



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ
ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΟΥΣ
ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ »**

ΞΥΝΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθ. Καλογεράκης Νικόλαος

Καθ. Οικονομόπουλος Αλέξανδρος

Καθ. Καραφύλλης Ιάσωνας

**Χανιά
Οκτώβριος 2007**

Περιεχόμενα

1. Χ.Υ.Τ.Α-Χ.Δ.Α. και τα απόβλητα που αποτίθενται σε αυτούς	6
1.1 Γενικά.....	6
1.2 Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)	6
1.3 Χώροι Διάθεσης Απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.)	7
1.4 Στερεά απόβλητα (απορρίμματα)	7
1.5 Ιλύς (λυματολάσπη).....	13
2. Το βιοαέριο από ΧΥΤΑ-ΧΔΑ	14
2.1 Γενικά.....	14
2.2 Στάδια αποδόμησης του οργανικού κλάσματος	16
2.3 Η παραγωγή βιοαερίου σε ΧΥΤΑ-ΧΔΑ.....	20
2.3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του βιοαερίου	21
2.4 Τα χαρακτηριστικά του βιοαερίου.....	22
2.4.1 Τα φυσικά χαρακτηριστικά βιοαερίου.....	22
2.4.2 Τα χημικά χαρακτηριστικά του βιοαερίου	23
2.5. Ποιοτική σύσταση του βιοαερίου	25
2.6 Η κίνηση βιοαερίου	30
2.6.1 Γενικά.....	30
2.6.2 Παράγοντες κίνησης του βιοαερίου.....	31
2.7 Εκπομπές βιοαερίου στην ατμόσφαιρα	32
2.7.1 Επιπτώσεις από τις ανεξέλεγκτες εκπομπές του βιοαερίου.....	32
2.7.1.1 Συνέπειες εκπομπής των σημαντικότερων αέριων του βιοαερίου.....	33
2.7.2 Ατμοσφαιρικό μεθάνιο και ο ρόλος του στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου	36
2.7.2.1 Πηγές και δεξαμενές του ατμοσφαιρικού μεθανίου	37
2.7.2.2 Εκπομπές μεθανίου από την απόθεση αστικών απορριμμάτων στο έδαφος.....	38
2.8 Οξείδωση μεθανίου στην εδαφική κάλυψη αστικών απορριμμάτων	39
2.8.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την Οξείδωση CH ₄ στην εδαφική κάλυψη αστικών απορριμμάτων.....	40
2.8.2 Τα methanotrops και η οξείδωση μεθανίου	42
2.8.2.1 Γενικά.....	42
2.8.2.2 Φυσιολογία και ταξινόμια methanotrophic βακτηριδίων	44
2.8.2.3 Οξείδωση μεθανίου.....	47
2.8.3 Ανάπτυξη methanotrops στο έδαφος	48
2.8.4 Αποτελέσματα της θερμοκρασίας και του pH στην οξείδωση μεθανίου από methanotrophic βακτήρια	49
3. Περιγραφή των χώρων και της ευρύτερης περιοχής	51
3.1 Σύντομο ιστορικό.....	51
3.2 Γενικά στοιχεία	53
3.2.1 Αποκατάσταση Χώρου Διάθεσης Απορριμμάτων περιοχής «Μεσομουρίου» ..	53
3.2.2 Μονάδα Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων.....	54
β. Στεγανοποίηση του χώρου.....	55
3.3 Γεωγραφική θέση των έργων.....	56
3.3.1 Γεωγραφική θέση του Χώρου Διάθεσης Απορριμμάτων περιοχής «Μεσομουρίου»	57
3.3.2 Γεωγραφική θέση της Μονάδας Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη θέση «Κορακιά»	58

3.4 Υφιστάμενη κατάσταση της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων	59
3.4.1 Μετεωρολογικά-κλιματολογικά στοιχεία	59
3.4.1.1 Βροχοπτώσεις	59
3.4.1.2 Ένταση και διεύθυνση ανέμων	60
3.4.1.3 Θερμοκρασία	61
3.4.2 Μορφολογία της ευρύτερης περιοχής	62
3.5 Υφιστάμενη κατάσταση Περιβάλλοντος	63
3.5.1 Χλωρίδα της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων	63
3.5.2 Βλάστηση και Χλωρίδα στις θέσεις «Μεσομούρι» και «Κορακιά»	63
3.5.3 Πανίδα της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων	65
4. Σύνθεση Απορριμμάτων (Ποιοτική Ανάλυση)	66
5. Ετήσιες ποσότητες απορριμμάτων και λυματολάσπης	67
6. Το μοντέλο εκτίμησης εκπομπών GasSim	70
6.1 Εισαγωγή	70
6.2 Περιγραφή του μοντέλου GasSim	70
6.2.1 Η διήθηση (Infiltration)	71
6.2.2 Η εισαγωγή των χαρακτηριστικών του XYTA-ΧΔΑ (Landfill Characteristics)	71
6.2.3 Τα δεδομένα εισαγωγής της πηγής (Source)	72
6.2.4 Μονάδα ανάκτησης ενέργειας ή καταστροφής του βιοαερίου (Gas Plant)	73
6.2.5 Εξαγωγή αποτελεσμάτων	73
6.3 Υποθέσεις στην εφαρμογή του μοντέλου Gassim	74
6.4 Υπολογισμός παραγωγής CH ₄ και CO ₂	74
6.4.1 Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομουρίου»	74
6.4.1.1 Δεδομένα εισαγωγής	74
6.4.1.2 Αποτελέσματα μοντέλου Gassim	76
6.4.2 Χ.Υ.Τ.Α. στη θέση «Κορακιά»	77
6.4.2.1 Δεδομένα εισαγωγής	77
6.4.2.2 Αποτελέσματα μοντέλου Gassim	79
7. Το μοντέλο προσομοίωσης διάχυσης αερίου και οξείδωσης μεθανίου σε εδαφική κάλυψη Χ.Δ.Α.-Χ.Υ.Τ.Α.	81
7.1 Εισαγωγή	81
7.2 Περιγραφή του μοντέλου	82
7.2.1. Προκαταρκτικές εκτιμήσεις	82
7.2.2 Η ανάπτυξη του μοντέλου	84
7.2.3 Παράμετροι του μοντέλου	86
7.2.4 Οι εξισώσεις του μοντέλου για σταθερές συνθήκες	87
7.2.5 Οριακές συνθήκες	90
7.2.6 Μοντελοποίηση με χρήση MATLAB	94
7.3 Αποτελέσματα του μοντέλου	97
8. Συμπεράσματα	118
9. Βιβλιογραφία	120

Περίληψη

Τα τελευταία 300 χρόνια, η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου έχει αυξηθεί από 0,75 σε 1,7ppm και συνεχίζει να αυξάνεται κατά 0,8-1,0% ετησίως μέχρι σήμερα. Η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με τα υπόλοιπα αέρια της ατμόσφαιρας όμως το υψηλό δυναμικό απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας καθιστά τη συνεισφορά του στην παγκόσμια θέρμανση της ατμόσφαιρας αξιόλογη. Καθώς σε μια περίοδο 100 χρόνων έχει 21 έως 23 φορές μεγαλύτερη κλιματική επίπτωση μιας ίσης μάζας διοξειδίου του άνθρακα.

Μειώσεις στο ρυθμό αύξησης ατμοσφαιρικού μεθανίου σε συνδυασμό με τον σχετικά μικρό χρόνο διατήρησης του στην ατμόσφαιρα, 8-12 χρόνια, θα έχει σαν αποτέλεσμα να παρατηρηθούν σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα τα θετικά αποτελέσματα των πλάνων διαχείρισης για την μείωση του μεθανίου και ως συνέπεια του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι εκτιμώμενες παγκόσμιες ετήσιες εκπομπές μεθανίου είναι 20-40 Tg από Χ.Δ.Α., αποτελώντας σημαντικές πηγές ατμοσφαιρικού μεθανίου.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται με μαθηματικό μοντέλο η οξείδωση μεθανίου, παραγόμενο από απορρίμματα, σε εδαφική κάλυψη ως ημίμετρο μέχρι την πλήρη αποκατάσταση του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων ή και για μικρούς ΧΔΑ με ελάχιστες οικονομικές δυνατότητες. Για αυτό το λόγο εξετάζεται η οξείδωση στην έσχατη περίπτωση όπου δεν υπάρχει στεγάνωση πυθμένα δε συλλέγετε το βιοαέριο και έχουμε την μέγιστη παραγωγή μεθανίου. Η οξείδωση του μεθανίου στο έδαφος επιτυγχάνεται με την βοήθεια των αερόβιων μεθανοτροφικών μικροοργανισμών που αναλώνουν το μεθάνιο και το οξειδώνουν σε διοξείδιο του άνθρακα.

Η οξείδωση του μεθανίου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται μεθανοτροφική δραστηριότητα που αναπτύσσεται στο χώμα, η εδαφική θερμοκρασία, η υγρασία και η σύσταση του εδάφους, καθώς επίσης το pH και τα θρεπτικά που περιέχονται σε αυτό. Παλαιότερες έρευνες είχαν εμφανίσει εποχιακή μεταβολή στην οξείδωση CH₄, η οποία είναι μεγαλύτερη κατά την διάρκεια των θερμότερων μηνών. Η οξείδωση είναι επίσης μεγαλύτερη σε πλούσια οργανικά εδάφη από ότι σε αργιλώδη.

Το μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτό του Stefan-Maxwell που ενσωματώνει τη διάχυση και την οξείδωση μεθανίου από τους μεθανοτροφικούς μικροοργανισμούς.

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο προσομοίωσης διάχυσης αερίου και οξείδωσης μεθανίου σε εδαφική κάλυψη παχιάς άμμου για το ΧΔΑ στη θέση «Μεσομούρι» και στο πρώτο Κύτταρο του ΧΥΤΑ στη θέση «Κορακιά».

1. Χ.Υ.Τ.Α-Χ.Δ.Α. και τα απόβλητα που αποτίθενται σε αυτούς

1.1 Γενικά

Η συγκέντρωση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα, η κοινωνική και τεχνολογική ανάπτυξη, καθώς και η αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών οδήγησαν στη μεγάλη αύξηση της ποσότητας των στερεών αποβλήτων. Έτσι τα απορρίμματα αποτελούν σήμερα, ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα της σύγχρονης ελληνικής κοινωνίας. Πρόκειται για ένα πρόβλημα πολυδιάστατο, με πλήθος αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που γίνεται αντιληπτό στο τελευταίο του στάδιο, αυτό της διάθεσης των απορριμμάτων. Τα απορρίμματα δημιουργούν σημαντικά υγειονομικά προβλήματα, τόσο από άποψη της υγιεινής του περιβάλλοντος, όσο και της δημόσιας υγείας και επιδημιολογίας. Ξεχωριστή σημασία έχει η σωστή διάθεσή τους καθώς και η έγκαιρη και σωστή αποκομιδή τους. Ωστόσο επικεντρώνοντας κανείς την προσοχή του στο ζήτημα των απορριμμάτων παραμελεί το θέμα της παραγωγής τους, περιορίζοντας έτσι τον πολίτη στον ρόλο του παθητικού καταναλωτή. Παραβλέπει ακόμα τη σπατάλη των πρώτων υλών και ενέργειας και τη ρύπανση του εδάφους, του νερού και του αέρα.

1.2 Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)

Η πιο απλή και οικονομικά προσιτότερη μέθοδος για την διαχείριση των απορριμμάτων στην Ελλάδα, με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, είναι η υγειονομική ταφή τους. Τα απορρίμματα διαστρώνονται σε διαδοχικές στρώσεις των 80cm περίπου μέχρι συνολικού πάχους 3m. Για περιορισμό της δυσοσμίας, των εντόμων και της πιθανότητας ανάφλεξης τίθεται μεταξύ των στρώσεων αδρανές υλικό πάχους 20cm περίπου σαν επικάλυψη (χώμα, άμμος κ.λ.π.). Στο τέλος της εκμετάλλευσης ενός χώρου πρέπει να τοποθετείται μια αργιλική στρώση και από πάνω ένα στρώμα χώματος κατάλληλο για δένδροφύτευση, ώστε να αποκαθίσταται το τοπίο. Τα σκουπίδια λοιπόν θάβονται και στη συνέχεια σαπίζουν και διαλύονται. Τότε βγάζουν κάποια υγρά που λέγονται «στραγγίσματα» και μίγμα από αέριο που λέγεται «βιοαέριο». Τα στραγγίσματα και το βιοαέριο μαζεύονται σε σωλήνες και επεξεργάζονται με ειδικούς τρόπους. Έτσι τα στραγγίσματα δεν περνάνε στο υπέδαφος και δεν υπάρχει κίνδυνος να μολύνουν τα υπόγεια ή τα επιφανειακά νερά, ούτε το βιοαέριο φεύγει ελεύθερα στην ατμόσφαιρα, όπου μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα και κινδύνους.

1.3 Χώροι Διάθεσης Απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.)

Η ανεξέλεγκτη διαθεση απορριμμάτων στη χώρα μας έχει προσλάβει εκρηκτική διάσταση, εξαιτίας της έλλειψης, μέχρι τώρα, περιβαλλοντικής ευαισθησίας και της απουσίας σύγχρονης ολοκληρωμένης πολιτικής για τα απορρίμματα. Σήμερα λειτουργούν περίπου 5.000 σκουπιδότοποι, από τους οποίους τα 2/3 χωρίς άδεια και χωρίς να τηρούν στοιχειώδεις κανόνες υγειονομικής ταφής. Η αυθαίρετη και ανεξέλεγκτη λειτουργία αυτών των χωματερών οδηγεί συχνά σε ρύπανση του υπεδάφους και των υπογείων νερών, ενώ η καύση των σκουπιδιών έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση του αέρα και συχνά γίνεται αιτία δασικών πυρκαγιών.

1.4 Στερεά απόβλητα (απορρίμματα)

Στερεά απορρίμματα είναι τα στερεά ή ημιστερεά υλικά τα οποία, κάτω από κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες, δεν έχουν αρκετή αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους ώστε αυτός να συνεχίσει να υφίσταται τη δαπάνη, τη μέριμνα ή το βάρος της διατήρησής τους. Είναι τα στερεά υλικά που ανακύπτουν ως παραπροϊόντα από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών, των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, των εμπορικών εγκαταστάσεων, των γεωργικών και εξορυκτικών δραστηριοτήτων, κτλ. Τα στερεά απόβλητα ομαδοποιούνται γενικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. αστικά απόβλητα (απορρίμματα) και
2. απόβλητα που χωρίζονται στις εξής κατηγορίες
 - επικίνδυνα απόβλητα
 - μη επικίνδυνα ειδικά
 - ιατρικά απόβλητα

Αναλυτικότερα τα στερεά απορρίμματα περιλαμβάνουν:

- Αστικά απορρίμματα (οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά, οδοκαθαρισμού κλπ.)
- Στερεά ή υδαρή (με αξιόλογο ποσοστό αιωρούμενων ουσιών) απόβλητα που δε μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά (ορισμένα βιομηχανικά, τοξικά ή αδρανή και απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας)
- Πετρελαιοειδή απόβλητα (προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ναυπηγία κλπ.)
- Απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων

- Απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων
- Απόβλητα εκσκαφών (από ξηρά και θάλασσα).
- Απόβλητα οικοδομικών κατεδαφίσεων
- Ιλύς από την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων
- Απόβλητα εμπορικών δραστηριοτήτων
- Ιατρικά απόβλητα
- Ελαστικά
- Σκράπ (π.χ. αποσυρθέντων αυτοκινήτων, παλαιών ηλεκτρονικών υπολογιστών κλπ.).

Τα Αστικά Στερεά Απορρίμματα, Α.Σ.Α., είναι τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά στερεά απορρίμματα), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά στερεά απορρίμματα), τον καθαρισμό δρόμων και άλλων κοινόχρηστων χώρων. Σε αυτά μπορούν επίσης να προστεθούν και άλλα στερεά απόβλητα (από ιδρύματα, επιχειρήσεις, κλπ.) τα οποία μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απορρίμματα. Εξαίρεση αποτελούν τα απόβλητα εκσκαφών και οικοδομικών κατεδαφίσεων, οι ιλύες βιολογικών καθαρισμών, τα υπολείμματα της καύσης, όπως επίσης και τα κατεστραμμένα αυτοκίνητα και τα απόβλητα των νοσοκομείων, εφόσον δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα οικιακά απορρίμματα. Σε γενικές γραμμές πάντως το τι είναι ή δεν είναι Α.Σ.Α. είναι θέμα ορισμού ή σύμβασης

Στον Πίνακα 1-1 δείχνονται οι συνήθεις πηγές και τα είδη των Α.Σ.Α.. Επισημαίνεται η διαφοροποίηση μεταξύ των οικιακών και αστικών απορριμμάτων. Κατά κανόνα, οι ιλύες βιολογικών καθαρισμών, τα υπολείμματα της καύσης, τα υπολείμματα των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και των κατεδαφίσεων και τα απόβλητα των νοσοκομείων δεν περιλαμβάνονται στα Α.Σ.Α., δεδομένου ότι δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα οικιακά απορρίμματα. Βέβαια τα απορρίμματα αυτά είναι πιο εύκολο να αναλυθούν, από την άποψη ότι, ανά κατηγορία απορριμμάτων, έχουν μεγαλύτερο βαθμό ομοιομορφίας από ότι τα οικιακά απορρίμματα.

Τα χαρακτηριστικά των απορριμμάτων

Τα οικιακά απορρίμματα έχουν ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά ποικίλουν μεταξύ των περιοχών και πόλεων, από χρόνο σε χρόνο, αλλά και από μήνα σε μήνα (γεωγραφικά, διαχρονικά και διεποχικά). Οι ποσότητες που παράγονται ανά περίοδο (μέρα, έτος) σε μια περιοχή (πόλη, νομό, περιφέρεια), όπως και τα

ποιοτικά χατακτηριστικά είναι τα πλέον βασικά στοιχεία για αποτελεσματική διαχείριση και παρακολούθηση. Η ισχύουσα νομοθεσία επιβάλλει την τήρηση αρχείων για ακριβείς εκτιμήσεις των διαχρονικών διακυμάνσεων των χαρακτηριστικών. Άλλωστε, η τήρηση στοιχείων διευκολύνει και τη δημιουργία ενός πλαισίου αναφοράς για αξιολόγηση της επίτευξης στρατηγικών στόχων μείωσης των Α.Σ.Α. ή εκτροπής τους από την υφιστάμενη διαχειριστική κατάσταση. Εν τούτοις ελάχιστοι φορείς διαχείρισης Α.Σ.Α. διατηρούν σήμερα τα απαραίτητα στοιχεία.

Οι ποσότητες και η σύνθεση των απορριμμάτων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες είναι οι οικονομικές δραστηριότητες, ο τύπος της κατοικίας, η εποχή, η χρήση οικιακών σκουπιδοφάγων, οι καταναλωτικές συνήθειες, το βιοτικό και μορφωτικό επίπεδο, η ύπαρξη ανακύκλωσης, η νομοθεσία, οι κλιματολογικές συνθήκες, κ.λ.π.. Παράδειγμα της επίδρασης π.χ. του τύπου κατοικίας στις ποσότητες και στη σύνθεση των σκουπιδιών είναι το εξής: κάποιος που μένει σε μονοκατοικία και διαθέτει αυλή με κατοικίδια ζώα, αναμένεται να έχει στα σκουπίδια του λιγότερα ζυμώσιμα από ότι ένας που μένει σε πολυκατοικία, επειδή μέρος των ζυμώσιμων προορίζεται για τη διατροφή των ζώων. Παράδειγμα της επίδρασης του μορφωτικού επιπέδου αποτελεί το γεγονός ότι ένας αγράμματος συνήθως δεν έχει στα σκουπίδια του εφημερίδες και περιοδικά (δηλαδή χαρτί) σε αντίθεση με κάποιον που έχει υψηλότερο μορφωτικό επίπεδο.

Οι ποσότητες των Α.Σ.Α. και των βασικών συστατικών τους εκφράζονται σε βάρος. Το βάρος έχει τα πλεονεκτήματα ότι μετριέται πιο εύκολα από τον όγκο και είναι ανεξάρτητο από το βαθμό συμπίεσης, ο οποίος δεν είναι ούτε ελεγχόμενος ούτε προβλέψιμος με ακρίβεια στις διάφορες φάσεις της διαχείρισης. Κατά κανόνα, οι ποσότητες των οικιακών απορριμμάτων αλλά και των Α.Σ.Α. εκφράζονται σε μονάδες βάρους ανά κάτοικο ανά ημέρα, κυρίως διότι, με βάση την τιμή αυτή, μπορούν να εκτιμηθούν περιοδικές ποσότητες για διάφορα μεγέθη πληθυσμών και για διάφορες χρονικές περιόδους.

Εδώ και δεκαετίες, η ανα άτομο παραγωγή Α.Σ.Α. παρουσιάζει αυξητική τάση παράλληλα με την αύξηση του 'οικονομικού' επιπέδου ζωής. Η παραγωγή σήμερα κυμένεται από σχεδόν μηδενική (σε πολύ φτωχές χωρες) ,μέχρι 4kg/ατομο/ημέρα σε ορισμένες περιοχές των ΗΠΑ.

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι, σε χωριά με πληθυσμό κάτω των 2.000κατοίκων, η μέση παραγωγή ΑΣΑ είναι από 0,6 έως 0,8 kg/άτομο/ημέρα. Σε πόλεις μέχρι 100.000κατοίκους, η μέση παραγωγή είναι από 0,8 έως 1,2 kg/άτομο/ημέρα. Σε μεγαλύτερες πόλεις η μέση παραγωγή για όλη την πόλη εκτιμάται από 1,2 έως 1,4 kg/άτομο/ημέρα. Μέσα στην ίδια

πόλη, η παραγωγή μπορεί να διαφοροποιείται από συνοικία σε συνοικία.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά διαχωρίζονται στα φυσικά, τα χημικά, τα μικροβιολογικά και τα βιολογικά. Τα φυσικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό της φυσικής σύστασης των απορριμμάτων, το ειδικό τους βάρος, το μέγεθος, τη διαπερατότητα και την πυκνότητά τους. Τα χημικά έχουν να κάνουν με τον προσδιορισμό της υγρασίας, της χωρητικότητας της υγρασίας, των πτητικών στερεών, τη στοιχειακή ανάλυση, τη θερμογόνο δύναμη και τη θερμοκρασία τήξης τέφρας των απορριμμάτων. Τέλος τα βιολογικά χαρακτηριστικά μας πληροφορούν για τη δυνατότητα αποικοδόμησης των απορριμμάτων και για το κατά πόσο εκλύουν οσμές, ενώ τα μικροβιολογικά για το ποσοστό των μολυσματικών αποβλήτων στην παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων.

Η σύσταση των απορριμμάτων αποτελεί τη βάση κάθε σχεδιασμού διαχείρισής τους και παίζει πρωταρχικό ρόλο τόσο για την επιλογή μεθόδων ή συστημάτων διάθεσης, όσο και για τον έλεγχο της λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Ο όρος σύσταση αναφέρεται στη φυσική σύνθεση των απορριμμάτων, δηλαδή στο ποσοστό κατά βάρος των διάφορων υλικών που συνθέτουν τα σκουπίδια.

Τα οικιακά απορρίμματα παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια ως προς τη σύστασή τους. Η ποιοτική ανάλυση αποσκοπεί στο να προσδιορίσει βασικές ποσοστιαίες κατηγορίες υλικών σε αυτά, προκειμένου να προσδιοριστούν πληροφορίες απαραίτητες για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης, επεξεργασίας και αξιοποίησής τους. Η πιο συνηθισμένη κατηγοριοποίηση των απορριμμάτων, όπως προέκυψε από σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων, περιλαμβάνει τα εξής κλάσματα:

- Ζυμώσιμα: τροφικά υπολείμματα και κήπου
- Χαρτί: κάθε είδους χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων
- Μέταλλα: περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών που απαντώνται στα απορρίμματα. Είναι δόκιμος 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 εξετασθεί ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.
- Γυαλί: η διαχείριση αποβλήτου γυαλιού στη χώρα μας πάσχει κυρίως από την έλλειψη υαλουργιών, κυρίως σε περιοχές μακριά από την Αττική. Είναι δόκιμος ο

διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, όσον αφορά την ανακύκλωση, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού γυαλιού απαιτεί υαλότριμα 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, κ.λπ.). Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λπ.).

- Δέρμα, Ξύλο, Ύφασμα, Λάστιχο: χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα (Δ.Ξ.Υ.Λ.)

- Αδρανή: στην κατηγορία αυτή ανήκουν χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα, όπως πέτρες, χρώματα κλπ.

- Λοιπά: εδώ ανήκουν τα υλικά που δεν μπορούν να κατανεμηθούν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες.

Τα Α.Σ.Α. που απορρίπτονται χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλη ποικιλία όσον αφορά τη σύνθεση των υλικών από τα οποία αποτελούνται. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος που η δειγματοληψία στερεών απορριμμάτων χαρακτηρίζεται ως η πιο «δύσκολη» σε σχέση με τη δειγματοληψία εδαφών, αέρα ή νερού.

Εν τούτοις, παρά την ποικιλία, διαφαίνεται μια σχετική "ομοιότητα", από πόλη σε πόλη ή και από χώρα σε χώρα, ως προς τα είδη των συστατικών υλικών, συχνά δε και ως προς τα ποσοστά τους. Η «ομοιότητα» αυτή στη σύνθεση (ή σύσταση) εκφράζεται στατιστικώς και μπορεί να προβλεφθεί σε στατιστική βάση.

Πίνακας 1-1: Αστικά Στερεά Απορρίμματα

Χαρακτηρισμός πηγής αποβλήτων	Τυπικές δραστηριότητες ή εγκαταστάσεις όπου παράγονται	Τύποι και συστατικά αποβλήτων
Οικιακά απόβλητα	Κατοικίες, πολυκατοικίες	Τροφικά Υπολείμματα, Ζυμώσιμα, Χαρτιά, Χαρτόνια, Πλαστικά, Υφάσματα, Δέρματα, Ξύλα, Απορρίμματα κήπων, Γυαλιά, Μέταλλα, Τέφρα, Ογκώδη Αντικείμενα, Επικίνδυνα / τοξικά οικιακά απόβλητα, Ηλεκτρικά είδη/συσκευές, κτλ.
Εμπορικά απόβλητα	Καταστήματα, Εστιατόρια, Γραφεία, Ξενοδοχεία, Μικρές Βιοτεχνίες, τυπογραφεία, Συνεργεία, Ελαφρά Βιομηχανία, κτλ.	Χαρτιά, Χαρτόνια, Πλαστικά, Ξύλα, Τροφικά υπολείμματα, Γυαλιά, Μέταλλα, Ειδικά Απόβλητα (ηλεκτρικές συσκευές, άλλες συσκευές, επικίνδυνα/τοξικά απόβλητα, κτλ.
Απόβλητα ιδρυμάτων	Σχολεία, νοσοκομεία, Διοικητήρια, κτλ. (δεν περιλαμβάνονται τα μολυσματικά απόβλητα)	Χαρτιά, Χαρτόνια, Πλαστικά, Ξύλα, Τροφικά υπολείμματα, Γυαλιά, Μέταλλα, Ειδικά Απόβλητα (ηλεκτρικές συσκευές, άλλες συσκευές, επικίνδυνα/τοξικά απόβλητα, κτλ.
Απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων	Νέες κατασκευές κτιρίων, δρόμων κτλ. Κατεδαφίσεις	Ξύλα, Σκυρόδεμα, Τούβλα, Καλώδια, Μέταλλα, Χώμα, Πέτρες, κτλ.
Απόβλητα καθαρισμού κοινόχρηστων χώρων	Καθαρισμός Οδών, Πάρκων, Παράλιων Χώρων, Χώρων Αναψυχής	Σκουπίδια, Ξύλα, Κλαδιά, κτλ.
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων	Καύση απορριμμάτων, Βιολογικοί καθαρισμοί, Σηπτικές δεξαμενές, κτλ.	Τέφρα, Ιλύς (λυματολόαση)

1.5 Ιλύς (λυματολάσπη)

Κατά την επεξεργασία καθαρισμού των υγρών αστικών αποβλήτων παράγονται ταυτόχρονα και παραπροϊόντα όπως: σχαρίσματα, άμμος, ξαφρίσματα και λάσπη από τις δεξαμενές καθίζησης. Από τα παραπροϊόντα το σημαντικότερο σε όγκο και δυσκολότερο σε χειρισμό και διάθεση είναι η λάσπη ή ιλύς. Η λάσπη είναι ένα παχύρρευστο υγρό που περιέχει 40 περίπου φορές περισσότερες στερεές ουσίες από τα αστικά λύματα. Μετά την επεξεργασία της συμπύκνωσης, της χώνευσης και της αφυδάτωσης η λάσπη παίρνει μια σχετικά στερεή μορφή αν και διατηρεί αρκετή υγρασία (60%). Οι ιλείς παράγονται από τις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού τόσο των αστικών όσο και των βιομηχανικών λυμάτων. Σημαντική παράμετρος για την περαιτέρω αξιοποίηση της λάσπης είναι η περιεκτικότητά της σε βαρέα μέταλλα και άλλους ρύπους, η οποία καθορίζεται από τη φύση των λυμάτων και το είδος της εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού. Η φύση της λυματολάσπης βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων ενώ η ποσότητά της έχει να κάνει με τον πληθυσμό τους και την ύπαρξη ή όχι βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

2. Το βιοαέριο από ΧΥΤΑ-ΧΔΑ

2.1 Γενικά

Οι βιοχημικές δράσεις που αναπτύσσονται σε κάθε χώρο διάθεσης αποβλήτων, οδηγούν πέρα από την παραγωγή στραγγισμάτων και στην παραγωγή βιοαερίου.

Το βιοαέριο παράγεται κατά την αναερόβια αποδόμηση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων. Η δημιουργία του στους Χ.Υ.Τ.Α. οφείλεται στο φαινόμενο της μεθανογένεσης, δηλαδή της δημιουργίας και εκπομπής του βιοαερίου ή αερίου του Χ.Υ.Τ.Α.

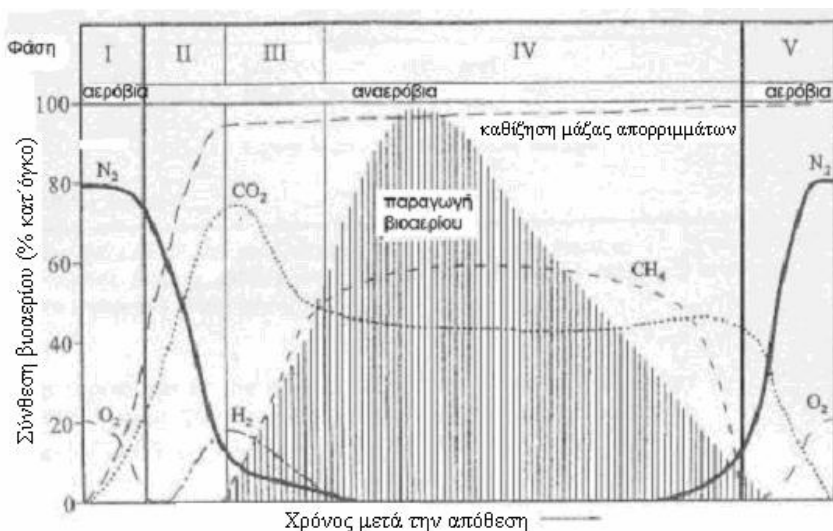
Η διαδικασία παραγωγής καθώς και η σύσταση του βιοαερίου εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως: τη ποσότητα και τη σύσταση των στερεών αποβλήτων, το ρυθμό αποδόμησης των οργανικών ενώσεων, τη πυκνότητα των στερεών αποβλήτων, τις κλιματολογικές συνθήκες, το είδος επικαλύψεων των αποβλήτων, την υγρασία, το pH και τη θερμοκρασία στο χώρο διαθεσης, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του χώρου, την αρχική συμπίεση των αποβλήτων, το βάθος στρώσεων, το συνολικό βάθος του χώρου διάθεσης, τη μέση θερμοκρασία αέρος κ.λπ. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι να καθίσταται δύσκολη η πρόβλεψη του ρυθμού παραγωγής του, της ποσότητας (όγκου) του καθώς και της σύστασής του. Το μόνο στοιχείο που είναι δεδομένο είναι ότι η ποσότητα και ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου αυξάνονται όσο προχωράει η ενηλικίωση του χώρου διάθεσης και κορυφώνονται κατά την περίοδο λήξης της απόθεσης των απορριμμάτων (20 έτη, ανάλογα με τον προβλεπόμενο χρόνο ζωής του χώρου διάθεσης). Η δε παραγωγή του βιοαερίου συνεχίζεται, με μειωμένο ρυθμό για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την ολοκλήρωση του χρόνου ζωής του χώρου απόθεσης. Με βάση την εμπειρία και τα βιβλιογραφικά δεδομένα, η παραγωγή βιοαερίου κυμαίνεται μεταξύ 160-240 m³/ton απορριμμάτων, σε μια χρονική περίοδο 10-15 ετών, αν και σε άλλες χώρες σημαντικές συγκεντρώσεις μεθανίου έχουν μετρηθεί σε χωματερές σαράντα και πλέον χρόνια αφότου έχουν κλείσει.

