

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ  
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ  
ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟΝ  
ΧΥΤΑ ΑΜΑΡΙΟΥ**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Νικόλαος Βαρούχας**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Ευάγγελος Γιδαράκος (Επιβλ.)**

**Ξεκουκουλωτάκης Νικόλαος**

**Αϊβαλιώτη Μαρία**

**Χανιά 2022**



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή μου, κύριο **Ευάγγελο Γιδαράκο**, που με εμπιστεύτηκε και μου ανέθεσε τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή, αλλά και που με την αμέριστη βοήθεια, συμπαράσταση και πολύτιμη καθοδήγησή του συνέβαλε τα μέγιστα για την εκπόνηση και ολοκλήρωση αυτής.

Οφείλω να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως την Διδάκτορα, κυρία **Μαρία Αϊβαλιώτη** και τον Υποψήφιο Διδάκτορα κύριο **Ιωάννη Μουκαζή**, για τις εξαιρετικά χρήσιμες συμβουλές και πληροφορίες που μου παρείχαν μέσα από τη συνεργασία μας, καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας και συγγραφής της μελέτης μου.

Αφιερώνετε στην Οικογένειά μου και ιδιαίτερα στην σύζυγο μου, που μου επέμενε να μην τα παρατήσω!



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή επικεντρώνεται στην παραγωγή και στη μετέπειτα πορεία του βιοαερίου του ΧΥΤΑ Αμαρίου στο Ρέθυμνο, διερευνώντας τις υφιστάμενες δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησής του, μέσω της εκτίμησης του παρόντος και μελλοντικού δυναμικού, με την χρήση μοντέλου (LandGEM).

Όπως προκύπτει βασικά μεγέθη του εν λόγω ΧΥΤΑ (π.χ. διαθέσιμο προς αξιοποίηση μεθάνιο, ποσότητες απορριμμάτων, έκταση, κλπ.) είναι σημαντικά χαμηλότερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα, βάσει βιβλιογραφίας και εμπειρίας, ώστε να θεωρηθεί πιθανά οικονομικά συμφέρουσα και βιώσιμη η ενεργειακή αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου.

Εντούτοις, η συλλογή και επεξεργασία του βιοαερίου του ΧΥΤΑ Αμαρίου σε πυρσό καύσης αποτελεί αδιαμφισβήτητη αναγκαιότητα, επιβαλλόμενη τόσο από την ισχύουσα νομοθεσία, όσο και από το παρελθόν (αλλά και το μέλλον) του ίδιου του χώρου.

## ABSTRACT

The present dissertation focuses on the production and subsequent course of biogas of the Amari landfill at Rethymno, exploring the existing potential for its energy valorization, through the assessment of present and future potential, using a model (LandGEM).

As it turns out, the basic sizes of this landfill (eg available methane for valorization, waste quantities, area, etc.) are significantly lower than the minimum required, based on literature and experience, so that energy valorization of biogas produced is considered potentially economically viable and sustainable.

However, the collection and treatment of biogas of the Amari landfill in a gas flare is an indisputable necessity, imposed both by the current legislation and by the past (but also the future) of the landfill itself.

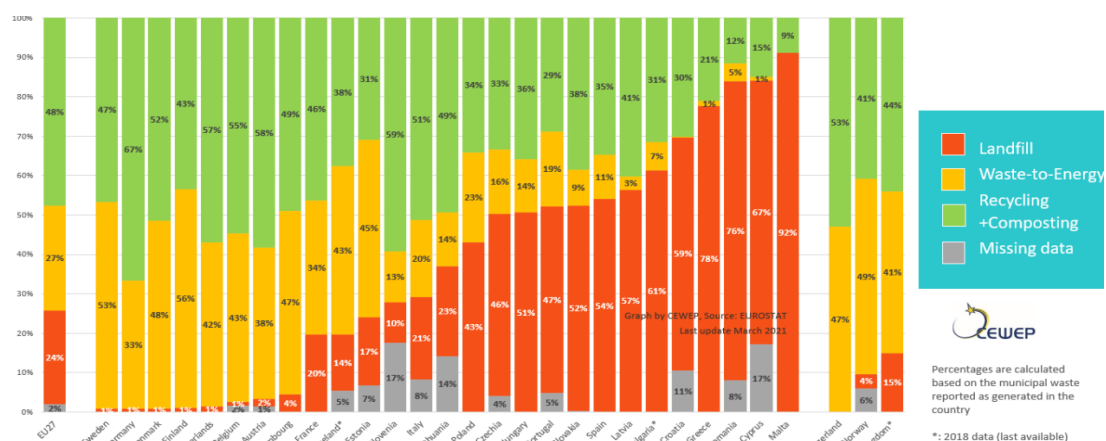
## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>4</b>
2.1. Γενικά .....	4
2.2. Βιοποδόμηση απορριμμάτων .....	5
2.3. Προϊόντα .....	8
<b>3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>10</b>
3.1. Σχηματισμός.....	10
3.2. Σύσταση .....	10
3.3. Καθοριστικοί παράγοντες .....	12
3.4. Κίνηση .....	13
<b>4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>16</b>
4.1 Γενικά .....	16
4.2 Συλλογή και έλεγχος.....	16
4.3 Επεξεργασία .....	18
4.4 Κριτήρια ενεργειακής αξιοποίησης.....	20
<b>5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>21</b>
5.1. Γενικά .....	21
5.2. Μοντέλο LandGEM.....	21
<b>6. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΧΥΤΑ ΑΜΑΡΙΟΥ (ΡΕΘΥΜΝΟ).....</b>	<b>24</b>
6.1. Γενικά .....	24
6.2. Εισερχόμενα απορρίμματα.....	27
6.3. Παραγωγή και διαχείριση βιοαερίου.....	33
6.4. Κλιματικά – βιοκλιματικά χαρακτηριστικά .....	37
<b>7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΧΥΤΑ ΑΜΑΡΙΟΥ .....</b>	<b>42</b>
<b>8. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΧΥΤΑ ΑΜΑΡΙΟΥ .....</b>	<b>45</b>
<b>9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>46</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>47</b>

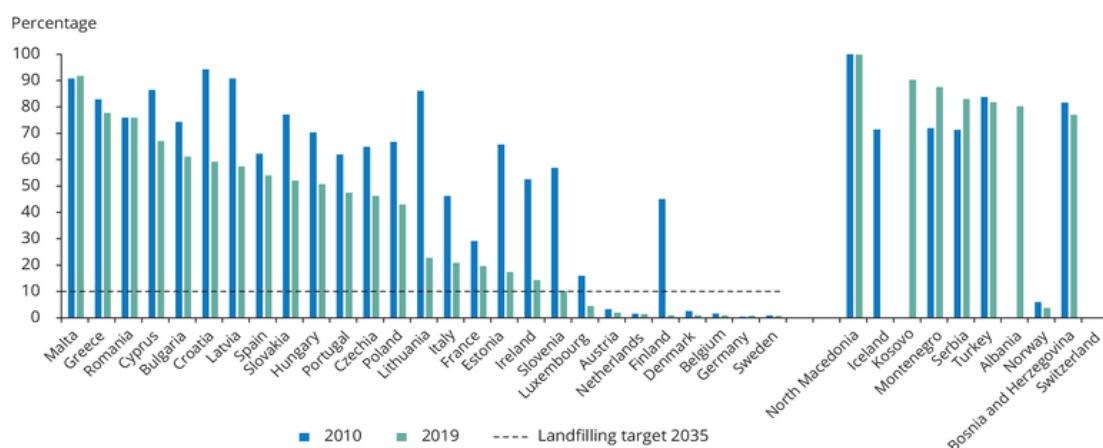
## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα τέλη του 2021 κι ενώ η επίτευξη της κυκλικής οικονομίας αποτελεί απότατο στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σε ότι αφορά τη διαχείριση των αστικών αποβλήτων, θέτοντας μάλιστα πολύ συγκεκριμένους και υψηλούς στόχους προς αυτήν την κατεύθυνση, στην Ελλάδα η υγειονομική ταφή συνεχίζει να αποτελεί σχεδόν «μονόδρομο» και μάλιστα δύσβατο, καθώς στην πράξη δεν έχουμε ακόμη καταφέρει να «κατακτήσουμε» την εν λόγω μέθοδο διαχείρισης αστικών αποβλήτων.

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της ΕΕ για το έτος 2019 στην Ελλάδα το 78% των παραγόμενων αστικών αποβλήτων οδηγήθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής, το 21% ανακυκλώθηκε / κομποστοποιήθηκε, ενώ μόλις το 1% αξιοποιήθηκε ενεργειακά (Διάγραμμα 1). Βάσει αυτών, η χώρα μας κατατάσσεται δεύτερη, μετά τη Μάλτα, σε υψηλό ποσοστό υγειονομικής ταφής αστικών αποβλήτων, σημειώνοντας ελάχιστη πρόοδο σε σχέση με το 2010 (μείωση μόλις 4-5%) και παραμένοντας σταθερά μακριά από τον στόχο της ΕΕ για ποσοστό υγειονομικής ταφής ίσο ή μικρότερο του 10% των παραγόμενων αστικών αποβλήτων έως το 2035 (Διάγραμμα 2).

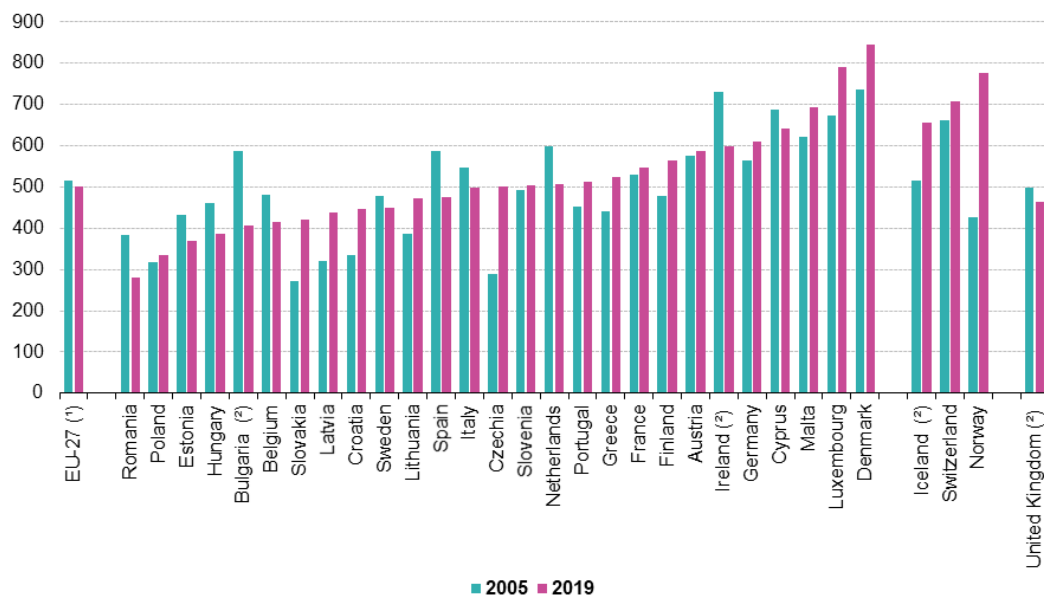


**Διάγραμμα 1:** Επεξεργασία αστικών αποβλήτων το 2019 σε διάφορες χώρες της ΕΕ.



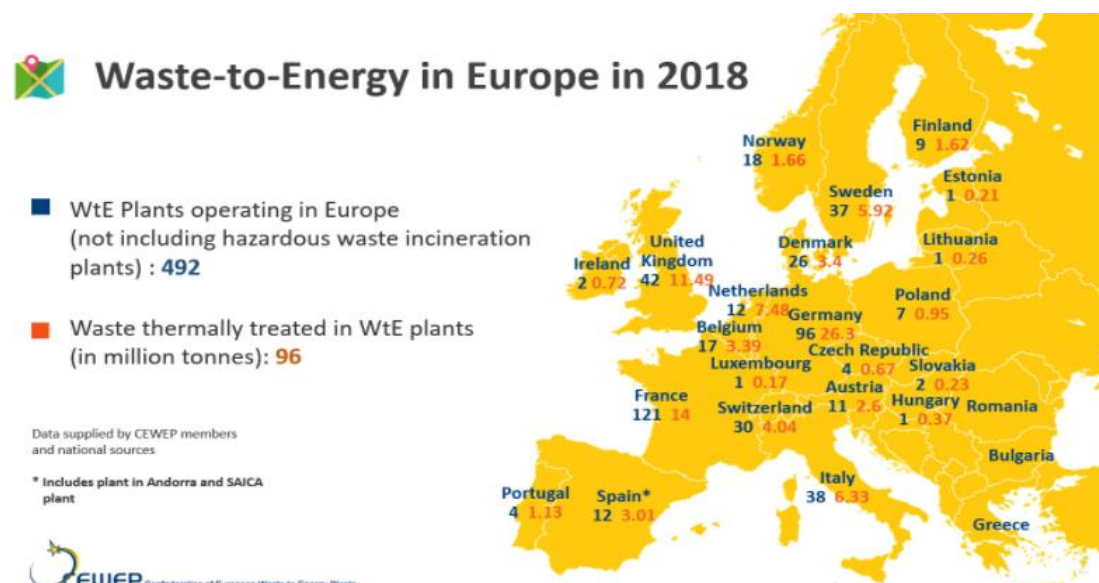
**Διάγραμμα 2:** Ποσοστό αστικών αποβλήτων που οδηγήθηκε σε υγειονομική ταφή τα έτη 2010 και 2019 σε διάφορες χώρες της ΕΕ (Eurostat).

Την ίδια στιγμή, η παραγόμενη ποσότητα αστικών αποβλήτων ανά κάτοικο στην χώρα μας αυξάνεται, σημειώνοντας μεταβολή της τάξης του 18,5% την τελευταία σχεδόν 15ετία, υπερβαίνοντας πλέον το μέσο όρο της ΕΕ, που θεωρούνται τα 502 kg/κάτοικο (Διάγραμμα 3).



**Διάγραμμα 3:** Παραγόμενα αστικά απόβλητα (kg/κάτοικο) σε διάφορες χώρες της ΕΕ τα έτη 2005 και 2019 (Eurostat).

Η ενεργειακή αξιοποίηση των αστικών αποβλήτων στην χώρα μας παραμένει σχεδόν μηδαμινή, παρότι στην ΕΕ κερδίζει διαρκώς έδαφος (Διάγραμμα 4) ως αναγκαία και βασική προϋπόθεση για την επίτευξη των τιθέμενων στόχων.



**Διάγραμμα 4:** Μονάδες ανάκτησης ενέργειας από αστικά απόβλητα σε χώρες της ΕΕ το έτος 2018.

Και παρότι κάποιος θα περίμενε ότι η Ελλάδα θα έχει αποκτήσει φοβερή τεχνογνωσία στην υγειονομική ταφή απορριμμάτων, τη μέθοδο που όσο καμιά άλλη χώρα υιοθετεί και εφαρμόζει, η πραγματικότητα αποδεικνύει ότι δυστυχώς ακόμη και σήμερα προσπαθούμε να λύσουμε βασικά προβλήματα σε ΧΥΤΑ της χώρας μας, τα οποία προκύπτουν είτε από κακό σχεδιασμό, είτε από κακή λειτουργία. Ενδεικτική είναι η παραδοχή Ευρωβουλευτή της χώρας μας εντός του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ότι: *«Δεν υπάρχει χώρος υγειονομικής ταφής στην Ελλάδα που να μην έχει προβλήματα»*.

Την ίδια στιγμή, η Ελλάδα πασχίζει να απαλλαγεί από την υποχρέωση καταβολής προστίμων, που καταβάλει την τελευταία 10ετία, λόγω λειτουργίας / μη αποκατάστασης ανεξέλεγκτων ΧΑΔΑ σε διάφορες περιοχές της χώρας. Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος: *«..απομένει το κλείσιμο ή/και η αποκατάσταση ακόμα 50 περιπτώσεων. Από αυτές, σε λειτουργία παραμένουν δύο χωματερές στην Ικαρία και από μία στην Υδρα, στη Σαντορίνη και στην Κάλυμνο. Από τις προς αποκατάσταση, τρεις βρίσκονται στη Βόρεια Ελλάδα (Αλεξανδρούπολη, Αλεξάνδρεια, Σιθωνία) και 13 σε νησιά του Αιγαίου. Το μεγαλύτερο μέρος όμως βρίσκεται στην Περιφέρεια Πελοποννήσου: σε Τρίπολη (2), Ανατολική Μάνη, Γορτυνία (2), Λουτράκι (2), Νότια Κυνουρία, Νεμέα, Βέλο – Βόχα, Κόρινθο (2), Τριφυλλία (3), Μεσσήνη (4) και Οιχαλία (2)»*.



**Εικόνα 1:** Κοινοτικός ΧΑΔΑ εντός σπηλαιοβαράθρου στον οικισμό Αγίας Άννας Βοιωτίας (Μάιος 2014) (Συνήγορος του Πολίτη, 2020).

## 2. ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

### 2.1. Γενικά

Σύμφωνα με την πλέον πρόσφατη νομοθεσία (Υ.Α. ΥΠΕΝ/ΔΔΑ/90439/1846/2021 - ΦΕΚ 4514/Β' 30.9.2021 «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων σε εναρμόνιση με τις διατάξεις της οδηγίας 99/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 «περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων», όπως τροποποιήθηκε με την οδηγία (ΕΕ) 2018/850 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 30ής Μαΐου 2018») ως χώρος υγειονομικής ταφής (ΧΥΤ) ορίζεται: «κάθε χώρος διάθεσης αποβλήτων για την απόθεση των αποβλήτων επί ή εντός του εδάφους ή υπογείως, συμπεριλαμβανομένων:

- ο των εσωτερικών χώρων διάθεσης των αποβλήτων, δηλαδή των χώρων υγειονομικής ταφής στους οποίους ένας παραγωγός αποβλήτων πραγματοποιεί τη διάθεσή τους στον τόπο παραγωγής και
- ο κάθε μόνιμος, δηλαδή χρησιμοποιούμενος άνω του έτους, χώρος προσωρινής αποθήκευσης 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 αποθήκευσης των αποβλήτων πριν από την ανάκτηση χρήσιμων υλών ή την επεξεργασία για διάστημα μικρότερο των τριών ετών κατά γενικό κανόνα και
  - της αποθήκευσης αποβλήτων πριν από τη διάθεση για διάστημα μικρότερο του έτους».

