



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων

Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Διυλιστήριο αποβλήτων: Σχεδιασμός και
ανάλυση βάσει περιβαλλοντικών και τεχνο-
οικονομικών όρων»**

**«Waste Refinery: Design and analysis based
on environmental and techno-economic
principles»**

Του Φοιτητή

Παπαγεωργίου Γεώργιου

Επιβλέπων

**Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ**

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

Πρόλογος

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. Δρ. Σωτήριο Καρέλλα για τη δυνατότητα, την οποία μου παρείχε, να ασχοληθώ με αυτό θέμα, καθώς και για την επίβλεψη της εργασίας. Επιπλέον, είμαι ευγνώμων στον κ. Δημήτριο-Σωτήριο Κουρκούμπα, Επιστημονικό Συνεργάτη του Ε.Κ.Ε.Τ.Α./Ι.Δ.Ε.Π. και υπ. διδάκτωρ του Ε.Μ.Π., για τις πολύτιμες συμβουλές του και για την καθοδήγηση, την οποία μου παρείχε, ούτως ώστε να έρθει εις πέρας η εργασία. Ένα μεγάλο ευχαριστώ απευθύνεται, επίσης, στο Ε.Κ.Ε.Τ.Α./Ι.Δ.Ε.Π. και στους εργαζομένους του για τη βοήθειά και τη στήριξή τους στο διάστημα της συνεργασίας μας. Τέλος, χωρίς την οικογένεια, τους φίλους και την κοπέλα μου δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση του εγχειρήματος αυτού.

Γεώργιος Παπαγεωργίου

Νέο Ψυχικό, 24/9/2016

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	1
Summary.....	2
Κεφάλαιο 1 ^ο : Απόβλητα	5
1.1 Αστικά στερεά απόβλητα	6
1.2 Σύσταση ΑΣΑ	8
1.3 Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΣΑ	11
1.4 Στόχοι και υφιστάμενη κατάσταση	14
1.5 Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	18
Κεφάλαιο 2 ^ο : Διυλιστήριο αποβλήτων.....	21
2.1 Μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων.....	22
2.1.1 Χώνευση	22
2.1.2 Ενζυμική διεργασία	26
2.1.3 Στάδιο προεπεξεργασίας	29
2.1.4 Στάδιο ενζυμικής υδρόλυσης.....	31
2.2 Διυλιστήριο αποβλήτων και βιοδιυλιστήρια	34
2.3 Σχεδιασμός και λειτουργία Διυλιστηρίου αποβλήτων	36
2.4 Ισολογισμός μάζας βιοδιυλιστηρίου και ανάλυση ευαισθησίας	39
Κεφάλαιο 3 ^ο : Συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης ΑΣΑ.....	49
3.1 Μονάδα μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας.....	49
3.1.1 Σχεδιασμός MMBE	50
3.1.2 Ισολογισμός μάζας και ανάλυση ευαισθησίας	52
3.2 Διαλογή στην Πηγή.....	56
3.3 Χώρος υγειονομικής ταφής.....	61
Κεφάλαιο 4 ^ο : Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	65
4.1 Προσδιορισμός σκοπού και πεδίου μελέτης	66
4.2 Καταγραφή εισροών και εκροών.....	67
4.2.1 Diesel	72
4.2.2 Ηλεκτρική ενέργεια	73
4.2.3 Ανακύκλωση χαρτιού	74
4.2.4 Ανακύκλωση πλαστικού	75
4.2.5 Ανακύκλωση σιδήρου	76
4.2.6 Ανακύκλωση αλουμινίου	77
4.2.7 Ανακύκλωση γυαλιού.....	78
4.2.8 Χρήση κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό.....	79
4.3 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	81

4.3.1 Σενάριο I – Διυλιστήριο αποβλήτων	83
4.3.2 Σενάριο II – ΜΜΒΕ	88
4.3.3 Σενάριο III – ΔσΠ.....	95
4.3.4 Σενάριο IV – ΧΥΤΑ.....	102
4.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων.....	108
Κεφάλαιο 5 ^ο : Ανάλυση κόστους.....	111
5.1 Κόστος πρώτων υλών	115
5.2 Κόστος συλλογής ΑΣΑ.....	116
5.2.1 Κόστος επένδυσης.....	116
5.2.2 Κόστος λειτουργίας	117
5.2.3 Αλγόριθμος υπολογισμού κόστους συλλογής	117
5.2.4 Συνολικό κόστος συλλογής σύμμεικτων ΑΣΑ.....	121
5.2.5 Συνολικό κόστος συλλογής ΔσΠ ΑΣΑ	126
5.3 Κόστος μεταφοράς ΑΣΑ.....	130
5.3.1 Κόστος επένδυσης.....	131
5.3.2 Κόστος λειτουργίας	132
5.3.3 Συνολικό κόστος μεταφοράς ΑΣΑ	132
5.4 Κόστος επεξεργασίας ΑΣΑ	137
5.4.1 Κόστος υγειονομικής ταφής.....	137
5.4.2 Κόστος Σεναρίου IV – ΧΥΤΑ	140
5.4.3 Κόστος διύλισης ΑΣΑ	142
5.4.4 Κόστος Σεναρίου I – Διυλιστήριο αποβλήτων.....	144
5.4.5 Κόστος ΜΜΒΕ.....	146
5.4.6 Κόστος Σεναρίου II –ΜΜΒΕ.....	148
5.4.7 Κόστος επεξεργασίας ΔσΠ ΑΣΑ	149
5.4.7.1 Κόστος μονάδας κομποστοποίησης.....	149
5.4.7.2 Κόστος ΚΔΑΥ	151
5.4.8 Κόστος Σεναρίου III – ΔσΠ.....	153
5.5 Ερμηνεία αποτελεσμάτων.....	157
Κεφάλαιο 6 ^ο : Συμπεράσματα-Προτάσεις μελλοντικής εργασίας.....	163
Παράρτημα I: Ευρωπαϊκός κατάλογος αποβλήτων	165
Παράρτημα II: Αναλυτική ποιοτική και χημική σύσταση ΑΣΑ στην Ελλάδα.....	167
Βιβλιογραφία.....	172

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενό της την μελέτη της διεργασίας διύλισης αστικών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η περιβαλλοντική της απόδοση βάσει των αρχών της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (**AKZ**) και αξιολογείται το κόστος αυτής της διεργασίας βάσει τεχνο-οικονομικών όρων. Τα αποτελέσματα, περιβαλλοντικά και οικονομικά συγκρίνονται με αυτά των συμβατικών μεθόδων διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (**ΑΣΑ**). Η διερεύνηση γίνεται για την Ελληνική Επικράτεια και για το έτος 2015.

Στο **1^ο Κεφάλαιο** παρουσιάζεται συνοπτικά η Ευρωπαϊκή και η Ελληνική νομοθεσία σχετικά με την διαχείριση των ΑΣΑ και περιγράφεται το πλαίσιο της διαχείρισής τους στην Ευρώπη. Ορίζεται, επιπλέον, η ποιοτική και η φυσικοχημική σύσταση των ΑΣΑ της Ελληνικής Επικράτειας. Τέλος, παρατίθεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση επί του Διυλιστηρίου αποβλήτων και περιγράφονται αναλυτικά οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **2^ο Κεφάλαιο** παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της διεργασίας διύλισης ΑΣΑ. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται τόσο η διεργασία της αερόβιας και της αναερόβιας χώνευσης των Βιοαποικοδομήσιμων Αστικών Αποβλήτων (**ΒΑΑ**), όσο και η διεργασία της ενζυμικής υδρόλυσης υποστρώματος βιομάζας ως στάδιο προεπεξεργασίας των βιοδιυλιστηρίων. Γίνεται, έπειτα, η σύνδεση της τεχνολογίας των βιοδιυλιστηρίων και με αυτή του Διυλιστηρίου αποβλήτων αναφορικά με το σκέλος της ενζυμικής υγροποίησης των ΑΣΑ. Τέλος, γίνεται ο ισολογισμός μάζας, και η ανάλυση ευαισθησίας αυτού, και υπολογίζονται ποσοτικά και ποιοτικά τα προϊόντα της διεργασίας.

Στο **3^ο Κεφάλαιο** περιγράφονται οι συμβατικές τεχνικές διαχείρισης ΑΣΑ, οι οποίες συναντώνται στην Ελληνική Επικράτεια. Παρουσιάζεται ο σχεδιασμός 3 Σεναρίων διαχείρισης, τα οποία αποτελούν εναλλακτικές προτάσεις στο Διυλιστήριο. Αυτές είναι (i) μια Μονάδα Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (**ΜΜΒΕ**), (ii) ένα σύμπλεγμα Κέντρων Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (**ΚΔΑΥ**) και μιας Μονάδας Κομποστοποίησης για την διαχείριση των ΔσΠ ΑΣΑ και (iii) ένας Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (**ΧΥΤΑ**) για τη διαχείριση των σύμμεικτων ΑΣΑ. Στις προαναφερθείσες Μονάδες Επεξεργασίας ΑΣΑ (**ΜΕΑ**) γίνεται ισολογισμός μάζας και ανάλυση ευαισθησίας.

Στο **4^ο Κεφάλαιο** παρατίθενται οι αρχές της ΑΚΖ, καθορίζονται ο σκοπός και το πεδίο μελέτης και καταγράφονται οι εισροές και οι εκροές των εξεταζόμενων Σεναρίων. Οι εισροές αναφέρονται, κυρίως, στις αξιοποιούμενες πρώτες ύλες (ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμα) και οι εκροές στα τελικά ανακυκλωμένα προϊόντα (χαρτί, πλαστικό, μέταλλα και γυαλί), στο παραχθέν κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό και στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την αναερόβια χώνευση, η οποία αντικαθιστά το εγχώριο μίγμα καυσίμου του διασυνδεδεμένου δικτύου. Με βάσει τις διεργασίες αυτές γίνεται εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υπό εξέταση συστημάτων με τη χρήση της Μεθόδου Impact 2002+ και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα αυτής.

Στο **5^ο Κεφάλαιο** παρατίθεται η ανάλυση κόστους των 4 Σεναρίων διαχείρισης ΑΣΑ. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αποτίμηση της αποκομιδής των ΑΣΑ. Μελετάται η σύμμεικτη συλλογή, η οποία εξυπηρετεί το Διυλιστήριο, τη ΜΜΒΕ και το ΧΥΤΑ και η ΔσΠ συλλογή για το σύμπλεγμα των ΚΔΑΥ και της Μονάδας Κομποστοποίησης. Έπειτα, υπολογίζεται η μεταφορά των ΑΣΑ μέσω Σταθμών Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (**ΣΜΑ**) στις ΜΕΑ και ακολουθεί η κοστολόγηση των εγκαταστάσεων του Διυλιστηρίου, της ΜΜΒΕ, των ΚΔΑΥ, της Μονάδας Κομποστοποίησης και των ΧΥΤ. Για τις προαναφερθείσες εγκαταστάσεις και το στάδιο συλλογής και μεταφοράς, διεκπεραιώνεται και ένα ακόμα βήμα, αυτό της αξιολόγησής τους βάσει της δυναμικότητάς τους για πληθυσμό έως 300.000 κατοίκων ή 153.000tn ΑΣΑ υ.β. ετησίως. Τέλος, ειδικά για το στάδιο της συλλογής εξετάζεται η γεωγραφία και η κατανομή των κατοίκων σε οικιστικούς ιστούς (κοινότητες, μικρές πόλεις και πόλεις) και σε διοικητικές δομές (Δήμους, Νομούς και Περιφέρειες).

Τέλος, στο **6^ο Κεφάλαιο** συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και δίνονται προτάσεις για μελλοντική εργασία.

Summary

The goal of this diploma thesis is the study of the municipal waste refining process. More specifically, it takes into consideration the environmental performance of the facility, which is based on the principles of Life Cycle Analysis (**LCA**). Furthermore, it assesses the cost of this process based on techno-economic terms. The results, both environmental and economic, are compared with those of traditional Municipal Solid Waste (**MSW**) management techniques. The investigation is on Greek territory for the year 2015.

The **1st Chapter** summarizes both European and Greek legislation regarding the management of MSW. It is also supplemented with the description of the current management situation of MSW in Europe. Moreover, in this chapter, a qualitative and physicochemical composition of the Greek MSW composition is conducted. Finally, the literature review on the Waste Refinery is provided and the goals of the current thesis are thoroughly stated.

In the **2nd Chapter** the theoretical background of MSW refining process is presented. Furthermore, the processes of aerobic and anaerobic digestion of biodegradable municipal waste, as well as enzymatic liquefaction of biomass substrate for biorefineries are described. A connection between biorefineries and the Waste Refinery is made with regards to the enzymatic liquefaction of MSW. Finally, the mass balance of the process is calculated and a sensitivity analysis regarding the quantity and quality of the process's products is conducted.

In the **3rd Chapter**, the conventional MSW management techniques, alternate to the refining process, are described. More specifically, 3 waste management Scenarios, which are likely to be practiced in the Greek Region are presented. These are (i) a Mechanical and Biological Treatment facility (**MBT**), (ii) Material Recycling Facilities (**MRFs**) in conjunction with a Composting facility for managing source segregated MSW and (iii) a landfill for the disposal of commingled MSW. In the aforementioned MSW processing facilities the mass balance and its respective sensitivity analysis are calculated.

The **4th Chapter** presents the LCA principles, defines the purpose and the field of study and records the inputs and outputs of the 4 waste management Scenarios. Inputs refer mainly to the utilization of raw materials (electric energy, fuels) and outputs refer to the final recycled products (paper, plastic, metals and glass), the produced compost, which is used as a soil softener, and produced electric energy deriving from anaerobic digestion, which replaces the domestic fuel mix of the power grid. Based on these processes and on the Impact 2002+ methodology, the assessment of the waste management systems is carried out and its results are evaluated.

The **5th Chapter** examines the cost of the 4 waste management Scenarios. In particular, it assesses the collection of MSW, both commingled and source segregated. Commingled collection serves the refinery, the MBT and the landfill, while source segregated collection serves the MRF/Composting facility cluster. Then, the transport of MSW through Waste Transfer Stations (**WTS**) is modelled, followed by the cost analysis of the facilities of the Waste Refinery, the MBT, the MRFs/Composting plant cluster and of the landfill. For the abovementioned stages (collection, transportation and treatment), follows another analysis, which evaluates the correlation between the annual capacity (tpa) of the facilities and the initial capital investment and the specific cost of treatment (€/tpa). Thus, cases from 10,000 up to 300,000 residents are considered, which translates in tpa range of 5,100 – 153,000. Finally, especially for the stage of collection the geography and the population distribution in residential tissues (communities, towns and cities) and administrative structures (Municipalities, States and Region) are taken into account.

Finally, the **6th Chapter** contains the conclusions of the study and provides future work recommendations.

Κεφάλαιο 1^ο: Απόβλητα

Στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2008/98/ΕΚ [1], η οποία είναι γνωστή ως «Ευρωπαϊκή Οδηγία-Πλαίσιο για τη Διαχείριση Αποβλήτων» (**ΟΠΑ**), δίνεται ο ορισμός των αποβλήτων ως «κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει» και της διαχείρισης αποβλήτων ως «η συλλογή, μεταφορά, ανάκτηση και διάθεση αυτών». Επιπλέον, με την Απόφαση 2000/532/ΕΚ [2] θεσπίζεται ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (**ΕΚΑ**), όπου και γίνεται η κατηγοριοποίηση των αποβλήτων βάσει της προέλευσής τους σε 20 υποκατηγορίες. Οι 19 υποκατηγορίες αφορούν τους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας, όπως τη βιομηχανία, το εμπόριο, τη γεωργία, κ.λπ., και η 20^η κατηγορία αφορά τα δημοτικά απόβλητα. Ομαδοποιώντας, λοιπόν, τις κατηγορίες του ΕΚΑ προκύπτουν οι ακόλουθες **4 βασικές υπερκατηγορίες**:

1. **Απόβλητα αστικού τύπου.** Σε αυτά περιλαμβάνονται τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (**ΑΣΑ**) και οι ιλύες αστικού τύπου. Στα ΑΣΑ υπάγονται (i) τα απόβλητα των νοικοκυριών και (ii) τα απόβλητα που παράγονται από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα, ένοπλες δυνάμεις και υγειονομικές μονάδες, και τα οποία προσιδιάζουν, ως προς την σύστασή τους, με αυτά των νοικοκυριών. Τα επιμέρους κλάσματα των ΑΣΑ παρουσιάζονται αναλυτικά στο **Παράρτημα Ι**. Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι στο ρεύμα των ΑΣΑ περιλαμβάνονται και Μικρές Ποσότητες Επικίνδυνων Αποβλήτων (**ΜΠΕΑ**). Στις ΜΠΕΑ εντοπίζονται χημικές ουσίες, οι οποίες τις καθιστούν τοξικές, εύφλεκτες, καρκινογόνες ή/και διαβρωτικές [1].

Όσον αφορά τώρα τις ιλύες αστικού τύπου, παράγονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και προέρχονται από (i) νοικοκυριά-επιχειρήσεις, (ii) τουριστικές μονάδες, (iii) βιομηχανίες του κλάδου τροφίμων και ποτών ή και (iv) κοινωφελείς οργανισμούς.

2. **Βιομηχανικά απόβλητα και απόβλητα λοιπών δραστηριοτήτων.** Σε αυτά περιλαμβάνονται όλα τα απόβλητα βιομηχανικής προέλευσης, τα οποία προκύπτουν κυρίως από τους τομείς της μεταποίησης και της παραγωγής ενέργειας. Στην κατηγορία αυτή συναντώνται ρεύματα αποβλήτων, όπως:

- Απόβλητα Έλαια (**ΑΕ**)
- Απόβλητα Συσσωρευτών Οχημάτων και Βιομηχανίας (**ΑΣΟΒ**)
- Οχήματα στο Τέλος του Κύκλου Ζωής τους (**ΟΤΚΖ**)
- Μεταχειρισμένα Ελαστικά Οχημάτων (**ΜΕΟ**)
- Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (**ΑΗΗΕ**)
- Απόβλητα φορητών Ηλεκτρικών Στηλών και Συσσωρευτών (**ΗΣ&Σ**)

3. **Απόβλητα Εκκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ).** Στα απόβλητα αυτά υπάγονται τα κλάσματα, τα οποία περιγράφονται στη 17^η κατηγορία του ΕΚΑ. Προκύπτουν κυρίως από την οικοδομική δραστηριότητα και από έργα οδοποιίας.
4. **Γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα.** Στα απόβλητα αυτά υπάγονται τα κλάσματα, τα οποία περιγράφονται στη 2^η κατηγορία του ΕΚΑ. Περιλαμβάνουν, κυρίως, απόβλητα κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης, όπως κοπριά, υγρά αμελκτηρίου, κ.λπ., υπολείμματα καλλιεργειών και αποσυρόμενα φρούτα και λαχανικά.

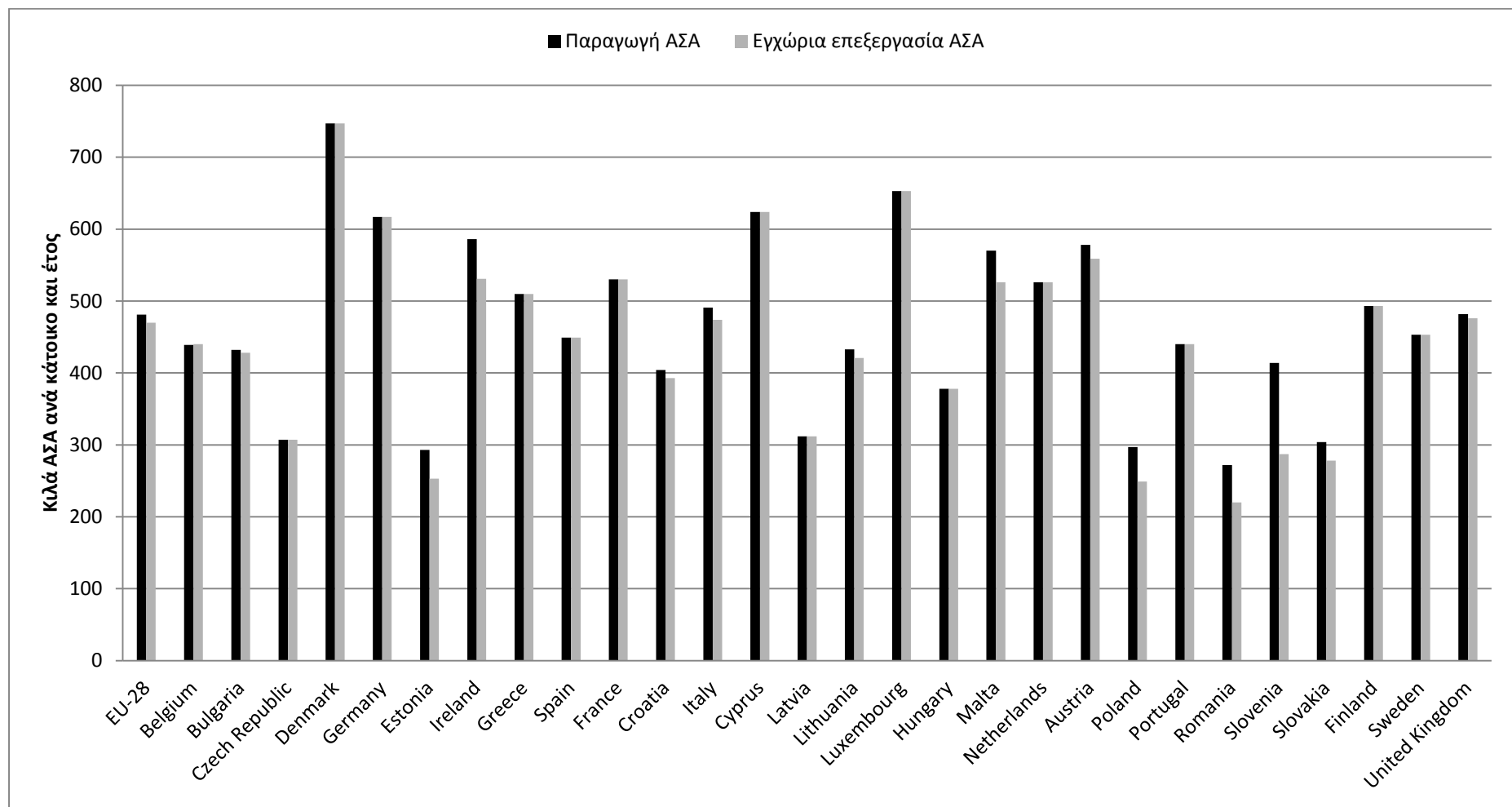
1.1 Αστικά στερεά απόβλητα

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των ΑΣΑ, είναι **(i) η παραγόμενη ποσότητα και (ii) η σύστασή τους**. Σύμφωνα με την Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΕΔΣΑ) [3], οι παράγοντες που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά αυτά είναι «το βιοτικό επίπεδο, τα καταναλωτικά πρότυπα, η κινητικότητα του αστικού πληθυσμού και οι εποχές του έτους». Αξιοποιώντας τα τελευταία επίσημα στοιχεία της Eurostat από την **βάση δεδομένων tsdpc240** [4], για τις παραγόμενες ποσότητες ΑΣΑ των 28 κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ-28), προκύπτουν το **Γράφημα 1** και ο **Πίνακας 1**.

Στο **Γράφημα 1** απεικονίζεται η ετήσια κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΣΑ σε kg κάθε κράτους-μέλους της ΕΕ-28. Επίσης απεικονίζεται και η ποσότητα αυτών που επεξεργάστηκε εντός της χώρας. Έτσι η διαφορά των δύο αυτών ποσοτήτων ισούται με την διασυνοριακή μεταφορά ΑΣΑ, όπως αυτή περιγράφεται στην ΟΠΑ. Ο ακόλουθος **Πίνακας 1** δείχνει την χρονική διακύμανση της ετήσιας κατά κεφαλής παραγωγής ΑΣΑ τόσο στην Ελλάδα, όσο και στην ΕΕ-27 και στην ΕΕ-28.

Πίνακας 1. Χρονική διακύμανση ετήσιας κατά κεφαλής παραγωγής ΑΣΑ σε kg σε Ελλάδα και Ευρώπη [4].

Έτος	1995	1998	2001	2004	2007	2010	2013
ΕΕ-27	473	497	521	513	-	-	-
ΕΕ-28	-	-	-	-	523	503	481
Ελλάδα	336	377	416	432	448	531	510



Γράφημα 1. Ετήσια κατά κεφαλήν παραγωγή και εγχώρια επεξεργασία ΑΣΑ στην ΕΕ-28 για το έτος 2013 [4].

Παρατηρώντας την χρονική εξέλιξη της μέσης παραγόμενης ποσότητας ΑΣΑ της Ελλάδας ως προς αυτή του μέσου όρου των κρατών της ΕΕ (βλ. [Πίνακας 1](#)), προκύπτει ότι μέχρι και το 2001 ήταν αρκετά χαμηλότερη. Έπειτα υπάρχει σύγκλιση και ταυτόχρονη αύξηση των δύο αυτών μεγεθών με την πάροδο των χρόνων (1995-2007). Τέλος, μετά το 2007 η παρατηρούμενη μείωση της παραγόμενης ποσότητας ΑΣΑ μπορεί να αποδοθεί στις επιπτώσεις της οικονομικής κρίσης, στον επαναπροσδιορισμό δηλαδή των καταναλωτικών προτύπων και την πτώση του βιοτικού επιπέδου του πολίτη της ΕΕ-28. Λόγω, λοιπόν, της αβεβαιότητας στην μεταβολή της ποσότητας παραγόμενων ΑΣΑ σε σχέση με το χρόνο, η ποσότητα αυτή θα λαμβάνεται σταθερή ανά τα ακόλουθα έτη και ίση με **510kg ανά κάτοικο** για την Ελλάδα για τους αναγκαίους υπολογισμούς στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1.2 Σύσταση ΑΣΑ

Ο προσδιορισμός της σύστασης των ΑΣΑ στην Ελλάδα, πραγματοποιείται σε 3 επίπεδα. Αυτά είναι (i) το ποιοτικό, (ii) το φυσικοχημικό και (iii) το βιολογικό. Όσον αφορά την ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ, αυτή αναφέρεται στα επιμέρους κλάσματα, τα οποία συναντώνται στο ρεύμα των ΑΣΑ και τα οποία αναφέρονται στον ΕΚΑ. Αυτά κατηγοριοποιούνται σε οργανικό κλάσμα, σε κλάσμα, δηλαδή, υπολειμμάτων τροφής και απόβλητα κήπου, σε χάρτινο, σε πλαστικό, σε μεταλλικό, σε γυάλινο, σε διαφόρων-καϊόμενων και σε αδρανές-μη καιόμενο κλάσμα (βλ. [Πίνακας 2](#)). Αξιοποιώντας τα επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας ([ΥΠΕΜ](#)) [\[5\]](#), της μελέτης της Φραντζής και Συνεργάτες Ε.Π.Ε. [\[6\]](#) και τις πυκνότητες των κλασμάτων των ΑΣΑ κατά την συλλογή τους [\[7\]](#), διαμορφώνεται η ακόλουθη ποιοτική σύσταση:

Πίνακας 2. Συνοπτική ποιοτική σύσταση ΑΣΑ υ.β. της Ελλάδας για το έτος 2015 [\[5-7\]](#).

Κλάσματα ΑΣΑ	Περιεκτικότητα επί υγρού βάρους (υ.β.)	Πυκνότητα κλασμάτων (kg/m ³)
Οργανικά	41,0%	200,0
Χαρτί & χαρτόνι	29,0%	210,5
Πλαστικό	14,0%	140,0
Μέταλλα	3,5%	230,0
Γυαλί	3,5%	333,2
Διάφορα (καιόμενα)	7,5%	292,4
Αδρανή (μη-καιόμενα και επικίνδυνα)	1,5%	633,8
Σύνολο	100,0%	213,8

Η συνολική πυκνότητα των ΑΣΑ κατά την διαλογή τους προκύπτει σταθμίζοντας τις επιμέρους πυκνότητες των κλασμάτων βάσει της σύστασης. Στην ακόλουθη εξίσωση ([Εξ. 1](#)) συνοψίζεται η στάθμιση που γίνεται, ούτως ώστε να προκύψει η τελική πυκνότητα των ΑΣΑ ($P_{ΑΣΑ \text{ υ.β.}}$).

$$P_{ΑΣΑ \text{ υ.β.}} = \sum_{i=1}^7 x_i * P_{\text{κλασμ.υ.β.}} \quad (\text{Εξ. 1})$$

Για την αναλυτική ποιοτική σύσταση, αλλά και τη φυσικοχημική, των ΑΣΑ της Ελλάδας αξιοποιήθηκε η βάση δεδομένων που έχει καταρτιστεί από τους Ribber *et. al.* [8] και η οποία αφορά τη σύσταση των ΑΣΑ της Δανίας. Η εν λόγω μελέτη προσαρμόστηκε στην Ελληνική ποιοτική σύσταση λόγω των αναλυτικών αποτελεσμάτων της (**48 κλάσματα ΑΣΑ και 24 χημικά στοιχεία-ίχνη**). Αναλυτικά παρουσιάζονται στο **Παράρτημα II** και η συνοπτική τους απεικόνιση γίνεται στον ακόλουθο **Πίνακας 3**.

Πίνακας 3. Φυσικοχημική σύσταση ΑΣΑ υ.β. της Ελλάδας για το έτος 2015.

LHV (MJ/kg υ.β.)	11,75
Συνολικά στερεά (%kg TS/kg ww)	63,55%
H₂O (%kg H₂O/kg ww)	36,45%
Πτηρικά στερεά (%kg VS/kg TS)	80,77%
Τέφρα (%kg ash/kg TS)	19,23%
Κύρια χημικά στοιχεία (kg/kg ww)	
C	C-biogenic: 0,188
	C-fossil: 0,110
H	0,042
O	0,156
N	0,007
S	0,001
Μέταλλα και ίχνη (kg/kg ww)	
Al	0,014
As	1,33E-06
Ca	0,013
Cd	1,21E-07
Cl	0,003
Cr	6,52E-05
Cu	8,77E-05
F	8,59E-05
Fe	0,012
Hg	4,20E-08
K	0,002
Mg	0,001
Mn	1,06E-04
Mo	1,17E-06
Na	0,002
Ni	3,47E-05
P	0,001
Pb	2,90E-05
Zn	0,001
Λοιπά	0,083
Σύνολο	0,636

Αν και στην πηγή [8] αναφέρονται 61 χημικές ενώσεις και στοιχεία, εντούτοις παρουσιάζονται μόνο τα 24. Επομένως προστίθεται η ποσότητα «Λοιπά», για να κλείσει η φυσικοχημική ανάλυση στο 100% (0,636kg DM + 0,364kg H₂O).

Σχετικά τώρα με την βιολογική σύσταση των ΆΣΑ, αυτή αφορά την βιομάζα που συναντάται σε αυτά, και πιο συγκεκριμένα στα κλάσματα των Οργανικών, του Χαρτιού και των Διαφόρων. Τα σημαντικά συστατικά της βιομάζας των ΑΣΑ είναι τα ακόλουθα:

1. Υδατάνθρακες, όπως:
 - a. Άμυλο, κυτταρίνη: (C₆H₁₀O₅)_n
 - b. Ημικυτταρίνη: (C₅H₈O₄)_n και (C₆H₁₀O₅)_n
2. Πρωτεΐνες: C₁₆H₂₄O₅N₄
3. Έλαια και λίπη: C₅₀H₉₀O₆
4. Λιγνίνη (C₃₁H₃₄O₁₁)_n

Βάσει της βιολογικής σύστασης καθίσταται δυνατή η μοντελοποίηση της διαχείρισης των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων (**BAA**) των ΑΣΑ μέσω χώνευσης, αναερόβιας ή αερόβιας (κομποστοποίησης). Σύμφωνα με την Αμερικάνικη Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (**EPA**) [9, 10] και την μοντελοποιημένη σύσταση ΑΣΑ στη δημοσίευση των Jensen *et al.*[10], η επί ξ.β. σύσταση των ΑΣΑ αποτελείται από **30-50% κυτταρίνη, 7-12% ημικυτταρίνη και 15-28% λιγνίνη** και περιέχει μικρές ποσότητες αμύλου, πρωτεϊνών και λιπών. Ωστόσο, δεν γίνεται αναφορά στην βιολογική σύσταση των επιμέρους κλασμάτων. Μόνο για τα ρεύματα των αποβλήτων κήπου και του χαρτιού υπάρχουν αναλυτικά οι βιολογικές συστάσεις [9, 11, 12]. Για το κλάσμα των αποβλήτων κουζίνας και των Διαφόρων δεν κατέστη δυνατό να βρεθούν στην βιβλιογραφία αναλυτικές βιολογικές συστάσεις. Επομένως, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν καταρτίζεται αναλυτικά η βιολογική σύσταση των ΑΣΑ.

Η έλλειψη βιολογικής σύστασης θα μπορούσε να οδηγήσει σε αδυναμία μοντελοποίησης των βιολογικών επεξεργασιών των ΑΣΑ. Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό επιλύεται με την εφαρμογή των ακόλουθων βημάτων:

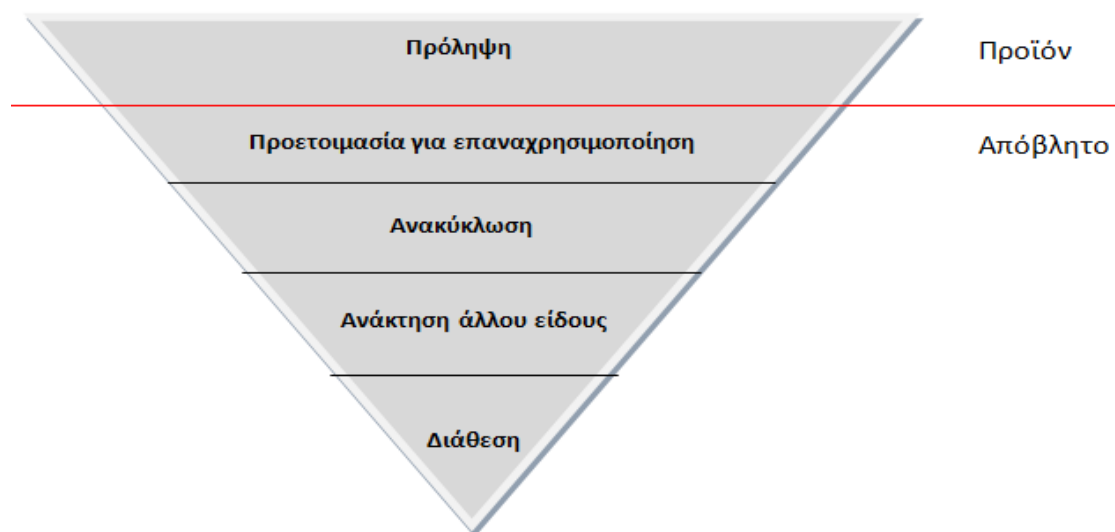
1. Γνωστές επιμέρους χημικές συστάσεις των ρευμάτων ΑΣΑ προς βιολογική επεξεργασία.
2. Εφαρμογή συντελεστών αποδόμησης στις συστάσεις αυτές ως ποσοστό επί των πτητικών στερεών τους.
3. Αντιστοίχιση εκλυόμενων χημικών στοιχείων σε ενώσεις.

Σχετικά με την χώνευση χρησιμοποιούνται οι πηγές [13-15], οι οποίες παρέχουν τους κατάλληλους συντελεστές και την αντιστοίχιση σε χημικές ενώσεις. Σχετικά με την υγειονομική ταφή, δίνονται οι συντελεστές αποδόμησης και η αντιστοίχιση στις πηγές [9, 11, 12, 16, 17]. Πιο συγκεκριμένα, οι συντελεστές αυτοί ποσοτικοποιούνται πειραματικά και προσομοιώνουν την αποδόμηση των κλασμάτων των ΑΣΑ σε περίοδο **100 ετών** υπό αναερόβιες συνθήκες. Επιπλέον, οι συντελεστές αυτοί μπορούν να αντιστοιχισθούν και σε μη οργανική ύλη στον χρονικό ορίζοντα της 100-ετίας [11, 17] και παρατίθενται αναλυτικά στο **Παράρτημα II**.

1.3 Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΣΑ

Τα Εθνικά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων (**ΕΣΔΑ**) των χωρών της ΕΕ-28 βασίζονται στις αρχές της ΟΠΑ [1]. Εν συντομία, στην ΟΠΑ παρουσιάζονται τα μέτρα, τα οποία αφορούν τον τομέα της παραγωγής και της διαχείρισης των αποβλήτων και τα οποία πρέπει να λαμβάνονται για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας μέσω της αποφυγής ή της μείωσης των αρνητικών επιπτώσεων του τομέα αυτού. Επίσης, δίνεται έμφαση στην βελτιστοποίηση των διαδικασιών διαχείρισης, όσον αφορά τους καταναλισκόμενους πόρους και την αποδοτικότητά τους. Επιπλέον, 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 και θεσμοθετούνται οι στόχοι ανακύκλωσης, ανάκτησης και ταφής.

Πιο συγκεκριμένα, στο **Άρθρο 4**, χαρτογραφείται η πολιτική διαχείρισης των αποβλήτων, την οποία θα πρέπει να ακολουθήσουν τα κράτη μέλη και παροτρύνεται η ανάπτυξη κατάλληλης εθνικής νομοθεσίας που να εξυπηρετεί την πολιτική αυτή. Η χαρτογράφηση αυτή απεικονίζεται συνοπτικά στο ακόλουθο **Σχήμα 1**, το οποίο έχει δομή αντεστραμμένης πυραμίδας και κατατάσσει τις επιλογές διαχείρισης με φθίνουσα σειρά προτεραιότητας.



Σχήμα 1. Ιεράρχηση των επιλογών διαχείρισης των στερεών αποβλήτων κατά την ΟΠΑ.

Πιο αναλυτικά, η διαχείριση των αποβλήτων διέπεται από την αρχή της πρόληψης δημιουργίας αυτών και της περαιτέρω ελαχιστοποίησης του συνολικού όγκου που πρόκειται να καταλήξει προς διάθεση σε Χώρο Υγειονομικής Ταφής (**ΧΥΤ**), μέσω της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και λοιπών ανακτήσεων, ως επί το πλείστον ενεργειακών. Επίσης, έχοντας πάντα ως στόχο το καλύτερο περιβαλλοντικό αποτέλεσμα, δίνεται η δυνατότητα παρέκκλισης από τη δομή αυτή για ορισμένες ειδικές ροές αποβλήτων, εφόσον αυτό δικαιολογείται από την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής τους (ΑΚΖ).

Τέλος, κάθε κράτος μέλος πρέπει να κάνει τον σχεδιασμό του, βάσει των ακόλουθων παραμέτρων:

- Άρθρο 13. Ελαχιστοποίηση του συνολικού αντίκτυπου στο περιβάλλον, των εκπομπών, δηλαδή, προς αέρα/νερό/έδαφος και των επιπτώσεων σε ζώα, φυτά και την ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον δεν θα πρέπει να προκαλείται όχληση λόγω θορύβου, οσμής και αλλοτρίωση του μη αστικού περιβάλλοντος ή των τοποθεσιών ιδιαίτερου ενδιαφέροντος.
- Εφαρμογή των βέλτιστων δυνατών τεχνικών και την εφαρμοσιμότητα αυτών βάσει της οικονομικής βιωσιμότητάς τους και της κοινωνικής αποδοχής τους.

Στο **Άρθρο 8** εισάγεται η έννοια της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού. Βάσει αυτής, ο παραγωγός ενός προϊόντος αναλαμβάνει αρχικά την ενημέρωση του αγοραστικού κοινού για τους τρόπους επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης του προϊόντος και των αποβλήτων που παράγονται μετά την χρήση αυτού. Έπειτα, αναλαμβάνει την οικονομική επιβάρυνση της διακομιδής και της περαιτέρω επεξεργασίας των προϊόντων, στο τέλος του κύκλου ζωής τους, και των αποβλήτων αυτών. Αυτό είναι συνακόλουθο της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει». Εν ολίγοις, η «διευρυμένη ευθύνη παραγωγού» είναι το εργαλείο μέσω του οποίου υλοποιείται η ιεραρχημένη πολιτική διαχείρισης αποβλήτων.

Στο **Άρθρο 11** αναλύονται η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση. Αρχικά, προωθείται η ανακύκλωση «υψηλής ποιότητας», δηλαδή η εγκατάσταση δικτύου διαλογής στην πηγή για υλικά όπως το γυαλί, το πλαστικό, τα μέταλλα και το χαρτί. Ο χαρακτηρισμός «υψηλής ποιότητας» παραπέμπει στην μειωμένη παρουσία προσμίξεων στα ανακτώμενα υλικά. Έπειτα τίθενται δύο στόχοι για το έτος 2020. **Ο πρώτος αφορά την ανακύκλωση και την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση του 50% του συνολικού βάρους των προαναφερθέντων υλικών που βρίσκονται στα ΑΣΑ και ο δεύτερος αφορά την ανακύκλωση, την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση και την ανάκτηση άλλου είδους του 70% του συνολικού βάρους των ΑΕΚΚ.**

Στο **Άρθρο 16** εισάγονται οι αρχές της αυτάρκειας και της εγγύτητας. Η πρώτη αφορά τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου δικτύου διαχείρισης των σύμμεικτων ΑΣΑ συμβατό με την ιεραρχημένη πολιτική διαχείρισης αυτών. Αυτό το δίκτυο μπορεί να είναι είτε αμιγώς εθνικό, είτε υπερεθνικό, δηλαδή τμήματα αυτού να ευρίσκονται σε άλλα κράτη-μέλη. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αυτάρκεια στην διαχείριση των αποβλήτων εντός της ΕΕ. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως η διακρατική μεταφορά αποβλήτων μεταξύ κρατών πρέπει να υπακούει στις διαδικασίες ελέγχου που αναγράφονται στον Κανονισμό (ΕΚ) 1013/2006. Όσον αφορά τώρα την αρχή της εγγύτητας, αυτή παραπέμπει στην διάθεση και την ανάκτηση των αποβλήτων στις πλησιέστερες τοποθεσίες ως προς το σημείο παραγωγής αυτών. Έτσι εξασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου από την μεταφορά τους.

Η ΟΠΑ μεταφέρθηκε στο Ελληνικό Δίκαιο μέσω του **Νόμου 4042/2012 [18]** που δημοσιεύεται στο ΦΕΚ 24/Α/13.02.2012. Εξαιρούνται από τον παρόντα νόμο η διαχείριση των λυμάτων, των ζωικών υποπροϊόντων και των αποβλήτων εξόρυξης και λατομίας.

Συνοψίζοντας τις διατάξεις του εν λόγω νόμου, πέραν των προαναφερθέντων της ΟΠΑ, ορίζονται αρχικά οι κυρώσεις για φυσικά και νομικά πρόσωπα που δεν συμμορφώνονται με τα άρθρα του νόμου. Ορίζονται, επίσης, πρόστιμα προς τους Δήμους και τα νομικά πρόσωπα των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (**ΟΤΑ**) όταν διαπιστώνεται η λειτουργία Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (**ΧΑΔΑ**). Έπειτα, ορίζεται το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (**ΕΣΔΑ**) με χρονικά ορίζοντα το έτος 2020 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 να λαμβάνουν Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (**ΑΕΠΟ**), στην οποία να περιλαμβάνεται η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (**ΜΠΕ**) και να διαθέτουν Άδεια Λειτουργίας.

Όσον αφορά τα ΒΑΑ, τίθενται δύο στόχοι. Ο πρώτος αφορά τη **χωριστή διαλογή αυτών της τάξεως του 5% επί του συνολικού τους βάρους έως το 2015 και για 10% έως το 2020**, το οποίο και θα προορίζεται για κομποστοποίηση ή χώνευση. Ο δεύτερος αφορά τη **μείωση αυτών που καταλήγουν στους ΧΥΤ, στο 35% κ.β.** σε σχέση με το έτος αναφοράς (1995) [19]. Η επίτευξη του στόχου αυτού, αφενός θα επιβραδύνει τον κορεσμό των ΧΥΤ και αφετέρου θα περιορίσει την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων στους ΧΥΤ, η οποία προκαλεί εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, δημιουργία στραγγισμάτων, δυσωδίας, κ.λπ. Τέλος, στο Άρθρο 43 του νόμου ορίζεται ειδικό τέλος ταφής για τα απόβλητα που δεν έχουν υποστεί άλλου τύπου επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα, το τέλος ταφής ορίζεται στα **35€/tn για το 2014 και αυξάνεται κατά 5€/tn/έτος** μέχρι το ποσό των **60€/tn**. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι τα υπολείμματα της επεξεργασίας αποβλήτων δεν επιβαρύνονται με ειδικό τέλος ταφής κατά την διάθεσή τους σε ΧΥΤ.

Κλείνοντας το κομμάτι της περιγραφής του θεσμικού πλαισίου των ΑΣΑ παρατίθεται ο **Πίνακας 4**, όπου και εμφανίζονται επιγραμματικά οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες και η μεταφορά αυτών στο Ελληνικό Δίκαιο.

Πίνακας 4. 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 ηλ. 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)
ΑΗΕΕ	Οδηγία 2012/19/ΕΕ	ΠΔ 117/2004 (ΦΕΚ 82/Α/5.03.2004)
ΗΣ&Σ	Οδηγία 2006/66/ΕΚ	ΚΥΑ 41624/2057/2010 (ΦΕΚ 1625/Β/11.10.2010)

1.4 Στόχοι και υφιστάμενη κατάσταση

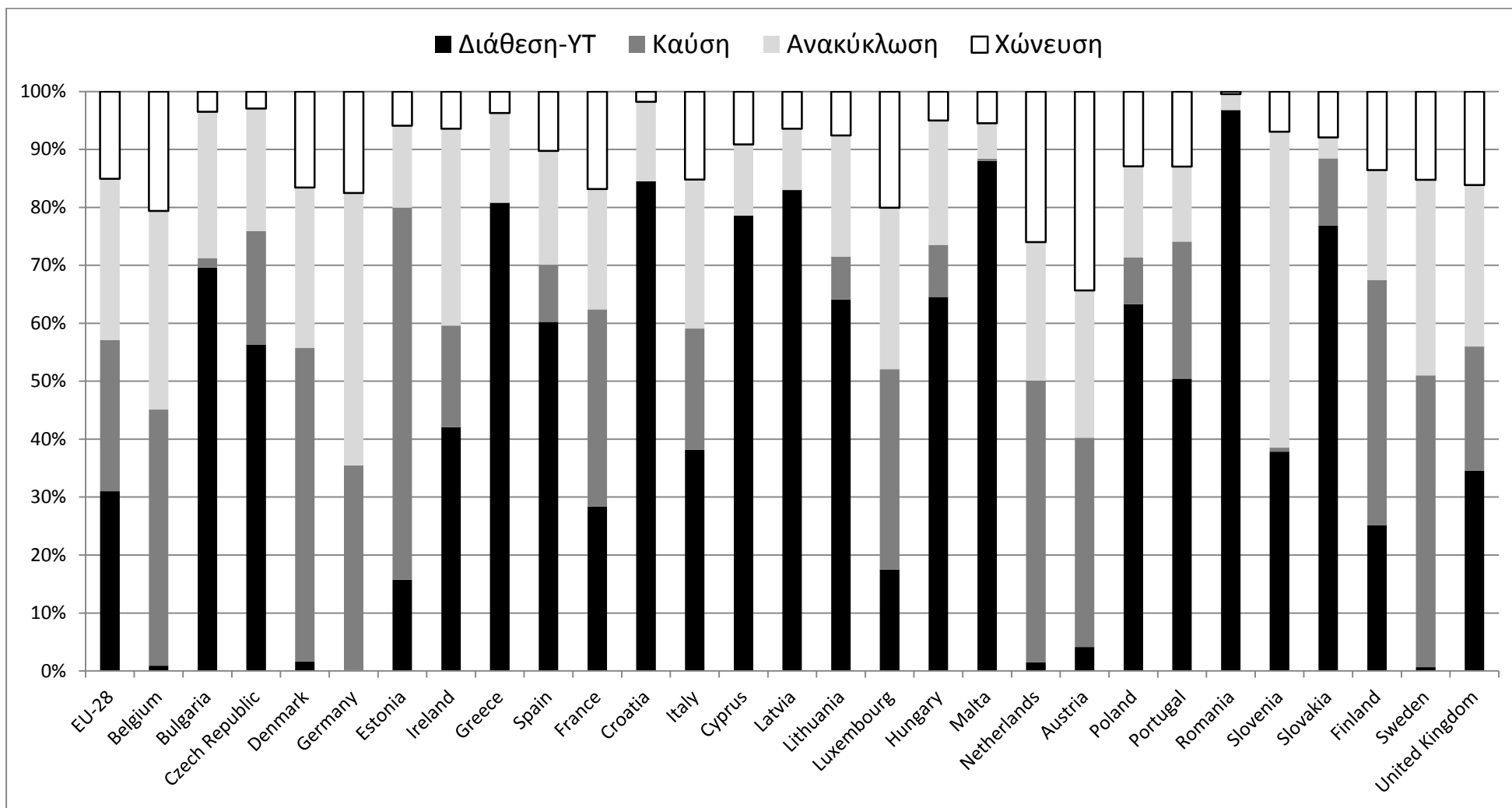
Οι εθνικοί στόχοι, οι οποίοι αφορούν την διαχείριση των αποβλήτων, προκύπτουν από την αναπτυξιακή στρατηγική «Ευρώπη 2020» (Europe 2020 growth strategy) [20] και από το Πακέτο Κυκλικής Οικονομίας (Circular Economy Package) [21]. Η στρατηγική «Ευρώπη 2020» προωθεί τους ακόλουθους περιβαλλοντικούς και 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

Περιβαλλοντικός στόχος του Πακέτου Κυκλικής Οικονομίας είναι η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα κατά 450 εκατομμυρίων tn εντός της ΕΕ-28. Προς την κατεύθυνση αυτή, στις 2 Ιουλίου του 2014 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε νομοθετική πρόταση και παράρτημα για την αναθεώρηση των στόχων σχετικά με την διαχείριση των αποβλήτων, όπως αυτοί περιγράφονται στην ΟΠΑ, στην Οδηγία για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων 1999/31/ΕΚ [19] και στην Οδηγία για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασιών 94/62/ΕΚ. Η πρόταση αυτή αποσκοπεί, μεταξύ άλλων, στην ενίσχυση της ανακύκλωσης 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 συλλεγόντων 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 ξεκάθαρες και έχουν νομοθετηθεί μέσω των ΕΣΔΑ σε όλα τα Κοινοβούλια της ΕΕ-28, η υφιστάμενη κατάσταση στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Το **Γράφημα 2** παρουσιάζει για κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ-28 τις τεχνικές επεξεργασίας των ΑΣΑ, τις οποίες αυτό ακολουθεί πάντα βάσει των τελευταίων στατιστικών στοιχείων της Eurostat [4].



Γράφημα 2. Διαχείριση ΑΣΑ στην ΕΕ-28, 2013 [4]

Στο **Γράφημα 2** παρατηρούνται χώρες «**τριών ταχυτήτων**». Στην πρώτη κατηγορία βρίσκονται οι χώρες, οι οποίες εφαρμόζουν κατά γράμμα την πολιτική διαχείρισης ΑΣΑ σύμφωνα με το μοντέλο της αντεστραμμένης πυραμίδας. Τέτοιες χώρες είναι η Αυστρία, το Βέλγιο, η Γερμανία, η Ολλανδία και η Σουηδία, οι οποίες ακολουθούν το μοντέλο των μηδενικών αποβλήτων (**zero waste**), αφού έκαστη στέλνει προς υγειονομική ταφή ελάχιστες ποσότητες ΑΣΑ. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω της **εκτροπής του ρεύματος για υγειονομική ταφή προς την καύση με ενεργειακή αξιοποίηση**. Έπειτα υπάρχουν χώρες, όπως η Γαλλία, η Ισπανία, το Λουξεμβούργο και το Ηνωμένο Βασίλειο, όπου παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις από την πολιτική διαχείρισης ΑΣΑ. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιούν όλες τις τεχνικές διαχείρισης ΑΣΑ, χωρίς όμως να είναι πλήρως εναρμονισμένες με την ιεράρχηση. Επί παραδείγματι, στο Ηνωμένο Βασίλειο οδηγείται προς ταφή το 35% των ΑΣΑ και προς ανακύκλωση το 28%. Τέλος, στις άλλες χώρες, συμπεριλαμβανομένου και της Ελλάδας, παρατηρείται μη συμμόρφωση προς το μοντέλο και κατά κόρον υγειονομική ταφή των ΑΣΑ. Αποτυπώνεται, λοιπόν, με τον πλέον ξεκάθαρο τρόπο στο **Γράφημα 2**, ότι για την επίτευξη μηδενικών αποβλήτων, είναι **απαραίτητη η διεργασία της καύσης**. Τέλος, για την περίπτωση της Ελλάδας, αναφορικά με την καύση ΑΣΑ, αξίζει να αναφερθεί, ότι ενώ έχει νομοθετηθεί, όπως δείχνει και ο **Πίνακας 4**, δεν εφαρμόζεται, διότι χαιρεί χαμηλής κοινωνικής αποδοχής.

Από το **Γράφημα 2** προκύπτει ότι το μέσο κράτος-μέλος της ΕΕ-28 **ανακυκλώνει το 28%**, **ανακτά το 26%**, **χώνευει το 15%** και στέλνει προς υγειονομική ταφή (**ΥΤ**) το **31%** των ΑΣΑ αυτού. Αντιπαραβάλλοντας αυτά τα ποσοστά με τα αντίστοιχα των στόχων για το 2030 (**65% ανακύκλωση, 25% ανάκτηση-χώνευση και 10% ταφή**), παρατηρείται μεγάλη απόκλιση. Επιπλέον, οι παραδοσιακές τεχνολογίες διαχείρισης σύμμεικτων ΑΣΑ φαίνεται να μην μπορούν να ανταποκριθούν στους ολοένα και πιο απαιτητικούς στόχους για την αξιοποίησή τους ως δευτερογενή υλικά, πηγή ενέργειας ή/και θρεπτικών συστατικών ταυτοχρόνως. Αυτό συμβαίνει, διότι επικεντρώνονται στην παραγωγή ενός ή δύο αξιοποιήσιμων προϊόντων.

Πιο συγκεκριμένα, οι μονάδες καύσης στοχεύουν μόνο στην αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου των ΆΣΑ, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των σύγχρονων ΧΥΤΑ, οι οποίοι αξιοποιούν το παραγόμενο βιοαέριο [9, 16]. Οι Μονάδες Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (**ΜΜΒΕ**) επικεντρώνονται είτε στην σταθεροποίηση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ προτού αυτό σταλεί προς ταφή, είτε στην μεγιστοποίηση της ανάκτησης υλικών και της παραγωγής καυσίμου (**Refuse Derived Fuel-RDF**) [22]. Συν τοις άλλοις, λόγω του μηχανικού διαχωρισμού των ΑΣΑ που επιτελείται στις ΜΜΒΕ, έως και 19% υ.β. του οργανικού κλάσματος δεν στέλνεται προς βιολογική σταθεροποίηση [15, 23], κάτι που μειώνει την αποτελεσματικότητα της παραγωγής και αξιοποίησης του βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης. Επιπλέον, στην περίπτωση της αερόβιας χώνευσης ανιχνεύεται στο κομπόστ παρουσία προσμίξεων, οι οποίες το καθιστούν ακατάλληλο για εδαφοβελτιωτική χρήση. Έτσι αποστέλλεται σε ΧΥΤ για χρήση σε χωματουργικά έργα. Τέλος, τα σχήματα διαλογής στην πηγή (**ΔσΠ**), αν και πολύ υποσχόμενα λόγω της απουσίας διασταυρούμενων προσμίξεων (cross-contamination) των ρευμάτων ΑΣΑ μεταξύ τους, είναι απόλυτα εξαρτημένα από την συμπεριφορά της τοπικής κοινωνίας.

Στην προσπάθεια προσέγγισης των φιλόδοξων αυτών στόχων, η επιστημονική κοινότητα έχει στρέψει το ενδιαφέρον της προς νέες τεχνολογίες **ολοκληρωμένης** διαχείρισης αποβλήτων. Ο χαρακτηρισμός «ολοκληρωμένη» παραπέμπει (i) στην δυνατότητα επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ και (ii) στην πλήρη αξιοποίηση όλων των ρευμάτων από άποψη ανάκτησης υλικών, ενέργειας και θρεπτικών συστατικών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνει η περίπτωση του **Διυλιστηρίου αποβλήτων**, όπως αυτή περιγράφεται στην δουλειά του Tonini *et.al.* [24-26]. Εμπνευσμένο από τα βιοδιυλιστήρια, το Διυλιστήριο αποβλήτων που λειτουργεί στην Δανία από το 2010 επεξεργάζεται υπολειμματικά ΑΣΑ (σ.σ. λόγω προϋπάρχοντος σχήματος ΔσΠ) και τα διαχωρίζει αρχικά σε δύο ρεύματα μέσω ενζυμικής υγροποίησης. Το πρώτο ρεύμα, το οποίο στο εξής θα αναφέρεται ως **υδαρές χώνευμα** περιέχει, κυρίως, σε υγροποιημένη μορφή το οργανικό κλάσμα και το χάρτινο κλάσμα. Αυτό το ρεύμα είναι κατάλληλο για την παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης και για την παραγωγή καλής ποιότητας κομπόστ μέσω της μετακομποστοποίησης του χωνεύματος. Το δεύτερο ρεύμα περιέχει, κυρίως, τα στερεά μη-αποικοδομήσιμα κλάσματα, από τα οποία δύναται να ανακτηθούν τα ανακυκλώσιμα υλικά και να παραχθεί RDF.

Η διαθέσιμη βιβλιογραφία επί του Διυλιστηρίου αποβλήτων είναι περιορισμένη λόγω της καινοτομίας αυτού. Η πρώτη μελέτη δημοσιεύεται το 2012 [24] και περιγράφει το Διυλιστήριο κατά την πειραματική του λειτουργία. Σε αυτό το στάδιο δεν είναι ακόμα βελτιστοποιημένη η διαδικασία παραγωγής και γίνεται χειροδιαλογή των ανακυκλώσιμων υλικών. Όσον αφορά τα αποτελέσματα της μελέτης, αυτά αφορούν την χρήση του εργαλείου της AKZ για τον καθορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του Διυλιστηρίου σε σχέση με την τις εγκαταστάσεις καύσης των ΑΣΑ στην Δανέζικη Επικράτεια. Επιπλέον, γίνεται αξιολόγηση ως προς την φιλικότερη προς το περιβάλλον αξιοποίηση του υγρού και του στερεού παραγόμενου κλάσματος. Εν ολίγοις, ως βέλτιστη λύση προκρίνεται η αξιοποίηση του υγρού κλάσματος για την παραγωγή βιοαερίου και η καύση του παραγόμενου RDF, αφού πρώτα έχουν απομακρυνθεί από το στερεό κλάσμα τα σιδηρούχα μέταλλα, το αλουμίνιο και το γυαλί.

Η δεύτερη μελέτη δημοσιεύεται το 2013 [25] και περιγράφει το Διυλιστήριο αποβλήτων κατά την δεύτερη φάση λειτουργίας του. Μετά από τρία χρόνια επιτυχούς λειτουργίας και βελτιστοποίησης της διαδικασίας παραγωγής ως προς την χρήση πρώτων υλών (ένζυμα, ηλ. ενέργεια και νερό), το Διυλιστήριο βρίσκεται πλέον κοντά στο να μεταβεί από το πειραματικό στάδιο στο εμπορικό. Αντί για χειροδιαλογή χρησιμοποιείται μηχανολογικός εξοπλισμός και το πλαστικό κλάσμα συλλέγεται μέσω οπτικών διαχωριστών, αντί να κατευθύνεται προς το ρεύμα του παραγόμενου RDF. Στην εν λόγω δημοσίευση εξετάζονται επιπλέον τα σενάρια της MMBE και της ταφής με αξιοποίηση του βιοαερίου. Τα αξιοποιούμενα δεδομένα απορρέουν από την Ευρωπαϊκή Επικράτεια. Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγει η μελέτη αυτή είναι ότι σε επίπεδο εκπομπών CO₂-eq. τα προς εξέταση σενάρια έχουν παρεμφερή οφέλη, ωστόσο το Διυλιστήριο παρέχει την δυνατότητα για αυξημένη ηλεκτροπαραγωγή και ανάκτηση θρεπτικών συστατικών (N, P και K) μέσω της χρήσης του κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό.

Τέλος, η τρίτη μελέτη δημοσιεύεται το 2014 [26] και περιγράφει τις μέγιστες δυνατές ανακτήσεις, τις οποίες μπορεί να επιτύχει το Διυλιστήριο αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ένα θεωρητικό μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης, το οποίο αξιοποιεί τις ήδη υπάρχουσες ροές κλασμάτων, χημικών στοιχείων και ενέργειας και βρίσκει τις θεωρητικά μέγιστες δυνατές ανακτήσεις. Τέλος, παρουσιάζεται και μια κοστολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας με βάση την Δανέζικη Επικράτεια.

1.5 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σκοπός, λοιπόν, της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση της λειτουργίας του Διυλιστηρίου αποβλήτων στην Ελληνική Επικράτεια. Η αξιολόγηση αυτή θα περιλαμβάνει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της λειτουργίας του Διυλιστηρίου και την τεχνο-οικονομική του ανάλυση. Οι περιβαλλοντικές συνέπειες της διαχείρισης των ΑΣΑ μέσω δύλισης θα βασιστούν στις αρχές της ΑΚΖ και θα υπολογισθούν μέσω της χρήσης του λογισμικού SimpraPro 7.

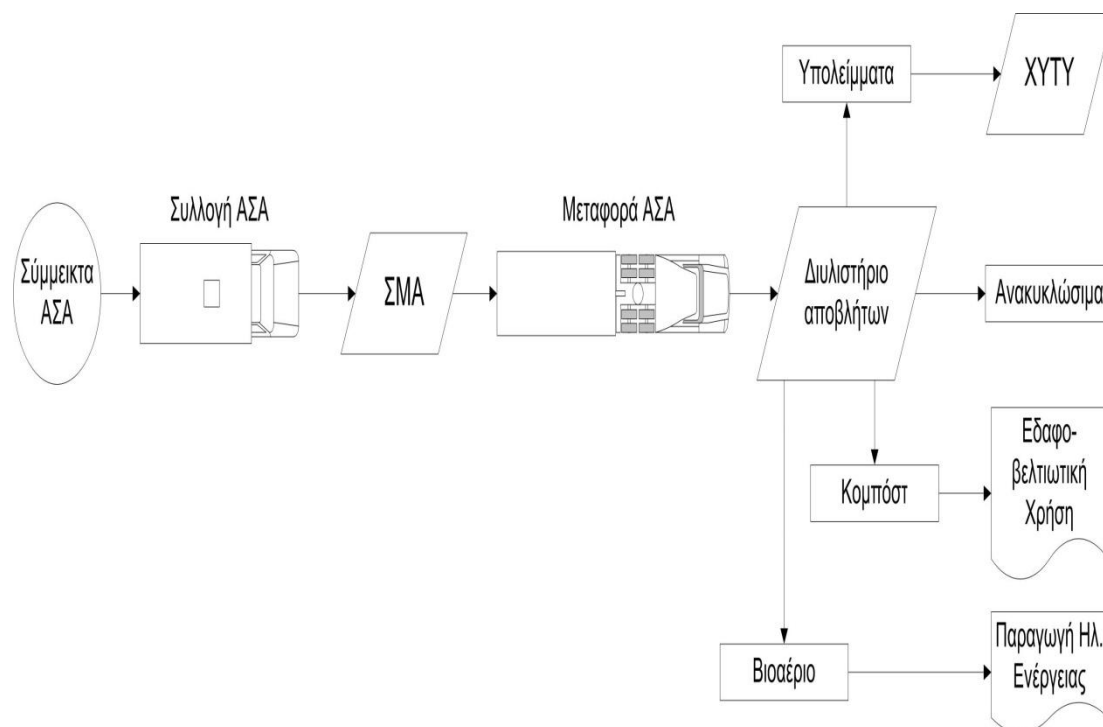
Τα σημεία διαφοροποίησης της διπλωματικής εργασίας σε σχέση με την υπάρχουσα βιβλιογραφία των Tonini *et. al.* είναι εν συντομία τα ακόλουθα:

- 1. Ελληνική Επικράτεια.** Θα γίνει η αξιολόγηση της απόδοσης του Διυλιστηρίου για την Ελληνική σύσταση ΑΣΑ. Μοντελοποιείται πληθυσμιακά και γεωγραφικά μία εικονική διοικητική περιφέρεια που προσιδιάζει με αυτές του Ελλαδικού χώρου. Μοντελοποιείται το ενεργειακό μίγμα της ηπειρωτικής Ελλάδας και λαμβάνεται υπ' όψιν σε όλα τα σενάρια επεξεργασίας ΑΣΑ, το περιβαλλοντικό όφελος ή επίπτωση που προκύπτει από την χρήση ή αντικατάσταση αυτού.
- 2. Συμβατικά σενάρια διαχείρισης ΑΣΑ.** Μοντελοποιείται ειδική ΜΜΒΕ, στην οποία επιτυγχάνονται υψηλοί βαθμοί ανάκτησης υλικών και δημιουργία κομπόστ κατάλληλου προς εδαφοβελτιωτική χρήση. Επιπλέον, οι παραγόμενες ποσότητες RDF στέλνονται προς ταφή αντί για ενεργειακή αξιοποίηση κατά τις τρέχουσες πρακτικές [27]. Τέλος, σχεδιάζεται ένα σύστημα ενδεδεχούς ΔσΠ, το οποίο αποτελεί συμβατική μέθοδο διαχείρισης ΑΣΑ για τα Ελληνικά δεδομένα και όχι αρχικό βήμα της στρατηγικής διαχείρισης ΑΣΑ.
- 3. Όρια ΑΚΖ.** Προκειμένου να είναι ακριβή τα αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης των σεναρίων, τα όρια, τα οποία λαμβάνονται για την ΑΚΖ των ανακυκλώσιμων προϊόντων είναι ενδεδεχό (cradle-to-grave).
- 4. Κόστος συλλογής ΑΣΑ.** Μπορεί να αποτελέσει από το 50-70% του συνολικού κόστους διαχείρισης ΑΣΑ [28]. Επομένως αναπτύσσεται ειδικό δίκτυο συλλογής ΑΣΑ, το οποίο βασίζεται στην εικονική διοικητική Περιφέρεια. Μοντελοποιείται, τόσο η σύμμεικτη, όσο και η ΔσΠ συλλογή των ΑΣΑ.

- 5. Κόστος μεταφοράς ΑΣΑ.** Έπεται του σταδίου της συλλογής ΑΣΑ και περιλαμβάνει Σταθμούς Μεταφόρτωσης Αποβλήτων (**ΣΜΑ**). Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί, ότι οι ΣΜΑ για σύμμεικτη και για ΔσΠ συλλογή διαφέρουν μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, οι τελευταίοι διαθέτουν (i) πιο εξεζητημένο μηχανολογικό εξοπλισμό (δεματοποιητές αντί για συμπιεστές), (ii) πιο σύνθετες εγκαταστάσεις (ρεύματα εξόδου ανά κλάσμα ΑΣΑ και όχι ως σύμμεικτα) και δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης των μη βιοαποικοδομήσιμων κλασμάτων ΑΣΑ με στόχο την βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics). Η μελέτη αυτών των παραμέτρων ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, και ως εκ τούτου θεωρούνται όμοιοι οι ΣΜΑ τόσο για τη σύμμεικτη, όσο και για τη ΔσΠ συλλογή.
- 6. Ανάλυση κόστους-οφέλους.** Γίνεται προσαρμογή της ανάλυσης κόστους στα Ελληνικά δεδομένα για σε τιμές 2015€ και εξετάζεται ευρύ φάσμα δυναμικότητας των μονάδων επεξεργασίας ΑΣΑ (**ΜΕΑ**).

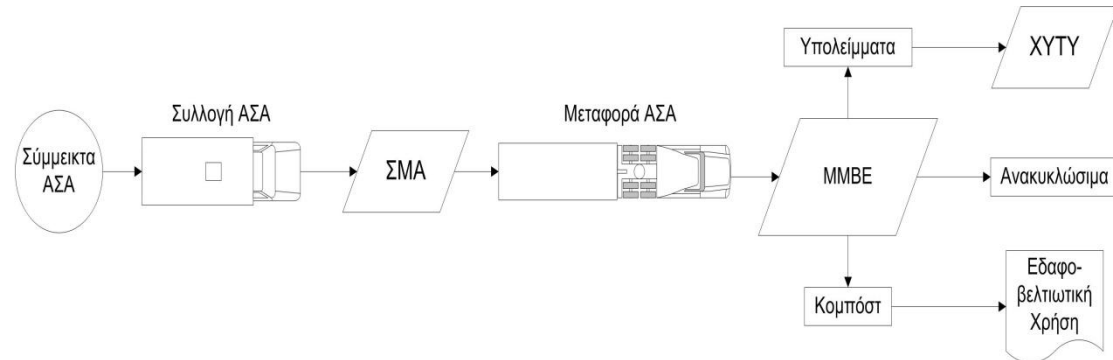
Κλείνοντας, παρουσιάζονται ακολούθως και εν συντομία τα τέσσερα υπό εξέταση σενάρια επεξεργασίας ΑΣΑ για την Ελληνική Επικράτεια:

Σενάριο 1. Συγκομιδή σύμμεικτων ΑΣΑ, μεταφορά μέσω ΣΜΑ στην ΜΕΑ, εν προκειμένω Διυλιστήριο Αποβλήτων, και διάθεση υπολειμμάτων στον περιφερειακό ΧΥΤΥ. Ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών και αξιοποίηση βιοαερίου και κομπόστ.



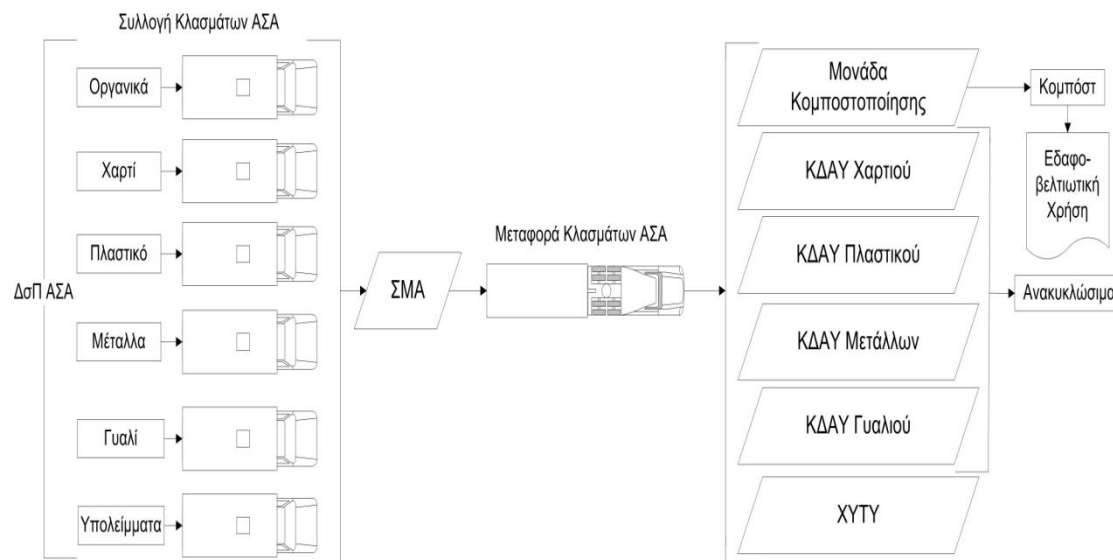
Διάγραμμα Ροής 1. Σενάριο 1 επεξεργασίας ΑΣΑ με Διυλιστήριο αποβλήτων.

Σενάριο II. Συγκομιδή σύμμεικτων ΑΣΑ, μεταφορά μέσω ΣΜΑ στην ΜΕΑ, εν προκειμένω ΜΜΒΕ και διάθεση υπολειμμάτων στον περιφερειακό ΧΥΤΥ. Ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών και αξιοποίηση κομπόστ.



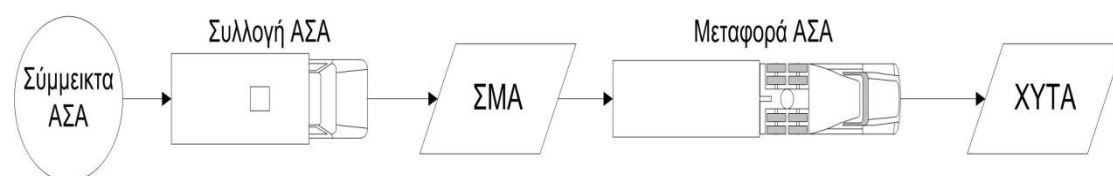
Διάγραμμα Ροής 2. Σενάριο II επεξεργασίας ΑΣΑ με ΜΜΒΕ.

Σενάριο III. Συγκομιδή διαχωρισμένων στην πηγή ΑΣΑ, μεταφορά μέσω ΣΜΑ σε ΜΕΑ, εν προκειμένω τέσσερα Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ) και μία Μονάδα Κομποστοποίησης και διάθεση των υπολειμμάτων στον περιφερειακό ΧΥΤΥ. Ανάκτηση των ανακυκλώσιμων υλικών και αξιοποίηση κομπόστ.



Διάγραμμα Ροής 3. Σενάριο III επεξεργασίας ΑΣΑ με ΔσΠ.

Σενάριο IV. Συγκομιδή σύμμεικτων ΑΣΑ, μεταφορά μέσω ΣΜΑ και ταφή στον περιφερειακό ΧΥΤΑ.



Διάγραμμα Ροής 4. Σενάριο IV επεξεργασίας ΑΣΑ με ΧΥΤΑ.

Κεφάλαιο 2^ο: Διυλιστήριο αποβλήτων

Το Διυλιστήριο αποβλήτων αξιοποιεί την τεχνολογία επεξεργασίας ΑΣΑ με την επωνυμία «**REnescience**» [29], η οποία έχει αναπτυχθεί από την Δανέζικη εταιρεία DONG Energy A/S. Η ονομασία αυτή προκύπτει από τη σύνθεση των λέξεων «**Renewables**» (ανανεώσιμα), «**Science**» (επιστήμη) και «**Renaissance**» (Αναγέννηση). Ο όρος «ανανεώσιμα» αναφέρεται στη βιομάζα που συναντάται στο οργανικό κλάσμα, στο κλάσμα του χαρτιού και εν μέρει στο κλάσμα των Διαφόρων των ΑΣΑ. Ο όρος «επιστήμη» παραπέμπει στην ενζυμική επεξεργασία των προαναφερθέντων κλασμάτων και ο όρος «Αναγέννηση» παραπέμπει στην καινοτομία της διαδικασίας επεξεργασίας. Για την ανάπτυξη και την προώθηση του Διυλιστηρίου αποβλήτων έχουν συνεργαστεί οι ακόλουθοι φορείς:

- Ακαδημαϊκοί: Πολυτεχνείο της Δανίας (DTU) [24-26] και Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης (CU) [10, 30]
- Βιομηχανικοί: DONG Energy A/S [24, 26], Novozymes A/S [10, 30, 31] και Amager Ressourcecenter (ARC) [32]
- Κρατικός: Δανέζικη Αρχή Ενέργειας (DEA) [10, 24-26, 30, 33, 34]

Η κατασκευή μιας τέτοιας μονάδας στην Ελληνική Επικράτεια είναι εφικτή, όπως προκύπτει από το ακόλουθο χρονολόγιο, και η βιωσιμότητα αυτής χρήζει αξιολόγησης υπό περιβαλλοντικούς και τεχνο-οικονομικούς όρους.

Πίνακας 5. Χρονολόγιο συμφωνιών και ανακοινώσεων σχετικά με την προώθηση του Διυλιστηρίου αποβλήτων ως καινοτόμο μέθοδο επεξεργασίας ΑΣΑ.

Ημερομηνία	Γεγονός	Λεπτομέρειες	Πηγή
18/12/2013	Ανακοίνωση κατασκευής μιας πρώτης εγκατάστασης εμπορικού μεγέθους (full-scale demonstration plant) στην περιοχή Triangle Region της Δανίας	Δυναμικότητα: 80.000tpa 10,00tph	[34]
20/1/2014	Υπογραφή εμπορικής συμφωνίας μεταξύ DONG Energy A/S και Masdar Capital	Έρευνα αγοράς και προώθησης σε Μέση Ανατολή και Αφρική	[35]
31/3/2014	Ανακοίνωση Δήμου Κοπεγχάγης για έναρξη κατασκευής εγκατάστασης	Δυναμικότητα: 30.000-40.000tpa ή 3,75-5,00tph ΑΣΑ υ.β.	[36]
11/5/2015	Υπογραφή Μνημονίου Κατανόησης (Memorandum of Understanding) μεταξύ DONG Energy A/S και Κινέζικης Εταιρείας Προστασίας του Περιβάλλοντος (CNEPC)	Προώθηση της τεχνολογίας του διυλιστηρίου στην Κινέζικη αγορά διαχείρισης ΑΣΑ	[37]
1/7/2015	Κατάθεση πρότασης από DONG Energy A/S για κατασκευή Διυλιστηρίου στο Μάντσεστερ	Δυναμικότητα: 15,00tph ΑΣΑ υ.β.	[38]

2.1 Μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας, οι οποίες εφαρμόζονται κατά την παραγωγική διαδικασία του Διυλιστηρίου. Αυτές είναι τόσο οι συμβατικές μέθοδοι της αναερόβιας και αερόβιας χώνευσης, όσο και η εναλλακτική μέθοδος της ενζυμικής επεξεργασίας. Η τελευταία αφορά την υγροποίηση μέσω ενζύμων του οργανικού/βιοποδομησιμου ρεύματος των ΑΣΑ με στόχο το διαχωρισμό του σε υδαρές χώνευμα από τα υπόλοιπα κλάσματα απορριμμάτων. Τα πτητικά στερεά (**Volatile Solids – VS**) του υδαρούς χωνεύματος αξιοποιούνται για παραγωγή βιοαερίου και το υπόλειμμα της διεργασίας αυτής οδηγείται προς κομποστοποίηση. Το στερεό κλάσμα διέρχεται μέσω κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού, ο οποίος ανακτά τα ανακυκλώσιμα υλικά, πλην του γυαλιού.

2.1.1 Χώνευση

Η χώνευση είναι μια βιολογική επεξεργασία, υπό αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες, με στόχο τη σταθεροποίηση των ΒΑΑ, προκειμένου να παραχθεί ένα τελικό προϊόν (κομπόστ). Το κομπόστ θα πρέπει να έχει χαμηλό βιομεθανογενές δυναμικό (biomethane potential - BMP), τυπικά μικρότερο των 20Nm³/tn ΒΑΑ υ.β., ούτως ώστε να οδηγείται προς υγειονομική ταφή με μειωμένο περιβαλλοντικό αντίκτυπο [15]. Ακολουθούν οι ορισμοί της αερόβιας και της αναερόβιας χώνευσης:

1. Ως αερόβια χώνευση ή κομποστοποίηση ορίζεται «η ελεγχόμενη αποδόμηση οργανικών αποβλήτων υπό την παρουσία οξυγόνου (αέρα) από μικροβιακούς πληθυσμούς και η οποία οδηγεί στην έκλυση CO₂, NH₃, H₂O, θερμότητας και στην παραγωγή ενός σταθεροποιημένου στέρεου υλικού κατάλληλου για αγροτική χρήση (κομπόστ υψηλής ποιότητας) ή ως εδαφοβελτιωτικό (υλικό τύπου κομπόστ)».
2. Ως αναερόβια χώνευση ορίζεται «η βιολογική επεξεργασία, κατά την οποία η οργανική ύλη αποσυντίθεται από μικροοργανισμούς (βακτήρια) υπό την απουσία οξυγόνου με σκοπό την παραγωγή βιοαερίου»

Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης από τις πηγές [28, 39, 40] , για την αερόβια χώνευση και από τις πηγές [41, 42] για την αναερόβια χώνευση παρατίθενται στον ακόλουθο **Πίνακας 6**. Ακολουθούν συγκεντρωτικά στον ακόλουθο **Πίνακας 6** τα στοιχεία των διεργασιών της αερόβιας και της αναερόβιας χώνευσης.

Πίνακας 6. Συνοπτική παρουσίαση διεργασιών χώνευσης [28, 39-42].

	Αερόβια χώνευση	Αναερόβια χώνευση
Βιοχημικές εξισώσεις διεργασιών	<p>Οργανική ύλη + αερόβια βακτήρια + O₂ → CO₂ + NH₃ + H₂S + λοιπά προϊόντα + ενέργεια (Εξ. 5)</p> <p>Οργανική ύλη + O₂ + αερόβια βακτήρια + ενέργεια → C₅H₇O₂N (νέα βακτηριακά κύτταρα) (Εξ. 6)</p>	<p>Οργανική ύλη + αναερόβια βακτήρια → CO₂ + CH₄ + NH₃ + H₂S + λοιπά προϊόντα + ενέργεια (Εξ. 2)</p> <p>Οργανική ύλη + αναερόβια βακτήρια + ενέργεια → C₅H₇O₂N (νέα βακτηριακά κύτταρα) (Εξ. 3)</p> <p>C₅H₇O₂N + 5O₂ → 5CO₂ + NH₃ + 2H₂O + ενέργεια (Εξ. 4)</p>
Σκοπός/ Προϊόν	Βιοσταθεροποίηση μέσω παραγωγής κομπόστ	Παραγωγή ενέργειας μέσω αξιοποίησης βιοαερίου
Τυπική σύσταση προϊόντος		Κατά όγκο: CH ₄ : 55-65%, CO ₂ :35-45%, N ₂ : < 1%, H ₂ : < 1%, H ₂ S: < 1%, NH ₃ : < 1%
Αξιοποίηση προϊόντος	<ol style="list-style-type: none"> 1. Αγροτική χρήση 2. Φυτοκομική χρήση 3. Εδαφοβελτιωτικό (π.χ. αποκατάσταση λατομείων, λιγνιτωρυχείων, μεταλλείων ή λατομείων) 4. Επικάλυψη ΧΥΤ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Καύση σε MEK με στόχο την παραγωγή ηλ. ενέργειας ή/και θερμότητας. Προαπαιτείται απομάκρυνση νερού και H₂S από το βιοαέριο 2. Αναβάθμιση και έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου ή χρήση ως καύσιμο μεταφοράς. Προαπαιτείται αφυδάτωση με διήθηση, ή φυγοκέντρηση
Στάδια διεργασίας	<p>1.Λανθάνουσα φάση. Απαιτούμενος αρχικός χρόνος για αρχική προσαρμογή μικροοργανισμών και έναρξη μεταβολισμού των ΒΑΑ</p> <p>2.Φάση ανάπτυξης. Αύξηση της θερμοκρασίας σε μεσόφιλα επίπεδα (25-40°C).</p> <p>3.Θερμόφιλη φάση. Ανάπτυξη θερμοκρασιών από 40 έως 60°C. Βιοσταθεροποίηση των ΒΑΑ και αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών.</p> <p>4.Φάση ωρίμανσης. Διάρκεια 3 έως 6 μήνες, Μείωση T σε μεσόφιλο εύρος και τελική εξίσωση με Tamb</p> <p>Παράλληλη δευτερεύουσα ζύμωση, (χουμοποίηση). Πρόκειται, δηλαδή, για το μετασχηματισμό των πολύπλοκων οργανικών ουσιών σε χουμικά κολλοειδή και εν τέλει σε χούμο.</p> <p>Τέλος, πραγματοποιούνται και αντιδράσεις νιτροποίησης, όπου NH₃ → NH₄⁺ → NO₂⁻ → NO₃⁻</p>	<p>1.Υδρόλυση: Διάσπαση πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπών/ελαιών από ένζυμα, τα οποία παράγονται και εκκρίνονται στο υπόστρωμα από τα υδρολυτικά αερόβια βακτήρια. Τα θρεπτικά αυτά συστατικά διασπώνται στα μονομερή τους (αμινοξέα, μονοσακχαρίτες και λιπαρά οξέα μακράς αλύσου).</p> <p>2.Οξεογένεση: Τα μονομερή από το στάδιο της υδρόλυσης μετατρέπονται σε πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile Fatty Acids – VFA's), σε H₂ και σε CO₂ από τα οξυγενή βακτήρια.</p> <p>3.Μεθανογένεση: Τα μεθανογενή βακτήρια μετατρέπουν τα προϊόντα του σταδίου της οξεογένεσης σε CH₄ και διάφορα άλλα προϊόντα. Αποτελεί το κρισιμότερο στάδιο αναερόβιας χώνευσης, διότι:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Παραγωγή βασικού προϊόντος (CH₄) • Ουδετεροποίηση pH λόγω μετατροπής των VFA's σε CH₄ και λοιπά αέρια. • Η μετατροπή του H₂ σε CH₄ μειώνει την μερική πίεση του H₂ εντός του χωνευτήρα, κάτι που ενισχύει την δραστηριότητα των οξυγενών βακτηρίων
Τεχνολογία συστήματος	<p>2 είδη συστημάτων</p> <p>1^ο είδος: Ανοικτού τύπου Διεργασία σε εξωτερικό περιβάλλον ή σε ημίκλειστο κτήριο.</p>	<p>3 είδη χωνευτήρων</p> <p>1^ο είδος: Υγρό σύστημα Κλειστός κατακόρυφος αντιδραστήρας με συνεχή ανάδευση υποστρώματος για μεγιστοποίηση διάρκειας επαφής μικροοργανισμών – βιομάζας. Επίτευξη με (i) χρήση μηχανικών μέσων, (ii) με ανακυκλοφορία βιοαερίου ή (iii) με ανακυκλοφορία ΒΑΑ.</p>

	<p>2° είδος: Κλειστού τύπου Διεργασία σε ειδικούς βιοαντιδραστήρες ή σε κλειστά κτίρια. Διατίθενται σε κάθετες διατάξεις με συνεχή ή ασυνεχή ροή ή σε οριζόντιες διατάξεις με ή χωρίς ανάδευση.</p> <p>Ενδεικτικός χρόνος κομποστοποίησης και ωρίμανσης για βιοαντιδραστήρες: 4 εβδομάδες</p> <p>Ενδεικτικός χρόνος κομποστοποίησης και ωρίμανσης για κομποστοποίηση σε κλειστά κτίρια: 6-8 εβδομάδες</p>	<p>Επεξεργασία BAA με υψηλή υγρασία (>85%) και λειτουργία κυρίως υπό μεσόφιλο εύρος θερμοκρασιών.</p> <p>2° είδος: Ξηρό σύστημα Χρήση αντιδραστήρων συνεχούς λειτουργίας και κατακόρυφης ή οριζόντιας διάταξης Στους κατακόρυφους η κίνηση του υλικού γίνεται χάριν βαρύτητας, ενώ στους οριζόντιους με μηχανικά μέσα. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε απόβλητα με χαμηλή σχετική υγρασία (<80%) και υψηλή περιεκτικότητα τοξικών ουσιών. Λειτουργία σε θερμόφιλο εύρος Χαμηλότερες απαιτήσεις σε νερό σε σχέση με τα υγρά συστήματα</p> <p>3° είδος: Διφασικό σύστημα Χρήση για πειραματικούς σκοπούς. Βασικό χαρακτηριστικό τους ο διαχωρισμός των χώρων, όπου εξελίσσεται η οξυγένωση και η μεθανογένωση.</p>
<p>Λειτουργία συστήματος</p>	<p>2 είδη συστημάτων ανοικτού τύπου</p> <p>1° είδος: Σειράδια (windrows) Ημερήσια πλήρης ανάδευση των BAA με μηχανικά μέσα για επίτευξη ομοιογένειας και αερισμού. Απαιτήση 20-40 ημερών με τουλάχιστον μία ανάδευση ημερησίως,</p> <p>2° είδος: Αεριζόμενοι στατικοί σωροί (aerated static piles) Επίτευξη αερισμού με εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα διαμέσου του σωρού. Απαιτήση 13-15 ημέρες υπό θερμοφίλες T. Επικάλυψη του σωρού για θερμομόνωση και περιορισμό των οσμών.</p>	<p>3 είδη λειτουργίας</p> <p>1° είδος: Λειτουργία παρτίδας (batch type) Παρακράτηση 10-20% του χωνεύματος για την εκκίνηση της επόμενης παρτίδας</p> <p>2° είδος: Ημι-συνεχούς λειτουργίας Πιο διαδεδομένος τύπος Τροφοδοσία χωνευτήρα 1-2 φορές ημερησίως με ταυτόχρονη αφαίρεση του χωνεύματος. Λειτουργία χωνευτήρα και ως δεξαμενή αποθήκευσης του βιοαερίου.</p> <p>3° είδος: Συνεχούς λειτουργίας Προσθήκη βιομάζας και ταυτόχρονη αφαίρεση χωνεύματος μέσω άντλησης ή υπερχειλίσης.</p>
<p>Κοινές κρίσιμες παράμετροι</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Αναλογία θρεπτικών συστατικών τροφοδοτούμενης οργανικής ύλης Είναι απαραίτητα για την βακτηριακή ανάπτυξη:(C, N, P, S, Ca, Na και λοιπά ίχνη). Σημαντικότερος δείκτης είναι η αναλογία C/N. Επόμενοι δείκτες οι αναλογίες C/P, C/S. κ.ο.κ. Η αναλογία C/N κυμαίνεται από 20/1-30/1 για αναερόβια και 20/1- 40/1 για αερόβια χώνευση. C/N>30/1 → έλλειψη N → έλλειψη παραγωγής πρωτεϊνών → βραδύτερη αναπαραγωγή των βακτηρίων → μείωση παραγωγής CH₄ για αναερόβια χώνευση. Αντίστοιχα, επιβράδυνση της διεργασίας αερόβιας χώνευσης προκύπτει για C/N>40/1. C/N<20/1 → υψηλή συγκέντρωση αέριας NH₃ → pH> 7,6 → τοξικό περιβάλλον για μεθανογενή βακτήρια → μείωση παραγόμενου CH₄ για την αναερόβια χώνευση. Αντίστοιχα, για C/N<20/1 → υψηλή συγκέντρωση αέριας NH₃ → απώλεια N προς το περιβάλλον Ενδεικτικό C/P είναι 150/1 – 200/1 για αναερόβια και 75/1 – 150/1 για αερόβια χώνευση 	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία 2 εύρη θερμοκρασιών την αναερόβια χώνευση: Μεσόφιλο (25-40°C) και θερμόφιλο (50-65°C). Αύξηση θερμοκρασία → αύξηση παραγωγής CH₄. T>30-35°C → αύξηση ενεργειακών απαιτήσεων → αύξηση κόστους διεργασίας T<10°C → παύση διεργασίας Στην αερόβια χώνευση, η εκλυόμενη θερμότητα διεργασίας → αύξηση T Ιδανικό εύρος από 55-75 °C T>75°C → θερμικός θάνατος ή αδρανοποίηση μικροοργανισμών T> 55°C για διάστημα ορισμένων ημερών → αδρανοποίηση/θερμικός θάνατος παθογόνων μικροοργανισμών →εξυγίανση κομπόστ Διαρκής έλεγχος T μέσω επέμβασης στον αερισμό και στη σχετική υγρασία του υποστρώματος

• **pH**

Αναερόβια χώνευση: Ιδανικό εύρος 6,6-7,6 και βέλτιστο από 7,0-7,2

pH>7,6 → μείωση παραγόμενου CH₄

pH<6,6 → αναστολή της λειτουργίας των μεθανογενών βακτηρίων → μείωση παραγόμενου CH₄
Αυτό μπορεί να προκληθεί λόγω υψηλή συγκέντρωση VFA's, η οποία να οφείλεται σε υψηλή φόρτισης του χωνευτήρα με οργανική ύλη ή στην παρουσίας τοξικών ουσιών.