Το παραγόμενο βιοαέριο χρειάζεται αρκετό καιρό μέχρι να φτάσει να έχει μια σταθερή σύσταση. Τις πρώτες εβδομάδες και μήνες μετά την ταφή των απορριμμάτων, ο χώρος διάθεσης λειτουργεί κάτω από αερόβιες συνθήκες και παράγεται κυρίως διοξείδιο του άνθρακα. Το αέριο που προκύπτει από το αερόβιο αυτό στάδιο περιέχει επίσης οξυγόνο και άζωτο. Όταν ο χώρος περάσει στην αναερόβια φάση αποδόμησης των απορριμμάτων, η ποσότητα του οξυγόνου πλησιάζει σχεδόν το μηδέν ενώ το άζωτο τείνει σε πολύ χαμηλό

Η παραγωγή του βιοαερίου πραγματοποιείται σε 5 στάδια. Το στάδιο I της αερόβιας αποδόμησης, το στάδιο II της όξινης ζύμωσης (αναερόβια αποδόμηση), το στάδιο III της παραγωγής CH_4 , το στάδιο IV της παραγωγής CH_4 και το στάδιο V της μειωμένης παραγωγής του βιοαερίου. Η συνολική διάρκεια των σταδίων αποδόμησης κυμαίνεται από 10 έως 100 χρόνια.

Κατά τη σταθεροποίηση του χώρου ταφής, το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (σε ποσοστό από 55-65%) και διοξείδιο του άνθρακα (σε ποσοστό από 35-45%). Σε τέτοιες συγκεντρώσεις μεθανίου το βιοαέριο είναι ένα άριστης ποιότητας καύσιμο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλης κλίμακας ΧΥΤΑ, καθώς το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας εργοστασίου παραγωγής ενέργειας σε μικρού μεγέθους ΧΥΤΑ είναι οικονομικά ασύμφορο.

Στο μεταβατικό στάδιο, κατά το οποίο η δράση στο χώρο από αερόβια γίνεται αναερόβια, υπάρχει αυξημένη παρουσία υδρογονοπαραγώγων, ενώ όταν η μεθανογένεση σταθεροποιείται, το υδρογόνο περιορίζεται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Στο διάγραμμα 2-1 που παρουσιάζεται η σύνθεση βιοαερίου σε συνάρτηση με το χρόνο



Διάγραμμα 2-1: Σύνθεση βιοαερίου σε συνάρτηση με το χρόνο

2.2 Στάδια αποδόμησης του οργανικού κλάσματος

Στάδιο I – φάση προσαρμογής: Στο στάδιο αυτό στο βιοαποδομήσιμο κλάσμα των απορριμμάτων επίδρουν οι μικροοργανισμοί. Η αποδόμηση αυτή λαμβάνει χώρα υπό αερόβιες συνθήκες καθώς κάποια ποσότητα αέρα έχει εγκλωβιστεί μέσα στη χωματερή. Αποτέλεσμα της αερόβιας αυτής αποδόμησης, που είναι εξώθερμη, είναι η αύξηση της θερμοκρασίας που μπορεί να ξεπεράσει και τους 70°C. Το CO₂ που παράγεται απορροφάται από το νερό προκαλώντας το σχηματισμό οξέων που δίδουν στα διασταλλάζοντα υγρά μια αυξημένη οξύτητα. Οι μικροοργανισμοί που θα δράσουν κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής συνήθως προέρχονται από την κάλυψη που χρησιμοποιείται για να καλύψει το κάθε κύτταρο ή από την ιλύ βιολογικών καθαρισμών που πολύ συχνά εναποτίθεται στις χωματερές. Η διάρκεια του σταδίου αυτού όπως και κάθε άλλου σταδίου είναι σχετική και έχει να κάνει με αρκετούς παράγοντες όπως τη σύνθεση των απορριμμάτων, τη συμπίεση αυτών και φυσικά τη ποσότητα του εγκλωβισμένου O₂. Γενικά η διάρκεια του σταδίου αυτού είναι μερικές μέρες ή το πολύ εβδομάδες.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα αέρια της χωματερής έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- N₂: 80 % αρχικά και φθάνει στο 75 %
- O₂: 20 % αρχικά και φθάνει σε τιμές λίγο πάνω από το 15 %
- CO₂: ξεκινάει από επίπεδα ατμοσφαιρικά και φτάνει μέχρι και το 10%.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα διασταλλάζοντα υγρά της χωματερής έχουν τα παρακάτω χημικά χαρακτηριστικά:

- Το pH ξεκινάει από ουδέτερες τιμές και πέφτει ελαφριά
- Αύξηση της τιμής του COD από μηδενικές τιμές σε ελάχιστα πιο ψηλές
- Ελαφριά αύξηση της ποσότητας των πτητικών λιπαρών οξέων

Στάδιο II - ενδιάμεση φάση: Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού, η διάρκεια του μπορεί να κρατήσει από 1 έως 6 μήνες, η ποσότητα του O₂ έχει εξάληφθεί από το προηγούμενο στάδιο και αναερόβιες συνθήκες αρχίζουν να επικρατούν στο εσωτερικό της χωματερής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζει δραματικά ο χαρακτήρας των μικροοργανισμών που επικρατούν στο στάδιο αυτό με αποτέλεσμα τελικά να επικρατήσουν οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Υδρογονάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπη υδρολύονται σε σάκχαρα που στη συνέχεια αποδομούνται σε CO₂, H₂, NH₂ και οργανικά

οξέα. Για αυτό και η φάση αυτή λέγεται φάση υδρόλυσης και είναι η πρώτη από τις τρεις φάσεις που συνθέτουν τη συνολική διαδικασία σύνθεσης του CH_4 . Η αυξημένη και πάλη παρουσία του διοξειδίου και των οργανικών οξέων, προκαλεί ακόμα μεγαλύτερη σύνθεση οξέων που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του pH. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής η θερμοκρασία πέφτει μεταξύ των 30 με 50 °C.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα αέρια της χωματερής έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- N_2 : κατακόρυφη πτώση της συγκέντρωσης σε επίπεδα χαμηλότερα του 20%
- O_2 : φθίνει ακόμα περισσότερο μέχρι ουσιαστικά να εκλείψει
- 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%

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα διασταλλάζοντα υγρά της χωματερής έχουν τα παρακάτω χημικά χαρακτηριστικά:

- Το pH πέφτει δραματικά σε τιμές κοντά στο πέντε
- Περαιτέρω αύξηση της τιμής του COD
- Περαιτέρω αύξηση της ποσότητας των πτητικών λιπαρών οξέων
- Εμφάνιση κάποιων βαρέων μετάλλων

Στάδιο III – όξινη φάση: Με την μικροβιακή διαδικασία που ξεκίνησε στην προηγούμενη φάση επιταχύνεται η παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων οργανικών οξέων και μικρότερων ποσοτήτων H_2 . Η παραγωγή των οξέων αυτών που είναι κυρίως CH_3COOH και παράγωγα αυτού, φουλβικού οξέως και άλλων πιο σύνθετων οργανικών οξέων καθώς και η υψηλή συγκέντρωση CO_2 προκαλεί ακόμα μεγαλύτερη πτώση στο pH με αποτέλεσμα την εκχύλιση από τα απορρίμματα βαρέων μετάλλων και μεγάλης ποσότητας θρεπτικών στοιχείων. Οι μικροοργανισμοί που επικρατούν σε αυτή τη φάση χαρακτηρίζονται ως μη μεθανογενείς μικροοργανισμοί. Η ποσότητα του H_2 που παράγεται μειώνεται στη διάρκεια του σταδίου αυτού και οδηγεί στην κυριαρχία και ανάπτυξη μεθανογενών μικροοργανισμών. Η διάρκεια της φάσης αυτής μπορεί να διαρκέσει 3 μήνες έως 3 χρόνια.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα αέρια της χωματερής έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- N_2 : πτώση της συγκέντρωσης μέχρι μηδενισμού
- CO_2 : το κυρίαρχο αέριο αυτής της φάσης που φτάνει και σε τιμές πάνω από το 90%

- **H₂**: στη φάση αυτή φτάνει τη μέγιστη τιμή του 20% αλλά κατά τη διάρκεια της ίδιας φάσης εξαφανίζεται ανοίγοντας το δρόμο σε μεθανογενείς μικροοργανισμούς
- **CH₄**: για πρώτη φορά αρχίζει να εμφανίζεται σε αυτή τη φάση.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα διασταλλάζοντα υγρά της χωματερής έχουν τα παρακάτω χημικά χαρακτηριστικά:

- Το pH πέφτει σε τιμές κοντά στο τέσσερα
- Περαιτέρω αύξηση της τιμής του COD που στη φάση αυτή φτάνει τη μέγιστη τιμή του
- Περαιτέρω αύξηση της ποσότητας των πτητικών λιπαρών οξέων που και αυτά παρουσιάζουν μέγιστη τιμή στη φάση αυτή
- Αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων και κάποιων άλλων θρεπτικών στοιχείων

Στάδιο IV – φάση μεθανογένεσης: Το στάδιο αυτό είναι το μεγαλύτερο χρονικό στάδιο της διαδικασίας αποδόμησης του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων. Μερικές φορές μπορεί να ξεκινήσει μέχρι και έξη μήνες μετά την απόθεση των απορριμμάτων και μπορεί να φτάσει σε διάρκεια αρκετά χρόνια, 5 έως 60 χρόνια. Στη διάρκεια της φάσης αυτής τα οργανικά οξέα που είχαν σχηματισθεί και το H₂ μετασχηματίζονται σε CH₄ και CO₂. Οι μικροοργανισμοί μετασχηματισμού είναι αποκλειστικά αναερόβιοι και ονομάζονται μεθανογενείς μικροοργανισμοί. Σημαντικές ποσότητες CH₄ παράγονται μετά από 3 με 12 μήνες μετά την έναρξη της φάσης αλλά η παραγωγή του μπορεί να φτάσει και 30 χρόνια μετά το κλείσιμο της χωματερής. Οι μεθανογενείς μικροοργανισμοί μπορούν να είναι είτε μεσοφιλικό με βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξη τους 30-35°C ή θερμοφιλικό με βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης 45-65°C. Η διάσπαση των οξέων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του pH των διασταλλάζοντων υγρών.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα αέρια της χωματερής έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- **CO₂**: μειώνεται σε τιμές γύρω στο 45-50% και παραμένει σταθερό σε αυτά τα επίπεδα μέχρι και το τέλος της φάσης αυτής
- **CH₄**: αποτελεί το κυρίαρχο αέριο της φάσης αυτής μια και αποτελεί το 50-55%

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα διασταλλάζοντα υγρά της χωματερής έχουν τα παρακάτω χημικά χαρακτηριστικά:

- Το pH αυξάνεται ξανά σε ουδέτερες τιμές
- Μείωση της τιμής του COD
- Μείωση της ποσότητας των πτητικών λιπαρών οξέων
- Μείωση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων και άλλων θρεπτικών στοιχείων

Οι βέλτιστες συνθήκες μεθανογένεσης είναι:

- Σχετικά ουδέτερο pH, 6.7 – 7.2
- Απουσία οξυγόνου και τοξικών ουσιών
- Εσωτερική θερμοκρασία 30 – 55°C
- Ύπαρξη αρκετής υγρασίας
- Ύπαρξη θρεπτικών
- Η αλκαλικότητα ως ανθρακικό ασβέστιο να είναι μεγαλύτερη από 2000 mg/l
- Τα πτητικά οξέα ως οξικό οξύ να είναι λιγότερα από 3000mg/l.

Στάδιο V - φάση ωρίμανσης: Με την ολοκλήρωση της αποδόμησης του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων και την μετατροπή όλων των προϊόντων της σε CH₄ ολοκληρώνεται το στάδιο της μεθανογένεσης και ξεκινάει το τελευταίο στάδιο στη ζωή της χωματερής αυτό της ωρίμανσης ή οξείδωσης. Το στάδιο αυτό διαρκεί από 1 έως και 40 χρόνια. Όμως καθώς η υγρασία που κινείται προς τα κάτω σε μεγαλύτερο βάθος, συναντά νέες ποσότητες οργανικών απορριμμάτων συνεχίζοντας την παραγωγή CH₄ και CO₂ έχει σαν αποτέλεσμα το O₂ και το N₂ επανεμφανίστουν στα αέρια της χωματερής καθώς νέοι αερόβιοι μικροοργανισμοί αντικαθιστούν τους αναερόβιους που κυριαρχούσαν στο προηγούμενο στάδιο.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα αέρια της χωματερής έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- CO₂: μειώνεται δραματικά φτάνοντας σε ατμοσφαιρικές τιμές
- CH₄: παράλληλη πορεία με αυτή του διοξειδίου
- N₂: αύξηση της συγκέντρωσης του σε ατμοσφαιρικά επίπεδα
- O₂: αύξηση της συγκέντρωσης του σε ατμοσφαιρικά επίπεδα

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα διασταλλάζοντα υγρά της χωματερής έχουν τα παρακάτω χημικά χαρακτηριστικά:

- Το pH παραμένει σε ουδέτερες τιμές
- Τα χουμικά και φουλβικά οξέα παρουσιάζονται σε σημαντικές ποσότητες.

Γενικά, η παραγωγή του βιοαερίου σε ένα ΧΥΤΑ μπορεί να χρειαστεί από 80 έως 500 ημέρες, μέχρι να σταθεροποιηθεί, και στη συνέχεια ακολουθεί μια περίοδος διάρκειας 10 έως 20 χρόνων κατά την οποία η παραγωγή του βιοαερίου σταδιακά μειώνεται καθώς τα γρήγορα αποδομήσιμα υλικά έχουν ήδη αποδομηθεί. Μετα από αυτή την περίοδο οι εκπομπές του βιοαερίου θα μειώνονται για 100 χρόνια μέχρι να μηδενισθούν. Τότε το 99% του CH₄ θα έχει παραχθεί.

2.3 Η παραγωγή βιοαερίου σε ΧΥΤΑ-ΧΔΑ

Το βιοαέριο σχηματίζεται από τρεις διεργασίες: Τη μικροβιακή αποδόμηση των απορριμμάτων, την εξάτμιση των στραγγισμάτων από τα απορρίμματα και τις χημικές αντιδράσεις.

• Μικροβιακή αποδόμηση.

Το βιοαέριο παράγεται κυρίως μέσω της μικροβιακής αποδόμησης των απορριμμάτων, κατά την οποία το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων αποδομείται από αυτόχθονα βακτήρια που αναπτύσσονται στα απορρίμματα και στην κάλυψη τους. Τα βακτήρια αποδομούν τα οργανικά απορρίμματα σε πέντε φάσεις κατά τις οποίες η σύσταση του βιοαερίου αλλάζει.

• Εξάτμιση.

Ιχνοαέρια που περιέχονται στο βιοαέριο μπορούν να δημιουργηθούν από την μετατροπή υγρής ή στερεής μορφή σε ατμούς. Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως εξάτμιση. Οι μη μεθανογενείς οργανικές ενώσεις (NMOCs) που συναντώνται στο βιοαέριο, προέρχονται κυρίως από την εξάτμιση ορισμένων χημικών που περιέχονται στα απορρίμματα.

• Χημικές αντιδράσεις.

Επίσης ιχνοαέρια μπορούν να σχηματιστούν και μέσω των αντιδράσεων ορισμένων χημικών που υπάρχουν στα απορρίμματα.

2.3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του βιοαερίου

Ο ρυθμός του βιοαερίου που παράγεται από απορρίμματα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που έχουν σχέση με τα απορρίμματα και το περιβάλλον στο οποίο έχουν διατεθεί. Οι πιο βασικοί παράγοντες περιγράφονται παρακάτω:

- **Θερμοκρασία.** Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου. Η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται δραματικά σε θερμοκρασίες κάτω των 10°C. Με την καλυψη των απορριμμάτων διατηρείτε μια σταθερή θερμοκρασία, που μεγιστοποιεί την παραγωγή του βιοαερίου. Η μικροβιακή δραστηριότητα απελευθερώνει θερμότητα διμοιουργώντας θερμοκρασίες 25 – 45°C, αν και έχουν παρατηρηθεί και θερμοκρασίες της τάξεως των 70°C. Οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τους ρυθμούς εξάτμισης και χημικών αντιδράσεων. Με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 6°C οι εκπομπές των NMOCs διπλασιάζονται.

- **Υγρασία.** Η υγρασία στα απορρίμματα αυξάνει την παραγωγή του βιοαερίου καθώς βελτιώνει τις συνθήκες ανάπτυξης των μικροοργανισμών με αποτέλεσμα την ταχύτερη αποδόμηση των απορριμμάτων. Περιεχόμενο υγρασίας 40% του βάρους των απορριμμάτων ή υψηλότερο, προκαλεί τη μέγιστη παραγωγή βιοαερίου. Στην περίπτωση της υγρασίας η συμπίεση των απορριμμάτων επιβραδύνει την παραγωγή του βιοαερίου καθώς αυξάνεται η πυκνότητα των απορριμμάτων με αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού διήθησης του νερού στα απορρίμματα. Ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου είναι υψηλότερος εάν εισαχθεί νερό στα απορρίμματα λόγω διαπερατότητας ή θραύσης της κάλυψης.

Η υγρασία προκαλεί επίσης και επιτάχυνση των χημικών αντιδράσεων από τις οποίες παράγεται το βιοαέριο.

- **Η σύσταση των απορριμμάτων.** Η ποσότητα του οργανικού κλασματος των απορριμμάτων έχει άμεση σχέση με το ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται. Όσο μεγαλύτερο είναι το οργανικό κλάσμα τόσο περισσότερο βιοαέριο παραγεται μέσω της βακτηριακής αποδόμησης. Η σύσταση των οργανικών απορριμμάτων είναι πολύ σημαντική καθώς θρεπτικά όπως νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο βοηθούν στην ανάπτυξη των βακτηρίων που αποσυνθέτουν τα απορρίμματα. Με την ύπαρξη αυτών των θρεπτικών αυξάνεται η παραγωγή του βιοαερίου. Αντιθέτως ορισμένες ενώσεις που υπάρχουν σε κάποια απορρίμματα είναι τοξικές για τα βακτήρια, καταστρέφοντας ή εμποδίζοντας την ανάπτυξη τους, όπως η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων για τα

βακτήρια παραγωγής μεθανίου. Με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής του βιοαερίου. Η ποσότητα των NMOC που παράγεται από τα απορρίμματα εξαρτάται άμεσα από τα χημικά που έχουν αποτεθεί, καθώς όσο περισσότερα χημικά τόσο περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν να παραχθούν NMOC και άλλα αέρια μέσω της εξάτμισης ή των χημικών αντιδράσεων.

- **Η ηλικία των απορριμμάτων.** Τα απορρίμματα τα πρώτα 10 χρόνια από την ενταφιαση τους παράγουν την μεγαλύτερη ποσότητα βιοαερίου. Μετά από 20 χρόνια από την ταφή των απορριμμάτων το βιοαέριο που παράγεται είναι ελάχιστο αλλά συνεχίζεται η παραγωγή του ακόμα και 60 ή περισσότερα χρόνια.

- **Η παρουσία οξυγόνου μέσα στα απορρίμματα.** Η παραγωγή μεθανίου αρχίζει μόνο όταν εξαλειφθεί το οξυγόνο που βρίσκεται στα απορρίμματα. Η αερόβια αποδόμηση των απορριμμάτων στο Στάδιο I διαρκεί μέχρι την πλήρη κατανάλωση του οξυγόνου. Αν τα απορρίμματα δεν συμπιέζονται ή αναμοχλεύονται συχνά, κατακρατούν περισσότερο οξυγόνο, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της ζωής των αερόβιων μικροοργανισμών και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και νερού για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία της αναερόβιας ζύμωσης είναι το pH και η σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N).

2.4 Τα χαρακτηριστικά του βιοαερίου

Τα χαρακτηριστικά του βιοαερίου χωρίζονται στα φυσικά χαρακτηριστικά και στα χημικά χαρακτηριστικά.

2.4.1 Τα φυσικά χαρακτηριστικά βιοαερίου

Τα φυσικά χαρακτηριστικά είναι:

- Η θερμοκρασία
- Η υγρασία
- Η πυκνότητα
- Το ιξώδες
- Η θερμογόνος δύναμη

Η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του βιοαερίου ποικίλει ανάλογα με το βάθος, τη θέση και τη φάση της αποδόμησης.

Η υγρασία. Η υγρασίας στο βιοαέριο εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία και την πίεση. Τα απορρίμματα έχουν μέση υγρασία 25%, με τα ζυμώσιμα να έχουν το

μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας, περίπου 70%. Επιπλέον υγρασία μπορεί να προέρθει από τη διήθηση επιφανειακών υδάτων που προέρχεται κυρίως από βροχόπτωση, τη διήθηση υπόγειων υδάτων και από την αποδόμηση των απορριμμάτων.

Η πυκνότητα. Η πυκνότητα του βιοαερίου εξαρτάται από τα ποσοστά των αερίων που το απαρτίζουν. Ένα μίγμα 10% H_2 και 90% CO_2 , το οποίο δημιουργείται στην πρώτη φάση αποδόμησης των απορριμμάτων, είναι βαρύτερο από τον αέρα ενώ ένα μίγμα 60% CH_4 και 40% CO_2 , το οποίο συναντάται στη φάση της μεθανογένεσης, είναι ελαφρύτερο του αέρα. Η πυκνότητα ρ , έχει μονάδες kg / m^3 και μια συνήθεις τιμή είναι $1.07 kg/m^3$ ενώ η πυκνότητα του καθαρού μεθανίου είναι $0,714 kg/m^3$.

Το ιξώδες. Το ιξώδες αφορά τα ρευστά και είναι η ιδιότητα η οποία προκαλεί την αντίσταση στη ροή εξαιτίας της ύπαρξης εσωτερικής τριβής μέσα στο ρευστό. Η αντίσταση στη ροή εκφράζεται σαν συντελεστής δυναμικού ή απόλυτου ιξώδους και είναι η απαιτούμενη δύναμη για την κίνηση μιας μονάδας επιφάνειας κατά μια μονάδα μήκους. Το απόλυτο ιξώδες μ μετράται σε μονάδες $Newton \cdot sec / m^2$. Στους $0^\circ C$ και σε $1atm$ το ιξώδες για το βιοαέριο έχει τιμή $1,15 \cdot 10^5 Newton \cdot sec/m^2$ ενώ για το μεθάνιο είναι $1,04 \cdot 10^5 Newton \cdot sec/m^2$.

Η θερμογόνο δύναμη. Το βιοαέριο έχει θερμογόνο δύναμη της τάξεως των $500 Btu/cft$ κατά τη φάση της μεθανογένεσης και εξαρτάται άμεσα από τη σύσταση του ενώ το CH_4 έχει θερμογόνο δύναμη της τάξεως των $33.810 kJ / m^3$.

2.4.2 Τα χημικά χαρακτηριστικά του βιοαερίου

Τα χημικά χαρακτηριστικά για τα κυριότερα αέρια του βιοαερίου αναφέρονται παρακάτω:

Το μεθάνιο (CH_4). Το μεθάνιο είναι το βασικότερο συστατικό του βιοαερίου. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και άοσμο. Το βιοαέριο είναι εύφλεκτο λόγω της παρουσίας του CH_4 και σχηματίζει εκρηκτικά μίγματα στον αέρα όταν βρίσκεται σε συγκεντρώσεις από 5% έως 15%. Ακόμα προκαλεί ασφυξία όταν υπάρχει σε μεγάλες συγκεντρώσεις στον αέρα.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το δεύτερο βασικότερο αέριο του βιοαερίου. Είναι βαρύτερο από τον αέρα, άχρωμο και άοσμο.

Οι οργανικές ενώσεις πλην του μεθανίου (NMOC). Οι NMOC βρίσκονται στο βιοαέριο ως ιχνοαέρια, και παράγονται από φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα απορρίμματα. Οι NMOCs αποτελούν λιγότερο από το 1% του βιοαερίου κατά όγκο και αποτελούνται από δεκάδες ενώσεις. Σε δείγματα βιοαερίου στη Μεγάλη Βρετανία ανιχνεύθηκαν 116 διαφορετικά ίχνη οργανικών ενώσεων. Η συγκέντρωση ενός τυπικού συστατικού των NMOCs μπορεί να κυμαίνεται από τιμές κάτω από το όριο ανίχνευσης μέχρι και 1780 ppm. Η μέση συγκέντρωση των συνολικών NMOCs είναι περίπου 4000 ppm. Στον Πίνακα 2-1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατά βάρος σύσταση των βασικότερων NMOC του βιοαερίου.

Οι κυριότερες ενώσεις είναι:

- Διχλωρομεθάνιο
- Διχλωροαιθυλένιο
- Τριχλωροαιθυλένιο
- Τετραχλωροαιθυλένιο
- Ξυλόλια
- Τολουόλιο

Συστατικό	Συγκέντρωση
Διχλωρομεθάνιο	>1 mg/m ³
Διχλωροαιθυλένιο	12 mg/m ³
Τριχλωροαιθυλένιο	8 mg/m ³
Τετραχλωροαιθυλένιο	19 mg/m ³
Ξυλόλια	119 mg/m ³
Τολουόλιο	188 mg/m ³

Πίνακας 2-1: Κατά βάρος σύσταση των βασικότερων NMOC του βιοαερίου

Οι υδρατμοί. Το αέριο που παράγεται κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης των απορριμμάτων περιέχει υδρατμούς σε ποσοστό 4 έως 7% κ.ό. Οι θερμοκρασίες που επικρατούν μέσα στα απορρίμματα που έχουν αποθεθεί, κατά την φάση αποδόμησης τους, είναι συνήθως μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής με αποτέλεσμα την αύξηση της εξάτμισης του νερού μέσα στο βιοαέριο. Το ποσοστό υδρατμών στο βιοαέριο εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στα απορρίμματα.

2.5 Ποιοτική σύσταση του βιοαερίου

Το βιοαέριο αποτελείται από διάφορα συστατικά μερικά από τα οποία είναι τοξικά και επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον χώρο του ΧΥΤΑ αν βρεθούν σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Τα αέρια αυτά δεν έχουν σταθερή συγκέντρωση τα δέκα πρώτα χρόνια λειτουργίας του ΧΥΤΑ αλλά μεταβάλλονται ανα χρονικές περιόδους. Το μεγαλύτερο μέρος των αερίων που το αποτελούν δεν είναι άμεσα τοξικά και επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία αλλά δημιουργούν πολλά μακροπρόθεσμα προβλήματα στο περιβάλλον, όπως αυτό του φαινομένου του θερμοκηπίου το οποίο οφείλεται σε μεγάλο παράγοντα στα αέρια διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου που είναι κύρια συστατικά του βιοαερίου. Άλλα αέρια που είναι δυνατόν να βρίσκονται σε πολύ μικρότερες ποσότητες αλλά είναι άμεσα τοξικά και επικίνδυνα είναι το υδρόθειο και το μονοξείδιο του άνθρακα που συναντούνται σε πολλούς ΧΥΤΑ. Η επί της εκατό (%) σύσταση του βιοαερίου εξαρτάται από παράγοντες όπως η ποιότητα των απορριμμάτων, η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο Χ.Υ.Τ.Α., οι συνθήκες άντλησης, κλπ. Στον Πίνακα 2-2 που ακολουθεί παρουσιάζεται μια ενδεικτική σύσταση του βιοαερίου.

Συστατικά	περιεκτικότητα(%κ.ο.)
CH ₄	45-60
CO ₂	40-60
N ₂	2-5
O ₂	0,1-1
H ₂	0-0,2
CO	0,1-1
H ₂ S	0-0,1

Πίνακας 2-2: Ενδεικτική σύσταση βιοαερίου

Η παραπάνω τιμές μεταβάλλονται σε συνάρτηση με τον χρόνο, ανάλογα με το ρυθμό παραγωγής του βιοαερίου. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί, ότι η σύσταση αυτή αφορά βιοαέριο σε συνθήκες φυσικής και όχι εξαναγκασμένης ροής. Είναι λοιπόν αναμενόμενο ότι η σύσταση του αντλούμενου αερίου σε συνθήκες εξαναγκασμένης ροής θα είναι διαφορετική.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα αέρια του βιοαερίου.

Μεθάνιο (CH₄) Το μεθάνιο είναι κορεσμένος υδρογονάνθρακας με χημικό τύπο CH₄. Είναι ένα άχρωμο, άοσμο και πολύ ελαφρύ αέριο. Το μεθάνιο επιδρά σημαντικά στο κλίμα της γης αφού είναι ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου. Είναι το πρώτο μέλος της σειράς

των κορεσμένων υδρογονανθράκων και βρίσκεται στη φύση σε πηγές φυσικού αερίου, στα αέρια των πετρελαιοπηγών, ως συστατικό του παραγόμενου βιοαερίου σε ΧΥΤΑ κλπ.. Έχει πολλές εφαρμογές είτε ως καύσιμο, είτε ως πρώτη ύλη σύνθεσης άλλων οργανικών ενώσεων. Το μεθάνιο το οποίο εντοπίζεται στους ΧΥΤΑ παράγεται από βακτήρια, τα οποία δεν χρειάζονται το φως του Ήλιου ή το οξυγόνο για να επιβιώσουν, δηλαδή είναι αναερόβια βακτήρια, και τροφοδοτούνται από αντιδράσεις διοξειδίου του άνθρακα με υδρογόνο, αέρια τα οποία βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες μέσα στα απορρίμματα και από τις οποίες παράγεται μεθάνιο.

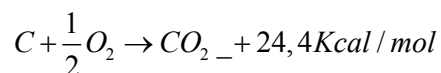
Το μεθάνιο όπως προαναφέρθηκε είναι ένα από τα αέρια που επιδρούν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ενώ την ίδια στιγμή οι μεγάλες ποσότητες που μπορεί να εκλύονται από ένα ΧΥΤΑ έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον και στην υγεία του ανθρώπου. Για αυτούς τους λόγους είναι απαραίτητη η κατανάλωση του. Αν έχουμε μεγάλης κλίμακας ΧΥΤΑ μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας αφού είναι μιας πρώτης τάξης καύσιμο με μεγάλη θερμογόνο δύναμη.

Το μεθάνιο παρατηρείται κατά το τρίτο στάδιο παραγωγής βιοαερίου την αναερόβια όξινη φάση κατά την οποία έχει εξαντληθεί όλο το οξυγόνο που περιέχετε στα απορρίμματα. Τα αέρια που παρατηρούνται σε αυτό το στάδιο όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο είναι απαραίτητα για την επιβίωση των βακτηρίων που παράγουν μεθάνιο. Κατά το τρίτο στάδιο παρατηρούμε μια γραμμική αύξηση της συγκέντρωσης του μεθανίου έως την τιμή 50-55% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου. Κατά το στάδιο αυτό παρατηρούμε μείωση των αερίων που τροφοδοτούν τα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο. Συγκεκριμένα παρατηρούμε μια γραμμική μείωση του υδρογόνου μέχρι η συγκέντρωση του να ελαχιστοποιηθεί και γραμμική μείωση του διοξειδίου του άνθρακα η οποία σταματάει σε συγκέντρωση περίπου 45-50% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου από 70% που ήταν πριν. Το μεθάνιο παραμένει στην σταθερή συγκέντρωση 50-55% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου μέχρι και το τέλος του τετάρτου σταδίου αν και έχουμε την παρουσία υδρογόνου αλλά έχουμε σταθερή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και έχουμε την παρουσία οξικού οξέως το οποίο υφίσταται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Κατά το πέμπτο στάδιο, αυτό της ωρίμανση παρατηρούμε μια σταθερή και σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων του μεθανίου η οποία είναι ανάλογη του χρόνου καθώς το μεθάνιο οξειδώνεται από τους μεθανοτροφικούς μικροοργανισμούς που τροφοδοτούνται από το οξυγόνο που εμφανίζεται στο πέμπτο στάδιο.

Διοξείδιο του άνθρακα(CO₂) Το διοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο και μη δηλητηριώδες. Βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες στον ατμοσφαιρικό αέρα της τάξης του 0,0315% κ.ο.. Το διοξείδιο του άνθρακα αν και όχι άμεσα τοξικό αποτελεί έναν σημαντικό ρύπο λόγω των μακροπρόθεσμων αποτελεσμάτων του, αφού εξαιτίας της απορρόφησης του στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα οδηγεί σε επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας διαταράσσοντας το κλίμα της γης.

Το διοξείδιο του άνθρακα παρατηρείτε στις πολύ μικρές συγκεντρώσεις κατά σχεδόν όλη την αερόβια φάση καθώς το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα που βρίσκετε στην ατμόσφαιρα εγκλωβίστηκε στα απορρίμματα από την κάλυψη. Στο τέλος της, όπου και έχουμε την εξάντληση όλου του οξυγόνου, έχουμε μια μικρή αύξηση του CO₂, η οποία κατά το δεύτερο στάδιο της μεταβατικής φάσης καταλήγει σε μια γραμμική αύξηση μεγάλης κλίσης αφού με την δημιουργία ανοξικών συνθηκών οι διάφοροι μικροοργανισμοί που υπάρχουν μετατρέπουν την οργανική ύλη κυρίως σε CO₂, H₂ και πτητικά στερεά. Κατά την αναερόβια όξινη φάση έχουμε και τη μέγιστη συγκέντρωση του CO₂, περίπου 70% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου, η οποία εμφανίζεται με την μορφή κοίλης καμπύλης μικρής κλίσης και οφείλετε στην ζύμωση διαφόρων προϊόντων μικρού μοριακού βάρους όπως μονοσακχαρίτες, αμινοξέα κ.λ.π. η οποία έχει σαν παράγωγο το διοξείδιο του άνθρακα. Κατά το μέσο του ίδιου σταδίου έχουμε μια γραμμική μείωση του διοξειδίου του άνθρακα με μέτρια κλίση η οποία οφείλεται στην κατανάλωση του από διάφορα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο μέχρις ότου η συγκέντρωση του φτάσει σε συγκέντρωση 45-50% της συνολικής συγκέντρωσης του βιοαερίου όπου και σταθεροποιείτε σε αυτήν τιμή λόγω της οξεογένεσης που λαμβάνει χώρα στα απορρίμματα και έχει σαν κύριο παραγόμενο αέριο το διοξείδιο του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα παραμένει σταθερό σε αυτήν την τιμή όλο το τέταρτο στάδιο, το στάδιο της μεθανιογένεσης αφού το υπάρχον οξικό οξύ ή και τα (CO₂ και H₂) υφίστανται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Κατά το πέμπτο στάδιο, αυτό της ωρίμανση παρατηρούμε μια σταθερή και σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα η οποία είναι ανάλογη του χρόνου.

