ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων
Υπεύθυνος Καθηγητής: Ευάγγελος Γιδαράκος
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνειούπολη, 73100, Χανιά
Τηλ: 2821037789, 2821037790, Fax: 2821037850, e-mail: gidarako@mred.tuc.gr

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ολοκληρωμένη διαχείριση στερεών αποβλήτων σε νησιά άγονης γραμμής»

Πράσινος Ζαννής

Εξεταστική επιτροπή:
Καθ. Ευάγγελος Γιδαράκος (Επιβλέπων καθηγητής)
Καθ. Βασίλης Γκέκας
Dr. Απόστολος Γιαννής

Χανιά, Οκτώβριος 2009

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ε. Γιδαράκο για τη στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, τον Dr A. Γιαννή για την καθοδήγηση και το σωστό σχεδιασμό της πορείας της διπλωματικής. Επίσης ευχαριστώ τον Καθ. Β. Γκέκα για την αξιολόγηση της διπλωματικής εργασίας και τέλος όλους τους καθηγητές ή διδάσκοντες του Πολυτεχνείου Κρήτης που με βοήθησαν στη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης εξετάστηκε η ολοκληρωμένη διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) στην περιοχή των Μικρών Κυκλάδων (Κουφονήσια, Σχοινούσα, Δονούσα, Ηρακλειά) και στη Νάξο. Για το σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ είναι απαραίτητη η γνώση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των ΑΣΑ, όπως και διάφορες άλλες παράμετροι. Στο συγκεκριμένο τομέα υπάρχουν σημαντικές ελλείψεις στοιχείων, που δυσχεραίνουν τον σωστό σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έλαβαν χώρα μετρήσεις των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των ΑΣΑ από δεδομένα πεδίου και έγιναν εργαστηριακές αναλύσεις για υγρασία, τέφρα, πτητική ύλη, θερμογόνο δύναμη και στοιχειακό προσδιορισμό. Ακόμη προσδιορίστηκε η προέλευση των ΑΣΑ σε κάθε νησί και ο τρόπος συλλογής.

Με χρήση του μοντέλου Landgem υπολογίστηκαν οι εκπομπές CH_4, CO_2 και NMOC για κάθε νησί και τέλος έγινε ανάλυση των ακόλουθων σεναρίων:

1^{ο} Σενάριο: Κατασκευή μικρών ΧΥΤΑ σε κάθε νησί

2^{ο} Σενάριο: Κατασκευή σταθμών μεταφόρτωσης στα μικρά νησιά με τελικό αποδέκτη τον κεντρικό ΧΥΤΑ της Νάξου

3^{ο} Σενάριο: Κατασκευή μονάδας καύσης στη Νάξο για το σύνολο των απορριμμάτων των 5 νησιών (συμπεριλαμβανομένης και της Νάξου) με παράλληλη ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Για το 3^{ο} σενάριο εξετάστηκαν τέσσερις υποπεριπτώσεις:

- Καύση RDF (χαρτί, πλαστικό, ΔΞΥΛ)
- Κάυση RDF και 50 % της ποσότητας ζυμώσιμων με προξήρανση κατά 20 %
- Κάυση RDF και 50 % της ποσότητας ζυμώσιμων με προξήρανση κατά 40 %
- Κάυση RDF και 50 % της ποσότητας ζυμώσιμων με προξήρανση κατά 60 %

Abstract

In this study, it was examined an integrated municipal solid waste (MSW) management system in a region of small islands (Koufonisia, Sxinousa, Donousa, Iraklia) and the island of Naxos. The design of an integrated management system of MSW requires the knowledge of quantitative and qualitative characteristics of solid waste, as well as other crucial parameters. In this area, significant data are missing therefore, it was difficult to design such a system.

During this research quantitative and qualitative measurements of MSW were conducted and laboratory analyses measured moisture, ash, volatile matter, calorific value and elemental determination. Furthermore, the source of MSW on each island was identified by in-situ determination.

By the use of the Landgem model, the emissions of CH_4, CO_2 and NMOC were calculated for each island and finally the following scenarios were analysed:

1st Scenario: Construction of small landfills on each island

2nd Scenario: Construction of transfer stations in the smaller islands, and disposal in the Central Landfill on Naxos

3rd Scenario: Incineration plant on Naxos for the total amount of waste of the 5 islands (including Naxos), with energy recovering probability.

For the 3rd scenario four secondary scenarios were examined:

- Incineration of RDF (paper, plastic, LWTR)
- Incineration of RDF and 50% of the amount of organic wastes by 20% pre-drying
- Incineration of RDF and 50% of the amount of organic wastes by 40% pre-drying
- Incineration of RDF and 50% of the amount of organic wastes by 60% pre-drying

Περιεχόμενα

Ευρετήριο πινάκων

Ευρετήριο σχημάτων

1. Εισαγωγή

Στερεά απόβλητα (ΣΑ) είναι στερεά υλικά ή υλικά με ελάχιστο υγρό περιεχόμενο, τα οποία δεν έχουν κάποια χρησιμότητα και ορισμένες φορές είναι και επικίνδυνα. Αυτά περιλαμβάνουν απόβλητα νοικοκυριών, βιομηχανικών και εμπορικών εγκαταστάσεων, γεωργικών και εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Επίσης, περιλαμβάνουν τα στερεά απόβλητα από τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, την επεξεργασία του πόσιμου νερού και τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αέριων εκπομπών (Ντζαμίλης και Χάβας, 2004).

Ο χαρακτηρισμός μιας ουσίας ως «απόβλητο» δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητές της, αλλά και από:

- Τις ισχύουσες οικονομικές συνθήκες (η αξία των υλικών μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά)
- Το κόστος της απόρριψης (μπορεί να αυξηθεί με την επιβολή τελών)
- Την ισχύουσα νομοθεσία (πρόστιμο πλημμελούς ή παράνομης απόρριψης)

Ουσιαστικά, το τι είναι και τι δεν είναι ΣΑ είναι θέμα ορισμού ή σύμβασης. Άλλωστε ο ευρωπαϊκός κατάλογος αποβλήτων (Απόφαση 94/3/ΕΚ, 2000/532/ΕΚ, 2001/118/ΕΚ) με τον οποίο εναρμονίστηκε και η εθνική νομοθεσία διαμορφώθηκε μόλις το 1993. Συγκεκριμένα στην κατηγορία των ΣΑ περιλαμβάνονται όλα τα απόβλητα με εξαίρεση:

1. Απόβλητα σε υγρή φάση χωρίς αξιόλογο ποσοστό αιωρούμενων ρύπων (υγρά απόβλητα).
2. Αέριοι ρύποι.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης αποβλήτων, το οποίο περιλαμβάνει διεργασίες, όπως:

- προσωρινή αποθήκευση
- συλλογή-μεταφορά
- επεξεργασία
- διάθεση

Στόχος ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων θα πρέπει να είναι η επεξεργασία των στερεών αποβλήτων σε τέτοιο βαθμό, ώστε η τελική τους μορφή να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο επιβλαβής για το περιβάλλον, ενώ απώτερος σκοπός είναι να οδηγηθεί το σύστημα σε αειφορική ανάπτυξη.

Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων τείνει να εξελιχθεί σε τροχοπέδη κάθε ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής πολιτικής που εφαρμόζεται στην Ελλάδα. Το πρόβλημα της διαχείρισης στερεών αποβλήτων διογκώνεται όταν αναφέρεται σε μικρές κοινότητες και ευαίσθητα οικοσυστήματα, όπως είναι αυτά των μικρών νησιών των Κυκλάδων (Ηρακλειά, Σχοινούσα, Δονούσα, Κουφονήσια), όπου κυριαρχεί η ανεξέλεγκτη ταφή και καύση των αστικών αποβλήτων, όπως γίνεται στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση κατάλληλων μεθόδων διαχείρισης στερεών αποβλήτων για τα μικρά νησιά των Κυκλάδων (Ηρακλειά, Σχοινούσα, Δονούσα, Κουφονήσια). Συγκεκριμένα θα εξεταστούν τα παρακάτω σενάρια:

- Κατασκευή μικρών ΧΥΤΑ σε κάθε νησί
- Κατασκευή σταθμών μεταφόρτωσης στα μικρά νησιά με τελικό αποδέκτη τον κεντρικό ΧΥΤΑ της Νάξου
- Κατασκευή μονάδας καύσης στη Νάξο για το σύνολο των απορριμμάτων των 5 νησιών (συμπεριλαμβανομένης και της Νάξου).

Στο πλαίσιο της εργασίας μελετήθηκε η ποιοτική και ποσοτική σύσταση των μικρών νησιών, έγιναν εργαστηριακές μετρήσεις υγρασίας, τέφρας, πτητικής ύλης, θερμογόνου δύναμης και στοιχειακής ανάλυσης, υπολογίστηκαν οι εκπομπές αερίων ρύπων με χρήση του μοντέλου Landgem και ελέγχθηκε η πιθανότητα καύσης με παράλληλη ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Θεωρητικό μέρος

2.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

Στην κατηγορία των αστικών στερεών αποβλήτων ανήκουν τα ΣΑ που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά ΣΑ), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά ΣΑ), του οδόκαθαρισμού καθώς και άλλα ΣΑ (ιδρύματα, επιχειρήσεις) τα οποία μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά ΣΑ (Παναγιωτακόπουλος, 2002). Σύμφωνα με την απόφαση 29407/3508 ΦΕΚ 1572/ 16-12-2002 «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή αποβλήτων» ως αστικά απόβλητα νοούνται «...τα οικιακά απόβλητα καθώς και άλλα απόβλητα που λόγω φύσης ή σύνθεσης είναι παρόμοια με τα οικιακά τα οποία διέπονται από τις διατάξεις της ΚΥΑ 69728/824/1996». Εξαίρεση αποτελούν τα απόβλητα εκσκαφών και οικοδομικών κατεδαφίσεων, όπως επίσης και τα κατεστραμμένα αυτοκίνητα.

Τα ΑΣΑ αποτελούν ένα ιδιαιτέρως ανομοιογενές μίγμα υλικών. Η ποιοτική ανάλυση των ΑΣΑ αποσκοπεί στο να προσδιοριστούν οι βασικές ποσοστιαίες κατηγορίες υλικών σε αυτά, προκειμένου να προσδιορισθεί η απαραίτητη πληροφορία για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης, επεξεργασίας και αξιοποίησής τους (ανακύκλωση, ανάκτηση ενέργειας, κ.λπ.). Η πιο δόκιμη κατηγοριοποίηση των ΑΣΑ, όπως προκύπτει από σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων, περιλαμβάνει τις εξής κατηγορίες (κλάσματα) υλικών:

- **Ζυμώσιμα**: Περιλαμβάνονται τα τροφικά υπολείμματα και τα απόβλητα κήπου.
- **Χαρτί**: Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων.
- **Μέταλλα**: Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών που απαντώνται στα απορρίμματα. Συνηθίζεται ένας διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων), με τα τελευταία να έχουν ως κυριότερο αντιπρόσωπο το αλουμίνιο. Σε ορισμένες αναλύσεις έχουν προστεθεί ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλής επικινδυνότητάς τους.

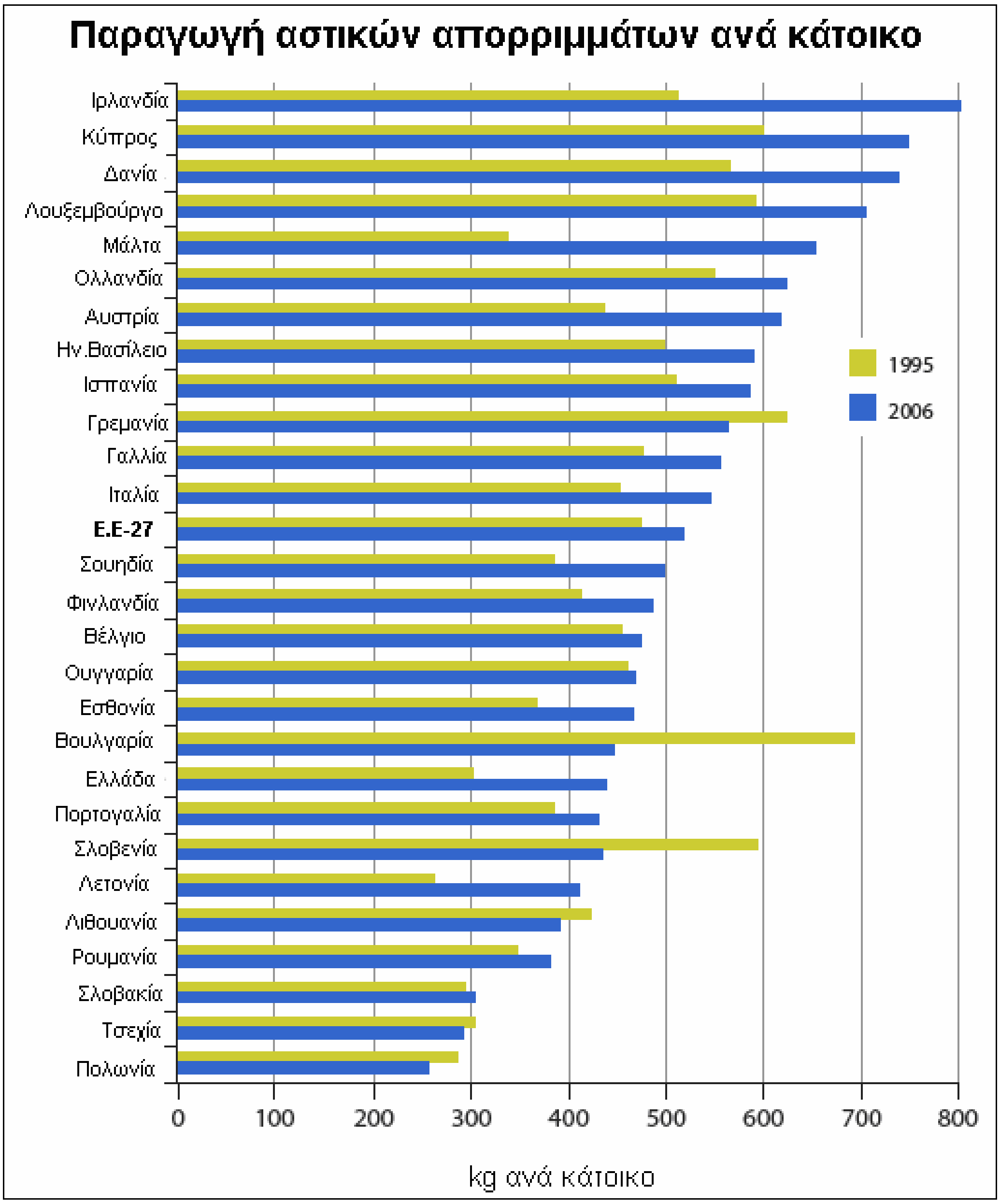
- **Γυαλί**: Η διαχείριση των αποβλήτων γυαλιού στη χώρα μας πάσχει κυρίως από την έλλειψη υαλουργιών, κυρίως σε περιοχές μακριά από την Αττική. Απαντάται ο διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, όσον αφορά την ανακύκλωση, καθώς για την παραγωγή του καφέ και του λευκού γυαλιού απαιτείται υαλότριμμα μόνο του ίδιου χρώματος.
- **Πλαστικό**: Περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών απορριμμάτων. Η κατηγορία αυτή γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη κατά τα τελευταία χρόνια και στη χώρα μας ως συνέπεια της αλλαγής των καταναλωτικών συνηθειών (στροφή σε συσκευασμένα προϊόντα, κλπ). Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PET, κ.λπ.).
- **Δέρμα - Ξύλο - Ύφασμα - Λάστιχο (ΔΞΥΛ)**: Χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα.
- **Αδρανή**: Εδώ περιλαμβάνονται χημικώς ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα (π.χ. χώματα, πέτρες, κ.λ.π.).
- **Λοιπά**: Στο κλάσμα αυτό καταλήγουν τα υλικά εκείνα που δε μπορούν να ταξινομηθούν σε καμιά από τις άλλες κατηγορίες.

2.2 Ποσότητες ΑΣΑ σε Ευρωπαϊκή Ένωση και Ελλάδα

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται ποσοτικά στοιχεία για τη διαχείριση ΣΑ, τόσο στην Ελλάδα όσο και στα υπόλοιπα κράτη-μέλη της Ε.Ε. και γίνεται σύγκριση της ανάκτησης και της ανακύκλωσης των απορριμμάτων συσκευασίας με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Πολιτικής.

Με βάση τις εκθέσεις των κρατών-μελών προς την Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και της βάσης δεδομένων της Eurostat, παρατίθενται συγκεντρωτικά στοιχεία αναφορικά με την ποσότητα των αστικών στερεών αποβλήτων που παράγεται συνολικά και κατά άτομο το χρόνο, τη σύστασή τους και τις μεθόδους διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα δεδομένα της Eurostat αφορούν ΑΣΑ, τα οποία περιλαμβάνουν τα οικιακά απόβλητα, απόβλητα από το εμπόριο, τις μικρές επιχειρήσεις, τα γραφεία, τα δημόσια ιδρύματα και οργανισμούς, κλπ. Οι ποσότητες και η σύνθεση των ΑΣΑ διαφοροποιούνται διαχρονικά και γεωγραφικά, καθώς εξαρτώνται από τα εκάστοτε κοινωνικοοικονομικά και καταναλωτικά χαρακτηριστικά των κρατών-μελών.

Στο Σχήμα 2-1 παρατίθενται τα στοιχεία για την παραγωγή αστικών απορριμμάτων ανά κάτοικο στην Ε.Ε. τα έτη 1995 και 2006.

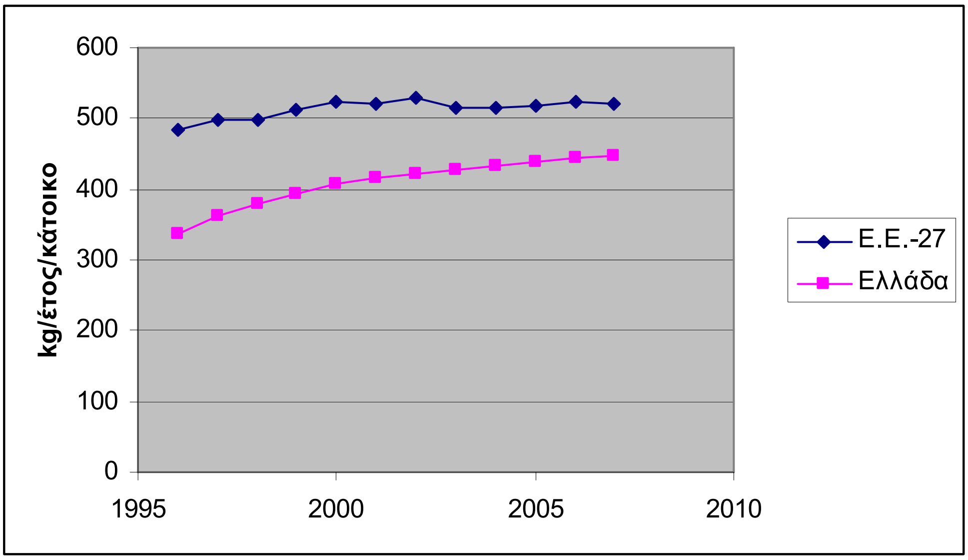


Σχήμα 2-1. Παραγωγή αστικών απορριμμάτων ανά κάτοικο στην Ε.Ε.-27 (Eurostat, 2008)

Η συνολική ποσότητα των αστικών απορριμμάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση παρουσιάζει μία συνεχή αύξηση από το 1995 έως το 2002, ενώ από το 2003 και μετά παρατηρείται μία πτωτική τάση παρά την σχετικά υψηλή παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο (Ε.Ε.-27, 517 kg ανά κάτοικο το 2006).

Σε σχέση με την Ε.Ε.-15, όπου η παραγωγή ανά κάτοικο ήταν 563 kg το 2006, τα νέα κράτη μέλη παρουσιάζουν μικρότερη παραγωγή απορριμμάτων (με εξαίρεση τις Μάλτα και Κύπρο). Η Ιρλανδία παρουσιάζει την μεγαλύτερη παραγωγή ανά κάτοικο

στην Ε.Ε., ενώ η μικρότερη εντοπίζεται στην Πολωνία, ενώ τα αστικά απορρίμματα αποτελούν το μόνο το 9 % της συνολικής παραγωγής απορριμμάτων στην Ε.Ε..
Στην Ελλάδα η παραγωγή ΑΣΑ παρουσιάζει μια συνεχώς αυξητική πορεία. Τα αναλυτικά στοιχεία της Eurostat παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-2.



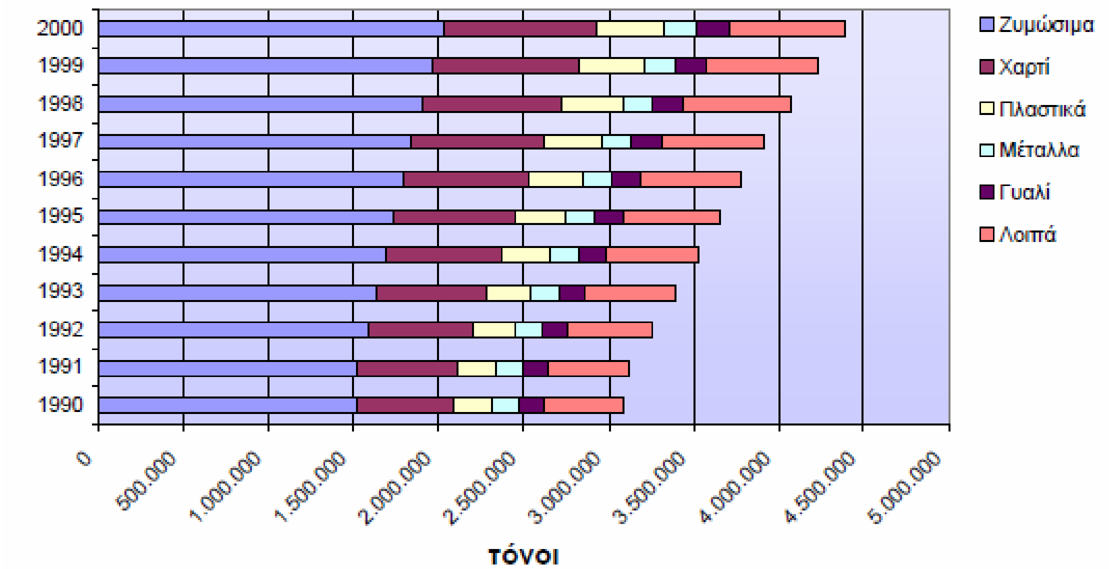
Σχήμα 2-2. Ετήσια διακύμανση παραγωγής απορριμμάτων στην Ελλάδα και την Ε.Ε.-27 (Eurostat, 2008)

Η ετήσια παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ στην Ελλάδα αυξήθηκε από 337 kg/έτος/κάτοικο το 1996 σε 448 kg/έτος/κάτοικο το 2007. Παρατηρούμε ότι, αν και οι ποσότητες ΑΣΑ που παράγονται στην Ελλάδα είναι μικρότερες του μέσου όρου για την Ε.Ε.-27, η αύξηση είναι σημαντικά μεγαλύτερη.

2.3 Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ στην Ελλάδα

Στον τομέα της ποιοτικής σύστασης των ΑΣΑ για τον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζονται σημαντικές ελλείψεις εξαιτίας της μη πραγματοποίησης εκτεταμένων αναλύσεων. Ωστόσο δεδομένα για τη μέση ποιοτική σύσταση παρέχονται από το Υπουργείο Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων για τα έτη 1990 έως 2000, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-3.
Όπως παρατηρούμε το 2000 το μεγαλύτερο ποσοστό των ΑΣΑ είναι τα ζυμώσιμα υλικά με 46,10% και ακολουθεί το χαρτί με 20,60%, τα πλαστικά με 9,10%, το γυαλί με 4,44%, τα μέταλλα με 4,20% και τα λοιπά υλικά με 15,56%. Σε σύγκριση με το 1990, παρουσιάζονται μικρές αλλαγές στα ποσοστά ανά κλάσμα ΑΣΑ, με τα

ζυμώσιμα να εμφανίζουν μείωση (49,10% το 1990), ενώ αύξηση παρουσιάζουν τα πλαστικά (7,10% το 1990).



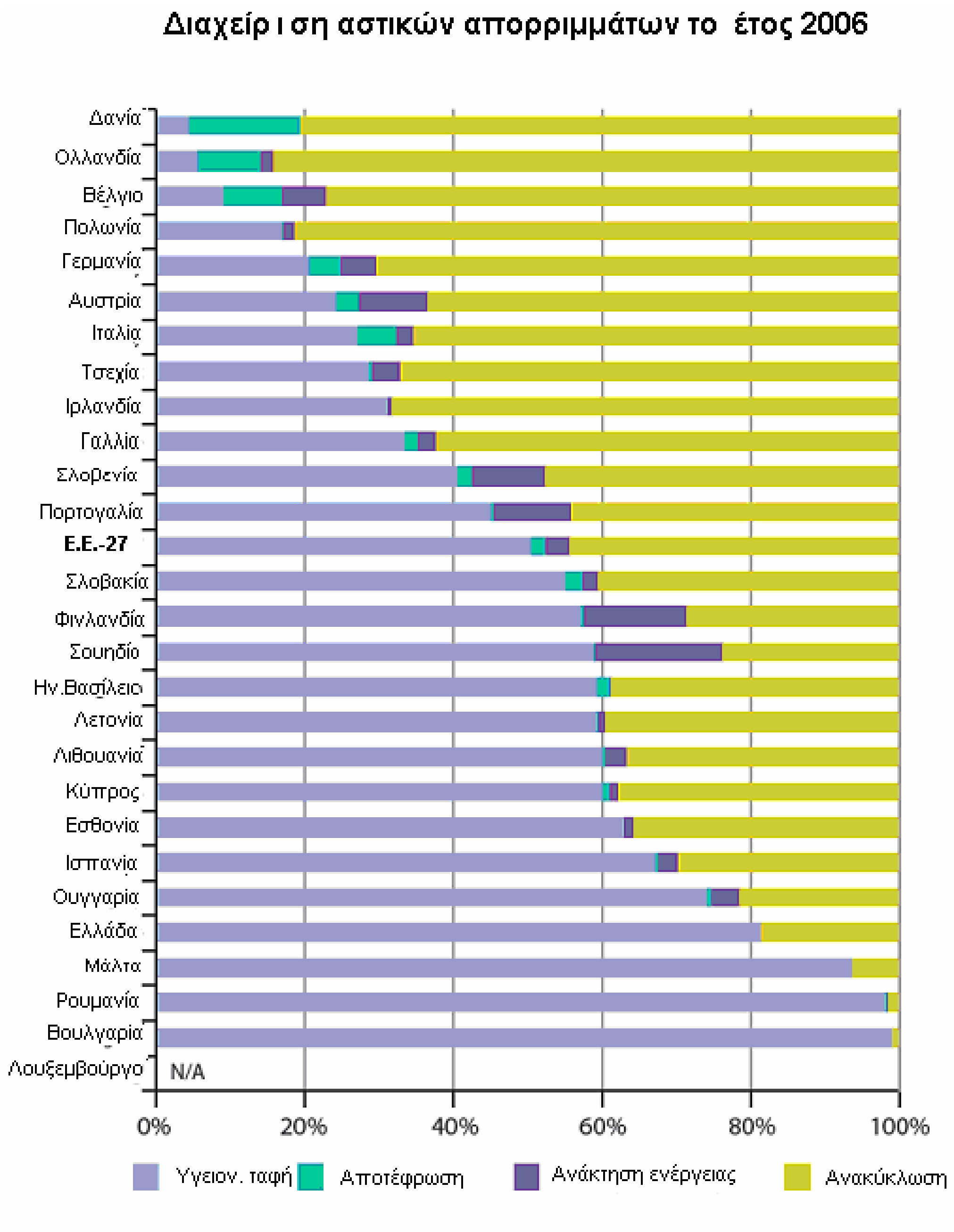
Σχήμα 2-3. Ετήσια διακύμανση ποιοτικής σύστασης ΑΣΑ στην Ελλάδα (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2002)

Η εμπειρία από χώρες της Ε.Ε.-27 με μεγαλύτερη ανάπτυξη από την Ελλάδα, μας βοηθάει στην πρόβλεψη της εξέλιξης της ποιοτικής σύστασης των ΑΣΑ. Συγκεκριμένα αναμένεται να υπάρξει περαιτέρω μείωση στο κλάσμα των ζυμώσιμων με παράλληλη αύξηση στα κλάσματα του πλαστικού και του χαρτιού.

2.4 Μέθοδοι διαχείρισης αστικών αποβλήτων

Η διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων αναδεικνύεται ως ένα μείζονος σημασίας πρόβλημα για το περιβάλλον και τις τοπικές κοινωνίες. Με τον όρο διαχείριση απορριμμάτων εννοούμε τις μεθόδους επεξεργασίας αυτών, ούτως ώστε η τελική τους μορφή να είναι όσο το δυνατόν ακίνδυνη αν όχι και επωφελής για το περιβάλλον. Σε αυτές τις μεθόδους περιλαμβάνονται η κομποστοποίηση, η αναερόβια ζύμωση, η θερμική επεξεργασία, η ανακύκλωση και η υγειονομική ταφή.

Στην Ε.Ε.-27 παρουσιάζεται μεγάλη ποικιλομορφία τόσο στις στρατηγικές όσο και στις μεθόδους διαχείρισης αστικών απορριμμάτων. Τα νέα κράτη μέλη βασίζονται σε αρκετά μεγάλο βαθμό στην υγειονομική ταφή, ενώ τα χαμηλότερα ποσοστά παρατηρούνται σε χώρες, όπως Δανία, Ολλανδία, Βέλγιο και Πολωνία (Σχήμα 2-4). Στην Ελλάδα η υγειονομική ταφή αποτελεί ακόμη κυρίαρχη μέθοδο διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων.



Σχήμα 2-4. Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων στην Ε.Ε.-27 (Eurostat, 2008)

2.4.1 Κομποστοποίηση

Η λιπασματοποίηση είναι μία μέθοδος διαχείρισης στερεών απορριμμάτων, όπου το οργανικό (ζυμώσιμο) κλάσμα αποικοδομείται βιολογικά υπό ελεγχόμενες συνθήκες με αποτέλεσμα τη σταδιακή μετατροπή του σε ένα υλικό βιολογικά σταθερό (compost), το οποίο μπορεί να χρησιμεύσει σαν εδαφοβελτιωτικό.

Οι φράσεις κλειδιά που χρησιμοποιούνται στον ορισμό και διαφοροποιούν τη λιπασματοποίηση από άλλες μεθόδους, είναι οι εξής:

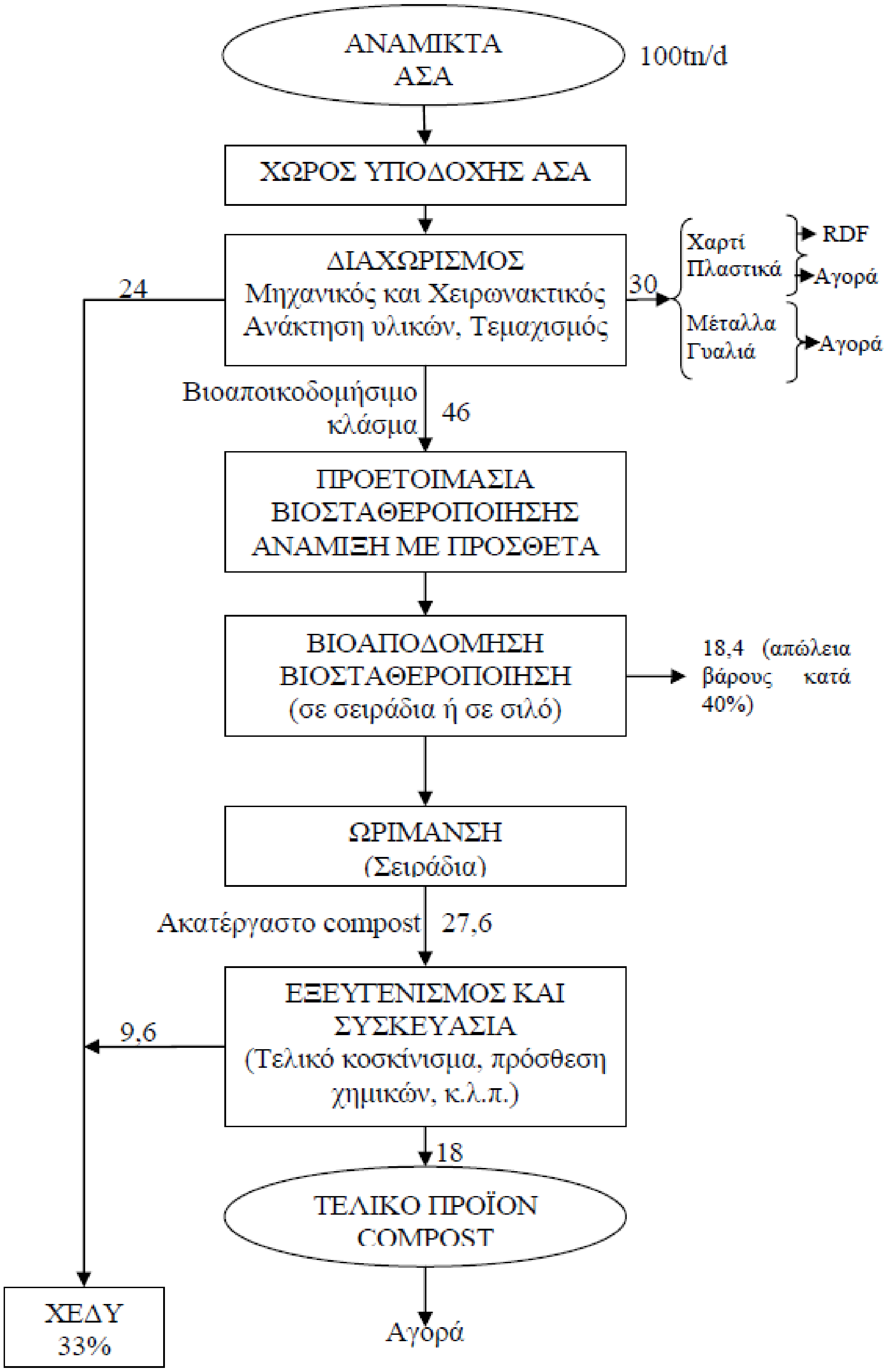
- αποδομείται βιολογικά,
- οργανικό κλάσμα και
- υπό ελεγχόμενες συνθήκες.

Η φράση «αποδομείται βιολογικά» διαφοροποιεί την εν λόγω μέθοδο από άλλες μεθόδους διαχείρισης στερεών απορριμμάτων, όπως είναι η καύση, η πυρόλυση, η υγειονομική ταφή κλπ. Ο όρος «οργανικό κλάσμα» έχει να κάνει με τη βιολογική αποικοδόμηση. Γενικά, μόνο τα βιολογικής προέλευσης υλικά (π.χ. ξύλο, χαρτί, υπολείμματα κηπουρικής κ.λ.π.) μπορούν να αποδομηθούν βιολογικά. Η φράση «υπό ελεγχόμενες συνθήκες» είναι ίσως η πιο σημαντική από τις φράσεις κλειδιά, γιατί διαφοροποιεί τη λιπασματοποίηση από τη βιολογική αποδόμηση που λαμβάνει χώρα στη φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων. Ένας πολύ πρακτικός λόγος που η φράση περιέχει τη λέξη «ελεγχόμενες» είναι ότι, χωρίς τον έλεγχο, ακόμα και η πιο απλή περίπτωση βιολογικής αποδόμησης θα χαρακτηριζόταν σαν λιπασματοποίηση. Η τελευταία φράση του ορισμού, «ένα υλικό βιολογικά σταθερό (compost), το οποίο μπορεί να χρησιμεύσει σαν εδαφοβελτιωτικό», αν και δεν αποτελεί κάποια φράση-κλειδί, εν τούτοις υποδηλώνει ότι το υλικό έχει βιολογικά σταθεροποιηθεί. Αποτελεί επίσης μία ένδειξη του σκοπού της όλης διαδικασίας και ένα μέτρο που υποδηλώνει την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Ακόμα και εάν παραλείψουμε τη φράση αυτή, ο ορισμός παραμένει δόκιμος. Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2-5) δίνεται το διάγραμμα ροής μαζί με ένα ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας μιας εγκατάστασης λιπασματοποίησης.

Όπως προαναφέρθηκε, το οργανικό (ζυμώσιμο) κλάσμα των στερεών απορριμμάτων είναι υλικό που μπορεί να αποδομηθεί βιολογικά και να παράγει ποσότητες compost.
Το οργανικό κλάσμα των στερεών αστικών απορριμμάτων περιλαμβάνει:

• Τα οργανικά υπολείμματα της κουζίνας, όπως φλούδες, φύλλα, χαλασμένους καρπούς, υπολείμματα από σαλάτες, κρέατα, κόκαλα και ψάρια. Επίσης, τα κατακάθια του καφέ και τα υπολείμματα από κάθε είδος αφεψήματα, εκχυλίσματα κ.λ.π.

• τα φυτικά υπολείμματα από πάρκα, δέντρα, κήπους, βεράντες (φύλλα, κλαριά, φλούδες, ρίζες, κλαδέματα από δένδρα, θάμνους, κ.λ.π.).



Σχήμα 2-5. Διάγραμμα ροής και ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας εγκατάστασης λιπασματοποίησης (αριθμοί σε tn/d) (Ντζαμίλης και Χάβας, 2004)

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης διακρίνονται οι παρακάτω φάσεις, οι οποίες απαιτούν συνήθως διαφορετικούς χειρισμούς :

1. Αρχικά, οι μεσόφιλοι οργανισμοί δραστηριοποιούνται και η θερμοκρασία φτάνει τους 50 ^oC περίπου.
2. Στη συνέχεια αυξάνεται η θερμοκρασία μέχρι τους 65 ^oC περίπου και επικρατούν οι θερμόφιλοι οργανισμοί. Η φάση αυτή εξαρτάται από την ύπαρξη αποθεμάτων οξυγόνου και για αυτό πρέπει να λαμβάνονται μέτρα αερισμού της οργανικής μάζας. Επίσης, χρειάζονται μέτρα απομάκρυνσης της παραγόμενης θερμότητας (π.χ. με συχνή ανάδευση ή πρόσθετο αερισμό), γιατί η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αδρανοποίηση ή και θερμικό θάνατο των μικροοργανισμών, και συνεπώς επιβράδυνση της διαδικασίας.

   Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής σχεδόν όλοι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί καταστρέφονται και το παραγόμενο προϊόν που χαρακτηρίζεται ως «φρέσκο κομπόστ» θεωρείται ως υγειινοποιημένο (sanitised). Το «φρέσκο κομπόστ» έχει μερικώς μόνο αποδομηθεί και δεν έχει ακόμη σταθεροποιηθεί, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί με κατάλληλο τρόπο για καλλιέργειες (π.χ. το χειμώνα σαν εδαφοβελτιωτικό, για προετοιμασία εδάφους). Η περαιτέρω αποσύνθεση και σταθεροποίηση γίνεται στο έδαφος με αποτέλεσμα τη βελτίωση της δομής του και την αυξημένη δράση της εδαφικής μικρο-χλωρίδας.
3. Η οργανική μάζα σταθεροποιείται, η θερμοκρασία κατέρχεται βαθμιαία και η δραστηριότητα των μικροοργανισμών σταματά. Σε αυτή τη φάση, το παραγόμενο σταθεροποιημένο κομπόστ βρίσκεται στην πορεία της χουμοποίησης, δεν υπάρχει κίνδυνος φυτοτοξικότητας και είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος ακόμη και όταν τα καλλιεργούμενα φυτά έχουν αναπτυχθεί.
4. Το κομπόστ υποβάλλεται σε μια μεγάλη περίοδο χουμοποίησης και ωριμάζει.