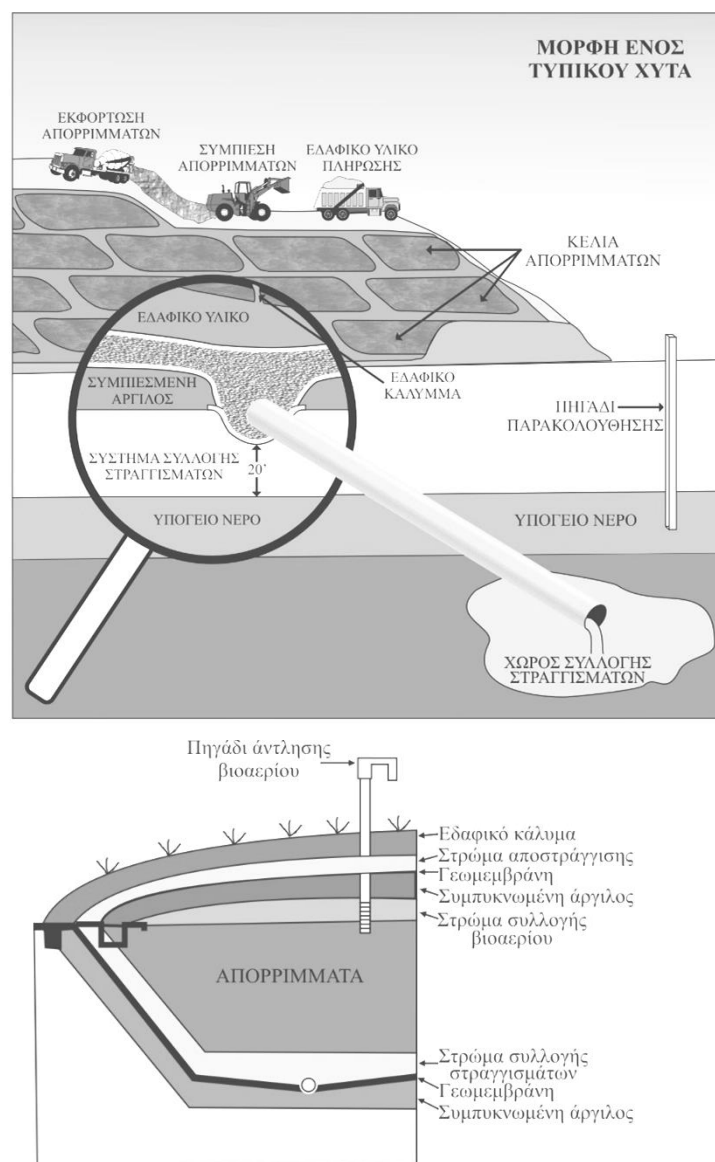
Επίσης, «Κάθε χώρος ταφής αποβλήτων κατατάσσεται σε μια από τις ακόλουθες κατηγορίες:

- ο χώρος ταφής επικίνδυνων αποβλήτων
- ο χώρος ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων
- ο χώρος ταφής αδρανών αποβλήτων».

Σε γενικές γραμμές, η μέθοδος της υγειονομικής ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων συμπεριλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά στάδια:

- ο τοποθέτηση μονωτικών στρωμάτων στην επιφάνεια του εδάφους για την αποφυγή της μεταφοράς ρύπων στο έδαφος και τα υπόγεια ύδατα,
- ο διάθεση / εναπόθεση αποβλήτων,
- ο συμπίεση των αποβλήτων με στόχο την ελαχιστοποίηση του όγκου τους,
- ο επικάλυψη των αποβλήτων με κατάλληλο υλικό (π.χ. χώμα),
- ο εγκατάσταση συστημάτων συλλογής στραγγισμάτων και αερίων.

Το Σχήμα 1 παρουσιάζει βασικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού ΧΥΤ.



**Σχήμα 1:** Βασικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού ΧΥΤ (Γιδαράκος & Αϊβαλιώτη, 2021).

## 2.2. Βιοαποδόμηση απορριμμάτων

Εντός του ΧΥΤ λαμβάνουν χώρα διάφορες διεργασίες, οι οποίες κυρίως αφορούν στη βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών (αερόβια ή αναερόβια), την χημική οξείδωση υλικών, τη διάλυση και κίνηση ουσιών, τη διαφυγή αερίων, καθώς και την καθίζηση λόγω συμπίεσης / συμπύκνωσης υλικών. Οι διεργασίες αυτές συχνά αναφέρονται ως διαδικασίες γήρανσης του ΧΥΤ.

Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται ένα ενδεικτικό και απλοποιημένο διάγραμμα ροής ενός ΧΥΤΑ.



**Σχήμα 2:** Συστημική απεικόνιση ενός ΧΥΤΑ (Γιδαράκος, 2013).

Η διαδικασία αποδόμησης των απορριμμάτων εντός του ΧΥΤΑ μπορεί να διακριθεί σε πέντε βασικά στάδια – φάσεις, ως εξής:

- **Στάδιο Ι - Φάση προσαρμογής**

Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των απορριμμάτων υφίσταται την επίδραση μικροοργανισμών, η οποία ουσιαστικά είχε ξεκινήσει ήδη πριν την εναπόθεσή τους στον ΧΥΤ και συνεχίζεται εντός αυτού. Η αποδόμησή του λαμβάνει χώρα υπό αερόβιες συνθήκες, αυξάνοντας την θερμοκρασία έως και τους 70°C. Το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα απορροφάται από το υπάρχον νερό, οδηγώντας στον σχηματισμό οξέων, που προσδίδουν αυξημένη οξύτητα στα διασταλλάγματα. Οι μικροοργανισμοί που δρουν στην παρούσα φάση συνήθως προέρχονται από το υλικό (χώμα), που χρησιμοποιείται για την κάλυψη του κυττάρου ή από την ιλύ βιολογικών καθαρισμών που συχνά εναποτίθεται σε ΧΥΤ. Η διάρκεια του συγκεκριμένου σταδίου (όπως και κάθε άλλου άλλωστε) είναι σχετική και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων τη σύσταση των απορριμμάτων, το βαθμό συμπίεσής τους και το παρόν διαθέσιμο οξυγόνο. Συνήθως κυμαίνεται από μερικές ημέρες έως μερικές εβδομάδες.

- **Στάδιο ΙΙ –Ενδιάμεση φάση**

Η ποσότητα του οξυγόνου μειώνεται δραματικά, με αποτέλεσμα να αρχίσουν να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες στο εσωτερικό του ΧΥΤ. Το είδος των μικροοργανισμών που «δραστηριοποιούνται» σε αυτήν την φάση αλλάζει δραματικά, καθώς σταδιακά επικρατούν οι αναερόβιοι. Υδρογονάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπη υδρολύονται σε σάκχαρα, τα οποία στη συνέχεια αποδομούνται περαιτέρω σε CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> και οργανικά οξέα. Η εν λόγω φάση ονομάζεται και «φάση υδρόλυσης» και προηγείται των άλλων δύο, που συνολικά συνθέτουν τη συνολική διαδικασία σύνθεσης του CH<sub>4</sub>. Η αυξημένη παρουσία διοξειδίου του άνθρακα και οργανικών οξέων προκαλεί ακόμη μεγαλύτερη παραγωγή οξέων και κατ' επέκταση ακόμη μεγαλύτερη πτώση του pH. Η θερμοκρασία στο συγκεκριμένο στάδιο κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 30 και 50°C.

- **Στάδιο III –Οξινή φάση**

Η μικροβιακή δράση επιταχύνεται με την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων οργανικών οξέων και μικρότερων ποσοτήτων υδρογόνου. Τα παραγόμενα οργανικά οξέα (κυρίως  $\text{CH}_3\text{COOH}$  & παράγωγα αυτού, φουλβικό οξύ και άλλα πιο σύνθετα οργανικά οξέα), καθώς και η υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα προκαλούν ακόμη μεγαλύτερη πτώση του pH, με αποτέλεσμα την εκχύλιση βαρέων μετάλλων και θρεπτικών στοιχείων από τα απορρίμματα. Οι κυρίαρχοι μικροοργανισμοί στην εν λόγω φάση χαρακτηρίζονται ως μη – μεθανογόνοι. Καθώς όμως η παραγόμενη ποσότητα υδρογόνου μειώνεται, ευνοείται η ανάπτυξη και κυριαρχία μεθανογόνων μικροοργανισμών. Η διάρκεια της παρούσας φάσης κυμαίνεται από 3 μήνες έως και 3 χρόνια.

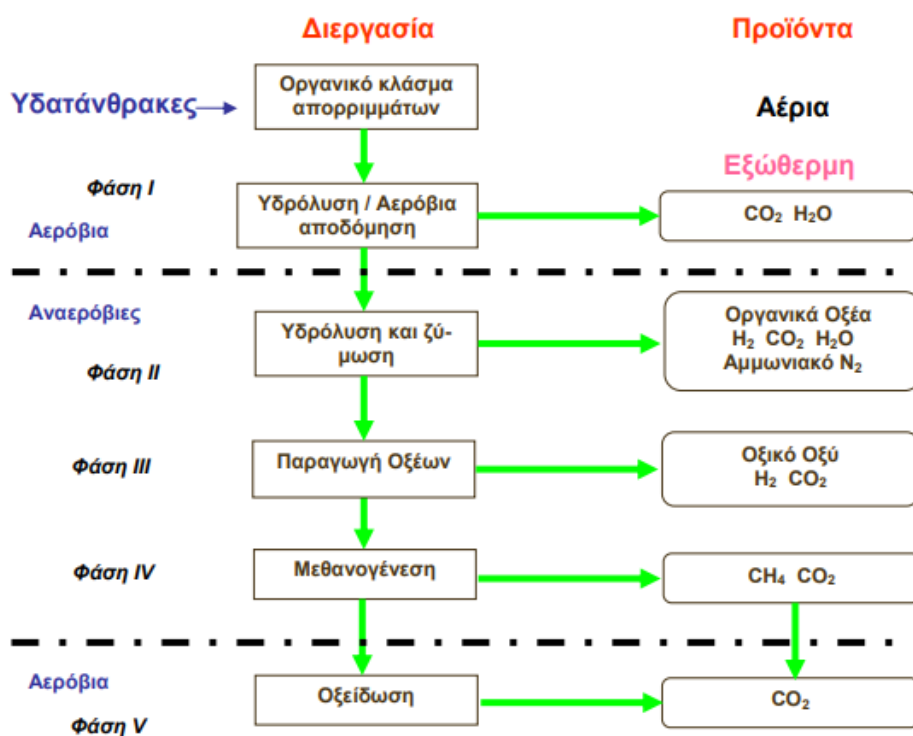
- **Στάδιο IV –Φάση μεθανογένεσης**

Η συγκεκριμένη φάση αποτελεί την κύρια χρονικά φάση της διαδικασίας της αποδόμησης του οργανικού κλάσματος των ΧΥΤ, η οποία συνήθως ξεκινάει 6 μήνες μετά την εναπόθεση των απορριμμάτων και μπορεί να διαρκέσει από 5 έως και 50 έτη. Κατά τη διάρκειά της τα παραχθέντα οργανικά οξέα και το υπάρχον υδρογόνο θα μετατραπούν σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Οι μικροοργανισμοί που δρουν είναι αποκλειστικά αναερόβιοι, καλούνται μεθανογόνοι και μπορεί να είναι είτε μεσόφιλοι (βέλτιστη θερμοκρασία 30-35°C) είτε θερμοφιλοι ((βέλτιστη θερμοκρασία 45-65°C). Η δε διάσπαση των οξέων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του pH.

- **Στάδιο V –Φάση ωρίμανσης**

Όταν ολοκληρωθεί η αποδόμηση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων και η μετατροπή όλων των προϊόντων της σε μεθάνιο, η φάση της μεθανογένεσης έχει ολοκληρωθεί και ακολουθεί το πέμπτο και τελευταίο στάδιο στη ζωή ενός ΧΥΤ, αυτό της ωρίμανσης ή οξείδωσης, όπως αλλιώς ονομάζεται, με διάρκεια 1 έως και 40 έτη. Η παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα συνεχίζεται αλλά σε σημαντικά χαμηλότερες από πριν ποσότητες, ενώ το οξυγόνο και το άζωτο αρχίζουν να εμφανίζονται στα αέρια του ΧΥΤ, παράλληλα με την σταδιακή επικράτηση αερόβιων μικροοργανισμών.

Στο Σχήμα 2 συνοψίζονται οι παραπάνω φάσεις αποδόμησης, καθώς και τα προϊόντα κάθε μιας εξ αυτών.



**Σχήμα 3:** Φάσεις αποδόμησης οργανικού κλάσματος απορριμμάτων σε έναν ΧΥΤ και τα προϊόντα τους (Γενειατάκης, 2004).

### 2.3. Προϊόντα

Κύρια προϊόντα της υγειονομικής ταφής απορριμμάτων μπορούν να θεωρηθούν τα:

- ο στραγγίσματα: «οποιοδήποτε υγρό ρέει δια μέσου των αποτεθέντων αποβλήτων και εκρέει από το χώρο ταφής ή περιέχεται μέσα του»,
- ο αέρια: «όλα τα αέρια που παράγονται από τα απόβλητα που αποτίθενται στο χώρο υγειονομικής ταφής».

Τα **στραγγίσματα** δημιουργούνται από την αποσύνθεση του οργανικού μέρους των απορριμμάτων και τη διείσδυση νερών της βροχής εντός αυτών. Κατά την κίνηση των υγρών μέσα στη μάζα των απορριμμάτων διαλύονται και παρασύρονται διάφοροι ρύποι, καθιστώντας τα ίδια πιθανούς ρυπαντές του εδάφους και των φυσικών υδάτων (επιφανειακών και υπογείων) σε περίπτωση διαρροής τους εκτός του ΧΥΤ.

«Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ΧΥΤ και τις μετεωρολογικές συνθήκες, λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα ώστε:

- ο να ελέγχεται η εισροή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στον όγκο των αποτιθέμενων αποβλήτων,

- να προλαμβάνεται η εισροή επιφανειακών ή/και υπογείων υδάτων στα αποτιθέμενα απόβλητα,
- να συλλέγονται τα ρυπασμένα ύδατα και στραγγίσματα. Εάν μετά από αξιολόγηση, βασιζόμενη στη θέση του ΧΥΤ και στα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που πρόκειται να γίνουν δεκτά, προκύπτει ότι ο ΧΥΤ δεν συνιστά πιθανό κίνδυνο για το περιβάλλον, η αρμόδια αρχή μπορεί να αποφασίζει ότι η παρούσα διάταξη δεν εφαρμόζεται,
- να υποβάλλονται σε επεξεργασία τα μολυσμένα ύδατα και στραγγίσματα που συλλέγονται από τον ΧΥΤ, ώστε να πληρούνται οι κατάλληλες προδιαγραφές που απαιτούνται για την αποχέτευσή τους.»

Τα διάφορα **αέρια**, που παράγονται κατά την αποσύνθεση των οργανικών υλικών στο χώρο ταφής, απουσία οξυγόνου, συνολικά χαρακτηρίζονται ως βιοαέριο. Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο σε ίσες περίπου αναλογίες, ενώ σε μικρότερες ποσότητες περιλαμβάνει αμμωνία, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, υδρόθειο και άζωτο. Η ανεξέλεγκτη παραγωγή βιοαερίου μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις και πυρκαγιές εντός του ΧΥΤ, ενώ το μεθάνιο συνεισφέρει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ως εκ τούτου, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία πρέπει να: «λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για να ελέγχεται η συγκέντρωση και η μετανάστευση των αερίων του ΧΥΤ. Συγκεκριμένα, τα αέρια του ΧΥΤ πρέπει να συλλέγονται από όλους τους ΧΥΤ που δέχονται βιοαποδομήσιμα απόβλητα, να υποβάλλονται σε επεξεργασία και να χρησιμοποιούνται. **Εάν τα συλλεγόμενα αέρια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας, πρέπει να καίγονται.** Η συλλογή, επεξεργασία και χρήση των αερίων του ΧΥΤ πραγματοποιείται κατά τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ζημιές ή η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία».

### 3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

#### 3.1. Σχηματισμός

Το βιοαέριο σχηματίζεται με τρεις διεργασίες:

- ο Μικροβιακή αποδόμηση: Η μεγαλύτερη ποσότητα του βιοαερίου παράγεται μέσω της μικροβιακής αποδόμησης του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων, το οποίο προέρχεται από τροφές, απορρίμματα κήπου, προϊόντα χαρτιού και ξύλου, υφάσματα και ακαθαρσίες από δρόμους.
- ο Εξάτμιση: Αέρια εντός ενός ΧΥΤΑ μπορούν να δημιουργηθούν επίσης όταν ορισμένα είδη απορριμμάτων, ιδιαίτερα οργανικές ενώσεις, μετατραπούν από υγρή ή στερεή μορφή σε ατμούς.
- ο Χημικές αντιδράσεις: Το βιοαέριο μπορεί να σχηματιστεί και μέσω αντιδράσεων ορισμένων χημικών, που υπάρχουν στα απορρίμματα.

#### 3.2. Σύσταση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα σε ίσες περίπου αναλογίες, ενώ σε μικρές ποσότητες περιλαμβάνει αμμωνία, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, υδρόθειο και άζωτο. Η τυπική σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου στους ΧΥΤ παρουσιάζεται στον Πίνακα 1, ενώ στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της σύστασής του συναρτήσει του χρόνου.