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο που παράγεται από την ατελή καύση του άνθρακα σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:



Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται φυσικά από την αποσύνθεση της χλωροφύλλης, τις πυρκαγιές στα δάση, την φωτόλυση του μεθανίου και από την μικροβιακή δράση. Οι ανθρωπογενείς πηγές του μονοξειδίου του άνθρακα είναι τα μέσα μεταφοράς, η απόθεση στερεών αποβλήτων, η παραγωγή σιδήρου κλπ.

Αφού ένας ΧΥΤΑ είναι χώρος απόθεσης στέρεων αποβλήτων είναι δυνατόν να έχουμε και αποσύνθεση χλωροφύλλης και φωτόλυση του μεθανίου, αλλά και πυρκαγιές, όταν δεν έχουμε σωστή διάθεση απορριμμάτων. Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε αυξημένες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα.

Οξυγόνο (O₂). Το οξυγόνο όπως και το άζωτο αν και δεν είναι παράγωγο των διεργασιών δημιουργίας του βιοαερίου από τα απορρίμματα, βρίσκεται μέσα σε αυτό, λόγω του εγκλωβισμού του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στα απορρίμματα κατά το στάδιο της επικάλυψής τους.

Το οξυγόνο αποτελεί το δεύτερο κυριότερο χαρακτηριστικό του ατμοσφαιρικού αέρα και βρίσκεται σε συγκέντρωση 20,94% κατ' όγκο. Είναι απαραίτητο συστατικό για την επιβίωση σχεδόν όλων των ζωντανών οργανισμών. Το οξυγόνο σχηματίζει ενώσεις με όλα τα χημικά στοιχεία εκτός από τα ευγενή αέρια He, Ne και Ar, ενώ με τα πιο πολλά αντιδρά απευθείας. Κατά το πρώτο στάδιο της αρχικής προσαρμογής το οξυγόνο βρίσκεται σε σταθερή συγκέντρωση μέσα στο βιοαέριο με αναλογία 20,94% δηλαδή είναι το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα το οποίο έχει εγκλωβιστεί μέσα στα απορρίμματα. Το οξυγόνο αυτό καταναλώνεται περίπου όλο κατά το πρώτο στάδιο με περίπου λογαριθμικό ρυθμό καθώς είναι το 'καύσιμο' των διαφόρων αερόβιων μικροοργανισμών για την βιολογική αερόβια αποδόμηση των απορριμμάτων. Αφού οι μικροοργανισμοί αυτοί καταναλώσουν όλο το υπάρχον οξυγόνο κατόπιν αρχίζουν να πεθαίνουν από ασφυξία, λόγω έλλειψής του, οπότε και αρχίζει και το δεύτερο στάδιο της μεταβατικής φάσης. Το οξυγόνο εμφανίζεται πάλι στο πέμπτο στάδιο όπου και αυξάνεται μέχρι το τέλος του πέμπτου σταδίου φτάνοντας σε συγκέντρωση 20,94% στο τέλος αυτού του σταδίου.

Άζωτο (N_2). Το άζωτο αν και δεν είναι παράγωγο των διεργασιών δημιουργίας του βιοαερίου από τα απορρίμματα, βρίσκεται μέσα σε αυτό, σε μεγάλη συγκέντρωση λόγω του εγκλωβισμού του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στα απορρίμματα κατά το στάδιο της επικάλυψής τους.

Το άζωτο αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό του ατμοσφαιρικού αέρα και είναι το αέριο που έχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε αυτόν, περίπου 78% κατ' όγκο. Κατά το πρώτο στάδιο της αρχικής προσαρμογής το άζωτο βρίσκεται σε σταθερή συγκέντρωση μέσα στο βιοαέριο με αναλογία 78% δηλαδή είναι το άζωτο του ατμοσφαιρικού αέρα το οποίο έχει εγκλωβισθεί μέσα στα απορρίμματα. Κατά το δεύτερο στάδιο, το στάδιο της μεταβατικής φάσης το άζωτο που υπάρχει στο παραγόμενο βιοαέριο των απορριμμάτων αρχίζει να μειώνετε γραμμικά λόγω της αναερόβιας διεργασίας που λαμβάνει χώρα στα απορρίμματα και λόγω εξόδου του στον ατμοσφαιρικό αέρα μαζί με το βιοαέριο από τους πόρους του υλικού επικάλυψης. Κατά το τρίτο στάδιο έχουμε συνέχιση της μείωσης, τώρα όμως λογαριθμικά έως ότου φτάσει σε μηδενική συγκέντρωση. Το άζωτο εμφανίζεται πάλι στο τέλος του τετάρτου σταδίου όπου και αυξάνεται με κορύφωση 78% στο τέλος του πέμπτου σταδίου.

Υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο είναι τοξικό αέριο με χαρακτηριστική μυρωδιά. Παρά την μεγάλη τοξικότητα του, η πολύ μικρή συγκέντρωσή του στον ατμοσφαιρικό αέρα, της τάξης 0.05 ppb, δεν θέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία παρά μόνο σε ορισμένους κλειστούς χώρους που μπορεί να έχουμε μεγάλη συγκέντρωσή του. Το υδρόθειο σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για την υποβάθμιση του χώρου λόγω δυσοσμίας και την δημιουργία κίνδυνου πρόκλησης προβλημάτων υγείας στον άνθρωπο.

Η παρουσία υδρόθειου σε ΧΥΤΑ είναι πολύ πιθανή αφού μια φυσική πηγή παραγωγής του είναι η αποσύνθεση του οργανικού υλικού, η οποία λαμβάνει χώρα σε μεγάλη κλίμακα μέσα σε ένα ΧΥΤΑ. Εάν υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση υδρόθειου τότε ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης είναι η οξειδωσή του σε SO_2 .

Υδρογόνο (H_2). Το υδρογόνο (H_2) είναι ένα άγευστο, άχρωμο, και άοσμο αέριο. Είναι άφθονο στοιχείο στο περιβάλλον. Το υδρογόνο βρίσκεται σε μικρή συγκέντρωση στον ατμοσφαιρικό αέρα περίπου 0,05% κατ' όγκο, για αυτόν τον λόγο κατά το πρώτο στάδιο αποδόμησης των στερεών απορριμμάτων βρίσκεται σε αυτήν την πολύ μικρή συγκέντρωση. Κατά το δεύτερο στάδιο έχουμε μια περίπου λογαριθμική αύξηση της συγκέντρωσης του υδρογόνου, η οποία φτάνει περίπου στο 17% στο τέλος του δεύτερου σταδίου. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην δράση των αναερόβιων μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στην

φάση αυτή, οι οποίοι χρησιμοποιούν την οργανική ύλη που περιέχεται στα απορρίμματα ως υλικό θρέψης και από την διάσπαση της έχουμε την παραγωγή υδρογόνου (H_2). Το παραχθέν υδρογόνο της πρώτης φάσης αρχίζει να μειώνετε γραμμικά κατά την Τρίτη φάση αποδόμησης έως ότου μηδενιστεί η συγκέντρωσή του μέσα στο βιοαέριο. Η μείωση αυτή οφείλεται στη φάση της μεθανιογένεσης που λαμβάνει χώρα κατά το τρίτο στάδιο όπου κατά την φάση αυτή το υδρογόνο υφίσταται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

2.6 Η κίνηση βιοαερίου

2.6.1 Γενικά

Μόλις τα αέρια που συνθέτουν το βιοαέριο παραχθούν μέσα σε ένα ΧΥΤΑ, τείνουν να μετακινηθούν μακριά από αυτόν. Γεμίζουν τα διαθέσιμα κενά, και έτσι κινούνται διαμέσου των περιορισμένων κενών, μέσα στα απορρίμματα και στο έδαφος που σκεπάζει τον ΧΥΤΑ.

Οι εκπομπές αέριων ρύπων είναι συνάρτηση των μηχανισμών μεταφοράς βιοαερίου (μοριακή διάχυση, συμμεταφορά). Η πίεση και η συγκέντρωση του παραγόμενου βιοαερίου που ποικίλουν χωρικά και χρονικά κατά την ενεργή ζωή της χωματερής. Ευθύνονται επίσης και για την λειτουργία των μηχανισμών συμμεταφοράς και μοριακής διάχυσης στο εσωτερικό της χωματερής. Η μοριακή διάχυση και η συμμεταφορά εξαρτώνται κυρίως από το ρυθμό παραγωγής ή καταστροφής του βιοαερίου μέσω χημικών αντιδράσεων ή βιολογικής δραστηριότητας, την απόδοση άντλησης βιοαερίου από το χώρο διάθεσης, την διαπερατότητα των απορριμμάτων, την εσωτερική θερμοκρασία της χωματερής, την υγρασία, τον γειτονικό γεωλογικό σχηματισμό, τις θερμοδυναμικές ιδιότητες βιοαερίου (διαλυτότητα, τάση ατμών, πυκνότητα, ιξώδες κ.λ.π.).

Η μεθανότροφική ζώνη οξείδωσης έχει πίεση ίση με την ατμοσφαιρική πίεση, έτσι στη μεταβατική ζώνη από μεθανογενή σε μεθανότροφική, οι διαφορές πίεσης είναι αυξημένες με αποτέλεσμα να παρατηρείται έντονη κατακόρυφη διάχυση προς την κατάντη πίεση. Σημειώνεται ότι οι βαθμίδες συγκέντρωσης αποτελούν τη δρώσα δύναμη του μηχανισμού μοριακής διάχυσης. Τέλος η παραγωγή θερμότητας επίσης επηρεάζει τη μεταφορά αέριων συστατικών του βιοαερίου εξαιτίας της επίδρασής του στις θερμοδυναμικές ιδιότητες του ρευστού. Το αέριο ακολουθώντας το μονοπάτι της ελάχιστης παρεμπόδισης κινείται είτε κατακόρυφα προς την ατμόσφαιρα είτε πέρα από τα σύνορα της χωματερής σε γειτονικό

υπέδαφος με τελική έκλυσή του στην ατμόσφαιρα. Έχουν παρατηρηθεί υψηλές συγκεντρώσεις CH_4 αλλά και CO_2 στο έδαφος, σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 100m από τα όρια των ΧΥΤΑ.

Στην περίπτωση που η κίνηση δεν γίνεται παθητικά, η μεταφορά των αερίων δεν ελέγχεται από αντλίες συλλογής αλλά τα αέρια διέρχονται μέσα από υλικό με μεγάλη περατότητα, αλλά ενεργά με σύστημα άντλησης, παρατηρούνται σημαντικές βαθμίδες πίεσης που οδηγούν στη συμμεταφορά συστατικού βιοαερίου κατάντη δηλαδή από υψηλότερες μερικές πιέσεις σε χαμηλότερες μερικές πιέσεις στο χώρο ταφής απορριμμάτων.

2.6.2 Παράγοντες κίνησης του βιοαερίου

Διάχυση: Η διάχυση περιγράφει την φυσική τάση ενός αερίου να φτάσει σε μια ομοιόμορφη συγκέντρωση σε ένα χώρο. Τα αέρια σε ΧΥΤΑ κινούνται από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλότερης συγκέντρωσης. Επειδή οι συγκεντρώσεις των αερίων μέσα στο ΧΥΤΑ είναι μεγαλύτερες από αυτές έξω από αυτόν, τα αέρια διαχέονται έξω από τον ΧΥΤΑ σε όπου υπάρχουν μικρότερες συγκεντρώσεις.

Συμμεταφορά: Η συσσώρευση αερίων μέσα στο ΧΥΤΑ δημιουργεί περιοχές υψηλής πίεσης στις οποίες η κίνηση των αερίων περιορίζεται από τα συμπιεσμένα απορρίμματα και τα καλύμματα εδάφους. Η διακύμανση της πίεσης προκαλεί την κίνηση των αερίων από τις περιοχές με την υψηλή πίεση προς τις περιοχές με τη χαμηλότερη πίεση. Η κίνηση των αερίων από περιοχές υψηλής πίεσης σε περιοχές χαμηλής πίεσης είναι γνωστή ως συμμεταφορά. Όσο παράγονται περισσότερα αέρια, η πίεση μέσα στον ΧΥΤΑ αυξάνεται, συνήθως με αποτέλεσμα οι πιέσεις μέσα στον ΧΥΤΑ να είναι μεγαλύτερες από την ατμοσφαιρική πίεση. Τότε τα αέρια κινούνται προς τον περιβάλλοντα αέρα ή τον αέρα εσωτερικά όπου η πίεση είναι μικρότερη.

Διαπερατότητα: Τα αέρια κινούνται από το οδούς μικρότερης αντίστασης. Η διαπερατότητα είναι ένα μέτρο που συμβολίζει το πόσο εύκολα τα αέρια ή τα υγρά ρέουν διαμέσου συνεχόμενων κενών ή πόρων στα απορρίμματα ή από έδαφος. Ξηρά, αμμώδη εδάφη είναι πολύ διαπερατά ενώ οι υγροί άργιλοι τείνουν να είναι λιγότερο διαπερατοί. Τα αέρια τείνουν να κινούνται διαμέσου περιοχών υψηλής διαπερατότητας (άμμος ή χαλίκι) παρά από περιοχές με χαμηλή διαπερατότητα (άργιλος). Η τελική κάλυψη των ΧΥΤΑ συνήθως φτιάχνονται από εδάφη χαμηλής διαπερατότητας όπως άργιλος. Τα αέρια σε ένα

ΧΥΤΑ με τελική κάλυψη τείνουν να κινούνται οριζόντια παρά κάθετα.

2.7 Εκπομπές βιοαερίου στην ατμόσφαιρα

2.7.1 Επιπτώσεις από τις ανεξέλεγκτες εκπομπές του βιοαερίου

Η εκπομπή αερίων στην ατμόσφαιρα από τους ΧΥΤΑ και τους ΧΔΑ έχει επιδράση σε πολλά επίπεδα με αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον.

Η προστασία του περιβάλλοντος επιβάλλει την αντιμετώπιση του προβλήματος της ανεξέλεγκτης διαφυγής του βιοαερίου, για την αποφυγή σοβαρών παρενεργειών και κινδύνων που περιγράφονται παρακάτω:

- Μερικά από τα συστατικά της βιοαποδόμησης, όπως το υδρόθειο (H_2S) και οι μερκαπτάνες (RSH), δημιουργούν σοβαρότατα προβλήματα δυσοσμίας στις περιοχές που βρίσκονται κοντά σε χωματερές. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σημαντικά προβλήματα αισθητικής του χώρου.
- Το βιοαέριο από μόνο του δεν είναι εκρηκτικό αέριο. Είναι όμως υψηλά εκρηκτικό και μπορεί να αποτελέσει πηγή αναφλέξεων και εκρήξεων όταν βρεθεί σε αναλογία 5-15% στον αέρα.
- Έχει δυσμενείς επιπτώσεις στη φυσιολογία των Χ.Υ.Τ.Α.-Χ.Δ.Α. και ιδιαίτερα κατά τη φάση της ανάπλασής του, λόγω της ασφυξίας την οποία υφίστανται τα φυτά από την είσοδο του βιοαερίου στις ρίζες τους και την αφαίρεση του οξυγόνου από αυτές.
- Εγκυμονεί κινδύνους ανεξέλεγκτης ρύπανσης λόγω διαρροών σε υπόγεια ρήγματα, με κινδύνους σε γειτονικές περιοχές. Η μετανάστευση του βιοαερίου αποτελεί σημαντικό κίνδυνο και επηρεάζεται από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, το κλίμα και τις εδαφικές συνθήκες, ενώ η απόσταση που μπορεί να μεταναστεύσει δίνεται από τη σχέση $D = 10 \cdot H$, όπου:

D: απόσταση μετανάστευσης κατώτερου ορίου εκρηκτικότητας

H: βάθος απορριμμάτων κάτω από τη γη και πάνω από ορίζοντα νερού.

Οι αέριες εκπομπές εκτός από την μεγάλη χωρική έκταση έχουν και μεγάλη χρονική έκταση. Οι εκπομπές από την ταφή των απορριμμάτων μπορούν να διαρκέσουν από 10 έως και 60 χρόνια. Οι εκπομπές από την ταφή των απορριμμάτων σε σύγκριση με άλλες διεργασίες διαχείρισης διαρκούν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ακόμα τα εκπεμπόμενα αέρια έχουν διαφορετικές διάρκειες ζωής και επιδράσεων. Οι οσμές και η σκόνη είναι

φαινόμενα μικρής διάρκειας, ενώ ορισμένα από τα ανθρωπογενή ιχνοαέρια του βιοαερίου συσσωρεύονται στους οργανισμούς και στα φυσικά οικοσυστήματα για μεγάλες χρονικές περιόδους. Ακόμα το μεθάνιο είναι από τα σημαντικότερα αέρια που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, μπορεί να αναφλεγεί και να προκαλέσει εκρήξεις.

2.7.1.1 Συνέπειες εκπομπής των σημαντικότερων αέριων του βιοαερίου

Μεθάνιο (CH_4). Το μεθάνιο δεν είναι τοξικό στα φυτά ή στους οργανισμούς. Όμως μειώνει την συγκέντρωση του οξυγόνου στα εδάφη καθώς έχουμε αντίδραση οξείδωσης του μεθανίου με αποτέλεσμα την αύξηση του CO_2 και της θερμοκρασίας του εδάφους. Με την έλλειψη οξυγόνου προκαλείται θάνατος των φυτών από ασφυξία καθώς οι ρίζες των φυτών δε προσλαμβάνουν αρκετό οξυγόνο για την ανάπτυξη τους.

Ο άμεσος κίνδυνος από το μεθάνιο είναι η πρόκληση πυρκαγιών και εκρήξεων. Το εύρος αναφλεξιμότητας του μεθανίου στον αέρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση είναι από 5 έως 15%. Η συγκέντρωση ασφαλείας για κλειστούς χώρους και περιβάλλοντα εργασίας είναι 1% στον αέρα. Τα εύφλεκτα μίγματα γίνονται εκρηκτικά όταν περιέχονται σε ένα πολύ μικρό όγκο και υπάρχει και μια πηγή φλόγας. Όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου πέσει κάτω από το 12.8% δεν μπορούν τα μείγματα να αναφλεγούν.

Ο έμεσος κίνδυνος προέρχεται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου αφού το μεθάνιο είναι από τα σημαντικότερα αέρια που οξείνουν το φαινόμενο. Η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με τα υπόλοιπα αέρια της ατμόσφαιρας όμως το υψηλό δυναμικό απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας καθιστά τη συνεισφορά του στην παγκόσμια θέρμανση της ατμόσφαιρας αξιόλογη. Καθώς σε μια περίοδο 100 χρόνων έχει 21 έως 23 φορές μεγαλύτερη κλιματική επίπτωση μιας ίσης μάζας διοξειδίου του άνθρακα.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών και αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη φωτοσύνθεση. Όταν βρίσκεται σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στα εδάφη προκαλεί ασφυξία στους μικροοργανισμούς, καθώς παίρνει τη θέση του O_2 , ή μπορεί να γίνει τοξικό για τις ρίζες των φυτών. Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του στα εδάφη είναι από 0.04 έως 2% κ.ο. Αυξημένες συγκεντρώσεις CO_2 στο εδαφος συναντάμε στην εδαφική κάλυψη των απορριμμάτων. Έμμεση επίδραση του CO_2 είναι η πτώση του pH του εδάφους με

επακόλουθες αλλαγές στη σύστασή του βιοαερίου. Το CO₂ δεν επιρεάζει την ανάπτυξη των φυτών μέχρι συγκεντρώσεις της τάξεως του 5% κ.ο.

Το CO₂ στην ατμόσφαιρα έχει συγκεντρώση περίπου 250 – 350ppm. Μπορεί να γίνει τοξικό για τον άνθρωπο καθώς παίρνει τη θέση του O₂ στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Συγκεκριμένα όταν η συγκεντρώσή του φτάσει στο 3% δυσκολεύει την αναπνοή και προκαλεί πονοκεφάλους, ενώ όταν φτάσει και ξεπεράσει το 5% μπορεί να οδηγήσει και στο θάνατο.

Υδρόθειο (H₂S) και οργανοθειϊκές ενώσεις. Οι οργανοθειϊκές ενώσεις, όπως οι μερκαπτάνες, ευθύνονται για την οσμή του βιοαερίου αλλά επίσης επηρεάζουν και το νευρικό σύστημα των ζωντανών οργανισμών. Η οσμή του βιοαερίου δημιουργείται συνήθως από την αποδόμηση των πρωτεϊνών, οι οποίες αποτελούν περίπου το 6% των τροφικών υπολειμμάτων. Αρχικά τα απορρίμματα όταν διατεθούν έχουν υψηλή συγκεντρώση οργανοθειικών ενώσεων όμως μετά την κατανάλωση του γρήγορα αποδομήσιμου κλάσματος οι συγκεντρώσεις τους στο βιοαέριο μειώνονται σημαντικά και φτάνουν περίπου στα 3ppm.

Το υδρόθειο είναι πολύ τοξικό και επιδρά αρνητικά στο νευρικό σύστημα. Έχει έντονη οσμή και είναι εύφλεκτο. Το όριο ανίχνευσης οσμών είναι από 5 – 40ppm. Πάνω από τα 50ppm παραλύει το σύστημα της όσφρησης, πάνω από 400ppm επηρεάζει το νευρικό σύστημα και πάνω από τα 700ppm μπορεί να προκαλέσει το θάνατο λόγω αναπνευστικής ανεπάρκειας.

Οι οργανοθειϊκές ενώσεις και το υδρόθειο μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση. Όταν H₂S έρθει σε επαφή με νερό σχηματίζεται H₂SO₄, το οποίο είναι διαβρωτικό και αποτελεί κίνδυνο των εγκαταστάσεων ανάκτησης του βιοαερίου καθώς μπορεί να τις καταστρέψει. Ακόμα μπορεί προκαλεί αυξημένες εκπομπές SO₂ κατά την καύση του βιοαερίου. Το υδρόθειο μπορεί να αφαιρεθεί από το βιοαέριο με βιόφιλτρα, καταλυτική προσρόφηση, χημική οξείδωση ή οξειδωτική πλύση.

Οργανικά συστατικά εκτός μεθανίου (NMOCs). Τα οργανικά συστατικά εκτός μεθανίου αποτελούνται από πτητικές οργανικές ενώσεις, **VOCs**, κατά 39 %κ.ο. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις που εκπέμπονται από το έδαφος αντιδρούν με το ηλιακό φως παραγωγώντας όζον στην επιφάνεια του εδάφους (ground – level ozon). Οι VOCs που υπάρχουν στο βιοαέριο είναι δύσκολο να μετρηθούν χωριστά, για αυτό χρησιμοποιούνται οι NMOCs σαν υποκατάστατο.

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί για τις πτητικές οργανικές ενώσεις. Ο De Nevers όρισε τα VOCs ως οργανικά υγρά ή στερεά που έχουν τάση ατμών μεγαλύτερη από 0,0007atm (0,532 mmHg) και σημείο βρασμού λιγότερο από 260°C. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας (WHO) όρισε ως VOCs κάθε οργανική ένωση που έχει τάση ατμών μεγαλύτερη από 0,0013atm σε σταθερή θερμοκρασία και πίεση. Η EPA όρισε ως VOCs “Κάθε ένωση του άνθρακα, εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα, το ανθρακικό οξύ, τα μεταλλικά καρβίδια, τα ανθρακικά άλατα και το ανθρακικό αμμώνιο, που συμμετέχουν στις ατμοσφαιρικές φωτοχημικές αντιδράσεις. Στις οργανικές ενώσεις περιλαμβάνονται οι περισσότεροι επικίνδυνοι αέριοι ρύποι (HAPs).

Οι VOCs που εκπέμπονται από απορριμμάτα αποτελούν λιγότερο από το 1% κ.ο. του βιοαερίου. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις περιλαμβάνουν υδρογονάνθρακες, ολεφίνες, αρωματικά, και μόρια με αλογόνα, θείο, άζωτο, οξυγόνο. Πολλές από αυτές είναι τοξικές ενώ προκαλούν και δυσάρεστες οσμές. Οι VOCs προκαλούν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία με το σχηματισμό όζοντος και επικίνδυνων αεροζόλ. Οι VOCs επιδρούν στην ανθρώπινη υγεία και προκαλούν, ανάλογα με τη δόση και τον τρόπο έκθεσης, από απλές ενόχλησεις μέχρι σοβαρούς κινδύνους και θάνατο. Οι VOCs απορροφούνται στους πνεύμονες και στο γαστρεντερικό σύστημα, ενώ διαλύονται στους λιπώδεις ιστούς και βιοσυσσωρεύονται σε αυτούς.

Η εκπομπή των VOCs στην ατμόσφαιρα μειώνει την ποιότητα του αέρα. Οι VOCs συμβάλουν στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους και της όξινης εναπόθεσης.. Οι φωτοχημικοί ρύποι δημιουργούνται όταν οι VOCs αντιδρούν με οξείδια του αζώτου, NOx, παρουσία ακτινοβολίας UV. Τέτοιοι ρύποι είναι οι αλδεΐδες, το υπεροξείδιο του υδρογόνου, το όζον, τα οργανικά και ανόργανα οξέα καθώς και σωματίδια και PAN. Το όζον θεωρείται ρύπος μεγαλύτερης βαρύτητας καθώς έχει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα και περισσότερες επιπτώσεις στην αλλαγή του περιβάλλοντος, στην υγεία των ζωντανών οργανισμών και στην ανάπτυξη των φυτών. Ενώ τέτοιου είδους αντιδράσεις είναι κατά πλειοψηφία ασταθείς και πολύ ενεργές.

2.7.2 Ατμοσφαιρικό μεθάνιο και ο ρόλος του στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου

Το μεθάνιο είναι ένα άφθονο οργανικό αέριο στην ατμόσφαιρα. Η μοριακή αναλογία ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου είναι περίπου 27 προς το παρόν, αυτή η αναλογία θα μειωθεί σε 7,5 σε 100 έτη σύμφωνα με πρόσφατη αξιολόγηση. Αν και η τρέχουσα συγκέντρωση του μεθανίου είναι πολύ χαμηλότερη από τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, το μεθάνιο απορροφά την εδαφική ακτινοβολία στην περιοχή 4-100nm (υπέρυθρη ακτινοβολία) αποτελεσματικότερα από διοξείδιο του άνθρακα, και επανεκπέμπει την απορροφημένη ακτινοβολία ενέργεια προκαλώντας την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επομένως, το μεθάνιο υπολογίζεται ότι συμβάλει περίπου 26 φορές περισσότερο του διοξειδίου του άνθρακα (mole για mole) στην αλλαγή κλίματος. Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, το μεθάνιο έχει αποτελέσει 15-25% της θερμικής παγίδευσης ενώ το διοξείδιο του άνθρακα έχει συμβάλει 60%. Η μείωση των εκπομπών μεθανίου θα ήταν 20 έως 60 φορές αποτελεσματικότερη στη μείωση της πιθανής θέρμανση της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα εάν ήταν ισοδύναμες με μοριακές μειώσεις των εκπομπών με του CO₂.

Από την τελευταία σημαντική περίοδος των παγετώνων (περίπου 18.000 έτη πριν), η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί από 0,35 σε 1,7 ppm. Τα τελευταία 300 χρόνια, η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου έχει αυξηθεί από 0,75 σε 1,7ppm και συνεχίζει να αυξάνεται κατά 0,8-1,0% ετησίως μέχρι σήμερα, ενώ μικρές μειώσεις στο ρυθμό αύξησης ατμοσφαιρικού μεθανίου έχουν αναφερθεί. Είναι υπολογισμένο ότι η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου θα φτάσει στο 2,1 έως 4,0 ppm μέχρι το έτος 2050. Ο Steele et al, έχει αναφέρει ότι έχει υπάρξει μια ουσιαστική επιβράδυνση στον παγκόσμιο ρυθμό συσσώρευσης στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη (30 έως 90°N) μεταξύ 1983 και 1990.

Έχει προβλεφθεί ότι οι αυξήσεις στην παραγωγή μεθανίου στην ατμόσφαιρα θα μειώσουν τις ριζικές συγκεντρώσεις OH με συνέπεια να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Η οξειδωση του μεθανίου οδηγεί στην απώλεια 0,22mol ρίζας OH ανά mol μεθανίου που καταστρέφεται στην ατμόσφαιρα. Η διάρκεια ζωής του μεθανίου στην ατμόσφαιρα μπορεί να αυξηθεί κατά τουλάχιστον 20% μέχρι το έτος 2050 ως αποτέλεσμα των μειώσεων στη συγκέντρωση των ριζών OH εάν οι εκπομπές μεθανίου

συνεχίζονται στους τρέχοντες ρυθμούς. Αφ' ετέρου, οι μειώσεις στο ρυθμό εκπομπών μεθανίου μπορεί να επιταχύνουν τα αποτελέσματα στα ατμοσφαιρικά ποσοστά οξείδωσης για αυτήν την ένωση λόγω των αυξήσεων των συγκεντρώσεων των ριζών OH. Περίπου 1,15mol όζοντος και 0,82mol του CO παράγονται ανά mol μεθανίου που οξειδώνεται και επίσης η οξείδωση μεθανίου είναι μια σημαντική πηγή ατμοσφαιρικού ύδατος.

2.7.2.1 Πηγές και δεξαμενές του ατμοσφαιρικού μεθανίου

Οι συνολικές πηγές ατμοσφαιρικού μεθανίου έχουν υπολογιστεί σε 520 Tg το έτος. Η διάρκεια ζωής αυτού του αέριου στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 8 έως 12 έτη. Ένα ποσό ίσο με περίπου το 90% των ετήσιων εκπομπών, 450 Tg το έτος, είναι οξειδωμένο μέσω των φωτοχημικών αντιδράσεων που ξεκινά από τις ρίζες OH στην τροπόσφαιρα. Έναν μικρό αλλά σημαντικό ποσό, περίπου 10 Tg το έτος χάνεται από μικροβιολογική οξείδωση στο χώμα. Η ετήσια αύξηση στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις μεθανίου υπολογίζεται σε 40 Tg το έτος. Μια μείωση 10% των εκπομπών μεθανίου μπορεί να σταθεροποιήσει την τρέχουσα συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα. Επομένως, είναι σημαντικό να καθοριστούν οι πηγές και οι δεξαμενές του ατμοσφαιρικού μεθανίου για να καθοριστούν ποιά βήματα έχουν πρακτική αξία για τη μείωση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου που προκαλείται από αυτό το αέριο.

Οι αυξήσεις στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις μεθανίου για τα τελευταία 300 έτη θεωρείται ότι προήλθαν κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (γεωργικές και βιομηχανικές εκπομπές), εκτιμώντας ότι οι προβιομηχανικές πηγές μεθανίου ήταν αρχικά φυσικές με βασικές από τους υγρότοπους με δευτερεύουσες συνεισφορές από μηρυκαστικά, πυρκαγιές, ωκεανούς και έντομα. Αν και η συνολική ετήσια παραγωγή μεθανίου στην ατμόσφαιρα και του ρυθμού οξείδωσης στην ατμόσφαιρα μπορεί να υπολογιστεί με λογική ακρίβεια, υπάρχουν όμως σημαντικές αβεβαιότητες στις μετρήσεις των εκπομπών από τις μεμονωμένες πηγές. Εκτιμήσεις των προϋπολογισμών μεθανίου συμπεριλαμβανομένων των όρων της παγκόσμιας παραγωγής, της οξείδωσης και των ατμοσφαιρικών εκπομπών έχουν πρόσφατα εξεταστεί από τους Cicerone et al, Lelieveld et al, Reeburgh et al και Bartlett και Harris.

Το ποσό μεθανίου που δραπετεύει στην ατμόσφαιρα είναι η διαφορά μεταξύ του ποσού που παράγεται από τις διάφορες πηγές και του ποσού που καταναλώνονται από τα methanotrophs και από αναερόβια μεθάνιο-οξειδωτικά βακτηρίδια. Το μεθάνιο καταναλώνεται από τα methanotrophs μέσα σε εδάφη δασών, λιβαδιών, κάλυψης ΧΔΑ και άλλων ακόρεστων χωμάτων, τα οποία είναι οι σημαντικότερες επίγειες δεξαμενές ατμοσφαιρικού μεθανίου. Οι περιγραφές των πηγών και των δεξαμενών χρησιμεύουν για να επεξηγήθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μικροβίων, εγκαταστάσεων και φυσικών παράγοντων που επηρεάζουν τα ποσοστά παραγωγής και οξείδωσης μεθανίου στα διαφορετικά οικοσυστήματα.

