιρεία που θα αναλάβει την υλοποίηση και λειτουργία της είτε μπορεί να υπάρξει μια συνεργασία μεταξύ εταιρείας και Δημοτικής Αρχής και κάποια από τα άτομα που σήμερα απασχολούνται στις Υπηρεσίες Καθαριότητας και Ανακύκλωσης του Δήμου να αποσπαστούν στην εγκατάσταση σε διοικητικές ή εργατοτεχνικές θέσεις.

Πίνακας 6.8: *Νέο έμμεσο κόστος προσωπικού*

Είδος έμμεσου κόστους	Μοναδιαίος δείκτης (€/ton)	Χρηματική δαπάνη (€) {μοναδιαίος δείκτης x 32.000 τόνους σύμμεικτων αποβλήτων}
1. Προσωπικό	93,75	3.000.000

6.5.3 Διαμόρφωση νέου συνολικού κόστους αποκομιδής σύμμεικτων αποβλήτων (μη συμπεριλαμβανομένου τέλους εισόδου στη ΜΕΑ)

Συμπερασματικά, στην περίπτωση υλοποίησης μιας ολοκληρωμένης ΜΒΕ εγκατάστασης ετήσιας ονομαστικής χωρητικότητας 40.000 τόνων ΑΣΑ, τα *συνολικά ετήσια κόστη για την αποκομιδή των σύμμεικτων αποβλήτων στο Δήμο ΒΒΒ*, τα οποία θα περιλαμβάνουν το σύνολο των διαδικασιών συλλογής, μεταφοράς και εναπόθεσης, θα διαμορφώνονται σύμφωνα με τους **Πίνακες 6.9** και **6.10** που ακολουθούν. Ο **Πίνακας 6.9** έχει δημιουργηθεί <u>με βάση το αισιόδοξο σενάριο</u> που θέλει την παραγόμενη ποσότητα CLO να αξιοποιείται ως υλικό αποκατάστασης λατομείων, υλικό επικάλυψης σε ΧΥΤΑ, εδαφοβελτιωτικό σε άγονες ή ξηρές περιοχές κ.α. Αντίστοιχα, ο **Πίνακας 6.10** αποτυπώνει το <u>απαισιόδοξο σενάριο</u> σύμφωνα με το οποίο το παραγόμενο CLO θα καταλήγει στο ΧΥΤΑ, ελλείψει δυνατοτήτων εκμετάλλευσής του με οικονομικά βιώσιμους όρους.

Πίνακας 6.9: *Συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ μετά τη λειτουργία της ΜΕΑ εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου ΒΒΒ (Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων) - Αισιόδοξο Σενάριο*

Άμεσες δαπάνες	Χρηματική δαπάνη (€)
1. Κόστος συλλογής και μεταφοράς σύμμεικτων ΑΣΑ στη ΜΕΑ	101.440
2. Κόστος ταφής υπολειμμάτων/ επεξεργασμένων αποβλήτων	657.957
3. Κόστος συντήρησης οχημάτων αποκομιδής	249.920
4. Κόστος επενδύσεων	500.160
Έμμεσες δαπάνες	
5. Κόστος προσωπικού	3.000.000
Συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ	*4.509.477 €*
Ειδικά συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ	*140,92 €/ton*

Πίνακας 6.10: *Συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ μετά τη λειτουργία της ΜΕΑ εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου ΒΒΒ (Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων) - Απαισιόδοξο Σενάριο*

Άμεσες δαπάνες	Χρηματική δαπάνη (€)
1. Κόστος συλλογής και μεταφοράς σύμμεικτων ΑΣΑ στη ΜΕΑ	101.440
2. Κόστος ταφής υπολειμμάτων/ επεξεργασμένων αποβλήτων	811.768
3. Κόστος συντήρησης οχημάτων αποκομιδής	249.920
4. Κόστος επενδύσεων	500.160
Έμμεσες δαπάνες	
5. Κόστος προσωπικού	3.000.000
Συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ	*4.663.288 €*
Ειδικά συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ	*145,73 €/ton*

6.5.4 Διαμόρφωση νέου συνολικού κόστους αποκομιδής σύμμεικτων αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένου τέλους εισόδου στη ΜΕΑ)

Το τέλος εισόδου (gate fee) είναι πολύ πρόωρο να εκτιμηθεί σε αυτή τη φάση. Ενδεικτικά, έχουν θεωρηθεί διάφορες τιμές για αυτό συναρτήσει των οποίων διαμορφώνεται κάθε φορά και το τελικό κόστος αποκομιδής σύμμεικτων αποβλήτων που θα απορρέει από το εναλλακτικό σχέδιο διαχείρισής τους που μελετάται για το Δήμο ΒΒΒ. Στη συνέχεια, γίνεται η σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος αποκομιδής που απορρέει από τη σημερινή συμβατική πρακτική διαχείρισής τους με βάση την τιμή που αυτό θα αποκτήσει από την επιβολή του ειδικού τέλους ταφής και μετά και η οποία όταν σταθεροποιηθεί, θα ισούται με 236 €/ton (**βλ. Πίνακα 6.4**).

Αυτό που μπορεί να εξαχθεί ως πρώτο συμπέρασμα είναι ότι το τελικό κόστος αποκομιδής από την εναλλακτική διαχείριση των σύμμεικτων ΑΣΑ θα είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερο από 236 €/ton εφόσον οι τιμές για το τέλος εισόδου στη ΜΕΑ είναι μικρότερες των 100 €/ton. Οι **Πίνακες 6.11** και **6.12** είναι χαρακτηριστικοί με τον πρώτο να είναι βασισμένος στο αισιόδοξο σενάριο όπου αποφεύγεται η ταφή του CLO στο ΧΥΤΑ και το δεύτερο στο απαισιόδοξο σενάριο όπου το CLO καταλήγει στο ΧΥΤΑ:

Πίνακας 6.11: *Τελικό κόστος αποκομιδής εναλλακτικής διαχείρισης σύμμεικτων ΑΣΑ συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) στη ΜΕΑ - Αισιόδοξο σενάριο*

Αισιόδοξο σενάριο *: Συνολικό κόστος αποκομιδής = 140,92€/ton (~141 €/ton)* (μη συμπεριλαμβανομένου τέλους εισόδου στη ΜΕΑ)			
Τιμή gate fee (€/ton)	**Τελικό ειδικό κόστος αποκομιδής (€/ton)**	**Τελικό κόστος Αποκομιδής (€)**	**Ποσοστιαία μεταβολή (%)**
20	161	5.149.440	-31,81%
30	171	5.469.440	-27,58%
40	181	5.789.440	-23,34%
50	191	6.109.440	-19,10%
60	201	6.429.440	-14,86%
70	211	6.749.440	-10,63%
80	221	7.069.440	-6,39%
90	231	7.389.440	-2,15%

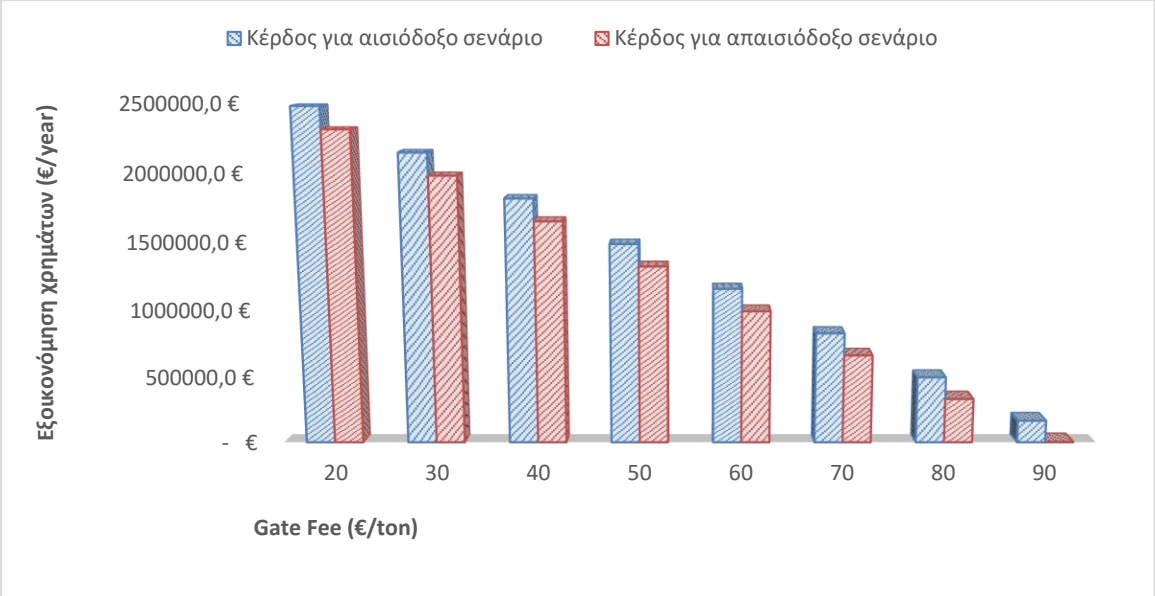
(*Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας μεταβολής έγινε συγκριτικά με την τελική τιμή των 236€/ton στην οποία σταδιακά υπολογίστηκε ότι θα ανέλθει το μέχρι σήμερα κόστος αποκομιδής των σύμμεικτων ΑΣΑ μετά την επιβολή του ειδικού τέλους ταφής)

Πίνακας 6.12: *Τελικό κόστος αποκομιδής εναλλακτικής διαχείρισης σύμμεικτων ΑΣΑ συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) στη ΜΕΑ - Απαισιόδοξο σενάριο*

Απαισιόδοξο σενάριο : *Συνολικό κόστος αποκομιδής = 145,73€/ton (~146 €/ton)* (μη συμπεριλαμβανομένου τέλους εισόδου στη ΜΕΑ)			
Τιμή gate fee (€/ton)	**Τελικό ειδικό κόστος αποκομιδής (€/ton)**	**Τελικό κόστος Αποκομιδής (€)**	**Ποσοστιαία μεταβολή (%)**
20	166	5.303.360	-29,78%
30	176	5.623.360	-25,54%
40	186	5.943.360	-21,30%
50	196	6.263.360	-17,06%
60	206	6.583.360	-12,83%
70	216	6.903.360	-8,59%
80	226	7.223.360	-4,35%
90	236	7.543.360	-0,11%

(*Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας μεταβολής έγινε συγκριτικά με την τελική τιμή των 236€/ton στην οποία σταδιακά υπολογίστηκε ότι θα ανέλθει το μέχρι σήμερα κόστος αποκομιδής των σύμμεικτων ΑΣΑ μετά την επιβολή του ειδικού τέλους ταφής)

Έπειτα, η ποσοστιαία μείωση που υπολογίστηκε στους **Πίνακες 6.11 και 6.12** για τα κόστη αποκομιδής των σύμμεικτων αποβλήτων του Δήμου ΒΒΒ συναρτήσει του τέλους εισόδου που θα καταβάλλεται από τη Δημοτική Αρχή στην υπό μελέτη ΜΕΑ, αποτυπώνεται υπό τη μορφή χρηματικών ποσών στο **Διάγραμμα 6.1** και για τα δύο θεωρούμενα σενάρια (αισιόδοξο - απαισιόδοξο).



Διάγραμμα 6.1: *Εκτιμώμενα επίπεδα εξοικονόμησης χρημάτων στα κόστη αποκομιδής των σύμμεικτων αποβλήτων του Δήμου ΒΒΒ συναρτήσει του τέλους εισόδου (gate fee)*

Σχόλιο: Τόσο τα ποσοστά μεταβολής που υπολογίστηκαν στους **Πίνακες 6.11 και 6.12** συναρτήσει του τέλους εισόδου όσο και τα αντίστοιχα εξοικονομούμενα χρηματικά ποσά του Διαγράμματος 6.1 μπορεί να περιγράφουν τα ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων αποβλήτων στην ουσία όμως φανερώνουν και σε τι βαθμό θα μειώνονται τα συνολικά κόστη των υπηρεσιών καθαριότητας και ανακύκλωσης του Δήμου ΒΒΒ μιας και η διαχείριση των συσκευασιών αποβλήτων που συλλέγονται από τους μπλε κάδους δεν προβλέπεται να αλλάξει.

7. Οικονομική βιωσιμότητα ολοκληρωμένης ΜΒΕ εγκατάστασης δήμου ΒΒΒ

7.1 Μεθοδολογία εργασίας

Η συγκεκριμένη ενότητα της μελέτης εστιάζει στον προσδιορισμό του έργου ως προς τη βιωσιμότητα του. Όπως ορίστηκε στη Διεθνή Συνδιάσκεψη του Ρίο το 1992, βιώσιμη ανάπτυξη ορίζεται ως η ανάπτυξη που παρέχει μακροπρόθεσμα οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη φροντίζοντας τις ανάγκες της παρούσας και των μελλοντικών γενεών. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση λοιπόν, συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη με μόνη εκκρεμότητα τα οικονομικά οφέλη, τα οποία θα διερευνηθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου. Εν συντομία αυτός είναι και ο κύριος λόγος όπου τέτοιας τεχνολογίας επενδύσεις μπορούν να συγχρηματοδοτηθούν από το πρόγραμμα ΕΣΠΑ[70]. Για να αξιολογηθεί οικονομικά η εγκατάσταση προέχει ο προσδιορισμός της χρηματοδότησης. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εξετάζονται δύο κύρια σενάρια χρηματοδότησης. Στο πρώτο σενάριο και το πιο πιθανά υλοποιήσιμο η χρηματοδότηση και η λειτουργία της εγκατάστασης θα πραγματοποιηθεί από ένα ιδιωτικό φορέα ο οποίος θα αναλάβει την επεξεργασία των ΑΣΑ του δήμου Β-Β-Β. Στο δεύτερο σενάριο η χρηματοδότηση και η λειτουργία της εγκατάστασης θα πραγματοποιηθεί από τον ίδιο το δήμο. Στο σενάριο αυτό θα εξεταστεί συνολικά η μείωση του κόστους αποκομιδής απορριμμάτων. Αντιθέτως στο πρώτο σενάριο τα συμφέροντα του επενδυτή και του δήμου είναι αντικρουόμενα, έτσι στόχος της μελέτης είναι να οδηγήσει σε μια προτεινόμενη τιμολογιακή πολιτική που να σέβεται τα συμφέροντα και των δύο πλευρών.