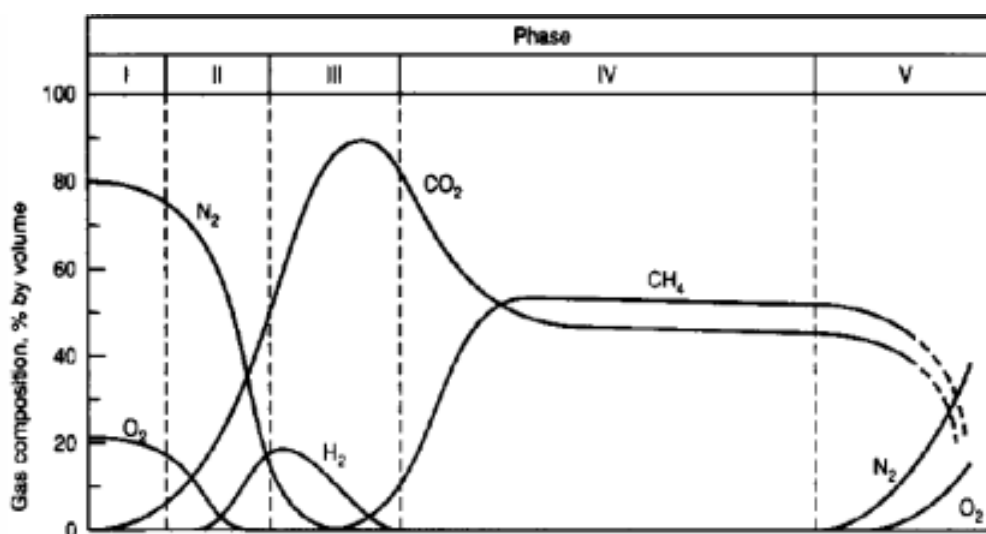
**Πίνακας 1:** Τυπική σύσταση βιοαερίου σε έναν ΧΥΤ (Γενιεατάκης, 2004).

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ(% κ.ο.)
CH <sub>4</sub>	45-60
CO <sub>2</sub>	40-60
N <sub>2</sub>	2-5
O <sub>2</sub>	0,1-1
H <sub>2</sub>	0-0,2
NH <sub>3</sub>	0,1-1
CO	0-0,2
H <sub>2</sub> S	0-0,1

**Πίνακας 2:** Μεταβολή σύστασης βιοαερίου σε έναν XYT συναρτήσει του χρόνου (Γενιεατάκης, 2004).

Χρόνος που έχει περάσει από τη συμπλήρωση του κελιού, μήνες	Μέση % κατ' όγκο		
	Αζωτο, N <sub>2</sub>	Διοξείδιο του άνθρακα, CO <sub>2</sub>	Μεθάνιο, CH <sub>4</sub>
0 - 3	5,2	88	5
3 - 6	3,8	76	21
6 - 12	0,4	65	29
12 - 18	1,1	52	40
18 - 24	0,4	53	47
24 - 30	0,2	52	48
30 - 36	1,3	46	51
36 - 42	0,9	50	47
42 - 48	0,4	51	48

Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται για ακόμη μια φορά η μεταβολή της σύστασης του παραγόμενου βιοαερίου στους XYT συναρτήσει του χρόνου, συνδεδεμένη όμως με τις προαναφερόμενες φάσεις – στάδια της αποδόμησης του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων.



**Διάγραμμα 5:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των βασικότερων συστατικών του βιοαερίου με το χρόνο (Tchobanoglous et al., 1993).

Αναλυτικότερα, κατά τη διάρκεια των πέντε διαφορετικών σταδίων / φάσεων αποδόμησης του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων, η τυπική σύνθεση των αερίων του XYTA διαμορφώνεται ως εξής:

- **Στάδιο I – Αρχική προσαρμογή**
  - N<sub>2</sub>: 80 % αρχικά και φθάνει στο 75 %.
  - O<sub>2</sub>: 20 % αρχικά και φθάνει σε τιμές λίγο πάνω από το 15 %.
  - CO<sub>2</sub>: ξεκινάει από επίπεδα ατμοσφαιρικά και φτάνει μέχρι και το 10%.

- **Στάδιο II – Ενδιάμεση φάση**
  - $N_2$ : κατακόρυφη πτώση της συγκέντρωσης σε επίπεδα χαμηλότερα του 20%.
  - $O_2$ : φθίνει ακόμα περισσότερο μέχρι ουσιαστικά να μηδενιστεί.
  - $CO_2$ : από το 10% φτάνει στο τέλος της φάσης αυτής σε τιμές πάνω από 50%.
  - $H_2$ : στο τέλος της φάσης αυτή φτάνει λίγο κάτω από το 20%.
- **Στάδιο III – Όξινη φάση**
  - $N_2$ : πτώση της συγκέντρωσης μέχρι μηδενισμού.
  - $CO_2$ : το κυρίαρχο αέριο αυτής της φάσης που φτάνει και σε τιμές πάνω από το 90%.
  - $H_2$ : στη φάση αυτή φτάνει τη μέγιστη τιμή του 20% αλλά κατά τη διάρκεια της ίδιας φάσης εξαφανίζεται ανοίγοντας το δρόμο σε μεθανογόνους μικροοργανισμούς.
  - $CH_4$ : για πρώτη φορά αρχίζει να εμφανίζεται σε αυτή τη φάση.
- **Στάδιο IV – Φάση μεθανογένεσης**
  - $CO_2$ : μειώνεται σε τιμές γύρω στο 45-50% και παραμένει σταθερό σε αυτά τα επίπεδα μέχρι και το τέλος της φάσης αυτής.
  - $CH_4$ : αποτελεί το κυρίαρχο αέριο της φάσης αυτής μια και αποτελεί το 50-55%.
- **Στάδιο V – Φάση ωρίμανσης**
  - $CO_2$ : μειώνεται δραματικά φτάνοντας σε ατμοσφαιρικές τιμές.
  - $CH_4$ : μειώνεται δραματικά φτάνοντας σε ατμοσφαιρικές τιμές.
  - $N_2$ : αύξηση της συγκέντρωσης του σε ατμοσφαιρικά επίπεδα.
  - $O_2$ : αύξηση της συγκέντρωσης του σε ατμοσφαιρικά επίπεδα.

### 3.3. Καθοριστικοί παράγοντες

Ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου, που παράγεται σε έναν ΧΥΤΑ, καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά των ίδιων των απορριμμάτων (π.χ. σύσταση και ηλικία), καθώς και περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ. παρουσία οξυγόνου, υγρασία, θερμοκρασία).

- **Σύσταση των απορριμμάτων:** Όσο μεγαλύτερο είναι το οργανικό κλάσμα σε έναν ΧΥΤΑ, τόσο περισσότερο βιοαέριο θα παραχθεί μέσω της βιοαποδόμησης. Ορισμένα είδη οργανικών απορριμμάτων περιέχουν θρεπτικά, όπως νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο, που βοηθούν τους μικροοργανισμούς να τραφούν, αυξάνοντας την παραγωγή του βιοαερίου. Αντιθέτως, ορισμένα απορρίμματα περιέχουν ενώσεις, που βλάπτουν τους μικροοργανισμούς, με αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή βιοαερίου.
- **Ηλικία των απορριμμάτων:** Σε γενικές γραμμές, τα πιο πρόσφατα ενταφιασμένα απορρίμματα (λιγότερο από 10 χρόνια) παράγουν περισσότερο

βιοαέριο από απορρίμματα ηλικίας άνω των δέκα ετών. Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου παρατηρείται 5 – 7 χρόνια μετά την ταφή των απορριμμάτων. Σχεδόν όλο το βιοαέριο παράγεται μέσα σε 20 χρόνια από την ταφή των απορριμμάτων, αλλά παρόλα αυτά μικρές ποσότητες βιοαερίου παράγονται ακόμα και 50 ή περισσότερα χρόνια από τη στιγμή εναπόθεσης των απορριμμάτων.

- **Παρουσία οξυγόνου μέσα στον ΧΥΤΑ:** Το  $\text{CH}_4$  αρχίζει να παράγεται μόνο όταν εξαλειφθεί το οξυγόνο εντός του ΧΥΤΑ. Όσο περισσότερο οξυγόνο υπάρχει, τόσο μεγαλύτερη διάρκεια θα έχει η αερόβια αποδόμηση των απορριμμάτων στην Φάση Ι. Αν τα απορρίμματα δεν συμπιέζονται ή αναμοχλεύονται συχνά, υπάρχει περισσότερο διαθέσιμο οξυγόνο, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της ζωής των αερόβιων μικροβίων και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και νερού για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.
- **Υγρασία:** Η παρουσία υγρασίας σε έναν ΧΥΤΑ αυξάνει την παραγωγή του βιοαερίου, προωθώντας τη βιοαποδόμηση των απορριμμάτων. Περιεχόμενο υγρασίας της τάξεως του 40% ή υψηλότερο, βασιζόμενο στο υγρό βάρος των απορριμμάτων, ευνοεί τη μέγιστη παραγωγή βιοαερίου (π.χ. σε καλυμμένο ΧΥΤΑ). Η συμπίεση των απορριμμάτων επιβραδύνει την παραγωγή του βιοαερίου, λόγω της αύξησης της πυκνότητας των απορριμμάτων, μειώνοντας το ρυθμό διήθησης του νερού στα απορρίμματα. Ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου είναι υψηλότερος εάν μέσω δυνατής βροχόπτωσης και / ή διαπερατού καλύμματος, εισαχθεί νερό στον ΧΥΤΑ. Η υγρασία ενδέχεται να προωθήσει και τις χημικές αντιδράσεις, μέσω των οποίων παράγεται βιοαέριο.
- **Θερμοκρασία:** Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται και η μικροβιακή δραστηριότητα και κατ' επέκταση η παραγωγή βιοαερίου. Τυπικά η μικροβιακή δραστηριότητα πέφτει δραματικά σε θερμοκρασίες κάτω των 10 °C. Ένας καλυμμένος ΧΥΤΑ συνήθως διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία, που μεγιστοποιεί την παραγωγή του βιοαερίου. Η μικροβιακή δραστηριότητα απελευθερώνει θερμότητα, σταθεροποιώντας την θερμοκρασία του ΧΥΤΑ μεταξύ 25 και 45 °C, αν και έχουν παρατηρηθεί και θερμοκρασίες των 70°C. Οι αυξημένες θερμοκρασίες αυξάνουν επίσης τους ρυθμούς εξάτμισης και χημικών αντιδράσεων.

### 3.4. Κίνηση

Μόλις τα αέρια, που συνθέτουν το βιοαέριο, παραχθούν κάτω από την επιφάνεια του ΧΥΤΑ, έχουν την τάση να μετακινηθούν μακριά από αυτόν. Διαστέλλονται, γεμίζουν τα διαθέσιμα κενά και έτσι κινούνται ή μεταναστεύουν διαμέσω των περιορισμένων κενών των πόρων μέσα στα απορρίμματα και στο έδαφος, που σκεπάζει τον ΧΥΤΑ. Η φυσική τάση των αερίων που είναι ελαφρύτερα από τον αέρα, όπως το  $\text{CH}_4$ , είναι η

ανοδική κίνηση, συνήθως διαμέσω της επιφάνειας του ΧΥΤΑ. Η ανοδική κίνηση των αερίων παρεμποδίζεται από την πυκνή συμπίεση των απορριμμάτων ή από το είδος της τελικής κάλυψης του ΧΥΤΑ. Όταν η ανοδική κίνηση παρεμποδίζεται, τότε τα αέρια τείνουν να κινηθούν οριζόντια σε άλλες περιοχές μέσα ή έξω από τον ΧΥΤΑ, όπου η ανοδική κίνηση επιτρέπεται. Βασικά τα αέρια ακολουθούν το μονοπάτι με τη λιγότερη αντίσταση. Μερικά αέρια, όπως το  $\text{CO}_2$ , είναι πυκνότερα από τον αέρα και συγκεντρώνονται σε υπεδάφειες περιοχές

Η κίνηση των αερίων του ΧΥΤΑ εξαρτάται από τρεις κύριους παράγοντες:

- **Διάχυση:** περιγράφει την φυσική τάση ενός αερίου να φτάσει σε μια ομοιόμορφη συγκέντρωση σε ένα δεδομένο χώρο, είτε είναι ένα δωμάτιο, είτε η ατμόσφαιρα της γης. Τα αέρια σε έναν ΧΥΤΑ κινούνται από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλότερης συγκέντρωσης. Επειδή οι συγκεντρώσεις των αερίων μέσα στον χώρο ταφής είναι μεγαλύτερες από αυτές έξω από αυτόν, τα αέρια διαχέονται έξω από τον ΧΥΤΑ σε περιοχές με μικρότερες συγκεντρώσεις.
- **Πίεση:** η συσσώρευση αερίων μέσα στον ΧΥΤΑ δημιουργεί περιοχές υψηλής πίεσης, στις οποίες η κίνηση των αερίων περιορίζεται από τα συμπιεσμένα απορρίμματα ή τα καλύμματα εδάφους και περιοχές χαμηλής πίεσης, όπου η κίνηση των αερίων δεν περιορίζεται. Η διακύμανση της πίεσης προκαλεί την κίνηση των αερίων από τις περιοχές με την υψηλή πίεση προς τις περιοχές με την χαμηλότερη πίεση (συμμεταφορά / convection). Όσο περισσότερα αέρια παράγονται, η πίεση μέσα στον ΧΥΤΑ αυξάνεται, συνήθως με αποτέλεσμα οι πιέσεις μέσα στον ΧΥΤΑ να είναι μεγαλύτερες από την ατμοσφαιρική πίεση ή την πίεση εσωτερικών χώρων (π.χ. σπίτια, εγκαταστάσεις). Τότε τα αέρια κινούνται προς τον περιβάλλοντα αέρα ή τον αέρα εσωτερικά.
- **Διαπερατότητα:** Τα αέρια, τείνουν να κινηθούν από το μονοπάτι της μικρότερης αντίστασης. Η διαπερατότητα είναι ένα μέτρο του πόσο εύκολα αέρια ή υγρά ρέουν διαμέσου συνεχόμενων κενών ή πόρων στα απορρίμματα ή στο έδαφος. Ξηρά, αμμώδη εδάφη είναι πολύ διαπερατά, ενώ οι υγροί άργιλοι τείνουν να είναι πολύ λιγότερο διαπερατοί. Τα αέρια τείνουν να κινούνται διαμέσω περιοχών υψηλής διαπερατότητας (άμμος ή χαλίκι), παρά από περιοχές με χαμηλή διαπερατότητα (άργιλος, ιλύες). Τα τελικά καλύμματα των ΧΥΤΑ συνήθως κατασκευάζονται από εδάφη χαμηλής διαπερατότητας, όπως άργιλος. Τα αέρια σε ένα καλυμμένο ΧΥΤΑ τείνουν να κινούνται οριζόντια, παρά κάθετα.

Η κατεύθυνση, η ταχύτητα, και η απόσταση που θα διανύσει το βιοαέριο εξαρτώνται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων, οι κυριότερες των οποίων είναι οι ακόλουθες:

- **Είδος τελικού καλύμματος:** Αν το τελικό κάλυμμα του ΧΥΤΑ αποτελείται από σχετικά διαπερατά υλικά, όπως χαλίκια ή άμμος, το βιοαέριο θα κινηθεί προς τα πάνω, διαμέσου του καλύμματος. Αν όμως το κάλυμμα αποτελείται

από άργιλο και ιλύες, δηλαδή είναι λίγο διαπερατό, τα αέρια θα έχουν την τάση να κινηθούν οριζόντια, κάτω από την επιφάνεια του ΧΥΤΑ. Αν πάλι ένα τμήμα του ΧΥΤΑ είναι πιο διαπερατό από το υπόλοιπο, τότε τα αέρια θα μεταναστεύσουν μέσω αυτού του τμήματος.

- **Φυσικές και ανθρωπογενείς δίοδοι:** Τάφροι, χαντάκια, και θαμμένοι διάδρομοι διαφόρων χρήσεων, όπως για παράδειγμα για σωληνώσεις, μπορούν να αποτελέσουν μέσο διακίνησης του βιοαερίου. Ακόμα η φυσική γεωλογία πολλές φορές παρέχει υπόγεια μονοπάτια για την κίνηση των αερίων (π.χ. ρήγματα, πορώδες έδαφος).
- **Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου:** Η φυσική κίνηση του βιοαερίου, αφού εξέλθει από το έδαφος, εξαρτάται από τον άνεμο. Ο άνεμος διαλύει το βιοαέριο με φρέσκο αέρα, καθώς αυτό κινείται πέρα από τον ΧΥΤΑ. Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου καθορίζουν τη συγκέντρωση του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα, η οποία μπορεί να μεταβληθεί πολύ από μέρα σε μέρα, ακόμα και από ώρα σε ώρα.
- **Υγρασία:** Όταν επικρατούν συνθήκες υγρής εδαφικής επιφάνειας αποτρέπεται η μετακίνηση του βιοαερίου από την κορυφή του ΧΥΤΑ στην ατμόσφαιρα. Η βροχή και η υγρασία, ακόμη, ενδέχεται να διεισδύσουν στα κενά των πόρων και να πάρουν τη θέση των αερίων στους πόρους.
- **Ύψος του υδροφόρου ορίζοντα:** Η κίνηση των αερίων επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις του ύψους του υδροφορέα. Αν το υπόγειο νερό ανέβει σε μια περιοχή, τότε θα εκτοπίσει όλα τα αέρια και θα τα αναγκάσει να ακολουθήσουν ανοδική πορεία.
- **Θερμοκρασία:** Η αύξηση της θερμοκρασίας ενισχύει την κίνηση των σωματιδίων των αερίων και τείνει να αυξήσει τη διάχυσή τους. Έτσι σε θερμές συνθήκες τα αέρια εξαπλώνονται γρηγορότερα.
- **Βαρομετρική πίεση και πίεση αερίων στο έδαφος:** Η διαφορά μεταξύ στην πίεση των αερίων στο έδαφος και στη βαρομετρική πίεση επιτρέπει στο βιοαέριο να κινηθεί κατακόρυφα ή πλευρικά, ανάλογα με το ποια πίεση είναι μεγαλύτερη. Όταν πέφτει η βαρομετρική πίεση, το βιοαέριο τείνει να μεταναστεύσει έξω από τον ΧΥΤΑ, ενώ όταν ανεβαίνει το βιοαέριο κινείται προσωρινά οριζόντια μέσα στον ΧΥΤΑ.