Αερόβια χώνευση: Εύρος 6,5-7,5 με σπάνιες απότομες αυξομειώσεις αυτού

• **Κοκκομετρία και δομική στήριξη.**

Υποχρεωτική προεπεξεργασία με τεμαχιστή διότι:
Μικρό μέγεθος σωματιδίων → μεγαλύτερη διαθέσιμη συνολική επιφάνεια προς μεταβολισμό.
Ιδανικά <5cm
Μικρές κοκκομετρίες → αποτελεσματικότερος αερισμός.

Συνήθης πρακτική ανάμιξης αρχικού υποστρώματος με οργανικά διογκωτικά ή/και βελτιωτικά υλικά (organic amendments and/or bulking agents) → επίτευξη επιθυμητής αναλογίας θρεπτικών συστατικών.

Τέτοια υλικά είναι το πριονίδι, η τύρφη και το άχυρο ρυζιού, διότι προσφέρουν επιπροσθέτως:

1. Δομική υποστήριξη
2. Δημιουργούν κενούς χώρους εντός του υποστρώματος → αποτελεσματικότερη διεργασία της αερόβιας χώνευσης.

• **Υγρασία.**

Ιδανικό εύρος: 50-70%

Απαραίτητη για τη διάλυση των θρεπτικών συστατικών και του κυτταρικού πρωτοπλάσματος.

<20%, → αναστολή χώνευσης Ωστόσο, πολύ >70% → έκπλυση των θρεπτικών συστατικών από το υπόστρωμα και παρεμπόδιση της διέλευσης του αέρα αναερόβιες συνθήκες μεταβολισμού.

Ρύθμιση υγρασίας (i) με προσθήκη διογκωτικών/βελτιωτικών υλικών, (ii) με προσθήκη νερού για ασυνεχή ροή), είτε με ανακυκλοφορία του κομποστοποιημένου υλικού (συνεχής ροή).

• **Αερισμός**

Απαραίτητη η παρουσία O₂ για διεργασία/οξειδωση οργανικής ύλης → αερισμός με μηχανικά ή μη μέσα.

Μηχανικά μέσα: Εμφύσηση ή απαγωγή αέρα εντός σωρού

Μη-μηχανικά μέσα: Ανάδευση ή μεταφορά μέσω «πτώσης» από όροφο σε όροφο.

Εσφαλμένη χρήση μη μηχανικών μέσων → έλλειψη O₂ εντός σωρού → αναερόβιες συνθήκες με αποτέλεσμα την ύπαρξη αναερόβιων → επιβράδυνση διεργασίας

Εσφαλμένη χρήση μηχανικών μέσων → αυξημένη ροή αέρα → απώλεια θερμότητας ή μειωμένη ροή αέρα → αναερόβιες συνθήκες εντός σωρού.

• **Χρόνος παραμονής (HRT) BAA εντός χωνευτήρα**

Ιδανικό εύρος 10-60min

HRT<10min → μη αποδοτικός μεταβολισμός → χαμηλότερη παραγωγή CH₄ και παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο χώνευμα.

HRT>60min → μεγαλύτερη συγκέντρωση χωνευμένων υλικών → μεγαλύτερη οργανική φόρτιση → αύξηση κόστους κατασκευής χωνευτήρα λόγω μεγαλύτερων διαστάσεων

• **Φόρτιση με οργανική ύλη.**

Εκφράζεται είτε με βάση τη χημική ζήτηση οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand – COD), είτε τα πτητικά στερεά (VS) σε kg COD/m³-day ή σε kg VS/m³-day).

Ιδανικό εύρος λειτουργίας από 1-30 kg COD/m³-day ή 1-15 kg VS/m³-day.

Φόρτιση>15 kg VS/m³-day υψηλή → pH<6,6 → μείωση παραγόμενου CH₄

Φόρτιση<1 kg VS/m³-day → μείωση παραγόμενου CH₄.

• **Αναστολείς (inhibitors)**

Οι συγκεντρώσεις ορισμένων χημικών στοιχείων και ενώσεων προκαλούν αναστολή της ομαλής λειτουργίας του χωνευτήρα, λόγω της παρεμπόδισης της μεταβολικής δραστηριότητας των βακτηρίων.

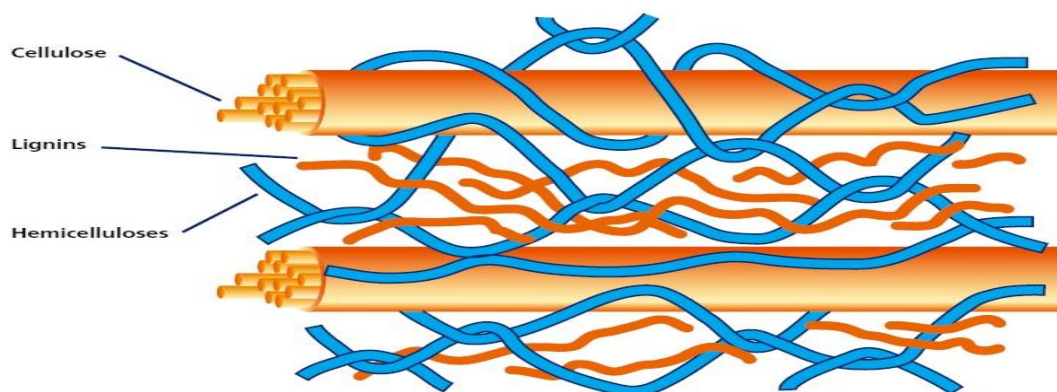
Μη – κοινές κρίσιμες παράμετροι διεργασίας

Επεξεργασία και αξιοποίηση παρα-προϊόντος

Μετακομποστοποίηση χωνεύματος με ακόλουθη χρήση ως εδαφοβελτιωτικό

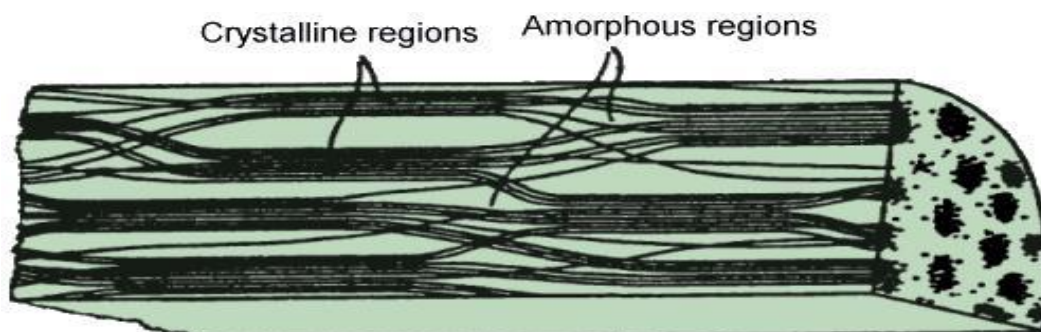
2.1.2 Ενζυμική διεργασία

Στη λιγνοκυτταρινούχο βιομάζα κατατάσσονται ορισμένα γεωργικά υπολείμματα, υπολείμματα της υλοτομίας, της βιομηχανίας τροφίμων, τα αστικά στερεά λύματα, τα απόβλητα κήπου, το χάρτινο κλάσμα των ΑΣΑ και κάποια επιμέρους κλάσματα της κατηγορίας Διαφόρων των ΑΣΑ. Εξετάζοντας τη δομή της λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας, όπως αυτή περιγράφεται στην πηγή [43], αυτή αποτελείται από σύνθετες αλυσίδες κυτταρίνης ενωμένες μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου. Αυτές οι μακρές ίνες κυτταρίνης συγκρατούνται μεταξύ τους με ημικυτταρίνη και λιγνίνη, όπως φαίνεται στο ακόλουθο **Σχήμα 2**. Η λιγνοκυτταρινούχος βιομάζα αποτελείται από **38-50% κυτταρίνη**, **23-32% ημικυτταρίνη** και **15-25% λιγνίνη** σε σύσταση ξ.β. και τα επιμέρους συστατικά αυτά μπορούν να διασπαστούν σε σάκχαρα και να ζυμωθούν ή να τροποποιηθούν με χημικό τρόπο, ούτως ώστε να παράγουν χημικά προϊόντα ή καύσιμα.



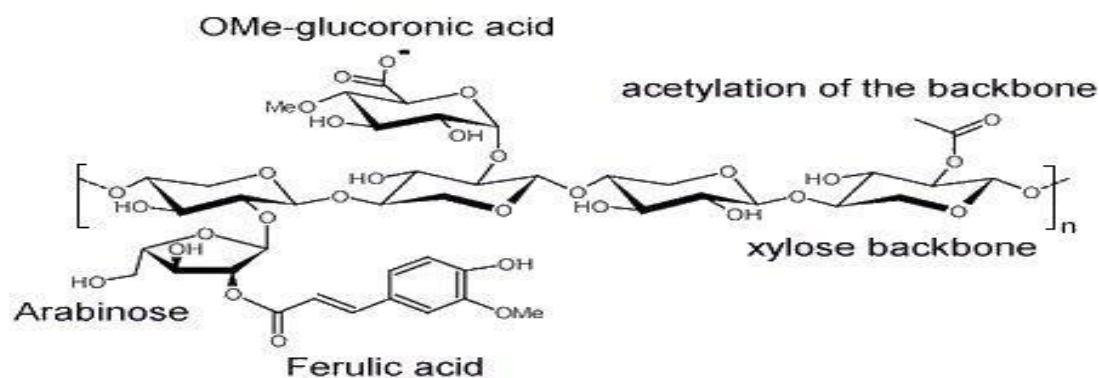
Σχήμα 2. Δομή λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας[44].

Όσον αφορά την χημική σύσταση της κυτταρίνης, αυτή προκύπτει από τον πολυμερισμό μορίων Δ-γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) ενωμένα μεταξύ τους με β-1,4-γλυκοζιτικούς δεσμούς ($C_6H_{10}O_5$)_n [43]. Υδρογονικοί δεσμοί διευθετούν τις αλυσίδες κυτταρίνης σε παράλληλη επίπεδη διάταξη προκαλώντας ταυτόχρονα και το σχηματισμό δεσμών υδρογόνου μεταξύ των παράλληλων επιπέδων κυτταρίνης. Έτσι δημιουργούνται κρυσταλλικές περιοχές, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο **Σχήμα 3**. Αυτές οι κρυσταλλικές περιοχές έχουν υψηλή ανθεκτικότητα σε μικροβιακή και ενζυμική αποικοδόμηση, ενώ οι άμορφες περιοχές της κυτταρίνης υδρολύονται πολύ πιο γρήγορα.



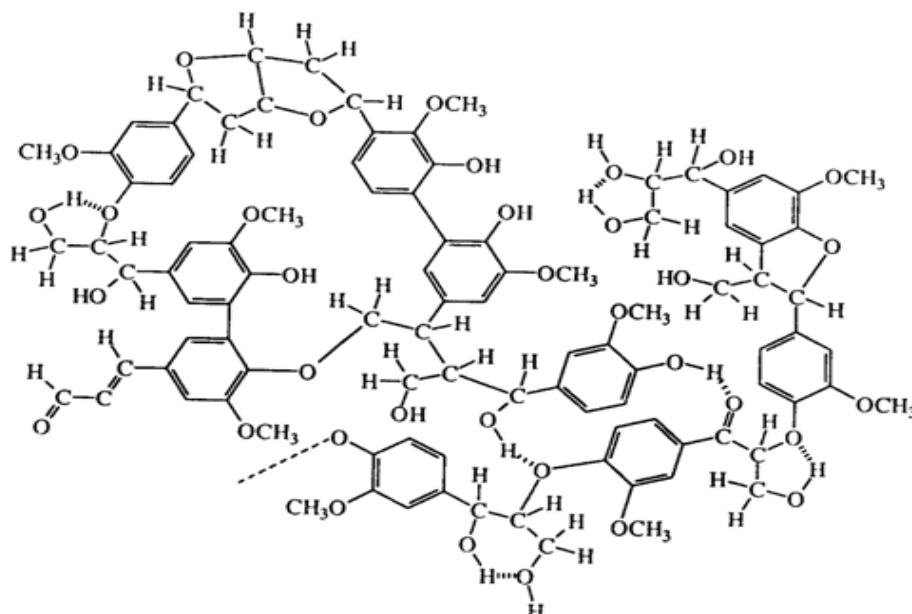
Σχήμα 3. Απεικόνιση ινών κυτταρίνης σε άμορφες και κρυσταλλικές περιοχές [44].

Η ημικυτταρίνη είναι ένα ετεροπολυμερές, το οποίο αποτελείται από πεντόζες (ξυλόζη, αραβινόζη - $C_5H_{10}O_5$), εξόζες (μαννόζη, γλυκόζη, γαλακτόζη - $C_6H_{12}O_6$) και οξέα, όπως το οξικό, το γλυκουρανικό και το φερουλικό οξύ. Το κυριότερο συστατικό της ημικυτταρίνης είναι η ξυλάνη ($C_5H_8O_4$)_n και η μαννάνη ($C_5H_{10}O_5$)_n και αποτελούν, συνήθως, τις βασικές αλυσίδες της ημικυτταρίνης, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 4**. Εν γένει, η ημικυτταρίνη είναι δύσκολα υδρολύσιμη από ένζυμα λόγω της ανομοιομόρφης δομής της. Έτσι λειτουργεί ως φραγμός στην υδρόλυση και της κυτταρίνης, αφού περιορίζει την πρόσβαση των υδρολυτικών ενζύμων σε αυτή.



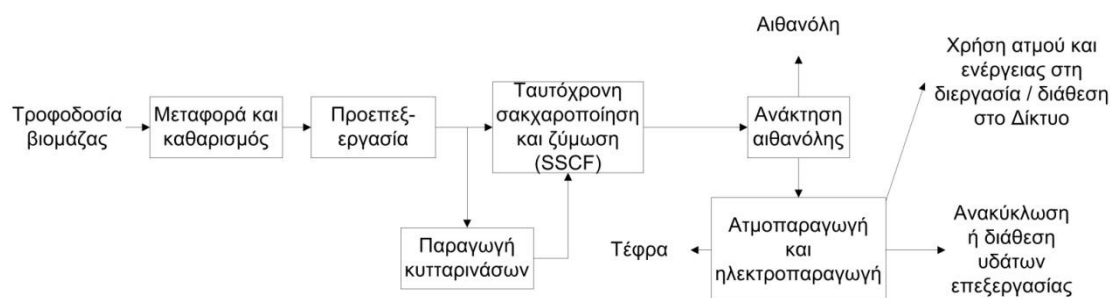
Σχήμα 4. Βασική δομική σύνθεση της γλυκουρονοαραβινοξυλάνης [43].

Η λιγνίνη αποτελείται από ένα δίκτυο αρωματικών πολυμερών με βασική δομική μονάδα το φαινυλοπροπάνιο. Είναι αδιάλυτη στο νερό, άμορφη και συνδέεται ισχυρά με τα ινίδια κυτταρίνης και την ημικυτταρίνη, κυρίως με δεσμούς υδρογόνου αλλά και με ομοιοπολικούς, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 5**. Είναι γενικά αποδεκτό, ότι η λιγνίνη αποτελεί το συνδετικό υλικό της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης, προσδίδοντας ακαμψία και ανθεκτικότητα στη δομή της λιγνινοκυτταρινούχου βιομάζας. Υδρολύεται δύσκολα, κυρίως με αλκαλικά διαλύματα σε υψηλές θερμοκρασίες, και δεν είναι ζυμώσιμη.



Σχήμα 5. Δομή τμήματος πολυμερούς λιγνίνης [43].

Τα επιμέρους συστατικά αυτά, προκειμένου να αξιοποιηθούν και να οδηγήσουν στην παραγωγή χημικών προϊόντων ή βιοκαυσίμων, πρέπει να διέλθουν από συγκεκριμένες διεργασίες. Αυτές είναι (i) η **προεπεξεργασία**, (ii) η **υδρόλυση**, (iii) η **ζύμωση** και (iv) ο **καθαρισμός/διαχωρισμός των προϊόντων**. Αυτές παρουσιάζονται στο ακόλουθο παράδειγμα παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχο βιομάζα σε βιοδιυλιστήριο, το οποίο αξιοποιεί την τεχνολογία της ταυτόχρονης σακχαροποίησης και μικτής ζύμωσης (**Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation – SSCF**) [43].

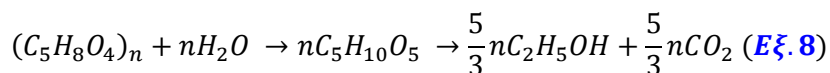
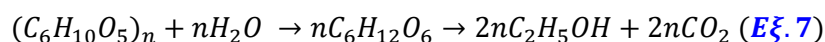


Διάγραμμα Ροής 5. Ενδεικτική διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης ενός βιοδιυλιστηρίου με τεχνολογία SSCF [43].

Όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα Ροής 5**, η διαδικασία ξεκινά με τη μεταφορά της πρώτης ύλης στην εγκατάσταση, όπου είτε αποθηκεύεται, είτε υπόκειται άμεσα σε εργασίες καθαρισμού ούτως ώστε να απομακρυνθούν ανεπιθύμητα υλικά, όπως πέτρες και χώμα. Στη συνέχεια, η βιομάζα συμπιέζεται, ούτως ώστε να τροφοδοτηθούν οι αντιδραστήρες προεπεξεργασίας με υψηλές συγκεντρώσεις στερεών. Αυτό συνεπάγεται μεγιστοποίηση των συγκεντρώσεων των σακχάρων, κάτι που αυξάνει την παραγωγικότητα του Διυλιστηρίου. Στο ακόλουθο βήμα της προεπεξεργασίας προστίθεται 0,5-1% θειικό οξύ και ατμός με στόχο την υδρόλυση της ημικυτταρίνης. Το βήμα αυτό διαρκεί 10-20 λεπτά και πραγματοποιείται στους 140-190°C, ανακτώντας έτσι το 80-90% της ημικυτταρίνης. Έπειτα, η προεπεξεργασμένη πλέον βιομάζα ψύχεται και πέφτει η πίεσή της διερχόμενη από μια στραγγαλιστική βαλβίδα, ούτως ώστε να παύσουν οι αντιδράσεις αποπολυμερισμού των σακχάρων. Εκτός από την υδρόλυση της ημικυτταρίνης, επιτυγχάνεται αποκρυστάλλωση της δομής της κυτταρίνης και αλλαγή στην δομή της λιγνίνης.

Ένα μέρος της τάξεως του 4-9% του περιεχομένου του αντιδραστήρα προεπεξεργασίας χρησιμοποιείται για την **παραγωγή κυτταρινάσων**, ενζύμων δηλαδή που παράγονται από μικροοργανισμούς, όπως οι μύκητες *Trichoderma reesei*, και τα οποία καταλύουν την υδρόλυση της κυτταρίνης σε μόρια γλυκόζης. Η ζύμωση του υδρολυμένου μίγματος μονοσακχαριτών επιτυγχάνεται με γενετικά τροποποιημένα βακτήρια *Escherichia coli*, τα οποία μεταβολίζουν αποδοτικά και τα πέντε είδη μονοσακχαριτών σε αιθανόλη. Κατά το στάδιο της SSCF, τα απελευθερωμένα σάκχαρα από το την υδρόλυση της ημικυτταρίνης και της κυτταρίνης μετατρέπονται σε αιθανόλη, όπως φαίνεται από τις ακόλουθες **Εξισώσεις 7 & 8**. Τέλος, η αιθανόλη ανακτάται από τον ζωμό (broth) με απόσταξη και αφύγρανση. Τα υπολείμματα του ζωμού, και ειδικά η λιγνίνη, ανακτώνται και αξιοποιούνται για την κάλυψη των ιδιοκαταναλώσεων σε ατμό και ηλεκτρισμό, ενώ σε περίπτωση περίσσειας

ηλεκτρικής ενέργειας, αυτή πωλείται στο δίκτυο. Μέρος του νερού ανακυκλώνεται, ενώ το υπόλοιπο μεταφέρεται σε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων για ασφαλή διάθεση.



2.1.3 Στάδιο προεπεξεργασίας

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας μεταβάλλεται η μακροσκοπική και η μικροσκοπική δομή της βιομάζας, ώστε το προκύπτον υλικό να καταστεί πιο επιδεκτικό στην ενζυμική υδρόλυση. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με την απελευθέρωση της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης από τη λιγνίνη [43, 45, 46]. Πιο συγκεκριμένα, κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας προκαλούνται ρωγμές και θραύση του υλικού, υδρολύεται η ημικυτταρίνη και η λιγνίνη υπόκειται σε δομικές αλλαγές, οι οποίες την αποδεσμεύουν από την κυτταρίνη με αποτέλεσμα τη μείωση της κρυσταλλικότητας και του βαθμού πολυμερισμού της κυτταρίνης και την αύξηση της ενεργής επιφάνειας του υλικού.

Βάσει των πηγών [43, 45, 46], το στάδιο της προεπεξεργασίας οφείλει να:

- Οδηγεί σε απελευθέρωση ή να αυξάνει την απόδοση παραγωγής σακχάρων.
- Περιορίζει το σχηματισμό προϊόντων αποικοδόμησης και την απώλεια υδατανθράκων.
- Περιορίζει το σχηματισμό αναστολέων, ως προς την υδρόλυση και τη ζύμωση.
- Ελαχιστοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες της διεργασίας.
- Περιορίζει το κόστος της διεργασίας.

Σε μερικές περιπτώσεις, τα προαναφερθέντα πρέπει να γίνονται σε συνδυασμό με χρήση καταλύτη χαμηλού κόστους ή ανακύκλωση του καταλύτη, καθώς και αξιοποίηση του κλάσματος της λιγνίνης. Σήμερα υπάρχουν 4 βασικές τεχνολογίες προεπεξεργασίας, οι οποίες επιτελούν τους προαναφερθέντες στόχους και συναντώνται στην παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινική βιομάζα [43, 45, 46]. Αυτές είναι η Φυσική, η Χημική, η Φυσικοχημική και η Βιολογική. Οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζονται επιγραμματικά στον ακόλουθο **Πίνακας 7**.

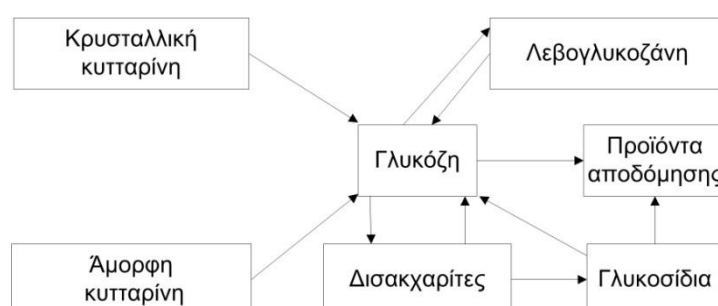
Πίνακας 7. Συνοπτική παρουσίαση των διεργασιών προεπεξεργασίας λιγνοκυτταρινούχου βιομάζα ανά μέθοδο (Φυσική, Χημική, Φυσικοχημική και Βιολογική) και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων αυτών [43, 45, 46].

Μέθοδος προεπεξεργασίας	Τεχνικές λεπτομέρειες	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μηχανική κονιορτοποίηση (Φυσική μέθοδος)	Χρήση θραυστήρων ή μύλων	Μείωση κρυσταλλικότητας κυτταρίνης	Ενεργοβόρος διεργασία Μη απομάκρυνση λιγνίνης
Ακτινοβόληση (Φυσική μέθοδος)	Ακτίνες γ, δέσμη ηλεκτρονίων ή μικροκύματα	Χαλάρωση δομή κυτταρίνης Αποικοδόμησή της ολιγοσακχαρίτες ή/και κελλοβιόζη	Υψηλό κόστος Ακατάλληλη για υπόστρωμα με υψηλό περιεχόμενο λιγνίνης
Οζονόλυση (Χημική μέθοδος)	Organosolv	Απομάκρυνση λιγνίνης Μη παραγωγή τοξικών καταλοίπων/ αναστολέων	Κατανάλωση μεγάλης ποσότητας O ₃ →Υψηλό κόστος
Χημική μέθοδος)	Χρήση οργανικών διαλυτών ή μίγματος αυτών με HCl ή H ₂ SO ₄	Διαλυτοποίηση λιγνίνης και ημικυτταρίνης Ανάκτηση καθαρής λιγνίνης	Υψηλό κόστος επεξεργασίας Ανάκτηση διαλυτών
Αλκαλική προεπεξεργασία (Χημική μέθοδος)	Θερμοκρασία δωματίου Αραιό διάλυμα NaOH	Αποτελεσματική για σύσταση χαμηλής λιγνίνης Μείωση κρυσταλλικότητας κυτταρίνης Αύξηση ενεργής επιφάνειας υποστρώματος	Υψηλός χρόνος επεξεργασίας
Όξινη προεπεξεργασία (Χημική μέθοδος)	Πυκνό H ₂ SO ₄ : Συνθήκες δωματίου Αραιό H ₂ SO ₄ T:120-180°C, 30-90min	Υψηλή παραγωγή γλυκόζης Ήπιες συνθήκες	Υψηλό κόστος οξέος και ανάγκη ανάκτησής του Διάβρωση αντιδραστήρα, Σχηματισμός αναστολέων Παραγωγή προϊόντων αποδόμησης
Υδροθερμόλυση (Φυσικοχημική μέθοδος)	Διατήρηση νερού σε T: 160-260 pH 4-7	Διαλυτοποίηση ημικυτταρίνης Χαμηλό κόστος	Αποφυγή παραγωγής αναστολέων Υψηλή κατανάλωση νερού
Έκρηξη ατμού (Φυσικοχημική μέθοδος)	Υδροθερμική διεργασία Θερμοκρασία: 160-260°C Πίεση: 0,69-4,83MPa	Αλλαγή δομής λιγνίνης και διαλυτοποίηση ημικυτταρίνης Υψηλή παραγωγή γλυκόζης μέσω προσθήκης καταλυτών H ₂ SO ₄ , SO ₂ ή CO ₂ Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας Χαμηλό κόστος	Παραγωγή τοξικών ενώσεων και αναστολέων, όπως: φουρφουράλη (C ₅ H ₄ O ₂) 5-υδροξυλομεθυλοφουρφουράλη (HMF- C ₆ H ₆ O ₃), φαινολικών ενώσεων και ασθενών οργανικών οξέων Μερική αποδόμηση ημικυτταρίνης
Αμμωνιακή έκρηξη ινών (AFEX) (Φυσικοχημική)	Θερμοκρασία: 60-100°C Πίεση: 3MPa για Διάρκεια: 10-60min	Μείωση κρυσταλλικότητας κυτταρίνης Αύξηση διαθέσιμης επιφάνειας λόγω αύξησης πόρων από εκτονωτική αποσυμπίεση NH ₃ Αποφυγή σχηματισμού	Αδυναμία επεξεργασίας υποστρώματος με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης Υψηλό κόστος λόγω χρήσης μεγάλων ποσοτήτων NH ₃
Βιολογική μέθοδος	Χρήση μικροοργανισμών (π.χ. μύκητες λευκής, καστανής ή μαλακής σήψης)	Υποβάθμιση λιγνίνης και ημικυτταρίνης Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας Ήπιες συνθήκες επεξεργασίας (pH, T)	Χαμηλός ρυθμός υδρόλυσης →χρονοβόρα διεργασία (6-8 εβδομάδες)

2.1.4 Στάδιο ενζυμικής υδρόλυσης

Στο στάδιο της υδρόλυσης πραγματοποιείται η μετατροπή των πολυμερών κυτταρίνης και ημικυτταρίνης σε άμεσα μεταβολίσιμα σάκχαρα (εξόζες, πεντόζες) με την χρήση κατάλληλων ενζύμων (κυτταρινάσες και ημικυτταρινάσες). Ως παραπροϊόντα ή προϊόντα αποδόμησης (degradation products) ορίζονται οι χημικές ενώσεις εκείνες, οι οποίες προκύπτουν κατά τον αποπολυμερισμό των ενώσεων αυτών από την περαιτέρω διάσπαση των μονομερών σακχάρων στο στάδιο της υδρόλυσης (βλ. [Διάγραμμα Ροής 6](#)). Σχετικά με την υδρόλυση της κυτταρίνης, αυτή επιτυγχάνεται με την αξιοποίηση των ακόλουθων ενζύμων [\[43\]](#):

- **Ενδογλυκανάσες.** Φέρουν τον κωδικό EC 3.2.1.4 και υδρολύουν εσωτερικά τις άμορφες περιοχές της αλυσίδας της κυτταρίνης απελευθερώνοντας κελλοβιόζη ($C_6H_{10}O_5$)_n
- **Εξωγλυκανάσες.** Φέρουν τον κωδικό EC.3.2.1.91 και προσβάλλουν τα άκρα του πολυμερούς κυτταρίνης απελευθερώνοντας την κελλοβιόζη.
- **β-γλυκοζιδάσες.** Φέρουν τον κωδικό EC 3.2.1.21 και καταλύουν την υδρόλυση των δεξτρινών, των μικρών δηλαδή πολυμερών γλυκόζης με β-γλυκοζιτικό δεσμό και με βαθμό πολυμερισμού 2-6 μορίων, άρα και της κελλοβιόζης.

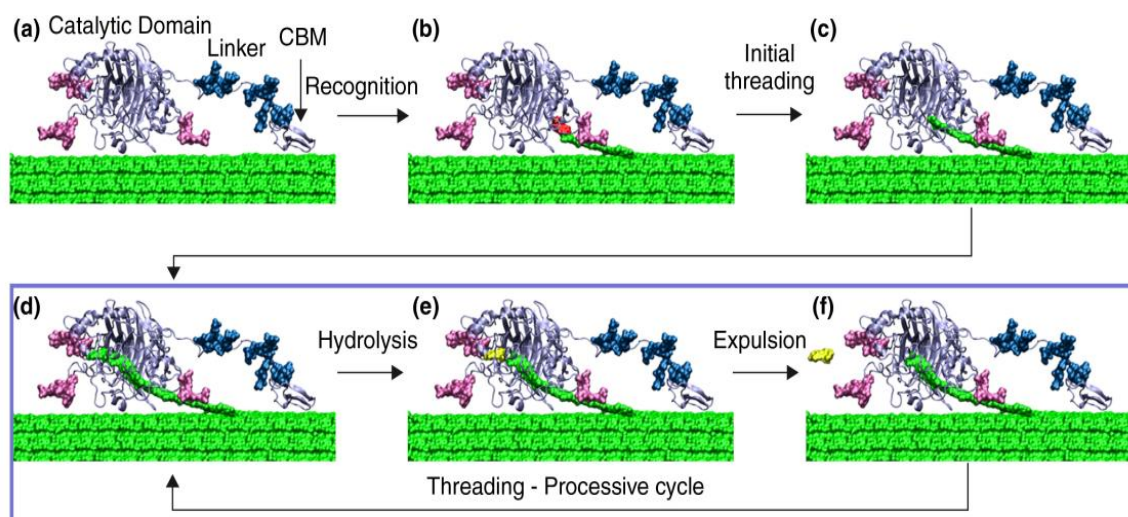


[Διάγραμμα Ροής 6](#). Παραγόμενα προϊόντα κατά την υδρόλυση της κυτταρίνης [\[43\]](#).

Η υδρόλυση με κυτταρινάσες είναι αποδοτική σε θερμοκρασιακό εύρος 45- 55°C και σε pH 4,8 [\[43\]](#). Η δράση και η δομή των ενζύμων αυτών χαρακτηρίζεται από:

1. **Συνέργεια.** Η απόδοσή τους, μετρούμενη πάντα με την αναλογία απελευθερωμένων σακχάρων προς τα αρχικά, αυξάνεται όταν αυτές δρουν ταυτόχρονα. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει η συνέργεια ανάμεσα σε εξωγλυκανάσες (έξω/έξω) και σε ενδογλυκανάσες και εξωγλυκανάσες (ένδο/έξω). Η πρώτη αφορά την ύπαρξη συνδυασμών εξωγλυκανασών, οι οποίες μπορούν ταυτόχρονα να καταλύουν τις β-γλυκάνες, τόσο από το αναγωγικό τους άκρο, όσο και από το μη αναγωγικό. Η δεύτερη αφορά την θετική δράση των ενδογλυκανασών ως προς αυτή των εξωγλυκανασών, αφού υδρόλυση ενός πολυμερούς σε τυχαίο σημείο από μια ενδογλυκανάση δημιουργεί καινούργιο αναγωγικό και μη αναγωγικό άκρο ούτως ώστε να δράσουν δύο εξωγλυκανάσες.

2. **Ποικιλομορφία.** Έχουν αναγνωρισθεί μέχρι σήμερα πάνω από 56 οικογένειες κυτταρινασών, οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη δομή και τη λειτουργία τους, ούτως ώστε να επιλέγονται οι βέλτιστες ανάλογα με την βιομηχανική τους εφαρμογή.
3. **Προσρόφηση.** Οι κυτταρινάσες, και εν γένει οι υδρολάσες, διαθέτουν 3 διακριτές περιοχές. Αρχικά, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο [Σχήμα 6](#), υπάρχει η περιοχή πρόσδεσης (**Carbohydrate Binding Module - CBM**), η οποία είναι πρωτεϊνικής δομής και ευθύνεται για την πρόσδεση του ενζύμου στον υδρολούμενο υδατάνθρακα. Ακολουθεί το καταλυτικό πεδίο του ενζύμου, το οποίο συνδέεται με τη CBM μέσω ενός συνδέσμου. Ο σύνδεσμος αυτός είναι ένα πεπτίδιο, το οποίο αποτελείται από 30 αμινοξέα περίπου. Ωστόσο, η πρόσδεση επί της κυτταρίνης δεν είναι πάντοτε επιτυχής λόγω της σύνθετης δομής του υποστρώματος, με αποτέλεσμα την προσρόφηση των ενζύμων στο υπόστρωμα.
4. **Συνέχεια.** Η κυτταρινάση δεν αποδεσμεύεται από την καταλυόμενη αλυσίδα κυτταρίνης, παρά μόνο όταν φτάσει στο τέλος της (βλ. [Σχήμα 6](#)).



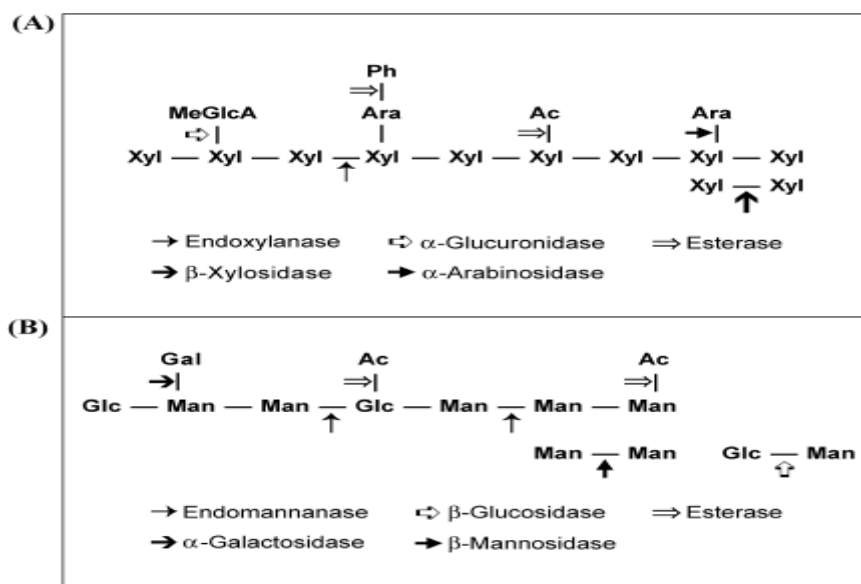
Σχήμα 6. Δομή κυτταρινάσης και στάδια υδρόλυσης [47].

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την υδρόλυση της κυτταρίνης είναι οι ακόλουθοι [43]:

- **Κρυσταλλικότητα κυτταρίνης.** Η κρυσταλλικότητα της δομής της κυτταρίνης την καθιστά αδιάλυτη στο νερό. Αυτό είναι εξάλλου απαραίτητο, αφού αποτελεί δομικό συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτών. Επομένως μείωση της κρυσταλλικότητάς της οδηγεί σε αύξηση της διαπερατότητάς της από το νερό και άρα αύξηση της υδρολυσιμότητάς της.
- **Πορώδες.** Το μέγεθος των πόρων του υλικού σε σχέση με το μέγεθος των ενζύμων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα επηρεασμού της υδρόλυσης. Πιο συγκεκριμένα, οι κυτταρινάσες μπορούν να παγιδευτούν στους πόρους εάν η εσωτερική επιφάνεια είναι πολύ μεγαλύτερη από την εξωτερική επιφάνεια, κάτι που συναντάται σε πολλά λιγνινοκυτταρινούχα υλικά. Η αύξηση του πορώδους κατά την προεπεξεργασία μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την υδρόλυση.

- **Ενεργή επιφάνεια υλικού.** Αύξησή της μέσω προεπεξεργασίας οδηγεί σε αποτελεσματικότερη υδρόλυση.
- **Κοκκομετρία.** Μείωσή της συνεπάγεται αύξηση της ενεργής επιφάνειας.
- **Περιεκτικότητα σε ημικυτταρίνη.** Η απομάκρυνση της ημικυτταρίνης αυξάνει το μέσο μέγεθος των πόρων του υλικού και την ενεργή επιφάνεια του υλικού. Αύξηση της έντασης της προεπεξεργασίας οδηγεί σε αποτελεσματικότερη διαλυτοποίηση της ημικυτταρίνης. Τέλος, η απομάκρυνση της ημικυτταρίνης συνεπάγεται μικρότερη παρεμπόδιση, και άρα λιγότερη προσρόφηση των κυτταρινασών στο υπόστρωμα.
- **Περιεκτικότητα σε λιγνίνη.** Η λιγνίνη δρα ως αναστολέας των κυτταρινασών, αφού «προασπίζει» την κυτταρίνη, προσροφά κυτταρινάσες και τις αδρανοποιεί.

Η ανάκτηση των σακχάρων της ημικυτταρίνης από το προεπεξεργασμένο υλικό μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη παραγωγή συνολικών ζυμώσιμων σακχάρων [43]. Έτσι, για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των λιγνινοκυτταρινούχων υλικών ενδιαφέρον παρουσιάζει και η υδρόλυση της ημικυτταρίνης. Η διαδικασία υδρόλυσης της ημικυτταρίνης είναι πολύ πιο σύνθετη σε σχέση με αυτή της κυτταρίνης, λόγω της σύνθετης δομής της. Παρουσιάζεται σε αυτό το σημείο συνοπτικά η διαδικασία υδρόλυσης της ξυλάνης και της γλυκομαννάνης. Όπως απεικονίζεται και στο [Σχήμα 7-A](#), η ξυλάνη υδρολύεται σε ξυλο-ολιγοσακχαρίτες από ενδοξυλανάσες και στη συνέχεια οι β-ξυλοζιδάσες υδρολύουν τους ξυλο-ολιγοσακχαρίτες σε μόρια ξυλόζης. Άλλα ένζυμα που συνεισφέρουν στην αποικοδόμηση της ημικυτταρίνης είναι οι α-γλυκουρονιζάσες, οι α-αραβινοζιδάσες, οι ακετυλ-εστεράσες και οι εστεράσες του φερουλικού οξέος. Στο [Σχήμα 7-B](#) απεικονίζεται αντίστοιχα η αποικοδόμηση των γλυκομαννάνων. Εν γένει, η χρήση ημικυτταρασών γίνεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 70°C και σε pH 4-6.



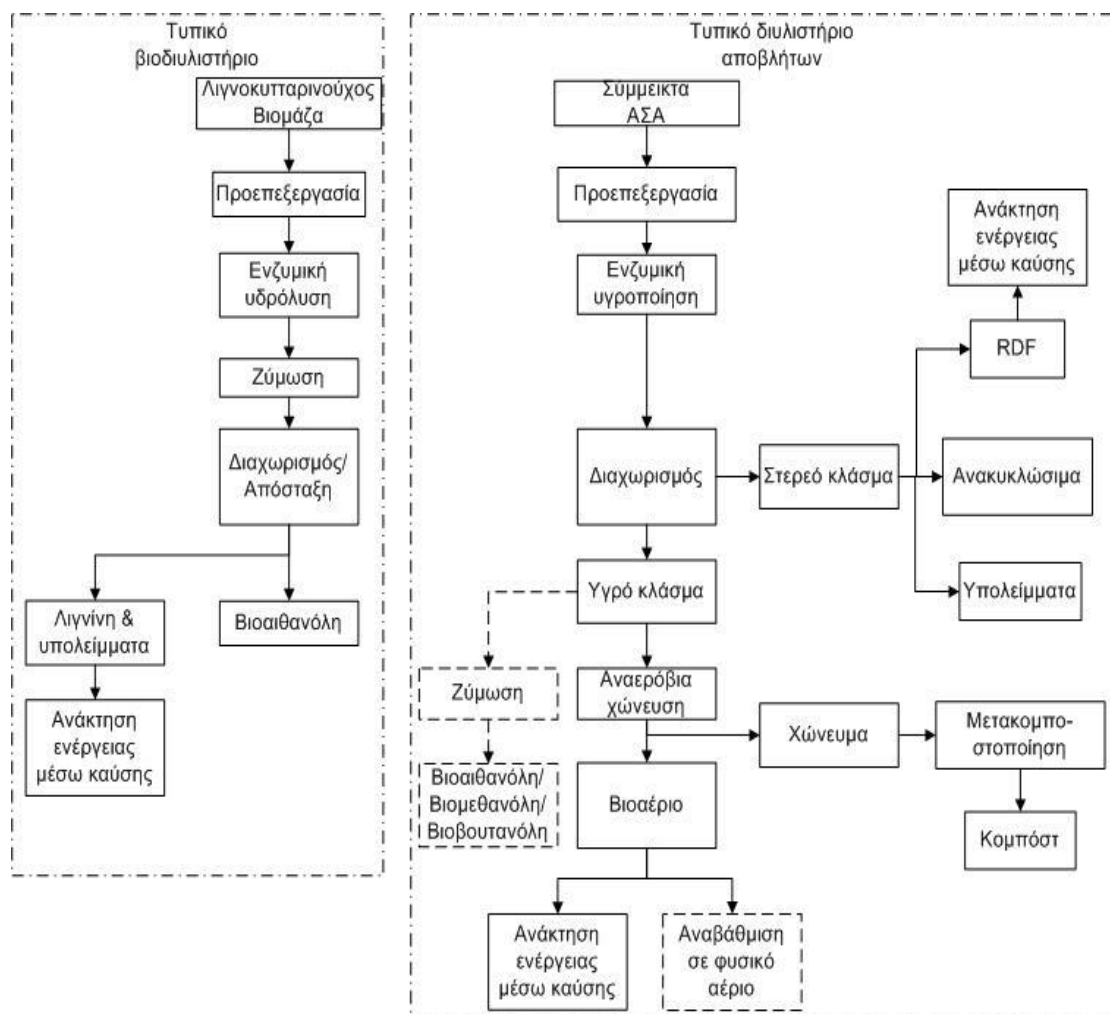
Ac: ακετύλιο, Ph: φαινόλη, Ara: αραβινόζη, MeGlcA: μεθυλογλυκουρονικό οξύ, Xyl: ξυλόζη, Gal: γαλακτόζη, Glc: γλυκόζη, Man: μαννόζη.

Σχήμα 7. Ένζυμα που συμμετέχουν στην υδρόλυση της ξυλάνης (A) και γλυκομαννάνης (B) [43].

2.2 Διυλιστήριο αποβλήτων και βιοδιυλιστήρια

Όπως αναφέρθηκε στο **Κεφάλαιο 1.4**, το Διυλιστήριο αποβλήτων έχει βασιστεί πάνω στην τεχνολογία που χρησιμοποιούν τα βιοδιυλιστήρια για την παραγωγή βιοαιθανόλης [43, 48, 49]. Πιο συγκεκριμένα, προσαρμόζοντας την τεχνολογία της ενζυμικής υδρόλυσης στο υπόστρωμα των σύμμεικτων ΑΣΑ το Διυλιστήριο αποβλήτων αξιοποιεί αποδοτικά τόσο τα ΒΑΑ των ΑΣΑ, όσο και το μη-αποικοδομήσιμο κλάσμα. Η διεργασία αυτή ονομάζεται **ενζυμική υγροποίηση**.

Όπως φαίνεται και από το **Διάγραμμα Ροής 7**, η **πρώτη βασική διαφορά τους** είναι η τροφοδοτούμενη πρώτη ύλη. Στο βιοδιυλιστήριο είναι λιγνοκυτταρινούχος βιομάζα, ενώ στο Διυλιστήριο αποβλήτων είναι τα σύμμεικτα ΑΣΑ. Το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των ΑΣΑ είναι φυτικής και ζωικής προέλευσης και περιλαμβάνει επιπλέον πρωτεΐνες, άμυλο και λίπη. Αυτό υπόκειται σε βιολογική διεργασία, ενώ το μη-αποικοδομήσιμο υπόκειται σε μηχανική διαλογή. Ο ακόλουθος **Πίνακας 8** παρουσιάζει ενδεικτικά τις βασικές διαφορές ως προς την βιολογική σύστασή λιγνοκυτταρινούχων πρώτων υλών και του ΒΑΑ των ΑΣΑ.



Διάγραμμα Ροής 7. Σύγκριση διεργασιών σε βιοδιυλιστήριο και Διυλιστήριο αποβλήτων [43, 48, 49].

Πίνακας 8. Ενδεικτική βιολογική σύσταση λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας και ΒΑΑ ΑΣΑ.

Βιολογικά συστατικά	Ξύλο πεύκου επί ξ.β. [45]	Άχυρο σίτου επί ξ.β. [45]	Χαρτί γραφείου επί ξ.β. [12]	Εφημερίδα επί ξ.β. [12]	ΒΑΑ ΑΣΑ επί ξ.β. [10]
Κυτταρίνη	44%	30%	87%	49%	40%
Ημικυτταρίνη	22%	55%	8%	9%	9%
Λιγνίνη	28%	15%	2%	24%	14%
Άμυλο	-	-	-	-	4%
Πρωτεΐνη	-	-	-	-	6%
Λίπη και έλαια	-	-	-	-	14%
Τέφρα	6%	5%	3%	18%	13%
Σύνολο	100%	100%	100%	100%	100%

Η επόμενη διαφορά τους βρίσκεται στα στάδια της προεπεξεργασίας και της ενζυμικής κατεργασίας. Οι διαφοροποιήσεις σχετίζονται (i) με την διαφορετική τροφοδοτούμενη πρώτη ύλη και (ii) με την μετέπειτα αξιοποίηση της ενζυμικά καταλυμένης βιομάζας. Η παρουσία αμύλου, πρωτεϊνών και λιπών είναι πιθανόν να προϋποθέτει κατάλυση και από διαφορετικά ένζυμα πέραν των κυτταρινασών. Η προεπεξεργασία της λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης αποσκοπεί στην αποδέσμευση των μονοσακχαριτών από το λιγνοκυτταρινούχο πλέγμα και στη μη-παραγωγή αναστολέων και προϊόντων αποδόμησης για το επόμενο βήμα της ζύμωσης. Ωστόσο, σε περίπτωση που παραλείπεται το ακόλουθο βήμα της ζύμωσης και αντικαθίσταται από αυτό της αναερόβιας χώνευσης, τότε δεν απαιτείται ούτε έντονη προεπεξεργασία, ούτε πλήρης υδρόλυση του υποστρώματος (μικρότερη κατανάλωση ενζύμων) [10], αφού το ζητούμενο προϊόν είναι το βιοαέριο και όχι η βιοαιθανόλη. Για αυτό και αντί για ενζυμική υδρόλυση, γίνεται λόγος για ενζυμική υγροποίηση.

Βάσει της πηγής [10] απεδείχθη, ότι δεν υπάρχει αύξηση της ποσότητας της υδρολυμένης βιομάζας όταν μαζί με τις κυτταρινάσες χρησιμοποιούνται επιπλέον υδρολυτικά ένζυμα (πρωτεϊνάσες, αμυλάσες) και ότι οι κυτταρινάσες αρκούν από μόνες τους για να υγροποιήσουν τα ΒΑΑ των ΑΣΑ σε ποσοστό άνω του 90% επί υ.β. Επίσης, απεδείχθη ότι ένα ήπιο στάδιο προεπεξεργασίας των ΑΣΑ με ρύθμιση της ζητούμενης σύστασης επί υ.β. με προσθήκη νερού σε επίπεδα του 35%TS και θέρμανσης αυτού με χρήση ατμού στους 95°C για 30min επαρκεί για την ακόλουθη διεργασία της υγροποίησης. Αυτό το στάδιο προεπεξεργασίας αποτελεί συνδυασμό ηπιότερης μορφής των φυσικοχημικών μεθόδων προεπεξεργασίας της έκρηξης ατμού και της υδροθερμόλυσης (βλ. Πίνακας 7). Αυτό το στάδιο της προεπεξεργασίας, πέραν (i) της χαλάρωσης της δομής της λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας, εξυπηρετεί την (ii) ομογενοποίηση και (iii) απολύμανση των τροφοδοτούμενων ΑΣΑ, την (iv) διάνοιξη συσκευασιών προκειμένου να κατεργαστεί το περιεχόμενό τους και την (v) πολτοποίηση του χάρτινου κλάσματος των ΑΣΑ. Επιπλέον, μειώνει το κόστος της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς αποφεύγεται η χρήση δαπανηρών διαλυτών και καταλυτών [45, 46].

Το Διυλιστήριο αποβλήτων υπόσχεται την δυνατότητα ζύμωσης του υγρού κλάσματός του, το οποίο περιέχει τα ΒΑΑ των ΑΣΑ για την παραγωγή προϊόντων, όπως βιοαιθανόλη, βιομεθανόλη ή βιοβουτανόλη [29]. Ωστόσο κάτι τέτοιο δεν εξετάστηκε στην δημοσιευμένη

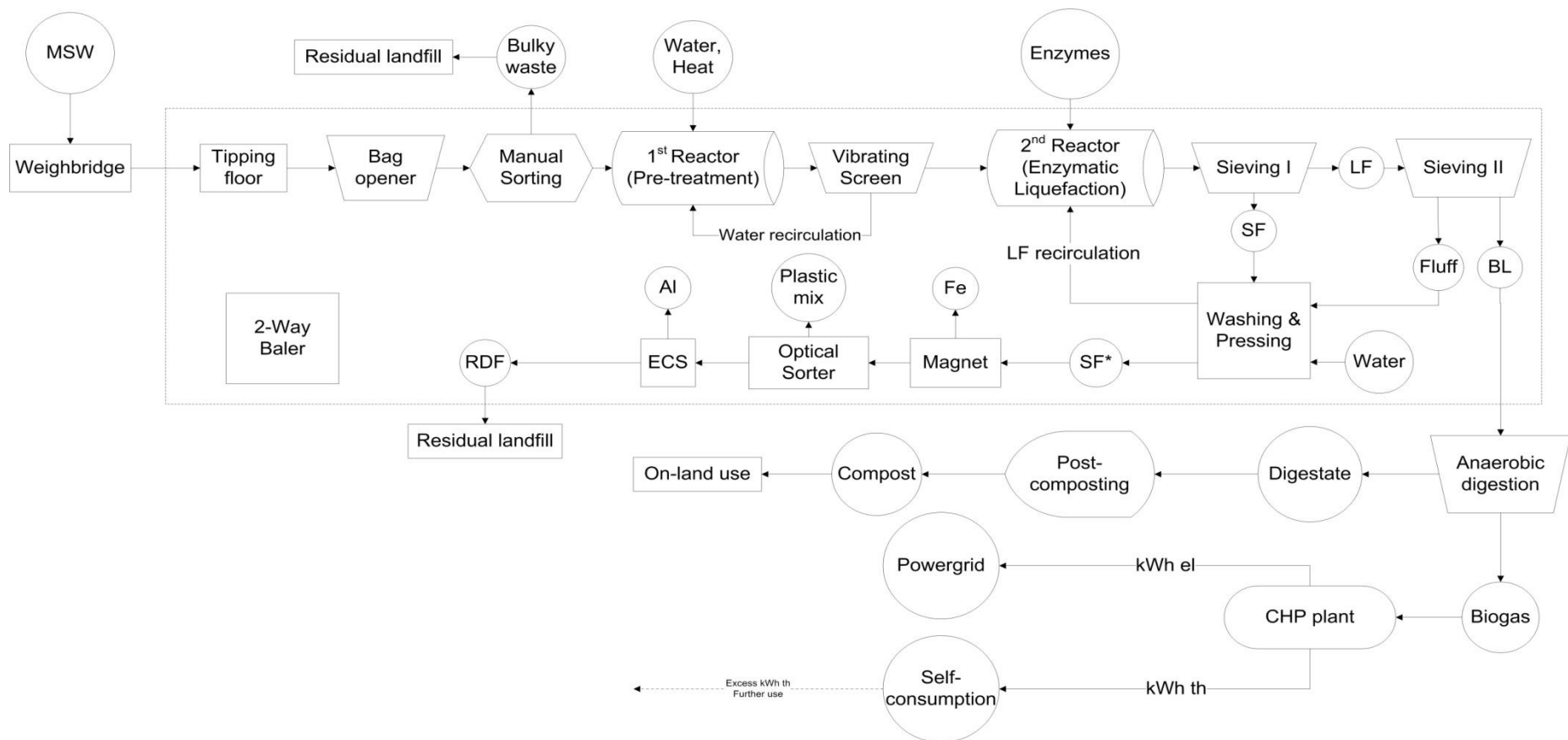
βιβλιογραφία [24-26]. Επίσης, όπως παρουσιάστηκε άνωθεν η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχο βιομάζα, η παραγωγή αντίστοιχων προϊόντων μέσω του Διυλιστηρίου αποβλήτων θα είχε χαμηλή απόδοση. Αυτό θα συνέβαινε, διότι τα στάδια της προεπεξεργασίας και της υγροποίησης είναι σχεδιασμένα για παραγωγή βιοαερίου αντί για προϊόντα ζύμωσης βιοκαυσίμων. Για αυτό και παρουσιάζεται με διακεκομμένη γραμμή η διεργασία της ζύμωσης στο **Διάγραμμα Ροής 7**.

2.3 Σχεδιασμός και λειτουργία Διυλιστηρίου αποβλήτων

Η διεργασία διύλισης των σύμμεικτων ΑΣΑ βασίζεται στην εγκατάσταση πιλοτικής κλίμακας, η έχει περιγραφθεί στο έργο των Tonini *et. al.* [24-26] και απεικονίζεται στο **Διάγραμμα Ροής 8**. Εκκινά με τη διέλευση και ζύγιση των Α/Φ οχημάτων στη **γεφυροπλάστιγγα**. Στη συνέχεια εναποτίθενται τα σύμμεικτα ΑΣΑ σε **ειδικά διαμορφωμένο δάπεδο** (tipping floor), όπου οι φορτωτές αναλαμβάνουν να τροφοδοτήσουν τον **σχίστη σάκων** [50]. Πιο συγκεκριμένα, ο σχίστης είναι εφοδιασμένος με μια δεξαμενή με κινούμενο πάτωμα, η οποία οδηγεί τα ΑΣΑ σε έναν αλυσιδωτό ταινιόδρομο. Στο τέλος του ταινιόδρομου βρίσκεται μια κεφαλή εξοπλισμένη με κοπτήρες (knives), η οποία εκτελεί παλινδρομική κίνηση. Η ταλάντωση της κεφαλής, σε συνδυασμό με την κίνηση του αλυσιδωτού ταινιόδρομου, (i) σκίζει τους σάκους χωρίς να βλάπτει το περιεχόμενο αυτών, (ii) εξασφαλίζει συνεχή ροή ΑΣΑ στη μονάδα και (iii) επιτρέπει την διέλευση ογκωδών αντικειμένων [50].

Ακολουθεί το στάδιο της **αρνητικής χειροδιαλογής** [51, 52]. Στόχος είναι η απομάκρυνση των ανεπιθύμητων αντικειμένων από το ρεύμα των αποβλήτων που πρόκειται να εισέλθει στο στάδιο της προεπεξεργασίας. Τα ανεπιθύμητα αντικείμενα είναι εκείνα τα οποία ενδέχεται να προκαλέσουν κάποια μηχανολογική βλάβη στα ακόλουθα βήματα της επεξεργασίας ή κάποια φραγή εντός των αντιδραστήρων. Είναι συνήθως ογκώδη απόβλητα, πέτρες ή μεταλλικά σύρματα.

Στη συνέχεια, τροφοδοτούνται τα ΑΣΑ μέσω χοάνης στον **αντιδραστήρα προεπεξεργασίας**, ο οποίος είναι ένα κυλινδρικό περιστρεφόμενο τύμπανο εφοδιασμένο με θερμική μόνωση και ηλεκτρικές αντιστάσεις. Αυτές δρουν σαν αντιστάθμιση στις θερμικές απώλειες του τυμπάνου. Η περιστροφή του αντιδραστήρα σε συνδυασμό με την προσθήκη νερού οδηγεί στην ομογενοποίηση του ρεύματος ΑΣΑ. Προ της αναβάθμισης του Διυλιστηρίου, απαιτείτο θέρμανση με χρήση ατμού στους 95°C για 30min [10, 24], ωστόσο, κατόπιν αναβαθμίσεώς του, γίνεται χρήση θερμού νερού 75°C για χρονικό διάστημα 30-60min [25, 26]. Ανάλογα με την αρχική υγρασία των ΑΣΑ, γίνεται προσθήκη κατάλληλης ποσότητας νερού, ήτοι **400L** για την συγκεκριμένη σύσταση, για επίτευξη κατάλληλης **υγρασίας 55% επί υ.β.** Σε περίπτωση ύπαρξης περίσσειας νερού, αυτή απομακρύνεται από τα ΑΣΑ μέσω ενός **δονούμενου διαχωριστή** (vibrating screen) και επιστρέφει στο τύμπανο μέσω κυκλοφορητή.



SF – solid fraction – στερεό κλάσμα, LF – liquid fraction – υγρό κλάσμα, BL – bioliquid – υδαρές χωνεύμα, SF – upgraded SF – αναβαθμισμένο στερεό κλάσμα, Fluff – αιωρούμενα υπολείμματα βαμβακιού, υφασμάτων και πλαστικού επί του υδαρούς χωνεύματος*

Διάγραμμα Ροής 8. Διεργασία διύλισης σύμμεικτων ΑΣΑ.

Πριν από την είσοδο του μίγματος στον ενζυμικό αντιδραστήρα, το ρεύμα **ψύχεται στους 50-55°C** ερχόμενο σε επαφή με τον αέρα, ούτως ώστε να μπορούν να δράσουν οι κυτταρινάσες. Ο **ενζυμικός αντιδραστήρας** είναι και αυτός εφοδιασμένος με μόνωση και με ηλεκτρικές αντιστάσεις. Για τον αντιδραστήρα είναι γνωστό, ότι στην πιλοτική εγκατάσταση έχει μήκος 16m και διάμετρο 2,5m. Στη συνέχεια, προστίθενται **5kg μίγματος ενζύμων** ανά τη ΑΣΑ υ.β. με βασικό συστατικό τις κυτταρινάσες στον αντιδραστήρα. Εντός του αντιδραστήρα υγροποιούνται τα ΒΑΑ των ΑΣΑ σε 10-16 ώρες

Το στάδιο υγροποίησης ακολουθεί από μια σειρά από **δονούμενα κόσκινα** (sieving I & II) Στο πρώτο γίνεται ο διαχωρισμός του στερεού κλάσματος (SF) και του υγρού κλάσματος (LF). Στο δεύτερο απομακρύνεται το **fluff** (αιωρούμενα υπολείμματα βαμβακιού, υφασμάτων και πλαστικού) από το υγρό κλάσμα και προκύπτει το υδαρές χώνευμα (**BL**), το οποίο περιλαμβάνει τα υγροποιημένα ΒΑΑ. Το ρεύμα του στερεού κλάσματος ενώνεται στη συνέχεια με αυτό του fluff και ξεπλένεται με νερό και στη συνέχεια συμπιέζεται. Αυτό συμβαίνει για να μεγιστοποιηθεί η ανάκτηση του υδαρούς χωνεύματος.

Το υδαρές χώνευμα είναι πλέον αξιοποιήσιμο μέσω αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή βιοαερίου. Το βιοαέριο μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά ή να αναβαθμιστεί σε φυσικό αέριο και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφοράς ή να εγχυθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου. Επίσης, μπορεί να γίνει μικτή καύση του υδαρούς χωνεύματος σε λιγνιτική μονάδα παραγωγής ενέργειας, αφού πρώτα αφυγρανθεί ή να αξιοποιηθεί για ζύμωση και παραγωγή βιοκαυσίμων (αιθανόλη, βουτανόλη ή μεθανόλη). Ωστόσο, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εξετάζεται το σενάριο της **συμπαγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ)**. Η ηλεκτρική ενέργεια διατίθεται στο δίκτυο, ενώ η θερμική καλύπτει τις ανάγκες της μονάδας.

Αναφορικά με το αναβαθμισμένο στερεό κλάσμα, αυτό διέρχεται αρχικά από έναν **μαγνητικό διαχωριστή [53]**. Ο διαχωριστής αυτός τοποθετείται άνωθεν του ταινιοδρόμου που μεταφέρει το SF* και απομακρύνει από αυτό τα σιδηρούχα μέταλλα μέσω ελκτικών δυνάμεων που αναπτύσσονται από έναν ισχυρό ηλεκτρομαγνήτη.

Μετά τον μαγνητικό διαχωριστή ακολουθεί ο **οπτικός διαχωριστής [54]**. Ο διαχωριστής αυτός ανακτά το ρεύμα των πλαστικών και χρησιμοποιεί την τεχνολογία της φασματοσκοπίας κοντά στο φάσμα του υπερύθρου φωτός (700-2.500nm NIR spectroscopy). Η τεχνολογία αυτή στηρίζεται στην αλληλεπίδραση της ύλης με το υπέρυθρο φως, η οποία προκαλεί μικροδονήσεις των μορίων του υλικού επιδρώντας στην διπολική τους ροπή. Οι δονήσεις αυτές παρέχουν την «υπογραφή» των χημικών ειδών του διερχόμενου ρεύματος. Όταν ο NIR αισθητήρας αναγνωρίσει κάποιο πλαστικό, ενεργοποιεί έναν φυσητήρα αέρα, ο οποίος το εκτρέπει προς δέσμευση. Το ρεύμα των πλαστικών έχοντας διέλθει από τους δύο αντιδραστήρες έχει υποστεί **μερική αλλοίωση της δομής του λόγω της υδροθερμικής διεργασίας και φέρει οργανικές προσμίξεις**. Έτσι δεν είναι δυνατή η ικανοποιητική ανάκτηση αυτού ως ξεχωριστά ρεύματα πλαστικών (PP, PET, PE, PVC ή φιλμ), αλλά **ως μίγμα**.

Ο τελευταίος διαχωριστής της παραγωγικής διεργασίας είναι ο **διαχωριστής δινορρευμάτων ή επαγωγικός (Eddy Current Separator – ECS) [55]**. Ο ECS αξιοποιεί ένα μαγνητικό ρότορα με εναλλασσόμενη πολικότητα, ο οποίος περιστρέφεται μέσα σε ένα μη-μεταλλικό τύμπανο. Ο ρότορας αυτός μπορεί να αποτελείται είτε από μόνιμους μαγνήτες, είτε από έναν ηλεκτρομαγνήτη. Το τύμπανο αυτό τοποθετείται στο τέλος του ταινιοδρόμου. Καθώς τα μη σιδηρούχα μέταλλα διέρχονται από το τύμπανο, η αλλαγή το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί σε αυτά δινορρέυματα, ασκώντας έτσι απωθητικές δυνάμεις σε αυτά και προσδίδοντάς τους μια τροχιά που θα τα οδηγήσει στο προς απαγωγή ρεύμα, ενώ τα μη μαγνητισμένα υλικά καταλήγουν στο υπολειπόμενο ρεύμα. Το υπολειπόμενο στερεό ρεύμα, το οποίο περιέχει κατά βάση μη-ανακυκλώσιμο πλαστικό και το μεγαλύτερο μέρος του κλάσματος των Διαφόρων και των Αδρανών οδηγείται προς υγειονομική ταφή. Τέλος, τα ανακτημένα υλικά (μίγμα πλαστικών, σιδηρούχα και μη μέταλλα) οδηγούνται στον δεματοποιητή.

Ο **δεματοποιητής (baler)** συμπιέζει τα ανακτημένα υλικά σε πυκνές δέσμες (δέματα), οι οποίες είναι εύκολα διαχειρίσιμες από άποψη μεταφοράς και αποθήκευσης [56]. Ο δεματοποιητής χρησιμοποιεί υδραυλικό σύστημα συμπίεσης για να κινήσει ένα έμβολο συμπιέζοντας έτσι το υλικό προς δεματοποίηση εντός του κλωβού. Το δέμα, μετά το πέρας της συμπίεσης, πρέπει να δεθεί με σύρμα δεματοποίησης ή με ταινία, ούτως ώστε να συγκρατείται κατά τις επόμενες φάσεις της διαχείρισής του. Στον δεματοποιητή διπλού εμβόλου (2-way baler) ο πρώτος κύλινδρος συμπιέζει το υλικό προς μια χαλύβδινη επιφάνεια, και ο δεύτερος κύλινδρος εξάγει το τελικό δέμα μέσω του συστήματος της αυτόματης δεματοποίησης. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου δεματοποιητή είναι η δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών υλικών χωρίς την ύπαρξη διασταυρούμενων προσμίξεων ανάμεσα στα δέματα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ειδικής θυρίδας διαχωρισμού των δεμάτων.

2.4 Ισολογισμός μάζας βιοδυλιστηρίου και ανάλυση ευαισθησίας

Στο **Παράρτημα II** παρατίθεται αναλυτικά η Ελληνική σύσταση. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η ποιοτική περιγραφή, η κατηγοριοποίηση βάσει ΕΚΑ, η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα (LHV) των κλασμάτων, η περιεκτικότητα σε TS, VS και τέφρα, ο D-factor και η φυσικοχημική σύσταση των ΑΣΑ. Με βάση λοιπόν την Ελληνική σύσταση και τη διαθέσιμη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συντελεστές διαχωρισμού, μεταφοράς κ.ο.κ. για τον υπολογισμό του ισολογισμού μάζας.

Πιο συγκεκριμένα, ατά το στάδιο της χειροδιαλογής εκτιμάται ότι απομακρύνονται **17,5kg/ton επί υ.β.** ή **10,7kg/ton επί ξ.β.** Αυτό προκύπτει από τη χρήση των ακόλουθων εκτιμώμενων συντελεστών απομάκρυνσης του **Πίνακας 9**.

Πίνακας 9. Συντελεστές απομάκρυνσης κατά το στάδιο της χειροδιαλογής επί υ.β.

Κλάσμα ΑΣΑ	α/α Παραρτήματος II	Συντελεστής απομάκρυνσης
Οργανικά	1,2,3,4	2%
Χαρτί & Χαρτόνι	5-16	1%
Μέταλλα	17-25	1%
Γυαλί	26-29	5%
Διάφορα	30-33, 35,36, 38,39,41	1%
Διάφορα	34,37,40	10%
Αδρανή	42,44,46	1%
Αδρανή	43,45,47,48	10%

Η σύσταση του ρεύματος ΑΣΑ, το οποίο κατευθύνεται προς διύλιση μετά το στάδιο της χειροδιαλογής διαδραματίζει τον πιο σημαντικό ρόλο, όσον αφορά τις ποσότητες των παραγόμενων προϊόντων και τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Ο καταμερισμός του εναπομένοντος ρεύματος σε υδαρές χώνευμα (BL) γίνεται βάσει των ακόλουθων συντελεστών μεταφοράς, τους οποίους περιλαμβάνει ο **Πίνακας 10**.

Πίνακας 10. Συντελεστές μεταφοράς κλασμάτων ΑΣΑ προς παραγόμενο υδαρές χώνευμα [10, 25].

Κλάσμα ΑΣΑ	α/α Παραρτήματος II	Συντελεστής μεταφοράς
Απόβλητα κουζίνας	1,2,3	100%
Χαρτί & Χαρτόνι	5-12,15,16	100%
Συσκευασίες χάρτινες και Tetrapak	13,14	85%
Απεκκρίματα κατοικίδιων	30	50%
Χώμα	42	50%
Απόβλητα κήπου	4,34	35%
Αλουμινένιοι δίσκοι και φύλλα	22	30%
Είδη βρεφικής φροντίδας	31	15%
Βαμβακερά είδη προσωπικής υγιεινής	32	15%
Λοιπά είδη προσωπικής υγιεινής	33	15%

Για τον έως τώρα διαχωρισμό στο Διυλιστήριο των ΑΣΑ σε υδαρές χώνευμα και σε αναβαθμισμένο στερεό κλάσμα έχουν χρησιμοποιηθεί συνολικά, **ανά τn ΑΣΑ υ.β., 34,1kWh_{el}, 136,1kWh_{th}, 400L νερού και 0,7L diesel**. Αναλυτικά οι καταναλώσεις αυτές παρατίθενται ακολούθως:

1. 0,7L Diesel/tn ΑΣΑ υ.β. από τους φορτωτές [51].
2. 0,2 kWh_{el}/tn ΑΣΑ υ.β. για τον ταινιόδρομο [51].
3. 0,5 kWh_{el}/tn ΑΣΑ υ.β. από το σχίστη σάκων [51].
4. 400L/tn ΑΣΑ υ.β. νερού για την προεπεξεργασία [25, 26].
5. 20kWh_{el}/tn ΑΣΑ υ.β. και 136,1 kWh_{th} /tn ΑΣΑ υ.β. για την προεπεξεργασία, υγροποίηση και διαχωρισμό σε BL και σε SF*. Τα 136,1 kWh_{th} λαμβάνονται ως ιδιοκατανάλωση [25, 26, 57].
6. 5kg ενζύμων/tn ΑΣΑ υ.β. [25, 26].
7. 5,2kWh_{el}/tn ΑΣΑ υ.β. για την ανάκτηση των μετάλλων και τη δεματοποίησή τους. (2,35kWh_{el} μαγνήτης + 0,88kWh_{el} ECS + 1,97 kWh_{el} δεματοποιητής) [51].

8. $8,2\text{kWh}_{\text{el}} / \text{tn}$ ΑΣΑ υ.β. για την ανάκτηση του μίγματος πλαστικών και τη δεματοποίησή του ($6,24\text{kWh}_{\text{el}}$ οπτικός διαχωριστής για πλαστικά + $1,97\text{kWh}_{\text{el}}$ δεματοποιητής) [51].

Πίνακας 11. Ισολογισμός μάζας διυλιστηρίου επί ξ.β. σε υδαρές χώνευμα και σε SF*.

Κλάσμα ΑΣΑ	Αρχική (% υ.β.)	Αρχική (% ξ.β.)	Χειροδιαλογή (% ξ.β.)	Υδαρές χώνευμα (% ξ.β.)	SF* (% ξ.β.)
Οργανικά	41,00%	12,99%	0,26%	11,74%	0,99%
Χαρτί	29,00%	24,71%	0,25%	23,96%	0,50%
Πλαστικό	14,00%	12,45%	0,12%	0,00%	12,32%
Σιδηρούχα μέταλλα	2,60%	2,33%	0,02%	0,00%	2,31%
Μη-σιδηρούχα μέταλλα	0,90%	0,77%	0,01%	0,12%	0,64%
Γυαλί	3,50%	3,24%	0,16%	0,00%	3,08%
Διάφορα	7,50%	5,85%	0,18%	0,29%	5,38%
Αδρανή	1,50%	1,21%	0,06%	0,18%	0,97%
Σύνολο	100,00%	63,55%	1,07%	36,29%	26,19%

όπου SF*: αναβαθμισμένο στερεό κλάσμα, $\text{Χειροδιαλογή} + \text{BL} + \text{SF}^* = \text{Αρχική} (\% \xi.β.)$

Ο ακόλουθος Πίνακας 12 περιλαμβάνει τη φυσικοχημική σύσταση του υδαρούς χωνεύματος, όπως αυτό προκύπτει από τους συντελεστές μεταφοράς του Πίνακας 10 και την γνωστή χημική σύσταση των κλασμάτων των ΑΣΑ (βλ. Πίνακας 11 και Παράρτημα II).

Πίνακας 12. Υπολογισμός φυσικοχημικής ανάλυσης και ανάλυσης στοιχείων-ιχθών υδαρούς χωνεύματος σε kg/ton επί ξ.β. επί της Ελληνική σύστασης ΑΣΑ βάσει βιβλιογραφικών συντελεστών μεταφοράς και σύγκριση αυτής με πειραματικά προσδιορισμένη από υπολειμματική ΑΣΑ Δανέζικης σύστασης.

Σύσταση υδαρούς χωνεύματος από διεργασία διύλισης σε kg/kg TS	Μέσω συντελεστών μεταφοράς για ΑΣΑ Ελληνικής σύστασης	Μέσω πειράματος για ΑΣΑ Δανέζικης σύστασης [25]
LHV (MJ/kg TS)	-	16
BMP _{prot} (NL/kg VS)	-	440
Συνολικά στερεά (%kg TS/kg TS)	100%	100%
Κύρια χημικά στοιχεία (kg/kg TS)		
C	C-biogenic: 0,438	0,420
	C-fossil: 0,007	-
H	0,060	0,051
O	0,362	0,470
N	0,012	0,020
S	0,001	0,001
Μέταλλα και ίχνη (kg/kg TS)		
Al	0,012	0,003
As	4,17E-07	1,40E-06
Ca	0,025	-
Cd	8,88E-08	1,80E-07
Cl	0,003	0,011
Cr	1,29E-05	1,90E-05
Cu	3,78E-05	3,50E-05
F	1,79E-04	-
Fe	0,001	0,005

Hg	4,53E-08	1,00E-07
K	0,003	0,008
Mg	0,001	-
Mn	5,58E-05	8,00E-05
Mo	1,10E-06	-
Na	0,002	-
Ni	6,82E-06	1,20E-05
P	0,002	0,002
Pb	4,05E-06	1,20E-05
Zn	5,94E-05	-
Λοιπά	0,067	0,009
Σύνολο	1,000	1,000

Συγκρίνοντας τις τιμές των στοιχείων των αναλύσεων του [Πίνακας 12](#), παρατηρείται αρχικά ότι είναι της ίδιας τάξης μεγέθους. Επιπροσθέτως είναι παραπλήσιες, κάτι που οφείλεται κυρίως στη διαφορετική σύσταση των ΑΣΑ (Ελληνική vs υπολειμματική Δανέζικη). **Επομένως, η χρήση των συντελεστών μεταφοράς για τον ισολογισμό μάζας οδηγεί σε έγκυρο ισολογισμό μάζας.**

Αναφορικά, τώρα, με την αναλογία θρεπτικών συστατικών στο υδαρές χώνευμα, η αναλογία C/N είναι $43,8/1,23 = 35,61/1$, η οποία είναι εντός του ορίου 20-40/1, όπως αναφέρθηκε στο [Κεφάλαιο 2.1.1](#). Επίσης η αναλογία C/P είναι $438/1,61 = 272/1$. Η αναλογία αυτή είναι λίγο υψηλότερη της επιθυμητής (150-200/1), χωρίς ωστόσο να αναμένεται να δημιουργήσει επιπτώσεις κατά την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης.

Για τον υπολογισμό του θεωρητικού δυναμικού παραγόμενου βιομεθανίου (**Biomethane Potential – BMP_{th}**) υπάρχουν 3 μέθοδοι. Ο πρώτος σχετίζεται με τη βιολογική σύσταση του υδαρούς χωνεύματος και χρησιμοποιεί την ακόλουθη τροποποιημένη εξίσωση του Buswell ([Εξ. 9](#)) [[26, 48](#)]:

$$BMP_{th} = 0,415 * carbohydrates + 0,496 * proteins + 1,014 * lipids + 0,373 * VFA's + 0,73 * EtOH \quad (\text{Εξ. 9}),$$

όπου τα βιολογικά συστατικά εκφράζονται σε g/kg VS, οι συντελεστές σε NL CH₄/g VS και το BMP_{th} σε NL CH₄/kg VS.

Οι δύο άλλοι τρόποι υπολογισμού του BMP_{th} είναι βάσει της χημικής σύστασης του υποστρώματος και περιγράφονται από την εξίσωση του Buswell ([Εξ. 10](#)) και την τροποποιημένη εξίσωση Dulong ([Εξ. 11](#)), όπως αυτή δίνεται στην πηγή [[58](#)].

$$C_a H_b O_c N_d S_e + \frac{1}{4} * (4a - b - 2c + 3d + 2s) H_2 O \rightarrow \frac{1}{8} * (4a - b + 2c + 3d + 2s) CO_2 + \frac{1}{8} * (4a + b - 2c - 3d - 2s) CH_4 + dNH_3 + eH_2S \quad (\text{Εξ. 10})$$

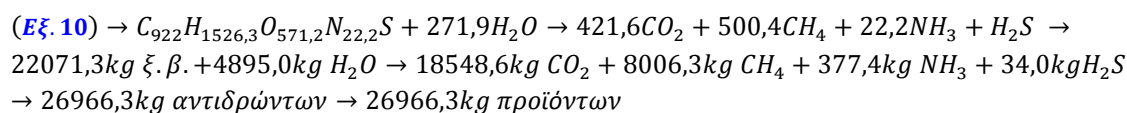
$$E^o = 337 * C + 1419 * \left(H - \frac{1}{8} * O \right) + 93 * S + 23,26 * N \quad (\text{Εξ. 11}),$$

όπου C, H, O, S και N σε σύσταση %ξ.β. και E^o σε MJ/kg ξ.β.

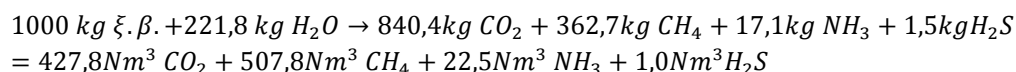
Ο ακόλουθος **Πίνακας 13** περιλαμβάνει τα kg των στοιχείων C-bio,H,O,N και S σε σύσταση ξ.β., όπως αυτά εμφανίζονται στον **Πίνακας 12** και περιέχει τα ατομικά τους βάρη (AW), καθώς και τις πυκνότητες των προϊόντων της αντίδρασης. Βάσει αυτών υπολογίζεται ακολούθως η χημική φόρμουλα του υδαρούς χωνεύματος με την **Εξίσωση 10**.

Πίνακας 13. Στοιχεία για τον υπολογισμό της χημικής φόρμουλας του υδαρούς χωνεύματος.

	C-bio	H	O	N	S
Kg ξ.β.	4,38E+02	6,04E+01	3,62E+02	1,23E+01	1,27E+00
AW (kg/kmole)	12	1	16	14	32
kmoles	36,51	60,44	22,62	0,88	0,04
moles/moles S	922,0=a	1526,3=b	571,2=c	22,2=d	1,0=e
ρ CH ₄ (kg/Nm ³)	16/22,4=0,714		ρ NH ₃ (kg/Nm ³)	17/22,4=0,759	
ρ CO ₂ (kg/Nm ³)	44/22,4=1,964		ρ H ₂ S (kg/Nm ³)	34/22,4=1,518	



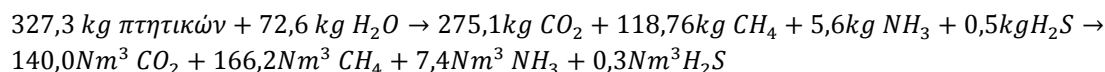
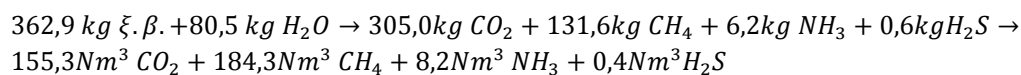
Οι συντελεστές έχουν υπολογισθεί σωστά, αφού επαληθεύεται η χημική εξίσωση. Επομένως ανά tn ξ.β. υδαρούς χωνεύματος προκύπτουν:



Άρα το BMP_{th} είναι 507,8Nm³/tn ξ.β. ή **0,508Nm³/kg ξ.β.** ή 0,508/90,20% = **0,563Nm³/kg VS** με την εξίσωση του Buswell. Η θεωρητική σύσταση του βιοαερίου έχει ως εξής:

- 52,9% CH₄
- 44,6% CO₂
- 2,3% NH₃
- 0,1% H₂S

Ανά tn ΑΣΑ υ.β. έχουν προκύψει 36,29% kg ξ.β. με περιεχόμενο 90,20% VS, ήτοι 327,3kg VS/tn ΑΣΑ.



Χρησιμοποιώντας τώρα την τροποποιημένη εξίσωση Dulong (**Εξ. 11**) προκύπτει ότι:

$$(E\acute{x}. 11) \rightarrow E^o = 337 * 43,8 + 1419 * \left(6,04 - \frac{1}{8} * 36,2\right) + 93 * 0,127 + 23,26 * 1,23 \\ = 16,96 \frac{MJ}{kg \text{ ξ.β.}}$$

Το ενεργειακό περιεχόμενο του μεθανίου σε συνθήκες STP είναι 37 MJ/Nm³ [16, 59]. Άρα το BMP_{th} είναι 16,96/37 = **0,458Nm³/kg ξ.β.** ή **0,458/90,20% = 0,508 Nm³/kg πτητικών.**

Η διαθέσιμη βιβλιογραφία για το BMP συνοψίζεται στον ακόλουθο **Πίνακας 14** και γίνεται εκτίμηση αυτού για την ανάλυση ευαισθησίας.

Πίνακας 14. Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων βιβλιογραφίας για BMP [25, 58, 60].