Η χρηματοοικονομική αξιολόγηση αναγκαστικά βασίζεται σε πάρα πολλές οικονομικές, εμπορικές και παραγωγικές παραδοχές ενώ τα συμπεράσματά της πρέπει με τη σειρά τους να δικαιολογούν με χρηματοοικονομικούς ορούς τη σκοπιμότητα της επένδυσης . Έτσι εφαρμόζεται η **χρήση μέθοδών και κριτήριων**, με βάση τα οποία οι παραπάνω εισροές και εκροές μπορούν να αξιολογούνται (Capital budgeting decision methods). Η διαδικασία αυτή έχει ένα μεθοδολογικό- αναλυτικό χαρακτήρα που σκοπό έχει την επεξεργασία των δεδομένων και των παραδοχών της πρώτης φάσης ώστε η λήψη απόφασης να βοηθείται, βασιζόμενη ανάμεσα στα άλλα, σε διάφανους και εύληπτους δείκτες. Η μόνη βασική παραδοχή στη διαδικασία υπολογισμού των κριτηρίων και των δεικτών αυτών είναι η ***εξέλιξη του κόστους κεφαλαίου (cost of capital) μέσα στον χρόνο***. Κατά τα άλλα ο υπολογισμός των δεικτών είναι μια απλή, κατά βάση, υπόθεση, ενώ τα συμπεράσματα, στα οποία αυτοί οδηγούν, είναι τελικά τόσο αξιόπιστα όσο ακριβείς και οι υποθέσεις που καταστρώθηκαν στην πρώτη φάση της ανάλυσης. Για να γίνουν όμως πιο εύκολα κατανοητοί οι δείκτες πρέπει πρώτα να εξηγηθεί το κόστος κεφαλαίου.

Η αναγωγή των χρηματοροών σε παρούσα αξία πρέπει να γίνεται με έναν δείκτη που να αντιπροσωπεύει το κόστος ευκαιρίας τους (opportunity cost), το όφελος δηλαδή που θα είχε η εταιρία από την εναλλακτική επένδυση των κεφαλαίων της σε μια δραστηριότητα αντίστοιχου όμως ρίσκου. Το κόστος του κεφαλαίου είναι μια σύνθετη έννοια που επηρεάζεται τόσο από την απόδοση των κεφαλαίων όσο και από το ρίσκο που είναι ενσωματωμένο στην, προσδοκώμενη, απόδοσή τους. Όσο περισσότερο το ρίσκο τόσο μεγαλύτερο και το κόστος κεφαλαίου ενώ για μηδενικό ρίσκο το κόστος κεφαλαίου είναι το επιτόκιο καταθέσεων. Επειδή συνήθως οι επενδύσεις χρηματοδοτούνται από ένα συνδυασμό ιδίων και ξένων κεφαλαίων (τραπεζικός δανεισμός) ο υπολογισμός ενός

κατάλληλου κόστους κεφαλαίου, που να ενσωματώνει το ρίσκο στο οποίο αναφερόμαστε παραπάνω καθίσταται ακόμη περισσότερο δύσκολος. Μια μέθοδος που βρίσκεται σε ευρύτατη εφαρμογή για τον υπολογισμό του κόστους κεφαλαίου, που είναι το πλέον κατάλληλο για την αναγωγή των χρηματοροών σε σημερινές τιμές είναι η μέθοδος του ζυγισμένου μέσου κόστους κεφαλαίου (weighted average cost of capital, WACC).

Αν συμβολίσουμε με: ***ξ/ κ- τα ξένα προς τα συνολικά κεφάλαια, ι/ κ- τα ίδια προς τα συνολικά κεφάλαια, $ι_ξ$- το κόστος των ξένων κεφαλαίων, $ι_ι$- το κόστος των ιδίων κεφαλαίων, Τ- τον φορολογικό συντελεστή,*** τότε η μέθοδος αυτή προτείνει την εξής σχέση για τον υπολογισμό του κόστους κεφαλαίου: **[71],[72]**

$$\mathbf{WACC= (ξ/ κ) *ι_ξ (1- T) + (ι/ κ) *ι_ι} \qquad (1)$$

Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς τις πρακτικές δυσκολίες που χαρακτηρίζουν τον υπολογισμό μιας ρεαλιστικής τιμής του κόστους κεφαλαίου, που να ανταποκρίνεται στο πραγματικό ρίσκο της επιχειρούμενης επένδυσης. Για τον λόγο αυτό στην πράξη ως κόστος κεφαλαίου χρησιμοποιείται το επιτόκιο του τραπεζικού δανεισμού γεγονός που με βάση τα παραπάνω αποτελεί μια απλούστευση, η οποία ανάλογα με την κεφαλαιακή διάρθρωση της εταιρίας μπορεί να απέχει λίγο ή περισσότερο από την πραγματικότητα. **[71],[72]**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι οικονομικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στη παρούσα μελέτη και αποτελούν τις εξόδους του μοντέλου που παρουσιάζεται στο **υποκεφάλαιο 7.2**.

Πρώτον ο χρόνος επιστροφής (απόδοσης) των επενδυμένων χρημάτων (**Discounted Payback Period**). Ο χρόνος αυτός αντιπροσωπεύει το χρονικό διάστημα που θα χρειαστεί μέχρι η επένδυση να έχει "αποσβέσει" πλήρως το αρχικό κόστος της. Αν στον υπολογισμό αυτό λάβουμε υπό όψη το κόστος του κεφάλαιού τότε υπολογίζουμε το Discounted Payback Period η αλλιώς ο χρόνος επιστροφής (απόδοσης) των επενδυμένων χρημάτων με προεξοφλημένες χρηματικές ροές. **[59],[51],[74]**.

Δεύτερων η **καθαρή παρούσα αξία** (net present value- **NPV**). Για τον υπολογισμό της όλα τα ποσά (εκροές και εισροές) ανάγονται τη χρονική στιγμή t, **με συνυπολογισμό του κόστους κεφαλαίου.** Τα ανηγμένα αυτά ποσά αθροίζονται αλγεβρικά. Το άθροισμα που προκύπτει είναι η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης (NPV). Αν η αξία αυτή είναι μεγαλύτερη από το όριο που έχει τεθεί από τους επενδυτές, αποφασίζεται η υλοποίηση της επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία (NPV) της επένδυσης, όπως περιγράφηκε πιο πάνω υπολογίζεται με την εξής σχέση: **[73]**

$$\sum_{t=0}^{n} CIF_t (1+ i)^{n-t} \qquad (2)$$

Στη σχέση αυτή με CIF_t παριστάνεται η καθαρή ταμειακή ροή (εισροές- εκροές) το τέλος της χρονικής περιόδου (t). Με (n) παριστάνεται το πλήθος των χρονικών περιόδων και με (i) το κόστος του κεφαλαίου στη διάρκεια όλων των χρονικών περιόδων (που θεωρείται σταθερό). **[73]**

Τρίτων ο **εσωτερικός ρυθμός απόδοσης** κεφαλαίου (internal rate of return- **IRR**). Εδώ αναζητείται εκείνο το κόστος κεφαλαίου που θα καθιστούσε μηδενική την παρούσα αξία της

επένδυσης. Η σχέση που μας δίδει τον εσωτερικό αυτό ρυθμό απόδοσης (IRR) προκύπτει ως εξής: [70]

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \qquad (3)$$

Με βάση το δείκτη (IRR) η επένδυση αξιολογείται θετικά αν ο δείκτης προκύπτει μεγαλύτερος από το κόστος του κεφαλαίου . Αντίστοιχα, προκειμένου για δυο επενδύσεις προτιμάται φυσικά η επένδυση με το μεγαλύτερο δείκτη απόδοσης. Ο δείκτης συσχετίζει δηλαδή την απόδοση της επένδυσης σε σχέση με το κόστος του κεφαλαίου. Είναι εύλογο μια επένδυση που έχει απόδοση μικρότερη από το κόστος του κεφαλαίου να είναι οικονομικά ασύμφορη και να απορρίπτεται [42],[69],[74],[70]

Τέταρτων ο δείκτης κάλυψης της εξυπηρέτησης του χρέους (DSCR) υπολογίζει την ικανότητα μιας εταιρείας να καλύπτει τις πληρωμές τόκων και κεφαλαίου για το υπόλοιπο χρέους. Τέλος ο δείκτης DSCR υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση: [70],[73]

$$\mathbf{DSCR} = \frac{\textbf{Καθαρά λειτουργικά έσοδα}}{\textbf{Συνολικές δανειακές πληρωμές}} \qquad (4)$$

7.2 Περιγραφή υπολογιστικού μοντέλου

Για την ευκολότερη οικονομική αξιολόγηση των διαφόρων οικονομικών σεναρίων αποφασίστηκε η δημιουργία ενός προγράμματος-μοντέλου. Ο κύριος λόγος πέρα από τον μεγάλο όγκο δεδομένων και υπολογισμών που οδήγησε σε αυτή την απόφαση είναι ο υψηλός αριθμός παραμέτρων. Οι **παράμετροι** αυτοί παρατίθενται στον **πίνακα 7.1.**

Πίνακας 7.1: *Οι παράμετροι του υπολογιστικού μοντέλου.*

Παράμετροι
Συνολικό κόστος επένδυσης
Ποσοστό επιχορήγησης
Ποσοστό δανείου
Διάρκεια Επένδυσης
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου
Τέλος εισόδου
Επιτόκιο Δανείου
Κόστος κεφαλαίου
Τιμή πώλησης κομπόστ
Ποσότητα πώλησης κομπόστ

Ως σταθερές έχουν επιλεγεί τα αποτελέσματα του προηγουμένου κεφαλαίου, οι οποίες για λόγους πληρότητας επαναλαμβάνονται παρακάτω στον πίνακα 7.2. Οι σταθερές για λόγους απλότητας είναι οι τελικές τιμές **δαπάνης λειτουργίας και επένδυσης**, όπως και τα έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας και ανακυκλώσιμων υλικών.

Πίνακας 7.2: *Δαπάνες λειτουργίας και επένδυσης*

	Τιμή	**Μονάδα μέτρησης**
ΈΞΟΔΑ		
1.α Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800	€
2. Ετήσια λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200	€/year
ΈΣΟΔΑ		
3. Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810	€/year
4. Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326	€/year

Ως αποτελέσματα εξάγονται οικονομικοί δείκτες που διευκολύνουν την οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης. Οι κύριοι δείκτες που θα σχολιαστηκαν και στην αρχή του κεφαλαίου είναι:

- IRR (εσωτερικός ρυθμός απόδοσης κεφαλαίου)
- Npv (καθαρή παρούσα αξία)
- Dscr (δείκτης κάλυψης της εξυπηρέτησης του χρέους)
- Discounted Payback (χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρημάτων)

7.3 Παραδοχές και επισημάνσεις

Πηγή εσόδων για τη μονάδα θα μπορούσαν επίσης να αποτελέσουν τόσο i) το **κομπόστ από την κλειστού τύπου κομποστοποίηση** μέρους του ξηρού υπολείμματος που έχει προκύψει από τη χώνευση του μίγματος των προ-διαλεγμένων οργανικών και των πράσινων αποβλήτων όσο και ii) το **κομπόστ από την ανοικτού τύπου κομποστοποίηση** μεγάλου μέρους των εισερχόμενων στη μονάδα κλαδεμάτων. Όμως η ακριβής χρήση και τιμή πώλησής τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τελική ποιότητά τους **[24],[25],[52]**. Για το λόγο αυτό και όπως έχει ήδη αναφερθεί, θεωρείται πολύ πρόωρο ακόμα να υπάρξει κάποια εκτίμηση έστω και τυπική σχετικά με την τιμή πώλησής. **(Παραδοχή 1)**

Η ποσότητα αυτή του πιθανά εκμεταλλεύσιμου κομπόστ όπως και όλη η μάζα του επεξεργασμένου μείγματος οδηγούνται στο ΧΥΤΑ απαλλαγμένα μεν από το ειδικό τέλος ταφής ως επεξεργασμένα. **(Παραδοχή 2)**

Κατά τη διάρκεια της τεχνοοικονομικής μελέτης, έχει επίσης θεωρηθεί πως το κόστος απόκτησης του οικοπέδου για την τοποθέτηση της εγκατάστασης είναι μηδενικό. **(Παραδοχή 3)**

Ακολούθως, ένα ποσοστό της τάξης του 10% και 20% αντίστοιχα από τις παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας θα χρησιμοποιείται ετησίως υπό τη μορφή

ιδιοκαταναλώσεων προς εξυπηρέτηση μέρους των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης κυρίως σε ό,τι αφορά τα τμήματα βιολογικής επεξεργασίας και συμπαραγωγής ενέργειας. Αντίθετα, οι ενεργειακές ανάγκες του τμήματος μηχανικής προ-επεξεργασίας που είναι και οι περισσότερες θεωρείται ότι αρχικά τουλάχιστον, θα καλύπτονται από το δίκτυο. **(Παραδοχή 4)**

Στους επιμέρους υπολογισμούς έχει αρχικά χρησιμοποιηθεί επιτόκιο αναγωγής ίσο με 9% για συνολική διάρκεια ζωής της μονάδας/επένδυσης τα 30 χρόνια**. (Παραδοχή 5)**

Ως προς το δάνειο που καλείται ο λειτουργός να διαχειριστεί για να καλύψει το επενδυτικό κόστος έχει θεωρηθεί επιτόκιο 6.5% και διάρκεια αποπληρωμής 12 έτη, έπειτα από επικοινωνία με την «Solar Konzept» που δραστηριοποιείται στον τομέα των Α.Π.Ε. και στην Ελλάδα. **(Παραδοχή 6)**

Το ύψος του δανείου καθορίζεται με τη βοήθεια του δείκτη DSCR, όπου όπως περιεγράφηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο χαρακτηρίζει την δυνατότητα μίας επένδυσης να καλύψει τις δανειακές της οφειλές. Επιλέγεται ύψος δανείου τέτοιο ώστε το κάθε σενάριο επιχορήγησης να χαρακτηρίζεται από DSCR μεταξύ 1,2 και 1,8. **(Παραδοχή 7)**

Η μονάδα εκτιμάται οτι θα τεθεί σε λειτουργεία μετά το πέρας του 2022. **(Παραδοχή 8)**

Πίνακας 7.3: *Σύνοψη υπολογιστικών παραδοχών για την τεχνοοικονομική μελέτη*

Επιτόκιο αναγωγής	9%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Ιδιοκαταναλώσεις σε ηλεκτρική ενέργεια	10%
Ιδιοκαταναλώσεις σε ηλεκτρική ενέργεια	20%
Επιτόκιο δανείου	6,5%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια

7.4 Ιδιωτική χρηματοδότηση

Στο σενάριο αυτό η χρηματοδότηση και η λειτουργία της προτεινόμενης εγκατάστασης ΜΒΕ απορριμμάτων θα πραγματοποιηθεί από ένα ιδιωτικό φορέα ο οποίος θα αναλάβει την επεξεργασία των ΑΣΑ του δήμου Β-Β-Β. Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί ότι το συγκεκριμένο σενάριο χρηματοδότησης αποτελεί και το πιο πιθανά υλοποιήσιμο. Όπως έχει

προαναφερθεί εκτιμάτε ότι μεγάλο ποσοστό της αρχικής επένδυσης θα συγχρηματοδοτηθεί από ΕΣΠΑ. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια θα μελετηθούν τέσσερεις κύριες υποπεριπτώσεις για επιχορήγηση 0%, 40%, 60% και 80% της επενδυτικής δαπάνης.