## 4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

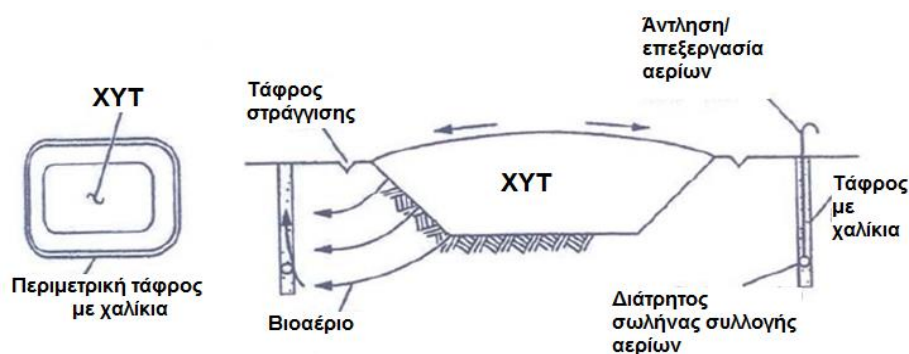
### 4.1 Γενικά

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία πρέπει να: «λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για να ελέγχεται η συγκέντρωση και η μετανάστευση των αερίων του ΧΥΤ. Συγκεκριμένα, τα αέρια του ΧΥΤ πρέπει να συλλέγονται από όλους τους ΧΥΤ που δέχονται βιοαποδομήσιμα απόβλητα, να υποβάλλονται σε επεξεργασία και να χρησιμοποιούνται. **Εάν τα συλλεγόμενα αέρια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας, πρέπει να καίγονται.** Η συλλογή, επεξεργασία και χρήση των αερίων του ΧΥΤ πραγματοποιείται κατά τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ζημίες ή η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία».

### 4.2 Συλλογή και έλεγχος

Τα συστήματα συλλογής και ελέγχου βιοαερίου (ΣΣΕΒ) στους ΧΥΤΑ μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- **Παθητικά:** είναι τα συστήματα που βασίζονται στην φυσική κίνηση του βιοαερίου, ως αποτέλεσμα της διαφοράς της πίεσης και/ή της συγκέντρωσης του παραγόμενου βιοαερίου. Η συλλογή μπορεί να γίνει με σύστημα κατακόρυφων πηγαδιών και/ή με τάφρο με χαλίκια (Σχήμα 4).

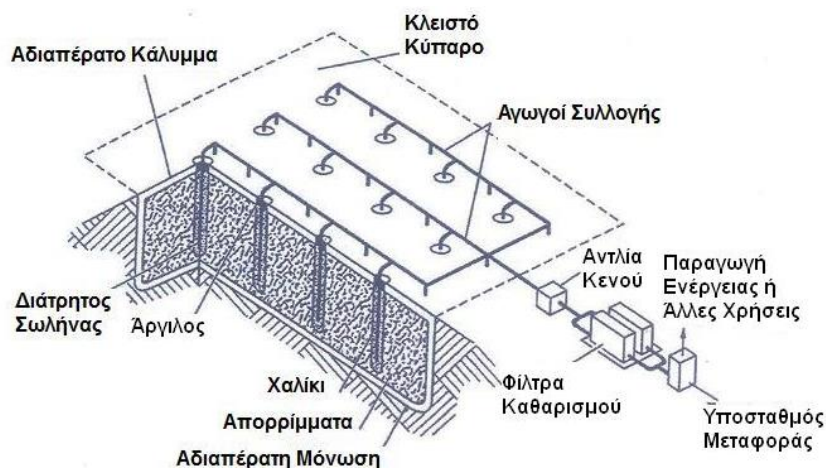


**Σχήμα 4:** Παράδειγμα περιμετρικής τάφρου με χαλίκια και διάτρητους σωλήνες (Tchobanoglous et al., 1993).

Ο βασικός σκοπός του παθητικού ελέγχου των αερίων είναι η ελάττωση της πίεσης του βιοαερίου μέσα στο σώμα του ΧΥΤ, περιορίζοντας μ' αυτόν τον τρόπο τους κινδύνους έκρηξης. Ειδικά για τον περιορισμό της διαφυγής του βιοαερίου από τις πλευρές του ΧΥΤ πολλές φορές κατασκευάζεται μια περιμετρική τάφρος με χαλίκια γύρω από τον χώρο ταφής, εντός της οποίας τοποθετείται οριζόντιος διάτρητος σωλήνας, ο οποίος συνδέεται με

κατακόρυφους σωλήνες και τα συλλεγόμενα αέρια, είτε εκλύονται στην ατμόσφαιρα, είτε προωθούνται σε έναν πυρσό.

- **Ενεργητικά:** είναι τα συστήματα που βασίζονται στην αναρρόφηση του βιοαερίου ως αποτέλεσμα δημιουργίας κενού από μια κινητήρια δύναμη (π.χ. ηλεκτροκινητήρας). Η συλλογή μπορεί να γίνει με σύστημα κατακόρυφων πηγαδιών (Σχήμα 5) ή οριζόντιων αγωγών.



**Σχήμα 5:** Κατακόρυφο σύστημα συλλογής βιοαερίου (Tchobanoglous et al., 1993).

Τα πηγάδια ανάκτησης βιοαερίου σχεδιάζονται να διαπερνούν μέχρι το 80% του βάθους των ΑΣΑ, διότι έτσι η ακτίνα επιρροής τους φθάνει μέχρι τη βάση του ΧΥΤ. Συνήθως πολλαπλά πηγάδια συλλογής συνδέονται στους κεντρικούς αγωγούς συλλογής και μεταφοράς, οι οποίοι με τη βοήθεια μιας αντλίας κενού μεταφέρουν το βιοαέριο προς το σύστημα φιλτραρίσματος και διαχωρισμού. Στη συνέχεια το βιοαέριο προωθείται στη μονάδα διαχείρισής του.

Οι δε οριζόντιοι αγωγοί (συνήθως διάτρητοι HDPE), εγκαθισμένοι σε πορώδες υλικό, τοποθετούνται σε τάφρους παράλληλες με τα επίπεδα ανάπτυξης των κελιών, σε συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ τους και σε καθορισμένα ύψη. Οι άκρες των αγωγών συνδέονται με το δίκτυο άντλησης, με κεφαλές αντίστοιχες με αυτές των κάθετων φρεατίων και αδιάτρητους αγωγούς.

Τα πλεονεκτήματα άντλησης βιοαερίου με οριζόντιο δίκτυο περιλαμβάνουν:

- Άμεση λειτουργία ενεργητικής άντλησης του βιοαερίου, ακόμα και από εν λειτουργία κύτταρο, καθώς τα οριζόντια πηγάδια τοποθετούνται αφού έχει συμπληρωθεί η κατασκευή δύο ή περισσότερων στρώσεων.
- Αποτροπή της συνεχούς έκλυσης βιοαερίου των κατακόρυφων φρεατίων στο σημείο του καθημερινού μετώπου ταφής (δραστική

μείωση δυσοσμίας, όπως επίσης και αυξημένα επίπεδα ασφάλειας και υγείας).

- ο Αποτροπή της αντιοικονομικής έως επικίνδυνης (για έκρηξη) αναρρόφησης οξυγόνου.
- ο Αποτροπή της δυσκολίας ελιγμών στο μέτωπο ταφής.
- ο Δυνατότητα επιλογής από ποια περιοχή θα πραγματοποιηθεί η αναρρόφηση.

Οι αποδόσεις των συστημάτων συλλογής και ανάκτησης βιοαερίου εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι η κατάσταση του δικτύου συλλογής βιοαερίου και η εφαρμογή της μεμβράνης κάλυψης του κυττάρου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το ποσοστό ανάκτησης σε κύτταρα ΧΥΤΑ συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 67 και 90% (Aminietal., 2012).

### 4.3 Επεξεργασία

Η καύση είναι η πλέον κοινή επεξεργασία του βιοαερίου, η οποία επιτυγχάνει καταστροφή οργανικών ενώσεων σε ποσοστό άνω του 98%, καθώς και μετατροπή του  $\text{CH}_4$  σε  $\text{CO}_2$ , μειώνοντας τη συνεισφορά των ΧΥΤΑ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Υλοποιείται με διάφορους τρόπους, όπως π.χ. με χρήση πυρσών, σε λέβητες ή και μηχανές εσωτερικής καύσης. Ως μέθοδος είναι πιο αποδοτική όταν το βιοαέριο περιέχει κατ' ελάχιστον 20% κ.ο. μεθάνιο, οπότε το μίγμα βιοαέριο – αέρας είναι εύφλεκτο, απαιτώντας απλά μια πηγή ανάφλεξης για να λάβει χώρα η καύση. Σε διαφορετική περίπτωση, απαιτείται συμπληρωματικό καύσιμο (π.χ. φυσικό αέριο) για τη λειτουργία π.χ. των πυρσών (Εικόνα 2), γεγονός το οποίος αυξάνει κατά πολύ το κόστος.

Λέβητες, θερμαντές, τουρμπίνες αερίων και μηχανές εσωτερικής καύσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την καταστροφή των οργανικών υδρογονανθράκων του βιοαερίου, όσο και για την παραγωγή ενέργειας και / ή ηλεκτρισμού, επιτυγχάνοντας ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου. Για παράδειγμα, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών ενέργειας του ίδιου του ΧΥΤΑ ή ακόμη και να μεταφερθεί με σωληνώσεις σε παρακείμενο κτίριο ή βιομηχανία για την παραγωγή ατμού / θερμότητας ή χρήση σε ειδικές διεργασίες (Σχήμα 6).

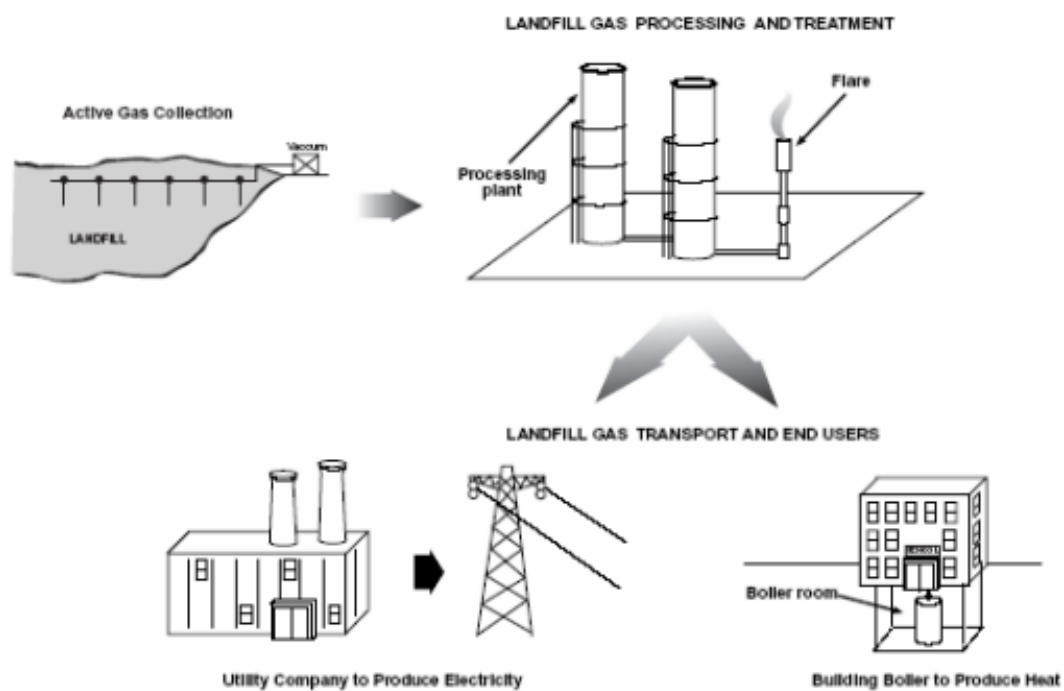
Η επιλογή της συσκευής καύσης που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το είδος των χρηστών που υπάρχουν κοντά στον ΧΥΤΑ, τα χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής, οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες / περιορισμούς, καθώς επίσης και τις ανά περίπτωση περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Υπάρχουν ακόμη διαθέσιμα, συστήματα ανάκτησης ενέργειας μη-καύσης, αλλά δεν είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα. Τα κελιά καυσίμων είναι μια υποσχόμενη τεχνολογία για την παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο, όμως βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη και αναμένεται να αποδεχθεί αν θα μπορέσει να γίνει ανταγωνιστική από

οικονομική άποψη. Μια εναλλακτική λύση είναι ο «καθαρισμός» του βιοαερίου (π.χ. απομάκρυνση υγρασίας, υδρόθειου και άλλων ανεπιθύμητων αέριων ιχνοστοιχείων), ώστε να μπορέσει να πωληθεί ως φυσικό αέριο.



**Εικόνα 2:** Πυρσός καύσης ανοιχτού τύπου (Γενιειατάκης, 2004).



**Σχήμα 6:** Ενδεικτικό σύστημα ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου .

#### 4.4 Κριτήρια ενεργειακής αξιοποίησης

Η οικονομική αξιοποίηση του βιοαερίου μπορεί να αποτελέσει μια αξιοσημείωτη επιλογή διαχείρισής του, υπό κατάλληλες όμως προϋποθέσεις, οι οποίες εξετάζονται βάσει ειδικής ανά περίπτωση μελέτης.

Κατά κύριο λόγο, η επιλογή της ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου εξαρτάται από την ποιότητα και την ποσότητα αυτού. Για παράδειγμα, βιοαέριο με περιεκτικότητα σε μεθάνιο κάτω από 45% σπάνια αξιοποιείται, λόγω χαμηλής απόδοσης και παρουσίας προσμίξεων (π.χ.  $H_2S$ , το οποίο προκαλεί διάβρωση και πρέπει να απομακρυνθεί πριν την καύση του βιοαερίου). Όσον αφορά στην ποσότητα, ενδεικτικά χρησιμοποιείται η παρακάτω συσχέτιση:

- $<150 \text{ m}^3/\text{h}$  – βιοφίλτρα
- $>150 < 1200 \text{ m}^3/\text{h}$  – πυρσός καύσης
- $>1200 \text{ m}^3/\text{h}$  – ενεργειακή αξιοποίηση

Σύμφωνα με την ισχύουσα εμπειρία και τις υπάρχουσες τεχνολογικές δυνατότητες, έχουν προδιαγραφεί βασικές κατευθυντήριες γραμμές / κριτήρια, όσον αφορά στην οικονομική βιωσιμότητα της ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου, που λαμβάνονται υπόψη διεθνώς (π.χ. USEPA). Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- Τα απορρίμματα που έχουν ταφεί πρέπει να υπερβαίνουν τους 1 εκατομμύριο τόνους και να έχουν βάθος μεγαλύτερο των 10m.
- Η έκταση του ΧΥΤΑ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 140 στρέμματα.
- Ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου πρέπει να ανέρχεται κατ' ελάχιστο σε  $28.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ .
- Η περιεκτικότητα του παραγόμενου βιοαερίου σε μεθάνιο πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 35%.

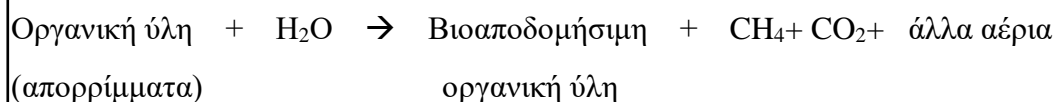
Αν δεν είναι δυνατή η ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου πραγματοποιείται καύση αυτού σε συγκεκριμένες συνθήκες (θερμοκρασία και χρόνο καύσης) σε πυρσούς.

## 5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

### 5.1. Γενικά

Για την εκτίμηση των αέριων εκπομπών που παράγονται από ΧΥΤ χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα, καθένα εκ των οποίων κάνει διαφορετικές παραδοχές και χρησιμοποιεί διαφορετικά δεδομένα εισαγωγής. Συνήθως για την πρόβλεψή τους βασίζονται στη σύσταση των απορριμμάτων (π.χ. ποσοστό άνθρακα), καθώς και στο βαθμό και την κινητική της αποδόμησης.

Στις περισσότερες περιπτώσεις λαμβάνεται υπόψη μόνο η παραγωγή του βιοαερίου κατά την αναερόβια αποδόμηση του βιοαποδομησιμού κλάσματος των απορριμμάτων, ενώ οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται βασίζονται στην ακόλουθη γενικευμένη χημική αντίδραση για την αναερόβια αποσύνθεση των αστικών αποβλήτων:



Το πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο στην Ευρώπη είναι εκείνο του Tabasaran, το οποίο αρχικά είχε αναπτυχθεί για την αναερόβια χώνευση λυμάτων. Στις ΗΠΑ χρησιμοποιείται ευρέως το μοντέλο ScollCanyon, στο οποίο βασίστηκε η ανάπτυξη του προγράμματος LandGEM (διαθέσιμο στο διαδίκτυο). Η μέθοδος υπολογισμού, που χρησιμοποιεί, προτείνεται από το IPCC (Inter-governmental Panel on Climate Change) ήδη από το 1996.