Οι τρεις πρώτες φάσεις λαμβάνουν χώρα εντός μικρών χρονικών διαστημάτων (2-8 εβδομάδων ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου συστήματος), ενώ η ωρίμανση απαιτεί περίπου 3-6 μήνες.

2.4.1.1 Είδη κομποστοποίησης

Η αερόβια βιολογική επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ έχει εφαρμοστεί με διάφορες μορφές όπως:

- μέθοδος αναδευόμενων σωρών,
- μέθοδος δυναμικά αεριζόμενων σωρών,
- μέθοδος βιοαντιδραστήρων (κλειστά συστήματα).

Η μέθοδος των αναδευόμενων σωρών: Απαιτεί τη χρήση μεγάλου μήκους σωρών του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Οι σωροί αυτοί είναι συνήθως τριγωνικής διατομής με λόγο (πλάτος βάσης)/ύψος τουλάχιστον 2. Ο λόγος απαίτησης του σχήματος αυτού είναι από τη μια πλευρά η ύπαρξη ενός επαρκούς μεγέθους σωρού ώστε να υπάρχει παραγωγή αρκετής θερμότητας η οποία να διατηρείται στο εσωτερικό του και από την άλλη ο σωρός να είναι αρκετά μικρός ώστε το οξυγόνο να μπορεί να διαχέεται ελεύθερα στο εσωτερικό του. Οι σωροί τοποθετούνται σε σταθερό έδαφος ώστε να μπορούν να αναδεύονται περιοδικά. Ο αερισμός του σωρού γίνεται στατικά, δηλαδή με την περιοδική ανάδευση του σωρού. Ένας τυπικός σχηματισμός είναι τα *σειράδια* (ελεύθερα ή σε κανάλια) μήκους μέχρι 100m και πλάτους μέχρι 5m. Τα συστήματα αυτά είναι ανοικτά και λειτουργούν συνήθως κάτω από υπόστεγο.

Μέθοδος δυναμικά αεριζόμενων σωρών: Η μέθοδος αυτή απαιτεί ομοίως την τοποθέτηση των υλικών προς λιπασματοποίηση σε σωρούς. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως οι σωροί αερίζονται μηχανικά και τα συστήματα αυτά ονομάζονται και δυναμικά. Οι σωροί τοποθετούνται πάνω σε ένα δίκτυο αεριστήρων οι οποίοι παρέχουν τον απαραίτητο αέρα για τη λιπασματοποίηση. Ο αέρας είτε παρέχεται με θετική πίεση (τροφοδοσία αέρα στο σωρό) είτε με αρνητική πίεση (αναρρόφηση αέρα από το σωρό). Μέσω σωστού προγραμματισμού της συχνότητας και της ποσότητας του αερισμού μπορεί να ελεγχθεί και η θερμοκρασία που αναπτύσσει ο σωρός, ενώ τα απαέρια μπορούν εύκολα να καθαριστούν από οσμές. Επειδή όμως οι σωροί δεν αναδεύονται υπάρχει το ενδεχόμενο η εξωτερική επιφάνεια του σωρού να μην αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία (55^0C) για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Για το λόγο αυτό τοποθετείται ένα κάλυμμα από έτοιμο compost, το οποίο δρα ως θερμομονωτικό. Για τη μέθοδο αυτή οι απαιτήσεις χώρου είναι αρκετά μικρότερες από τη μέθοδο των αναδευόμενων σωρών. Η περίοδος ωρίμανσης είναι από έξι έως δώδεκα (6-12) εβδομάδες.

Μέθοδος βιοαντιδραστήρων (κλειστά συστήματα): Στα συστήματα αυτά το προς λιπασματοποίηση μίγμα των ΑΣΑ τοποθετείται μέσα σε βιοαντιδραστήρα όπου και βιοαποικοδομείται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες αερισμού, υγρασίας και συνεχούς ανάδευσης. Οι αντιδραστήρες μπορούν να περιλαμβάνουν περισσότερα του ενός διαμερίσματα (π.χ. πολυώροφα σιλό), να περιστρέφονται ή να περιλαμβάνουν μηχανισμούς περιστροφής και ανάδευσης των υλικών και μπορούν να τοποθετηθούν ακόμα και μέσα σε κτίρια. Συνήθως είναι συστήματα συνεχούς ροής αλλά έχουν παρουσιαστεί και συστήματα batch. Σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι η διαδικασία λαμβάνει χώρα κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες ώστε να επιταχύνεται η λιπασματοποίηση. Η μέθοδος αυτή αν και πιο πολύπλοκη από τις μεθόδους των σωρών παράγει ελάχιστες οσμές και ελάχιστα ή καθόλου στραγγίσματα. Επίσης η παροχή αέρα μπορεί να ελεγχθεί πλήρως, αφού με τη χρήση αισθητήρων οξυγόνου ο αέρας μπορεί να κατευθυνθεί ακριβώς στην περιοχή που παρουσιάζεται έλλειμμα οξυγόνου. Ο χρόνος ωρίμανσης ποικίλει από μία έως τέσσερις εβδομάδες.

2.4.2 Αναερόβια βιολογική επεξεργασία – Αναερόβια ζύμωση

Κατά την αναερόβια βιολογική επεξεργασία (αναερόβια ζύμωση), πραγματοποιείται αποδόμηση των οργανικών ουσιών με τη βοήθεια μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου. Το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή σταθεροποιημένου οργανικού υλικού και αερίου υψηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο (CH_4), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας π.χ. σε συστήματα θερμικής επεξεργασίας στερεών αποβλήτων.

Η συνολική διαδικασία διεξάγεται σε τρία στάδια (Σχήμα 2-6):

• Υδρόλυση: Πραγματοποιείται ενζυμική μετατροπή των οργανικών ενώσεων υψηλού μοριακού βάρους σε παράγωγα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας και κυτταρικής ύλης.

• Οξυγενής ζύμωση: Οι ενώσεις που προήλθαν από το πρώτο στάδιο μετατρέπονται σε ενδιάμεσα προϊόντα χαμηλού μοριακού βάρους (pH: 4,5 – 6,5).

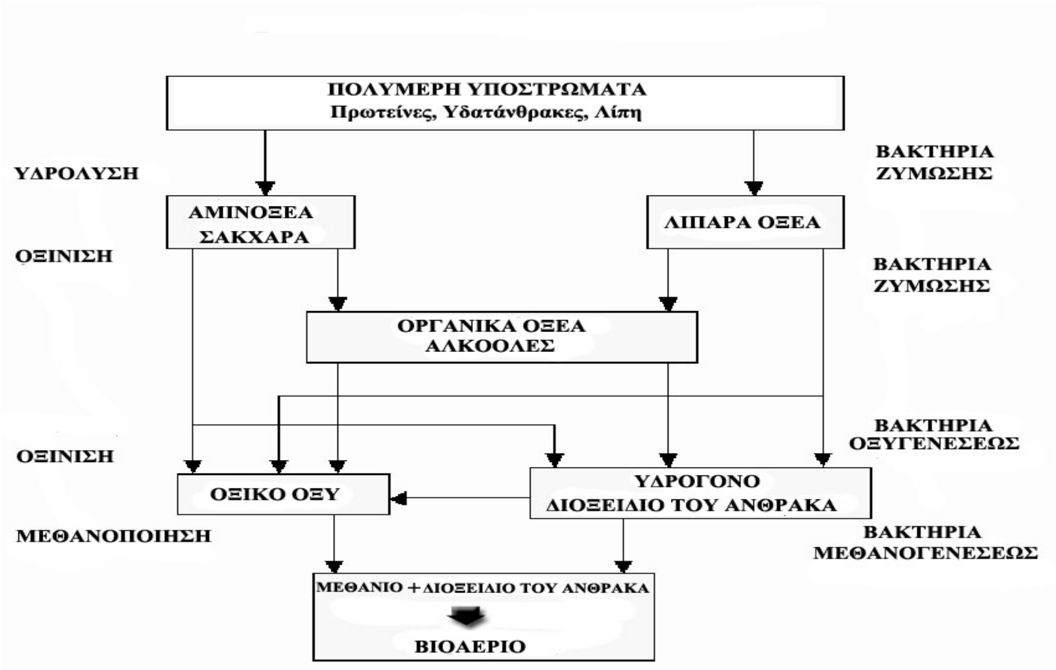
• Μεθανογενής ζύμωση: Τα προϊόντα της οξυγενούς ζύμωσης μετατρέπονται σε απλούστερα τελικά προϊόντα και κυρίως CH_4 και CO_2 (pH: 6,8 – 7,2).

2.4.2.1 Συστήματα αναερόβιας ζύμωσης

Το βασικότερο στοιχείο των συστημάτων αναερόβιας ζύμωσης είναι η χρήση κλειστών βιοαντιδραστήρων (χωνευτήρων), όπου εξασφαλίζονται αναερόβιες συνθήκες και λειτουργία στη μεσόφιλη ή τη θερμόφιλη περιοχή (απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας). Τα συστήματα αυτά διακρίνονται με βάση τη συγκέντρωση των στερεών της οργανικής ύλης σε συστήματα αναερόβιας ζύμωσης χαμηλής και υψηλής συγκέντρωσης στερεών.

Αναερόβια ζύμωση χαμηλής συγκέντρωσης στερεών

Σε αυτή τη μέθοδο η οργανική ύλη αποδομείται – σταθεροποιείται σε συγκεντρώσεις στερεών που κυμαίνονται από 4–8%. Η διεργασία διεξάγεται σε τρία κύρια στάδια (Σχήμα 2-6):



Σχήμα 2-6. Διεργασία αναερόβιας ζύμωσης οργανικών αποβλήτων (Ντζαμίλης και Χάβας, 2004)

Το πρώτο στάδιο αφορά στην προετοιμασία των υλικών. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται προσθήκη υγρασίας και/ή θρεπτικών, ανάμιξη, ρύθμιση του pH γύρω στο 6,8 και θέρμανση στους 55-60 °C. Η προσθήκη υγρασίας και θρεπτικών γίνεται συνήθως με χρήση ιλύος από μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Η αναερόβια ζύμωση πραγματοποιείται σε αντιδραστήρες συνεχούς έργου και πλήρους ανάδευσης, ενώ σε μερικές περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αντιδραστήρες διαλείποντος έργου. Το τρίτο στάδιο αφορά τη συλλογή, αποθήκευση και προαιρετικό διαχωρισμό των συστατικών του βιοαερίου καθώς και την αφυδάτωση και διάθεση του χωνευμένου στερεού προϊόντος.

Αναερόβια ζύμωση υψηλής συγκέντρωσης στερεών

Σε αυτά τα συστήματα η διεργασία αφορά σε υπόστρωμα με συγκέντρωση στερεών μεγαλύτερη από 22%. Πρόκειται για νέα, σχετικά, τεχνολογία η οποία όμως έχει σημειώσει αλματώδη ανάπτυξη και εφαρμόζεται τα τελευταία έτη σε πλήρη κλίμακα. Τα στάδια της μεθόδου είναι τα ίδια με αυτά που περιγράφηκαν και για τη μέθοδο αναερόβιας ζύμωσης χαμηλής συγκέντρωσης στερεών. Η διαφορά που παρουσιάζεται αναφέρεται στις λιγότερες απαιτήσεις όσον αφορά στην αφυδάτωση του χωνευμένου τελικού προϊόντος, στις ελαττωμένες απαιτήσεις σε νερό και στη μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου ανά μονάδα όγκου αντιδραστήρα. Λόγω όμως των υψηλών συγκεντρώσεων στερεών στον αντιδραστήρα, απαιτείται αυστηρός έλεγχος των συνθηκών αναερόβιας ζύμωσης για την πρόληψη δυσλειτουργιών. Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που πρέπει να ελέγχεται, είναι η παραγωγή αμμωνίας που είναι τοξική για τα μεθανογενή βακτήρια (συνήθως ελέγχεται με ρύθμιση του λόγου C/N της τροφοδοσίας).

2.4.3 Θερμική Επεξεργασία

2.4.3.1 Εισαγωγή

Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων είναι η ελάττωση του όγκου τους, η μετατροπή τους σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου και η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ευρισκόμενης στα απορρίμματα ενέργειας ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα ή καύσιμο υλικό. Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μετατροπής του περιεχομένου τους σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας.

Οι τεχνικές θερμικής επεξεργασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- αποτέφρωση – καύση (incineration - combustion),
- αεριοποίηση (gasification),
- πυρόλυση (pyrolysis) και
- τεχνική του πλάσματος (plasma technology).

Βασικός στόχος σχεδιασμού πρέπει να αποτελεί η μείωση των αποβλήτων και όχι μόνο η ανάκτηση ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να επιτυγχάνεται πλήρης διάσπαση όλων των οργανικών ουσιών και να αποτρέπεται ο επανασχηματισμός τους κατά τη φάση ψύξης.

Τη διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων επηρεάζουν οι εξής παράμετροι:

- Η ομοιογένεια
- Το μέγεθος των κόκκων ή τεμαχίων καθώς και η κατανομή τους
- Η ειδική επιφάνειά τους
- Η θερμική αγωγιμότητά τους
- Η θερμοκρασία ανάφλεξης
- Η δυνατότητα αποθήκευσης
- Το ειδικό βάρος
- Η θερμογόνος τιμή της καύσιμης ύλης
- Η ποσοτική σύνθεση της υπό καύση ύλης, στάχτη και νερό
- Η περιεκτικότητα σε πτητικά
- Η περιεκτικότητα σε βλαβερές ουσίες
- Η τήξη της στάχτης

2.4.3.2 Αποτέφρωση – Καύση

Η αποτέφρωση (ή καύση) των στερεών αποβλήτων είναι η οξείδωση, δηλαδή η ένωση των χημικών στοιχείων που περιέχονται σε αυτά, με το οξυγόνο. Αυτό πραγματοποιείται με χρήση είτε της απαιτούμενης στοιχειομετρικά ποσότητας αέρα (stoichiometric combustion) είτε με περίσσεια αέρα (excess - air combustion).

Οι προϋποθέσεις για την επίτευξη πλήρους καύσης των αποβλήτων είναι:

- επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου (O_2) στην εστία καύσης
- επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης
- σωστή αναλογία μίγματος (καύσιμης ύλης - οξυγόνου)
- συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση
- συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης

Οι μονάδες καύσης μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τον τρόπο που κινούν τα απόβλητα μέσα στη ζώνη καύσης. Οι πιο συχνές μορφές είναι:

- κινούμενων εσχαρών
- περιστρεφόμενου κλιβάνου

• ρευστοποιημένης κλίνης

Τα στάδια της διεργασίας της καύσης είναι (Παναγιωτακόπουλος, 2002):

- **Ξήρανση:** Τα εισερχόμενα απορρίμματα λαμβάνουν θερμότητα με ακτινοβολία από τη φλόγα και με συναγωγή από την παροχή του θερμασμένου αέρα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εξατμίζεται η περιεχόμενη στα απορρίμματα υγρασία και τα πτητικά συστατικά.
- **Πυρόλυση:** Με την αύξηση της θερμοκρασίας περισσότερα πτητικά συστατικά εξατμίζονται.
- **Έναυση:** Η απαιτούμενη θερμότητα για την έναυση των καύσιμων υλικών προσδίδεται στα απορρίμματα μέσω ακτινοβολίας από τη φλόγα και τα τοιχώματα του φλογοθαλάμου.
- **Αεριοποίηση και καύση:** Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας της πλήρους έναυσης των απορριμμάτων προκαλεί την αεριοποίηση μιας ποικιλίας υλικών που περιέχονται σε αυτά. Ο εναπομένων άνθρακας οξειδώνεται πλήρως, ενώ στο φλογοθάλαμο καίγονται τα αέρια που παράχθηκαν από τις φάσεις της πυρόλυσης και της αεριοποίησης.
- **Ολοκλήρωση της καύσης:** Η ολοκλήρωση της καύσης αποδίδει αρκετά αδρανοποιημένο (ανόργανο) στερεό υπόλειμμα στο τέλος της εσχάρας.

Εκπομπές ρύπων

Κατά την καύση εκτός των τυπικών προϊόντων καύσης (διοξείδιο του άνθρακα, ατμός, μονοξείδιο του άνθρακα) παράγεται ανάλογα με την ποιότητα των αποβλήτων και μια σειρά άλλων ουσιών όπως διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, υδροχλώριο, υδροφθόριο, πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες κλπ. Επίσης, κατά την καύση των στερεών αποβλήτων παραμένουν στερεά υπολείμματα, τα οποία αντιστοιχούν στο 25-40% του βάρους των εισερχομένων αποβλήτων. Η ποσότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση των αποβλήτων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Διακρίνονται σε τέφρα που παράγεται στο χώρο της καύσης (απομακρύνονται μετά την εσχάρα), τέφρα από τους λέβητες (υπολείμματα τα οποία δημιουργούνται στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων και συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα), ιπτάμενη τέφρα και σκόνη που κατακρατείται στα φίλτρα (συγκεντρώνεται στις χοάνες κάτω από τα ηλεκτρόφιλτρα ή σακκόφιλτρα) και υπολείμματα τα οποία παράγονται από τα συστήματα καθαρισμού των αερίων.

Για τον πλήρη έλεγχο των εκπομπών απαιτείται διενέργεια δειγματοληψιών και αναλύσεων για προσδιορισμό της σύστασης των:

• εισερχομένων στερεών αποβλήτων

• παραγόμενων στερεών (υπολείμματα - ιπτάμενη τέφρα)

• παραγόμενων αερίων

• υγρών αποβλήτων που παράγονται κατά την επεξεργασία των καυσαερίων

Η κοινοτική νομοθεσία έχει θέσει τα όρια που πρέπει να πληρούν οι ατμοσφαιρικές εκπομπές, τα υγρά απόβλητα από τον καθαρισμό των καυσαερίων και τα στερεά υπολείμματα από τη λειτουργία μονάδων αποτέφρωσης ΑΣΑ. Η ελληνική νομοθεσία θέτει τεχνικές προδιαγραφές όσον αφορά την ποιότητα του RDF δηλαδή των καύσιμων κλασμάτων των ΑΣΑ. Συγκεκριμένα η κατώτερη θερμογόνος δύναμη ορίζεται σε 4.000 Kcal/g, η υγρασία < 20% και το ποσοστό των χαρτιών και πλαστικών >95% (ξηρό βάρος).

2.4.3.3 Πυρόλυση

Οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς και κατά τη θέρμανσή τους απουσία οξυγόνου διαχωρίζονται μέσω ενός συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα. Η πυρολυτική διεργασία σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση είναι ισχυρά ενδόθερμη και για τη διεξαγωγή της απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της αποτελούν η σύσταση των στερεών αποβλήτων, η θερμογόνος δύναμή τους, η περιεχόμενη υγρασία κ.λ.π.

Για τις κυτταρίνες λαμβάνει χώρα η ακόλουθη αντίδραση (Γιδαράκος, 2003):

$$C_6H_{10}O_5 \xrightarrow{\theta} CH_4 + 3C + 3H_2O$$

Σε αυτήν την αντίδραση δεν προστίθεται οξυγόνο.

Τυπικά η πυρόλυση των οξυγονωμένων υδρογονανθράκων σε στερεά μορφή είναι η ακόλουθη:

$$\Sigma\tau\varepsilon\rho\varepsilon\acute{\alpha} \longrightarrow CO_2 + CO + H_2O + CH_4 + C_xH_y + NH_3$$

+ οργανικά πτητικά μη υγροποιημένα +πίσσα+κώκ

Οι περισσότερες οργανικές ουσίες στα απορρίμματα πυρολύονται κατά 75 –90 % σε πτητικά και 10 – 25 % σε κώκ. Λόγω όμως της παρουσίας υγρασίας και ανόργανων ουσιών η ποσότητα των πτητικών κυμαίνεται από 60 -70 % και του κώκ από 30 - 40 %.

Με την πυρόλυση των στερεών αποβλήτων σχηματίζονται προϊόντα όπως:

• Αέρια: Αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων

• Υγρά: Το υγρό κλάσμα είναι ελαιώδες με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες και περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη) καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω επεξεργασία το κλάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.

• Στερεά: Το στερεό υπόλειμμα περιέχει σχεδόν καθαρό άνθρακα και τυχόν αδρανή υλικά που υπάρχουν στα στερεά απόβλητα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει αισθητά το στερεό υπόλειμμα, ελαττώνει το υγρό κλάσμα και αυξάνει τα αέρια προϊόντα. Το ενεργειακό περιεχόμενο του υγρού κλάσματος εκτιμάται γύρω στα 9.000 Btu/lb, ενώ του αερίου – σε συνθήκες μέγιστης παραγωγής – στα 700 Btu/ft^3.

2.4.3.4 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι μια μέθοδος θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων, η οποία μέσω της ελεγχόμενης ατελούς καύσης τους, επιτυγχάνεται η παραγωγή καύσιμου αερίου πλούσιο σε H_2 και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως CH_4). Η διαφορά της αεριοποίησης με την πυρόλυση έγκειται στο γεγονός ότι στην αεριοποίηση τροφοδοτείται πρόσθετο καύσιμο αέριο για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα.

Η αεριοποίηση είναι θεωρητικά το επόμενο στάδιο της πυρόλυσης. Στο στάδιο αυτό το υπολειμματικό κώκ της πυρόλυσης οξειδώνεται (όχι με στοιχειομετρική αναλογία O_2) σε θερμοκρασία >800 ^{0}C. Ως μέσο αεριοποίησης χρησιμοποιείται ατμός, CO_2, O_2 ή αέρας. Η αεριοποίηση όπως και η πυρόλυση είναι διεργασίες που μπορούν να αποτελέσουν είτε τμήμα είτε το σύνολο της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων.

Οι κύριες αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \quad (\text{εξώθερμη})$$

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2 \quad (\text{ενδόθερμη})$$

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO \quad (\text{ενδόθερμη})$$

$$C + 2H_2 \rightarrow CH_4 \quad (\text{εξώθερμη})$$

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 \quad (\text{εξώθερμη})$$

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

• αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο

• στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή

• συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα που παρουσιάζει σύσταση παρόμοια με αυτή του υγρού κλάσματος που παράγεται κατά την πυρόλυση.

Οι εγκαταστάσεις αεριοποίησης μπορούν να λειτουργήσουν είτε με τροφοδοσία αέρα είτε με τροφοδοσία καθαρού οξυγόνου. Στην περίπτωση που υπάρχει τροφοδοσία με αέρα, λόγω της παρουσίας του ατμοσφαιρικού αζώτου, η θερμογόνος δύναμη του αέριου προϊόντος είναι χαμηλή και κυμαίνεται γύρω στα 150 Btu/ft^3. Η δε τυπική σύστασή του είναι: 10% CO_2, 20% CO, 15% H_2, 2% CH_4, 53% N_2.

Στην περίπτωση που η τροφοδοσία είναι καθαρό οξυγόνο, το ενεργειακό περιεχόμενο του αέριου προϊόντος ανεβαίνει στα 300 Btu/ft^3. Η δε τυπική σύστασή του είναι: 14% CO_2, 50% CO, 30% H_2, 4% CH_4, 1% C_xH_y, 1% N_2 και ενεργειακό περιεχόμενο μεταξύ 270 - 300 Btu/ft^3.

2.4.4 Υγειονομική Ταφή (ΥΤ)

Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 1999/31/ΕΚ ως Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ορίζεται:

«κάθε χώρος διάθεσης αποβλήτων για την απόθεση των αποβλήτων επί ή εντός του εδάφους ή υπογείως, συμπεριλαμβανομένων:

• των εσωτερικών χώρων διάθεσης των αποβλήτων (δηλαδή των ΧΥΤΑ στους οποίους ένας παραγωγός αποβλήτων πραγματοποιεί τη διάθεσή τους στον τόπο παραγωγής)
• κάθε μόνιμος (δηλαδή χρησιμοποιούμενος άνω του έτους) χώρος προσωρινής εναποθήκευσης αποβλήτων

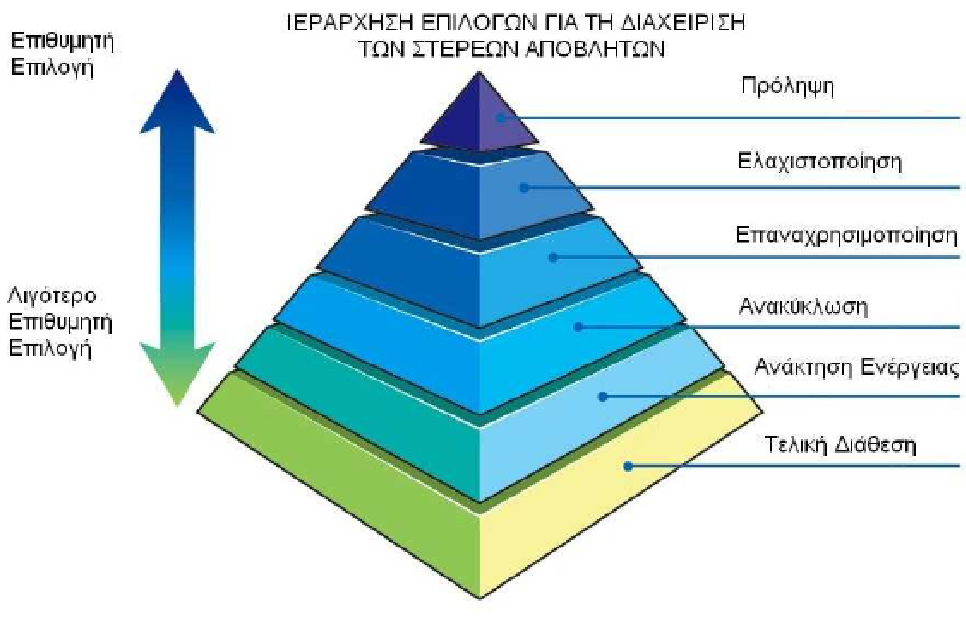
Αλλά εξαιρουμένων:
• των εγκαταστάσεων στις οποίες εκφορτώνονται τα απόβλητα με σκοπό την προετοιμασία τους για περαιτέρω μεταφορά τους προς ανάκτηση χρήσιμων υλών, επεξεργασία ή διάθεση αλλού και
• της εναποθήκευσης των αποβλήτων πριν από την ανάκτηση χρήσιμων υλών ή την επεξεργασία για διάστημα μικρότερο των τριών ετών κατά γενικό κανόνα και
• της εναποθήκευσης αποβλήτων πριν από τη διάθεση για διάστημα μικρότερο του έτους».
Κάθε χώρος ταφής κατατάσσεται σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:
• χώρος ταφής επικίνδυνων αποβλήτων,
• χώρος ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων,
• χώρος ταφής αδρανών αποβλήτων.
Οι χώροι υγειονομικής ταφής ΑΣΑ ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία. Σε χώρο ταφής επικίνδυνων αποβλήτων γίνονται δεκτά μόνον επικίνδυνα απόβλητα τα οποία πληρούν τα κριτήρια που καθορίζονται σύμφωνα με την οδηγία 1999/31/ΕΚ, παράρτημα ΙΙ. Σε χώρους λοιπόν ταφής επικινδύνων αποβλήτων μπορούν να διατίθενται απόβλητα που καταρχήν καλύπτονται από την οδηγία 91/689/ΕΟΚ. Ωστόσο, αυτά τα απόβλητα δεν πρέπει να γίνονται δεκτά χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, εάν παρουσιάζουν συνολική περιεκτικότητα ή στραγγισιμότητα δυνητικά επικίνδυνων συστατικών αρκετά υψηλή, ώστε να ενέχει βραχυπρόθεσμους επαγγελματικούς ή περιβαλλοντικούς κινδύνους ή να εμποδίζει την επαρκή σταθεροποίηση των αποβλήτων εντός της προβλεπόμενης διάρκειας λειτουργίας του χώρου ταφής.
Σε κάθε περίπτωση σε έναν Χώρο υγειονομικής ταφής επικινδύνων αποβλήτων καταλήγουν μη υγρά επικίνδυνα απόβλητα τα οποία δεν μπορούν να επεξεργαστούν ή διατεθούν με άλλο τρόπο, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.
Η δυναμική ενός ΧΥΤΑ να ρυπάνει το περιβάλλον αποτελείται από 3 φάσεις:
• Στερεή (αποδομημένα απορρίμματα)
• Υγρή (στραγγίσματα)

• Αέρια (βιοαέριο).

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2-7) απεικονίζεται σχηματικά η διαδικασία αποδόμησης των απορριμμάτων σε έναν ΧΥΤΑ με τις διάφορες αντιδράσεις και προϊόντα.

Σχήμα 2-7. Συστημική απεικόνιση ενός ΧΥΤΑ (Ντζαμίλης και Χάβας, 2004)

Η διάθεση σε χώρο υγειονομικής ταφής (ΧΥΤ) είναι η πλέον οικονομική και περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος διάθεσης ΑΣΑ. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία η ελαχιστοποίηση στην πηγή, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η ανάκτηση ενέργειας και η λιπασματοποίηση έχουν προτεραιότητα έναντι της υγειονομικής ταφής ως εναλλακτικές μορφές διαχείρισης των ΑΣΑ. Επειδή όμως πάντοτε υπάρχουν ΑΣΑ που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν ή να αξιοποιηθούν ενεργειακά η υγειονομική ταφή θα αποτελεί το τελευταίο αλλά απαραίτητο τμήμα κάθε συστήματος διαχείρισης (Σχήμα 2-8).

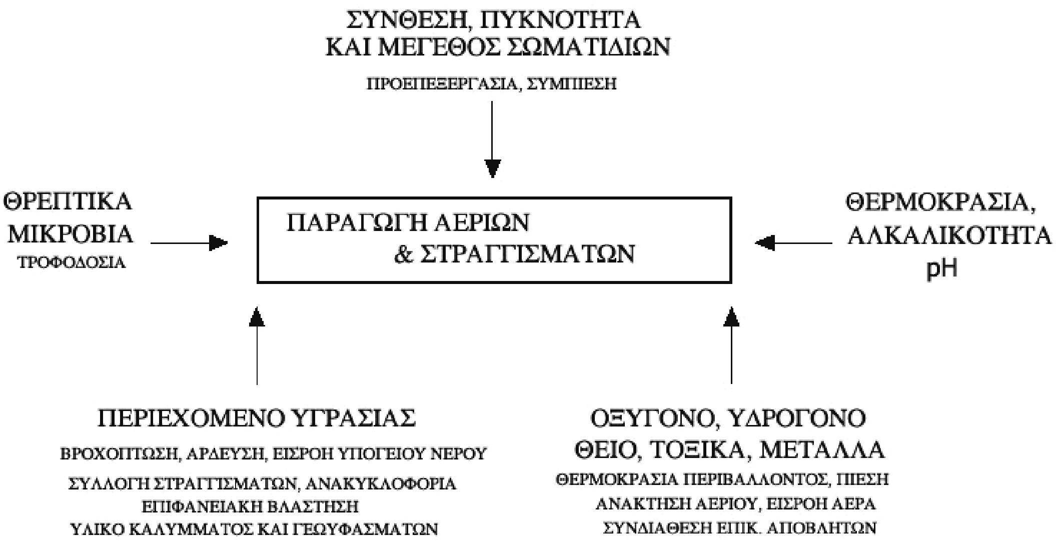


Σχήμα 2-8. Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων (ΕΕΔΣΑ, 2006)

Η οδηγία του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης 1999/31/EC προχωρεί ουσιαστικά στη σταδιακή κατάργηση του ΧΥΤ σαν αποδέκτη βιοαποδομήσιμης οργανικής ύλης. Η απαίτηση αυτή θα οδηγήσει σε πρόσθετες μεγάλες ποσότητες ΑΣΑ για καύση. Επομένως η σημερινή σημασία του όρου «υγειονομική ταφή» είναι ο χώρος διαμορφωμένος με βάση τις αρχές της επιστήμης του μηχανικού που χρησιμοποιείται για την εναπόθεση των υπολειμμάτων των ΑΣΑ επί του εδάφους, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι αρνητικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

Το βασικό χαρακτηριστικό και δομικό στοιχείο ενός ΧΥΤ είναι το **κύτταρο (cell)** που αποτελείται από τα απορρίμματα μιας λειτουργικής περιόδου, συνήθως μιας ημέρας, συμπιεσμένα και καλυμμένα με στρώση εδαφικού υλικού. Η στρώση του εδαφικού υλικού αποτελείται από 15-30cm χώματος ή άλλων εναλλακτικών υλικών (π.χ. compost) και αποσκοπεί στο να παρεμποδίζει την είσοδο και έξοδο τρωκτικών και εντόμων, την είσοδο ύδατος στο χώρο των ΑΣΑ κατά τη λειτουργική περίοδο, καθώς και το διασκορπισμό των ΑΣΑ με τον άνεμο τα ύδατα και τα ζώα από τον ΧΥΤ προς τον περιβάλλοντα χώρο.

Διασταλλάγματα ή στραγγίσματα (leachates) είναι τα υγρά που συλλέγονται στον πυθμένα του ΧΥΤ. Είναι το αποτέλεσμα της κατείσδυσης ομβρίων, ανεξέλεγκτης επιφανειακής απορροής, ύδατος που περιέχεται αρχικά στα απόβλητα και υπογείου ύδατος σε περιοχές ρηχού υδροφόρου ορίζοντα (Σχήμα 2-9).



Σχήμα 2-9. Παράγοντες που επιδρούν στην παραγωγή στραγγισμάτων και αερίων σε ΧΥΤΑ (Ντζαμίλης και Χάβας, 2004)

Το βιοαέριο (biogas ή landfill gas) είναι μίγμα αερίων (CH_4, CO_2) που αποτελούν προϊόντα της αναερόβιας αποδόμησης της οργανικής ύλης των αποβλήτων. Τα άλλα συστατικά του βιοαερίου είναι ατμοσφαιρικό N_2, O_2, NH_3 και μικρές συγκεντρώσεις οργανικών ενώσεων.

Τελική κάλυψη

Σκοπός του συστήματος τελικής κάλυψης είναι η αποτροπή οποιοδήποτε αρνητικών επιπτώσεων από στερεά, υγρά και αέρια απόβλητα μιας ελεγχόμενης εναπόθεσης. Η τελική κάλυψη πρέπει να εξασφαλίζει (Σκορδίλης, 2001):

1. Την ελαχιστοποίηση της εισροής ομβρίων στο χώρο
2. Την ικανοποιητική απορροή των βροχοπτώσεων
3. Την αποτροπή κατείσδυσης των κατακρημνίσεων στο εσωτερικό του χώρου
4. Την αποτροπή πλευροδιηθήσεων στα πρανή
5. Την αποτροπή εκπομπών βιοαερίου εκτός του χώρου.

Η αποκατάσταση ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης αποβλήτων είναι το πρώτο και βασικότερο βήμα για τη λύση του γενικότερου προβλήματος που δημιουργούν τα απόβλητα. Αποκατάσταση ανεξέλεγκτων απορρίψεων:

1. Σαν πρόβλημα της Δημόσιας Υγείας και Επιδημιολογίας
2. Σαν πρόβλημα της προστασίας του περιβάλλοντος
3. Σαν πρόβλημα διαπαιδαγώγησης μιας υπεύθυνης συμπεριφοράς του κοινού στο περιβάλλον και την προστασία της φύσης

Τα μέτρα για την αποκατάσταση χωρίζονται ανάλογα με τις επείγουσες ανάγκες σε βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα και περιλαμβάνουν:

1. Απομάκρυνση των αποβλήτων
2. Διαμόρφωση του χώρου

Εάν ο χώρος είναι κατάλληλος και ο όγκος είναι ικανός για τη λειτουργία του χώρου για τουλάχιστον 5-10 χρόνια μετατρέπεται ο χώρος ανεξέλεγκτης απόρριψης σε χώρο ελεγχόμενης εναπόθεσης σύμφωνα με σχέδιο που θα πρέπει να γίνει για το έργο.

2.5 Ολοκληρωμένη διαχείριση στερεών αποβλήτων

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει:

- Προσωρινή αποθήκευση, που περιλαμβάνει την τοποθέτηση των στερεών αποβλήτων σε υποδοχείς απορριμμάτων ή σε χώρους προσωρινής αποθήκευσης. Για συστήματα που χρησιμοποιούν τη διαλογή στην πηγή ο αριθμός των κάδων ποικίλει ανάλογα με τα ρεύματα διαχωρισμού των στερεών αποβλήτων, ενώ κατά την τεχνική συλλογής «πόρτα-πόρτα», οι κάτοικοι τοποθετούν στην πόρτα τους τα προς ανάκτηση υλικά (εφημερίδες, φιάλες, κουτιά) προκαθορισμένες μέρες, ώστε να συλλεχθούν από το όχημα συλλογής και να οδηγηθούν προς ανακύκλωση.
- Συλλογή-μεταφορά, που περιλαμβάνει την αποκομιδή των απορριμμάτων, τα οποία έχουν αποθηκευτεί και τη μεταφορά τους στους χώρους επεξεργασίας. Η συχνότητα συλλογής καθορίζεται ως συνάρτηση των παραγόμενων ποσοτήτων στερεών αποβλήτων και της περιβαλλοντικής πολιτικής που υιοθετεί κάθε δήμος. Τα οχήματα συλλογής μπορούν να μεταφέρουν τα ΑΣΑ, είτε στους χώρους επεξεργασίας, είτε σε Σταθμούς Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ), όπου συμπιέζονται, και έπειτα καταλήγουν μέσω οχημάτων υποδοχής ή μεταφόρτωσης στους χώρους επεξεργασίας. Η ύπαρξη ή μη ενός ΣΜΑ είναι συνάρτηση της απόστασης των σημείων συλλογής και του χώρου τελικής διάθεσης ή επεξεργασίας.
- Επεξεργασία, που αναφέρεται στις διεργασίες που αναλύθηκαν εκτενώς στο κεφάλαιο 2 και περιλαμβάνουν ανακύκλωση, βιολογική επεξεργασία, θερμική επεξεργασία.
- Τελική διάθεση, που αναφέρεται στην υγειονομική ταφή και πρέπει να είναι η τελευταία επεξεργασία σε κάθε ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ΑΣΑ. Στόχος της περιβαλλοντικής πολιτικής είναι η διάθεση όσο το δυνατόν λιγότερων στερεών αποβλήτων, ενώ κανένα απόβλητο δεν θα πρέπει να αποτίθεται στο έδαφος χωρίς προηγουμένως να έχει υποστεί κάποια από τις παραπάνω μεθόδους επεξεργασίας.