2.7.2.2 Εκπομπές μεθανίου από την απόθεση αστικών απορριμμάτων στο έδαφος

Από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα η διάθεση των στερεών αποβλήτων στις ανεπτυγμένες χώρες έχει μετατραπεί κατά πολύ από πρακτικές ανοικτής απόρριψης και καύσης σε ΧΥΤΑ, όπου η ταφή των απορριμμάτων γίνεται με χρήση υλικών επικάλυψης. Σαν αποτέλεσμα η αποσύνθεση των στερεών απορριμμάτων ακολουθεί αναερόβια διαδικασία με μικροβιακή γέννηση μεγάλων ποσοτήτων μεθανίου από μεθανογενείς μικροοργανισμούς. Η χρονική διάρκεια της αποδόμησης μπορεί να διαρκέσει μερικά χρόνια αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που μπορεί να ξεπεράσει και τα 100 χρόνια. Η χρονική διάρκεια εξαρτάται από τη σύσταση του οργανικού κλάσματος και από τις συνθήκες περιβάλλοντος. Το μεγαλύτερο τμήμα της αποδόμησης είναι η βιοαποικοδόμηση. Η βιοαποικοδόμηση γίνεται κάτω από αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες, εξαρτάται αποτις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο απόθεσης των απορριμμάτων. Το κύριο προϊόν της αερόβιας αποικοδόμησης είναι το CO₂, ενώ τα κύρια προϊόντα της αναερόβιας είναι το CH₄ και το CO₂. Το CH₄ όταν απελευθερώθει στην ατμόσφαιρα συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλεί αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Το ατμοσφαιρικό μεθάνιο έχει τουλάχιστον διπλασιαστεί τα τελευταία 150 χρόνια. Η συμβολή του μεθανίου στην ενίσχυση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου υπολογίζεται 22% όταν λαμβάνονται υπόψη τα έμμεσα αποτελέσματα. Η παγκόσμια εκπομπή CH₄ υπολογίζεται σε 500-700 Tg το έτος, IPCC, 1996. Με κατ' εκτίμηση εκπομπή του έτους CH₄ 20-40 Tg απο Χ.Δ.Α. που αποτελούν σημαντικές πηγές ατμοσφαιρικού CH₄. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών προέρχεται

από βιομηχανοποιημένες χώρες καθώς εκτιμάται ότι ΧΔΑ ευθύνονται για το 33% της εκπομπής μεθανίου που προκαλείται από τον άνθρωπο στην Ε.Ε. και 35% στις ΗΠΑ. Οι εκπομπές από αναπτυσσόμενες χώρες θα αυξηθούν στο άμεσο μέλλον εξαιτίας της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου που προκαλεί αύξηση του αστικού πληθυσμού και της αύξηση της κατά κεφαλήν παραγωγής αστικών απορριμμάτων.

2.8 Οξείδωση μεθανίου στην εδαφική κάλυψη αστικών απορριμμάτων

Οι ΧΥΤΑ αντιπροσωπεύουν μια μεγάλη πηγή μεθανίου με ενδεχόμενη μείωση μέσω πρακτικών διαχείρισης. Για αυτό ακόμα και μια μικρή μείωση των εκπομπών μεθανίου που προκαλούνται από τους ανθρώπους θα είναι σημαντική. Άλλωστε ο σχετικά μικρός χρόνος διατήρησης του μεθανίου στην ατμόσφαιρα, 8-12 χρόνια, θα έχει σαν αποτέλεσμα να παρατηρηθούν σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα τα θετικά αποτελέσματα των πλάνων διαχείρισης για την μείωση του μεθανίου.

Οι εκπομπές μεθανίου από ΧΥΤΑ είναι έως ένα βαθμό ελεγχόμενες από το ρυθμό της οξείδωσης του μεθανίου καθώς αυτό κινείται από την αερόβια εδαφική κάλυψη στην κορυφή του ΧΥΤΑ. Η οξείδωση του μεθανίου επιτυγχάνεται με την βοήθεια των αερόβιων μεθανοτριφικών μικροοργανισμών που αναλώνουν το μεθάνιο και το οξειδώνουν σε διοξείδιο του άνθρακα. Παρά τις πολλές προσπάθειες αυτή η οξείδωση είναι ακόμα φτωχά ποσοτικοποιημένη. Όπως έχουν αναφερθεί οι ροές από την εδαφική κάλυψη κυμαίνονται από 0.0002 έως $4000\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$. Το έδαφος κάλυψης των Χ.Δ.Α. μετριάξει αρκετά την εκπομπή CH_4 . Αναφερόμενες τιμές από την οξειδωτική αποδοτικότητα CH_4 των εδαφών κάλυψης Χ.Δ.Α. ευρέως διαφέρουν. Για παράδειγμα ο Czepiel et al, ανέφερε μια ετήσια μέση τιμή 11%. Πολύ υψηλοί ρυθμοί οξείδωσης μεθανίου, μέχρι 45g ή $3\text{mol m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ($3,5\text{ nmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), έχουν παρατηρηθεί στα χώματα κάλυψης ΧΔΑ από Whalen et al. Οι Kightley et al παρατήρησαν ότι οι χονδροειδείς αμμώδεις εδαφολογικοί μικρόκοσμοι εδαφικής κάλυψης όταν διαπέρνονται από μεθάνιο μετά από 6 μήνες μπορούν να οξειδώσουν $10,4\text{molm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ($11,7\text{mol m}^{-2}\text{day}^{-1}$) του CH_4 . Οι Whalen et al υπολόγισαν ότι οξείδωση μεθανίου καταναλώνει περίπου το 50% της παραγωγής μεθανίου 35 Tg το έτος στους ΧΔΑ στις ΗΠΑ, ενώ ο Kjeldsen et al(1997) διαπίστωσε ότι η αποδοτικότητα μπορεί να είναι μέχρι 100%.. Επιπλέον, τα χώματα ΧΔΑ οξειδώνουν μεθάνιο με σταθερά ρυθμού αντίδρασης πρώτης τάξεως για συγκεντρώσεις μέχρι 1ppm $k = 0.54\text{h}^{-1}$. Η σταθερά ρυθμού αντίδρασης πρώτης τάξεως για συγκεντρώσεις η σταθερά ποσοστού αντίδρασης στα

10^4 ppm ήταν $2,37 \text{ h}^{-1}$. Ο ρυθμός οξείδωσης μεθανίου σε αυτά τα χώματα επηρεάζεται επίσης από τις συγκεντρώσεις ύδατος.

Ο ρυθμός οξείδωσης μεθανίου σε χώμα με υγρασία στους ΧΔΑ, 41% κατά βάρος του ύδατος, είναι $6,1 \text{ mg}$ ανά ημέρα, το οποίο είναι περίπου ίδιο με τους ρυθμούς που παρατηρούνται σε ιζήματα όξινου γλυκού νερού και ήταν 116 mg ανά ημέρα σε χώματα με περιεκτικότητα σε υγρασία 11%. Χαμηλή υγρασία στο χώμα περιορίζει την οξείδωση μεθανίου σε κάλυψη ΧΔΑ. Οι Adamsen και King παρατήρησαν ότι μειώσεις του περιεχόμενου υγρασίας σε 5% οδήγησε στις δραματικές μειώσεις στα ποσοστά οξείδωσης μεθανίου.

Προκειμένου να μειωθούν οι αβεβαιότητες που συνδέθηκαν με την οξείδωση μεθανίου στην κάλυψη Χ.Δ.Α., ένα μοντέλο προσομοίωσης Stefan- Maxwell αναπτύχθηκε που ενσωματώνει τη διάχυση, την οξείδωση μεθανίου και την αύξηση των μεθανοτροφικών μικροοργανισμών. Ενώ πρόσφατα, η μελέτη των σταθερών ισοτόπων από αέριο Χ.Δ.Α. φάνηκε να είναι μια ελπιδοφόρος τεχνική για την οξειδωτική αποδοτικότητα του CH_4 των εδαφών κάλυψης των Χ.Δ.Α., ειδικά για τη μέτρηση των εποχιακών παραλλαγών. Εντούτοις, σε καταλόγους των εκπομπών CH_4 από Χ.Δ.Α. επιβάλτε βελτίωση καθώς η οξείδωση του CH_4 σε εδάφη κάλυψης Χ.Δ.Α. γίνεται όλο και περισσότερο μια σημαντική πηγή αβεβαιότητας. Σύμφωνα με τις οδηγίες αναφοράς των αερίων θερμοκηπίου από την IPCC (διακυβερνητική επιτροπή στην αλλαγή κλίματος), η προκαθορισμένη τιμή αποδοτικότητας οξείδωσης CH_4 στην κάλυψη των Χ.Δ.Α. των εδαφών είναι μηδέν (IPCC, 1997), παρά τα έγγραφα που αναφέρονται ανωτέρω. Μια αξιόπιστη ικανότητα υπολογισμού οξείδωσης CH_4 στην κάλυψη των Χ.Δ.Α. θα μειώσει την απροθυμία της IPCC για να ενσωματώσει αυτήν την διαδικασία στην παγκόσμιο προϋπολογισμό CH_4 .

2.8.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την Οξείδωση CH_4 στην εδαφική κάλυψη αστικών απορριμμάτων

Η οξείδωση του μεθανίου ελέγχεται από διάφορους παράγοντες, σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται μεθανοτροφική δραστηριότητα που μπορεί να επιτευχθεί στο χώμα, η εδαφική θερμοκρασία, η υγρασία και η σύσταση του εδάφους, καθώς επίσης το pH και τα θρεπτικά που περιέχονται σε αυτό. Παλαιότερες έρευνες είχαν εμφανίσει εποχιακή μεταβολή στην οξείδωση CH_4 , η οποία είναι μεγαλύτερη κατά την διάρκεια των

θερμότερων μηνών. Η οξείδωση είναι επίσης μεγαλύτερη σε πλούσια οργανικά εδάφη από ότι σε αργιλώδη.

Ο σημαντικότερος παράγοντας οξείδωσης CH_4 είναι η μεθανοτροφική δραστηριότητα, όμως δεν έχει ερευνηθεί ακόμα αρκετά ώστε να καθοριστούν οι παράγοντες που καθορίζουν τη μέγιστη μεθανοτροφική δραστηριότητα που μπορεί να επιτευχθεί στο χώμα.

Η αποδοτικότητα οξείδωσης CH_4 μειώνεται γρήγορα με την αυξανόμενη περιεκτικότητα σε υγρασία. Αυτό είναι επειδή η υγρασία μειώνει τη διάχυση του οξυγόνου στο χώμα. Αυτό επεξηγεί σαφώς τη σημασία της διάχυσης οξυγόνου στην οξείδωση CH_4 στην εδαφική κάλυψη Χ.Δ.Α. Άλλωστε εμφανίζεται βέλτιστη υγρασία εδάφους για την οξείδωση του μεθανίου 20-30%(w/w) σε θερμοκρασίες 25-30°C.

Η αυξανόμενη συγκέντρωση CH_4 στη σταθερή συνολική ροή οδηγεί σε μια αυξανόμενη ροή CH_4 . Κατά συνέπεια ένα μικρότερο μέρος του CH_4 είναι οξειδωμένο. Εάν, αντίθετα, η ροή CH_4 μείνει σταθερή, ενώ αυξηθεί η συγκέντρωση CH_4 οδηγεί σε μια χαμηλότερη συνολική ροή, η οποία διευκολύνει τη μεταφορά οξυγόνου στο έδαφος, με αποτέλεσμα την αυξανόμενη οξείδωση CH_4 .

Η εδαφική σύνθεση είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος, η εδαφική σύσταση και το μέγεθος των κόκκων επηρεάζουν τη διάχυση του οξυγόνου στις επικάλυψες των ΧΥΤΑ. Οι χονδροί κόκκοι και τα πορώδη εδάφη που χρησιμοποιούν στην κάλυψη αποσυνθεμένα φυτά, για την βελτίωση της διήχησης του οξυγόνου, έχουν αποδειχθεί ανώτερα από λεπτότερους κόκκους και αργίλους. Η οξείδωση CH_4 μπορεί να ενισχυθεί με την τοποθέτηση βιολογικά ενεργού μείγματος από φυτικό έδαφος, από αποσυνθεμένα φυτά, για κάλυψη. Πιο συγκεκριμένα ο Stern et al χρησιμοποίησε βιοκάλυψη που αποτελούνταν από 50cm αυλικά ή κηπευτικά απορρίμματα που τοποθετήθηκαν πάνω από 10-15cm στρώματος θραυσμάτων γυαλιού, πετυχένοντας έτσι αέρια κατανομή που βρισκόταν πάνω από 40-100cm προσωρινής επικάλυψης. Το πάχος και η ικανότητα κατακράτησης υγρασίας στην βιοκάλυψη είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου κατακράτησης για το διακινούμενο μεθάνιο. Η αύξηση της κατακράτησης στη βιοκάλυψη είχε σαν αποτέλεσμα την επίτευξη μεγαλύτερου κλάσματος οξείδωσης, καθώς το μεθάνιο εισέρχεται στη βιοκάλυψη από κάτω με πιο αργό ρυθμό σχετικό με την εδαφική κάλυψη, το ποσοστό που οξειδώνεται είναι μεγαλύτερο.

Ο σκοπός της βιοκάλυψης είναι να βελτιστοποιήσει το περιβάλλον των μεθανοτροφικών βακτηριδίων. Το διαπερατό βάθος του οξυγόνου ελέγχεται από το βάθος και το πάχος της ζώνης οξείδωσης του CH_4 .

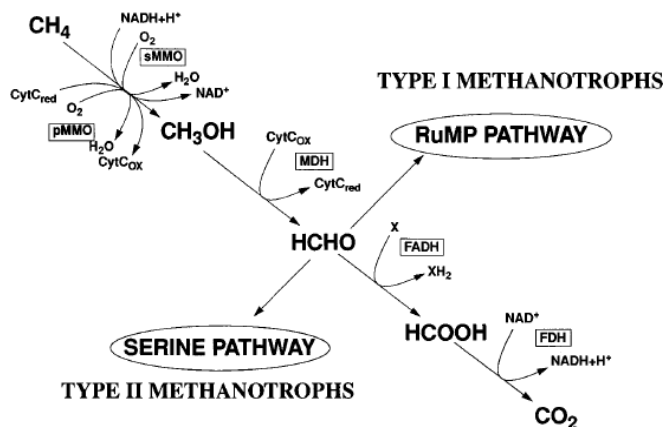
Μια ενδεικτική υψηλή αποδοτικότητα οξείδωσης CH_4 έχουμε για ροές CH_4 μέχρι $50 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, ενώ σε εργαστηριακές συνθήκες υψηλή αποδοτικότητα είναι δυνατή για ροές CH_4 μέχρι $200 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$.

2.8.2 Τα methanotrops και η οξείδωση μεθανίου

2.8.2.1 Γενικά

Τα Methanotrophic βακτηρίδια είναι μια ομάδα βακτηριδίων που είναι γνωστή ως methylotrophs. Είναι μοναδικά στη δυνατότητά τους να χρησιμοποιούν μεθάνιο ως μόνη πηγή άνθρακα και ενέργειας. Τα Methanotrophic βακτηρίδια είναι αερόβια βακτηρίδια που χρησιμοποιούν ενώσεις ένος-άνθρακα ως πηγές άνθρακα και ενέργειας αφομοιώνοντας τη φορμαλδεΰδη ως σημαντική πηγή από τον κυτταρικό άνθρακα. Τα methylotrophic βακτηρίδια χρησιμοποιούν ποικίλες διαφορετικές ενώσεις ένος άνθρακα συμπεριλαμβανομένου μεθανίου, μεθανόλη, μεθυλιωμένες αμίνες, αλομεθάνες, και μεθυλιωμένες ενώσεις που περιέχουν θείο.

Η χρήση των ενζύμων γνωστών ως monooxygenases μεθανίου για καταλύση της οξείδωσης του μεθανίου σε μεθανόλη είναι ένα καθορισμένο χαρακτηριστικό των methanotrophs. Το σχήμα 1 επεξηγεί το μεταβολισμό των υποστρωμάτων από τα methanotrophs, τα κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα για το μεταβολισμό τους συμπεριλαμβάνουν τον κεντρικό ρόλο της φορμαλδεΰδης, σαν μεσάζοντα στον καταβολισμό και στον αναβολισμό, και στους μοναδικούς τρόπους που χρησιμοποιούν για τη σύνθεση των μεσαζόντων από τις κεντρικές μεταβολικές διαδρομές. Τα στάδια οξείδωσης μεθανίου σε διοξείδιο του άνθρακα είναι τέσσερα. Αρχικά το μεθάνιο οξειδώνεται σε μεθανόλη. Επειτα η μεθανόλη οξειδώνεται σε φορμαλδεΰδη. Για την αφομοίωση της φορμαλδεΰδης και την οξείδωση της σε μεθανικό οξύ υπάρχουν δύο διαβάσεις. Η μια δια μέσο του τύπου I methanotrophs, χρησιμοποιεί ribulose monophosphate (RuMP) ως αρχική διάβαση για την αφομοίωση φορμαλδεΰδης. Ενώ η δεύτερη δια μέσο του τύπου II methanotrophs, χρησιμοποιεί σερίνη ως αρχική διάβαση για την αφομοίωση φορμαλδεΰδης. Τέλος το οξικό οξύ οξειδώνεται σε διοξείδιο του άνθρακα.



Εικόνα 2-1: Η διαδρομή οξείδωσης μεθανίου και αφομοίωσης της φορμαλδεΐδης.
 Συντομεύσεις: CytC, κυτόχρωμα c FADH, διυδρογενάση φορμαλδεΐδης
 FDH, διυδρογενάση μυρμηκικού άλατος.

Το μεθάνιο είναι η σταθερότερη ένωση άνθρακα σε αναερόβιο περιβάλλον και είναι πολύ σημαντικός μεσάζων στις αντιδράσεις της οργανικής ύλης. Το μεθάνιο δραπετεύει από τα αναερόβια περιβάλλοντα στην ατμόσφαιρα όταν δεν οξειδώνεται από τα methanotrophs. Η απελευθέρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα προκαλεί αύξηση του ρυθμού που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου και προκαλεί άλλες αλλαγές στη χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας. Ο Sohngen το 1906 αναγνώρισε ότι το μεθάνιο παράγεται σε μεγάλες ποσότητες και θεώρησε ότι οι χαμηλές ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις αυτού του αερίου ήταν λόγω της οξείδωσής του από τα μικρόβια. Απομόνωσε το πρώτο βακτηρίδιο οξείδωσης μεθανίου και το ονόμασε *Bacillus methanicus*. Η οξείδωση του μεθανίου είναι τώρα γνωστό ότι εμφανίζεται και στα δύο αερόβια και αναερόβια περιβάλλοντα, αν και λίγα έχουν δημοσιευθεί για την μικροβιολογία ή τη βιοχημεία της αναερόβιας οξείδωσης μεθανίου. Βακτηρίδια που χρησιμοποιούν το μεθάνιο διαμορφώνουν τη βάση της τροφικής αλυσίδας που είναι ανεξάρτητη από τη φωτοσύνθεση

Οι monooxygenases μεθανίου ανήκουν στα αερόβια methanotrophic βακτηρίδια και εκθέτουν μια εντυπωσιακή έλλειψη ιδιομορφίας υποστρωμάτων, με συνέπεια τον τυχαίο μεταβολισμό ενός πολύ μεγάλου αριθμού ενώσεων συμπεριλαμβανομένων των ξενοβιοτικών χημικών ουσιών. Λόγω της δυνατότητας των methanotrophs στην κατάλυση ενός μεγάλου αριθμού βιολογικών μεταβολών, έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων που εμπλέκονται στην ανάπτυξη βιολογικών μεθόδων για την χημική αποικοδόμηση των τοξικών χημικών ουσιών (βιοθεραπεία) και τη χρήση των βακτηριδίων που περιέχουν τα monooxygenases μεθανίου για την παραγωγή των χημικών ουσιών με

εμπορική αξία. Εξετάζεται ακόμα ο πιθανός ρόλος των methanotrophs στην επανόρθωση των περιβάλλοντων που μολύνονται με επικίνδυνες χημικές ουσίες.

2.8.2.2 Φυσιολογία και ταξινόμια methanotrophic βακτηριδίων

Ταξινόμια των βακτηριδίων Methanotrophic

Αν και το πρώτο methanotroph απομονώθηκε το 1906, ήταν όχι πριν από τον Whittenbury και τους συναδέλφους του που απομονώσαν και χαρακτήρισαν πάνω από 100 νέα μεθάνιο-εκμεταλλευτικά βακτηρίδια που καθιέρωσαν τη βάση για την τρέχουσα ταξινόμηση αυτών των βακτηριδίων. Αυτοί οι ερευνητές πρότειναν το χωρισμό μεθάνιο-εκμεταλλευτικών βακτηριδίων σε πέντε ομάδες, προτεινόμενα γένη, με βάση τις μορφολογικές διαφορές, οι τύποι είναι στηριγμένοι σε διαμορφωμένα στάδια, τις λεπτές δομές των ενδοκυτταροπλασματικών μεμβρανών, και μερικών φυσιολογικών χαρακτηριστικών. Τα γένη προτάθηκαν από τους Whittenbury et al ήταν *Methylobacter*, *Methylobacter*, *Methylococcus*, *Methylocystis*, και *Methylosinus*, είναι παρόμοια με εκείνα που πρόσφατα αποδέχθηκαν εκτός από την προσθήκη ενός νέου γένους του *Methylobacterium*. Τα methanotrophs χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες :

τύπος I, συμπεριλαμβανομένων των γενών *Methylobacter* και *Methylobacter*,

και τύπος II, συμπεριλαμβανομένων των γενών *Methylosinus* και *Methylocystis*.

και μια νέα ομάδα, τύπος X, προστέθηκε για να προσαρμόσει τους methanotrophs που είναι παρόμοιοι με το *Capsulatus Methylococcus* που, όπως στον τύπο I methanotrophs, χρησιμοποιούσε ribulose monophosphate (RuMP) ως αρχική διάβαση για την αφομοίωση φορμαλδεΰδης. Ο τύπος X methanotrophs ήταν διακεκριμένος από τον τύπο I methanotrophs επειδή τα βακτηρίδια του επίσης διαχειρίζονταν χαμηλά επίπεδα ένζυμων της διάβασης σερίνης ribulosebiphosphate carboxylase, ένα ένζυμο παρόν στον κύκλο Calvin-Benson. Τα methanotrophs του τύπου X αυξάνονται στις υψηλότερες θερμοκρασίες σε αντίθεση με τον τύπο I και τον τύπο II methanotrophs και διαχειρίζονται το DNA με ένα υψηλότερο περιεχόμενο G1C % από τα περισσότερα τύπου I methanotrophs.

Πρόσφατα, ο Bowman και οι συνάδελφοί του συγκρίνανε περίπου 124 φαινοτυπικά χαρακτηριστικά 136 methanotrophic βακτηριδίων συμπεριλαμβανομένων διάφορων νέων απομονώσεων. Αριθμητική ταξινομική αξιολόγηση, DNA-DNA υβριδοποίηση, ανάλυση σύνθεσης φωσφολιπιδίου λιπαρού οξέος (PLFA), genomic φυσικοχημικές ιδιότητες, και φυλογενετικές σχέσεις χρησιμοποιήθηκαν για να διευκρινιστούν οι αλληλεξαρτήσεις

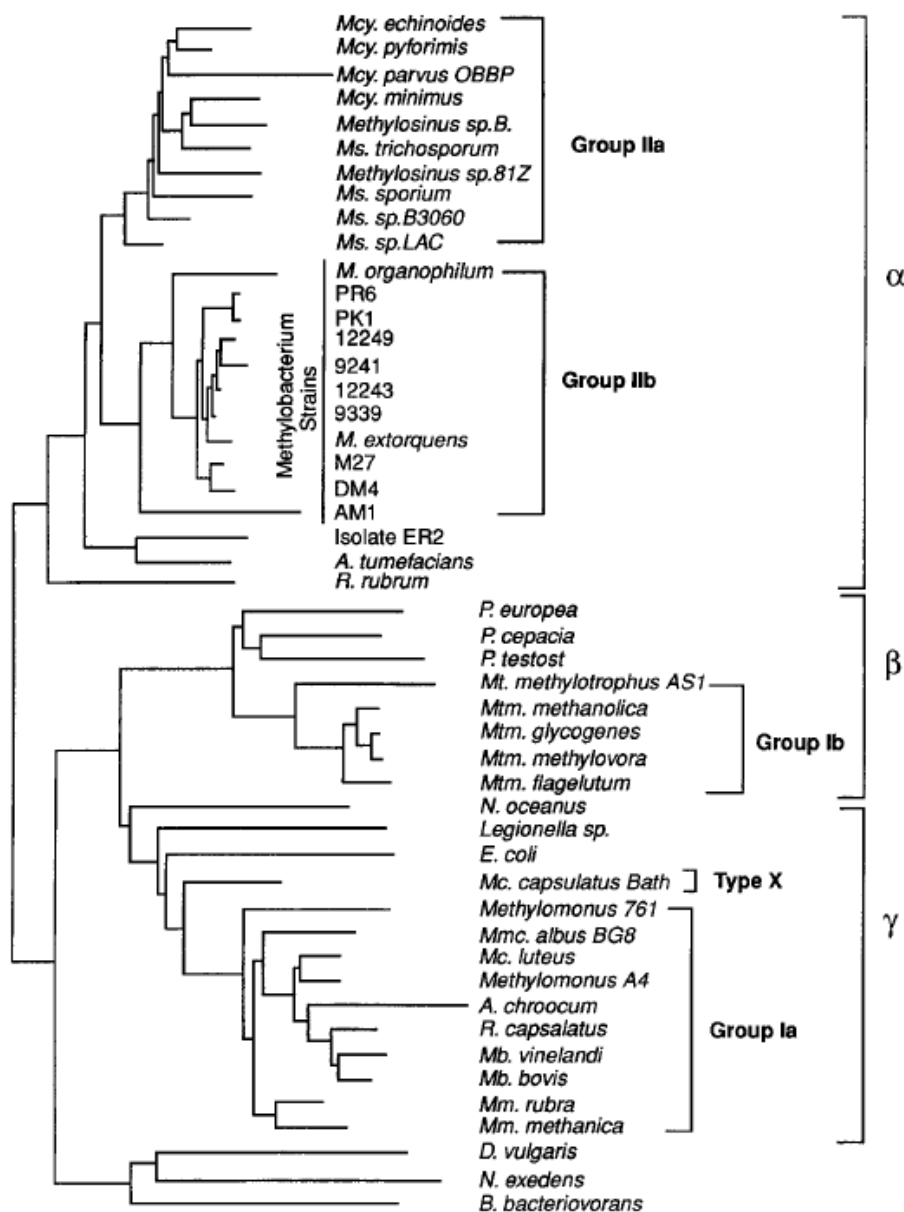
γένους και ειδών. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο τύπος I methanotrophs συμπεριλαμβάνει τρεις ευρέως ομόλογες συστάδες των ειδών και προτείνουν ότι η οικογένεια *Methylococcaceae* πρέπει να περιέχει τα γένη *Methylococcus*, *Methylomicrobium*, *Methylobacter*, και *Methylomonas* όπως επαναπροσδιορίζεται στις δημοσιεύσεις τους. Ο τύπος II methanotrophs περιείχε πολύ σχετικές ομάδες που ανήκουν στα επικυρωμένα είδη στα γένη *Methylocystis* και *Methylosinus*.

Εντούτοις, είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλέφθούν η φύσης και λειτουργία των μικροοργανισμών στο κάθε βιότοπο με δεδομένο την τρέχουσα κατάσταση των γνώσεων μας.

Δεν έχουν ανακαλυφθεί ακόμα όλα τα μικρόβια και οι βιοχημικές διαδικασίες που μπορεί να είναι ωφέλιμες για το περιβάλλον. Υπάρχουν ακόμα μικρόβια που είναι αρμόδια για την οξείδωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου που δεν είναι γνωστά και εμφανίζονται να περιέχονται στα συστήματα οξείδωσης μεθανίου με διαφορετικές κινητικές ιδιότητες από εκείνα που έχουν χαρακτηριστεί. Η διαθεσιμότητα των μοριακών τεχνικών για την εξέταση αυτών στα διαφορετικά περιβάλλοντα μας έχει επιτρέψει να χαρακτηρίσουμε με έναν περιορισμένο τρόπο τα μικρόβια που υπάρχουν σε μερικούς βιότοπους από τους οποίους μόνο μια ή καμιά methanotrophic κοινότητα έχει απομονωθεί.

Ο τωρινός διαχωρισμός των methanotrops σε κοινωνίες με βάση την ποικιλομορφία και τη συμπεριφορά δεν είναι αντιπροσωπευτικός. Η ανακάλυψη προφανώς νέων κλάδων του τύπου I methanotrophs σε ελεύθερη-διαβίωση είναι συχνό φαινόμενο με αποτέλεσμα την συχνή αλλαγή στην ταξινόμηση των methanotrops.

Δε γνωρίζουμε ακόμα ακριβώς πως και ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τις κινητικές της οξείδωσης μεθανίου στα χώματα που περιέχουν μεθάνιο. Καθώς εξάγονται διαφορετικά αποτελέσματα στο πεδίο αλλά και στο εργαστήριο.



Εικόνα 2-2: Το φυλογενετικό δέντρο των methanotrophic βακτηριδίων

Το φυλογενετικό δέντρο παρουσιάζει τις σχέσεις μεταξύ των methanotrophic βακτηριδίων, άλλων methylotrophic βακτηριδίων, και των nonmethylotrophic βακτηριδίων που ανήκουν στις άλφα, βήτα και γάμμα-υποδιαιρέσεις των *Proteobacteria*. Οι συντμήσεις για τα ονόματα γένους των methylotrophic βακτηριδίων που χρησιμοποιούνται σε αυτό το διάγραμμα είναι :

M. , *Methylobacterium* *Mcy.* , *Methyloystis* *Ms.* , *Methylosinus* *MB.* , *Methylobacterium* *Mc.* , *Methylococcus* *Mr.* , *Methylophilus* *Mmc.* , *Methylomicrobium* *Mm.* , *Methylomonas* *Mtm.* , *Methanomonas*.

Η ομάδα Ia περιλαμβάνει τα methanotrophic βακτηρίδια που χρησιμοποιούν τη διάβαση RuMP για την αφομοίωση φορμαλδεϋδης, ενώ ομάδα Ib περιλαμβάνει εκείνα τα methylotrophs που χρησιμοποιούν τη διάβαση RuMP για τη σταθεροποίηση φορμαλδεϋδης αλλά δεν οξειδώνουν ή δεν αυξάνονται με το μεθάνιο ως πηγή άνθρακα και ενέργειας.. Η ομάδα IIa περιλαμβάνει τα methanotrophic βακτηρίδια που χρησιμοποιούν τη διάβαση σερίνης για την αφομοίωση φορμαλδεϋδης, και η ομάδα IIb περιλαμβάνει εκείνα τα methanotrophic βακτηρίδια που χρησιμοποιούν τη διάβαση σερίνης για τη σταθεροποίηση φορμαλδεϋδης αλλά δεν χρησιμοποιούν το μεθάνιο.

Φυσιολογία των Methanotrophic βακτηριδίων

Για να καταλάβουμε τους παράγοντες που ελέγχουν το μεταβολισμό μεθανίου και την οικολογία των methanotrophic βακτηριδίων απαιτείται η γνώση από τη φυσιολογία των διαφορετικών ομάδων methanotrophs. Οι διαφορές στα ενζυμικά συστήματα που χρησιμοποιούνται από διαφορετικά γένη και είδη για την οξείδωση του μεθανίου, οι διαβάσεις που χρησιμοποιούνται για την αφομοίωση των μονάδων ένος-άνθρακα με διαδρομές κεντρικού μεταβολισμού, η χημική σύνθεση των κυττάρων, οι ρυθμιστικοί μηχανισμοί που ελέγχουν το μεταβολισμό ενώσεων ένος-άνθρακα, και τα θρεπτικά συστατικά που έχουν ανάγκη για να αναπτυχθούν τα διαφορετικά methanotrophs θα καθορίσουν τις δυνατότητες διαφορετικών βακτηριδίων στον ανταγωνισμό σε διαφορετικούς βίोटοπους. Επομένως, είναι απαραίτητη η τρέχουσα γνώση της φυσιολογίας των διαφορετικών ομάδων methanotrophs στο μέτρο που αφορά το τους δυνατότητα τους να επιζήσουν, να αυξηθούν, να οξειδώσουν το μεθάνιο στα διαφορετικά περιβάλλοντα και την ικανότητά τους να διασπάσουν τους περιβαλλοντικούς ρύπους που θεωρούνται επικίνδυνοι για τον άνθρωπο ή την υγεία του οικοσυστήματος.

2.8.2.3 Οξείδωση μεθανίου

Η οξείδωση του μεθανίου από αερόβια methanotrophs αρχίζει από τα monooxygenases μεθανίου (MMOs), τα οποία είναι κλασσικά monooxygenases που διασπούν τους δεσμούς του dioxygen. Ένα από τα άτομα οξυγόνου καταναλώνεται για να διαμορφώσει H_2O , και το άλλο ενσωματώνεται στο μεθάνιο που διαμορφώνει CH_3OH (μεθανόλη). Δύο μορφές MMOs έχουν βρεθεί σε methanotrophic βακτηρίδια. Η μία μορφή είναι ένα διαλυτό MMO (sMMO), που χρησιμοποιεί ένζυμα $NADH+H^+$ ως χορηγό ηλεκτρονίων. Το sMMO έχει καθοριστεί ότι αποτελείται από έναν αριθμό τύπου II και X methanotrophs, συμπεριλαμβανομένου του *capsulatus Methylococcus* (τύπος X), *sporum Methylosinus* (τύπος II), *sp. Methylocystis* στελέχους M (τύπος II), και *Methylobacterium* sp. στελέχους CRL26.

Η άλλη μορφή MMOs είναι τα pMMO. Όλοι οι γνωστοί methanotrophs είναι σε θέση να δημιουργήσουν ένα μόριο ή μεμβράνη MMO. Εκτενείς ενδοκυτταροπλασματικές μεμβράνες και δραστηριότητα pMMO παρουσιάζονται μόνο όταν υπερβούν οι συγκεντρώσεις χαλκού το 0,85 σε $1\mu mol/g$ (ξηρό βάρος) των κυττάρων.