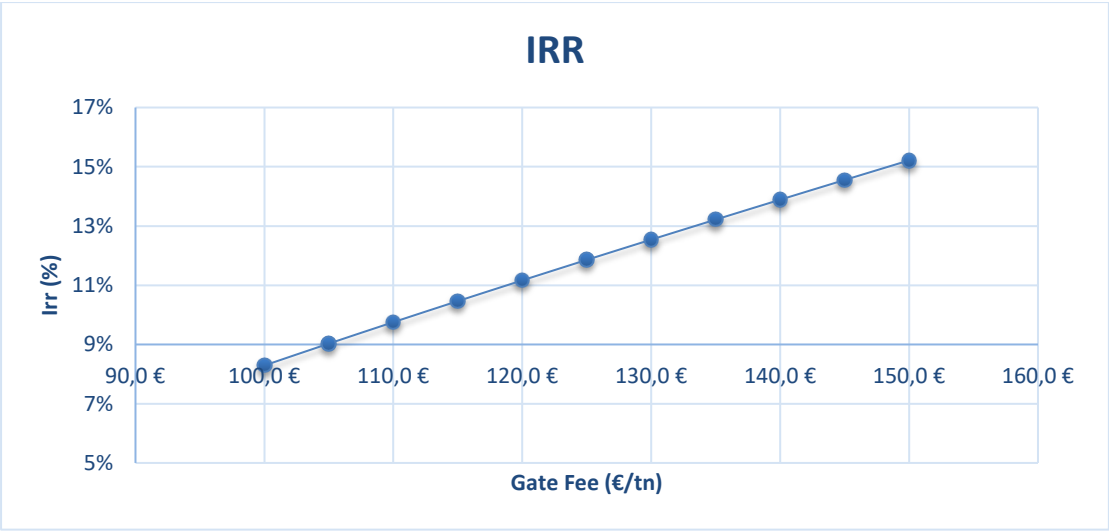
7.4.1 Σενάριο χωρίς επιχορήγηση

Στον παρακάτω **πίνακα 7.4** παρατίθενται οι είσοδοι του προγράμματος για 0% επιχορήγηση.

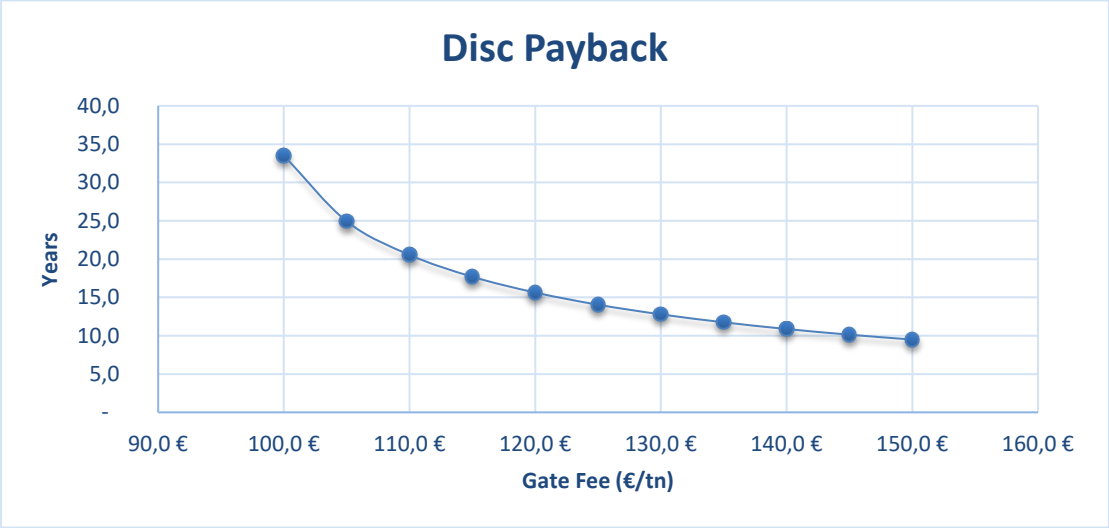
Πίνακας 7.4 *Οι είσοδοι του προγράμματος για 0% επιχορήγηση.*

Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800€
Ετήσιά λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200€
Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326€
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810€
Ποσοστό επιχορήγησης	0%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Τέλος εισόδου (€/tn) (Gate fee)	100-150 (€/tn)
Κόστος κεφαλαίου	9%
Ποσοστό δανείου	35%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια
Επιτόκιο δανείου	6,5%

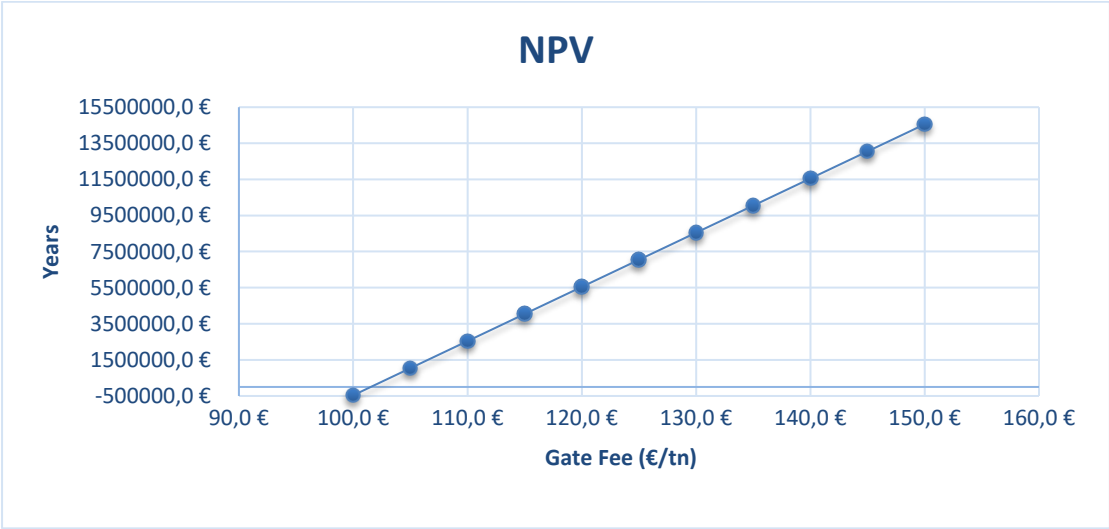
Το ποσοστό του δανείου επί της διαφοράς της αρχικής επένδυσης με την επιχορήγηση επιλέχθηκε 35%, έτσι ώστε το εύρος του δείκτη DSCR να είναι μεταξύ 1,1 και 1,8. Ο δείκτης DSCR είναι γραμμικά αυξανόμενος συναρτήσει του τέλους εισόδου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα στο **διάγραμμα 7.1** παρουσιάζεται εσωτερικός ρυθμός απόδοσης ως συνάρτηση του τέλους εισόδου, στο **διάγραμμα 7.2** παρουσιάζεται ο χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων ως συνάρτηση του τέλους εισόδου και στο **διάγραμμα 7.3** *η καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του τέλος εισόδου.*



Διάγραμμα 7.1: *Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης κεφάλαιού συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) χωρίς επιχορήγηση.*



Διάγραμμα 7.2: *Χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) χωρίς επιχορήγηση.*



Διάγραμμα 7.3: *Καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) χωρίς επιχορήγηση.*

Σχόλιο 1: Παρατηρείτε στο **διάγραμμα 7.1** ότι η επένδυση είναι βιώσιμη για τέλος εισόδου μεγαλύτερο από 105 €/τν με 25 χρόνια αντίστοιχο διάστημα επιστροφής επενδυμένων χρημάτων. Η επένδυση παρόλα αυτά θεωρείτε συμφέρουσα για irr μεγαλύτερο του 10,5% που αντιστοιχεί σε τέλος ταφής 120(€/tn) με αντίστοιχο διάστημα αποπληρωμής 15,5 χρόνια και NPV 5.542.000€ .

Σχόλιο 2: Σύμφωνα με τους **πίνακες 6.9, 6.10** ακόμα και για την οριακή περίπτωση για τη βιωσιμότητα της εγκατάστασης (τέλος εισόδου 105 €/τν) η επένδυση δεν είναι συμφέρουσα για τον δήμο καθώς για την τιμή αυτή το συνολικό κόστος αποκομιδής αυξάνεται κατά 352.000€ ετησίως στο αισιόδοξο σενάριο όπου αξιοποιείται το CLO το οποίο μεταφράζεται σε NPV -3.775.000€ . Στο απαισιόδοξο σενάριο στο οποίο το CLO δε μπορεί να αξιοποιηθεί το συνολικό κόστος αποκομιδής αυξάνεται κατά 506.000€ δηλαδή NPV -4.258.000€ .

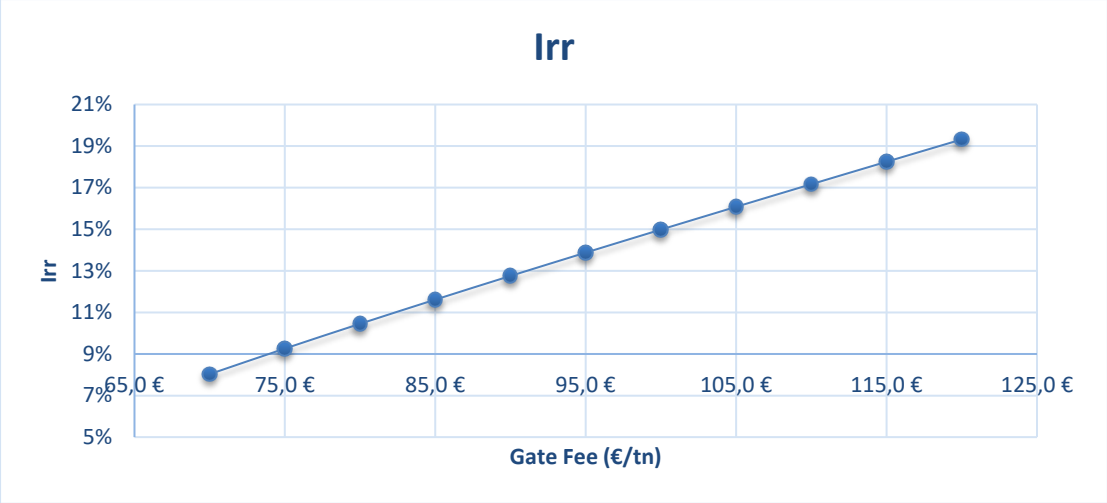
7.4.2 Σενάριο με 40% επιχορήγηση

Στον παρακάτω **πίνακα 7.5** παρατίθενται οι είσοδοι του προγράμματος για 40% επιχορήγηση.

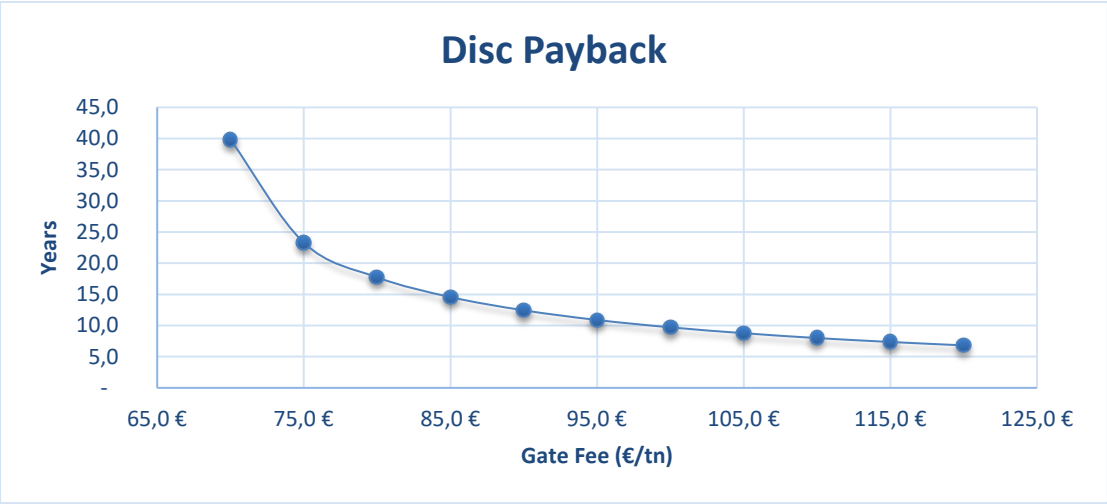
Πίνακας 7.5: *Οι είσοδοι του προγράμματος για 40% επιχορήγηση.*

Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800€
Ετήσιά λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200€
Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326€
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810€
Ποσοστό επιχορήγησης	40%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Τέλος εισόδου (€/tn) (Gate fee)	70-120 (€/tn)
Κόστος κεφαλαίου	9%
Ποσοστό δανείου	23%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια
Επιτόκιο δανείου	6,5%