2.6 Οικονομικά στοιχεία διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων

Το κόστος διαχείρισης στερεών αποβλήτων σε επίπεδο χώρας ή δήμου διαφοροποιείται ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, τον πληθυσμό, τα κοινωνικά δεδομένα, τα πολιτιστικά χαρακτηριστικά, τις καταναλωτικές συνήθειες, τον υπάρχοντα τεχνολογικό εξοπλισμό, καθώς και ανάλογα με τα οικονομικά κριτήρια που αφορούν κυρίως το βιοτικό επίπεδο των πολιτών (Καραΐσκου, 2006). Σε κάθε φάση ενός συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ τα κόστη που διακρίνονται είναι το κόστος επένδυσης, το κόστος λειτουργίας και το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος λειτουργίας μιας μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ είναι η παλαιότητα της μονάδας, το ύψος των αποσβέσεων και ο τρόπος χρηματοδότησης της επένδυσης, η ισχύουσα νομοθεσία και η χωροθέτησή της.

Στην Αμερική οι δαπάνες για τις εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών ποικίλλουν από περίπου 20$ έως 40$/τόνο ανάλογα με τη χωρητικότητά τους, ενώ το κόστος ενός σύγχρονου χώρου υγειονομικής ταφής, σύμφωνα με τους τρέχοντες αμερικάνικους κανονισμούς και τη χωρητικότητα του, κυμαίνεται από 10$ μέχρι 129$ ανά τόνο. Όσον αφορά το κόστος συλλογής-μεταφοράς δεν υπερβαίνει το 50% του συνολικού κόστους διαχείρισης. Αντίθετα όσο πιο απλό (με ή χωρίς επεξεργασία) είναι το σύστημα διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων τόσο μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους αφορά στη συλλογή-μεταφορά των στερεών αποβλήτων.

Η Υγειονομική Ταφή εξακολουθεί να αποτελεί ακόμα και σήμερα την οικονομικότερη μέθοδο διάθεσης. Με μοναδική δυνατότητα ανάκτησης αυτής της ανάκτησης ενέργειας, μέσω της αξιοποίησης του βιοαερίου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η μέθοδος της διάθεσης συνεπάγεται σπατάλη φυσικών πόρων. Η έλλειψη διαθέσιμης γης αλλά και οι κοινωνικές αντιδράσεις (σύνδρομο NIMBY- Not In My Back Yard) δημιουργούν διαρκώς αυξανόμενα προβλήματα εξεύρεσης χώρων για την εγκατάσταση νέων ΧΥΤΑ. Στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπου η νομοθεσία θέτει αυστηρές προδιαγραφές για την υγειονομική ταφή, το κόστος διάθεσης κυμαίνεται από 30 έως 50€/τόνο.

Οι Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας για να περιορίσουν της εκπομπές επικίνδυνων ρύπων συνοδεύονται από υψηλά κόστη επένδυσης, αλλά η λειτουργία τους αποδεικνύεται συχνά αποδοτική οικονομικά (μικρές ανάγκες σε γη, να έχει προηγηθεί διαλογή στην πηγή, έσοδα από την ενεργειακή ανάκτηση). Το κόστος επένδυσης που απαιτείται για μια εγκατάσταση αποτέφρωσης ποικίλει ανάλογα με την δυναμικότητα της εγκατάστασης, την εφαρμοζόμενη μέθοδο, την αποτελεσματικότητα των συστημάτων αντιρρύπανσης και την πρακτική τελικής διάθεσης των καταλοίπων.

Με βάση το σύστημα συλλογής και τις μεθόδους επεξεργασίας που εφαρμόζονται ανά χώρα παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις στο κόστος διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Χαρακτηριστικά στο Βέλγιο το συνολικό μέσο κόστος για την αποκομιδή και την επεξεργασία δημοτικών αποβλήτων εκτιμάται σε

88,60€/κάτοικο/έτος. Αυτές οι δαπάνες περιλαμβάνουν τον "φόρο αποβλήτων" ή τον "περιβαλλοντικό φόρο" που πληρώνεται στους δήμους. Ένας δήμος μπορεί να επιλέξει αν θα επιβάλει έναν φόρο αποβλήτων ή έναν περιβαλλοντικό φόρο στους κατοίκους του. Ο μέσος φόρος αποβλήτων είναι €54,76 και ο μέσος περιβαλλοντικός φόρος είναι €69,75 (στοιχεία του 2000).

Στη Δανία αρμόδιοι για την διαχείριση των αποβλήτων (275 δήμοι) και ειδικά για τη διάθεση αποβλήτων και την αποτέφρωση είναι οι διαδημοτικές ενώσεις. Επίσης, σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο οι δήμοι είναι υποχρεωμένοι να συλλέγουν και να ανακυκλώνουν το χαρτί και το γυαλί από τα νοικοκυριά. Στο πλαίσιο αυτό τα νοικοκυριά καταβάλλουν μια αμοιβή που καλύπτει όλες τις δαπάνες του Δήμου για τη διαχείριση που παρέχει, με κόστος που κυμαίνεται από 107€ έως 147€ ανά κάτοικο ετησίως, συμπεριλαμβανομένης της αποκομιδής, της επεξεργασίας, της ανάκτησης, της διάθεσης, καθώς και των δράσεων πληροφόρησης και ενημέρωσης, κλπ.

Στη Γαλλία το συνολικό κόστος (κόστος επένδυσης + κόστος λειτουργίας) της συλλογής ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται (πόρτα-πόρτα, κλπ.) κυμαίνεται από 53€/τόνο έως 206€/τόνο, της διαλογής από 114€/τόνο έως 229€/τόνο, της κομποστοποίησης από 30€/τόνο έως 99€/τόνο, της αποτέφρωσης από 69€/τόνο έως 137€/τόνο και των χώρων υγειονομικής ταφής από 38€/τόνο έως 91€/τόνο.

Στη Γερμανία το συνολικό κόστος του ‘Συστήματος Ανακύκλωσης Συσκευασιών’ Duales System Deutschland (DSD) για το έτος 1999 ανήλθε στα 3,7 δις €, που αντιστοιχούν σε περίπου 22,5€/κάτοικο/έτος. Συγκριτικά αναφέρεται ότι το κόστος για το 1995 ήταν 4,1 δις €. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει τη συλλογή και διαλογή γυαλιού, χαρτιού/χαρτονιού και ελαφρών συσκευασιών, την επιχορήγηση της ανακύκλωσης πλαστικού, το κόστος των δημοσίων σχέσεων και των ενημερωτικών εκστρατειών, καθώς και το κόστος της έρευνας και ανάπτυξης καινοτόμων μεθόδων ανακύκλωσης.

Στην Ιταλία το κόστος της παροχής υπηρεσιών διαχείρισης στερεών αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένου του κόστους συλλογής, επεξεργασίας και διάθεσης) υπολογίζεται σε 4.211 εκατομμύρια € που αντιστοιχεί σε 75€/κάτοικο/έτος, από το οποίο το μέσο κόστος διάθεσης κυμαίνεται από 55 έως 60€/τόνο. Το κόστος διάθεσης ποικίλει (από €20/τόνο μέχρι €180/τόνο) από δήμο σε δήμο λόγω της επιλογής του συστήματος συλλογής, του πληθυσμού της περιοχής (αστικός, ημιαστικός, αγροτικός) και το κόστος επεξεργασίας και διάθεσης.

Στη Σουηδία, όπου η συνολική παραγωγή αποβλήτων το 1999 ανέρχονταν σε 3.794.000 τόνους (428 kg/κάτοικο), το μέσο κόστος διαχείρισης των αποβλήτων εκτιμάται σε 130€/οικογένεια/έτος και με την επιβολή φόρου στους ΧΥΤΑ το κόστος ανήλθε σε 155€ ανά οικογένεια σύμφωνα με τα στοιχεία του 2000. Το κόστος υγειονομικής ταφής των αποβλήτων κυμαίνεται από 45-110€/τόνο.

Στην Ελλάδα το κόστος της αποκομιδής-συλλογής (€/τόνο) εμφανίζεται υψηλότερο στις αγροτικές περιοχές, από ότι στις αστικές περιοχές. Αυτό εξηγείται λόγω των διαφορετικών πυκνοτήτων του πληθυσμού, του διαφορετικού σχεδιασμού και προγραμματισμού αποκομιδής με τα οχήματα αποκομιδής που πρέπει συνήθως να καλύψουν μεγαλύτερες αποστάσεις για να συλλέξουν τα απόβλητα. Οι ενδεικτικές δαπάνες για τη συλλογή, με τη μεταφορά σε μια απόσταση 10km, δίνονται στον Πίνακα 2-1.

Πίνακας 2-1. Ενδεικτικό κόστος συλλογής

Πληθυσμός	Κόστος συλλογής (€/τόνο)
5.000	67
20.000	40
30.000-90.000	26-36,5
>100.000	25,2

Στην Ελλάδα σε μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2001 προκύπτει ότι το συνολικό κόστος διαχείρισης κυμαίνεται από 21€/τόνο έως 155€/τόνο, ανάλογα με τις αποστάσεις, τις ετήσιες ποσότητες και τη μέθοδο εδαφικής διάθεσης. Το κόστος συλλογής και μεταφοράς αποτελεί το 91% του συνολικού κόστους και το κόστος διάθεσης αποτελεί κατά μέσο όρο το 9% του συνολικού κόστους διαχείρισης. Το κατά μέσο όρο ετήσιο κόστος διαχείρισης απορριμμάτων ανά κάτοικο εκτιμάται σε 42€/έτος με ελάχιστο και μέγιστο κόστος τα 11€/κάτοικο/έτος και τα 130€/κάτοικο/έτος ετησίως, αντίστοιχα. Τα παραπάνω στοιχεία της Ελλάδας είναι συγκρίσιμα με χώρες όπου το κόστος διάθεσης είναι χαμηλό (λόγω χαμηλής τεχνολογίας, έλλειψης φόρων ταφής κλπ.), και το κόστος συλλογής και μεταφοράς αποτελεί συνήθως τουλάχιστον το 80% του συνολικού κόστους του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων, ανάλογα με τη μέθοδο εδαφικής διάθεσης. Ωστόσο όσο εισάγονται νέες αλλά πιο δαπανηρές επεξεργασίες το ποσοστό αυτό μειώνεται.

3. Περιγραφή μελετούμενης περιοχής

Εισαγωγή

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε να μελετηθεί η περιοχή των Κυκλάδων (Σχήμα 3-1), και συγκεκριμένα για μικρά νησιά με πληθυσμό μικρότερο των 500 κατοίκων. Για αυτό το σκοπό μελετήθηκαν τα νησιά Κουφονήσια, Σχοινούσα, Ηρακλειά, Δονούσα και η νήσος Νάξος ως μητροπολιτικό νησί. Για τα συγκεκριμένα νησιά παρατίθενται στοιχεία που καλύπτουν τη γεωμορφολογία, το κλίμα, τον πληθυσμό κλπ.

Σχήμα 3-1. Χάρτης Κυκλάδων, όρια μελετώμενης περιοχής

Νάξος

Η έκταση της Νάξου είναι 435 km^2 και το μήκος των ακτών της 91 km (). Το σχήμα της είναι ελλειψοειδές και το νησί διασχίζει ένας ορεινός όγκος από Βορά προς Νότο.

Τα βουνά Ζας (1004 m) και Φανάρι (908 m) είναι τα υψηλότερα των Κυκλάδων. Το τοπίο του νησιού παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία. Η ακτογραμμή της είναι σχεδόν ευθύγραμμη και δεν σχηματίζει μεγάλα φυσικά λιμάνια, γεγονός που επηρέασε τις ασχολίες των κατοίκων από τα αρχαία χρόνια. Στο νησί υπάρχουν ακτές οι οποίες συνοδεύονται από μικρούς ορμίσκους.

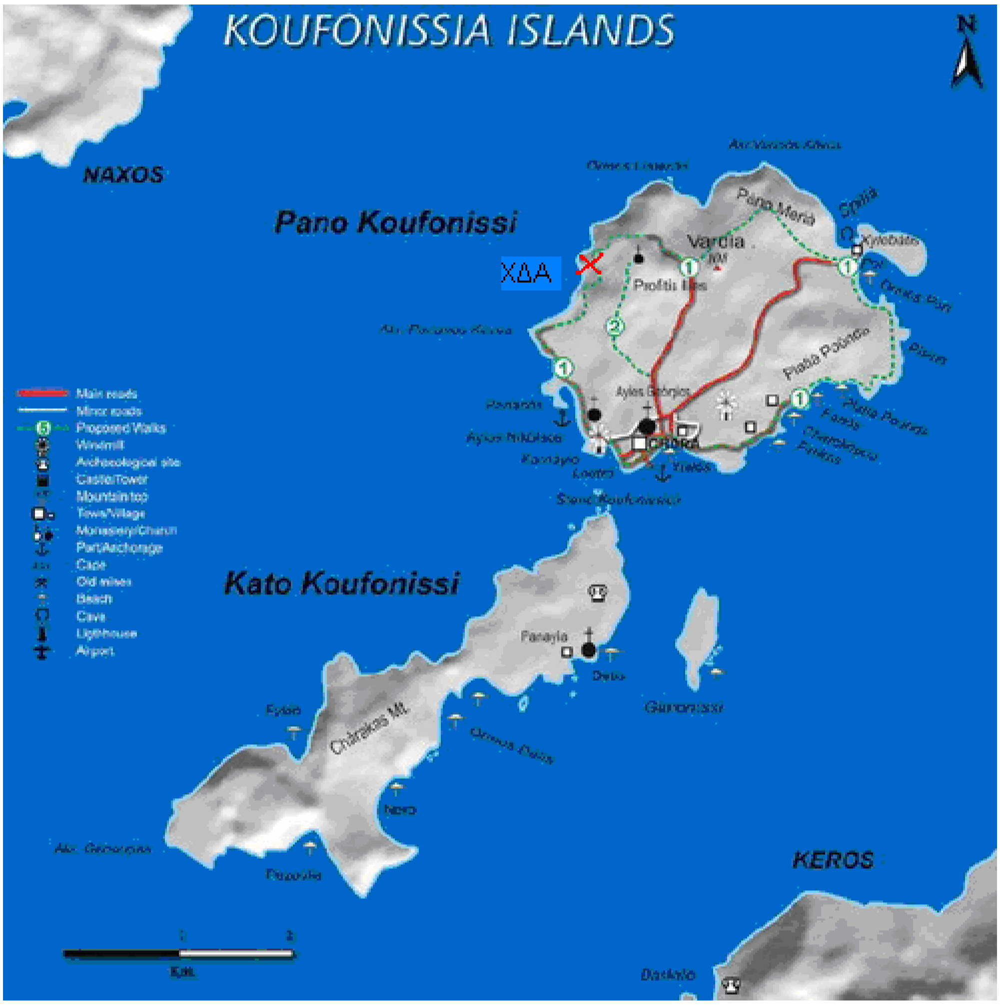
Από γεωλογική άποψη το υπέδαφος παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον εξαιτίας της παρουσίας της σμύριδας, του μαρμάρου και του γρανίτη, τα οποία είναι εκμεταλλεύσιμα προϊόντα.
Στο νησί υπάρχουν δύο μετεωρολογικοί σταθμοί. Από τα καταγεγραμμένα στοιχεία των σταθμών η ελάχιστη θερμοκρασία που έχει σημειωθεί είναι -1^o C (η μέτρηση ανά 300 m υψόμετρο αυξάνεται κατά δύο βαθμούς, επομένως τα ορεινά χωριά θα είχαν -5^o C). Η μέγιστη μέτρηση θερμοκρασίας ήταν 40^o C το καλοκαίρι του 2007. Το μέσο ύψος ετήσιας βροχόπτωσης είναι 350 έως 400 mm, με μεγαλύτερη τιμή τα 691 mm η οποία σημειώθηκε την περίοδο 2003-2004. Οι πιο δυνατοί άνεμοι ήταν της τάξεως 12-13 Beaufort οι οποίοι εκδηλώθηκαν το έτος 2004.

Κουφονήσια

Ένα μικρό σύμπλεγμα δύο νησίδων νοτιοανατολικά της Νάξου και δυτικά της Αμοργού. Ένας πορθμός πλάτους 200 m χωρίζει το Πάνω Κουφονήσι, από το ακατοίκητο πλέον Κάτω Κουφονήσι (Σχήμα 3-2).

- Έκταση: 3,5 km^2 το Πάνω και 4,3 km^2 το Κάτω Κουφονήσι.
- Μορφολογία εδάφους: Πεδινό τοπίο με άμμο και μαλακούς βράχους που σχηματίζουν σπηλιές, από όπου πήραν και το όνομά τους τα νησιά. Το νησί είναι σχεδόν επίπεδο. Ψηλότερη κορυφή είναι ο Προφήτης Ηλίας με ύψος 100m.
- Κλίμα: Ήπιο το χειμώνα, δροσερό το καλοκαίρι.
- Οικισμοί: Στο Πάνω Κουφονήσι ο μικρός οικισμός είναι χτισμένος στη νοτιοανατολική πλευρά, όπου βρίσκεται και το λιμάνι. Στο Κάτω Νησί υπάρχουν ελάχιστα σπίτια που φιλοξενούν τους κατοίκους τους το καλοκαίρι.
- Πληθυσμός: 366 κάτοικοι. Το Πάνω Κουφονήσι είναι το πιο πυκνοκατοικημένο νησί με 105 κατοίκους ανά km^2.

- <u>Ασχολίες Κατοίκων</u>: Κατά κύριο λόγο ασχολούνται με την αλιεία. Το νησί διαθέτει το μεγαλύτερο αλιευτικό στόλο στην Ελλάδα σε αναλογία με τον πληθυσμό του. Σήμερα όμως αναπτύσσεται ραγδαία και ο τουρισμός.



Σχήμα 3-2. Χάρτης Κουφονησίων, θέση ΧΔΑ

Στο Πάνω Κουφονήσι λειτουργεί από το 1991 Χώρος Διάθεσης στερεών Αποβλήτων με χωρητικότητα περίπου 15.000 m^3. Ο ΧΔΑ (Εικόνα 3-3) απέχει περίπου 1,5 km από τον οικισμό του νησιού και τα απορρίμματα συλλέγονται και μεταφέρονται με ειδικό απορριμματοφόρο περιστρεφόμενου τυμπάνου. Η διάστρωση και συμπίεση των ΑΣΑ γίνεται με ειδικό μηχάνημα. Η εβδομαδιαία συχνότητα συλλογής ποικίλει από 3-4 φορές το χειμώνα σε 6-7 φορές το καλοκαίρι.

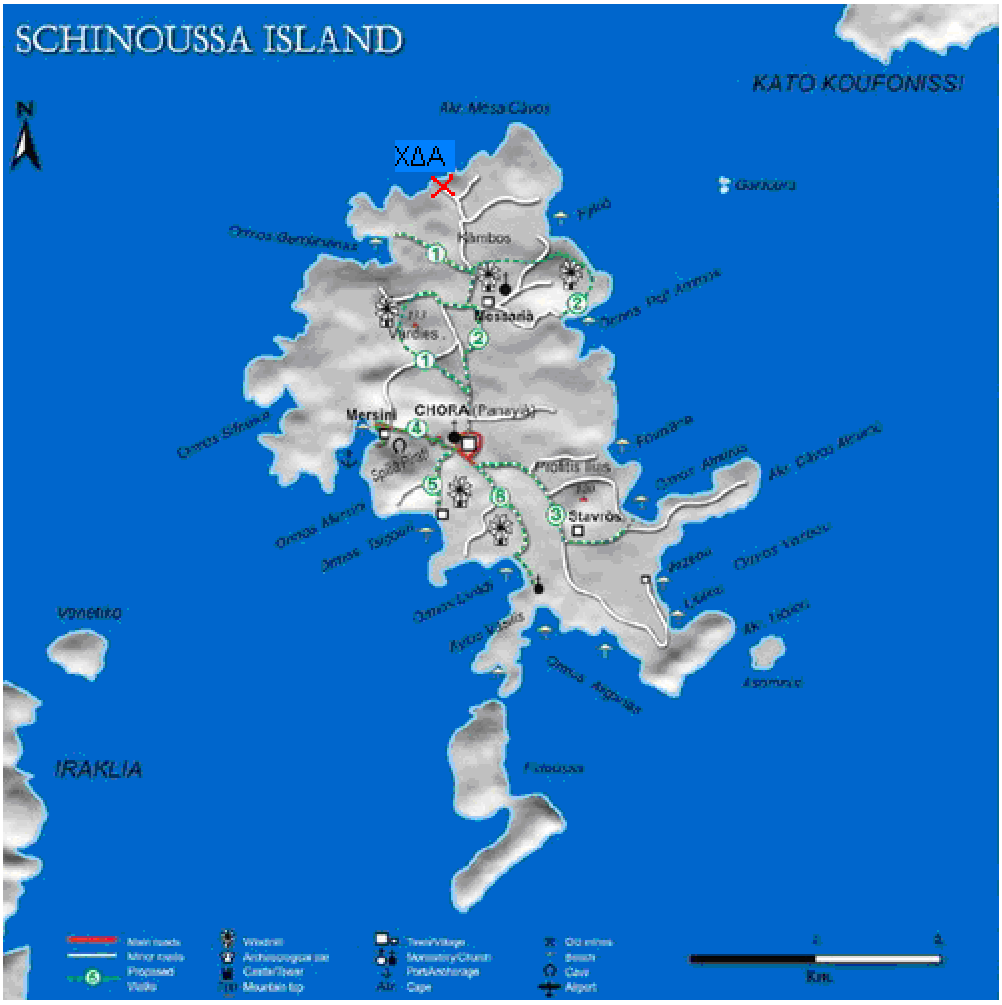
Εικόνα 3-3. ΧΔΑ Κουφονησίων

Σχοινούσα

Ένα ακόμη νησί των Μικρών Κυκλάδων. Η Σχοινούσα (Σχήμα 3-4) βρίσκεται νότια της Νάξου, ανάμεσα στα Κουφονήσια και την Ηρακλειά.

- Έκταση: 8,51 km^2.
- Μορφολογία Εδάφους:Το σχήμα της είναι ποικιλόμορφο, με πάρα πολλούς όρμους και χερσονήσους. Το έδαφός της είναι ομαλό. Ομαλές πλαγιές, χαμηλοί λόφοι και μικρές κοιλάδες. Ψηλότερη κορυφή της είναι ο Μύλος του λόφου Βάρδιες 133 m. Το έδαφός της αποτελείται από σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους και ψαμμίτες. Η γη της είναι εύφορη και καλλιεργείται σχεδόν ολόκληρη.
- Κλίμα: Δροσερό, χωρίς απότομες μεταβολές
- Οικισμοί: Μερσίνι (λιμάνι), Χώρα ή Παναγιά (απέχει 1.200 m από το λιμάνι) και Μεσσαριά.
- Πληθυσμός: 206 κάτοικοι με πυκνότητα 24 κατοίκους ανά km^2
- Ασχολίες Κατοίκων: Γεωργία, κτηνοτροφία, αλιεία, τουρισμός.

- Γύρω νησιά: Οφειδούσα ή Φιδού. Νοτιότερα η Άργιλος και νοτιοανατολικά το Ασπρονήσι.



Σχήμα 3-4. Χάρτης Σχοινούσας

Στη Σχοινούσα λειτουργεί από το 1996 Χώρος Διάθεσης στερεών Αποβλήτων. Ο ΧΔΑ (Εικόνα 3-5) απέχει περίπου 1 km από τον οικισμό Μεσαριά και τα απορρίμματα συλλέγονται και μεταφέρονται με φορτηγό γενικής χρήσης, χωρίς συμπίεση. Η εβδομαδιαία συχνότητα συλλογής ποικίλει από 3-4 φορές το χειμώνα σε 6-12 φορές το καλοκαίρι.

Εικόνα 3-5. ΧΔΑ Σχοινούσας

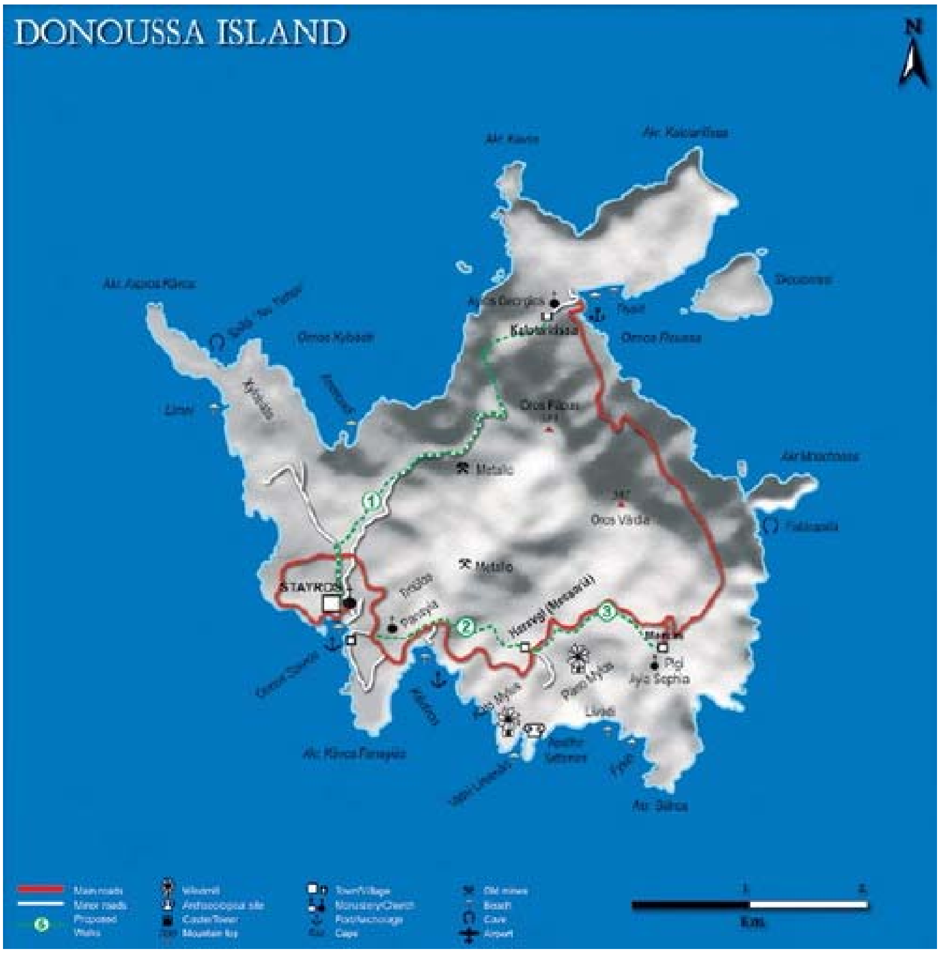
Δονούσα

Το βορειότερο και ανατολικότερο νησί των Μικρών Κυκλάδων βρίσκεται δυτικά της Νάξου και βόρεια της Αμοργού. Η Δονούσα (Σχήμα 3-6) απέχει 15 ναυτικά μίλια από τη Νάξο και 14 ν.μ. από την Αιγιάλη της Αμοργού. Τα μικρά λιμάνια και οι κέδροι αποτελούν χαρακτηριστικά γνωρίσματα του νησιού.

- Έκταση: 13,75 km^2.
- Μορφολογία εδάφους: Ψηλότερη κορυφή είναι η Βάρδια με ύψος 386 m
- Κλίμα: Επικρατούν οι άνεμοι που έρχονται από το Ικάριο.
- Οικισμοί: Εντοπίζονται πέντε μικροί οικισμοί. Ο Σταυρός, λιμάνι και πρωτεύουσα, βρίσκεται στο νότιο μέρος και είναι απάνεμο από τους βοριάδες. Τα άλλα χωριά είναι η Καλοταρίτισσα, ο Τρούλος, η Μεσαριά (Χαραυγή) και το Μερσήνι.
- Πληθυσμός: 163 κάτοικοι με πυκνότητα 12 κατοίκους ανά km^2
- Ασχολίες Κατοίκων: Παλιότερα καλλιεργούσαν καπνό και κρεμμύδια. Τη δεκαετία του 1920 έκαναν εξόρυξη χαλκού, καλαμίνας, λουλακιού και άτσαχα

(λευκή πέτρα που χρησιμοποιείτο στην παρασκευή γυαλικών). Σήμερα ασχολούνται κυρίως με την κτηνοτροφία (εκτρέφουν κατσίκια στο γειτονικό Σκουλονήσι), την αλιεία και τον τουρισμό.

- Γύρω νησιά: : Ανατολικά οι βραχονησίδες Σκουλονήσι και Μοσχονάς. Δυτικά οι Μάκαρες. Αποτελούνται από τη Στρογγύλη, την Αγία Παρασκευή και το Μεγάλο Νησί.

- 

Σχήμα 3-6. Χάρτης Δονούσας

Ηρακλειά

Το δυτικότερο νησί των Μικρών Κυκλάδων. Η Ηρακλειά (Σχήμα 3-7) απέχει 18 ναυτικά μίλια από τη Χώρα της Νάξου και 2,5 ν.μ. από τα νότια ακρωτήρια Γαϊτάνι και Κατωμέρι Νάξου, 1 ν.μ. από τη Σχοινούσα και 5 ν.μ. από το Κουφονήσι.

- Έκταση: 17,79 km^2.
- Μορφολογία Εδάφους: Ορεινό νησί, με αρκετή βλάστηση, φραγκοσυκιές και κέδρους, και αρκετά πηγαία νερά. Ψηλότερη κορυφή είναι ο Πάπας με ύψος 419 m. Από εδώ πηγάζουν τα νερά με τα οποία υδρεύεται ο οικισμός Παναγιά.
- Κλίμα: Ήπιοι άνεμοι
- Οικισμοί: Άγιος Γεώργιος ή Λιμάνι και Παναγιά ή Πάνω Μερά στο Κέντρο του Νησιού. Δρόμος ενώνει τους δύο οικισμούς που απέχουν 5 km. Δυτικά βρίσκεται ο Άγιος Αθανάσιος.
- Πληθυσμός:151 κάτοικοι με πυκνότητα 8 κατοίκους ανά km^2
- Ασχολίες Κατοίκων: Μελισσοκομία, κτηνοτροφία, γεωργία.
- Γύρω νησιά: Ανατολικά το Βενέτικο, στην είσοδο της παραλίας Λιβάδι. Νοτιοδυτικά ο Μικρός και ο Μεγάλος Αβελάς.

Σχήμα 3-7. Χάρτης Ηρακλειάς

Στον Πίνακα 3-1 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα στοιχεία της μελετώμενης περιοχής.

Πίνακας 3-1. Συγκεντρωτικά στοιχεία μελετώμενης περιοχής

	Έκταση	**Πληθυσμός**	**Κλίνες**
Νάξος	435 km^2	18.188	21.112
Κουφονήσια	3,5 km^2	366	2.500
Σχοινούσα	8,51 km^2	206	430
Δονούσα	13,75 km^2	163	200
Ηρακλειά	17,79 km^2	151	450

4. Πειραματικό μέρος

4.1 Μεθοδολογία Δειγματοληψίας Στερεών Αποβλήτων

Η δειγματοληψία σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε με βάση τις διεθνείς προδιαγραφές όπως αυτές αποτυπώνονται στο πρότυπο ASTM D5231-92 (2003) (Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste), και στον κανονισμό RCRA (Waste Sampling Draft Technical Guidance, EPA530-D-02-002).

Οι κατηγορίες υλικών στις οποίες διαχωρίστηκαν τα απορρίμματα ήταν:

- Οργανικά:
    - Χαρτί (κάθε είδους, περιοδικά, εφημερίδες, βιβλία, συσκευασίες, χαρτόνι)
    - Ζυμώσιμα (τροφικά υπολείμματα, αποφάγια, κλαδιά, φύλλα)
    - Πλαστικά (κάθε είδους)
    - Δ.Ξ.Υ.Λ (Δέρματα, Ξύλα, Υφάσματα, Λάστιχα)
- Ανόργανα:
    - Γυαλί (κάθε είδους)
    - Μέταλλα (κάθε είδους εκτός αλουμινίου)
    - Αλουμίνιο (κάθε είδους)
- Αδρανή υλικά (πέτρες, χώμα, σοβάδες).

Η διαδικασία της δειγματοληψίας είχε ως εξής:

1. Επιλογή μιας επίπεδης επιφάνειας στο χώρο του ΧΥΤΑ για το άδειασμα του φορτίου του απορριμματοφόρου που επιλέγεται για δειγματοληψία (Εικόνα 4-1). Η επιφάνεια θα καλύπτεται με ειδικό πλαστικό κάλυμμα.

2. Τοποθέτηση του ζυγού σε μια καθαρή, επίπεδη επιφάνεια και ρύθμισή του.

3. Ζύγιση όλων των άδειων δοχείων και καταγραφή των βαρών τους.

4. Άδειασμα του φορτίου του απορριμματοφόρου και με τη χρήση των φτυαριών και τσουγκρανών ανάμιξη και σώριασμα (mix & cone) του φορτίου ώστε να σχηματιστεί

ένας ομοιόμορφος σωρός. Χωρισμός σε 4 τμήματα και τυχαία επιλογή του ενός τετάρτου (quartering).

Εικόνα 4-1. Εκκένωση απορριμματοφόρου για χειροδιαλλογή

5. Σε περίπτωση που υπάρχουν ογκώδη αντικείμενα (π.χ. θερμοσίφωνας) τα οποία αποτελούν μεγάλο ποσοστό του συνολικού βάρους τότε καταγράφονται και ζυγίζονται.

6. Τυπικά πρέπει να επιλεγούν 200-220 kg απορριμμάτων ώστε να αποκτήσουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Η λήψη της ποσότητας αυτής υπερκαλύπτεται με την επιλογή ~1m^3 απορριμμάτων με τη χρήση κατάλληλου κάδου ώστε να προκύψει το Τελικό Ημερήσιο Δείγμα (ΤΗΔ). Στην περίπτωση που κρίνεται αναγκαίο λαμβάνεται πολλαπλάσια ποσότητα δείγματος. Για τη λήψη του δείγματος από το σωρό των απορριμμάτων χρησιμοποιείται αν είναι διαθέσιμος λαστιχοφόρος φορτωτής αλλιώς γίνεται επιλογή με το χέρι.

7. Τοποθέτηση των δοχείων για το διαχωρισμό των κλασμάτων γύρω από το χώρο εναπόθεσης του ΤΗΔ.

8. Άνοιγμα και άδειασμα όλων των δοχείων, τσαντών-σάκων και μπουκαλιών που περιέχονται στο ΤΗΔ. Τα υγρά από τα μπουκάλια αδειάζονται σε ξεχωριστό δοχείο.

9. Όπου υπάρχουν σύνθετα αντικείμενα στο ΤΗΔ (π.χ. καλώδια, σύνθετα υλικά), διαχωρισμός των υλικών όπου είναι δυνατό και τοποθέτηση στα ειδικά δοχεία. Αλλιώς τοποθετούνται στο πιο αντιπροσωπευτικό δοχείο ανάλογα με το ποσοστό κάθε υλικού. Σε περίπτωση που παρατηρείται μεγάλη ποσότητα από συγκεκριμένα υλικά δημιουργείται ανάλογη νέα κατηγορία διαχωρισμού. Σε κάθε άλλη περίπτωση σύνθετων υλικών αυτά τοποθετούνται στο δοχείο με την ένδειξη «Υπόλοιπα».

10. Τα αντικείμενα που βρίσκονται σκόρπια στο σωρό του ΤΗΔ μετά από οπτικό έλεγχο κατατάσσονται στο αντίστοιχο κλάσμα.

11. Ο διαχωρισμός σύμφωνα με την οδηγία ASTM D5231-92 (2003) συνεχίζεται έως ότου το μέγεθος των υλικών προς διαχωρισμό γίνει μικρότερο από 12,7 χιλιοστά. Σε αυτό το σημείο γίνεται κατανομή των εναπομεινάντων συστατικών στα αντίστοιχα δοχεία διαχωρισμού σύμφωνα με την εξ' όψεως εκτίμηση του ποσοστού του κάθε κλάσματος.

12. Καταγραφή των βαρών των δοχείων διαχωρισμού και άλλων υλικών που δεν τοποθετήθηκαν στα δοχεία αν και διαχωρίστηκαν (Εικόνα 4-2). Στην συνέχεια τα στοιχεία εισάγονται σε βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε από τον μελετητή για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης.

13. Μετά την καταγραφή άδειασμα των δοχείων και αν απαιτείται γίνεται επαναζύγισή τους. Η επανάληψη της ζύγισης απαιτείται ειδικά όταν τα δοχεία διαχωρισμού κατακρατούν υγρασία από εξαιρετικά υγρά απορρίμματα.

14. Καθαρισμός - διευθέτηση του χώρου απόθεσης του φορτίου του απορριμματοφόρου (με τη βοήθεια φορτωτή αν υπάρχει), του χώρου χειροδιαλογής και προετοιμασία των υλικών (δοχεία, ζυγοί) για την επόμενη δειγματοληψία.

Στις Εικόνες 4-1 και 4-2 φαίνονται φωτογραφίες κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας.

Εικόνα 4-2. Ζύγιση των επιμέρους κλασμάτων

4.2 Εργαστηριακές αναλύσεις

Οι εργαστηριακές αναλύσεις των ΑΣΑ έγιναν στα κλάσματα του χαρτιού, πλαστικού, οργανικών και ΔΞΥΛ και περιλαμβάνουν:

- Προσεγγιστική ανάλυση: περιλαμβάνει τη μέτρηση του % περιεχομένου σε υγρασία, του % περιεχομένου σε τέφρα και του % περιεχομένου σε πτητική ύλη. Οι παραπάνω αναλύσεις γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM E790, E830 και E897.
- Στοιχειακή ανάλυση: περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της % σύστασης σε άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και άζωτο (N). Οι αναλύσεις γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM E777 και E778 αντίστοιχα για C, H και N.
- Θερμογόνος δύναμη: η ανάλυση γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E955 .

4.2.1 Προετοιμασία δείγματος

Το εργαστηριακό δείγμα αποτελείται από ζυμώσιμα υλικά (τροφικά υπολείμματα), ΔΞΥΛ, πλαστικά συσκευασίας και χαρτιά (χαρτί, χαρτόνι εκτός χαρτιών προσωπικής υγιεινής). Στο πεδίο έγινε η συλλογή των επιμέρους κλασμάτων, ενώ η παρασκευή των τεσσάρων κλασμάτων του δείγματος γινόταν στο εργαστήριο. Για τη συλλογή των ποσοτήτων απορριμμάτων από κάθε κλάσμα δεν χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός που ήταν πιθανό να αλληλεπιδράσει με το δείγμα και να το αλλοιώσει. Η επιλογή έγινε με το χέρι και από τα ίδια κάθε φορά άτομα και με όσο το δυνατό καλύτερη αντιπροσωπευτικότητα των επιλεγμένων υλικών. Η ποσότητα κάθε κλάσματος ήταν γύρω στα 2 kg. Η προσωρινή αποθήκευση και μεταφορά κάθε εργαστηριακού δείγματος στο εργαστήριο έγινε σε υδατοστεγείς σακούλες απορριμμάτων σφραγισμένες με ταινία. Για την παρασκευή του εργαστηριακού δείγματος χρησιμοποιήθηκε ο απαραίτητος εξοπλισμός ασφαλείας (γάντια, μάσκες) ενώ η μείωση του μεγέθους των υλικών έγινε με μαχαίρια και ψαλίδια (εργασία με το χέρι) ώστε να μην επηρεαστεί το περιεχόμενο σε υγρασία των απορριμμάτων.