Είναι δύσκολο αυτή τη στιγμή να συναχθούν σταθερά συμπεράσματα για ταξινομικές και φυλογενετικές σχέσεις μεταξύ των στελεχών των methanotrophs που είναι σε θέση να συνθέσουν sMMO όταν αυξάνεται με τον περιορισμό των συγκεντρώσεων χαλκού. Δεν είναι ακόμα σαφές εάν η δυνατότητα να συντεθεί sMMO είναι περιορισμένη σε ορισμένη ταξινόμια ή φυλογενετικές ομάδες ή εάν όλα τα μέλη μερικών ταξινομήσεων και φυλογενετικών ομάδων συνθέτουν αυτό το ένζυμο. Είναι ένα χαρακτηριστικό που εμφανίζεται να είναι το πιο κοινό μεταξύ των μελών του γένους *Methylosinus* και *Methylococcus* αλλά δεν είναι αυστηρά περιορισμένο στα βακτηρίδια που ταξινομούνται ως μέλη αυτών των γενών.

Τα κύτταρα των methanotrophs που περιέχουν pMMO έχουν υψηλότερη απόδοση αποδόμησης από κύτταρα που περιέχουν sMMO, επειδή με τα sMMO στην αντίδραση κατάλυσης απαιτεί $\text{NADH} + \text{H}^+$ ως χορηγό ηλεκτρονίων, ενώ το pMMO κατέχει μια υψηλότερη-δυνατότητα χορήγησης ηλεκτρονίων. Η σύνθεση sMMO από μερικά methanotrophs μπορεί να είναι ένας μηχανισμός επιβίωσης σε πολλά περιβάλλοντα όπου χαλκός περιορίζει την αύξηση των methanotrophs ικανών να συνθέσουν μόνο pMMO.

2.8.3 Ανάπτυξη methanotrops στο έδαφος

Μελέτες έχουν διεξαχθεί σε εδάφη επιφανείας που εξετάζουν τους methanotrops που αναπτύσσονται στο έδαφος. Οι μελέτες δείξαν ότι κοντά στην κορυφή των εδαφών, όπου η συγκέντρωση του μεθανίου είναι χαμηλή και η συγκέντρωση οξυγόνου είναι υψηλή, παρατηρείται μια υπεροχή του τύπου I methanotrophs σε αυτές τις εδαφικές ζώνες. Οι εδαφικές ζώνες που αναπτύχθηκαν λίγο πιο βαθιά αναπτύξαν τύπου II methanotrophs, λόγω της μόλυνσης του μεθανίου με οξυγόνο, όπου οι διαλυμένες συγκεντρώσεις οξυγόνου ήταν πολύ χαμηλές σε αυτό το κατώτατο σημείο και οι συγκεντρώσεις του μεθανίου ήταν υψηλές.

Ο τύπος I methanotrophs είναι εκτός συναγωνισμού του τύπου II methanotrophs σε χαμηλές συγκεντρώσεις μεθανίου ενώ η αύξηση του τύπου II methanotrophs ευνοείται κάτω από το χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου και υψηλή συγκέντρωση μεθανίου. Αυτό υποστηρίζεται από τις παρατηρήσεις ότι ένας τύπος I methanotroph, *Methylobacterium albus* BG8, αυξάνεται περισσότερο από έναν τύπο II methanotroph, *trichosporium Methylosinus* OB3b, σε κοινωνίες κάτω από τον μεθάνιο-περιορισμό. Η αύξηση του τύπου II methanotroph ήταν ευνοημένη κάτω από άζωτο- ή χαλκό-περιοριστικές συνθήκες. Αυτές

οι παρατηρήσεις υποστηρίζουν την υπόθεση ότι οι συγκεντρώσεις του μεθανίου, του οξυγόνου, και του συνδυασμένου άζωτου είναι οι αρχικοί παράγοντες που καθορίζουν τον τύπο methanotrophs που θα παρουσιαστούν σε ένα περιβάλλον, αν και έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις όπου εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία και παρουσία χαλκού αναπτύσσουν τύπου II methanotrophs

2.8.4 Αποτελέσματα της θερμοκρασίας και του pH στην οξείδωση μεθανίου από methanotrophic βακτήρια

Τα περισσότερα methanotrophs που έχουν περιγραφεί πρόσφατα είναι μεσόφιλα και ψυχρόφιλα, αν και τα *Methylococcus capsulatus* μπορούν να αυξηθούν σε θερμοκρασίες μέχρι 50°C. Διαφορετικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικές αντιδράσεις στην οξείδωση μεθανίου όσον αφορά τις θερμοκρασίες, ένδειξη ότι οι πληθυσμοί των methanotrophs στη φύση προσαρμόζονται διαφορετικά σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Η βέλτιστη θερμοκρασία για την οξείδωση μεθανίου θεωρείται στους 25°C στα περισσότερα εδάφη, αν και οξείδωση εμφανίζεται ακόμα και σε 0 έως 10°C αλλά και σε 35°C. Οι Dunfield et al διαπίστωσαν ότι βόρεια εδάφη δεν παρουσίασαν καμία χαρακτηριστική προσαρμογή των methanotrophs στα χαμηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντα. Τα ποσοστά οξείδωσης μεθανίου σε 0 έως 5°C είναι 10 έως 38% των μέγιστων ρυθμών που παρατηρούνται σε 25°C. Αντίθετα, οι Omelchenko et al απομόνωσαν ψυχρόφιλους methanotrophs στην Αρκτική από όξινα εδάφη που είχαν βέλτιστη θερμοκρασία αύξησης 10°C ή χαμηλότερη. Η μορφολογία των κυττάρων έμοιαζε με το μέσο θερμόφιλο *Capsulatus Methylococcus*.

Έρευνα του Stern et al για βιοκάλυψη υποστηρίζει τις παρατηρήσεις υψηλότερων ποσοστών οξείδωσης CH₄ σε ΧΥΤΑ που βρίσκονται σε θερμότερα κλίματα. Συντηρητικές εκτιμήσεις τοποθετούν το ετήσιο μέσο ποσοστό οξείδωσης CH₄ στο ΧΥΤΑ του Leon Country στη Φλόριντα της Αμερικής, από 19% για περιοχές του ΧΥΤΑ με χωμάτινη βιοκάλυψη στο 38% για περιοχές βιοκάλυψη από αποσυνθεμένα φυτά. Το ανώτερο όριο εκτιμάται, υποθέτοντας ότι οι αρνητικές ροές CH₄ που αντιπροσωπεύουν το 100% της οξείδωσης, δίνουν μέσο ετήσιο ποσοστό τιμών οξείδωσης CH₄ 39% για τα κελιά ελέγχου και 56% για τα κελιά βιοκάλυψης. Παρομοίως, ένας ΧΥΤΑ στο Kentucky είχε μέσες τιμές 21-55% οξείδωσης CH₄. Αυτές είναι σημαντικά υψηλότερες από το μέσο ετήσιο ποσοστό οξείδωσης CH₄ 10% για ένα ΧΥΤΑ στη Νέα Αγγλία, όπου η οξείδωση CH₄ ενισχυόταν κατά την διάρκεια των θερμότερων μηνών (20-30%) και ήταν σχεδόν μηδενική κατά τη

διάρκεια του χειμώνα. Έρευνες που διεξάχθηκαν σε δύο ΧΥΤΑ στη Σουηδία έδειξαν επίσης εποχιακή εξάρτηση για την οξείδωση του CH₄. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η οξείδωση CH₄ ήταν σχεδόν 100%, ενώ κατά την διάρκεια χειμώνα μόλις οι θερμοκρασίες πέφτανε κάτω από τους 0°C η οξείδωση CH₄ δεν μπορούσε να ανιχνευθεί. Ωστόσο ο Bogner et al μέτρησαν αρνητικές ροές CH₄ το χειμώνα σε παχύ έδαφος κάλυψης σε ένα ΧΥΤΑ στο Illinois. Για αυτό η θερμοκρασία είναι σημαντικός παράγοντας, αλλά περίπλοκες σχέσεις υπάρχουν μεταξύ θερμοκρασίας, υγρασίας, ικανότητας οξείδωσης των υλικών της κάλυψης και των φυσικών τους ιδιοτήτων.

Οι βέλτιστες τιμές pH για οξείδωση μεθανίου και αύξηση των methanotrophs στα εδάφη είναι γενικά σύμφωνες με τις βέλτιστες τιμές pH για την αύξηση των πιο γνωστών methanotrophs. Οι Borne et al παρατήρησαν ότι οι ρυθμοί οξείδωσης μεθανίου είναι παρόμοιοι στα εδάφη με pH από 3.5 με 8.0, και οι Heyer και Suckow παρατήρησαν οξείδωση στα δείγματα από εδάφη στις τιμές pH 3.7 έως 4.4. Σε όξινα εδαφικά δείγματα, οι ρυθμοί οξείδωσης μεθανίου ελαφρώς επηρεάζονται από το pH στις τιμές μεταξύ 4.0 και 6.0 ενώ μειώνονται αισθητά σε μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές, αν και οξείδωση εμφανίζεται ακόμα κάτω από pH 4,0. Τα βέλτιστα pH οξείδωσης μεθανίου εμφανίζονται να είναι ελαφρώς χαμηλότερα σε όξινά από,τι σε αλκαλικά εδάφη, και οι ρυθμοί οξείδωσης μεθανίου σε pH 4 έως 5 είναι υψηλότεροι. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι methanotrophic πληθυσμοί μόνο μερικώς προσαρμόζονται στα όξινα περιβάλλοντα.

Δεν υπάρχει καμία αναφορά αύξησης των methanotrophic βακτηριδίων σε τιμές pH κάτω από 5,0. Είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί απομόνωση ή να ληφθούν εμπλουτισμοί τροφής από methanotrophic βακτηρίδια που θα αυξάνονταν σε τιμές pH κάτω από 5,5 από όξινα εδαφικά δείγματα. Εντούτοις, οι Wolf και Hanson απομόνωσαν διάφορα στελέχη ζύμης(yeast strains) που οξείδωσαν μεθάνιο μετά από τον εμπλουτισμό σε ένα pH 3.5, με πλούσιο μέσο απομόνωσαν αποικίες σε ένα καθορισμένο αγάρ ή σε άλλες στερεές υποστηρίξεις με ένα καθορισμένο μέσο που περιέχει τις βιταμίνες και τα αμινοξέα σε pH 5,5. Οι ζύμες(yeasts) αυξήθηκαν περισσότερο σε τιμές pH κάτω από 6,0.

3. Περιγραφή των χώρων και της ευρύτερης περιοχής

3.1 Σύντομο ιστορικό

Τα οικιακά απορρίμματα της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Χανίων, διατίθενται ανεξέλεγκτα από το 1965 μέχρι και το έτος 2000 στη χαράδρα του «Κουρουπιτού» Ακρωτηρίου. Η ανεξέλεγκτη διάθεση απορριμμάτων οδηγούσε στη ρύπανση του περιβάλλοντος καθώς αυτά αυτανεφλέγοντο επιβαρύνοντας σημαντικά τη γύρω περιοχή. Αποτελέσματα της αυτανάφλεξης ήταν η διασπορά αέριων ρύπων στη γειτονική περιοχή, καθώς και η ρύπανση του εδάφους των γειτονικών περιοχών που οφειλόταν στην επικάθηση σωματιδίων τέφρας, βαρέων μετάλλων και υδρογονανθράκων. Οι επιπτώσεις της ρύπανσης αυτής επιβεβαιώθηκαν από τα αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων και αναλύσεων που έγιναν στην περιοχή, από τις οποίες διαπιστώθηκε η ύπαρξη πολυκυκλικών υδρογονανθράκων, πολυχλωριωμένων διφαινυλίων, βαρέων μετάλλων και διοξινών στο έδαφος. Εξαιτίας μάλιστα του γεγονότος αυτού, της συνεχιζόμενης δηλαδή ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπιτού, καταδικάστηκε, όπως είναι γνωστό, από το Ευρωπαϊκό Δικαστήριο τον Ιούλιο του 2000 η Ελληνική Δημοκρατία στην καταβολή χρηματικής ποινής ύψους 20.000€ ημερησίως.

Όσον αφορά την αντιμετώπιση του μεγάλου αυτού προβλήματος, η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων από κοινού και με τους αρμόδιους τοπικούς φορείς και ιδιαίτερα την Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Χανίων (Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.) και την τοπική ένωση δήμων και κοινοτήτων νομού Χανίων (Τ.Ε.Δ.Κ.) είχαν ήδη αποφασίσει από τις αρχές του 1999 σε συνεργασία και με το ΥΠΕΧΩΔΕ την εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου και σύγχρονου προγράμματος διαχείρισης των απορριμμάτων, η υλοποίηση του οποίου προέβλεπε δύο στάδια:

α. το πρώτο στάδιο περιλάμβανε την εγκατάσταση και λειτουργία ενός συγκροτήματος συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων, ώστε να μπορεί να γίνει άμεσα εφικτή η οριστική διακοπή της ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπιτού (Επείγον Πρόγραμμα), ενώ

β. το δεύτερο στάδιο περιλάμβανε το σχεδιασμό, την μελέτη, την εγκατάσταση και τη λειτουργία ενός Εργοστασίου Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής των Απορριμμάτων με σύγχρονες προδιαγραφές (Οριστική λύση).

Για την ταχύτερη και αρτιότερη εφαρμογή του συνολικού αυτού προγράμματος, υπογράφηκε μάλιστα, ανάμεσα στους τρεις ανωτέρω φορείς Προγραμματική Σύμβαση,

ώστε οι ενέργειες των συμβαλλόμενων για την προώθηση των διαδικασιών και των αναγκών ενεργειών για την εφαρμογή του Επείγοντος Προγράμματος, όσο και της Οριστικής Λύσης να είναι κοινές και συντονισμένες. Έτσι, σε σύντομο χρονικό διάστημα, εγκρίθηκε από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. η αναγκαία πίστωση για την προμήθεια του μηχανολογικού εξοπλισμού για το Συγκρότημα συμπίεσης και δεματοποίησης των απορριμμάτων, διενεργήθηκε από την Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων, τον Ιούλιο του 1999, διεθνής ανοικτός διαγωνισμός για την προμήθεια του και μισθώθηκε από τη Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. οικοπεδική έκταση 50 περίπου στρεμμάτων στη θέση «Μεσομούρι» Ακρωτηρίου για την εγκατάσταση του Συγκροτήματος συμπίεσης – δεματοποίησης και τη λειτουργία πλατείας εκτάσεως περίπου 16 στρεμμάτων για την αποθήκευση των δεματοποιημένων απορριμμάτων. Η επιλογή της συγκεκριμένης οικοπεδικής έκτασης κρίθηκε κατάλληλη κυρίως για το λόγο ότι επειδή η περιοχή αυτή, που βρίσκεται στις παρυφές του Κουρουπητου, ήταν ήδη υποβαθμισμένη λόγω της μακρόχρονης ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπητου. Για τον ίδιο λόγο επίσης επιλέχθηκε η γειτονική θέση «Κορακιά» έπειτα από Μελέτη Συγκριτικής Αξιολόγησης εναλλακτικών λύσεων για την χωροθέτηση των εγκαταστάσεων της οριστικής λύσης του Εργοστασίου Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και του Χώρου Υγειονομικής Ταφής των Απορριμμάτων.

Πρέπει να σημειωθεί, όσον αναφορά το ιδιοκτησιακό καθεστώς της συγκεκριμένης οικοπεδικής έκτασης στη θέση «Μεσομούρι» αρχικά είχε μισθωθεί για το σκοπό αυτό, εν συνεχεία, με την 30-6-2000 Πράξη Νομοθετικού Περιεχομένου, απαλλοτριώθηκε και σήμερα η κυριότητα της ανήκει στη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων.

Οι εργασίες για την εγκατάσταση του Συγκροτήματος και τη διαμόρφωση του χώρου αποθήκευσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων στη θέση «Μεσομούρι» ξεκίνησαν τον Οκτώβριο του 2000 και ολοκληρώθηκαν το Ιανουάριο του 2001, οπότε και διακόπηκε ορίστηκε η λειτουργία του Κουρουπητου. Έκτοτε, το Συγκρότημα λειτουργούσε ανελλιπώς συμπιέζοντας δεματοποιώντας και αποθηκεύοντας τα απορρίμματα της Ε Διαχειριστικής Ενότητας και συγκεκριμένα των Δήμων Χανίων, Ακρωτηρίου, Σούδας, Κεραμειών, Ελ. Βενιζέλου, Θερίσου, Νέας Κυδωνίας, Πλατανιά, και Μουσούρων έως και τον Ιανουάριο του 2003. Πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι από τα δεματοποιημένα απορρίμματα που είχαν εναποτεθεί στο «Μεσομούρι» πριν την έναρξη λειτουργίας του νέου Χ.Υ.Τ.Α. στην «Κορακιά», μεταφέρθηκαν στο νέο Χ.Υ.Τ.Α. όσα ήταν σε θέση να επαναφορτωθούν και να μεταφερθούν χωρίς πρόβλημα. Η ποσότητα αυτή εκτιμάται σε

4.000 τόνους περίπου. Επίσης κατά την διάρκεια λειτουργίας του Χ.Δ.Α. στη θέση «Μεσομούρι» η Δ.Ε.Υ.Α. Χανίων απόθετε λυματολάσπη προερχόμενη από το βιολογικό καθαρισμό Χανίων. Μετά την διακοπή της εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων και λυματολάσπης στο «Μεσομούρι» και συγκεκριμένα κατά το Φεβρουάριο του 2003, πραγματοποιήθηκε επιφανειακή χωματοκάλυψη του μεγαλύτερου μέρους του απορριμματικού όγκου, ώστε να αποφευχθούν κατά το δυνατό οι οχλήσεις στο περιβάλλον μέχρι την τελική αποκατάσταση του χώρου. Οι εργασίες αποκατάστασης ξεκίνησαν τον Νοέμβριο του 2006 και ολοκληρώθηκαν το Απρίλιο του 2007.

Οι εργασίες για την εγκατάσταση και τη λειτουργία ενός Εργοστασίου Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής των Υπολειμμάτων στη θέση «Κορακιά» ξεκίνησαν τον Μάιο του 2002 και ολοκληρώθηκαν το Ιανουάριο του 2003. Έκτοτε το εργοστάσιο λειτουργεί κανονικά και επεξεργάζεται τα ανακυκλώσιμα και ένα μέρος των απορριμμάτων της Ε Διαχειριστικής Ενότητας. Όσο για το Χ.Υ.Τ.Α. το πρώτο κύτταρο δέχθηκε απορρίμματα από τον Ιανουάριο του 2003 έως τον Ιανουάριο του 2007. Οι εργασίες για την τοποθέτηση της τελικής κάλυψης δεν έχουν ξεκινήσει ακόμα και η υφισταμένη κάλυψή αποτελείται από χώμα πάχους 30cm. Στο μέλλον πέρα από την τελική κάλυψη στο πρώτο κύτταρο θα διανοιχθούν γεωτρήσεις και θα τοποθετηθεί ενεργό σύστημα συλλογής του βιοαερίου και καύσης αυτού.

3.2 Γενικά στοιχεία

3.2.1 Αποκατάσταση Χώρου Διάθεσης Απορριμμάτων περιοχής «Μεσομουρίου»

Η λύση αποκατάστασης περιλάμβανε την ασφαλή διαχείριση του βιοαερίου, την αποτελεσματική διαχείριση των στραγγισμάτων και την τελική κάλυψη και φύτευση του χώρου. Για την ασφαλή διαχείριση του βιοαερίου εγκαταστάθηκε ενεργό σύστημα συλλογής του βιοαερίου και καύση αυτού σε πυρσό. Για την αποτελεσματική διαχείριση των στραγγισμάτων τοποθετήθηκαν αγωγοί οπού με φυσική ροή συλλέγουν την κύρια ποσότητα στραγγισμάτων, λόγω των κλίσεων που έχουν δοθεί στην πλατεία, και την οδηγούν σε μικρά στεγανά φρεάτια από τα οποία απομακρύνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και οδηγούνται για επεξεργασία στην εγκατάσταση βιολογικής επεξεργασίας του Χ.Υ.Τ.Α. στην «Κορακιά». Για την τελική κάλυψή τοποθετήθηκε σύστημα που αποτελείται από επιφανειακό χώμα που χρησιμοποιείται για έδαφος φύτευσης, έχουμε ακόμα το έδαφος προστασίας, τη ζώνη αποστράγγισης, τη στρώση φραγμού και τη στρώση

εκτόνωσης βιοαερίου. Επίσης για την ένταξη του χώρου στο φυσικό περιβάλλον έγιναν δεντροφυτεύσεις με ελιές, χαρουπιές, δάφνες και άλλα είδη δέντρων, φυτών και θάμνων που μπορούν να επιβιώσουν εύκολα στο παρόν περιβάλλον και να αφομοιώνονται στο τοπίο της ευρύτερης περιοχής.

3.2.2 Μονάδα Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

Το έργο «*Μονάδα Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη θέση “Κορακιά” Ακρωτηρίου Χανίων*» κατασκευάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες επεξεργασίας και τελικής διάθεσης των απορριμμάτων της Διαχειριστικής Ενότητας Ε του Νομού Χανίων.

Η μονάδα βρίσκεται στη θέση Κορακιά - Ακρωτηρίου Χανίων, νότια της χαράδρας του Κουρουπητού και φιλοξενεί τις εγκαταστάσεις και δραστηριότητες επεξεργασίας και τελικής διάθεσης απορριμμάτων. Ειδικότερα:

- Μονάδα Ανάκτησης - Ανακύκλωσης Μεικτών Αστικών Απορριμμάτων
- Μονάδα Παραγωγής και Ωρίμανσης Compost
- Μονάδα Ραφινάρισματος Compost
- Μονάδα Επεξεργασίας των ανακτηθέντων υλικών από το Πρόγραμμα Διαλογής στην Πηγή
- Χώρους αποθήκευσης προϊόντων
- Χώρο Υγειονομικής Ταφής των Απορριμμάτων
- Περιφερειακά έργα υποδομής.

Η Μονάδα **Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης** είναι σχεδιασμένη για να μπορέσει να ανταπεξέλθει μέχρι 70.000 τόνους απορριμμάτων.

Η Μονάδα δέχεται:

1. μεικτά αστικά απορρίμματα της Ε Διαχειριστικής Ενότητας του Νομού Χανίων
2. ανακυκλώσιμα υλικά που συλλέγονται από το Πρόγραμμα Διαλογής στην Πηγή
3. ιλύ από τη Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου Χανίων
4. επιπλέον η Μονάδα Βιοσταθεροποίησης έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι σε θέση να δέχεται επιπρόσθετη ποσότητα 10.000 τόνων ετησίως καθαρών οργανικών στερεών

αποβλήτων (αγροτικά παραπροϊόντα, πράσινα απορρίμματα, κλπ.) για παραγωγή υψηλής ποιότητας compost.

Ο Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

α. Διαμόρφωση του πυθμένα

Για τη σωστή, άνετη και ορθολογική λειτουργία του χώρου, προϋπόθεση αποτελεί η κατάλληλη διαμόρφωση του πυθμένα του με σκοπό να δημιουργηθούν ήπιες κλίσεις και να γίνει ευκολότερη η κίνηση μέσα σε αυτόν.

Έτσι, έχουν γίνει εκσκαφές μέχρις του βάθους που δε διαταράσσεται το στεγανό του υπόβαθρου του χώρου, επιτυγχάνοντας παράλληλα την εξισορρόπηση των χωματισμών των εκσκαφών με τα απαιτούμενα υλικά για τη λειτουργία του Χ.Υ.Τ.Α.

Κατά τη διαμόρφωση του χώρου λήφθηκε μέριμνα ώστε στον πυθμένα να υπάρχει κλίση 5% για τη φυσική ροή των στραγγισμάτων προς την εγκατάσταση επεξεργασίας. Η έκταση του Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων ανέρχεται σε 45 στρέμματα. Τα χώματα που προέκυψαν από τις εργασίες διαμόρφωσης του Χ.Υ.Τ.Α. χρησιμοποιηθήκαν για την προσωρινή επικάλυψη των απορριμμάτων.

β. Στεγανοποίηση του χώρου

Για τη δημιουργία ισχυρού στεγανού υπόβαθρου και την αύξηση της προστασίας του χώρου χρησιμοποιήθηκε σύστημα *σύνθετης στεγάνωσης*.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της μόνωσης έγινε κατά τέτοιο τρόπο ώστε:

- να ελαχιστοποιείται η διαφυγή στραγγισμάτων ή η μετανάστευση βιοαερίου από τη βάση και τα πλευρικά τοιχώματα του χώρου
- να διασφαλίζεται η αποτελεσματική συλλογή στραγγισμάτων και βιοαερίου
- να διαφυλάσσονται τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα

Βάσει των παραπάνω απαιτήσεων, το σύστημα μόνωσης του Χ.Υ.Τ.Α. περιλαμβάνει:

- Στεγανωτική αργιλική στρώση από αδιαπέρατα υλικά, κατάλληλα συμπιεσμένα.
- Γεωμεμβράνη από σκληρό πολυαιθυλένιο (HDPE) ελάχιστου πάχους 1,5 mm.
- Γεώφασμα πολυπροπυλενίου.
- Αποστραγγιστική στρώση προστασίας 30 cm από χαλίκι.

Τα στραγγίσματα συλλέγονται σε ημιδιάτρητους αγωγούς που έχουν τοποθετηθεί στον πυθμένα του χώρου. Οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) 6 ATM, με διαμέτρους που υπερβαίνουν τη Φ180 και κλίση 5%. Τα στραγγίσματα οδηγούνται στη μονάδα επεξεργασίας στραγγισμάτων η οποία επίσης δέχεται και τα υγρά απόβλητα από της υπόλοιπες εγκαταστάσεις του εργοστασίου. Σε σύντομο χρονικό διάστημα θα ξεκινήσουν οι εργασίες τοποθέτησης τελικής κάλυψης και ενεργού συστήματος συλλογής του βιοαερίου και καύσης αυτού σε πυρσό.

3.3 Γεωγραφική θέση των έργων

Στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού των Χανίων και ανατολικά της πόλεως των Χανίων βρίσκεται η χερσόνησος του Ακρωτηρίου. Ενώνεται με το υπόλοιπο νησί με ένα «λαιμό» πλάτους περίπου 3 km διαμορφώνοντας έτσι Βόρεια τον κόλπο των Χανίων και Νότια τον κόλπο της Σούδας.

Στη Ανατολική πλευρά της χερσονήσου του Ακρωτηρίου και σε πολύ κοντινές αποστάσεις βρίσκονται η χαράδρα του Κουρουπητού, ο Χώρος Διάθεσης Απορριμμάτων στη θέση «Μεσομούρι» και το εργοστάσιο με το Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη θέση «Κορακιά» όπως φαίνεται και στους παρακάτω χάρτες.

Εικόνα 3-1: Χερσόνησος Ακρωτηρίου Ν. Χανίων



Εικόνα 3-2: Ανατολική πλευρά της χερσονήσου του Ακρωτηρίου



- Η χαράδρα του Κουρουπητού
- Μονάδα Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης στη θέση <<Κορακιά>>
- Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη θέση <<Κορακιά>>
- Εργοστάσιο δεματοποίησης και Χώρος Διάθεσης Απορριμμάτων περιοχής << Μεσομουρίου>>

3.3.1 Γεωγραφική θέση του Χώρου Διάθεσης Απορριμμάτων περιοχής «Μεσομουρίου»

Ο Χ.Δ.Α. στη θέση «Μεσομουρί» έχει εκτάση περίπου 16 στρεμμάτων για την αποθήκευση των δεματοποιημένων (Συνημμένο 1). Η θέση «Μεσομούρι» βρίσκεται στον μυχό των απολήξεων της χαράδρας του Κουρουπητού, στο ανατολικό άκρο του Ακρωτηρίου Χανίων, σε ευθεία απόσταση 15km ανατολικά από την πόλη των Χανίων και 3,5km ανατολικά από τον οικισμό Μουζουρά. Η περιοχή γύρω από το Μεσομούρι ανήκει στη χαμηλή ζώνη του Ακρωτηρίου και υπόκειται διοικητικά στον ομώνυμο δήμο και στη νομαρχία Χανίων. Οι ακτές που σχηματίζονται βορειανατολικά του Μεσομουρίου είναι απότομες και βραχώδεις και καταλήγουν στο Κρητικό πέλαγος. Μορφολογικά η περιοχή αναπτύσσεται σε χαμηλά υψόμετρα (από 120m ως 160m) και οι κλίσεις είναι γενικά ήπιες και κυμαίνονται κατά μέσο όρο από 6 % ως 7 %.

3.3.2 Γεωγραφική θέση της Μονάδας Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη θέση «Κορακιά»

Το έργο έχει κατασκευαστεί σε γήπεδο συνολικής έκτασης 235,525 στρεμμάτων, στην οποία έκταση περιλαμβάνονται και δυο κύτταρα ΧΥΤΑ από τα οποία το πρώτο έχει έκταση 45 στρεμμάτων (Συνημμένο 2), που βρίσκεται στο Δήμο Ακρωτηρίου Νομού Χανίων και ειδικότερα στη θέση «Κορακιά» νοτίως της χαράδρας του Κουρουπητού, που ορίζεται από τις ακόλουθες γεωγραφικές συντεταγμένες:

Βόρειο γεωγραφικό πλάτος	35° 32' 5''	35° 32' 17''
Γεωγραφικό μήκος	24° 11' 24''	24° 12' 0''

Μορφολογικά το γήπεδο στο οποίο έχουν πραγματοποιηθεί τα έργα είναι σχετικά επίπεδο με μικρές υψομετρικές διαφορές, ομαλές κλίσεις και χωρίς έντονο ανάγλυφο. Συγκεκριμένα, το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο είναι 102m (στο νοτιοδυτικό όριο του γηπέδου) και το ελάχιστο 65m (στο ανατολικό όριο). Οι υψομετρικές αυτές διαφορές δημιουργούν τις περισσότερο ομαλές κλίσεις στο δυτικό τμήμα του γηπέδου, που είναι και το υψηλότερο και στο οποίο είναι εγκατεστημένο το Εργοστάσιο, ενώ το υπόλοιπο τμήμα που έχει διαμορφωθεί ο Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, οι κλίσεις είναι σχετικά μεγαλύτερες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέση στάθμη του γηπέδου είναι αρκετά μικρότερη από τη στάθμη της ευρύτερης περιοχής και ιδίως εκείνης του αεροδιαδρόμου που είναι 140m. Το γεγονός αυτό αφενός συμβάλλει στο να μην περιορίζεται η ασφάλεια των πτήσεων και αφετέρου περιορίζει την ορατότητα της ευρύτερης περιοχής από και προς τις εγκαταστάσεις.

3.4 Υφιστάμενη κατάσταση της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων

3.4.1 Μετεωρολογικά-κλιματολογικά στοιχεία

3.4.1.1 Βροχοπτώσεις

Στην περιοχή του Κουρουπητού η μοναδική πηγή προέλευσης των νερών είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Ο πλησιέστερος μετεωρολογικός σταθμός στην περιοχή, ο οποίος λειτουργεί μέχρι σήμερα και του οποίου τα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν, είναι ο σταθμός της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας που βρίσκεται στη Σούδα. Στον παρακάτω Πίνακα 3-1, φαίνεται το ολικό ύψος των βροχοπτώσεων ανά μήνα για το χρονικό διάστημα 1959 έως 1995.

Πίνακας 3-1: Ολικό ύψος βροχοπτώσεων (σε mm)

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1959	161	67,8	30,6	63,6	9,7	5,6	1,5		1,3	71,5	55,4	97,4	565,7
1960	158	34,8	150,5	124	13,5	15,7			10,3	2,2	41,1	50,9	601,1
1961	95,3	95,3	196	49	4,9	10,3	15,4		0,2	168	5,1	161	704,6
1962	119	128,3	128,3	7,5	4,5	36,5	1,5		24,8	230	12,2	153	716,9
1963	171	188,9	138,3	64,4	41,4	0,3				163	25,8	43,1	836,9
1964	208	69,2	60,4	23,8	14,3	19,1			12,8	4,8	38	65,4	515,3
1965	195	144	139,4	60,2	11,4	11,6				2,6	11,9	58,2	634,6
1966	166	10,7	115,2	28,5	24,6	26,7			94,8	8,3	34,4	82,9	592,5
1967	147	129,2	133,3	49,5	9,8				0,5	215	39,6	208	933
1968	191	211,1	31,7	5,2	5,2	10		4	7,1	115	173	83,5	836,3
1969	181	26,9	109	52,7	11,1	0,1			0,3	8,6	14,4	129	532,5
1970	85	59,2	38	36	9,6	1,3			51,8	82,7	67,5	36,3	467,4
1971	268	268,1	52,4	34,7	2,1	0,4		2,8	22,6	43,5	100	28	822,7
1972	61,9	61,4	69,4	16,9	14,9			3,9	2	187	66,7	102	586,2
1973	121	98,5	51,5	58,3			1,2			136	74	27,9	567,7
1974	152	71,7	92,5	3	2,1			0,7	51	19,7	124	109	625,2
1975	177	166,2	15	33,5	2,4	8,2				117	133	179	930,9
1976	239	136,1	274,5	49,3	9,2	2,8		5		83,4	88	69,6	957,1
1977		31	54,7	54,6	0,4		1,8		102	19,7	21,9	179	465,4
1978	141	65,5	116,1	20,5	2,2				34,3	51,3	21,4	57,6	509,5
1979	99,9	135,8	110,3	34,2	47,8	14,9			0,8	117	125	133	817,4
1980	95,1	202,1	46,9	27,5	2,3			3,6	2,6	106	16,3	101	602,7
1981	516	137,4	22,7	20,1	4,7					5,3	148	65,6	920,1
1982	72,5	209,5	101,6	44,6	46,9			2,9		14,3	35,2	132	659,5
1983	63	81,4	60,7	25,8	10,5	20,6	11,7		13,1	209	147	39,6	682,3
1984	97	231	80,8	69,1	1,5		25			21,2	184	152	862,1
1985	120	29,4	46,3	13,6	6,4					65,6	25,9	53,3	360,3
1986	61,2	55,9	21,8	0,4	34,4	3,9			116	52,6	88,6	100	534,6
1987	77,4	66,4	97,2	97,2	97,2	1,1				16,8	62,3	76,1	494,5
1988	80	86,4	84,9	8,5	6,9				1	67,2	83,1	96,1	514,1
1989	83,8	23,9	200,1		20,4					51,5	165	27,2	571,4
1990	26	49,7	1	13,2		1,9		21,2	24,6	21,5	54,5	69,8	283,4
1991	111	64,4	30,1	36,6	16,4			1,3	1,5	43,1	24	197	525,8
1992	33,7	121,2	115,7	10,5	4,2	0,3				0,2	33,3	107	425,8
1993	98,3	187,4	46,5	15,2	70,6	6,4			1,2	6,8	168	105	705,9
1994	173	91,4	43	11,8	3,8					159	92,7	61,3	635,9
1995	88	60	89,6	13,9	7,2	0,4			8,5	10,1	92,8	49,5	420

3.4.1.2 Ένταση και διεύθυνση ανέμων

Τα ανεμολογικά δεδομένα στην περιοχή των έργων για τη χρονική περίοδο 1958 έως 1993 που προέρχονται από το Σταθμό Σούδας (Αεροδρόμιο), φαίνονται στους Πίνακες 4-9 και 4-10.