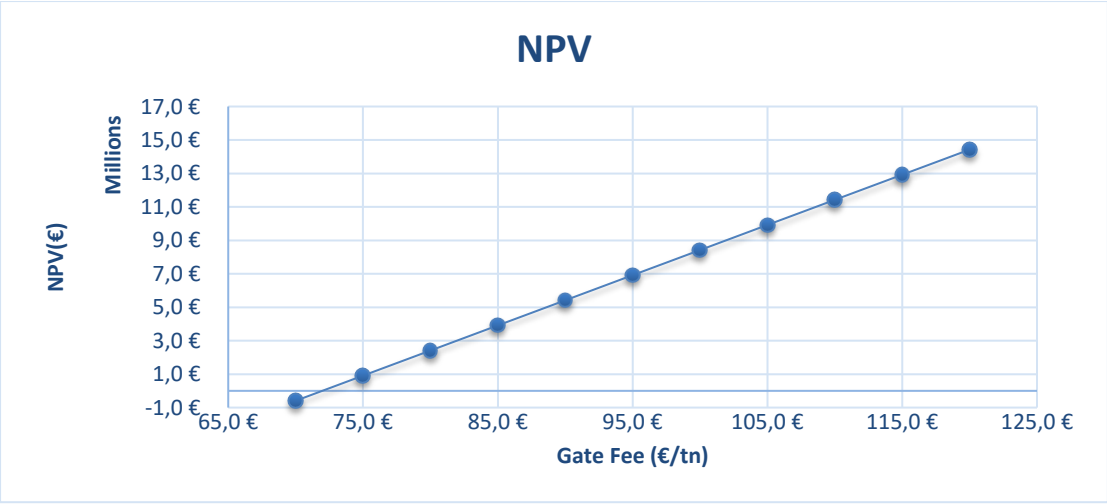
Το ποσοστό του δανείου επί της διαφοράς της αρχικής επένδυσης με την επιχορήγηση επιλέχθηκε 23%, έτσι ώστε το εύρος του δείκτη DSCR να είναι μεταξύ 1,1 και 2,3. Ο δείκτης DSCR είναι γραμμικά αυξανόμενος συναρτήσει του τέλους εισόδου. . Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα στο **διάγραμμα 7.4** παρουσιάζεται εσωτερικός ρυθμός απόδοσης ως συνάρτηση του τέλους εισόδου, στο **διάγραμμα 7.5** παρουσιάζεται ο χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων ως συνάρτηση του τέλους εισόδου και στο **διάγραμμα 7.6** *η καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του τέλος εισόδου.*



Διάγραμμα 7.4: *Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης κεφάλαιού συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 40% επιχορήγηση.*



Διάγραμμα 7.5*: Χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 40% επιχορήγηση.*



Διάγραμμα 7.6: *Καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 40% επιχορήγηση.*

Σχόλιο 1: Παρατηρείτε στο **διάγραμμα 7.4** ότι η επένδυση είναι βιώσιμη για τέλος εισόδου μεγαλύτερο από 75 €/τν με 23,3 χρόνια αντίστοιχο διάστημα επιστροφής επενδυμένων χρημάτων. Η επένδυση παρόλα αυτά θεωρείτε συμφέρουσα για irr μεγαλύτερο του 11% που αντιστοιχεί σε τέλος εισόδου 82,5(€/tn) με αντίστοιχο διάστημα αποπληρωμής 16.1 χρόνια και NPV 3.161.000€.

Σχόλιο 2: Σύμφωνα με τους **πίνακες 6.9, 6.10** για την προτεινόμενη τιμολόγηση του Gate fee η επένδυση είναι συμφέρουσα για τον δήμο καθώς για την τιμή αυτή το συνολικό κόστος αποκομιδής μειώνεται κατά 447.000€ (5,9%) ετησίως στο αισιόδοξο σενάριο όπου αξιοποιείται το CLO. Στο απαισιόδοξο σενάριο στο οποίο το CLO δε μπορεί να αξιοποιηθεί το συνολικό κόστος αποκομιδής μειώνεται κατά 285.000€ (3.7%).

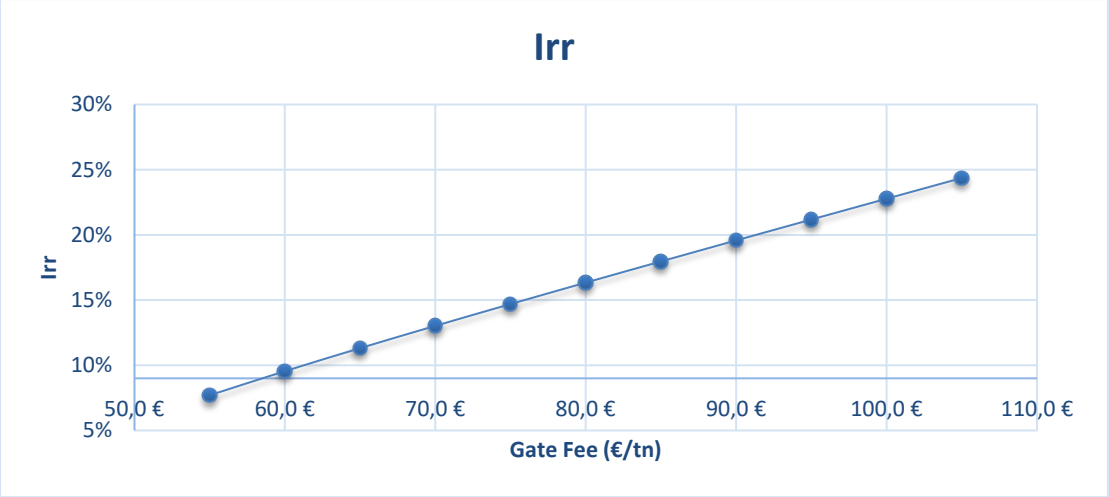
7.4.3 Σενάριο με 60% επιχορήγηση

Στον παρακάτω **πίνακα 7.6** παρατίθενται οι είσοδοι του προγράμματος για 60% επιχορήγηση.

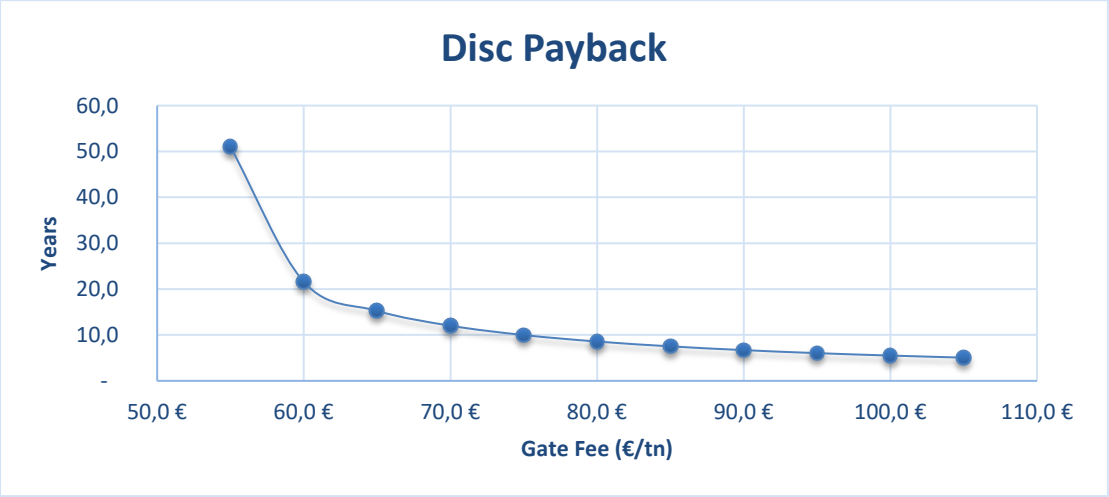
Πίνακας 7.6: *Οι είσοδοι του προγράμματος για 60% επιχορήγηση.*

Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800€
Ετήσιά λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200€
Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326€
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810€
Ποσοστό επιχορήγησης	60%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Τέλος εισόδου (€/tn) (Gate fee)	55-105 (€/tn)
Κόστος κεφαλαίου	9%
Ποσοστό δανείου	22%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια
Επιτόκιο δανείου	6,5%

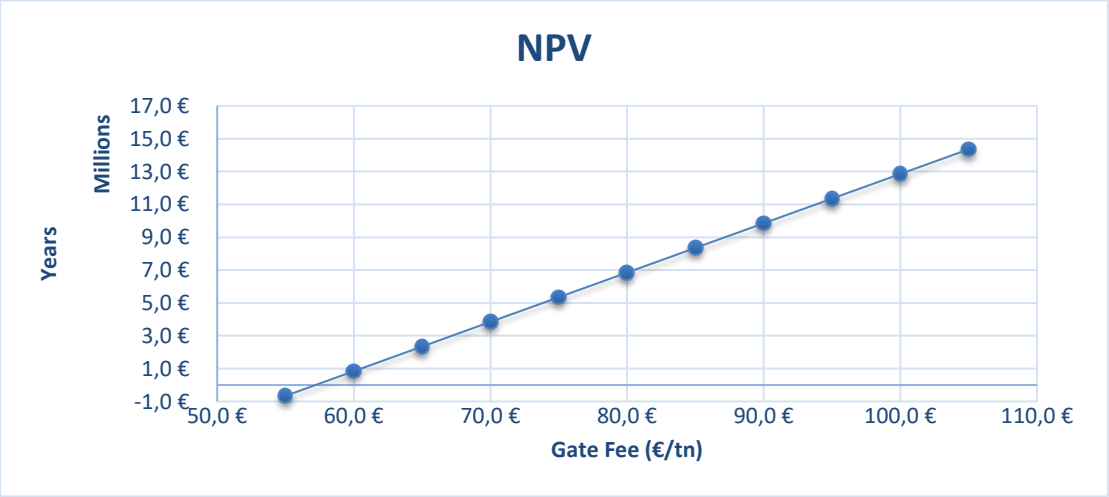
Το ποσοστό του δανείου επί της διαφοράς της αρχικής επένδυσης με την επιχορήγηση επιλέχθηκε 22%, έτσι ώστε το εύρος του δείκτη DSCR να είναι μεταξύ 1,1 και 3,0. Ο δείκτης DSCR είναι γραμμικά αυξανόμενος συναρτήσει του τέλους εισόδου. . Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα στο **διάγραμμα 7.7** παρουσιάζεται εσωτερικός ρυθμός απόδοσης ως συνάρτηση του τέλους εισόδου, στο **διάγραμμα 7.8** παρουσιάζεται ο χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων ως συνάρτηση του τέλους εισόδου και στο **διάγραμμα 7.9** *η καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του τέλος εισόδου.*



Διάγραμμα 7.7: *Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης κεφάλαιού συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 60% επιχορήγηση.*



Διάγραμμα 7.8: *Χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 60% επιχορήγηση.*



Διάγραμμα 7.9: *Καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 60% επιχορήγηση.*

Σχόλιο 1: Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η επένδυση είναι βιώσιμη για τέλος εισόδου μεγαλύτερο από 60 €/τν με 21,6 χρόνια αντίστοιχο διάστημα επιστροφής επενδυμένων χρημάτων. Η επένδυση παρόλα αυτά θεωρείτε συμφέρουσα για irr μεγαλύτερο του 13% που αντιστοιχεί σε τέλος ταφής μεγαλύτερο των 70(€/tn) με αντίστοιχο διάστημα αποπληρωμής 12.0 χρόνια και NPV 3.847.000 € . Παρατηρούμε συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια επιχορήγησης μια αύξηση της απαίτησης ως προς το irr. Ο λόγος είναι ότι η αύξηση που ποσού της επιχορήγησης οδηγεί σε μείωση της κλίσης του διαγράμματος (Γ), οπότε για να διατηρηθεί το NPV σε ελκυστικά για τον επενδυτή πλαίσια απαιτούμε υψηλότερο irr.

Σχόλιο 2: Σύμφωνα με τους **πίνακες 6.9, 6.10** για την προτεινόμενη τιμολόγηση του Gate fee η επένδυση είναι συμφέρουσα για τον δήμο καθώς για την τιμή αυτή το συνολικό κόστος αποκομιδής μειώνεται κατά 803.000€ (10,6%) ετησίως στο αισιόδοξο σενάριο όπου αξιοποιείται το CLO. Στο απαισιόδοξο σενάριο στο οποίο το CLO δε μπορεί να αξιοποιηθεί το συνολικό κόστος αποκομιδής αυξάνεται κατά 649.000€ (8,6%).

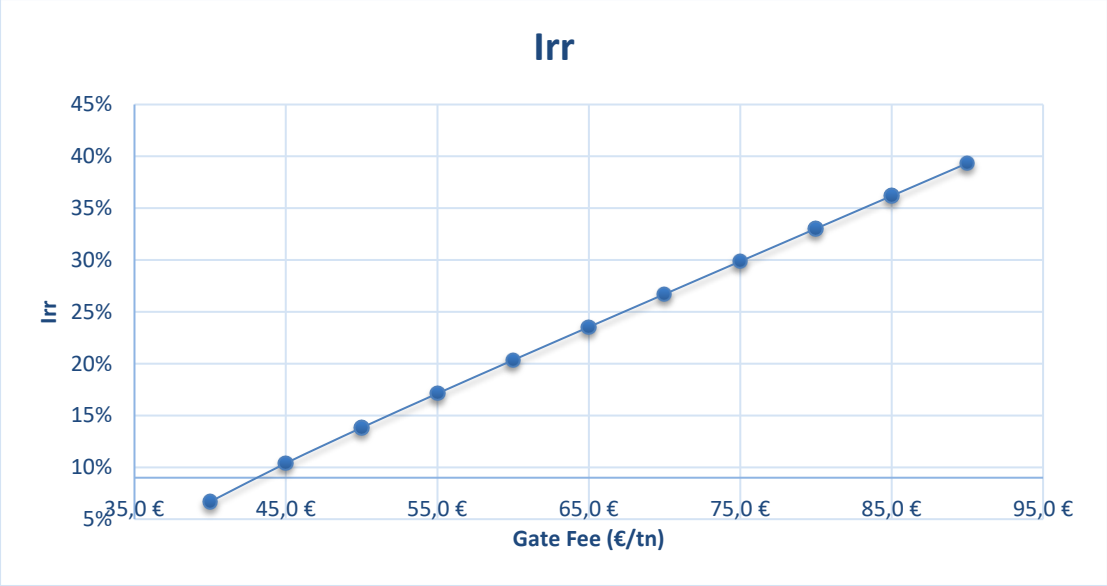
7.4.4 Σενάριο με 80% επιχορήγηση

Στον παρακάτω πίνακα 7.7 παρατίθενται οι είσοδοι του προγράμματος για 80% επιχορήγηση.