Υπόστρωμα		BMP _{th} βάσει χημικής σύστασης (Nm ³ CH ₄ /kg πτητικών)	BMP _{πειρ.} προς BMP _{th}	BMP _{πραγμ.} προς BMP _{πειρ.}	Πηγή
ΔσΠ ΒΑΑ	Εύρος	0,580-0,730	0,50-0,91	0,50-1,14	[60]
ΔσΠ ΒΑΑ	Μέσος όρος	0,637	0,74	0,75	[60]
ΔσΠ ΒΑΑ	Εύρος	0,549-0,560	0,65-0,95		[58]
ΔσΠ ΒΑΑ	Μέσος όρος	0,554	0,85		[58]
Υδαρές χώνευμα		0,440 (πειραματικό)		0,82	[25]
Υδαρές χώνευμα	Εξ. 10	0,563 - Υπολογισμός			
Υδαρές χώνευμα	Εξ. 11	0,508 - Υπολογισμός			

Υδαρές χώνευμα	Δυσμενής	Αναμενόμενη	Αισιόδοξη
BMP _{th} (Nm ³ /kg VS)	0,508 (Εξ. 11)	(0,508+0,563)/2 = 0,535	0,563 (Εξ. 10)
BMP _{πειρ} προς BMP _{th}	0,73	0,83	0,93
BMP _{πραγμ} προς BMP _{πειρ.}	0,72	0,82	0,92
BMP _{πραγμ} (Nm ³ /kg VS)	0,508x0,73x0,72 =0,267	0,535x0,83x0,82 =0,364	0,563x0,93x0,92 =0,482

Αν και από την **Εξ. 10** προέκυψε αναλογία CH₄ προς βιοαέριο **52,9% (v/v)**, εντούτοις στην βιβλιογραφία αυτή εκτιμάται στο **60% (v/v)** [25, 59, 60], η οποία υιοθετείται και για τους ακόλουθους υπολογισμούς με το **υπολειπόμενο 40% να θεωρείται CO₂**. Το υδαρές χώνευμα, λοιπόν, το οποίο έχει προκύψει από τη διύλιση των ΑΣΑ οδηγείται στην μονάδα αναερόβιας χώνευσης, η οποία πρόκειται για μια εγκατάσταση μεσόφιλη και ενός σταδίου, όπως αυτή περιγράφεται στις πηγές [13, 25, 26]. Για τη λειτουργία της εγκατάστασης απαιτούνται, **ανά τη υδαρούς χωνεύματος υ.β.**, τα ακόλουθα:

1. 0,9kg Diesel [25] ή για πυκνότητα 0,84kg/L [61] προκύπτει 0,9/0,84 = 1,07L Diesel.
2. 40kWh_{el} (25kWh_{el} για διεργασίες χώνευσης (άντληση, αερισμός, κ.λπ.) + 15 kWh_{el} για διεργασίες μετα-κομποστοποίησης του χωνεύματος) [25, 26].
3. 33,3kWh_{th}, τα οποία απαιτούνται για τη θέρμανση του υποστρώματος στους 37°C και τα οποία καλύπτονται από την παραγόμενη θερμότητα [25].

Τέλος, το παραγόμενο βιοαέριο αξιοποιείται σε ΣΗΘ, με βαθμό ηλεκτρικής απόδοσης 40% ως προς την LHV του βιοαερίου και βαθμό θερμικής απόδοσης 50% αντιστοίχως [25, 26, 57]. Για την ανάλυση ευαισθησίας θα εξεταστούν **3 περιπτώσεις-θεωρήσεις**. Αυτές είναι η **δυσμενής, η αναμενόμενη και η αισιόδοξη**, και ο **Πίνακας 15** συγκεντρώνει τις ανακτήσεις των υλικών για τις περιπτώσεις αυτές. **Για την παρουσία των προσμίξεων στα ανακτημένα ρεύματα γίνονται εκτιμήσεις.** Ως στοχευμένη ανάκτηση ορίζεται η δέσμευση του επιθυμητού υλικού ως ποσοστό επί του διερχομένου ρεύματος και ως προσμίξεις ορίζονται όλα τα υπόλοιπα υλικά, των οποίων η δέσμευση είναι μη επιθυμητή.

Πίνακας 15. Συγκεντρωτικά στοιχεία της δυσμενούς, αναμενόμενης και του αισιόδοξης θεώρησης για την ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών για την διεργασία της διύλισης των ΑΣΑ.

	Περιπτώσεις						Πηγές
	Δυσμενής		Αναμενόμενη		Αισιόδοξη		
	Στοχευμένη ανάκτηση	Προσμίξεις	Στοχευμένη ανάκτηση	Προσμίξεις	Στοχευμένη ανάκτηση	Προσμίξεις	
Μαγνήτης	75%	7%	85%	4%	95%	1%	[28, 51, 52]
Οπτικός	75%	7%	85%	4%	95%	1%	[28, 51, 52]
ECS	80%	7%	87,5%	4%	95%	1%	[28, 51, 52]

Από τις θεωρήσεις του **Πίνακας 15** προκύπτουν τα αποτελέσματα του **Πίνακας 16**, ήτοι ο καταμερισμός των 261,9kg SF* ξ.β. ή 310,2kg SF* υ.β. (84,4% ξ.β.) (βλ. **Πίνακας 11**) σε ανακτώμενα ρεύματα και υπολειπόμενο.

Πίνακας 16. Καταμερισμός του αναβαθμισμένου στερεού κλάσματος SF* σε σιδηρούχα και μη μέταλλα, σε μίγμα πλαστικών και σε υπολειπόμενο ρεύμα προς ταφή κατά την επεξεργασία 1 τn ΑΣΑ στο Διυλιστήριο αποβλήτων.

ΑΣΑ	Μαγνήτης (% ξ.β.)			Οπτικός διαχωριστής (% ξ.β.)			Επαγωγικός διαχωριστής (% ξ.β.)			Υπολειπόμενο ρεύμα (% ξ.β.)		
	Δυσμ.	Αναμ.	Αισιοδ.	Δυσμ.	Αναμ.	Αισιοδ.	Δυσμ.	Αναμ.	Αισιοδ.	Δυσμ.	Αναμ.	Αισιοδ.
Οργ.	0,07%	0,04%	0,01%	0,06%	0,04%	0,01%	0,06%	0,04%	0,01%	0,80%	0,88%	0,96%
Χαρτί	0,03%	0,02%	0,00%	0,03%	0,02%	0,00%	0,03%	0,02%	0,00%	0,40%	0,44%	0,48%
Πλαστικό	0,86%	0,49%	0,12%	7,37%	8,55%	9,79%	0,29%	0,13%	0,02%	3,80%	3,14%	2,38%
Fe	1,73%	1,96%	2,19%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,58%	0,35%	0,12%
Non-Fe	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,52%	0,56%	0,61%	0,13%	0,08%	0,03%
Γυαλί	0,22%	0,12%	0,03%	0,20%	0,12%	0,03%	0,19%	0,11%	0,03%	2,48%	2,73%	2,99%
Διάφορα	0,38%	0,22%	0,05%	0,35%	0,21%	0,05%	0,33%	0,20%	0,05%	4,33%	4,76%	5,22%
Αδρανής	0,07%	0,04%	0,01%	0,06%	0,04%	0,01%	0,06%	0,04%	0,01%	0,78%	0,86%	0,94%
Σύνολο	3,36%	2,89%	2,43%	8,08%	8,97%	9,90%	1,46%	1,10%	0,74%	13,29%	13,23%	13,12%

Ο ακόλουθος **Πίνακας 17** συνοψίζει τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για την επεξεργασία 1 τn υ.β. ΑΣΑ και για τον διαχωρισμό αυτό σε υγρό και στερεό κλάσμα. Επιπλέον, παρατίθενται σε αυτόν πληροφορίες σχετικά με τα ανακτώμενα υλικά και το ρεύμα που καταλήγει προς ταφή.

Πίνακας 17. Χρήση πρώτων υλών και ισολογισμός μάζας για την υγροποίηση 1tn ΑΣΑ υ.β. μέσω του Διυλιστηρίου αποβλήτων και ανάλυση ευαισθησίας για την ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών.

Διεργασία υγροποίησης ΑΣΑ και ανάκτησης υλικών						
	Περιγραφή	Μονάδα	Ποσότητα	Πηγή		
Πρώτες ύλες	ΑΣΑ	kg υ.β.	1.000 (63,55% ξ.β.)			
	Ηλεκτρική ενέργεια	kWh _{el}	34,1	Υπολογισμός		
	Θερμότητα	kWh _{th}	136,1	[25, 26]		
	Νερό	L	400	[25,26]		
	Ένζυμα	kg/tnΑΣΑ υ.β.	5	[25, 26]		
	Diesel	L	0,7	[51]		
Ανάλυση ευαισθησίας						
			Δυσμενής	Αναμενόμενη	Αισιόδοξη.	
Προϊόντα	Χειροδιαλογή	kg υ.β.	17,5 (61,3% ξ.β.)			
	Υδαρές χώνευμα (BL)	kg υ.β.	1072,3 (33,8% ξ.β.)		Υπολογισμός	
	SF*	kg υ.β.	310,2 (84,4% ξ.β.)			
	Fe από SF*	kg υ.β.		19,3 (89,67%ξ.β)	21,9 (89,67%ξ.β)	24,5 (89,67%ξ.β)
	Al από SF*	kg υ.β.		5,9 (86,78%ξβ)	6,5 (86,78%ξ.β)	7,1 (86,78%ξ.β)
	Πλαστικό μίγμα από SF*	kg υ.β.		82,2 (88,21%ξβ)	96,1 (88,21%ξ.β)	110,8 (88,21%ξ.β)
	Προσμίξεις	kg υ.β.		34,1 (82,54%ξβ)	23,7 (82,39%ξ.β)	6,0 (82,24%ξ.β)
	Υπόλειμμα	kg υ.β.		161,5 (82,3% ξβ)	162,0 (81,7% ξ.β.)	161,9 (81,4% ξ.β.)

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλ. ενέργειας χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:
 $E_{el} = LHV_{CH_4} * n_{el} * (BMP_{\text{παραγμ.}} * VS - CH_{4,\text{διαφ.}})$ (Εξ. 12),

όπου

- $LHV_{CH_4} = 37,0 \frac{MJ}{Nm^3} = 10,3 \frac{kWh}{Nm^3}$,
- n_{el} ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης στο εύρος 0,37-0,43
- $BMP_{\text{παραγμ.}}$ η παραγόμενη ποσότητα μεθανίου ανά tn VS.
- VS η ποσότητα πτητικών του υδαρούς χωνεύματος (σ.σ. 327,3kg VS).
- $CH_{4,\text{διαφ.}}$ η παραγόμενη ποσότητα μεθανίου που διέφυγε της συλλογής

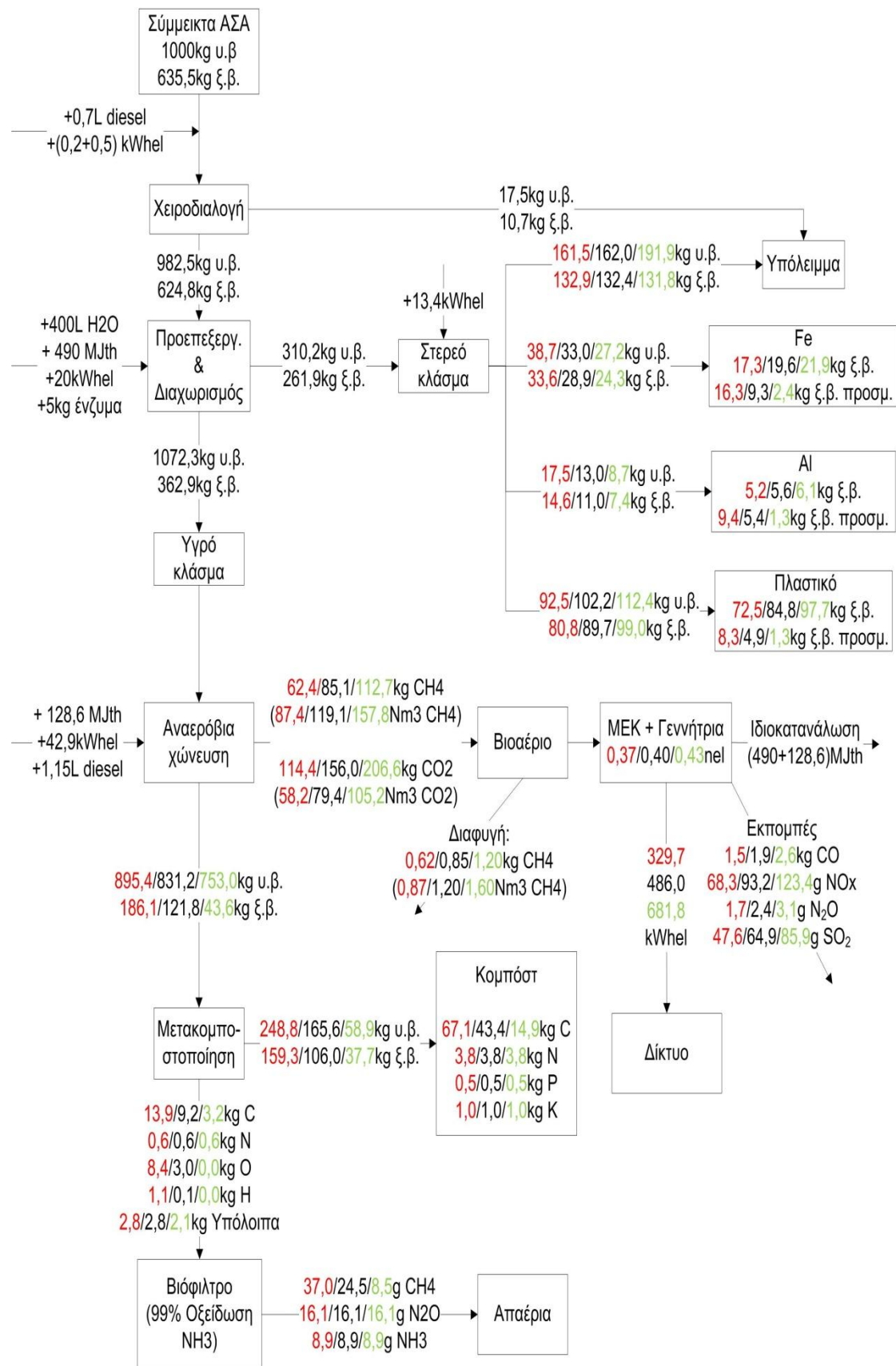
Αντικαθιστώντας στην Εξ. 12 το n_{el} με n_{th} προκύπτει η παραγόμενη θερμική ενέργεια.

Ο ακόλουθος **Πίνακας 18** συνοψίζει τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για την επεξεργασία του υδαρούς χωνεύματος (1072,3kg υ.β./τη ΑΣΑ υ.β). Επιπλέον, παρατίθενται σε αυτόν πληροφορίες σχετικά με το παραγόμενο βιοαέριο και κομπόστ και την αξιοποίηση αυτών.

Πίνακας 18. Ισολογισμός μάζας για παραγωγή και αξιοποίηση του βιοαερίου και ανάλυση ευαισθησίας για την παραγόμενη ηλ. ενέργεια και για τις εκπομπές καυσαερίων/απαερίων.

	Περιγραφή	Μονάδα	Ποσότητα			Πηγή	
Πρώτες ύλες	Υδαρές χώνευμα (BL)	kg υ.β.	1072,3 (33,8% ξ.β.) (30,5% VS)			Πίνακας 11	
	Ηλ. ενέργεια	kWh _{el}	42,9			[25, 26]	
	Θερμότητα	kWh _{th}	35,7			[25, 26]	
	Diesel	L	1,15			[25, 26]	
Ανάλυση ευαισθησίας							
			Δυσμενείς θεωρήσεις	Αναμενόμενες	Αισιόδοξες θεωρήσεις		
Βιοαέριο	BMP _{πραγμ.}	Nm ³ CH ₄ ανά kg VS	0,267	0,364	0,482	Υπολογισμός	
	CH ₄	Nm ³ CH ₄	87,4	116,1	157,8		
	CO ₂	Nm ³ CO ₄	58,3	79,4	105,2		
	Διαφυγόν CH ₄ (1% CH ₄ prod.)	Nm ³ CH ₄	0,9	1,2	1,6		
	Εκπομπές καύσης		g NO _x	68,4	93,1	123,4	[13]
			g N ₂ O	1,7	2,4	3,1	
			g SO ₂	47,6	64,9	85,9	
			g CO	1459,6	1989,9	2635,0	
		n _{el}		0,37	0,40	0,43	[25, 26, 57]
		n _{th}		0,37	0,40	0,43	[25, 26, 57]
		Παραγόμενη ηλ. ενέργεια	kWh _{el}	329,7	486,0	691,8	Εξ. 12
	Παραγόμενη θερμότητα	kWh _{el}	445,6	607,5	804,4	Εξ. 12	
Κομπόστ και απαέρια	Τελικό κομπόστ	kg ξ.β.	248,8 (64% ξ.β.)	165,6 (64%ξ.β.)	58,9 (64% ξ.β.)	Υπολογισμός	
	C:N		17,6	11,4	3,4		
	C:P		134,2	86,8	29,8		
	C:K		67,1	43,4	14,9		
	Διαφυγόν CH ₄ (0,2% C degr.)	g CH ₄	37,0	24,5	8,5		
	Διαφυγόν N ₂ O (1,4% N degr.)			16,1 g N ₂ O		[13]	
Διαφυγούσα NH ₃ (98,5% N degr.) (99% οξείδωση στο βιόφιλτρο)			8,9g NH ₃				

Τέλος, στα **Διάγραμμα Ροής 9** παρουσιάζεται συνοπτικά η ανάλυση ευαισθησίας που έγινε για τον ισολογισμό μάζας για την δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση αντίστοιχα.



Διάγραμμα Ροής 9. Ισολογισμός μάζας σε σύσταση u.β. και ξ.β. κατά την επεξεργασία 1 τn ΑΣΑ u.β. στο Διυλιστήριο αποβλήτων με ανάλυση ευαισθησίας (δυσμενής/αναμενόμενη/αισιόδοξη θεώρηση).

Κεφάλαιο 3^ο: Συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης ΑΣΑ

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα αναλυθούν τα υπόλοιπα 3 Σενάρια διαχείρισης ΑΣΑ, τα οποία αναφέρθηκαν στο [Κεφάλαιο 1.5](#) και τα οποία περιγράφουν τις εφαρμοζόμενες συμβατικές πρακτικές στην Ελληνική Επικράτεια. Αυτά είναι τα εξής:

- **Σενάριο II.** Συγκομιδή σύμμεικτων ΑΣΑ, μεταφορά μέσω ΣΜΑ στην ΜΜΒΕ και διάθεση υπολειμμάτων στον περιφερειακό ΧΥΤΥ. Ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών και αξιοποίηση του παραγόμενου κομπόστ (βλ. [Κεφάλαιο 3.1](#)).
- **Σενάριο III.** Συγκομιδή διαχωρισμένων στην πηγή ΑΣΑ, μεταφορά μέσω ΣΜΑ σε 4 ΚΔΑΥ (χαρτιού, πλαστικού, μετάλλων και γυαλιού) και 1 Μονάδα Κομποστοποίησης και διάθεση των υπολειμμάτων στον περιφερειακό ΧΥΤΥ. Ανάκτηση των ανακυκλώσιμων υλικών και αξιοποίηση κομπόστ. (βλ. [Κεφάλαιο 3.2](#)).
- **Σενάριο IV.** Συγκομιδή σύμμεικτων ΑΣΑ, μεταφορά μέσω ΣΜΑ και ταφή στον περιφερειακό ΧΥΤΑ (βλ. [Κεφάλαιο 3.3](#)).

3.1 Μονάδα μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας

Η ΜΜΒΕ σχεδιάζεται βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης [[15](#), [22](#), [23](#), [27](#), [62](#)], η οποία συνοψίζεται στον ακόλουθο [Πίνακας 19](#).

Πίνακας 19. Βιβλιογραφική ανασκόπηση ΜΜΒΕ σύμμεικτων ΑΣΑ [[15](#), [22](#), [23](#), [27](#), [62](#)].

Θέμα	Λεπτομέρειες			Πηγή
Κατηγορίες ΜΜΒΕ	1 ^ο Στάδιο	2 ^ο Στάδιο	Σκοπός	
Μηχανικής και βιολογικής προεπεξεργασίας (MBP)	Απομάκρυνση οργανικού και ακόλουθη βιολογική σταθεροποίησή του	Ανάκτηση από υπολειπόμενο ρεύμα ανακυκλώσιμων υλικών και RDF	Μεγιστοποίηση ανάκτησης υλικών και RDF	[22]
Μηχανικής και βιολογικής σταθεροποίησης (MBS ή βιοξήρανση)	Κομποστοποίηση όλου του ρεύματος ΑΣΑ και απομάκρυνση υγρασίας	Ανάκτηση ανακυκλώσιμων και RDF	Βιοσταθεροποίηση οργανικού κλάσματος	
Περιγραφή και ΑΚΖ σε 4 MBP με αναερόβια χώνευση και μετακομποστοποίηση χωνεύματος και σε 4 MBP με κομποστοποίηση			Ισπανία	[15]
Περιγραφή και ΑΚΖ σε Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) Άνω Λιοσίων			Ελλάδα	[27]
Περιγραφή και ΑΚΖ σε MBP με κομποστοποίηση			Γαλλία	[23, 62]
			2008, 2010	

Συνήθη πρακτική αποτελεί η **ταφή του παραγόμενου RDF και του κομπόστ**. Στην περίπτωση της μονάδας ΜΜΒΕ για το **Σενάριο II επιλέγεται MBP με κομποστοποίηση**. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ειδικός μηχανολογικός εξοπλισμός flip-flop διαχωριστής και αεροδιαχωριστής (windshifter), ούτως ώστε να παραχθεί κομπόστ κατάλληλο για εδαφοβελτιωτική χρήση.

3.1.1 Σχεδιασμός MMBE

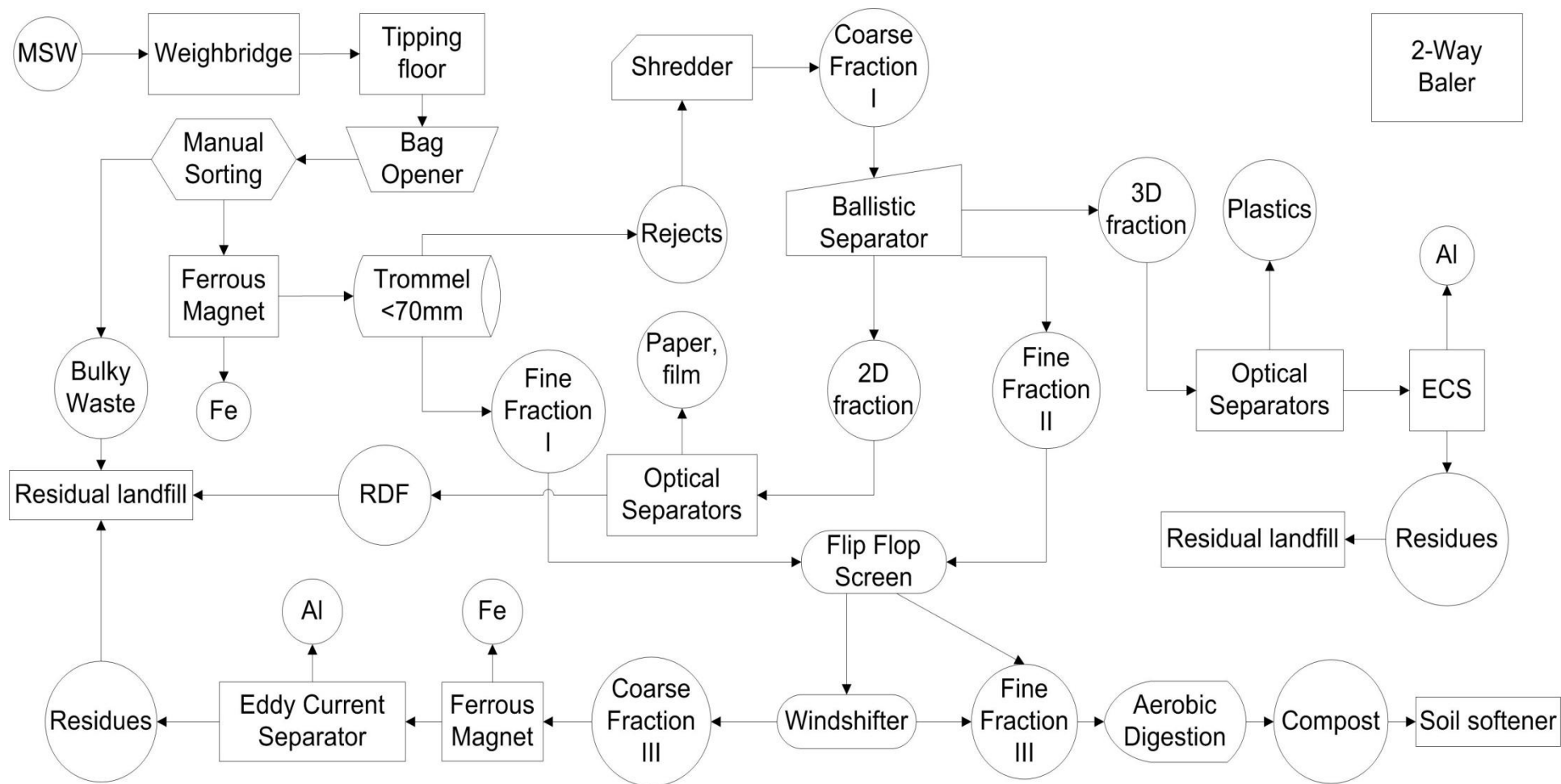
Στο ακόλουθο **Διάγραμμα Ροής 10** απεικονίζονται αναλυτικά οι διεργασίες, στις οποίες υπόκεινται τα σύμμεικτα ΑΣΑ εντός της MMBE. Αρχικά, τα Α/Φ οχήματα διέρχονται από τη **γεφυροπλάστιγγα**, όπου και ζυγίζονται προτού εναποθέσουν τα σύμμεικτα ΑΣΑ στο **ειδικά διαμορφωμένο δάπεδο**, από όπου τροφοδοτείται ο **σχίστης σάκων** με φορτωτές. Ακολουθεί το στάδιο της **αρνητικής χειροδιαλογής**, ούτως ώστε να απομακρυνθούν ανεπιθύμητα απόβλητα που θα προκαλέσουν φθορά ή φραγή.

Ο πρώτος διαχωριστής κατά την επεξεργασία των ΑΣΑ είναι ο **μαγνητικός διαχωριστής**. Επιτυγχάνεται έτσι άμεση απομάκρυνση των σιδηρούχων μετάλλων, και άρα (i) προστασία από φθορά του ακόλουθου τεμαχιστή και (ii) μέγιστη άμεση δέσμευσή αυτών, και όχι απώλεια ως πρόσμιξη σε άλλα ανακτώμενα ρεύματα.

Το υπολειπόμενο ρεύμα εισέρχεται σε ένα περιστροφικό **διαχωριστή** (trommel screen) [23, 62]. Πρόκειται για ένα διάτρητο τύμπανο με οπές των 70mm καθ' όλη την επιφάνειά του, το οποίο βρίσκεται υπό ελαφρά κλίση για να βοηθάει την ροή του εισερχόμενου ρεύματος και φέρει εσωτερικώς 4 πτερύγια. Τα πτερύγια σε συνδυασμό με την περιστροφή του τυμπάνου προκαλούν ανάδευση του ρεύματος, αφού οδηγούν τα βαρύτερα αντικείμενα σε πτώση από μεγαλύτερο ύψος. Έτσι αναμιγνύουν, ομογενοποιούν και μειώνουν τις διαστάσεις των ΑΣΑ, αφού αντικείμενα όπως το γυαλί, τα μέταλλα και τα αδρανή τεμαχίζουν μαλθακότερα υλικά, όπως το χαρτί και τα οργανικά [40]. Σκοπός του διαχωριστή αυτού είναι η απομάκρυνση του λεπτόκοκκου ρεύματος (**Fine Fraction I, <70mm**).

Το ρεύμα που δεν διήλθε από τις οπές και εξήλθε από την άκρη του τυμπάνου (**Rejects**), οδηγείται στον **τεμαχιστή** (shredder) [63]. Ο τεμαχιστής μειώνει το 90% του διερχόμενου ρεύματος σε διαστάσεις μικρότερες των 50mm, ούτως ώστε να παραχθεί καλής ποιότητας κομπόστ και RDF. Επιπλέον, στόχος του είναι (i) η περαιτέρω ομογενοποίηση του διερχόμενου ρεύματος ΑΣΑ και (ii) η μείωση της αλληλοεπικάλυψης των υλικών, προκειμένου να λειτουργούν αποδοτικότερα οι επόμενοι διαχωριστές.

Το ρεύμα που εξήλθε από τον τεμαχιστή οδηγείται στο **βαλλιστικό διαχωριστή** [64]. Η διάταξη αυτή έχει μια διάτρητη επιφάνεια τοποθετημένη υπό κλίση. Η επιφάνεια αυτή δονείται συνεχώς, εκτελώντας παράλληλα και κυκλική κατακόρυφη κίνηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορετική μετακίνηση των υλικών ανάλογα με το σχήμα τους και τις ιδιότητές τους. Πιο συγκεκριμένα, τα «βαριά» 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 κ.ο.κ. Τα «ελαφρά» 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. Τέλος, το λεπτόκοκκο υλικό (**fine fraction**), το οποίο είναι κυρίως οργανικό, υαλοθραύσματα και fluff, διέρχεται μέσω της διάτρητης επιφάνειας της τράπεζας.



Διάγραμμα Ροής 10. Επεξεργασία ΑΣΑ μέσω της ΜΜΒΕ.

Επιστρέφοντας στο **Διάγραμμα Ροής 10**, το **2D ρεύμα** διέρχεται από έναν **οπτικό διαχωριστή για χαρτί και από έναν οπτικό διαχωριστή για πλαστικό φιλμ**, ενώ το **3D ρεύμα** οδηγείται προς 4 οπτικούς διαχωριστές πλαστικού (**PP, PE, PET and PVC**) και ακολούθως από έναν επαγωγικό διαχωριστή για την ανάκτηση μη-σιδηρούχων μετάλλων. Τα συλλεγμένα λεπτόκοκκα υλικά (**Fine Fraction I και II**) οδηγούνται σε έναν **flip-flop διαχωριστή**. Η βασική του διαφορά, σε σχέση με τα συμβατικά δονούμενα κόσκινα, έγκειται στην 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. Αυτή του η ιδιότητα το καθιστά πολύ αποδοτικό κατά την διαχείριση λεπτόκοκκων υλικών, αφού δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο της στόμωσης και της τύφλωσης (pegging and blinding) του διαχωριστή [65].

Τέλος, το ρεύμα που δεν διήλθε μέσω του διαχωριστή flip-flop οδηγείται σε ένα **αεροδιαχωριστή**, όπου με την εμφύσηση αέρα τα ελαφριά κλάσματα οδηγούνται, μαζί με τη συλλεγμένη ποσότητα από τον flip-flop **προς κομποστοποίηση (Fine Fraction III)**, ενώ τα βαριά οδηγούνται σε έναν **μαγνητικό και έναν επαγωγικό διαχωριστή**. Όλα τα ανακυκλώσιμα υλικά συλλέγονται και οδηγούνται στον **δεματοποιητή διπλού εμβόλου (2-way baler)**. Η μονάδα κομποστοποίησης είναι κλειστού τύπου με αερισμό και με βιόφιλτρο. Η κομποστοποίηση διαρκεί 20 ημέρες και το στάδιο ωρίμανσης του κομποστ σε σειράδια (windrows) διαρκεί περίπου 2 μήνες.

3.1.2 Ισολογισμός μάζας και ανάλυση ευαισθησίας

Κατά το στάδιο της χειροδιαλογής απομακρύνονται **17,5kg/ton επί υ.β. ή 10,7kg/ton επί ξ.β.** Η απόδοση των μαγνητικών, επαγωγικών και οπτικών διαχωριστών παρατίθεται στον **Πίνακα 20 [28, 51, 52]**. Τέλος, η απόδοση του οπτικού διαχωριστή για το χαρτί εκτιμάται στο εύρος του **20-60%**. Ακολουθεί ο περιστροφικός διαχωριστής, η απόδοση του οποίου έχει βασιστεί στις πηγές [23, 62] για σύσταση ξ.β. (βλ. **Πίνακα 21**) και με εύρος διαχωρισμού οργανικών από 45% έως 65% και ο βαλλιστικός διαχωριστής για σύσταση υ.β. [64]. Το μη δεσμευμένο ρεύμα του διαχωριστή flip-flop οδεύει προς τον αεροδιαχωριστή. Οι δεσμευμένες ποσότητές τους οδηγούνται προς κομποστοποίηση, ενώ οι ποσότητες εκείνες που δεν δεσμεύτηκαν οδεύουν προς τα υπολείμματα.

Πίνακας 20. Συγκεντρωτικά στοιχεία της δυσμενούς, αναμενόμενης και του αισιόδοξης περίπτωσης για την ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών σε σύσταση υ.β. [28, 51, 52].

	Δυσμενής		Αναμενόμενη		Αισιόδοξη	
	Στοχευμένη ανάκτηση	Προσμίξεις	Στοχευμένη ανάκτηση	Προσμίξεις	Στοχευμένη ανάκτηση	Προσμίξεις
Μαγνήτες	83%	3%	88%	2%	93%	1%
Οπτικοί πλαστικών	78%	7%	83%	4%	88%	1%
Οπτικός χαρτιού	20%	7%	40%	4%	60%	1%
ECS	82%	3%	87%	2%	92%	1%

Πίνακας 21. Βαθμοί διαχωρισμού για περιστροφικό, βαλλιστικό, flip-flor και αεροδιαχωριστές [23, 62],[64].

Κλάσματα ΑΣΑ	α/α Παράρτημα II	Trommel <70mm (%DM)	Βαλλιστικός Διαχωριστής (%ww)			Flip-flor Διαχωριστής (%ww)	Αεροδια- χωριστής (%ww)
			2D	3D	Fine		
Οργανικά	4	65%	1%	49%	50%	70%	95%
	1,2,3	65%	5%	15%	80%	70%	95%
Χαρτί	5-16	3%	84%	1%	15%	50%	95%
	17 (φιλμ)	8%	97%	2%	1,0%	30%	95%
Πλαστικό	17,18,19	8%	2,5%	97%	0,5%	30%	1%
	20	8%	2,5%	97%	0,5%	30%	1%
Μέταλλα	21-25	30%	0%	95%	5%	0%	1%
Γυαλί	26-29	74%	0%	10%	90%	5%	1%
	34	12%	0%	80%	20%	2%	1%
Διάφορα	36	12%	5%	90%	5%	2%	1%
	37	12%	0%	75%	25%	2%	1%
	35	12%	70%	20%	10%	10%	90%
	32,33	12%	5%	15%	80%	10%	90%
	30,31,38-41	12%	10%	10%	80%	2%	1%
Αδρανή	42	60%	5%	5%	90%	85%	95%
	43	60%	5%	5%	90%	5%	1%
	44-48	60%	10%	10%	80%	5%	1%
Πηγή		[23, 62]	[64]	[64]	[64]	Εκτίμηση	Εκτίμηση

Πίνακας 22. Καταμερισμός διερχόμενου ρεύματος ΑΣΑ εντός ΜΜΒΕ επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ υ.β. για δυσμενή θεώρηση.

Κλάσμα ΑΣΑ	Σύσταση ΑΣΑ (%υ.β.)	Χειρο-διαλογή (%υ.β.)	Οπτικός χαρτιού (%υ.β.)	Μαγνήτες Fe (%υ.β.)	ECS Al (%υ.β.)	Οπτικοί πλαστικού (%υ.β.)	Προς χώνευση (%υ.β.)	Υπόλειμμα και RDF (%υ.β.)
Οργανικό	41,00%	0,82%	0,74%	1,22%	0,08%	0,78%	34,56%	2,80%
Χαρτί	29,00%	0,30%	4,63%	0,29%	0,00%	1,36%	4,88%	17,54%
Πλαστικό	14,00%	0,14%	0,34%	0,43%	0,25%	8,30%	0,67%	3,87%
Fe	2,60%	0,03%	0,00%	2,26%	0,00%	0,00%	0,00%	0,32%
Al	0,90%	0,00%	0,00%	0,00%	0,74%	0,00%	0,00%	0,16%
Γυαλί	3,50%	0,18%	0,00%	0,19%	0,09%	0,02%	0,19%	2,84%
Διάφορα	7,50%	0,17%	0,10%	0,30%	0,12%	0,57%	1,17%	5,07%
Αδρανή	1,50%	0,12%	0,00%	0,06%	0,02%	0,01%	0,73%	0,57%
Σύνολο	100,00%	1,75%	5,82%	4,74%	1,29%	11,05%	42,19%	33,16%

Πίνακας 23. Καταμερισμός διερχόμενου ρεύματος ΑΣΑ εντός ΜΜΒΕ σε ποσοστά επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ υ.β. για αναμενόμενη θεώρηση.

Κλάσμα ΑΣΑ	Σύσταση ΑΣΑ (%υ.β.)	Χειρο-διαλογή (%υ.β.)	Οπτικός χαρτιού (%υ.β.)	Μαγνήτες Fe (%υ.β.)	ECS Al (%υ.β.)	Οπτικοί πλαστικού (%υ.β.)	Προς χώνευση (%υ.β.)	Υπόλειμμα και RDF (%υ.β.)
Οργανικό	41,00%	0,82%	0,52%	0,81%	0,05%	0,37%	35,77%	2,65%
Χαρτί	29%	0,30%	9,28%	0,22%	0,01%	0,60%	4,89%	13,71%
Πλαστικό	14%	0,14%	0,20%	0,29%	0,05%	9,00%	0,67%	3,64%
Fe	2,60%	0,03%	0,00%	2,36%	0,00%	0,00%	0,00%	0,22%
Al	0,90%	0,00%	0,00%	0,00%	0,78%	0,00%	0,00%	0,12%

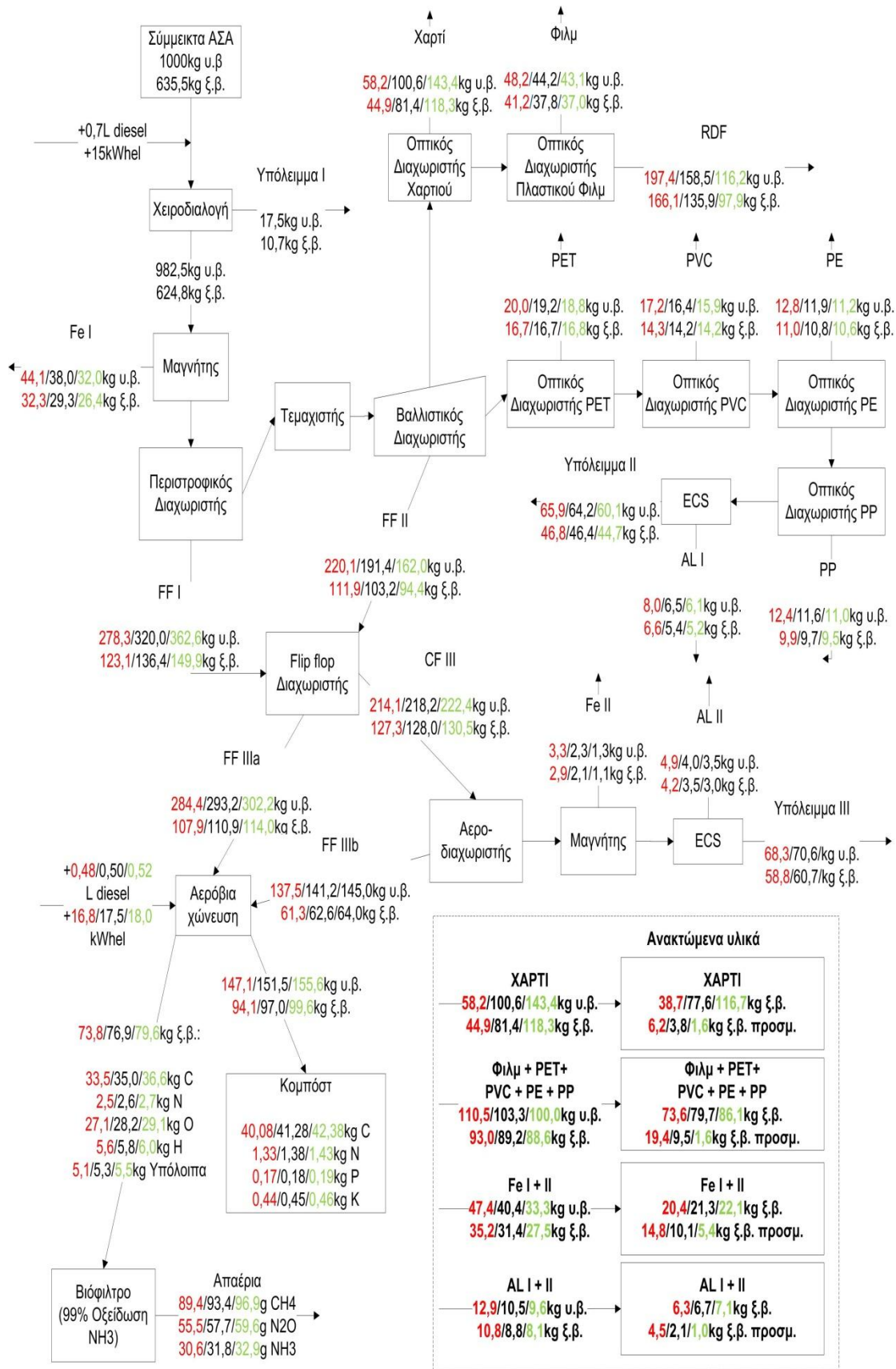
Γυαλί	3,50%	0,18%	0,00%	0,13%	0,06%	0,01%	0,19%	2,94%
Διάφορα	7,50%	0,17%	0,06%	0,20%	0,08%	0,35%	1,18%	5,46%
Αδρανή	1,50%	0,12%	0,00%	0,04%	0,01%	0,01%	0,74%	0,59%
Σύνολο	100,00%	1,75%	10,06%	4,04%	1,05%	10,33%	43,45%	29,33%

Πίνακας 24. Καταμερισμός διερχόμενου ρεύματος ΑΣΑ εντός ΜΜΒΕ σε ποσοστά επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ υ.β. για αισιόδοξη θεώρηση.

Κλάσμα ΑΣΑ	Σύσταση ΑΣΑ (%υ.β.)	Χειρο-διαλογή (%υ.β.)	Οπτικός χαρτιού (%υ.β.)	Μαγνήτες Fe (%υ.β.)	ECS Al (%υ.β.)	Οπτικοί πλαστικού (%υ.β.)	Προς χώνευση (%υ.β.)	Υπόλειμμα και RDF (%υ.β.)
Οργανικό	41,00%	0,82%	0,33%	0,41%	0,02%	0,07%	37,01%	2,35%
Χαρτί	29%	0,30%	13,95%	0,14%	0,00%	0,10%	4,90%	9,60%
Πλαστικό	14%	0,14%	0,05%	0,14%	0,02%	9,73%	0,68%	3,23%
Fe	2,60%	0,03%	0,00%	2,45%	0,00%	0,00%	0,00%	0,12%
Al	0,90%	0,00%	0,00%	0,00%	0,83%	0,00%	0,00%	0,07%
Γυαλί	3,50%	0,18%	0,00%	0,06%	0,03%	0,00%	0,19%	3,04%
Διάφορα	7,50%	0,17%	0,02%	0,10%	0,04%	0,09%	1,19%	5,88%
Αδρανή	1,50%	0,12%	0,00%	0,02%	0,01%	0,00%	0,74%	0,61%
Σύνολο	100,00%	1,75%	14,34%	3,33%	0,96%	10,00%	44,72%	24,90%

Πίνακας 25. Συνολικός ισολογισμός μάζας της ΜΜΒΕ για την επεξεργασία 1tn ΑΣΑ υ.β.

Πρώτες ύλες	Μηχανικός διαχωρισμός		Ποσότητα kg υ.β.(kg ξ.β.)	
	ΑΣΑ		1000 (635,5)	
	Ηλεκτρική ενέργεια		15 kWh _{el} [51]	
	Diesel		0,7 L [51]	
Προϊόντα	Ανάλυση ευαισθησίας		Δυσμενής	Αναμενόμενη
	Χειροδιαλογή			Αισιόδοξη
	Ανακτήσιμα		504,8 (247,7)	571,9 (298,0)
	Προσμίξεις		146,1 (105,4)	117,3 (86,2)
	Υπόλειμμα και RDF		331,6 (271,7)	293,3 (240,5)
	Χαρτί		46,3 (38,7)	92,8 (77,6)
	Fe		22,6 (20,4)	23,6 (21,3)
	Al		7,4 (6,3)	7,8 (6,7)
	Πλαστικό Φιλμ		34,2 (29,4)	37,9 (32,6)
	PE		8,0 (7,8)	8,6 (8,3)
	PP		8,0 (6,0)	8,6 (7,4)
	PVC		12,0 (10,8)	12,9 (11,6)
	PET		14,4 (12,9)	15,5 (13,8)
	Προς κομποστοποίηση		421,9 (169,2)	434,5 (173,5)
Πρώτες ύλες	kWh _{el} [13, 25]		16,8	17,4
	L [13, 25]		0,48	0,50
Κομπόστ και απαέρια	C/N αρχικό		19,1	19,0
	Τελικό κομπόστ		147,1 (94,1)	151,5 (97,0)
	C/N τελικό		30,0	29,8
	Διαφυγόν CH ₄		89,4	93,4
	Διαφυγόν N ₂ O		55,5	57,7
	Διαφυγούσα NH ₃		30,6	31,8



Διάγραμμα Ροής 11. Ισολογισμός μάζας σε σύσταση u.β. και ξ.β. κατά την επεξεργασία 1 τn ΑΖΑ u.β. στη ΜΜΒΕ με ανάλυση ευαισθησίας (δυσμενής/ αναμενόμενη/αισιόδοξη θεώρηση).

3.2 Διαλογή στην Πηγή

Ύστερα από μελέτη της διαθέσιμης βιβλιογραφίας επί των συστημάτων ΔσΠ [28, 66-68], προκύπτουν τα ακόλουθα διαθέσιμα συστήματα βάσει τρόπου συλλογής. Ο Πίνακας 26 εμφανίζει τους αναμενόμενους βαθμούς διαχωρισμού των υλικών των συστημάτων αυτών, τα οποία κατά βάση χωρίζονται σε 2 κατηγορίες. Αυτές είναι τα συστήματα συλλογής κατά τα οποία (i) οι δημότες τοποθετούν τα ΔσΠ ΑΣΑ σε προσωρινά μέσα αποθήκευσης (kerbside system – συλλογή από Δήμο) και εκείνα κατά τα οποία (ii) οι δημότες επωμίζονται την μεταφορά των ΔσΠ ΑΣΑ σε σημεία διαλογής (bring system – συλλογή από Δημότη).

Πίνακας 26. Εύρη βαθμών διαχωρισμού στην πηγή ανά σύστημα διαλογής [28, 66-68].

		Βαθμοί διαχωρισμού για τα κλάσματα των ΑΣΑ				
Σύστημα ΔσΠ		ΒΑΑ	Χαρτί	Πλαστικό	Μέταλλα	Γυαλί
		60-80%	70-90%	-	70-90%	70-90%
Συλλογή από Δήμο	1. Πόρτα-Πόρτα	Πλεονεκτήματα:	Υψηλοί βαθμοί διαχωρισμού			
		Μειονεκτήματα:	Απαιτήση πλήρους συνεργασίας ανάμεσα σε δημότη και δημοτική αρχή Ειδικά μέσα προσωρινής αποθήκευσης κλασμάτων ΑΣΑ Αυξημένο κόστος λόγω πολλών στάσεων Α/Φ οχήματος			
	2. Κεντρικοί κάδοι	Πλεονεκτήματα:	Μικρές τροποποιήσεις σε υπάρχον σύστημα σύμμεκτης Κοινά Α/Φ οχήματα για ΔσΠ και σύμμεκτη συλλογή (
		Μειονεκτήματα:	Λίγο χαμηλότεροι βαθμοί διαχωρισμού Ειδικά μέσα προσωρινής αποθήκευσης κλασμάτων ΑΣΑ Αυξημένο κόστος λόγω πολλών στάσεων Α/Φ οχήματος			
Συλλογή από Δημότη	3. Κέντρα συλλογής	40-60%	40-80%	-	40-75%	40-75%
		Πλεονεκτήματα:	Κατάλληλα για δυσπρόσιτες περιοχές και περιοχές με μεγάλη εμπορική κίνηση			
		Μειονεκτήματα:	Χαμηλοί βαθμοί διαχωρισμού			
	4. Κέντρα αγοράς υλικών	Πλεονεκτήματα:	Παροχή οικονομικού κινήτρου σε δημότες			
Μειονεκτήματα:		Χαμηλοί βαθμοί διαχωρισμού				

Τα συστήματα ΔσΠ «Συλλογή από Δημότη» δεν προκρίνεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερους βαθμούς διαχωρισμού από τα συστήματα «Συλλογή από Δημότη». Επιπλέον, το σύστημα «Πόρτα-Πόρτα», έχει πολλά προαπαιτούμενα, ούτως ώστε να επιτευχθούν οι τόσο υψηλοί βαθμοί διαχωρισμού. Επομένως, επιλέγεται το **2^ο Σύστημα ΔσΠ**, το οποίο θα περιλαμβάνει **6 κάδους**. Θα είναι 5 για τα στοχευμένα κλάσματα ΑΣΑ (οργανικά, χαρτί, πλαστικό, μέταλλα και γυαλί) και ένας υπολειμματικός κάδος.

Η ανάλυση ευαισθησίας σχετικά με τους βαθμούς διαχωρισμού παρατίθεται στους ακόλουθους **Πίνακας 27-29**. Για το βαθμό διαχωρισμού του πλαστικού ο τυπικός βαθμός διαχωρισμού είναι το **50%** [25]. Επομένως, λαμβάνεται το εύρος **40-60%**. Για τη δυσμενή, την αναμενόμενη και την αισιόδοξη πρόβλεψη λαμβάνονται διασταυρούμενες προσμίξεις της τάξεως του **15%, 10%** και **5%** αντίστοιχα. Οι προσμίξεις αφορούν την ποσότητα των υλικών που καταμερίζεται στους κάδους εκείνους πλην αυτών του στοχευμένου υλικού και του υπολειμματικού κάδου. Στο κάτω μέρος των πινάκων παρουσιάζεται και ο καταμερισμός ανά κάδο του στοχευμένου υλικού και των προσμίξεων σε σχέση με την αρχική σύσταση υ.β. και ξ.β των ΑΣΑ.

Επιπλέον, το κλάσμα του χαρτιού περιλαμβάνει τις κατηγορίες του βρώμικου χαρτιού και χαρτονιού (α/α 15 και 16 του **Παραρτήματος II**) και το κλάσμα του πλαστικού περιλαμβάνει το μη ανακυκλώσιμο τμήμα του (α/α 20 του **Παραρτήματος II**). Αυτές οι κατηγορίες θεωρούνται μη στοχευμένες και άρα αποτελούν προσμίξεις.

Πίνακας 27. Δυσμενής πρόβλεψη για ΔσΠ με το σύστημα διαλογής με κάδους και 15% διασταυρούμενες προσμίξεις.

	Κάδος Οργανικών	Κάδος Χαρτιού	Κάδος Πλαστικού	Κάδος Μετάλλων	Κάδος Γυαλιού	Υπολειμμ. Κάδος	Σύνολο
Οργανικά	60,00%	10,50%	1,50%	1,50%	1,50%	25,00%	100,00%
Χαρτί	9,00%	70,00%	5,00%	0,50%	0,50%	15,00%	100,00%
Πλαστικό	10,00%	4,00%	40,00%	0,50%	0,50%	45,00%	100,00%
Μέταλλα	9,00%	4,50%	1,00%	70,00%	0,50%	15,00%	100,00%
Γυαλί	9,50%	4,00%	1,00%	0,50%	70,00%	15,00%	100,00%
Διάφορα	10,00%	3,00%	1,00%	0,50%	0,50%	85,00%	100,00%
Αδρανή	10,00%	3,00%	1,00%	0,50%	0,50%	85,00%	100,00%

Επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ υ.β.
(41,0% οργ., 29,0% χαρτί, 14,0% πλαστικό, 3,5% μέταλλα, 3,5% γυαλί, 7,5% Διάφορα και 1,5% Αδρανή)

Στοχευμένο υλικό	24,60%	17,50%	4,76%	(1,82+0,63)%	2,45%	-	
Προσμίξεις	5,56%	8,23%	3,07%	0,89%	0,89%	-	

Επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ ξ.β.
(13,0% οργ., 24,7% χαρτί, 12,4% πλαστικό, 3,1% μέταλλα, 3,2% γυαλί, 5,9% Διάφορα και 1,2% Αδρανή)

Στοχευμένο υλικό	7,79%	15,10%	4,20%	(1,63+0,54)%	2,27%	-	
Προσμίξεις	4,76%	4,54%	2,34%	0,44%	0,43%	-	

Πίνακας 28. Αναμενόμενη πρόβλεψη για ΔσΠ με το σύστημα διαλογής με κάδους και 10% διασταυρούμενες προσμίξεις.

	Κάδος Οργανικών	Κάδος Χαρτιού	Κάδος Πλαστικού	Κάδος Μετάλλων	Κάδος Γυαλιού	Υπολειμμ. Κάδος	Σύνολο
Οργανικά	70,00%	6,25%	1,25%	1,25%	1,25%	20,00%	100,00%
Χαρτί	6,50%	80,00%	3,00%	0,25%	0,25%	10,00%	100,00%
Πλαστικό	7,50%	2,00%	50,00%	0,25%	0,25%	40,00%	100,00%
Μέταλλα	6,75%	2,50%	0,50%	77,50%	0,25%	12,50%	100,00%

Γυαλί	7,25%	2,00%	0,50%	0,25%	77,50%	12,50%	100,00%
Διάφορα	8,00%	1,00%	0,50%	0,25%	0,25%	90,00%	100,00%
Αδρανή	8,00%	1,00%	0,50%	0,25%	0,25%	90,00%	100,00%

Επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ υ.β.
(41% οργ., 29% χαρτί, 14% πλαστικό, 3,5% μέταλλα, 3,5% γυαλί, 7,5% Διάφορα και 1,5% Αδρανή)

Στοχευμένο υλικό	28,70%	20,00%	5,95%	(2,02+0,70)%	2,71%	-
Προσμίξεις	4,15%	6,29%	2,51%	0,64%	0,65%	-

Επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ ξ.β.
(13,0% οργ., 24,7% χαρτί, 12,4% πλαστικό, 3,1% μέταλλα, 3,2% γυαλί, 5,9% Διάφορα και 1,2% Αδρανή)

Στοχευμένο υλικό	9,09%	17,26%	5,25%	(1,81+0,60)%	2,51%	-
Προσμίξεις	3,55%	3,78%	1,95%	0,28%	0,28%	-

Πίνακας 29. Αισιόδοξη πρόβλεψη για ΔσΠ με το σύστημα διαλογής με κάδους και 5% διασταυρούμενες προσμίξεις.

	Κάδος Οργανικών	Κάδος Χαρτιού	Κάδος Πλαστικού	Κάδος Μετάλλων	Κάδος Γυαλιού	Υπολειμμ. Κάδος	Σύνολο
Οργανικά	80,00%	3,50%	0,50%	0,50%	0,50%	15,00%	100,00%
Χαρτί	3,50%	90,00%	1,00%	0,25%	0,25%	5,00%	100,00%
Πλαστικό	3,50%	1,00%	60,00%	0,25%	0,25%	35,00%	100,00%
Μέταλλα	3,50%	1,00%	0,25%	85,00%	0,25%	10,00%	100,00%
Γυαλί	3,50%	1,00%	0,25%	0,25%	85,00%	10,00%	100,00%
Διάφορα	3,75%	0,50%	0,25%	0,25%	0,25%	95,00%	100,00%
Αδρανή	3,75%	0,50%	0,25%	0,25%	0,25%	95,00%	100,00%

Επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ υ.β.
(41% οργ., 29% χαρτί, 14% πλαστικό, 3,5% μέταλλα, 3,5% γυαλί, 7,5% Διάφορα και 1,5% Αδρανή)

Στοχευμένο υλικό	32,80%	22,50%	7,14%	(2,21+0,77)%	2,98%	-
Προσμίξεις	2,09%	5,29%	1,80%	0,34%	0,34%	-

Επί της αρχικής σύστασης ΑΣΑ ξ.β.
(13,0% οργ., 24,7% χαρτί, 12,4% πλαστικό, 3,1% μέταλλα, 3,2% γυαλί, 5,9% Διάφορα και 1,2% Αδρανή)

Στοχευμένο υλικό	10,39%	19,41%	6,30%	(1,98+0,66)%	2,76%	-
Προσμίξεις	1,79%	3,50%	1,52%	0,18%	0,18%	-

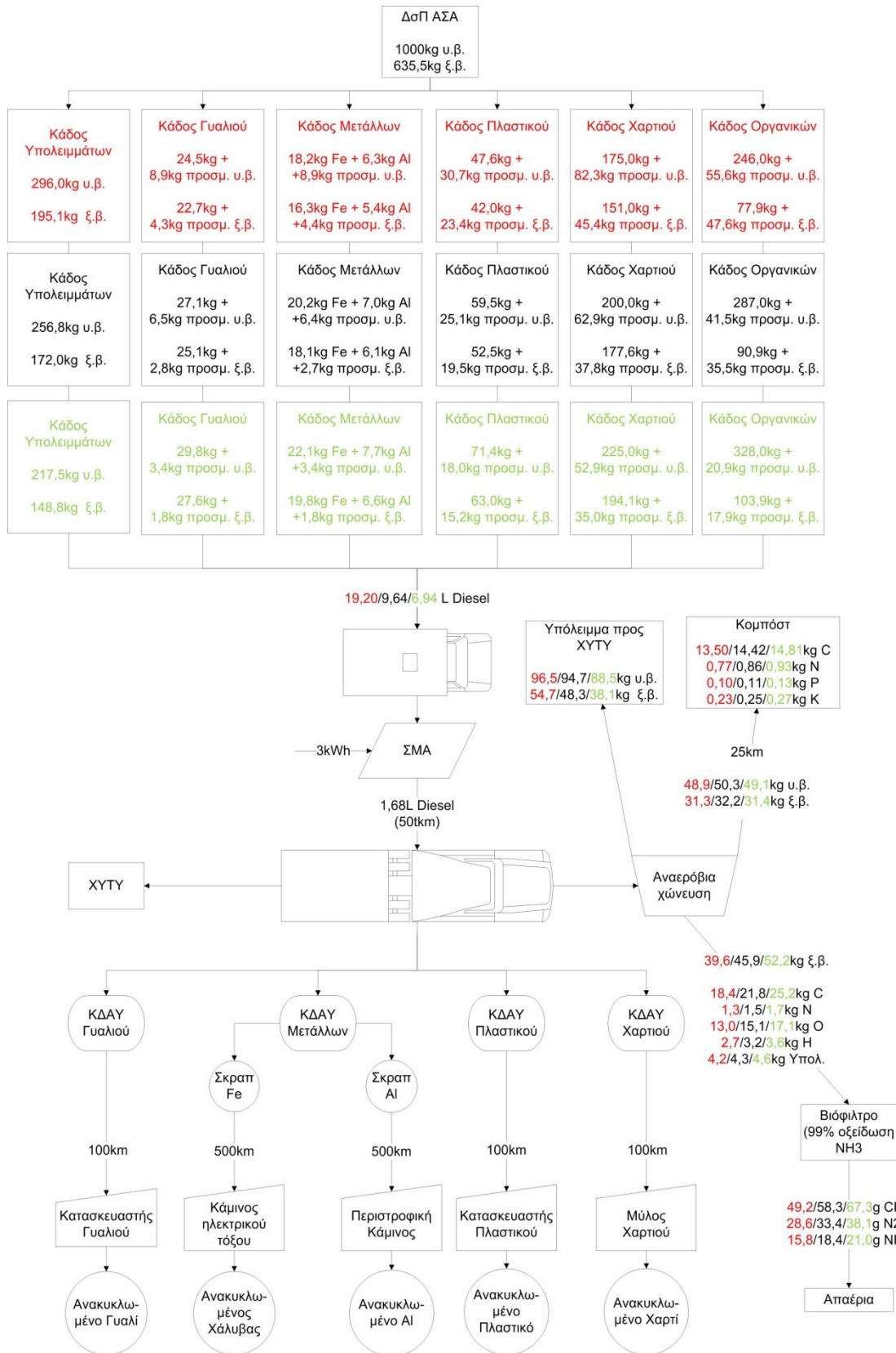
Πέραν της συγκομιδής των ΑΣΑ σε χωριστούς κάδους, λαμβάνεται υπ' όψιν και το στάδιο της επεξεργασίας αυτών, προτού τα ανακτημένα αυτά υλικά καταλήξουν στην βιομηχανία της ανακύκλωσης. Αυτό συμβαίνει, διότι η παρουσία των προσμίξεων ξεπερνάει κατά πολύ τα ανεκτά όρια του **1-3%** επί υ.β. ανά ρεύμα [67], με αποτέλεσμα η τιμή πώλησής τους να είναι μη-συμφέρουσα.

Στο **Διάγραμμα Ροής 12** παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για το σύστημα της ΔσΠ. Οι κάδοι του χαρτιού, του πλαστικού, του γυαλιού και των μετάλλων στέλνονται σε αντίστοιχα ΚΔΑΥ, όπου γίνεται περαιτέρω διαχωρισμός τους μέσω κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού. Ο κάδος των οργανικών στέλνεται προς κομποστοποίηση σε μονάδα που περιλαμβάνει στάδιο μηχανικής προεπεξεργασίας, ενώ ο υπολειμματικός κάδος στέλνεται σε ΧΥΤΥ. Σχετικά τώρα με την μονάδα κομποστοποίησης για τα ΔσΠ ΒΑΑ, αυτή μοντελοποιείται βάσει της μελέτης [69] αναφορικά με το κομμάτι της μηχανικής προεπεξεργασίας.

Στον ακόλουθο **Πίνακας 30** παρατίθεται ο ισολογισμός μάζας και η ανάλυση ευαισθησίας για την Μονάδα Κομποστοποίησης. Η λειτουργία της μονάδας προϋποθέτει 15kWh_{el} και 1,15L Diesel ανά τη ΔσΠ οργανικών υ.β. για την μηχανική προεπεξεργασία [13, 25], ενώ για την βιολογική διεργασία απαιτούνται 40kWh_{el} ανά τη ΔσΠ οργανικών [13, 25]. Το υπόλειμμα της μηχανικής προεπεξεργασίας οδηγείται προς υγειονομική ταφή.

Πίνακας 30. Ισολογισμός μάζας και η ανάλυση ευαισθησίας για την Μονάδα Κομποστοποίησης [13, 25].

Περιγραφή		Μονάδα	Ανάλυση ευαισθησίας (Ποσότητα)		
			Δυσμενής	Αναμενόμενη	Αισιόδοξη
Πρώτες ύλες	ΔσΠ Οργανικά	kg υ.β. (kg ξ.β.)	301,6 (125,5)	328,5 (126,4)	348,9 (121,8)
	Μηχανική προεπεξεργασία	kWh _{el}	4,5	4,9	5,2
	Diesel	L	0,35	0,37	0,4
Κομπόστ και απαέρια	Υπόλειμμα μηχ. προεπεξεργασίας	kg υ.β. (kg ξ.β.)	96,5 (54,7)	94,7 (48,3)	88,5 (38,1)
	Προς κομποστοποίηση	kg υ.β. (kg ξ.β.)	205,1 (70,9)	233,8 (78,2)	260,3 (83,7)
	C/N		15,4	15,2	15,0
	Μηχανικές διεργασίες (αερισμός, κ.λπ.)	kWh _{el}	8,2	9,4	10,4
	Τελικό κομπόστ	kg υ.β. (kg ξ.β.)	48,9 (31,3)	50,3 (32,2)	49,1 (31,4)
	C/N		17,6	16,7	15,8
	Διαφυγόν CH ₄ (0,2% C degr.)	g CH ₄	49,2	58,0	67,3
	Διαφυγόν N ₂ O (1,4% N degr.)	g N ₂ O	28,6	33,4	38,1
	Διαφυγούσα NH ₃ (98,5% N degr.) (99% οξείδωση στο βιόφιλτρο)	g NH ₃	15,8	18,4	21,0

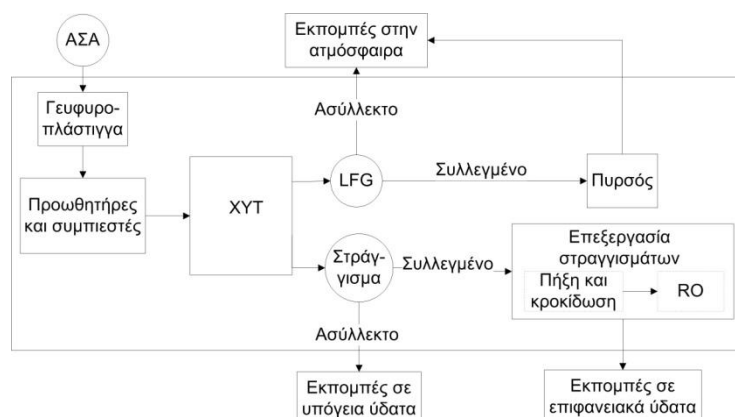


Διάγραμμα Ροής 12. Ισολογισμός μάζας σε σύσταση υ.β. και ξ.β. κατά την επεξεργασία 1 τη ΑΣΑ υ.β. σε σύστημα ΔοΠ με ανάλυση ευαισθησίας (δυσμενής/ αναμενόμενη/αισιόδοξη θεώρηση).

3.3 Χώρος υγειονομικής ταφής

Βάσει βιβλιογραφικής επισκόπησης [9, 11, 16, 70], αποφασίστηκε ως Σενάριο IV – ΧΥΤΑ, και ως τελικός προορισμός των υπολειμμάτων των υπολοίπων Σεναρίων, ένας συμβατικός Χώρος Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤ) με σύστημα συγκέντρωσης του αερίου χωματερής (*Landfill Gas – LFG*) και καύσης του σε πυρσό (flare) και με σύστημα συλλογής και επεξεργασίας των στραγγισμάτων, το οποίο αξιοποιεί τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης (*Reverse Osmosis - RO*) με ένα στάδιο προεπεξεργασίας πήξης και κροκίδωσης (*coagulation and flocculation*) [71].

Πιο συγκεκριμένα, ο ΧΥΤ διαθέτει **γεφυροπλάστιγγα** για την ζύγιση των Α/Φ οχημάτων. Αφού ζυγιστούν, εναποθέτουν το φορτίο τους στο **μέτωπο διάθεσης**. Τα απόβλητα στη συνέχεια προωθούνται, διαστρώνονται και συμπιέζονται από **προωθητήρες** (distributors) και **συμπιεστές** (compactors), ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο όγκος τους. Η τελική πυκνότητα των ΑΣΑ λαμβάνεται **1.000kg/m³** [11, 16]. Το μέτωπο διάθεσης βρίσκεται εντός ενός **κυττάρου βάθους 10m**. Μετά το πέρας της κάλυψης του κυττάρου, **το ωφέλιμο ύψος θα είναι 20m**, 10m δηλαδή ψηλότερα από την αρχική επιφάνεια του εδάφους. Τόσο, στη βάση του κυττάρου λοιπόν, όσο και στα πλευρικά τοιχώματά του, τοποθετείται **υδατοστεγής μόνωση**, ούτως ώστε να μην διαφεύγουν τα στραγγίσματα και καταλήγουν σε υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα [11]. Μετά το πέρας του γεμίσματος του κυττάρου, γίνεται επιστροφή της επιφάνειάς αυτού με αμμοχάλικο και χώμα. Αυτή η επιστροφή εξυπηρετεί την οξείδωση του διαφυγόντος μεθανίου και των λοιπών πτητικών οργανικών ενώσεων (*Volatile Organic Compounds – VOC's*) σε CO₂.



Διάγραμμα Ροής 13. Διεργασίες διαχείρισης του παραγόμενου LFG και στραγγίσματος εντός συμβατικού ΧΥΤ.

Η ποσότητα του στραγγίσματος που παράγεται υπολογίζεται βάσει της τελικής πυκνότητας ταφής των ΑΣΑ (1000kg/m³), το ωφέλιμο ύψος του κυττάρου (20m) και του ετήσιου ρυθμού διείσδυσης των όμβριων υδάτων. Ο τελευταίος λαμβάνεται ως 0,400m³/m²χα [11, 70]. Επομένως, η παραγόμενη ποσότητα στραγγίσματος ανά τη ΑΣΑ που θάβονται ανέρχεται σε 0,4/(20x1000) = 2E-5 m³/(kg x a) = **2L σε περίοδο 100 ετών**.

Ο ισολογισμός υπολογίζεται στα χρονικά πλαίσια της 100-ετίας και βασίζεται σε ένα εμπειρικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό περιγράφει την αναερόβια αποδόμηση κάθε επιμέρους κλάσματος των ΑΣΑ [11, 72]. Αρχικά, πρέπει να είναι γνωστή η συγκέντρωση των χημικών στοιχείων του ρεύματος προς ταφή (m_e [mg στοιχείου/kg αποβλήτου] ή [g στοιχείου/ton αποβλήτου]). Ο συντελεστής αποδόμησης (**D-factor**) καθορίζει την αποδόμηση της μήτρας του αποβλήτου εντός 100 ετών. Οι συντελεστές D για κάθε κλάσμα των ΑΣΑ αναγράφονται στο **Παράρτημα II**. Ωστόσο, δεν μεταφέρεται όλη η αποδομημένη ποσότητα του αποβλήτου στο LFG και στο στράγγισμα, καθώς συναντάται το φαινόμενο της ανακαταβύθισης (re-precipitation) εντός του «σώματος» του ΧΥΤ. Αυτή η ιδιότητα καθορίζεται από τον συντελεστή r_e . Ο συντελεστής %gas_e εκφράζει το ποσοστό του στοιχείου που θα εκλυθεί στο LFG. Έτσι γίνεται ο ακόλουθος ισολογισμός μάζας (**Εξ.12-14**).

$E_{LFG,e} = m_e * D * r_e * \%gas_e$ (**Εξ. 12**): μεταφορά των στοιχείων προς το LFG [11]

$E_{leach,e} = m_e * D * r_e * (1 - \%gas_e)$ (**Εξ. 13**): μεταφορά των στοιχείων προς το στράγγισμα [11]

$E_{C-bio,sink} = E_{C-bio,initia} - E_{LFG,C-bio} - E_{leach,C-bio}$ (**Εξ, 14**): αποθήκευση C-bio εντός ΧΥΤ

Πίνακας 31. Συντελεστές ανακαταβύθισης r_e και μεταφοράς προς LFG %gas_e των χημικών στοιχείων κατά αλφαθητική σειρά [11].

	Al	As	C-bio	C-foss	Ca	Cd	Cl	Cr	Cu
r_e	0,49%	18,00%	100,00%	-	13,00%	17,70%	100,00%	1,14%	0,49%
%gas _e	0,029%	1,380%	97,100%	-	0,025%	0,662%	1,380%	0,025%	0,029%
	F	Fe	H	Hg	K	Mg	Mn	Mo	N
r_e	45,20%	1,37%	100,00%	9,59%	73,10%	61,70%	100,00%	10,50%	100,00%
%gas _e	83,800%	0,025%	97,100%	28,600%	0,025%	0,025%	0,025%	0,025%	6,440%
	Na	Ni	O	P	Pb	S	Zn		
r_e	100,00%	5,82%	100,00%	5,59%	0,59%	43,80%	4,74%		
%gas _e	0,025%	0,025%	97,100%	0,000%	0,033%	14,900%	0,022%	-	

Με χρήση των **Εξ.12-14**, των συντελεστών D του **Παράρτηματος II** και του **Πίνακας 31** προκύπτει η ακόλουθη στοιχειακή ανάλυση για το LFG και το στράγγισμα.

Πίνακας 32. Παρουσία στοιχείων και ιχνών σε g κατά αλφαθητική σειρά σε LFG και σε στράγγισμα για υγειονομική ταφή 1 tn ΑΣΑ υ.β.

g	Al	As	C-biogenic	C-fossil	Ca	Cd	Cl	Cr	Cu
LFG	7,71E-06	1,22E-03	94.070,10	0	0,2	4,62E-05	14,3	4,59E-05	4,01E-05
Στραγγ.	26,6	0,1	2809,5	0	838,8	0	1024,8	0,2	0,1
g	F	Fe	H	Hg	K	Mg	Mn	Mo	N
LFG	2,00E-02	13.418,90	4,24E-04	0,2	0,1	1,17E-02	1,17E-05	248,2	2,00E-02
Στραγγ.	80,2	400,8	1,06E-03	818,2	266	46,8	4,70E-02	3.605,4	80,2
g	Na	Ni	O	P	Pb	S	Zn		Σύνολο
LFG	0,3	1,22E-04	73.224,50	0	1,10E-05	23,7	3,74E-04		181.013,8
Στραγγ.	1.101,3	0,5	21.86,9	28,7	3,33E-02	135,4	1,7		13.374,7

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνουν οι ακόλουθες παραδοχές για το LFG και το στράγγισμα:

1. Όλο το στοιχειακό S μετατρέπεται σε SO₂ στο LFG [11]. Αυτό συμβαίνει είτε λόγω της καύσης του υδρόθειου στον πυρσό, είτε της άμεσης ατμοσφαιρικής οξείδωσης του υδρόθειου που διέφυγε από την επικάλυψη.
2. Όλο το N στο άκαυστο LFG συναντάται σε μορφή N₂, ενώ για το διελθόν N από τον πυρσό μετατρέπεται σε NOx ένα ποσοστό της τάξεως του 0,008kg NOx ανά kg N [11]. Τέλος, γνωρίζουμε από την [73], ότι ανά τη οργανικών που θάβονται εκπέμπονται 53g N₂O.
3. Όλος ο C-bio που συναντάται στο στράγγισμα είναι σε διαλυτή μορφή (TOC=DOC) [11].
4. Υπάρχει αναλογία BOD/TOC στο στράγγισμα, η οποία είναι 0,26. Επίσης, υπάρχει αναλογία COD/TOC, η οποία είναι 1,09 [11].
5. Ανά g S συναντώνται στο στράγγισμα 3 g SO₄²⁻ και 1,063g H₂S [11].
6. Ανά g N συναντώνται στο στράγγισμα 1,286 g NH₄⁺, 3,286g NO₂ και 4,429g NO₃ [11].
7. Όλος ο P μετατρέπεται σε PO₄³⁻ στο στράγγισμα. Πιο συγκεκριμένα, 1g P μετατρέπεται σε 3,065g PO₄³⁻ [11].

Βάσει της [16] αναμένεται αναλογία 55% μεθανίου και 45% διοξειδίου του άνθρακα στο LFG. Πιο συγκεκριμένα, για τις ποσότητες του παραγόμενου LFG δίνονται οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$G_{CH_4} = E_{LFG,C-bio} * \frac{55}{100} * \frac{16}{12} * \frac{22,4}{16} \quad (\text{Εξ. 15})$$

$$G_{CO_2} = E_{LFG,C-bio} * \frac{45}{100} * \frac{44}{12} * \frac{22,4}{44} = \frac{45}{55} G_{CH_4} \quad (\text{Εξ. 16}),$$

όπου

G_{CH_4} σε Nm³ CH₄, ανά τη ΑΣΑ υ.β.

G_{CO_2} σε Nm³ CO₂, ανά τη ΑΣΑ υ.β.

$E_{LFG,C-bio}$ η ποσότητα C-bio ανά τη ΑΣΑ που μεταφέρεται στο LFG (βλ. Πίνακας 32)

Επιπλέον για τις επόμενες εξισώσεις θα χρειαστούν οι συντελεστές ϵ (απόδοση συστήματος συλλογής LFG), β (απόδοση οξείδωσης μεθανίου της επικάλυψης) και η (απόδοση της καύσης του μεθανίου στο πυρσό). Τα εύρη διακύμανσης των συντελεστών αυτών δίνονται στην [16] και παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακας 33.

Για το διαφυγόν μεθάνιο από την επικάλυψη ισχύει ότι:

$$G_{CH_4,disp} = G_{CH_4} * (1 - \epsilon) * (1 - \beta) \quad (\text{Εξ. 17})$$

Για το άκαυστο μεθάνιο στον πυρσό ισχύει ότι: $G_{CH_4,flare} = G_{CH_4} * \epsilon * (1 - \eta)$ (Εξ. 18)

Για το διαφυγόν διοξείδιο του άνθρακα από την επικάλυψη ισχύει ότι:

$$G_{CO_2,disp} = G_{CO_2} * (1 - \epsilon) + G_{CH_4} * (1 - \epsilon) * \beta \quad (\text{Εξ. 19})$$

Για το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα από τον πυρσό ισχύει ότι:

$$G_{CO_2,flare} = G_{CO_2} * \epsilon + G_{CH_4} * \epsilon * \eta \quad (\text{Εξ. 20})$$

Πίνακας 33. Διεργασία ταφής σε συμβατικό ΧΥΤ 1tn ΑΣΑ υ.β.

	Περιγραφή	Μονάδα	Ποσότητα	Πηγή	
	ΑΣΑ	kg υ.β.	1000		
Πρώτες ύλες	Πρώθηση, συμπίεση και διάσπρωση ΑΣΑ	L Diesel	1,3	[11]	
	Αντλίες LFG	kWh _{el}	1,35		
	Θέρμανση κτιρίων διοίκησης	L light fuel oil	0,45		
	Ηλεκτροδότηση κτιρίων διοίκησης	kWh _{el}	0,015	[11]	
	Ροές στοιχείων-ιχνών και ενώσεων στο LFG	<i>Πίνακας 32 και Παραδοχές</i>			
	LFG (CH ₄ και CO ₂ σε αναλογία 55%-45% ο/ο)	Nm ³	175,60	Εξ. 15 Εξ. 16	
	Ανάλυση ευαισθησίας				
			Δυσμενής	Αναμενόμε.	Αισιόδοξη
Εκπομπές LFG	ε		50%	65%	80%
	η		95%	97%	99%
	β		40%	50%	60%
	CH _{4,disp}	Nm ³ CH ₄	28,97	16,90	7,73
	CH _{4,flare}	Nm ³ CH ₄	2,41	1,88	0,77
	CO _{2,disp}	Nm ³ CO ₂	58,83	44,56	27,39
	CO _{2,flare}	Nm ³ CO ₂	85,38	112,26	139,71
	Σύνολο	Nm ³	175,60	175,60	175,60
	Ροές στοιχείων-ιχνών και ενώσεων στο στράγγισμα	<i>Πίνακας 32 και παραδοχές 3-7</i>			
Εκπομπές στραγγίσματος	Παραγόμενο στράγγισμα	L	2	[11]	
	Απόδοση συλλογής	α	30% (0,6L)	40% (0,8L)	50% (1,0L)
	Προεπεξεργασία με Ca(OH) ₂	g (6 g ανά L)	3,6	4,8	6,0
	Συνολική απομάκρυνση		90% για BOD, COD, TKN 99% για βαριά μέταλλα		[71]
	Ηλεκτρική κατανάλωση	kWh _{el} (5 ανά m ³)	0,003	0,004	0,005
				[74]	

Κεφάλαιο 4^ο: Ανάλυση Κύκλου Ζωής

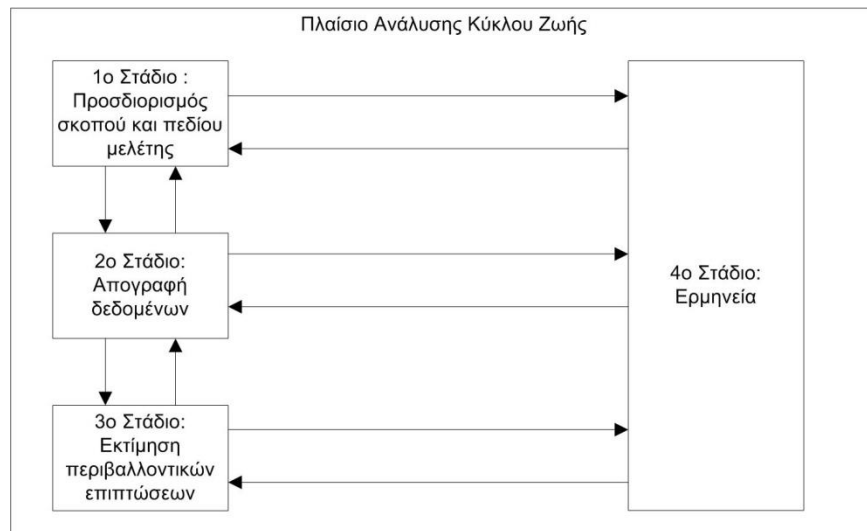
Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Προτυποποίησης (*International Organization for Standardization – ISO*), η ΑΚΖ ορίζεται ως «η σύνθεση και αξιολόγηση των εισροών, εκροών και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του εξεταζόμενου συστήματος κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του» [75]. Πιο συγκεκριμένα, η ΑΚΖ εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός συστήματος παραγωγής ενός προϊόντος στους τομείς της χρήσης πόρων, ανθρώπινης υγείας και της οικολογίας [75]. Βάσει της πηγής [76], η ΑΚΖ πρέπει:

1. Να παρέχει την πληρέστερη δυνατή εικόνα των αλληλεπιδράσεων μιας δραστηριότητας με το περιβάλλον.
2. Να συμβάλει στην κατανόηση της αλληλοεξαρτώμενης φύσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.
3. Να παρέχει στους ιθύνοντες πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων αυτών, ούτως ώστε να οδηγεί στην εύρεση δυνατοτήτων για περιβαλλοντικές βελτιώσεις.

Η ΑΚΖ είναι ένα εργαλείο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα «προϊόν» ή ένα σύστημα «προϊόντων», επομένως μπορεί να εξετάσει και ένα σύστημα παροχής υπηρεσιών, όπως αυτό της διαχείρισης ΑΣΑ [75, 76].

Το πλαίσιο της ΑΚΖ απεικονίζεται στο ακόλουθο *Διάγραμμα Ροής 14* και περιλαμβάνει τα εξής βασικά στάδια:

- **1^ο Στάδιο.** Προσδιορισμός σκοπού και πεδίου μελέτης (*goal & scope definition*).
- **2^ο Στάδιο.** Καταγραφή των εισροών και εκροών του συστήματος (*inventory analysis*).
- **3^ο Στάδιο.** Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών των εισροών και εκροών (*impact assessment*).
- **4^ο Στάδιο.** Ερμηνεία των αποτελεσμάτων βάσει των προαναφερθέντων 3 Σταδίων (*interpretation*).



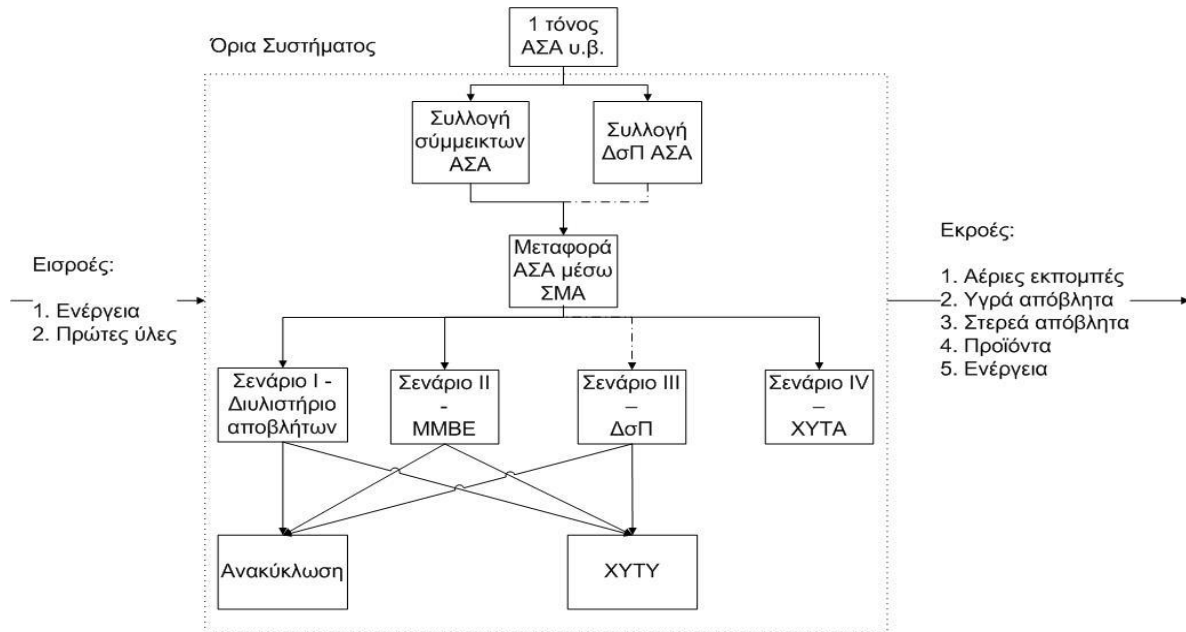
Διάγραμμα Ροής 14. Βασικά στάδια της ΑΚΖ [75].

4.1 Προσδιορισμός σκοπού και πεδίου μελέτης

Σκοπός της ΑΚΖ είναι, σε πρώτη φάση, η εξέταση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της διαχείρισης ΑΣΑ μέσω διύλισης (Σενάριο I) και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά των συμβατικών μεθόδων διαχείρισης (Σενάριο II, III & IV). Σε δεύτερη φάση γίνεται διερεύνηση της συμπεριφοράς των εξεταζόμενων Σεναρίων υπό διαφορετικές αρχικές θεωρήσεις (**ανάλυση ευαισθησίας**). Η βάση σύγκρισης των Σεναρίων είναι η **λειτουργική μονάδα (functional unit)** και ορίζεται ως η επεξεργασία «**1 tn υ.β. ΑΣΑ Ελληνικής σύστασης**», όπως αυτή περιγράφεται στο **Κεφάλαιο 1.2** και στο **Παράρτημα II**.

Αναφορικά με το **πεδίο μελέτης** της ΑΚΖ, αυτό αφορά τη θέσπιση και περιγραφή των ορίων του συστήματος, τα χρονικά και τα γεωγραφικά του όρια. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μελέτη των 4 Σεναρίων στην **Ελληνική Επικράτεια για το έτος 2015**. Η βιομηχανία της ανακύκλωσης τοποθετείται στην Ευρωπαϊκή Επικράτεια. Η περιβαλλοντική συμπεριφορά των εξεταζόμενων Σεναρίων λαμβάνεται για χρονικό ορίζοντα **100 ετών**. Το σύστημα αποτυπώνεται στο ακόλουθο **Διάγραμμα Ροής 15**.

Εντός των ορίων του συστήματος, βρίσκεται η συλλογή των ΑΣΑ. Για τα Σενάρια I, II & IV γίνεται σύμμεκτη συλλογή, ενώ για το Σενάριο III εφαρμόζεται ΔσΠ συλλογή. Πέραν της συλλογής περιλαμβάνεται η μεταφορά των ΑΣΑ μέσω ΣΜΑ στις ΜΕΑ, όπου και γίνεται η επεξεργασία τους. Επίσης, περιλαμβάνονται η παραγωγή, η χρήση και η μεταφορά πρώτων υλών, καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας για τις διεργασίες της συλλογής, μεταφοράς και επεξεργασίας των ΑΣΑ. Επιπλέον, περιλαμβάνεται η διαχείριση των υπολειμμάτων, η ανακύκλωση των ανακτηθέντων υλικών και η αξιοποίηση του κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό.