Πίνακας 3-2: Διευθύνσεις ανέμων

ΜΗΝΕΣ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΑΝΕΜΩΝ (%)								
	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ	Ν	ΝΑ	Δ	ΒΔ	ΑΠΗΝΟΙΑ
ΙΑΝ	14.062	8.243	7.811	4.219	2.111	3.120	19.236	10.062	31.136
ΦΕΒ	14.317	8.397	9.483	5.390	3.196	3.185	17.855	10.415	27.762
ΜΑΡ	11.784	6.896	13.203	5.671	2.228	1.979	17.982	13.321	26.936
ΑΠΡ	6.853	3.944	14.775	6.165	1.733	2.287	21.631	16.487	26.125
ΜΙΑ	6.357	3.151	16.659	4.936	1.194	1.097	19.241	21.768	25.597
ΙΟΥΝ	9.423	3.022	12.812	3.245	0.522	0.721	21.770	27.369	21.116
ΙΟΥΛ	16.304	4.711	5.689	1.635	0.322	0.711	17.703	29.414	23.511
ΑΥΓ	16.699	4.710	4.204	1.387	0.356	0.871	17.161	26.624	27.988
ΣΕΠ	16.172	6.586	7.676	2.788	1.033	1.011	14.151	17.539	33.044
ΟΚΤ	14.051	10.300	12.857	4.912	1.818	1.473	10.213	10.127	34.249
ΝΟΕ	9.553	8.775	11.731	4.722	3.044	3.111	14.941	8.453	35.670
ΔΕΚ	11.584	9.102	8.747	5.083	3.127	3.471	18.547	8.749	31.590
Μ.Ο.	12.263	6.486	10.471	4.179	1.724	1.920	17.536	16.694	28.727

Πίνακας 3-3: Ένταση ανέμων

ΜΗΝΕΣ	ΕΝΤΑΣΗ (Beaufort)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	> 11
ΙΑΝ	31.136	1.474	15.215	21.304	17.787	7.435	3.680	1.517	0.420	0.032	0.00	0.00
ΦΕΒ	27.762	1.628	15.614	22.150	17.324	9.541	3.846	1.322	0.671	0.083	0.024	0.035
ΜΑΡ	26.936	1.410	16.419	25.105	17.497	7.545	3.345	1.259	0.452	0.032	0.00	0.00
ΑΠΡ	26.125	1.856	18.953	25.198	15.499	7.330	3.477	1.264	0.210	0.088	0.00	0.00
ΜΙΑ	25.597	2.430	20.951	25.941	16.067	5.744	2.452	0.721	0.097	0.00	0.00	0.00
ΙΟΥΝ	21.116	2.767	21.448	25.869	18.802	6.088	3.210	0.567	0.133	0.00	0.00	0.00
ΙΟΥΛ	23.511	2.893	20.640	28.478	16.681	5.303	1.753	0.623	0.118	0.00	0.00	0.00
ΑΥΓ	27.988	3.128	20.043	27.226	16.076	3.936	1.452	0.151	0.00	0.00	0.00	0.00
ΣΕΠ	33.044	2.643	18.883	25.470	14.762	3.811	1.087	0.300	0.00	0.00	0.00	0.00
ΟΚΤ	34.249	2.537	18.705	24.157	14.342	4.247	1.409	0.236	0.118	0.00	0.00	0.00
ΝΟΕ	35.670	2.622	16.830	24.839	12.008	5.121	1.923	0.799	0.133	0.055	0.00	0.00
ΔΕΚ	31.590	1.988	16.786	21.011	15.487	8.156	2.729	1.653	0.418	0.128	0.054	0.00

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω δεδομένα, οι μεγαλύτερες συχνότητες ανέμων είναι οι δυτικής και βορειοδυτικής κατεύθυνσης που δεν επηρεάζουν δυσμενώς την ευρύτερη περιοχή.

3.4.1.3 Θερμοκρασία

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία για την περίοδο 1959 - 1993 στην περιοχή των έργων, όπως έχει προέλθει από τις μετρήσεις του Μετεωρολογικού Παρατηρητηρίου στη Σούδα, φαίνεται στον Πίνακα 3-4.

Πίνακας 3-4: Μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία (°C)

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μ.Ο.
1959	10,8	8,6	13,1	15,6	19,9	23,1	26,3	26,2	22,1	16,7	15	13,3	17,6
1960	11,6	12,9	12,3	15,4	20,6	24,3	26,6	27,4	22,9	21,9	17,9	14,7	19
1961	11	9,9	13	17	20,6	23,9	26,3	25,6	21,7	18,4	17,4	13,5	18,2
1962	12	10,2	14,4	16	21,1	24,5	26,7	26,4	23,8	18,9	17,7	13	18,7
1963	11,9	12,4	12,3	15,3	18,6	24,5	26,8	27,2	23,7	19,5	16,6	14,4	18,6
1964	9,5	10,4	13	15,2	18,7	24,1	25,8	25,3	21,7	20,7	16,2	13,2	17,8
1965	11	10,3	12,7	15	19,1	24,4	27,6	24,9	23,3	17,4	16,4	13,1	17,9
1966	11,1	13,1	12,8	16,7	18,8	23,9	27	27,3	22,2	21,4	17,6	12,6	18,7
1967	10,5	9,8	11,9	15	20	23,5	25,8	26,7	23,3	19,3	15,5	13,2	17,9
1968	9,9	12	11,9	16,7	22,9	24,4	27,1	25,8	22,9	17,9	15	12,2	18,2
1969	9,6	12,2	12,5	13,5	21	24,8	24,9	25,6	23,5	17,6	16,4	13	17,9
1970	12,2	12,3	13,5	17	18,4	24,6	26	26,4	22,3	17,8	15,2	12,1	18,2
1971	12,2	10,5	13,1	14,8	20,7	24,8	24,9	25,6	22,3	17,1	15,1	11,4	17,7
1972	10,8	11,1	11,7	16,6	19,6	25,1	25,7	25,9	24,1	18,2	14,5	11,3	17,9
1973	10,3	11,5	11,6	14,8	21,2	24,1	27,6	24,6	23,4	19,6	14,4	13,4	18
1974	9,8	11,4	12,2	15,1	19,6	24,7	26	25	22,6	21,2	15	11,2	17,8
1975	10,1	10	14,4	16,3	20,7	23,5	26,2	25	23,6	18,7	14,9	11,8	17,9
1976	10,5	9,4	11,8	15,4	19,3	23,3	25,4	24,3	22,4	19,6	14,9	12,8	17,4
1977		13,7	13	15,5	21,2	24,9	27,8	26,6	22,4	16,9	16,8	11	17,5
1978	10,6	12,8	12,9	15,6	20,6	25,1	26,5	24,8	21,9	18,4	13,3	13,5	18
1979	11,3	12,3	14	15,1	19,7	25	26,3	26	23,1	19,7	15,4	12,5	18,4
1980	10,2	9,6	12,4	14,8	19	24,3	27	25,7	22,4	20,5	17,1	12,2	17,9
1981	9,1	10,6	14,2	16,5	19,1	26	25,7	25,5	23,3	21,5	13,8	14,4	18,3
1982	11,8	9,4	11,4	15,5	18,9	25,1	25,9	26,2	23,5	20,3	14,5	11,9	17,9
1983	10,3	9,5	12,2	16,7	20,9	22,7	26,1	24,9	22,4	18	15,3	12,6	17,6
1984	11,3	11,5	12,6	14,2	20,9	23,6	26	25	23,6	20,5	15,6	12,3	18,1
1985	12,1	10,6	12,5	17,6	21,1	25,1	26,1	26,2	22,4	16,9	16,7	13,5	18,4
1986	12,1	12,4	12,6	17,5	19,3	24,8	26,6	26,7	23,1	18,3	13,7	11,4	18,2
1987	12,6	11,7	9,4	14,4	18,5	24,5	27	26,1	24,4	18,6	15,5	12,9	18
1988	11,9	10,6	12,4	15,7	21	25,8	28,3	26,5	24	18,3	13,4	11,5	18,3
1989	9,2	11	13	17,9	18,7	23,4	25,8	25,8	23,5	17,7	15,2	12,9	17,8
1990	9,6	11,2	13,5	16,5	20,3	24,5	26,9	25,2	23,4	19,8	17,5	12,8	18,4
1991	10,4	10,8	13,2	15,1	18,2	24,8	25,7	25,5	23	20,7	15,2	9,2	17,7
1992	10,1	8,7	11,7	16,1	18,4	24,2	25,2	26,1	22,1	22,7	16,4	10,9	17,7
1993	10,2	8,9	11,8	16,2	19,7	25	26,6	26,5	23,5	21	15,3	13,6	18,2
Μ.Ο.	10,5	11	12,6	15,8	19,9	24,4	26,3	25,8	23	19,2	15,6	12,6	

3.4.2 Μορφολογία της ευρύτερης περιοχής

Το Ακρωτήριο έχει συνολική έκταση 49.800 στρέμματα με γενικά επίπεδη επιφάνεια εκτός του βορειοανατολικού του τμήματος (ορεινός όγκος Ακρωτηρίου). Το μεγαλύτερο ύψωμα είναι η Σκλόκα, στην ανατολική πλευρά, ύψους 528m.

Από γεωλογικής πλευράς, το Ακρωτήριο δομείται από ανθρακικούς σχηματισμούς και από τα αργιλικά προϊόντα της αποσάθρωσής τους. Οι ανθρακικοί αυτοί σχηματισμοί είναι ως γνωστόν υδροπερατοί. Έτσι τα νερά των βροχών κατεisdύουν στους σχηματισμούς αυτούς και εκφορτίζονται στη συνέχεια στη θάλασσα. Λόγω έντονου τεκτονισμού και καρστικοποίησης των ασβεστολιθικών αυτών πετρωμάτων, η στάθμη του ελεύθερου υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που διαμορφώνεται είναι στη στάθμη της θάλασσας περί τις ακτές, ενώ στο κέντρο του Ακρωτηρίου ανέρχεται σε επίπεδο λίγων μόνο μέτρων. Αυτό προκύπτει από τις στάθμες της ελεύθερης επιφάνειας του υπόγειου νερού όπως μετράται από γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί, αλλά και από το υψόμετρο των +5m του πυθμένα της μεγάλης δολίνης «Βόθωνας» βόρεια του χωριού Πυθάρι.

Το αντλούμενο νερό από τις γεωτρήσεις στο Ακρωτήριο είναι συνήθως υφάλμυρο, ιδιαίτερα μάλιστα από τα μέσα της θερινής περιόδου και μετά και χρησιμοποιείται περιορισμένα για άρδευση.

Αποτέλεσμα της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς του Ακρωτηρίου, εκτός από την έλλειψη αξιοποιήσιμου υδροφορέα, είναι και η πλήρης σχεδόν έλλειψη επιφανειακών νερών. Έτσι στην περιοχή υπάρχουν μικροί μόνο χείμαρροι, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι ο Νερόκαμπος, ο Περβολίτσας, ο Βόθωνας και ο Φοινικούντας. Παράλληλα και σε συνδυασμό και με τη διάβρωση των εδαφών, έχει διαμορφωθεί και η βλάστηση της περιοχής που περιορίζεται στη θαμνώδη κυρίως μορφή (πουρνάρι, θυμάρι, σκίνο κλπ) και σε τοπικές καλλιέργειες ελιάς. Οι δυνατότητες όμως καλλιεργειών έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια μετά την υδροδότηση του Ακρωτηρίου από το δίκτυο του Ο.Α.ΔΥ.Κ. (Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης).

Από τις εδαφικές εκτάσεις του Ακρωτηρίου ένα σημαντικό τμήμα χρησιμοποιείται για στρατιωτικές χρήσεις (Πεδίο Βολής, Ναύσταθμος, Αμερικανικές Διευκολύνσεις κλπ), ενώ επίσης σημαντική δραστηριότητα αποτελεί και η ύπαρξη του Πολιτικού και Στρατιωτικού Αεροδρομίου στην περιοχή. Πρέπει τέλος να αναφερθεί και η ύπαρξη του Πολυτεχνείου Κρήτης στο νοτιοδυτικό τμήμα του Ακρωτηρίου, που καταλαμβάνει έκταση 3.500 περίπου στρεμμάτων.

3.5 Υφιστάμενη κατάσταση Περιβάλλοντος

3.5.1 Χλωρίδα της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων

Οι συνιθέστεροι τύποι οικοτόπων στο Ακρωτήρι και στην ευρύτερη περιοχή του έργου είναι οι εξής:

- Μακιά ελιάς-χαρουπίας (Oleo-ceratonion)
- Φρύγανα
- Πρωτογενής βλάστηση βραχωδών επιφανειών
- Σπήλαια

Οι τύποι αυτοί είναι γενικότερα χαρακτηριστικοί για την Κρήτη. Στην ευρύτερη περιοχή κυριαρχούν τα είδη *Olea Europea* (ελιά και αγριελιά), *Pistacia lentiscu* (σκίνος) και *Ceratonia siliqua* (χαρουπιά). Αυτά συνοδεύονται από διάφορα είδη φρυγάνων στα οποία συγκυριαρχούν τα είδη *Coridothimus capitatus* (θύμος), *Cistus salicifolius* (λαδανιά) και *Genista acanthoclada* (αχινοπόδι). Συνοδεύονται και από άλλα φυτά της φρυγανικής βλάστησης όπως *Slavia fruticosa* (φασκομηλιά), *Salvia pomifera* (σγουρή φασκομηλιά), *Satureja thymbra* (θρούμποι), *Sarcopoterium spinosum* (αστοιβίδα), *Drimia maritime* (ασκελετούρα) κ.α. Η πρωτογενής βλάστηση των βραχωδών επιφανειών, που αποτελείται κυρίως από είδη του γένους *Sedum*, βρύα και λειχήνες, περιορίζεται στα σημεία που υπάρχουν μεγάλοι βράχοι, ενώ τα σπήλαια δε συμμετέχουν στην κάλυψη.

Το ποσοστό που καλύπτεται από τα φρύγανα θεωρείται μεγάλο και οφείλεται στην μακροχρόνια βόσκηση με παράλληλη χρήση φωτιάς. Αυτό τεκμηριώνεται από την αυξημένη παρουσία της *Drimia maritime* (ασκελετούρας) που αποτελεί δείκτη υπερβόσκησης.

3.5.2 Βλάστηση και Χλωρίδα στις θέσεις «Μεσομούρι» και «Κορακιά»

Οι οικοτόποι που συνθέτουν την περιοχή είναι φρύγανα με κωδικό 5420 και καλύπτουν σχεδόν το 80% της περιοχής. Στα φρύγανα κυρίαρχος είδος είναι το *Sarcopoterium spinosum* (αστιβάδα), και *Coridothymus* (θυμάρι). Σε μικρότερο ποσοστό εμφανίζεται διάσπαρτα Μακιά βλάστηση ελιάς- χαρουπιάς (*Olea ceratonion*).

Ανατολικά της περιοχής η φρυγανώδης βλάστηση έχει υποβαθμιστεί και σε πολλά σημεία έχει αντικατασταθεί από τα είδη *Asphodelus aestivus* (ασφόδελος) και *Drimia maritime* (ασκελετούρα), εξαιτίας κυρίως της καύσης των απορριμμάτων στην χαράδρα του Κουρουπητού στο παρελθόν. Νοτιότερα εμφανίζονται φρύγανα με *Sarcopoterium spinosum* (αστοιβάδα), ελάχιστα *Coridothymus capitatus* (θυμάρι) και *Phlomis cretica*

(αγκαραθιές). Ένα άλλο είδος που κυριαρχεί είναι η *Cynara cornigera* (άγρια αγκινάρα) με αρκετά μεγάλο πληθυσμό, που εντοπίζεται και αυτό στο νότιο τμήμα της περιοχής. Δυτικότερα τα φρύγανα είναι καλά ανεπτυγμένα με κυρίαρχο είδος την αστοιβάδα και τα διάσπαρτα θυμάρια.

Το βόριο τμήμα της περιοχής έχει δεχθεί τις λιγότερες επιπτώσεις από την ανεξέλεγκτη απόρριψη σκουπιδιών στο φαράγγι του Κουρουπητού. Εδώ η φρυγανώδης βλάστηση χαρακτηρίζεται από τα είδη *Coridothymus capitatus* (θυμάρι) και *Calicomevillosa* (ασπάλαθος). Σε αυτό το σημείο το φαράγγι το Κουρουπητού, με το οποίο γειτονεύει άμεσα, είναι καθαρό και η βλάστηση, κυρίως χασμοφυτική, είναι καλά ανεπτυγμένη όπως φαίνεται από το βορειοδυτικό σημείο της περιοχής.

Όσον αφορά τα σπάνια και απειλούμενα είδη που υπάρχουν στην περιοχή, σημειώνονται τα ακόλουθα:

- Πληθυσμοί του *Origanum dictamnus* L (Δίκταμος, απειλούμενο είδος, παράρτημα II/IV της Οδηγίας 92/43/EEC) έχουν βρεθεί και σε άλλες περιοχές του βόρειου Ακρωτηρίου.
- Το άγριο κρεμμύδι *Allium circinatum* subsp είναι σπάνιο και έχει περιορισμένο αριθμό πληθυσμών σε όλη την Κρήτη. Στην περιοχή του βόρειου Ακρωτηρίου συναντιούνται ευρέως και έχουν καταστραφεί τουλάχιστον τέσσερις (4) πληθυσμοί (Βάση Δεδομένων Βοτανικού Μουσείου Μ.Α.Ι.Χ).
- Αξιοσημείωτο είναι το είδος *Hypericum aegypticum* L. το οποίο αντιπροσωπεύεται στην Κρήτη από δύο πληθυσμούς. Ο ένας βρίσκεται στην περιοχή της Σητείας και ο άλλος στην περιοχή του Κουρουπητού-Περβολίτσας. Σύμφωνα με τον Greuter et al. (1984) το φυτό εξαφανίστηκε από την περιοχή εξαιτίας της λειτουργίας του Κουρουπητού. Ευτυχώς το φυτό εμφανίστηκε πάλι στην περιοχή της Περβολίτσας πριν έξι χρόνια (Βάση Δεδομένων Βοτανικού Μουσείου Μ.Α.Ι.Χ). Το συγκεκριμένο είδος πιθανόν να ευνοήθηκε από την διακοπή της λειτουργίας του Κουρουπητού, αφού αποτελεί το βιότοπο του, που είναι τα βραχώδη μέρη κοντά στη θάλασσα, και επανακάμπτει στην περιοχή. Το ίδιο ίσως ισχύει για το Δίκταμο, αν βεβαία βρίσκεται σε σχισμές κάθετων βράχων μέσα στο φαράγγι του Κουρουπητού.

3.5.3 Πανίδα της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων

Η πανίδα στις θέσεις «Μεσομούρι» και «Κορακιά» δε διαφέρουν ουσιαστικά από την πανίδα της ευρύτερης περιοχή Ακρωτηρίου Χανίων που γενικά είναι πλούσια σε

Σπονδυλωτά

- Ερπετά (λιακόνι, σαμιαμίθι, πράσινη σαύρα, κολιοσαύρα).
- Θηλαστικά (διάφορα είδη νυχτερίδας, σκαντζόχειρος, τρωκτηκά, αρκαλος, ζουρίδα, καλιγιανού αριογατος).

Πουλιά

- Μεγάλη ποικιλία αποδημητικών και μόνιμων πληθυσμών ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται και ορισμένα σπάνια προστατευόμενα είδη όπως ο χρυσαετός κ.α.

Χερσαία μαλάκια και Αρθρόποδα

- Μεγάλη ποικιλία από διάφορα είδη αράχνης, κολεόπτρων, υμενόπτρων, λεπιδοπτέρων, σκορπιών και ψευδόσκορπιών κλπ.

Πρέπει βέβαια να επισημανθεί ότι ορισμένα από τα παραπάνω αναφερόμενα είδη και συγκεκριμένα εκείνα που απαιτούν σχετικά αδιατάρακτα περιβάλλοντα (π.χ. χρυσαετός) εμφανίζονται σπάνια στην περιοχή, λόγω της μέχρι πρότινος ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπητού. Συνολικά, όσον αφορά την πανίδα, με τη διακοπή της ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπητού την αποκατάσταση στο «Μεσομούρι» και τη δημιουργία των εγκαταστάσεων στη «Κορακιά» αναμένεται να προκύψουν θετικές επιπτώσεις και συγκεκριμένα:

- Να μειωθούν οι πληθυσμοί των ειδών που εκμεταλλεύονται τα σκουπίδια, με αποτέλεσμα την μείωση των πιθανών κινδύνων που αυτά μπορούν να προκαλούν στον άνθρωπο ως φορείς ασθeneιών.
- Να μειωθεί η πίεση που αυτά τα είδη ασκούν στα υπόλοιπα είδη της πανίδας, αφού ο ανταγωνισμός μεταξύ τους θα γίνεται χωρίς το πλεονέκτημα της περίσσειας τροφής που μέχρι τώρα είχαν τα ανθρωπόφιλα. Με λίγα λόγια η πανίδα θα έρθει σε μια σχετική ισορροπία.
- Να εξαιρεθεί η μόλυνση από τοξικές ουσίες σε διάφορα είδη που ζουν στην περιοχή και κατά συνέπεια η μεταφορά τους μέσα στην τροφική αλυσίδα, στην κορυφή της οποίας βρίσκεται συχνά ο άνθρωπος.
- Να αυξηθεί η βιοποικιλότητα της περιοχής αφού θα αναβαθμιστεί συνολικά το περιβάλλον με αποτέλεσμα να επανακάμψουν είδη τα οποία είχαν εκτοπιστεί.

4. Σύνθεση Απορριμμάτων (Ποιοτική Ανάλυση)

Σύμφωνα με την διπλωματική εργασία της Μηχανικού Περιβάλλοντος Μύρκου Κατερίνας ‘Εξέλιξη των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των στερεών απορριμμάτων’ η σύνθεση των απορριμμάτων στον Νομό Χανίων έχει ως εξής:

Ζυμώσιμα	40,26%
Χαρτί	16,39%
Πλαστικά	15,26%
Μέταλλα	5,40%
Γυαλί	6,89%
Αλουμίνιο	2,10%
Δξύλ	11,98%
Αδρανή	0,94%
Υπόλοιπα	0,78%

Πίνακας 4-1: Σύνθεση απορριμμάτων Ν. Χανίων

Η παραπάνω σύνθεση των απορριμμάτων του Ν.Χανίων δε θα διαφέρει πολύ από την σύνθεση των Δήμων και Κοινοτήτων που υπάγονται στην Ε Διαχειριστική Ενότητα Ν.Χανίων που απέθεταν τα απορρίμματα στο Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομουρί» και στο 1^ο κύτταρο του ΧΥΤΑ περιοχής «Κορακιά» Ακρωτηρίου. Λαμβάνοντας υπόψη ότι εκτός από τα απορρίμματα απέθεταν και λυματολάσπη από το βιολογικό καθαρισμό της πόλης των Χανίων, η οποία αποτελούσε το 7,5% του συνόλου των αποβλήτων που απέθεταν, η σύνθεση των αποβλήτων που απέθεταν στο ΧΔΑ του Μεσομουρίου και στο 1^ο κύτταρο του ΧΥΤΑ της Κορακιάς Ακρωτηρίου είναι η παρακάτω:

Ζυμώσιμα	37,23%
Χαρτί	15,16%
Πλαστικά	14,12%
Μέταλλα	4,99%
Γυαλί	6,37%
Αλουμίνιο	1,94%
ΔΞΥΛ	11,08%
Αδρανή	0,87%
Υπόλοιπα	0,74%
Λυματολάσπη	7,5%

Πίνακας 4-2: Σύνθεση απορριμμάτων Ε Διαχειριστικής Ενότητας Ν.Χανίων

5. Ετήσιες ποσότητες απορριμμάτων και λυματολάσπης

Στον εξεταζόμενο Χ.Δ.Α. της περιοχής «Μεσομουρί» και στο 1^ο κύτταρο του Χ.Υ.Τ.Α. της περιοχής «Κορακιά» Ακρωτηρίου αποτεθήκαν τα απορρίμματα από τους Δήμους και τις Κοινοότητες που υπάγονται στην Ε Διαχειριστική Ενότητα και συγκεκριμένα των Δήμων Χανίων, Ακρωτηρίου, Σούδας, Κεραμειών, Ελ. Βενιζέλου, Θερίσου, Νέας Κυδωνίας, Πλατανιά, και Μουσούρων.

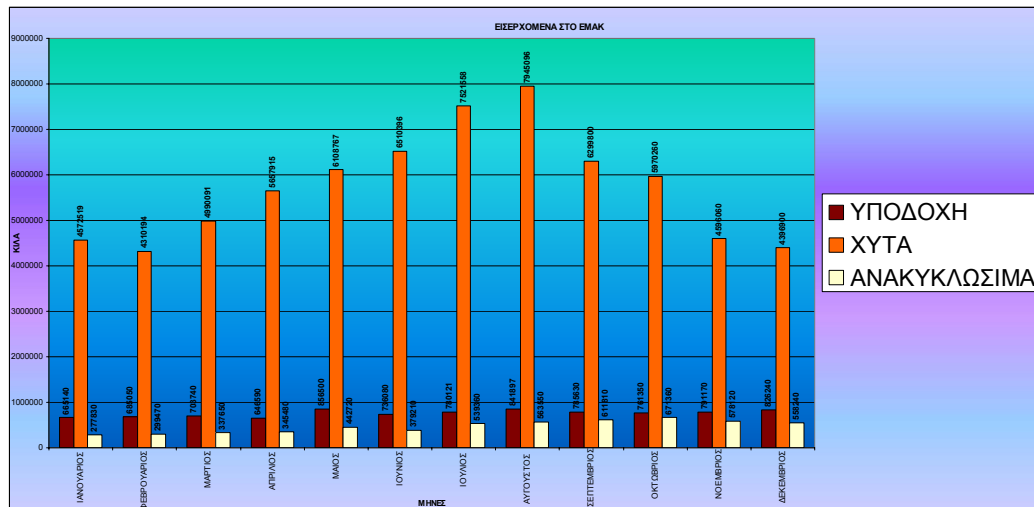
Τα δεδομένα με βάση τα οποία έγιναν οι παρακάτω υπολογισμοί για τις ποσότητες των απορριμμάτων και της λυματολάσπης στηρίζονται σε στοιχεία από τη Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. του έτους 2006 καθώς επίσημα και ολοκληρωμένα γραπτά στοιχεία δεν υπάρχουν πριν το 2006. Για αυτό οι υπολογιζόμενες τιμές παρεκκλίνουν από τις αληθινές

Για το 2006 οι ποσότητες απορριμμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΜΗΝΕΣ	ΥΠΟΔΟΧΗ (kg)	ΧΥΤΑ (kg)	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ (kg)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	665.140	4.572.519	277.830
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	685.050	4.310.194	299.470
ΜΑΡΤΙΟΣ	703.740	4.990.091	337.650
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	646.590	5.657.915	345.480
ΜΑΙΟΣ	856.500	6.108.767	442.720
ΙΟΥΝΙΟΣ	736.080	6.510.396	379.210
ΙΟΥΛΙΟΣ	780.121	7.521.558	539.360
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	841.897	7.945.096	563.550
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	785.630	6.299.800	611.810
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	761.350	5.970.260	671.360
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	791.170	4.596.060	578.120
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	826.240	4.396.900	558.240
ΣΥΝΟΛΑ	9.079.508	68.879.556	5.604.800

Πίνακας 5-1: Ποσότητες απορριμμάτων για το έτος 2006

Η υποδοχή υποδηλώνει το βάρος των απορριμμάτων το οποίο οδηγείται στο Εργοστάσιο Μηχανικής Διαλογής. Στο Εργοστάσιο Μηχανικής Διαλογής από τα απορρίμματα περίπου το 1/3 καταλήγει στα ανακυκλώσιμα, το 1/3 οδηγείται για compost και το υπόλοιπο 1/3 οδηγείται στο ΧΥΤΑ.



Πίνακας 5-2: Μηνιαία ροή απορριμμάτων στο ΕΜΑΚ για το έτος 2006

Για το έτος 2006 το βάρος των απορριμμάτων της Υποδοχής που οδηγείται στο ΧΥΤΑ είναι:

$$9.079.508 \cdot \frac{1}{3} = 3.026.503 \text{kg}$$

Για το έτος 2006 το συνολικό βάρος απόθεσης απορριμμάτων που αποτίθενται στο ΧΥΤΑ είναι:

$$68.879.556 + 3.026.503 = 71.906.059 \text{kg}$$

Η ποσότητα λυματολάσπης για το έτος 2006 είναι 5.856.290kg

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα και θεωρώντας ότι, σύμφωνα με την πληθυσμιακή αύξηση και την ανάπτυξη της τουριστικής δραστηριότητας θεωρείται ένα ετήσιο ποσοστό 2% αύξησης των εισερχομένων απορριμμάτων.

Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι τα ετήσια βάρη απόθεσης αποβλήτων είναι τα ακόλουθα:

Έτος	Βάρος απορριμμάτων (kg)	Βάρος λυματολάσπης (kg)	Συνολικό βάρος αποβλήτων (kg)
2001	64.997.382	5.293.622	70.291.004
2002	66.323.859	5.401.655	71.725.515
2003	67.677.407	5.511.893	73.189.301
2004	69.058.579	5.624.381	74.682.960
2005	70.467.938	5.739.164	76.207.102
2006	71.906.059	5.856.290	77.762.349

Πίνακας 5-3: Ετήσια βάρη απόθεσης απορριμμάτων

Το ποσοστό λυματολάσπης στα απόβλητα είναι 7,5%

6. Το μοντέλο εκτίμησης εκπομπών GasSim

6.1 Εισαγωγή

Για τον υπολογισμό των αρχικών συνθηκών, των αερίων CO₂ και CH₄ που παράγονται κατά την αποσύνθεση των απορριμμάτων, που χρειάζονται στο μοντέλο υπολογισμού οξείδωσης μεθανίου και αέριας διάχυσης, χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο εκτίμησης εκπομπών GasSim. Η ανάπτυξη του μοντέλου Gassim οφείλεται στην ανάγκη ύπαρξης ενός εργαλείου για την εκτίμηση των ετήσιων εκπομπών μάζας στην ατμόσφαιρα αέριων ρύπων από XYTA και ΧΔΑ.

6.2 Περιγραφή του μοντέλου GasSim

Το GasSim Lite, προσδιορίζει την παραγωγή του CH₄, του από τη μάζα των απορριμμάτων, με τη χρήση μιας εξίσωσης πολλαπλών φάσεων, η οποία ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης, για τη μεθανογενή αλλά και την όξινη φάση. Στην επίλυση λαμβάνεται υπόψη η σύσταση των απορριμμάτων, οι ετήσιες απορριπτόμενες ποσότητες και το ποσοστό υγρασίας τους. Το μοντέλο έχει επίσης τη δυνατότητα να υπολογίσει την παραγωγή των αερίων που βρίσκονται ως ίχνη στο βιοαέριο με βάση συγκεντρώσεις (ανά m³ βιοαερίου) που εισάγει ο χρήστης, ή τυπικές συγκεντρώσεις που παρέχει το μοντέλο.