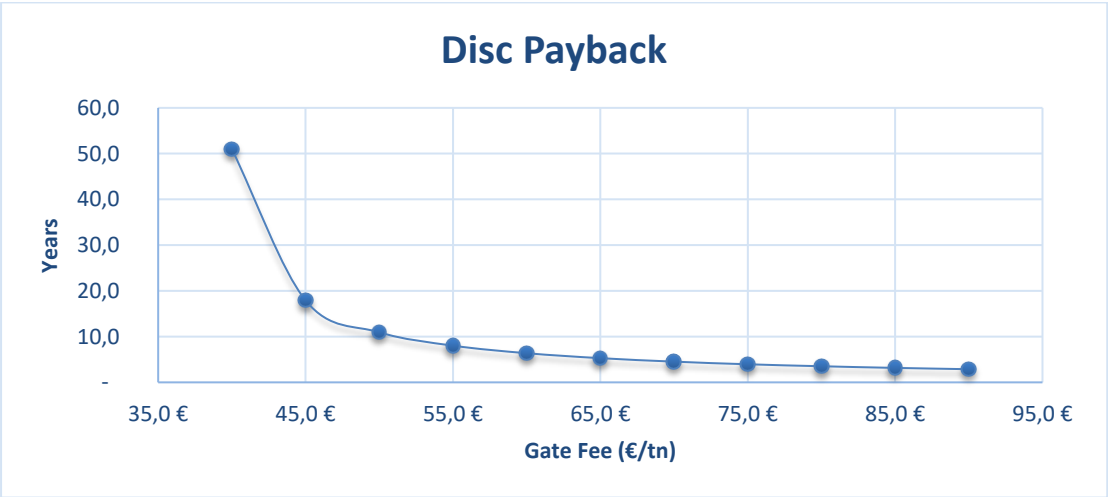
Πίνακας 7.7: *Οι είσοδοι του προγράμματος για 80% επιχορήγηση.*

Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800€
Ετήσιά λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200€
Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326€
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810€
Ποσοστό επιχορήγησης	80%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Τέλος εισόδου (€/tn) (Gate fee)	40-90 (€/tn)
Κόστος κεφαλαίου	9%
Ποσοστό δανείου	11%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια
Επιτόκιο δανείου	6,5%

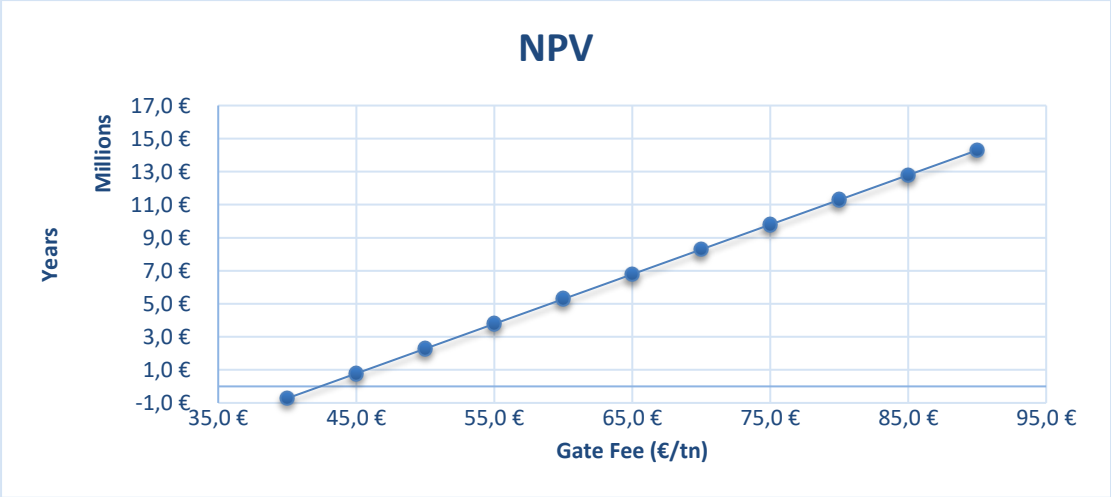
Το ποσοστό του δανείου επί της διαφοράς της αρχικής επένδυσης με την επιχορήγηση επιλέχθηκε 11%, έτσι ώστε το εύρος του δείκτη DSCR να είναι μεταξύ 1,0 και 5,0. Ο δείκτης DSCR είναι γραμμικά αυξανόμενος συναρτήσει του τέλους εισόδου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα στο **διάγραμμα 7.10** παρουσιάζεται εσωτερικός ρυθμός απόδοσης ως συνάρτηση του τέλους εισόδου, στο διάγραμμα **7.11 παρουσιάζεται** ο χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων ως συνάρτηση του τέλους εισόδου και στο **διάγραμμα 7.12** *η καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του τέλος εισόδου.*



Διάγραμμα 7.10*: Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης κεφάλαιού συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 80% επιχορήγηση*



Διάγραμμα 7.11: *Χρόνος επιστροφής των επενδυμένων χρήματων συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 80% επιχορήγηση.*



Διάγραμμα 7.12: *Καθαρή παρούσα αξία συναρτήσει του τέλος εισόδου (gate fee) για 80% επιχορήγηση.*

Σχόλιο 1: Παρατηρείτε στο διάγραμμα (7.11) ότι η επένδυση είναι βιώσιμη για τέλος ταφής μεγαλύτερο από 45€/τν με 17,9 χρόνια αντίστοιχο διάστημα επιστροφής επενδυμένων χρημάτων. Η επένδυση παρόλα αυτά θεωρείτε συμφέρουσα για irr μεγαλύτερο του 13% που αντιστοιχεί σε τέλος ταφής 49(€/tn) με αντίστοιχο διάστημα αποπληρωμής 12 χρόνια και NPV 2.012.000 € .

Σχόλιο 1: Σύμφωνα με τους πίνακες 6.9, 86.10 την προτεινόμενη τιμολόγηση του Gate fee η επένδυση είναι συμφέρουσα για τον δήμο καθώς για την τιμή αυτή το συνολικό κόστος αποκομιδής μειώνεται κατά 1.576.000€ (19,9%) ετησίως στο αισιόδοξο σενάριο όπου αξιοποιείται το CLO. Στο απαισιόδοξο σενάριο στο οποίο το CLO δε μπορεί να αξιοποιηθεί το συνολικό κόστος αποκομιδής αυξάνεται κατά 1.442.000€ (17.8%).

7.5 Δημόσια χρηματοδότηση

7.5.1 Βασική μεθοδολογία

Προτού προχωρήσουμε στην εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο που δημιουργήθηκε προέχει η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Ήδη στο 2ο κεφάλαιο έχει αναλυθεί το μελλοντικό κόστος αποκομιδής ΑΣΑ στην περίπτωση που δεν δημιουργηθεί η προς μελέτη εγκατάσταση με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα στον πίνακα 2.10. Στο σημείο αυτό χρειαζόμαστε το νέο λειτουργικό κόστος αποκομιδής ΑΣΑ έτσι ώστε να υπολογίσουμε τη μεταβολή του κόστους αποκομιδής ώστε να αξιολογηθεί η επένδυση. Το κόστος αυτό παρουσιάστηκε στο 6° κεφάλαιο (**πίνακας 6.9**)και για λόγους πληρότητας επαναλαμβάνετε στον **πίνακα 7.8.**

Πίνακας 7.8: *Συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ μετά τη λειτουργία της ΜΕΑ εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου ΒΒΒ (Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων) - Αισιόδοξο Σενάριο*

Άμεσες δαπάνες	Χρηματική δαπάνη (€)
1. Κόστος συλλογής και μεταφοράς σύμμεικτων ΑΣΑ στη ΜΕΑ	101.440
2. Κόστος ταφής υπολειμμάτων/ επεξεργασμένων αποβλήτων	657.957
3. Κόστος συντήρησης οχημάτων αποκομιδής	249.920
4. Κόστος επενδύσεων	500.160
Έμμεσες δαπάνες	
5. Κόστος προσωπικού	3.000.000
Συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ	*4.509.477 €*
Ειδικά συνολικά ετήσια κόστη αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ	*140,92 €/ton*

Για να υπολογίσουμε το νέο συνολικό ετήσιο κόστος θα πρέπει να προστεθούν τα έξοδα της μονάδας (επενδυτικά, λειτουργικά) και να αφαιρεθούν τα έσοδα της (πώληση ηλεκτρικής ενέργειας και ανακτώμενων υλικών). Για το λόγο αυτό πρέπει στο σημείο αυτό να μελετήσουμε υποπεριπτώσεις για την συγχρηματοδότηση καθώς επηρεάζει το επενδυτικό κόστος. Στην ουσία εδώ παρουσιάζεται η ελάττωση της συνολικής δαπάνης διαχείρισης τον αποκριμάτων χάρη στην μονάδα και αξιολογείται η επένδυση με τη βοήθεια κατάλληλων οικονομικών δεικτών.

7.5.2 Σενάριο χωρίς επιχορήγηση

Στον παρακάτω **πίνακα 7.9** παρατίθενται οι είσοδοι του προγράμματος για 0% επιχορήγηση.

Πίνακας 7.9: *Οι είσοδοι του προγράμματος για 0% επιχορήγηση.*

Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800€
Ετήσιά λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200€
Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326€
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810€
Νέα λειτουργικά κόστη αποκομιδής	4.747.150 €
Παλαιό συνολικό κόστος αποκομιδής	7.596.946 €
Ποσοστό επιχορήγησης	0%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Κόστος κεφαλαίου	9%
Ποσοστό δανείου	30%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια
Επιτόκιο δανείου	6,5%

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον **πίνακα 7.10** για τα δύο σενάρια, αισιόδοξο με αξιοποίηση του CLO, και απαισιόδοξο όπου το CLO δεν μπορεί να αξιοποιηθεί και στέλνεται προς ταφή στο ΧΥΤΑ.

Πίνακας 7.10: *Αποτελέσματα για αξιοποίηση του CLO και μη με 0% επιχορήγηση.*

Αποτελέσματα αισιόδοξο σενάριο	Αισιόδοξο σενάριο	Απαισιόδοξο σενάριο
Ετήσια μείωση εξόδων αποκομιδής	153.732€	45.056€
NPV	1.639.629€	483.365 €
IRR	9,32%	8,76%
DSCR	1,30	1,23
Disc. Payback (years)	22,90	27,31

Έτσι, θεωρώντας ως είσοδο τη διαφορά των χρηματοροών των δύο σεναρίων που αφορούν αντίστοιχα την διατήρηση της υπάρχουσας πρακτικής ως προς τη διαχείριση των ΑΣΑ και τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης ΜΒΤ μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων, παρατηρείται ότι εμφανίζεται μείωση στα ετήσια λειτουργικά κόστη σε περίπτωση που επιλεγεί η πρόταση για υλοποίηση της καινοτόμου εγκατάστασης.

Η εξαγόμενη παρούσα αξία (NPV) εκφράζει το χρηματικό ποσό που θα γλιτώσει ο δήμος ανοιγμένο στο πρώτο έτος λειτουργίας (2023) και ισούται με 1.639.629€ για το αισιόδοξο σενάριο με αντίστοιχη μείωση των ετήσιων δαπανών αποκομιδής των ΑΣΑ 153.732€. Για το απαισιόδοξο σενάριο η επένδυση είναι οριακά συμφέρουσα με NPV 483.365 € και μείωση των ετήσιων δαπανών κατά 45.056€. Με το ίδιο σκεπτικό, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPBP) υπολογίστηκαν για το αισιόδοξο σενάριο ίσα με 9,32% και 22,9 χρόνια ενώ για το απαισιόδοξο σενάριο , 8,76% και 27,3 χρόνια, αντίστοιχα.

7.5.3 Σενάριο με 40% επιχορήγηση

Στον παρακάτω **πίνακα 7.11** παρατίθενται οι είσοδοι του προγράμματος για 40% επιχορήγηση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον πίνακα για τα δύο σενάρια, αισιόδοξο με αξιοποίηση του CLO, και απαισιόδοξο όπου το CLO δεν μπορεί να αξιοποιηθεί και στέλνεται προς ταφή στο ΧΥΤΑ.

Πίνακας 7.11: *Οι είσοδοι του προγράμματος για 40% επιχορήγηση.*

Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800€
Ετήσιά λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200€
Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326€
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810€
Νέα λειτουργικά κόστη αποκομιδής	4.747.150 €
Παλαιό συνολικό κόστος αποκομιδής	7.596.946 €
Ποσοστό επιχορήγησης	40%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Κόστος κεφαλαίου	9%
Ποσοστό δανείου	45%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια
Επιτόκιο δανείου	6,5%

Πίνακας 7.12: *Αποτελέσματα για αξιοποίηση του CLO και μη με 40% επιχορήγηση.*

Αποτελέσματα αισιόδοξο σενάριο	Αισιόδοξο σενάριο	Απαισιόδοξο σενάριο
Ετήσια μείωση εξόδων αποκομιδής	980.623€	860.726€
NPV	10.519.629€	9.363.365€
IRR	16,52%	15,68%
DSCR	1,23	1,17
Disc. Payback (years)	8,45	9,09

Έτσι, θεωρώντας ως είσοδο τη διαφορά των χρηματοροών των δύο σεναρίων που αφορούν αντίστοιχα την διατήρηση της υπάρχουσας πρακτικής ως προς τη διαχείριση των ΑΣΑ και τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης ΜΒΤ μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων, παρατηρείται ότι εμφανίζεται μείωση στα ετήσια λειτουργικά κόστη σε περίπτωση που επιλεγεί η πρόταση για υλοποίηση της καινοτόμου εγκατάστασης.