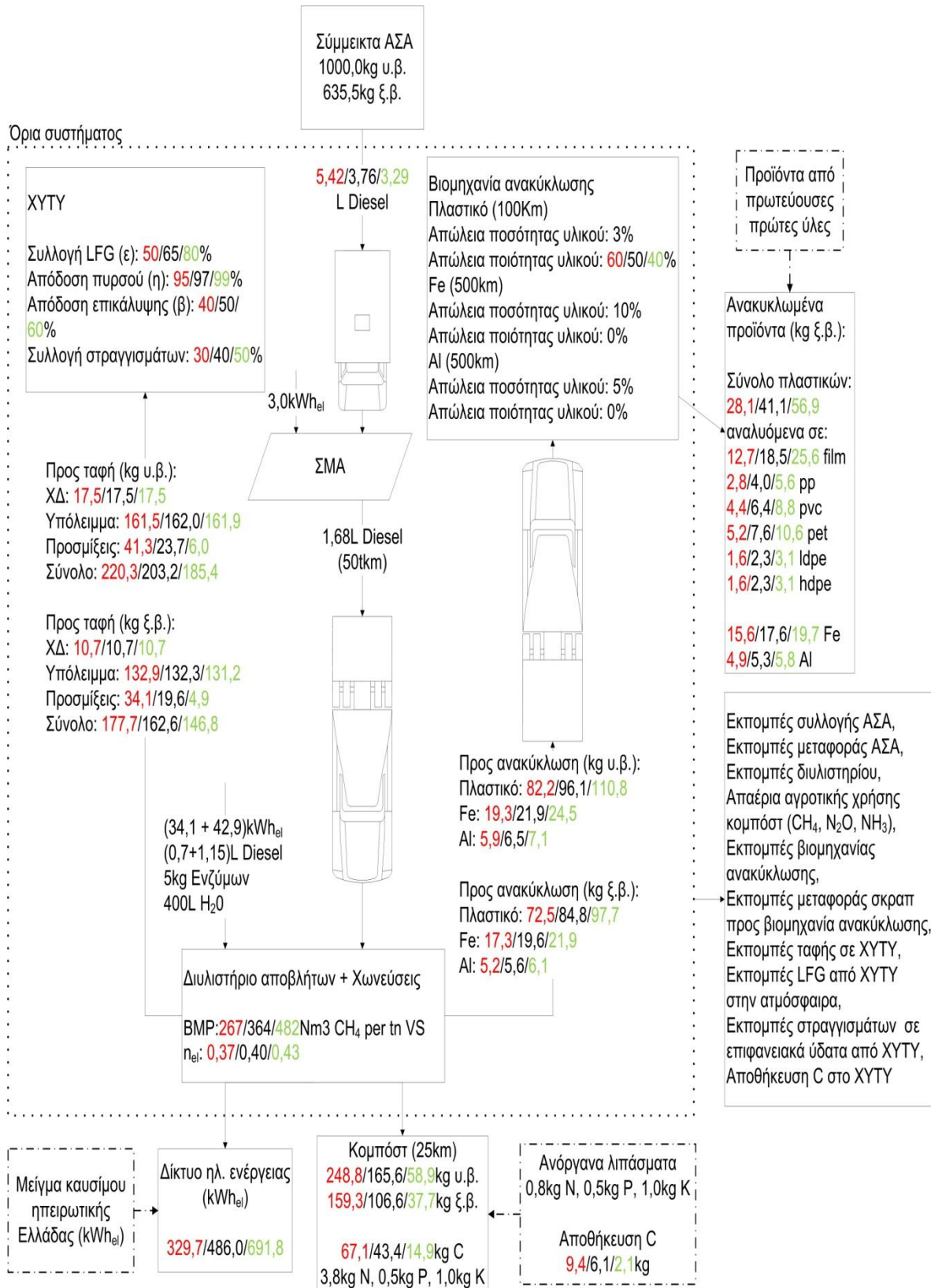
Διάγραμμα Ροής 15. Όρια συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ της ΑΚΖ.

Βάσει της πηγής [76], όταν η ΑΚΖ χρησιμοποιείται για να συγκρίνει εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης ΑΣΑ, οι οποίες περιέχουν κοινές διεργασίες, τότε μπορεί να γίνει η προσέγγιση της μηδενικής συνεισφοράς (*zero-burden approach*). Στα υπό εξέταση Σενάρια, η λειτουργική μονάδα είναι κοινή. Επομένως, οι δραστηριότητες, οι οποίες σχετίζονται με την παραγωγή «1tn ΑΣΑ υ.β.» δεν λαμβάνονται υπ' όψιν. Επιπλέον, ακολουθείται η αρχή της επέκτασης του συστήματος (*system expansion*). Βάσει αυτής, η παραχθείσα ενέργεια και τα ανακτηθέντα υλικά πιστώνονται στο σύστημα ως αποφυγούσα χρήση πρώτων υλών για αντίστοιχες διεργασίες παραγωγής των ενεργειακών και των βιομηχανικών συστημάτων.

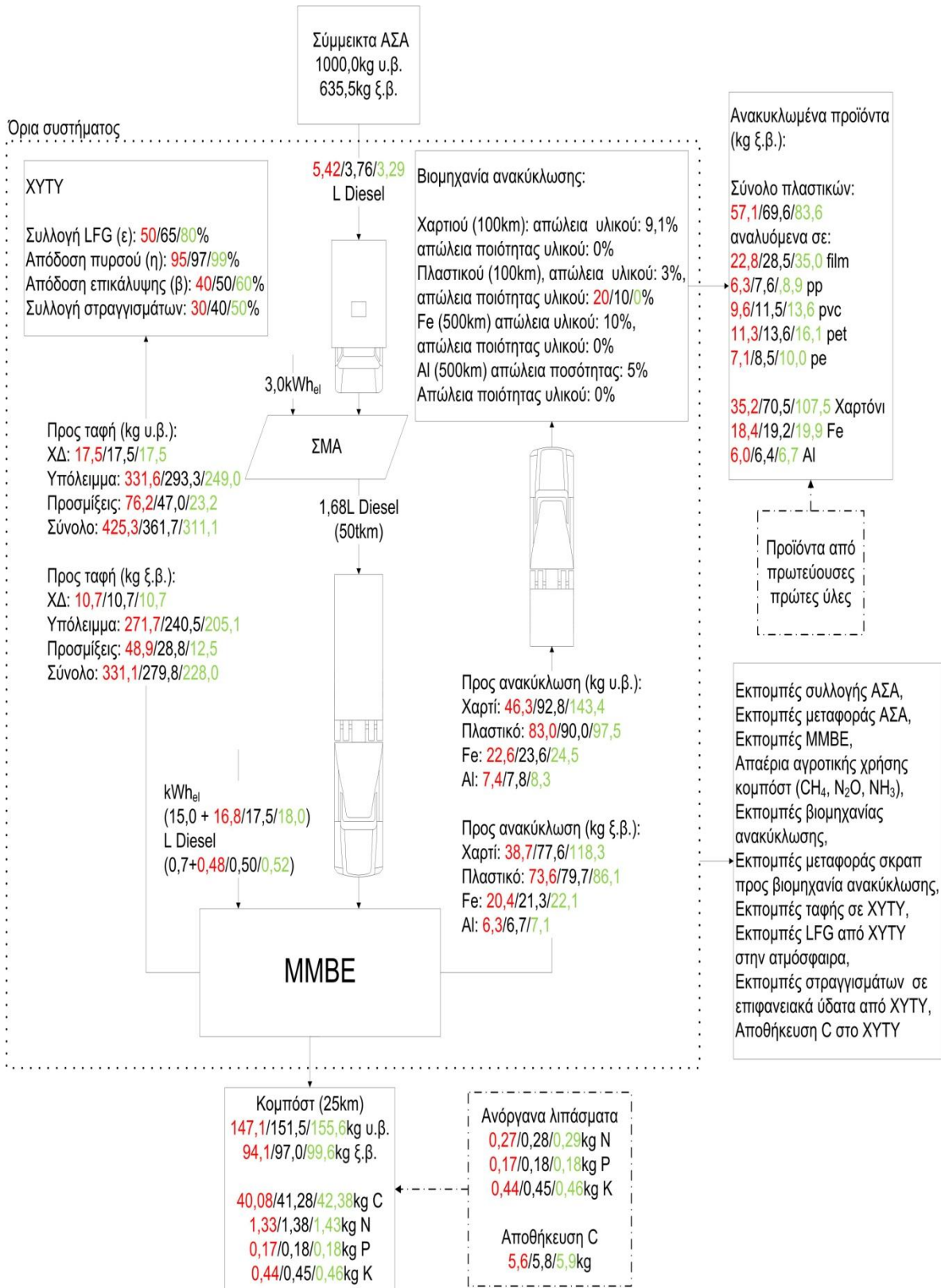
4.2 Καταγραφή εισροών και εκροών

Σε αυτό το στάδιο γίνεται ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των υλικών και των εκπομπών, τα οποία διαπερνούν τα όρια του συστήματος. Αυτές οι ροές είναι οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις ή οφέλη και στηρίζονται στους ισολογισμούς μάζας, οι οποίοι έχουν περιγραφεί στα **Κεφάλαιο 2 & 3**. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην κατασκευή του προφίλ των εκπομπών, στον τρόπο δηλαδή κατά τον οποίο ο ισολογισμός των χημικών στοιχείων μετατρέπεται σε ισολογισμό χημικών ενώσεων. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια από το βιοαέριο χρησιμοποιείται για ιδιοκατανάλωση. Η διαχείριση της περίσσειάς της δεν εξετάζεται στα όρια της παρούσας ΑΚΖ.

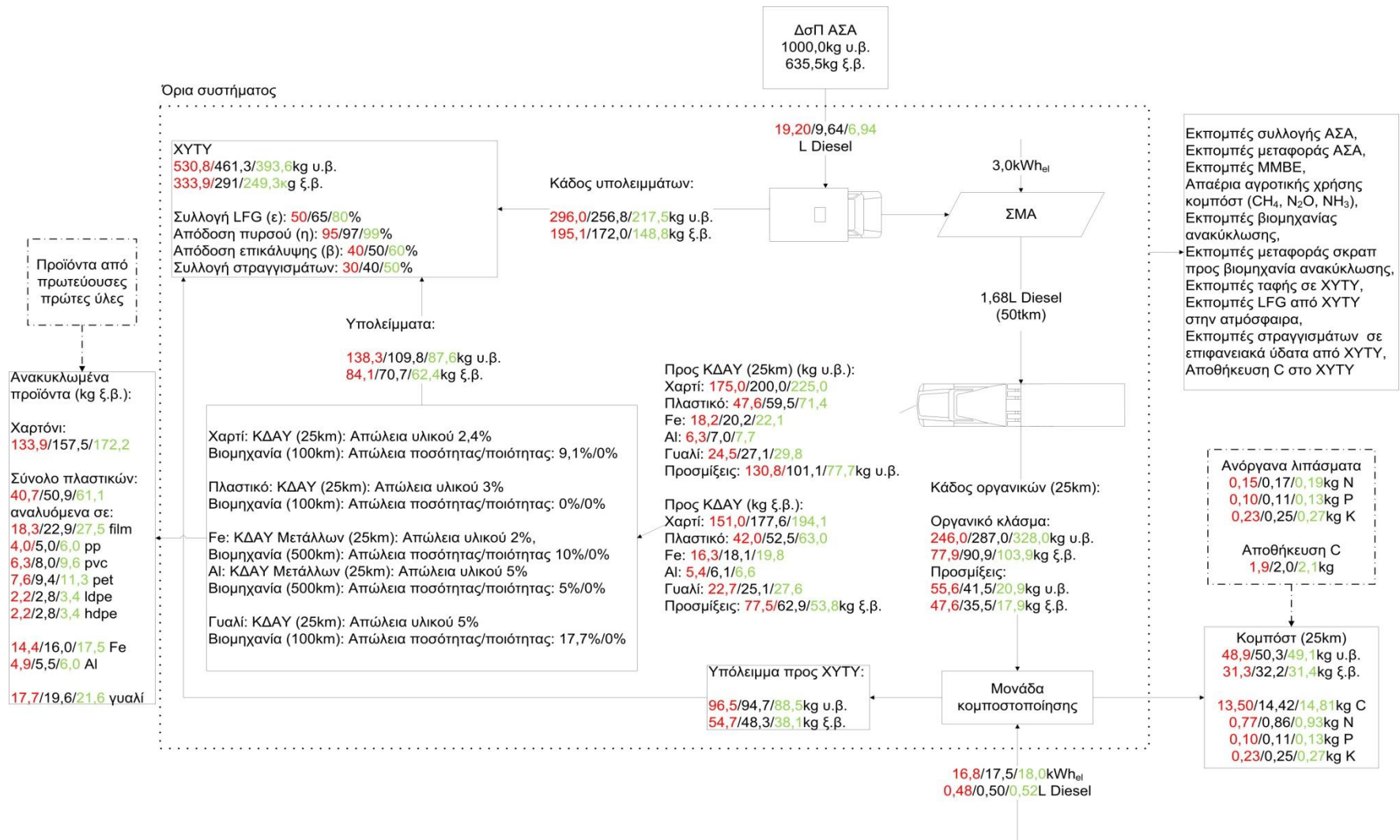
Οι είσοδοι και οι έξοδοι των υπό εξέταση Σεναρίων, καθώς και η παραμετροποίηση αυτών, αποτυπώνονται στα ακόλουθα **Διαγράμματα Ροής**. Τα όρια του συστήματος αναπαρίστανται με κουκκίδες και τα οφέλη από την επεξεργασία ΑΣΑ από τις αντικαταστάσεις προϊόντων με διακεκομμένη γραμμή. Τέλος γίνεται χρωματικός διαχωρισμός για την ανάλυση ευαισθησίας (κόκκινο – δυσμενής θεώρηση, μαύρο – αναμενόμενη θεώρηση, πράσινο – αισιόδοξη θεώρηση).



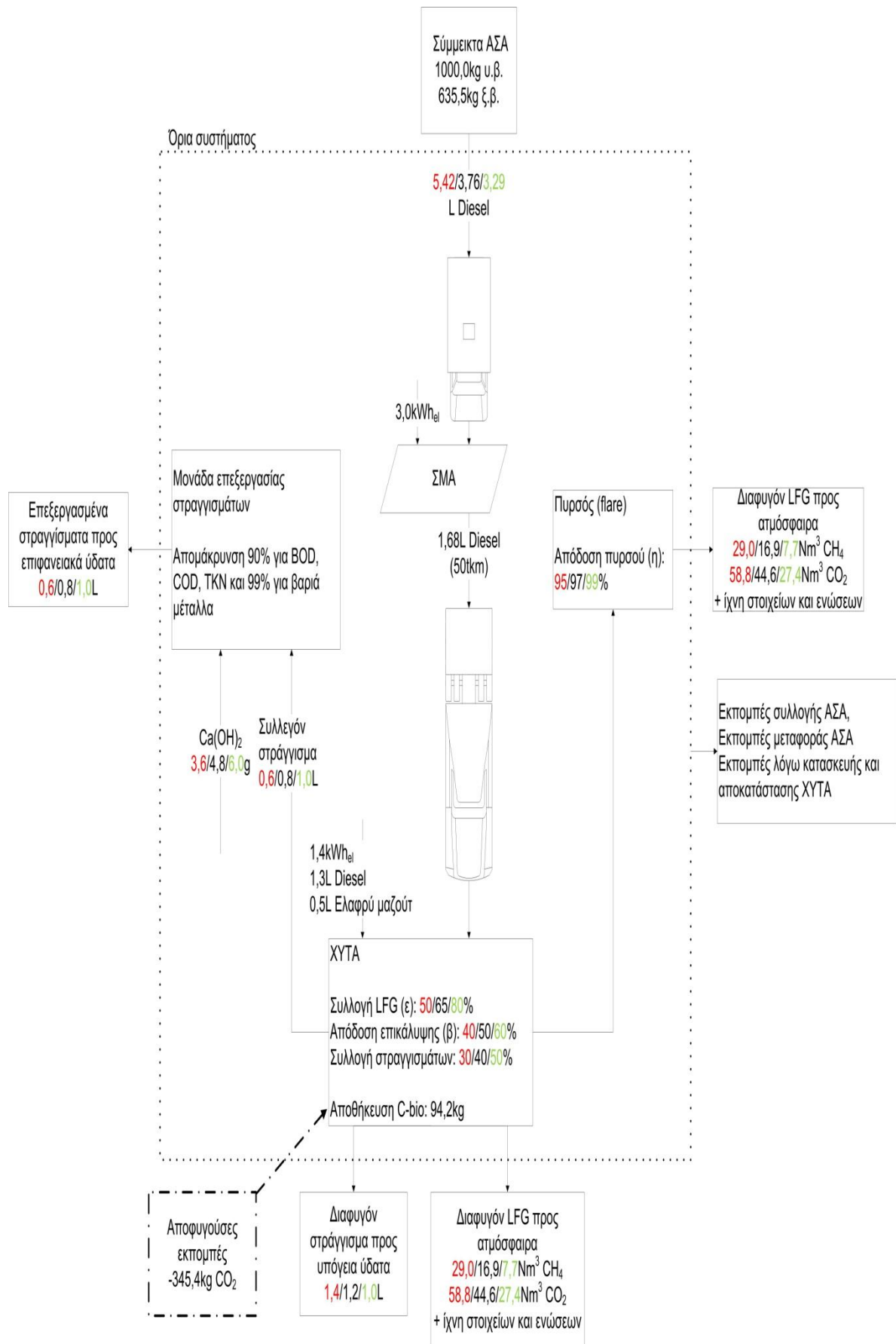
Διάγραμμα Ροής 16. Όρια συστήματος για το Σενάριο Ι – Διυλιστήριο αποβλήτων και καταγραφή εισροών και εκροών με ανάλυση ευαισθησίας (δυσμενής / αναμενόμενη / αισιόδοξη θεώρηση).



Διάγραμμα Ροής 17. Όρια συστήματος για το Σενάριο II –ΜΜΒΕ και καταγραφή εισροών και εκροών με ανάλυση ευαισθησίας (δυσμενής / αναμενόμενη / αισιόδοξη θεώρηση).



Διάγραμμα Ροής 18. Όρια συστήματος για το Σενάριο III - ΔσΠ και καταγραφή εισροών και εκροών με ανάλυση ευαισθησία (δυσμενής / αναμενόμενη / αισιόδοξη θεώρηση).



Διάγραμμα Ροής 19. Όρια συστήματος για το Σενάριο IV - ΧΥΤΑ και καταγραφή εισροών και εκροών με ανάλυση ευαισθησίας (δυσμενής / αναμενόμενη / αισιόδοξη θεώρηση).

4.2.1 Diesel

Στα υπό εξέταση Σενάρια επεξεργασίας ΑΣΑ γίνεται χρήση καυσίμου Diesel. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται στις εξής περιπτώσεις:

- Συλλογή ΑΣΑ και μεταφορά αυτών έως το ΣΜΑ με Α/Φ οχήματα. Υπολογίστηκε ότι για τη συλλογή 1tn υ.β. σύμμεικτων ΑΣΑ απαιτούνται από **3,29 έως 5,42L Diesel**. **Ομοίως**, για τη συλλογή 1tn υ.β. ΔσΠ ΑΣΑ απαιτούνται από 6,94 έως **19,20L Diesel**. Οι καταναλώσεις αναφέρονται στην ανάλυση ευαισθησίας για διπλή διαδρομή.
- Μεταφορά ΑΣΑ από ΣΜΑ έως τις ΜΕΑ με ελκυστήρες. Η κατανάλωση των ελκυστήρων λαμβάνεται από την πηγή [77]. Βάσει αυτής, εκτιμάται πως για τη διάνυση απόστασης 1km από ελκυστήρα μεικτού βάρους 16-32 τόνων και με κινητήρα **EURO 5** απαιτούνται 0,10438kg Diesel και πως για τη μεταφορά φορτίου ενός tn για ένα χιλιόμετρο (1tkm), απαιτούνται 0,17346km. Άρα, στα 50tkm, τα οποία αντιπροσωπεύουν την απόσταση του ΣΜΑ από τις ΜΕΑ καταναλώνονται **50 x 0,17436 x 0,10438 = 0,905kg Diesel = 1,08L Diesel** για μονή διαδρομή και για πυκνότητα καυσίμου 0,84kg/L [61]. Για την διπλή διαδρομή γίνεται εκτίμηση ότι απαιτούνται **0,6L Diesel επιπλέον**.
- Μεταφορά των παραγόμενων προϊόντων προς τον τελικό τους προορισμό, π.χ. τη βιομηχανία ανακύκλωσης. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως οι ληφθείσες αποστάσεις στηρίχθηκαν στις πηγές [78, 79] και έχουν ως εξής:
 - 25km για ΜΕΑ-προορισμό χρήσης κομπόστ
 - 50km για ΣΜΑ-ΜΕΑ
 - 100km για ΜΕΑ-Βιομηχανία ανακύκλωσης χαρτιού, πλαστικού και γυαλιού
 - 500km για ΜΕΑ-Βιομηχανία ανακύκλωσης αλουμινίου και σιδήρου.
- Καύσιμο σε μηχανολογικό εξοπλισμό στις μονάδες επεξεργασίας και διάθεσης ΑΣΑ. Πέραν της καύσης αυτής καθ' αυτής, στις εκπομπές ρύπων συμβάλει και η μεταφορά και αποθήκευση του καυσίμου, όπως δείχνει και ο ακόλουθος **Πίνακας 34**. Η κύρια επίπτωση της καύσης του είναι στις εκπομπές CO₂-eq. και SO₂-eq, ενώ στις υπόλοιπες εκπομπές ρύπων κυριαρχεί η διεργασία της μεταφοράς και αποθήκευσης αυτού.

Σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τα αποτελέσματα αυτά συντρέχουν με αυτά από τις βάσεις δεδομένων EDIP και ELCD [61], όπου και αναφέρεται 2,6-2,7kg CO₂-eq/L Diesel για καύση και 0,4-0,5kg CO₂-eq/L Diesel για την παροχή του.

Πίνακας 34. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις χρήσης 1m³ Diesel, πυκνότητας 0,852kg/L [77].

Εκπομπές ρύπων	Καύση Diesel σε βιομηχ. εξοπλισμό	Μεταφορά και Αποθήκευση Diesel	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	9,9	5,3	15,2
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	0,2	6,0	6,3
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	6,8	0,6	7,4
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)	-	6146,0	6146,0
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)	-	3,88E-04	3,88E-04
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)	0,5	0,7	1,2
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	8,4	117366,7	117375,1
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	0,2	25699,2	25699,4
Επίγεια οξίνιση (kg SO2 eq)	290,8	12,0	302,8
Χρήση γης (m2org.arable)	-	3,6	3,6
Υδάτινη οξίνιση (kg SO2 eq)	37,6	4,7	42,3
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO4 P-lim)	-	0,3	0,3
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO2 eq)	2724,4	405,8	3130,2
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)	-	45819,5	45819,5
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)	-	2,3	2,3

4.2.2 Ηλεκτρική ενέργεια

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί «είσοδο» σε κάθε Σενάριο και αποτελεί και «έξοδο» στο Σενάριο Ι ως παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο. Η ενέργεια αυτή λαμβάνεται ως αποφυγούσα παραγόμενη ενέργεια βάσει του εθνικού μίγματος καυσίμου για το **διασυνδεδεμένο δίκτυο**, όπως αυτό παρουσιάζεται από τη ΔΕΗ [80]. Πέραν του Ελληνικού μίγματος καυσίμου, παρατίθεται και το μίγμα καυσίμου για την Ευρώπη για το έτος 2014 [81], διότι (i) κατά την ΑΚΖ η ανακύκλωση των ανακτημένων υλικών λαμβάνει χώρα στην Ευρωπαϊκή Επικράτεια και (ii) για να καταδειχθούν οι διαφορές των επιπτώσεων ανάμεσα στην Ελληνική και τη μέση Ευρωπαϊκή ηλεκτρική ενέργεια.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί, ότι μέσω της χρήσης του λογισμικού SimaPro 7, ενσωματώνονται στον κύκλο ζωής της παραγόμενης ηλ. ενέργειας οι απώλειες μεταφοράς και μετασχηματισμού τάσης και η συντήρηση των αντίστοιχων δικτύων. Από τους **Πίνακες 35 & 36**, προκύπτει πως η έντονη παρουσία του λιγνίτη στην Ελληνική ηλεκτροπαραγωγή οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τη μέση Ευρωπαϊκή. Επίσης προκαλεί αυξημένη χρήση πρώτων υλών από *μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εξόρυξη ορυκτών*. Τέλος, η παραγωγή ηλ. ενέργειας από πυρηνικά εργοστάσια εξηγεί τόσο την πολύ υψηλότερης ιονίζουσα ακτινοβολία, όσο και την αυξημένη επίγεια και υδάτινη τοξικότητα της μέσης παραγόμενης Ευρωπαϊκής ενέργειας, έναντι της Ελληνικής.

Πίνακας 35. Μίγμα καυσίμου για διασυνδεδεμένο δίκτυο Ελλάδας και για Ευρώπη για το έτος 2014 [80, 81].

	Λιγνίτης/ Άνθρακας	Φυσικό αέριο	ΑΠΕ και Υδροηλεκτρική	Πυρηνική Ενέργεια	Πετρέλαιο	Δια- συνδέσεις	Λοιπές πηγές	Σύνολο
Ελλάδα	44,1%	14,5%	24,3%	-	-	17,1%	-	100,0%
ΕΕ 28	27,0%	19,0%	24,0%	27,0%	2,0%	-	1,0%	100,0%

Πίνακας 36. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις 1 MWh_{el} σε Ελλάδα και Ευρώπη για το έτος 2014.

Εκπομπές ρύπων	1 MWh _{el} μέσης τάσης παρηγμένη στην Ελλάδα	1 MWh _{el} μέσης τάσης παρηγμένη στην Ευρώπη
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	1,86	1,58
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	1,64	3,27
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	0,78	0,35
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)	2800,71	40426,60
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)	2,48E-05	2,36E-05
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)	0,04	0,05
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	6367,53	26336,26
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	2626,53	5660,93
Επίγεια οξίνιση (kg SO2 eq)	7,87	6,19
Χρήση γης (m2org.arable)	0,31	1,35
Υδάτινη οξίνιση (kg SO2 eq)	3,84	2,14
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO4 P-lim)	0,70	0,15
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO2 eq)	785,15	487,47
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)	12821,36	10146,04
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)	1,74	1,27

4.2.3 Ανακύκλωση χαρτιού

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες ανακύκλωσης χαρτιού μπορεί να επιφέρουν αποφυγούσες εκπομπές -1.300kg CO₂-eq./tn χαρτιού ΑΣΑ έως και επιβάρυνση 400 kg CO₂-eq./tn χαρτιού ΑΣΑ [82]. Αυτό οφείλεται στα όρια της ΑΚΖ, και πιο συγκεκριμένα, στην επιλογή τεχνολογιών παραγωγής και ανακύκλωσης χαρτιού. Επομένως, το συνολικό περιβαλλοντικό όφελος των **-61,2kg CO2 eq.** (βλ. [Πίνακας 37](#)) είναι σύμφωνο με την βιβλιογραφία.

Το μεγαλύτερο μέρος της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας παραγωγής και ανακύκλωσης χαρτιού εδρεύει στις Σκανδιναβικές χώρες, όπου και κυριαρχεί η βιομηχανία της υλοτομίας. Παράγοντας ανακυκλωμένο χαρτί, αποφεύγεται η αξιοποίηση παρθένων δασών, εξ' ου και το όφελος των -581m² χρήσης αρόσιμης γης. Τέλος, οι ολοκληρωμένοι μύλοι παραγωγής και ανακύκλωσης χαρτιού φέρουν την δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και διάθεσης αυτής στο δίκτυο. Έτσι προκύπτει και τα περιβαλλοντικά όφελια -18811,82Bq C-14 eq., αφού η παραγόμενη ενέργεια, αντικαθιστά εν μέρει πυρηνική ενέργεια.

Βάσει των πηγών [83, 84], μοντελοποιείται στο SimaPro 7 η ανακύκλωση μικτού χαρτιού σε κυματοειδές χαρτόνι. Πιο συγκεκριμένα θεωρείται πως χαρτόνι από ανακυκλωμένο χαρτί (testliner και wellenstoff) αντικαθιστά χαρτί από «παρθένες» πρώτες ύλες (kraftliner και semi-chemical fluting). Στο βήμα αυτό λαμβάνεται υπ' όψιν **απώλεια υλικού 9,1%**. Τέλος, βάσει της πηγής [85], το συλλεχθέν χαρτί μεταφέρεται σε ΚΔΑΥ, όπου και γίνεται οπτικός διαχωρισμός αυτού (15kWh_{el}/tn χαρτιού ΑΣΑ). Το χαρτί φορτώνεται στον οπτικό διαχωριστή με περνοφόρο (1L Diesel/tn χαρτιού ΑΣΑ), όπου και παρουσιάζει απώλειες υλικού της τάξεως του 2,4%. Τέλος, απαιτούνται καύση φυσικού αερίου θερμικής αξίας 30MJ_{th} για την θέρμανση των κτιριακών εγκαταστάσεων. Εν τέλει 1 tn χαρτιού ΑΣΑ αντιστοιχεί σε 1000x90,9%x97,6% = **887kg** ανακυκλωμένου χαρτονιού.

Πίνακας 37. Περιβαλλοντικά οφέλη και επιπτώσεις από την ανακύκλωση 1 tn χαρτιού ΑΣΑ [83-85].

Εκπομπές ρύπων	Ανακυκλωμένο χαρτόνι	Κατανάλωση ηλ.ενέργειας	Καύση φυσικού αερίου	Κατανάλωση Diesel	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	0,26	0,03	0,02	0,02	0,32
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	3,07	0,02	1,40E-03	0,01	3,10
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	-0,73	0,01	2,64E-04	0,01	-0,71
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)	-18862,25	42,01	2,27	6,15	-18811,82
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)	1,55E-05	3,73E-07	3,09E-07	3,88E-07	1,65E-05
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)	-0,18	6,20E-04	3,80E-04	1,19E-03	-0,18
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	-17699,80	95,51	19,72	117,38	-17467,19
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	3944,50	39,40	4,82	25,70	4014,42
Επίγεια οξίνιση (kg SO2 eq)	-8,72	0,12	0,01	0,30	-8,30
Χρήση γης (m2org.arable)	-581,03	4,67E-03	3,60E-04	3,62E-03	-581,02
Υδάτινη οξίνιση (kg SO2 eq)	-2,82	0,06	1,77E-03	0,04	-2,72
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO4 P-lim)	-0,40	0,01	1,54E-05	3,17E-04	-0,39
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO2 eq)	-78,17	11,78	2,07	3,13	-61,19
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)	-1254,35	192,32	39,50	45,82	-976,71
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)	-6,76	0,03	1,47E-03	2,29E-03	-6,73

4.2.4 Ανακύκλωση πλαστικού

Η μοντελοποίηση της διεργασίας της ανακύκλωσης του πλαστικού δεν αντιμετωπίστηκε ως ένα ενιαίο υλικό, αλλά ως μίγμα πλαστικών υλικών βάσει της αρχικής Ελληνικής σύστασης ΑΣΑ. Όπως φαίνεται και στο [Παράρτημα II](#), στο 14,0% πλαστικού της αρχικής σύστασης υ.β. των ΑΣΑ, το 5,5% είναι φιλμ, το 1,2% είναι πολυπροπυλένιο (PP), το 2,2% είναι πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το 1,8% είναι τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), το 1,2% είναι πολυαιθυλένιο και το 2,1% μη ανακυκλώσιμο πλαστικό. Βάσει της πηγής [\[86\]](#) σχεδιάζεται ένα τυπικό ΚΔΑΥ πλαστικών με οπτικό διαχωριστή (3% απώλειες).

Κατασκευάζοντας, λοιπόν, το μίγμα πλαστικών βάσει των ακόλουθων πηγών:

1. Ρητίνη PP [\[87\]](#)
2. Ρητίνες HDPE, LDPE και LLDPE [\[88\]](#)
3. PET για παραγωγή φιάλης (bottle grade) [\[89\]](#)
4. Εναιώρημα πολυμερούς (suspension polymerization) PVC [\[90\]](#),

και με τις ακόλουθες πρώτες ύλες για την ανακύκλωση 1 tn πλαστικών:

1. 50kWh_{el} για τεμαχισμό και οπτικό διαχωρισμό
2. 1L Diesel για τα περνοφόρα και τους φορτωτές
3. Καύση 25m³ φυσικού αερίου και 1L μαζούτ (heavy fuel oil) για προξήρανση του πλαστικού.
4. 600kWh_{el} για ρευστοποίηση του πλαστικού προ της κοκκοποίησής του.

προκύπτει ο ακόλουθος [Πίνακας 38](#), όπου αποτυπώνεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ανακύκλωσης 1tn πλαστικού ΑΣΑ.

Πίνακας 38. Περιβαλλοντικά οφέλη και επιπτώσεις από την ανακύκλωση 1 tn πλαστικού ΑΣΑ [86-90].

Εκπομπές ρύπων	Ανακυκλωμένο πλαστικό	ΚΔΑΥ πλαστικού	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C ₂ H ₃ Cl eq)	-258,64	0,06	-258,57
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C ₂ H ₃ Cl eq)	-834,82	0,05	-834,77
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM _{2.5} eq)	-0,87	0,03	-0,84
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)	23607,56	76,16	23683,72
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)	2,396E-05	1,01E-06	2,497E-05
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C ₂ H ₄ eq)	-0,42	2,23E-03	-0,42
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	-22303,80	276,56	-22027,24
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	2395,36	91,36	2486,72
Επίγεια οξίνιση (kg SO ₂ eq)	-17,07	0,50	-16,57
Χρήση γης (m ² org.arable)	0,80	0,01	0,81
Υδάτινη οξίνιση (kg SO ₂ eq)	-4,50	0,14	-4,36
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO ₄ P-lim)	0,01	0,02	0,03
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO ₂ eq)	-1298,59	22,76	-1275,83
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)	-59194,78	366,35	-58828,42
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)	-0,05	0,05	-0,01

Η παρουσία ιονίζουσας ακτινοβολίας οφείλεται στο γεγονός, ότι η ανακύκλωση θεωρείται πως λαμβάνει χώρα στην Ευρωπαϊκή Επικράτεια, ενώ το ΚΔΑΥ στην Ελληνική Επικράτεια. Σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το όφελος των -1.298,6 kg CO₂ eq. είναι σύμφωνο με το προβλεπόμενο των -1.574 έως -1.047 βάσει της πηγής [86]. Τα οφέλη σε μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και σε καρκινογόνες ουσίες συντρέχουν με αυτό του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς η πρώτη ύλη που απαιτείται για την παραγωγή πλαστικού είναι το αργό πετρέλαιο.

Πέραν από την **απώλεια υλικού**, γίνεται λόγος και για την «**απώλεια ποιότητας**» υλικού [25, 86]. Η ποιότητα του πλαστικού λαμβάνεται για τα εξεταζόμενα Σενάρια ως εξής:

- **40-60% για το Σενάριο I – Δυλιστήριο** λόγω της θερμικής προεπεξεργασίας του ρεύματος των ΑΣΑ και της έντονης παρουσίας οργανικών προσμίξεων.
- **80-100% για το Σενάριο II – ΜΜΒΕ** λόγω έντονης μηχανολογικής προεπεξεργασίας
- **100% για το Σενάριο III – ΔσΠ**

4.2.5 Ανακύκλωση σιδήρου

Για την ανάκτηση σκραπ σιδήρου από το ρεύμα των ΑΣΑ μοντελοποιείται ένα **τυπικό ΚΔΑΥ μετάλλων** με απώλεια σιδήρου 2% [91]. Απαιτούνται 2,5L Diesel/ tn σιδήρου ΑΣΑ για την λειτουργία του γερανού και 50kWh_{el}/ tn σιδήρου ΑΣΑ για την λειτουργία του τεμαχιστή. Για τη διεργασία της ανακύκλωσης, συγκρίνονται η χύτευση μεταλλεύματος σιδήρου σε ράβδους χάλυβα μέσω καμίνου βασικού οξυγόνου (basic oxygen furnace) και η χύτευση σκραπ σιδήρου σε ράβδους χάλυβα μέσω καμίνου ηλεκτρικού τόξου (electric arc furnace). [92]. Και στις 2 περιπτώσεις, απαιτούνται 1,11 tn σκραπ σιδήρου ή μεταλλεύματος για την παραγωγή 1 tn χάλυβα. Άρα, στην περίπτωση της ανακύκλωσης, 1 tn σιδήρου ΑΣΑ αποδίδει 0,98 tn σιδηρούχου σκραπ στο ΚΔΑΥ, και άρα $0,98/1,11 = 883\text{kg}$ ανακυκλωμένο χάλυβα.

Πίνακας 39. Περιβαλλοντικά οφέλη και επιπτώσεις από την ανακύκλωση 1 tn σιδήρου ΑΣΑ [91, 92].

Εκπομπές ρύπων	Ανακύκλωση σιδήρου	ΚΔΑΥ μετάλλων	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	235,89	0,12	236,01
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	3,78	0,14	3,92
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	-1,38	0,07	-1,30
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)	5687,17	89,07	5776,23
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)	-5,57E-06	2,51E-06	-3,06E-06
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)	-0,15	0,01	-0,14
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	-62520,65	820,10	-61700,55
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	-2302,12	282,48	-2019,63
Επίγεια οξίνιση (kg SO2 eq)	-18,29	1,31	-16,98
Χρήση γης (m2org.arable)	-7,96	0,03	-7,93
Υδάτινη οξίνιση (kg SO2 eq)	-4,66	0,40	-4,26
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO4 P-lim)	-0,22	0,05	-0,17
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO2 eq)	-1340,90	58,74	-1282,16
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)	-17104,51	914,21	-16190,31
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)	-217,56	0,05	-217,50

Οι αποφυγούμενες εκπομπές των -1.340,9kg CO₂-eq είναι εντός του εύρους τιμών -560 έως και -2.360kg CO₂-eq ανά tn σιδήρου ΑΣΑ [91]. Το επιπλέον κύριο όφελος της ανακύκλωσης σιδήρου είναι στις πρώτες ύλες, όπου και αποφεύγεται η χρήση μεταλλεύματος και μειώνεται η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

4.2.6 Ανακύκλωση αλουμινίου

Όμοια με την ανακύκλωση σιδήρου, το ΚΔΑΥ μετάλλων έχει τις ίδιες καταναλώσεις (2,5L Diesel και 50kWh_{el}/tn αλουμινίου ΑΣΑ), αλλά έχει απώλειες υλικού της τάξεως του 5% [91].

Πίνακας 40. Περιβαλλοντικά οφέλη και επιπτώσεις από την ανακύκλωση 1 tn αλουμινίου ΑΣΑ [91, 93]

Εκπομπές ρύπων	Ανακύκλωση αλουμινίου	ΚΔΑΥ μετάλλων	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	-431,87	0,12	-431,75
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	-425,14	0,14	-425,00
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	-9,11	0,07	-9,03
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)	-291278,05	89,07	-291188,98
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)	-6,66E-04	2,51E-06	-6,64E-04
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)	-1,61	0,01	-1,60
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	-911084,82	820,10	-910264,72
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	-248071,87	282,48	-247789,39
Επίγεια οξίνιση (kg SO2 eq)	-129,53	1,31	-128,21
Χρήση γης (m2org.arable)	-33,50	0,03	-33,48
Υδάτινη οξίνιση (kg SO2 eq)	-44,40	0,40	-44,00
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO4 P-lim)	-2,13	0,05	-2,08
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO2 eq)	-10884,59	58,74	-10825,85
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)	-133996,02	914,21	-133081,81
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)	-2542,75	0,05	-2542,70

Για την διεργασία της ανακύκλωσης, συγκρίθηκαν 2 μέθοδοι παραγωγής ράβδων αλουμινίου [93]. Ο πρώτος ήταν η μετατροπή του βωξίτη σε αλουμίνα (διεργασία Bayer) και της αλουμίνας σε αλουμίνιο (διεργασία Hall-Heroult) και ο δεύτερος ήταν η τήξη του αλουμινούχου σκραπ σε περιστροφική κάμινο (rotary furnace). Και στις 2 περιπτώσεις, απαιτούνται 1,053 tn σκραπ αλουμινίου ή πρωτεύοντος αλουμινίου για την παραγωγή 1 tn αλουμινίου (5% απώλεια υλικού) [91, 93]. Άρα η ανακύκλωση 1 tn αλουμινίου ΑΣΑ αποδίδει 0,95 tn μεταλλικού σκραπ μετά το ΚΔΑΥ, και άρα $0,95 \times 0,95 = 902\text{kg}$ αλουμινίου.

Οι αποφυγούσες εκπομπές των $-10.884,6\text{kg CO}_2\text{-eq}$. βρίσκονται εντός τόσο του εύρους -5.040 έως $-19.3406\text{kg CO}_2\text{-eq}$. [91], όσο και του εύρους -9.200 έως $-13.500\text{kg CO}_2\text{-eq}$. [9]. Περαιτέρω σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη της ανακύκλωσης εντοπίζονται στη μείωση εκπομπών σε καρκινογόνες και μη ουσίες, στην ιονίζουσα ακτινοβολία και στη χρήση ορυκτών μεταλλευμάτων και ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές.

4.2.7 Ανακύκλωση γυαλιού

Προτού το αρχικό ρεύμα γυαλιού των ΑΣΑ οδηγηθεί προς την βιομηχανία της ανακύκλωσης, διέρχεται από ένα ΚΔΑΥ γυαλιού. Για την επεξεργασία 1 tn υαλοθραύσματος απαιτούνται 15kWh_{el} και $2,15\text{Nm}^3$ φυσικού αερίου στο ΚΔΑΥ. Επιπλέον, προκύπτει απώλεια υλικού της τάξεως του 5% λόγω του οπτικού διαχωριστή [94]. Για την διεργασία της ανακύκλωσης συγκρίθηκαν 2 τροφοδοτικές συστάσεις [95]. Η πρώτη αποτελείτο κατά κύριο λόγο από πυριτιούχο άμμο (SiO_2), ασβεστόλιθο (CaCO_3) και ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3), ενώ στην δεύτερη αντικαθίστατο το 40% των πρώτων υλών με υαλόθραυσμα. Κατά την παραγωγική διεργασία, υπήρξε απώλεια της τάξεως του 17,7% της τροφοδοσίας ως αέριες εκφυγές λόγω της τήξης. Άρα, στον 1 tn συλλεγόμενου γυαλιού ΑΣΑ, προκύπτουν 950kg υαλοθραύσματος στο ΚΔΑΥ και τελικά $0,95 \times 0,823 = 782\text{kg}$ ανακυκλωμένου γυαλιού.

Πίνακας 41. Περιβαλλοντικά οφέλη και επιπτώσεις από την ανακύκλωση 1 tn γυαλιού ΑΣΑ [94, 95].

Εκπομπές ρύπων	Ανακύκλωση γυαλιού	ΚΔΑΥ γυαλιού	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	-1,17	0,03	-1,14
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	-2,21	0,15	-2,06
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	-0,12	0,02	-0,11
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)	-2219,99	42,01	-2177,98
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)	-2,27E-05	3,73E-07	-2,23E-05
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)	-0,05	1,25E-03	-0,04
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	-18008,06	814,82	-17193,25
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	-4209,99	39,44	-4170,55
Επίγεια οξίνιση (kg SO2 eq)	-4,02	0,18	-3,84
Χρήση γης (m2org.arable)	-1,21	4,67E-03	-1,21
Υδάτινη οξίνιση (kg SO2 eq)	-0,97	0,10	-0,87
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO4 P-lim)	-0,04	0,01	-0,03
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO2 eq)	-453,27	16,55	-436,73
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)	-3504,15	288,05	-3216,10
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)	-3,15	0,03	-3,12

Σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το περιβαλλοντικό όφελος των -453,3kg CO₂-eq. είναι σύμφωνο με το εύρος εκτίμησης -445 έως -506kg CO₂-eq. [94]. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μείωση του αποτυπώματος της ασβεστοποίησης, κατά την οποία απελευθερώνονται μεγάλη ποσότητα CO₂ (1kg CaCO₃ -> 0,56kg CaO + 0,44kg CO₂). Επιπλέον, η ανακύκλωση γυαλιού οδηγεί σε περιβαλλοντικά οφέλη και στις 15 κατηγορίες, με τα κυριότερα να εντοπίζονται στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην ανθρώπινη υγεία. Αυτό οφείλεται στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου στον κλίβανο, αφού η απαιτούμενη ενέργεια καυσίμου μειώνεται κατά 2-3% για αντικατάσταση της τάξεως του 10% των πρώτων υλών με υαλόθραυσμα (40% αντικατάσταση -> 8-12% λιγότερη κατανάλωση καυσίμου) [94, 95].

4.2.8 Χρήση κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό

Για την παραγωγή του κομπόστ μελετάται κλειστή εγκατάσταση εφοδιασμένη με βιόφιλτρο και ως πρώτες ύλες απαιτούνται 15kWh_{el} και 1,15L Diesel ανά τη υ.β. ΔσΠ οργανικών για την μηχανική προεπεξεργασία, ενώ για την βιολογική διεργασία του απαιτούνται 40kWh_{el} ανά τη ΔσΠ οργανικών [13, 14, 25]. Κατά την χρήση του κομπόστ, το 0,21% της ποσότητας του N διαφεύγει στην ατμόσφαιρα ως NH₃ και το 1,5% της ποσότητάς του ως N₂O. Τα οφέλη της εδαφοβελτιωτικής χρήσης του κομπόστ σχετίζονται με:

1. την αντικατάσταση παραγωγής ανόργανων λιπασμάτων (N, P και K). Από την ποσότητα του N του κομπόστ, μόνο το 20% θεωρείται ότι αντικαθιστά ανόργανο λίπασμα, ενώ για το P και το K λαμβάνεται 100% αντικατάσταση.
2. την αποθήκευση βιογενούς άνθρακα. Από την ποσότητα του C-bio του κομπόστ, το 14% δεσμεύεται στο έδαφος.

Η σύσταση επί ξ.β. του κομπόστ για την αναμενόμενη θεώρηση των Σεναρίων I, II και III αναγράφεται στον **Πίνακα 42**. Γίνεται σύγκριση αυτών ως προς την αναμενόμενη περιεκτικότητα σε C-bio, N, P και K [14], όπου και παρατηρείται ότι σε όλα τα Σενάρια είναι εντός ορίων, με εξαίρεση στο Σενάριο I για το N. Επομένως, ο ισολογισμός μάζας για την παραγωγή του κομπόστ επιβεβαιώνεται. Επιπλέον, γίνεται σύγκριση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων με τυποποιημένα πρότυπα [96].

Το παραγόμενο κομπόστ ικανοποιεί όλες τις προδιαγραφές για τα στοιχεία-ίχνη της ΚΥΑ 114218 για την Ελλάδα, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί αγροτικά ή φυτοκομικά βάσει Ελληνικής νομοθεσίας. Άρα η θεώρηση για εδαφοβελτιωτική χρήση και για την αντικατάσταση των ανόργανων λιπασμάτων είναι ορθή. Οριακά δεν πληροί τα κριτήρια των Κατηγοριών 1, 2 και της Ecolabel, λόγω του Zn και του As. Η διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις κατηγορίες έγκειται στην χρήση κατά το δοκούν (Κατηγορία 1), στην χρήση έως 3 τη ανά στρέμμα σε χρονικό ορίζοντα 3-ετίας (Κατηγορία 2) και ως εδαφοβελτιωτικό (Ecolabel). Στις λοιπές Ευρωπαϊκές χώρες, η παρουσία As οδηγεί στην αλλαγή προορισμού του κομπόστ από γεωργική σε φυτοκομική χρήση [96], άρα η θεώρηση για αντικατάσταση λιπασμάτων παραμένει έγκυρη.

Πίνακας 42. Σύσταση παραγόμενου κομπόστ σε kg/tn υ.β. για τα Σενάρια I,II και III και σύγκριση αυτής βάσει βιβλιογραφίας [14, 96]

Στοιχεία και ίχνη	Σύσταση 1 tn ξ.β. κομπόστ για αναμενόμενη θεώρηση			Προσδοκώμενες περιεκτικότητες επί ξ.β. βάσει [14] για C-bio,N,P,K		
	ΣΕΝΑΡΙΟ I	ΣΕΝΑΡΙΟ II	ΣΕΝΑΡΙΟ III	ΑΠΟ	ΕΩΣ	
C-foss	25,447	75,359	34,694			
C-bio	409,511	425,747	447,495	191		470
H	5,345	58,081	61,039			
O	140,094	277,644	287,237			
S	4,338	0,880	0,961			
Al	36,771	8,303	3,599			
Fe	3,466	3,367	2,944			
Ca	72,882	20,842	21,620			
Na	6,901	3,459	6,162			
Mg	3,582	1,356	1,726			
N	36,020	14,281	26,723	9		28
P	4,706	1,847	3,556	1,8		9,3
K	9,705	4,647	7,870	3,4		23
F	0,512	0,131	0,100			
				KYA 114218 [96]	Ecolabel [96]	ΕΕ (2001) Κατηγορία 1/2 [96]
Cl	9,784	4,942	6,963			
As	0,001	0,002	0,001	0,015	0,010	-
Cd	2,57E-04	2,02E-04	1,84E-04	0,010	0,001	0,007/0,015
Cr	0,037	0,083	0,058	0,510	0,100	0,100/0,150
Cu	0,109	0,127	0,086	0,500	0,100	0,100/0,150
Hg	1,31E-04	5,94E-05	6,14E-05	0,005	0,001	0,005/0,010
Mn	0,169	0,071	0,075			
Mo	0,003	0,001	0,001			
Ni	0,020	0,046	0,019	0,200	0,050	0,050/0,75
Pb	0,012	0,060	0,035	0,500	0,100	0,100/0,150
Zn	0,170	1,376	1,517	2,000	0,300	0,200/0,400
Υπόλοιπα	230,413	96,347	85,518			
Σύνολο	1000,00	1000,00	1000,00			

Πίνακας 43. Περιβαλλοντικά οφέλη και επιπτώσεις από την παραγωγή και εδαφοβελτιωτική χρήση 1 tn υ.β. κομπόστ.

Εκπομπές ρύπων	Χρήση κομπόστ	Χρήση Diesel	Χρήση ηλ. ενέργειας	Αντικατ.Ν-λιπάσματος	Αντικατ.Ρ-λιπάσματος	Αντικατ.Κ-λιπάσματος	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)		0,11	0,18	-0,13	-0,03	-0,03	0,10
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	2,23E-03	0,05	0,16	-0,11	-0,15	-0,03	-0,09
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	0,01	0,05	0,08	-0,02	-0,01	0,00	0,11
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)		45,21	272,83	-106,38	-122,28	-34,71	54,67
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)		2,86 E-06	2,42 E-06	-1,57 E-06	-3,14 E-07	-3,43 E-07	3,05 E-06
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	0,17	863,40	620,30	-553,27	-1481,18	-133,67	-684,26
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	0,43	189,04	255,86	-188,73	-50,59	-46,69	159,33

Επίγεια οξίνιση (kg SO ₂ eq)	0,65	2,23	0,77	-0,76	-0,13	-0,05	2,70
Χρήση γης (m ² org.arable)		0,03	0,03	-0,07	-0,02	-0,08	-0,11
Υδάτινη οξίνιση (kg SO ₂ eq)	0,08	0,31	0,37	-0,11	-0,08	-0,01	0,56
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO ₄ P-lim)		2,33 E-03	0,07	-2,46E-03	-0,12	-7,42E-04	-0,05
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO ₂ eq)	-84,19	23,03	76,49	-20,15	-3,37	-2,33	-10,52
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)		337,04	1249,00	-210,51	-49,24	-44,83	1281,46
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)		0,02	0,17	-0,46	-0,11	-0,16	-0,55

Βάσει του άνωθεν **Πίνακας 43**, προκύπτει ότι το περιβαλλοντικό όφελος για το φαινόμενο του θερμοκηπίου των -10,5kg CO₂-eq. ανά τη υ.β. κομπόστ είναι εντός των αναμενόμενων ορίων από -145 έως +19 kg CO₂-eq. για κλειστά συστήματα κομποστοποίησης και για την θεώρηση της αντικατάστασης ανόργανων λιπασμάτων N, P και K [14]. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αντικατάσταση λιπασμάτων **με αναλογία N/P/K: 30%/20%/50%**.

Πέραν του φαινομένου του θερμοκηπίου, παρατηρούνται μικρές επιπτώσεις ή οφέλη και στις άλλες κατηγορίες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι οι ληφθείσες αντικαταστάσεις των προϊόντων έχουν διαφορά 3 τάξεων μεγέθους, δηλαδή 1 τη κομπόστ αντικαθιστά μερικά kg ανόργανων λιπασμάτων (π.χ. από 4,6 έως και 9,7kg K, κ.ο.κ.). Αυτό οδηγεί στο να είναι συγκρίσιμα τα οφέλη από την αντικατάσταση των προϊόντων, με τις επιπτώσεις από την χρήση πρώτων υλών για την παραγωγή αυτών από την μονάδα κομποστοποίησης.

4.3 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Βάσει της πηγής [97], οι εκπομπές CO₂, οι οποίες προέρχονται από C-bio, θεωρούνται μηδενικές ως προς το φαινόμενο του θερμοκηπίου, διότι υπάρχει ισοζύγιο μάζας ανάμεσα στις εκπομπές αυτές και σε εκείνες, οι οποίες χρησιμοποιούνται από την φυτική βιομάζα για την ανάπτυξή της. Αυτό το ισοζύγιο, βέβαια, προϋποθέτει χρονικό βάθος τέτοιο, ούτως ώστε όλος ο C-bio να έχει αποδομηθεί. Όμως, ο **χρονικός ορίζοντας της 100-ετίας** για τις εκπομπές, ο οποίος έχει ληφθεί στο Στάδιο του προσδιορισμού του σκοπού και του πεδίου μελέτης, οδηγεί σε «αποθήκευση» βιογενούς άνθρακα (**C-bio sequestration**), τόσο στο σώμα των ΧΥΤ, όσο και από τη χρήση του κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό. Αυτό συμβαίνει, διότι κατά την πάροδο του χρονικού αυτού πλαισίου, ο C-bio δεν αποδομείται πλήρως. Η ποσότητα, η οποία δεν αποδομήθηκε, αναπαριστά εν δυνάμει εκπομπές CO₂ και επομένως **πιστώνεται στο σύστημα ως περιβαλλοντικό όφελος**. Αυτό αποτελεί και πάγια τακτική σε μελέτες AKZ για χρονικό ορίζοντα 100-ετίας (**short-term**) [13, 14, 16, 70, 73, 98]. Επομένως, κάθε kg C-bio, που αποθηκεύεται σε ΧΥΤ ή στο έδαφος κατά την χρήση του κομπόστ αποτελεί περιβαλλοντικό όφελος -44/12 kg CO₂.

Η μεθοδολογία, η οποία χρησιμοποιήθηκε στο λογισμικό SimaPro 7 για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι η **Impact 2002+** [99]. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται, διότι συνδέει τις 15 κατηγορίες επιπτώσεων μέσου σημείου (**midpoint approach**) με εκείνες των 4 κατηγοριών ζημιάς (**endpoint approach**). Κατά το βήμα της

κανονικοποίησης (*normalization*), οι ποσοτικοποιημένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαμορφώνονται στην ίδια μονάδα (Point (Pt) ή millipoint (mPt)). Αυτή η μονάδα αναπαριστά την ποσότητα κάτοικο επί έτος (persygr) και προκύπτει με την διαίρεση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με το σύνολο των εκπομπών για την Ευρώπη ανά έτος και κάτοικο.

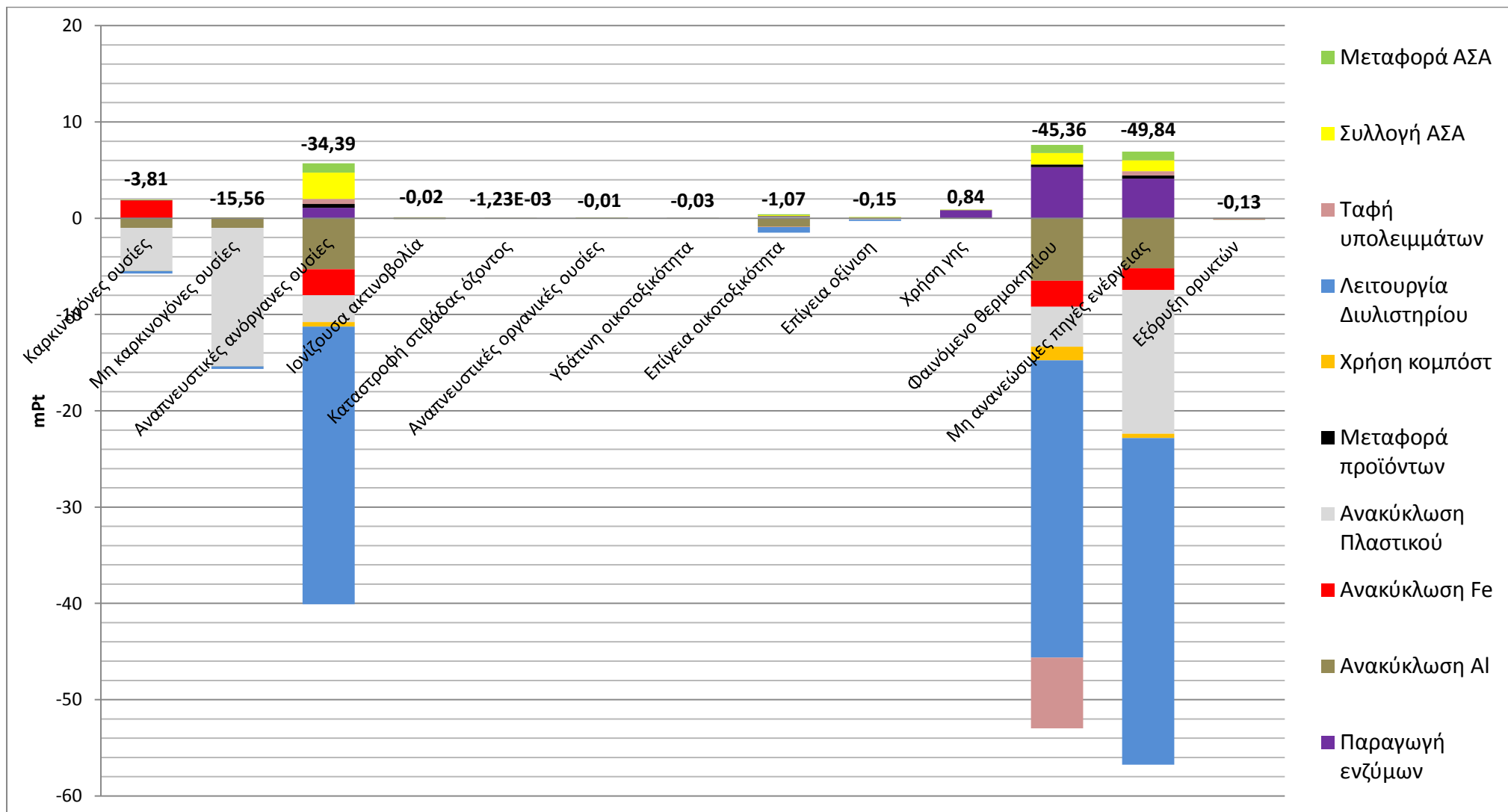
Η μονάδα μέτρησης των επιπτώσεων στην **ανθρώπινη υγεία** είναι τα DALYs (disability-adjusted life years) και αναφέρεται στα χρόνια ζωής εκείνα κατά τα οποία το σύνολο του πληθυσμού νοσεί ή χάνει λόγω πρόωρου θανάτου εξαιτίας των αντίστοιχων εκπομπών. Η μονάδα μέτρησης των επιπτώσεων στην **ποιότητα οικοσυστήματος** είναι τα PDFx m^2 yr και αναφέρεται στην εν δυνάμει απώλεια βιοποικιλότητας σε συγκεκριμένη περιοχή και κατά την διάρκεια ενός έτους (PDF - Potentially Disappeared Fraction of species). Η κατηγορία της **κλιματικής αλλαγής** αφορά μόνο τα αέρια του θερμοκηπίου και μετρείται σε kg CO₂-eq. Αξίζει εδώ να σημειωθεί, ότι εγγενώς η Impact 2002+ λαμβάνει την μεθοδολογία IPCC 2001 για ορίζοντα 500-ετίας. Για να τηρηθεί ο προσδιορισμός του σκοπού και του πεδίου μελέτης που έγινε στο Στάδιο 1, γίνεται χρήση της μεθοδολογίας IPCC 2007 για ορίζοντα 100-ετίας, ούτως ώστε τα αποτελέσματα να είναι συνακόλουθα. Τέλος, η κατηγορία των **πρώτων υλών** συμπεριλαμβάνει την εξόρυξη μεταλλευμάτων και την κατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μονάδα μέτρησης είναι τα ισοδύναμα kg αργού πετρελαίου και ορυκτού σιδήρου, τα οποία μετέπειτα ανάγονται σε MJ.

Τέλος, πέραν της μελέτης των 4 βασικών Σεναρίων επεξεργασίας ΑΣΑ εξετάζεται η περιβαλλοντική συμπεριφορά της ΜΜΒΕ και της ΔσΠ, όταν αντί για κομποστοποίηση γίνεται αναερόβια χώνευση του ΒΒΑ κλάσματος με μετακομποστοποίηση του χωνεύματος (βλ. **Γράφημα 7** και **Γράφημα 10**).

4.3.1 Σενάριο Ι – Διυλιστήριο αποβλήτων

Πίνακας 44. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. μέσω του Σεναρίου Ι – Διυλιστήριο αποβλήτων σε 15 κατηγορίες επίπτωσης με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 την αναμενόμενη θεώρηση.

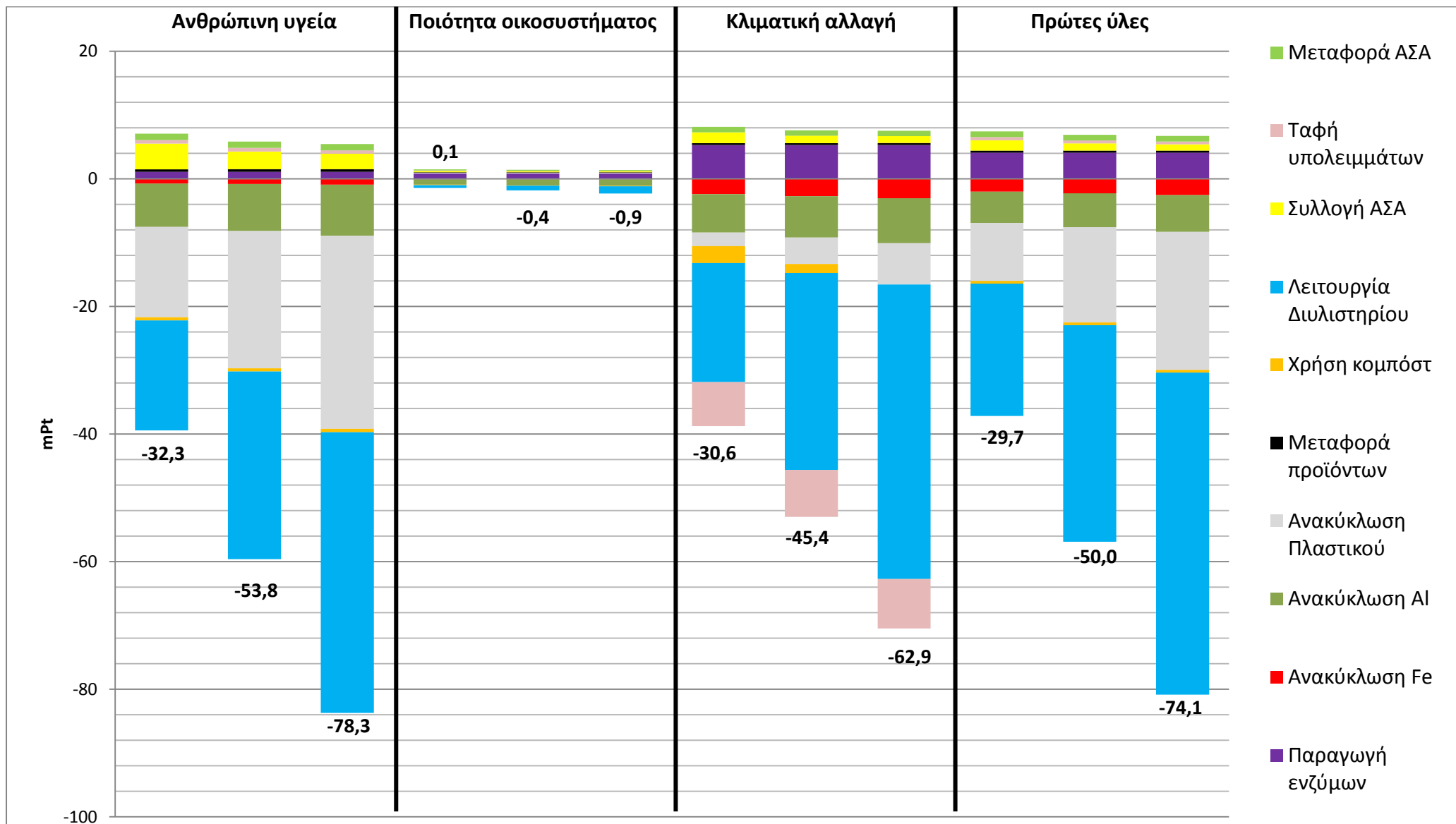
	Παραγωγή ενζύμων	Ανακύκλ. AI	Ανακύκλ. Fe	Ανακύκλωση Πλαστικού	Μεταφορά προϊόντων	Χρήση κομπόστ	Λειτουργία Διυλιστηρίου	Ταφή υπολειμ.	Συλλογή ΑΣΑ	Μεταφορά ΑΣΑ	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες kg C2H3Cl eq	0,001	-2,546	4,718	-11,238	0,022	-0,043	-0,718	0,046	0,057	0,044	-9,66
Μη καρκινογόνες ουσίες kg C2H3Cl eq	0,001	-2,506	0,076	-36,405	0,028	-0,065	-0,648	0,034	0,024	0,052	-39,41
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες kg PM2.5 eq	0,011	-0,054	-0,028	-0,028	0,004	-0,005	-0,292	0,005	0,028	0,010	-0,35
Ιονίζουσα ακτινοβολία Bq C-14 eq	1,258	-1717,007	113,743	2064,537	26,511	-58,891	-1131,067	28,415	23,109	53,356	-596,04
Καταστροφή στιβάδας όζοντος kg CFC-11 eq	1,76 E-08	-3,93 E-06	-1,11 E-07	2,13 E-06	4,51 E-07	-4,94 E-07	-9,44 E-06	6,43 E-07	1,46 E-06	9,70 E-07	-8,30 E-06
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες kg C2H4 eq	0,015	-0,009	-0,003	-0,017	0,002	-0,001	-0,015	0,002	0,004	0,003	-0,02
Υδάτινη οικοτοξικότητα kg TEG water	6,6	-5370,6	-1250,4	-260,5	173,5	-489,8	-2368,0	155,0	441,3	364,6	-8598,3
Επίγεια οικοτοξικότητα kg TEG soil	3,6	-1462,3	-46,0	260,7	108,3	-63,3	-1018,4	58,5	96,6	209,4	-1853,0
Επίγεια οξίνιση kg SO2 eq.	0,142	-0,764	-0,366	-0,561	0,130	-0,065	-2,082	0,154	1,138	0,290	-1,98
Χρήση γης m2org.arable	10,55	-0,20	-0,16	0,07	0,02	-0,04	-0,12	0,32	0,01	0,04	10,51
Υδάτινη οξίνιση kg SO2 eq	0,140	-0,262	-0,093	-0,136	0,019	-0,028	-1,360	0,032	0,159	0,052	-1,48
Υδάτινος ευτροφισμός kg PO4 P-lim	0,035	-0,013	-0,004	0,004	0,000	-0,027	-0,284	0,006	0,001	0,003	-0,28
Φαινόμενο θερμοκηπίου kg CO2 eq	52,609	-64,162	-26,818	-41,076	2,732	-13,989	-305,706	-72,818	11,770	8,321	-449,14
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας MJ primary	626,8	-789,9	-342,1	-2269,1	47,0	-67,5	-5156,5	68,9	172,3	135,1	-7575,0
Εξόρυξη ορυκτών MJ surplus	0,001	-14,989	-4,351	0,032	0,027	-0,162	-0,618	0,094	0,009	0,042	-19,92



Γράφημα 3. Κανονικοποιημένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα ανά κατηγορία επίπτωσης για επεξεργασία 1tn ΑΣΑ υ.β. μέσω του Σεναρίου I – Διυλιστήριο αποβλήτων με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 για την αναμενόμενη θεώρηση.

Πίνακας 45. Αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το Σενάριο 1 στις 4 κατηγορίες ζημιών με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 και για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση επεξεργασίας 1τη ΑΣΑ υ.β.

Κατηγορία ζημιών	Θεώρηση	Παραγωγή ενζύμων	Ανακύκλωση Fe	Ανακύκλωση AI	Ανακύκλωση Πλαστικού	Μεταφορά προϊόντων	Χρήση κομπόστ	Λειτουργία Διυλιστηρίου	Συλλογή ΑΣΑ	Ταφή υπολειμμάτων	Μεταφορά ΑΣΑ	Σύνολο
Ανθρώπινη υγεία (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	1,09	-0,73	-6,82	-14,14	0,41	-0,51	-17,21	4,01	0,58	1,00	-32,32
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	1,09	-0,82	-7,35	-21,52	0,43	-0,51	-29,42	2,78	0,54	1,00	-53,78
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	1,09	-0,92	-8,00	-30,27	0,43	-0,51	-44,02	2,43	0,50	1,00	-78,27
Ποιότητα οικοσυστήματος (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	0,85	-0,06	-0,87	0,12	0,07	-0,05	-0,43	0,21	0,08	0,15	0,07
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	0,85	-0,07	-0,94	0,11	0,07	-0,05	-0,76	0,14	0,07	0,15	-0,42
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	0,85	-0,08	-1,02	0,11	0,08	-0,05	-1,16	0,13	0,07	0,15	-0,94
Κλιματική αλλαγή (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	5,31	-2,39	-6,02	-2,14	0,27	-2,64	-18,66	1,71	-6,90	0,84	-30,61
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	5,31	-2,71	-6,48	-4,15	0,28	-1,41	-30,88	1,19	-7,35	0,84	-45,36
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	5,31	-3,03	-7,06	-6,47	0,28	0,06	-46,18	1,04	-7,72	0,84	-62,92
Πρώτες ύλες (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	4,12	-2,01	-4,92	-9,05	0,30	-0,45	-20,75	1,63	0,49	0,89	-29,73
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	4,12	-2,28	-5,30	-14,93	0,31	-0,45	-33,93	1,13	0,45	0,89	-49,97
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	4,12	-2,55	-5,77	-21,62	0,31	-0,45	-50,45	0,99	0,41	0,89	-74,10



Γράφημα 4. Κανονικοποιημένα αποτελέσματα του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. στις 4 κατηγορίες ζημιάς για το Σενάριο Ι – Διυλιστήριο αποβλήτων με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση (αριστερά προς δεξιά σε κάθε κατηγορία).

Από τον **Πίνακα 44** και το **Γράφημα 3** προκύπτει πως, πλην της κατηγορίας της χρήσης γης, όλες οι άλλες εμφανίζουν περιβαλλοντικά οφέλη, με τα πιο εμφανή να εντοπίζονται στις κατηγορίες των καρκινογόνων και μη ουσιών, των αναπνευστικών ανόργανων ουσιών, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης, παρατηρείται ότι οι κύριες επιπτώσεις είναι η κατανάλωση Diesel (μεταφορά και συλλογή σύμμεικτων ΑΣΑ) και ενζύμων. Σχετικά με την παραγωγή των ενζύμων, αυτή μοντελοποιείται βάσει της πηγής [31], όπου και γίνεται περιγραφή του κύκλου ζωής της παραγωγής κυτταρινασών. Η επιβάρυνση στην χρήση γης οφείλεται στην κατανάλωση αμύλου και σακχάρων φυτικής προέλευσης (καλαμπόκι ή σιτάρι) και στην κατανάλωση πρωτεΐνης φυτικής προέλευσης (πατάτα). Οι ενεργειακές απαιτήσεις οδηγούν στην επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των αναπνευστικών ανόργανων ουσιών.

Το **κύριο όφελος** του Σεναρίου I είναι η αντικατάσταση του μίγματος καυσίμου από την ηλεκτροπαραγωγή, το οποίο αποτυπώνεται στη λειτουργία του Διυλιστηρίου, με τις ανακυκλώσεις των Fe, Al και πλαστικού να επιδρούν επίσης θετικά. Ομοίως, και η ταφή των υπολειμμάτων έχει μια ελαφρά θετική συνεισφορά λόγω των αποφυγουσών εκπομπών CO₂-eq. Στο μίγμα καυσίμου για την ηπειρωτική Ελλάδα κυριαρχεί η παρουσία του λιγνίτη (44,1% - βλ. **Κεφάλαιο 4.2.2**), γεγονός που επιφέρει μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον εν συγκρίσει με το μέσο Ευρωπαϊκό. Επομένως, στην Ελληνική Επικράτεια η αντικατάσταση της ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το βιοαέριο, οδηγεί σε μεγάλα περιβαλλοντικά οφέλη.

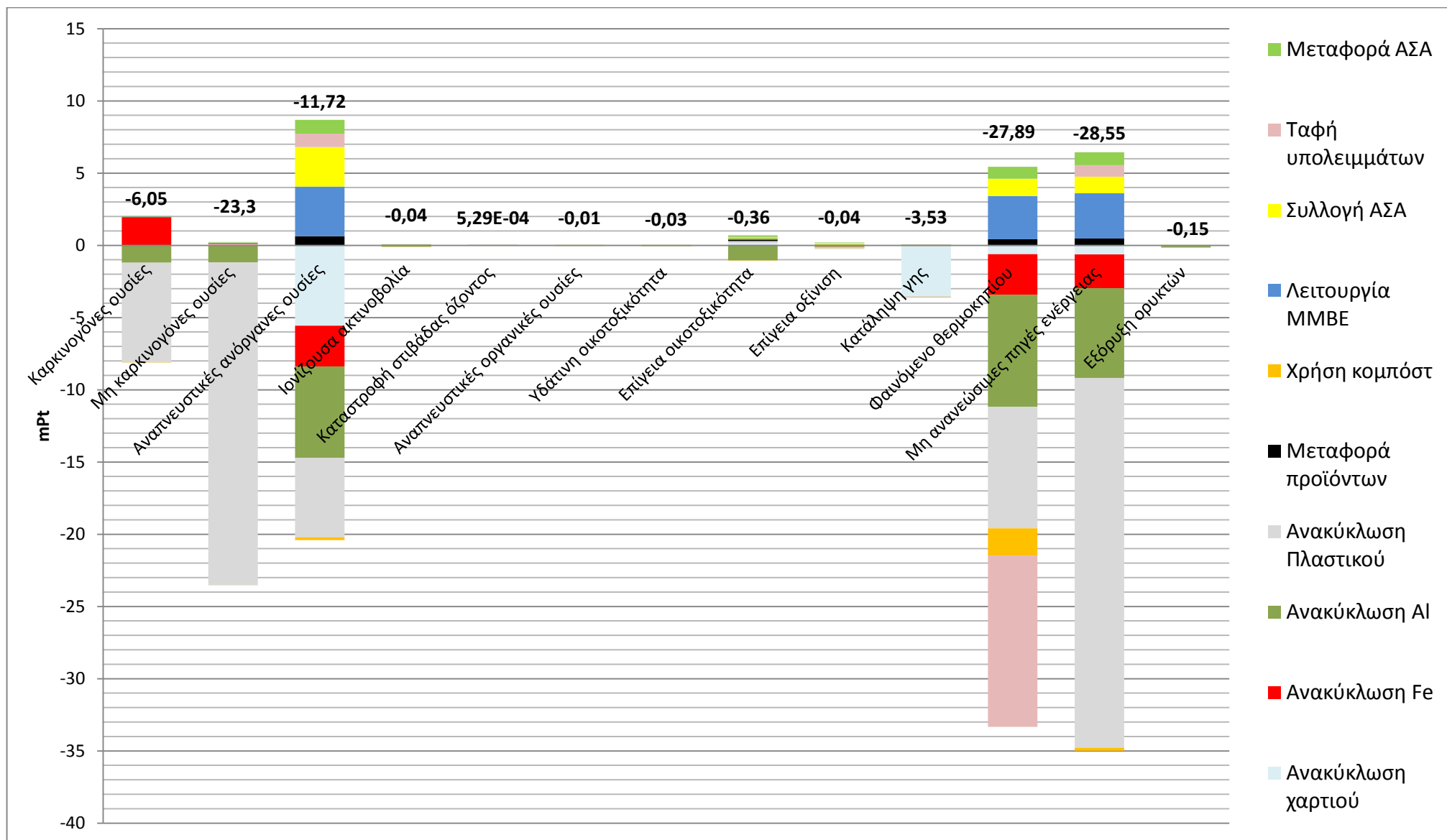
Αναφορικά τώρα με την **ανακύκλωση των υλικών**, την μεγαλύτερη ελάφρυνση αναλογικά πάντα με την τελικά αντικαθιστάμενη ποσότητα προϊόντος είναι αυτή του Al. Αν και ανά τη ΑΣΑ αντικαθίστανται 5,6kg Al, η αντικατάσταση της παραγωγής πρωτεύοντος Al από βωξίτη με Al από αλουμινούχο σκραπ οδηγεί σε πολλαπλά οφέλη λόγω της αποφυγής χρήσης μεγάλων ποσών ηλ. ενέργειας. Τα οφέλη της ανακύκλωσης του Al είναι συγκρίσιμα με αυτά του Fe, αν και η τελικά αντικαθιστάμενη ποσότητα Fe είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από αυτή του Al (19,6kg Fe > 5,6kg Al). Τέλος, αναφορικά με την ανακύκλωση πλαστικού, αν και λαμβάνεται μεγάλη απώλεια ποιότητας υλικού (50%) στην αναμενόμενη θεώρηση (βλ. **Κεφάλαιο 4.2.4**), η ανακύκλωση του σε ημιτελικά προϊόντα (π.χ. ρητίνες) οδηγεί σε πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη, πέραν του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Στον **Πίνακα 45** και στο **Γράφημα 4** παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας των κανονικοποιημένων επιπτώσεων στις κατηγορίες ζημιάς. Η τάση για αύξηση των περιβαλλοντικών οφελών σε σχέση με τις αυξανόμενες ανακτήσεις υλικών και ηλεκτροπαραγωγής είναι λογική και επιβεβαιώνεται στο **Γράφημα 4**. Τέλος, τα οφέλη της χρήσης του κομπόστ, το οποίο προκύπτει από την μετακομποστοποίηση του χωνεύματος, ως εδαφοβελτιωτικό μειώνονται με την βελτίωση των θεωρήσεων. Αυτό συμβαίνει, διότι οι παραγόμενες ποσότητες μειώνονται, καθώς και το περιεχόμενο σε C-bio, λόγω των πιο αισιόδοξων προβλέψεων για το BMP του υδαρούς χωνεύματος. Επομένως το χώνευμα είναι και φτωχότερο σε C-bio και λιγότερο σε ποσότητα (βλ. **Κεφάλαιο 4.2**).

4.3.2 Σενάριο II – ΜΜΒΕ

Πίνακας 46. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.θ. μέσω του Σεναρίου II – ΜΜΒΕ με αερόβια χώνευση σε 15 κατηγορίες επίπτωσης με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 για την αναμενόμενη θεώρηση.

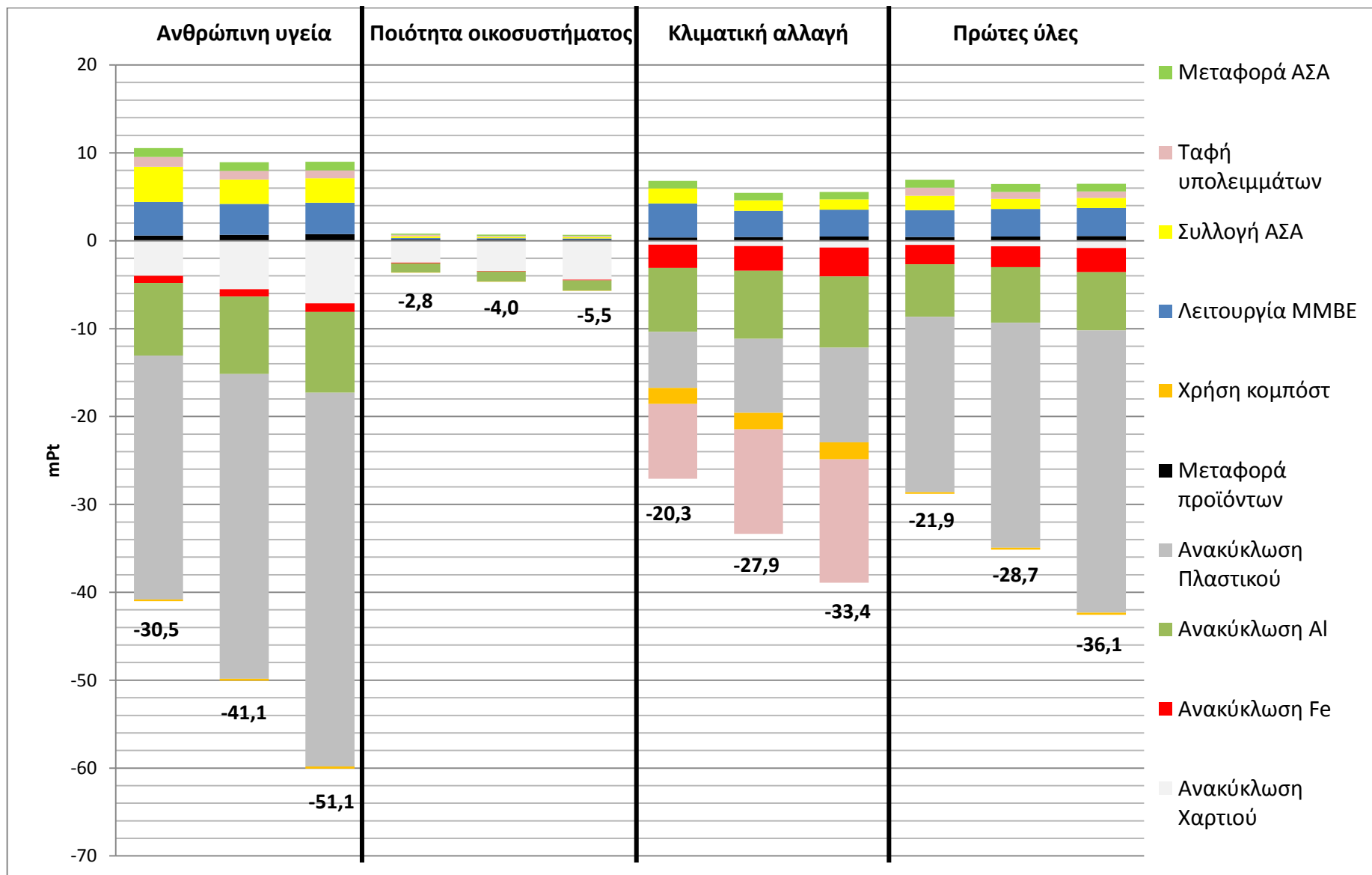
	Ανακύκλ. Χαρτιού	Ανακύκλ. Fe	Ανακύκλ. Al	Ανακύκλωση Πλαστικού	Μεταφορά προϊόντων	Χρήση κομπόστ	Λειτουργία ΜΜΒΕ	Συλλογή ΑΣΑ	Ταφή υπολειμ.	Μεταφορά ΑΣΑ	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες kg C2H3Cl eq	0,02	4,89	-3,05	-17,49	0,03	-0,02	0,10	0,06	0,08	0,04	-15,34
Μη καρκινογόνες ουσίες kg C2H3Cl eq	0,24	0,08	-3,00	-56,56	0,04	-0,03	0,08	0,02	0,06	0,05	-59,02
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες kg PM2.5 eq	-0,06	-0,03	-0,06	-0,06	0,01	-2,03E-03	0,03	0,03	0,01	0,01	-0,12
Ιονίζουσα κτινοβολία Bq C-14 eq	-1451,39	117,81	-2054,28	1821,08	40,79	-27,01	104,50	23,11	50,63	53,36	-1321,40
Καταστροφή στιβάδας όζοντος kg CFC-11 eq	1,19E-06	-1,15E-07	-4,70E-06	1,88E-06	6,93E-07	-2,36E-07	1,29E-06	1,46E-06	1,15E-06	9,70E-07	3,58E-06
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες kg C2H4 eq	-0,01	-3,13E-03	-0,01	-0,03	3,30E-03	-5,35E-04	2,89E-03	4,48E-03	4,41E-03	3,41E-03	-0,04
Υδάτινη οικοτοξικότητα kg TEG water	-1361,94	-1295,07	-6425,55	-1343,34	266,87	-198,89	386,17	441,33	276,07	364,59	-8889,76
Επίγεια οικοτοξικότητα kg TEG soil	303,52	-47,69	-1749,56	198,37	166,64	-30,65	132,68	96,63	103,72	209,41	-616,93
Επίγεια οξίνιση kg SO2 eq.	-0,67	-0,38	-0,91	-1,10	0,20	-0,03	0,62	1,14	0,28	0,29	-0,56
Χρήση γης m2org.arable	-44,71	-0,16	-0,24	0,06	0,04	-0,03	0,02	0,01	0,57	0,04	-44,40
Υδάτινη οξίνιση kg SO2 eq	-0,22	-0,10	-0,31	-0,29	0,03	-0,01	0,18	0,16	0,06	0,05	-0,47
Υδάτινος ευτροφισμός kg PO4 P-lim	-0,03	-4,56E-03	-0,02	1,41E-03	4,57E-04	-0,01	0,02	1,19E-03	0,02	0,00	-0,01
Φαινόμενο θερμοκηπίου kg CO2 eq	-6,01	-27,78	-76,77	-83,39	4,20	-18,58	29,61	11,77	-117,51	8,32	-276,14
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας MJ primary	-96,52	-354,31	-945,02	-3890,46	72,31	-31,91	476,96	172,28	122,83	135,12	-4338,72
Εξόρυξη ορυκτών MJ surplus	-0,52	-4,51	-17,93	0,00	0,04	-0,09	0,24	0,01	0,17	0,04	-22,55



Γράφημα 5. Κανονικοποιημένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα ανά κατηγορία επίπτωσης για επεξεργασία 1tn ΑΣΑ υ.β. μέσω του Σεναρίου II – ΜΜΒΕ με αερόβια χώνευση με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 για την αναμενόμενη θεώρηση.

Πίνακας 47. Αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το Σενάριο II –ΜΜΒΕ με αερόβια χώνευση στις 4 κατηγορίες ζημιάς με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β.