Το GasSim χρησιμοποιεί παραμέτρους καθώς και δεδομένα όπως τη διήθηση (Infiltration) τα χαρακτηριστικά του Χ.Υ.Τ.Α.-Χ.Δ.Α. (Landfill Characteristics) και τα δεδομένα εισαγωγής της πηγής (Source) για τον υπολογισμό της παραγωγής του βιοαερίου

Τα δεδομένα εισαγωγής χωρίζονται σε τρία μέρη:

1. Διήθηση
2. Χαρακτηριστικά Χ.Υ.Τ.Α.-Χ.Δ.Α.
3. Πηγή

Οι πρώτες πληροφορίες που απαιτούνται από το μοντέλο, σχετίζονται με την περιοχή της προσομοίωσης. Στο παράθυρο με τίτλο 'Project Details', εισάγονται το όνομα της μελέτης, το όνομα του μελετητή, ορισμένα σχόλια, και τα παρακάτω:

- Το έτος έναρξης απόρριψης των απορριμμάτων, 'Start'
- Η διάρκεια απόρριψης των απορριμμάτων, 'Operational Period'
- Ο αριθμός των επαναλήψεων 'Iterations' (δηλαδή πόσες φορές θα τρέξει το μοντέλο)
- Η περίοδος προσομοίωσης 'Simulation Period'

Η πρόσβαση στο παράθυρο αυτό γίνεται από το κύριο μενού με την επιλογή 'Edit - Project Details'

Τα δεδομένα εισαγωγής που απαιτεί το μοντέλο είναι:

1. Το είδος απορριμμάτων
2. Η σύσταση των απορριμμάτων
3. Οι ετήσιες ποσότητες απορριμμάτων
4. Οι ρυθμοί αποδόμησης (γρήγορη, μέση, αργή αποδόμηση)
5. Η έκταση Χώρου Διάθεσης Απορριμμάτων
6. Η διήθηση
7. Αν έχει στεγάνωση πυθμένα
8. Αν έχει τελικό κάλυμμα
9. Η σύσταση βιοαερίου
10. Αν συλλέγεται το βιοαέριο
11. Βαθμός οξείδωσης CH_4

Στη συνέχεια ακολουθούν πληροφορίες για τον τρόπο εισαγωγής των απαιτούμενων δεδομένων.

6.2.1 Η διήθηση (Infiltration)

Η διήθηση εισάγεται από το παράθυρο 'Infiltration', το οποίο επιλέγεται από την επιφάνεια εργασίας του μοντέλου. Η επιλογή αυτή επιτρέπει στο χρήστη να καθορίζει τον ετήσιο ρυθμό βροχόπτωσης (mm/yr) με τον οποίο το νερό εισάγεται στο Χ.Υ.Τ.Α.-Χ.Δ.Α. διαμέσου των καλυμμένων ή των ακάλυπτων περιοχών.

Η διήθηση είναι η ενεργή βροχόπτωση που εισάγεται στη μάζα των απορριμμάτων και υπολογίζεται, αν από τη βροχόπτωση αφαιρεθεί η επιφανειακή απορροή και η εξατμισοδιαπνοή.

6.2.2 Η εισαγωγή των χαρακτηριστικών του ΧΥΤΑ-ΧΔΑ (Landfill Characteristics)

Τα χαρακτηριστικά του Χ.Υ.Τ.Α.-Χ.Δ.Α. εισάγονται από το παράθυρο 'Landfill Characteristics', το οποίο επιλέγεται από την επιφάνεια εργασίας του μοντέλου. Τα χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ-ΧΔΑ χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

Στη γεωμετρία του χώρου και στα συστήματα ελέγχου. Στη γεωμετρία του χώρου εισάγεται το μήκος και το πλάτος του ΧΥΤΑ-ΧΔΑ. Αυτές οι διαστάσεις καθορίζουν την

περιοχή στην οποία έχουν αποτεθεί τα απορρίμματα. Στα συστήματα ελέγχου εισάγονται τα χαρακτηριστικά της τελικής κάλυψης και τα χαρακτηρίστηκα της στεγάνωσης του πυθμένα.

6.2.3 Τα δεδομένα εισαγωγής της πηγής (Source)

Η πηγής έχει διαιρεθεί σε τρεις τομείς:

- Στα δεδομένα εισαγωγής απορριμμάτων στην πηγή, ‘Source’
- Στην υγρασία των απορριμμάτων, ‘Waste Moisture Content’
- Στον κατάλογο των αερίων που βρίσκονται σε ίχνη, ‘Trace gas Inventory’.

Τα δεδομένα εισαγωγής απορριμμάτων στην πηγή, ‘Source’ είναι η ποσότητα και η σύσταση των απορριμμάτων που ενταφιάζονται για κάθε έτος λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Ο ρυθμός εισαγωγής απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ, ‘Waste Input Rate’ (τόνοι), απαιτείται για κάθε έτος λειτουργίας. Το είδος των απορριμμάτων (π.χ. οικιακά, βιομηχανικά, αδρανή), εισάγεται με την επιλογή του κουτιού με τις τρεις κουκίδες δεξιά από το κουτί με το ονομασία ‘Breakdown’. Έτσι ανοίγει το παράθυρο ‘Waste Breakdown’ στο οποίο εισάγεται το ποσοστό που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο απορριμμάτων.

Η σύσταση του κάθε τύπου απορριμμάτων καθορίζεται από το εικονίδιο με την ονομασία ‘Composition’. Υπάρχει η επιλογή για την εισαγωγή προκαθορισμένων συστάσεων απορριμμάτων που έχουν εξαχθεί από μελέτες, ή την εισαγωγής της σύστασης των απορριμμάτων που δέχεται ο ΧΥΤΑ, από τον χρήστη αν αυτή είναι γνωστή. Η εισαγωγή της σύστασης των απορριμμάτων γίνεται στο παράθυρο ‘Waste Composition’. Στο παράθυρο αυτό εισάγονται ακόμα και άλλα χαρακτηριστικά των κλασμάτων των απορριμμάτων, όπως το ποσοστό υγρασίας, το περιεχόμενο σε κυτταρίνη και ο βαθμός αποσύνθεσης. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ποσότητας του άνθρακα που είναι διαθέσιμος για αργή, μέτρια, γρήγορη αποδόμηση, άρα και της ποσότητας - ρυθμού παραγωγής του βιοαερίου.

Στη συνέχεια επιστρέφοντας στο παράθυρο ‘Source’ επιλέγεται το ποσοστό των απορριμμάτων στα οποία τοποθετείται εδαφικό κάλυμμα μετά το πέρας του κάθε έτους λειτουργίας. Έτσι το GasSim μπορεί να υπολογίσει την ποσότητα του βιοαερίου που είναι διαθέσιμη για χρήση, αφού κάνει την παραδοχή πως το βιοαέριο που παράγεται στην περιοχή χωρίς εδαφικό κάλυμμα δε θα συλλεχθεί αλλά θα απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα.

Στα εικονίδια ‘Proportions of Methane’ και ‘Proportions of Carbon Dioxide’, εισάγεται η αναμενόμενη σύσταση του βιοαερίου σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα κατά τα χρόνια της προσομοίωσης.

Οι ρυθμοί αποδόμησης της κυτταρίνης ‘Cellulose Decay Rates’ που εισάγονται, για ξηρά (<30%), μέσης υγρασίας (30% - 60%), υγρά απορρίμματα (> 60%), σε συνδυασμό με τον άνθρακα που αποδομείται αργά, με μέσο ρυθμό και γρήγορα, καθορίζουν το ρυθμό αποδόμησης των απορριμμάτων. Υπάρχουν εξ ορισμού τιμές των ρυθμών αποδόμησης από το μοντέλο, ή ο χρήστης μπορεί να εισάγει τους ρυθμούς αποδόμησης των απορριμμάτων εάν αυτοί έχουν υπολογιστεί από μελέτη.

Στο παράθυρο εισαγωγής δεδομένων ‘Source’, εισάγεται ακόμα η υγρασία των απορριμμάτων από το ‘Waste Moisture Content’, αν αυτή είναι γνωστή από μελέτη, ή δέχεται τις εξορισμού τιμές από το μοντέλο.

Τέλος εισάγονται τα αέρια και οι συγκεντρώσεις που αναμένονται να βρίσκονται ως ίχνη στο βιοαέριο από το Trace Gas, η δέχεται τα εξορισμού αέρια και συγκεντρώσεις από το μοντέλο.

6.2.4 Μονάδα ανάκτησης ενέργειας ή καταστροφής του βιοαερίου (Gas Plant)

Το GasSim μέσω της επιλογής ‘Gas Plant’ από την επιφάνεια εργασίας του μοντέλου μπορεί και προσομοιάζει την καύση του βιοαερίου σε πυρσούς ή την ανάκτηση ενέργειας. Στο παράθυρο ‘Gas Plant’ εισάγεται ο αριθμός των πυρσών και των μηχανών παραγωγής ενέργειας, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

6.2.5 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Αφού εισαχθούν όλα τα δεδομένα που απαιτεί το μοντέλο, επιλέγουμε από τη επιφάνεια εργασίας το “Simulate” και εν συνεχεία το “Source Gases”. Αν δεν υπάρχουν λάθη ή ελλείψεις στα δεδομένα εισαγωγής το μοντέλο τρέχει και από το “Results” επιλέγουμε “IP Reporting”.

Το IP Reporting εξάγει τις αέριες μάζες του κάθε αερίου συστατικού που παράγονται και εκπέμπονται από τον X.Y.T.A.-X.Δ.A.. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται ανά έτος μετά το πρώτο έτος από την έναρξη λειτουργίας του X.Y.T.A.-X.Δ.A..

6.3 Υποθέσεις στην εφαρμογή του μοντέλου Gassim

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η οξείδωση μεθανίου, παραγόμενο από απορρίμματα, σε εδαφική κάλυψη ως ημίμετρο μέχρι την πλήρη αποκατάσταση του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων ή και για μικρούς Χ.Δ.Α. με ελάχιστες οικονομικές δυνατότητες. Για αυτό το λόγο εξετάζεται η οξείδωση στην έσχατη περίπτωση όπου δεν υπάρχει τελική κάλυψη, δεν υπάρχει στεγάνωση πυθμένα και δε συλλέγεται το βιοαέριο. Επίσης θεωρείται στο μοντέλο Gassim ότι δεν υπάρχει οξείδωση CH_4 καθώς σκοπός είναι ο βαθμός οξείδωσης να υπολογιστεί από το μοντέλο οξείδωσης μεθανίου και αέριας διάχυσης. Από τα αποτελέσματα του Gassim χρησιμοποιούνται οι μεγιστες παραγωγές CH_4 και CO_2 για να εξετασθούν οι χειρότερες περιπτώσεις εκπομπών αέριων θερμοκηπίου από το Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομουρί» και Χ.Υ.Τ.Α. στη θέση «Κορακιά».

6.4 Υπολογισμός παραγωγής CH_4 και CO_2

6.4.1 Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομουρίου»

6.4.1.1 Δεδομένα εισαγωγής

Οι πρώτες πληροφορίες που απαιτούνται από το μοντέλο είναι οι παρακάτω:

- Το έτος έναρξης απόρριψης απορριμμάτων, Ιανουάριος 2001
- Η διάρκεια απόρριψης των απορριμμάτων, 2 έτη
- Ο αριθμός των επαναλήψεων, 100
- Η περίοδος προσομοίωσης, 100 έτη

Τα δεδομένα εισαγωγής που απαιτεί το μοντέλο είναι:

1. Τα απορρίμματα είναι αστικά και λυματολάσπη βιολογικού
2. Οι απορριπτόμενες ποσότητες απορριμμάτων για τα έτη 2001 και 2002

Έτος	Βάρος απορριμμάτων (kg)	Βάρος λυματολάσπης (kg)	Συνολικό βάρος αποβλήτων (kg)
2001	64.997.382	5.293.622	70.291.004
2002	66.323.859	5.401.655	71.725.515

Από τα δεματοποιημένα του έτους 2002 4.000 τόνοι περίπου μεταφέρθηκαν στο 1^ο κύτταρο του νέου ΧΥΤΑ στη θέση «Κορακιά» οπότε τα συνολικά βάρη των ετών 2001 και 2002 ήταν

Έτος	Βάρος απορριμμάτων (kg)	Βάρος λυματολάσπης (kg)	Συνολικό βάρος αποβλήτων (kg)
2001	64.997.382	5.293.622	70.291.004
2002	62.323.859	5.401.655	67.725.515

Το ποσοστό λυματολάσπης στα απόβλητα είναι 7,5%

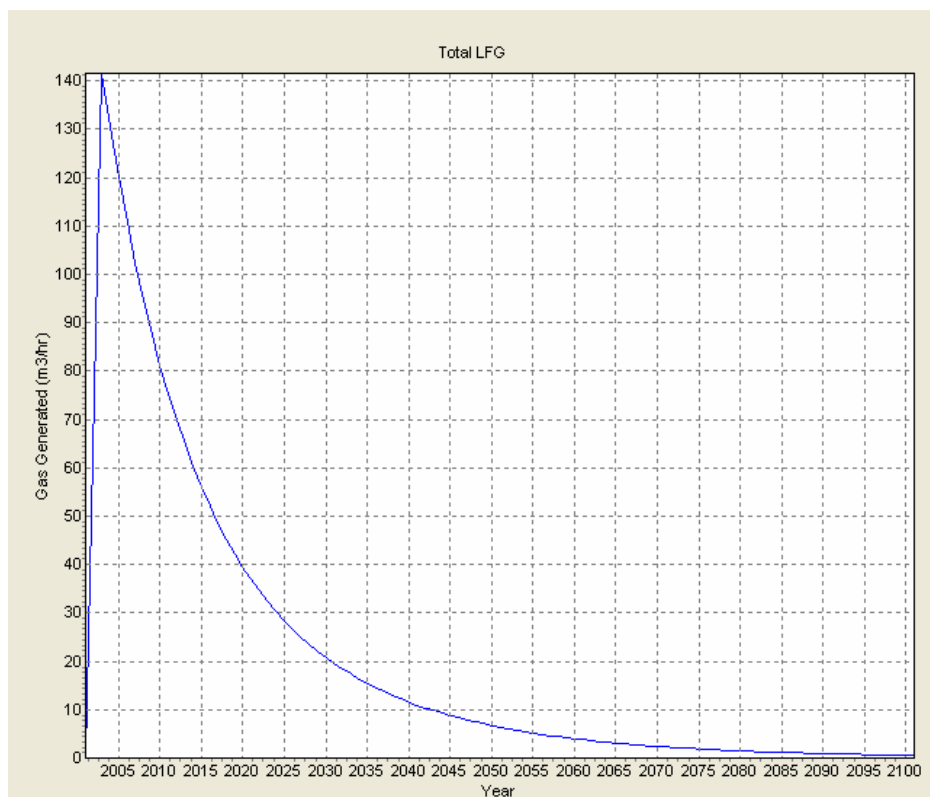
3. Η σύστασή των απορριμμάτων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα

Ζυμώσιμα	37,23%
Χαρτί	15,16%
Πλαστικά	14,12%
Μέταλλα	4,99%
Γυαλί	6,37%
Αλουμίνιο	1,94%
ΔΕΥΛ	11,08%
Αδρανή	0,87%
Υπόλοιπα	0,74%
Λυματολάσπη	7,5%

4. Οι ρυθμοί αποδόμισης είναι οι εξορισμού τιμές του μοντέλου
5. Η έκταση του ΧΔΑ είναι 16000m²
6. Η διήθηση είναι περίπου το 20% της βροχόπτωσης. Η μέση ετήσια βροχόπτωση με βάση τα στοιχεία 36 ετών, 1959-1995, του σταθμού Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας που βρίσκεται στη Σούδα είναι 650 mm/yr άρα η διήθηση είναι 130 mm/yr
7. Δεν έχει στεγάνωση τυθμένα
8. Θεωρείται ότι δεν υπάρχει τελικό κάλυμμα
9. Η σύσταση του βιοαερίου είναι 50% CH₄, 49% CO₂ και 1% άλλα αέρια
10. Θεωρείται ότι το βιοαέριο δε συλλέγεται
11. Θεωρείται ότι δεν οξειδώνεται το CH₄

6.4.1.2 Αποτελέσματα μοντέλου Gassim

Το μοντέλο μας έδωσε μέγιστη παραγωγή αερίων από τα απορρίμματα ένα έτος μετά την διακοπή εναπόθεσης απορριμμάτων στην περιοχή. Η παραγωγή CH_4 και CO_2 ήταν 445t και 1200t αντίστοιχα για το έτος 2003. Αυτό αντιστοιχεί σε ροή $5,51 \cdot 10^{-5} \text{ mol/m}^2\text{s}$ ($5,51 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$) για το CH_4 και $5,41 \cdot 10^{-5} \text{ mol/m}^2\text{s}$ ($5,41 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$) για το CO_2 .



Διάγραμμα 6-1: Ο ετήσιος ρυθμός παραγωγής – εκπομπής βιοαερίου (m^3/h)

PI Reporting

Year: 2003

Gas	Reporting Threshold	Value to report	(25%)	(75%)
Ammonia	1,00 t	Not Modelled		
Carbon Dioxide - 'chemical'	10,000,00 t	1,200,00 t	1,200,00 t	1,200,00 t
Carbon Dioxide - 'thermal'	N/A	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Carbon Disulphide	1,00 t	11,90 kg	3,48 kg	38,60 kg
Carbon Monoxide	100,00 t	5,25 kg	1,19 kg	71,00 kg
Hydrogen Chloride	10,00 t	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Hydrogen Cyanide	100,00 kg	Not Modelled		
Methane	10,00 t	445,00 t	445,00 t	445,00 t
Methyl Bromide	100,00 kg	Not Modelled		
Methyl chloride (chloromethane)	1,00 t	204,00 g	64,40 g	679,00 g
Methyl chloroform (1,1,1-trichloroethane)	10,00 kg	11,00 kg	993,00 g	76,80 kg
Methyl isocyanate	1,00 kg	Not Modelled		
3-Methyl-1-butene	100,00 kg	Not Modelled		
Methylamine	50,00 kg	Not Modelled		
Methylene chloride (dichloromethane)	1,00 t	0,00 g	0,00 g	0,00 g
4,4'-Methylene Dianiline	10,00 kg	Not Modelled		
Methylene Diphenyl Diisocyanate	1,00 kg	Not Modelled		
4,4'-Methylene-bis(2-Chloroaniline)	1,00 kg	Not Modelled		
Nitrobenzene	10,00 kg	Not Modelled		
2-Nitropropane	1,00 kg	Not Modelled		
Pentachlorophenol	1,00 kg	Not Modelled		
Pentane	100,00 kg	722,00 g	150,00 g	2,54 kg
Pentene (All Isomers)	1,00 t	2,39 kg	1,08 kg	3,89 kg
Phenol	10,00 kg	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Particulate Matter - PM10	1,00 t	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Particulate Matter - total	10,00 t	Not Modelled		
Perfluorocarbons (PFCs)	10,00 kg	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Polychlorinated Biphenyls (PCBs) - total as WHO TEQ	0,01 g	Not Modelled		
PAHs (modelled as Naphthalene)	100,00 kg	Not Modelled		
Sulphur Oxides, SO2 and SO3 as SO2	100,00 t	0,00 g	0,00 g	0,00 g

Print Done Help

Εικόνα 6-1: Το παράθυρο αποτελεσμάτων αέριων μαζών του έτους 2003
(σε αυτό βλέπουμε τις αέριες μάζες του CH₄ και του CO₂)

6.4.2 X.Y.T.A. στη θέση «Κορακιά»

6.4.2.1 Δεδομένα εισαγωγής

Οι πρώτες πληροφορίες που απαιτούνται από το μοντέλο είναι οι παρακάτω:

- Το έτος έναρξης απόρριψης απορριμμάτων, Ιανουάριος 2003
- Η διάρκεια απόρριψης των απορριμμάτων, 4 έτη
- Ο αριθμός των επαναλήψεων, 100
- Η περίοδος προσομοίωσης, 100 έτη

Τα δεδομένα εισαγωγής που απαιτεί το μοντέλο είναι:

1. Τα απορρίμματα είναι αστικά και λυματολάσπη βιολογικού
2. Οι απορριπτόμενες ποσότητες απορριμμάτων για τα έτη 2003 έως και 2006 ήταν:

Έτος	Βάρος απορριμμάτων (kg)	Βάρος λυματολάσπης (kg)	Συνολικό βάρος αποβλήτων (kg)
2003	67.677.407	5.511.893	77.189.301
2004	69.058.579	5.624.381	74.682.960
2005	70.467.938	5.739.164	76.207.102
2006	71.906.059	5.856.290	77.762.349

Από τα δεματοποιημένα του έτους 2002 4.000 τόνοι περίπου μεταφέρθηκαν στο 1^ο κύτταρο του νέου Χ.Υ.Τ.Α. στη θέση <<Κορακιά>> το έτος 2003 οπότε τα συνολικά βάρη των ετών 2003 έως και 2006 ήταν:

Έτος	Βάρος απορριμμάτων (kg)	Βάρος λυματολάσπης (kg)	Συνολικό βάρος αποβλήτων (kg)
2003	71.677.407	5.511.893	77.189.301
2004	69.058.579	5.624.381	74.682.960
2005	70.467.938	5.739.164	76.207.102
2006	71.906.059	5.856.290	77.762.349

Το ποσοστό λυματολάσπης στα απόβλητα είναι 7,5%

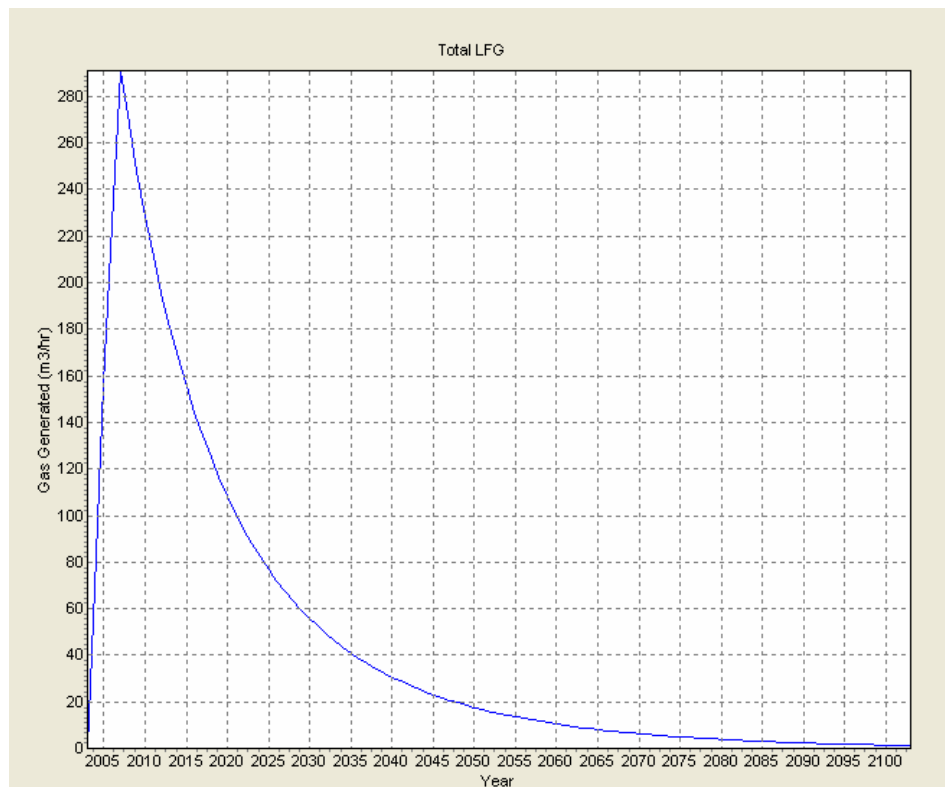
3. Η σύστασή των απορριμμάτων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα

Ζυμώσιμα	37,23%
Χαρτί	15,16%
Πλαστικά	14,12%
Μέταλλα	4,99%
Γυαλί	6,37%
Αλουμίνιο	1,94%
ΔΞΥΛ	11,08%
Αδρανή	0,87%
Υπόλοιπα	0,74%
Λυματολάσπη	7,5%

4. Οι ρυθμοί αποδομησης είναι οι εξορισμού τιμές του μοντέλου
5. Η έκταση του Χ.Υ.Τ.Α. είναι 45000m^2
6. Η διήθηση είναι περίπου το 20% της βροχόπτωσης. Η μέση ετήσια βροχόπτωση με βάση τα στοιχεία 36 ετών, 1959-1995, του σταθμού Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας που βρίσκεται στη Σούδα είναι 650 mm/yr άρα η διήθηση είναι 130 mm/yr
7. Θεωρείται ότι δεν υπάρχει στεγάνωση πυθμένα
8. Δεν έχει τελικό κάλυμμα
9. Η σύσταση του βιοαερίου είναι 50% CH_4 , 49% CO_2 και 1% άλλα αέρια
10. Το βιοαέριο δε συλλέγεται
11. Θεωρείται ότι δεν οξειδώνεται το CH_4

6.4.2.2 Αποτελέσματα μοντέλου Gassim

Το μοντέλο μας έδωσε μέγιστη παραγωγή αερίων από τα απορρίμματα ένα έτος μετά την διακοπή εναπόθεσης απορριμμάτων στην περιοχή. Η παραγωγή CH_4 και CO_2 ήταν 917t και 2480t αντίστοιχα για το έτος 2007. Αυτό αντιστοιχεί σε ροή $4,04 \cdot 10^{-5}\text{ mol/m}^2\text{s}$ ($4,04\text{ nmol/cm}^2\text{s}$) για το CH_4 και $3,97 \cdot 10^{-5}\text{ mol/m}^2\text{s}$ ($3,97\text{ nmol/cm}^2\text{s}$) για το CO_2 .



Διάγραμμα 6-2: Ο ετήσιος ρυθμός παραγωγής – εκπομπής βιοαερίου (m^3/h)

PI Reporting

Year: 2007

Gas	Reporting Threshold	Value to report	(25%)	(75%)
Ammonia	1,00 t	Not Modelled		
Carbon Dioxide - 'chemical'	10,000.00 t	2,480.00 t	2,480.00 t	2,480.00 t
Carbon Dioxide - 'thermal'	N/A	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Carbon Disulphide	1,00 t	15,60 kg	5,36 kg	65,50 kg
Carbon Monoxide	100,00 t	7,76 kg	1,30 kg	64,60 kg
Hydrogen Chloride	10,00 t	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Hydrogen Cyanide	100,00 kg	Not Modelled		
Methane	10,00 t	917,00 t	917,00 t	917,00 t
Methyl Bromide	100,00 kg	Not Modelled		
Methyl chloride (chloromethane)	1,00 t	327,00 g	126,00 g	1,18 kg
Methyl chloroform (1,1,1-trichloroethane)	10,00 kg	10,70 kg	1,04 kg	178,00 kg
Methyl Isocyanate	1,00 kg	Not Modelled		
3-Methyl-1-butene	100,00 kg	Not Modelled		
Methylamine	50,00 kg	Not Modelled		
Methylene chloride (dichloromethane)	1,00 t	0,00 g	0,00 g	0,00 g
4,4'-Methylene Dianiline	10,00 kg	Not Modelled		
Methylene Diphenyl Diisocyanate	1,00 kg	Not Modelled		
4,4'-Methylene-bis(2-Chloroaniline)	1,00 kg	Not Modelled		
Nitrobenzene	10,00 kg	Not Modelled		
2-Nitropropane	1,00 kg	Not Modelled		
Pentachlorophenol	1,00 kg	Not Modelled		
Pentane	100,00 kg	1,17 kg	348,00 g	4,43 kg
Pentene (All Isomers)	1,00 t	3,32 kg	1,68 kg	6,02 kg
Phenol	10,00 kg	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Particulate Matter - PM10	1,00 t	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Particulate Matter - total	10,00 t	Not Modelled		
Perfluorocarbons (PFCs)	10,00 kg	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Polychlorinated Biphenyls (PCBs) - total as WHO TEQ	0,01 g	Not Modelled		
PAHs (modelled as Naphthalene)	100,00 kg	Not Modelled		
Sulphur Oxides, SO2 and SO3 as SO2	100,00 t	0,00 g	0,00 g	0,00 g

Print Done Help

Εικόνα 6-2: Το παράθυρο αποτελεσμάτων αέριων μαζών του έτους 2007
(σε αυτό βλέπουμε τις αέριες μάζες του CH_4 και του CO_2)

7. Το μοντέλο προσομοίωσης διάχυσης αερίου και οξείδωσης μεθανίου σε εδαφική κάλυψη X.Δ.Α.-X.Υ.Τ.Α.

7.1 Εισαγωγή

Η κάλυψη σε X.Δ.Α.-X.Υ.Τ.Α. οξειδώνει ένα ιδιαίτερο μέρος του μεθανίου που παράγεται από τα απορρίμματα που έχουν διατεθεί στο χώρο. Παρά τις πολλές προσπάθειες αυτή η οξείδωση είναι ακόμα φτωχά ποσοτικοποιημένη. Προκειμένου να μειωθούν οι αβεβαιότητες που συνδέθηκαν με την οξείδωση μεθανίου στην κάλυψη X.Δ.Α.-X.Υ.Τ.Α., ένα μοντέλο προσομοίωσης των με εξισώσεις των Stefan-Maxwell αναπτύχθηκε που ενσωματώνει τη διάχυση και την οξείδωση μεθανίου που προκαλείται από τους μεθανοτροφικούς μικροοργανισμούς. Το μοντέλο βαθμονομείται με εργαστηριακά στοιχεία από μια προηγούμενη μελέτη των De Visscher et al. Υπήρξε μια άριστη συμφωνία μεταξύ του μοντέλου και των πειραματικών στοιχείων.

Ο στόχος αυτού του μοντέλου προσομοίωσης είναι η πρόβλεψη της οξείδωσης CH_4 στην κάλυψη των X.Δ.Α.-X.Υ.Τ.Α., χρησιμοποιώντας εύκολα αποκτήσιμες παραμέτρους όπως ο τύπος εδάφους και οι κλιματολογικές συνθήκες, ένας ελάχιστος αριθμός κινητικών παραμέτρων και ένα καθιερωμένο μηχανισμό αυτού του ισοζυγίου μάζας. Το μοντέλο που αναπτύσσεται είναι δυναμικό προκειμένου να επιτραπούν οι προβλέψεις από τη μεθανοτροφική δραστηριότητα. Τα αποτελέσματα αυτού του μοντέλου που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία εξάγονται υπό μόνιμες συνθήκες μεταφοράς μάζας, δηλαδή συνθήκες όπου η συγκέντρωση από ένα σημείο και μετά δε φέρουν χρονική εξάρτηση. Η διαφορά μεταξύ των λύσεων της σταθερής κατάστασης ενός δυναμικού μοντέλου και ενός στατικού μοντέλου είναι ότι οι αρχικά μια μεθανοτροφική δραστηριότητα εξαρτιέται από τη ροή των αερίων και άλλων παραγόντων ενώ τελικά δημιουργείται μια σταθερή μεθανοτροφική δραστηριότητα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο προσομοίωσης διάχυσης αερίου και οξείδωσης μεθανίου σε εδαφική κάλυψη παχιάς άμμου για το X.Δ.Α. στη θέση «Μεσομούρι» και στο πρώτο Κύτταρο του X.Υ.Τ.Α. στη θέση «Κορακιά».

7.2 Περιγραφή του μοντέλου

7.2.1. Προκαταρκτικές εκτιμήσεις

Μοριακή διάχυση σε ένα μίγμα δύο-συστατικών αερίου από το νόμο Fick:

$$J_i = -D_{ij} \frac{dc_i}{dz} \quad (1)$$

Οπού

J_i = η ροή του συστατικού i που χρησιμοποιεί τη μέση μοριακή ταχύτητα του αερίου ως πλαίσιο της αναφοράς (το μέρος της ροής της ένωσης i που δεν μπορεί να αποδοθεί στη ροή)

D_{ij} = ο συντελεστής διάχυσης του συστατικού i στο συστατικό j

c_i = η συγκέντρωση του συστατικού i

z = η συντεταγμένη μήκους

Ροές λόγω της μετατόπισης των αερίων πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε μια μαζική ισορροπία όταν ο νόμος Fick χρησιμοποιείται για τη διάχυση.

Διακρίνουμε την ροή σε J_i (πλαίσιο της αναφοράς κίνηση με το αέριο) και N_i (πλαίσιο της αναφοράς που καθορίζεται από το έδαφος) επειδή δεν είναι ίσοι όταν υπάρχει ένα δίκτυο ροής κίνησης αέριας μάζας, όπως συμβαίνει σε ένα χώμα κάλυψης X.Δ.Α.-X.Y.T.A..

Μια παρόμοια εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάχυση Knudsen, μια διαδικασία που εμφανίζεται όταν οι πόροι είναι τόσο στενοί που οι συγκρούσεις μόριων-τοιχών είναι ο κύριος μηχανισμός μεταφοράς:

$$N_i = -D_{i,Knudsen} \frac{dc_i}{dz} \quad (2)$$

Όπου

N_i = η ροή του συστατικού i που χρησιμοποιεί ένα σταθερό πλαίσιο αναφοράς

$D_{i, Knudsen}$ = ο συντελεστής διάχυσης Knudsen.

Η ροή δεν εισάγει πλέον την εικόνα. Θα μπορούσαμε να πούμε πως η διάχυση και η ροή δεν μπορούν πλέον να διακριθούν, όπως συμβαίνει με το πρότυπο Bogner et Al.

Για ένα πολλών συστατικών μίγμα αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση Stefan-Maxwell:

$$-\frac{P}{RT} \frac{\partial y_i}{\partial z} = \sum_{j=1}^n \frac{N_j y_j - N_i y_i}{D_{ij}} \text{ με } j \neq i \quad (3)$$

Όπου

y_i = το κλάσμα των mole του συστατικού i

P= η απόλυτη πίεση (atm)

R= η σταθερά αερίου (0.082lt atm mol⁻¹ K⁻¹)

T= η απόλυτη θερμοκρασία (K)

Είναι μια διαδεδομένη παρερμηνεία ότι η εξίσωση (3) δεν υπολογίζει τη ροή αερίου. Εντούτοις, αυτή η εξίσωση ήταν αναπτυγμένη σαν μια έκδοση της εξίσωσης (1) πολλών συστατικών (δηλ. σχετικά με ένα πλαίσιο της αναφοράς που κινείται με μέση μοριακή ταχύτητα αερίου) η οποία μετά μετασχηματίστηκε σε σταθερό πλαίσιο αναφοράς. Μπορεί να παρουσιαστεί έκδοση δύο-συστατικών της εξίσωσης (3) που μπορεί να ξαναγραφεί ως εξίσωση διάχυσης και μετατόπισης.