### 5.2. Μοντέλο LandGEM

Το μοντέλο «Landfill Gas Emissions Model» ή LandGEM αναπτύχθηκε από το Κέντρο Ελέγχου Τεχνολογίας της Αμερικανικής Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. EPA) και ουσιαστικά αποτελεί μια απλή εξίσωση αποδόμησης πρώτης τάξης:

$$Q_{CH_4} = L_o \times R \times (e^{-kC} - e^{-kt})$$

όπου:

$Q_{CH_4}$  : ο ρυθμός παραγωγής μεθανίου το έτος t, m<sup>3</sup>/yr

$L_o$  : η θεωρητική παραγωγή μεθανίου, m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg απορριμμάτων

$R$  : μέσος ετήσιος ρυθμός εισροής απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ κατά τη διάρκεια λειτουργίας του χώρου, Mg/yr

$k$  : σταθερά ρυθμού παραγωγής μεθανίου, yr<sup>-1</sup>

$c$  : χρόνος που έχει περάσει από την παύση λειτουργίας του ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ, yr  
(c=0 για ενεργούς ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ)

t : χρόνος από την αρχή λειτουργίας του XYTA/XYTY, yr

Πιο συγκεκριμένα το LandGEM:

- Υπολογίζει την παραγωγή μεθανίου από αποθέσεις απορριμμάτων με βάση τον ετήσιο ρυθμό απόθεσης, τη χρονική διάρκεια των αποθέσεων και τη συνολική απορριμματική μάζα στον χώρο απόθεσης.
- Περιλαμβάνει υπολογισμούς όχι μόνο για τους βασικούς ρύπους ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) αλλά και για κάποια ιχνοστοιχεία που αποτελούν λιγότερο από 1% του παραγόμενου βιοαερίου (πχ.  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ , κλπ.). Ιδιαίτερη επίσης σημασία δίνεται και στον υπολογισμό των μη μεθανογόνων οργανικών συστατικών, όπως αρωματικοί και χλωριωμένοι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, αλειφατικοί και χλωριωμένοι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες που παίζουν σοβαρό ρόλο στις φωτοχημικές αντιδράσεις (Pawlowska, 2014).
- Χρησιμοποιεί δύο βασικές παραμέτρους: τη παράμετρο  $L_0$  που αφορά στη συνολική δυνατότητα παραγωγής μεθανίου από τα απορρίμματα και τη παράμετρο  $k$ , που συμβολίζει το ρυθμό πτώσης της παραγωγής βιοαερίου με το χρόνο. Πρακτικά η τελευταία παράμετρος δείχνει πόσο γρήγορα μειώνεται ο ρυθμός παραγωγής του μεθανίου, αφότου φτάσει στη μέγιστη τιμή του. Με βάση το μοντέλο LandGEM, ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής βιοαερίου για κάθε απόθεση εμφανίζεται μετά από ένα χρόνο αφότου τα απορρίμματα αποτεθούν στον χώρο ταφής, ενώ μετά από αυτό το σημείο ο ρυθμός μεθανοπαραγωγής βαίνει μειούμενος.
- Δίνει τη δυνατότητα να προσδιοριστούν οι τιμές των  $L_0$  και  $k$  με βάση πειραματικά ή άλλα δεδομένα πεδίου, καθώς επίσης και δυνατότητα προσαρμογής των παραμέτρων και δημιουργίας νέων προτύπων με συγκεκριμένη τοπική ισχύ.
- Σημαντικές παράμετροι για τον υπολογισμό του παραγόμενου μεθανίου είναι η ειδική παραγωγή  $\text{CH}_4/\text{t AΣA}$  και η σταθερά του ρυθμού βιοαποδόμησης του οργανικού φορτίου.
- Η παράμετρος  $L_0$  είναι σημαντική και εξαρτάται από τη σύνθεση των απορριμμάτων (Choetal., 2012). Αν για κάθε συστατικό  $i$  των ΑΣΑ είναι γνωστό το κατά βάρος κλάσμα  $w_i$  και η ειδική παραγωγή  $L_{0,i}$ , τότε μπορεί να εκτιμηθεί το  $L_0$ .

$$L_0 = \sum_i w_i L_{0,i}$$

Η συνολικά παραγόμενη ποσότητα  $\text{CH}_4$  σύμφωνα με το μοντέλο LandGEM δίνεται από την παρακάτω εξίσωση

$$Q_{\text{CH}_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{i,j}} \quad (4)$$

όπου:

$Q_{\text{CH}_4}$  : η ετήσια ποσότητα παραγωγής μεθανίου ( $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{y}$ ),

$L_0$	: το δυναμικό παραγωγής μεθανίου ανά τόνο ΑΣΑ ( $m^3CH_4/t$ ΑΣΑ)
$k$	: η σταθερά της κινητικής παραγωγής του $CH_4$ ( $y^{-1}$ )
$n$	: το έτος υπολογισμού από το χρόνο έναρξης των αποθέσεων
$i,$	: το ετήσιο χρονικό βήμα
$j$	: το χρονικό βήμα ίσο με 1/10 του έτους
$M_i$	: η ετήσια ποσότητα των αποβλήτων τοποθετούνται το έτος $i$ (σε υγρή βάση)
$t_{i,j}$	: η ηλικία του $j$ -οστού τμήματος της ποσότητας $M_i$ των ΑΣΑ το έτος $i$

Για τη εφαρμογή του μοντέλου απαιτούνται τα εξής στοιχεία:

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

Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί για την εκτίμηση της παραγωγής βιοαερίου και όχι των εκπομπών βιοαερίου στην ατμόσφαιρα. Για αυτό το λόγο γίνεται η παραδοχή ότι όλη η ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα. Επίσης το μοντέλο θεωρεί ότι υπάρχει σταθερή παραγωγή μεθανίου στην διάρκεια κάθε έτους ενεργείας του ΧΥΤΥ και χρόνος υστέρησης διάρκεια ενός χρόνου πριν την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών και την έναρξη παραγωγής βιοαερίου (USEPA, 1998).

## 6. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΧΥΤΑ ΑΜΑΡΙΟΥ (ΡΕΘΥΜΝΟ)

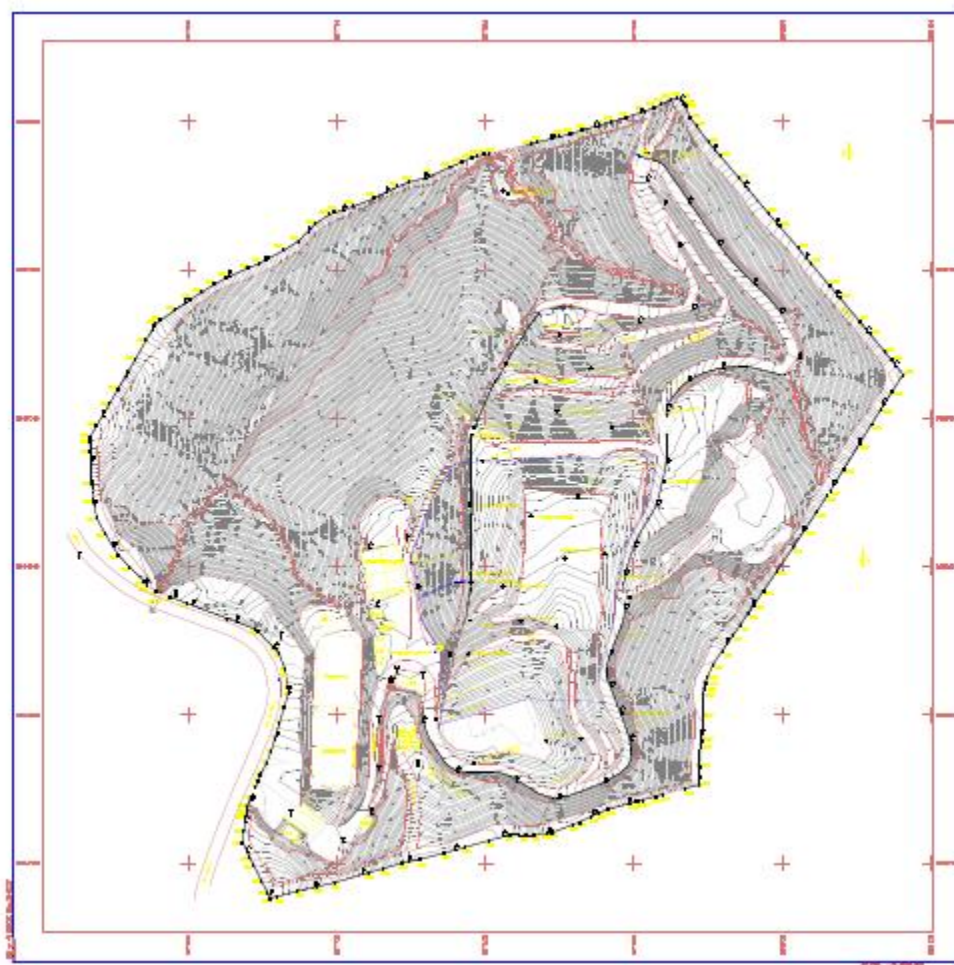
### 6.1. Γενικά

Ο ΧΥΤΑ Αμαρίου εντοπίζεται στη θέση «Κουλέ Μασχάλια» του Δήμου Αμαρίου της ΠΕ Ρεθύμνου σε υψόμετρο περίπου 650m και έχει συνολική έκταση 179 στρεμμάτων. Δημιουργήθηκε και οργανώθηκε πλήρως από το Σύνδεσμο Επαρχίας Αμαρίου το 1997 για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της πρώην Επαρχίας Αμαρίου. Το πρώτο κύτταρο είχε έκταση 10 στρέμματα, χωρητικότητα 87.000 m<sup>3</sup> και η διάρκεια ζωής του εκτιμήθηκε σε 16 χρόνια. Πριν 14 περίπου χρόνια πραγματοποιήθηκε μικρή εσωτερική επέκταση (5 στρέμματα περίπου), δεδομένου ότι μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ Μαρουλά, ο ΧΥΤΑ Αμαρίου κλήθηκε να εξυπηρετήσει το σύνολο της ΠΕ Ρεθύμνου.

Σύμφωνα με ΑΕΠΟ του 2016, ο υφιστάμενος αδειοδοτημένος ΧΥΤΑ, όπως έχει διαμορφωθεί και λειτουργεί, περιλαμβάνει:

- Δίκτυο συλλογής στραγγισμάτων καθώς και ΜΕΣ δυναμικότητας επεξεργασίας 115m<sup>3</sup>/ημέρα με δεξαμενή αποθήκευσης 255m<sup>3</sup> / ημέρα.
- Δίκτυο συλλογής και απομάκρυνσης από το σώμα του ΧΥΤΑ των όμβριων υδάτων.
- Δίκτυο Απαγωγής Βιοαερίου καθώς και πυρσό καύσης βιοαερίου.
- Δίκτυο παρακολούθησης υπογείων υδάτων, που αποτελείται από τρεις γεωτρήσεις μετρήσεων, δυο κατάντι και μία ανάντι του ΧΥΤΑ.
- Κτιριακές εγκαταστάσεις (κτίριο διοίκησης, συνεργείο) και υποδομές, που αποτελούνται από περίφραξη με πύλη εισόδου, χώρο δειγματοληψίας και έκπλυσης τροχών απορριμματοφόρων, γεφυροπλάστιγγα , δεξαμενή καυσίμων και πυρόσβεσης, εσωτερική οδοποιίας, κλπ).
- Κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό (μηχανοστάσια, αντλίες, κλπ) συμπιεστή απορριμμάτων , ερπυστριοφόρο φορτωτή και φορτηγό για την μεταφορά χώματος επικάλυψης του ΧΥΤΑ.
- Τοιχίο απο σκυρόδεμα κατάντη του απορριμματικού αναγλύφου του ΧΥΤΑ, το οποίο σχηματίζει λεκάνη χωρητικότητας περίπου 500m<sup>3</sup> με στεγανοποιημένο πυθμένα για την συγκράτηση των στραγγισμάτων που ενδεχομένως διαφεύγουν.
- Αναχώματα - αναβαθμούς για την ευστάθεια του απορριμματικού αναγλύφου του ΧΥΤΑ και της οδού πρόσβασης.
- Χαρακτηριστικά του υφιστάμενου ΧΥΤΑ – Α Φάσης:
  - ο Επιφάνεια λεκάνης απόθεσης : 11,5 στρέμματα
- Χαρακτηριστικά του έργου επέκτασης ΧΥΤΑ - Β Φάσης:
  - ο Επιφάνεια λεκάνης απόθεσης: 15 στρέμματα (κατάντι ΧΥΤΑ Α Φάσης)
- Χαρακτηριστικά του έργου της εσωτερικής επέκτασης:
  - ο Επιφάνεια λεκάνης απόθεσης: 5 στρέμματα (ανάντη ΧΥΤΑ Α Φάσης)

- Χαρακτηριστικά του έργου της ενδιάμεσης επέκτασης:
  - ο Επιφάνεια λεκάνης απόθεσης: 4,1 στρέμματα (δυτικά της ενοποιημένης υφιστάμενης λεκάνης απόθεσης)
- Συνολική υφιστάμενη επιφάνεια λεκάνης απόθεσης αποβλήτων :
  - ο  $11.500+15.000+5.000+4.100= 35.600\text{m}^2$
- Εξυπηρετούμενος πληθυσμός : όλη η Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνης.
- Προβλεπόμενος χρόνος πλήρωσης της προαναφερόμενης υφιστάμενης λεκάνης απόθεσης αποβλήτων : Ιούλιος 2016.



**Σχήμα 7:** Τοπογραφικό διάγραμμα γενικής διάταξης ΧΥΤΑ Αμαρίου .

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα σύντομο ιστορικό του χώρου:

---

1997: - Έναρξη λειτουργίας ΧΥΤΑ Αμαρίου

---

2001: - Έκδοση ΑΕΠΟ(1082/1307/5.6.2001) Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης για το έργο «Επέκταση Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

---

(ΧΥΤΑ) Αμαρίου»	
2006:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Κλείσιμο ΧΥΤΑ Μαρουλά</b></li> <li>- Έκδοση ΑΕΠΟ (2965/3.10.06) Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης για την τροποποίηση των περιβαλλοντικών όρων για το έργο «Επέκταση Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων Αμαρίου Ν. Ρεθύμνης»</li> </ul>
2009:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Αυτοψία από Κλιμάκιο Ελέγχου Περιβάλλοντος, κατά την οποία παρατηρήθηκε <b>ακατάλληλη διαχείριση στραγγισμάτων</b>, με επιρροή στον ταμιευτήρα / λιμνοδεξαμενή του Αρκαδίου.</li> </ul>
2011:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Έκδοση <b>ΑΕΠΟ</b> (2567/16.6.2011) Γενικού Γραμματέα Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης για το έργο «Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) Αμαρίου ΠΕ Ρεθύμνης» και έγκριση όρων και περιορισμών, που αναφέρονται στη συνολική λειτουργία του με την υλοποίησης ενδιάμεσης επέκτασής του και βελτιωτικών παρεμβάσεων για την ασφαλή λειτουργία του.</li> </ul>
2012:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Έκδοση <b>ΑΕΠΟ</b> (ΑΔΑ: 4ΒΠΟΡ1Θ-7ΤΘ) για: <ul style="list-style-type: none"> <li>(α) την προσθήκης <b>μονάδας προεπεξεργασίας απορριμμάτων</b> με την μέθοδο μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας, δυναμικότητας 60.000 τόνων / έτος</li> <li>- (β) την <b>κατασκευή ΧΥΤΥ</b>, με δύο κύτταρα ταφής, συνολικής έκτασης 30 στρεμμάτων και χρόνο ζωής 8,5 έτη.</li> <li>- Αυτοψία από Κλιμάκιο Ελέγχου Περιβάλλοντος, κατά την οποία παρατηρήθηκε <b>εμφανής κίνδυνος ρύπανσης</b> του υπόγειου και επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.</li> </ul> </li> </ul>
2013:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Διεξαγωγή έρευνας για πιθανή ρύπανση στην περιοχή του ΧΥΤΑ Αμαρίου, <b>εκτίμηση επικινδυνότητας</b> και πρόταση για μέτρα αποκατάστασης (Πολυτεχνείο Κρήτης)</li> <li>- Χορήγηση <b>άδειας λειτουργίας</b>(ΑΔΑ: ΒΕΑ57ΛΚ-ΣΘΟ) στον Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων(ΧΥΤΑ) Αμαρίου, που βρίσκεται στη θέση «Κουλέ Μασχάλια» του Δήμου Αμαρίου Περιφερειακής Ενότητας Ρεθύμνου, με φορέα λειτουργίας την «ΑΜΑΡΙ ΑΝΩΝΥΜΗΤΑΙΡΕΙΑ ΟΤΑ».</li> </ul>
2016:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Έκδοση <b>ΑΕΠΟ</b> (ΑΔΑ: 7ΣΔ4ΟΡ1Θ-0ΟΔ) για: <ul style="list-style-type: none"> <li>(α) την κατασκευή <b>νέου κυττάρου</b> ταφής βόρεια του γηπέδου του ΧΥΤΑ, έκτασης 7,5 περίπου στρεμμάτων, χωρητικότητας 113.613 m<sup>3</sup> και χρόνος ζωής 2,2 έτη</li> <li>(β) <b>αναβάθμιση</b> μονάδας επεξεργασίας στραγγισμάτων</li> <li>- <b>Εμφάνιση φαινομένου έκρηξης</b> εντός των ορίων του ΧΥΤΑ με τραυματισμό ενός ατόμου</li> </ul> </li> </ul>
2017:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Επιβολή <b>προστίμου</b> από την Περιφέρεια Κρήτης για διαρροή στραγγισμάτων</li> </ul>

## 6.2. Εισερχόμενα απορρίμματα

Ο χώρος δέχεται αστικά απόβλητα, δηλαδή οικιακά απόβλητα και άλλα απόβλητα, που λόγω φύσης ή σύνθεσης είναι παρόμοια με τα οικιακά Συγκεκριμένα, οι κωδικοί αποβλήτων κατά ΕΚΑ, που γίνονται δεκτά στην εγκατάσταση είναι οι εξής:

---

ΕΚΑ	Περιγραφή
200101	χαρτιά και χαρτόνια
200102	γυαλιά
200108	βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χώρων ενδιαίτησης
200110	ρούχα
200111	υφάσματα
200132	φάρμακα άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 200131
200138	ξύλο εκτός εκείνων που περιλαμβάνεται στο σημείο 200137
200139	πλαστικά
200140	μέταλλα
200141	απόβλητα από τον καθαρισμό καμινάδων
200199	άλλα μέρη μη προδιαγραφόμενα άλλως
200201	βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
200202	χώματα και πέτρες
200203	άλλα μη βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
200301	ανάμεικτα δημοτικά απόβλητα
200302	απόβλητα από αγορές
200303	υπολείμματα από τον καθαρισμό δρόμων
200304	λάσπη σηπτικής δεξαμενής
200306	απόβλητα από τον καθαρισμό λυμάτων
200307	ογκώδη απόβλητα
200399	δημοτικά απόβλητα μη προδιαγραφόμενα άλλως

---



**Εικόνα 3:** Διάστρωση ΑΣΑ σε ενεργό κύτταρο του ΧΥΤΑ Αμαρίου.

Από τον υπόχρεο φορέα λειτουργίας του ΧΥΤΑ δεν γίνονται δεκτά τα υγρά απόβλητα, τα επικίνδυνα απόβλητα, των οποίων ο κωδικός σημειώνεται με αστερίσκο στον ΕΚΑ, και κάθε είδους απόβλητο που χαρακτηρίζεται ως «μη αποδεκτό σε χώρους υγειονομικής ταφής».