Η εξαγόμενη παρούσα αξία (NPV) εκφράζει το χρηματικό ποσό που θα γλιτώσει ο δήμος ανοιγμένο στο πρώτο έτος λειτουργίας (2023) και ισούται με 10.519.629€ για το αισιόδοξο σενάριο με αντίστοιχη μείωση των ετήσιων δαπανών αποκομιδής των ΑΣΑ 980.623€. Για το απαισιόδοξο σενάριο η επένδυση είναι και πάλι συμφέρουσα με NPV 9.363.365€ και μείωση των ετήσιων δαπανών κατά 860.726€. Με το ίδιο σκεπτικό, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPBP) υπολογίστηκαν για το αισιόδοξο σενάριο ίσα με 16,52% και 8,45 χρόνια ενώ για το απαισιόδοξο σενάριο , 15,68% και 9,09 χρόνια, αντίστοιχα.

7.5.4 Σενάριο με 60% επιχορήγηση

Στον παρακάτω **πίνακα 7.13** παρατίθενται οι είσοδοι του προγράμματος για 60% επιχορήγηση.

***Πίνακας 7.13**: Οι είσοδοι του προγράμματος για 60% επιχορήγηση.*

Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800€
Ετήσιά λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200€
Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326€
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810€
Νέα λειτουργικά κόστη αποκομιδής	4.747.150 €
Παλαιό συνολικό κόστος αποκομιδής	7.596.946 €
Ποσοστό επιχορήγησης	60%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Κόστος κεφαλαίου	9%
Ποσοστό δανείου	50%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια
Επιτόκιο δανείου	6,5%

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον **πίνακα 7.14** για τα δύο σενάρια, αισιόδοξο με αξιοποίηση του CLO, και απαισιόδοξο όπου το CLO δεν μπορεί να αξιοποιηθεί και στέλνεται προς ταφή στο ΧΥΤΑ.

Πίνακας 7.14: *Αποτελέσματα για αξιοποίηση του CLO και μη με 60% επιχορήγηση.*

Αποτελέσματα αισιόδοξο σενάριο	Αισιόδοξο σενάριο	Απαισιόδοξο σενάριο
Ετήσια μείωση εξόδων αποκομιδής	1.398.531€	1.273.198€
NPV	14.959.629€	13.803.365€
IRR	25,00%	23,78%
DSCR	1,29	1,23
Disc. Payback (years)	4,90	5,22

Έτσι, θεωρώντας ως είσοδο τη διαφορά των χρηματοροών των δύο σεναρίων που αφορούν αντίστοιχα την διατήρηση της υπάρχουσας πρακτικής ως προς τη διαχείριση των ΑΣΑ και τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης ΜΒΤ μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων, παρατηρείται ότι εμφανίζεται εξαιρετικά μεγάλη μείωση στα ετήσια λειτουργικά κόστη σε περίπτωση που επιλεγεί η πρόταση για υλοποίηση της καινοτόμου εγκατάστασης. Ο λόγος είναι η πολύ υψηλή επιχορήγηση και η εξαιρετικά μεγάλες δαπάνες ταφής για τα μη επεξεργασμένα απορρίμματα.

Η εξαγόμενη παρούσα αξία (NPV) εκφράζει το χρηματικό ποσό που θα γλιτώσει ο δήμος ανοιγμένο στο πρώτο έτος λειτουργίας (2023) και ισούται με 14.959.629€ για το αισιόδοξο σενάριο με αντίστοιχη μείωση των ετήσιων δαπανών αποκομιδής των ΑΣΑ 1.398.531€. Για το απαισιόδοξο σενάριο η επένδυση είναι και πάλι συμφέρουσα με NPV 13.803.365€ και μείωση των ετήσιων δαπανών κατά 1.273.198€. Με το ίδιο σκεπτικό, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPBP) υπολογίστηκαν για το αισιόδοξο σενάριο ίσα με 25,00% και 4,90 χρόνια ενώ για το απαισιόδοξο σενάριο , 23,78% και 5,22 χρόνια, αντίστοιχα.

7.5.5 Σενάριο με 80% επιχορήγηση

Στον παρακάτω **πίνακα 7.15** παρατίθενται οι είσοδοι του προγράμματος για 80% επιχορήγηση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον **πίνακα 7.16** για τα δύο σενάρια, αισιόδοξο με αξιοποίηση του CLO, και απαισιόδοξο όπου το CLO δεν μπορεί να αξιοποιηθεί και στέλνεται προς ταφή στο ΧΥΤΑ.

Πίνακας 7.15: *Οι είσοδοι του προγράμματος για 80% επιχορήγηση.*

Επενδυτική δαπάνη (CAPEX)	22.220.800€
Ετήσιά λειτουργική δαπάνη (OPEX)	2.348.200€
Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων υλικών	440.326€
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	243.810€
Νέα λειτουργικά κόστη αποκομιδής	4.747.150 €
Παλαιό συνολικό κόστος αποκομιδής	7.596.946 €
Ποσοστό επιχορήγησης	80%
Διάρκεια επένδυσης	30 χρόνια
Κόστος κεφαλαίου	9%
Ποσοστό δανείου	53%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	12 χρόνια
Επιτόκιο δανείου	6,5%

Πίνακας 7.16: *Αποτελέσματα για αξιοποίηση του CLO και μη με 80% επιχορήγηση.*

Αποτελέσματα αισιόδοξο σενάριο	Αισιόδοξο σενάριο	Απαισιόδοξο σενάριο
Ετήσια μείωση εξόδων αποκομιδής	1.843.721€	1.708.672€
NPV	19.399.629€	18.243.365€
IRR	50,06%	47,63%
DSCR	1,29	1,23
Disc. Payback (years)	2,20	2,33

Έτσι, θεωρώντας ως είσοδο τη διαφορά των χρηματοροών των δύο σεναρίων που αφορούν αντίστοιχα την διατήρηση της υπάρχουσας πρακτικής ως προς τη διαχείριση των ΑΣΑ και τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης MBT μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων, παρατηρείται ότι εμφανίζεται εξαιρετικά μεγάλη μείωση στα ετήσια λειτουργικά κόστη σε περίπτωση που επιλεγεί η πρόταση για υλοποίηση της καινοτόμου εγκατάστασης. Ο λόγος είναι η πολύ υψηλή επιχορήγηση και η εξαιρετικά μεγάλες δαπάνες ταφής για τα μη επεξεργασμένα απορρίμματα.

Η εξαγόμενη παρούσα αξία (NPV) για τα επόμενα 30 λειτουργίας εκφράζει το χρηματικό ποσό που θα γλιτώσει ο δήμος ανοιγμένο στο πρώτο έτος λειτουργίας (2023) και ισούται με 19.399.629€ για το αισιόδοξο σενάριο με αντίστοιχη μείωση των ετήσιων δαπανών αποκομιδής των ΑΣΑ 18.243.365€. Για το απαισιόδοξο σενάριο η επένδυση είναι και πάλι συμφέρουσα με NPV 13.803.365€ και μείωση των ετήσιων δαπανών κατά 1.708.672€. Με το ίδιο σκεπτικό, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPBP) υπολογίστηκαν για το αισιόδοξο σενάριο ίσα με 50,06% και 2,20 χρόνια ενώ για το απαισιόδοξο σενάριο , 47,63% και 2,33 χρόνια, αντίστοιχα.

8. Επίλογος

8.1 Συμπεράσματα

Η υλοποίηση μιας σύγχρονης και ολοκληρωμένης μονάδας αναερόβιας χώνευσης με στόχο την εναλλακτική διαχείριση των σύμμεικτων ΑΣΑ του δήμου ΒΒΒ συνιστά ένα ριζοσπαστικό εγχείρημα για τα ελληνικά δεδομένα που θα αποφέρει ωστόσο σημαντικά οφέλη.

Το βασικότερο από όλα είναι η εμφανής **μείωση στην ποσότητα των απορριμμάτων και ιδιαίτερα των οργανικών** που διατίθενται μέχρι σήμερα στο ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων. Σύμφωνα με τα ισοζύγια μάζας, μόλις 8.787 τόνοι υπολείμματος (RDF) θα οδηγούνται πλέον για ταφή σε ετήσια βάση συν τη μάζα των ογκωδών αποβλήτων (3.000 tn/year) στο αισιόδοξο σενάριο, ενώ στο απαισιόδοξο οδηγείται προς ταφή και το CLO (2.755 tn/year). Θα παρατηρείται δηλαδή μια μείωση στην ταφή των αποβλήτων της τάξης του 59-67%.

Ταυτόχρονα, η κατασκευή της πρότυπης μονάδας βιοαερίου μικρής κλίμακας θα συμβάλλει στην **εξοικονόμηση χρηματικών πόρων** στον τομέα καθαριότητας και ανακύκλωσης του δήμου σε σχέση με το σενάριο συνέχισης της υφιστάμενης διαχείρισης των σύμμεικτων αποβλήτων μέσω της εναπόθεσής τους στο ΧΥΤΑ, μια πρακτική που, συν τοις άλλοις, αναμένεται μέσα στα επόμενα χρόνια να «τιμωρείται» με την επιβολή ειδικού τέλους ταφής.

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί πως η ώριμη **αξιοποίηση των καφέ κάδων** στο δήμο ΒΒΒ θα βελτίωνε σε σημαντικό βαθμό τα επίπεδα οικονομικής βιωσιμότητας της σχεδιαζόμενης εγκατάστασης.

Με άλλα λόγια, η χώνευση προ-διαλεγμένου οργανικού κλάσματος αποβλήτων (SS-OFMSW), αναμένεται να μειώσει κατά πολύ τις απαιτήσεις μηχανικής προ-επεξεργασίας τόσο από άποψη πολυπλοκότητας των διεργασιών διαχωρισμού που λαμβάνουν χώρα όσο και από άποψη κόστους. Επιπρόσθετα, προβλέπεται η παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας και καλύτερης ποιότητας βιοαερίου-μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο (CH_4)- αλλά και η εξαγωγή περισσότερης ποσότητας υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού υλικού που θα εμφανίζει ρεαλιστικές πιθανότητες πώλησής του στην αγορά, αποφέροντας επιπλέον κέρδη στο δήμο.

Εν συνεχεία, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου όχι μόνο θα αποτελέσει μια πραγματική καινοτομία, υπόδειγμα και για άλλους δήμους αλλά θα επιφέρει και επιπλέον **έσοδα στο δήμο ΒΒΒ μέσω της πώλησής της στο εθνικό δίκτυο**. Άλλωστε, η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ εντάσσεται στην κατηγορία των **Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε)** και πριμοδοτείται από το κράτος με βάση το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο.

Σημαντική θα είναι επίσης η συμβολή της μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ και στον περιβαλλοντικό τομέα μιας και θα ανοιχτεί ένας επιπλέον δρόμος στην προσπάθεια σταδιακής **απεξάρτησης από την χρήση συμβατικών καυσίμων** για την παραγωγή ενέργειας. Παράλληλα, η τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης θεωρείται η πλέον φιλική

προς το περιβάλλον μιας και παρουσιάζει εξαιρετικά **μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου** και πιο συγκεκριμένα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο αποφασιστικά στους σκοπούς της πράσινης αειφόρου ανάπτυξης.

Σημειώνεται ότι η μείωση των δρομολογίων προς το ΧΥΤΑ και των διανυόμενων αποστάσεων των οχημάτων αποκομιδής γενικότερα θα συνεισφέρει στην ακόμα μεγαλύτερη μείωση των εκπεμπόμενων από αυτά αέριων ρύπων, γεγονός που θα βοηθήσει το δήμο να ισχυροποιήσει το προφίλ του όσον αφορά την προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

Ένα κομβικό στοιχείο στο όλο σενάριο εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ είναι η **συνεργασία του δήμου ΒΒΒ με το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας** και ειδικότερα με τη Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων που βρίσκεται στην περιοχή της Βάρης. Η αποτελεσματική συνεννόηση ανάμεσα στο δήμο και το Υπουργείο θα αποτελέσει **εθνικό παράδειγμα προς μίμηση**. Πιο αναλυτικά, η παραχώρηση χρήσης μερικών στρεμμάτων από το Υπουργείο στο Δήμο για την υλοποίηση της ΜΒΤ μονάδας, την ίδια στιγμή που η εύρεση του τρόπου χρηματοδότησης του έργου θα αφορά αποκλειστικά και μόνο τη δημοτική αρχή, θα θέσει τις απαραίτητες βάσεις για τη δημιουργία των πρώτων εν Ελλάδι εγκαταστάσεων ενεργειακής αξιοποίησης και βιοανάκτησης απορριμμάτων, η λειτουργία των οποίων θα αποφέρει οφέλη και στις δύο συνεργαζόμενες πλευρές.

Από πλευρά χρηματοδότησης παρόλο που η περίπτωση χρηματοδότησης του έργου από την πλευρά του δήμου μοιάζει εκ πρώτης όψεως συμφέρουσα είναι ταυτόχρονα και εξιδανικευμένη καθώς ο δήμος δεν διαθέτει την ιδιότητα του επενδυτή. Για αυτό το πιθανότερο σενάριο είναι να χρηματοδοτηθεί από ιδιώτη ένα ακόμα παράδειγμα προς μίμηση για την προώθηση υγιών επενδύσεων.

Εν κατακλείδι, οι εγκαταστάσεις αυτές μπορούν να αποτελέσουν τον κορμό για την ανάπτυξη στοχευμένης ερευνητικής δραστηριότητας μεταξύ της Σχολής Ευελπίδων και του Δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης, μέσω της δημιουργίας ενός κοινού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογίας, στο οποίο έχει την ικανότητα να συνεισφέρει μέσω της τεχνογνωσίας που διαθέτει και το Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

8.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Αρχικά, σημαντική κρίνεται η **λειτουργία ενός χωνευτήρα τύπου γκαράζ σε πιλοτικό-πειραματικό επίπεδο** έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι ο τύπος αυτός των βιοαντιδραστήρων ανταποκρίνεται επαρκώς στους διαμορφωθέντες τοπικούς συσχετισμούς όσον αφορά τη φύση του προς επεξεργασία οργανικού υποστρώματος. Επιπλέον, μπορούν να εξεταστούν οι προοπτικές αναβάθμισης του παραγόμενου βιοαερίου σε βιομεθάνιο και η χρήση του ως καύσιμο οχημάτων.

Μετέπειτα, το στοιχείο εκείνο της μελέτης που μπορεί να διερευνηθεί περαιτέρω είναι η **ακριβής ποιοτική σύσταση των οικιακών αποβλήτων στο δήμο ΒΒΒ** μιας και τώρα έχει

θεωρηθεί πως αυτή προσομοιάζει στην γενικότερη εν Ελλάδι σύσταση των σύμμεικτων απορριμμάτων. Η βαθύτερη γνώση της συγκεκριμένης παραμέτρου θα βελτιώσει και την ακρίβεια των υπολογισμών που αφορούν τα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου (m^3/tn).