4.2.2 Προσεγγιστική ανάλυση

4.2.2.1 Προσδιορισμός υγρασίας

Αντιπροσωπευτικό δείγμα ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας και θερμαίνεται για 24 ώρες στους 107±3 °C. Στη συνέχεια φυλάσσεται σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας έως ότου έρθει σε θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου και κατόπιν ζυγίζεται ξανά. Η υγρασία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Υγρασία \%} = = \left[\frac{(W-B)}{W}\right] x100$$

Όπου: W = το αρχικό βάρος του δείγματος σε g.

B = το τελικό βάρος του δείγματος μετά ξήρανση σε g.

4.2.2.2 Προσδιορισμός τέφρας

Ο προσδιορισμός της τέφρας πραγματοποιήθηκε κατά το πρότυπο ASTM E830 σύμφωνα με το οποίο τα δείγματα καίγονται σε θερμοκρασία 575±25 ^{o}C για 1h. Μετά την καύση, τα δείγματα μεταφέρονται σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας, για την εξισορρόπηση των θερμοκρασιών μεταξύ του χωνευτηρίου και της ατμόσφαιρας.

Κατόπιν ζυγίζονται στον αναλυτικό ζυγό και ο προσδιορισμός της τέφρας γίνεται από τη σχέση:

Τέφρα % = $\left[\frac{(F-G)}{W}\right]x100$

Όπου:

F = βάρος χωνευτηρίου και τέφρας σε g

G = βάρος χωνευτηρίου σε g

W = αρχικό βάρος δείγματος σε g

4.2.2.3 Προσδιορισμός πτητικής ύλης

Ο υπολογισμός της γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E897. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό 1 g καλά ομογενοποιημένου και ξηραμένου δείγματος τοποθετείται σε προζυγισμένο χωνευτήριο το οποίο διαθέτει και καπάκι (closed crucible). Το χωνευτήριο στη συνέχεια τοποθετείται στον κλίβανο σε θερμοκρασία 950±20 ^{0}C για 7 min. Έπειτα αφήνεται να έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας. Η πτητική ύλη υπολογίζεται από τη σχέση:

Πτητική Ύλη επί Ξηρού(%) = $\left[\frac{(A-B)}{A}\right]x100$

όπου: A = Βάρος δείγματος που αναλύεται σε g

B = Βάρος δείγματος μετά την καύση σε g

4.2.3 Στοιχειακή Ανάλυση (ultimate analysis)

Η στοιχειακή ανάλυση του καυσίμου περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του άνθρακα (C), του υδρογόνου (H) και του αζώτου (N).

4.2.3.1 Προσδιορισμός άνθρακα (C), υδρογόνου (H) και αζώτου (N).

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του άνθρακα, του υδρογόνου και του αζώτου έγινε στο εργαστήριο με τον αυτόματο στοιχειακό αναλυτή της Eurovector τύπου EuroEA3000. Η αρχή λειτουργίας του μηχανήματος είναι η ακόλουθη: Ποσότητα δείγματος της τάξης των mg εισάγεται στο μηχάνημα σε ειδικό υποδοχέα και καίγεται πλήρως σε καθαρή ατμόσφαιρα οξυγόνου. Κατά την καύση παράγονται υδρατμοί, CO_2, NO_X, N_2 και SO_X. Από το CO_2 υπολογίζεται ο άνθρακας, από τους υδρατμούς το υδρογόνο και από το υπόλοιπο αέριο το άζωτο.

Η ροή του οξυγόνου, η ροή του ηλίου καθώς και η θερμοκρασία, είναι πλήρως ελεγχόμενες και ρυθμιζόμενες τόσο από ενσωματωμένους ψηφιακούς αισθητήρες, όσο και από το λογισμικό του συστήματος.

Επιπλέον, το όργανο περιλαμβάνει κατάλληλο σύστημα σύνδεσης του στοιχειακού αναλυτή με φασματόμετρο μάζας με αυτόματο σύστημα αραίωσης των αερίων που να αντισταθμίζει τις διαφορετικές συγκεντρώσεις άνθρακα και αζώτου σε οργανικά δείγματα. Εκτελεί την μέτρηση του λόγου των ισοτόπων του άνθρακα, αζώτου και θείου στο ίδιο δείγμα χωρίς την μείωση της επαναληψιμότητας.

4.2.4 Θερμογόνος δύναμη

Η θερμογόνος δύναμη των δειγμάτων προσδιορίστηκε στο εργαστήριο με τη βοήθεια αυτόματου θερμιδόμετρου AC-350 της LECO. Μία ποσότητα δείγματος τοποθετείται σε ειδικό υποδοχέα, μέσα από τον οποίο περνά ένα λεπτό σύρμα, που χρησιμοποιείται για την ανάφλεξή του. Η όλη συσκευασία τοποθετείται σε μία οβίδα υψηλής ανθεκτικότητας σε πίεση 440 psi και σε ατμόσφαιρα καθαρού O_2. Η οβίδα περιβάλλεται από νερό, του οποίου η θερμοκρασία μετράται με ένα ηλεκτρονικό θερμόμετρο ακριβείας 1/20.000 του ενός βαθμού Κελσίου. Σε ένα ισοθερμικό σύστημα υπάρχει δυνατότητα ανταλλαγής μερικής ενέργειας μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του νερού που περιβάλλει την οβίδα. Αυτό μπορεί να υπολογισθεί μετρώντας την αλλαγή θερμοκρασίας του νερού, όταν η οβίδα περιβάλλεται από νερό και πριν το δείγμα καεί.

Με βάση την θερμογόνο δύναμη επί ξηρού, το ποσοστό υγρασίας επί του φυσικού δείγματος $W_Φ$ και το ποσοστό τέφρας επί του φυσικού δείγματος $A_Φ$, μπορούν να υπολογιστούν οι εξής παράμετροι:

- Ανώτερη θερμογόνος δύναμη επί του φυσικού δείγματος $(Α.Θ.Δ.)_Φ$
- Κατώτερη θερμογόνος δύναμη επί του φυσικού δείγματος $(Κ.Θ.Δ.)_Φ$

Οι σχέσεις που προσδιορίζουν τις παραπάνω τιμές έχουν ως εξής :

$(Α.Θ.Δ.)_Φ = (Α.Θ.Δ.)_ξ*(1- W_Φ)$

$(Κ.Θ.Δ.)_Φ = (Α.Θ.Δ.)_Φ$-Α΄

όπου:

- $A' = (9Y + W_{\Phi}) \times 2.509$ με μονάδες kJ/kg
- Y: % κ.β. περιεκτικότητα του δείγματος σε υδρογόνο (στοιχειακή ανάλυση).
- 2.509: θερμότητα εξαέρωσης του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση.

5. Αποτελέσματα

5.1. Μέθοδος συλλογής των ΑΣΑ

Η συλλογή των ΑΣΑ γίνεται στην υπό μελέτη περιοχή είτε με απορριμματοφόρα (Εικόνα 5-1), στα οποία τα ΑΣΑ συμπιέζονται, είτε με φορτηγά γενικής χρήσης, όπου δεν λαμβάνει χώρα καμία συμπίεση. Τα οχήματα μαζί με τις ηλικίες, τους χειριστές και τον όγκο των απορριμμάτων που μεταφέρουν δίνονται στον Πίνακα 5-1:

Πίνακας 5-1. Τύποι απορριμματοφόρων

Τύπος απορριμματοφόρου	*Χειριστές*	*Ηλικία οχήματος(έτη)*	*Όγκος απορριμμάτων*
Κοινότητα Κουφονησίων			
Απορριμματοφόρο τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου	1 οδηγός+ 1 φορτωτής	3	10 m^2
Φορτηγό γενικής χρήσης	1 οδηγός+ 1 φορτωτής	3	5,3 m^2
Κοινότητα Σχοινούσας			
Φορτηγό γενικής χρήσης	1 οδηγός+ 1 φορτωτής	5	27 m^2
Κοινότητα Ηρακλειάς			
Απορριμματοφόρο τύπου πρέσας	1 οδηγός+ 1 φορτωτής	4	6 m^2
Κοινότητα Σχοινούσας			
Απορριμματοφόρο τύπου πρέσας	1 οδηγός+ 1 φορτωτής	1	5 m^2

5.2. Ποσοτική ανάλυση

Η ποσοτική ανάλυση που έγινε στο πλαίσιο της μελέτης έλαβε χώρα στην Κοινότητα Κουφονησίων την περίοδο 31/8/2009-6/9/2009. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής ζυγίστηκε το απορριμματοφόρο της Κοινότητας και τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5-2. Ο υπολογισμός του ρυθμού παραγωγής σε kg/ημέρα/κάτοικο προέκυψε με διαίρεση του ρυθμού απόρριψης με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό κατά τη διάρκεια της μελέτης. Υπολογίστηκε ο μόνιμος πληθυσμός του έτους 2009 (Πίνακας 5-3) από δεδομένα της απογραφής του 2001 με γεωμετρική αύξηση 1,4 % ανά έτος (μέση ετήσια αύξηση πληθυσμού Κυκλάδων) με χρήση του τύπου:

$P_n = P_0 (1 + \rho)^n$,

όπου P_0 ο πληθυσμός βάσης, ρ η ανά περίοδο ποσοστιαία αύξηση, n ο αριθμός των περιόδων, και P_n ο πληθυσμός μετά από κ περιόδους. Έπειτα με βάση τις τουριστικές κλίνες και την μέση πληρότητα για την περίοδο μελέτης προέκυψε ο τουριστικός πληθυσμός και τέλος το άθροισμα του τουριστικού και μόνιμου πληθυσμού μας έδωσε τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό (Πίνακας 5-4).

Εικόνα 5-1. Απορριμματοφόρο περιστρεφόμενου τυμπάνου Κοινότητας Κουφονησίων

Πίνακας 5-2. Ποσοτική ανάλυση Κοινότητας Κουφονησίων

Ημερομηνία	31/8/2009	1/9/2009	2/9/2009	3/9/2009	4/9/2009	5/9/2009	6/9/2009	Συνολική παραγώμενη ποσότητα απορριμμάτων (kg)
Ρυθμός απόρριψης (kg)	1.700	1.500	1.200	1.600	1.300	1.000	1.100	9.400
Υπολογιζόμενος ρυθμός παραγωγής (kg/ημέρα/κατοικο)	1,37	1,21	0,97	1,29	1,05	0,81	0,89	1,08

Πίνακας 5-3. Εκτίμηση μόνιμου πληθυσμού έτους 2009

Μόνιμος πληθυσμός Κουφονησίων βάση απογραφής 2001	366
Μόνιμος πληθυσμός έτους 2009 με πρόβλεψη αύξησης 1,4 %	409

Πίνακας 5-4. Υπολογισμός συνολικού εξυπηρετούμενου πληθυσμού

Τουριστικές κλίνες	Πληρότητα κατά την περίοδο μελέτης	Τουριστικός πληθυσμός	Μόνιμος πληθυσμός	**Σύνολο**
2.500	33 %	825	409	1.234

Ο ημερήσιος ρυθμός παραγωγής απορριμμάτων κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα και αν αναλογιστούμε ότι ο ΡΠΑ για τους τουρίστες σύμφωνα με αντίστοιχες μελέτες λαμβάνεται ίσος με 1,2 kg/ημέρα/τουρίστα τότε ο ΡΠΑ για τον μόνιμο πληθυσμό είναι 0,8 kg/ημέρα/κάτοικο, τιμή που κρίνεται φυσιολογική για περιοχές με μόνιμο πληθυσμό μικρότερο από 1.000 κατοίκους (Πίνακας 5-5).

Πίνακας 5-5. ΡΠΑ ανάλογα με το μέγεθος του πληθυσμού

Πληθυσμός Οικισμού ή Πόλης	Οικιακά Απόβλητα	Εμπορικά, Ιδρυμάτων, Κατασκευών	Σύνολο
<2.000	0,5	0,2	0,7
2.000-10.000	0,7	0,2	0,9
10.000-100.000	0,7	0,3	1,0
>100.000	0,8	0,5	1,3

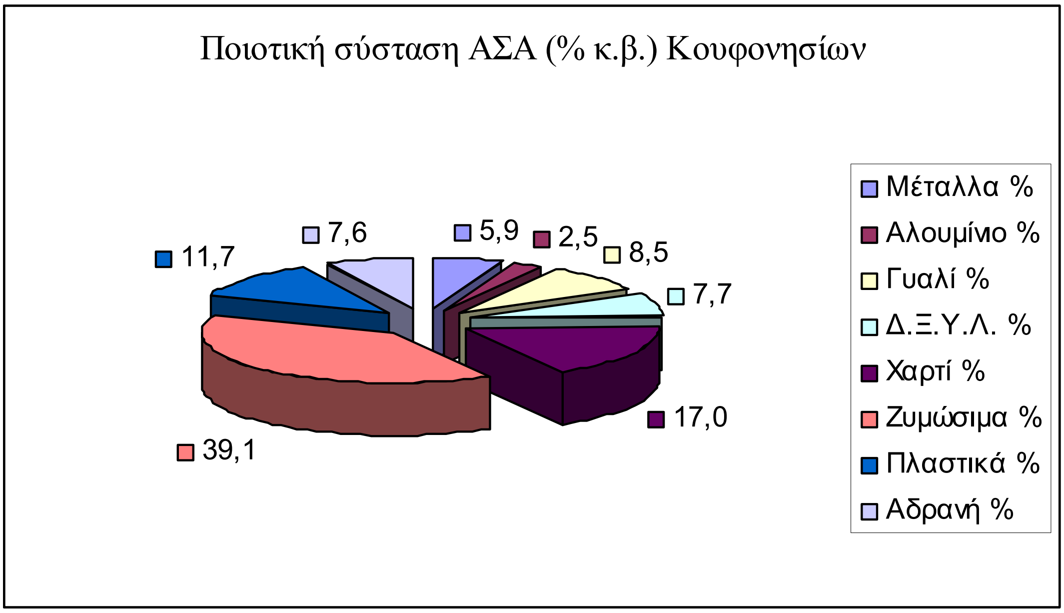
5.3. Ποιοτική σύσταση

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έγιναν ποιοτικές αναλύσεις, σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.1, στα νησιά Κουφονήσι και Σχοινούσα κατά τις περιόδους 31/8/2009-2/9/2009 και 3/9/2009-5/9/2009 αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρατίθενται στους Πίνακες 5-6 και 5-7 και με μορφή γραφημάτων στα Σχήματα 5-2 και 5-3.

Πίνακας 5-6. Αποτελέσματα ποιοτικής ανάλυσης ΑΣΑ Κουφονησίων

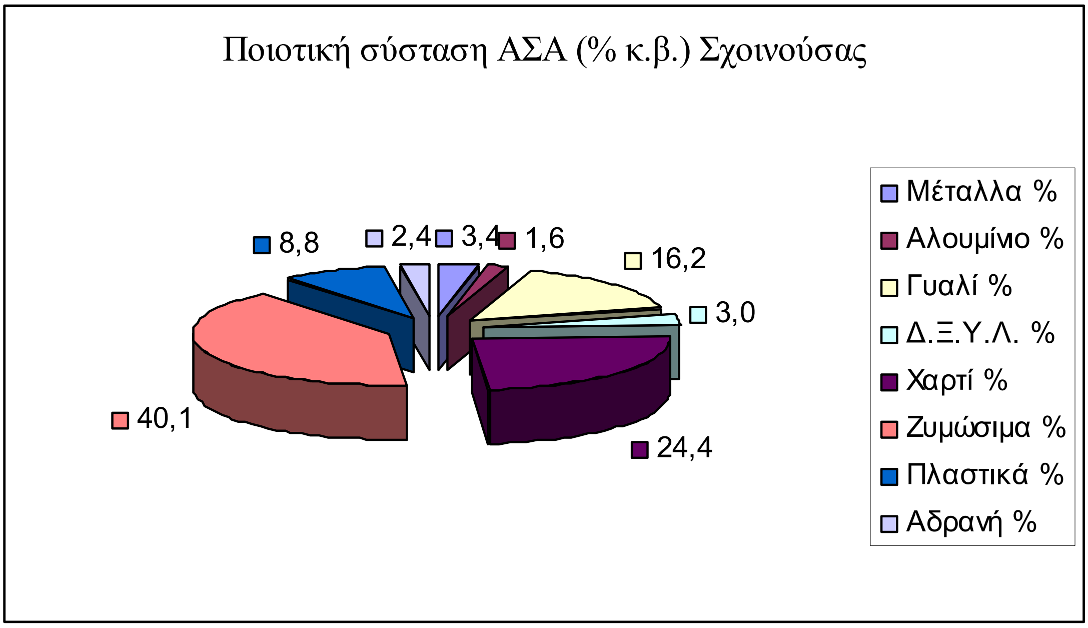
Κοινότητα Κουφονησίων	31/8/2009	1/9/2009	2/9/2009	**Μ.Ο.**
Μέταλλα %	5,8	5,7	6,2	5,9
Αλουμίνιο %	2,3	2,4	2,8	2,5
Γυαλί %	8,5	8,8	8,2	8,5
Δ.Ξ.Υ.Λ. %	8,4	7,2	7,5	7,7
Χαρτί %	17,0	17,3	16,7	17,0
Ζυμώσιμα %	36,6	40,5	40,2	39,1
Πλαστικά %	13,6	11,0	10,5	11,7
Αδρανή %	7,8	7,1	7,9	7,6



Σχήμα 5-2. Γράφημα % σύνθεσης στερεών αποβλήτων Κοινότητας Κουφονησίων

Πίνακας 5-7. Αποτελέσματα ποιοτικής ανάλυσης ΑΣΑ Σχοινούσας

Κοινότητα Σχοινούσας	3/9/2009	4/9/2009	5/9/2009	**Μ.Ο.**
Μέταλλα %	3,3	3,2	3,7	3,4
Αλουμίνιο %	1,5	1,3	2,0	1,6
Γυαλί %	16,5	16,4	15,7	16,2
Δ.Ξ.Υ.Λ. %	3,2	3,3	2,5	3,0
Χαρτί %	25,1	26,0	22,1	24,4
Ζυμώσιμα %	40,0	39,8	40,5	40,1
Πλαστικά %	8,1	8,1	10,2	8,8
Αδρανή %	2,0	1,9	3,3	2,4

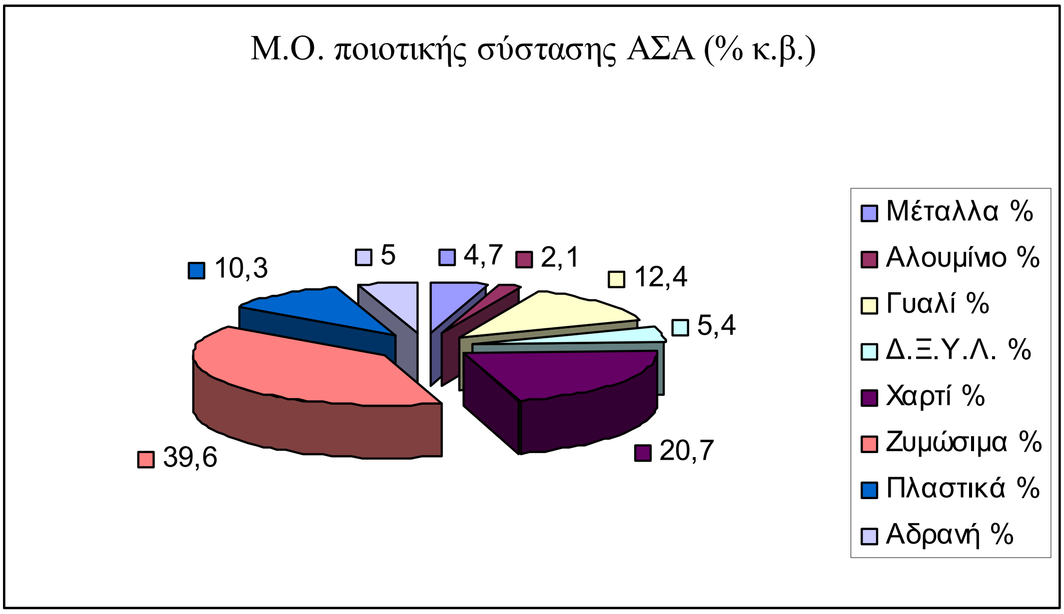


Σχήμα 5-3. Γράφημα % σύνθεσης στερεών αποβλήτων Κοινότητας Σχοινούσας

Στον Πίνακα 5-8 υπολογίστηκε ο μέσος όρος της σύνθεσης των ΑΣΑ για τα 4 νησιά της μελετώμενης περιοχής, με το αντίστοιχο γράφημα (Σχήμα 5-4).

Πίνακας 5-8. Μ.Ο. σύνθεσης % κ.β. των ΑΣΑ για τα νησιά Κουφονήσια, Σχοινούσα, Δονούσα, Ηρακλειά

Κλάσματα ΑΣΑ	**Κουφονήσια, Σχοινούσα, Δονούσα, Ηρακλειά**
Μέταλλα %	4,7
Αλουμίνιο %	2,1
Γυαλί %	12,4
Δ.Ξ.Υ.Λ. %	5,4
Χαρτί %	20,7
Ζυμώσιμα %	39,6
Πλαστικά %	10,3
Αδρανή %	5,0



Σχήμα 5-4. Γράφημα ποιοτικής σύστασης ΑΣΑ (% κ.β.) για τα νησιά Κουφονήσια, Σχοινούσα, Δονούσα, Ηρακλειά

Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να καταλήξουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τα τέσσερα κυρίως κλάσματα που παρατηρούμε είναι ζυμώσιμα, χαρτί, πλαστικό και γυαλί
- Το μεγαλύτερο ποσοστό των ΑΣΑ καταλαμβάνει το ζυμώσιμο κλάσμα δηλαδή τα τροφικά υπολείμματα και ακολουθούν χαρτί, γυαλί και πλαστικό.
- Το μεγάλο ποσοστό του γυαλιού στα ΑΣΑ δικαιολογείται από την τουριστική επιρροή κατά την περίοδο μελέτης (γυάλινες φιάλες μίας χρήσης)
- Το μεγάλο ποσοστό του πλαστικού δικαιολογείται από την έλλειψη πόσιμου νερού και την χρήση εμφιαλωμένου νερού (συσκευασίες PET).

Στη συνέχεια παρατίθεται στον Πίνακα 5-9 η % σύνθεση της μελετώμενης περιοχής σε σύγκριση με άλλες περιοχές της περιφέρειας.

Πίνακας 5-9. Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ (% κ.β.) σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας

	Μ.Ο. μικρών νησιών	**Νάξος[α]**	**Κρήτη[β]**
Περίοδος	**2009**	**1994**	**2004-2005**
Μέταλλα %	6,80	3,40	4,95
Γυαλί %	12,40	5,80	5,33
Δ.Ξ.Υ.Λ. %	5,40	3,50	5,24
Χαρτί %	20,70	21,60	19,94
Ζυμώσιμα %	39,60	48,30	39,15
Πλαστικά %	10,30	9,40	16,85
Αδρανή %	5,00	8,00	8,54

α. Πηγή: Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου, 2008

β. Πηγή: Gidarakos et al., 2005

Η ποιοτική σύσταση της Κρήτης και των μικρών νησιών παρουσιάζει μεγάλη ομοιομορφία σε όλα τα κλάσματα των ΑΣΑ, με εξαίρεση το γυαλί και τα μέταλλα, τα οποία παρουσιάζονται αυξημένα στα μικρά νησιά. Αυτό δικαιολογείται από την επιρροή του τουριστικού παράγοντα, σύμφωνα με τον οποίο γίνεται ευρεία χρήση συσκευασμένων αναψυκτικών, κονσερβών, κλπ. Παράλληλα είναι εμφανής η μεταβολή της ποιοτικής σύστασης με την πάροδο των χρόνων, παρατηρώντας τα ποσοστά της Νάξου σε σχέση με τα άλλα δύο ποσοστά.

5.4. Προέλευση απορριμμάτων

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης έγινε προσδιορισμός της προέλευσης των απορριμμάτων σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

- Καταμέτρηση των κάδων και διαχωρισμός αυτών στις κατηγορίες
    1. κατοικίες-ενοικιαζόμενα δωμάτια
    2. ξενοδοχεία
    3. εμπορικά καταστήματα
    4. ζαχαροπλαστεία-μπαρ-εστιατόρια
- Προσδιορισμός της πληρότητας των κάδων αμέσως πριν τη συλλογή.

Τα αποτελέσματα για τις Κοινότητες Κουφονησίων και Σχοινούσας δίνονται στον Πίνακα 5-10.

Πίνακας 5-10. Προέλευση απορριμμάτων

	Κουφονήσια	Σχοινούσα	Νάξος
κατοικίες-ενοικιαζόμενα δωμάτια	21,7 %	18,8 %	48,7 %
ξενοδοχεία	28,3 %	20,5 %	13,7 %
εμπορικά καταστήματα	17,4 %	32,9 %	20,3 %
ζαχαροπλαστεία-μπαρ-εστιατόρια	30,6 %	26,1 %	17,4 %

- Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι εμφανές ότι η τουριστική επιρροή παίζει σημαντικό ρόλο και στα δύο νησιά, καθώς οι τουριστικές υπηρεσίες καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής απορριμμάτων.
- Η αυξημένη συμμετοχή των ξενοδοχείων στην παραγωγή απορριμμάτων για την Κοινότητα Κουφονησίων δικαιολογείται από την ύπαρξη περισσότερων ξενοδοχειακών μονάδων σε σχέση με την Κοινότητα Σχοινούσας.

5.5 Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων

Για τις ανάγκες της μελέτης μετρήθηκαν στο εργαστήριο η υγρασία, η τέφρα, η πτητική ύλη, η θερμογόνος δύναμη και τα ποσοστά N, C, H από δείγμα ΑΣΑ, το οποίο λήφθηκε από τον ΧΔΑ Κουφονησίων. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους Πίνακες 5-11, 5-12 και 5-13.

Πίνακας 5-11. Αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων υγρασίας, τέφρας και πτητικής ύλης

	Ζυμώσιμα	Χαρτί	Πλαστικά	Δ.Ξ.Υ.Λ.	Σύνολο
Υγρασία %	78,42	15,08	4,06	11,51	**46,34**
Τέφρα %	14,54	11,28	4,80	8,15	**11,88**
Πτητική ύλη %	76,41	82,49	97,70	85,13	**83,65**

Πίνακας 5-12. Αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων θερμογόνου δύναμης

	Ζυμώσιμα	Χαρτί	Πλαστικά	Δ.Ξ.Υ.Λ.	Σύνολο
Θερμογόνος δύναμη (cal/g)	3.911,4	4.007,6	9.444,8	4.379,0	**3.587,8**
$(Α.Θ.Δ.)_Φ$ (kJ/kg)	3.534,0	14.248,2	37.938,0	16.223,8	**12.016,5**
$(Κ.Θ.Δ.)_Φ$ (kJ/kg)	218,4	12.442,7	35.334,2	14.528,2	**9.323,8**

Για να μετατρέψουμε τα cal/g σε kJ/kg πολλαπλασιάζουμε με 4,1868

Πίνακας 5-13. Αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων στοιχειακής ανάλυσης

Ποσοστό χημικού στοιχείου (κατά 'ξηρό' βάρος)	Ζυμώσιμα	Χαρτί	Πλαστικά	Δ.Ξ.Υ.Λ.	Σύνολο
N	2,43	0,73	0,63	0,53	**1,59**
C	44,52	39,18	76,19	48,13	**47,61**
H	5,97	6,32	11,08	6,23	**6,78**

- Η υγρασία των ΑΣΑ επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το ζυμώσιμο κλάσμα, το οποίο παρουσιάζει και την μεγαλύτερη τιμή υγρασίας
- Το συνολικό ποσοστό της τέφρας στα ΑΣΑ είναι πολύ μικρό, γεγονός που κάνει τα ΑΣΑ ιδανικά για καύση
- Το ποσοστό της πτητικής ύλης είναι αρκετά μεγαλύτερο από τις οριακές τιμές που προτείνει η βιβλιογραφία για καύση των ΑΣΑ
- Γενικά, πληρούνται οι προδιαγραφές καταλληλότητας των ΑΣΑ για καύση, όπως αυτές φαίνονται στον Πίνακα 5-14.

Πίνακας 5-14. Ανάλυση καταλληλότητας ΑΣΑ για καύση

Χαρακτηριστικό	Διακύμανση τιμών (% 'ξηρού' βάρους)	Τυπική τιμή (% 'ξηρού' βάρους)
Υγρασία	10-65	37,5
Πτητικά	30-60	50
Τέφρα	10-30	20

- Οι τιμές της θερμογόνου δύναμης δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από αυτές που προτείνει η βιβλιογραφία
- Τα ποσοστά C, N και H κρίνονται φυσιολογικά, με εξαίρεση τις τιμές C και H για το κλάσμα του πλαστικού, οι οποίες είναι αρκετά αυξημένες.

6. Υπολογισμός των εκπομπών CH_4 στους ΧΔΑ Κουφονησίων και Σχοινούσας

6.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Με βάση τη βιβλιογραφία, η σύσταση του βιοαερίου που εισάγεται σε μοντέλα εκπομπών πρέπει να λαμβάνεται από μετρήσεις soil gas και όχι από τα ενεργά ή τα παθητικά συστήματα συλλογής του βιοαερίου. Αυτό οφείλεται στο ότι και τα ενεργά και τα παθητικά συστήματα, συλλέγουν αέρια από διάφορα βάθη κάτω από την επιφάνεια του ΧΥΤΑ. Τα αέρια αυτά δεν υπόκεινται σε βιολογική επεξεργασία, σε χημικές αντιδράσεις, σε ρόφηση, δηλαδή στις διεργασίες που θα λάμβαναν χώρα, αν δεν υπήρχαν τα συστήματα συλλογής. Για αυτό τα δείγματα από ένα ενεργό σύστημα συλλογής περιέχουν περισσότερο CH_4 και άλλες ενώσεις, μια και το CH_4 είναι γνωστό πως οξειδώνεται στο εδαφικό κάλυμμα της επιφάνειας του ΧΥΤΑ. Για αυτό το λόγο αποφασίστηκε η in situ μέτρηση της σύστασης του βιοαερίου με τη χρήση σωλήνα δειγματοληψίας και φορητού αναλυτή βιοαερίου.

6.2 Περιγραφή συσκευών δειγματοληψίας και ανάλυσης του βιοαερίου

Γενική περιγραφή του αναλυτή BE - DGA 3

Για τη μέτρηση της σύστασης του βιοαερίου χρησιμοποιήθηκε ο πολυκάναλος αναλυτής αερίων BE - DGA 3 της εταιρίας BERNT MESSTECHNIK (Εικόνα 6-1). Ο αναλυτής αυτός είναι φορητός, εφοδιασμένος με εσωτερική αντλία, λειτουργεί με μπαταρία και προορίζεται για συχνή και κάτω από δύσκολες συνθήκες δειγματοληψία. Με τη χρήση φίλτρων και δειγματοληπτών παρέχει τη δυνατότητα φθηνής και γρήγορης μέτρησης μέχρι τριών αερίων σε συνδυασμούς ανάλογα με τις απαιτήσεις των μετρήσεων. Τα αέρια που μπορεί να μετρήσει είναι το CH_4, το CO_2, το O_2.

Εικόνα 6-1. Ο αναλυτής αερίων BE - DGA 3

6.3 Μέτρηση της συγκέντρωσης του βιοαερίου μέσα στο ΧΔΑ

Επειδή σκοπός είναι η μέτρηση του βιοαερίου σε κάποιο βάθος μέσα στο ΧΔΑ χρησιμοποιούμε επιπλέον τη συσκευή Draeger που φαίνεται στην Εικόνα 6-2:

Εικόνα 6-2. Η διάταξη μέτρησης των εδαφικών αερίων

Η συσκευή αυτή είναι ένας ανοξείδωτος σωλήνας με ακροφύσιο ο οποίος τοποθετείται μέσα σε ένα μεγαλύτερο ατσάλινο σωλήνα για προστασία. Αρχικά, για να είναι ευκολότερη η είσοδος του ατσάλινου σωλήνα στη μάζα των απορριμμάτων ή στο έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα χειροκίνητο τρυπάνι για τη διάνοιξη μιας οπής στην οποία θα εισαχθεί ο σωλήνας. Στη συνέχεια συνδέεται ο αναλυτής με τον ανοξείδωτο σωλήνα με ένα σωληνάκι στο οποίο έχει τοποθετηθεί ένα φίλτρο υγρασίας για προστασία του αναλυτή, και εισάγεται μέσα στον ατσάλινο σωλήνα.

6.4 Αποτελέσματα μετρήσεων CH_4

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης μελετήθηκε η παραγωγή βιοαερίου στους ΧΔΑ Κουφονησίων και Σχοινούσας. Η οπή που διανοίχτηκε είχε βάθος μεγαλύτερο του μισού μέτρου, ώστε να εξασφαλίζεται η απουσία του ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Λήφθηκαν μετρήσεις από 4 διαφορετικά σημεία μέσα στο ΧΔΑ και τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 6-1.

Πίνακας 6-1. Αποτελέσματα μετρήσεων βιοαερίου

Θέση	**CH_4 (%)**	**CO_2 (%)**
1	53	46
2	52	47
3	55	45
4	51	48
Μ.Ο.	**53**	**47**

Για το ΧΔΑ Σχοινούσας οι τιμές που μετρήθηκαν σε μέσο όρο είναι CH_4 51 % και CO_2 49 %. Οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το CH_4 και το CO_2 είναι μέσα στα όρια που προτείνει η βιβλιογραφία (Παναγιωτακόπουλος, 2002) και θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση αέριων εκπομπών με χρήση του μοντέλου Landgem, η λειτουργία του οποίου περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.5, που ακολουθεί.

6.5. Το μοντέλο Landgem

6.5.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο Landfill Emissions Model (LandGEM) αποτελεί ένα αυτοματοποιημένο όργανο για την ποσοτικοποίηση των αέριων εκπομπών από χώρους διάθεσης αστικών απορριμμάτων (ΧΥΤΑ ή ΧΔΑ) και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων από το ΧΔΑ Κουφονησίων (Alexander et al., 2005). Αναπτύχθηκε από το Κέντρο Ελέγχου Τεχνολογίας της Αμερικανικής Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. EPA) και μπορεί να βρεθεί στο διαδίκτυο, στην ηλεκτρονική διεύθυνση www.epa.gov/ttn/catc.

Οι αέριες εκπομπές από ΧΥΤΑ αναφέρονται ως βιοαέριο, το οποίο παράγεται από την αποσύνθεση των απορριμμάτων. Αποτελείται βασικά από CH_4 και CO_2 και σε αρκετά μικρότερες συγκεντρώσεις από άλλους αέριους ρύπους. Για την εκτίμηση των εκπομπών βιοαερίου από ΧΥΤΑ το μοντέλο χρειάζεται τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Τη χωρητικότητα για την οποία έχει σχεδιαστεί ο χώρος
- Την ποσότητα των απορριμμάτων που έχουν ήδη ταφεί ή τον ετήσιο ρυθμό αποδοχής απορριμμάτων
- Τη σταθερά του ρυθμού παραγωγής μεθανίου (k)
- Τη θεωρητική παραγωγή μεθανίου (L_0)
- Τη συγκέντρωση των συνολικών οργανικών μιγμάτων εκτός του μεθανίου (NMOCs)
- Τα έτη που ο χώρος βρίσκεται σε λειτουργία
- Αν ο χώρος έχει σχεδιαστεί ώστε να δέχεται και επικίνδυνα απορρίμματα ή όχι (disposal ή co-disposal).

Το μοντέλο χρησιμοποιεί μια απλή πρώτης τάξης εξίσωση για την περιγραφή του ρυθμού αποδόμησης των απορριμμάτων. Αποφεύγεται η χρήση μιας πιο πολύπλοκης μεθόδου, επειδή συνήθως είναι περιορισμένες οι πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα, την ηλικία και τη σύνθεση των απορριμμάτων.

Για τον υπολογισμό των εκτιμώμενων εκπομπών βιοαερίου, το μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων είτε προκαθορισμένων (default) είτε επιλεγμένων από το χρήστη που βασίζονται σε μετρήσεις πεδίου. Υπάρχουν δύο ομάδες προκαθορισμένων παραμέτρων, οι οποίες προέκυψαν από μετρήσεις και κανονισμούς που ισχύουν στις Η.Π.Α. για τα έτη 1991 και 1997, αντίστοιχα :

- Η πρώτη ομάδα (CAA default) χρησιμοποιείται για εκτιμήσεις εκπομπών με σκοπό να καθοριστεί η εφαρμοσιμότητα των κανονισμών του Clean Air Act (CAA) για εκπομπές από χώρους απόθεσης ΑΣΑ και πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή των κανόνων του New Source Performance Standards (NSPS) για νέους ΧΥΤΑ και των οδηγιών για εκπομπές από υπάρχοντες ΧΥΤΑ.
- Η δεύτερη ομάδα προκαθορισμένων παραμέτρων εξασφαλίζει την εκτίμηση των τυπικών εκπομπών βιοαερίου. Οι τιμές των παραμέτρων της ομάδας αυτής βασίζονται στους συντελεστές εκπομπής από την U.S. Environmental Protection Agency's Compilation of Air Pollutant Emission Factor, AP-42.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου μπορούν να αποτυπωθούν είτε σε πίνακες ή σε γραφήματα και αναφέρονται στις συγκεντρώσεις όχι μόνο των βασικών ρύπων – μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα – αλλά και των ιχνοαερίων που αποτελούν λιγότερο από το 1% του παραγόμενου βιοαερίου, σε σχέση με το χρόνο. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται και στον υπολογισμό των NMOCs, που παίζουν σημαντικό ρόλο στις φωτοχημικές αντιδράσεις.

6.5.2 Λειτουργία του μοντέλου

Το μοντέλο θεωρεί ότι η αποδόμηση των απορριμμάτων περιγράφεται από κινητική πρώτης τάξης και εκτιμά τις ετήσιες εκπομπές για όλες τις παραμέτρους του βιοαερίου για 200 έτη μετά από το κλείσιμο του χώρου και η τιμή αυτή δεν μπορεί να αλλάξει. Άλλωστε, βιοαέριο συνεχίζει να παράγεται από την αποσύνθεση των απορριμμάτων ακόμα και όταν σταματήσει η εισροή νέων απορριμμάτων. Οι συνολικές εκπομπές βιοαερίου εκτιμώνται από τον υπολογισμό της παραγωγής μεθανίου και διπλασιασμό της, διότι υποθέτετε ότι το βιοαέριο περιέχει 50% μεθάνιο και 50% διοξείδιο του άνθρακα, αν και αυτά τα ποσοστά μπορούν εύκολα να αλλάξουν. Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεθανίου είναι:

$$\boxed{Q = L_0 * R * (e^{-kc} - e^{-kt})}$$

όπου:

Q : οι εκπομπές μεθανίου ανά έτος, m^3/yr

L_0 : η θεωρητική παραγωγή μεθανίου, m^3 CH_4/tn ΑΣΑ

R : ο ετήσιος ρυθμός ταφής απορριμμάτων, tn ΑΣΑ/yr

k : η σταθερά του ρυθμού παραγωγής μεθανίου, yr^{-1}

c : τα έτη που έχουν περάσει από το κλείσιμο του ΧΥΤΑ (c=0 για ενεργούς ΧΥΤΑ) (yr)

t : τα έτη που έχουν περάσει από την πρώτη εναπόθεση απορριμμάτων, yr

Αναλυτικότερα:

Θεωρητική παραγωγή μεθανίου, L_0: είναι η σταθερά που αντιπροσωπεύει την εν δυνάμει ικανότητα των απορριμμάτων να παράγουν μεθάνιο και εξαρτάται από το ποσοστό κυτταρίνης και ημικυταρρίνης των απορριμμάτων, δηλαδή από το είδος των απορριμμάτων. Όσο μεγαλύτερο είναι το οργανικό κλάσμα στα απορρίμματα, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του L_0. Η τιμή της σταθεράς κυμαίνεται μεταξύ 6,2 και 270 m^3 CH_4/tn ΑΣΑ., με βάση τη βιβλιογραφία. Στην πρώτη ομάδα προκαθορισμένων τιμών του μοντέλου, που βασίζονται στους κανονισμούς του Clean Air Act (CAA), η τιμή του L_0 λαμβάνεται ίση με 170 m^3 CH_4/tn ΑΣΑ., ενώ στη δεύτερη ομάδα, που βασίζεται στους συντελεστές εκπομπής της U.S. EPA (AP-42), η τιμή του L_0 είναι 100 m^3/tn ΑΣΑ.. Προφανώς το 1997 οι κανονισμοί λειτουργίας υποχρέωσαν τους φορείς λειτουργίας των ΧΥΤΑ να μειώσουν το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων που εναποτίθεται, γι’ αυτό και μειώθηκε το Lo.