Ο εξεταζόμενος χώρος διάθεσης απορριμμάτων εξυπηρετεί ολόκληρη τη διαχειριστική ενότητα Ρεθύμνου, δηλαδή εξυπηρετεί τους Δήμους Ρεθύμνου, Μυλοποτάμου, Αμαρίου, Ανωγείων και Αγίου Βασιλείου. Ακόμη εναποτίθενται η ιλύς της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων της ΔΕΥΑ Ρεθύμνου μετά από αερόβια χώνευση και πάχυνση. Η αποκομιδή και η μεταφορά των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ γίνεται από τους εξυπηρετούμενους Δήμους.

Ο μόνιμος πληθυσμός των πέντε Δήμων (Απογραφή, 2011) παρουσιάζεται στον Πίνακα3.

Σύμφωνα με την ΑΜΑΡΙ ΑΕ, η ποσότητα των ΑΣΑ που εισήλθαν στον ΧΥΤΑ Αμαρίου την περίοδο 2013-2018 κυμαίνεται μεταξύ 40 και 49,5 χιλιάδων τόνων περίπου (Πίνακας 4).

**Πίνακας 0:**Εξυπηρετούμενος πληθυσμός από την ΧΥΤΑ Αμαρίου, ανά Δήμο (Απογραφή, 2011)

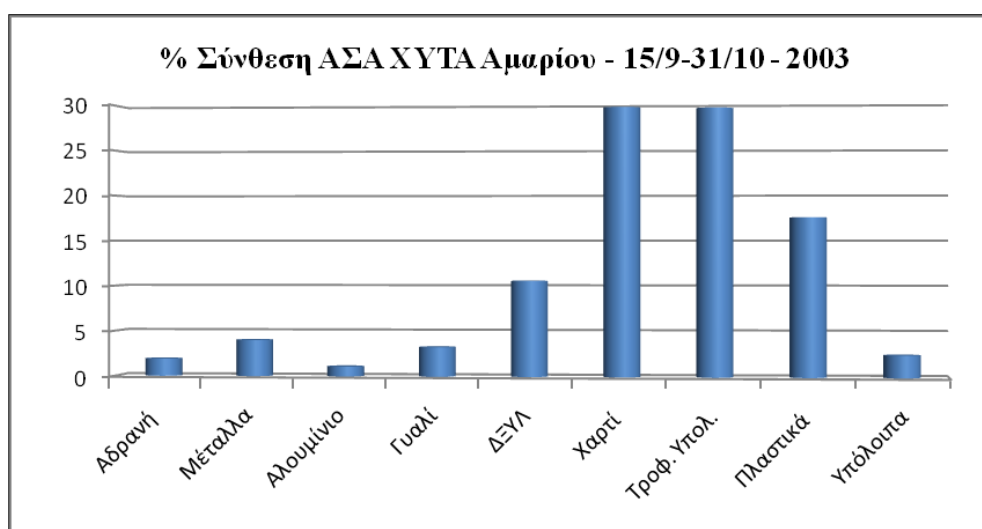
Εξυπηρετούμενοι ΟΤΑ σύμφωνα με τον ΠΕΣΔΑ	Μόνιμος πληθυσμός ΟΤΑ (ΕΛΣΤΑΤ 2011)
1. ΔΗΜΟΣ ΡΕΘΥΜΝΗΣ	55.525
2. ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΙΟΥ	5.915
3. ΔΗΜΟΣ ΜΥΛΟΠΟΤΑΜΟΥ	14.363
4. ΔΗΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ	7.427
5. ΔΗΜΟΣ ΑΝΩΓΕΙΩΝ	2.379

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Δ. ΑΓΙΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ</b>	3.858,82	4.150,33	4.302,95	4.024,94	4.292,61	4.395,91
<b>Δ. ΑΜΑΡΙΟΥ</b>	1.042,98	1.144,48	1.170,23	1.172,30	1.285,05	1.220,57
<b>Δ. ΑΝΩΓΕΙΩΝ</b>	765,08	766,37	808,81	826,18	826,62	773,69
<b>Δ. ΜΥΛΟΠΟΤΑΜΟΥ</b>	6.280,90	6.345,80	6.498,02	6.525,79	6801,5	7.113,09
<b>Δ. ΡΕΘΥΜΝΟΥ</b>	27.819,32	29.034,61	29.323,52	30.312,08	31.852,19	34.302,89
<b>ΔΕΥΑΡ</b>	624,1	1.194,27	1.037,66	972,4	1.449,70	1.736,02
<b>ΙΔΙΩΤΕΣ</b>	218,19	328,8	299,57	94,86	283,55	150,44
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ</b>	<b>40.609,39</b>	<b>42.964,66</b>	<b>43.440,76</b>	<b>43.928,55</b>	<b>46.791,22</b>	<b>49.692,61</b>

**Πίνακας 4:**Εισερχόμενες αποβλήτων ποσότητες ανά Δήμο (t/y).

Στα πλαίσια της εκτίμησης των παραμέτρων του εισερχόμενου απορριμματικού φορτίου σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η ποιότητα των εισερχόμενων ΑΣΑ. Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζονται τα ποιοτικά στοιχεία που αφορούσαν το ΧΥΤΑ Αμαρίου κατά τα έτος 2013, σύμφωνα με μελέτη που είχε πραγματοποιηθεί κατά τα έτη 2013 – 2014, ευθύνη του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό που δέχτηκε ο ΧΥΤΑ κατά τα προηγούμενα χρόνια αφορούσε το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των απορριμμάτων (χαρτί και τροφικά υπολείμματα). Το παραπάνω γεγονός, σε συνδυασμό με τις λοιπές επικρατούσες συνθήκες εντός της απορριμματικής μάζας, δύναται να ευνοεί τις βιολογικές διεργασίες αποδόμησης της οργανικής ύλης. Κατ' επέκταση, θα έχουμε σημαντική παραγωγή βιοαερίου (υπό αναερόβιες συνθήκες) καθώς και εν δυνάμει καθίζηση της απορριμματικής μάζας, στο πέρας του χρόνου.



**Διάγραμμα 6:** Ποσοστιαία σύνθεση εισερχόμενων απορριμμάτων στον ΧΥΤΑ Αμαρίου.

Η νέα ποιοτική και ποσοτική ανάλυση πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια έρευνας του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων του Πολυτεχνείου

Κρήτης για «πιθανή ρύπανση στην περιοχή του ΧΥΤΑ Αμαρίου, εκτίμηση επικινδυνότητας και πρόταση για μέτρα αποκατάστασης» και έγινε σε τέσσερις φάσεις δειγματοληψίας, με σκοπό την κάλυψη της εποχιακής διακύμανσης επί της σύστασης των απορριμμάτων. Ειδικά για ζώνες με υψηλή τουριστική ανάπτυξη, όπως στην περίπτωση της Κρήτης, το παραπάνω κρίνεται άκρως απαραίτητο. Για τέσσερις φάσεις (φθινόπωρο, χειμώνας, άνοιξη και καλοκαίρι, 09/2003 –08/2004), τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την ποιοτική σύνθεση των απορριμμάτων συνοψίζονται στον Πίνακα 5 που ακολουθεί.

**Πίνακας 5:** Ποσοστιαία σύσταση των απορριμμάτων στην περιοχή μελέτης (%).

<b>ΚΛΑΣΜΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ</b>	<b>(Α Φάση)</b>	<b>(Β Φάση)</b>	<b>(Γ Φάση)</b>	<b>(Δ Φάση)</b>	<b>(Μέσος όρος)</b>
<b>ΑΔΡΑΝΗ</b>	2,34	1,51	3,12	1,59	2,14
<b>ΜΕΤΑΛΛΑ</b>	3,01	3,51	3,29	3,98	3,45
<b>ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ</b>	1,23	0,59	0,92	0,95	0,92
<b>ΓΥΑΛΙ</b>	9,31	3,19	3,43	5,01	5,24
<b>ΔΞΥΛ</b>	6,29	5,50	7,16	5,29	6,06
<b>ΧΑΡΤΙ</b>	25,68	25,21	20,50	18,42	22,45
<b>ΤΡΟΦ. ΥΠΟΛΛΕΙΜ</b>	33,40	37,42	42,52	40,21	38,39
<b>ΠΛΑΣΤΙΚΑ</b>	15,60	17,22	13,94	16,12	15,72
<b>ΥΠΟΛΟΙΠΑ</b>	3,14	5,84	5,12	8,42	5,63

Από τις δειγματοληψίες αυτές προκύπτει ότι κυρίαρχες κατηγορίες απορριμμάτων είναι τα οργανικά υλικά (38%), το χαρτί (23%) και τα πλαστικά (16%). Γενικά η ποιοτική σύνθεση των αποβλήτων διαφοροποιείται από την αντίστοιχη του ηπειρωτικού χώρου αντικατοπτρίζοντας την έντονη τουριστική κίνηση της περιοχής.



**Εικόνα 4:** Διαλογή ΑΣΑ.

Ως προς τα υπόλοιπα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα, μιας και δεν υπάρχουν διαθέσιμα άλλα στοιχεία. Σημειώνεται εδώ πως τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν τα αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων που προέκυψαν από δείγματα απορριμμάτων των Νομών Ηρακλείου, Ρεθύμνης και Λασιθίου

**Πίνακας 6:** Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά αστικών στερεών αποβλήτων.

<b>Παράμετρος</b>	<b>Μέσος Όρος</b>
<b>Ειδικό Βάρος (kg/m<sup>3</sup>)</b>	127
<b>Υγρασία, %</b>	41,00
<b>Τέφρα, %</b>	7,34
<b>Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη, kcal/kg</b>	
Οργανικά	6629
Χαρτί	14106
Πλαστικά	38155
ΔΕΥΛ	13733
<b>Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη, kcal/kg</b>	
Οργανικά	3602
Χαρτί	13603
Πλαστικά	34698
ΔΕΥΛ	13468
C/N	23,09
Μόλυβδος (Pb) ppm	<10
Κάδμιο (Cd) ppm	0,1
Υδράργυρος (Hg) ppm	0,02

Από τη συγκεντρωτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και σε αντιπαραβολή με τα ποσοστά της μελέτης που διεξήχθη το 2004 προκύπτει μία σημαντική αύξηση στο ποσοστό των ζυμώσιμων και των πλαστικών, με ταυτόχρονη μείωση του χαρτιού. Τα παραπάνω είναι ως επί το πλείστον αποτέλεσμα της σταδιακής αύξησης του ηλεκτρονικού τύπου, που επιφέρει και κατ' επέκταση μείωση επί του έντυπου. Επιπλέον, η αύξηση στα πλαστικά εκτιμάται από την αυξημένη χρήση πλαστικών συσκευασιών (σακούλες, έτοιμο φαγητό). Παράλληλα, η νέα κατηγορία χαρτιών προσωπικής χρήσης κατέχει σημαντικά ποσοστά ανά δήμο, με το γενικό ποσοστό που αφορά στην επικράτεια του Νομού να κυμαίνεται μεταξύ 7-9%.



**Εικόνα 5:** Εσωτερικό κυττάρου εναπόθεσης ΑΣΑ.



**Εικόνα 6:** Κύτταρο ΧΥΤΑ έτοιμο προς πλήρωση.

### 6.3. Παραγωγή και διαχείριση βιοαερίου

Σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους του έργου θα έπρεπε να λειτουργεί δίκτυο απαγωγής του βιοαερίου και πυρσός καύσης, τα οποία δεν λειτουργούν και για λόγους ασφαλείας γίνεται μόνο παθητική απαγωγή του βιοαερίου μέσω των κατακόρυφων φρεατίων, αποτελούμενων από διάτρητο σωλήνα (φίλτρο) PVC Ø250. Οι σωλήνες μήκους 3m και ενώνονται μεταξύ τους κατά την στρωματική απόθεση απορριμμάτων. Για την στήριξη του σωλήνα PVC χρησιμοποιείται περιφραγματικός μεταλλικός σωλήνας. Το διάκενο μεταξύ του φιλτροσωλήνα και του περιφραγματικού σωλήνα πληρώνεται με χάλικες. Στο τελικό σημείο αφαιρείται ο μεταλλικός σωλήνας και ουσιαστικά το φρεάτιο αποτελείται από το περιμετρικό χαλκόφιλτρο και το διάτρητο σωλήνα PVC. Το βιοαέριο πρακτικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, ελλείπει συστήματος συλλογής και μεταφοράς στον πυρσό καύσης.

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής διεξήχθησαν επί τόπου μετρήσεις σύστασης της αέριας φάσης εντός του ΧΥΤΑ, μέσω των 10 κατακόρυφων φρεατίων, δύο εκ των οποίων βρίσκονται εκτός της λεκάνης δυτικά του ΧΥΤΑ, όπου υπάρχει διαφυγή και είναι φρεάτια παρακολούθησης (Σχήμα 8).



**Σχήμα 8:** Θέσεις γεωτρήσεων διεξαγωγής επί τόπου μετρήσεων στον ΧΥΤΑ Αμαρίου .

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν με τη χρήση του φορητού αναλυτή βιοαερίου GA 2000 της Geotechnical Instruments που απεικονίζεται στην παρακάτω φωτογραφία



Σε ορισμένα από τα εξεταζόμενα φρεάτια καταγράφηκαν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις μεθανίου, έως και μη ανιχνεύσιμες, γεγονός που υποδεικνύει την έμφραξή τους. Μέτρηση υψηλών συγκεντρώσεων μεθανίου εντούτοις παρατηρήθηκε σε περιφερειακά φρεάτια παρακολούθησης (φρεάτιο 9 και 10), γεγονός το οποίο αποτελεί ένδειξη μετανάστευσης του βιοαερίου. Το σύνολο των μετρήσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.

**Πίνακας 7:** Μετρήσεις βιοαερίου στον ΧΥΤΑ Αμαρίου.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	M.O.
<b>Ιουλ-18</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	19.9	0.3	48.2	14.3	6.2	18.8	15.4	28.6	57.9	53.8	49.83
	<b>CO<sub>2</sub></b>	15.6	0.4	37.7	10.5	4.9	14.1	13.2	26.1	40.5	40.3	
	<b>O<sub>2</sub></b>	10.4	16.1	2.4	12.7	15.3	10.9	11.7	5.5	0.4	1	
<b>Αυγ-18</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	6.7	1.3	42.5	35.4	5.4	8.6	16	24.5	57.4	55.1	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	5.5	1.7	48.6	24.1	4	6.4	14.5	23.2	41.6	38.3	
	<b>O<sub>2</sub></b>	14	17.9	2.1	7.3	16	13.5	12.7	7,5	0.2	1.5	
<b>Σεπ-18</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	18.7	2.1	55	23.4	4.1	10.4	17.8	31.7	55.2	48.7	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	13.1	2.6	41.7	16.7	4.5	10.8	16.7	27.6	44.55	42.7	
	<b>O<sub>2</sub></b>	12.3	13.8	1.3	11.1	16.3	11.9	12.3	7	0.8	2.1	
<b>Οκτ-18</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	13.8	1.8	53	31.4	7.2	13.8	13.1	49.5	56.3	50.3	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	11	1.7	45.7	30.5	5.9	11.1	13.7	42.1	37.1	44	
	<b>O<sub>2</sub></b>	11.3	14.7	0.6	6.4	14.8	11.2	10.2	0.6	2.5	3.6	
<b>Νοε-18</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	14.6	2.5	48.6	29.6	6.7	11.2	18.6	46.7	48.7	47.5	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	12	2.3	43	18.3	5.5	10.7	19.1	38.3	35.4	38.7	
	<b>O<sub>2</sub></b>	14.5	13.6	0.7	6.9	14.9	12.3	8.3	0.9	3.2	4.7	
<b>Δεκ-18</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	17.8	1.7	38.7	17.3	6.2	6.7	16.8	42.1	43.3	45.7	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	15.4	1.8	38.6	17.6	5.7	6.3	18.5	35.6	36.8	38.4	
	<b>O<sub>2</sub></b>	17.5	18.3	1	1.5	14.5	14.3	9.6	1.5	1.3		
<b>Ιαν-19</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	15.6	1.2	35.6	15.8	5.7	7.8	23.2	41.7	42.3	44.3	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	14.7	2.1	35.5	15.2	4.8	5.8	18.8	33.5	35.7	37.5	
	<b>O<sub>2</sub></b>	17	16.4	2.3	12.4	16.2	15.4	15.4	4.2	3.8	3.6	
<b>Φεβ-19</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	16.6	0.6	36.3	20.4	6.5	6.5	16.4	31.7	59.4	48.7	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	13.1	0.6	29.3	16.7	4.8	5.7	18.2	25.7	39.4	42.7	
	<b>O<sub>2</sub></b>	11.9	18.7	0.1	10.7	16.3	16.7	13.1	7	0.8	2.1	
<b>Μαρ-19</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	12.3	1.6	48.9	23.4	6.3	4.5	12.1	28.3	56.7	51.2	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	17.9	1.8	40.2	22.2	4.4	3.3	9.4	25.1	37.2	43.2	
	<b>O<sub>2</sub></b>	14.8	18.7	2.2	11	16.5	17.5	14.2	8.1	1	3.2	
<b>Απρ-19</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	19.4	0.04	48	14.6	4.8	5.3	6.5	26.1	61.6	53	
	<b>CO<sub>2</sub></b>	12.5	0.1	33.6	9.5	3.1	4.6	3.3	19.2	41.8	37.3	
	<b>O<sub>2</sub></b>	13.7	19.9	4.1	14.1	17.7	16.2	17.9	8.8	0.3	0.2	

Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του CH<sub>4</sub> ανέρχεται σε 50% v/v, υποδεικνύοντας ότι ο ΧΥΤΑ δεν έχει εισέλθει ακόμα στη φάση της ωρίμανσης όσον αφορά στο βιοαέριο.