Κατηγορία Ζημιάς	Θεώρηση	Ανακύκλωση Χαρτιού	Ανακύκλωση Fe	Ανακύκλωση Al	Ανακύκλωση Πλαστικού	Μεταφορά προϊόντων	Χρήση κομπόστ	Λειτουργία ΜΜΒΕ	Συλλογή ΑΣΑ	Ταφή υπολειμ.	Μεταφορά ΑΣΑ	Σύνολο
Ανθρώπινη υγεία (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	-4,00	-0,80	-8,27	-27,74	0,58	-0,21	3,82	4,01	1,12	1,00	-30,50
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	-5,52	-0,85	-8,79	-34,67	0,66	-0,22	3,52	2,78	0,98	1,00	-41,12
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	-7,11	-0,99	-9,18	-42,55	0,75	-0,23	3,57	2,78	0,90	1,00	-51,06
Ποιότητα οικοσυστήματος (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	-2,50	-0,07	-1,05	0,05	0,10	-0,02	0,16	0,21	0,14	0,15	-2,83
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	-3,44	-0,07	-1,12	0,03	0,12	-0,02	0,13	0,14	0,13	0,15	-3,96
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	-4,43	-0,09	-1,17	0,01	0,13	-0,02	0,13	0,14	0,12	0,15	-5,03
Κλιματική αλλαγή (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	-0,44	-2,64	-7,29	-6,39	0,38	-1,82	3,87	1,71	-8,49	0,84	-20,28
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	-0,61	-2,81	-7,75	-8,42	0,42	-1,88	2,99	1,19	-11,87	0,84	-27,89
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	-0,78	-3,28	-8,10	-10,78	0,49	-1,92	3,04	1,19	-14,06	0,84	-33,37
Πρώτες ύλες (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	-0,46	-2,22	-5,96	-19,97	0,42	-0,20	3,07	1,63	0,92	0,89	-21,87
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	-0,64	-2,36	-6,34	-25,60	0,48	-0,21	3,14	1,13	0,81	0,89	-28,70
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	-0,82	-2,76	-6,62	-32,13	0,55	-0,22	3,19	1,13	0,73	0,89	-36,05



Γράφημα 6. Κανονικοποιημένα αποτελέσματα του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. στις 4 κατηγορίες ζημιάς για το Σενάριο II – MMBE με αερόβια χώνευση με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση (αριστερά προς δεξιά σε κάθε κατηγορία).

Από τον **Πίνακα 46** και το **Γράφημα 5** προκύπτει ότι σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων παρουσιάζονται οφέλη, με τα σημαντικότερα να προκύπτουν στις κατηγορίες των καρκινογόνων και μη ουσιών, των αναπνευστικών ανόργανων ουσιών, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στη χρήση γης. Επίσης, παρατηρείται ότι οι **κύριες επιπτώσεις** είναι η κατανάλωση Diesel και ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες ενσωματώνονται στη λειτουργία της MMBE. Τα **κύρια οφέλη** προκύπτουν από την ανάκτηση των υλικών Fe, Al, πλαστικό και χαρτί και από την ταφή των υπολειμμάτων. Η ταφή παρουσιάζεται να έχει σημαντικές αποφυγούσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς τα υπολείμματα, τα οποία οδηγούνται προς ταφή είναι πλούσια σε C-bio και οδηγούν σε αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων C-bio στο σώμα του ΧΥΤ (-54,15 έως 42,12kg C-bio ανά τη ΑΣΑ υ.β.).

Η **πρώτη διαφοροποίηση** με το προηγούμενο Σενάριο είναι η «αντικατάσταση» της ηλεκτροπαραγωγής μέσω καύσης βιοαερίου με την ανακύκλωση χαρτιού. Αυτό οδηγεί σε υποβάθμιση της συμπεριφοράς του συστήματος στην κατηγορία των αναπνευστικών ανόργανων ουσιών, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο η ανακύκλωση χαρτιού (βλ. **Κεφάλαιο 4.2.3**), επιφέρει βελτίωση της συμπεριφοράς του συστήματος στην κατηγορία της χρήσης γης. Η **δεύτερη διαφοροποίηση** αφορά την ποσότητα των ημι-τελικών προϊόντων πλαστικού, τα οποία εντέλει αντικαθίστανται. Όπως προκύπτει από τα **Διάγραμμα Ροής 16, 17** και **Κεφάλαιο 4.2.4**, η ποσότητα από τη MMBE ανέρχεται σε 69,6kg ξ.β. ενώ από το Διυλιστήριο σε 41,1kg ξ.β. Αυτή η διαφορά στην απώλεια ποιότητας υλικού της τάξεως του 10% αντί για 50%, οδηγεί σε αναβάθμιση της συμπεριφοράς του συστήματος στις κατηγορίες των καρκινογόνων και μη εκπομπών (από -3,81 σε -6,05mPt και από -15,56 σε -23,30mPt).

Η χρήση του κομπόστ της MMBE είναι λιγότερο επωφελής, σε σύγκριση με εκείνη του Διυλιστηρίου, σε όλες τις κατηγορίες, εκτός από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η πιο δυσμενής συμπεριφορά οφείλεται στη μικρότερη αντικατάσταση ανόργανων λιπασμάτων ανά επεξεργασία 1tn ΑΣΑ (0,3kg N, 0,2kg P και 0,5kg K έναντι 0,8kg N, 0,5kg P και 1,0kg K). Η αντίστροφη συμπεριφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου προκύπτει, διότι το όφελος από την αποθήκευση C-bio είναι συγκρίσιμο (-22,3kg CO₂ για Διυλιστήριο και -21,2kg CO₂ για MMBE), ωστόσο η χρήση κομπόστ υψηλότερης περιεκτικότητας σε N οδηγεί σε υψηλότερες εκπομπές N₂O, το οποίο έχει παράγοντα χαρακτηρισμού 298 ως προς το φαινόμενο του θερμοκηπίου [97]. Άρα προκύπτουν χαμηλότερες εκπομπές N₂O στο Σενάριο II από ό,τι στο Σενάριο I (90g N₂O έναντι 33g N₂O). Έτσι, προκύπτουν οι εξής εκπομπές CO₂-eq.:

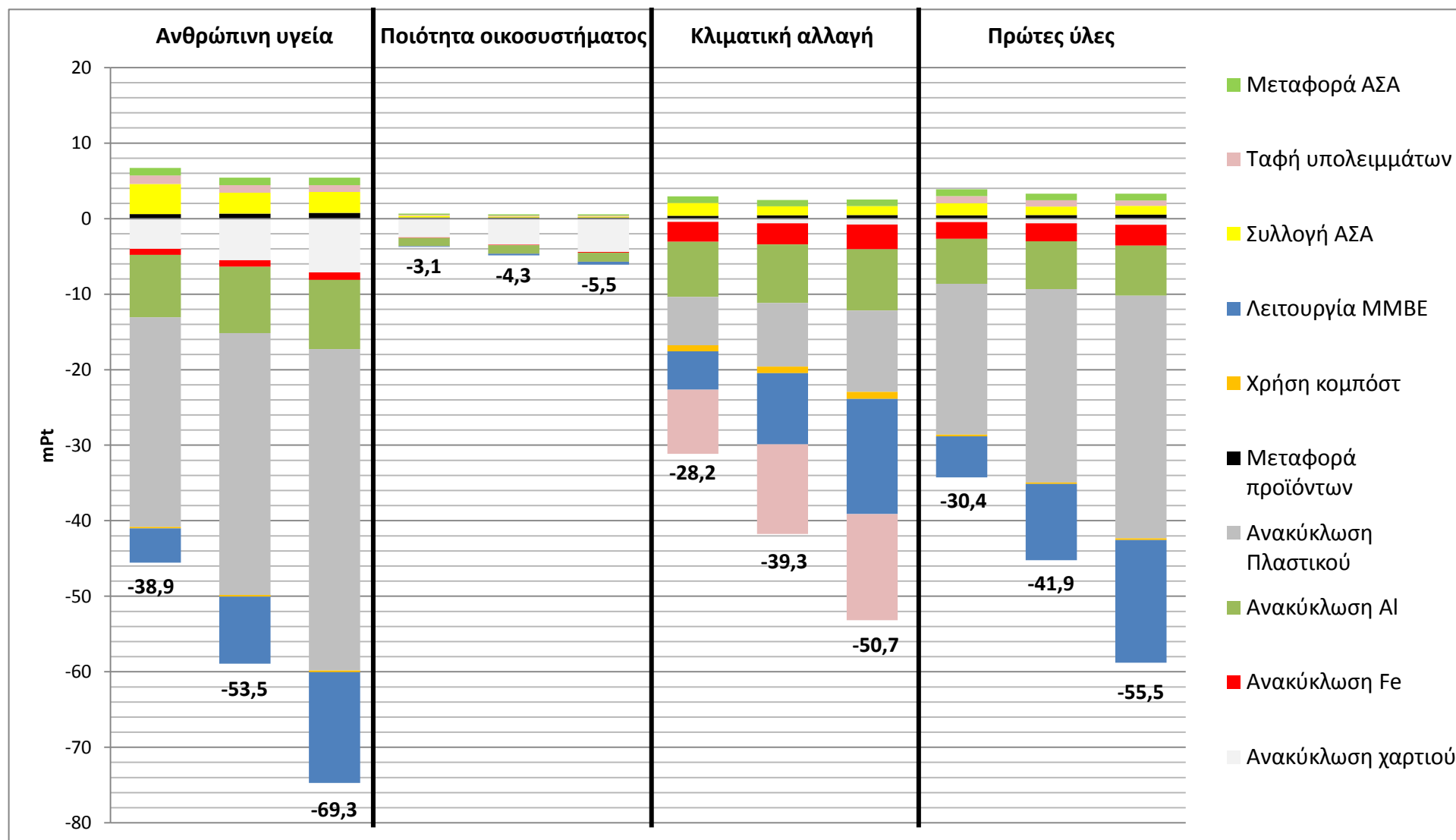
1. Σενάριο I: $-22,3 + 0,090 \times 298 = +4,52 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$
2. Σενάριο II: $-21,2 + 0,033 \times 298 = -11,37 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$

Πάνω σε αυτά τα αποτελέσματα έρχονται και προστίθενται οι αντικαταστάσεις των ανόργανων λιπασμάτων και δίνουν τις αποφυγούσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αναφορικά με τη χρήση του κομπόστ (-1,88mPt στο Σενάριο II και -1,41mPt στο Σενάριο I για την αναμενόμενη θεώρηση). Επομένως, η χρήση του κομπόστ της MMBE είναι συμφέρουσα από άποψη εκπομπών CO₂-eq, αλλά όχι από άποψη των υπολοίπων κατηγοριών επίπτωσης.

Τέλος, διενεργείται υπολογισμός του BMP του ρεύματος προς κομποστοποίηση και οδηγείται εικονικά προς αναερόβια χώνευση, αντί για κομποστοποίηση. Τα αποτελέσματα της αναερόβιας χώνευσης και μετακομποστοποίησης του χωνεύματος παρατίθενται στον ακόλουθο **Πίνακας 48** και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα στο **Γράφημα 7** στη διεργασία «**Λειτουργία ΜΜΒΕ**». Η παραγόμενη θερμότητα αξιοποιείται ως ιδιοκατανάλωση.

Πίνακας 48. Ισολογισμός μάζας για παραγωγή και αξιοποίηση του βιοαερίου και ανάλυση ευαισθησίας για την παραγόμενη ηλ. ενέργεια και για τις εκπομπές καυσαερίων/απαερίων για το Σενάριο II – ΜΜΒΕ..

	Περιγραφή	Μονάδα	Ανάλυση ευαισθησίας			Πηγή
			Δυσμενής	Αναμενόμενη	Αισιόδοξη	
Πρώτες ύλες	Προς χώνευση	kg υ.β. (kg ξ.β.)	421,9 (169,2)	434,5 (173,5)	447,2 (177,9)	
	Ηλ.ενέργεια	kWh _{el}	16,8	17,4	18,0	[25, 26]
	Θερμότητα	kWh _{th}	15,0	15,5	16,0	[25, 26]
	Diesel	L	0,48	0,50	0,52	[25, 26]
Βιοαέριο	BMP _{θεωρ.}	CH ₄ /kg VS		0,550		Υπολογισμός
	BMP _{πραγμ.}	Nm ³ CH ₄ ανά kg VS	0,180	0,248	0,329	Υπολογισμός
	CH ₄	Nm ³ CH ₄	26,7	38,2	52,2	
	CO ₂	Nm ³ CO ₂	17,8	25,4	37,3	
	Διαφυγόν CH ₄ (1% CH ₄ prod.)	Nm ³ CH ₄	0,3	0,4	0,5	
	Εκπομπές καύσης	g NO _x	20,9	29,9	40,9	[13]
		g N ₂ O	0,5	0,8	1,0	
		g SO ₂	14,6	20,8	28,4	
		g CO	446,5	637,5	872,4	
	n _{el}		0,37	0,40	0,43	[25, 26, 57]
	n _{th}		0,5	0,5	0,5	
	Ηλ. ενέργεια	kWh _{el}	100,8	155,7	229,0	Εξ. 12
	Θερμότητα	kWh _{th}	126,0	194,6	286,2	
Κομπόστ και απαέρια	Τελικό κομπόστ	kg υ.β. (64% ξ.β.)	128,2 (64% ξ.β.)	111,5 (64%ξ.β.)	88,0 (64% ξ.β.)	Υπολογισμός
	C:N		12,6	10,3	7,4	
	C:P		94,5	77,1	55,8	
	C:K		41,0	33,5	24,3	
	Διαφυγόν CH ₄ (0,2% C degr.)	g CH ₄	44,7	37,2	27,8	[13]
	Διαφυγόν N ₂ O (1,4% N degr.)	g N ₂ O	54,0	56,2	58,1	
	Διαφυγούσα NH ₃ (98,5% N degr.) (99% οξείδωση στο βιόφιλτρο)	g NH ₃	29,8	31,0	32,1	

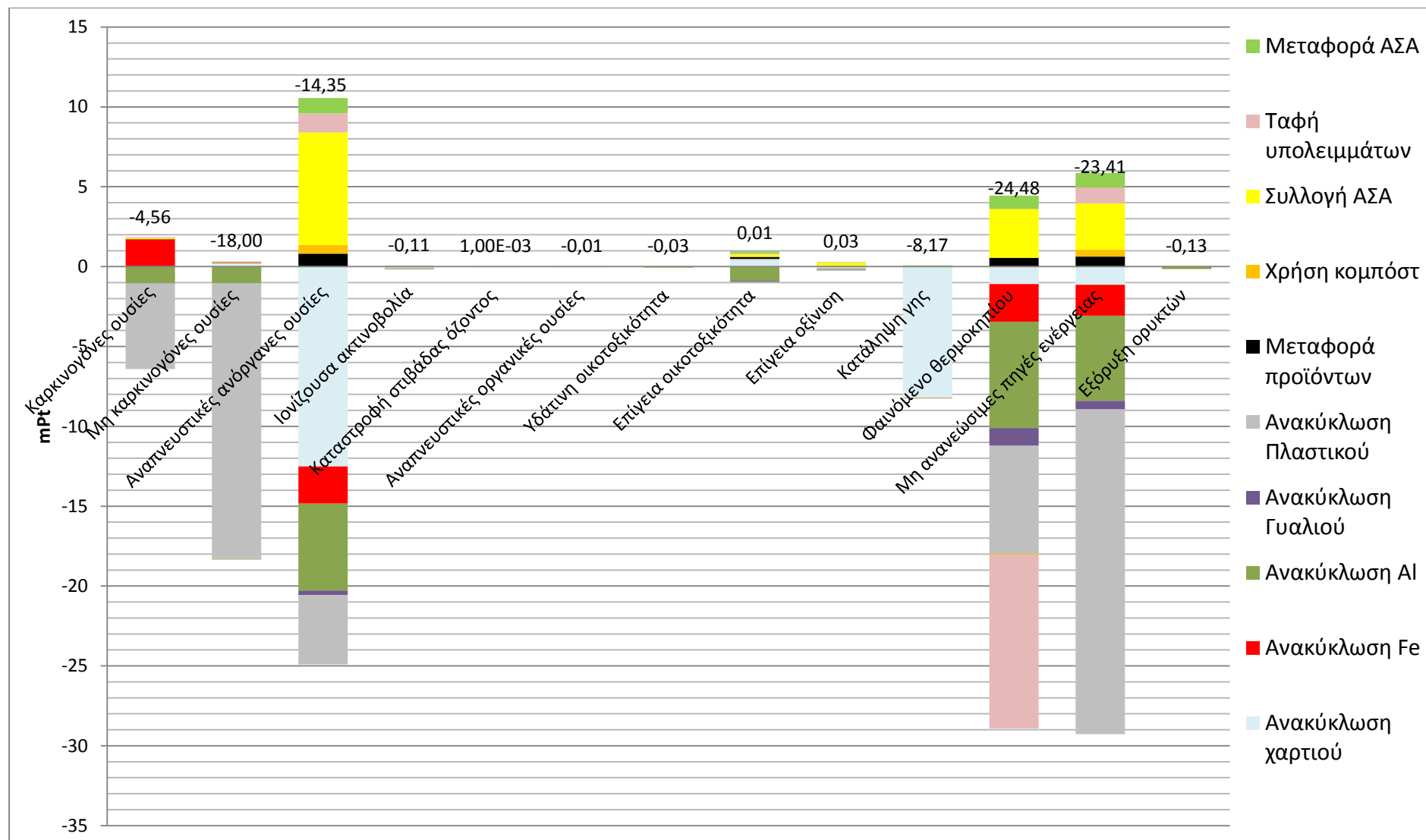


Γράφημα 7. Κανονικοποιημένα αποτελέσματα του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. στις 4 κατηγορίες ζημιάς για το Σενάριο II – ΜΜΒΕ με αναερόβια χώνευση με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση (αριστερά προς δεξιά σε κάθε κατηγορία).

4.3.3 Σενάριο III – ΔσΠ

Πίνακας 49. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις επεξεργασίας 1τη ΑΣΑ υ.β. του Σεναρίου III – ΔσΠ σε 15 κατηγορίες επίπτωσης με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 με αερόβια χώνευση οργανικού κάδου για την αναμενόμενη θεώρηση.

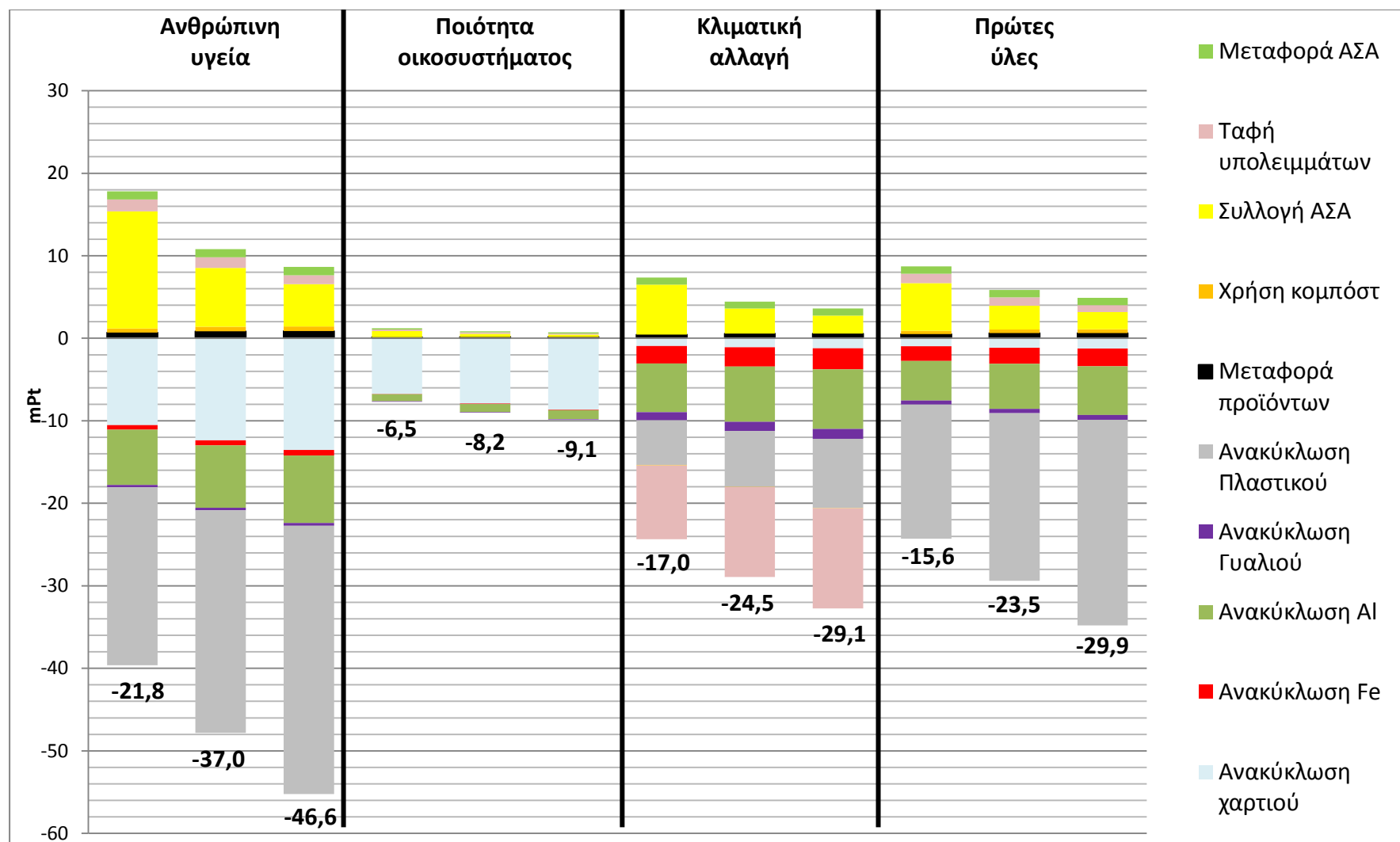
	Ανακύκλ. χαρτιού	Ανακύκλ. Fe	Ανακύκλ. Al	Ανακύκλ. Γυαλιού	Ανακύκλωση Πλαστικού	Μεταφορά προϊόντων	Χρήση κομπόστ	Συλλογή ΑΣΑ	Ταφή υπολειμ.	Μεταφορά ΑΣΑ	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	0,06	4,27	-2,63	-0,03	-13,58	0,04	0,01	0,15	0,11	0,04	-11,56
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	0,55	0,07	-2,59	-0,05	-43,83	0,06	-4,28E-03	0,06	0,08	0,05	-45,60
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	-0,13	-0,02	-0,06	-2,73E-03	-0,04	0,01	0,01	0,07	0,01	0,01	-0,15
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)	-3340,98	104,55	-1776,25	-54,67	1243,40	53,49	2,75	59,25	67,48	53,36	-3587,64
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)	2,93E-06	-5,53E-08	-4,05E-06	-5,61E-07	1,31E-06	9,09E-07	1,53E-07	3,74E-06	1,42E-06	9,70E-07	6,78E-06
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)	-0,03	0,00	-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	3,41E-03	-0,04
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	-3102,17	-1116,78	-5552,61	-431,55	-1156,43	349,97	-34,42	1131,50	360,22	364,59	-9187,68
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	712,96	-36,56	-1511,52	-104,68	130,55	218,52	8,01	247,74	134,91	209,41	9,35
Επίγεια οξίνιση (kg SO2 eq)	-1,47	-0,31	-0,78	-0,10	-0,87	0,26	0,14	2,92	0,35	0,29	0,43
Χρήση γης (m2org.arable)	-103,19	-0,14	-0,20	-0,03	0,04	0,05	-0,01	0,03	0,71	0,04	-102,70
Υδάτινη οξίνιση (kg SO2 eq)	-0,48	-0,08	-0,27	-0,02	-0,23	0,04	0,03	0,41	0,08	0,05	-0,47
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO4 P-lim)	-0,07	-3,15E-03	-0,01	-8,02E-04	1,39E-03	5,99E-04	-2,48E-03	3,06E-03	0,04	0,00	-0,04
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO2 eq)	-10,87	-23,21	-66,04	-10,96	-66,98	5,51	-0,53	30,18	-107,77	8,32	-242,35
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)	-173,46	-293,04	-811,80	-80,72	-3088,49	94,83	64,46	441,70	154,06	135,12	-3557,36
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)	-1,20	-3,94	-15,51	-0,08	0,00	0,06	-0,03	0,02	0,26	0,04	-20,37



Γράφημα 8. Κανονικοποιημένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα ανά κατηγορία επίπτωσης για επεξεργασία 1tn ΑΣΑ υ.θ. μέσω του Σεναρίου III – ΔοΠ με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 με αερόβια χώνευση για την αναμενόμενη θεώρηση.

Πίνακας 50. Αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το Σενάριο III - ΔσΠ στις 4 κατηγορίες ζημιάς με τον συνδυασμό των μεθόδων IMPACT 2002+ V2.10 με αερόβια χώνευση για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β.

Κατηγορία ζημιάς	Θεώρηση	Ανακύκλωση χαρτιού	Ανακύκλωση Fe	Ανακύκλωση Al	Ανακύκλωση Γυαλιού	Ανακύκλωση Πλαστικού	Μεταφορά προϊόντων	Χρήση κομπόστ	Συλλογή ΑΣΑ	Ταφή υπολειμ.	Μεταφορά ΑΣΑ	Σύνολο
Ανθρώπινη υγεία (mPt)	ΔΥΣΜΕΝ	-10,53	-0,55	-6,69	-0,27	-21,58	0,68	0,51	14,19	1,44	1,00	-21,80
	ΑΝΑΜΕΝ	-12,38	-0,61	-7,56	-0,30	-26,98	0,86	0,55	7,13	1,28	1,00	-37,03
	ΑΙΣΙΟΔΟΞ	-13,53	-0,67	-8,18	-0,33	-32,52	0,87	0,57	5,13	1,07	1,00	-46,59
Ποιότητα οικοσυστή- ματος (mPt)	ΔΥΣΜΕΝ	-6,74	-0,05	-0,86	-0,06	0,01	0,12	0,01	0,74	0,18	0,15	-6,50
	ΑΝΑΜΕΝ	-7,92	-0,06	-0,97	-0,07	0,01	0,15	0,01	0,37	0,16	0,15	-8,17
	ΑΙΣΙΟΔΟΞ	-8,66	-0,07	-1,05	-0,08	0,01	0,15	0,01	0,27	0,14	0,15	-9,13
Κλιματική αλλαγή (mPt)	ΔΥΣΜΕΝ	-0,93	-2,11	-5,90	-1,00	-5,40	0,44	-0,07	6,07	-8,94	0,84	-17,00
	ΑΝΑΜΕΝ	-1,10	-2,34	-6,67	-1,11	-6,77	0,56	-0,05	3,05	-10,89	0,84	-24,48
	ΑΙΣΙΟΔΟΞ	-1,20	-2,56	-7,22	-1,22	-8,36	0,56	-0,03	2,19	-12,14	0,84	-29,14
Πρώτες ύλες (mPt)	ΔΥΣΜΕΝ	-0,98	-1,76	-4,82	-0,48	-16,25	0,50	0,39	5,79	1,15	0,89	-15,56
	ΑΝΑΜΕΝ	-1,15	-1,95	-5,44	-0,53	-20,32	0,62	0,42	2,91	1,02	0,89	-23,54
	ΑΙΣΙΟΔΟΞ	-1,26	-2,14	-5,89	-0,58	-24,94	0,63	0,45	2,09	0,85	0,89	-29,90



Γράφημα 9. Κανονικοποιημένα αποτελέσματα του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. στις 4 κατηγορίες ζημιές για το Σενάριο III –ΔσΠ με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 με αερόβια χώνευση για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση (αριστερά προς δεξιά σε κάθε κατηγορία)

Από τον **Πίνακα 49** και το **Γράφημα 8** προκύπτει αρχικά ότι σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων παρουσιάζονται οφέλη, πλην της επίγεια οξίνισης, οικοτοξικότητας και καταστροφή της στιβάδας του όζοντος, όπου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι σχεδόν μηδενικές. Η **κύρια επίπτωση** είναι η κατανάλωση Diesel. Ειδικά σε σχέση με το Σενάριο I και II, η ΔσΠ εμφανίζει αυξημένη κατανάλωση λόγω της συλλογής των ΑΣΑ, όπου και για την αναμενόμενη θεώρηση λαμβάνεται 9,64L Diesel αντί για 3,76L Diesel ανά τη ΑΣΑ υ.β. (βλ. **Κεφάλαιο 4.2.1**). Τα **κύρια οφέλη** προκύπτουν στις κατηγορίες των καρκινογόνων και μη ουσιών, των αναπνευστικών ανόργανων ουσιών, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην χρήση γης και οφείλονται στην ανάκτηση των υλικών Fe, Al, πλαστικό και χαρτί και από την ταφή των υπολειμμάτων. Επιπλέον, γίνεται και ανάκτηση του γυάλινου κλάσματος των ΑΣΑ, το οποίο ωστόσο έχει μικρή συνεισφορά στις προαναφερθείσες κατηγορίες.

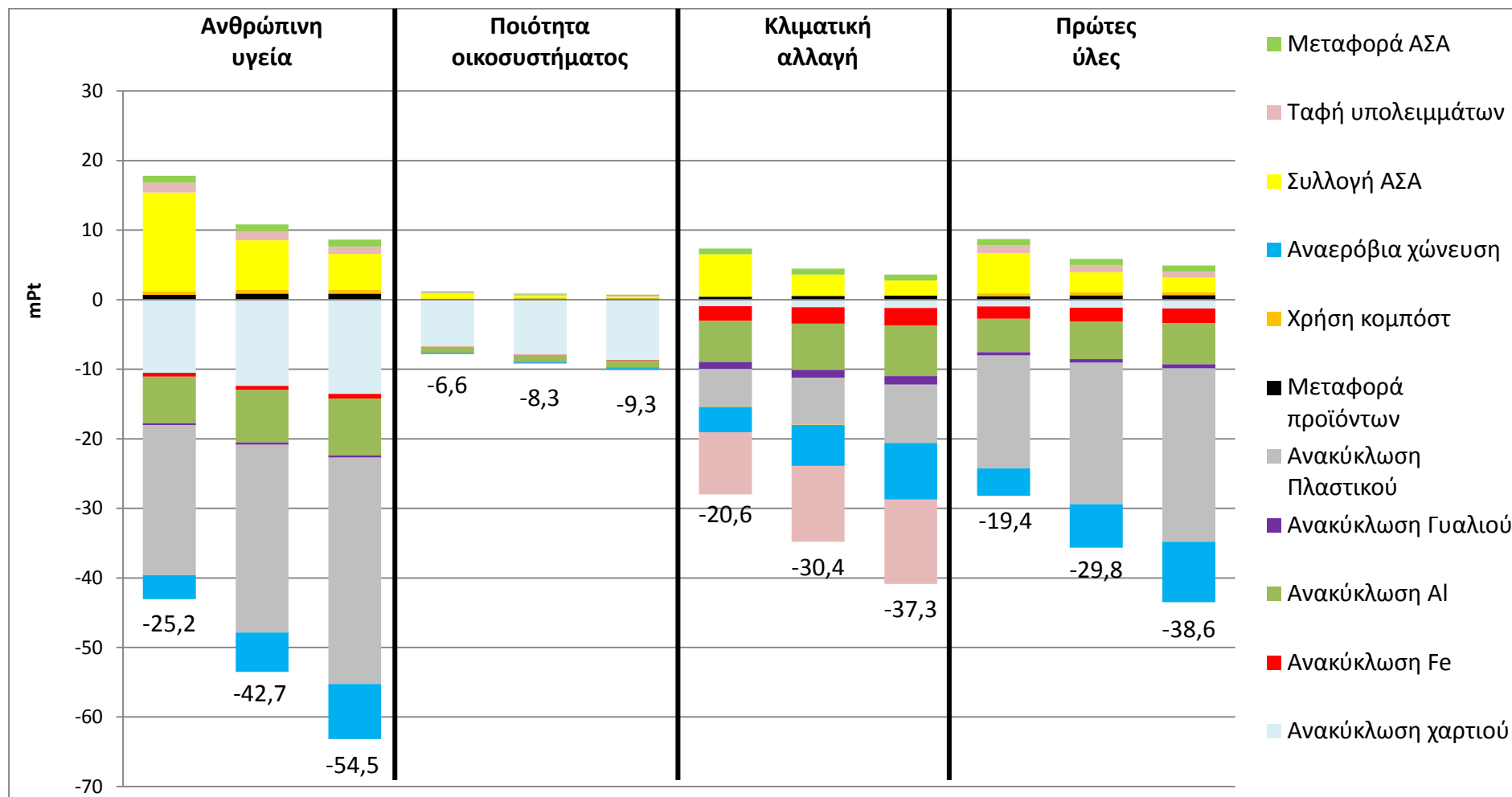
Η **πρώτη διαφοροποίηση** σε σχέση με τα προηγούμενα Σενάρια είναι η αυξημένη ανάκτηση χαρτιού σε χαρτόνι σε σχέση με τη ΜΜΒΕ (177,6kg ξ.β. έναντι 77,6 kg ξ.β.) και η **δεύτερη διαφοροποίηση** είναι η ανάκτηση του γυαλιού (19,7kg ξ.β.). Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ΔσΠ είναι παρεμφερές με αυτό της ΜΜΒΕ, με την τελευταία να έχει ελαφρώς καλύτερη περιβαλλοντική συμπεριφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στις καρκινογόνες και μη ουσίες. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ποσότητα του πλαστικού που ανακτάται από την μηχανική διαλογή της ΜΜΒΕ (79,7kg ξ.β. έναντι 52,5kg ξ.β.). Αντίθετα, η ΔσΠ έχει μεγαλύτερες ωφέλειες στη χρήση γης λόγω της αυξημένης ανακύκλωσης χαρτιού σε χαρτόνι (157,5kg ξ.β. έναντι 79,5kg ξ.β. χαρτονιού).

Η χρήση του κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό εμφανίζεται να έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναφορικά με τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και των εκπομπών αναπνευστικών ανόργανων ουσιών. Αυτό συμβαίνει, διότι έχει αντιστοιχιστεί σε αυτό το περιβαλλοντικό φορτίο για την **παραγωγή** του (βλ. **Κεφάλαιο 4.2.8**), ενώ στα Σενάρια I και II οι πρώτες ύλες για την παραγωγή του έχουν αντιστοιχιστεί απευθείας στις ΜΕΑ (**Λειτουργία Διυλιστηρίου** και **Λειτουργία ΜΜΒΕ**)

Τέλος, διενεργείται υπολογισμός του BMP του οργανικού κάδου, αφού έχει υποστεί μηχανολογική προεπεξεργασία και οδηγείται προς αναερόβια χώνευση. Τα αποτελέσματα της αναερόβιας χώνευσης και μετακομποστοποίησης του χωνεύματος παρατίθενται στον ακόλουθο **Πίνακα 51** και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα στο **Γράφημα 10** στη διεργασία «**Αναερόβια χώνευση**». Η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για να καλύψει τις αρχικές θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης (ιδιοκατανάλωση). Δεν εξετάζεται η διαχείριση της περίσσειας θερμικής ενέργειας.

Πίνακας 51. Ισολογισμός μάζας για παραγωγή και αξιοποίηση του βιοαερίου και ανάλυση ευαισθησίας για την παραγόμενη ηλ. ενέργεια και για τις εκπομπές καυσαερίων/απαερίων για το Σενάριο III – ΔσΠ.

	Περιγραφή	Μονάδα	Ανάλυση ευαισθησίας			Πηγή
			Δυσμενείς θεωρήσεις	Αναμενό- μενες	Αισιόδοξες θεωρήσεις.	
Πρώτες ύλες	Προς χώνευση αρχικά	kg υ.β. (kg ξ.β.)	301,6 (125,5)	328,5 (126,4)	348,9 (121,8)	
	Ηλ. ενέργεια	kWh _{el}	12,0	13,1	14,0	[25, 26]
	Diesel	L	0,35	0,37	0,4	[25, 26]
	Θερμότητα	kWh _{th}	10,7	11,8	12,5	[25, 26]
	Προς χώνευση τελικά	kg υ.β. (kg ξ.β.)	205,1 (70,9)	233,8 (78,2)	260,3 (83,7)	
	BMP _{θεωρ.}	Nm ³ CH ₄ /kg VS	0,530	0,560	0,590	Υπολογισμός
	BMP _{πραγμ.}	Nm ³ CH ₄ /kg VS	251	308	347	Υπολογισμός
	CH ₄	Nm ³ CH ₄	15,8	21,8	27,0	
	CO ₂	Nm ³ CO ₂	10,5	14,5	18,0	
Βιοαέριο	Διαφυγόν CH ₄ (1% CH ₄ prod.)	Nm ³ CH ₄	0,16	0,22	0,27	
	Εκπομπές καύσης	g NO _x	12,3	17,0	21,1	[13]
		g N ₂ O	0,3	0,4	0,5	
		g SO ₂	8,6	11,9	14,7	
		g CO	263,7	363,8	450,7	
	n _{el}		0,37	0,40	0,43	[25, 26, 57]
	Παραγόμενη ηλ. ενέργεια	kWh _{el}	59,6	88,8	118,3	Εξ. 12
	Παραγόμενη ηλ. ενέργεια	kWh _{th}	74,5	111,0	147,8	Εξ. 12
	Τελικό κομπόστ	kg υ.β.	53,9 (64% ξ.β.)	47,2 (64%ξ.β.)	40,0 (64% ξ.β.)	Υπολογισμός
	C:N		8,6	7,0	6,0	
C:P		64,1	52,2	44,1		
C:K		30,4	25,2	21,8		
Κομπόστ και απαέρια	Διαφυγόν CH ₄ (0,2% C degr.)	g CH ₄	6,78	6,27	6,0	[13]
	Διαφυγόν N ₂ O (1,4% N degr.)	g N ₂ O	39,1	45,0	50,3	
	Διαφυγούσα NH ₃ (98,5% N degr.) (99% οξείδωση στο βιόφιλτρο)	g NH ₃	21,6	25,0	27,8	



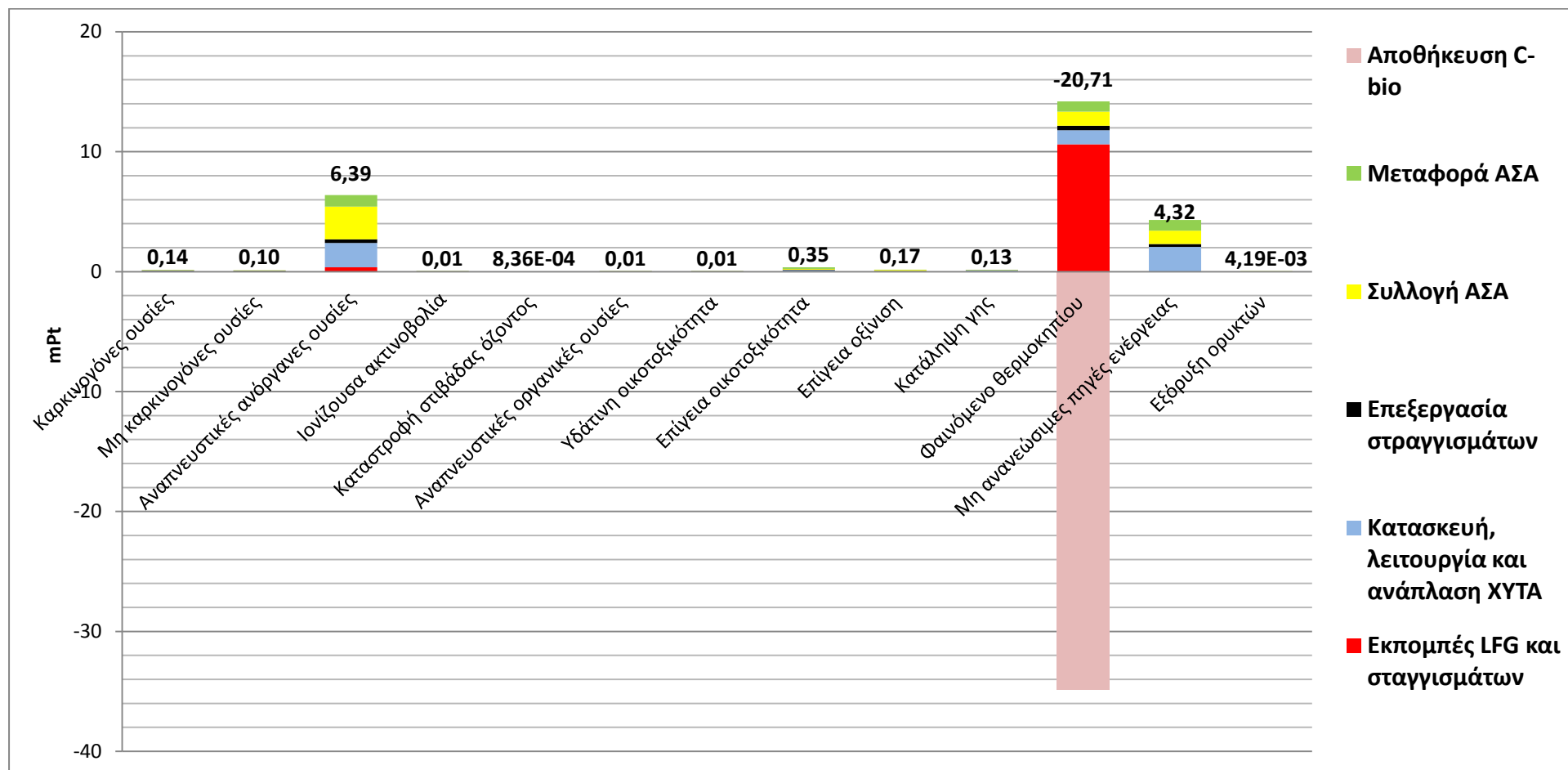
Γράφημα 10. Κανονικοποιημένα αποτελέσματα του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. στις 4 κατηγορίες ζημιάς για το Σενάριο III –ΔσΠ με τη μέθοδο IMPACT 2002+ V2.10 με αναερόβια χώνευση για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση (αριστερά προς δεξιά σε κάθε κατηγορία)

4.3.4 Σενάριο IV – ΧΥΤΑ

Από τον **Πίνακα 52** και το **Γράφημα 11** προκύπτει ότι το μόνο περιβαλλοντικό όφελος είναι η αποθήκευση του C-bio, εντός του σώματος του ΧΥΤΑ, ενώ οι κύριες επιπτώσεις εμφανίζονται στις αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (6,39mPt) και στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (4,32mPt). Αυτές οφείλονται στη συλλογή και μεταφοράς των ΑΣΑ και στη κατασκευή, λειτουργία και ανάπλαση του ΧΥΤΑ. Οι εκπομπές του LFG και των στραγγισμάτων έχουν την μεγαλύτερη αρνητική επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ωστόσο υπερκαλύπτονται από την αποθήκευση του C-bio εντός του ΧΥΤΑ ($94,22\text{kg C-bio} = -44/12 \times 94,22 = -345,5\text{kg CO}_2$).

Πίνακας 52. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. του Σεναρίου IV – ΧΥΤΑ σε 15 κατηγορίες επίπτωσης με χρήση της μεθόδου IMPACT 2002+ V2.10 για την αναμενόμενη θεώρηση.

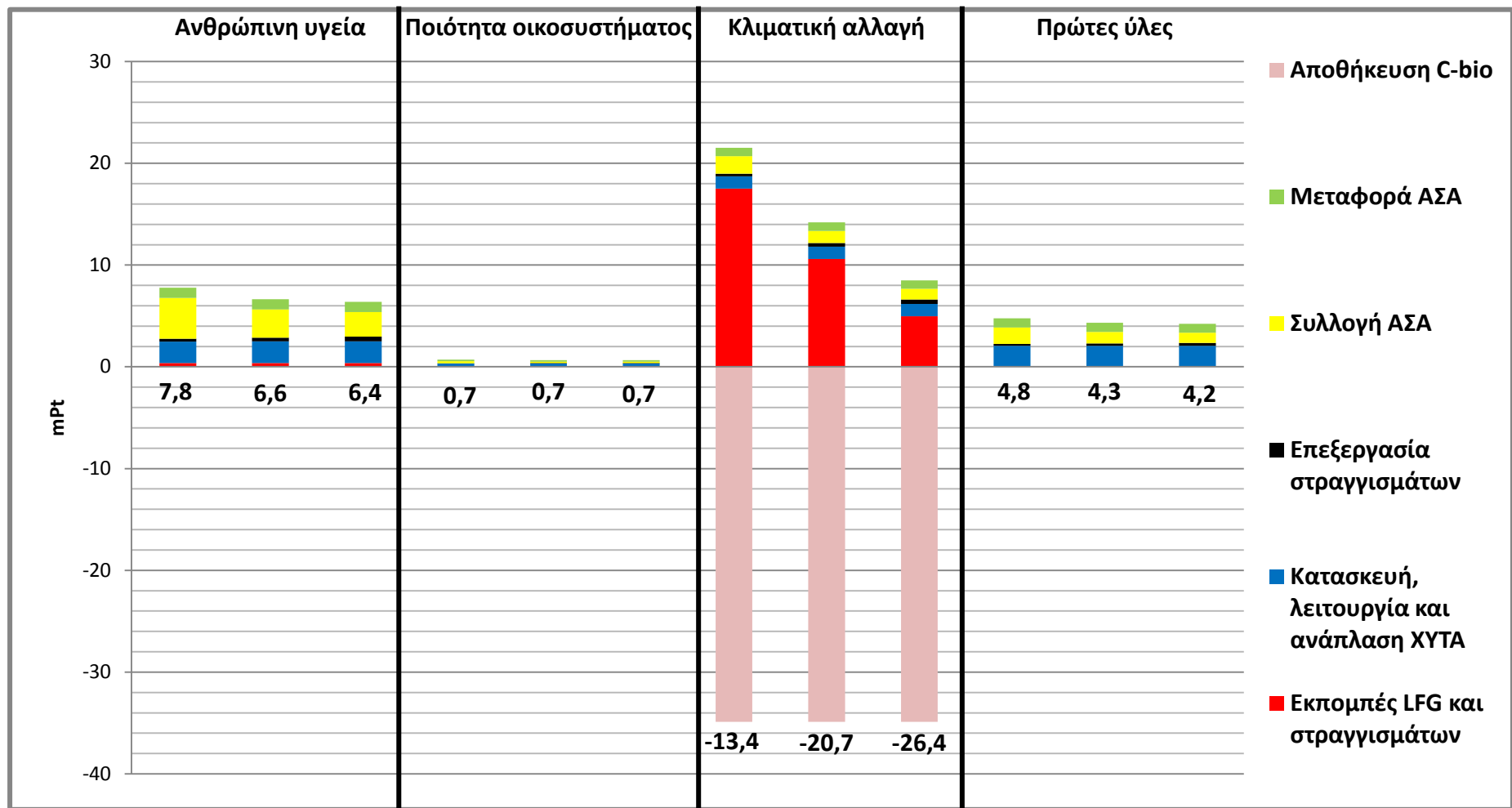
	Εκπομπές LFG και σταγισμάτων	Κατασκευή, λειτουργία και ανάπλαση ΧΥΤΑ	Επεξεργασία στραγγισμ.	Συλλογή ΑΣΑ	Μεταφορά ΑΣΑ	Αποθήκ. C-bio	Σύνολο
Καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	1,53E-03	0,16	0,09	0,06	0,04		0,35
Μη καρκινογόνες ουσίες (kg C2H3Cl eq)	0,02	0,07	0,10	0,02	0,05		0,26
Αναπνευστικές ανόργανες ουσίες (kg PM2.5 eq)	3,72E-03	0,02	3,04E-03	0,03	0,01		0,06
Ιονίζουσα ακτινοβολία (Bq C-14 eq)		101,89	50,78	23,11	53,36		229,13
Καταστροφή στιβάδας όζοντος (kg CFC-11 eq)		3,04E-06	1,77E-07	1,46E-06	9,70E-07		5,64E-06
Αναπνευστικές οργανικές ουσίες (kg C2H4 eq)		0,01	1,03E-03	4,48E-03	3,41E-03		0,02
Υδάτινη οικοτοξικότητα (kg TEG water)	0,64	606,78	207,62	441,33	364,59		1620,97
Επίγεια οικοτοξικότητα (kg TEG soil)	2,70	226,08	76,74	96,63	209,41		611,55
Επίγεια οξίνιση (kg SO2 eq)	0,05	0,69	0,06	1,14	0,29		2,22
Χρήση γης (m2org.arable)		1,49	0,12	0,01	0,04		1,66
Υδάτινη οξίνιση (kg SO2 eq)	0,06	0,10	0,02	0,16	0,05		0,39
Υδάτινος ευτροφισμός (kg PO4 P-lim)	0,08	2,07E-03	6,83E-04	1,19E-03	2,71E-03		0,09
Φαινόμενο θερμοκηπίου (kg CO2 eq)	105,05	11,80	3,50	11,77	8,32	-345,47	-205,02
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (MJ primary)		312,67	35,88	172,28	135,12		655,95
Εξόρυξη ορυκτών (MJ surplus)		0,10	0,49	0,01	0,04		0,64



Γράφημα 11. Κανονικοποιημένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα ανά κατηγορία επίπτωσης για επεξεργασία 1tn ΑΣΑ υ.β. μέσω του Σεναρίου IV – ΧΥΤΑ με τον συνδυασμό των μεθόδων IMPACT 2002+ V2.10 και IPCC 2007 100a για την αναμενόμενη θεώρηση.

Πίνακας 53. Αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το Σενάριο IV - ΧΥΤΑ στις 4 κατηγορίες ζημιάς με χρήση της μεθόδου IMPACT 2002+ V2.10 με χρήση της μεθόδου IMPACT 2002+ V2.10 για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β.

Κατηγορία ζημιάς	Θεώρηση	Εκπομπές LFG και στραγγισμάτων	Κατασκευή, λειτουργία και ανάπλαση ΧΥΤΑ	Επεξεργασία στραγγισμάτων	Συλλογή ΑΣΑ	Μεταφορά ΑΣΑ	Αποθήκευση C-bio	Σύνολο
Ανθρώπινη υγεία (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	0,37	2,12	0,28	4,01	1,00		7,78
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	0,37	2,12	0,38	2,78	1,00		6,65
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	0,37	2,12	0,47	2,43	1,00		6,40
Ποιότητα οικουσιή- ματος (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	0,01	0,30	0,04	0,21	0,15		0,71
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	0,01	0,30	0,06	0,14	0,15		0,66
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	0,01	0,30	0,07	0,13	0,15		0,66
Κλιματική αλλαγή (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	17,52	1,19	0,27	1,71	0,84	-34,89	-13,36
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	10,61	1,19	0,35	1,19	0,84	-34,89	-20,71
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	4,98	1,19	0,44	1,04	0,84	-34,89	-26,39
Πρώτες ύλες (mPt)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ		2,06	0,18	1,63	0,89		4,76
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ		2,06	0,24	1,13	0,89		4,32
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ		2,06	0,30	0,99	0,89		4,24



Γράφημα 12. Κανονικοποιημένα αποτελέσματα του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. στις 4 κατηγορίες ζημιάς για το Σενάριο IV-ΧΥΤΑ με χρήση της μεθόδου IMPACT 2002+ V2.10 για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση (αριστερά προς δεξιά σε κάθε κατηγορία)

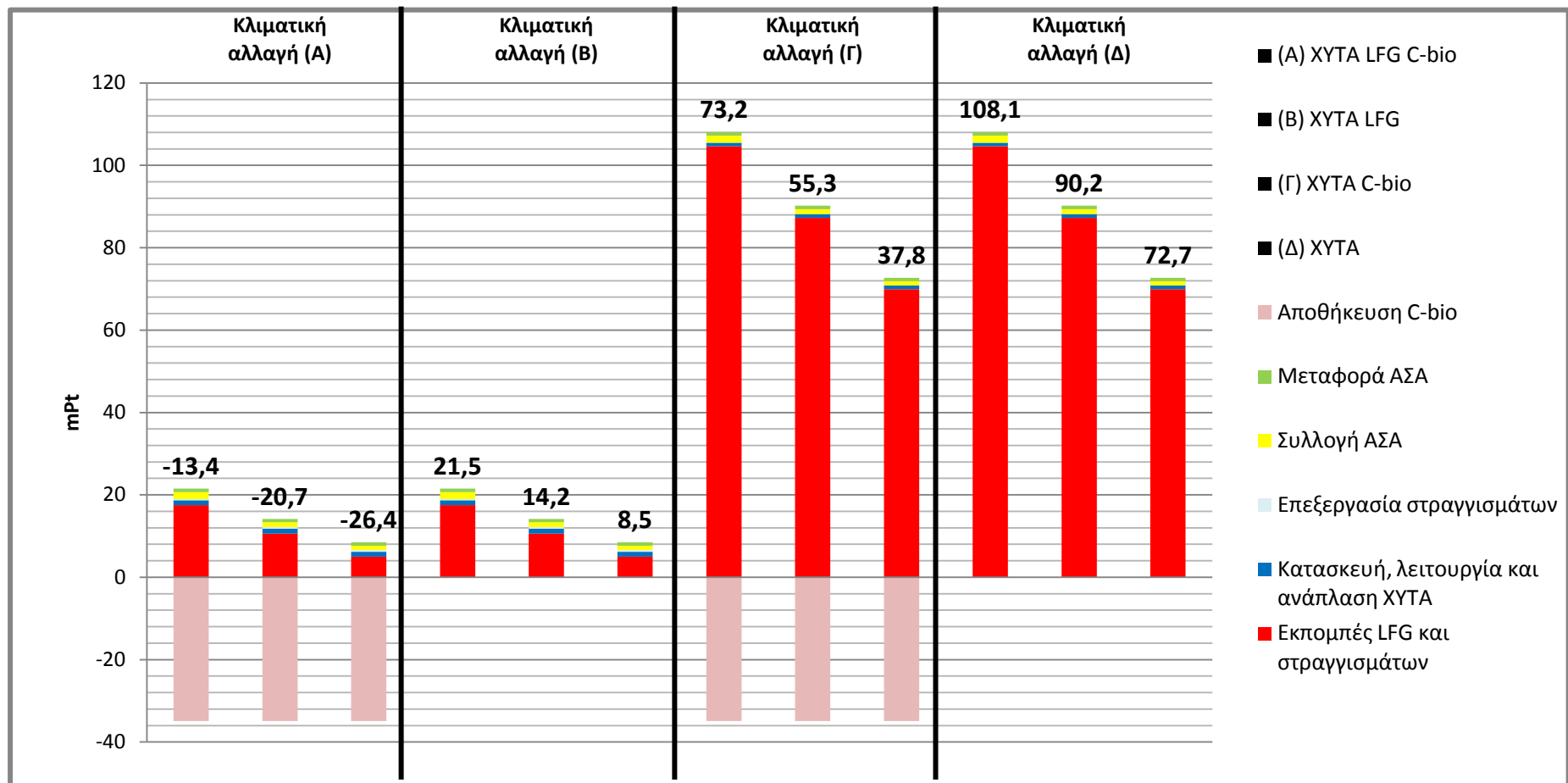
Στον **Πίνακα 53** και στο **Γράφημα 12** αναπαρίσταται η ανάλυση ευαισθησίας για το Σενάριο IV. Τα αποτελέσματά της ακολουθούν την αναμενόμενη τάση, καθώς καλύτερες αποδόσεις στη συλλογή του LFG ($\epsilon = 50/65/80\%$), στην απόδοση του πυρσού ($\eta = 95/97/99\%$) στην απόδοση της οξείδωσης της επικάλυψης ($\beta = 40/50/60\%$) και στη συλλογή των στραγγισμάτων ($\alpha = 30/40/50\%$) οδηγούν σε βελτιωμένα περιβαλλοντικά οφέλη, κυρίως ως προς το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το Σενάριο IV έχει συγκρίσιμα περιβαλλοντικά οφέλη μόνο στην κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα υπόλοιπα, όπου και η αισιόδοξη θεώρηση οδηγεί συνολικά σε αποφυγούσες εκπομπές -26,4mPt.

Ωστόσο, αυτές οι θεωρήσεις είναι οι βέλτιστες αναφορικά με τη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ. Έχει ληφθεί δηλαδή σύστημα συλλογής και επεξεργασίας του LFG και των στραγγισμάτων. Επιπλέον, έχει γίνει και η παραδοχή για αποθήκευση του C-bio λόγω του χρονικού ορίζοντα της 100ετίας. Για να δοθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τους ΧΥΤ, υπολογίζεται ο περιβαλλοντικός τους αντίκτυπος για ένα ευρύτερο φάσμα θεωρήσεων (βλ. **Γράφημα 13**):

- A. ΧΥΤΑ με σύστημα συλλογής και επεξεργασίας του LFG και των στραγγισμάτων (βασικό Σενάριο) και με θεώρηση για αποθήκευση C-bio.
- B. ΧΥΤΑ με σύστημα συλλογής και επεξεργασίας του LFG και των στραγγισμάτων (βασικό Σενάριο) χωρίς θεώρηση για αποθήκευση C-bio
- Γ. ΧΥΤΑ χωρίς σύστημα συλλογής και επεξεργασίας του LFG και των στραγγισμάτων (βασικό Σενάριο) και με θεώρηση για αποθήκευση C-bio
- Δ. ΧΥΤΑ χωρίς σύστημα συλλογής και επεξεργασίας του LFG και των στραγγισμάτων (βασικό Σενάριο) χωρίς θεώρηση για αποθήκευση C-bio

Πίνακας 54. Κύριες εκπομπές kg CO₂ eq.στα 4 υποσενάρια για ΧΥΤΑ με θεωρήσεις σχετικά με το σύστημα συλλογής LFG, την αποθήκευση του C-bio

	Kg C-bio			Kg C-bio LFG			Kg C-bio αποθ.
1tn ΑΣΑ υ.β.	188,29			94,07			94,22
	Εκπεμπόμενα kg CO ₂			Εκπεμπόμενα kg CH ₄			
$\epsilon=50\%/65\%/80\%$ $\beta=40\%/50\%/60\%$	Δυσμενής	Αναμενόμενη.	Αισιόδοξη	Δυσμενής	Αναμενόμενη.	Αισιόδοξη	
(Α), (Β) ΧΥΤΑ	283,3	308,0	328,2	22,4	13,4	6,1	
(Α), (Β) ΧΥΤΑ σε kg CO ₂ -eq	0	0	0	560,0	335,0	152,5	-345,4
$\epsilon=0\%$ $\beta=40\%/50\%/60\%$	Δυσμενής	Αναμενόμενη.	Αισιόδοξη	Δυσμενής	Αναμενόμενη.	Αισιόδοξη	
(Γ), (Δ) ΧΥΤΑ	231,0	250,1	269,0	41,4	34,5	27,6	
(Γ), (Δ) ΧΥΤΑ σε kg CO ₂ -eq	0	0	0	1035,0	862,5	690,0	-345,4



Γράφημα 13. Κανονικοποιημένα αποτελέσματα του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της επεξεργασίας 1tn ΑΣΑ υ.β. στην Κλιματική Αλλαγή για το Σενάριο IV-ΧΥΤΑ με χρήση της μεθόδου IMPACT 2002+ V2.10 για 4 υποσενάρια (Α), (Β), (Γ) και (Δ) σχετικά με την επεξεργασία του LFG και την αποθήκευση του C-bio για τη δυσμενή, αναμενόμενη και αισιόδοξη θεώρηση (αριστερά προς δεξιά σε κάθε κατηγορία).

4.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Αναφορικά με το **Σενάριο IV – ΧΥΤΑ**, η περιβαλλοντική του μελέτη έδειξε, ότι είναι η **χειρίστη συμβατική μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ**. Στο **Γράφημα 13**, αποτυπώνεται η σημασία της εγκατάστασης δικτύου συλλογής LFG και καύσης σε πυρσό, καθώς έτσι μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από 37,8 – 108mPt σε -26,4 έως 21,5mPt. Στο βασικό Σενάριο IV – ΧΥΤΑ (Α) προκύπτουν αποφυγούσες εκπομπές λόγω της αποθήκευσης του C-bio εντός του σώματός του. Ωστόσο, αυτές αποτελούν «λογιστικό» μέγεθος, καθώς αποτελούν εν δυνάμει εκπομπές CO₂ μετά την πάροδο της 100ετίας.

Αναφορικά με το **Σενάριο III – ΔσΠ** και το Πακέτο Κυκλικής Οικονομίας, ο στόχος της ανακύκλωσης του 65% δεν είναι εφικτός για όλα τα υλικά και ο στόχος της ταφής του 10% των ΑΣΑ αδύνατος. Οι εκτιμώμενοι βαθμοί διαχωρισμού για το επιλεγμένο σύστημα των 6 ξεχωριστών καδών, είναι επαρκείς για τα ανακτώμενα υλικά, πλην του πλαστικού (40-60%). Άρα η ΔσΠ **αποτελεί εναλλακτικό τρόπο διαχείρισης, ωστόσο δεν μπορεί να είναι ολοκληρωμένος**. Θα πρέπει να λειτουργεί συμπληρωματικά προς ένα ήδη υπάρχον σύστημα διαχείρισης ΑΣΑ. Με άλλα λόγια, ο υπολειμματικός κάδος, ο οποίος υπερβαίνει κατά πολύ το όριο του 10% (394 – 531kg υ.β. ανά τη ΑΣΑ) να μην στέλνεται προς ταφή, αλλά προς περαιτέρω επεξεργασία. Επιπλέον, οι αυξημένες απαιτήσεις σε καύσιμα για τη συλλογή των ΑΣΑ, αποτελούν σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση. Τέλος, με αισιόδοξες θεωρήσεις για τους αρχικούς βαθμούς διαχωρισμού τα συνολικά περιβαλλοντικά οφέλη είναι συγκρίσιμα με εκείνα των ΜΕΑ για δυσμενείς θεωρήσεις (βλ. **Πίνακας 55**).

Τέλος, αναφορικά με την ανάκτηση γυαλιού, στα άλλα Σενάρια δεν εξετάζεται, διότι η μικρή ποσότητά στο ρεύμα των ΑΣΑ (3,5% υ.β.) σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος μηχανολογικού εξοπλισμού για την ανάκτησή του **[51]** και την χαμηλή τιμή πώλησής του, την καθιστούν οικονομικά ασύμφορη. Επιπλέον, λόγω της αδυναμίας μαγνητισμού του, δεν είναι εύκολη η ανάκτησή του σε αρχικό στάδιο της γραμμής επεξεργασίας των ΑΣΑ, επομένως πρέπει να ανακτηθεί προς τα τελευταία στάδια της, όπου μεγάλο μέρος του είναι πλέον μη ανακτήσιμο λόγω του ότι έχει θραυτεί και παρεισφρήσει σε άλλα κλάσματα.

Αναφορικά με το **Σενάριο II – ΜΜΒΕ** και το Πακέτο Κυκλικής Οικονομίας, οι στόχοι της ανάκτησης των υλικών της τάξεως του 65% είναι εφικτοί, με εξαίρεση την περίπτωση του χαρτιού (46-143kg χαρτιού → 16-49% των αρχικά 290kg χαρτιού ανά τη ΑΣΑ). Η θέση του οπτικού διαχωριστή χαρτιού οδηγεί σε χαμηλούς βαθμούς ανάκτησης. Αυτή είναι και η κύρια αιτία για την υπέρβαση του 10% του οδηγούμενου ρεύματος προς ταφή, αφού στο ρεύμα του RDF (βλ. **Πίνακας 22, 23 και 24**), το ρεύμα του χαρτιού είναι 96-175kg σε σύνολο 249-332kg RDF υ.β. Προκειμένου να γίνει εφικτός ο στόχος του 10% προς ταφή θα έπρεπε να υπάρχει ακόλουθη ενεργειακή αξιοποίηση του παραγόμενου RDF. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο η σημασία της ανακύκλωσης του πλαστικού, αφού αισιόδοξοι βαθμοί ανάκτησης στη ΜΜΒΕ με χαμηλή απώλεια ποιότητας πλαστικού οδηγούν σε παραπλήσια οφέλη με του Διυλιστηρίου για δυσμενή θεώρηση (βλ. **Πίνακας 55**).

Πίνακας 55. Σύγκριση ανάλυσης ευαισθησίας για τα Σενάρια I, II, III και IV για την επεξεργασία 1tn ΑΣΑ υ.β. ως προς τις 4 κατηγορίες ζημιάς.

	Είδος	Θεώρηση	Ανθρώπινη υγεία (mPt)	Ποιότητα οικοσυστήματος (mPt)	Κλιματική αλλαγή (mPt)	Πρώτες ύλες (mPt)
Σενάριο I – Διυλιστήριο	Βασικό	Δυσμενής	-28,3	0,1	-30,6	-29,3
		Αναμενόμενη	-53,8	-0,4	-45,4	-50,0
		Αισιόδοξη	-78,3	-0,9	-62,9	-74,1
Σενάριο II – ΜΜΒΕ με αερόβια χώνευση	Βασικό	Δυσμενής	-30,5	-2,8	-20,3	-21,9
		Αναμενόμενη	-41,1	-4,0	-27,9	-28,7
		Αισιόδοξη	-51,1	-5,0	-33,4	-36,1
Σενάριο II – ΜΜΒΕ με αναερόβια χώνευση	Δευτερεύον	Δυσμενής	-38,9	-3,1	-28,2	-30,4
		Αναμενόμενη	-53,5	-4,3	-39,3	-41,9
		Αισιόδοξη	-69,3	-5,5	-50,7	-55,5
Σενάριο III – ΔσΠ με αερόβια χώνευση	Βασικό	Δυσμενής	-21,8	-6,5	-17,0	-15,6
		Αναμενόμενη	-37,0	-8,2	-24,5	-23,5
		Αισιόδοξη	-46,6	-9,1	-29,1	-29,9
Σενάριο III – ΔσΠ με αναερόβια χώνευση	Δευτερεύον	Δυσμενής	-25,7	-6,6	-20,6	-19,8
		Αναμενόμενη	-43,2	-8,3	-30,3	-30,2
		Αισιόδοξη	-55,1	-9,3	-37,2	-39,0
Σενάριο IV – ΧΥΤΑ με LFG με C-bio (Α)	Βασικό	Δυσμενής	7,8	0,7	-13,4	4,8
		Αναμενόμενη	6,6	0,7	-20,7	4,3
		Αισιόδοξη	6,4	0,7	-26,4	4,2
Σενάριο IV – ΧΥΤΑ με LFG χωρίς C-bio (Β)	Δευτερεύον	Δυσμενής	7,8	0,7	21,5	4,8
		Αναμενόμενη	6,6	0,7	14,2	4,3
		Αισιόδοξη	6,4	0,7	8,5	4,2
Σενάριο IV – ΧΥΤΑ χωρίς LFG με C-bio (Γ)	Δευτερεύον	Δυσμενής	7,8	0,7	73,2	4,8
		Αναμενόμενη	6,6	0,7	55,3	4,3
		Αισιόδοξη	6,4	0,7	37,8	4,2
Σενάριο IV – ΧΥΤΑ χωρίς LFG χωρίς C-bio (Δ)	Δευτερεύον	Δυσμενής	7,8	0,7	108,1	4,8
		Αναμενόμενη	6,6	0,7	90,2	4,3
		Αισιόδοξη	6,4	0,7	72,7	4,2

Αναφορικά με το **Σενάριο I – Διυλιστήριο** και το Πακέτο Κυκλικής Οικονομίας, ο μόνος μη εφικτός στόχος είναι εκείνος της ταφής του 10% (185 – 220kg υπολείμματα/tn ΑΣΑ). Σε αυτά, το μεγαλύτερο μέρος αποτελείται από πλαστικό (57,8kg υ.β.) και από όλο το αρχικό κλάσμα του γυαλιού (35kg υ.β.). Μείωση των υπολειμμάτων επιτυγχάνεται με προσθήκη ενός σταδίου θετικής χειροδιαλογής για το πλαστικό, αφού είναι χαμηλή η ανακτώμενη ποσότητα ως μίγμα (82 – 111kg από 290kg υ.β.). Τέλος, αποτελεσματική μείωση της τελικά διατιθέμενης ποσότητας γυαλιού μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή ενός σταδίου χωριστής συλλογής αυτού στην πηγή, κάτι που ήδη εφαρμόζεται στην Ελληνική Επικράτεια, και η διαχείρισή του σε ένα ΚΔΑΥ γυαλιού, όπως στο Σενάριο III.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ξανά η σημασία της αντικατάστασης της εγχώριας ηλεκτροπαραγωγής, η οποία στηρίζεται σε λιγνιτικές εγκαταστάσεις (βλ. **Κεφάλαιο 4.2.2**), με ενέργεια από το βιοαέριο. Το BMP του παραγόμενου υδαρούς χωνεύματος είναι ύψιστης σημασίας, καθώς στην δυσμενή του θεώρηση ($0,267\text{Nm}^3/\text{kg VS}$) τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι συγκρίσιμα με τα αναμενόμενα της ΜΜΒΕ και της ΔσΠ. Επιπλέον, η αξιοποίηση της ενζυμικής υδρόλυσης και **η μετατροπή του χαρτιού σε υδαρές χώνευμα αποδεικνύεται επωφελέστερη για το περιβάλλον σε σχέση με την ανακύκλωσή του**. Ωστόσο αυτό οφείλεται εν πολλοίς στις θεωρούμενες αντικαταστάσεις, καθώς ο συνδυασμός αντικατάστασης τεχνολογιών παραγωγής με τεχνολογίες ανακύκλωσης χαρτιού μπορεί να οδηγήσει σε οφέλη $-1.300\text{kg CO}_2\text{-eq.}$ ανά tn υ.β. χαρτιού ΑΣΑ έως και επιβαρύνσεις $400\text{kg CO}_2\text{-eq.}$ ανά tn υ.β. χαρτιού ΑΣΑ [82]. Η επιλεγθείσα τεχνολογία στην παρούσα ΑΚΖ είχε πολύ μικρή όφελος στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ($-61,2\text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ ανά tn υ.β. χαρτιού ΑΣΑ) (βλ. **Κεφάλαιο 4.2.3**).

Αναφορικά με το **δίλημμα αερόβια ή αναερόβια χώνευση των ΒΑΑ**, βάσει των ορίων της υλοποιημένης ΑΚΖ η απάντηση είναι το δεύτερο. Αυτό προκύπτει, διότι στόχος της αερόβιας χώνευσης είναι η βιοσταθεροποίηση των ΒΑΑ πριν αυτά καταλήξουν σε ΧΥΤ, ενώ της δεύτερης η παραγωγή βιοαερίου για ενεργειακή αξιοποίηση [15]. Στον **Πίνακα 55** αποτυπώνεται η διαφοροποίηση, καθώς όταν αντικαθίσταται η αερόβια χώνευση με αναερόβια (δευτερεύοντα Σενάρια II και III) τα περιβαλλοντικά οφέλη αυξάνονται σε όλες τις κατηγορίες ζημιάς και γίνονται ανταγωνιστικότερα σε σχέση με το Διυλιστήριο. Τέλος, η επιλεγθείσα αντικατάσταση ανόργανων λιπασμάτων αντί για τύρφη [14] στην περίπτωση της χρήσης του κομπόστ, περιορίζει τις αποφυγούσες εκπομπές σε εύρη -145 έως $19\text{kg CO}_2\text{-eq.}$ αντί για -800 έως $44\text{kg CO}_2\text{-eq.}$ και άρα ενισχύει την προτίμηση της αναερόβιας έναντι της αερόβιας χώνευσης.

Κλείνοντας, αξίζει να τονισθεί πως η επικέντρωση στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου για ένα παραγωγικό σύστημα δεν είναι επαρκής, πόσο μάλλον όταν πρόκειται για διαχείριση ΑΣΑ. Άλλωστε, όπως εδείχθη, όλα τα υπό εξέταση Σενάρια έχουν παραπλήσιες αποφυγούσες εκπομπές $\text{CO}_2\text{-eq.}$ και ακόμα και ο ΧΥΤΑ μπορεί να είναι επωφελής στην κατηγορία αυτή. Πρέπει, λοιπόν, να υλοποιείται ΑΚΖ με κατάλληλες μεθοδολογίες, οι οποίες να υπολογίζουν τα περιβαλλοντικά φορτία είτε σε επίπεδο κατηγοριών επιπτώσεων (15 κατηγορίες – midpoint approach) είτε σε επίπεδο κατηγοριών ζημιάς (4 κατηγορίες – endpoint approach), όπως η IMPACT 2002+.

Κεφάλαιο 5^ο: Ανάλυση κόστους

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση κόστους για τα 4 εξεταζόμενα Σενάρια διαχείρισης ΑΣΑ. Η ανάλυση αυτή θα γίνει εντέλει σε επίπεδο διοικητικής Περιφέρειας. Η εικονική Περιφέρεια θα αποτελείται από τους εξής οικιστικούς ιστούς:

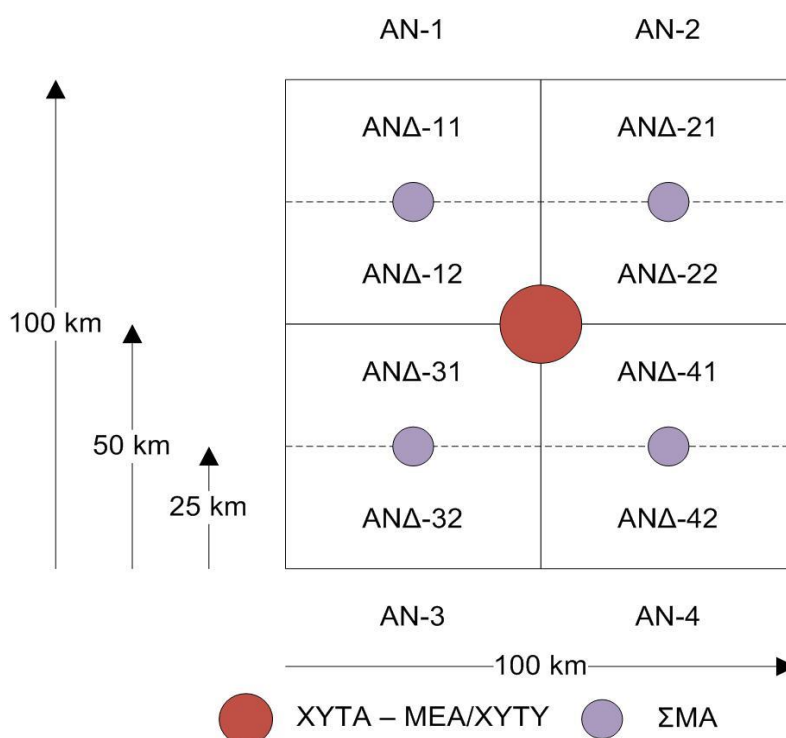
- Κοινότητες των 1.000 κατοίκων,
- Μικρές πόλεις των 10.000 κατοίκων
- Πόλη των 100.000 κατοίκων

Προκειμένου να προσδιορισθεί η γεωγραφία και ο πληθυσμός της Περιφέρειας, στην οποία θα μελετηθεί η εφαρμογή των 4 Σεναρίων επεξεργασίας ΑΣΑ, γίνεται αρχικά βιβλιογραφική ανασκόπηση της πληθυσμιακής πυκνότητας και της έκτασης των περιφερειών της Ελλάδας [100], η οποία και παρατίθεται στον ακόλουθο **Πίνακας 56**.

Πίνακας 56. Γεωγραφικά και πληθυσμιακά στοιχεία των Περιφερειών της Ελληνικής Επικράτειας για το έτος 2006 [100].

Περιφέρεια	Έκταση (km ²)	Πληθυσμός	Πληθυσμιακή πυκνότητα (κάτοικοι/km ²)	Νομοί/Νομαρχίες
Ανατολική Μακεδονία και Θράκη	14.157	611.067	43,16	Ξάνθης, Εύρου, Ροδόπης, Δράμας, Καβάλας
Κεντρική Μακεδονία	18.811	1.871.952	99,51	Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Πέλλας, Κιλκίς, Πιερίας, Σερρών, Χαλκιδικής
Δυτική Μακεδονία	9.451	301.522	31,90	Γρεβενών, Καστοριάς, Κοζάνης, Φλώρινας
Ήπειρος	9.203	353.820	38,44	Άρτας, Θεσπρωτίας, Ιωαννίνων, Πρέβεζας
Θεσσαλία	14.037	753.888	53,70	Καρδίτσας, Μαγνησίας, Τρικάλων, Λάρισας
Ιόνιοι Νήσοι	2.307	212.984	92,32	Ζακύνθου, Κεφαλληνίας, Κέρκυρας, Λευκάδας
Δυτική Ελλάδα	11.350	740.506	65,24	Αιτωλοακαρνανίας, Ηλείας, Αχαΐας
Στερεά Ελλάδα	15.549	605.329	38,93	Ευβοίας, Βοιωτίας, Φωκίδας, Ευρυτανίας, Φθιώτιδας,
Αττική	3.808	3.761.810	987,87	Αθηνών, Ανατολικής Αττικής, Δυτικής Αττικής, Πειραιώς
Πελοπόννησος	15.490	638.942	41,24	Λακωνίας, Αρκαδίας, Μεσσηνίας, Κορινθίας Αργολίδας,
Βόρειο Αιγαίο	3.836	206.126	53,73	Λέσβου, Σάμου, Χίου
Νότιο Αιγαίο	5.286	302.686	57,26	Δωδεκανήσου, Κυκλάδων
Κρήτη	8.336	601.131	72,11	Χανίων, Ρεθύμνου, Ηρακλείου, Λασιθίου

Βάσει του **Πίνακα 56** κατασκευάζεται η **εικονική Περιφέρεια Α** (βλ. **Σχήμα 8**). Η Περιφέρεια θα έχει **300.000 κατοίκους** και **έκταση 10.000 km²**. Πιο συγκεκριμένα, θα έχει διαστάσεις 100km x 100km και πληθυσμιακή πυκνότητα 30 κατοίκων/km². Θα προσιδιάζει, δηλαδή, με τις **υπάρχουσες Περιφέρειες της Δυτικής Μακεδονίας και της Ηπείρου**. Η Περιφέρεια θα χωρίζεται σε **4 Νομούς (ΑΝ-1, 2, 3 και 4)** και ο κάθε Νομός σε **2 Δήμους (ΑΝΔ-11, 12, 21, 22, 31, 32, 41 και 42)**. Κάθε Νομός θα έχει ένα ΣΜΑ και η ΜΕΑ θα βρίσκεται στο κέντρο της Περιφέρειας Α.



Σχήμα 8. Χωροταξία της εικονικής Περιφέρειας Α.

Τα πληθυσμιακά στοιχεία της Περιφέρειας Α και η κατανομή των κατοίκων της παρουσιάζονται στον ακόλουθο **Πίνακα 57** και η σύγκρισή αυτών με πραγματικά δεδομένα για την Ελληνική Επικράτεια στον

Πίνακα 57. Πληθυσμιακή κατανομή Περιφέρειας Α σε διοικητικές δομές (Νομούς, Δήμους) και σε οικιστικούς ιστούς (κοινότητες, μικρές πόλεις και πόλη).

	Νομοί	Δήμοι ανά Νομό	Οικιστικοί ιστοί ανά Δήμο	Κάτοικοι ανά οικιστικό ιστό	Πληθυσμός	Σύνολο
Περιφέρεια Α	ΑΝ-1	ΑΝΔ-11	1 πόλη	100.000	125.000	150.000
		ΑΝΔ-12	1 μικρή πόλη	10.000		
	ΑΝ-2, ΑΝ-3, ΑΝ-4	ΑΝΔ-21, 22, 31, 32, 41, 42	1 μικρή πόλη	10.000	6x25.000	
		15 κοινότητες	1.000			
Σύνολο Περιφέρειας					300.000	

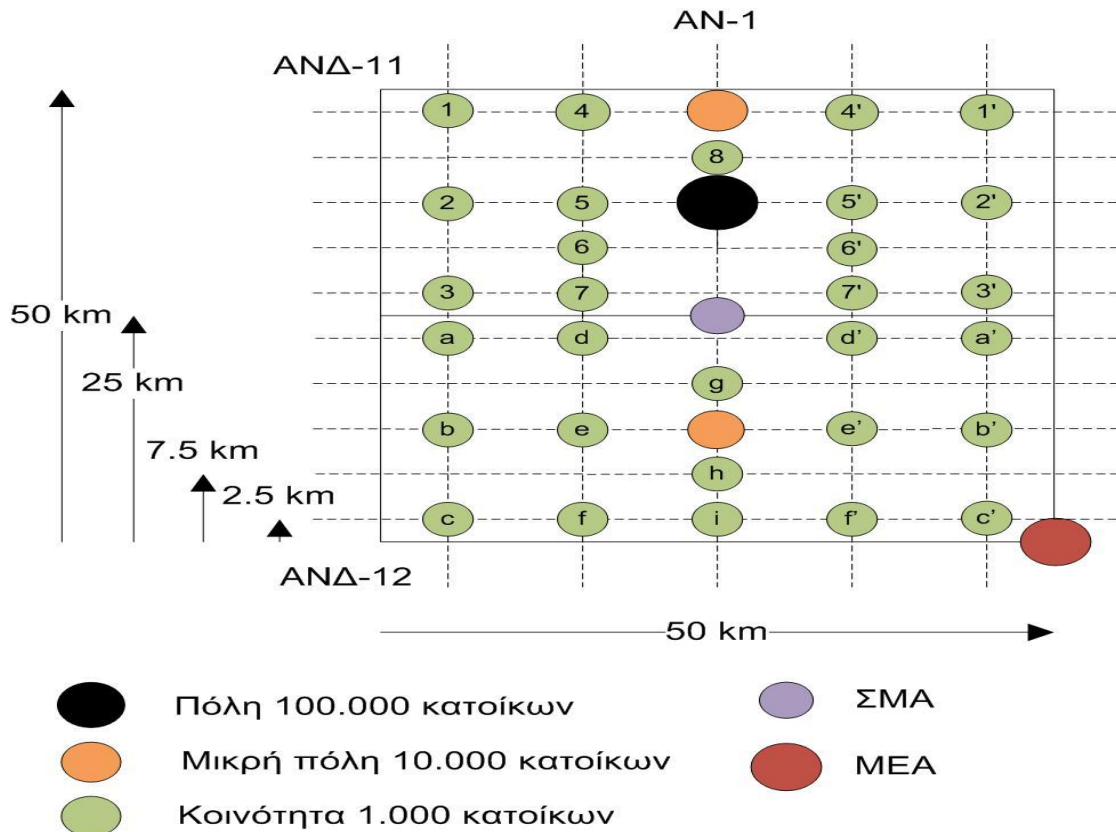
Πίνακας 58. Σύγκριση εικονικών οικιστικών ιστών και διοικητικών δομών εικονικής Περιφέρειας Α με πραγματικές της Ελληνικής Επικράτειας.

	Ονομαστικός εικονικός πληθυσμός	Εύρος πραγματικών πληθυσμού	Εγγραφές [100]
Κοινότητες	1.000	<2.000	27 Κοινότητες και 5.505 Τοπικά διαμερίσματα από 6.710 εγγραφές
Μικρή Πόλη	10.000	8.000 – 12.000	13 από 159 εγγραφές
Μικρός Δήμος	25.000	20.000 – 30.000	14 από 159 εγγραφές
Μικρός Νομός	50.000	40.000 – 60.000	7 από 52 εγγραφές Σάμου, Θεσπρωτίας, Φωκίδας, Χίου, Καστοριάς, Φλώρινας, Πρέβεζας
Μεγάλη Πόλη	100.000	60.000 – 170.000	Πάτρα: 168.034, Ηράκλειο: 140.730, Λάρισα: 144.651, Βόλος: 86.046 Ιωάννινα: 65.574
Μεγάλος Δήμος	125.000	100.000 – 150.000	Πολεοδομικά Συγκροτήματα: Ιωαννίνων: 89.061 Βόλου: 120.733 Λάρισας: 144.651
Μεγάλος Νομός	150.000	137.500 – 162.500	8 από 52 εγγραφές Τρικάλων, Ημαθίας, Καβάλας, Πέλλας, Έβρου, Χανίων, Κορινθίας, Κοζάνης
Περιφέρεια	300.000	200.000- 400.000	Βορείου Αιγαίου: 206.126 Ιονίων Νήσων: 212.984 Δυτικής Μακεδονίας: 301.522 Νοτίου Αιγαίου: 302.686 Ηπείρου: 353.820

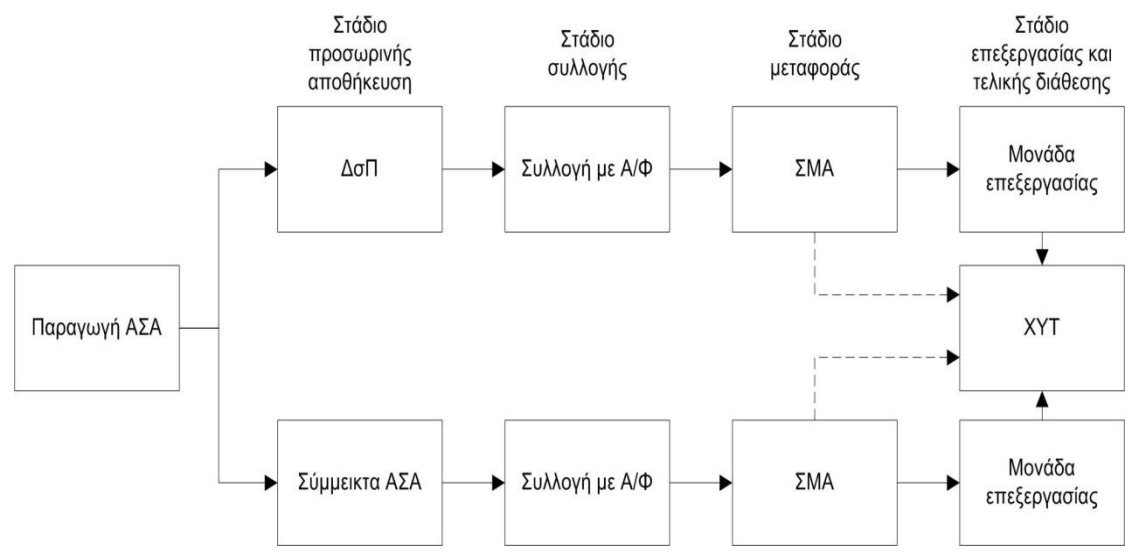
Η χωροταξική διαμόρφωση των εικονικών Δήμων ΑΝΔ-ΧΧ έχει ως εξής. Ο ΑΝΔ-11 και ο ΑΝΔ-12 παρουσιάζονται στο ακόλουθο [Σχήμα 9](#), ενώ οι υπόλοιποι 6 Δήμοι (ΑΝΔ-21, 22, 31, 32, 41 και 42) λαμβάνονται ταυτόσημοι με τον ΑΝΔ-12. Για τον ΑΝΔ-11 η αρίθμηση των κοινοτήτων (1-8) γίνεται με πράσινο χρώμα και μπορεί να αντικατοπτριστεί και να συμπεριλάβει και τις συμπληρωματικές κοινότητες του Δήμου (1'- 7'). Ομοίως για τον ΑΝΔ-12 γίνεται αντίστοιχος αντικατοπτρισμός των κοινοτήτων (a-i) σε (a'-f'). Οι διακεκομμένες γραμμές, αναπαριστούν τις οδικές αρτηρίες πάνω στις οποίες μετρώνται οι αποστάσεις. Με πορτοκαλί χρώμα αναπαρίστανται οι μικρές πόλεις, με μαύρο η πόλη, με μωβ ο ΣΜΑ και με κόκκινο η ΜΕΑ.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να γίνει μια σύντομη περιγραφή των βασικών κοστών, τα οποία θα συμπεριληφθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία, τα οποία και παρουσιάζονται στο ακόλουθο [Διάγραμμα Ροής 20](#). Η συλλογή και η μεταφορά των ΑΣΑ αποτελούν τις πρώτες φάσεις της διαχείρισης ΑΣΑ και μπορεί να αποτελέσουν το 50-80% του συνολικού κόστους διαχείρισης ΑΣΑ [\[28, 101\]](#). Το κόστος συλλογής αφορά τη διαλογή των ΑΣΑ και περιλαμβάνει και το κόστος των προσωρινών μέσων αποθήκευσης (κάδοι) εντός του οικιστικού ιστού. Με διακεκομμένη γραμμή απεικονίζεται το Σενάριο IV – ΧΥΤΑ.