Σταθερά του ρυθμού παραγωγής μεθανίου, k: καθορίζει το ρυθμό παραγωγής μεθανίου. Υπολογίζει, δηλαδή, το πόσο γρήγορα μειώνεται ο ρυθμός παραγωγής μεθανίου από τη στιγμή που θα φτάσει στο μέγιστο ρυθμό του. Το μοντέλο αποσύνθεσης πρώτης τάξης κάνει την παραδοχή ότι οι τιμές του k πριν και μετά το μέγιστο ρυθμό παραγωγής μεθανίου είναι ίδιες. Επίσης υποθέτεται ότι ο ρυθμός παραγωγής μεθανίου γίνεται μέγιστος όταν ο ΧΥΤΑ σταματήσει να λειτουργεί ή όταν τοποθετηθούν τα τελευταία απορρίμματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του k, τόσο πιο γρήγορα παράγεται το μεθάνιο. Η τιμή της εξαρτάται από: την υγρασία των απορριμμάτων, τη διαθεσιμότητα θρεπτικών για τη μεθανογένεση, το pH και τη θερμοκρασία. Οι τιμές του k κυμαίνονται μεταξύ 0,003 και 0,21 yr^{-1}. Στην ομάδα προκαθορισμένων τιμών CAA, το k λαμβάνεται ίσο με 0,05 yr^{-1} και στην ομάδα AP-42 ίση με 0,04 yr^{-1}.

6.5.3 Αποτελέσματα εφαρμογής Landgem στο ΧΔΑ Κουφονησίων και Σχοινούσας

Για την εφαρμογή του μοντέλου Landgem για τους ΧΔΑ Κουφονησίων και Σχοινούσας είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της θεωρητικής παραγωγής μεθανίου,

L_0, με χρήση των δεδομένων πεδίου (Πίνακας 6-2, 6-3). Για τον υπολογισμό του L_0 χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$\boxed{\text{Lo} = \frac{(Mc * Fb * S)}{2}}$$

όπου:

M_c: οι τόνοι άνθρακα (C) ανά τόνο απορριμμάτων σε ξηρή βάση. Ωστόσο ο άνθρακας στα απορρίμματα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, στον βιοδιασπάσιμο C και στον αδρανή C που δεν αποδομείται. Ο βιοαποδομήσιμος C περιέχεται σε αντικείμενα όπως: τροφικά υπολείμματα και χαρτί. Ο αδρανής C περιέχεται κυρίως σε πλαστικά και γενικώς σε αντικείμενα που αλλοιώνονται πολύ αργά και γι’ αυτό το λόγο δε συμβάλλουν στην παραγωγή αερίων.

F_b: εκφράζει το βιοαποδομήσιμο κλάσμα του άνθρακα, το οποίο προκύπτει με τη διαίρεση της ποσότητας οργανικού C και της ποσότητας ολικού C. Ο οργανικός C είναι ο C που περιέχεται στα τροφικά υπολείμματα και τα χαρτιά.

S: στοιχειομετρικός συντελεστής. Λαμβάνεται ίσος με 16/12, δηλαδή η αναλογία του μοριακού βάρους του CH_4 προς τον C.

Σημειώνεται ότι το παραπάνω γινόμενο πολλαπλασιάζετε με 53 % εφόσον από τις μετρήσεις πεδίου βρέθηκε ότι το 53 % του αερίου που παράγεται είναι CH_4 και το 47% είναι CO_2.

Τελικά, η παράμετρος Lo εκφράζεται σε kg CH_4 ανά tn απορριμμάτων.

Πίνακας 6-2. Υπολογισμός θεωρητικής παραγωγής μεθανίου ΧΔΑ Κουφονησίων

Ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων: 830,26 kg/d						
Κλάσματα	**Σύνθεση ΑΣΑ**	**Ποσότητες κλασμάτων (kg/d)**	**Υγρασία (%)**	**Ποσότητες κλασμάτων σε ξηρή βάση (kg/d)**	**Στοιχειακός άνθρακας (%)**	**Ποσότητα στοιχειακού C ανά κλάσμα σε ξηρή βάση (kg/d)**
Δ.Ξ.Υ.Λ.	7,7	63,93	11,51	56,57	48,13	27,23
Χαρτί	17	141,14	15,08	119,86	39,18	46,96
Οργανικά	39,1	324,62	78,42	70,05	44,52	31,19
Πλαστικά	11,7	97,14	4,06	93,19	76,19	71,00
ΣΥΝΟΛΟ				339,68		176,38

M_c (kg C/kg απορριμμάτων)	0,52
F_b (Οργανικός C/ Ολικό C)	0,44
S	1,33
L_o (kg CH_4/tn απορριμμάτων)	**162,58**

Πίνακας 6-3. Υπολογισμός θεωρητικής παραγωγής μεθανίου ΧΔΑ Σχοινούσας

Ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων: 262,22 kg/d						
Κλάσματα	**Σύνθεση ΑΣΑ**	**Ποσότητες κλασμάτων (kg/d)**	**Υγρασία (%)**	**Ποσότητες κλασμάτων σε ξηρή βάση (kg/d)**	**Στοιχειακός άνθρακας (%)**	**Ποσότητα στοιχειακού C ανά κλάσμα σε ξηρή βάση (kg/d)**
Δ.Ξ.Υ.Λ.	3	7,87	11,51	6,96	48,13	3,35
Χαρτί	24,4	63,98	15,08	54,33	39,18	21,29
Οργανικά	40,5	106,20	78,42	22,92	44,52	10,20
Πλαστικά	8,1	21,24	4,06	20,38	76,19	15,53
ΣΥΝΟΛΟ				104,59		50,37

M_c (kg C/kg απορριμμάτων)	0,48
F_b (Οργανικός C/ Ολικό C)	0,63
S	16/12
L_o (kg CH_4/tn απορριμμάτων)	**204,74**

Οι υπολογιζόμενες ποσότητες στηρίχθηκαν στις μετρήσεις στο πεδίο, ενώ έγιναν προβλέψεις αύξησης πληθυσμού, τουριστικών κλινών και ΡΠΑ. Συγκεκριμένα για τα δεδομένα του μόνιμου πληθυσμού λήφθηκαν στοιχεία από την στατιστική υπηρεσία για τις χρονολογίες 1991 και 2001, ενώ η ετήσια αύξηση του πληθυσμού μέχρι το 2009 εκτιμήθηκε στο 1,4 % (μέση ετήσια αύξηση πληθυσμού Κυκλάδων). Ο ΡΠΑ για το 2009 υπολογίστηκε, με βάση τα δεδομένα πεδίου, ότι ανέρχεται σε 0,8 kg/κάτοικο/ημέρα, ενώ από το 1991 και μετά θεωρήθηκε ότι αυξάνεται κατά 2 % ανά έτος.

Όσο αφορά τις τουριστικές κλίνες η πρόβλεψη για τα έτη 1991-2009 χωρίστηκε σε δύο περιόδους, 1991-2001 και 2001-2009, με βάση δύο διαφορετικά ποσοστά αύξησης. Συγκεκριμένα, για την πρώτη περίοδο, όπου παρατηρήθηκε αλματώδης ανάπτυξη στον τομέα του τουρισμού θεωρήθηκε 10 %, ενώ για την δεύτερη περίοδο 2 %. Η μέση πληρότητα, η διάρκεια της τουριστικής περιόδου, όπως και ο ΡΠΑ από τον τουριστικό πληθυσμό θεωρήθηκαν σταθερές. Τέλος, οι ποσότητες ΑΣΑ που παράχθηκαν από τον τουριστικό και μόνιμο πληθυσμό αθροίστηκαν και εξάχθηκε η ετήσια παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ. Αναλυτικά τα αποτελέσματα των ποσοτήτων ΑΣΑ, που παράχθηκαν φαίνονται στους Πίνακες 6-4 και 6-5.

Πίνακας 6-4. Παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ ανά έτος Κουφονησίων

Έτος	Μόνιμος πληθυσμός	ΡΠΑ μόνιμου Πληθυσμού (kg/κάτοικο/ ημέρα)	ΑΣΑ μόνιμου πληθυσμού (tn/έτος)	Τουρ. κλίνες	Πληρό-τητα	ΡΠΑ τουρ. Πληθυσμού (kg/τουρ./ ημέρα)	Διάρκεια τουρ. Περιόδου (ημέρες)	ΑΣΑ τουρ. πληθυσμού (tn/έτος)	Σύνολο παραγόμενων ΑΣΑ (tn/έτος)
1991	275	0,5	46,88	742	0,51	1,2	120	54,46	101,34
1992	284	0,5	50,34	824	0,51	1,2	120	60,52	110,86
1993	293	0,5	53,94	916	0,51	1,2	120	67,24	121,18
1994	302	0,5	57,65	1.017	0,51	1,2	120	74,71	132,36
1995	311	0,5	61,49	1.130	0,51	1,2	120	83,01	144,50
1996	321	0,6	65,45	1.256	0,51	1,2	120	92,23	157,69
1997	330	0,6	69,54	1.395	0,51	1,2	120	102,48	172,02
1998	339	0,6	73,74	1.551	0,51	1,2	120	113,87	187,61
1999	348	0,6	78,07	1.723	0,51	1,2	120	126,52	204,59
2000	357	0,6	82,53	1.914	0,51	1,2	120	140,58	223,11
2001	366	0,7	87,10	2.127	0,51	1,2	120	156,20	243,30
2002	371	0,7	90,83	2.170	0,51	1,2	120	159,39	250,21
2003	376	0,7	94,64	2.215	0,51	1,2	120	162,64	257,28
2004	382	0,7	98,54	2.260	0,51	1,2	120	165,96	264,50
2005	387	0,7	102,53	2.306	0,51	1,2	120	169,35	271,88
2006	392	0,7	106,62	2.353	0,51	1,2	120	172,80	279,42
2007	398	0,8	110,80	2.401	0,51	1,2	120	176,33	287,13
2008	403	0,8	115,07	2.450	0,51	1,2	120	179,93	295,00
2009	409	0,8	119,44	2.500	0,51	1,2	120	183,60	303,04

Πίνακας 6-5. Παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ ανά έτος Σχοινούσας

Έτος	Μόνιμος πληθυσμός	ΡΠΑ μόνιμου Πληθυσμού (kg/κάτοικο/ ημέρα)	ΑΣΑ μόνιμου πληθυσμού (tn/έτος)	Τουρ. κλίνες	Πληρό-τητα	ΡΠΑ τουρ. Πληθυσμού (kg/τουρ./ ημέρα)	Διάρκεια τουρ. Περιόδου (ημέρες)	ΑΣΑ τουρ. πληθυσμού (tn/έτος)	Σύνολο παραγόμενων ΑΣΑ (tn/έτος)
1991	122	0,5	20,80	128	0,46	1,2	120	8,45	29,24
1992	130	0,5	23,11	142	0,46	1,2	120	9,39	32,50
1993	139	0,5	25,53	157	0,46	1,2	120	10,43	35,96
1994	147	0,5	28,07	175	0,46	1,2	120	11,59	39,66
1995	156	0,5	30,73	194	0,46	1,2	120	12,88	43,60
1996	164	0,6	33,49	216	0,46	1,2	120	14,31	47,80
1997	172	0,6	36,37	240	0,46	1,2	120	15,90	52,27
1998	181	0,6	39,36	267	0,46	1,2	120	17,67	57,03
1999	189	0,6	42,47	296	0,46	1,2	120	19,63	62,10
2000	198	0,6	45,69	329	0,46	1,2	120	21,81	67,50
2001	206	0,7	49,02	366	0,46	1,2	120	24,23	73,26
2002	209	0,7	51,15	373	0,46	1,2	120	24,73	75,88
2003	212	0,7	53,31	381	0,46	1,2	120	25,23	78,55
2004	215	0,7	55,52	389	0,46	1,2	120	25,75	81,27
2005	218	0,7	57,77	397	0,46	1,2	120	26,27	84,04
2006	221	0,7	60,06	405	0,46	1,2	120	26,81	86,86
2007	224	0,8	62,38	413	0,46	1,2	120	27,36	89,74
2008	227	0,8	64,75	421	0,46	1,2	120	27,91	92,66
2009	230	0,8	67,23	430	0,46	1,2	120	28,48	95,71

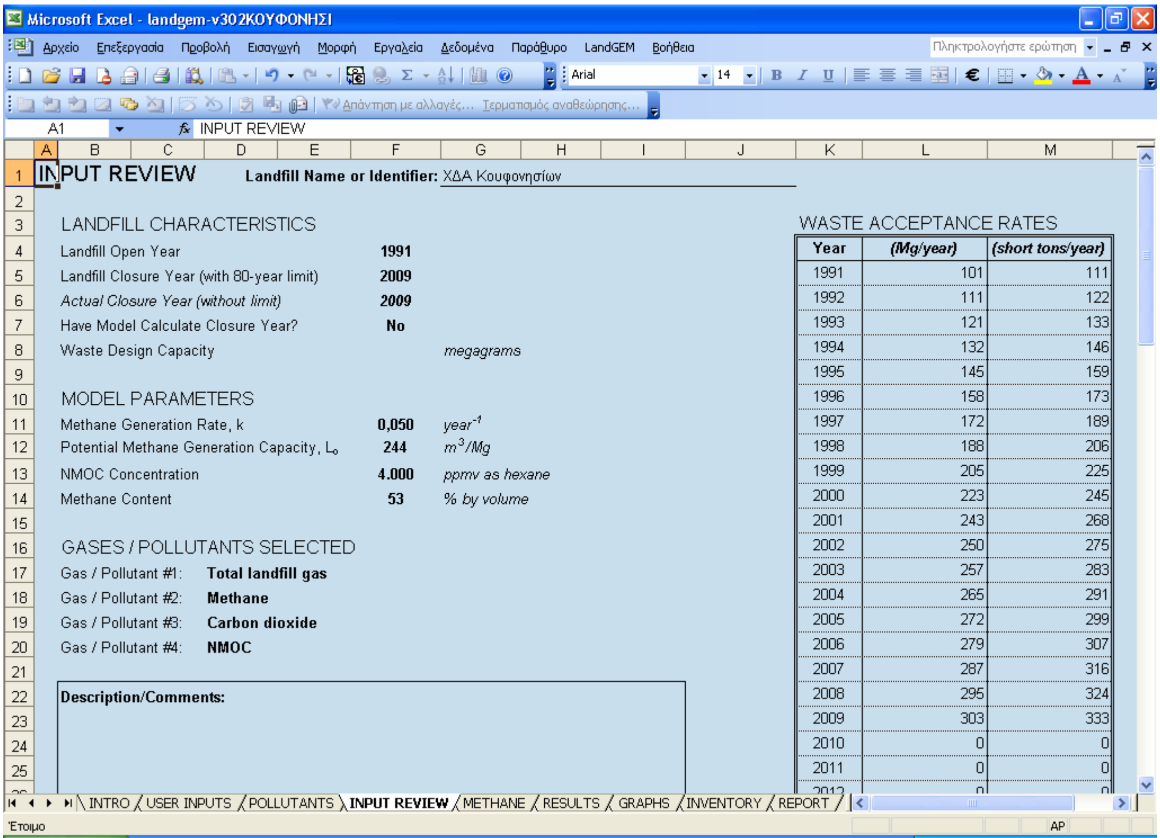
Τα δεδομένα εισόδου που απαιτεί το μοντέλο Landgem είναι:

1. Έτος έναρξης λειτουργίας του χώρου: **1991**
2. Έτος παύσης λειτουργίας του χώρου: **2009**
3. Σταθερά ρυθμού αποδόμησης, k: **0,05 yr^{-1} .** Γενικά, οι τυπικές τιμές για τους κανονισμούς του 1991 (CAA ομάδα του μοντέλου) είναι πιο κοντά στις συνθήκες λειτουργίας της Ελλάδας, λαμβάνοντας υπόψη τους «ελαστικούς» κανονισμούς λειτουργίας των Χ.Υ.Τ.Α. και του συγκεκριμένου χώρου ειδικά.
4. Θεωρητική παραγωγή μεθανίου, L_o, όπως προέκυψε από την επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου, είναι 151,68 και 197,24 kg CH_4/tn απορριμμάτων για το ΧΔΑ Κουφονησίων και Σχοινούσας αντίστοιχα. Ωστόσο η πυκνότητα του μεθανίου σε θερμοκρασία 20^o C και πίεση 1 atm είναι 0,667 kg/m^3, άρα

   $$\text{Lo}=\frac{162{,}58 kgCH_4 / tn\text{απορριμμάτων}}{0{,}667 kg/m^3}$$ = **243,7 m^3 CH_4/tn απορριμμάτων**

   και **307,0 m^3 CH_4/tn απορριμμάτων**
5. Ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο: 53 % και 51 % για Κουφονήσια και Σχοινούσα αντίστοιχα (δεδομένα από μετρήσεις πεδίου)
6. Συγκέντρωση NMOC (Non-methane-organic-carbon): **4.000 ppmv ως εξάνιο**
7. Ετήσιες παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων: όπως φαίνονται στους Πίνακες 6-3 και 6-4
8. Ο χώρος δεν δέχεται και επικίνδυνα απορρίμματα.

Τα δεδομένα εισόδου φαίνονται αναλυτικά στις Εικόνες 6-3 και 6-4.



Microsoft Excel - landgem-v302ΚΟΥΦΟΝΗΣΙ

INPUT REVIEW — Landfill Name or Identifier: ΧΔΑ Κουφονησίων

LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	1991	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2009	
Actual Closure Year (without limit)	*2009*	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		*megagrams*

MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k	0,050	*year^{-1}*
Potential Methane Generation Capacity, L_o	244	*m^3/Mg*
NMOC Concentration	4.000	*ppmv as hexane*
Methane Content	53	*% by volume*

GASES / POLLUTANTS SELECTED

Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas
Gas / Pollutant #2:	Methane
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide
Gas / Pollutant #4:	NMOC

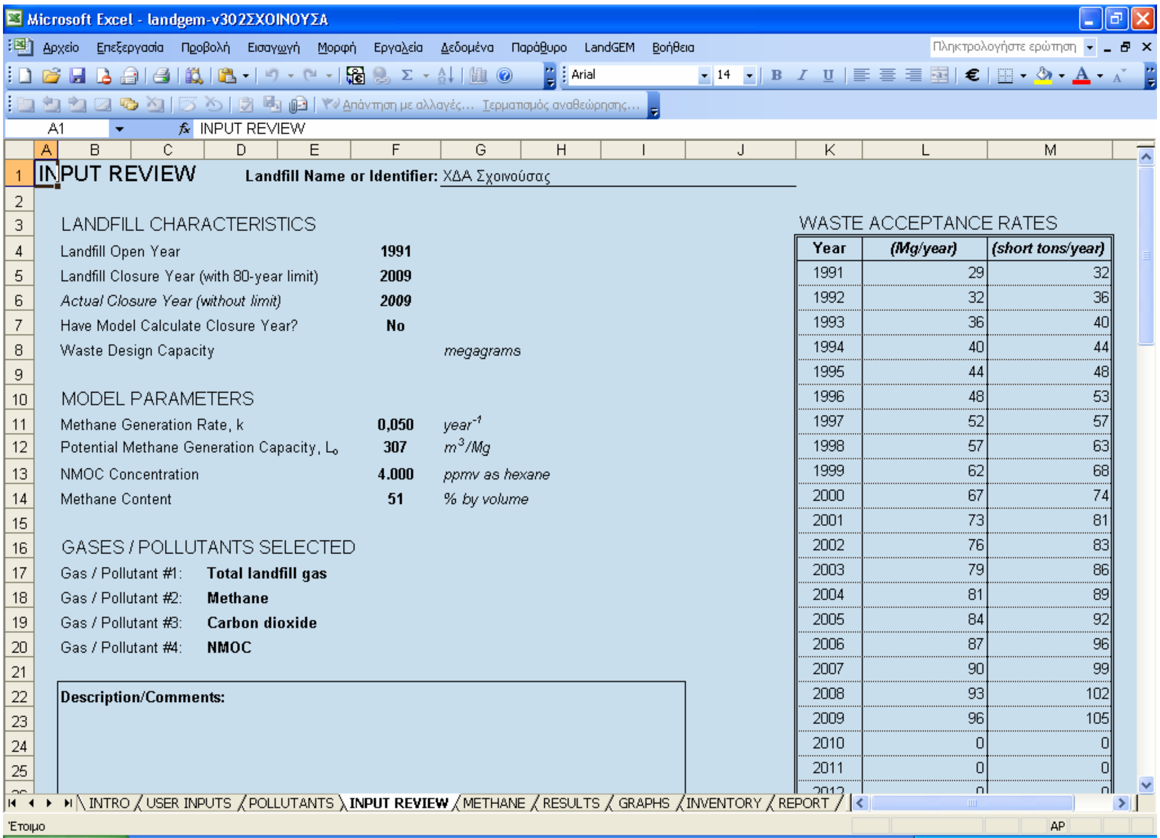
Description/Comments:

WASTE ACCEPTANCE RATES

Year	(Mg/year)	(short tons/year)
1991	101	111
1992	111	122
1993	121	133
1994	132	146
1995	145	159
1996	158	173
1997	172	189
1998	188	206
1999	205	225
2000	223	245
2001	243	268
2002	250	275
2003	257	283
2004	265	291
2005	272	299
2006	279	307
2007	287	316
2008	295	324
2009	303	333
2010	0	0
2011	0	0

INTRO / USER INPUTS / POLLUTANTS / INPUT REVIEW / METHANE / RESULTS / GRAPHS / INVENTORY / REPORT

Εικόνα 6-3. Δεδομένα εισόδου ΧΔΑ Κουφονησίων του μοντέλου Landgem



Microsoft Excel - landgem-v302ΣΧΟΙΝΟΥΣΑ

INPUT REVIEW — Landfill Name or Identifier: ΧΔΑ Σχοινούσας

LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	1991	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2009	
Actual Closure Year (without limit)	*2009*	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		*megagrams*

MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k	0,050	*year^{-1}*
Potential Methane Generation Capacity, L_o	307	*m^3/Mg*
NMOC Concentration	4.000	*ppmv as hexane*
Methane Content	51	*% by volume*

GASES / POLLUTANTS SELECTED

Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas
Gas / Pollutant #2:	Methane
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide
Gas / Pollutant #4:	NMOC

Description/Comments:

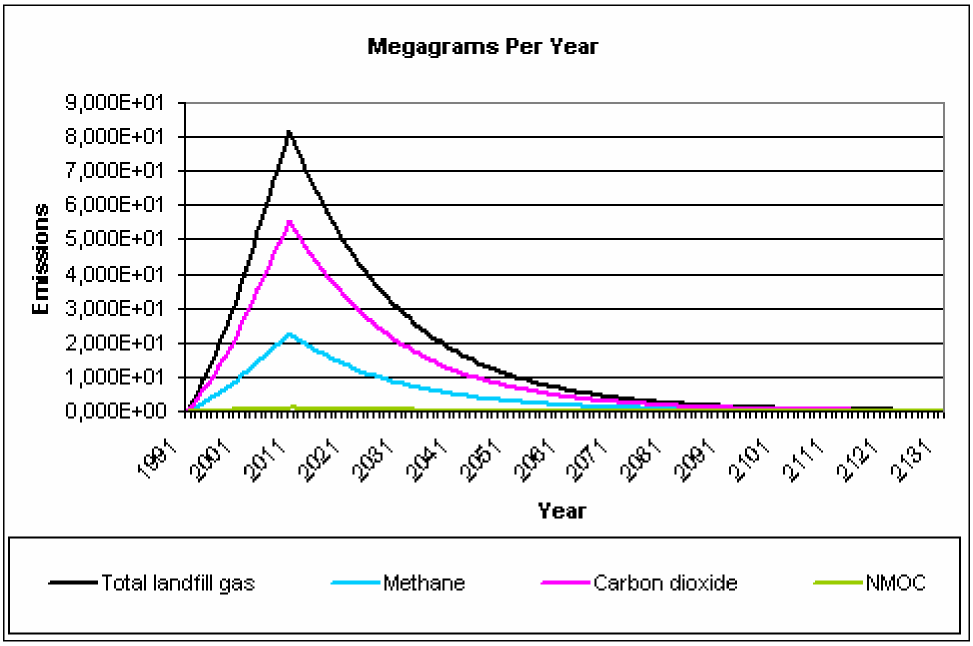
WASTE ACCEPTANCE RATES

Year	(Mg/year)	(short tons/year)
1991	29	32
1992	32	36
1993	36	40
1994	40	44
1995	44	48
1996	48	53
1997	52	57
1998	57	63
1999	62	68
2000	67	74
2001	73	81
2002	76	83
2003	79	86
2004	81	89
2005	84	92
2006	87	96
2007	90	99
2008	93	102
2009	96	105
2010	0	0
2011	0	0

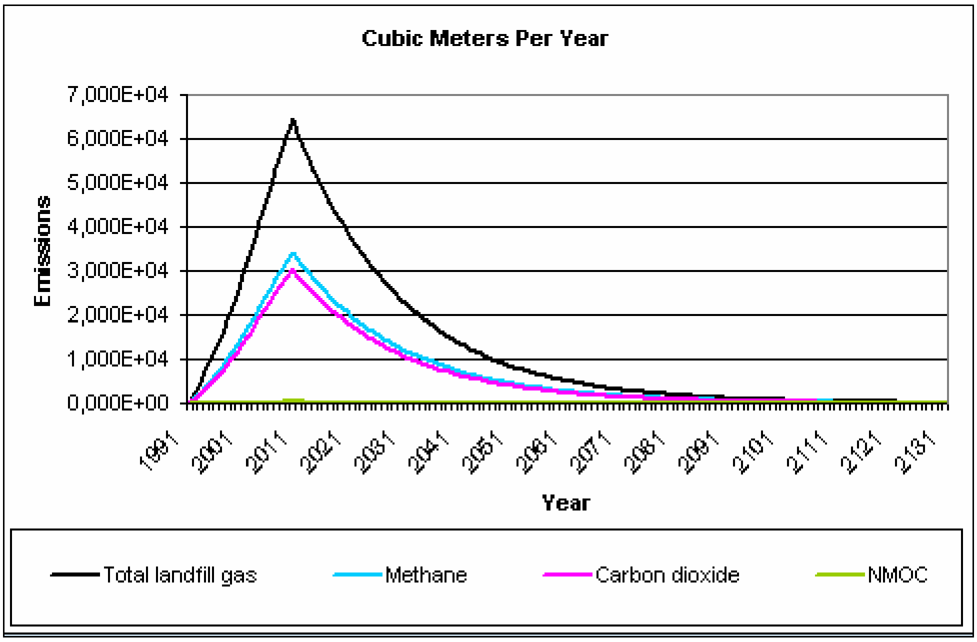
INTRO / USER INPUTS / POLLUTANTS / INPUT REVIEW / METHANE / RESULTS / GRAPHS / INVENTORY / REPORT

Εικόνα 6-4. Δεδομένα εισόδου ΧΔΑ Σχοινούσας του μοντέλου Landgem

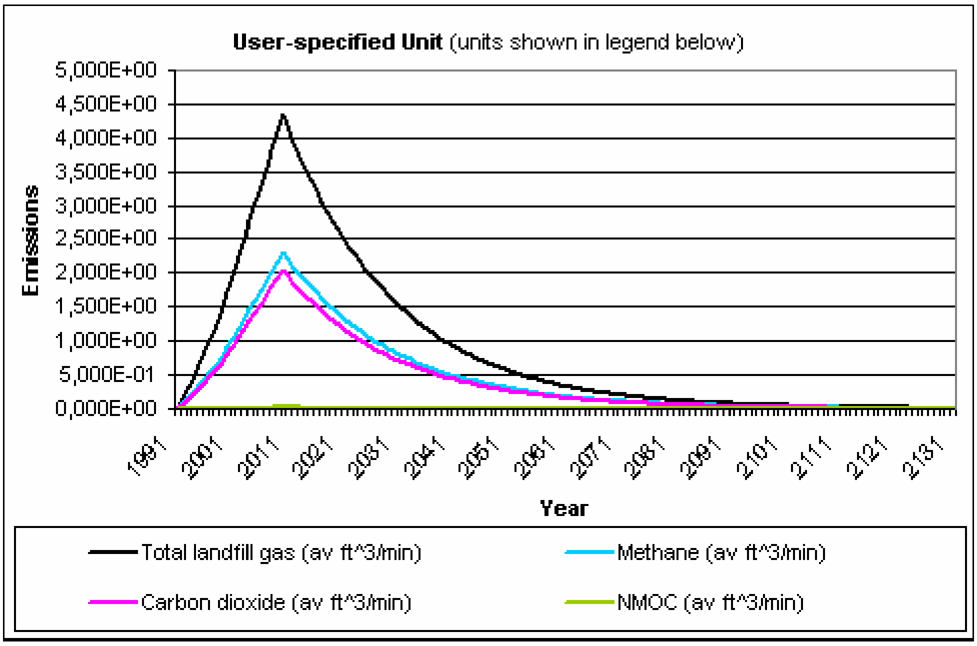
Στο φύλλο εργασίας του Excel με την ονομασία ‘GRAPHS’ παρέχονται τα Σχήματα 6-5 έως 6-10, όπου φαίνεται η παραγωγή μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα, NMOC και ολικών αερίων από τους ΧΔΑ.



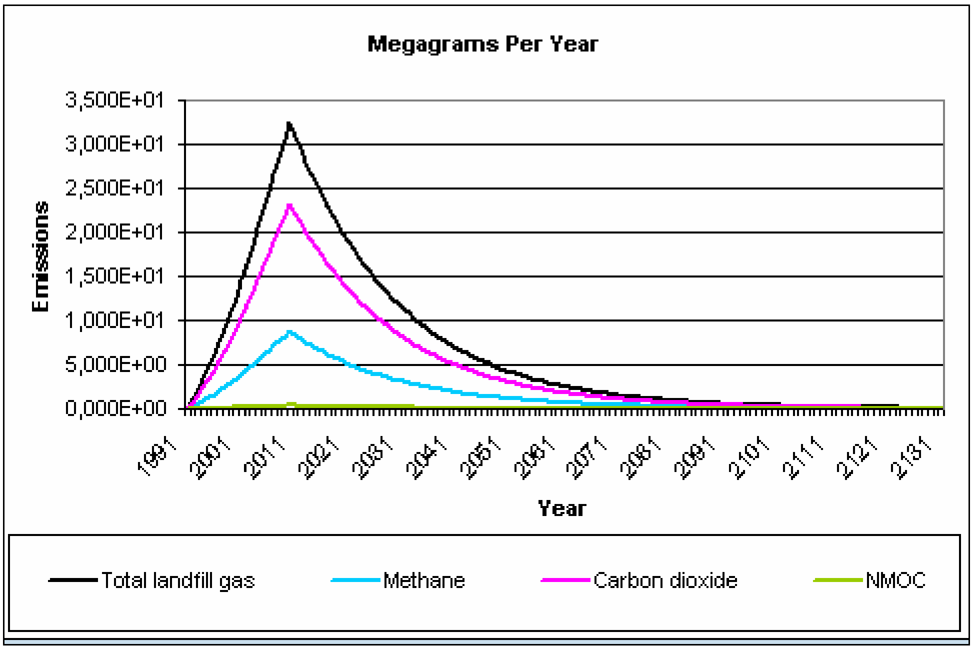
Σχήμα 6-5. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΔΑ Κουφονησίων



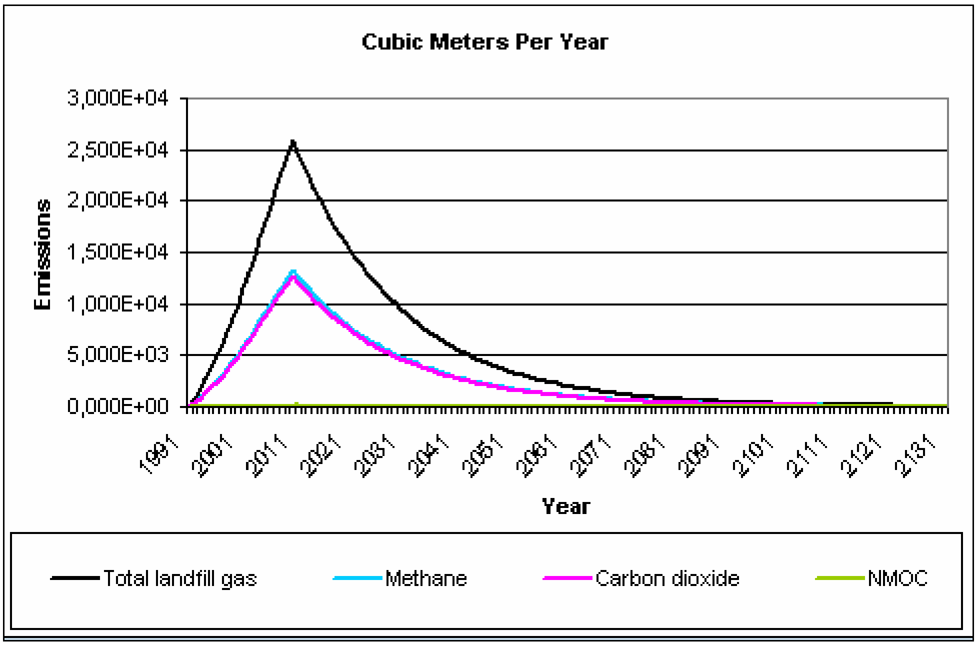
Σχήμα 6-6. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΔΑ Κουφονησίων



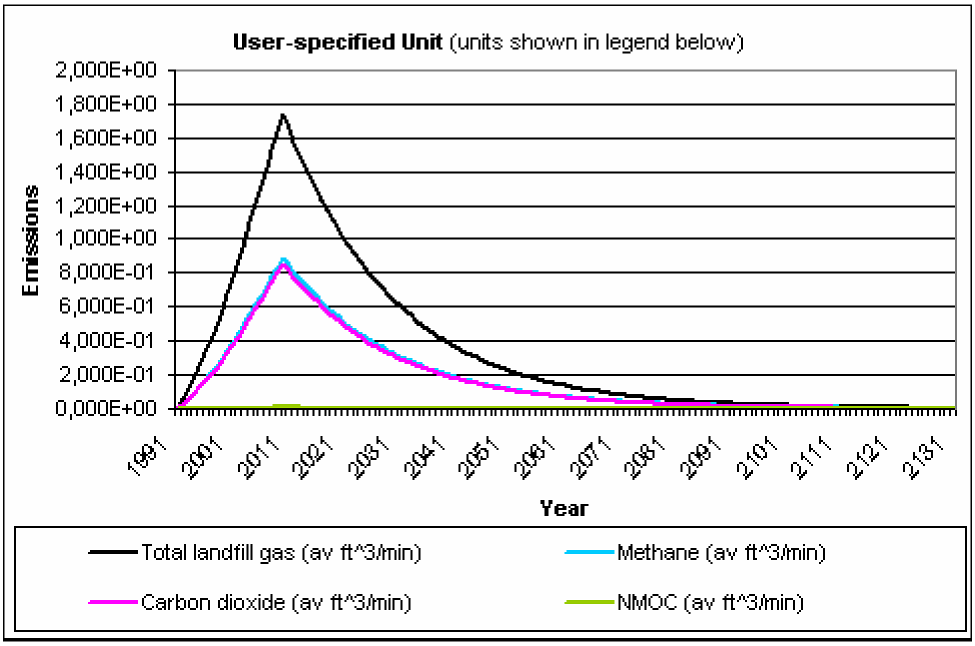
Σχήμα 6-7. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΔΑ Κουφονησίων



Σχήμα 6-8. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΔΑ Σχοινούσας



Σχήμα 6-9. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΔΑ Σχοινούσας



Σχήμα 6-10. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΔΑ Κουφονησίων

Οι μέγιστες εκπομπές των τεσσάρων αέριων ρύπων παρατηρούνται το 2010, ένα χρόνο μετά το κλείσιμο των ΧΔΑ, ενώ από το 2010 και μετά οι εκπομπές μειώνονται. Η νομοθεσία ορίζει ότι η περίοδος μεταφροντίδας ενός ΧΥΤΑ είναι 15 έτη. Επομένως, το 2024 ο όγκος του παραγόμενου μεθανίου μειώνεται στα $1{,}70*10^4$ και $6{,}58*10^3$ m^3/έτος για το ΧΔΑ Κουφονησίων και Σχοινούσας, αντίστοιχα. Η μείωση είναι της τάξης του 50,3 % και για τους δύο ΧΔΑ, ενώ το 2034 οι εκπομπές μειώνονται σε ποσοστό 69,9 %.

7. Καύση αστικών στερεών αποβλήτων με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας

7.1 Εισαγωγή

Η εξέταση της δυναμικής της μεθόδου ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΣΑ απαιτεί μια σφαιρική αντιμετώπιση του θέματος που να λαμβάνει υπόψη ένα πλήθος από κοινωνικοπολιτικούς και οικονομικούς παράγοντες, την διαθέσιμη τεχνολογία και τους περιβαλλοντικούς στόχους της εκάστοτε χώρας. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία λήφθηκε από τη μελέτη του τμήματος ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης (Παναγιωτίδου, 2008) και υπολογίζει την ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ (Παναγιωτίδου, 2008).

Το δυναμικό σύστημα που εξετάζεται αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

1. Πληθυσμός
2. Ρυθμός Παραγωγής Απορριμμάτων (ΡΠΑ)
3. Σύνθεση απορριμμάτων
4. Ανακύκλωση
5. Θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων
6. Ωφέλιμη ισχύς
7. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ

7.2 Πληθυσμός

Σύμφωνα με το μοντέλο η μεταβολή του πληθυσμού ακολουθεί μία εκθετική αύξηση που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\mathrm{P}_{i+k} = \mathrm{P}_i(1 + r/100)^{\kappa},$$

όπου P_i ο πληθυσμός βάσης και r η ανά περίοδο ποσοστιαία αύξηση, κ ο αριθμός των περιόδων, και $\mathrm{P}i\textit{+k}$ ο πληθυσμός μετά από κ περιόδους.