#### 6.4. Κλιματικά – βιοκλιματικά χαρακτηριστικά

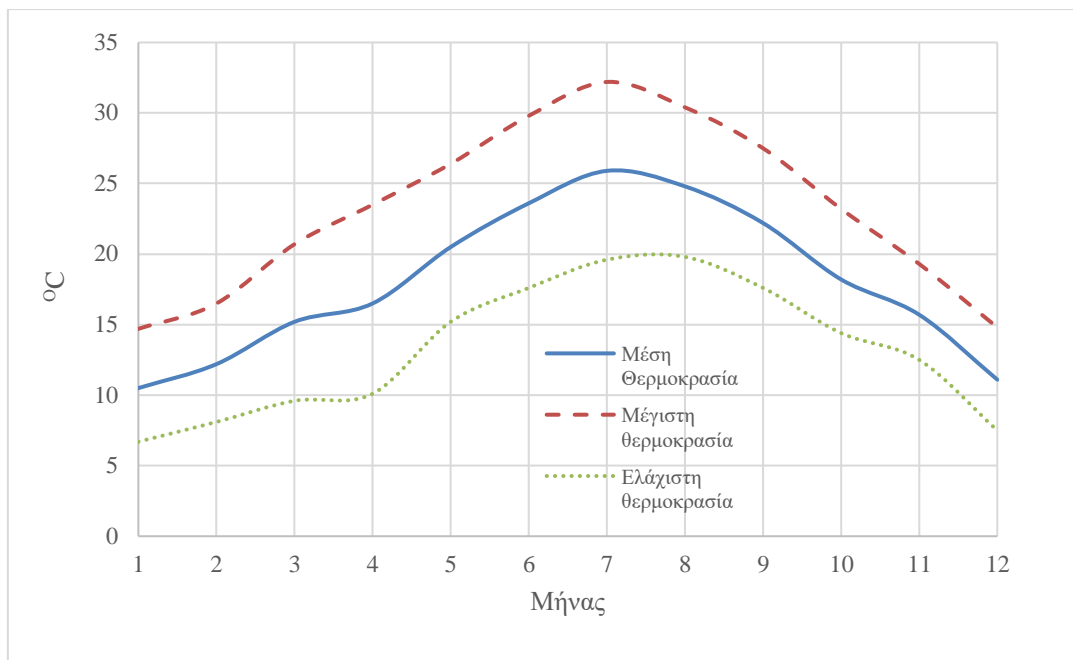
Το κλίμα της περιοχής είναι ήπιο μεσογειακό, το υψόμετρο της περιοχή καθιστά τους χειμώνες πιο έντονους σε σχέση με τις περιοχές της παραθαλάσσιας Κρήτης. Το ποσοστό βροχοπτώσεων είναι μεγαλύτερο σε σχέση με την υπόλοιπη ΠΕ Ρεθύμνου και η περιοχή παρουσιάζει πλούσιο υδατικό δυναμικό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι η περιοχή επιλέχθηκε για την χωροθέτηση και εν τέλει κατασκευή του φράγματος Ποταμών Αμαρίου. Ο πλησιέστερος μετεωρολογικός σταθμός βρίσκεται στο φράγμα ποταμών σε υψόμετρο 240m. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα ετήσια στοιχεία του σταθμού για το έτος 2017 και 2018 για τη θερμοκρασία, το ύψος βροχής και την ένταση του ανέμου.

Για το έτος 2017 η μέση μηνιαία θερμοκρασία τον Ιανουάριο ανήλθε σε 8,4 οC και ήταν η ελάχιστη μηνιαία για το έτος, ενώ η μέγιστη ετήσια τιμή, παρουσιάστηκε τον μήνα Ιούλιο με μέση μηνιαία Ιουλίου 24,8 οC. Επίσης το μέγιστο ύψος βροχής παρουσιάστηκε τον Ιανουάριο μήνα με ένδειξη 216 mm.

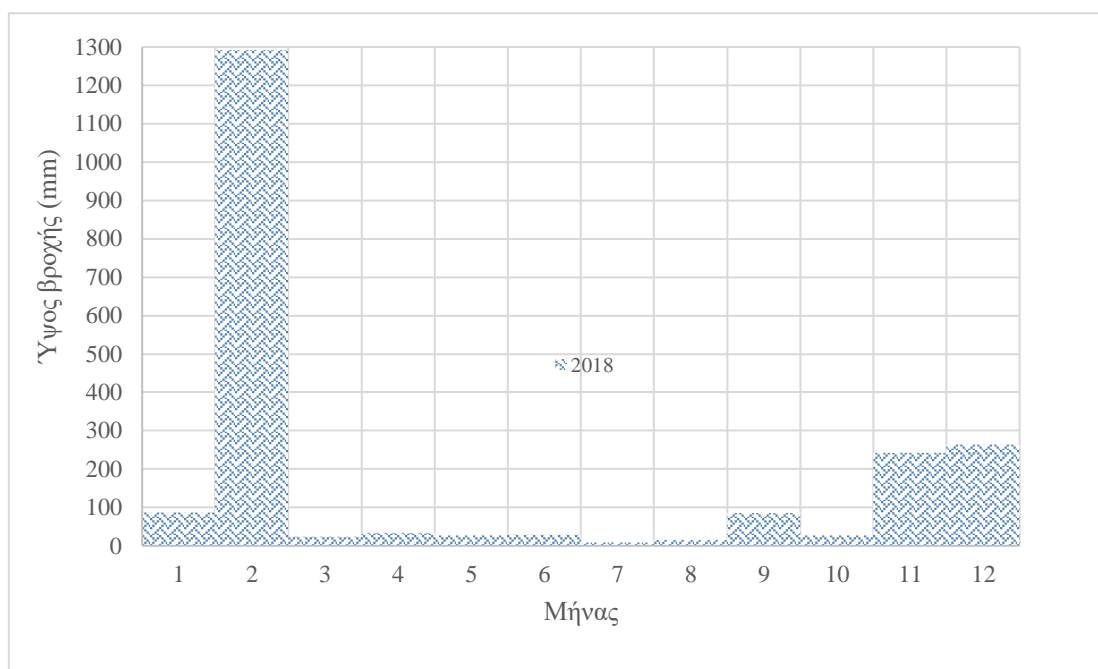
Για το 2018 η μέση μηνιαία θερμοκρασία τον Ιανουάριο ανήλθε σε 10,5 οC και ήταν η ελάχιστη μηνιαία για το έτος, ενώ η μέγιστη ετήσια τιμή, παρουσιάστηκε τον μήνα Αύγουστο με μέση μηνιαία Αυγούστου 24,8 °C. Επίσης το μέγιστο ύψος βροχής παρουσιάστηκε τον Φεβρουάριο μήνα με ένδειξη 292 mm

**Πίνακας 8:** Θερμοκρασία 2018 (Σταθμός Φράγματος Ποταμών Αμαρίου).

1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	MAX	MAX	MIN	MIN
YR	MO	MAX	MIN	MEAN	DEP.FROM NORM	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	HI	DATE	LOW	DATE	≥32	≤0	≤0	≤-18
18	1	14.7	6.7	10.5	0	241	0	18.8	7	1.9	30	0	0	0	0
18	2	16.5	8.1	12.2	0	174	2	23.3	7	2.3	13	0	0	0	0
18	3	20.7	9.6	15.2	0	117	21	26.9	22	4.6	11	0	0	0	0
18	4	23.5	10.1	16.5	0	98	43	29.4	29	4.4	3	0	0	0	0
18	5	26.4	15.2	20.5	0	25	93	32.8	16	10.9	14	3	0	0	0
18	6	29.8	17.6	23.6	0	4	162	35.9	6	14.8	3	8	0	0	0
18	7	32.2	19.6	25.9	0	1	235	37.6	23	15.8	1	13	0	0	0
18	8	30.4	19.8	24.8	0	1	201	33.3	16	16.2	14	4	0	0	0
18	9	27.5	17.6	22.2	0	9	124	32.7	4	14.2	24	2	0	0	0
18	10	23.2	14.4	18.2	0	42	39	28.1	3	7.4	26	0	0	0	0
18	11	19.3	12.5	15.7	0	92	12	25.7	1	6.9	25	0	0	0	0
18	12	14.8	7.5	11.1	0	224	0	18.6	14	2.9	31	0	0	0	0
----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2	3	23.3	13.2	18.1	0	1028	931	37.6	JUL	1.9	JAN	30	0	0	0



**Διάγραμμα 7:** Χρονική μεταβολή της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας της περιοχής (2018).



**Διάγραμμα 8:** Στοιχεία νετού σε mm 2018 (Σταθμός Φράγματος Ποταμών Αμαρίου).

**Πίνακας 9:** Στοιχεία νετού σε mm 2018 (Σταθμός Φράγματος Ποταμών Αμαρίου).

3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	DAYS OF RAIN OVER			
YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DATE	0.2	2	20
---	---	-----	-----	-----	-----	---	---	---
18	1	87.9	0	21.2	14	22	8	1
18	2	1292	0	331.6	14	21	9	7
18	3	24.2	0	12	29	5	4	0
18	4	33.6	0	32.4	7	6	1	1
18	5	26.4	0	13.4	7	8	2	0
18	6	28.6	0	19.2	17	4	2	0
18	7	9	0	8.8	26	2	1	0
18	8	16	0	8.4	29	3	3	0
18	9	85	0	28.6	13	11	6	2
18	10	27.2	0	8.2	24	11	5	0
18	11	242.6	0	80	29	18	8	5
18	12	264	0	59.6	19	22	14	5
---	---	-----	-----	-----	-----	---	---	---
		2136.6	0	331.6 F	EB 1	33	63	21

**Πίνακας 10:** Στοιχεία έντασης ανέμων σε km/h (Σταθμός Φράγματος Ποταμών Αμαρίου, 2018).

YR	MO	AVG.	HI	DATE	DIR
---	---	-----	-----	-----	-----
18	1	8.5	91.7	25	NNW
18	2	13.4	96.6	7	NNW
18	3	16.6	125.5	22	SE
18	4	9	67.6	21	NNW
18	5	10.6	64.4	3	NNW
18	6	10.4	62.8	26	NNW
18	7	9.7	53.1	14	NNW
18	8	9.8	49.9	19	NNW
18	9	11	74	29	NNW
18	10	7.9	49.9	25	SE
18	11	12.8	75.6	18	N
18	12	13.3	90.1	15	N
---	---	-----	-----	-----	-----
		11.1	125.5	MAR	NNW

Η κύρια διεύθυνση των ανέμων είναι νότια, νότιοδυτική.

Τα αντίστοιχα στοιχεία του έτους 2017 παρουσιάζονται παρακάτω:

TEMPERATURE (°C), HEAT BASE 18.3, COOL BASE 18.3

YR	MO	MEAN			DEP.	HEAT	COOL	HI	DATE	LOW	DATE	MAX		MIN	
		MAX	MIN	MEAN	FROM NORM	DEG DAYS	DEG DAYS					>=32	MAX <=0	MIN <=0	MIN <=-
18															
17	1	11.9	5.0	8.4	0.0	308	0	16.8	19	-2.1	9	0	0	3	0
17	2	14.7	7.2	10.9	0.0	209	0	19.7	25	2.9	18	0	0	0	0
17	3	16.8	7.3	11.7	0.0	208	3	22.9	26	3.7	19	0	0	0	0
17	4	20.4	9.3	14.7	0.0	127	19	27.6	20	4.4	23	0	0	0	0
17	5	24.9	13.2	18.9	0.0	57	75	35.2	13	9.3	20	3	0	0	0
17	6	29.2	16.2	22.6	0.0	13	141	39.7	30	12.6	1	7	0	0	0
17	7	30.6	19.0	24.8	0.0	1	202	39.6	25	16.6	21	10	0	0	0
17	8	29.5	19.4	24.4	0.0	1	190	33.7	21	16.1	27	5	0	0	0
17	9	30.0	15.6	22.3	0.0	19	138	37.8	19	12.6	24	7	0	0	0
17	10	22.5	12.5	17.1	0.0	66	29	28.4	7	8.8	28	0	0	0	0
17	11	19.5	9.8	14.4	0.0	126	7	23.5	8	3.6	22	0	0	0	0
17	12	16.2	8.8	12.2	0.0	190	1	21.2	3	1.8	8	0	0	0	0
		22.2	12.0	16.9	0.0	1325	804	39.7	JUN	-2.1	JAN	32	0	3	0

PRECIPITATION (mm)

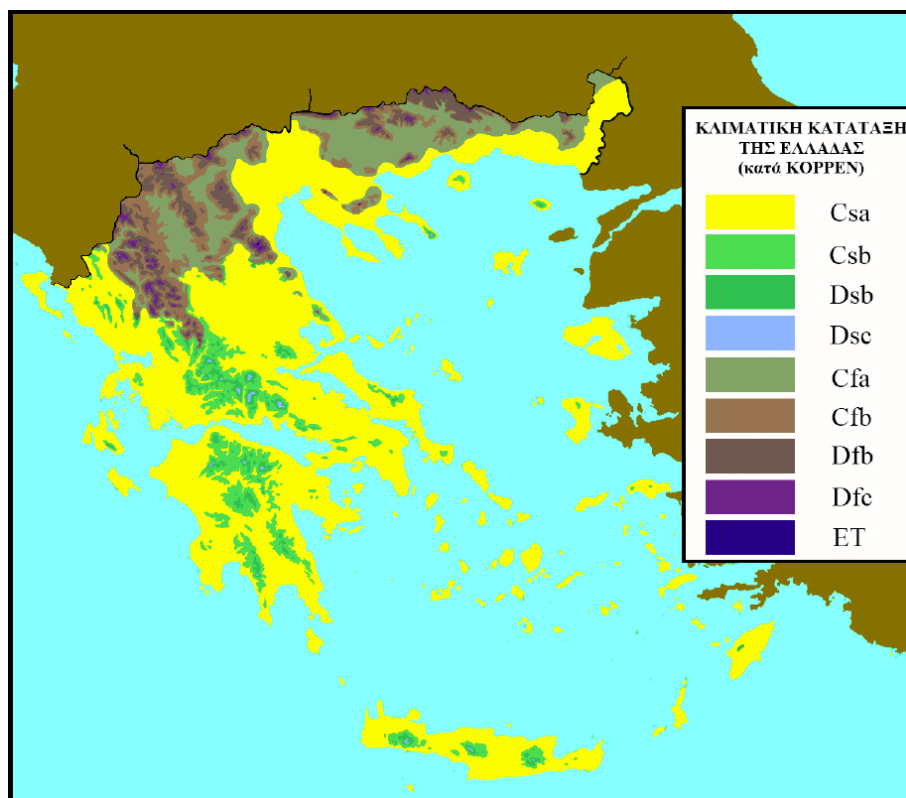
YR	MO	TOTAL	DEP.	MAX	DAYS OF RAIN			
			FROM NORM	OBS. DAY	DATE	.2	2	20
17	1	216.4	0.0	42.0	5	24	18	4
17	2	73.6	0.0	56.6	11	8	4	1
17	3	129.6	0.0	31.2	30	21	10	2
17	4	18.6	0.0	17.0	22	8	1	0
17	5	146.4	0.0	54.0	18	11	5	3
17	6	5.6	0.0	4.2	8	2	1	0
17	7	9.0	0.0	9.0	18	1	1	0
17	8	0.6	0.0	0.6	17	1	0	0
17	9	40.0	0.0	23.6	29	5	3	1
17	10	49.4	0.0	21.8	23	17	6	1
17	11	59.8	0.0	25.0	27	19	5	1
17	12	180.4	0.0	68.2	23	21	9	2
		929.6	0.0	68.2	DEC	138	63	15

WIND SPEED (km/hr)

DOM

YR	MO	AVG.	HI	DATE	DIR
17	1	12.1	80.5	6	SSE
17	2	14.1	85.3	7	SSE
17	3	10.0	88.5	8	N
17	4	10.3	75.6	20	N
17	5	8.6	54.7	9	N
17	6	7.4	64.4	7	N
17	7	6.5	53.1	27	N
17	8	1.0	57.9	16	N
17	9	8.0	56.3	11	NNE
17	10	9.4	66.0	15	NE
17	11	10.4	82.1	13	S
17	12	14.3	82.1	2	S
		9.3	88.5	MARN	

Η Κρήτη κατατάσσεται κλιματικά σύμφωνα με την κλίμακα KOPPEN. Χαρακτηριστικά όπως το γεωγραφικό πλάτος, η αναλογία «ξηρά/θάλασσα» και το ανάγλυφο της περιοχής επηρεάζουν και διαμορφώνουν το κλίμα της. Λόγω της γεωγραφικής της θέσης η χώρα βρίσκεται εντός της θερμής εύκρατης ζώνης. Όσον αφορά την αναλογία «ξηρά/θάλασσα», τα 2/3 της χώρας αποτελούνται από θάλασσα και μάλιστα με μεγάλο άνοιγμα προς τη θάλασσα προς τα νότια. Το τελευταίο κριτήριο που αφορά το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο, προσδίδει έντονο κλιματικό μωσαϊκό όσον αφορά το προφίλ του κλίματος.