Το κόστος μεταφοράς περιλαμβάνει τη μεταφορά των ΑΣΑ μέσω ΣΜΑ προς τις ΜΕΑ. Η χρήση ΣΜΑ αποσκοπεί στην δημιουργία οικονομιών κλίμακας και στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων λόγω μείωσης των απευθείας δρομολογίων των Α/Φ προς τους χώρους επεξεργασίας και διάθεσης Τέλος, υπάρχει το κόστος επεξεργασίας και διάθεσης των ΑΣΑ από τις ΜΕΑ.



Σχήμα 9. Χωροταξία Νομού AN-1 της εικονικής Περιφέρειας Α και απεικόνιση των κοινοτήτων, κωμοπόλεων και πόλης.



Διάγραμμα Ροής 20. Παρουσίαση συνολικού κόστους διαχείρισης ΑΣΑ ανά στάδιο διαχείρισης.

5.1 Κόστος πρώτων υλών

Για τον υπολογισμό των κοστών συλλογής, μεταφοράς και επεξεργασίας ΑΣΑ βασική προϋπόθεση είναι η γνώση του κόστους των πρώτων υλών. Σε αυτό το Κεφάλαιο παρατίθενται τα κόστη του βιομηχανικού ρεύματος, των καυσίμων, του νερού και των ενζύμων, τα οποία απαιτούνται για την υγροποίηση των ΒΑΑ των ΑΣΑ σε 2015€.

Οι τιμές της ηλ. ενέργειας για βιομηχανικούς δέκτες λαμβάνεται από τη βάση δεδομένων [nrg_pc_205](#) της Eurostat [102], οι τιμές καυσίμου από την πηγή [103] (Weekly Oil Bulletin) και του νερού εκτιμώνται βάσει των παρόχων ΕΥΔΑΠ και ΕΥΑΘ [104, 105].

Τέλος, το κόστος των ενζύμων είναι **2€/kg** στη Δανία για το έτος 2014 [26]. Ωστόσο, πρόκειται για μια διεθνή αγορά και η τιμή αυτή κυμαίνεται στο χαμηλό αναμενόμενο εύρος τιμών. Στην ανάλυση ευαισθησίας του κόστους θα ληφθούν οι τιμές των **2, 3 και 4€/kg ενζύμων**.

Πίνακας 59. Κόστος βιομηχανικής ηλ. ενέργειας Ελλάδας για το 1^ο Εξάμηνο του 2015 [102].

Κατηγορία	Κατανάλωση (MWh _{el})	Κόστος ηλ. ενέργειας χωρίς φόρους και επιβαρύνσεις (€/kWh _{el})	Κόστος ρεύματος με φόρους και επιβαρύνσεις (€/kWh _{el})
IA	<20	0,1621	0,2390
IB	20-500	0,1325	0,1933
IC	500-2.000	0,1037	0,1460
ID	2.000-20.000	0,0820	0,1132
IE	20.000-70.000	0,0625	0,0824
IF	70.000-150.000	0,0438	0,0595

Πίνακας 60. Κόστος καυσίμου στην Ελλάδα για το 1^ο Εξάμηνο του 2015 [103].

Κατηγορία καυσίμου	Εύρος τιμών χωρίς φόρους και επιβαρύνσεις (€/1.000L)	Μέσος όρος (€/1.000L)	Εύρος τιμών με φόρους και επιβαρύνσεις (€/1.000L)	Μέσος όρος (€/1.000L)
Diesel	563,07-672,68	636,96	1.110,00-1.247,00	1.202,44
Πετρέλαιο θέρμανσης	460,74-543,46	512,69	859,00-963,00	924,06
Μαζούτ	296,76-412,40	369,98	339,33-456,93	413,79

Πίνακας 61. Τιμολογιακή πολιτική ΕΥΔΑΠ και ΕΥΑΘ για βιομηχανικούς χρήστες [104, 105].

Τιμολογιακή πολιτική βιομηχανικής χρήσης	Μηνιαία κατανάλωση (m ³)	Κόστος ύδρευσης χωρίς ΦΠΑ (€/m ³)	Κόστος ύδρευσης με ΦΠΑ (13%)(€/m ³)	Κόστος αποχέτευσης χωρίς ΦΠΑ	Κόστος αποχέτευσης με ΦΠΑ (23%)(€/m ³)
ΕΥΔΑΠ	0-1000	0,83	0,938	0,622	0,765
	>1000	0,98	1,107	0,735	0,904
ΕΥΑΘ	0-500	0,52	0,588	0,416	0,512
	>500	0,81	0,915	0,607	0,747

5.2 Κόστος συλλογής ΑΣΑ

Οι βασικοί παράγοντες που συνεισφέρουν στο κόστος συλλογής ΑΣΑ, σύμμεικτων ή ΔσΠ, είναι το κόστος επένδυσης (Α/Φ οχήματα, κάδοι) και το κόστος λειτουργίας, τόσο το σταθερό (μισθοδοσία, συντήρηση και ασφάλιση παγίων), όσο και το μεταβλητό (καύσιμα).

Για την αξιολόγηση του κόστους των κάδων και των Α/Φ οχημάτων αξιοποιείται ο ιστότοπος [Διαύγεια \[106-109\]](#) του Υπουργείου Εσωτερικών και Διοικητικής Ανασυγκρότησης. Αυτό συμβαίνει, διότι η διαχείριση των ΑΣΑ γίνεται συνήθως από Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου (**ΝΠΠΔ**), όπως Δήμοι, Νομοί ή Περιφέρειες, τα οποία διενεργούν μειοδοτικούς διαγωνισμούς για την αγορά και συντήρηση του αντίστοιχου εξοπλισμού. Στην ακόλουθη ανάλυση **κόστους δεν συμπεριλαμβάνεται ο ΦΠΑ (24%)**.

5.2.1 Κόστος επένδυσης

Για την αναγωγή του κόστους των κάδων και των Α/Φ οχημάτων σε τιμές 2015€ χρησιμοποιείται ο δείκτης τιμών **εξοπλισμού μεταφοράς [110]**, όπου και δίνονται οι τιμές 112,6 για το έτος 2011, 104,1 για το έτος 2013 και 96,7 για το έτος 2015 στην Ελλάδα. Τέλος, στο σταθερό κόστος επένδυσης προστίθεται και η ποσότητα των Διαφόρων, η οποία ορίζεται στο **10%** του κόστους επένδυσης των κάδων και των Α/Φ οχημάτων [\[111\]](#). Ως **ετήσιο κόστος κεφαλαίο** ορίζεται το **7%** και ως **απόσβεση** ορίζεται βάσει του Νόμου 4110/2013 **4%** για κτιριακές εγκαταστάσεις και βιομηχανοστάσια, **10%** για μηχανήματα και **12%** για εξοπλισμό μεταφοράς φορτίου και **10%** για λοιπά πάγια στοιχεία [\[112\]](#).

Πίνακας 62. Κόστος προσωρινών μέσων αποθήκευσης ΑΣΑ στην Ελλάδα για το έτος 2015

Όγκος κάδου (L)	Χαρακτηριστικά	Κόστος (€)	Έτος	Πηγή	Ανηγμένο κόστος στο 2015€
120	Τροχήλατος, πλαστικός	20,0	2011	Εκτίμηση	17,2
240	Τροχήλατος, πλαστικός	28,0	2011	[106]	24,0
660	Τροχήλατος, πλαστικός	138,0	2011	[107]	118,5
1100	Τροχήλατος, πλαστικός	165,0	2011	[106]	141,7

Πίνακας 63. Κόστος Α/Φ οχημάτων στην Ελλάδα για το έτος 2015

Α/Φ όχημα (m ³)	Τύπος/Μέγιστος συμπίεσης/Ωφέλιμο φορτίο	λόγος Κόστος (€)	Έτος	Πηγή	Ανηγμένο κόστος στο 2015€
4	Πρέσσα/5:1/3,5tn	56.826	2013	[108]	52.786
16	Πρέσσα/5:1/12,5tn	113.652	2013	[108]	105.573

5.2.2 Κόστος λειτουργίας

Το κόστος λειτουργίας χωρίζεται σε σταθερό και σε μεταβλητό. Τα σταθερό κόστος περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης, ασφάλισης και μισθοδοσίας. Για το ετήσιο κόστος συντήρησης των Α/Φ οχημάτων, των κάδων και των Διαφόρων λαμβάνεται **5%** επί του αρχικού κόστους επένδυσης αυτών και για το ετήσιο κόστος ασφάλισης λαμβάνεται **1%** επί της αρχικής επένδυσης [101].

Αναφορικά τώρα με το κόστος μισθοδοσίας, λαμβάνονται υπ' όψιν δύο είδη εργαζομένων, οι οποίοι συμμετέχουν στη συλλογή των ΑΣΑ. Αυτοί είναι οι οδηγοί και οι συλλέκτες. Ανά όχημα, το οποίο μπορεί να αξιοποιείται σε **δύο 8ωρες βάρδιες ημερησίως** αντιστοιχούν 2 οδηγοί και 4 συλλέκτες. Προκειμένου να υπολογισθεί το κόστος της εργατοώρας (**ΕΩ**) του οδηγού και του συλλέκτη ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Γίνεται εκτίμηση του μηνιαίου μισθού σε 1.800€ για τον οδηγό και 1.200€ για το συλλέκτη συμπεριλαμβανομένων των εργοδοτικών εισφορών [113].
2. Σε αυτό υπάρχει προσαύξηση με 150€ λόγω βαρέας και ανθυγιεινής εργασίας [114].
3. Για εργασία 40 ωρών ανά εβδομάδα, προκύπτει κόστος εργατοώρας για τους οδηγούς $1950/160 = 12,19€/ΕΩ$ και $1350/160 = 8,44€/ΕΩ$ για τους συλλέκτες.

Τέλος, για το μεταβλητό κόστος λειτουργίας λαμβάνεται η τιμή του Diesel ίση με 0,636€/L, χωρίς να περιλαμβάνει ο ΦΠΑ (βλ. **Πίνακας 60**). Τόσο στο μεταβλητό, όσο και στο σταθερό κόστος υπάρχει προσαύξηση της τάξεως του 10% λόγω Διαφόρων κοστών.

5.2.3 Αλγόριθμος υπολογισμού κόστους συλλογής

Οι βασικές παράμετροι, οι οποίες αναζητούνται, λοιπόν, είναι οι εξής:

1. Ποσότητα των κάδων
2. Ποσότητα των Α/Φ οχημάτων
3. ΕΩ συλλεκτών και οδηγών
4. Ποσότητα καυσίμου Diesel

Για να υπολογιστεί η ποσότητα των απαιτούμενων κάδων και των απαιτούμενων Α/Φ οχημάτων, πρέπει να γίνει αρχικά υπολογισμός της παραγόμενης ποσότητας ΑΣΑ και να τεθεί η συχνότητα συλλογής αυτών. Η συχνότητα συλλογής επιλέγεται να γίνεται **1 φορά την εβδομάδα**, βάσει της πηγής [66], λόγω της αποδόμησης του οργανικού κλάσματος και των κινδύνων για τη δημόσια υγεία και της δυσωδίας που αυτή επιφέρει. Για τις παραγόμενες ποσότητες είναι γνωστό ότι ανά κάτοικο παράγονται ετησίως 510kg ΑΣΑ υ.β., τα οποία έχουν **πυκνότητα συλλογής 213,8kg/m³**.

Γνωρίζοντας την ποσότητα των ΑΣΑ σε m^3 , με γνωστή τη χωρητικότητα του κάδου (1.100L) και επιλέγοντας ενδεικτική τιμή για **συντελεστή χρήσης κάδου $f = 60\%$** , δηλαδή άδειασμά του όταν θα έχει πληρότητα 60%, εύκολα υπολογίζεται το πλήθος των κάδων για τον υπό εξέταση οικιστικό ιστό (π.χ. για κοινότητα 1.000 κατοίκων: $510kg \times 1.000prs = 510trp = 9,78trw = 45,75m^3 \text{ ΑΣΑ/week} \rightarrow 45,75/(0,6 \times 1,1) = 69,3 \rightarrow 70$ κάδοι).

Οι βασικές διεργασίες κατά τη συλλογή των απορριμμάτων με απορριμματοφόρα (Α/Φ) οχήματα είναι η διαλογή (**Pscs**), η μεταφορά προς το ΣΜΑ (**h**), οι επιτόπιες εργασίες (**S**) και οι εργασίες εκτός διαδρομής (**W**). Οι εργασίες αυτές περιγράφονται αναλυτικά στην πηγή [115] και παρατίθενται ακολούθως:

- **Μάζεμα-Pscs**. Είναι ο χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή της φόρτωσης του πρώτου κάδου μέχρι το άδειασμα του τελευταίου.
- **Μεταφορά-h**. Είναι ο χρόνος μεταφοράς του Α/Φ οχήματος από τον αρχικό χώρο στάθμευσης, εν τοιαύτη περιπτώσει τον ΣΜΑ, προς τον οικιστικό ιστό και αντιστρόφως (διπλή απόσταση).
- **Επιτόπιες Εργασίες-s**. Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την εκφόρτωση στον τελικό προορισμό, εν προκειμένω ΣΜΑ.
- **Εκτός Διαδρομής-W**. Είναι ο συνολικός μη παραγωγικός χρόνος. Συνίσταται από τον μη αξιοποιημένο χρόνο λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης, το χρόνο για επισκευές ή συντήρηση και τυχόν καθυστερήσεις του προσωπικού. Πρόκειται, ουσιαστικά, για έναν συντελεστή ασφαλείας, ο οποίος λαμβάνεται υπ' όψιν στους υπολογισμούς των δρομολογίων των Α/Φ οχημάτων ως ποσοστό.

Ο χρόνος ανά διαδρομή ορίζεται ως: **$Tscs = (Pscs + s + h) / (1-w)$** **(Εξ. 21)**

και ο χρόνος μαζέματος ως: **$Pscs = C_t \times (uc) + (n_p-1) \times (dbc)$** **(Εξ. 22),**

όπου

- C_t : ο αριθμός των κάδων που αδειάζονται ανά διαδρομή.
- uc : ο μέσος χρόνος αδειάσματος ανά στάση.
- n_p : ο αριθμός σημείων μαζέματος ανά διαδρομή. Θεωρείται πως σε κάθε θέση υπάρχει 1 κάδος για το Σύστημα Τροχήλατου Κάδου (**ΣΤΚ**), ενώ για το σύστημα ΔσΠ υπάρχουν 6 κάδοι.
- dbc : ο μέσος χρόνος οδήγησης μεταξύ σημείων συλλογής.

Για το μέσο χρόνο οδήγησης από σημείο προς σημείο διαλογής δίνεται ότι:

$dbc = AD / U$ **(Εξ. 23),**

όπου

- AD : η διανυόμενη απόσταση από Α/Φ όχημα, η οποία υπολογίζεται ως ο λόγος του γινομένου των ΟΜ ανά οικιστικό ιστό επί την απόσταση των κατοικιών και επί του συντελεστή απόστασης K προς το γινόμενο των ΟΜ ανά κατοικία επί το σύνολο των καδών του οικιστικού ιστού.
- U : η ταχύτητα του Α/Φ οχήματος κατά τη συλλογή ΑΣΑ εντός οικιστικού ιστού.

Ο αριθμός των κάδων, οι οποίοι μπορούν να συλλεχθούν ανά διαδρομή ορίζεται ως:

$$C_t = (v \times r) / (c \times f) \quad (\text{Εξ. 24}),$$

όπου

- v : ο όγκος του Α/Φ οχήματος σε m^3 .
- r : ο λόγος συμπίεσης των ΑΣΑ
- c : χωρητικότητα κάδου.
- f : παράγοντας χρήσης του κάδου.

Αρχικά επιλέγεται συλλογή των ΑΣΑ με Α/Φ τύπου πρέσσας. Αυτό συμβαίνει, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα εναλλαγής από σύμμεικτη συλλογή ΑΣΑ σε ΔσΠ συλλογή ΑΣΑ [66].

Γνωρίζοντας, τώρα, τον αριθμό των κάδων προς συλλογή και επιζητώντας:

1. Ακέραιο πλήθος διαδρομών
2. Ακέραιο πλήθος συλλεγόμενων κάδων
3. Τήρηση των προδιαγραφών επί του λόγου συμπίεσεως, και πιο συγκεκριμένα επί του ωφέλιμου φορτίου,

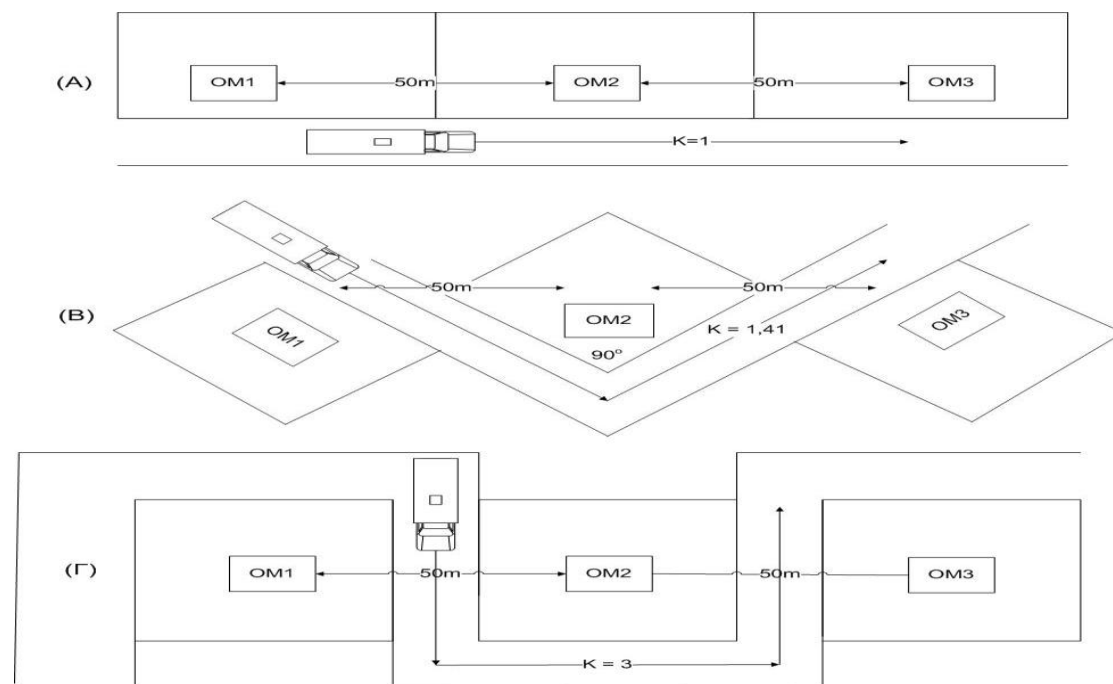
επιλέγεται κατάλληλος λόγος συμπίεσης r . Αυτός προκύπτει $r = 3,3$ για Α/Φ $4m^3$, με ωφέλιμο φορτίο $2,8tn < 3,5tn$ και δίνει μέσω της Εξ. 24 $C_t = 20$ συλλεγόμενους κάδους ανά διαδρομή. Για Α/Φ $16m^3$, με ωφέλιμο φορτίο $9,9tn < 12,5tn$ και $r = 2,9$ δίνει μέσω της Εξ. 24 $C_t = 70$ συλλεγόμενους κάδους ανά διαδρομή. Εντέλει, ο κατάλληλος λόγος r αναζητείται ανάμεσα στο εύρος 2,5 έως 3,5. Μικρότερος r συνεπάγεται μη αποδοτική διαδρομή και μεγαλύτερος r συνεπάγεται επισφαλή συλλογή και μεταφορά ΑΣΑ.

Ο χρόνος συλλογής dbc υπολογίζεται από την Εξ. 23. Για τον υπολογισμό της AD γίνονται τα εξής βήματα:

1. Γίνεται η θεώρηση ότι ανά οικιστική μονάδα (OM) διαμένουν 2,5 κάτοικοι [66] και ότι στις κοινότητες υπάρχει 1 OM ανά οικοπέδο και 400 OM συνολικά, 4 OM ανά οικοπέδο στις μικρές πόλεις και 4.000 OM συνολικά και 8 OM ανά οικοπέδο στην πόλη και 40.000 OM συνολικά. Η απόσταση, η οποία απέχουν 2 γειτονικά κτίσματα στις κοινότητες με τον χαρακτηρισμό «συνεκτικές», βάσει ΦΕΚ 181/Δ/3.5.1985 [116], είναι τα 40m για το 90% του ποσοστού των κτισμάτων. Άρα η εκτίμηση για το σύνολο αυτών ότι απέχουν 50m είναι αποδεκτός. Ομοίως, για την μικρή πόλη λαμβάνεται απόσταση 40m και για την πόλη 30m.
2. Χρησιμοποιείται ένας συντελεστής απόστασης K , ο οποίος συσχετίζει την απόσταση, την οποία απέχουν τα κτίσματα αναμεταξύ τους με την απόσταση, την οποία πρέπει να διανύσει το Α/Φ όχημα (βλ. Σχήμα 10). Για ευθύ δρόμο λαμβάνεται $K = 1$. Δηλαδή το Α/Φ όχημα διανύει τόση απόσταση όσο και η απόσταση των κατοικιών επί χάρτου. Όταν ο δρόμος διαθέτει μία στροφή 90° ανά 3 κατοικίες, τότε λαμβάνεται συντελεστής $K = 1,41$, αφού το Α/Φ όχημα διανύει τις δύο πλευρές ενός ορθογώνιου τριγώνου. Τέλος, το Α/Φ όχημα καλείται να διανύσει την 3άσια απόσταση σε σχέση με αυτή επί χάρτου των κατοικιών όταν παρεμβάλλονται 2 στροφές 90° ανά 3 κατοικίες. Άρα λαμβάνεται συντελεστής $K = 3$.
3. Η απόσταση AD είναι πλέον γνωστή και η ταχύτητα συλλογής του Α/Φ οχήματος λαμβάνεται ίση με 28,2km/h κατά το στάδιο της αποκομιδής βάσει του Πίνακα 64.

Πίνακας 64. Καταναλώσεις καυσίμου και μέσες ταχύτητες Α/Φ οχήματος κατά τις δραστηριότητες συλλογής και μεταφοράς ΑΣΑ [117, 118].

Δραστηριότητα Α/Φ οχήματος	Μέση ταχύτητα (km/hr)	Μέση κατανάλωση καυσίμου (L Diesel/hr)
Ρελαντί και συμπίεση ΑΣΑ ($Ct \times uc$)	-	13,82
Συλλογή ΑΣΑ $(nr-1) \times dbc$	28,2	21,99
Οδήγηση σε εθνικό οδικό δίκτυο (h)	88,0	46,05
Μεταφόρτωση σε ΣΜΑ (s)	11,6	15,08



Σχήμα 10. Αναπαράσταση συντελεστή απόστασης K για οικιστικούς ιστούς.

Για τον υπολογισμό του χρόνου μαζέματος $Pscs$ χρησιμοποιείται η **Εξ. 22**, όπου για το uc λαμβάνεται 0,25min/κάδο για 2 συλλέκτες [28]. Για το χρόνο ανά διαδρομή $Tscs$ χρησιμοποιείται η **Εξ. 21**, όπου και λαμβάνεται ο χρόνος h ως η διπλή απόσταση του οικιστικού ιστού από τον ΣΜΑ, βάσει του **Σχήμα 9**, προς την μέση ταχύτητα του Α/Φ οχήματος επί του εθνικού οδικού δικτύου (88,0km/h). Ο χρόνος s είναι ο χρόνος εκφόρτωσης στον ΣΜΑ και λαμβάνεται 15min. Τέλος, ο νεκρός χρόνος w λαμβάνεται ίσος με 17,5% ως προς τον χρόνο συλλογής της συνολικής διαδρομής ($Pscs + h + s -$ βλ. **Εξ.21**).

Από τον $Tscs$ υπολογίζονται οι ΕΩ των οδηγών ανά εβδομάδα, όταν αυτός πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό των απαιτούμενων διαδρομών. Τέλος, οι ΕΩ αυτές πολλαπλασιάζονται επί 52 εβδομάδες και προκύπτει έτσι το ετήσιο κόστος μισθοδοσίας των οδηγών. Για τους συλλέκτες θεωρούνται διπλάσιες ΕΩ, αφού ανά οδηγό αντιστοιχούν 2 συλλέκτες. Για τον υπολογισμό, τώρα, των Α/Φ οχημάτων οι απαιτούμενες εβδομαδιαίες ΕΩ των οδηγών διαιρούνται με (2×40) . Αυτό συμβαίνει, διότι ανά Α/Φ όχημα αναλογούν έως και 2 8ωρες βάρδιες ημερησίως. Ο αριθμός των Α/Φ στρογγυλοποιείται στον επόμενο ακέραιο.

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου δεν λαμβάνεται υπ' όψιν ο μη παραγωγικός χρόνος w . Οι επιμέρους χρόνοι $(Ct \times uc)$, $(nr-1) \times dbc$, h και s πολλαπλασιάζονται με τις αντίστοιχες καταναλώσεις του **Πίνακας 64**.

5.2.4 Συνολικό κόστος συλλογής σύμμεικτων ΑΣΑ

Στο συνολικό κόστος γίνεται ανάλυση ευαισθησίας. Αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά στον κάτωθι **Πίνακας 65**. Πιο συγκεκριμένα, μελετώνται 5 περιπτώσεις οικιστικών ιστών τροποποιώντας, ουσιαστικά τις αποστάσεις που διανύονται από το Α/Φ όχημα επεμβαίνοντας στις μέσες αποστάσεις των κατοικιών και στο συντελεστή απόστασης Κ. Επιπλέον, γίνεται θεώρηση για 1 ή 2 κάδους ανά σημείο συλλογής. Τέλος, λόγω μειωμένης κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αραιοκατοικημένες περιοχές, λαμβάνεται και μειωμένος νεκρός χρόνος w (15% αντί για 17,5%). Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι για την Κοινότητα, όταν αυτή εξετάζεται μεμονωμένα λαμβάνεται Α/Φ όχημα 4m³.

Οι καταναλώσεις Diesel, οι οποίες ελήφθησαν υπ' όψιν στην ΑΚΖ του **Κεφαλαίου 4** προκύπτουν από τους εξής συνδυασμούς σε επίπεδο Περιφέρειας διαιρώντας της ολικές καταναλώσεις L Diesel με την ετήσια παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ (153.000tn):

- 2-7-12 για 5,42L ως η δυσμενής θεώρηση
- 3-8-13 για 3,76L ως η αναμενόμενη θεώρηση
- 4-9-14 για 3,29L ως η αισιόδοξη θεώρηση.

Πίνακας 65. Εξεταζόμενες παράμετροι ανάλυσης ευαισθησίας του κόστους συλλογής ΑΣΑ για τη σύμμεικτη και τη ΔσΠ συλλογή ΑΣΑ.

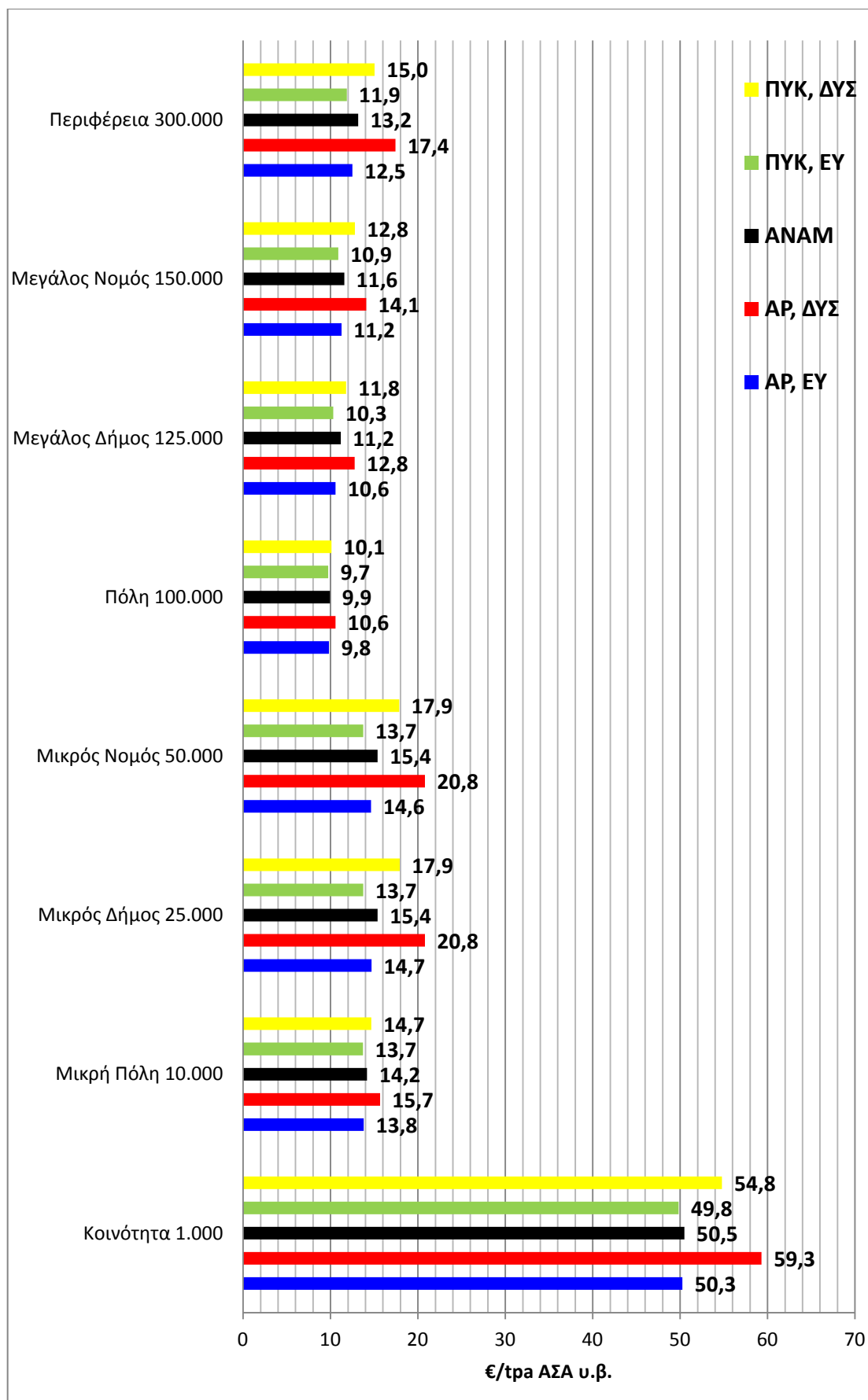
α/α	Περιγραφή	Μέση απόσταση κατοικιών επί χάρτου (m)	Συντελεστής απόστασης Κ	Κάδοι ανά στάση	Νεκρός χρόνος w (%)
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ					
1	Αραιοκατοικημένη, ευπροσπέλαστη	60	1,00	1	0,150
2	Αραιοκατοικημένη, δυσπροσπέλαστη	60	3,00	1	0,150
3	Αναμενόμενη	50	1,41	1	0,175
4	Πυκνοκατοικημένη, ευπροσπέλαστη	40	1,00	1	0,175
5	Πυκνοκατοικημένη, δυσπροσπέλαστη	40	3,00	1	0,175
ΜΙΚΡΗ ΠΟΛΗ					
6	Αραιοκατοικημένη, ευπροσπέλαστη	50	1,00	1	0,150
7	Αραιοκατοικημένη, δυσπροσπέλαστη	50	3,00	1	0,150
8	Αναμενόμενη	40	1,41	1	0,175
9	Πυκνοκατοικημένη, ευπροσπέλαστη	30	1,00	2	0,175
10	Πυκνοκατοικημένη, δυσπροσπέλαστη	30	3,00	2	0,175
ΠΟΛΗ					
11	Αραιοκατοικημένη, ευπροσπέλαστη	40	1,00	2	0,150
12	Αραιοκατοικημένη, δυσπροσπέλαστη	40	3,00	2	0,150

13	Αναμενόμενη	30	1,41	2	0,175
14	Πυκνοκατοικημένη, ευπροσπέλαστη	20	1,00	4	0,175
15	Πυκνοκατοικημένη, δυσπροσπέλαστη	20	3,00	4	0,175

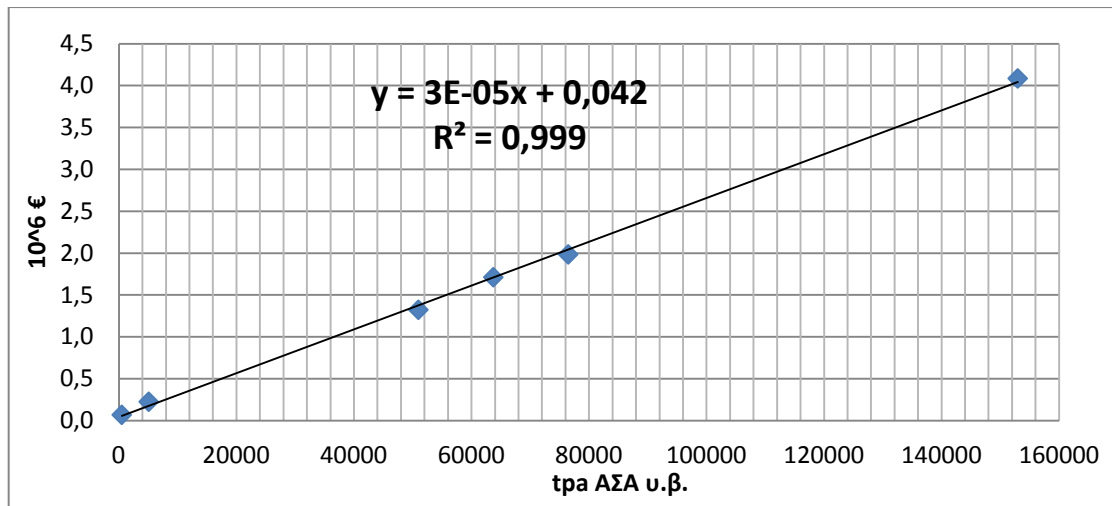
Στον ακόλουθο **Πίνακας 66** παρατίθενται η ανάλυση του ετήσιου κόστους συλλογής ΑΣΑ για την Περιφέρεια Α. Στο **Γράφημα 14** απεικονίζεται η ανάλυση ευαισθησίας του ανηγμένου κόστους συλλογής (€/τρα). Τέλος, στο **Γράφημα 15** παρουσιάζεται το κόστος επένδυσης σε σχέση με την τρα και στο **Γράφημα 16** το ανηγμένο κόστος για οικιστικούς ιστούς.

Πίνακας 66. Ανάλυση κόστους συλλογής 153.000tn ΑΣΑ υ.β. ετησίως για την αναμενόμενη θεώρηση (3-8-13) της Περιφέρειας Α των 300.000 κατοίκων σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

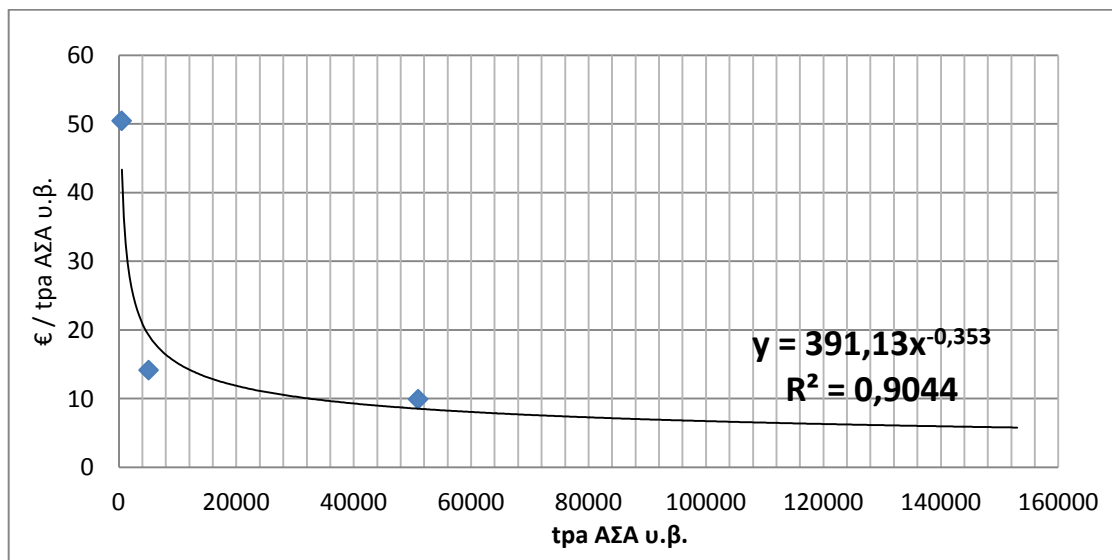
Περιγραφή	Ποσότητα	Μονάδα	Κόστος μονάδας	Συνολικό κόστος	Συνολικό κόστος ανά τρα ΑΣΑ
Αρχική Επένδυση					
Α/Φ οχήματα	7	#	105.572,99 €	739.010,94 €	-
Κάδοι	21000	#	141,70 €	2.975.714,92 €	-
Διάφορα	10%	€	3.714.725,86 €	371.472,59 €	-
Συνολική αρχική επένδυση					4.086.198,45 €
Αποσβέσεις					
Α/Φ οχήματα	12%		739.010,94 €	88.681,31 €	0,58 €
Κάδοι	12%		2.975.714,92 €	357.085,79 €	2,33 €
Διάφορα	10%		371.472,59 €	37.147,26 €	0,24 €
Υποσύνολο					482.914,36 €
Σταθερά κόστη λειτουργίας					
Συντήρηση Α/Φ	5%	739.010,94 €		36.950,55 €	0,24 €
Συντήρηση Κάδων	5%	2.975.714,92 €		148.785,75 €	0,97 €
Συντήρηση Διαφόρων	5%	371.472,59 €		18.573,63 €	0,12 €
Ασφάλιση	1%	4.086.198,45 €		40.861,98 €	0,27 €
Μισθοδοσία					
ΕΩ οδηγών	26884	hr	12,19 €	327.648,75 €	2,14 €
ΕΩ συλλεκτών	53768	hr	8,44 €	453.667,50 €	2,97 €
Διάφορα	10%	1.026.488,16 €		102.648,82 €	0,67 €
Υποσύνολο					1.129.136,97 €
Μεταβλητά κόστη λειτουργίας					
Ηλ. ενέργεια	-	kWh		-	-
Diesel	574.985,64	L	0,637 €/L	366.265,85 €	2,39 €
Διάφορα	10%	366.265,85 €		36.626,59 €	0,24 €
Υποσύνολο					402.892,44 €
Τελικό Σύνολο				2.014.943,77 €	13,17 €



Γράφημα 14. Ανάλυση ευαισθησίας ανηγμένου κόστους συλλογής σύμμεικτων ΑΣΑ ανά ετήσια παραγωγή (τρα) για κάθε οικιστικό ιστό και διοικητική δομή σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 15. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10^6 € για αναμενόμενη θεώρηση για σύμμεικτη συλλογή ΑΣΑ σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

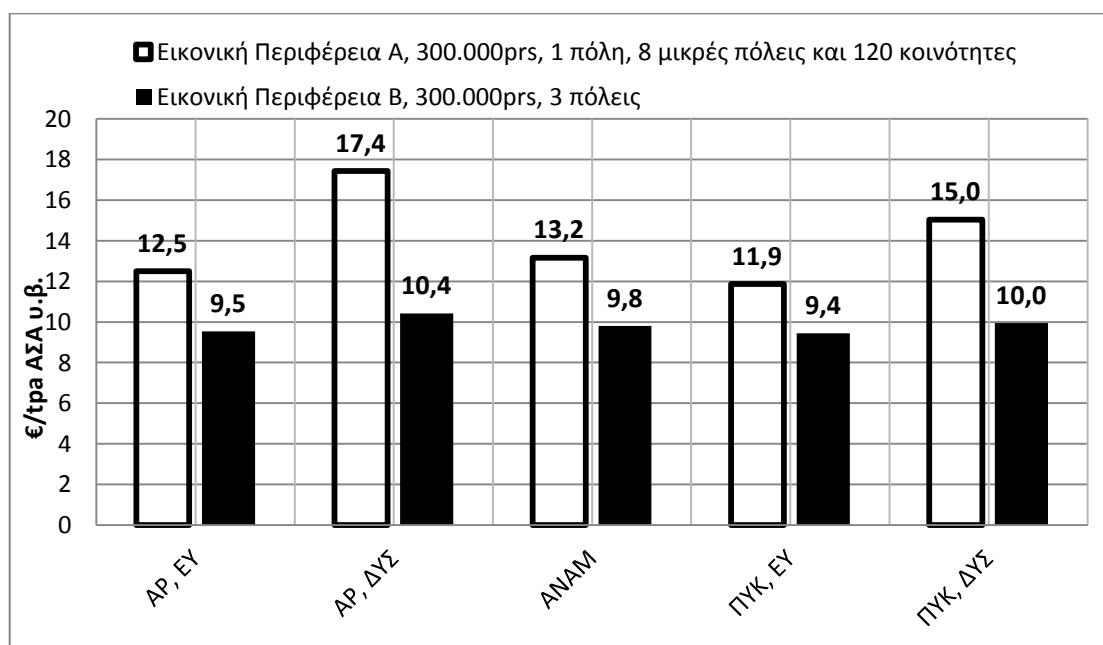


Γράφημα 16. Ανηγμένο κόστος συλλογής σε €/τpa ΑΣΑ υ.β. για οικιστικούς ιστούς και αναμενόμενη θεώρηση για σύμμεικτη συλλογή ΑΣΑ χωρίς ΦΠΑ.

Από τα Γραφήματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Επιτυγχάνεται, εν γένει, οικονομία κλίμακος καθώς αυξάνεται η τpa ΑΣΑ.
2. Το κόστος συλλογής αυξάνεται κατά τη μετάβαση από οικιστικούς ιστούς (κοινότητες και πόλεις) σε διοικητικές δομές (Δήμους, Νομούς και Περιφέρειες). Αυτό οφείλεται στις αυξημένες διανυόμενες αποστάσεων ή, εξαιτίας των κοινοτήτων οι οποίες απέχουν 25km κατά μέσο όρο από το ΣΜΑ.
3. Το ανηγμένο κόστος αγοράς των κάδων και η συντήρηση αυτών παραμένουν **σταθερά** σε όλα τα Σενάρια και ισούνται με **4,74€/τpa ΑΣΑ** και **0,97€/τpa ΑΣΑ** αντιστοίχως. Αυτό προκύπτει, διότι σε όλες τις θεωρήσεις λήφθηκε μέσος συντελεστής χρήσης κάδου $f = 60\%$.

4. Οι μεταβολές στον συντελεστή Κ (1, 1,41 ή 3), στις αποστάσεις ανάμεσα τις κατοικίες (20-60m) και στους νεκρούς χρόνους (15% ή 17,5%) οδηγούν σε αυξημένες απαιτήσεις κατανάλωσης Diesel και ΕΩ. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ανά τη ΑΣΑ υ.β στην Περιφέρεια παρατηρείται χρήση 3,29 έως 5,42L Diesel/τρα ΑΣΑ. Αυτό μεταφράζεται σε κόστος από **2,10 έως 3,45€/τρα ΑΣΑ**. Τέλος, παρατηρείται διακύμανση στο κόστος ΕΩ από **1,82 έως 3,16€/τρα ΑΣΑ οδηγού** και **2,52 έως 4,38€/τρα ΑΣΑ συλλέκτη**.
5. Παρατηρείται, ότι βάσει των θεωρήσεων τις ανάλυσης ευαισθησίας, το κόστος συλλογής σύμμεικτων ΑΣΑ διατηρεί σταθερό προφίλ. Δηλαδή, πάντα βαίνει μειούμενο (**ΑΡ,ΔΥΣ – κόκκινο**) > (**ΠΥΚ,ΔΥΣ – κίτρινο**) > (**ΑΝΑΜ – μαύρο**) > (**ΑΡ, ΕΥ – μπλε**) > (**ΠΥΚ, ΕΥ – πράσινο**).
6. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης του κόστους συλλογής οποιασδήποτε Περιφέρειας, τροποποιώντας καταλλήλως την χωροταξία ή/και τον πληθυσμό τις. Επί παραδείγματι, η Περιφέρεια Α, τέλος, συγκρίνεται με μια Περιφέρεια Β ίδιου πληθυσμού, ο οποίος είναι καταμερισμένος σε 3 πόλεις των 100.000 κατοίκων και οι οποίες απέχουν 12,5km από το ΣΜΑ (βλ. [Γράφημα 17](#)). Αρχικά παρατηρείται μείωση του κόστους (9,4 -10,4€/τρα ΑΣΑ έναντι με 11,9-17,4€/τρα ΑΣΑ για πόλη). Επιπλέον, αποτυπώνεται η σαφώς μεγαλύτερη επιρροή τις απόστασης από και προς το ΣΜΑ λόγω απομακρυσμένων κοινοτήτων, εν αντιθέσει με τις συντελεστές Κ, το νεκρό χρόνο W και τις αποστάσεις μεταξύ των κατοικιών. Τέλος, στην Περιφέρεια Β, αναμένεται χαμηλότερο κόστος Diesel 1,40-1,65€/tn ΑΣΑ αντί για 2,10-3,45€/tn ΑΣΑ και χαμηλότερο κόστος ΕΩ (1,3-1,5€/tn ΑΣΑ οδηγού και 1,8-2,1€/tn ΑΣΑ συλλέκτη αντί για 1,8-3,2€/tn ΑΣΑ οδηγού και 2,5-4,4€/tn ΑΣΑ συλλέκτη).



Γράφημα 17. Σύγκριση κόστους συλλογής 1tn σύμμεικτων ΑΣΑ υ.β. σε Περιφέρεια Α και Β 300.000 κατοίκων και διαφορετικών χωροταξιών σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

5.2.5 Συνολικό κόστος συλλογής ΔσΠ ΑΣΑ

Αρχικά, έχει θεωρηθεί σύστημα ΔσΠ 6 κάδων. Προκειμένου να υπολογιστεί η ποσότητα και η χωρητικότητα των κάδων ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Λαμβάνονται οι πυκνότητες για τα κλάσματα των ΑΣΑ από τον **Πίνακας 2**
2. Από τον **Πίνακας 28** λαμβάνεται η κατανομή των κλασμάτων αυτών, συμπεριλαμβανομένου των προσμίξεων εντός των κάδων.
3. Βάσει των Βημάτων 1 και 2 υπολογίζεται η πυκνότητας των ΑΣΑ εντός των κάδων. (βλ. **Πίνακας 67**)

Πίνακας 67. Υπολογισμός της πυκνότητας του κάδου του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ.

Κλάσματα ΑΣΑ	Αρχική ρ (Πίνακας 2) kg/m ³	Κατανομή κλασμάτων εντός κάδου (Πίνακας 28)	Αναγωγή σε 100%	Επιμέρους και συνολική (ρ') πυκνότητες kg/m ³
Οργανικά	200,00	28,70%	87,38%	174,76
Χαρτί	210,50	1,89%	5,74%	12,08
Πλαστικό	140,00	1,05%	3,20%	4,48
Μέταλλα	230,00	0,24%	0,72%	1,65
Γυαλί	333,20	0,25%	0,77%	2,57
Διάφορα	292,44	0,60%	1,83%	5,36
Αδρανή	633,79	0,12%	0,37%	2,32
ρ' (kg/m³)			100,0%	203,22

Προκύπτουν, λοιπόν, οι ακόλουθες επιμέρους πυκνότητες:

- Κάδος οργανικών: 203,22kg/m³
- Κάδος Χαρτιού: 209,59kg/m³
- Κάδος Πλαστικού: 152,58kg/m³
- Κάδος Μετάλλων: 225,14kg/m³
- Κάδος Γυαλιού: 308,09kg/m³
- Κάδος Υπολειμμάτων: 258,40kg/m³

4. Γνωρίζοντας τώρα τις επιμέρους πυκνότητες ρ' , αλλά και τις συνολικές κατανομές των κλασμάτων όπως αυτές απεικονίζονται στον **Πίνακας 28** (π.χ. 28,70% για στοχευμένο υλικό και 4,15% για προσμίξεις στον οργανικό Κάδο), συμπεραίνεται ότι για μια κοινότητα 1.000 κατοίκων με 510τρα ή 9,78τρw στους κάδους των οργανικών ανά εβδομάδα θα τοποθετούνται 9,78t x (28,70% + 4,15%) = 3,21tn ΑΣΑ = 3,21/0,2032 = 15,81m³. Κατά αυτό τον τρόπο υπολογίζεται ο όγκος των επιμέρους περιεχομένων των κάδων και παρατίθεται στον ακόλουθο **Πίνακας 68**.

Πίνακας 68. Υπολογισμός εβδομαδιαίας ποσότητας ΑΣΑ σε m³ ανά κάδο ΔσΠ για κοινότητα.

Κοινότητα 1.000 κατοίκων		ΟΡΓΑΝΙΚΟ	ΧΑΡΤΙ	ΠΛΑΣΤΙΚΟ	ΜΕΤΑΛΛΑ	ΓΥΑΛΙ	ΥΠΟΛ.
510,0	tn/y	167,5	134,1	43,2	17,2	17,2	130,9
9,78	tn/w	3,21	2,57	0,83	0,33	0,33	2,51
	m ³ /w	15,81	12,27	5,42	1,46	1,07	9,72

Για τη συλλογή των οργανικών αξιοποιούνται κάδοι των 1100L με συντελεστή χρήσης $f = 60\%$, για το χαρτί και τα υπολείμματα κάδοι των 660L με $f = 0,77$ και $0,61$ αντίστοιχα, για το πλαστικό κάδοι των 240L με $f = 0,94$ και για τα μέταλλα και το γυαλί κάδοι των 120L με $f = 0,51$ και $0,37$ αντίστοιχα. Οι καταναλώσεις Diesel, οι οποίες ελήφθησαν υπ' όψιν στην ΑΚΖ του **Κεφαλαίου 4** προκύπτουν από τους εξής συνδυασμούς σε επίπεδο Περιφέρειας διαιρώντας της ολικές καταναλώσεις L Diesel με την ετήσια παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ (153.000tn):

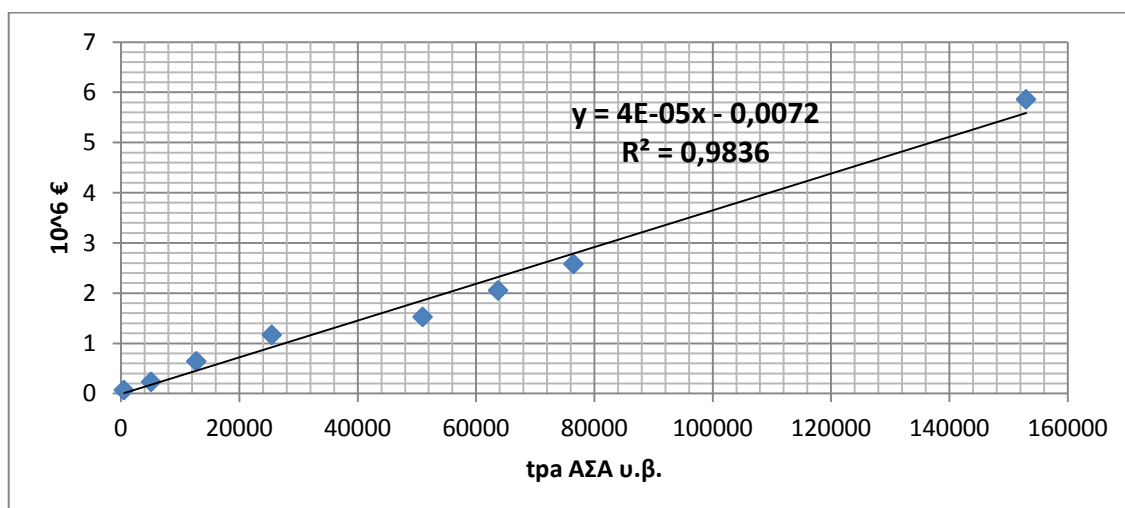
- 2-7-12 για 19,20L ως η δυσμενής θεώρηση
- 3-8-13 για 9,64L ως η αναμενόμενη θεώρηση
- 4-9-14 για 6,94L ως η αισιόδοξη θεώρηση

Πίνακας 69. Ανάλυση κόστους συλλογής 153.000tn ΑΣΑ υ.β. ετησίως για την αναμενόμενη θεώρηση (3-8-13) της Περιφέρειας των 300.000 κατοίκων σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

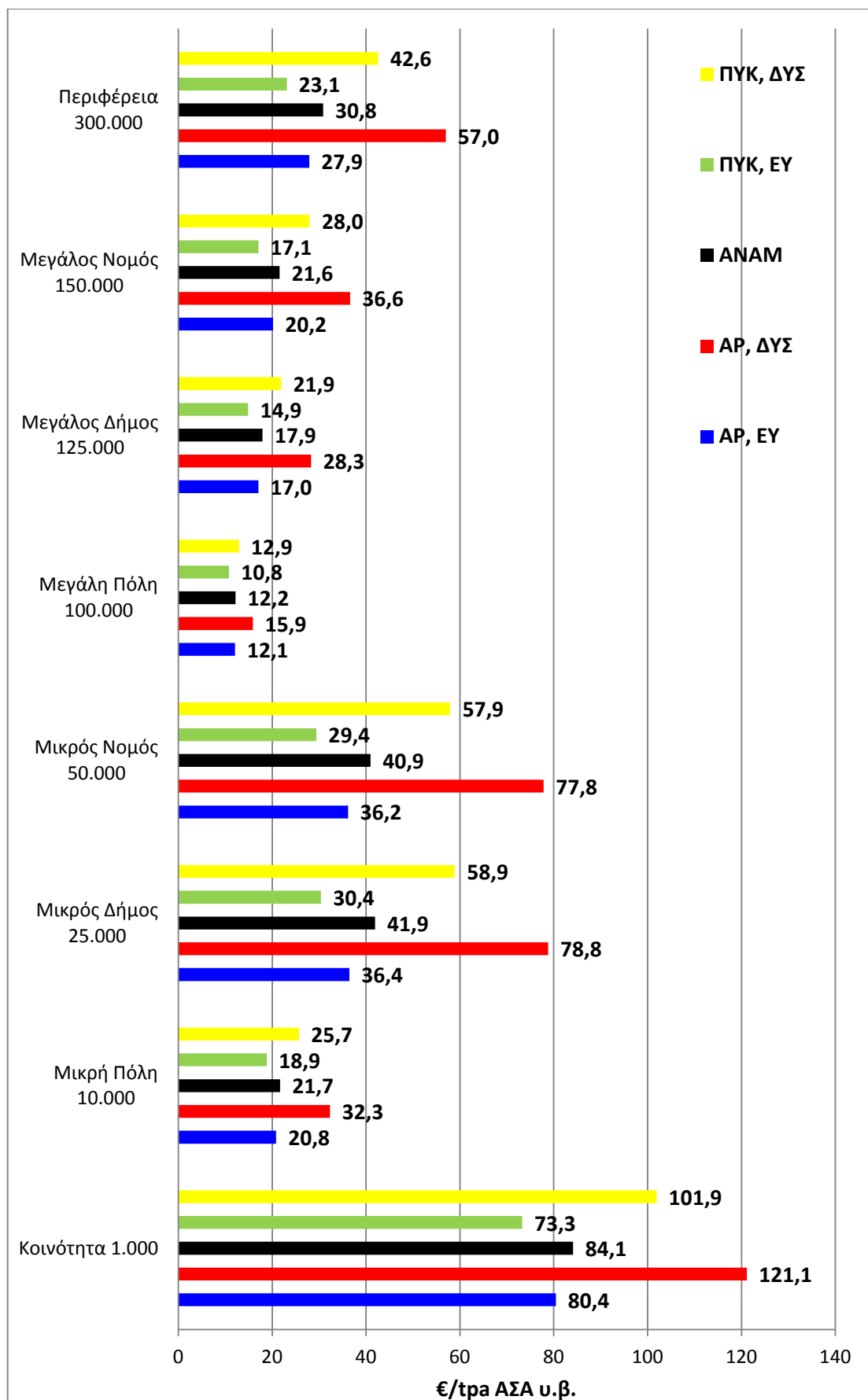
Περιγραφή	Ποσότητα	Μονάδα	Κόστος μονάδας	Συνολικό κόστος	Συνολικό κόστος ανά tra ΑΣΑ
Αρχική Επένδυση					
Α/Φ οχήματα	29	#	105.572,99 €	3.061.616,75 €	-
Κάδοι 1100lt	7200	-#	141,70 €	1.020.245,12 €	-
Κάδοι 660lt	14400	-#	118,51 €	1.706.591,83 €	-
Κάδοι 240lt	7200	#-	28,00 €	201.600,00 €	-
Κάδοι 120lt	14400	#-	20,00 €	288.000,00 €	-
Διάφορα	10%	€	6.278.053,69 €	627.805,37 €	-
Συνολική αρχική επένδυση				6.905.859,06 €-	
Αποσβέσεις					
Α/Φ οχήματα	12%		3.061.616,75 €	367.394,01 €	2,40 €
Κάδοι	12%		3.216.436,94 €	385.972,43 €	2,52 €
Διάφορα	10%		627.805,37 €	62.780,54 €	0,41 €
Υποσύνολο				816.146,98 €	5,33 €
Σταθερά κόστη λειτουργίας					
Συντήρηση Α/Φ	5%	3.061.616,75 €		153.080,84 €	1,00 €
Συντήρηση Κάδων	5%	3.216.436,94 €		160.821,85 €	1,05 €
Συντήρηση Διαφόρων	5%	627.805,37 €		31.390,27 €	0,21 €
Ασφάλιση	1%	6.905.859,06 €		69.058,59 €	0,45 €
Μισθοδοσία					
Οδηγοί	117624	hr	12,19	1.433.542,50 €	9,37 €
Συλλέκτες	235248	hr	8,44	1.984.905,00 €	12,97 €
Διάφορα	10%	3.832.799,04 €		383.279,90 €	2,51 €
Υποσύνολο				4.216.078,95 €	27,56 €
Μεταβλητά κόστη λειτουργίας					
Ηλ. ενέργεια	-	kWh		-	
Diesel	2.113.261,47	L	0,637 €/L	1.346.147,56 €	8,80 €
Διάφορα	10%	1.346.147,56 €		134.614,76 €	0,88 €
Υποσύνολο				1.480.762,31 €	9,68 €
Τελικό Σύνολο				6.512.988,24 €	42,57 €

Από τα ακόλουθα **Γραφήματα** προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

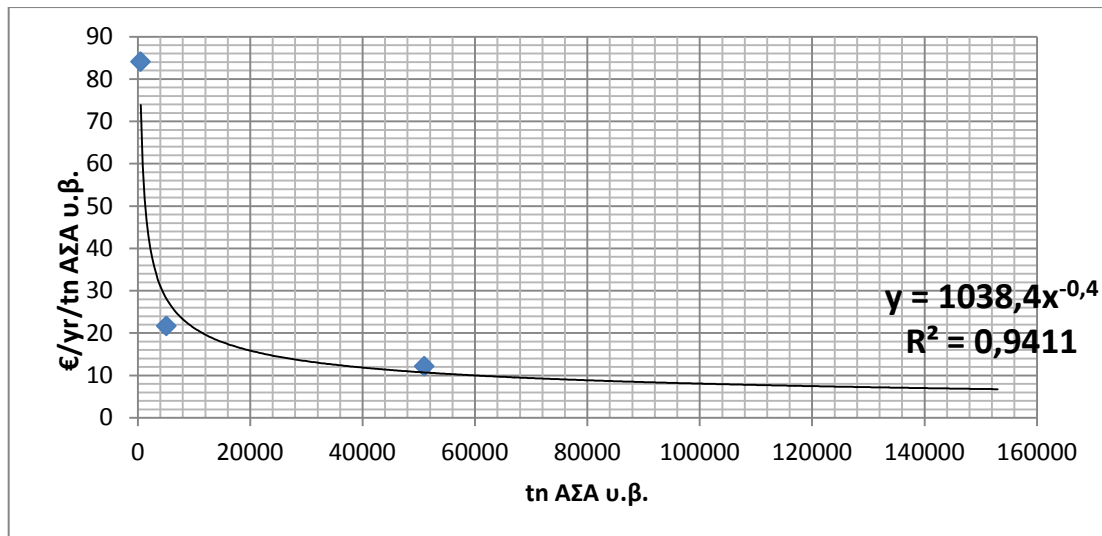
1. Επιτυγχάνεται, εν γένει, οικονομία κλίμακος καθώς αυξάνεται η tpa ΑΣΑ
2. Υπάρχει αύξηση του κόστους συλλογής κατά τη μετάβαση από οικιστικούς ιστούς (κοινότητες και πόλεις) σε διοικητικές δομές (Δήμους, Νομούς και Περιφέρειες).
3. Το ανηγμένο κόστος αγοράς των κάδων και η συντήρηση αυτών παραμένουν σταθερά σε όλα τα Σενάρια και ισούται με **5,13€/tpa ΑΣΑ** και **1,05€/tpa ΑΣΑ** αντιστοίχως. Αυτό οφείλεται στους σταθερούς συντελεστές χρήσης f των κάδων.
4. Οι μεταβολές στον συντελεστή K (1, 1,41 ή 3), στις αποστάσεις ανάμεσα στις κατοικίες (20-60m) και στους νεκρούς χρόνους (15% ή 17,5%) οδηγούν σε αυξημένες απαιτήσεις Diesel και ΕΩ. Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως η επιρροή των παραγόντων αυτών είναι σαφώς εμφανέστερη σε σχέση με εκείνη της συλλογής συμμείκτων ΑΣΑ, καθώς υπάρχει αναγκαστική επικάλυψη των δρομολογίων. Πιο συγκεκριμένα, μια απόσταση από ένα σημείο συλλογής προς ένα άλλο, η οποία κατά τη σύμμεκτη συλλογή διανυόταν 1 φορά, κατά τη ΔσΠ διανύεται 6 φορές.
5. Παρατηρείται, ότι βάσει των θεωρήσεων της ανάλυσης ευαισθησίας, το κόστος συλλογής ΔσΠ ΑΣΑ διατηρεί σταθερό προφίλ. Πιο συγκεκριμένα, είναι μέγιστο στους αραιοκατοικημένους και δυσπροσπέλαστους οικισμούς (ΑΡ,ΔΥΣ) και ελάχιστο στους πυκνοκατοικημένους και ευπροσπέλαστους (ΠΥΚ, ΕΥ) (βλ.).
6. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης του κόστους συλλογής οποιασδήποτε Περιφέρειας, τροποποιώντας καταλλήλως την χωροταξία ή/και τον πληθυσμό της. Σκοπίμως αντιπαραβάλλεται στην εικονική Περιφέρεια Α, μια Περιφέρεια Β ίδιου πληθυσμού, ο οποίος είναι καταμερισμένος σε 3 πόλεις των 100.000 κατοίκων έκαστη και οι οποίες απέχουν 12,5km από το ΣΜΑ (βλ. [Γράφημα 21](#)).



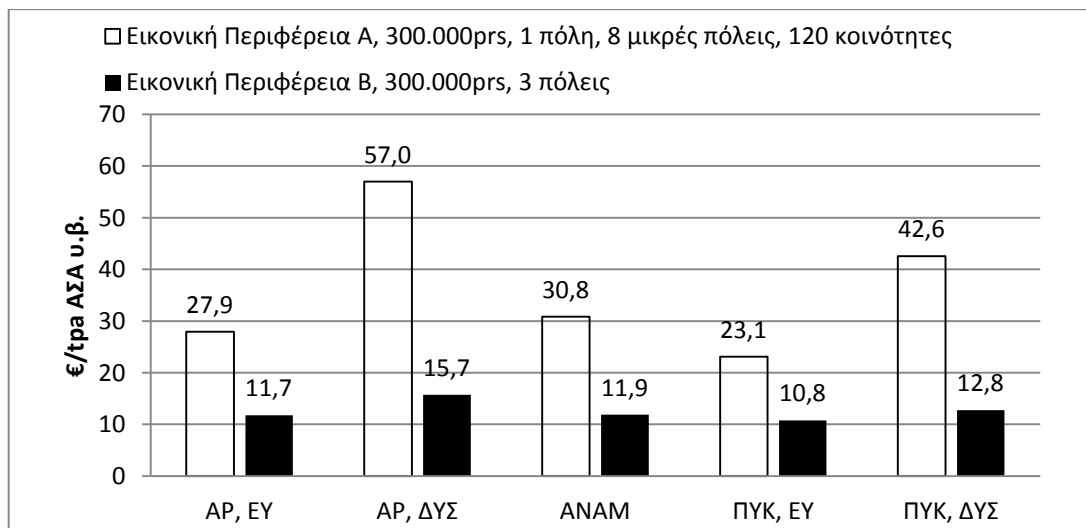
Γράφημα 18. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10^6 € για αναμενόμενη θεώρηση για ΔσΠ συλλογή ΑΣΑ σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 19. Ανάλυση ευαισθησίας ανηγμένου κόστους συλλογής ΔσΠ ΑΣΑ για κάθε οικιστικό ιστό και διοικητική δομή σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 20. Ανηγμένο κόστος συλλογής ΑΣΑ σε €/τρα ΑΣΑ u.β. για οικιστικούς ιστούς και αναμενόμενη θεώρηση για ΔσΠ συλλογή ΑΣΑ χωρίς ΦΠΑ.



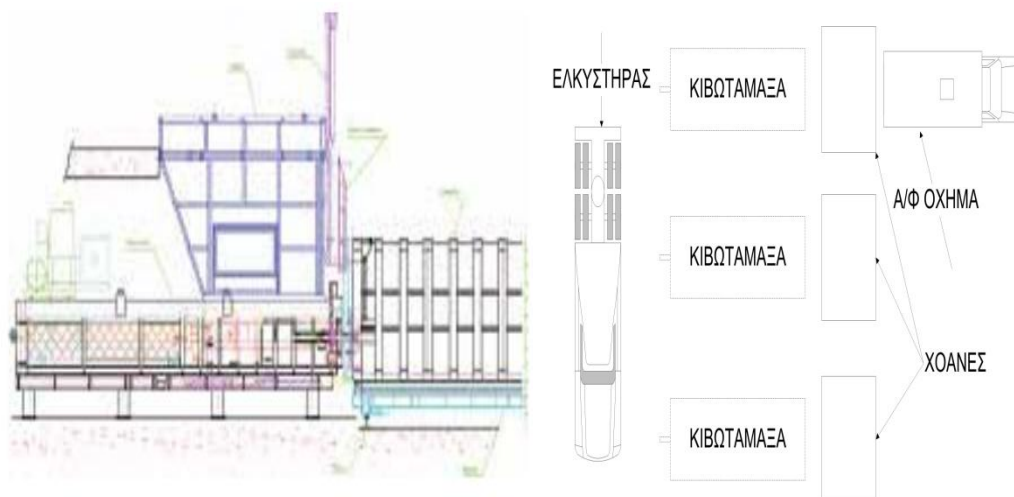
Γράφημα 21. Σύγκριση κόστους συλλογής 1tn ΔσΠ ΑΣΑ u.β. σε Περιφέρεια Α και Β 300.000 κατοίκων και διαφορετικών χωροταξιών σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

5.3 Κόστος μεταφοράς ΑΣΑ

Πιο συγκεκριμένα, ως μεταφορά των ΑΣΑ, σύμμεικτων ή ΔσΠ, ορίζεται ο κύκλος εργασιών εντός του ΣΜΑ (διεργασίες μεταφόρτωσης και συμπίεσης) και η μεταφορά με χρήση ελκυστήρων (τράκτορες) και κιβωταμάξων για την μετακίνηση των ΑΣΑ από τον χώρο του ΣΜΑ προς τον χώρο επεξεργασίας ή/και διάθεσης.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ΣΜΑ, ο σταθερός και ο κινητός [101]. Ως σταθερός ΣΜΑ, ορίζεται ο σταθμός μεταφόρτωσης εκείνος, του οποίου όλες οι απαραίτητες διαδικασίες εκτελούνται σε συγκεκριμένο χώρο με την κατάλληλη πάγια εγκατάσταση και τεχνική υποδομή. Ως κινητός σταθμός ορίζεται οποιοσδήποτε τύπος οχήματος ή συνδυασμός

οχημάτων, ο οποίος φέρει τον κατάλληλο εξοπλισμό και υπερκατασκευή για την υποδοχή των αποβλήτων χωρίς τη μεσολάβηση πάγιων εγκαταστάσεων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται **σταθερός ΣΜΑ με διάταξη δύο επιπέδων**. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται εκκένωση των Α/Φ οχημάτων σε χοάνες, οι οποίες τροφοδοτούν καταλλήλως με ΑΣΑ τους συμπιεστές, οι οποίοι ευρίσκονται στο δεύτερο επίπεδο [119, 120].



Σχήμα 11. ΣΜΑ με διάταξη δύο επιπέδων [119, 120].

5.3.1 Κόστος επένδυσης

Αρχικά αξιοποιείται η πηγή [111], όπου και παρατίθεται επιγραμματικά το κόστος μεταφοράς ΑΣΑ μέσω ΣΜΑ στη Δανία για το έτος 2002, από όπου και προκύπτει κόστος μεταφοράς 11€/τρα ΑΣΑ υ.β. για τη λειτουργία ενός ΣΜΑ δυναμικότητας 50.000τρα ΑΣΑ υ.β.

Προκειμένου να υπολογιστεί το κόστος μονάδας των έργων Π/Μ και Η/Μ (πχ. €/m² ή €/τεμάχιο) σε 2015€ για την Ελλάδα, αξιοποιούνται οι δείκτες τιμών της Eurostat [110] για τα **έργα Π/Μ** (122,3 και 130,4 για Δανία 2002 και 2015 αντίστοιχα, 77,5 και 72,5 για Ελλάδα 2002 και 2015 αντίστοιχα) και για τα **έργα Η/Μ** (113,5 και 117,1 για Δανία 2002 και 2015 αντίστοιχα, 105,4 και 95,3 για Ελλάδα 2002 και 2015 αντίστοιχα). Αναφορικά με το κόστος της αγοράς γης, λαμβάνεται από τη βάση δεδομένων **apri_ap_aland** [121] ως 4,80€/m² για μη καλλιεργήσιμη γη για το έτος 2008. Το ποσό αυτό προσαυξάνεται ετησίως με πληθωρισμό **2%**, λαμβάνοντας την τιμή των **5,51€/m² για το έτος 2015**.

Τέλος, στο σταθερό κόστος επένδυσης προστίθεται και η ποσότητα των Διαφόρων, η οποία ορίζεται στο **10%** του κόστους επένδυσης [111]. Ως **ετήσιο κόστος κεφαλαίο** ορίζεται το **7%** και ως **απόσβεση** ορίζεται **4%** για κτιριακές εγκαταστάσεις και βιομηχανοστάσια, **10%** για μηχανήματα και **12%** για εξοπλισμό μεταφοράς φορτίου και **10%** για λοιπά πάγια στοιχεία [112].

5.3.2 Κόστος λειτουργίας

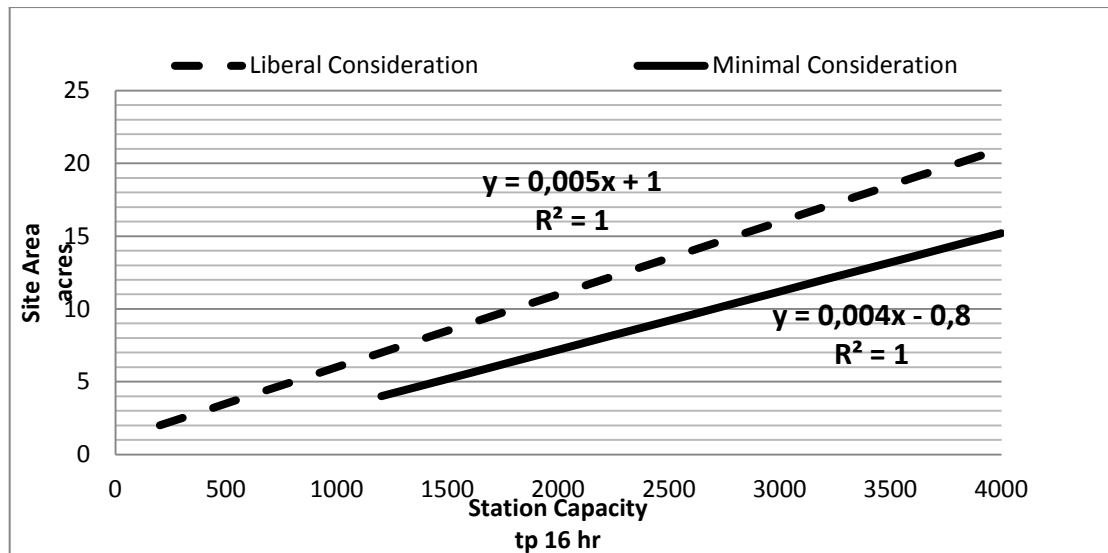
Το κόστος λειτουργίας χωρίζεται σε σταθερό και σε μεταβλητό. Τα σταθερό κόστος περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης, ασφάλισης και μισθοδοσίας. Για το ετήσιο κόστος συντήρησης των έργων Η/Μ λαμβάνεται **5%** επί του αρχικού κόστους επένδυσης αυτών **[101, 111]** και για το κόστος συντήρησης των έργων Π/Μ λαμβάνεται **8%** **[111]**. Για το ετήσιο κόστος ασφάλισης λαμβάνεται **1%** επί της αρχικής επένδυσης **[101, 111]**. Αναφορικά τώρα με το κόστος μισθοδοσίας, λαμβάνονται υπ' όψιν 3 κατηγορίες εργαζομένων. Αυτοί είναι οι οδηγοί, των οποίων το κόστος της ΕΩ αναλύθηκε και στο **Κεφάλαιο 5.2.2**, οι τεχνικοί και οι φύλακες. Προκειμένου να υπολογισθεί το κόστος της ΕΩ των εργαζομένων ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Γίνεται εκτίμηση του μηνιαίου μισθού σε 1.800€ για τον οδηγό, 1.500€ για τον τεχνικό και 1.200€ για το φύλακα συμπεριλαμβανομένων των εργοδοτικών εισφορών.
2. Σε αυτό υπάρχει προσαύξηση με 150€ λόγω βαρέας και ανθυγιεινής εργασίας στους οδηγούς, 70€ στους τεχνικούς και 35€ στους φύλακες **[114]**.
3. Για εργασία 40 ωρών ανά εβδομάδα, προκύπτει κόστος εργατοώρας για τους οδηγούς $1950/160 = 12,19€/ΕΩ$, $1570/160 = 9,81€/ΕΩ$ για τους τεχνικούς και $1235/160 = 7,72€/ΕΩ$ για τους φύλακες.

Τέλος, για το μεταβλητό κόστος λειτουργίας λαμβάνεται η τιμή του Diesel ίση με 0,636€/L, χωρίς να περιλαμβάνει το ΦΠΑ (βλ. **Πίνακας 60**). Το κόστος ηλ. ενέργειας ανέρχεται σε 0,1325€/kWh_{el} χωρίς φόρους και επιβαρύνσεις (βλ. **Πίνακας 59**), αφού η αναμενόμενη κατανάλωση θα βρίσκεται στο εύρος 20-500MWh_{el} ετησίως. Αναφορικά με την κατανάλωση Diesel των ελκυστήρων, αυτή λαμβάνεται ίση με 1,68L/tn ΑΣΑ υ.β. για διαδρομή 50+50km. Τέλος, τόσο στο μεταβλητό, όσο και στο σταθερό κόστος υπάρχει προσαύξηση της τάξεως του 10% λόγω Διαφόρων κοστών.

5.3.3 Συνολικό κόστος μεταφοράς ΑΣΑ

Θα εξεταστούν 2 μεγέθη ΣΜΑ διπλού επιπέδου, ένα για Νομό 150.000 κατοίκων και ένα για Νομό 50.000 κατοίκων. Αυτό συμβαίνει, ούτως ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της Περιφέρειας Α (1 ΣΜΑ για Νομό ΑΝ-1 και 3 ΣΜΑ για Νομούς ΑΝ-2, 3 και 4). Σχετικά με τα έργα Π/Μ, το σημαντικότερο είναι να γίνει εκτίμηση της αρχικής έκτασης του ΣΜΑ. Στο ακόλουθο **Γράφημα 22** συσχετίζεται η απαιτούμενη έκταση ενός ΣΜΑ σε εκτάρια, ο οποίος λειτουργεί 16 ώρες ημερησίως, με την δυναμικότητά του **[119]**. Προκύπτει, λοιπόν, ότι στον Νομό ΑΝ -1, ο οποίος διαθέτει 150.000 κατοίκους και άρα 209,6tn ΑΣΑ ανά ημέρα απαιτούνται $(0,005 \times 209,6 + 1)(\text{εκτάρια}) \times 4046,86 (\text{m}^2/\text{εκτάρια}) = 8.000\text{m}^2$. Ομοίως, για τους Νομούς ΑΝ-2,3 και 4, οι οποίοι διαθέτουν 50.000 έκαστος (69,9tn ΑΣΑ ημερησίως) υπολογίζεται απαιτούμενη έκταση 5.000m².



Γράφημα 22. Γραμμική συσχέτιση του τονάζ του ΣΜΑ με την έκταση αυτού με αισιόδοξη (minimal) και δυσμενή (liberal) πρόβλεψη.

Οι επιμέρους εργασίες των Έργων Π/Μ παραμετροποιούνται γραμμικά βάσει της πηγής [111]. Πιο συγκεκριμένα, όλο το οικόπεδο υπόκειται σε **επιφανειακές εργασίες**, το 1/3 αυτού σε **εκσκαφές**, τα 24/30 σε **οδοποιία**, το 1/6 σε **συστήματα παροχών**, τα 4/30 σε **κτίσματα** και το 1/60 σε **γραφεία**. Τέλος, το οικόπεδο θεωρείται τετράγωνο, και επομένως η **περίφραξη** υπολογίζεται ως $4x[(έκταση\ οικοπέδου)^{0,5}]$.

Αναφορικά με τις απαιτήσεις σε Η/Μ εξοπλισμό, προκύπτει ότι οι συμπιεστές που διατίθενται στο εμπόριο έχουν ονομαστική δυναμικότητα τροφοδοσίας 45tph και 70tph [120]. Ωστόσο, αυτές είναι θεωρητικές τιμές, οι λαμβάνονται για συνεχή και απρόσκοπτη τροφοδοσία του ΣΜΑ. Η πραγματική δυναμικότητα ενός ΣΜΑ εξαρτάται από την δυνατότητα φόρτωσης των κιβωταμάξων ή από τη δυνατότητα εκφόρτωσης των Α/Φ οχημάτων. Εντούτοις, στην [119], δίδεται η ακόλουθη εξίσωση, η οποία περιγράφει την δυναμικότητα ενός ΣΜΑ δύο επιπέδων:

$$C = \frac{N * Pt * F * 60 * H}{\frac{Pt}{Pc} * T + B} \dots \dots \dots (Εξ. 25),$$

όπου

- N: ο αριθμός των χοανών
- Pt: η ποσότητα που φορτώνεται στις κιβωτάμαξες σε tn
- F: ο συντελεστής αιχμής (μέση προσέλευση οχημάτων προς μέγιστη (peak))
- H: καθημερινό ωράριο ΣΜΑ
- Pc: η ποσότητα ΑΣΑ που φέρουν τα Α/Φ οχήματα σε tn
- T: ο χρόνος εκφόρτωσης του Α/Φ οχήματος
- B: ο χρόνος απομάκρυνσης και τοποθέτησης νέας κιβωτάμαξας

Για **N = 2**, ούτως ώστε να υπάρχει πάντα εφεδρεία σε συμπιεστές σε περίπτωση βλάβης, για **Pt = 20tn** (σε εύρος 15-25) για ελκυστήρα με μεικτό βάρος 38tn και ωφέλιμο φορτίο 20tn [101] και κιβωτάμαξες διαστάσεων 6400 x 2450 x 2350mm και χωρητικότητας 32m³, για **F =**

1/2 σε Νομό 150.000 κατοίκων και **F = 1/1** σε Νομό 50.0000, για **H = 16hr**, για $P_t/P_c = 20/10 = 2$ (20tn για ελκυστήρα και 10tn για Α/Φ όχημα), για **T = 15min** (βλ. [Κεφάλαιο 5.2.3](#)) και για **B = 10min**, προκύπτουν οι εξής δυναμικότητες για τους ΣΜΑ:

1. **Εξ. 25** $\rightarrow C = \frac{2 \cdot 20 \cdot 1/2 \cdot 60 \cdot 16}{20/10 \cdot 15 + 10} = 480 \text{tpd}$ για τον Νομό AN – 1
2. **Εξ. 25** $\rightarrow C = \frac{2 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 16}{20/10 \cdot 15 + 10} = 960 \text{tpd}$ για τους Νομούς AN – 2, 3 και 4

Και στις δύο περιπτώσεις οι δυναμικότητα των ΣΜΑ είναι αρκετή για να ικανοποιήσει τις παραγόμενες ποσότητες ΑΣΑ στους αντίστοιχους Νομούς (209,6tpd και 69,9tpd). Προκύπτει, λοιπόν, ότι και για τους ΣΜΑ απαιτούνται 2 συμπιεστές. Για χωρητικότητα κιβωτάμαξας 32m^3 και με συντελεστή ασφαλείας 1,30 προκύπτει ωφέλιμο φορτίο $24,6 \text{m}^3$. Αυτό, σε συνδυασμό με τελική πυκνότητα συμπίεσης των ΑΣΑ σε $0,813 \text{kg/m}^3$, οδηγεί στον υπολογισμό του ωφέλιμου φορτίου $24,6 \times 1000 \times 0,813 = 20 \text{tn}$ ΑΣΑ.

Για **ΣΜΑ δυναμικότητας 209,6tpd** απαιτούνται 11 δρομολόγια ημερησίως. Πιο συγκεκριμένα, για την φορτοεκφόρτωση της κιβωτάμαξας στον τριαξονικό ελκυστήρα απαιτούνται $2 \times B = 20 \text{min} = 0,33 \text{hr}$, για την διάνυση απόστασης διπλής 50+50km από και προς τη ΜΕΑ, όταν ο ελκυστήρας ταξιδεύει με 45km/h [\[101\]](#) απαιτούνται $100/45 + 0,33 = 2,56 \text{hr}$ ανά διαδρομή. Άρα ένας οδηγός μπορεί να εκτελεί έως και 3 δρομολόγια σε μια βάρδια 8 ωρών ($3 \times 2,56 = 7,68 \text{hr} < 8 \text{hr}$). Επομένως για την κάλυψη 11 δρομολογίων ημερησίως απαιτούνται σε βάρδια 16 ωρών 2 ελκυστήρες. Σε αυτούς προστίθεται ένας ελκυστήρας ως εφεδρεία, αλλά και για την μετατόπιση των κιβωταμάξων εντός του ΣΜΑ [\[101\]](#). Αναφορικά με τις κιβωτάμαξες, επιθυμητή είναι μια εφεδρεία της τάξεως του 15-20% [\[101\]](#). Άρα, ανά πάσα στιγμή υπάρχουν 2 εν κινήσει, 2 σταθμευμένες στη ΜΕΑ και 1 εφεδρική. Για τη λειτουργία του ΣΜΑ απαιτούνται 5 οδηγοί ημερησίως, 3 φύλακες για 24ώρη φύλαξη και 3 τεχνικοί για το χειρισμό και τη συντήρηση των συμπιεστών και της γεφυροπλάστιγγας.

Αναφορικά με την κατανάλωση ηλ. ενέργειας είναι γνωστό, ότι για κύκλο συμπίεσης 35sec [\[120\]](#), ο ΣΜΑ καταναλώνει ετησίως $11(\text{trips/day}) \times 365(\text{days/yr}) \times 38 \text{kW} \times (35/3600)(\text{hr}) = 1483 \text{kWh}_{\text{el}}$. Ωστόσο η τιμή αυτή απέχει κατά πολύ από αυτή της πηγής [\[111\]](#) ($150 \text{MWh}_{\text{el}} \gg 1,5 \text{MWh}_{\text{el}}$). Αυτό οφείλεται στο ότι δεν έχει υπολογιστεί ηλ. κατανάλωση για φωτισμό, συντήρηση εξοπλισμού κλπ. Επομένως γίνεται η θεώρηση ότι απαιτούνται $150.000/50.000 = 3 \text{kWh}_{\text{el}}/\text{tn}$ ΑΣΑ. Τέλος, έχει υπολογισθεί στο [Κεφάλαιο 4.2.1](#), ότι απαιτούνται 1,68L Diesel για τη μεταφορά ενός tn ΑΣΑ σε διπλή απόσταση 50km. Επομένως, η ετήσια κατανάλωση Diesel θα ανέρχεται σε $11(\text{trips/day}) \times 365(\text{days/yr}) \times 20(\text{tn/trip}) \times 1,68(\text{L/tn}) = 134.904 \text{L Diesel}$.

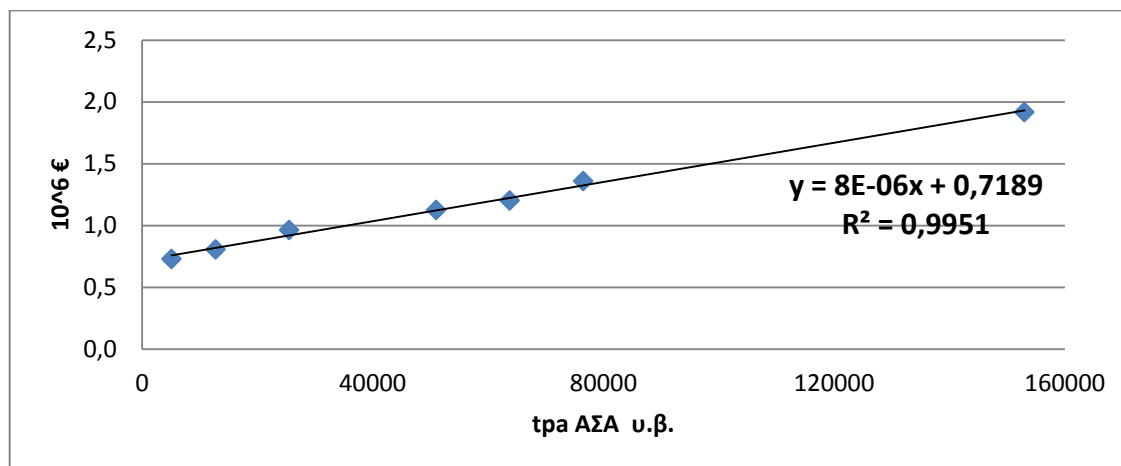
Ομοίως για **ΣΜΑ δυναμικότητας 69,9tpd**, ο οποίος θα εξυπηρετεί Νομό 50.000 κατοίκων (AN -2, 3 και 4) απαιτούνται 4 ημερήσια δρομολόγια. Ο χρόνος διαδρομής παραμένει ίσος με 2,56hr, άρα απασχολούνται 3 οδηγοί ανά ημέρα και 2 ελκυστήρες. Πέραν των 3 οδηγών, απαιτείται προσωπικό 2 τεχνικών και 3 φυλάκων για 24ωρη υπηρεσία. Υπάρχουν συνολικά 2+1 κιβωτάμαξες. Για $3 \text{kWh}_{\text{el}}/\text{tn}$ ΑΣΑ προκύπτει συνολικά $3 \times 25.500 = 76.500 \text{kWh}_{\text{el}}$ και η κατανάλωση Diesel ανέρχεται σε $4(\text{trips/day}) \times 365(\text{days/yr}) \times 20(\text{tn/trip}) \times 1,68(\text{L/tn}) = 49.056 \text{L Diesel}$ ετησίως.