7.3 Ρυθμός Παραγωγής Απορριμμάτων (ΡΠΑ)

Ένα συνηθισμένο μέγεθος, που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ρυθμού παραγωγής, είναι η Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων (ΜΠΑ) που εκφράζεται σαν μάζα απορριμμάτων ανά ημέρα ανά άτομο. Ο ρυθμός παραγωγής (ΡΠΑ) εκτιμάται για μια περιοχή πολλαπλασιάζοντας την ΜΠΑ επί τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό (Π): ΡΠΑ = Π * ΜΠΑ. Σε παγκόσμια κλίμακα, και για τις τρεις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται αύξηση του ΡΠΑ και της ΜΠΑ.

7.4 Σύνθεση απορριμμάτων

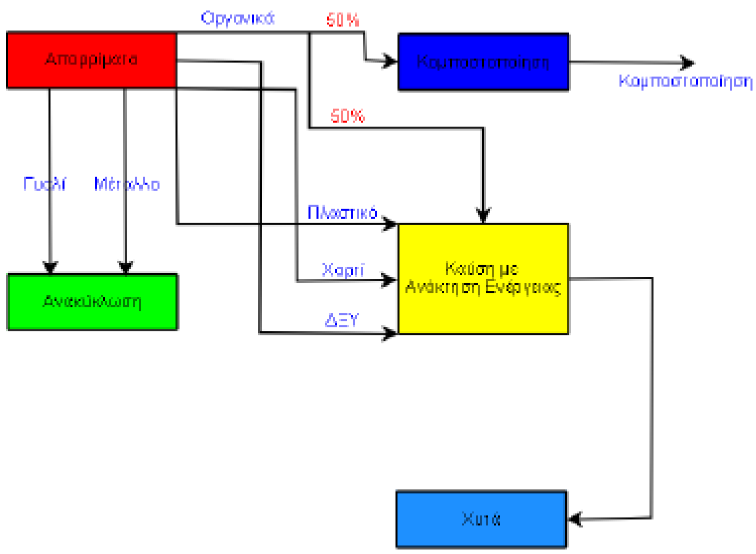
Η σύνθεση των απορριμμάτων που παράγονται ανά κάτοικο ποικίλλει ανάλογα με τη χώρα και την περιοχή και εξαρτάται από το βιοτικό επίπεδο, τις καταναλωτικές συνήθειες και τον τρόπο ζωής των κατοίκων. Έτσι π.χ. στις αναπτυσσόμενες χώρες τα ζυμώσιμα είναι περισσότερα, ενώ στις πιο αναπτυγμένες υπάρχει πολύ χαρτί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, ειδικά στις βιομηχανικά προηγμένες χώρες, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα χάρτινα υλικά συσκευασίας τα οποία τελικά απορρίπτονται. Αν στο μέλλον η Ελλάδα ακολουθήσει τις Ευρωπαϊκές χώρες, όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων απορριμμάτων, θα υπάρξει μείωση στην χρήση των πλαστικών συσκευασιών και στην παραγωγή ζυμωσίμων, ενώ παράλληλα θα αυξηθεί αρκετά η χρήση των χάρτινων συσκευασιών.

7.5 Ανακύκλωση

Τα υλικά συσκευασίας που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι τα εξής:

- Χαρτί
- Πλαστικό
- Μέταλλα
- Γυαλί

Για να μεγιστοποιήσουμε την ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση απορριμμάτων επιλέγουμε το χαρτί και πλαστικό να καίγονται μαζί με το υπόλοιπο των απορριμμάτων αντί να ανακυκλώνονται, λόγω της μεγάλης θερμογόνου δύναμής τους. Για τον ίδιο λόγο επιλέγουμε να καίγεται μόνο το 1/2 του οργανικού κλάσματος που χαρακτηρίζεται από μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία και το υπόλοιπο να χρησιμοποιηθεί για κομποστοποίηση. Επιπλέον, το γυαλί και μέταλλο προτείνεται να ανακυκλώνονται για το λόγο ότι αν καίγονται μένουν ως υπόλειμμα κατά την καύση. Επιπλέον το λάστιχο που ανήκει στην κατηγορία ΔΞΥΛ απαιτεί ιδιαίτερη μεταχείριση καθώς απαγορεύεται η καύση του λόγω εκπομπής επικίνδυνων τοξικών ουσιών, ενώ παράλληλα δεν μπορεί να ανακυκλωθεί καθώς δεν είναι βιοδιασπάσιμο υλικό. Ένα ενδεικτικό διάγραμμα ροής της προαναφερθείσας διαδικασίας δίνεται στο Σχήμα 7-1.



Σχήμα 7-1. Σενάριο καύσης με ανάκτηση ενέργειας σε συνδυασμό με ανακύκλωση και κομποστοποίηση (Παναγιωτίδου, 2008)

Στο δυναμικό σύστημα που εξετάζεται έχουν ληφθεί υπόψη τα ποσοστά ανακύκλωσης που έχουν επιτευχθεί μέχρι τώρα, καθώς επίσης και τα θεσπισμένα ποσοστά ανάκτησης υλικών μέχρι το 2011 για την Ελλάδα, όπως αυτά προβλέπονται από την οδηγία 2004/12/ΕΚ και είναι τα εξής:

• 60%κ.β. του χαρτιού

• 60%κ.β. του γυαλιού

• 50%κ.β. των μετάλλων

• 22,5%κ.β. των πλαστικών

• 15%κ.β. των ξύλων

7.6 Θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων

Η καύση και γενικότερα η ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων συνδέεται με το ποσό της θερμότητας που μπορεί να εκλυθεί κατά την καύση τους. Ως θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων ορίζεται το ποσό της θερμότητας που μπορεί να εκλυθεί κατά την καύση μιας μονάδας μάζας των απορριμμάτων. Ανάλογα με την φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση, η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται ως ανώτερη (Α.Θ.Δ.$_{\Phi}$) ή κατώτερη (Κ.Θ.Δ.$_{\Phi}$). Έτσι όταν οι υδρατμοί βρίσκονται σε υγρή φάση αναφερόμαστε σε κατώτερη θερμογόνο δύναμη, καθώς η απαιτούμενη ενέργεια ατμοποίησης δεν συνυπολογίζεται ως θερμότητα. Αντίθετα όταν οι υδρατμοί είναι σε αέρια φάση αναφερόμαστε σε ανώτερη θερμογόνο δύναμη στην οποία συνυπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια ατμοποίησης.

Η $(\text{Κ.Θ.Δ.})_{\Phi}$ υπολογίζεται με βάση τη τυπική σύσταση των Ελληνικών ΑΣΑ. Επιπλέον θεωρούμε ότι τα απορρίμματα μπορούν να καούν εφόσον η περιεκτικότητά τους σε υγρασία δεν ξεπερνά το 50%, η περιεκτικότητα σε τέφρα το 30% και η καύσιμη ύλη να είναι τουλάχιστον 25%, που συνεπάγεται ότι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη πρέπει να είναι τουλάχιστον 3350 kj/kg. Επειδή στην περίπτωση των ελληνικών απορριμμάτων το ποσοστό της υγρασίας είναι αυξημένο, απαιτείται η προξήρανσή τους πριν την καύση. Με αυτόν τον τρόπο, το ποσοστό της υγρασίας μπορεί να μειωθεί κατά 20-60 %.

7.7 Ωφέλιμη ισχύς

Για να υπολογίσουμε την ωφέλιμη ισχύ πρέπει να βρούμε πώς διαμορφώνεται το ενεργειακό ισοζύγιο κατά την διάρκεια της καύσης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ροή της ενέργειας είναι οι εξής:

• Η θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων, η $(\text{Κ.Θ.Δ.})_{\Phi\alpha\rho\chi\iota\kappa\acute{\eta}}$ και η $(\text{Α.Θ.Δ.})_{\Phi}$ με βάση την αρχική υγρασία απορριμμάτων.

• Η προξήρανση των απορριμμάτων για την μείωση της υγρασίας. Επομένως η $(\text{Κ.Θ.Δ.})_{\Phi}$ των απορριμμάτων πριν την καύση τους αλλάζει. Η καινούρια $(\text{Κ.Θ.Δ.})_{\Phi}$ ($(\text{Κ.Θ.Δ.})_{\Phi\tau\epsilon\lambda\iota\kappa\acute{\eta}}$) καθορίζει την $Q_{\alpha\pi o\rho\rho\iota\mu\mu\acute{\alpha}\tau\omega\nu}$ και μπορεί να υπολογιστεί με τον εξής τρόπο:

$(\text{Α.Θ.Δ.})_{\Phi} = (\text{Α.Θ.Δ.})_{\xi}*(1- [0,4 , 0,6 , 0,8]*W_{\Phi})$

$(\text{Κ.Θ.Δ.})_{\Phi} = (\text{Α.Θ.Δ.})_{\Phi}-A'$

όπου:

- $A' = (9Y + [0,4 , 0,6 , 0,8]*W_{\Phi}) \times 2.509$ με μονάδες kJ/kg
- Y: % κ.β. περιεκτικότητα του δείγματος σε υδρογόνο (στοιχειακή ανάλυση).
- 2.509: θερμότητα εξαέρωσης του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση.

Ο πολλαπλασιασμός με τα ποσοστά 0,4 , 0,6 και 0,8 γίνεται για να μας δώσει την υγρασία που θα παραμείνει τελικά στα καύσιμα ΑΣΑ μετά την προξήρανση.

$Q_{\alpha\pi o\rho\rho\iota\mu\mu\acute{\alpha}\tau\omega\nu} = mf * (\text{Κ.Θ.Δ.})_{\Phi\tau\epsilon\lambda\iota\kappa\acute{\eta}}$

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να προσδιορίσουμε την απαιτούμενη ενέργεια για την προξήρανση $Q_{\pi\rho o\xi\acute{\eta}\rho\alpha\nu\sigma\eta\varsigma}$, η οποία χωρίζεται σε λανθάνουσα $Q_{\lambda\alpha\nu\theta\acute{\alpha}\nu o\upsilon\sigma\alpha}$ και αισθητή

$Q_{αισθητή}$. Η λανθάνουσα θερμότητα σύμφωνα με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του νερού είναι η ενέργεια που απαιτείται για μετάβαση του νερού από υγρή σε αέρια φάση.

$Q_{λανθάνουσα} = mf\,((Κ.Θ.Δ.)_{Φτελική} - (Κ.Θ.Δ.)_{Φαρχική})$ και

$Q_{αισθητή} = mf * C_p * ΔT$, όπου

mf είναι παροχή καυσίμου, δηλαδή απορριμμάτων (tn/day), C_p ειδική θερμότητα απορριμμάτων η οποία ισούται με 2,1 Kj/Kg°*C* και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε ατμοσφαιρικό και θερμαινόμενο αέρα από τα καυσαέρια που παρέχεται για την προξήρανση. Αν θεωρήσουμε ότι η αρχική θερμοκρασία απορριμμάτων είναι 30°*C* και η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 80°*C* (η ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία για την προξήρανση), τότε ΔT= 80°*C*- 30°*C*= 50°*C*.

• Η προθέρμανση του εισερχόμενου στον καυστήρα αέρα για λόγους πληρέστερης καύσης. Ένα μέρος της θερμογόνου δύναμης των καυσαερίων και ατμού που παράγονται κατά την καύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προθέρμανση του εισερχόμενου στον αποτεφρωτή αέρα και υπολογίζεται με τον εξής τρόπο:

$Q_{προθέρμανσηςαέρα} = (1 + a)C_{ραέρα}\;ΔT$,

όπου ο συντελεστής a = 20 εκφράζει την αναλογία μάζας απορριμμάτων-αέρα, δηλαδή ο απαιτούμενος αέρας για την καύση πρέπει να είναι 20πλάσιος της μάζας των ΑΣΑ, $C_{ραέρα}$= 1 Kj/Kg°*C* και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού με τον θερμαινόμενο από τα καυσαέρια αέρα που παρέχεται στον καυστήρα, δηλαδή ΔT= 80°*C*- 30°*C*= 50°*C*.

• Απώλειες που μπορούν να φτάσουν στο 10% της συνολικής ενέργειας απορριμμάτων και περιλαμβάνουν τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας, οι οποίες αποτελούν συνήθως 4%-5% της εισερχόμενης θερμογόνου δύναμης, συν τις απώλειες λόγω της δημιουργίας της τέφρας κατά την καύση. Η εξίσωση που περιγράφει την ενεργειακή ροή κατά την καύση είναι η εξής:

$Q_{συνολική} = Q_{απορριμμάτων} + Q_{προθέρμανσηςαέρα} = Q_{προξήρανσης} + Q_{ωφέλιμη} +$ Απώλειες

Σύμφωνα με τα παραπάνω, επειδή για την προθέρμανση του αέρα χρησιμοποιούμε ένα μέρος της θερμογόνου δύναμης των καυσαερίων και ατμού που παράγονται κατά την καύση, η παραπάνω εξίσωση διαμορφώνεται ως εξής:

$Q_{συνολική} = Q_{απορριμμάτων} = Q_{προθέρμανσηςαέρα} + Q_{προξήρανσης} + Q_{ωφέλιμη} +$ Απώλειες

Ως ωφέλιμη ενέργεια θεωρείται το άθροισμα της αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Παρόλο που θεωρητικά η γεννήτρια έχει την δυνατότητα να αξιοποιήσει το 31-32% της θερμογόνου δύναμης των ατμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιοριζόμαστε στο 29%, που είναι συντηρητικό σενάριο ανάκτησης ενέργειας, ενώ η αξιοποιήσιμη θερμική ενέργεια μπορεί να φτάσει στο 53%-54% στο σύνολο της ωφέλιμης ενέργειας (Παναγιωτίδου, 2008). Το υπόλοιπο είναι οι απώλειες που οφείλονται στην γεννήτρια:

$Q_{\text{ωφέλιμη}} = Q_{\text{θερμική}} + Q_{\text{ηλεκτρική}}$ + Απώλειες Γεννήτριας, όπου

$Q_{\text{ηλεκτρική}} = 0,29 * Q_{\text{ωφέλιμη}}$

$Q_{\text{θερμική}} = [0{,}53 , 0{,}54] * Q_{\text{ωφέλιμη}}$

7.8 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ

Στην Ελλάδα η παραγωγή ενέργειας στηρίζεται κυρίως στην καύση ορυκτών πόρων, όπως ο λιγνίτης, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, και σε μικρό βαθμό σε ΑΠΕ. Τα προβλήματα που δημιουργούνται από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας διογκώνονται και είναι εμφανές ότι η Ελλάδα, όπως και οι υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε., πρέπει να στραφεί σε εναλλακτικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας.

Η παραγωγή ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ όχι μόνο συνεισφέρει στην απεξάρτηση της Ελλάδας από το πετρέλαιο αλλά μειώνει και την συνολική ποσότητα των ΑΣΑ που οδηγούνται σε υγειονομική ταφή. Συνεπώς, η αξιοποίηση των ΑΣΑ ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας κρίνεται ως ιδιαίτερης σημασίας και μπορεί να βοηθήσει, σε συνδυασμό και με άλλες ΑΠΕ, στην ενεργειακή αυτονομία των νησιών των Κυκλάδων.

8. Σενάρια ολοκληρωμένης διαχείρισης στερεών αποβλήτων

8.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετηθούν τρία διαφορετικά σενάρια ολοκληρωμένης διαχείρισης στερεών αποβλήτων για τη μελετώμενη περιοχή (Νάξος, Κουφονήσια, Σχοινούσα, Ηρακλειά, Δονούσα).

1. Μελέτη της υπάρχουσας κατάστασης, δηλαδή, με χρήση του μοντέλου Landgem, θα υπολογιστούν οι εκπομπές αέριων ρύπων από το ΧΥΤΑ Νάξου
2. Κατασκευή ΣΜΑ στα νησιά Κουφονήσια, Σχοινούσα, Ηρακλειά και Δονούσα με τελικό αποδέκτη το ΧΥΤΑ Νάξου και σύγκριση των νέων εκπομπών αερίων με το $1^{ο}$ σενάριο
3. Κατασκευή μονάδας καύσης στο ΧΥΤΑ Νάξου με παράλληλη ανάκτηση ενέργειας για το σύνολο των απορριμμάτων της μελετώμενης περιοχής.

8.2 Σενάριο $1^{ο}$ – Υπάρχουσα κατάσταση

Στο $1^{ο}$ σενάριο θα εξετάσουμε την υπάρχουσα κατάσταση στη Νάξο. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκαν οι ποσότητες των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων όπως φαίνεται στον Πίνακα 8-1.

Πίνακας 8-1. Παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ ανά έτος Νάξου Σεναρίου 1

Έτος	Μόνιμος πληθυσμός	ΡΠΑ μόνιμου Πληθυσμού (kg/ κάτοικο/ ημέρα)	ΑΣΑ μόνιμου πληθυσμού (tn/έτος)	Τουρ. κλίνες	Πληρό-τητα	ΡΠΑ τουρ. Πληθυσμού (kg/ τουρ./ ημέρα)	Διάρκεια τουρ. Περιόδου (ημέρες)	ΑΣΑ τουρ. πληθυσμού (tn/έτος)	Σύνολο παραγόμενων ΑΣΑ (tn/έτος)
1991	14.838	0,94	5.081,42	12.464	0,55	1,20	150	1.233,98	6.315,39
1992	15.173	0,95	5.248,63	12.850	0,55	1,20	150	1.272,14	6.520,77
1993	15.508	0,96	5.418,70	13.247	0,55	1,20	150	1.311,49	6.730,18
1994	15.843	0,97	5.591,67	13.657	0,55	1,20	150	1.352,05	6.943,71
1995	16.178	0,98	5.767,58	14.079	0,55	1,20	150	1.393,87	7.161,44
1996	16.513	0,99	5.946,47	14.515	0,55	1,20	150	1.436,97	7.383,45
1997	16.848	1,00	6.128,39	14.964	0,55	1,20	150	1.481,42	7.609,81
1998	17.183	1,01	6.313,38	15.427	0,55	1,20	150	1.527,23	7.840,61
1999	17.518	1,02	6.501,48	15.904	0,55	1,20	150	1.574,47	8.075,95
2000	17.853	1,03	6.692,74	16.396	0,55	1,20	150	1.623,16	8.315,90
2001	18.188	1,04	6.887,19	16.903	0,55	1,20	150	1.673,36	8.560,56
2002	18.443	1,05	7.054,16	17.425	0,55	1,20	150	1.725,12	8.779,27
2003	18.701	1,06	7.225,17	17.964	0,55	1,20	150	1.778,47	9.003,64
2004	18.963	1,07	7.400,32	18.520	0,55	1,20	150	1.833,48	9.233,80
2005	19.228	1,08	7.579,72	19.093	0,55	1,20	150	1.890,18	9.469,91
2006	19.497	1,09	7.762,70	19.683	0,55	1,20	150	1.948,64	9.711,34
2007	19.770	1,10	7.950,09	20.292	0,55	1,20	150	2.008,91	9.959,00
2008	20.047	1,11	8.142,01	20.698	0,55	1,20	150	2.049,09	10.191,09
2009	20.328	1,12	8.338,55	21.112	0,55	1,20	150	2.090,07	10.428,62
2010	20.612	1,14	8.539,85	21.534	0,55	1,20	150	2.131,87	10.671,72
2011	20.901	1,15	8.746,00	21.965	0,55	1,20	150	2.174,51	10.920,50
2012	21.193	1,16	8.957,13	22.404	0,55	1,20	150	2.218,00	11.175,12
2013	21.490	1,17	9.173,35	22.852	0,55	1,20	150	2.262,36	11.435,71
2014	21.791	1,18	9.394,80	23.309	0,55	1,20	150	2.307,60	11.702,40
2015	22.096	1,19	9.621,59	23.775	0,55	1,20	150	2.353,76	11.975,34
2016	22.405	1,20	9.853,85	24.251	0,55	1,20	150	2.400,83	12.254,68
2017	22.719	1,22	10.091,72	24.736	0,55	1,20	150	2.448,85	12.540,57
2018	23.037	1,23	10.335,34	25.231	0,55	1,20	150	2.497,82	12.833,16
2019	23.360	1,24	10.584,83	25.735	0,55	1,20	150	2.547,78	13.132,61
2020	23.687	1,25	10.840,35	26.250	0,55	1,20	150	2.598,74	13.439,09
2021	24.018	1,27	11.102,04	26.775	0,55	1,20	150	2.650,71	13.752,75
2022	24.355	1,28	11.370,04	27.310	0,55	1,20	150	2.703,73	14.073,77
2023	24.696	1,29	11.644,51	27.857	0,55	1,20	150	2.757,80	14.402,31
2024	25.041	1,30	11.925,61	28.414	0,55	1,20	150	2.812,96	14.738,57
2025	25.392	1,32	12.213,50	28.982	0,55	1,20	150	2.869,22	15.082,71
2026	25.747	1,33	12.508,33	29.562	0,55	1,20	150	2.926,60	15.434,93
2027	26.108	1,34	12.810,28	30.153	0,55	1,20	150	2.985,13	15.795,41
2028	26.473	1,36	13.119,52	30.756	0,55	1,20	150	3.044,83	16.164,35
2029	26.844	1,37	13.436,23	31.371	0,55	1,20	150	3.105,73	16.541,96
2030	27.220	1,39	13.760,58	31.998	0,55	1,20	150	3.167,85	16.928,42

Στον Πίνακα 8-2 υπολογίζουμε με την ίδια μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τους ΧΔΑ Κουφονησίων και Σχοινούσας την θεωρητική παραγωγή μεθανίου.

Πίνακας 8-2. Υπολογισμός θεωρητικής παραγωγής μεθανίου ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 1

Ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων: 28.571,56 kg/d						
Κλάσματα	**Σύνθεση ΑΣΑ**	**Ποσότητες κλασμάτων (kg/d)**	**Υγρασία (%)**	**Ποσότητες κλασμάτων σε ξηρή βάση (kg/d)**	**Στοιχειακός άνθρακας (%)**	**Ποσότητα στοιχειακού C ανά κλάσμα σε ξηρή βάση (kg/d)**
Δ.Ξ.Υ.Λ.	6,6	1.885,72	11,51	1.668,68	48,13	803,13
Χαρτί	28,4	8.114,32	15,08	6.890,68	39,18	2.699,77
Οργανικά	39,8	11.371,48	78,42	2.453,97	44,52	1.092,51
Πλαστικά	9,2	2.628,58	4,06	2.521,86	76,19	1.921,41
ΣΥΝΟΛΟ				13.535,19		6.516,82

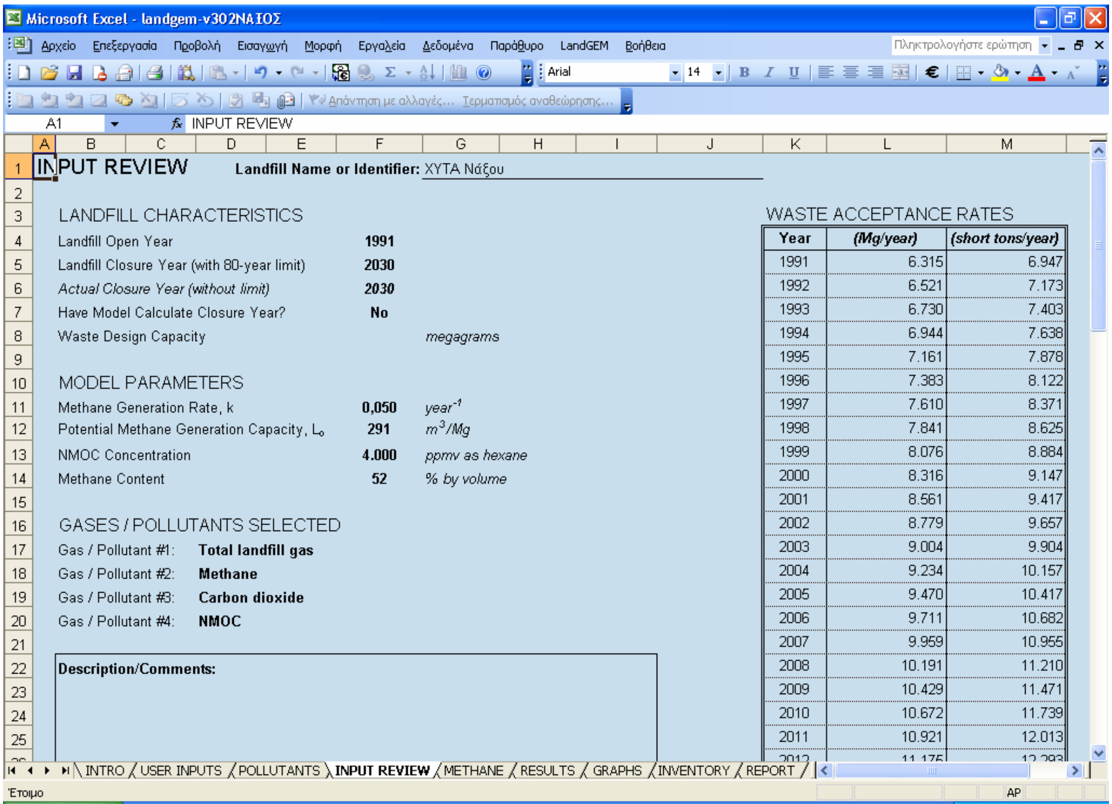
M_c (kg C/kg απορριμμάτων)	0,48
F_b (Οργανικός C/ Ολικό C)	0,58
S	16/12
L_o (kg CH_4/tn απορριμμάτων)	**194,26**

Συνεπώς τα δεδομένα εισόδου για το μοντέλο Landgem ορίζονται ως εξής:

1. Έτος έναρξης λειτουργίας του χώρου: **1991**
2. Έτος παύσης λειτουργίας του χώρου: **2030**
3. Σταθερά ρυθμού αποδόμησης, k: **0,05 yr^{-1} .**
4. Θεωρητική παραγωγή μεθανίου, L_o, όπως προέκυψε από την επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου, είναι **194,26** kg CH_4/tn απορριμμάτων για το ΧΥΤΑ Νάξου. Ωστόσο η πυκνότητα του μεθανίου σε θερμοκρασία 20^o C και πίεση 1 atm είναι 0,667 kg/m^3, άρα Lo=$\frac{194.26 kgCH_4 / tn\text{απορριμμάτων}}{0{,}667 kg/m^3}$ = **291,2 m^3**

   CH_4/tn απορριμμάτων
5. Ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο: 52 % (δεδομένα από μετρήσεις πεδίου)
6. Συγκέντρωση NMOC (Non-methane-organic-carbon): **4.000 ppmv ως εξάνιο**
7. Ετήσιες παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων: όπως φαίνονται στον Πίνακα 8-1
8. Ο χώρος δεν δέχεται και επικίνδυνα απορρίμματα.

Τα δεδομένα εισόδου φαίνονται αναλυτικά στις Εικόνες 8-1 και 8-2.



INPUT REVIEW — Landfill Name or Identifier: ΧΥΤΑ Νάξου

LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	1991	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2030	
Actual Closure Year (without limit)	2030	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		*megagrams*

MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k	0,050	*year*$^{-1}$
Potential Methane Generation Capacity, L_o	291	m^3/Mg
NMOC Concentration	4.000	*ppmv as hexane*
Methane Content	52	*% by volume*

GASES / POLLUTANTS SELECTED

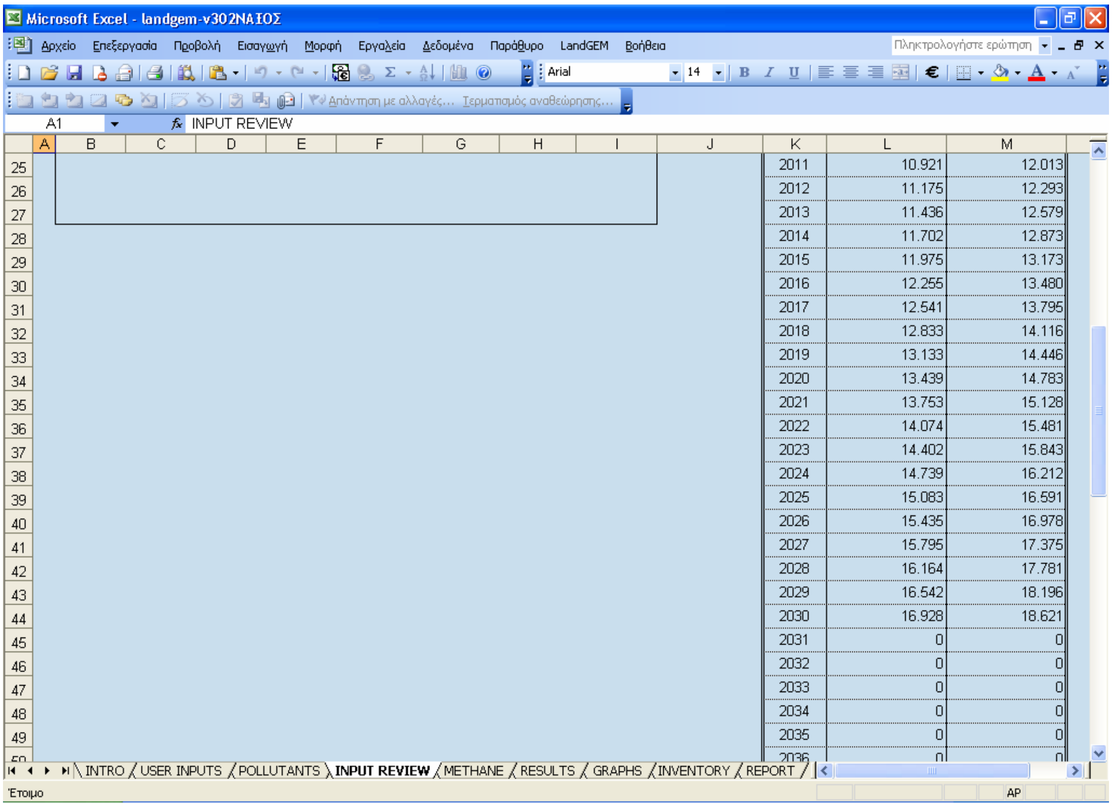
Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas
Gas / Pollutant #2:	Methane
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide
Gas / Pollutant #4:	NMOC

Description/Comments:

WASTE ACCEPTANCE RATES

Year	(Mg/year)	(short tons/year)
1991	6.315	6.947
1992	6.521	7.173
1993	6.730	7.403
1994	6.944	7.638
1995	7.161	7.878
1996	7.383	8.122
1997	7.610	8.371
1998	7.841	8.625
1999	8.076	8.884
2000	8.316	9.147
2001	8.561	9.417
2002	8.779	9.657
2003	9.004	9.904
2004	9.234	10.157
2005	9.470	10.417
2006	9.711	10.682
2007	9.959	10.955
2008	10.191	11.210
2009	10.429	11.471
2010	10.672	11.739
2011	10.921	12.013

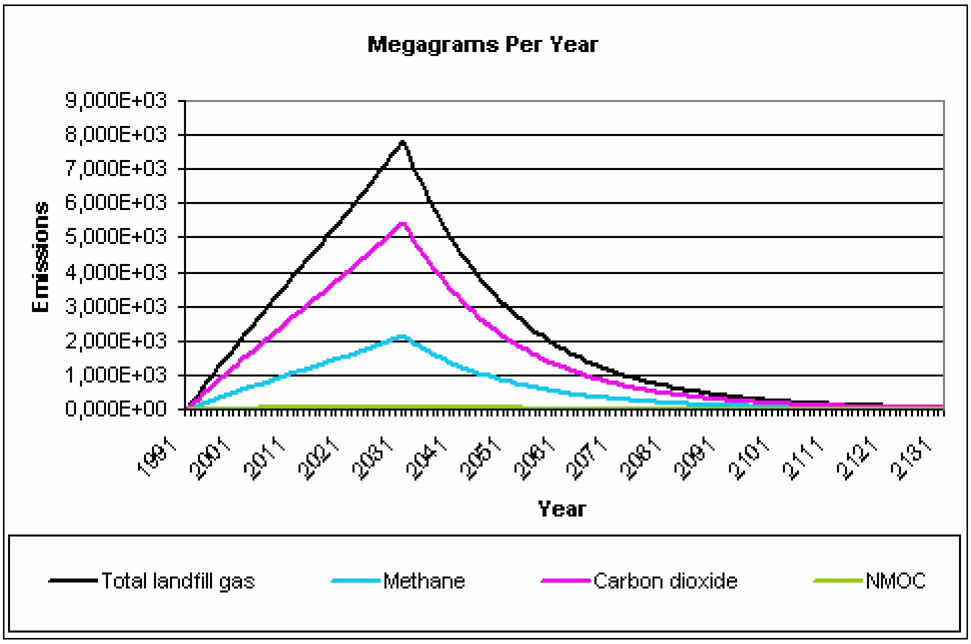
Εικόνα 8-1. Δεδομένα εισόδου ΧΥΤΑ Νάξου του μοντέλου Landgem Σεναρίου 1



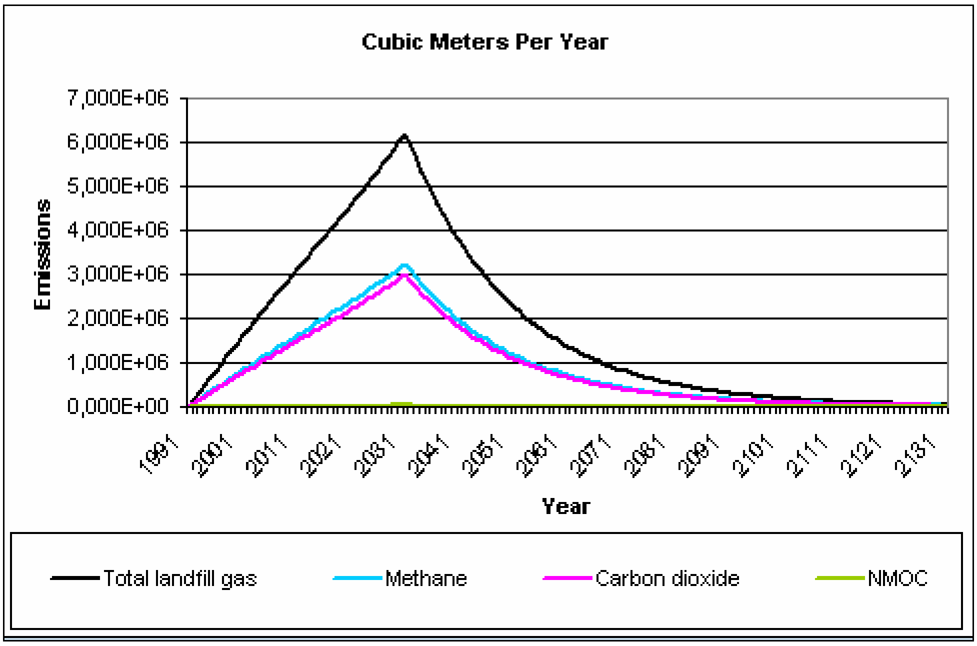
Year	(Mg/year)	(short tons/year)
2011	10.921	12.013
2012	11.175	12.293
2013	11.436	12.579
2014	11.702	12.873
2015	11.975	13.173
2016	12.255	13.480
2017	12.541	13.795
2018	12.833	14.116
2019	13.133	14.446
2020	13.439	14.783
2021	13.753	15.128
2022	14.074	15.481
2023	14.402	15.843
2024	14.739	16.212
2025	15.083	16.591
2026	15.435	16.978
2027	15.795	17.375
2028	16.164	17.781
2029	16.542	18.196
2030	16.928	18.621
2031	0	0
2032	0	0
2033	0	0
2034	0	0
2035	0	0
2036	0	0

Εικόνα 8-2. Δεδομένα εισόδου ΧΥΤΑ Νάξου του μοντέλου Landgem Σεναρίου 1

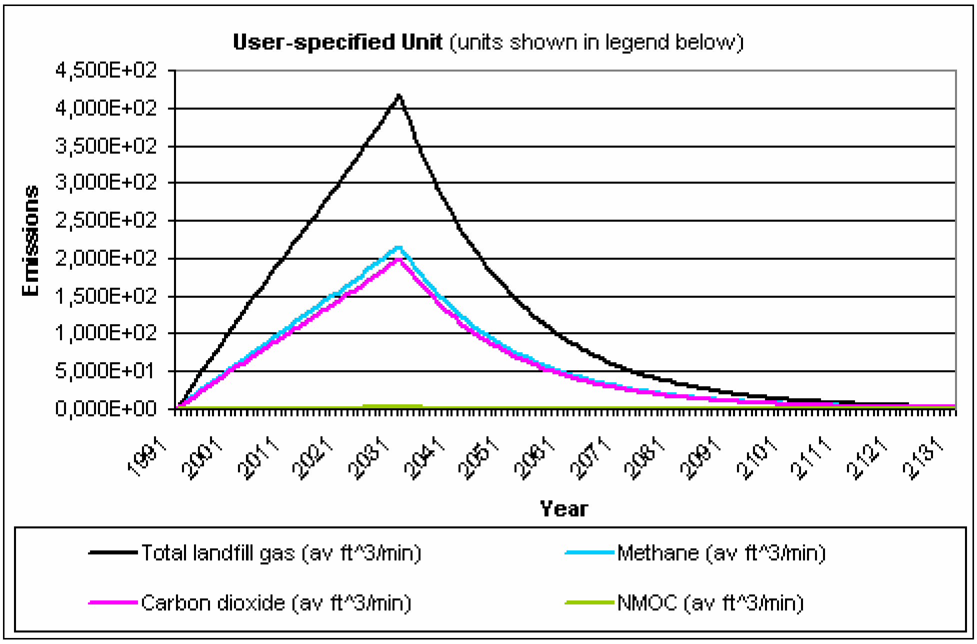
Στο φύλλο εργασίας του Excel με την ονομασία 'GRAPHS' παρέχονται τα Σχήματα 8-3 έως 8-5, όπου φαίνεται η παραγωγή μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα, NMOC και ολικών αερίων από τον ΧΥΤΑ της Νάξου για το Σενάριο 1.



Σχήμα 8-3. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 1



Σχήμα 8-4. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 1



Σχήμα 8-5. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 1

Οι μέγιστες εκπομπές των τεσσάρων αέριων ρύπων παρατηρούνται το 2031, ένα χρόνο μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, ενώ από το 2031 και μετά οι εκπομπές μειώνονται. Η νομοθεσία ορίζει ότι η περίοδος μεταφροντίδας ενός ΧΥΤΑ είναι 15 έτη. Επομένως το 2046 ο όγκος του παραγόμενου μεθανίου μειώνεται στα $1{,}53*10^6$ m^3/έτος. Η μείωση είναι της τάξης του 52,8 %, ενώ το 2056 οι εκπομπές μειώνονται σε ποσοστό 71,3 %.

8.3 Σενάριο 2^o – ΣΜΑ στα νησιά Κουφονήσια, Σχοινούσα, Ηρακλειά, Δονούσα με τελικό αποδέκτη το ΧΥΤΑ Νάξου

Σύμφωνα με το 2^o σενάριο, τα απορρίμματα των μικρών νησιών θα μεταφέρονται για τελική διάθεση στο ΧΥΤΑ Νάξου μέσω ΣΜΑ, οι οποίοι θα λειτουργούν από το 2010 και έπειτα. Συνεπώς, σε σχέση με το 1^o σενάριο θα αλλάξουν οι ετήσιες απορριπτόμενες ποσότητες ΑΣΑ μετά το 2010, όπως και η ποιοτική σύστασή τους. Στους Πίνακες 8-3 έως 8-7 φαίνονται οι παραγόμενες ποσότητες ΑΣΑ ανά νησί, καθώς και η συνολική ποσότητα ΑΣΑ που θα δέχεται ο ΧΥΤΑ Νάξου μετά το 2010, οπότε και αρχίζουν την λειτουργία τους οι ΣΜΑ.