Προτείνεται ακόμα η μελέτη για την πιθανή οικονομική αξιοποίηση μέσω δημοπρασιών αδιάθετων δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή προϋποθέτει τη μελέτη του αντίστοιχου οικονομικού πλαισίου και την πιθανή ζήτηση στον τομέα αυτό.

Η μελέτη εναλλακτικών τεχνολογιών για την εφαρμογή τους στην μονάδα με στόχο την βέλτιστή αξιοποίηση των απορριμμάτων. Τέτοιες τεχνολογίες προς μελέτη είναι η τεχνολογία plasma gasification και την μετατροπή οργανικής ύλης σε syngas (synthesis gas) ή την πακεταρισμένη τεχνολογία της Biolectra.

Τέλος, οφείλεται να εντοπιστούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα **λειτουργικά κόστη των μονάδων βιοαερίου μικρής κλίμακας** που χρησιμοποιούν χωνευτήρες τύπου γκαράζ τόσο για το στάδιο των αναερόβιων διεργασιών επεξεργασίας όσο και για το στάδιο κομποστοποίησης του χωνεμένου υλικού. Τα στοιχεία που υπάρχουν προς το παρόν είναι ελάχιστα και έχουν να κάνουν κυρίως με μεγαλύτερης χωρητικότητας μονάδες που χρησιμοποιούν τεχνολογίες ξηρής και συνεχούς χώνευσης.

Η βελτίωση της ακριβείας για τα λειτουργικά κόστη της εγκατάστασης σε συνδυασμό με την απόκτηση περαιτέρω γνώσεων γύρω από την ποσότητα και τους τρόπους εκμετάλλευσης του κομπόστ, σε περίπτωση που επιλεγεί η παραγωγή του ως μία από τις δυνατότητες της εγκατάστασης, θα συμβάλλει στην απόκτηση μιας ακόμα πιο λεπτομερούς εικόνας σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

Παράρτημα Ι: Ευρωπαϊκός κατάλογος αποβλήτων

Μέσω της Απόφασης 2000/532/ΕΚ θεσπίζεται ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (**ΕΚΑ**), ο οποίος αντικαθιστά τον ήδη υπάρχοντα της Απόφασης 94/3/ΕΚ. Πιο συγκεκριμένα, τα απόβλητα κατηγοριοποιούνται σε είκοσι κατηγορίες και κάθε κατηγορία έχει τον χαρακτηριστικό διψήφιο κωδικό 01, 02, 03, κλπ. Στην εικοστή (20η) κατηγορία υπάγονται τα απόβλητα αστικού τύπου. Η κατηγοριοποίηση των αποβλήτων γίνεται με βάση την Απόφαση 2001/118/ΕΚ η οποία τροποποιεί σε ορισμένα σημεία την Απόφαση 2000/532/ΕΚ και την εμφανίζει επιγραμματικά ο **Πίνακας Ι**.

Πίνακας Ι: *Κατηγοριοποίηση του ΕΚΑ βάσει προέλευσης αποβλήτων* [2]

Κατηγορία	Προέλευση αποβλήτων
01	Απόβλητα που προκύπτουν από εξερεύνηση, εξόρυξη, επεξεργασία εμπλουτισμού και περαιτέρω επεξεργασία ορυκτών και προϊόντων λατομείου
02	Απόβλητα πρωτογενούς παραγωγής (γεωργία, κηπευτική, θήρα, αλιεία και υδατοκαλλιέργειες). Παρασκευή και επεξεργασία τροφίμων
03	Απόβλητα από την κατεργασία ξύλου και την παραγωγή χαρτιών, χαρτονιών, πολτού, ταμπλάδων και επίπλων
04	Απόβλητα από τις βιομηχανίες δέρματος, γούνας και υφαντουργίας
05	Απόβλητα από τη διύλιση πετρελαίου, τον καθαρισμό φυσικού αερίου και την πυρολυτική επεξεργασία άνθρακα
06	Απόβλητα από ανόργανες χημικές διεργασίες
07	Απόβλητα από οργανικές χημικές διεργασίες
08	Απόβλητα από την παραγωγή, διαμόρφωση, προμήθεια και χρήση (ΠΔΠΧ) επικαλύψεων (χρώματα, βερνίκια και σμάλτο υάλου), κολλών, στεγανωτικών και τυπογραφικών μελανών
09	Απόβλητα από τη φωτογραφική βιομηχανία
10	Ανόργανα απόβλητα από θερμικές επεξεργασίες
11	Ανόργανα απόβλητα με μέταλλα από την επεξεργασία και την επικάλυψη μετάλλων - υδρομεταλλουργία μη σιδηρούχων μετάλλων
12	Απόβλητα από τη μόρφωση και επιφανειακή επεξεργασία μετάλλων και πλαστικών
13	Απόβλητα ελαίων (εκτός βρωσίμων ελαίων, 05 και 12)
14	Απόβλητα από οργανικές ουσίες χρησιμοποιούμενες ως διαλύτες (εκτός 07 και 08)
15	Απόβλητα από συσκευασίες, απορροφητικά υλικά, υφάσματα σκουπίσματος, υλικά φίλτρων και προστατευτικός ρουχισμός (μη προδιαγραφόμενα άλλως)
16	Απόβλητα μη προδιαγραφόμενα άλλως στον κατάλογο
17	Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (περιλαμβάνεται η οδοποιία)
18	Απόβλητα από την υγειονομική περίθαλψη ανθρώπων ή ζώων ή/και από σχετικές έρευνες (εξαιρούνται απόβλητα κουζίνας και εστιατορίων που δεν προκύπτουν άμεσα από το σύστημα υγείας)
19	Απόβλητα από τις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εκτός σημείου παραγωγής και τη βιομηχανία νερού
20	Δημοτικά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα περιλαμβανομένων μερών χωριστά συλλεγέντων

Επιπλέον, ο **Πίνακας ΙΙ** αναλύει το ρεύμα των δημοτικών αποβλήτων και των παρόμοιων με αυτά. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται ομαδοποίηση βάσει των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους σε υποκατηγορίες όπως «Οργανικά», «Χαρτιά & Χαρτόνια» κ.λπ.

***Πίνακας* ΙΙ:** *ΑΣΑ όπως περιγράφονται στον ΕΚΑ.*
Τροποποίηση βάσει της ποιοτικής τους σύστασης

Υποκατηγορίες	**Δημοτικά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα περιλαμβανομένων των χωριστά συλλεγέντων μερών**
Οργανικά	20 01 08 βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χώρων ενδιαίτησης
	20 01 25 βρώσιμα έλαια και λίπη
	20 03 04 λάσπη σηπτικής δεξαμενής
Χαρτιά και χαρτόνια	20 01 01 χαρτί και χαρτόνι
Πλαστικό	20 01 39 πλαστικά
Σιδηρούχα μέταλλα	20 01 40 μέταλλα
Μη σιδηρούχα μέταλλα	20 01 40 μέταλλα
Γυαλί	20 01 02 γυαλί
Διάφορα	20 02 01 βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
	20 01 10 ρούχα
	20 01 11 υφάσματα
	20 01 28 χρώματα, μελάνες, κόλλες και ρητίνες άλλες από τις αναφερόμενες στο 20 01 27
	20 01 38 ξύλα εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στο 20 01 37
	20 01 41 απόβλητα από τον καθαρισμό καμινάδων
	20 02 03 άλλα μη βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
	20 03 01 ανάμεικτα δημοτικά απόβλητα
	20 03 02 απόβλητα από αγορές
	20 03 03 υπολείμματα από τον καθαρισμό δρόμων
Αδρανή	20 01 30 απορρυπαντικά άλλα από τα αναφερόμενα στο 20 01 29
	20 01 32 φάρμακα άλλα από τα αναφερόμενα στο 20 01 31
	20 01 34 μπαταρίες και συσσωρευτές άλλα από τα αναφερόμενα στο 20 01 33
	20 01 36 απορριπτόμενος εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στο 20 01 21, 20 01 23 και 20 01 35
	20 01 99 άλλα μέρη μη προδιαγραφόμενα άλλως
	20 02 02 χώματα και πέτρες
	20 03 06 απόβλητα από τον καθαρισμό λυμάτων
	20 03 07 ογκώδη απόβλητα
	20 03 99 δημοτικά απόβλητα μη προδιαγραφόμενα άλλως
Επικίνδυνα(*)	20 01 13* διαλύτες
	20 01 14* οξέα
	20 01 15* αλκαλικά απόβλητα
	20 01 17* φωτογραφικά χημικά
	20 01 19* ζιζανιοκτόνα
	20 01 21* σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα υδράργυρο
	20 01 23* απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες
	20 01 26* έλαια και λίπη άλλα από τα αναφερόμενα στο 20 01 25
	20 01 27* χρώματα, μελάνες, κόλλες και ρητίνες που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
	20 01 29* απορρυπαντικά που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
	20 01 31* κυτταροτοξικές και κυτταροστατικές φαρμακευτικές ουσίες
	20 01 33* μπαταρίες και συσσωρευτές που περιλαμβάνονται στα σημεία 16 06 01, 16 06 02 ή 16 06 03 και μεικτές μπαταρίες ή συσσωρευτές που περιέχουν τις εν λόγω μπαταρίες
	20 01 35* απορριπτόμενος εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στο 20 01 21 και 20 01 23 που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία
	20 01 37* ξύλο που περιέχει επικίνδυνες ουσίες

Επιπλέον, στον **Πίνακα ΙΙΙ** που ακολουθεί γίνεται κωδικοποίηση των ΑΣΑ σύμφωνα με τον ΕΚΑ. Σημειώνεται ότι τα απόβλητα που επισημαίνονται με αστερίσκο χαρακτηρίζονται ως εν δυνάμει επικίνδυνα απόβλητα.

Πίνακας* ΙΙΙ*: *Κωδικοποίηση των ΑΣΑ σύμφωνα με τον ΕΚΑ*

	Περιγραφή αποβλήτου
Κωδικός ΕΚΑ	**20. Δημοτικά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα περιλαμβανομένων των χωριστά συλλεγέντων μερών**
20 01	χωριστά συλλεγέντα μέρη (εκτός από το σημείο 15 01)
20 01 01	Χαρτί και χαρτόνια
20 01 02	γυαλιά
20 01 08	βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χωρών διαίτησης
20 01 10	ρούχα
20 01 11	υφάσματα
20 01 13*	διαλύτες
20 01 14*	οξέα
20 01 15*	Αλκαλικά απόβλητα
20 01 17*	Φωτογραφικά χημικά
20 01 19*	ζιζανιοκτόνα
20 01 21*	σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα υδράργυρο
20 01 22*	αεροζόλ
20 01 23*	απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες
20 01 25	Βρώσιμα έλαια και λίπη
20 01 26	έλαια και λίπη άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 25

Βιβλιογραφικές Αναφορές

[1]. Κρητικός Νικόλαος-Αλέξανδρος, (Απρίλιος 2014), "Σχεδιασμός διεργασιών προς παραγωγή ενέργειας από Αστικά Στερεά Απορρίμματα. Μελέτη περίπτωσης: Αττική", Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

[2]. Δημουλάς Γεώργιος, (Σεπτέμβριος 2013), "Τεχνολογίες Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ και Δευτερογενών Καυσίμων με έμφαση στις τεχνολογίες Καύσης υψηλής απόδοσης", Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Ηλεκτρολογίας.

[3]. Κακαράς Ε. – Καρέλλας Σ., (Φεβρουάριος 2014), "Αντιρρυπαντική Τεχνολογία Θερμικών Σταθμών", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών.

[4]. CEC, "Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives". Official Journal of the European Union, 2008.

[5]. Παπαγεωργίου Γεώργιος, (Οκτώβριος 2016), "Διυλιστήριο αποβλήτων: Σχεδιασμός και ανάλυση βάσει περιβαλλοντικών και τεχνο-οικονομικών όρων", Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ.

[6]. Μαρία Λοϊζίδου, Καθηγήτρια ΕΜΠ, (Δεκέμβριος 2012), "Βιώσιμη διαχείριση των απορριμμάτων: Μία ολοκληρωμένη αποκεντρωμένη προσέγγιση", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Χημικών Επιστημών, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης & Τεχνολογίας.

[7]. Thalis Environmental Services S.A. Available from: http://www.thalis-es.gr/thalis-es.gr/index.php/el/activities/solid-waste

[8]. ΦΕΚ, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4042, "Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής". Vol. 24/A/13.2.2012. 2012.

[9]. CEC, Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Official Journal of the European Union, (1999).

[10]. Τράπεζα Πληροφοριών Νομοθεσίας, Ν.4447/2016: Αναστολή εφαρμογής ειδικού τέλους ταφής στερεών αποβλήτων. Available from: https://www.e-nomothesia.gr/law-news/n44472016-anastole-epharmoges-eidikou-teloys-tafis-apobliton.html

[11]. EC. (2015) Circular Economy Strategy. (September 2015). Available from: http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/

[12]. EC. (2015) Europe 2020 targets. (September 2015) Available from: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_en.htm

[13]. Eurostat, (2015) Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method from 1995 to 2013. (July 14, 2015). Database: tsdpc240. Available from: http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tsdpc240

[14]. Διεύθυνση Καθαριότητας & Ανακύκλωσης δήμου ΒΒΒ, (Ιούλιος 2015), "Τοπικό σχέδιο δράσης διαχείρισης απορριμμάτων του δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης".

[15]. Psomopoulos Constantinos & Themelis Nickolas, (June 2009), "Potential for energy generation in Greece by mass burning and by pre-processing (RDF/SRF) of solid wastes".

[16]. Θεοπούλου Γιανούλλα, (Φεβρουάριος 2013), "Σύγκριση βιολογικών μεθόδων αξιοποίησης του προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος των Αστικών Σύμμεικτων Απορριμμάτων βάσει των αρχών της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής", Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, ΕΜΠ.