**Εικόνα 7:** Χάρτης κλιματικής κατάταξης της χώρας κατά Koppen.

Όπως φαίνεται, από τον κλιματικό χάρτη της Εικόνας 7, η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη ζώνη με κωδικό «Csa». Ο χαρακτηρισμός του κλίματος είναι θαλάσσιο (C), με διακριτό ξηρό και πολύ θερμό θέρος, όπου η μέση βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα είναι <30mm (s) και η μέση θερμοκρασία του ξηρότερου μήνα είναι >22°C (a).

## 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΧΥΤΑ ΑΜΑΡΙΟΥ

Για την εκτίμηση της παραγωγής του βιοαερίου μέσω του LandGEM στον ΧΥΤΑ Αμαρίου χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Έτος έναρξης λειτουργίας του χώρου: 1998
- Έτος παύσης λειτουργίας του χώρου 2018
- Χωρητικότητα κυττάρου 608.000 t
- Σταθερά ρυθμού αποδόμησης (k)  $0,05 \text{ y}^{-1}$
- Θεωρητική παραγωγή  $\text{CH}_4$  (Lo)  $100 \text{ m}^3/\text{Mg}$ .
- Ποσοστό του μεθανίου 50% v/v.

Οι ετήσιες απορριπτόμενες ποσότητες απορριμμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

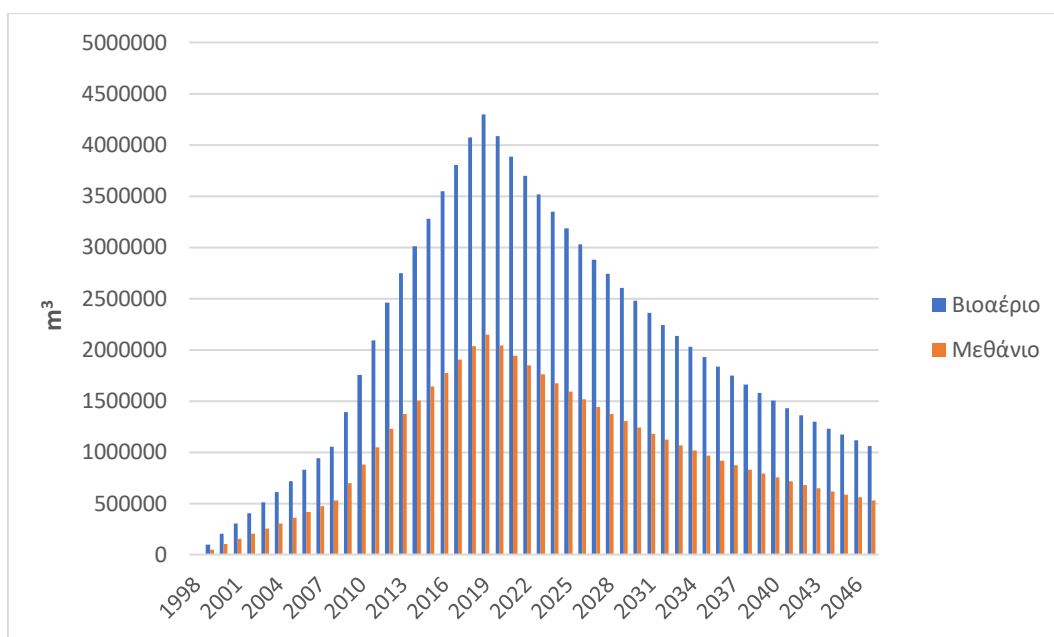
**Πίνακας 11:** Εισερχόμενα απορρίμματα στο κύτταρο του ΧΥΤΑ σε Mg/έτος από το έτος λειτουργίας του έως και το κλείσιμο του κυττάρου.

<b>1998</b>	10.000	<b>2009</b>	43.746
<b>1999</b>	11.000	<b>2010</b>	43.439
<b>2000</b>	11.500	<b>2011</b>	48.192
<b>2001</b>	12.000	<b>2012</b>	41.385
<b>2002</b>	12.500	<b>2013</b>	40.609
<b>2003</b>	13.000	<b>2014</b>	42.965
<b>2004</b>	14.000	<b>2015</b>	43.441
<b>2005</b>	15.000	<b>2016</b>	43.929
<b>2006</b>	15.500	<b>2017</b>	46.791
<b>2007</b>	16.000	<b>2018</b>	43.000
<b>2008</b>	40.000	<b>2019</b>	43.746

Η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου και  $\text{CH}_4$  στον ΧΥΤΑ για τα έτη έως και το 2045, όπως αυτή προέκυψε βάσει της μοντελοποίησης, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 9 και στον Πίνακα 12.

Όπως προκύπτει η παραγωγή βιοαερίου στον ΧΥΤΑ έφτασε τη μέγιστη δυνατή τιμή του μόλις πριν 2 έτη (2019) και έκτοτε έχει αρχίσει να φθίνει, παραμένοντας εντούτοις σε υψηλά επίπεδα για αρκετά ακόμη έτη.

Τονίζεται ότι το LandGEM δεν λαμβάνει υπόψη: α) ότι τμήμα του παραγόμενου βιοαερίου μπορεί να ανακτηθεί δεδομένης της απόδοσης των συστημάτων συλλογής βιοαερίου και β) ότι το ποσοστό του  $\text{CH}_4$  στο βιοαέριο δεν παραμένει σταθερό.



**Διάγραμμα 9:** Εκτιμώμενη παραγωγή βιοαερίου και μεθανίου βάσει μοντελοποίησης.

**Πίνακας 12:** Εκτιμώμενη παραγωγή βιοαερίου και μεθανίου βάσει μοντελοποίησης.

Έτος	Βιοαέριο		CH <sub>4</sub>	
	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)
1998	0,00	0,00	0,00	0,00
1999	122,12	97785,21	32,62	48892,60
2000	250,49	200579,89	66,91	100289,95
2001	378,71	303250,49	101,16	151625,24
2002	506,78	405803,03	135,37	202901,52
2003	634,71	508243,29	169,54	254121,65
2004	762,50	610576,75	203,67	305288,37
2005	896,28	717697,86	239,41	358848,93
2006	1035,74	829373,13	276,66	414686,56
2007	1174,51	940491,20	313,72	470245,60
2008	1312,61	1051079,23	350,61	525539,62
2009	1737,06	1390958,32	463,99	695479,16
2010	2186,55	1750889,89	584,05	875444,94
2011	2610,38	2090270,37	697,26	1045135,18
2012	3071,57	2459573,54	820,45	1229786,77
2013	3427,15	2744299,97	915,43	1372149,98
2014	3755,91	3007558,64	1003,24	1503779,32
2015	4097,40	3281009,09	1094,46	1640504,55
2016	4428,05	3545778,76	1182,78	1772889,38

Έτος	Βιοαέριο		CH <sub>4</sub>	
	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)
2017	4748,53	3802405,33	1268,38	1901202,66
2018	5088,34	4074508,74	1359,15	2037254,37
2019	5365,28	4296269,00	1433,12	2148134,50
2020	5103,61	4086737,49	1363,23	2043368,74
2021	4854,71	3887424,95	1296,74	1943712,47
2022	4617,94	3697833,00	1233,50	1848916,50
2023	4392,72	3517487,55	1173,34	1758743,78
2024	4178,49	3345937,66	1116,12	1672968,83
2025	3974,70	3182754,36	1061,68	1591377,18
2026	3780,85	3027529,59	1009,91	1513764,80
2027	3596,46	2879875,23	960,65	1439937,62
2028	3421,05	2739422,06	913,80	1369711,03
2029	3254,21	2605818,87	869,23	1302909,44
2030	3095,50	2478731,58	826,84	1239365,79
2031	2944,53	2357842,42	786,52	1178921,21
2032	2800,92	2242849,09	748,16	1121424,54
2033	2664,32	2133464,05	711,67	1066732,02
2034	2534,38	2029413,78	676,96	1014706,89
2035	2410,78	1930438,10	643,94	965219,05
2036	2293,20	1836289,52	612,54	918144,76
2037	2181,36	1746732,62	582,66	873366,31
2038	2074,97	1661543,47	554,25	830771,73
2039	1973,78	1580509,04	527,22	790254,52
2040	1877,51	1503426,70	501,50	751713,35
2041	1785,95	1430103,72	477,05	715051,86
2042	1698,85	1360356,74	453,78	680178,37
2043	1615,99	1294011,36	431,65	647005,68
2044	1537,18	1230901,68	410,60	615450,84
2045	1462,21	1170869,89	390,57	585434,95
2046	1390,90	1113765,90	371,52	556882,95
2047	1323,06	1059446,89	353,40	529723,45

## 8. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΧΥΤΑ ΑΜΑΡΙΟΥ

Λαμβάνοντας υπόψη τις προϋποθέσεις / κριτήρια οικονομικής βιωσιμότητας της ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου ενός ΧΥΤΑ, όπως παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.4., καθώς και τα στοιχεία του υπό εξέταση ΧΥΤΑ Αμαρίου, όπως αυτά παρουσιάστηκαν και εκτιμήθηκαν στα Κεφ. 6 και 7. αντίστοιχα, προκύπτει ότι:

- Οι παραγόμενες ποσότητες βιοαερίου είναι σημαντικά χαμηλότερες από  $28.000\text{m}^3$  ημερησίως ( $\sim 11.770 \text{ max}$ ), που θεωρείται η ελάχιστη συμφέρουσα τιμή. Ειδικά αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι από το παραγόμενο βιοαέριο περίπου το 70% τελικά συλλέγεται μέσω των εγκατεστημένων συστημάτων, η προαναφερόμενη διαθέσιμη προς αξιοποίηση ποσότητα βιοαερίου στον ΧΥΤΑ Αμαρίου μειώνεται ακόμη περισσότερο.
- Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο καταγράφεται μεν 50%, βάσει των μετρήσεων, που έλαβαν χώρα επί τόπου, όμως η μεταβολή της και η συγκεκριμένα η μείωσή της τα επόμενα χρόνια μπορεί να θεωρηθεί ως δεδομένη, γεγονός το οποίο δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη από το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Ως εκ τούτου, στην πράξη οι παραγόμενες ποσότητες βιοαερίου αναμένεται να είναι ακόμη χαμηλότερες από εκείνες που εκτιμήθηκαν.
- Τόσο οι εισερχόμενες ποσότητες απορριμμάτων ( $\sim 650.000$  τόνοι), όσο και η έκταση του εξεταζόμενου κυττάρου, είναι κατά πολύ χαμηλότερες από τις θεωρητικά ελάχιστες απαιτούμενες για την ενεργειακή αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου.

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή του ευρέως διαδεδομένου και αποδεκτού μοντέλου LandGEM της US EPA για την εκτίμηση των αέριων εκπομπών που παράγονται στον ΧΥΤΑ Αμαρίου, με τους όποιους περιορισμούς αυτό παρουσιάζει, υπέδειξε ότι η ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου του εν λόγω ΧΥΤΑ δεν δύναται να είναι οικονομικά συμφέρουσα και βιώσιμη, κυρίως λόγω μικρών μεγεθών (ποσοτήτων μεθανίου, αστικών απορριμμάτων, έκτασης, κα.). Περαιτέρω βελτιστοποίηση της εφαρμογής του εν λόγω μοντέλου (π.χ. διαφοροποίηση ποσοστού μεθανίου στο βιοαέριο συναρτήσει του χρόνου) μόνο δυσμενέστερα αποτελέσματα θα επέφερε, καθιστώντας ακόμη περισσότερο σαφές και ασφαλές το προαναφερόμενο συμπέρασμα.

Εντούτοις, η πλήρης αποκατάσταση του ΧΥΤΑ Αμαρίου, η κατασκευή νέων φρεατίων απαγωγής του βιοαερίου σε αντικατάσταση των παλαιών, καθώς και η συλλογή και επεξεργασία του βιοαερίου σε πυρσό καύσης αποτελεί αδιαμφισβήτητη αναγκαιότητα, επιβαλλόμενη τόσο από την ισχύουσα νομοθεσία, όσο και από την ιστορία του ίδιου του χώρου, στον οποίο έχουν καταγραφεί ιδιαίτερης επικινδυνότητας φαινόμενα (π.χ. έκρηξη), θέτοντας σημαντικά θέματα ασφαλείας.

Η συγκεκριμένη αναγκαιότητα επιβάλλεται ακόμη από το γεγονός ότι στην ευρύτερη περιοχή του ΧΥΤΑ Αμαρίου έχουν προγραμματιστεί και υλοποιούνται ήδη νέες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, με αποτέλεσμα η διασφάλιση μη επικίνδυνων συνθηκών να είναι μεγίστης σημασίας.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amini, H. R., Reinhart, D. R., & Mackie, K. R. Mackie. Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. *Waste Management* 32.2 (2012): 305-316.
- Andreottola, G., & R. Cossu. Modello matematico di produzione del biogas in uno scarico controllato. *Rifiuti solidi* 6 (1988).
- Armstrong, J., Douglas H., & Steve, L. Application of Thermal Oxidation to a Recuperated Gas Turbine: The Path to PPB NO<sub>x</sub> Emissions. ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, 2013.
- Bove, R., & Piero L. Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. *Energy Conversion and Management* 47.11 (2006): 1391-1401.
- Bozkurt, S., L. Moreno, and I. Neretnieks. Long-term fate of organics in waste deposits and its effect on metal release. *Science of the total environment* 228.2 (1999): 135-152.
- Chalvatzi E., Lazaridis M. Estimation of greenhouse gas emissions from landfills: application to the Akrotiri landfill site (Chania, Greece). *Global NEST Journal*, 12(1)(2010):108-116.
- Cho, H., S., Hee S., M., & Jae, Y., K. Effect of quantity and composition of waste on the prediction of annual methane potential from landfills. *Bioresource technology* 109 (2012): 86-92.
- Fei, X., Zekos, D., & Lutgard, R. Quantification of parameters influencing methane generation due to biodegradation of municipal solid waste in landfills and laboratory experiments. *Waste Management* (2015).
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical reviews in environmental science and technology* 32.4 (2002): 297-336.
- Mebarki, B., Adouane, B., Khaldi, F., Dehimi, S., & Haddad, D. Theoretical estimation of the production of biogas from the landfill of Batna city and its electrical conversion by a SOFC. *International Journal of Hydrogen Energy* 40.39 (2015): 13799-13805.
- Mudhoo, A., & Kumar, S. Effects of heavy metals as stress factors on anaerobic digestion processes and biogas production from biomass. *International Journal of Environmental Science and Technology* 10.6 (2013): 1383-1398.
- ODABAŞ, T. The effect of heavy metal concentrations in solid waste methane production in landfill areas (2007).
- Ogata, Y., Ishigaki, T., Nakagawa, M., & Yamada, M. Effect of increasing salinity on biogas production in waste landfills with leachate recirculation: A lab-scale model study. *Biotechnology Reports* 10 (2016): 111-116.
- Pawlowska, M. *Mitigation of Landfill Gas Emissions*. CRC Press. (2014).
- Rajaram, V., Faisal Z. S., & Mohd, E., K. *From landfill gas to energy: Technologies and challenges*. Crc Press, 2011.
- Rios, M., & Martin K. Electricity generation potential from biogas produced from organic waste in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016): 384-395.
- Rutz, D., Mergner, R., & Janssen, R. Sustainable Heat Use of Biogas Plants." *A Handbook, Biogas Heat, WIP Renewable Energies, Munich, Germany* (2012).

- Surroop, D., & Romeela, M. Power generation from landfill gas. 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications. Vol. 17. 2011.
- Tada, C., Yang, Y., Hanaoka, T., Sonoda, A., Ooi, K., & Sawayama, S. Effect of natural zeolite on methane production for anaerobic digestion of ammonium rich organic sludge. *BioresourceTechnology* 96.4 (2005): 459-464.
- Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S.A. (1993) Integrated Solid Waste Management.
- US EPA (1998) User's Manual – Landfill Gas Emissions Model, Version 2.0. UnitedStatesEnvironmentProtectionAgency ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)).
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης - Τμήμα Γεωλογίας - Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος ([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr)).
- Γενειατάκης Μανόλης (2004) InSitu μετρήσεις βιοαερίου και εκτίμηση ανεξέλεγκτων εκπομπών CH<sub>4</sub> στον χώρο διάθεσης απορριμμάτων (ΧΔΑ) Πέρα Γαλήνων Ηρακλείου, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Γιδαράκος Ε. (2013) Στερεά Απόβλητα: διαχείρισης και σχεδιασμός συστημάτων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις.
- Γιδαράκος Ε., Αϊβαλιώτη Μ. (2021) Επικίνδυνα Απόβλητα: Διαχείριση – Επεξεργασία – Διάθεση, Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης, ISBN 978-618-5558-00-0.
- ΕΛΙΝΥΑΕ – Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας ([www.elinyae.gr](http://www.elinyae.gr))
- Κουτσιούκλη Ευτυχία (2005) Εκτίμηση αέριων εκπομπών από τον Χώρο Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΔΑ) Πέρα Γαλήνων Ηρακλείου, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Πολυτεχνείο Κρήτης (2017) Διερεύνηση Χωροθέτησης Νέου ΧΥΤΥ ΠΕ Ρεθύμνου. Παραδοτέο Ερευνητικού Προγράμματος Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος – Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων.
- Πολυτεχνείο Κρήτης (2013) «ΕΡΕΥΝΑ για πιθανή ρύπανση στην περιοχή του ΧΥΤΑ Αμαρίου, εκτίμηση επικινδυνότητας και πρόταση για μέτρα αποκατάστασης». Παραδοτέο Ερευνητικού Προγράμματος Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος – Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων.
- Πολυτεχνείο Κρήτης (2003) Ποιοτική και Ποσοτική Ανάλυση Απορριμμάτων Περιφέρειας Κρήτης. Παραδοτέο Ερευνητικού Προγράμματος Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος – Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων.
- Συνήγορος του Πολίτη (2020) «Η διαχείριση των αποβλήτων – Ειδική Έκθεση 2020» ISBN 978-960-6762-18-5 ([www.synigoros.gr](http://www.synigoros.gr)).