Πίνακας 8-3. Παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ ανά έτος Κουφονησίων

Έτος	Μόνιμος πληθυσμός	ΡΠΑ μόνιμου Πληθυσμού (kg/κάτοικο/ ημέρα)	ΑΣΑ μόνιμου πληθυσμού (tn/έτος)	Τουρ. κλίνες	Πληρό-τητα	ΡΠΑ τουρ. Πληθυσμού (kg/τουρ./ ημέρα)	Διάρκεια τουρ. Περιόδου (ημέρες)	ΑΣΑ τουρ. πληθυσμού (tn/έτος)	Σύνολο παραγόμενων ΑΣΑ (tn/έτος)
2010	415	0,8	123,92	2.525	0,51	1,2	120	185,44	309,35
2011	421	0,8	128,49	2.550	0,51	1,2	120	187,29	315,78
2012	426	0,9	133,17	2.576	0,51	1,2	120	189,16	322,33
2013	432	0,9	137,96	2.602	0,51	1,2	120	191,05	329,01
2014	439	0,9	142,85	2.628	0,51	1,2	120	192,97	335,81
2015	445	0,9	147,85	2.654	0,51	1,2	120	194,90	342,75
2016	451	0,9	152,97	2.680	0,51	1,2	120	196,84	349,81
2017	457	0,9	158,19	2.707	0,51	1,2	120	198,81	357,01
2018	464	1,0	163,54	2.734	0,51	1,2	120	200,80	364,34
2019	470	1,0	169,00	2.762	0,51	1,2	120	202,81	371,81
2020	477	1,0	174,59	2.789	0,51	1,2	120	204,84	379,42
2021	483	1,0	180,30	2.817	0,51	1,2	120	206,89	387,18
2022	490	1,0	186,13	2.845	0,51	1,2	120	208,95	395,08
2023	497	1,1	192,09	2.874	0,51	1,2	120	211,04	403,13
2024	504	1,1	198,18	2.902	0,51	1,2	120	213,15	411,34
2025	511	1,1	204,41	2.931	0,51	1,2	120	215,29	419,69
2026	518	1,1	210,77	2.961	0,51	1,2	120	217,44	428,21
2027	525	1,1	217,27	2.990	0,51	1,2	120	219,61	436,88
2028	533	1,2	223,90	3.020	0,51	1,2	120	221,81	445,71
2029	540	1,2	230,69	3.050	0,51	1,2	120	224,03	454,71
2030	548	1,2	237,61	3.081	0,51	1,2	120	226,27	463,88

Πίνακας 8-4. Παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ ανά έτος Σχοινούσας

Έτος	Μόνιμος πληθυσμός	ΡΠΑ μόνιμου Πληθυσμού (kg/κάτοικο/ ημέρα)	ΑΣΑ μόνιμου πληθυσμού (tn/έτος)	Τουρ. κλίνες	Πληρό-τητα	ΡΠΑ τουρ. Πληθυσμού (kg/τουρ./ ημέρα)	Διάρκεια τουρ. Περιόδου (ημέρες)	ΑΣΑ τουρ. πληθυσμού (tn/έτος)	Σύνολο παραγόμενων ΑΣΑ (tn/έτος)
2010	233	0,8	69,75	434	0,46	1,2	120	28,77	98,51
2011	237	0,8	72,32	439	0,46	1,2	120	29,06	101,38
2012	240	0,9	74,95	443	0,46	1,2	120	29,35	104,30
2013	243	0,9	77,65	447	0,46	1,2	120	29,64	107,29
2014	247	0,9	80,40	452	0,46	1,2	120	29,94	110,34
2015	250	0,9	83,22	456	0,46	1,2	120	30,24	113,45
2016	254	0,9	86,10	461	0,46	1,2	120	30,54	116,63
2017	257	0,9	89,04	466	0,46	1,2	120	30,84	119,88
2018	261	1,0	92,05	470	0,46	1,2	120	31,15	123,20
2019	265	1,0	95,12	475	0,46	1,2	120	31,46	126,58
2020	268	1,0	98,26	480	0,46	1,2	120	31,78	130,04
2021	272	1,0	101,48	485	0,46	1,2	120	32,10	133,57
2022	276	1,0	104,76	489	0,46	1,2	120	32,42	137,18
2023	280	1,1	108,12	494	0,46	1,2	120	32,74	140,86
2024	284	1,1	111,55	499	0,46	1,2	120	33,07	144,61
2025	288	1,1	115,05	504	0,46	1,2	120	33,40	148,45
2026	292	1,1	118,63	509	0,46	1,2	120	33,73	152,36
2027	296	1,1	122,29	514	0,46	1,2	120	34,07	156,36
2028	300	1,2	126,02	519	0,46	1,2	120	34,41	160,43
2029	304	1,2	129,84	525	0,46	1,2	120	34,75	164,59
2030	308	1,2	133,74	530	0,46	1,2	120	35,10	168,84

Πίνακας 8-5. Παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ ανά έτος Δονούσας

Έτος	Μόνιμος πληθυσμός	ΡΠΑ μόνιμου Πληθυσμού (kg/κάτοικο/ ημέρα)	ΑΣΑ μόνιμου πληθυσμού (tn/έτος)	Τουρ. κλίνες	Πληρό-τητα	ΡΠΑ τουρ. Πληθυσμού (kg/τουρ./ ημέρα)	Διάρκεια τουρ. Περιόδου (ημέρες)	ΑΣΑ τουρ. πληθυσμού (tn/έτος)	Σύνολο παραγόμενων ΑΣΑ (tn/έτος)
2010	185	0,8	55,19	204	0,46	1,2	120	13,51	68,70
2011	187	0,8	57,22	208	0,46	1,2	120	13,78	71,01
2012	190	0,9	59,31	212	0,46	1,2	120	14,06	73,37
2013	193	0,9	61,44	216	0,46	1,2	120	14,34	75,78
2014	195	0,9	63,62	221	0,46	1,2	120	14,63	78,25
2015	198	0,9	65,85	225	0,46	1,2	120	14,92	80,77
2016	201	0,9	68,12	230	0,46	1,2	120	15,22	83,34
2017	204	0,9	70,45	234	0,46	1,2	120	15,52	85,97
2018	206	1,0	72,83	239	0,46	1,2	120	15,83	88,67
2019	209	1,0	75,27	244	0,46	1,2	120	16,15	91,42
2020	212	1,0	77,75	249	0,46	1,2	120	16,47	94,23
2021	215	1,0	80,30	254	0,46	1,2	120	16,80	97,10
2022	218	1,0	82,89	259	0,46	1,2	120	17,14	100,03
2023	221	1,1	85,55	264	0,46	1,2	120	17,48	103,03
2024	224	1,1	88,26	269	0,46	1,2	120	17,83	106,09
2025	228	1,1	91,03	275	0,46	1,2	120	18,19	109,22
2026	231	1,1	93,87	280	0,46	1,2	120	18,55	112,42
2027	234	1,1	96,76	286	0,46	1,2	120	18,92	115,68
2028	237	1,2	99,72	291	0,46	1,2	120	19,30	119,02
2029	241	1,2	102,74	297	0,46	1,2	120	19,69	122,42
2030	244	1,2	105,82	303	0,46	1,2	120	20,08	125,90

Πίνακας 8-6. Παραγόμενη ποσότητα ΑΣΑ ανά έτος Ηρακλειάς

Έτος	Μόνιμος πληθυσμός	ΡΠΑ μόνιμου Πληθυσμού (kg/κάτοικο/ ημέρα)	ΑΣΑ μόνιμου πληθυσμού (tn/έτος)	Τουρ. κλίνες	Πληρό-τητα	ΡΠΑ τουρ. Πληθυσμού (kg/τουρ./ ημέρα)	Διάρκεια τουρ. Περιόδου (ημέρες)	ΑΣΑ τουρ. πληθυσμού (tn/έτος)	Σύνολο παραγόμενων ΑΣΑ (tn/έτος)
2010	169	0,8	51,12	455	0,46	1,2	120	30,11	81,23
2011	171	0,8	53,01	459	0,46	1,2	120	30,41	83,42
2012	174	0,9	54,94	464	0,46	1,2	120	30,71	85,65
2013	176	0,9	56,92	468	0,46	1,2	120	31,02	87,93
2014	178	0,9	58,93	473	0,46	1,2	120	31,33	90,26
2015	181	0,9	61,00	478	0,46	1,2	120	31,64	92,64
2016	183	0,9	63,11	482	0,46	1,2	120	31,96	95,07
2017	186	0,9	65,27	487	0,46	1,2	120	32,28	97,54
2018	189	1,0	67,47	492	0,46	1,2	120	32,60	100,07
2019	191	1,0	69,73	497	0,46	1,2	120	32,93	102,65
2020	194	1,0	72,03	502	0,46	1,2	120	33,26	105,28
2021	197	1,0	74,38	507	0,46	1,2	120	33,59	107,97
2022	199	1,0	76,79	512	0,46	1,2	120	33,92	110,72
2023	202	1,1	79,25	517	0,46	1,2	120	34,26	113,51
2024	205	1,1	81,76	522	0,46	1,2	120	34,61	116,37
2025	208	1,1	84,33	528	0,46	1,2	120	34,95	119,28
2026	211	1,1	86,96	533	0,46	1,2	120	35,30	122,26
2027	214	1,1	89,64	538	0,46	1,2	120	35,65	125,29
2028	217	1,2	92,38	544	0,46	1,2	120	36,01	128,39
2029	220	1,2	95,17	549	0,46	1,2	120	36,37	131,55
2030	223	1,2	98,03	555	0,46	1,2	120	36,74	134,77

Πίνακας 8-7. Συνολικά απορριπτόμενες ποσότητες ΑΣΑ (tn/έτος) στο ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 2

Έτος	Νάξος	Κουφονήσια	Σχοινούσα	Δονούσα	Ηρακλειά	ΣΥΝΟΛΟ
1991	6.315,39					6.315,39
1992	6.520,77					6.520,77
1993	6.730,18					6.730,18
1994	6.943,71					6.943,71
1995	7.161,44					7.161,44
1996	7.383,45					7.383,45
1997	7.609,81					7.609,81
1998	7.840,61					7.840,61
1999	8.075,95					8.075,95
2000	8.315,90					8.315,90
2001	8.560,56					8.560,56
2002	8.779,27					8.779,27
2003	9.003,64					9.003,64
2004	9.233,80					9.233,80
2005	9.469,91					9.469,91
2006	9.711,34					9.711,34
2007	9.959,00					9.959,00
2008	10.191,09					10.191,09
2009	10.428,62					10.428,62
2010	10.671,72	309,35	98,51	68,70	81,23	11.229,51
2011	10.920,50	315,78	101,38	71,01	83,42	11.492,09
2012	11.175,12	322,33	104,30	73,37	85,65	11.760,78
2013	11.435,71	329,01	107,29	75,78	87,93	12.035,72
2014	11.702,40	335,81	110,34	78,25	90,26	12.317,06
2015	11.975,34	342,75	113,45	80,77	92,64	12.604,95
2016	12.254,68	349,81	116,63	83,34	95,07	12.899,53
2017	12.540,57	357,01	119,88	85,97	97,54	13.200,98
2018	12.833,16	364,34	123,20	88,67	100,07	13.509,44
2019	13.132,61	371,81	126,58	91,42	102,65	13.825,08
2020	13.439,09	379,42	130,04	94,23	105,28	14.148,06
2021	13.752,75	387,18	133,57	97,10	107,97	14.478,57
2022	14.073,77	395,08	137,18	100,03	110,72	14.816,77
2023	14.402,31	403,13	140,86	103,03	113,51	15.162,85
2024	14.738,57	411,34	144,61	106,09	116,37	15.516,98
2025	15.082,71	419,69	148,45	109,22	119,28	15.879,35
2026	15.434,93	428,21	152,36	112,42	122,26	16.250,17
2027	15.795,41	436,88	156,36	115,68	125,29	16.629,62
2028	16.164,35	445,71	160,43	119,02	128,39	17.017,91
2029	16.541,96	454,71	164,59	122,42	131,55	17.415,23
2030	16.928,42	463,88	168,84	125,90	134,77	17.821,82

Στον Πίνακα 8-8 υπολογίζουμε την θεωρητική παραγωγή μεθανίου. Η σύνθεση των ΑΣΑ αλλάζει σε σύγκριση με το Σενάριο 1, λόγω της εισχώρησης ΑΣΑ με διαφορετική ποιοτική σύσταση. Η σύνθεση για το Σενάριο 2 φαίνεται στον Πίνακα 8-8.

Πίνακας 8-8. Υπολογισμός θεωρητικής παραγωγής μεθανίου ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 2

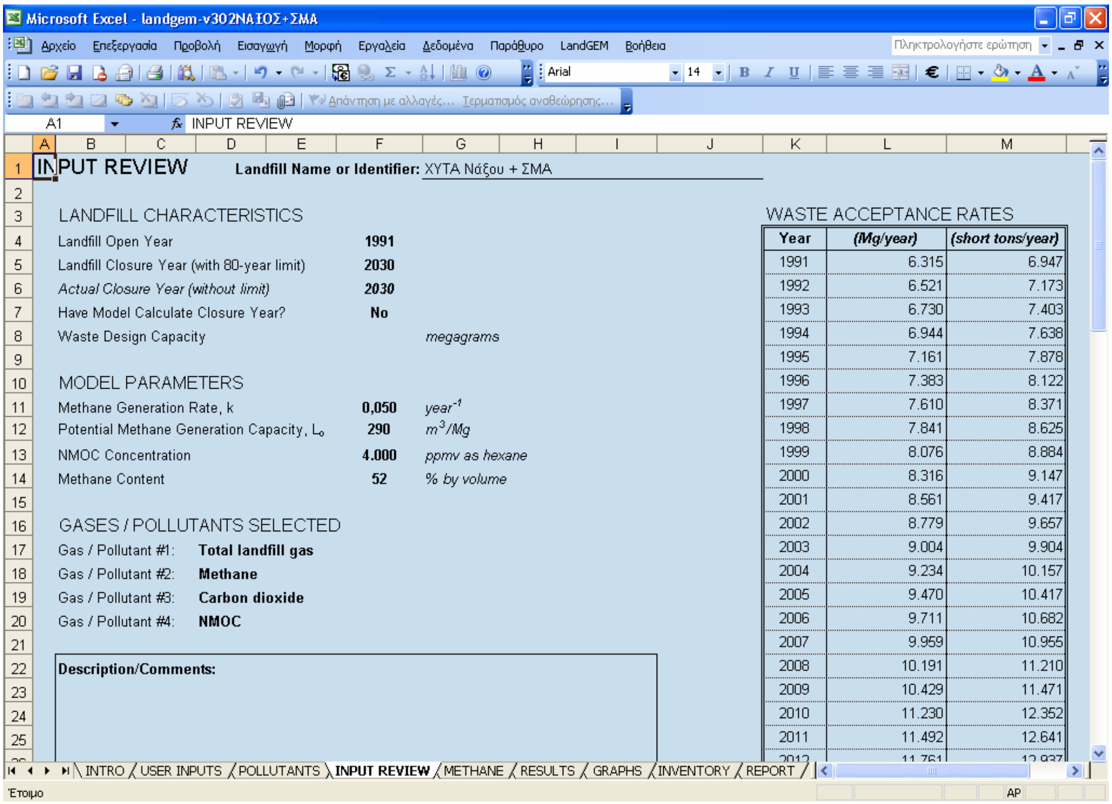
Ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων: 30.765,78 kg/d						
Κλάσματα	**Σύνθεση ΑΣΑ**	**Ποσότητες κλασμάτων (kg/d)**	**Υγρασία (%)**	**Ποσότητες κλασμάτων σε ξηρή βάση (kg/d)**	**Στοιχειακός άνθρακας (%)**	**Ποσότητα στοιχειακού C ανά κλάσμα σε ξηρή βάση (kg/d)**
Δ.Ξ.Υ.Λ.	6,7	2.061,31	11,51	1.824,05	48,13	877,92
Χαρτί	28,5	8.768,25	15,08	7.446,00	39,18	2.917,34
Οργανικά	39,3	12.090,95	78,42	2.609,23	44,52	1.161,63
Πλαστικά	9,3	2.861,22	4,06	2.745,05	76,19	2.091,46
ΣΥΝΟΛΟ				14.624,33		7.048,34

M_c (kg C/kg απορριμμάτων)	0,48
F_b (Οργανικός C/ Ολικό C)	0,58
S	16/12
L_o (kg CH_4/tn απορριμμάτων)	**193,38**

Συνεπώς, τα δεδομένα εισόδου για το μοντέλο Landgem ορίζονται ως εξής:

9. Έτος έναρξης λειτουργίας του χώρου: **1991**
10. Έτος παύσης λειτουργίας του χώρου: **2030**
11. Σταθερά ρυθμού αποδόμησης, k: **0,05 yr^{-1} .**
12. Θεωρητική παραγωγή μεθανίου, L_o, όπως προέκυψε από την επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου, είναι **193,38 kg CH_4/tn απορριμμάτων** για το ΧΥΤΑ Νάξου. Ωστόσο η πυκνότητα του μεθανίου σε θερμοκρασία 20^o C και πίεση 1 atm είναι 0,667 kg/m^3, άρα Lo=$\frac{193{,}38 kgCH_4 / tn\text{απορριμμάτων}}{0{,}667 kg/m^3}$ = **289,9 m^3 CH_4/tn απορριμμάτων**
13. Ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο: 52 % (δεδομένα από μετρήσεις πεδίου)
14. Συγκέντρωση NMOC (Non-methane-organic-carbon): **4.000 ppmv ως εξάνιο**
15. Ετήσιες παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων: όπως φαίνονται στον Πίνακα 8-7
16. Ο χώρος δεν δέχεται και επικίνδυνα απορρίμματα.

Τα δεδομένα εισόδου φαίνονται αναλυτικά στις Εικόνες 8-6 και 8-7.



Microsoft Excel - landgem-v302ΝΑΞΟΣ+ΣΜΑ

INPUT REVIEW — Landfill Name or Identifier: ΧΥΤΑ Νάξου + ΣΜΑ

LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	1991	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2030	
Actual Closure Year (without limit)	*2030*	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		*megagrams*

MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k	0,050	*$year^{-1}$*
Potential Methane Generation Capacity, L_o	290	*m^3/Mg*
NMOC Concentration	4.000	*ppmv as hexane*
Methane Content	52	*% by volume*

GASES / POLLUTANTS SELECTED

Gas / Pollutant #1: **Total landfill gas**
Gas / Pollutant #2: **Methane**
Gas / Pollutant #3: **Carbon dioxide**
Gas / Pollutant #4: **NMOC**

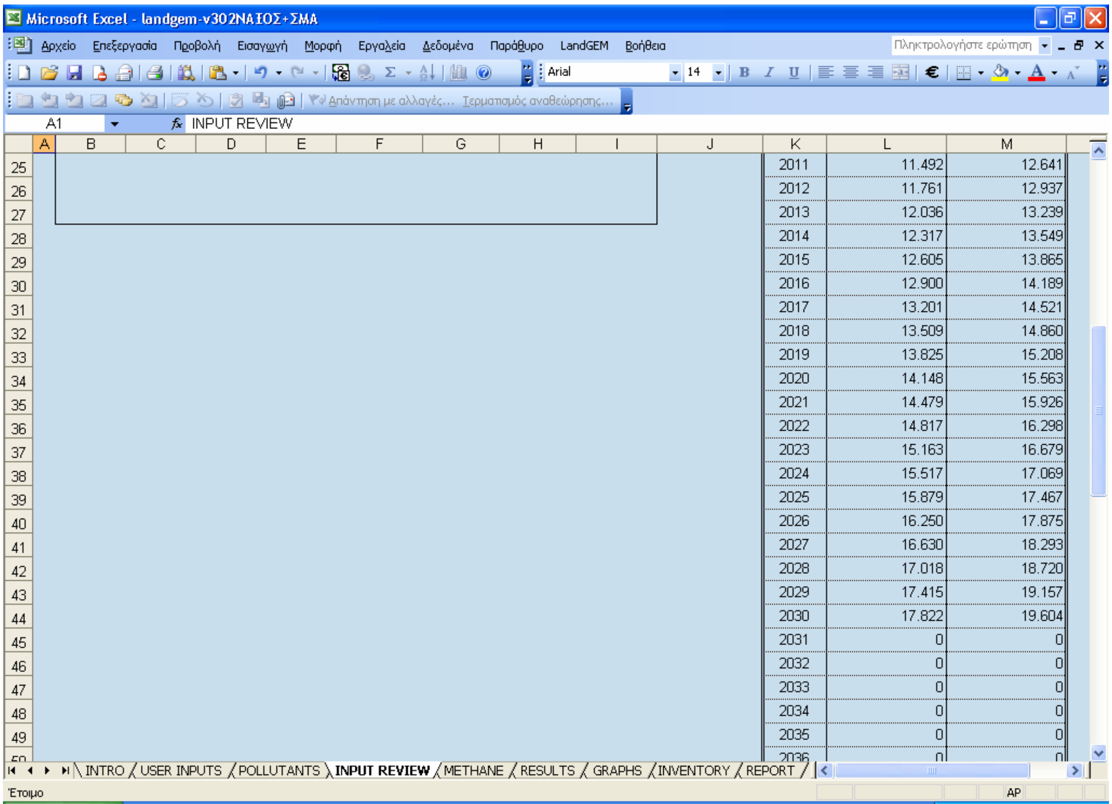
Description/Comments:

WASTE ACCEPTANCE RATES

Year	(Mg/year)	(short tons/year)
1991	6.315	6.947
1992	6.521	7.173
1993	6.730	7.403
1994	6.944	7.638
1995	7.161	7.878
1996	7.383	8.122
1997	7.610	8.371
1998	7.841	8.625
1999	8.076	8.884
2000	8.316	9.147
2001	8.561	9.417
2002	8.779	9.657
2003	9.004	9.904
2004	9.234	10.157
2005	9.470	10.417
2006	9.711	10.682
2007	9.959	10.955
2008	10.191	11.210
2009	10.429	11.471
2010	11.230	12.352
2011	11.492	12.641

INTRO / USER INPUTS / POLLUTANTS / INPUT REVIEW / METHANE / RESULTS / GRAPHS / INVENTORY / REPORT

Εικόνα 8-6. Δεδομένα εισόδου ΧΥΤΑ Νάξου του μοντέλου Landgem Σεναρίου 2



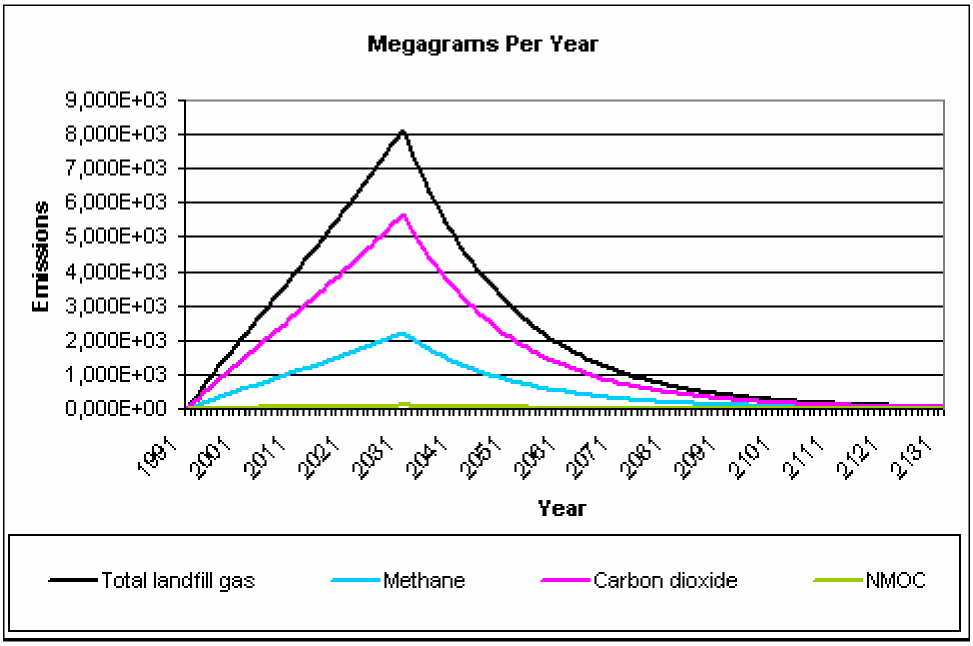
Microsoft Excel - landgem-v302ΝΑΞΟΣ+ΣΜΑ

Year	(Mg/year)	(short tons/year)
2011	11.492	12.641
2012	11.761	12.937
2013	12.036	13.239
2014	12.317	13.549
2015	12.605	13.865
2016	12.900	14.189
2017	13.201	14.521
2018	13.509	14.860
2019	13.825	15.208
2020	14.148	15.563
2021	14.479	15.926
2022	14.817	16.298
2023	15.163	16.679
2024	15.517	17.069
2025	15.879	17.467
2026	16.250	17.875
2027	16.630	18.293
2028	17.018	18.720
2029	17.415	19.157
2030	17.822	19.604
2031	0	0
2032	0	0
2033	0	0
2034	0	0
2035	0	0

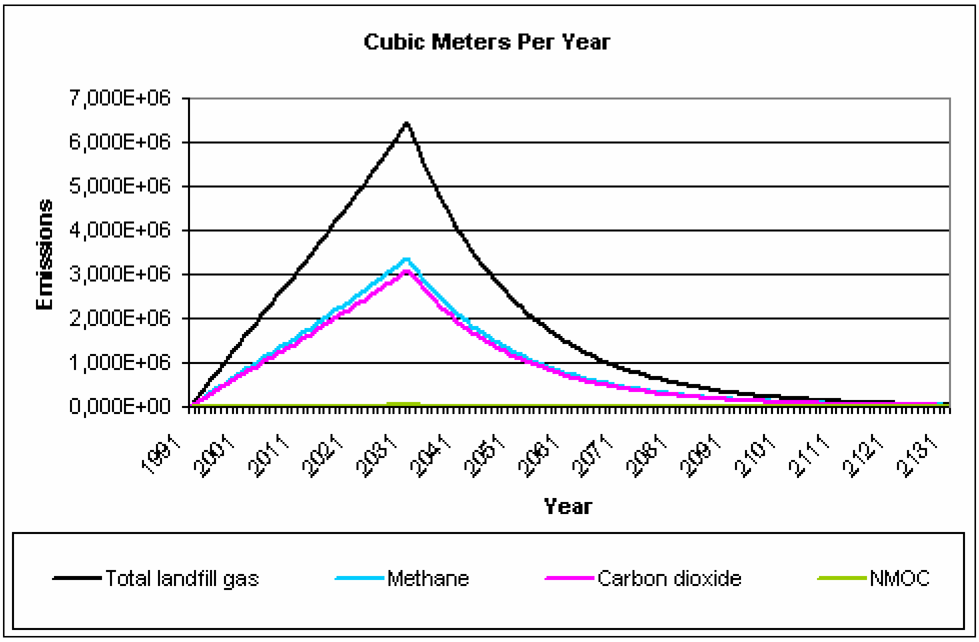
INTRO / USER INPUTS / POLLUTANTS / INPUT REVIEW / METHANE / RESULTS / GRAPHS / INVENTORY / REPORT

Εικόνα 8-7. Δεδομένα εισόδου ΧΥΤΑ Νάξου του μοντέλου Landgem Σεναρίου 2

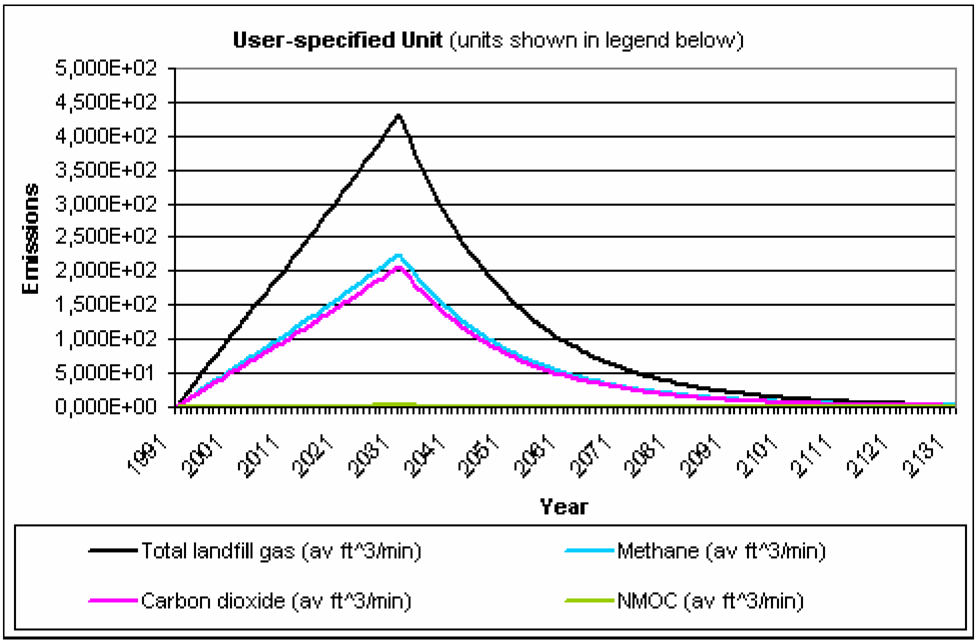
Στο φύλλο εργασίας του Excel με την ονομασία ‘GRAPHS’ παρέχονται τα Σχήματα 8-8 έως 8-10, όπου φαίνεται η παραγωγή μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα, NMOC και ολικών αερίων από τον ΧΥΤΑ Νάξου για το Σενάριο 2.



Σχήμα 8-8. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 2



Σχήμα 8-9. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 2

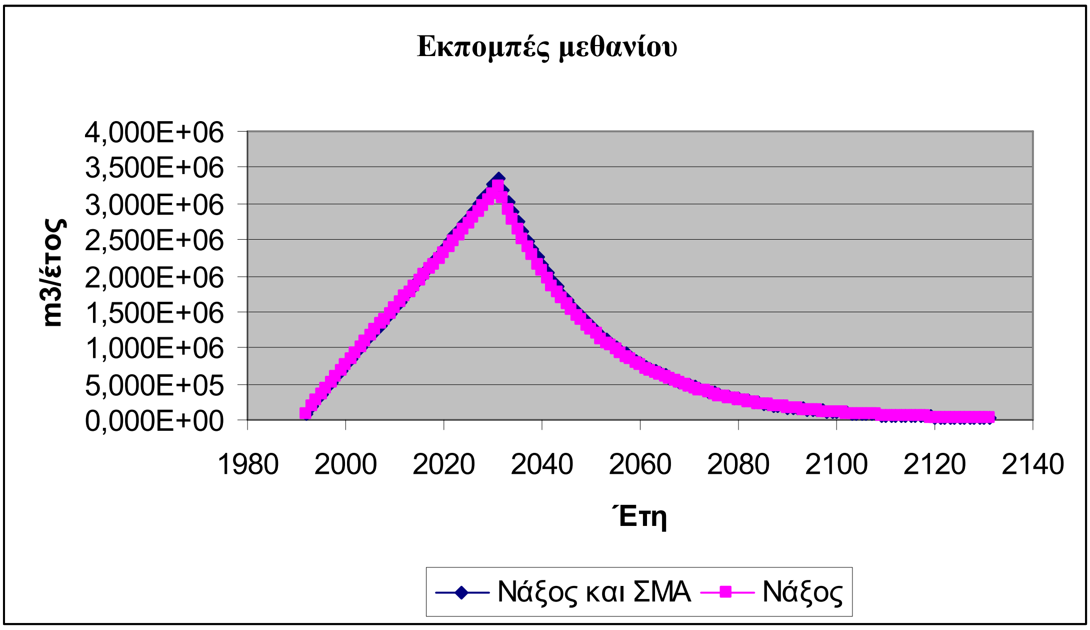


Σχήμα 8-10. Εκπομπές αέριων ρύπων ΧΥΤΑ Νάξου Σεναρίου 2

Όπως παρατηρήθηκε και στις προηγούμενες εφαρμογές του μοντέλου Landgem, οι μέγιστες εκπομπές των τεσσάρων αέριων ρύπων παρατηρούνται ένα χρόνο μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, δηλαδή το 2031, ενώ έπειτα οι εκπομπές μειώνονται. Το 2046 ο όγκος του παραγόμενου μεθανίου μειώνεται στα $1,58*10^6$ m^3/έτος. Η μείωση είναι της τάξης του 52,7 %, ενώ το 2056 οι εκπομπές μειώνονται σε ποσοστό 71,3 %.

Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια προκύπτει ότι η αύξηση των αέριων εκπομπών του 2^{ου} σεναρίου σε σχέση με το 1^{ο} είναι 3,8 %, ενώ στον ΧΥΤΑ εισάγονται επιπλέον 557,80 Mg/έτος. Επομένως, κρίνεται ως προτιμότερο το 2^{ο} σενάριο, λόγω της μικρής αύξησης των αέριων εκπομπών. Επίσης, με την λειτουργία ΣΜΑ στα μικρά νησιά και το κλείσιμο των ΧΔΑ, εκλείπουν οι δυσμενείς επιπτώσεις, που θα είχαν οι εκπομπές μεθανίου στον γειτονικό πληθυσμό εξαιτίας της μικρής απόστασης των ΧΔΑ από κατοικημένες περιοχές. Περαιτέρω σύγκριση των 3^{ων} σεναρίων γίνεται στο κεφάλαιο 8.5.

Στο Σχήμα 8-11 δίνεται σε διάγραμμα η σύγκριση των αέριων εκπομπών μεθανίου για τα δύο πρώτα σενάρια.



Σχήμα 8-11. Σύγκριση εκπομπών μεθανίου

8.4 Σενάριο 3^{o} – ΣΜΑ στα νησιά Κουφονήσια, Σχοινούσα, Ηρακλειά, Δονούσα με τελικό αποδέκτη το ΧΥΤΑ Νάξου και κατασκευή Μονάδας Καύσης ΑΣΑ με Ανάκτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Στο 3^{o} σενάριο που εξετάστηκε προτείνεται η μεταφορά των απορριμμάτων των μικρών νησιών στο ΧΥΤΑ της Νάξου, όπου θα κατασκευαστεί μονάδα καύσης με παράλληλη ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το σύνολο των ΑΣΑ. Η μονάδα θα ξεκινήσει τη λειτουργία της το 2015 και συγκεκριμένα μελετήθηκαν τέσσερις περιπτώσεις:

- Καύση μόνο του RDF (χαρτί, πλαστικό, ΔΞΥΛ)
- Καύση RDF και 50 % ζυμώσιμα με προξήρανση για μείωση της υγρασίας κατά 20 %
- Καύση RDF και 50 % ζυμώσιμα με προξήρανση για μείωση της υγρασίας κατά 40 %
- Καύση RDF και 50 % ζυμώσιμα με προξήρανση για μείωση της υγρασίας κατά 60 %

8.4.1 Καύση RDF

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθήθηκε η μεθοδολογία, που αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 7. Αρχικά υπολογίστηκε η εξέλιξη της ποιοτικής σύστασης των ΑΣΑ, όπως και οι ημερήσιες ποσότητες ανά κλάσμα, που καταλήγουν σε καύση (Πίνακας 8-9). Έπειτα υπολογίστηκε η $(Κ.Θ.Δ.)_Φ$ του RDF ανά έτος και τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 8-10.

Πίνακας 8-9. Ημερήσιες ποσότητες κλασμάτων που καταλήγουν σε καύση

Έτος	Ποσότητα παραγό-μενων ΑΣΑ (tn/ημέρα)	Ζυμώσιμα %	Πλα-στικό %	Χαρτί %	ΔΞΥ Λ %	Ποσότητα ζυμώσιμων προς καύση (tn/ημέρα)	Ποσότητα πλαστικού προς καύση (tn/ημέρα)	Ποσότητα χαρτιού προς καύση (tn/ημέρα)	Ποσότητα ΔΞΥΛ προς καύση (tn/ημέρα)
2015	34,53	36,5	9,2	31,2	7,9	6,30	3,17	10,76	2,72
2016	35,34	35,9	9,2	31,6	8,1	6,34	3,24	11,18	2,86
2017	36,17	35,3	9,1	32,1	8,3	6,39	3,31	11,60	3,00
2018	37,01	34,8	9,1	32,5	8,5	6,43	3,38	12,04	3,15
2019	37,88	34,2	9,1	33,0	8,7	6,48	3,46	12,50	3,30
2020	38,76	33,6	9,1	33,4	8,9	6,52	3,53	12,96	3,46
2021	39,67	33,1	9,1	33,9	9,1	6,56	3,61	13,45	3,62
2022	40,59	32,5	9,1	34,4	9,3	6,60	3,69	13,95	3,79
2023	41,54	31,9	9,1	34,8	9,5	6,64	3,77	14,46	3,96
2024	42,51	31,4	9,1	35,3	9,7	6,67	3,85	14,99	4,14
2025	43,51	30,8	9,1	35,7	10,0	6,70	3,94	15,54	4,33
2026	44,52	30,3	9,0	36,2	10,2	6,74	4,03	16,11	4,53
2027	45,56	29,7	9,0	36,6	10,4	6,76	4,12	16,69	4,73
2028	46,62	29,1	9,0	37,1	10,6	6,79	4,21	17,29	4,93
2029	47,71	28,6	9,0	37,5	10,8	6,81	4,30	17,91	5,15
2030	48,83	28,0	9,0	38,0	11,0	6,84	4,39	18,55	5,37

Πίνακας 8-10. (Κ.Θ.Δ.)$_Φ$ RDF ανά έτος

Έτος	(Κ.Θ.Δ.)$_Φ$ (kJ/kg)			
	Πλαστικό	**Χαρτί**	**ΔΞΥΛ**	**RDF**
2015	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.582,7
2016	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.602,8
2017	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.622,3
2018	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.641,3
2019	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.659,8
2020	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.677,9
2021	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.695,5
2022	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.712,7
2023	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.729,4
2024	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.745,8
2025	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.761,7
2026	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.777,3
2027	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.792,5
2028	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.807,4
2029	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.821,9
2030	12.442,7	35.334,2	14.528,2	27.836,1

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι ποσότητες $Q_{απορριμμάτων}$, $Q_{λανθάνουσα}$, $Q_{αισθητή}$, $Q_{προξήρανσης}$, $Q_{προθέρμανσηςαέρα}$, $Q_{ωφέλιμη}$ και $Q_{ηλεκτρική}$ ανά έτος. Για την καύση του RDF θεωρήθηκε ότι δεν χρειάζεται προξήρανση και τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 8-11.