[17]. Πανεπιστήμιο Αιγαίου – ΕΛΕ, (Μάρτιος 2017), "Παροχή Υπηρεσίας για την Διερεύνηση του Ορθού Τρόπου Διαχείρισης της Απόβλητης Υπολειμματικής Βιομάζας (Κλαδιών) του Δήμου Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης με Σκοπό την Ενεργειακή Αξιοποίηση. Επιχειρηματικός Σχεδιασμός (Business Plan) για τη Δημιουργία και Εκμετάλλευση Μονάδας Παραγωγής Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας από Βιομάζα".

[18]. Δέλιος Κυριάκος, Κουτρούλης Αλέξανδρος, Χηντήρη Ελένη, (Μάιος 2014), "Επεξεργασία οργανικών αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας", Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αν. Μακεδονίας και Θράκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.

[19]. Matheri Anthony Njuguna, Sethunya Vuiswa Lucia, Belaid Mohamed, Muzenda Edison, (16 June 2017), "Analysis of the biogas productivity from dry anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste".

[20]. De Baere Luc & Mattheeuws Bruno, (2015), "Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in Europe – Status, Experience and Prospects–"

[21]. California Integrated Waste Management Board (March 2008), "Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste".

[22]. Bekon brochure: "Energy for the future dry fermentation, Innovative Solutions for Municipalities and Waste Management Companies".

[23]. Montejo C., Ramos P., Costa C., Marquez M.C., (June 2010), "Analysis of the presence of improper materials in the composting process performed in ten MBT plants", Bioresource Technology 101 (2010) 8267–8272.

[24]. Φραντζής Ι. & Συνεργάτες Ε.Π.Ε, (Απρίλιος 2008), "Μελέτη Αξιολόγησης Μεθόδων Επεξεργασίας Σύμμεικτων Απορριμμάτων στο Νομό Αττικής", Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων & Κοινοτήτων Ν. Αττικής, ΕΠΕΜ Α.Ε, ENVIROPLAN Α.Ε.

[25]. Colón J., Ponsá S., Álvarez C., Vinot M., Lafuente F.J., Gabriel D., Sánchez A., (30 March 2017), "Analysis of MSW full-scale facilities based on anaerobic digestion and/or composting using respiration indices as performance indicators", Bioresource Technology 236 (2017) 87–96.

[26]. Herbst Virginie, (2014), "New ways to make MBT sustainable Bio-drying for RDF production".

[27]. National Technical University of Athens and Municipality of Papagos- Cholargos, (March 2011), "Development and demonstration of an innovative household dryer for the treatment of organic waste. Deliverable 10: Report on existing methods and techniques (best examples and good practices) on household organic waste management and treatment, including large scale drying systems".

[28]. BEKON dry fermentation technology. Available from: http://www.spin-project.eu/index.php?node_id=58.54&lang_id=1

[29]. RIS International LTD., (April 2005), "Feasibility of Generating Green Power through Anaerobic Digestion of Garden Refuse from the Sacramento Area".

[30]. Herhof GmbH brochure: "Waste Treatment Technologies".

[31]. De Mes T.Z.D., Stams A.J.M., Reith J.H. and Zeeman G. (2003), "Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes".

[32]. Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής, (Ιούνιος 2016), "Καινοτόμες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων, Καύση-Αεριοποίηση-BNL-Αναερόβια Χώνευση", Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων, Ε.Μ.Π.

[33]. Μαυρόπουλος Αντώνης, (Σεπτέμβριος 2008), "Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων", Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμμάτων Κρήτης.

[34]. Klein Alexander, Advisor: Prof. Themelis Nickolas, (May 2002), "Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes", Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation School of Engineering and Applied Science, Columbia University.

[35]. Antonopoulos I.-S., Karagiannidis A., Kalogirou E., (2010), "Estimation of municipal solid waste heating value in Greece in the frame of formulating appropriate scenarios of waste treatment" Aristotle University, Department of Mechanical Engineer, Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineer.

[36]. Vanderreydt I., Van der Linden A., Van Hoof V., Vrancken K., Wenzel H., Ahmed N. S., "Analytical review of comparative environmental assessments of incineration and co-incineration of waste", Final Report, (EURITS 2009). Αντλήθηκε από www.eurits.info

[37]. Λυμπεράτος Γεράσιμος, Καθηγητής, "Παραγωγή Ενέργειας μέσω Αναερόβιας Χώνευσης Στερεών Αποβλήτων και Υπολειμμάτων", Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

[38]. Barth J., Amlinger F., Favoino E., Siebert S., Kehres B., Gottschall R., Bieker M., Löbig A. and Bidlingmaier W., (2008), "Compost Production and Use in the European Union", Report for the European Commission DG/JRC.

[39]. Harris Thomas R., Dick Robert M., Man-Keun Kim, Oliver Anthony and Coronella Charles (March 2011), "Economic Analysis of Waste Recycling Options for Washoe County", University of Nevada, Reno, Center for economic development.

[40]. Pressley Phillip N., Levis James W., Damgaard Anders, Barlaz Morton A., DeCarolis Joseph F. (14 September 2014), "Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment". Waste Management, 2015.,Volume 35: p. 307-317.

[41]. Tsilemou Konstantinia, Panagiotakopoulos Demetrios, (March 2007), "Economic Assessment of Mechanical-Biological Treatment Facilities", Laboratory of Project Management, Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace.

[42]. Āriņa Dace, Kļavenieks Kaspars, Burlakovs Juris, (2014), "The Cost-estimation of Mechanical Pre-treatment Lines of Municipal Solid Waste in Latvia", Latvia University of Agriculture (LLU).

[43]. Εταιρεία Περιβαλλοντικών Μελετών Α.Ε. Available from: http://www.epem.gr/waste-c-control/database/html/costdata-00.htm

[44]. Combs A., (2012), "Life Cycle Analysis of Recycling Facilities in a Carbon Constrained World", Environmental Engineering, North Carolina State University: Raleigh, North Carolina.

[45]. ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.: http://www.helector.gr/

[46]. Ettes Power Machinery CO., LTD. Available from: http://www.ettespower.com/Syngas-Biomass-Generator.html

[47]. Stegmann R., Heyer K.-U., Hupe K., (3 August 2015), "Mechanical biological pretreatment and energetic recovery of RDF fractions in Germany: Processing and costs".

[48]. Waste 360. Available from: http://www.waste360.com/food-waste/lot-digest-state-anaerobic-digestion

[49]. Gkamarazi N., (2015), "Implementing anaerobic digestion for municipal solid waste treatment: challenges and prospects". Mesogeos SA, Environmental Solution Department.

[50]. Eunomia Research & Consulting Ltd., (2009). Final Report to DG Environment, European Commission, "Assessment of the options to improve the management of bio-waste in the European Union, Annex E: Approach to estimating costs". ARCADIS Project number – 11/004759, Version A.

[51]. Karellas Sotirios, Boukis Ioannis, Kontopoulos Georgios (2009),"Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste". Renewable and Sustainable Energy Reviews (2010), 1273-1282.

[52]. Browne James, Nizami Abdul-Sattar, Thamsiriroj T, Murphy Jerry D., (5 July 2011), "Assessing the cost of biofuel production with increasing penetration of the transport fuel market: A case study of gaseous biomethane in Ireland", Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 4537– 4547.

[53]. Tonini Davide, Martinez Sanchez Veronica, Astrup Thomas Fruergaard, (2013), "Material Resources, Energy, and Nutrient Recovery from Waste: Are Waste Refineries the Solution for the Future?", Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark.

[54]. *Jensen, M.B., Moller, J., Scheutz, C.: Assessment of a combined dry anaerobic digestion and post-composting treatment facility for source-separated organic household waste, using material and substance flow analysis and life cycle inventory. Waste Manag.* ***66****, 23–35 (2017)*

[55]. Μαυρόπουλος Αντώνης, (Σεπτέμβριος 2008), "Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων", Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμμάτων Κρήτης.

[56]. *Di Maria, F., Sordi, A., Micale, C.: Energy production from mechanical biological treatment and composting plants exploiting solid anaerobic digestion batch: an Italian case study. Energy Convers. Manag.* ***56****, 112–120 (2012)*

[57]. Ohioline, Ohio State University Extension, "Solid-state anaerobic digestion for energy production from organic waste". Available from: https://ohioline.osu.edu/factsheet/aex-653-11

[58]. Mesogeos SA, Environmental Solution Department. Available from: http://mesogeos.gr/

[59]. Garcia Adriana Perez, (2014), "Techno-economic feasibility study of a small-scale biogas plant for treating market waste in the city of El Alto".

[60]. Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής, (Ιούνιος 2016), "Καινοτόμες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων, Καύση-Αεριοποίηση-BNL-Αναερόβια Χώνευση", Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων, Ε.Μ.Π.

[61]. Πανεπιστήμιο Αιγαίου – ΕΛΕ, (Μάιος 2017), "Παροχή Υπηρεσίας για την Διερεύνηση του Ορθού Τρόπου Διαχείρισης της Απόβλητης Υπολειμματικής Βιομάζας (Κλαδιών) του Δήμου Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης με Σκοπό την Ενεργειακή Αξιοποίηση. Ανάδειξη Αποτελεσματικότερης Μεθόδου Ενεργειακής Αξιοποίησης Υπολειμματικής Βιομάζας με την Αξιολόγηση Ενεργειακών Έργων Αξιοποίησης Κλαδεμάτων".

[62]. Eunomia Research & Consulting Ltd., (2009), "Economic Analysis of Options for Managing Biodegradable Municipal Waste", Final Report to the European Commission.

[63]. European Commission, (August 2006), "Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration".

[64]. Palmosev Available from: https://www.palmosev.gr/84787/---ΘΗΒΑ

[65]. Voria. Available from: http://www.voria.gr/article/xekinise-i-kataskevi-tis-monadas-epexergasias-aporrimmaton-stis-serres

[66]. Voria. Available from: http://www.voria.gr/article/dimopratite-i-monada-epexergasias-apovliton-alexandroupolis

[67]. ΦΕΚ, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4414, "Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης - Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό

των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις".

[68]. Κουρκούμπας Δημήτριος-Σωτήριος, (Οκτώβριος 2010), "Συγκριτική ανάλυση κύκλου ζωής ενεργειακής αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

[69]. BNL Clean Energy. Available from: http://www.bnlin.com

[70]. *Απόφαση 414/16: Έγκριση 2ης αναθεώρησης ΠΕ.Σ.Δ.Α Αττικής. Available from: https://www.edsna.gr/images/pdf/%CE%91%CF%80%CE%BF%CF%86.%20414%20%CE%95%CE%93%CE%9A%CE%A1%CE%99%CE%A3%CE%97%202%CE%97%CE%A3%20%CE%91%CE%9D%CE%91%CE%98%CE%95%CE%A9%CE%A1%CE%97%CE%A3%CE%97%CE%A3%20%CE%A0%CE%95%CE%A3%CE%94%CE%91.pdf*

[71]. Νίκος Σακκάς (2002) "Αξιολόγηση Επανδύσεων ΜΕΡΟΣ Ι: Βασική Θεωρία", LEI Crete

[72]. Βασίλης Σ. Μουστάκης (2016), "Πρακτικός Οδηγός Οικονομικής ανάλυσης", Εκδόσεις Τζιόλα

[73]. Avraham Shtub, Jonathan F. Bard, Shlomo Globerson (Δεύτερη Έκδωση 2008), "Διαχείριση Έργων (Διεργασίες, Μεθοδολογία και Τεχνοοικονομική)" , Εκδόσεις Επίκεντρο

[74]. Φελεσκούρα Χριστίνα ,Παπαϊωάννου Ελένη, Μάϊος 2004, "Σύγχρονες τεχνολογίες ανακύκλωσης απορριμμάτων- Διαχείριση και ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων", Τ.Ε.Ι Χαλκίδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, τμήμα ηλεκτρολογίας.

[75]. http://faculty.college-prep.org/~bernie/sciproject/project/wastemgt/intro.html

[76]. Arena Umberto, (9 September 2011), "Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review", Waste Management 32 (2012) 625–639.

[77]. Νικολάου Κώστας, Δρ. Χημικός Περιβαλλοντολόγος, (2011), "Διαχείριση των απορριμμάτων και επιπτώσεις", Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

[78]. Ellyin Claudine, Advisor: Prof. Themelis Nickolas, (September 2012), "Small Scale Waste-to-Energy Technologies", Department of Earth and Environmental Engineering, Columbia University.

[79]. Murphy J.D. & McKeogh E., (December 2003), "Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste", Renewable Energy 29 (2004) 1043–1057.

[80]. Ξένη Βασιλική, (Ιούλιος 2013), "Μελέτη βιωσιμότητας της μεθόδου αεριοποίησης υπολειμματικών καυσίμων από αστικά απορρίμματα μέσω διερεύνησης περιβαλλοντικών και τεχνοοικονομικών παραγόντων", Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, ΕΜΠ.

[81]. Favoino Enzo, Confalonieri Alberto, Boyer Francesco in cooperation with: Amlinger Florian, (14 June 2013), "Development of Legal Framework on Bio-Waste Management and Establishment of Quality Assurance System for Compost and National Organisation of Quality Assurance for the Compost", STAGE III, Part II: Technical Requirements for Anaerobic Digestion.

[82]. Li Yebo, Park Stephen Y., Zhu Jiying (16 July 2010), "Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste", Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 821–826.

[83]. Montejo Cristina, Costa Carlos, Ramos Pedro, Marquez Maria Del Carmen (March 2011), "Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants", Chemical Engineering Department, University of Salamanca.

[84]. Jenbacher gas engines brochure (May 22, 2009). Available from: http://www.piesa.com/Portals/36/Documents/PIESAConference/Jenbacher_gas_engines_renewables_1-1.pdf

[85]. Δημητριάδης Σάββας, (Ιούνιος 2011), "Σχεδιασμός και μελέτη βιωσιμότητας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, σε ηλεκτρισμό, του κτιρίου Ι (ΜΠΔ) της Πολυτεχνικής Σχολής Ξάνθης του Δ.Π.Θ." Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνική Σχολή.

[86]. Κακαράς Ε. - Καρέλλας Σ., (Μάρτιος 2016), "Διεσπαρμένη Παραγωγή, Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας".

[87]. Tonini Davide and Astrup Thomas, (September 2011), "Life-cycle assessment of a waste refinery process for enzymatic treatment of municipal solid waste". Waste Management, 2012. Volume 32, Issue 1: p. 165-176.

[88]. BNL Clean Energy. Available from: http://bnlce.com/en/info/downloads