Πίνακας 70. Ανάλυση κόστους μεταφοράς μέσω ΣΜΑ του Νομού ΑΝ-1 με 150.000 κατοίκους δυναμικότητας 76.500τρα ΑΣΑ σε 2015€.

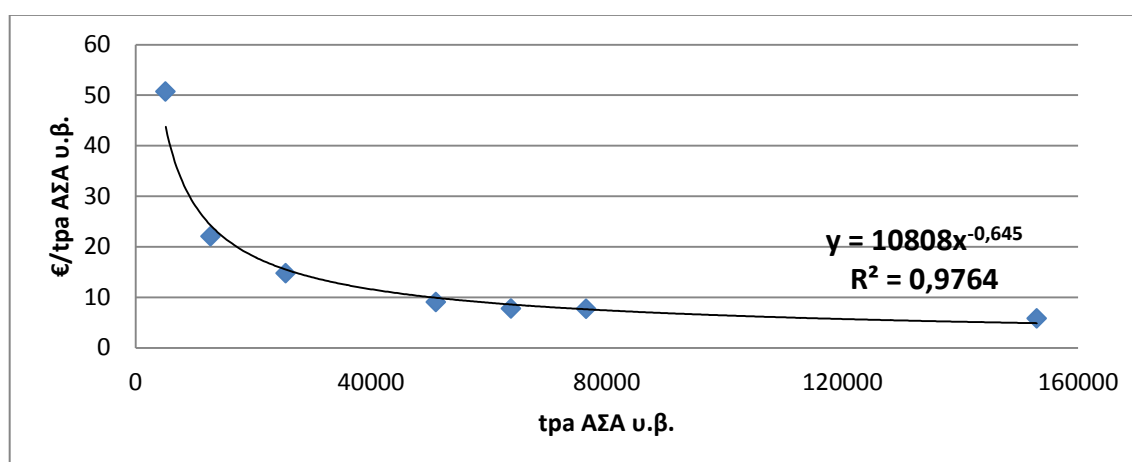
Περιγραφή	Ποσότητα	Μονάδα	Κόστος μονάδας	Συνολικό Κόστος	Συνολικό κόστος ανά τρα ΑΣΑ
Αρχική Επένδυση					
Αγορά γης	8.000	m2	5,51 €	44.109,53 €	
Έργα Π/Μ					
Επιφανειακές εργ.	8.000	m2	1,79 €	14.325,43€	
Εκσκαφές	2700	m2	4,18 €	11.281,28 €	
Οδικά έργα	6400	m2	32,23 €	206.286,18 €	
Συστήματα παροχών	1.330	m	79,98 €	106.378,25 €	
Κτίσματα	1.070	m2	119,98 €	128.373,75 €	
Γραφεία	130	m2	479,90 €	62.387,24 €	
Περίφραξη	358	m	20,29 €	7.260,73 €	
Έργα Η/Μ					
Γεφυροπλάστιγγα	1	#	55.022,32 €	55.022,32 €	
Συμπιεστής	2	#	85.591,49 €	171.182,98 €	
Τριαξονικός Ελκυστήρας	3	#	73.364,00 €	220.092,01 €	
Κιβωτάμαξα	6	#	34.847,19 €	209.083,17 €	
Διάφορα	10%		1.235.782,87 €	123.578,29 €	
Συνολική αρχική επένδυση				1.359.361,16 €	
Αποσβέσεις					
Εργα Π/Μ	4%		659.871,15 €	26.394,85 €	0,35 €
Έργα Η/Μ	10%		226.205,30 €	22.620,53 €	0,30 €
Μεταφορικός εξ.	12%		108.211,20 €	12.985,34 €	0,17 €
Διάφορα	10%		123.578,29 €	12.357,83 €	0,16 €
Υποσύνολο				74.358,55 €	0,97 €
Σταθερά κόστη λειτουργίας					
Συντήρηση Εγκαταστάσεων	8%	659.871,15 €		52.789,69 €	0,69 €
Συντήρηση Η/Μ	5%	226.205,30 €		11.310,26 €	0,15 €
Ασφάλιση	1%	1.359.361,16 €		13.593,61 €	0,18 €
Μισθοδοσία					
Οδηγοί	9600	hr	12,19	117.000,00 €	1,53 €
Τεχνικοί	11520	hr	9,81	113.040,00 €	1,48 €
Φύλακες	5760	hr	7,72	44.460,00 €	0,58 €
Διάφορα	10%	352.193,57 €		35.219,36 €	0,46 €
Υποσύνολο				387.412,93 €	5,06 €
Μεταβλητά κόστη λειτουργίας					
Ηλεκτρική ενέργεια	229500	kWh	0,1325 €/kWh	30.408,75 €	0,40 €
Diesel	134.904,00	L	0,637 €/L	85.933,85 €	1,12 €
Διάφορα	10%	116.342,60 €		11.634,26 €	0,15 €
Υποσύνολο				127.976,86 €	1,67 €
Τελικό Σύνολο				589.748,33 €	7,71 €

Στο **Γράφημα 23** απεικονίζεται το συνολικό κόστος επένδυσης σε εκατομμύρια € για το έτος 2015. Αν και η γραμμή τάσης θα έπρεπε να είναι εκθετικής μορφής ($y = ax^b$) λόγω οικονομίας κλίμακος, εντούτοις είναι γραμμικής μορφής ($y = 8E-06x + 0,7189$). Αυτό οφείλεται στις γραμμικές συσχετίσεις, οι οποίες έγιναν ως παραδοχή για τα επιμέρους έργα Π/Μ και Η/Μ. Στο **Γράφημα 24** απεικονίζεται το ανηγμένο κόστος μεταφοράς ΑΣΑ για μεμονωμένο ΣΜΑ δύο επιπέδων. Η γραμμή τάσης παρουσιάζει αναμενόμενη εκθετική μορφή ($y = 10.808x^{-0,645}$), αποδεικνύοντας ότι το ανηγμένο κόστος βαίνει μειούμενο.

Για να εξυπηρετηθεί η Περιφέρεια Α των 300.000 κατοίκων και των 153.000tn ΑΣΑ ετησίως, απαιτούνται 1 ΣΜΑ δυναμικότητα 76.500tpa και 3 ΣΜΑ δυναμικότητας 25.500tpa. Για το ΣΜΑ δυναμικότητας 25.500tpa προκύπτει από το **Γράφημα 23** ότι έχει αρχικό κόστος επένδυσης 963.356€ και από το **Γράφημα 24** ότι έχει ανηγμένο κόστος μεταφοράς 14,75€/tpa. Άρα, το συνολικό κόστος επένδυσης ανέρχεται σε $1.359.361 + 3 \times 963.356 = 4.249.429$ € και σε ανηγμένο κόστος $0,5 \times 7,71 + 0,5 \times 14,75 = 11,23$ €/tpa ΑΣΑ υ.β., αφού η μισή ποσότητα των ΑΣΑ της Περιφέρειας Α μεταφέρεται στο ΣΜΑ του Νομού ΑΝ-1 και η άλλη μισή στους ΣΜΑ των Νομών ΑΝ2, 3 και 4.



Γράφημα 23. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10^6 € για μεμονωμένο ΣΜΑ δύο επιπέδων σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 24. Ανηγμένο κόστος μεταφοράς ΑΣΑ σε €/tpa ΑΣΑ υ.β. για μεμονωμένο ΣΜΑ δύο επιπέδων σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

5.4 Κόστος επεξεργασίας ΑΣΑ

Έως αυτό το σημείο έχει υπολογισθεί το κόστος μεταφοράς ΑΣΑ μέσω ΣΜΑ και το κόστος συλλογής ΑΣΑ, τόσο σε σύμμεικτο, όσο και σε ΔσΠ επίπεδο. Επιπλέον, έχουν παραχθεί καμπύλες υπολογισμού τόσο του αρχικού κόστους επένδυσης, όσο και του ανηγμένου κόστους σε τιμές 2015€. Σε αυτό το Κεφάλαιο θα παρατεθούν τα κόστη επεξεργασίας ΑΣΑ για τις ΜΕΑ (Διωλιστήριο, ΜΜΒΕ, ΚΔΑΥ και ΧΥΤΑ) για τα αντίστοιχα Σενάρια I, II, III και IV. Αρχικά θα υπολογιστεί το κόστος ταφής, καθώς αποτελεί υποδιεργασία κάθε Σεναρίου. Έπειτα θα υπολογισθούν τα κόστη διύλισης (Σενάριο I), μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας (Σενάριο II) και τα ΚΔΑΥ για τα ΔσΠ κλάσματα των ΑΣΑ (Σενάριο III).

5.4.1 Κόστος υγειονομικής ταφής

Σε όλα τα εξεταζόμενα Σενάρια υπάρχει η **διεργασία της υγειονομικής ταφής**. Ο υπολογισμός του κόστους κατασκευής, λειτουργίας και αποκατάστασης ενός ΧΥΤ βασίζεται στην πηγή [111], όπου και παρατίθεται το κόστος ενός ΧΥΤΑ δυναμικότητας 300.000tn ΑΣΑ ετησίως στη Γερμανία για το έτος 2002, από όπου και προκύπτει κόστος υγειονομικής ταφής 20€/τρα. Λόγω έλλειψης αναλυτικότερων δεδομένων για τα επιμέρους έργα Π/Μ και Η/Μ, αποφασίζεται να ακολουθηθεί η προσέγγιση των κοστών επένδυσης με τον κανόνα των έξι δεκάτων [122], όπου:

$$\text{Κόστος επένδυσης } \alpha = \text{Κόστος επένδυσης } \beta * \left(\frac{\text{δυναμικότητα } \alpha}{\text{δυναμικότητα } \beta} \right)^{0,6} \dots \dots \dots \text{(Εξ. 26)}$$

Προκειμένου να υπολογιστεί το κόστος μονάδας των έργων Π/Μ και Η/Μ (πχ. €/m² ή €/τεμάχιο) σε 2015€ για την Ελλάδα, αξιοποιούνται οι δείκτες τιμών της Eurostat [110] για τα **έργα Π/Μ** (85,3 και 126,9 για Γερμανία 2002 και 2015 αντίστοιχα, 77,5 και 72,5 για Ελλάδα 2002 και 2015 αντίστοιχα) και για τα **έργα Η/Μ** (102,9 και 97,9 για Γερμανία 2002 και 2015 αντίστοιχα, 105,4 και 95,3 για Ελλάδα 2002 και 2015 αντίστοιχα). Το κόστος αγοράς γης, λαμβάνεται ίσο με 5,51€/m² για το έτος 2015. Στο σταθερό κόστος επένδυσης προστίθεται και η ποσότητα των Διαφόρων, η οποία ορίζεται στο **10%** του κόστους επένδυσης [111]. Ως **ετήσιο κόστος κεφαλαίο** ορίζεται το **7%** και ως **απόσβεση** ορίζεται **4%** για κτιριακές εγκαταστάσεις και βιομηχανοστάσια, **10%** για μηχανήματα και **12%** για εξοπλισμό μεταφοράς φορτίου και **10%** για λοιπά πάγια στοιχεία [112]. Τέλος, σχετικά με τη μισθοδοσία, γίνεται εκτίμηση για προσωπικό 10 ατόμων, το οποίο αναλύεται σε 3 οδηγούς μηχανημάτων προώθησης, συμπίεσης και διασποράς ΑΣΑ, 4 τεχνικούς και 3 φύλακες για την 24ωρη φύλαξη του ΧΥΤΑ δυναμικότητας 153.000τρα ΑΣΑ υ.β.

Τα τα κόστη λειτουργίας, έχουν υπολογισθεί στο **Κεφάλαιο 3.3** ανά tn ΑΣΑ, ως 1,3L Diesel με κόστος 0,637€/L και 0,45L ελαφρύ μαζούτ με κόστος 0,370€/L. Ανά tn ΑΣΑ ετησίως αναλογεί κατανάλωση ηλ. ενέργειας ίση με (1,35+0,015)kWh_{el} για τη διασπορά ΑΣΑ και ανάγκες κτιρίων και (2x40%x0,004)kWh_{el} για την επεξεργασία των συλλεγμένων στραγγισμάτων. Επομένως απαιτείται 1,368kWh_{el} ανά tn και άρα 213.741kWh_{el} ετησίως με

κόστος 0,1325€/kWh_{el} (βλ. **Πίνακας 59**). Τέλος, αναφορικά με τα κλιμακούμενα τέλη ταφής όπως αυτά προβλέπονται στην ΟΠΑ, 40€/tn ΑΣΑ για το 2015 με κλιμάκωση ανά έτος κατά 5€ μέχρι το ποσό των 60€/tn ΑΣΑ. Επομένως, το συνολικό ετήσιο ισοδύναμο κόστος των τελών ταφής υπολογίζεται ως η παρούσα αξία της συνολικής ροής κόστους επί τον συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου:

$$\text{Συνολικό ετήσιο κόστος τελών ταφής} = \sum_{t=0}^n \left(\frac{Ct}{(1+r)^t} * \frac{r * (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right) \dots \dots \dots (\text{Εξ. 27}),$$

όπου

- t=0 είναι το έτος αναφοράς 2015
- Ct = κόστος τελών ταφής στην περίοδο t = 153.000tn x (40€, 45€, κλπ.)
- r = το επιτόκιο προεξόφλησης 7%
- n = η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής του έργου (15 έτη 2016-2030)

Από την **Εξ. 27** προκύπτουν συνολικά **τέλη ταφής 8.082.390€/tn ΑΣΑ ή 52,83€/τρα**. Για τα τέλη ταφής των υπολειμματικών ΑΣΑ γίνεται εκτίμηση στο εύρος **10 - 20€/tn υπολ. ΑΣΑ**.

Τέλος, στον ακόλουθο **Πίνακας 71** παρατίθεται για το ΧΥΤΑ το κόστος της αρχικής επένδυσης, το κόστος της ετήσιας λειτουργίας και το ανηγμένο κόστος για την Περιφέρεια Α (300.000 κάτοικοι, 153.000tn ΑΣΑ υ.β.). Στον ακόλουθο **Πίνακας 72** παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις για το κόστος ταφής

Πίνακας 71. Ανάλυση κόστους ταφής 153.000tra ΑΣΑ υ.β. σε ΧΥΤΑ για την Περιφέρεια Α των 300.000 κατοίκων σε 2015€.

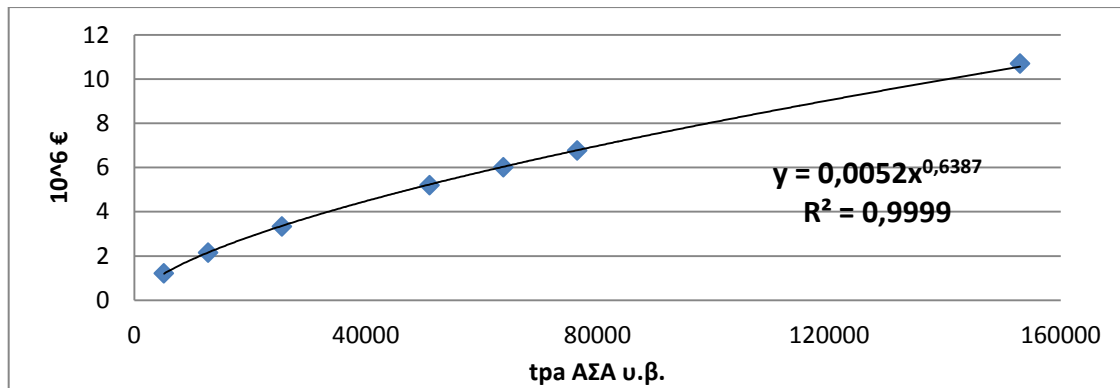
Περιγραφή	Ποσότητα	Μονάδα	Κόστος μονάδας	Συνολικό Κόστος	Συνολικό κόστος ανά tra ΑΣΑ
Αρχική Επένδυση					
Αγορά γης	330.000	m2	5,51 €	1.818.300,00 €	
Έργα Π/Μ					
Επιφανειακές εργασίες	-	-	-	923.248,55 €	
Κατασκευές	-	-	-	1.704.066,01 €	
Δίκτυο συλλογής LFG	-	-	-	170.803,82 €	
Λοιπές κατασκευές	-	-	-	2.617.100,38 €	
Έργα Η/Μ					
Η/Μ εγκαταστάσεις	-	-	-	2.313.392,72 €	
Φορητός εξοπλισμός	-	-	-	352.535,13 €	
Διάφορα	10%		8.081.146,60 €	808.114,66 €	
Συνολική αρχική επένδυση				10.707.561,26 €	
Αποσβέσεις					
Έργα Π/Μ	4%		5.415.218,75 €	216.608,75 €	1,42 €
Έργα Η/Μ	10%		2.313.392,72 €	231.339,27 €	1,51 €
Μεταφορικός εξ.	12%		352.535,13 €	42.304,22 €	0,28 €
Διάφορα	10%		808.114,66 €	80.811,47 €	0,53 €
Υποσύνολο				571.063,70 €	3,73 €
Σταθερά κόστη λειτουργίας					
Συντήρηση	8%		297.420,22 €	23.793,62 €	0,16 €

Εγκαταστάσεων					
Συντήρηση Η/Μ Εγκαταστάσεων	5%	273.643,49 €		13.682,17 €	0,09 €
Ασφάλιση	1%	10.707.561,26 €		107.075,61 €	0,70 €
Μισθοδοσία					
Οδηγοί	5760	hr	12,19	70.214,40 €	0,46 €
Τεχνικοί	7680	hr	9,81	75.340,80 €	0,49 €
Φύλακες	5760	hr	7,72	44.467,20 €	0,29 €
Διάφορα	10%		334.573,80 €	33.457,38 €	0,22 €
Υποσύνολο				368.031,18 €	2,41 €
Μεταβλητά κόστη λειτουργίας					
Ηλεκτρική ενέργεια	209.304	kWh	0,1325 €/kWhel	27.732,78 €	0,18 €
Diesel	198.900	L	0,637 €/L	126.699,30 €	0,83 €
Ελαφρύ μαζούτ	68.850	L	0,370 €/L	25.474,50 €	0,17 €
Τέλη ταφής		€		8.082.390,64 €	52,83 €
Αποκατάσταση ΧΥΤΑ	1.366.998,01 €	4	έτη	341.749,50 €	2,23 €
Επίβλεψη αποκατεστημένου ΧΥΤΑ	13.671.114,97 €	20	έτη	683.555,75 €	4,47 €
Διάφορα	10%	9.287.602,47 €		928.760,25 €	6,07 €
Υποσύνολο				10.216.362,72 €	66,77 €
Τελικό Σύνολο				11.146.019,47 €	72,91 €

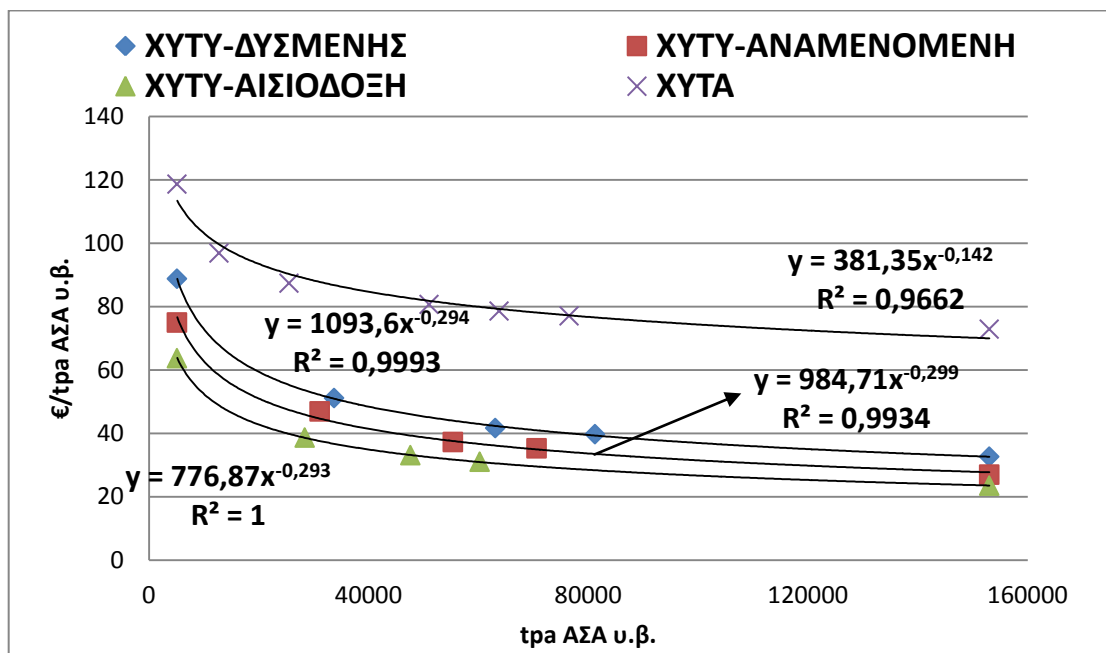
Πίνακας 72. Συνοπτικά αποτελέσματα για κόστος ταφής σε ΧΥΤΥ των Σεναρίων I, II και III.

Θεώρηση	Δυναμικότητα	Συνολική αρχική επένδυση	Ανηγμένο κόστος λειτουργίας
Σενάριο I			
ΔΥΣΜΕΝΗΣ	33.706tpa	3.987.101 €	51,2 €/tpa
ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	31.090tpa	3.786.281 €	46,9 €/tpa
ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	28.366tpa	3.571.049 €	38,7 €/tpa
Σενάριο II			
ΔΥΣΜΕΝΗΣ	63.051tpa	5.971.687 €	41,7 €/tpa
ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	55.340tpa	5.486.874 €	37,3 €/tpa
ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	47.598tpa	4.977.370 €	33,1 €/tpa
Σενάριο III			
ΔΥΣΜΕΝΗΣ	81.212tpa	7.044.043 €	39,8 €/tpa
ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	70.579tpa	6.426.773 €	35,3 €/tpa
ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	60.221tpa	5.796.092 €	31,1 €/tpa

Στο ακόλουθο **Γράφημα 25** παρατίθεται η καμπύλη του υπολογισμού της συνολικής αρχικής επένδυσης σε σχέση με την ετήσια επεξεργαζόμενη ποσότητα ΑΣΑ σε tn υ.β. (tpa). Η καμπύλη είναι ίδια για ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ. Στο ακόλουθο **Γράφημα 26** παρατίθεται το ανηγμένο κόστος για ΧΥΤΑ και για ΧΥΤΥ. Σχετικά με τους ΧΥΤΥ, λαμβάνεται διακύμανση στα τέλη ταφής για 10, 15 και 20€/tn υπολειμματικών ΑΣΑ υ.β. Και στα δύο γραφήματα οι καμπύλες έχουν την αναμενόμενη εκθετική μορφή.



Γράφημα 25. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10⁶ € για ΧΥΤ σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

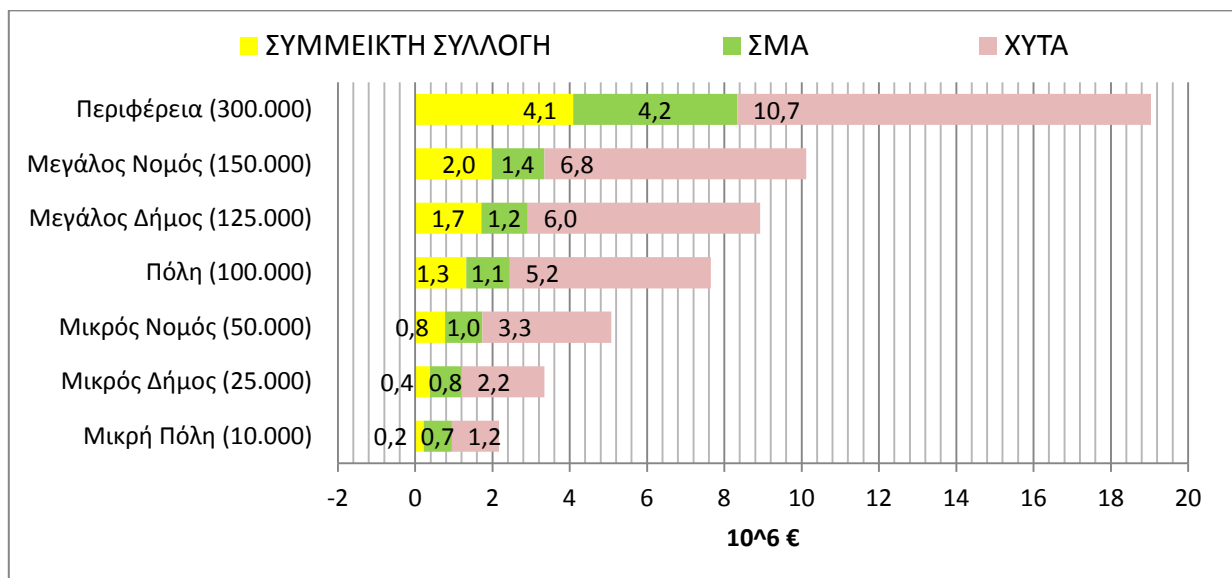


Γράφημα 26. Ανηγμένο κόστος ταφής ΑΣΑ σε €/tpa ΑΣΑ u.β. για ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ με ανάλυση ευαισθησία σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

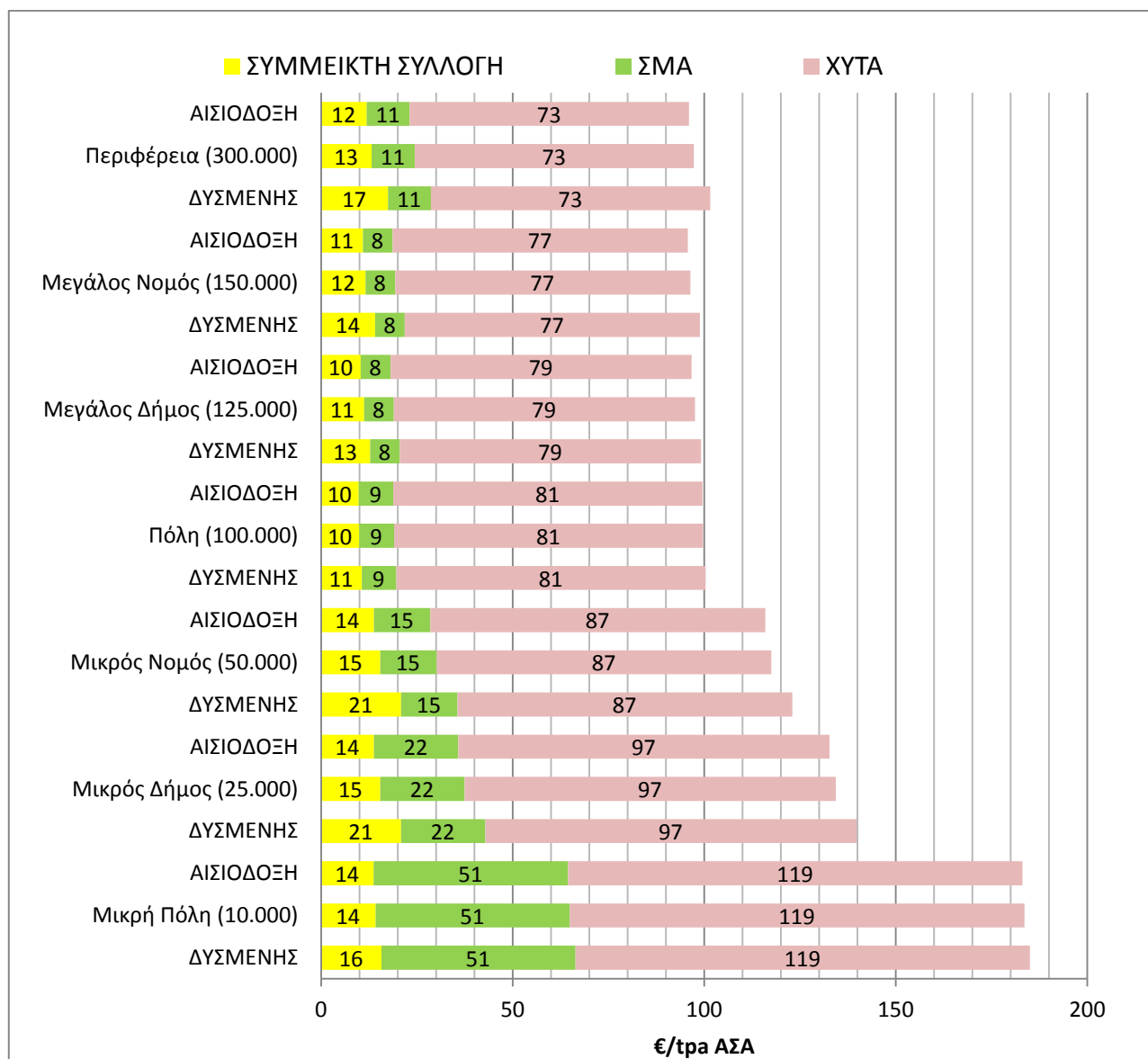
5.4.2 Κόστος Σεναρίου IV – ΧΥΤΑ

Οι ληφθείσες θεωρήσεις για την διεργασία της ταφής, όπως αυτές απεικονίζονται στον **Πίνακα 33** και στο **Διάγραμμα Ροής 19**, δηλαδή οι συντελεστές ϵ , η , β και α , δεν επιδρούν στο κόστος ταφής. Η μόνη παράμετρος, η οποία επιδρά στο κόστος είναι η απόδοση της συλλογής των στραγγισμάτων (συντελεστής α), καθότι μεγαλύτερη δέσμευση αυτών οδηγεί και σε μεγαλύτερη κατανάλωση ηλ. ενέργειας. Ωστόσο η επίδραση είναι αμελητέα. Πιο συγκεκριμένα είναι 1,367kWh_{el}/tn ΑΣΑ για τη δυσμενή, 1,368kWh_{el}/tn ΑΣΑ για την αναμενόμενη και 1,370kWh_{el}/tn ΑΣΑ για την αισιόδοξη θεώρηση.

Συγκεντρώνοντας τους έως τώρα υπολογισμούς για τα κόστος συλλογής σύμμεικτων ΑΣΑ, μεταφοράς αυτών και ταφής τους σε ΧΥΤΑ προκύπτει το ακόλουθο **Γράφημα 27** για το ύψος της συνολικής αρχικής επένδυσης και το **Γράφημα 28** για το ανηγμένο κόστος, στο οποίο περιλαμβάνεται και η ανάλυση ευαισθησίας για το κόστος συλλογής.



Γράφημα 27. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10^6 € για το Σενάριο IV-ΧΥΤΑ σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 28. Ανηγγμένο κόστος διαχείρισης ΑΣΑ μέσω του Σεναρίου IV-ΧΥΤΑ σε €/τρα ΑΣΑ υ.β. με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

5.4.3 Κόστος διύλισης ΑΣΑ

Ο υπολογισμός της συνολικής αρχικής επένδυσης, της ετήσιας και της ανηγμένης λειτουργίας βασίζεται στην πηγή [26], όπου και παρατίθεται η ανάλυση κόστους για Διυλιστήριο ΑΣΑ δυναμικότητας 51.200t/ρα ΑΣΑ στη Δανία για το έτος 2013 συμπεριλαμβανομένου του κόστους της αναερόβιας χώνευσης και της μετακομποστοποίησης. Αν και σαν δεδομένο δίνεται ανηγμένο κόστος επένδυσης (42,9 + 25,7€/t/ρα ΑΣΑ υ.β.), εκτελούνται τα εξής βήματα για τον υπολογισμό της αρχικής επένδυσης:

1. Από την Εξ. 27 προκύπτει ανηγμένο κόστος λειτουργίας 35,56€/t/ρα ΑΣΑ. Αυτό πολλαπλασιάζεται με την παραγόμενη ετήσια ποσότητα ΑΣΑ της Περιφέρειας, δίνοντας έτσι ετήσιο κόστος λειτουργίας 5.442.052€/yr.
2. Θεωρώντας πως το κόστος της επένδυσης αναλύεται κατά το 50% σε έργα Π/Μ και 50% σε έργα Η/Μ (2.721.026€/yr) υπολογίζονται οι παρούσες αξίες για 25 και 10 έτη αντιστοίχως με ετήσιο κόστος κεφαλαίου 7%. Προκύπτει αρχική επένδυση για έργα Π/Μ το ποσό των 31.709.701€ και για έργα Η/Μ το ποσό των 19.111.347 €. Συνολικά, το κόστος αρχικής επένδυσης ανέρχεται σε 50.821.048 €.

Σχετικά με τη μισθοδοσία, γίνεται εκτίμηση για προσωπικό 69 ατόμων, το οποίο αναλύεται σε 12 οδηγούς, 51 τεχνικούς και 6 φύλακες για 24ωρη προστασία των εγκαταστάσεων. Τα έσοδα της εγκατάστασης προκύπτουν από πώληση:

1. Ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.
2. Πώληση ανακυκλώσιμων υλικών (Σιδηρούχα και μη μέταλλα, μίγμα πλαστικών).

Αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια, βάσει του Νόμου 4254/2014 [123], «για αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ >2MW» λαμβάνεται τιμή πώλησης 108€/MWh, χωρίς ενίσχυση. Τέλος, η τιμή πώλησης των ανακυκλώσιμων λαμβάνεται σύμφωνα με τη βάση δεδομένων COMEXT της Eurostat [124] και την πηγή [125]. Στον ακόλουθο Πίνακας 73 συγκεντρώνονται οι τιμές πώλησης των προϊόντων και στον ακόλουθο Πίνακας 74 παρατίθεται η ανάλυση κόστους για Διυλιστήριο δυναμικότητας 153.000t/ρα ΑΣΑ υ.β.

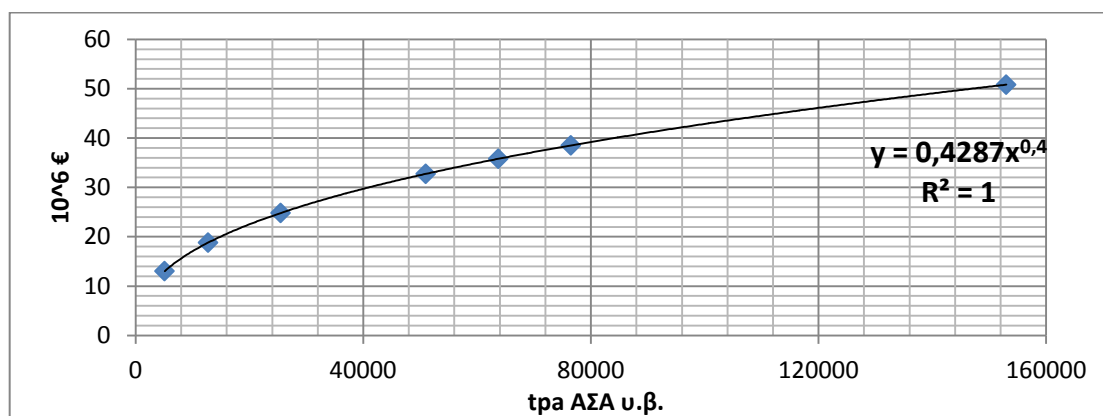
Πίνακας 73. Τιμές πώλησης κομπόστ για Ελλάδα και ανακυκλώσιμων υλικών για ΕΕ-28 για το έτος 2015 [124-126]

Προϊόν Διυλιστηρίου	Χαμηλή τιμή έτους (€/tn)	Μέση τιμή έτους (€/tn)	Υψηλή τιμή έτους (€/tn)	Πηγή
Κομπόστ (υ.β.)	0 €	0 €	0 €	[126]
Γυαλί	47,00 €	52,00 €	57,00 €	
Χαρτί	124,00 €	134,00 €	144,00 €	
PP	640,80 €	712,00 €	783,20 €	[124]
PE, PET	332,10 €	369,00 €	405,90 €	
PVC	378,90 €	421,00 €	463,10 €	

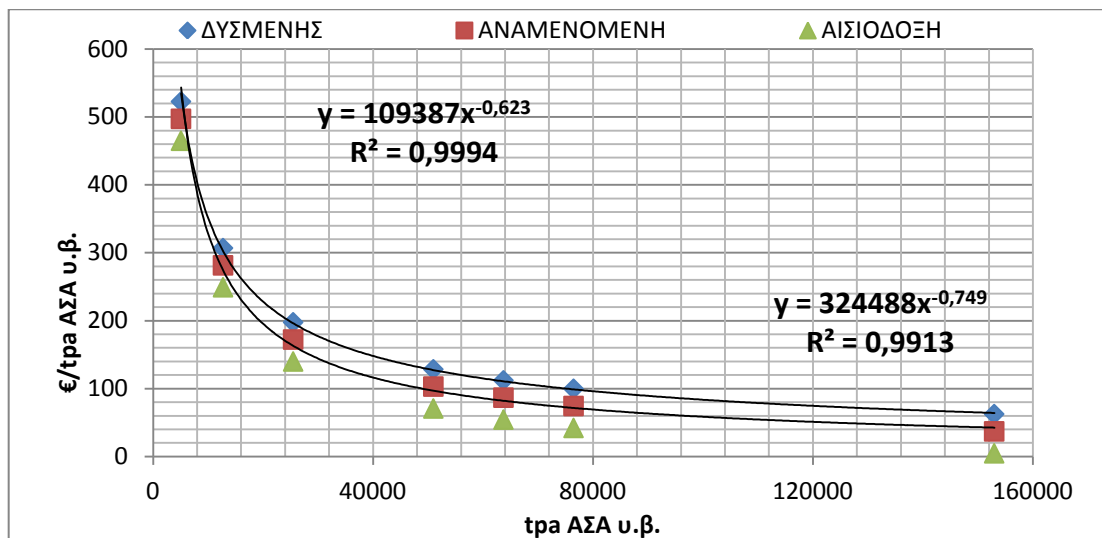
Υπόλοιπα πλαστικά	244,80 €	272,00 €	299,20 €	
Ισοτιμία £-€	1,28	1,36	1,44	[127]
Μη σιδηρού μέταλλα	£ 610,00	£ 702,50	£ 795,00	
	777,75 €	951,89 €	1.145,60 €	
Σιδηρούχα μέταλλα	£ 22,50	£ 63,75	£ 105,00	
	28,69 €	86,38 €	151,31 €	
Μίγμα πλαστικών	£ 35,00	£ 45,00	£ 55,00	[125]
	44,63 €	60,98 €	79,26 €	
Πλαστικό film	£ 110,00	£ 165,00	£ 220,00	
	140,25 €	223,58 €	317,02 €	

Πίνακας 74 Ανάλυση κόστους για το Διυλιστήριο αποβλήτων της Περιφέρειας Α 300.000 κατοίκων και δυναμικότητας 153.000τρα ΑΣΑ υ.β.σε 2015€ για την αναμενόμενη θεώρηση.

Περιγραφή	Ποσότητα	Μονάδα	Κόστος μονάδας	Συνολικό Κόστος	€/τρα ΑΣΑ
Κόστος κεφαλαίου				5.442.051,72 €	35,57 €
Έργα Π/Μ	25	7%		31.709.701,17 €	
Έργα Η/Μ	10	7%		19.111.346,99 €	
Συνολική αρχική επένδυση				50.821.048,16 €	
Σταθερά κόστη λειτουργίας					
Συντήρηση Π/Μ	8%	31.709.701,17 €		2.536.776,09 €	16,58 €
Συντήρηση Η/Μ	5%	19.111.346,99 €		955.567,35 €	6,25 €
Ασφάλιση	1%	50.821.048,16 €		508.210,48 €	3,32 €
Μισθοδοσία					
Οδηγοί	23040	hr	12,19	280.857,60 €	1,84 €
Τεχνικοί	97920	hr	9,81	960.595,20 €	6,28 €
Φύλακες	11520	hr	7,72	88.934,40 €	0,58 €
Διάφορα	10%		5.330.941,12 €	533.094,11 €	3,48 €
Υποσύνολο				5.864.035,24 €	38,33 €
Μεταβλητά κόστη λειτουργίας					
Ένζυμα	765000	kg	3€/kg	2.295.000,00 €	15,00 €
Ηλ. ενέργεια	11.781.000	kWh	0,082 €/kWhel	966.042,00 €	6,31 €
Νερό	61.200	m3	1,50€/m3	91.800,00 €	0,60 €
Diesel	107.100	L	0,637 €/L	68.222,70 €	0,45 €
Διάφορα	10%	3.421.064,70 €		342.106,47 €	2,24 €
Υποσύνολο				3.763.171,17 €	24,60 €
Συνολικό κόστος				15.069.258,12 €	98,49 €
Πώληση ρεύματος	74358000	kWh	0,108 €/kWhel	-8.030.664,00 €	-52,49 €
Μίγμα πλαστικών	6288,30	tn	60,98 €	-383.429,09 €	-2,51 €
Fe μέταλλα	2692,80	tn	86,38 €	-232.607,43 €	-1,52 €
Al μέταλλα	810,90	tn	951,89 €	-771.885,57 €	-5,05 €
Υποσύνολο				-9.418.586,10 €	-61,56 €
Τελικό Σύνολο				5.650.672,03 €	36,93 €



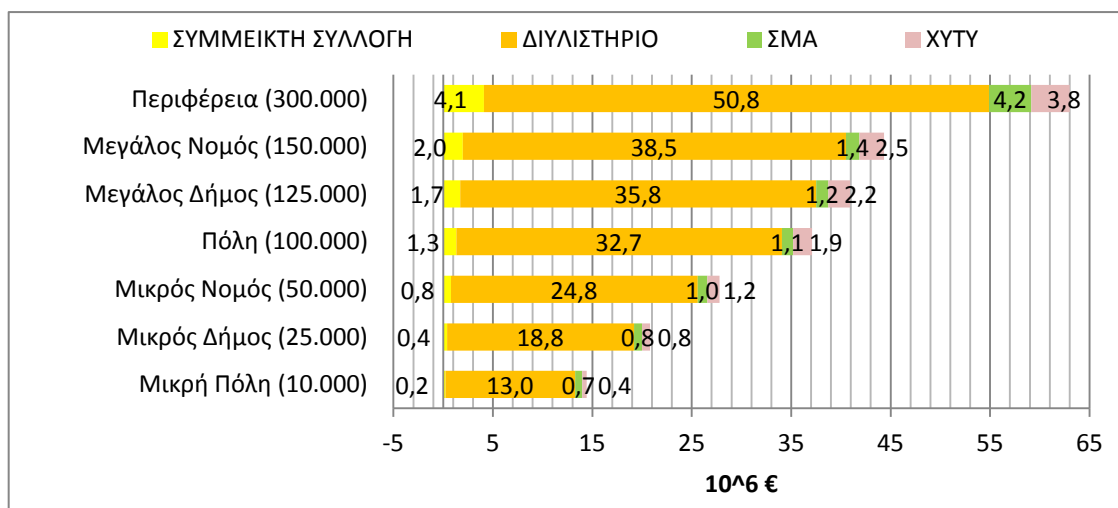
Γράφημα 29. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10⁶ € για το Διυλιστήριο σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 30. Ανηγμένο ισοζύγιο κόστους – εσόδων Διυλιστηρίου σε €/τρα ΑΣΑ υ.β. με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

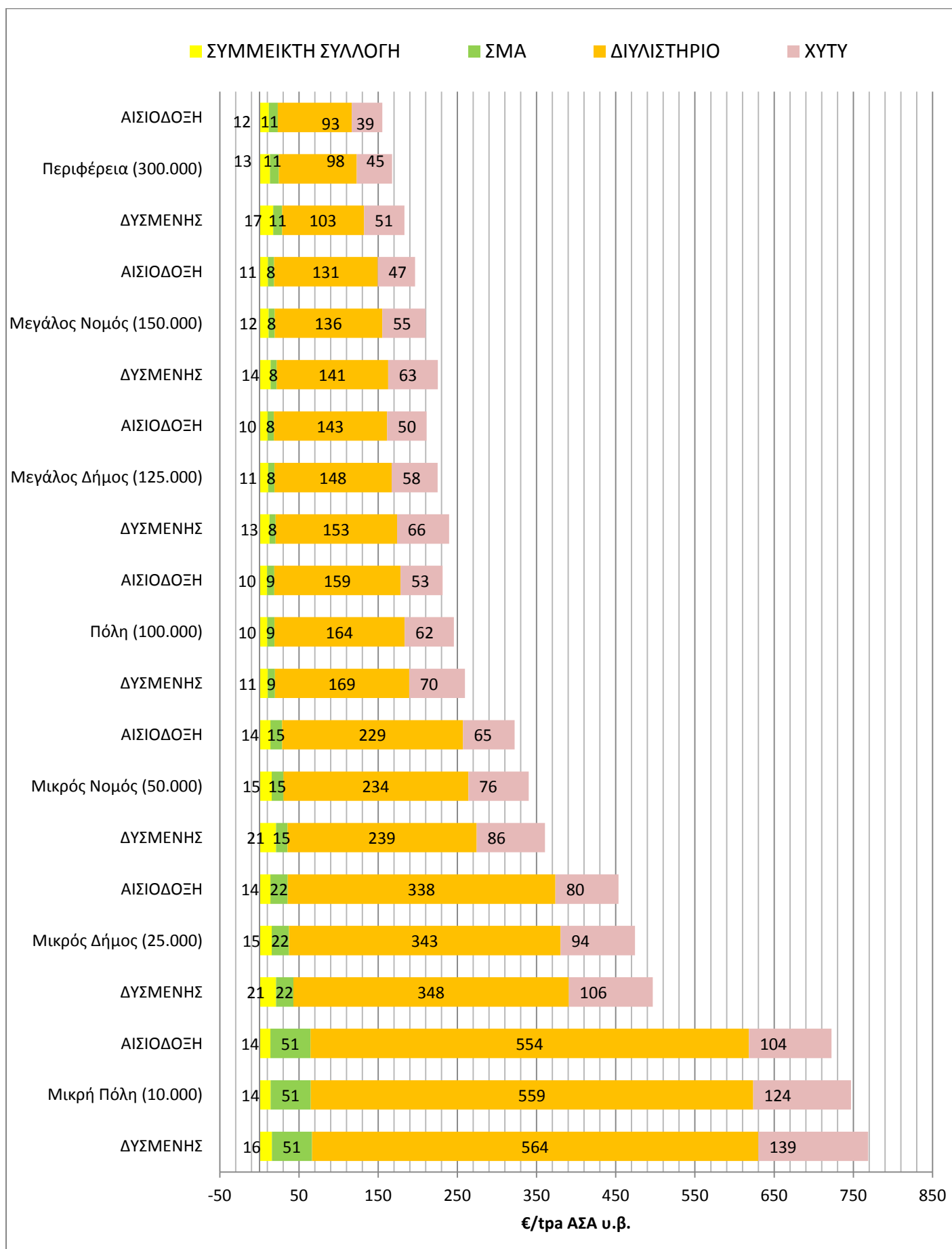
5.4.4 Κόστος Σεναρίου I – Διυλιστήριο αποβλήτων

Στο ακόλουθο **Γράφημα 31** παρατίθεται η εξέλιξη του αρχικού κόστους επένδυσης βάσει των οικιστικών ιστών και των διοικητικών δομών. Σε αυτό παρατηρείται η ομαλή εξέλιξη του συνολικού κόστους (οικονομία κλίμακος), αλλά και η κυριαρχία της επένδυσης του Διυλιστηρίου σε σχέση με αυτές των μέσων συλλογής, ΣΜΑ και ΧΥΤΥ.



Γράφημα 31. Ανάλυση κόστους αρχικής επένδυσης Σεναρίου I – Διυλιστήριο αποβλήτων σε 2015€

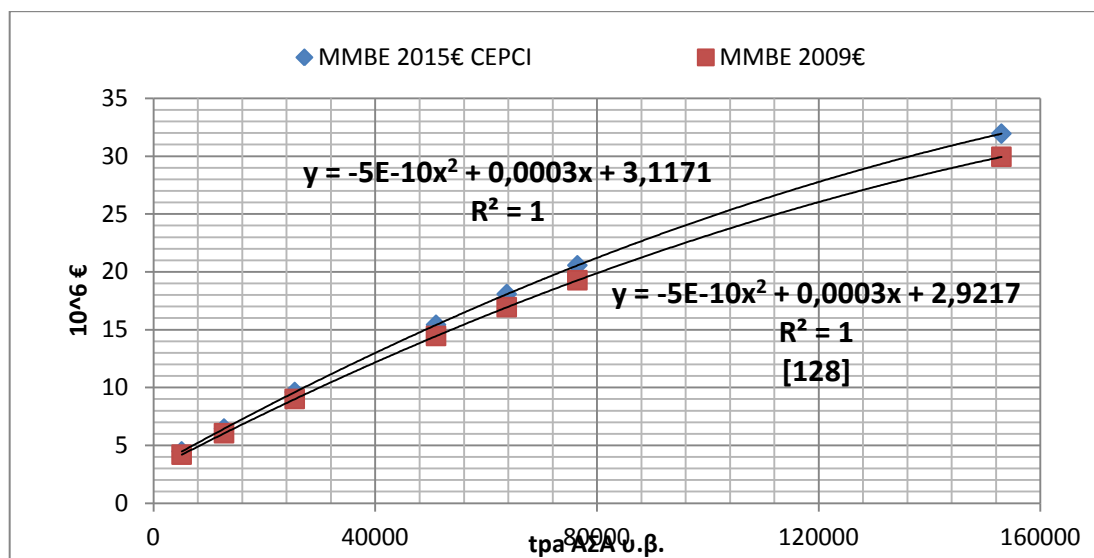
Στο ακόλουθο **Γράφημα 32** παρατίθεται το ανηγμένο κόστος διύλισης. Το αντίστοιχο κόστος για την κοινότητα δεν υπολογίζεται, λόγω πολύ μικρής δυναμικότητας (510τρα). Έπειτα, στο **Γράφημα 32** παρατηρείται, ότι η επίδραση των παραμέτρων της ανάλυσης ευαισθησίας γίνεται εντονότερη σε πληθυσμούς 100.000 κατοίκων και άνω.



Γράφημα 32 Ανηγγμένο συνολικό κόστος διαχείρισης ΑΣΑ μέσω του Σεναρίου Ι – Διυλιστήριο αποβλήτων με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ

5.4.5 Κόστος ΜΜΒΕ

Ο υπολογισμός της συνολικής αρχικής επένδυσης βασίζεται στην πηγή [128]. Αρχικά χρησιμοποιείται η εξίσωση $y = -485x^2 + 250.793x + 2.921.720$, όπου x οι χιλιάδες τόνων της δυναμικότητας και y το ύψος της αρχικής επένδυσης σε €. Η καμπύλη αυτή εκτιμά το κόστος ΜΜΒΕ χωρίς ανάκτηση RDF και σε τιμές 2009€ ως μέση Ευρωπαϊκή τιμή. Επομένως, δεν είναι δυνατή η χρήση των PLIs της Eurostat [110], διότι δεν υπάρχει διακρατική σύνδεση τιμών μεταξύ των μελών της ΕΕ-28. Επιχειρείται, λοιπόν, προσέγγιση με βάση των δείκτη τιμών CEMPI (Chemical Engineering Plant Cost Index) [122]. Οι τιμές του CEMPI ήταν 521,9 για το 2009 και 556,8 για το έτος 2015 [129]. Παράγεται, επομένως, η καμπύλη υπολογισμού της αρχικής επένδυσης στο ακόλουθο **Γράφημα 33**.



Γράφημα 33. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10^6 € για τη ΜΜΒΕ σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

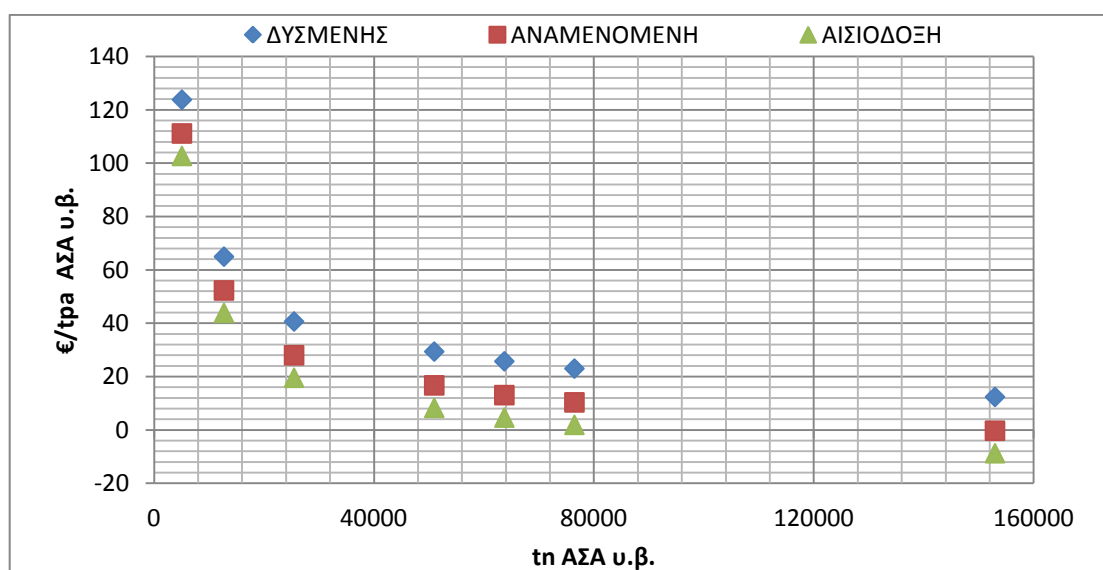
Ο υπολογισμός της ετήσιας και της ανηγμένης λειτουργίας βασίζεται στη θεώρηση πως το κόστος της επένδυσης αναλύεται κατά το **50% σε έργα Π/Μ και 50% σε έργα Η/Μ**, με απόσβεση σε 25 και 10 έτη αντιστοίχως και με ετήσιο κόστος κεφαλαίου 7%. Για τη μισθοδοσία γίνεται εκτίμηση βάσει της πηγής [111]. Για τις ανάγκες της ΜΜΒΕ σε ηλ. ενέργεια και Diesel έχει γίνει εκτίμηση στο **Κεφάλαιο 4.2**. Ενδεικτικά ακολουθεί η ανάλυση κόστους για τη ΜΜΒΕ, η οποία θα διαχειρίζεται τα ΑΣΑ της Περιφέρειας Α.

Πίνακας 75. Ανάλυση κόστους για τη ΜΜΒΕ της Περιφέρειας Α 300.000 κατοίκων και δυναμικότητας 153.00τpa ΑΣΑ υ.β. σε 2015€ για την αναμενόμενη θεώρηση.

Περιγραφή	Ποσότητα	Μονάδα	Κόστος μονάδας	Συνολικό Κόστος	Συνολικό κόστος ανά τpa ΑΣΑ
Συνολική αρχική επένδυση				31.941.782,05 €	
Κόστη Κεφαλαίου	Απόσβεση (Ετη)	Ετήσιο κόστος κεφαλαίου			
Έργα Π/Μ	25	7%	15.970.891,02 €	1.370.470,42 €	8,96 €
Έργα Η/Μ	10	7%	15.970.891,02 €	2.273.895,58 €	14,86 €
Υποσύνολο				3.644.366,00 €	23,82 €

Σταθερά κόστη λειτουργίας					
Συντήρηση Π/Μ	8%	1.370.470,42 €		109.637,63 €	0,72 €
Συντήρηση Η/Μ	5%	2.273.895,58 €		113.694,78 €	0,74 €
Ασφάλιση	1%	31.941.782,05 €		319.417,82 €	2,09 €
Μισθοδοσία					
Οδηγοί	23040	hr	12,19	280.857,60 €	1,84 €
Τεχνικοί	76800	hr	9,81	753.408,00 €	4,92 €
Φύλακες	11520	hr	7,72	88.934,40 €	0,58 €
Διάφορα	10%	1.665.950,23 €		166.595,02 €	1,09 €
Υποσύνολο				1.832.545,26 €	11,98 €
Μεταβλητά κόστη λειτουργία					
Ηλ. ενέργεια	4.972.500	kWh	0,082 €/kWhel	407.745,00 €	2,67 €
Diesel	183.600	L	0,637 €/L	116.953,20 €	0,76 €
Διάφορα	10%	524.698,20 €		52.469,82 €	0,34 €
Υποσύνολο				577.168,02 €	3,77 €
Συνολικό κόστος					39,57 €
Έσοδα					
Χαρτί	10449,90	tn	134,00 €	-1.400.286,60 €	-9,15 €
Fe μέταλλα	2799,90	tn	86,38 €	-241.858,86 €	-1,58 €
Al μέταλλα	979,20	tn	951,89 €	-932.088,24 €	-6,09 €
Φίλμ	4268,70	tn	223,58 €	-954.374,60 €	-6,24 €
PE	1193,40	tn	369,00 €	-440.364,60 €	-2,88 €
PET	1897,20	tn	369,00 €	-700.066,80 €	-4,58 €
PVC	1606,50	tn	421,00 €	-676.336,50 €	-4,42 €
PP	1055,70	tn	712,00 €	-751.658,40 €	-4,91 €
Υποσύνολο				-6.097.034,60 €	-39,85 €
Τελικό Σύνολο				-42.955,33 €	-0,28 €

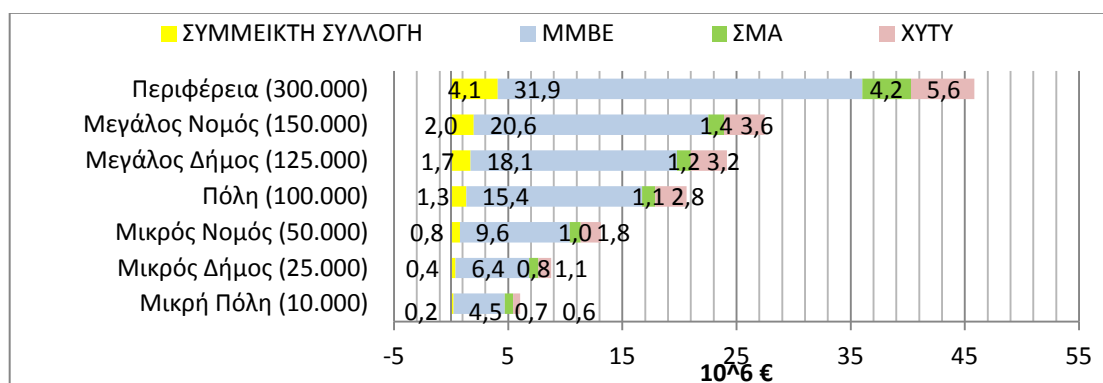
Τέλος, στο ακόλουθο **Γράφημα 34** παρουσιάζεται το ανηγμένο ισοζύγιο κόστους - εσόδων μαζί με την ανάλυση ευαισθησίας βάσει παραγόμενων ποσοτήτων του κομπόστ και υλικών (βλ. **Κεφάλαιο 4.2**). και τιμών πώλησης αυτών (βλ. **Πίνακας 73**). Οι καμπύλες παρουσιάζουν την αναμενόμενη μορφή λόγω οικονομίας κλίμακας. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η αισιόδοξη εκτίμηση για την Περιφέρεια Α στο όπου η εγκατάσταση και εμφανίζει κέρδη της τάξεως των -8,00€/τρα ΑΣΑ.



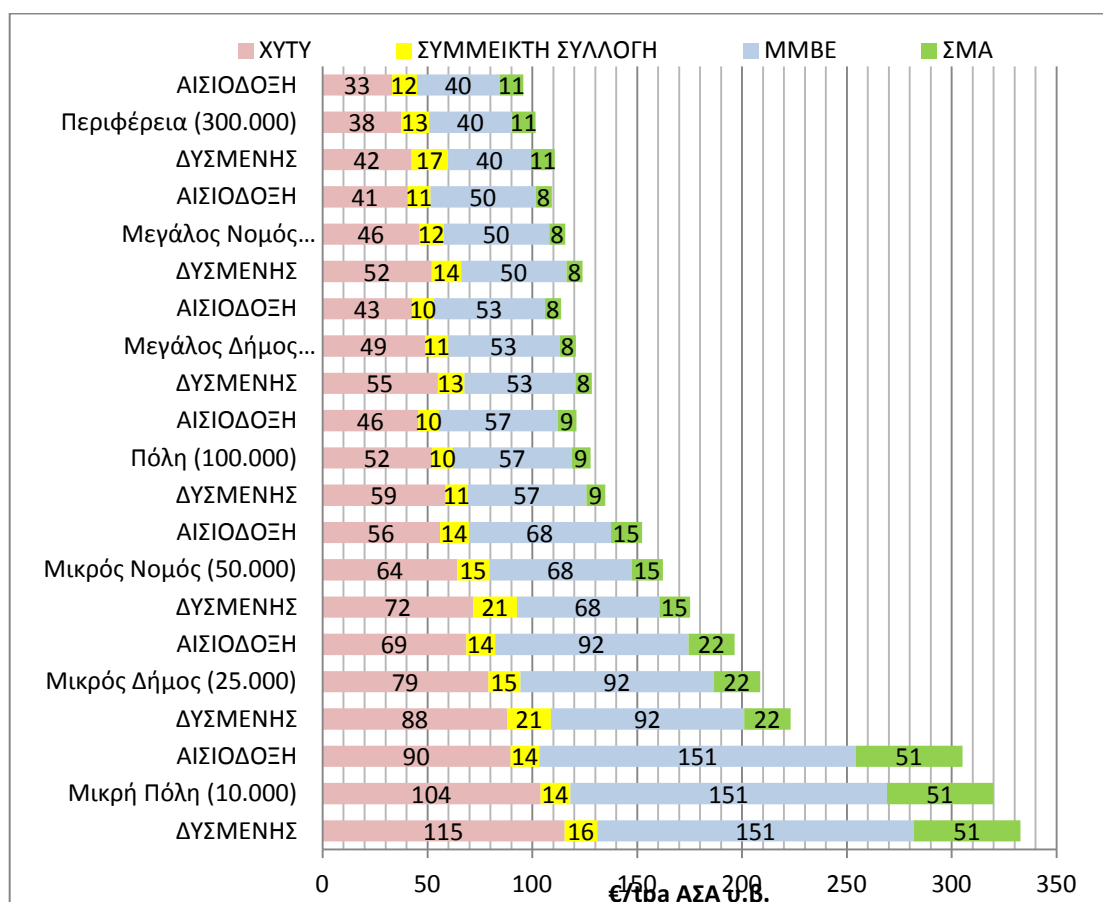
Γράφημα 34. Ανηγμένο ισοζύγιο κόστους – εσόδων ΜΜΒΕ σε €/τρα ΑΣΑ u.β. με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

5.4.6 Κόστος Σεναρίου II –ΜΜΒΕ

Στο ακόλουθο **Γράφημα 35** παρατίθεται η εξέλιξη του αρχικού κόστους επένδυσης και στο ακόλουθο **Γράφημα 36** παρατίθεται το ανηγμένο κόστος του Σεναρίου II-ΜΜΒΕ, όπου η επίδραση των παραμέτρων της ανάλυσης ευαισθησίας γίνεται εντονότερη σε πληθυσμούς 100.000 κατοίκων και άνω.



Γράφημα 35. Ανάλυση κόστους αρχικής επένδυσης Σεναρίου II – ΜΜΒΕ σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 36. Ανηγμένο συνολικό κόστος διαχείρισης ΑΣΑ μέσω του Σεναρίου II –ΜΜΒΕ με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

5.4.7 Κόστος επεξεργασίας ΔσΠ ΑΣΑ

Τα ΔσΠ ΑΣΑ οδηγούνται, σε 4 ΚΔΑΥ (χαρτιού, πλαστικού, μετάλλων και γυαλιού) σε 1 ΧΥΤΥ και σε 1 μονάδα κομποστοποίησης. Σε αυτό το Κεφάλαιο γίνεται η εκτίμηση της συνολικής αρχικής επένδυσης και του ανηγμένου κόστους διαχωρισμού ξεχωριστά για την κάθε ΜΕΑ Έχει προηγηθεί στο **Κεφάλαιο 5.4.1** εκτίμηση για το κόστος του απαιτούμενου ΧΥΤΥ.

Ακολουθεί ο **Πίνακας 76**, όπου παρουσιάζεται συνοπτικά ο διατιθέμενος μηχανολογικός εξοπλισμός για τις μονάδες αυτές και η αναγωγή τους σε 2015€ για την Ελλάδα. Όπου χρειάζεται γίνεται χρήση των PLIs για την Ελλάδα για τα έργα Η/Μ (105,4 για 2002 και 95,3 για 2015), της διακύμανσης της ισοτιμίας €/ΰ για το έτος 2007 (0,626 – 0,775). Για μεταβολή στη δυναμικότητα του εξοπλισμού των εξεταζόμενων μονάδων εφαρμόζεται η **Εξ. 26**.

Πίνακας 76. Ενδεικτικές τιμές κόστους αξιοποιούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού και η αναγωγή του σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

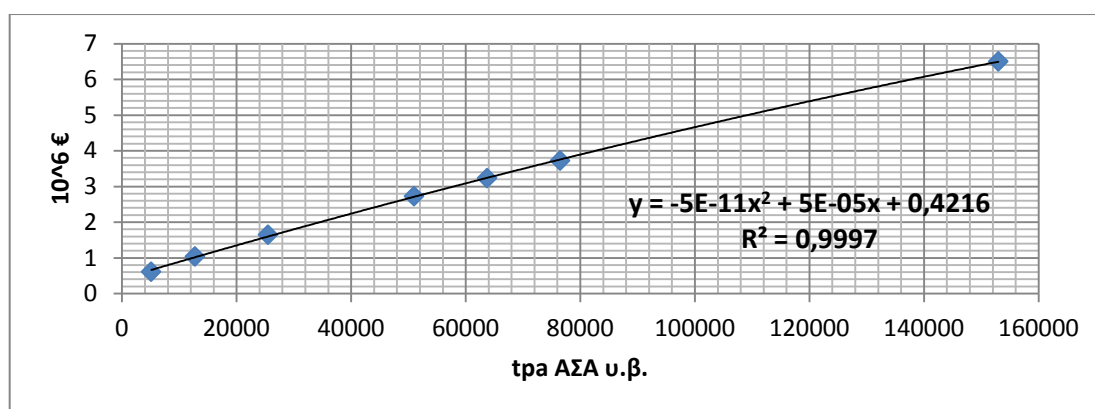
α/α	Μηχανολογικός ΚΔΑΥ	εξοπλισμός	Δυναμικότητα	Κόστος	Μονάδα κόστους	Πηγή	Αναθθέν κόστος σε 2015€
1	Γεφυροπλάστιγγα		-	60.321	2002€ Δανία	[111]	55.022
2	Φορτωτής		20tph	150.000	2012ΰ	[51]	92.633
Εξοπλισμός μονάδας κομποστοποίησης							
3		Τεμαχιστής		150.000			135.626
4		Αναμείκτης		250.000	2002€	[126]	226.043
5		Κόσκινο ραφιναρίας	20.000tpra	100.000	Ευρώπη		90.417
6		Χοάνη		30.000			27.125
7		Σύστημα αερισμού/εμφύσης		250.000			226.043
8		Ενθυλακωτής	2.000tpra		2015€ Ελλάδα	[130]	100.000
9		Βαλλιστικός διαχωριστής	125.000tpra		2015€ Ελλάδα	[131]	132.000
Εξοπλισμός ΚΔΑΥ							
10	Ταινιόδρομος		30tph	30.000	2012ΰ		20.688
11	Τύμπανο τροφοδοσίας		30tph	142.000	2012ΰ		97.925
12	Μαγνητικός διαχωριστής		2tph	35.000	2012ΰ	[51]	24.136
13	Επαγωγικός διαχωριστής (ECS)		10tph	127.500	2012ΰ		87.926
14	Οπτικός διαχωριστής		5tph	300.000	2012ΰ		206.884
15	Δεματοποιητής (Baler)		51tph	548.100	2012ΰ		377.977

5.4.7.1 Κόστος μονάδας κομποστοποίησης

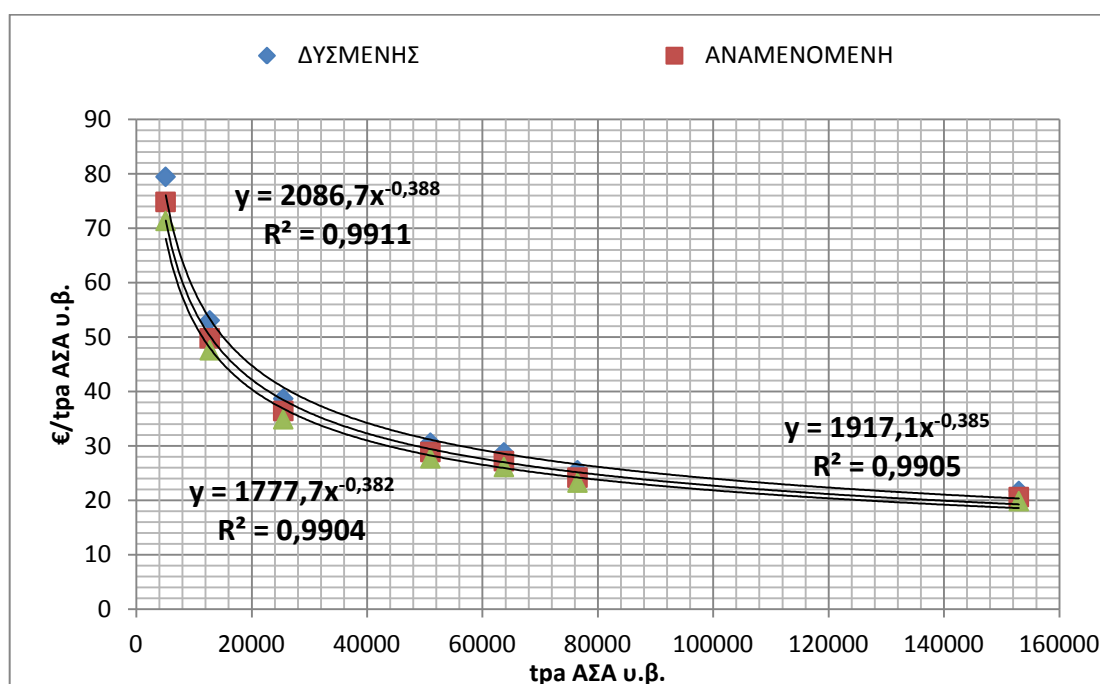
Το κόστος του Η/Μ εξοπλισμού έχει υπολογισθεί (βλ. **Πίνακας 76**). Για την εκτίμηση της απαιτούμενης έκτασης της εγκατάστασης και των έργων Π/Μ γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές. Για τα έργα Π/Μ γίνεται αναπροσαρμογή των τιμών με χρήση των PLIs (77,5 για 2002 και 72,5 για 2015). Σε όλα τις εργασίες γίνεται γραμμική προσέγγιση με βάση τη δυναμικότητα της εγκατάστασης της πηγής [126] για την εύρεση των απαιτούμενων ποσοτήτων.

Πίνακας 77. Ενδεικτικές τιμές κόστους γης και έργων Π/Μ για μονάδα κομποστοποίησης και αναγωγή τους σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

Εργασία	Κόστος	Μονάδα	Πηγή	Αναθθέν κόστος σε 2015€	Μονάδα
Αγορά γης	Κεφάλαιο 5.3	€/m ²	[121]	5,51	€/m ²
Έργα Π/Μ					
Κατασκευές	150	€/m ²		140,32	€/m ²
Διαμόρφωση εδάφους	35	€/m ²		32,74	€/m ²
Δεξαμενή	100	€/m ³	[126]	93,55	€/m ³
Βιόφιλτρο	200	€/m ³		187,10	€/m ³
Παροχές	300.000	#		280.645,16	#
Γραφεία	300	€/m ²		280,65	€/m ²
Περιφράξη	Κεφάλαιο 5.3	€/m	[111]	20,29	€/m



Γράφημα 37. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10⁶ € για τη μονάδα κομποστοποίησης σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 38. Ανηγμένο κόστος κομποστοποίησης σε €/tpa ΑΣΑ u.β. με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

5.4.7.2 Κόστος ΚΔΑΥ

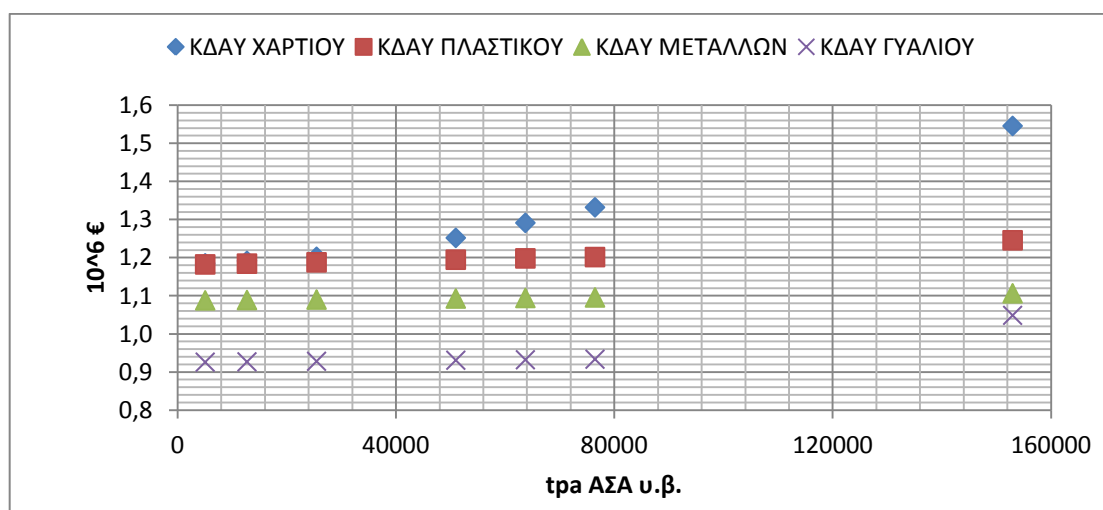
Στον ακόλουθο **Πίνακας 78** παρουσιάζονται τα απαιτούμενα κόστη για την αγορά του οικοπέδου και τα έργα Π/Μ ενός ΚΔΑΥ [51]. Γίνεται προσαρμογή των τιμών με χρήση της ισοτιμίας €/ΰ και του ΡΛΙ του κατασκευαστικού κλάδου της Ελλάδας (89,0 για το 2007 και 72,5 για 2015). Στα ΚΔΑΥ χαρτιού, πλαστικού και γυαλιού καταναλώνεται και φυσικό αέριο (βλ. **Κεφάλαιο 4.2.3, 4 και 7**). Οι τιμές του φυσικού αερίου, χωρίς ΦΠΑ και επιβαρύνσεις, για τους βιομηχανικούς χρήστες το για το έτος 2015 ανήλθαν, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων **nrg_pc_202** της Eurostat, σε:

1. 22,44€/GJ για ετήσια κατανάλωση έως 20GJ
2. 15,97€/GJ για κατανάλωση από 20 έως 200GJ
3. 13,64€/GJ για κατανάλωση > 200GJ

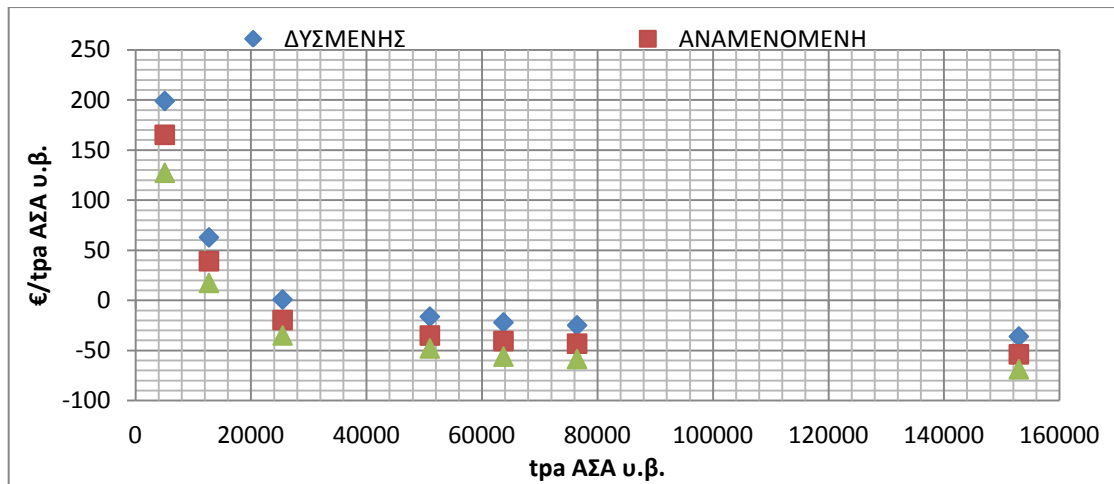
Πίνακας 78. Ενδεικτικές τιμές κόστους γης και έργων Π/Μ για ΚΔΑΥ και αναγωγή τους σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

Εργασία	Ποσότητα	Κόστος	Πηγή	Αναθθέν κόστος σε 2015€	Μονάδα
Αγορά γης	$(m^2) = 0,1x(tpa) + 7.000$	-		5,51	€/m ²
Έργα Π/Μ			[51]		
Κατασκευές	4% επί του οικοπέδου	1.050ΰ/m ²		600	€/m ²

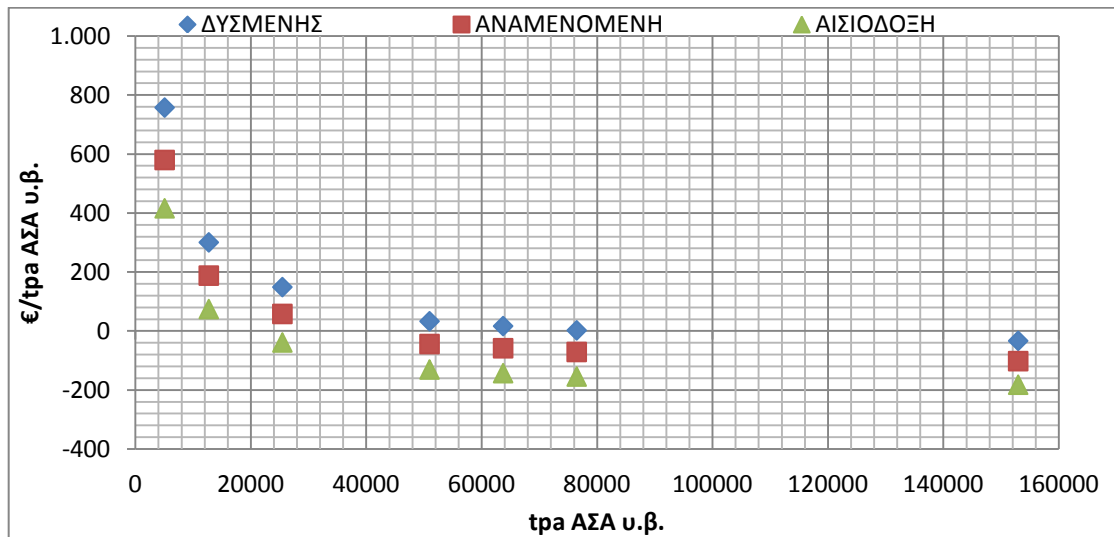
Αναφορικά με το στάδιο της μηχανικής διαλογής, στο **ΚΔΑΥ χαρτιού και του πλαστικού** χρησιμοποιείται μόνο οπτικός διαχωριστής, ενώ στο **ΚΔΑΥ μετάλλων** μαγνητικός και επαγωγικός διαχωριστής. Στο **ΚΔΑΥ γυαλιού**, πέραν της γεφυροπλάστιγγας και του φορτωτή, κοστολογείται ενιαία το σύστημα διαχωρισμού, ως μονάδα παραγωγής 3 ρευμάτων (πράσινο, καφέ και διαφανές) δυναμικότητας 60.000tpa στις ΗΠΑ για το 2007 [132].



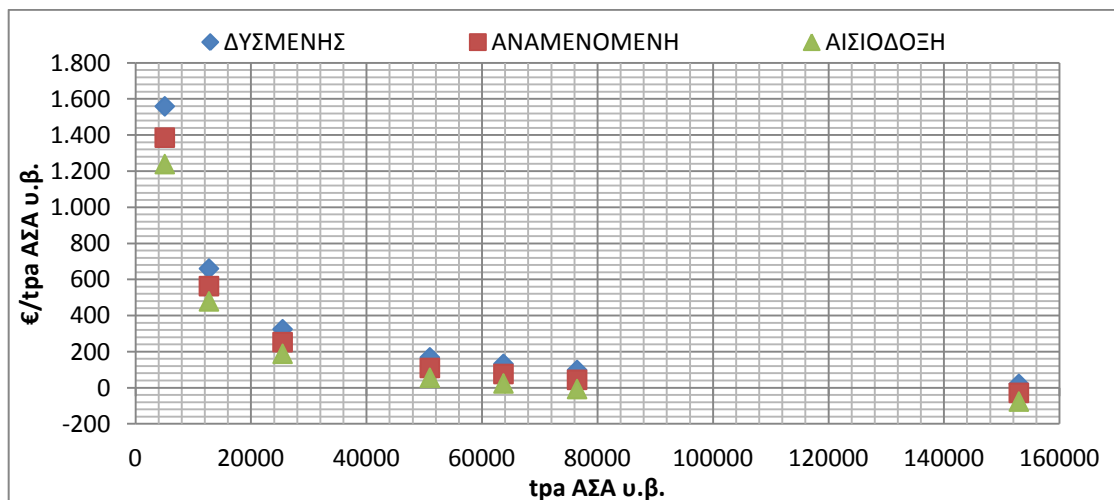
Γράφημα 39. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10⁶ € για τα ΚΔΑΥ σε 2015€.



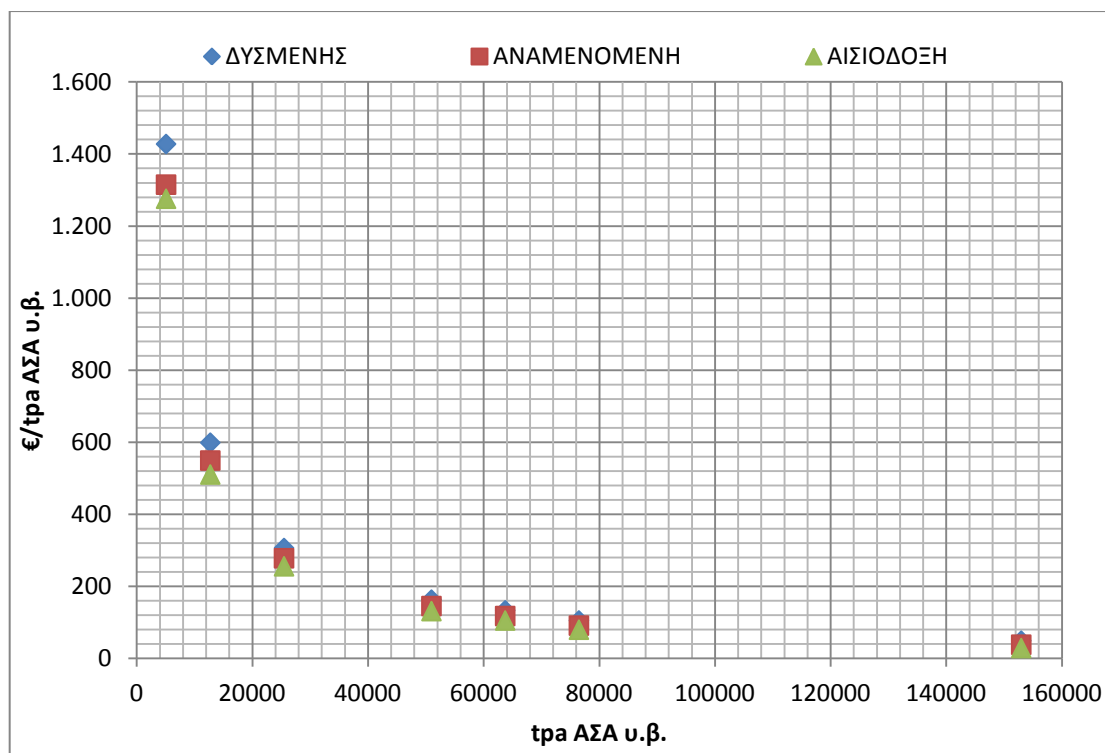
Γράφημα 40. Ανηγγμένο ισοζύγιο κόστους – εσόδων του ΚΔΑΥ χαρτιού σε €/τρα ΑΣΑ υ.β. με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



Γράφημα 41. Ανηγγμένο ισοζύγιο κόστους – εσόδων του ΚΔΑΥ πλαστικού σε €/τρα ΑΣΑ υ.β. με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ..



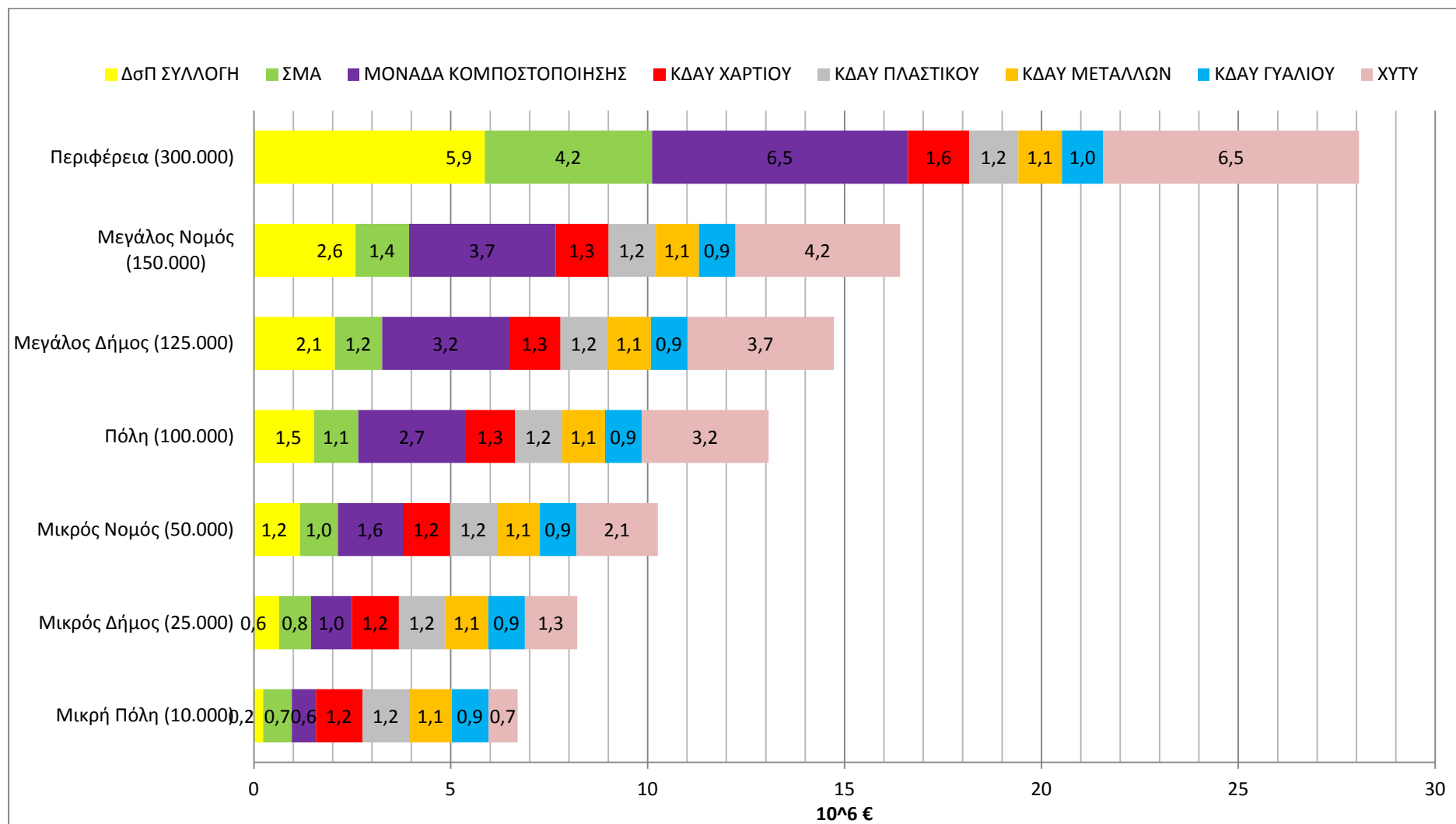
Γράφημα 42. Ανηγγμένο ισοζύγιο κόστους – εσόδων του ΚΔΑΥ μετάλλων σε €/τρα ΑΣΑ υ.β. με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ..