Πίνακας 8-11. $Q_{ηλεκτρική}$ ΑΣΑ ανά έτος

Έτος	$Q_{απορριμμάτων}$ (MJ/ημέρα)	$Q_{λανθάνουσα}$	$Q_{αισθητή}$	$Q_{προξήρανσης}$	$Q_{προθέρμανσηςαέρα}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{ωφέλιμη}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)
2015	459.205,74				17.480,73	395.804,44	114.783,29
2016	476.647,30				18.131,50	410.851,07	119.146,81
2017	494.652,23				18.803,10	426.383,91	123.651,33
2018	513.237,32				19.496,15	442.417,43	128.301,06
2019	532.419,79				20.211,28	458.966,53	133.100,29
2020	552.217,41				20.949,15	476.046,52	138.053,49
2021	572.648,40				21.710,42	493.673,14	143.165,21
2022	593.731,54				22.495,78	511.862,60	148.440,15
2023	615.486,10				23.305,95	530.631,54	153.883,15
2024	637.931,94				24.141,65	549.997,09	159.499,16
2025	661.089,44				25.003,64	569.976,86	165.293,29
2026	684.979,59				25.892,68	590.588,95	171.270,80
2027	709.623,96				26.809,57	611.852,00	177.437,08
2028	735.044,72				27.755,12	633.785,14	183.797,69
2029	761.264,68				28.730,17	656.408,05	190.358,33
2030	788.307,29				29.735,58	679.740,99	197.124,89

8.4.2 Καύση RDF και 50 % ζυμώσιμα με προξήρανση για μείωση της υγρασίας κατά 20 %

Η μείωση της υγρασίας κατά 20 % στο κλάσμα των ζυμώσιμων θα επιφέρει αλλαγές στην συνολική (Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ και στην παραγόμενη $Q_{ηλεκτρική}$. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους Πίνακες 8-12 και 8-13.

Πίνακας 8-12. (Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ RDF ανά έτος

Έτος	**(Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ (kJ/kg)**				
	Ζυμώσιμα	**Πλαστικό**	**Χαρτί**	**ΔΞΥΛ**	**Καύσιμα ΑΣΑ**
2015	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	20887,17
2016	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21041,98
2017	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21195,08
2018	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21346,51
2019	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21496,28
2020	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21644,42
2021	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21790,96
2022	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21935,93
2023	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22079,35
2024	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22221,25
2025	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22361,64
2026	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22500,56
2027	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22638,02
2028	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22774,06
2029	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22908,68
2030	3.180,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	23041,92

Η (Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ του 2^{ου} υποσεναρίου εμφανίζεται μειωμένη σε σύγκριση με το 1^{ο} υποσενάριο σε ποσοστά που κυμαίνονται από 17,2 έως 24,3 %. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό, λόγω της εισροής των ζυμώσιμων στα καύσιμα, τα οποία με την χαμηλή θερμογόνο τους δύναμη και την υψηλή υγρασία, μειώνουν το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο των ΑΣΑ.

Πίνακας 8-13. $Q_{ηλεκτρική}$ ΑΣΑ ανά έτος

Έτος	$Q_{απορριμμάτων}$ (MJ/ημέρα)	$Q_{λανθάνουσα}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{αισθητή}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{προξήρανσης}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{προθέρμανσηςαέρα}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{ωφέλιμη}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)
2015	479.226,61	18.645,99	2.409,08	21.055,06	24.090,77	386.158,12	111.985,85
2016	496.819,18	18.786,62	2.479,14	21.265,76	24.791,40	401.080,10	116.313,23
2017	514.971,21	18.923,61	2.551,16	21.474,77	25.511,57	416.487,75	120.781,45
2018	533.699,20	19.056,71	2.625,18	21.681,89	26.251,80	432.395,59	125.394,72
2019	553.020,12	19.185,65	2.701,26	21.886,91	27.012,64	448.818,56	130.157,38
2020	572.951,45	19.310,17	2.779,46	22.089,64	27.794,65	465.772,02	135.073,88
2021	593.511,12	19.430,01	2.859,84	22.289,85	28.598,40	483.271,75	140.148,81
2022	614.717,58	19.544,88	2.942,45	22.487,32	29.424,48	501.334,01	145.386,86
2023	636.589,82	19.654,47	3.027,35	22.681,82	30.273,50	519.975,51	150.792,90
2024	659.147,35	19.758,49	3.114,61	22.873,10	31.146,08	539.213,43	156.371,90
2025	682.410,21	19.856,61	3.204,29	23.060,90	32.042,85	559.065,44	162.128,98
2026	706.399,04	19.948,51	3.296,45	23.244,96	32.964,47	579.549,70	168.069,41
2027	731.135,04	20.033,85	3.391,16	23.425,01	33.911,61	600.684,91	174.198,62
2028	756.640,00	20.112,27	3.488,50	23.600,76	34.884,96	622.490,28	180.522,18
2029	782.936,33	20.183,39	3.588,52	23.771,92	35.885,22	644.985,56	187.045,81
2030	810.047,08	20.246,85	3.691,31	23.938,17	36.913,13	668.191,07	193.775,41

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μειώθηκε σε σχέση με το πρώτο υποσενάριο σε ποσοστό 1,7-2,4 %.

8.4.3 Καύση RDF και 50 % ζυμώσιμα με προξήρανση για μείωση της υγρασίας κατά 40 %

Η περαιτέρω μείωση της υγρασίας κατά 40 % θα αλλάξει την συνολική $(Κ.Θ.Δ.)_{Φ}$ και την παραγόμενη $Q_{ηλεκτρική}$, τα αποτελέσματα των οποίων παρατίθενται στους Πίνακες 8-14 και 8-15.

Πίνακας 8-14. (Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ RDF ανά έτος

Έτος	(Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ (kJ/kg)				
	Ζυμώσιμα	Πλαστικό	Χαρτί	ΔΞΥΛ	Καύσιμα ΑΣΑ
2015	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21.699,9
2016	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21.837,7
2017	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	21.974,0
2018	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22.108,7
2019	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22.242,1
2020	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22.373,9
2021	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22.504,4
2022	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22.633,4
2023	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22.761,1
2024	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	22.887,4
2025	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	23.012,3
2026	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	23.136,0
2027	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	23.258,3
2028	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	23.379,4
2029	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	23.499,3
2030	6.142,3	12.442,7	35.334,2	14.528,2	23.617,9

Η (Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ του 3^{ου} υποσεναρίου εμφανίζεται αυξημένη σε σύγκριση με το 2^{ο} υποσενάριο σε ποσοστά που κυμαίνονται από 2,4 έως 3,7 %. Η αύξηση δικαιολογείται από την μείωση της υγρασίας στο ζυμώσιμο κλάσμα.

Πίνακας 8-15. $Q_{ηλεκτρική}$ ΑΣΑ ανά έτος

Έτος	**$Q_{απορριμμάτων}$ (MJ/ημέρα)**	**$Q_{λανθάνουσα}$ (MJ/ ημέρα)**	**$Q_{αισθητή}$ (MJ/ ημέρα)**	**$Q_{προξήρανσης}$ (MJ/ ημέρα)**	**$Q_{προθέρμανσηςαέρα}$ (MJ/ ημέρα)**	**$Q_{ωφέλιμη}$ (MJ/ ημέρα)**	**$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)**
2015	497.873,23	37.292,60	2.409,08	39.701,68	24.090,77	384.293,46	111.445,10
2016	515.606,44	37.573,88	2.479,14	40.053,02	24.791,40	399.201,37	115.768,40
2017	533.895,46	37.847,87	2.551,16	40.399,02	25.511,57	414.595,33	120.232,64
2018	552.756,54	38.114,05	2.625,18	40.739,23	26.251,80	430.489,86	124.842,06
2019	572.206,42	38.371,94	2.701,26	41.073,21	27.012,64	446.899,93	129.600,98
2020	592.262,27	38.621,00	2.779,46	41.400,47	27.794,65	463.840,93	134.513,87
2021	612.941,78	38.860,68	2.859,84	41.720,52	28.598,40	481.328,68	139.585,32
2022	634.263,12	39.090,41	2.942,45	42.032,86	29.424,48	499.379,46	144.820,04
2023	656.244,96	39.309,60	3.027,35	42.336,96	30.273,50	518.010,00	150.222,90
2024	678.906,50	39.517,65	3.114,61	42.632,25	31.146,08	537.237,52	155.798,88
2025	702.267,49	39.713,90	3.204,29	42.918,18	32.042,85	557.079,71	161.553,12
2026	726.348,23	39.897,70	3.296,45	43.194,15	32.964,47	577.554,79	167.490,89
2027	751.169,56	40.068,38	3.391,16	43.459,54	33.911,61	598.681,46	173.617,62
2028	776.752,94	40.225,21	3.488,50	43.713,70	34.884,96	620.478,98	179.938,91
2029	803.120,40	40.367,47	3.588,52	43.955,99	35.885,22	642.967,15	186.460,47
2030	830.294,61	40.494,39	3.691,31	44.185,70	36.913,13	666.166,32	193.188,23

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μειώθηκε σε σχέση με το δεύτερο υποσενάριο σε ποσοστό 0,3-0,5 %.

8.4.4 Καύση RDF και 50 % ζυμώσιμα με προξήρανση για μείωση της υγρασίας κατά 60 %

Στο συγκεκριμένο υποσενάριο μελετάται η καύση του RDF και 50 % του κλάσματος των ζυμώσιμων με μείωση της υγρασίας κατά 60 %. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους Πίνακες 8-16 και 8-17.

Πίνακας 8-16. (Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ RDF ανά έτος

Έτος	(Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ (kJ/kg)				
	Ζυμώσιμα	**Πλαστικό**	**Χαρτί**	**ΔΞΥΛ**	**Καύσιμα ΑΣΑ**
2015	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	22.512,6
2016	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	22.633,4
2017	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	22.752,8
2018	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	22.871,0
2019	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	22.987,8
2020	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.103,4
2021	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.217,7
2022	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.330,9
2023	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.442,8
2024	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.553,5
2025	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.663,0
2026	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.771,4
2027	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.878,7
2028	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	23.984,8
2029	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	24.089,8
2030	9104,2	12442,7	35334,2	14528,2	24.193,8

Η (Κ.Θ.Δ.)$_{Φ}$ του 4^{ου} υποσεναρίου εμφανίζεται αυξημένη σε σύγκριση με το 3^{ο} υποσενάριο σε ποσοστά που κυμαίνονται από 2,4 έως 3,6 %.

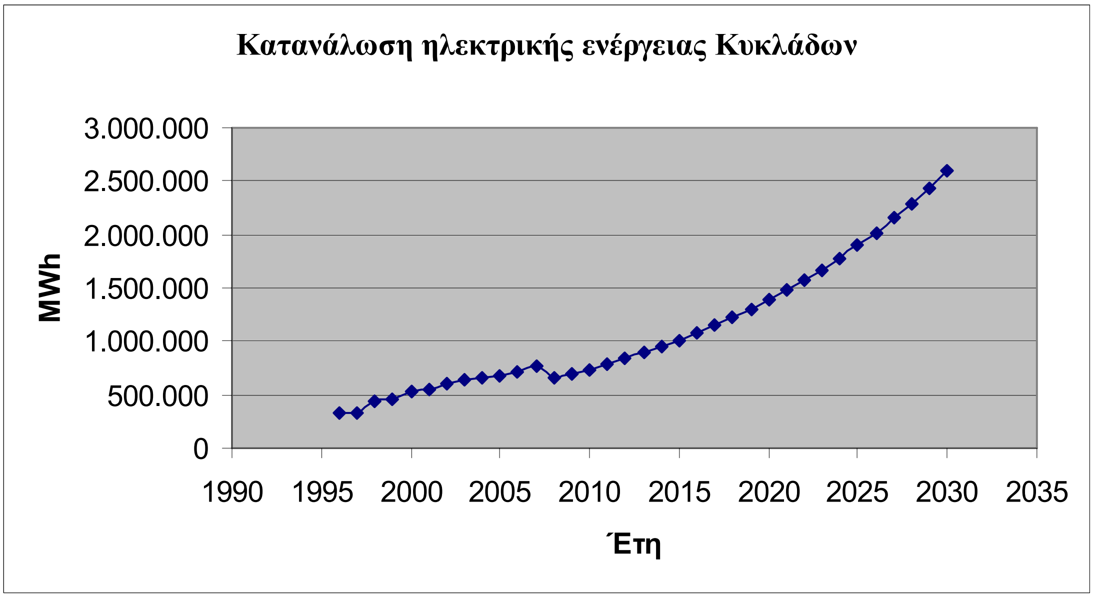
Πίνακας 8-17. $Q_{ηλεκτρική}$ ΑΣΑ ανά έτος

Έτος	$Q_{απορριμμάτων}$ (MJ/ημέρα)	$Q_{λανθάνουσα}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{αισθητή}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{προξήρανσης}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{προθέρμανσηςαέρα}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{ωφέλιμη}$ (MJ/ ημέρα)	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)
2015	516.519,21	55.938,58	2.409,08	58.347,66	24.090,77	382.428,86	110.904,37
2016	534.393,07	56.360,51	2.479,14	58.839,65	24.791,40	397.322,71	115.223,59
2017	552.819,07	56.771,48	2.551,16	59.322,64	25.511,57	412.702,97	119.683,86
2018	571.813,25	57.170,76	2.625,18	59.795,94	26.251,80	428.584,19	124.289,41
2019	591.392,07	57.557,59	2.701,26	60.258,85	27.012,64	444.981,37	129.044,60
2020	611.572,45	57.931,18	2.779,46	60.710,64	27.794,65	461.909,92	133.953,88
2021	632.371,80	58.290,69	2.859,84	61.150,53	28.598,40	479.385,68	139.021,85
2022	653.807,99	58.635,29	2.942,45	61.577,74	29.424,48	497.424,97	144.253,24
2023	675.899,43	58.964,08	3.027,35	61.991,43	30.273,50	516.044,55	149.652,92
2024	698.664,99	59.276,13	3.114,61	62.390,74	31.146,08	535.261,67	155.225,88
2025	722.124,11	59.570,51	3.204,29	62.774,80	32.042,85	555.094,05	160.977,27
2026	746.296,74	59.846,22	3.296,45	63.142,66	32.964,47	575.559,93	166.912,38
2027	771.203,41	60.102,23	3.391,16	63.493,39	33.911,61	596.678,07	173.036,64
2028	796.865,20	60.337,47	3.488,50	63.825,97	34.884,96	618.467,76	179.355,65
2029	823.303,80	60.550,86	3.588,52	64.139,38	35.885,22	640.948,81	185.875,16
2030	850.541,46	60.741,24	3.691,31	64.432,55	36.913,13	664.141,63	192.601,07

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μειώθηκε σε σχέση με το τρίτο υποσενάριο σε ποσοστό 0,3-0,5 %.

Γενικά παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη θερμογόνος δύναμη, μας δίνει και την μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ($1^{ο}$ υποσενάριο). Συγκρίνοντας τα τρία επόμενα υποσενάρια, γίνεται αντιληπτό, ότι με τη μείωση της υγρασίας στα ΑΣΑ που καταλήγουν σε καύση, έχουμε αύξηση της θερμογόνου δύναμης, όχι όμως και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα, όσο αυξάνεται η θερμογόνος δύναμη τόσο μειώνεται η ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι η αύξηση της συνολικής ενέργειας των ΑΣΑ είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την αύξηση της ενέργειας που απαιτείται για την προξήρανση του καυσίμου. Συγκεκριμένα η συνολική ενέργεια των ΑΣΑ αυξάνεται κατά 4 % περίπου, ενώ η ενέργεια προξήρανσης κατά 40 %.

Για την καλύτερη αντίληψη των αποτελεσμάτων συλλέχθηκαν στοιχεία από την εθνική στατιστική υπηρεσία για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις Κυκλάδες από το έτος 1996 έως 2008. Από τα στατιστικά δεδομένα προέκυψε μία μέση τιμή αύξησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας 6,5 %, σύμφωνα με την οποία έγιναν προβλέψεις μέχρι το έτος 2030. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατίθενται στον Πίνακα 8-18, όπως και σε διάγραμμα η καμπύλη της αύξησης της ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 8-12).



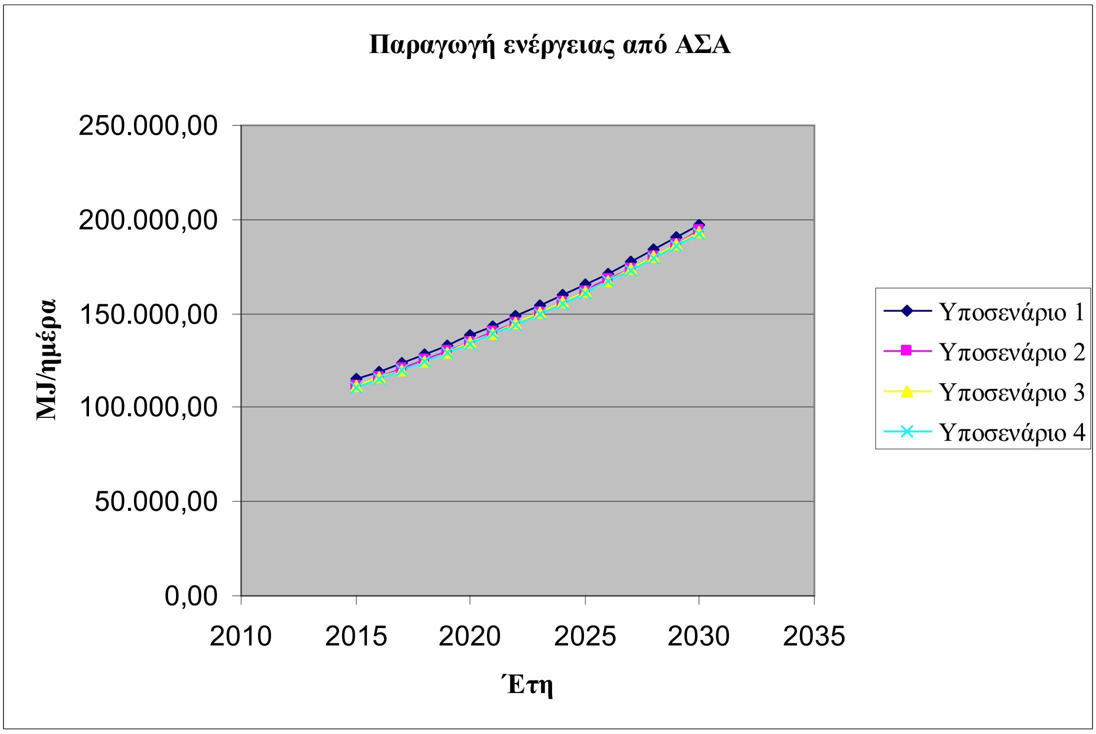
Σχήμα 8-12. Ετήσια μεταβολή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Πίνακας 8-18. Ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση ΑΣΑ

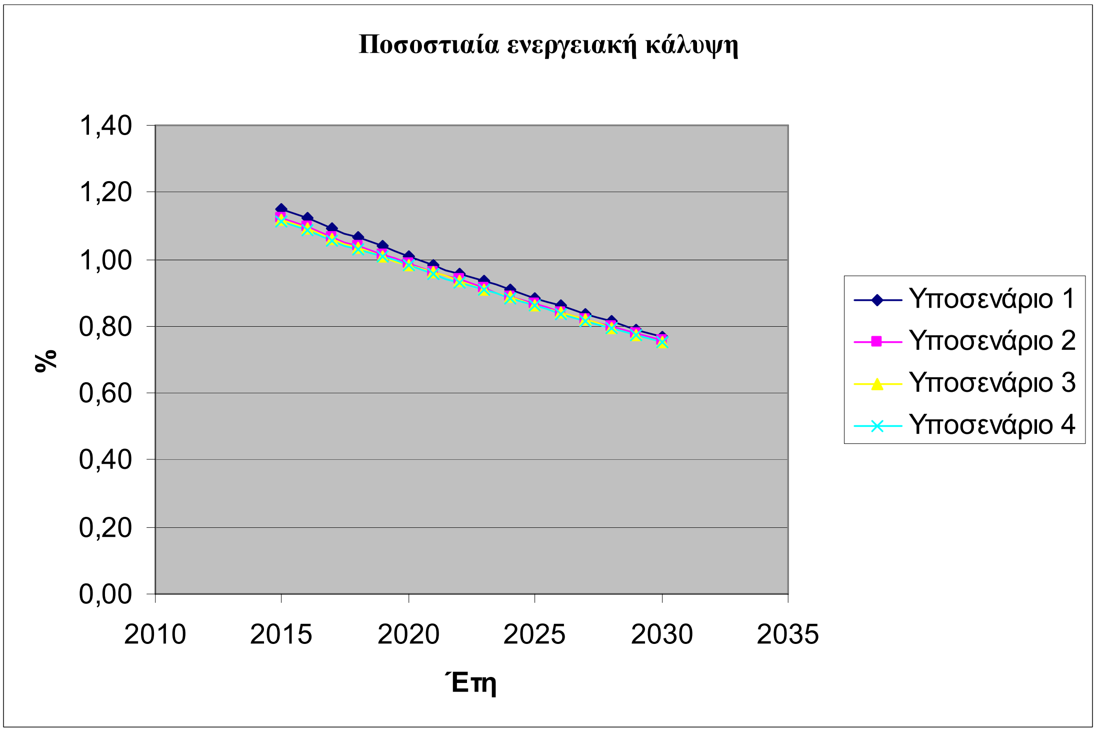
Έτος	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (MJ/ημέρα)	1ο υποσενάριο		2ο υποσενάριο		3ο υποσενάριο		4ο υποσενάριο	
		$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)	Ποσοστό κάλυψης	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)	Ποσοστό κάλυψης	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)	Ποσοστό κάλυψης	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)	Ποσοστό κάλυψης
2015	9.977.457	114.783,29	1,15	111.985,85	1,12	111.445,10	1,12	110.904,37	1,11
2016	10.624.994	119.146,81	1,12	116.313,23	1,09	115.768,40	1,09	115.223,59	1,08
2017	11.314.556	123.651,33	1,09	120.781,45	1,07	120.232,64	1,06	119.683,86	1,06
2018	12.048.870	128.301,06	1,06	125.394,72	1,04	124.842,06	1,04	124.289,41	1,03
2019	12.830.842	133.100,29	1,04	130.157,38	1,01	129.600,98	1,01	129.044,60	1,01
2020	13.663.564	138.053,49	1,01	135.073,88	0,99	134.513,87	0,98	133.953,88	0,98
2021	14.550.329	143.165,21	0,98	140.148,81	0,96	139.585,32	0,96	139.021,85	0,96
2022	15.494.645	148.440,15	0,96	145.386,86	0,94	144.820,04	0,93	144.253,24	0,93
2023	16.500.248	153.883,15	0,93	150.792,90	0,91	150.222,90	0,91	149.652,92	0,91
2024	17.571.114	159.499,16	0,91	156.371,90	0,89	155.798,88	0,89	155.225,88	0,88
2025	18.711.479	165.293,29	0,88	162.128,98	0,87	161.553,12	0,86	160.977,27	0,86
2026	19.925.854	171.270,80	0,86	168.069,41	0,84	167.490,89	0,84	166.912,38	0,84
2027	21.219.042	177.437,08	0,84	174.198,62	0,82	173.617,62	0,82	173.036,64	0,82
2028	22.596.158	183.797,69	0,81	180.522,18	0,80	179.938,91	0,80	179.355,65	0,79
2029	24.062.648	190.358,33	0,79	187.045,81	0,78	186.460,47	0,77	185.875,16	0,77
2030	25.624.314	197.124,89	0,77	193.775,41	0,76	193.188,23	0,75	192.601,07	0,75

Τα ποσοστά κάλυψης της καταναλισκόμενης ενέργειας από την παραγόμενη ενέργεια από την καύση των ΑΣΑ είναι πολύ μικρά και μάλιστα το μέγιστο ποσοστό τους δεν ξεπερνά το 1,15 %. Παράλληλα, η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας είναι μικρότερη από την αύξηση της καταναλισκόμενης, με αποτέλεσμα το ποσοστό κάλυψης να μειώνεται και συγκεκριμένα η μικρότερη τιμή του είναι 0,75 %.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε μορφή διαγραμμάτων τα αποτελέσματα των τεσσάρων υποσεναρίων (Σχήμα 8-13, 8-14).



Σχήμα 8-13. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από καύση ΑΣΑ



Σχήμα 8-14. Ποσοστιαία ενεργειακή κάλυψη από καύση ΑΣΑ

Από τα διαγράμματα 8-13 και 8-14 γίνεται εμφανές, ότι, ενώ έχουμε αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από καύση ΑΣΑ και για τα τέσσερα υποσενάρια, το ποσοστό κάλυψης μειώνεται. Αυτό συμβαίνει διότι ο ρυθμός αύξησης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο της παραγόμενης ενέργειας από ΑΣΑ.

Συγκεκριμένα, η καταναλισκόμενη ενέργεια παρουσιάζει ένα μέσο ρυθμό αύξησης της τάξης του 6,5 %. Αντίθετα η παραγόμενη ενέργεια από την καύση των ΑΣΑ για το 1^{ο} υποσενάριο αυξάνεται κατά ένα ποσοστό, το οποίο κυμαίνεται από 3,43-3,66 %. Το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης παρατηρείται κατά τον 1^{ο} χρόνο λειτουργίας της μονάδας καύσης ΑΣΑ, ενώ το μικρότερο το έτος 2030.

Στο 2^{ο} υποσενάριο, όπου ξηραίνεται το ζυμώσιμο κλάσμα κατά 20 %, το εύρος των ποσοστών αύξησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος είναι 3,47-3,72 %, ενώ, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και στο 1^{ο} υποσενάριο, το μεγαλύτερο ποσοστό αντιστοιχεί στο 1^{ο} χρόνο λειτουργίας και το μικρότερο στο τελευταίο.

Για το 3^{ο} υποσενάριο, όπου το ζυμώσιμο κλάσμα ξηραίνεται κατά 40 %, η αύξηση ανά έτος κυμαίνεται από 3,48 έως 3,73 %. Για το 4^{ο} και τελευταίο υποσενάριο (μείωση της περιεχόμενης υγρασίας στα ζυμώσιμα κατά 60 %), τα ποσοστά αύξησης είναι 3,49-3,75 %. Τα ποσοστά αύξησης και για τα δύο τελευταία υποσενάρια μειώνονται με την πάροδο των χρόνων.

8.5 Σύγκριση σεναρίων

Στο 1^{ο} σενάριο, όπου μελετήθηκαν οι εκπομπές αέριων ρύπων από τον ΧΥΤΑ της Νάξου, παρατηρήθηκε ότι, κατά το έτος 2031 εκπέμπονται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα στο μέγιστο ρυθμό τους. Οι εκπομπές είναι της τάξης των $3{,}2 \cdot 10^6$ m^3/έτος και $3{,}0 \cdot 10^6$ m^3/έτος για το CH_4 και το CO_2 αντίστοιχα, ενώ για τον NMOC οι μέγιστες εκπομπές είναι $2{,}5 \cdot 10^4$ m^3/έτος.

Για το 2^{ο} σενάριο, όπου μελετήθηκαν οι εκπομπές αέριων ρύπων από τον ΧΥΤΑ της Νάξου, με την εισροή σε αυτόν, των ποσοτήτων ΑΣΑ από τα μικρά νησιά παρατηρήθηκαν μέγιστες εκπομπές από τους τρεις ρύπους κατά το έτος 2031. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές που υπολογίστηκαν είναι $3{,}4 \cdot 10^6$, $3{,}1 \cdot 10^6$ και $2{,}6 \cdot 10^4$ m^3/έτος για το CH_4, το CO_2 και το NMOC αντίστοιχα. Η αύξηση, που παρατηρείται (3,8 %), είναι αναμενόμενη λόγω των αυξημένων ποσοτήτων ΑΣΑ που εισέρχονται στον ΧΥΤΑ. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το 2^{ο} σενάριο είναι:

- Η άμεση παύση της λειτουργίας ΧΔΑ στα μικρά νησιά (Κουφονήσια, Σχοινούσα, Δονούσα, Ηρακλειά)
- Η ταχύτερη αποκατάσταση των ΧΔΑ των μικρών νησιών, οι οποίοι είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξέλεγκτοι και επικίνδυνοι για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία
- Η ασφαλής διάθεση των ΑΣΑ σε οργανωμένο ΧΥΤΑ, με μειωμένες δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι αυξημένες δυνατότητες περαιτέρω επεξεργασίας των ΑΣΑ, που προσφέρει η διάθεσή τους στον ΧΥΤΑ της Νάξου.

Η αύξηση των εκπομπών αέριων ρύπων κρίνεται ως μηδαμινή σε σύγκριση με τα πλεονεκτήματα, που προσφέρει το 2^{ο} σενάριο έναντι του 1^{ου}.

Στο 3^{ο} σενάριο, όπου μελετήθηκε η δυνατότητα καύσης των ΑΣΑ με παράλληλη ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας, βάση των υπολογισμών, που έλαβαν χώρα, κρίθηκε, ότι το ενεργειακό περιεχόμενο των ΑΣΑ δεν επαρκεί, ώστε να θεωρηθεί η διεργασία αποδοτική. Συγκεκριμένα, το ποσοστό κάλυψης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγόμενη, κυμαίνεται από 0,75 έως 1,15 %. Τα ποσοστά αυτά είναι πολύ μικρά και εκτιμάται, ότι το συνολικό κόστος μιας μονάδας καύσης με ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα ξεπερνούσε κατά πολύ τα οφέλη.

Από την σύγκριση των 3^{ων} σεναρίων προκύπτει, ότι το 2^{ο} σενάριο, δηλαδή η κατασκευή ΣΜΑ στα μικρά νησιά με τελικό αποδέκτη τον κεντρικό ΧΥΤΑ στη Νάξο, είναι και το αποδοτικότερο, παρουσιάζει τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα και προτείνεται ως ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ της μελετώμενης περιοχής. Συνοπτικά τα αποτελέσματα σύγκρισης των 3^{ων} σεναρίων παρατίθενται στους Πίνακες 8-19 και 8-20.

Πίνακας 8-19. Σύγκριση αποτελεσμάτων Σεναρίων 1 και 2

	Μέγιστες εκπομπές CH_4 (m^3)	**Μέγιστες εκπομπές CO_2 (m^3)**	**Μέγιστες εκπομπές NMOC(m^3)**	**Μέγιστες Συνολικές αέριες εκπομπές (m^3)**
1^{ο} σενάριο	**$3{,}2*10^6$**	**$3{,}0*10^6$**	**$2{,}5*10^4$**	**$6{,}2*10^6$**
2^{ο} σενάριο	**$3{,}4*10^6$**	**$3{,}1*10^6$**	**$2{,}6*10^4$**	**$6{,}4*10^6$**

Πίνακας 8-20. Σύγκριση υποσεναρίων 3ου Σεναρίου

Έτος	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (MJ/ημέρα)	1ο υποσενάριο		2ο υποσενάριο		3ο υποσενάριο		4ο υποσενάριο	
		$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)	Ποσοστό κάλυψης	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)	Ποσοστό κάλυψης	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)	Ποσοστό κάλυψης	$Q_{ηλεκτρική}$ (MJ/ ημέρα)	Ποσοστό κάλυψης
2015	9.977.457	114.783,29	1,15	111.985,85	1,12	111.445,10	1,12	110.904,37	1,11
2016	10.624.994	119.146,81	1,12	116.313,23	1,09	115.768,40	1,09	115.223,59	1,08
2017	11.314.556	123.651,33	1,09	120.781,45	1,07	120.232,64	1,06	119.683,86	1,06
2018	12.048.870	128.301,06	1,06	125.394,72	1,04	124.842,06	1,04	124.289,41	1,03
2019	12.830.842	133.100,29	1,04	130.157,38	1,01	129.600,98	1,01	129.044,60	1,01
2020	13.663.564	138.053,49	1,01	135.073,88	0,99	134.513,87	0,98	133.953,88	0,98
2021	14.550.329	143.165,21	0,98	140.148,81	0,96	139.585,32	0,96	139.021,85	0,96
2022	15.494.645	148.440,15	0,96	145.386,86	0,94	144.820,04	0,93	144.253,24	0,93
2023	16.500.248	153.883,15	0,93	150.792,90	0,91	150.222,90	0,91	149.652,92	0,91
2024	17.571.114	159.499,16	0,91	156.371,90	0,89	155.798,88	0,89	155.225,88	0,88
2025	18.711.479	165.293,29	0,88	162.128,98	0,87	161.553,12	0,86	160.977,27	0,86
2026	19.925.854	171.270,80	0,86	168.069,41	0,84	167.490,89	0,84	166.912,38	0,84
2027	21.219.042	177.437,08	0,84	174.198,62	0,82	173.617,62	0,82	173.036,64	0,82
2028	22.596.158	183.797,69	0,81	180.522,18	0,80	179.938,91	0,80	179.355,65	0,79
2029	24.062.648	190.358,33	0,79	187.045,81	0,78	186.460,47	0,77	185.875,16	0,77
2030	25.624.314	197.124,89	0,77	193.775,41	0,76	193.188,23	0,75	192.601,07	0,75

9. Συμπεράσματα-Αξιοποίηση αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι οι τιμές που προέκυψαν στη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης κρίνονται ως φυσιολογικές και μέσα στα όρια τιμών, που αναμένονται. Συγκεκριμένα από την ποσοτική και ποιοτική ανάλυση προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η τιμή του ΡΠΑ για τους μόνιμους κατοίκους είναι 0,8 kg/κάτοικο/ημέρα
- Για τον τουριστικό πληθυσμό υπολογίστηκε σε 1,2 kg/κάτοικο/ημέρα
- Οι τέσσερις κύριες κατηγορίες κλασμάτων είναι κατά σειρά ζυμώσιμα, χαρτί, γυαλί και πλαστικά με ποσοστά 39,6 , 20,7 , 12,4 και 10,3 % αντίστοιχα.
- Καταλαμβάνουν συνολικά ποσοστό 83 %
- Συγκρίνοντας με δεδομένα του έτους 1994 για τη Νάξο, παρατηρούμε σημαντική μείωση στα ζυμώσιμα και αύξηση στα κλάσματα μετάλλου, γυαλιού.

Στην ανάλυση σεναρίων, που έλαβε χώρα στη διάρκεια της μελέτης, παρατηρήθηκε ότι:

- Η παραγωγή βιοαερίου στο ΧΥΤΑ Νάξου αυξάνεται με την εισροή των ΑΣΑ των τεσσάρων μικρών νησιών από $3{,}23*10^6$ σε $3{,}35*10^6$ m^3/έτος, που αντιστοιχεί σε αύξηση 3,8 %
- Δεδομένου ότι οι ποσότητες που εισέρχονται είναι μικρές και η αύξηση στην παραγωγή βιοαερίου δεν θεωρείται σημαντική, επιλέγουμε το 2^{ο} σενάριο αντί του 1^{ου}, δηλαδή τη μεταφορά των ΑΣΑ των μικρών νησιών στο ΧΥΤΑ Νάξου.
- Στο 3^{ο} σενάριο, στο οποίο ελέγχθηκε η πιθανότητα ανάκτησης ενέργειας από τα ΑΣΑ, προέκυψαν μη ικανοποιητικά αποτελέσματα όσο αφορά τα ποσοστά κάλυψης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγόμενη.
- Σε κανένα από τα τέσσερα υποσενάρια δεν ξεπερνάει, το ποσοστό κάλυψης, το 1,15 %
- Το ποσοστό αυτό τείνει μειούμενο με την πάροδο των χρόνων
- Το μικρότερο ποσοστό κάλυψης είναι 0,75 %
- Δεδομένου και του υψηλού κόστους μίας μονάδας καύσης με παράλληλη ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας, απορρίπτεται και το 3^{ο} σενάριο

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης προτείνεται για την υπό μελέτη περιοχή, η κατασκευή ΣΜΑ στα νησιά Κουφονήσια, Σχοινούσα, Δονούσα και Ηρακλειά με τελικό αποδέκτη το ΧΥΤΑ Νάξου, όπου θα γίνεται η τελική διάθεσή τους. Αυτό προϋποθέτει την αυστηρή τήρηση των κανόνων που διέπουν ένα ΧΥΤΑ ώστε να αποφευχθούν διαρροές βιοαερίου ή στραγγισμάτων, εργατικά ατυχήματα κλπ.

Βιβλιογραφία

1. Ανδρεαδάκης Α., «Αρχές και Μέθοδοι Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων»
2. Γενειατάκης Μ., «In situ μετρήσεις βιοαερίου και εκτίμηση ανεξέλεγκτων εκπομπών CH_4 στο Χώρο Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΔΑ) Πέρα Γαληνών Ηρακλείου», Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Σεπτέμβριος 2004
3. Γιδαράκος Ευάγγελος, «Διάθεση και Επεξεργασία Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων», Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2003
4. ΕΕΔΣΑ: «Το νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ελλάδα» www.eedsa.gr, 2006
5. ΕΕΤΑΑ, «Διάγνωση των πρακτικών διαχείρισης απορριμμάτων και ανάπτυξη τυπικών σχεδίων διαχείρισης απορριμμάτων για τα ελληνικά νησιά»
6. Καραΐσκου Κ., «Εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων στη Διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθήνα, 2006
7. Λάλας Δ., Γεωργοπούλου Ε., Γιδαράκος Ε., Γκέκας Ρ., Λαζαρίδη Α., Μαυρόπουλος Α., Μοιρασγεντής Σ., Σέλλας Ν., «Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων», Αθήνα, Απρίλιος 2007.
8. Μητρόπουλος Π., «Πολυκριτηριακή ανάλυση στη λήψη αποφάσεων για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων και την κατανομή πόρων», Διδακτορική διατριβή, Πάτρα 2007
9. Ντζαμίλης Π.-Χάβας Γ., « Ποιοτική και Ποσοτική Ανάλυση Αστικών Απορριμμάτων Περιφέρειας Κρήτης», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Μάρτιος 2004.
10. Παναγιωτακόπουλος Δ.Χ., «Βιώσιμη διαχείριση στερεών αποβλήτων», Εκδόσεις ΖΥΓΟΣ, Θεσσαλονίκη 2002.
11. Παναγιωτίδου Ναταλία, «Μοντελοποίηση και προσομοίωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση αστικών στερεών απορριμμάτων: Η περίπτωση του νομού Χανίων», Πολυτεχνείο Κρήτης, Οκτώβριος 2008

12. Παρασκάκη Ι., «Εκτίμηση Εκπομπών Αέριων Ρύπων από Χώρους Διάθεσης Απορριμμάτων», Διπλωματική εργασία, Χανιά, Ιούλιος 2003

13. Σκορδίλης Α., «Ελεγχόμενη εναπόθεση Στερεών μη επικίνδυνων αποβλήτων», Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2001.

14. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., «3η εθνική έκθεση της σύμβασης – πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή», Αθήνα 2002

15. Χατζηνικολάου Ν., Βασιλειάδη Α., «Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου», 2008

16. ΚΥΑ 69728/824/ ΦΕΚ 358/17-5-1996, Μέτρα και όροι για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων.

17. ΚΥΑ 114218, ΦΕΚ Β' 1016/17.11.97 «Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων».

18. ΚΥΑ 29407/3508, ΦΕΚ Β' 1572/16.12.2002 «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων».

19. Αριθμ. οικ: 14312/1302, ΦΕΚ 723/9-6-2000, Συμπλήρωση και εξειδίκευση της ΚΥΑ 113944/1944/1997 με θέμα «Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Γενικές Κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων)» (Β΄1016/1997).

20. Amy Alexander, Clint Burklin, and Amanda Singleton, Eastern Research Group Morrisville, NC, «Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide», May 2005

21. ASTM D5231-92(2003) ("Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste "), www.astm.org

22. EPA, "RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance Planning, Implementation, and Assessment", EPA530-D-02-002, August 2002, www.epa.gov/osw.

23. Eurostat, «Energy, transport and environment indicators», 2008 edition.

24. Gidarakos E., Havas G., Ntzamilis P., «Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete», Chania, July 2005

25. Karkazi A., Skoulaxinou S., Mavropoulos A., Fagogeni E., «Solid Waste Management in the Greek islands».

26. http://el.wikipedia.org/

27. http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE

28. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/