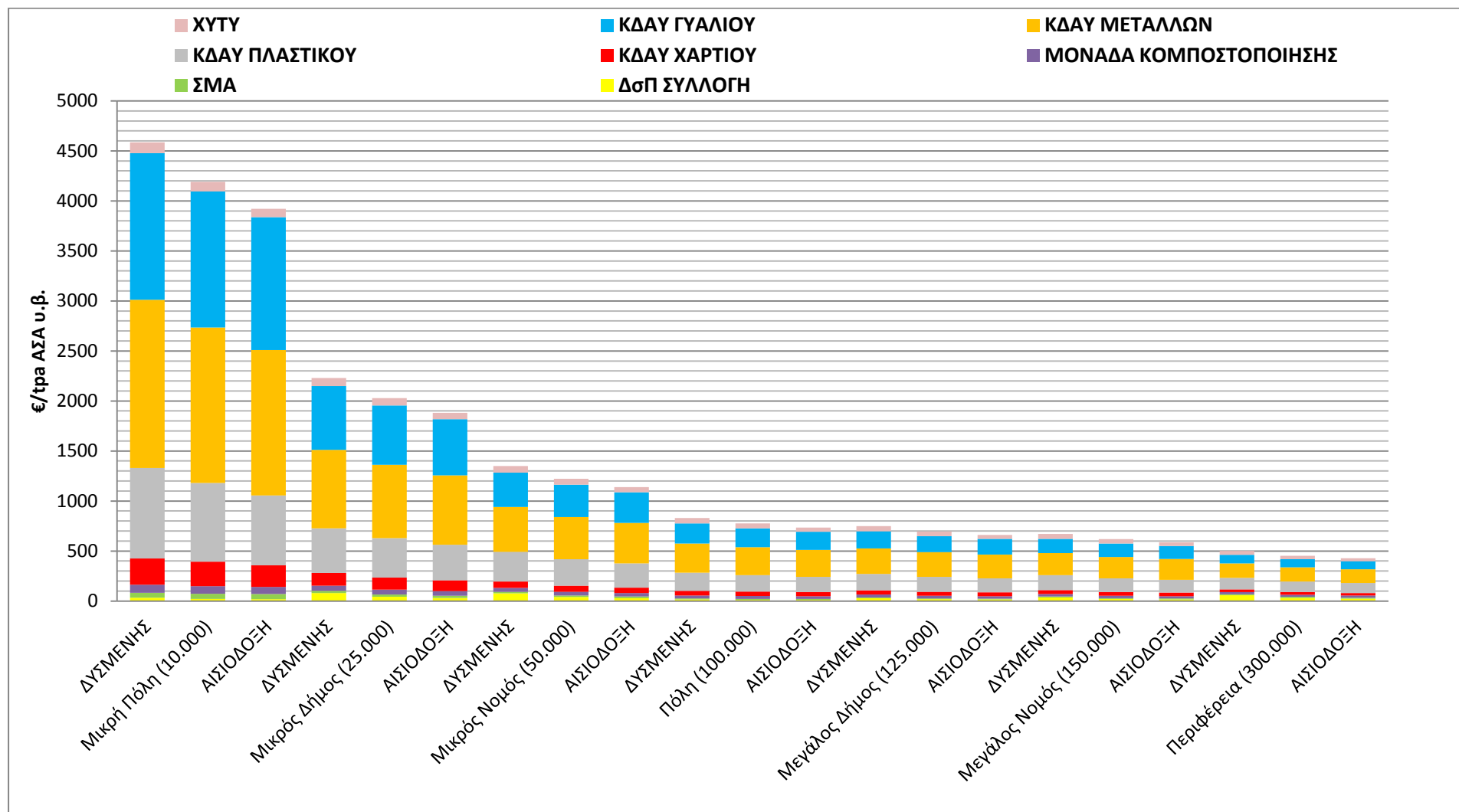
Γράφημα 43. Ανηγγμένο ισοζύγιο κόστους – εσόδων του ΚΔΑΥ γαλαλιού σε €/tpa ΑΣΑ υ.β. με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ..

5.4.8 Κόστος Σεναρίου III – ΔσΠ

Στο ακόλουθο **Γράφημα 44** παρατίθεται η εξέλιξη του αρχικού κόστους επένδυσης και στο ακόλουθο **Γράφημα 45** το ανηγμένο κόστος του Σεναρίου III-ΔσΠ βάσει των οικιστικών ιστών και των διοικητικών δομών. Και στα δύο παρατηρείται η ομαλή εξέλιξη του συνολικού κόστους (οικονομία κλίμακος) και η έντονη διαφοροποίηση λόγω της διαφοροποίησης των παραμέτρων της ανάλυσης ευαισθησίας σε πληθυσμούς 100.000 κατοίκων και άνω.



Γράφημα 44. Ανάλυση κόστους αρχικής επένδυσης Σεναρίου III – ΔσΠ σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.



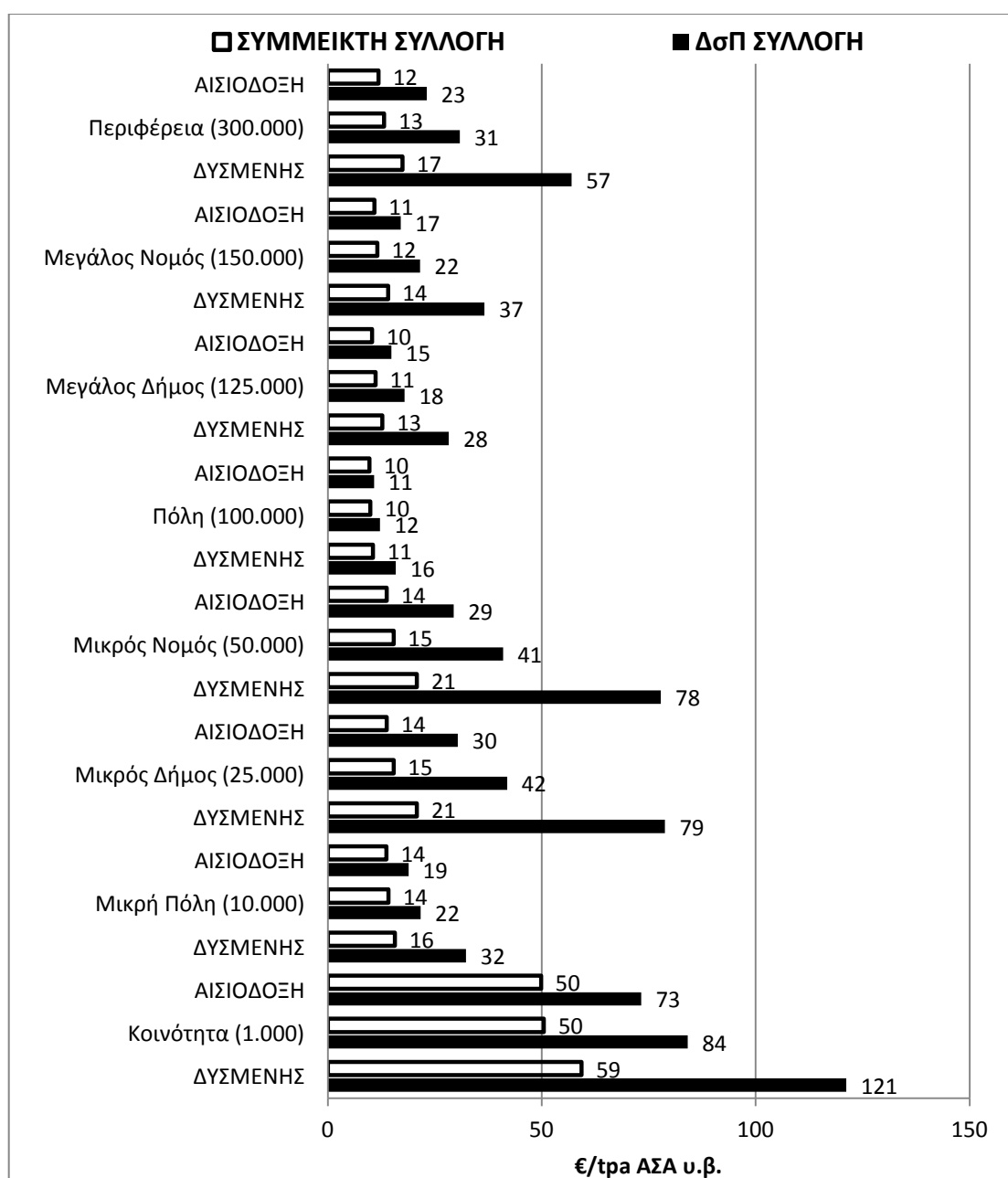
Γράφημα 45. Ανηγμένο συνολικό κόστος διαχείρισης ΑΣΑ μέσω του Σεναρίου III –ΔσΠ με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

Πίνακας 79. Ανηγγμένο συνολικό κόστος διαχείρισης ΑΣΑ μέσω του Σεναρίου III –ΔσΠ με ανάλυση ευαισθησίας σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

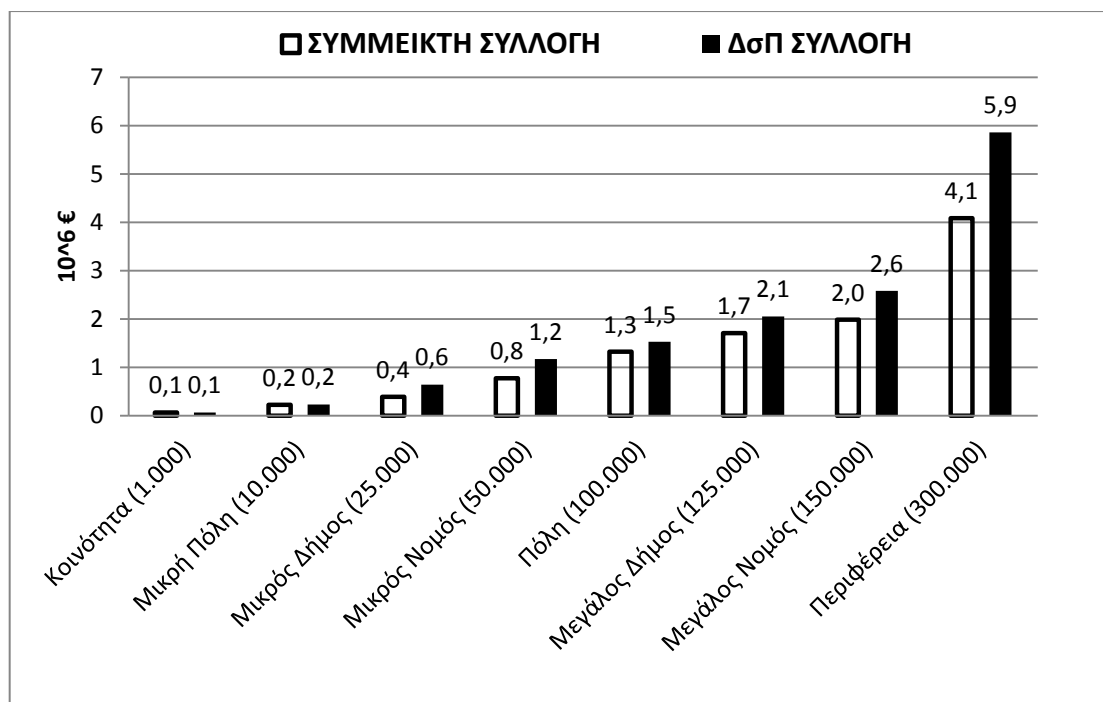
	Θεώρηση	ΔσΠ συλλογή	ΣΜΑ	Μονάδα κομποστοπ.	ΚΔΑΥ Χαρτιού	ΚΔΑΥ Πλαστικού	ΚΔΑΥ Μετάλλων	ΚΔΑΥ Γυαλιού	ΧΥΤΥ	Σύνολο
Μικρή Πόλη (10.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	32	51	79	262	905	1683	1465	107	4585
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	22	51	75	246	788	1555	1359	97	4192
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	19	51	71	217	699	1454	1327	84	3920
Μικρός Δήμος (25.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	79	22	53	126	448	784	636	82	2230
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	42	22	50	119	396	732	593	73	2028
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	30	22	48	107	357	693	561	64	1882
Μικρός Νομός (50.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	78	15	39	64	296	448	344	67	1350
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	41	15	36	61	266	422	322	60	1223
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	29	15	35	54	244	403	306	52	1139
Πόλη (100.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	16	9	31	47	180	292	200	54	830
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	12	9	29	45	164	279	189	49	776
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	11	9	28	41	152	270	182	43	735
Μεγάλος Δήμος (125.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	28	8	29	41	164	256	171	51	748
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	18	8	27	40	150	245	162	45	695
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	15	8	26	38	140	239	156	40	661
Μεγάλος Νομός (150.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	37	8	26	38	150	222	143	48	671
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	22	8	24	37	137	213	135	43	619
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	17	8	23	36	128	208	130	38	588
Περιφέρεια (300.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	57	11	22	27	114	145	86	39	502
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	31	11	21	26	106	141	82	35	453
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	23	11	20	26	101	138	79	31	429

5.5 Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κόστους σε 2 επίπεδα. Η πρώτη σύγκριση είναι σε **επίπεδο συνολικού κόστους** των 4 Σεναρίων επεξεργασίας ΑΣΑ, το οποίο θα περιλαμβάνει το κόστος συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας και διαχείρισης των υπολειμμάτων. Η δεύτερη σύγκριση είναι σε επίπεδο **ισοζυγίου εσόδων και κόστους** των ΜΕΑ.



Γράφημα 46. Συγκεντρωτική παρουσίαση του ανηγμένου κόστους σύμμεκτης και ΔσΠ συλλογής ΑΣΑ σε 2015€ για οικιστικούς ιστούς και διοικητικές δομές.



Γράφημα 47. Συγκεντρωτική παρουσίαση του κόστους αρχικής επένδυσης σύμμεκτης και ΔσΠ συλλογής ΑΣΑ σε 2015€ για οικιστικούς ιστούς και διοικητικές δομές.

Αρχικά, γίνεται σύγκριση των συστημάτων συλλογής των ΑΣΑ που εξετάστηκαν, της σύμμεκτης και της ΔσΠ (βλ. [Γράφημα 46 και 46](#)). Από τη σύγκριση προκύπτει πως η σύμμεκτη είναι πάντα πιο συμφέρουσα, όπως αναμενόταν, και προς το κόστος αρχικής επένδυσης και ως προς το ανηγμένο κόστος συλλογής. **Αναφορικά με τα κόστη αρχικής επένδυσης**, αυτά δεν διαφέρουν κατά πολύ για πληθυσμό έως και 100.000 κατοίκων, αφού γίνεται χρήση των ίδιων Α/Φ οχημάτων τύπου πρέσσας. Ωστόσο, η ανάγκη για περισσότερες ΕΩ για ΔσΠ συλλογή έναντι της σύμμεκτης οδηγεί σε **αύξηση του απαιτούμενου στόλου των Α/Φ οχημάτων**. Αυτή η διαφοροποίηση απεικονίζεται και στον ακόλουθο [Πίνακας 80](#), ο οποίος αναλύει τα αναγραφόμενα κόστη επένδυσης του [Γραφήματος 46](#) σε κόστος αγοράς Α/Φ οχημάτων, καδών και Διαφόρων. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι για την περίπτωση της Περιφέρειας, απαιτούνται 7 πρέσσες των 16m³ ($7 \times 105.573 = 0,74 \times 10^6$ €) για σύμμεκτη συλλογή και 14 πρέσσες των 16m³ ($1,48 \times 10^6$ €)

Πίνακας 80. Επιμερισμός του συνολικού κόστους επένδυσης της σύμμεκτης και της ΔσΠ συλλογής σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ για οικιστικούς ιστούς και διοικητικές δομές.

	Συνολικό κόστος (10 ⁶ €)	Κόστος Α/Φ (10 ⁶ €)	Κόστος Κάδων (10 ⁶ €)	Κόστος Διαφόρων (10 ⁶ €)
Σύμμεκτη συλλογή				
Κοινότητα (1.000)	0,07	0,05	0,01	0,01
Μικρή Πόλη (10.000)	0,23	0,11	0,10	0,02
Μικρός Δήμος (25.000)	0,39	0,11	0,25	0,04
Μικρός Νομός (50.000)	0,78	0,21	0,50	0,07
Πόλη (100.000)	1,32	0,21	0,99	0,12
Μεγάλος Δήμος (125.000)	1,71	0,32	1,24	0,01
Μεγάλος Νομός (150.000)	1,99	0,32	1,49	0,18
Περιφέρεια (300.000)	4,09	0,74	2,98	0,37
ΔσΠ συλλογή				

Κοινότητα (1.000)	0,07	0,05	0,01	0,01
Μικρή Πόλη (10.000)	0,23	0,11	0,11	0,02
Μικρός Δήμος (25.000)	0,64	0,32	0,27	0,06
Μικρός Νομός (50.000)	1,17	0,53	0,54	0,11
Πόλη (100.000)	1,53	0,32	1,07	0,14
Μεγάλος Δήμος (125.000)	2,05	0,53	1,34	0,19
Μεγάλος Νομός (150.000)	2,58	0,74	1,61	0,23
Περιφέρεια (300.000)	5,86	2,11	3,22	0,53

Αναφορικά με τα **ανηγμένα κόστη σύμμεικτης και ΔσΠ συλλογής**, είναι παρεμφερή μόνο για την πόλη και τη μικρή πόλη. Οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις της ΔσΠ συλλογής οφείλονται στον σωρευτικό χαρακτήρα των μεταβολών του συντελεστή Κ (1, 1,41 ή 3), στις αποστάσεις ανάμεσα στις κατοικίες (20-60m), στους νεκρούς χρόνους (15% ή 17,5%) και στους κάδους ανά σημείο συλλογής (1, 2 ή 4). Το γεγονός ότι στη ΔσΠ συλλογή είναι πιο έντονη η διακύμανση σε σχέση με την σύμμεικτη συλλογή, οφείλεται στην επικάλυψη των δρομολογίων. Πιο συγκεκριμένα, μια απόσταση από ένα σημείο συλλογής προς ένα άλλο, η οποία κατά τη σύμμεικτη συλλογή διανυόταν 1 φορά, κατά τη ΔσΠ διανύεται 6 φορές. Αυτό οδηγεί σε αυξημένες απαιτούμενες ΕΩ και κατανάλωση Diesel. Για την κατανάλωση Diesel έχει υπολογιστεί σε επίπεδο Περιφέρειας σε 5,42/3,76/3,29 L/tn ΑΣΑ για σύμμεικτη και 19,20/9,64/6,94 L/tn ΑΣΑ για ΔσΠ συλλογή. Για τις απαιτούμενες ΕΩ ενδεικτικά αναγράφονται για την Περιφέρεια Α στον ακόλουθο **Πίνακας 81**.

Πίνακας 81. Επιμερισμός ΕΩ για σύμμεικτη και ΔσΠ συλλογή της Περιφέρειας Α (120 κοινότητες, 8 πόλεις, 1 μεγάλη πόλη) με ανάλυση ευαισθησίας.

Θεώρηση	Δυσμενής	Αναμενόμενη	Αισιόδοξη
Κοινότητα			
Συντελεστής απόστ. Κ:	3	1,41	1
Μέση απόστ. κατοικιών:	60m	50m	40m
Κάδοι/στάση:	1	1	1
Νεκρός χρόνος W:	15,0%	17,5%	17,5%
Μικρή πόλη			
Συντελεστής απόστ. Κ:	3	1,41	2
Μέση απόστ. κατοικιών:	50m	40m	30m
Κάδοι/στάση:	1	1	1
Νεκρός χρόνος W:	15,0%	17,5%	17,5%
Πόλη			
Συντελεστής απόστ. Κ:	3	1,41	1
Μέση απόστ. κατοικιών:	40m	30m	20m
Κάδοι/στάση:	2	2	4
Νεκρός χρόνος W:	15,0%	17,5%	17,5%
Σύμμεικτη συλλογή		ΕΩ (hr/week)	
Κοινότητες	435	251	200
Μικρές πόλεις	110	84	76
Πόλη	103	89	86
Σύνολο	648	425	362
ΔσΠ συλλογή			
Κοινότητες	2424	1153	775
Μικρές πόλεις	407	228	173
Πόλη	280	191	162
Σύνολο	3111	1572	1110

Αναφορικά, τώρα, με την σύγκριση σε **επίπεδο συνολικού κόστους** για τα 4 Σενάρια, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον ακόλουθο **Πίνακας 82 & 83** αντίστοιχα.

Πίνακας 82. Κόστος αρχικής επένδυσης σε 10⁶ € για τα 4 υπό εξέταση Σενάρια σε 2015€ χωρίς ΦΠΑ.

	ΣΕΝΑΡΙΟ I ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ	ΣΕΝΑΡΙΟ II ΜΜΒΕ	ΣΕΝΑΡΙΟ III ΔσΠ	ΣΕΝΑΡΙΟ IV ΧΥΤΑ
Μικρή Πόλη (10.000)	14,4	6,1	6,7	2,2
Μικρός Δήμος (25.000)	20,8	8,8	8,2	3,3
Μικρός Νομός (50.000)	27,8	13,1	10,3	5,1
Πόλη (100.000)	37,1	20,6	13,1	7,7
Μεγάλος Δήμος (125.000)	40,9	24,2	14,7	8,9
Μεγάλος Νομός (150.000)	44,3	27,5	16,4	10,1
Περιφέρεια (300.000)	62,9	45,7	28,1	18,9

Πίνακας 83. Ανηγμένο συνολικό κόστος επεξεργασίας ΑΣΑ σε €/τρα ΑΣΑ υ.β. για τα 4 υπό εξέταση Σενάρια σε 2015 € χωρίς ΦΠΑ.

	Θεωρήσεις	ΣΕΝΑΡΙΟ I ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ	ΣΕΝΑΡΙΟ II ΜΜΒΕ	ΣΕΝΑΡΙΟ III ΔσΠ	ΣΕΝΑΡΙΟ IV ΧΥΤΑ
Μικρή Πόλη (10.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	769	218	4585	185
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	747	217	4192	184
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	722	216	3920	183
Μικρός Δήμος (25.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	497	136	2230	140
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	474	131	2028	134
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	454	129	1882	133
Μικρός Νομός (50.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	361	105	1350	123
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	340	100	1223	118
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	322	98	1139	116
Πόλη (100.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	260	79	830	100
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	245	78	776	100
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	231	78	735	100
Μεγάλος Δήμος (125.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	240	77	748	99
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	225	75	695	98
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	211	74	661	97
Μεγάλος Νομός (150.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	225	76	671	99
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	210	73	619	96
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	197	72	588	96
Περιφέρεια (300.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	183	74	502	102
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	168	70	453	97
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	155	68	429	96

Ο υπολογισμός του κόστους για ΜΕΑ των 4 Σεναρίων, για την περίπτωση της **κοινότητας των 1.000 κατοίκων** παραλείπεται λόγω πολύ μικρής δυναμικότητας (510τρα), η οποία οδηγεί σε πολύ υψηλά ανηγμένα κόστη. Τέλος, δεν συναντώνται στη βιβλιογραφία μελέτες κόστους για τόσο μικρές δυναμικότητες και επομένως η **Εξ. 26** (κανόνας των 6/10) οδηγεί σε ανακριβή αποτελέσματα (υποεκτίμηση κόστους). Εάν δεν καθίσταται δυνατή η συλλογική διαχείριση, τότε η πιο οικονομική λύση αποτελεί ο ΧΥΤΑ, βάσει της τάσης των αριθμών του **Πίνακας 82 και 83**. Κατατάσσοντας τα αθροιστικά **κόστη επένδυσης** των δικτύων συλλογής, μεταφοράς, των ΜΕΑ και των ΧΥΤ, κατά αύξουσα σειρά, προκύπτει ότι το χαμηλότερο ανήκει στο Σενάριο IV-ΧΥΤΑ, με το Σενάριο III-ΔσΠ να ακολουθεί και το Σενάριο II-ΜΜΒΕ και Σενάριο I-Διυλιστήριο να έπονται. Επίσης, παρατηρείται, ως αναμενόμενα, ότι με την αύξηση της ετήσιας δυναμικότητας των ΜΕΑ, αυξάνονται και τα κόστη επένδυσης, χωρίς ωστόσο να αλλάζει η σειρά κατάταξης (βλ. **Πίνακας 82**).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει η εξής παρατήρηση αναφορικά με το Σενάριο 3 – ΔσΠ. Στον άξονα των Χ των **Γραφημάτων 37-43**, η αρχική δυναμικότητα δίνεται σε tpa ΑΣΑ, και όχι σε tpa έκαστου κλάσματος ΑΣΑ. Αυτό συμβαίνει, ούτως να υπάρχει ομοιομορφία στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων και άμεση σύγκριση των Σεναρίων. Επί παραδείγματι, για **100.000 κατοίκους**, δηλαδή **51.000tpa**, η Μονάδα Κομποστοποίησης έχει δυναμικότητα 15.282 – 17.794tpa του κάδου των οργανικών, σύμφωνα με την ανάλυση ευαισθησίας του **Κεφαλαίου 3.2**. Ομοίως τα ΚΔΑΥ έχουν δυναμικότητες, οι οποίες κυμαίνονται σε 13.122 – 14.173tpa κάδου χαρτιού, 3.993 – 4.559tpa κάδου πλαστικού, 1.693 – 1.714tpa κάδου μετάλλων και κάδου γυαλιού και 20.074 – 27.071tpa κάδου υπολειμμάτων.

Εξετάζοντας, λοιπόν, το **ανηγμένο συνολικό κόστος** αμιγώς προκύπτει πως ο ΧΥΤΑ είναι κατάλληλος για διαχείριση ΑΣΑ των μικρών πόλεων (10.000 κάτοικοι – 5.100tpa ΑΣΑ). Για το υπόλοιπο εύρος των ιστών και δομών η πιο κατάλληλη ΜΕΑ είναι η ΜΜΒΕ, με το Διυλιστήριο και την ΔσΠ να έπονται. Επιπλέον, σχετικά, με τα ανηγμένα κόστη του Σεναρίου IV – ΧΥΤΑ και του Σεναρίου II - ΜΜΒΕ, σταθεροποιούνται στα 100€/tpa και στα 70€/tpa αντιστοίχως. Ειδικά για το Σενάριο IV, το σημαντικότερο λειτουργικό κόστος είναι το τέλος ταφής (52,83€/tpa ΑΣΑ – βλ. **Κεφάλαιο 5.4.1**). Αναφορικά, τώρα, με την σύγκριση σε **επίπεδο ισοζυγίου κόστους - εσόδων** για τις 4 ΜΕΑ, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον ακόλουθο **Πίνακας 84**.

Πίνακας 84. *Ανηγμένο ισοζύγιο κόστους-εσόδων των 4 ΜΕΑ των Σεναρίων σε €/tpa ΑΣΑ υ.β. 2015€ χωρίς ΦΠΑ.*

	Θεωρήσεις	ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ	ΜΜΒΕ	ΔσΠ	ΧΥΤΑ
Μικρή Πόλη (10.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	523	124	4222	119
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	497	111	3709	119
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	465	103	3315	119
Μικρός Δήμος (25.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	307	65	1865	97
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	281	52	1542	97
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	249	44	1270	97
Μικρός Νομός (50.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	198	41	987	87
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	172	28	734	87
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	140	20	521	87
Πόλη (100.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	128	29	467	81
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	103	17	285	81
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	71	8	113	81
Μεγάλος Δήμος (125.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	112	26	385	79
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	87	13	204	79
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	54	5	32	79
Μεγάλος Νομός (150.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	100	23	308	77
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	74	10	128	77
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	42	2	-41	77
Περιφέρεια (300.000)	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	62	12	134	73
	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	37	0	-45	73
	ΑΙΣΙΟΔΟΞΗ	5	-9	-209	73

Από τον **Πίνακας 84** προκύπτει πως ο **ΧΥΤΑ** δεν αποτελεί βιώσιμη οικονομική μέθοδο διαχείρισης ΑΣΑ και επομένως θα πρέπει να εξετάζονται οι άλλες ΜΕΑ. Η **ΔσΠ** αποδεικνύεται μη βιώσιμη για χαμηλές δυναμικότητες (<125.000 x 0,51 = 63.750tpa) και αρκετά επικερδής για μεγαλύτερες δυναμικότητες. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στις

μικρές δυναμικότητες, τις οποίες εμφανίζουν τα ΚΔΑΥ του γυαλιού και των μετάλλων (170-2.570τρα από 10.000 έως 150.000 κατοίκους). Ωστόσο παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις λόγω του μεγάλου εύρους των τιμών πώλησης των ανακυκλώσιμων υλικών.

Από τα **Γραφήματα 40-43**, προκύπτει ότι οι κρίσιμες δυναμικότητες, εκείνες δηλαδή που εμφανίζουν μηδενισμό του κόστους είναι οι εξής:

- ΚΔΑΥ χαρτιού: 50.000 κάτοικοι, άρα 25.500τρα ΑΣΑ και άρα 6.500 – 7.000τρα κάδου χαρτιού.
- ΚΔΑΥ πλαστικού: 100.000 κάτοικοι, άρα 51.000τρα ΑΣΑ και άρα 4.000 – 4.500τρα κάδου πλαστικού.
- ΚΔΑΥ μετάλλων: 150.000 κάτοικοι με αισιόδοξη πρόβλεψη αρχικού διαχωρισμού στην πηγή, τιμών πώλησης μετάλλων και χαμηλού κόστους εξοπλισμού, άρα 2.500τρα κάδου μετάλλων. Εναλλακτικά, προκύπτει 300.000 κάτοικοι με δυσμενείς προβλέψεις με 5.000τρα κάδου μετάλλων.
- ΚΔΑΥ γυαλιού: Δεν εμφανίζει περιθώρια κέρδους για πληθυσμό 300.000 κατοίκων, και άρα 5.000τρα κάδου γυαλιού. Ωστόσο, το εύρος της τιμής πώλησης 47-57€ και η τάση υποδεικνύει ότι μπορεί να είναι επικερδής για μεγαλύτερες δυναμικότητες.

Στο εξεταζόμενο εύρος δυναμικότητων (10.000 – 153.000τρα) το Διυλιστήριο αποτελεί την λιγότερο συμφέρουσα επιλογή και μόνο κατά την αισιόδοξη θεώρηση και σε για την Περιφέρεια προσεγγίζει τη ΜΜΒΕ. Τέλος, η ΜΜΒΕ αποτελεί σίγουρα την πιο οικονομικά συμφέρουσα λύση για δυναμικότητες έως και 63.750τρα (Μεγάλο Δήμο 125.00 κατοίκων).

Τέλος, εξετάζοντας τα αποτελέσματα του **Πίνακα 84** ανά θεώρηση, προκύπτουν οι εξής κατατάξεις ανά θεώρηση:

1. Δυσμενής θεώρηση:

ΧΥΤΑ < ΜΜΒΕ < Διυλιστήριο < ΔσΠ έως 5.100τρα
ΜΜΒΕ < ΧΥΤΑ < Διυλιστήριο < ΔσΠ από 5.100 έως 153.00τρα
ΜΜΒΕ < Διυλιστήριο < ΧΥΤΑ < ΔσΠ στα 153.000τρα

2. Αναμενόμενη θεώρηση:

ΜΜΒΕ < ΧΥΤΑ < Διυλιστήριο < ΔσΠ έως 63.750τρα
ΜΜΒΕ < Διυλιστήριο < ΧΥΤΑ < ΔσΠ από 76.500 έως 153.00τρα
ΔσΠ < ΜΜΒΕ < Διυλιστήριο < ΧΥΤΑ στα 153.000τρα

3. Αισιόδοξη θεώρηση:

ΜΜΒΕ < ΧΥΤΑ < Διυλιστήριο < ΔσΠ έως 51.000τρα
ΜΜΒΕ < ΔσΠ < Διυλιστήριο < ΧΥΤΑ από 51.000 έως 63.750τρα
ΔσΠ < ΜΜΒΕ < Διυλιστήριο < ΧΥΤΑ από 63.750 έως και 153.000τρα

Κεφάλαιο 6^ο: Συμπεράσματα-Προτάσεις μελλοντικής εργασίας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μοντελοποιήθηκε η φυσικοχημική Ελληνική σύσταση των ΑΣΑ (βλ. **Κεφάλαιο 1.2** και **Παράρτημα Ι**). Βάσει αυτής πραγματοποιήθηκε η περιβαλλοντική συμπεριφορά βάσει των αρχών της ΑΚΖ και η τεchnο-οικονομική ανάλυση των 4 εξεταζόμενων Σεναρίων διαχείρισης ΑΣΑ (Διυλιστήριο, ΜΜΒΕ, ΔσΠ και ΧΥΤΑ), τα οποία περιελάμβαναν και τα στάδια της μεταφοράς και της συλλογής των ΑΣΑ.

Σχετικά με το **περιβαλλοντικό αντίκτυπο** η σύμμεικτη συλλογή είναι λιγότερο επιβλαβής από την ΔσΠ λόγω της υποδιπλάσιας κατανάλωσης Diesel για όλες τις θεωρήσεις της ανάλυσης ευαισθησίας. Ωστόσο, συνυπολογίζοντάς την με τις επιδόσεις των ΜΕΑ δεν επηρεάζει σημαντικά το τελικό αποτύπωμα αυτών.

Απεδείχθη ως αναμενόταν πως η **αναερόβια χώνευση είναι προτιμότερη από την αερόβια** σύμφωνα με τα όρια της ΑΚΖ (Ελληνικό μίγμα καυσίμου, αντικατάσταση λιπασμάτων από κομπόστ, κ.λπ.). Επιπλέον, με βάση την επιλεγμένη μέθοδο ανακύκλωσης χαρτιού σε χαρτόνι, **η εκτροπή του ρεύματος του χαρτιού προς παραγωγή βιοαερίου**, όπως γίνεται στην περίπτωση του Διυλιστηρίου αποβλήτων, **είναι πιο συμφέρουσα από την ανακύκλωσή του.**

Εξετάζοντας τα Σενάρια προέκυψε, ως αναμενόταν, πως η **υγειονομική ταφή** αποτελεί την λιγότερο επωφελή περιβαλλοντικά μέθοδο διαχείρισης ΑΣΑ αναφορικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου/κλιματική αλλαγή και την μόνη επιβλαβή σχετικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες επίπτωσης/ζημιάς. Έπειτα κατατάσσεται η **ΔσΠ**, η οποία είχε περιβαλλοντικά οφέλη σε όλες τις κατηγορίες, ωστόσο η τρέχουσα ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με τη ΔσΠ δεν της επιτρέπει να επιτυγχάνει ικανοποιητικούς βαθμούς διαχωρισμού, αφού το 39 – 53% κατά σύσταση υ.β. των ΑΣΑ καταλήγει στον υπολειμματικό κάδο. Παρόλα αυτά αποτελεί το μόνο Σενάριο κατά το οποίο είναι δυνατό να ανακτηθεί το **κλάσμα του γυαλιού**. Λίγο καλύτερη περιβαλλοντική επίδοση έχει η **ΜΜΒΕ**, όπου η πλαστικών πολυμερών και όχι μίγματος την καθιστά ανταγωνιστική σε σχέση με αυτή της **διύλισης**. Ωστόσο αυτό συμβαίνει μόνο όταν η θεώρηση για το διυλιστήριο είναι πιο χαμηλή σε σχέση με αυτή της ΜΜΒΕ. Η εκτροπή του οργανικού ρεύματος τόσο της ΔσΠ, όσο και της ΜΜΒΕ προς την αναερόβια χώνευση, αντί για την κομποστοποίηση, βελτιώνει την περιβαλλοντική συμπεριφορά της ΜΜΒΕ και της ΔσΠ, χωρίς ωστόσο να υπερβαίνει αυτή του Διυλιστηρίου. Αυτό συμβαίνει, διότι υπάρχουν απώλειες λόγω του μηχανολογικού διαχωρισμού, τις οποίες δεν αντιμετωπίζει το Διυλιστήριο (>90% ανάκτηση οργανικού κλάσματος επί σύστασης ξ.β.).

Συνοψίζοντας, λοιπόν, την περιβαλλοντική συμπεριφορά των Σεναρίων και δίνοντας έμφαση στην μέθοδο που επιλέχθηκε για την ανακύκλωση του χαρτιού σε χαρτόνι και στο γεγονός ότι το παραγόμενο RDF δεν αξιοποιείται ενεργειακά, προκύπτει πως το Διυλιστήριο αποτελεί την βέλτιστη επιλογή από περιβαλλοντικής άποψης, αρκεί το παραγόμενο υδαρές χώνευμα να έχει BMP τουλάχιστον $364\text{Nm}^3/\text{tn}$ VS. Τέλος, αναφορικά με τους φιλόδοξους

στόχους του Πακέτου Κυκλικής Οικονομίας, είναι επιτεύξιμοι μέσω του Διυλιστηρίου αρκεί να γίνει προσθήκη σταδίου χειροδιαλογής των πλαστικών κατά την παραγωγική διεργασία, ούτως ώστε να αυξηθεί η ανάκτησή του. Επιπλέον, θα πρέπει να ανακτάται το κλάσμα του γυαλιού ξεχωριστά και να μην καταλήγει στον κάδο με τα σύμμεικτα ΑΣΑ, αφού δεν είναι δυνατή η ανάκτησή του εντός του Διυλιστηρίου.

Ωστόσο δεν υπάρχει πανάκεια στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ, για αυτό και το Διυλιστήριο αν και έχει την βέλτιστη περιβαλλοντική συμπεριφορά, φαίνεται βάσει της τεχνο-οικονομικής ανάλυσης που διενεργήθη να μην έχει εύρος δυναμικότητας, κατά το οποίο να προκρίνεται και ως η βέλτιστη οικονομική λύση. Πιο συγκεκριμένα, για πολύ χαμηλές δυναμικότητες η οικονομικότερη λύση είναι η υγειονομική ταφή (<500tpa ΑΣΑ ως ΜΕΑ και <5.000tpa ΑΣΑ ως Σενάριο). Έπειτα, η ΜΜΒΕ έχει το χαμηλότερο κόστος για τις εξεταζόμενες δυναμικότητες (500 – 65.000tpa ως ΜΕΑ και 5.000 – 150.000tpa ως Σενάριο). Τέλος, η ΔσΠ αν και εμφανίζει τα υψηλότερα κόσθη επεξεργασίας ως Σενάριο, ως ΜΕΑ παρουσιάζει το καλύτερο ισοζύγιο κόστους – εσόδων για δυναμικότητες μεγαλύτερες των 65.000tpa με αισιόδοξη θεώρηση ή μεγαλύτερες των 150.000tpa για αναμενόμενη θεώρηση.

Ωστόσο, η συμπεριφορά της ΔσΠ ως ΜΕΑ είναι απόλυτα εξαρτώμενη από την τελική τιμή πώλησης των ανακυκλώσιμων υλικών, η οποία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στα πλαίσια της ανάλυσης ευαισθησίας της τρέχουσας τεχνο-οικονομικής ανάλυσης λήφθηκαν οι ακραίες τιμές που παρατηρήθηκαν εντός του έτους 2015, χωρίς αυτό να προδικάζει μελλοντικές τιμές πώλησης. Επίσης, η παρατηρούμενη τάση του ισοζυγίου κόστους – εσόδων για τη ΜΜΒΕ, φαίνεται να είναι η σταθεροποίηση κοντά στο μηδενικό κόστος. Στον αντίποδα, η τιμή πώλησης της ηλ. ενέργειας από βιοαέριο είναι εγγυημένη βάσει του Νόμου 4254/2014 και η τάση ισοζυγίου κόστους – εσόδων δείχνει να μειώνεται για δυναμικότητες μεγαλύτερες των 150.000tpa. Επομένως, φαίνεται να είναι οικονομικά βιώσιμη μια επένδυση σε Διυλιστήριο αρκεί να έχει εξασφαλιστεί υψηλό ΒΜΡ από το υδαρές χώνευμα.

Στα πλαίσια λοιπόν της περαιτέρω διερεύνησης της οικονομικής και της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του Διυλιστηρίου στην Ελληνική Επικράτεια **προτείνονται τα εξής:**

1. **Πειραματική διερεύνηση της βιολογικής σύστασης των ΑΣΑ.**
2. **Μοντελοποίηση της παραγωγικής διεργασίας του Διυλιστηρίου για υπολογισμό παραγωγής χημικών προϊόντων.**
3. **Εκπόνηση επενδυτικού σχεδίου και συνεκτίμηση περαιτέρω Σεναρίων (Καύση ΑΣΑ, αξιοποίηση RDF).**
4. **Τεχνο-οικονομική μελέτη ΣΜΑ για σύστημα ΔσΠ.**

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 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 85**.

Πίνακας 85. 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 86** 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., και παρατίθεται η πυκνότητα αυτών των κλασμάτων στο στάδιο της συλλογής τους [7].

Πίνακας 86: ΑΣΑ όπως περιγράφονται στον ΕΚΑ. Τροποποίηση βάσει ποιοτικής σύστασης και πυκνότητας συλλογής [7].

Υποκατηγορίες	Δημοτικά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα περιλαμβανομένων των χωριστά συλλεγόντων μερών	Πυκνότητα συλλογής (tn/m ³)
Οργανικά	20 01 08 βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χώρων ενδιαίτησης 20 01 25 βρώσιμα έλαια και λίπη 20 03 04 λάσπη σηπτικής δεξαμενής	0,2 0,6109 0,9220
Χαρτιά & Χαρτόνια	20 01 01 χαρτί και χαρτόνι	0,2105
Πλαστικά	20 01 39 πλαστικά	0,14
Σιδηρούχα μέταλλα	20 01 40 μέταλλα	0,23
Μη σιδηρούχα μέταλλα	20 01 40 μέταλλα	0,23
Γυαλί	20 01 02 γυαλί	0,3332
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	0,38 0,2 0,2 0,567 0,1855 0,738 0,2128 0,26 0,14 0,47
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	0,9000 0,9 1,35 0,2131 0,27 0,86 0,922 0,18 0,56
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	0,81 0,9 0,9 0,9 0,9 0,1886 0,3037 0,5654 0,567 0,567 0,9000 0,9000 0,9 0,9 1,35 0,2341

Παράρτημα II: Αναλυτική ποιοτική και χημική σύσταση ΑΣΑ στην Ελλάδα

Πίνακας 87. Αναλυτική ποιοτική σύσταση ΑΣΑ για την Ελλάδα.

α/α	Κλάσματα ΑΣΑ	Κατηγορία ΕΚΑ	Κατηγορία	Περιεκτικότητα Κλάσματος επί υγρού βάρους (υ.β.)	Επιμέρο υς σύνολο	Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα κλάσματος (LHV – MJ/kg υ.β.)	Περιεκτικότητα στερεών επί υ.β.	Περιεκτικότητα πτητικών επί ξηρού βάρους (ξ.β.)	Περιεκτικότητα τέφρας επί ξ.β.	D factor	D factor κατηγορίας
1	Απόβλητα κουζίνας φυτικής προέλευσης	20 01 08		26,0%		2,47	23,01%	96,40%	5,20%	86,5%	
2	Απόβλητα κουζίνας ζωικής προέλευσης	20 01 08	Οργανικά	9,0%	41,0%	9,23	42,86%	94,20%	8,70%	86,5%	82%
3	Χαρτί κουζίνας	20 01 08		3,0%		7,96	53,14%	97,90%	2,70%	86,5%	
4	Απόβλητα κήπου	20 01 08		3,0%		5,88	51,79%	78,50%	24,00%	27,0%	
5	Εφημερίδες	20 01 01		5,0%		14,57	87,05%	92,70%	8,20%	31,1%	
6	Περιοδικά	20 01 01		1,0%		10,62	93,80%	76,70%	34,00%	39,2%	
7	Διαφημίσεις	20 01 01		3,0%		14,45	91,25%	75,10%	27,40%	39,2%	
8	Βιβλία και τηλεφωνικοί κατάλογοι	20 01 01		1,0%		13,37	89,49%	86,14%	17,86%	31,1%	
9	Χαρτί γραφείου	20 01 01		2,0%		11,24	91,25%	87,80%	20,70%	54,6%	
10	Άλλα καθαρά χαρτιά	20 01 01		1,0%		12,01	92,64%	87,60%	17,39%	54,6%	
11	Χάρτινες & χαρτονένιες συσκευασίες	20 01 01	Χαρτί & χαρτόνι	2,0%	29,0%	13,47	77,74%	88,80%	13,40%	54,4%	45%
12	Χαρτόνι	20 01 01		6,0%		12,22	83,48%	89,00%	14,00%	54,4%	
13	Δοχεία γάλακτος και συναφή	20 01 01		3,0%		17,35	83,16%	98,80%	1,20%	39,2%	
14	Συσκευασίες τύπου Tetrapak (με αλουμινένια επένδυση)	20 01 01		1,0%		19,56	83,86%	90,30%	9,60%	39,2%	
15	Βρώμικο χαρτί	20 01 01		3,0%		13,17	75,53%	91,70%	8,90%	54,6%	
16	Βρώμικο χαρτόνι	20 01 01		1,0%		14,45	86,90%	87,60%	14,90%	54,4%	
17	Μαλακό πλαστικό: PP (1,2%) & φιλμ (5,5%)	20 01 39		6,7%		34,09	85,89%	95,80%	4,40%	1,0%	
18	Πλαστικά μπουκάλια: PVC (2,2%) & PET (1,8%)	20 01 39	Πλαστικό	4,0%	14,0%	32,48	89,54%	93,80%	6,10%	1,0%	1%
19	Σκληρό πλαστικό PE	20 01 39		1,2%		36,12	96,75%	98,10%	2,20%	1,0%	
20	Μη ανακυκλώσιμο πλαστικό	20 01 39		2,1%		29,16	92,87%	94,90%	5,50%	1,0%	
21	Αλουμινένιες συσκευασίες	20 01 40	Μη-	0,4%	0,9%	-0,19	91,70%	0,00%	100,00%	50,0%	50%

22	Αλουμινένιοι δίσκοι και φύλλα	20 01 40	σιδηρούχα μέταλλα	0,5%		5,06	81,16%	21,80%	76,10%	50,0%	
23	Σιδηρούχες συσκευασίες	20 01 40	Σιδηρούχα	0,6%		-0,30	86,82%	0,00%	100,00%	50,0%	
24	Σιδηρούχο φιλμ	20 01 40	μέταλλα	1,0%	2,6%	-0,24	89,35%	0,00%	100,00%	50,0%	
25	Λουπά σιδηρούχα μέταλλα	20 01 40		1,0%		-0,19	91,71%	0,00%	100,00%	50,0%	
26	Διάφανο γυαλί	20 01 02		1,0%		-0,27	88,02%	0,00%	100,00%	50,0%	
27	Πράσινο γυαλί	20 01 02		1,0%		-0,08	96,57%	0,00%	100,00%	50,0%	
28	Καφέ γυαλί	20 01 02	Γυαλί	1,0%	3,5%	-0,11	94,97%	0,00%	100,00%	50,0%	50%
29	Γυαλί διαφόρου χρώματος	20 01 02		0,5%		-0,23	89,65%	0,00%	100,00%	50,0%	
30	Απεκκρίματα κατοικίδιων	20 02 01		0,5%		4,99	39,58%	75,10%	25,40%	27,0%	
31	Είδη βρεφικής φροντίδας	20 02 01		0,6%		11,07	54,48%	94,20%	8,30%	27,0%	
32	Βαμβακερά είδη προσωπικής υγιεινής	20 02 01		0,2%		8,64	44,56%	97,80%	2,40%	27,0%	
33	Λουπά είδη προσωπικής υγιεινής	20 02 01		0,2%		11,03	52,47%	97,20%	3,20%	27,0%	
34	Ξύλο	20 01 37*		0,8%		15,61	84,14%	90,60%	10,00%	3,0%	
		20 01 38									
35	Υφάσματα	20 01 11	Διάφορα (καιόμενα)	2,0%	7,5%	18,48	94,00%	96,60%	3,60%	12,0%	18%
36	Είδη ρουχισμού	20 01 10		0,7%		22,94	93,30%	89,00%	12,60%	12,0%	
37	Λάστιχα	20 01 99		0,3%		27,21	92,35%	92,20%	9,70%	1,0%	
38	Περιφερειακά είδη γραφείου	20 01 99		0,2%		25,57	93,24%	74,40%	25,20%	27,0%	
39	Γόπες τσιγάρων	20 01 99		1,0%		11,57	65,91%	88,20%	15,20%	27,0%	
40	Άλλα καιόμενα	20 01 99		0,5%		21,9	90,53%	76,40%	26,90%	27,0%	
41	Σακούλες ηλεκτρικών σκουπών	20 01 99		0,5%		4,58	70,82%	41,90%	60,50%	27,0%	
42	Χώμα	20 02 02		0,5%		4,62	54,43%	58,30%	43,90%	1,0%	
43	Πέτρες	20 02 02		0,3%		0,00	100,00%	0,00%	100,00%	1,0%	
44	Υπολείμματα	20 03 99		0,3%		0,00	100,00%	0,00%	100,00%	1,0%	
45	Κεραμικά	20 03 99	Αδρανή (μη- καιόμενα)	0,1%	1,50%	-0,05	97,70%	0,00%	100,00%	1,0%	1%
46	Χαλίκια	20 02 02		0,1%		-0,36	83,94%	8,70%	93,10%	1,0%	
47	Μπαταρίες	20 01 33*		0,1%		0,32	91,10%	16,90%	85,80%	1,0%	
		20 01 34									
48	Άλλα μη-καιόμενα	20 02 03		0,1%		-0,83	63,38%	3,40%	97,70%	1,0%	
	Σύνολο			100,0%	100,0%	11,72	63,55%	51,33%	13,24%		51,86%

Πίνακας 88. Αναλυτική χημική σύσταση ΑΣΑ επί ξ.β. σε στοιχεία και ίχνη για την Ελλάδα.

α/α Στοιχεία	C-total (mg/kg)	C-fossil (mg/kg)	C-bio (mg/kg)	H (mg/kg)	O (mg/kg)	S (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Na (mg/kg)	Mg (mg/kg)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	F (mg/kg)	Cl (mg/kg)
1	477.000	2.385	474.615	66.000	23607,34	1.840	1.030	310	5.550	3.120	1.210	19.000	2.310	12.700	100	5.600
2	565.000	11.300	553.700	79.000	7028,18	3.780	289	52	40.900	10.800	1.030	70.000	9.960	5.330	100	16.300
3	452.000	4.520	447.480	63.000	7134,05	883	681	720	3.930	2.060	501	8.000	1.100	1.510	100	2.600
4	430.000	8.600	421.400	52.000	4030,30	1.900	2.360	1.480	21.100	944	1.900	15.000	1.980	12.700	100	2.800
5	448.000	2.240	445.760	57.000	19.242,40	319	8.850	1.220	11.100	246	1.440	1.000	74,5	672	100	300
6	342.000	1.710	340.290	42.000	2574,81	724	14.600	1.200	101.000	898	1.210	1.000	180	686	100	300
7	346.000	1.730	344.270	48.000	9017,33	784	32.425	929	36.025	12.77,5	2.845	3.000	155	899	700	300
8	406.000	2.030	403.970	51.600	3405,54	487	12.933	1.185	40.562,5	544,8	1.511,5	1.200	114	699	160	300
9	375.000	1.875	373.125	50.000	6695,93	643	1.310	918	77.700	774	801	1.000	38,2	118	100	700
10	383.000	1.915	381.085	50.000	3569,42	1.780	11.700	789	43.900	977	1.240	2.000	95,7	730	100	600
11	411.000	2.055	408.945	56.000	6158,56	1.000	12.800	2.910	26.200	476	1.560	2.000	129	374	400	300
12	409.000	2.045	406.955	54.000	19774,74	631	11.900	2.940	30.900	416	1.200	1.000	125	397	200	200
13	523.000	62.760	460.240	73.000	9672,34	701	1.430	86	727	1.500	127	4.000	330	472	100	300
14	516.000	10.320	505.680	77.000	2582,05	534	55.800	539	7.820	1.740	179	2.000	189	571	100	1.100
15	455.000	4.550	450.450	65.000	8667,07	1.190	12.600	433	10.900	1.090	1.130	3.000	330	1.190	200	4.800
16	431.000	8.620	422.380	58.000	3106,68	1.260	21.500	467	34.600	2.730	1.090	3.000	347	790	100	1.300
17	820.000	815.900	4.100	132.000	63,30	281	692	305	1.100	554	250	2.000	217	673	100	700
18	772.000	768.140	3.860	113.000	1862,43	1.090	66.800	1.830	3.140	1.330	449	1.000	270	372	100	1.700
19	799.000	795.005	3.995	105.000	200,85	988	1.430	1.750	4.160	422	288	55.000	75,6	190	100	1.000
20	710.000	706.450	3.550	97.000	2157,00	520	5.650	849	10.900	1.170	456	5.000	5.610	1.210	100	46.075
21	0	0	0	0	0,00	30	628.000	345.000	35,6	165	11.800	0	110	162	0	0
22	152.000	15.200	136.800	27.000	217,10	297	861.000	23.900	1.330	1.670	662	4.000	551	1.190	100	2.400
23	0	0	0	0	0,00	99	215.000	727.000	244	539	849	0	212	532	0	0
24	0	0	0	0	0,00	189	1.520	150	955	849	105	0	480	997	0	0
25	0	0	0	0	0,00	321	37.800	640.000	1.500	390	124	0	252	200	0	0
26	0	0	0	0	0,00	832	6.860	477	67.700	22.400	9.680	0	64	3.650	0	0
27	0	0	0	0	0,00	111	7.620	1.760	69.000	24.900	4.800	0	95,5	7.750	0	0
28	0	0	0	0	0,00	92	9.870	2.400	66.800	26.100	10.700	0	122	7.010	0	0

29	0	0	0	0	0,00	687	7.125	766	67.850	22.960	8.999	0	71,6	4.433	0	0
30	439.000	4.390	434.610	64.000	411,04	4.120	4.220	1.930	27.100	2.410	4.780	33.000	15.900	7.390	100	1.300
31	553.000	55.300	497.700	80.000	893,36	718	454	152	9.620	21.900	340	9.000	608	1.410	100	1.400
32	507.000	101.400	405.600	74.000	346,05	606	667	386	2.090	1.360	636	4.000	450	1.170	100	1.700
33	550.000	55.000	495.000	78.000	315,13	641	711	164	3.570	1.020	375	38.000	400	1.620	100	1.700
34	521.000	7.815	513.185	64.000	2052,34	836	4.400	945	9.640	703	908	8.000	274	2.120	100	1.400
35	521.000	130.250	390.750	60.000	6542,40	3.970	879	340	4.400	3.590	409	32.000	2.300	706	100	3.500
36	613.000	306.500	306.500	73.000	899,97	6.594	1.863	2.096	21.522,2	1.025,1	678,8	3.000	273	605	100	19.400
37	654.000	130.800	523.200	84.000	182,58	6.050	1.540	187	22.800	347	917	6.000	313	559	100	93.800
38	594.000	297.000	297.000	69.000	66,39	551	31.600	22.100	7.610	575	657	22.000	148	278	100	27.600
39	432.000	216.000	216.000	62.000	2206,01	2.290	3.080	1.850	22.800	1.870	3.240	14.000	1.630	17.900	100	5.800
40	542.000	406.500	135.500	81.000	435,90	1.760	3.580	85.100	28.300	14.500	5.920	9.000	507	1.770	100	2.200
41	208.000	104.000	104.000	30.000	425,27	7.310	6.470	4.250	22.900	7.960	1.570	31.000	1.110	4.000	100	7.000
42	300.000	1.500	298.500	34.000	558,72	3.740	7.300	12.700	31.600	9.430	6.060	11.000	1.370	4.680	100	11.100
43	0	0	0	0	0	0	11.842	13.226	50.065,8	11.822	1.878,7	1.030	439	17.030	0	10.747
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	104	22.100	7.260	3.450	5.760	520	0	152	18.600	0	0
46	26.000	0	26.000	7000	25,43	1.920	21.900	27.700	21.900	4.950	2.350	4.000	1.920	12.200	100	1.700
47	87.000	0	87.000	11.000	24,60	1.650	1.300	60.400	876	1.480	196	1.000	10	39.700	100	15.800
48	13.000	0	13.000	1.000	4,69	537	11.200	1.600	45.900	41.700	13.400	0	130	10.400	300	200
Σύνολο	298.199,8	188.293,9	109.905,9	41.640,9	156.157,3	792,39	13.941,3	12.226,3	13.261,1	2.143,0	954,5	6726,0	863,0	1.959,2	85,94	2.941,5

α/α Ίχνη	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Σύνολο κλάσματος
1	0,262	0,095	5,24	12,5	0,02	86,1	0,875	2,57	1,04	25	99%
2	0,667	0,113	1,18	6,09	0,02	6,78	0,299	0,691	0,07	49,2	98%
3	0,2	0,022	5,82	52,9	0,02	17,2	0,459	2,64	4,32	42,8	98%
4	0,941	0,357	4,51	20,2	0,262	115	1,2	3,24	24,4	208	80%
5	0,483	0,074	15	41,9	0,0331	61,1	0,317	6,58	2,68	83	97%
6	0,606	0,048	11,8	70,5	0,062	38	0,792	3,83	2,43	41,1	78%
7	0,67	0,041	29,2	77,1	0,039	18,45	0,75	7,9	12,3	57	80%
8	0,539	0,063	15,5	54	0,042	49,91	0,5	5,9	3,6	67,8	90%
9	0,213	0,053	15,1	4,95	0,0356	27	3,68	13,6	0,805	28,9	88%
10	0,67	0,054	6,68	42,8	0,0575	43,8	1,07	3,07	2,69	23,8	88%
11	0,294	0,098	32,7	135	0,0661	36,8	4,07	28,2	11	83,4	91%
12	0,307	0,047	25,4	27,6	0,0602	33,1	1,83	10,7	3,56	41,5	91%
13	0,2	0,01	1,01	13,7	0,02	2,19	0,108	0,509	0,647	3,65	99%
14	0,2	0,027	2,89	17,6	0,02	15,7	0,19	2,76	1,76	11,3	97%
15	0,227	0,282	6,72	42,1	0,0594	20,5	0,567	3,29	2,39	162	94%
16	0,228	0,067	5,28	33,8	0,122	22,3	0,448	3,23	4,56	55,4	91%
17	0,2	0,034	8,14	39,2	0,0434	7,65	1,81	1,06	26,2	95,3	96%
18	0,2	0,034	24,3	34,3	0,02	195	2,3	4,53	4,35	87,3	102%
19	0,478	0,351	73,2	224	0,02	13,6	0,918	4,66	319	331	99%
20	0,2	0,034	2,87	94,8	0,0198	10,1	1,3	4,44	1,28	74	100%
21	9,13	0,471	109	892	0,2	5140	2,82	61,2	18,4	101	99%
22	2	0,548	57,9	674	0,2	4270	5,44	201	67	292	114%
23	25	1,49	172	420	0,2	3540	13,4	152	24,1	275	95%
24	2	0,1	1,01	65,6	0,2	6,29	1,44	8	1,33	15,5	1%
25	49,2	1,41	168	2630	0,378	1690	28,3	189	544	1990	69%
26	3,12	0,121	37	3,51	0,1	60,6	1,16	143	75,7	32,5	11%
27	6,53	0,16	1190	14,3	0,1	199	1,09	162	88,9	45	12%
28	4,07	0,12	202	12,9	0,1	129	2,32	163	66,2	41,4	12%
29	3,7	0,1	218,2	5,6	0,1	84,8	1,2	146,9	77,2	34,8	11%
30	0,629	0,261	10,4	49,1	0,667	211	1,32	8,81	8,38	412	81%
31	0,2	0,02	0,728	5,09	0,02	4,84	0,134	0,367	0,433	40,3	95%
32	0,2	0,397	1,81	76	0,111	11,9	0,152	1,41	4,16	1640	98%
33	0,2	0,042	1,96	5,72	0,0216	9,12	0,191	1,02	1,33	41,9	98%
34	0,305	0,341	34,1	34,3	0,213	248	0,151	4,17	18,1	436	92%
35	0,2	0,487	475	21,4	0,0847	15,1	0,129	1,47	149	211	98%
36	7,49	0,75	4600	188	0,089	20,2	2,54	3.312	147	3796	89%
37	0,246	2,75	2,69	55,8	0,0396	13,2	0,118	2,11	16	3880	94%
38	3,22	2,78	91	9240	0,212	189	8,53	476	576	4600	83%
39	0,2	0,576	6,22	21,5	0,072	88,8	0,719	4,32	9,03	43,9	90%
40	1,67	0,134	132	187	0,147	206	5,08	39,3	19,7	235	87%
41	3,28	0,667	35,4	135	0,182	136	1,1	20,2	88,8	319	45%
42	2,14	0,492	20,8	203	0,36	210	13,5	13,4	55,9	325	64%
43	2,85	0,12	13,09	13,16	0	456,24	0,54	8,12	12,59	36,44	12%
44	42	0	0	2483	0	0	0	0	0	131.166	13%
45	8,71	4,98	104	22,4	0,145	145	9,8	322	1030	2610	6%
46	11,7	0,34	56,6	73,9	0,131	677	8,47	34,1	14,6	85,3	16%
47	83	1	33,4	4960	0	80	10,4	4	230	262.000	51%
48	63,8	7,91	160	94,1	0,49	1710	0	185	11.300	67	16%
Σύνολο	1,33	0,12	65,17	87,68	0,04	106,16	1,17	34,69	28,96	750,27	

Βιβλιογραφία

1. 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.
2. CEC, *Commission Decision 2000/532/EC of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes* Official Journal of the European Communities, 2000.
3. ΕΕΔΣΑ. (2011) *Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων - Σύσταση Αστικών Αποβλήτων*. Available from: <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=95>. (July 5, 2015)
4. Eurostat. (2015) *Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method from 1995 to 2013*. Database: tsdpc240. Available from: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tsdpc240>. (July 14, 2015)
5. ΥΠΕΚΑ, *Αναθεώρηση Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Αποβλήτων, Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης αποβλήτων και αξιολόγηση αυτής (2ο Παραδοτέο)*. 2011.
6. Frantzis and Associates, *In Greek «Μελέτη, κατασκευή, συγχρηματοδότηση, λειτουργία, συντήρηση και εκμετάλλευση του έργου παραχώρησης των Μονάδων Επεξεργασίας Απορριμμάτων εντός των Ο.Ε.Δ.Α. Περιφέρειας Αττικής»*. 2011.
7. SEPA. (2006) *Density conversion factors*. p. 21, 31-32. Available from: http://www.doeni.gov.uk/niea/waste_density_conversion_factors.pdf. (July 5, 2015)
8. Riber, C., C. Petersen, and T.H. Christensen, *Chemical composition of material fractions in Danish household waste*. Waste Management, 2009. **29**(4): p. 1251-7.
9. EPA, *Solid Waste Management and Greenhouse Gases - A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks*. US 2006.
10. Jensen, J.W., et al., *Enzymatic processing of municipal solid waste*. Waste Management, 2010. **30**(12): p. 2497-503.
11. Doka, G., *Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Part 3, Landfills-Underground Deposits-Landfarming*, in *Ecoinvent Report No. 132003*: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
12. Eleazer, W.E., et al., *Biodegradability of Municipal Solid Waste Components in Laboratory-Scale Landfills*. Environmental Science & Technology, 1997. **31**: p. 911-917.
13. Boldrin, A., et al., *Modelling of environmental impacts from biological treatment of organic municipal waste in EASEWASTE*. Waste Manag, 2011. **31**(4): p. 619-30.
14. Boldrin, A., et al., *Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. Waste Manag Res, 2009. **27**(8): p. 800-12.
15. Montejo, C., et al., *Mechanical-biological treatment: performance and potentials. An LCA of 8 MBT plants including waste characterization*. Journal of Environmental Management, 2013. **128**: p. 661-73.
16. Manfredi, S., et al., *Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. Waste Management & Research, 2009. **27**(8): p. 825-36.
17. Manfredi, S., D. Tonini, and T.H. Christensen, *Contribution of individual waste fractions to the environmental impacts from landfilling of municipal solid waste*. Waste Management, 2010. **30**(3): p. 433-40.
18. 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/Α/13.2.2012. 2012.
19. CEC, *Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste*. Official Journal of the European Union, 1999.
20. EC. (2015) *Europe 2020 targets*. Available from: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_en.htm. (15 September 2015)
21. EC. (2015) *Circular Economy Strategy*. Available from: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>. (15 September 2015)

22. Bilitewski, B., C. Oros, and T.H. Christensen, *Mechanical Biological Treatment In: Christensen, T.H. (Ed.), Solid Waste Technology and Management* 2011, London: Wiley & Sons.
23. de Araujo Morais, J., et al., *Mass balance to assess the efficiency of a mechanical-biological treatment*. *Waste Management*, 2008. **28**(10): p. 1791-800.
24. Tonini, D. and T. Astrup, *Life-cycle assessment of a waste refinery process for enzymatic treatment of municipal solid waste*. *Waste Management*, 2012. **32**(1): p. 165-76.
25. Tonini, D., V. Martinez-Sanchez, and T.F. Astrup, *Material resources, energy, and nutrient recovery from waste: are waste refineries the solution for the future?* *Environmental Science Technology*, 2013. **47**(15): p. 8962-9.
26. Tonini, D., G. Dorini, and T.F. Astrup, *Bioenergy, material, and nutrients recovery from household waste: Advanced material, substance, energy, and cost flow analysis of a waste refinery process*. *Applied Energy*, 2014. **121**: p. 64-78.
27. Abeliotis, K., A. Kalogeropoulos, and K. Lasaridi, *Life Cycle Assessment of the MBT plant in Ano Liassia, Athens, Greece*. *Waste Management*, 2012. **32**(1): p. 213-9.
28. Tchobanoglous, G. and F. Kreith, *Handbook of Solidwaste Management* 2nd Edition ed2002: McGraw Hill.
29. REnescience. (2010) *Waste Refinery*. Available from: <http://www.renescience.com/en>. (10 November 2014)
30. Jensen, J.W., C. Felby, and H. Jorgensen, *Cellulase hydrolysis of unsorted MSW*. *Appl Biochem Biotechnol*, 2011. **165**(7-8): p. 1799-811.
31. Nielsen, P.H., K.M. Oxenbøll, and H. Wenzel, *Cradle-to-gate environmental assessment of enzyme products produced industrially in Denmark by Novozymes A/S*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2007. **12**(6): p. 432-438.
32. ARC. (2014) *ARC and the city*. Available from: <http://www.a-r-c.dk/welcome-to-arc/arc-and-the-city>.
33. DEA. (2015) *Danish Climate and Energy Policy*. Available from: <http://www.ens.dk/en/policy/danish-climate-energy-policy>. (20 August 2015)
34. REnescience. (2013) *REnescience full scale plant*. Available from: <http://www.renescience.com/en/news/articles/renescience-full-scale-plant>. (10 November 2014)
35. REnescience. (2014) *REnescience and Masdar enter into cooperation*. Available from: <http://www.renescience.com/en/news/articles/renescience-and-masdar-enter-into-cooperation>. (10 November 2014)
36. REnescience. (2014) *Positive signals from the City of Copenhagen*. Available from: <http://www.renescience.com/en/news/articles/positive-signals-from-the-city-of-copenhagen>. (10 November 2014)
37. REnescience. (2015) *REnescience and China National Environmental Protection Corporation sign agreement*. Available from: <http://www.renescience.com/en/news/articles/renescience-mou-cnepc>. (20 August 2015)
38. REnescience. (2015) *First full-scale REnescience plant in the UK is getting closer*. Available from: <http://www.renescience.com/en/news/articles/first-full-scale-renescience-plant-in-the-uk-is-getting-closer>. (20 August 2015)
39. Polprasert, C., *Organic Waste Recycling - Technology and Management Chapter 3. Composting*. 3d Edition ed2007: IWA Publishing.
40. Cornell. (1996) *The Science and Engineering of Composting*. Available from: <http://compost.css.cornell.edu/science.html#Getting>. (20 February 2015)
41. Polprasert, C., *Organic Waste Recycling - Technology and Management Chapter 4. Biofuel production*. 3d Edition ed2007: IWA Publishing.
42. Zupančič, G.D. and V. Grilc. (2012) *Anaerobic Treatment and Biogas Production from Organic Waste* Available from: <http://www.intechopen.com/books/management-of-organic-waste/anaerobic-treatment-and-biogas-production-from-organic-wastes>. (20/2/2015)
43. Wyman, C.E., et al., *Hydrolysis of cellulose and hemicellulose*. *Polysaccharides: Structural diversity and functional versatility*, 2005. **1**: p. 1023-1062.
44. Panshin, A.J.a.C.d.Z., *Textbook of Wood Technology*. 4th edition ed: McGraw Hill.
45. Sun, Y.C., J.Y., *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review*. *Bioresource Technology*, 2002. **83**: p. 1-11.

46. Alvira, P., et al., *Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review*. *Bioresour Technol*, 2010. **101**(13): p. 4851-61.
47. Quiroz-Castañeda, R.E. and J.L. Folch-Mallol. (2013) *Sustainable Degradation of Lignocellulosic Biomass - Techniques, Applications and Commercialization. Chapter 6 Hydrolysis of Biomass Mediated by Cellulases for the Production of Sugar*. Available from: <http://www.intechopen.com/books/sustainable-degradation-of-lignocellulosic-biomass-techniques-applications-and-commercialization/hydrolysis-of-biomass-mediated-by-cellulases-for-the-production-of-sugars>.
48. Kaparaju, P., et al., *Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept*. *Bioresour Technol*, 2009. **100**(9): p. 2562-8.
49. Nguyen, Q.A. and J.N. Saddler, *An Integrated Model for the Technical and Economic Evaluation of an Enzymatic Biomass Conversion Process*. *Bioresource Technology* 1991(35) : p. 275-282.
50. MetalTechSystems. (2015) *BAGSTOR HT - bag opening system*. . Available from: <http://www.metaltchsystems.com/wp-content/uploads/2013/06/BagOpeningBrochure.pdf>. (10 February 2015)
51. Combs, A., *Life Cycle Analysis of Recycling Facilities in a Carbon Constrained World*, in *Environmental Engineering 2012*, North Carolina State University: Raleigh, North Carolina.
52. Pressley, P.N., et al., *Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment*. *Waste Manag*, 2015. **35**: p. 307-17.
53. PuritanMagneticsInc. (1995) *SUSPENDED BELT MAGNET*. Available from: <http://www.puritanmagnetics.com/1/magnet/files/suspendedbeltmagnets.pdf>. (20 March 2015)
54. EagleVision. (2015) *OPTICAL SORTING - HOW IT WORKS*. Available from: http://www.eaglevision.com/optical_sorting. (20 March 2015)
55. WalkerMagnetics. (2015) *Eddy Current Separation Equipment*. Available from: <http://www.walkermagnet.com/separation-eddy-current-separators.htm>.
56. Mulvany, P. (2015) *Vertical and Horizontal Balers 101*. Available from: <http://recyclingequipmentcanada.com/vertical-horizontal-balers-101/>. (20 March 2015)
57. Clarke_Energy. (2015) *Biogas*. Available from: <https://www.clarke-energy.com/chp-cogeneration/>. (30 March 2015)
58. Browne, J.D. and J.D. Murphy, *Assessment of the resource associated with biomethane from food waste*. *Applied Energy*, 2013. **104**: p. 170-177.
59. Moeller, J., T.H. Christensen, and I.C.J. Jansen, *Anaerobic Digestion: Mass balances and Products* 2010: Wiley and Sons Ltd. 618-627.
60. Davidsson, A., et al., *Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste*. *Waste Manag*, 2007. **27**(3): p. 406-14.
61. Fruergaard, T., T. Astrup, and T. Ekvall, *Energy use and recovery in waste management and implications for accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. *Waste Manag Res*, 2009. **27**(8): p. 724-37.
62. Bayard, R., et al., *Assessment of the effectiveness of an industrial unit of mechanical-biological treatment of municipal solid waste*. *Journal of Hazardous Materials*, 2010. **175**(1-3): p. 23-32.
63. Metso. (2015) *M&J PreShred 4000 stationary*. Available from: <http://www.metso.com/products/waste-recycling/MJ-PreShred-4000-stationary/>. (10 January 2015)
64. Rotter, V.S., et al., *Material flow analysis of RDF-production processes*. *Waste Manag*, 2004. **24**(10): p. 1005-21.
65. ACTION_Vibratory_Equipment. (2015) *Vibra-Snap Screen*. Available from: <http://www.actionconveyors.com/index.php/vibra-snap-screen.html/>. (10 January 2015)
66. TEE. (2006) *Διαχείριση Απορριμμάτων και Αστικό Περιβάλλον*. Available from: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADESERGASIAS/TEE_UrbanWaste_2007.pdf.
67. Christensen, T.H. and Y. Matsufuji, *Source Segregation and Collection of Source-Segregated Waste*. In *Solid Waste Technology & Management*. 1st ed 2011, Chicester: John Wiley & Sons Ltd.

68. Strange, K., *Overview of waste management options: Their efficacy and acceptability*. 2002. **18**: p. 1-52.
69. Pognani, M., et al., *A complete mass balance of a complex combined anaerobic/aerobic municipal source-separated waste treatment plant*. *Waste Manag*, 2012. **32**(5): p. 799-805.
70. Manfredi, S. and T.H. Christensen, *Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling*. *Waste Management*, 2009. **29**(1): p. 32-43.
71. Renou, S., et al., *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. *J Hazard Mater*, 2008. **150**(3): p. 468-93.
72. Belevi, H. and P. Baccini, *Long-Term Behavior of Municipal Solid Waste Landfills*. *Waste Management & Research*, 1989. **7**(1): p. 43-56.
73. Kong, D., et al., *Evaluating greenhouse gas impacts of organic waste management options using life cycle assessment*. *Waste Manag Res*, 2012. **30**(8): p. 800-12.
74. Keenan, J.D., R.L. Steiner, and A.A. Fungaroli, *Landfill leachate treatment*. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 1984: p. 27-33.
75. ISO, *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines*, 14044:2006.
76. Clift, R., A. Doig, and G. Finnveden, *The Application of Life Cycle Assessment to Integrated Solid Waste Management*. *Process Safety and Environmental Protection*, 2000. **78**(4): p. 279-287.
77. Spielmann, M., et al. , *Transport services: Ecoinvent report no. 14*, 2007, Swiss Center for Life Cycle Inventories: Dübendorf, Switzerland.
78. Larsen, A.W., et al., *Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance*. *Waste Manag Res*, 2009. **27**(7): p. 652-9.
79. Eisted, R., A.W. Larsen, and T.H. Christensen, *Collection, transfer and transport of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contribution*. *Waste Manag Res*, 2009. **27**(8): p. 738-45.
80. ΔEH, P.P.C. (2014) *National fuel mix*. Available from: <https://www.dei.gr/Documents2/CUSTOMER%20SERVICE/Q&A52015/migmakausimou.pdf>. (15 March 2015)
81. Eurostat. (2014) *EU energy markets in 2014*. Available from: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_energy_market_en_0.pdf. (20 March 2015)
82. Merrild, H., A. Damgaard, and T.H. Christensen, *Life cycle assessment of waste paper management: the importance of technology data and system boundaries in assessing recycling and incineration*. *Resources, Conservation and Recycling*, 2008. **52**(12): p. 1391-1398.
83. IPCC, *Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry*, 2001, European Commission.
84. Hischer, R., *Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper. Final report ecoinvent data v2.0 No. 11.*, 2007, Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Dübendorf, CH.
85. Merrild, H., A. Damgaard, and T.H. Christensen, *Recycling of paper: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. *Waste Manag Res*, 2009. **27**(8): p. 746-53.
86. Astrup, T., T. Fruergaard, and T.H. Christensen, *Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. *Waste Manag Res*, 2009. **27**(8): p. 763-72.
87. PlasticsEurope, *Polypropylene (resin)*, 2014.
88. PlasticsEurope, *Resins of High-density Polyethylene (HDPE), Low-density Polyethylene (LDPE), Linear Low-density Polyethylene (LLDPE)*, 2014.
89. PlasticsEurope, *Polyethylene Terephthalate (PET) (Bottle Grade)*, 2011.
90. PlasticsEurope, *Polyvinylchloride (PVC) Suspension polymerisation*, 2008.
91. Damgaard, A., A.W. Larsen, and T.H. Christensen, *Recycling of metals: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. *Waste Manag Res*, 2009. **27**(8): p. 773-80.
92. Classen M., A.H.-J., Blaser S., Doka G., Jungbluth N. and Tuchschnid M., *Life Cycle Inventories of Metals. Final report ecoinvent data v2.1 No.10.*, 2009, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
93. Associates, F., *Life Cycle Inventory Report for the North American Aluminum Industry: Processing, smelting, and ingot casting by secondary smelters in the US.*, 2003, US LCI.

94. Larsen, A.W., H. Merrild, and T.H. Christensen, *Recycling of glass: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. Waste Manag Res, 2009. **27**(8): p. 754-62.
95. IPCC, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass*, 2013, Joint Research Center. p. 96-115.
96. K. Lasaridi, et al. (2008) *COMPOST QUALITY REQUIREMENTS AND MARKETING: GREEK AND INTERNATIONAL EXPERIENCES*. Available from: http://www.agrostrat.gr/sites/default/files/inventory/PRODIAGRAFES%20POIOTHITAS%20DIATHESIS%20KOMPOST_2008_KOULOUMBIS.pdf. (15 May 2015)
97. IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, In: Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), *Biological Treatment of Solid Waste. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory*. 2006.
98. Yang, N., et al., *Greenhouse gas emissions during MSW landfilling in China: influence of waste characteristics and LFG treatment measures*. J Environ Manage, 2013. **129**: p. 510-21.
99. Jolliet, O., et al., *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. International Journal of Life Cycle Assessment, 2003. **8**: p. 324-330.
100. ΥΠΕΣ. (2011) *Διοικητική Διαίρεση και Αναλυτικά Στοιχεία ανά Περιφέρεια, Νομό και Δήμο*. Available from: <http://www.ypes.gr/el/regions/dioikdivision/regiondivisionmunicipality/#mydiv>. (24 July 2015)
101. Ξενιτέλλης, Δ., *ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ (ΣΜΑ) ΣΤΗ ΛΕΣΒΟ*. , in *Τμήμα Περιβάλλοντος 2004*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου: Μυτιλήνη.
102. Eurostat. (2015) *Electricity prices for industrial consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)* Database: nrg_pc_205. Available from: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>. (July 14, 2015)
103. Eurostat. (2015) *Weekly oil bulletin*. Available from: <https://ec.europa.eu/energy/en/statistics/weekly-oil-bulletin>. (July 14, 2015)
104. DIY. (2015) *Λογαριασμός Υδρευσης & Αποχέτευσης* Available from: <http://diy2010.com/index.php/el/βιβλιοθήκη/υδραυλικές-εγκαταστάσεις/item/159-λογαριασμός-υδρευσης-αποχέτευσης>. (14 July 2015)
105. ΕΥΑΘ. (2015) *Τιμολογιακή πολιτική*. Available from: <http://www.evath.gr/swift.jsp?CMCCode=060202>. (14 July 2015)
106. ΔΙΑΥΓΕΙΑ. (2011) ΑΔΑ: 45Β8ΩΗΑ-ΘΕΚ *Περίληψη: «Περί Έγκρισης 2ου Πρακτικού αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του διαγωνισμού για την προμήθεια : Α. ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΔΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ 1100 ΛΙΤΡΩΝ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΚΑΠΑΚΙ Β. ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΔΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΥΛΙΟΜΕΝΩΝ 240 ΛΙΤΡΩΝ Γ. ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΔΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ 1100 ΛΙΤΡΩΝ Δ. ΜΟΝΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΛΙΩΝ ΚΑΔΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ Ε. ΔΙΠΛΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΛΙΩΝ ΚΑΔΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ »*. Available from: <https://diavgeia.gov.gr/doc/45B8ΩΗΑ-0ΦΙ>. (20 July 2015)
107. ΔΙΑΥΓΕΙΑ. (2011) ΑΔΑ: 4ΑΗΟΩΕ6-Φ *ΣΥΜΒΑΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ 58 ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΔΩΝ 660Λ*. Available from: <https://diavgeia.gov.gr/doc/4ΑΗΟΩΕ6-Π>. (20 July 2015)
108. ΔΙΑΥΓΕΙΑ. (2013) ΑΔΑ: ΒΕΖΖΟΡ1Θ-ΞΧΞ *Έγκριση άδειας αγοράς δύο απορριμματοφόρων οχημάτων του Δήμου Φαιστού*. Available from: <https://diavgeia.gov.gr/doc/ΒΕΖΖΟΡ1Θ-ΞΧΞ>. (20 July 2015)
109. ΔΙΑΥΓΕΙΑ. (2014) *«ΕΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ, ΟΡΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΚΗΡΥΞΗΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΣΗ ΤΗΣ ΠΙΣΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΔΥΟ (2) ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΟΦΟΡΩΝ 10m3 & 16 m3 ΤΥΠΟΥ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΤΥΜΠΑΝΟΥ ΚΑΙ ΠΡΕΣΑΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ, ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ 295.200,00€ (ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ Φ.Π.Α)»*. Available from: <https://diavgeia.gov.gr/doc/69ΟΑΩΕΣ-ΥΟΤ>. (25 July 2015)
110. Eurostat. (2015) *Purchasing power parities (PPPs), price level indices and real expenditures for ESA 2010 aggregates*. Database: ppp_prc_ind. Available from: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/purchasing-power-parities/data/database>. (July 20, 2015)
111. Eunomia. (2002) *Costs for Municipal Waste Management in the EU, Final Report to Directorate General Environment, European Commission*. Available from: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/eucostwaste.pdf>. (1 August 2015)
112. ΦΕΚ, Άρθρο 3. *Εισόδημα από επιχειρήσεις και εκπτώσεις δαπανών επιχειρήσεων*. Vol. 17/Α/23.1.2013. 2013.

113. Μπόκος, Σ., Αποκομιδή Στερεών Αποβλήτων από τον Δήμο Αποκορώνου στην Δημοτική Ενότητα Γεωργιούπολης, in ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ 2011, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ: Χανιά.
114. ΦΕΚ, Κ.Υ.Α. αριθμ. 2/53212/0022/15.7.2014 Καθορισμός επιδόματος επικίνδυνης και ανθυγιεινής εργασίας προσωπικού νομικών προσώπων ιδιωτικού δικαίου των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Vol. 24/Β/24.7.2014. 2014.
115. Mercer_University. (2015) *Lesson 6: Solid Waste Collection*. Available from: http://faculty.mercer.edu/mccreanor_pt/eve420/Lesson06-Collection/Lesson06-SCS.html. (25 July 2015)
116. ΦΕΚ, Πολεοδομικά Διατάγματα. Vol. 185/Δ/3.5.1985. 1985.
117. Maimoun, M., *ENVIRONMENTAL STUDY OF SOLID WASTE COLLECTION*, in *Department of Civil, Environmental and Construction Engineering 2009*, University of Central Florida.
118. Farzaneh, M., J. Zietsman, and D.-W. Lee, *Evaluation of In-Use Emissions from Refuse Trucks*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2009. **2123**: p. 38-45.
119. EPA, *Decision-Makers Guide to Solid Waste Management*. 2nd Edition ed 1995: John Wiley & Sons.
120. Kaoussis. (2015) *Waste transfer stations static compactor: 420/820 POWERPACK*. Available from: <http://www.kaoussis.gr/metafortosi-powerpack.html>. (25 July 2015)
121. Eurostat. (2012) *Land prices and rents - annual data*. Available from: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database>. (July 15, 2015)
122. Peters, M.S. and K.D. Timmerhaus, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* 4th ed: McGraw Hill International Editions.
123. ΦΕΚ, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4254 Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις. ΥΠΟΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ ΙΓ.1: ΕΠΑΝΑΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ ΣΗΘΥΑ. Vol. 85/Α/7.4.2014. 2014.
124. Eurostat. (2016) *Material prices for recyclates*. Database: tsdpc240. Available from: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/waste-related-topics/prices-for-recyclates>. (January 20, 2016)
125. Ltd, E.M.G. (2016) *Material prices for waste glass, plastic, metals and paper*. Available from: <http://www.letsrecycle.com/prices/>. (20 January 2016)
126. ARCADIS and EUNOMIA, *FINAL REPORT ASSESSMENT OF THE OPTIONS TO IMPROVE THE MANAGEMENT OF BIO-WASTE IN THE EUROPEAN UNION ANNEX E: Approach to estimating costs STUDY CONTRACT NR 07.0307/2008/517621/ETU/G4*, 2009, ARCADIS Project number – 11/004759 | Version A | 30-11-2009.
127. XE. (2016) *XE Currency Charts (GBP/EUR)*. Available from: <http://www.xe.com/currencycharts/?from=GBP&to=EUR&view=2Y>. (20 January 2016)
128. Economopoulos, A.P., *Technoeconomic aspects of alternative municipal solid wastes treatment methods*. Waste Manag, 2010. **30**(4): p. 707-15.
129. Online, C.E. (2016) *Economic Indicators*. Available from: http://tekim.undip.ac.id/v1/wp-content/uploads/CEPCI_2008_2015.pdf. (30 March 2016)
130. ΔΙΑΥΓΕΙΑ. (2015) ΑΔΑ: ΩΛΦ4ΩΕΦ-990 Προμήθεια εξοπλισμού μονάδας κομποστοποίησης Δ. Καρύστου, Προμήθεια εξοπλισμού Σταθμού Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ), Προμήθεια κάδων συλλογής προδιαλεγμένων οργανικών. Available from: <https://yperdiavgeia.gr/decisions/downloadPdf/1603829>. (20 March 2016)
131. Δήμος_Ρόδου, *ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ Κ.Δ.Α.Υ. ΡΟΔΟΥ*, 2016.
132. Associates, T.G., *REGIONAL OPTICAL SORTER FOR MIXED GLASS FEASIBILITY STUDY*, 2007, Minnesota Pollution Control Agency.