Οι εξισώσεις Stefan- Maxwell δεν μπορούν από μόνες τους να περιγράψουν τη διάχυση Knudsen.

Οι εξισώσεις Stefan- Maxwell περιγράφουν επαρκώς την αέρια μεταφορά στα πορώδη μέσα εάν δύο όροι ικανοποιούνται. Ο πρώτος είναι ότι η διάχυση Knudsen είναι αμελητέα. Ο δεύτερος ο όρος είναι ότι η ροή των συστατικών του αερίου είναι γνωστή σε ένα σημείο στο διαμορφωμένο σύστημα. Η διάχυση Knudsen είναι ασήμαντη υπό τους βέλτιστους όρους για την οξείδωση CH₄. Επομένως, το μοντέλο που παρουσιάζεται σε αυτό το έγγραφο δεν υπολογίζει τη διάχυση Knudsen. Με τη χρησιμοποίηση των τεράστιων αέριων ροών που εισάγονται στο έδαφος Χ.Δ.Α. από κάτω ως παράμετρος εισαγωγής, οι εξισώσεις Stefan- Maxwell ήταν επαρκείς για το σκοπό μας. Τα συστατικά που υπολογιστήκαν είναι CH₄, το CO₂ το O₂ και το N₂.

Το παραπάνω μοντέλο δεν ενσωματώνει τη μηχανική διασπορά, τα αποτελέσματα μαζικής μεταφοράς από τις τυχαίες κινήσεις των μεγάλων αριθμών μορίων, όπως τα αποτελέσματα αναταραχής. Εντούτοις, οι Perera et Al πρόσφατα ενσωμάτωσαν τη μηχανική διασπορά σε ένα μοντέλο αξιολογώντας την απόδοση των θαλάμων ροής για μετρήσεις ροής CH₄ στην κάλυψη Χ.Δ.Α.-Χ.Υ.Τ.Α. και κατέληξαν στο ότι η διασπορά γίνεται σημαντική στις ταχύτητες ροής 1m day⁻¹, που κατά προσέγγιση ισοδύναμη με 300g CH₄ m⁻² day⁻¹ (21,7 nmol/cm²s). Δεδομένου ότι οι ροές αερίου στην εδαφική κάλυψη είναι συνήθως μικρότερες από 300g CH₄ m⁻² day⁻¹, δεν ενσωματώσαμε τη μηχανική διασπορά στο μοντέλο μας.

Η διαλυτότητα του CO₂ στο νερό είναι 1-2 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από τη διαλυτότητα άλλων εξεταζόμενων αέριων. Κατά συνέπεια συσώρευση του CO₂ μέσα στη εδαφική υγρασία δεν είναι αμελητέα. Εντούτοις, αυτό είναι παροδικό φαινόμενο. Μόλις το διαλυμένο CO₂ έρθει σε ισορροπία με το CO₂ αέριας φάσης, και το τελευταίο είναι σε σταθερή κατάσταση, δεν υπάρχει πλέον καμία μεταφορά από τη μια φάση στην άλλη, και το διαλυμένο CO₂ δεν παίζει πλέον κανένα ρόλο στη μαθηματική διαδικασία. Δεδομένου ότι το μοντέλο λειτουργεί κάτω από σταθερές συνθήκες, η διάλυση του CO₂ δεν υπολογίστηκε στο μοντέλο.

7.2.2 Η ανάπτυξη του μοντέλου

Η βάση του μοντέλου προσομοίωσης είναι η παροδική μαζική ισορροπία από ένα απειροελάχιστο εδαφικό στρώμα, το οποίο οδηγεί στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\varepsilon \frac{\theta y_i}{\theta t} \frac{P}{RT} = \rho_{DB} r_i - \frac{\theta N_i}{\theta z} \quad (4)$$

Όπου

ε = το γεμισμένο με αέρα διάστημα των πόρων

z = το βάθος ($z = 0$ m στην εδαφική επιφάνεια)

ρ_{DB} = το στεγνό ειδικό βάρος του εδάφους ($\text{kg}_{\text{soil DW}} \text{m}^{-3}_{\text{soil}}$)

r_i = ο ρυθμός αντίδρασης του συστατικού i ($\text{mol kg}^{-1}_{\text{soil DW}} \text{s}^{-1}$)

Η ροή N_i είναι επιλεγμένη θετικά σε περίπτωση μιας προς τα κάτω ροής.

Οι εξισώσεις Stefan-Maxwell που εφαρμόζονται σε ένα εδαφικό καλούπι. Μπορούν να γραφτούν:

$$-\frac{P}{RT} \frac{\theta y_i}{\theta z} = \sum_{j=1}^n \frac{N_i y_j - N_j y_i}{D_{\text{soil},ij}} \quad \text{με } j \neq i \quad (5)$$

$D_{\text{soil},ij}$ ($\text{m}^3_{\text{gas}} \text{m}^{-1}_{\text{soil}} \text{s}^{-1}$ ή απλούστερα $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) ο δυαδικός συντελεστής διάχυσης ενός μίγματος αερίων i και j σε ένα εδαφικό καλούπι.

$$D_{\text{soil},ij} = \tau D_{ij} \quad (6)$$

D_{ij} ο μοριακός συντελεστής διάχυσης στο ελεύθερο αέριο ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), από τους Marrero και Mason, και τ ($\text{m}_{\text{gas}} \text{m}_{\text{soil}}^{-1}$) ο παράγοντας που ενσωματώνει τα αποτελέσματα του

περιορισμένου διαστήματος των πόρων, της τύρβης του εδάφους. Στην περίπτωση μας το εδαφικό τ υπολογίστηκε από την εξίσωση του Moldrup et Al (2000):

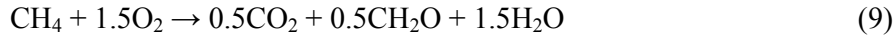
$$\tau = \frac{\varepsilon^{2,5}}{\Phi} \quad (7)$$

ε το διάστημα πόρων γεμισμένο με αέριο ($\text{m}^3_{\text{gas}} \text{m}^{-3}_{\text{soil}}$) και Φ το συνολικό πορώδες ($\text{m}^3_{\text{void}} \text{m}^{-3}_{\text{soil}}$)

Η επίλυση της εξίσωσης (4) απαιτεί τη γνώση του ποσοστού αντίδρασης. Η ακόλουθη αντίδραση υποτέθηκε:



α και β οι στοιχειομετρικοί παράγοντες. Η παραγωγή νερού δεν εξετάστηκε επειδή το παραγόμενο νερό υποθέθηκε ότι άφησε την αέρια φάση. Η σχετική υγρασία από την αέρια φάση στην κάλυψη Χ.Δ.Α. αναμένεται να είναι κοντά στο 100%. Οι τιμές 1,5 και 0,5 χρησιμοποιήθηκαν τους συντελεστές α και β αντίστοιχα σύμφωνα με την αντίδραση έχουμε την εξίσωση:



Οπού το CH_2O είναι η βιομάζα.

Σύμφωνα με την εξίσωση (6), $r_{\text{O}_2} = \alpha \cdot r_{\text{CH}_4} < 0$ και $r_{\text{CO}_2} = -\beta \cdot r_{\text{CH}_4} > 0$. Για το r_{CH_4} χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη κινητική εξίσωση:

$$r_{\text{CH}_4} = -\frac{V_{\max} y_{\text{CH}_4}}{K_m + y_{\text{CH}_4}} \cdot \frac{y_{\text{O}_2}}{K_{\text{O}_2} + y_{\text{O}_2}} \quad (10)$$

Το K_m είναι η σταθερά κορεσμού και το V_{\max} είναι ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης CH_4 σε μια γνωστή δραστηριότητα και αντιπροσωπεύει τους αερόβιους μεθανοτροφικούς μικροοργανισμούς, βιομάζα, που βρίσκονται στο έδαφος

Για την επίλυση της εξίσωσης (4) δημιουργήθηκε ένα πλέγμα σημείων ως προς το βάθος. Αυτό οδήγησε σε ένα σύνολο συνηθισμένων διαφορικών εξισώσεων για κάθε ένα από τα συστατικά του αερίου που υπάρχει επιθυμία να υπολογιστούν. Για την επίλυση της εξίσωσης (4) είναι επίσης απαραίτητη γνώση της ροής κάθε συστατικού του αερίου σε όλο

το έδαφος. Αυτό υπολογίστηκε από την εξίσωση (5). Η εξίσωσης (5) οδήγησε σε ένα σύνολο γραμμικών εξισώσεων για κάθε σημείο πλέγματος, με αγνώστους, τις ροές αερίου.

7.2.3 Παράμετροι του μοντέλου

Οι κινητικές παράμετροι που απαιτήθηκαν για το μοντέλο λήφθηκαν από ένα σύνολο εργαστηριακών στηλών χώματος που προσομοιάζουν την κάλυψη Χ.Δ.Α.-Χ.Υ.Τ.Α... Το χώμα που χρησιμοποιήθηκε είναι παχιά άμμος.

Για το K_m χρησιμοποιήθηκε μια μέση τιμή 6600 ml l^{-1} στην προσομοίωση με θερμοκρασία 22°C από το πείραμα στηλών de Visscher et Al. Το V_{\max} για παχιά άμμο μπορεί να φτάσει στη μέγιστη τιμή των $750 \text{ nmol CH}_4 \text{ kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ DW s}^{-1}$ σε θερμοκρασία 22°C . Στην περίπτωση μας θα χρησιμοποιήθηκε ένα μέσο V_{\max} και εξετάστηκε κατά πόσο επιρεάζεται το μοντέλο από τις μεταβολές του V_{\max} . Η μέση τιμή για το V_{\max} που χρησιμοποιήθηκε είναι $415 \text{ nmol CH}_4 \text{ kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ DW s}^{-1}$. Στην επιφάνεια και μετά από ένα ορισμένο βάθος το V_{\max} είναι μηδέν καθώς οι συνθήκες που επικρατούν (θρεπτικά, υγρασία, παρουσία οξυγόνου, κλπ) δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη και επιβίωση αερόβιων μεθανοτροφικών μικροοργανισμών. Μέγιστη ανάπτυξη της μεθανοτροφικής δραστηριότητας παρατηρείται στο βάθος που βρίσκεται στο μέσο μεταξύ των άκρων όπου η μεθανοτροφική δραστηριότητα είναι μηδέν. Η σταθερά K_{O_2} υποτέθηκε ότι ήταν 1,2% (de Visscher et Al), ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία.

Πίνακας 7-1: Παράμετροι μοντέλου για την προσομοίωση των εργαστηριακών συνθηκών με των συνθηκών πεδίου

Παράμετροι	Τιμές
$K_m(\mu\text{l l}^{-1}) (22^\circ\text{C})$	6600
$K_{O_2} (\%)$	1,2
Στοιχειομετρικός παράγοντας α	1,5
Στοιχειομετρικός παράγοντας β	0,5
$\varepsilon (\text{m}^3_{\text{gas}} \text{m}^{-3}_{\text{soil}})$	0,25
$\Phi (\text{m}^3_{\text{void}} \text{m}^{-3}_{\text{soil}})$	
$\rho_{DB} (\text{kg}_{\text{soil}} \text{m}^{-3})$	1300
$D_{O_2,CO_2} -(cm^2 s^{-1})$	0,161
$D_{O_2,CH_4} -(cm^2 s^{-1})$	0,119
$D_{CO_2,N_2} -(cm^2 s^{-1})$	0,165
$D_{CO_2,CH_4} -(cm^2 s^{-1})$	0,115
$D_{CH_4,N_2} -(cm^2 s^{-1})$	0,111
$D_{O_2,N_2} -(cm^2 s^{-1})$	0,204
$T (^\circ\text{C})$	22
$P (\text{atm})$	1
$R (\text{lt atm mol}^{-1} \text{K}^{-1})$	0,082

7.2.4 Οι εξισώσεις του μοντέλου για σταθερές συνθήκες

Το μοντέλο για σταθερές συνθήκες δε λαμβάνει υπόψη του το χρόνο. Οπότε οι εξισώσεις του μοντέλου που περιέχουν σαν μεταβλητή το χρόνο μεταβάλλονται. Τα αέρια εδαφικά συστατικά που εξετάστηκαν στο μοντέλο ήταν το O_2 , το CH_4 , το CO_2 και το N_2 . Υπολογίστηκαν από το μοντέλο οι ρυθμοί, οι ροές και τα γραμμομοριακά του κάθε συστατικού. Επίσης προστέθηκε και εξίσωση υπολογισμού μέγιστου ρυθμού οξείδωσης του CH_4 από τους μεθανοτροφικούς μικροοργανισμούς η οποία αντιπροσωπεύει την κοινότητα της βιομάζας. Οι εξισώσεις του μοντέλου για σταθερές συνθήκες είναι οι παρακάτω:

Εξίσωση ρυθμού οξείδωσης CH_4 σε μια γνωστή δραστηριότητα, όπου V_{max} σε $(nmol \cdot kg_{soil}^{-1} \cdot s^{-1})$

$$V_m = V_{max} \cdot biomass; \quad (1)$$

Όπου

V_{max} = ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης CH_4

$biomass$ = η βιομάζα

Η βιομάζα υπολογίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$biomass = biomass_{max} \cdot 2 \cdot z / L \quad \text{για } z > L/2$$

και

$$biomass = biomass_{max} \cdot 2 \cdot (L - z) / L \quad \text{για } z < L/2$$

Όπου

$biomass_{max}$ = η μέγιστη βιομάζα

L = το συνολικό βάθος εξέτασης

z = το σημεικό βάθος εξέτασης σε κάθε βήμα

Εξισώσεις ρυθμού για το κάθε συστατικό

$$r_{CH_4} = - \frac{V_m \cdot y_{CH_4}}{K_m + y_{CH_4}} \cdot \frac{y_{O_2}}{K_{O_2} + y_{O_2}} \quad (2)$$

$$r_{CO_2} = -0.5 r_{CH_4} \quad (3)$$

$$r_{O_2} = 1.5 r_{CH_4} \quad (4)$$

$$r_{N_2} = 0 \quad (\text{καθώς το } N_2 \text{ είναι αδρανές αέριο}) \quad (5)$$

Εξισώσεις ροής του κάθε συστατικού

Το (-) στις εξισώσεις $\rho_{DB} r_i = - \frac{dN_i}{dz}$ συμβολίζει την αντίθετη ροή των συστατικών από αυτή την οποία έχει τεθεί σαν θετική.

$$\rho_{DB} r_{CH_4} = - \frac{dN_{CH_4}}{dz} \quad (6)$$

$$\rho_{DB} r_{CO_2} = - \frac{dN_{CO_2}}{dz} \quad (7)$$

$$\rho_{DB} r_{O_2} = (-) - \frac{dN_{O_2}}{dz} \Rightarrow$$

$$\rho_{DB} r_{O_2} = \frac{dN_{O_2}}{dz} \quad (8)$$

$$\frac{dN_{N_2}}{dz} = 0 \quad (9)$$

Για το N_2 θεωρήθηκε μια μικρή σταθερή ή μηδενική ροή καθώς αυτό είναι αδρανές και είχε γεμίσει εξ αρχής τους πόρους.

Εξισώσεις γραμμομοριακού κλάσματος για το κάθε συστατικό

Για το CH_4

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{CH_4}}{dz} = \frac{N_{CH_4} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{CH_4}}{D_{CH_4, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{O_2} - N_{O_2} y_{CO_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{N_2} - N_{N_2} y_{CO_2}}{D_{N_2, CO_2}}$$

Λαμβάνοντας υπόψη την αντιροή η εξίσωση γίνεται:

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{CH_4}}{dz} = \frac{N_{CH_4} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{CH_4}}{D_{CH_4, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{O_2} + N_{O_2} y_{CO_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{N_2} + N_{N_2} y_{CO_2}}{D_{N_2, CO_2}} \quad (8)$$

Για το CO_2

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{CO_2}}{dz} = \frac{N_{CO_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{CO_2}}{D_{CH_4, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{O_2} - N_{O_2} y_{CO_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{N_2} - N_{N_2} y_{CO_2}}{D_{N_2, CO_2}}$$

Λαμβάνοντας υπόψη την αντιροή η εξίσωση γίνεται:

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{CO_2}}{dz} = \frac{N_{CO_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{CO_2}}{D_{CH_4, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{O_2} + N_{O_2} y_{CO_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{N_2} + N_{N_2} y_{CO_2}}{D_{N_2, CO_2}} \quad (9)$$

Για το O_2

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{O_2}}{dz} = \frac{N_{O_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{O_2}}{D_{CH_4, O_2}} + \frac{N_{O_2} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{O_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{N_{O_2} y_{N_2} - N_{N_2} y_{O_2}}{D_{O_2, N_2}}$$

Λαμβάνοντας υπόψη την αντιροή η εξίσωση γίνεται:

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{O_2}}{dz} = \frac{-N_{O_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{O_2}}{D_{CH_4, O_2}} + \frac{-N_{O_2} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{O_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{-N_{O_2} y_{N_2} + N_{N_2} y_{O_2}}{D_{O_2, N_2}} \quad (10)$$

Για το N_2

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{N_2}}{dz} = \frac{N_{N_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{N_2}}{D_{CH_4, N_2}} + \frac{N_{N_2} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{N_2}}{D_{N_2, CO_2}} + \frac{N_{N_2} y_{O_2} - N_{O_2} y_{N_2}}{D_{O_2, N_2}}$$

Λαμβάνοντας υπόψη την αντιροή η εξίσωση γίνεται:

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{N_2}}{dz} = \frac{-N_{N_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{N_2}}{D_{CH_4, N_2}} + \frac{-N_{N_2} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{N_2}}{D_{N_2, CO_2}} + \frac{-N_{N_2} y_{O_2} + N_{O_2} y_{N_2}}{D_{O_2, N_2}} \quad (11)$$

Τελικά καταλήξαμε σε ένα σύστημα οχτώ μερικών διαφορικών εξισώσεων με οχτώ αγνώστους. Οι εξισώσεις αυτές είναι:

$$\rho_{DB} r_{CH_4} = -\frac{dN_{CH_4}}{dz} \quad (1)$$

$$\rho_{DB} r_{CO_2} = -\frac{dN_{CO_2}}{dz} \quad (2)$$

$$\rho_{DB} r_{O_2} = \frac{dN_{O_2}}{dz} \quad (3)$$

$$\frac{dN_{N_2}}{dz} = 0 \quad (4)$$

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{CH_4}}{dz} = \frac{N_{CH_4} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{CH_4}}{D_{CH_4, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{O_2} + N_{O_2} y_{CO_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{N_2} + N_{N_2} y_{CO_2}}{D_{N_2, CO_2}} \quad (5)$$

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{CO_2}}{dz} = \frac{N_{CO_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{CO_2}}{D_{CH_4, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{O_2} + N_{O_2} y_{CO_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{N_{CO_2} y_{N_2} + N_{N_2} y_{CO_2}}{D_{N_2, CO_2}} \quad (6)$$

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{O_2}}{dz} = \frac{-N_{O_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{O_2}}{D_{CH_4, O_2}} + \frac{-N_{O_2} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{O_2}}{D_{O_2, CO_2}} + \frac{-N_{O_2} y_{N_2} + N_{N_2} y_{O_2}}{D_{O_2, N_2}} \quad (7)$$

$$-\frac{P}{RT} \frac{dy_{N_2}}{dz} = \frac{-N_{N_2} y_{CH_4} - N_{CH_4} y_{N_2}}{D_{CH_4, N_2}} + \frac{-N_{N_2} y_{CO_2} - N_{CO_2} y_{N_2}}{D_{N_2, CO_2}} + \frac{-N_{N_2} y_{O_2} + N_{O_2} y_{N_2}}{D_{O_2, N_2}} \quad (8)$$

7.2.5 Οι παράμετροι και οι συνοριακές συνθήκες του μοντέλου

Για τη μαθηματική επίλυση των εξισώσεων απαιτηθήκαν οι τιμές των παραγόντων του βάθους στο οποίο το μοντέλο εξετάζει τις μεταβολές στις αέριες συγκεντρώσεις και ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης του CH_4 (V_{max}) από τη μεθανοτροφική δραστηριότητα, βιομάζα. Οι συνοριακές συνθήκες είναι η ροή του κάθε αέριου συστατικού στο έδαφος και το γραμμομοριακό κλάσμα των συστατικών του εδαφικού αέρα. Οι παράγοντες και οι συνοριακές συνθήκες τέθηκαν με βάση ότι το μοντέλο ξεκινά την επίλυση από το βάθος της επικάλυψης και παρακολουθεί την συμπεριφορά της ροής και του γραμμομοριακού των αέριων συστατικών μέχρι την επιφάνεια της κάλυψης.

Τα αερια εδαφικά συστατικά που εξετάστηκαν στο μοντέλο ήταν το O₂, το CH₄ το CO₂ και το N₂. Η συμπεριφορά των παραπάνω αέριων συστατικών μπορεί να επηρεάζεται από τους παράγοντες και τις συνοριακές συνθήκες, για αυτό το λόγω εξετάστηκαν στις παρακάτω περιπτώσεις διαφορετικές αρχικές και συνοριακές συνθήκες για τις ροές του κάθε αέριου συστατικού στο έδαφος, το γραμμομοριακό κλάσμα των συστατικών του εδαφικού αέρα που εξετάζει το μοντέλο, το βάθος στο οποίο το μοντέλο εξετάζει τις μεταβολές στις αέριες συγκεντρώσεις και ο ρυθμός οξείδωσης του CH₄ από τη μεθανοτροφική δραστηριότητα, βιομάζα.

Περίπτωση 1^η

Εξετάστηκε πρώτα ο Χ.Δ.Α. στην περιοχή «Μεσομούρι», οπότε για το CH₄ και το CO₂ χρησιμοποιήθηκαν οι ροές που είχαν υπολογιστεί από το Gassim. Η συνοριακή συνθήκη ροής για το O₂ ήταν 0,044 nmol cm⁻² s⁻¹ καθώς το σημείο εκκίνησης του μοντέλου είναι αυτό πριν την πλήρη οξείδωση του O₂ από τους μεθανοτροφικούς μικροοργανισμούς που βρίσκονται στην κάλυψη. Για το N₂ αρχικά υποτέθηκε ότι η ροή του είναι 0 nmol cm⁻² s⁻¹ καθώς αυτό είναι αδρανές και είχε ήδη γεμίσει τους πόρους της κάλυψης. Το γραμμομοριακό κλάσμα για το N₂ και το βάθος εξέτασης επιλέχτηκε με βάση την μελέτη του De Visschet et al ο οποίος καταλήγει στο ότι η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα στην κάλυψη μπορεί να φτάσει μέχρι το 1m. Επομένως θεωρήθηκε ότι το ατμοσφαιρικό O₂ θα έχει οξειδωθεί πλήρως περίπου στο 40-60cm. Επιλέχτηκε να εξεταστεί πρώτα το μοντέλο για βάθος 40cm με το γραμμομοριακό κλάσμα του O₂ σε αυτό το βάθος 0,001, για το N₂ θεωρήθηκε ένα γραμμομοριακό κλάσμα 0,4 που αντιστοιχεί περίπου στο μισό του ατμοσφαιρικού αέρα (0,79) ενώ το υπόλοιπο γραμμομοριακό κλάσμα μοιράστηκε στο CH₄ 0,305 και στο CO₂ 0,294. Θεωρήθηκε μια μέση μεθανοτροφική δραστηριότητα για παχιά άμμο με V_{max}, μέγιστο ρυθμό οξείδωσης CH₄, 415 nmol kg_{soil}⁻¹ s⁻¹.

Περίπτωση 2^η

Στη δεύτερη περίπτωση εξετάστηκε η συμπεριφορά των αέριων εδαφικών συστατικών για την μεταβολή της ροής του N₂ καθώς το N₂ έχοντας γεμίσει τους πόρους δεν εισέρχεται πλέον στην εδαφική κάλυψη όμως δε γνωρίζουμε κατά πόσο από την οξείδωση το O₂ που καταναλώνεται επιτρέπει την είσοδο περισσότερου N₂ στα κενά που δημιουργούνται.. Εξετάστηκε λοιπόν:

α) για ροή N₂ 0,5 nmol cm⁻² s⁻¹ και

β) για ροή N₂ 0,9 nmol cm⁻² s⁻¹

ενώ οι υπόλοιπες οριακές συνθήκες παρέμειναν ίδιες με την περίπτωση 1.

$$\text{Ροή CH}_4 = 5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή CO}_2 = 5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή O}_2 = 0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$y \text{ CH}_4 = 0,305$$

$$y \text{ CO}_2 = 0,294$$

$$y \text{ O}_2 = 0,001$$

$$y \text{ N}_2 = 0,40$$

$$V_{\max} = 415 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$z = 40 \text{ cm}$$

Περίπτωση 3^η

Στη τρίτη περίπτωση εξετάστηκε η συμπεριφορά των αέριων εδαφικών συστατικών για την μεταβολή του βάθους z , πάχος κάλυψης. Η ροή του N_2 θεώρηθηκε όση και στην περίπτωση 2β, $0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Εξετάστηκε λοιπόν:

α) για μικρότερο βάθος, $z = 30 \text{ cm}$ και

β) για μεγαλύτερο βάθος, $z = 50 \text{ cm}$

ενώ οι υπόλοιπες οριακές συνθήκες παρέμειναν ίδιες με την περίπτωση 1.

$$\text{Ροή CH}_4 = 5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή CO}_2 = 5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή O}_2 = 0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$y \text{ CH}_4 = 0,305$$

$$y \text{ CO}_2 = 0,294$$

$$y \text{ O}_2 = 0,001$$

$$y \text{ N}_2 = 0,40$$

$$V_{\max} = 415 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

Περίπτωση 4^η

Στη τέταρτη περίπτωση εξετάστηκε η συμπεριφορά των αέριων εδαφικών συστατικών για την μεταβολή του γραμμομοριακού κλάσματος y των συστατικών του βιοαερίου, CO_2 και CH_4 . Η ροή του N_2 και το βάθος z θεώρηθηκαν όσο και στην περίπτωση 3β,

$N_{\text{N}_2} = 0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $z = 50 \text{ cm}$. Εξετάστηκε λοιπόν:

α) για σύσταση βιοαερίου με $y_{\text{CH}_4} = 0,25$ και $y_{\text{CO}_2} = 0,35$ και

β) για σύσταση βιοαερίου με $Y_{CH_4}=0,35$ και $Y_{CO_2}=0,25$
 ενώ οι υπόλοιπες οριακές συνθήκες παρέμειναν ίδιες με την περίπτωση 1.
 Ροή $CH_4=5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 Ροή $CO_2=5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 Ροή $O_2=0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 $y_{O_2}=0,001$
 $y_{N_2}=0,40$
 $V_{\max}=415 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Περίπτωση 5^η

Στη πέμπτη περίπτωση εξετάστηκε η συμπεριφορά των αέριων εδαφικών συστατικών για την μεταβολή του ρυθμού οξείδωσης του CH_4 από τη μεθανοτροφική δραστηριότητα, βιομάζα.. Η ροή του N_2 θεώρηθηκε όση και στην περίπτωση 2β, $0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Εξετάστηκε λοιπόν:

α) για μικρότερο ρυθμό οξείδωσης του CH_4 , $V_{\max}=315 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$ και
 β) για μεγαλύτερο ρυθμό οξείδωσης του CH_4 , $V_{\max}=515 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$ $\text{nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 ενώ οι υπόλοιπες οριακές συνθήκες παρέμειναν ίδιες με την περίπτωση 1.
 Ροή $CH_4=5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 Ροή $CO_2=5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 Ροή $O_2=0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 $y_{CH_4}=0,305$
 $y_{CO_2}=0,294$
 $y_{O_2}=0,001$
 $y_{N_2}=0,40$
 $z=40 \text{ cm}$

Περίπτωση 6^η

Στην έκτη περίπτωση εξετάστηκε η συμπεριφορά των αέριων εδαφικών συστατικών για την μεταβολή της ροής των συστατικών του βιοαερίου, CO_2 και CH_4 . Εξετάστηκαν λοιπόν οι διαφορετικές ροές για το Χ.Δ.Α. στην περιοχή της «Κορακιάς», όπως υπολογίστηκαν αυτές από το μοντέλο Gassim, και το πώς αντίδρούν στη μεταβολή του βάθους z . Η ροή του N_2 θεώρηθηκε όση και στην περίπτωση 2β, $0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Επομένως εξετάστηκαν:

α) οι ροές των αέριων συστατικών βιοαερίου της περιοχής «Κορακιάς» $4,04 \text{ nmol/cm}^2 \text{ s}$ για

το CH₄ και 3,97 nmol/cm²s για το CO₂ για z = 40cm και

β) οι ροές των αέριων συστατικών βιοαερίου της περιοχής «Κορακίας» 4,04 nmol/cm²s για το CH₄ και 3,97 nmol/cm²s για το CO₂ για z = 50cm

ενώ οι υπόλοιπες οριακές συνθήκες παρέμειναν ίδιες με την περίπτωση 1.

Ροή O₂ = 0,044 nmol cm⁻² s⁻¹

y CH₄ = 0,305

y CO₂ = 0,294

y O₂ = 0,001

y N₂ = 0,40

V_{max} = 415 nmol kg_{soil}⁻¹ s⁻¹

7.2.6 Μοντελοποίηση με χρήση MATLAB

Η οξείδωση του CH₄ στην κάλυψη των Χ.Δ.Α.-Χ.Υ.Τ.Α. υπολογίστηκε με τη χρήση των εξισώσεων Stefan-Maxwel. Για την επίλυση των εξισώσεων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό πακέτο της MATLAB, όπου με την προσθήκη των συναρτήσεων και με προγραμματισμό εξάχθηκαν οι γραφικές απεικονίσεις της συμπεριφοράς των αέριων συστατικών του εδάφους κατά την οξείδωση του CH₄ στην κάλυψη.

Η επίλυση του προβλήματος έγινε χρησιμοποιώντας δύο υπορουτίνες στην MATLAB. Στην πρώτη υπορουτίνα εισάγαμε τις εξισώσεις του Stefan-Maxwel και τους σταθερούς παράγοντες αυτών. Η δεύτερη υπορουτίνα είναι το βασικό πρόγραμμα. Στη δεύτερη υπορουτίνα εισάγονται οι συνοριακές συνθήκες, καλείται η πρώτη υπορουτίνα και επιλύονται οι εξισώσεις του Stefan-Maxwel και σχεδιάζονται τα αποτελέσματα σε γραφίματα. Η επίλυση των διαφορικών εξισώσεων του Stefan-Maxwel έγινε χρησιμοποιώντας την ode15s η οποία χρησιμοποιείται για stiff, δύσκαμπτα, προβλήματα όπως αυτό στην περίπτωση μας. Η ode15s μπορεί και ομαλοποιεί τις έντονες διακυμάνσεις των δύσκαμπτων προβλημάτων.

```

1 function dcdz = nikos(z,c)
2 global Ro Km Ko Dmc Dmo Doc Dnm Dno Dnc P T R Vm
3 %c(1)=Nch4, c(2)=Nco2,c(3)=No2, c(4)=Nn2, c(5)=ych4, c(6)=yco2, c(7)=yo2, c(8)=yn2
4 Ro = 1300*10^-6; %kg/cm^3
5 Km = 6600*10^-6; %unitless,(see Table 2)
6 Ko = 1.2*10^-2; %unitless,(see Table 2)
7 Doc = 0.0101; % cm^2/s
8 Dmo = 0.0074; % cm^2/s
9 Dmc = 0.0072; % cm^2/s
10 Dnm = 0.0069; % cm^2/s
11 Dno = 0.0127; % cm^2/s
12 Dnc = 0.0103; % cm^2/s
13 P = 1; %atm
14 T = 295; %K
15 R= 0.082*10^-6; % (atm*cm^3/nmol*K)|
16 Vmax=415;
17 biotmax=1;
18 L=-40;
19 if (z>L/2)
20     biotmax=biotmax*2*z/L;
21 else
22     biotmax=biotmax*2*(L-z)/L;
23 end
24 Vm=Vmax*biotmax;
25 dcdz = zeros(8,1);
26 dcdz(1) = -Ro*Vm*(c(5)/(Km+c(5)))*(c(7)/(Ko+c(7)));
27 dcdz(2) = 0.5*Ro*Vm*(c(5)/(Km+c(5)))*(c(7)/(Ko+c(7)));
28 dcdz(3) = 1.5*Ro*Vm*(c(5)/(Km+c(5)))*(c(7)/(Ko+c(7)));
29 dcdz(4) = 0;
30 dcdz(5) = (-R*T/P)*(((c(1)*c(6)-c(2)*c(5))/Dmc) + ((c(1)*c(7)+c(3)*c(5))/Dmo) + ((c(1)*c(8)+c(4)*c(5))/Dnm));
31 dcdz(6) = (-R*T/P)*(((c(2)*c(5)-c(1)*c(6))/Dmc) + ((c(2)*c(7)+c(3)*c(6))/Doc) + ((c(2)*c(8)+c(4)*c(6))/Dnc));
32 dcdz(7) = (-R*T/P)*(((c(3)*c(5)-c(1)*c(7))/Dmo) + ((c(3)*c(6)-c(2)*c(7))/Doc) + ((c(3)*c(8)+c(4)*c(7))/Dno));
33 dcdz(8) = (-R*T/P)*(((c(4)*c(5)-c(1)*c(8))/Dnm) + ((c(4)*c(6)-c(2)*c(8))/Dnc) + ((c(4)*c(7)+c(3)*c(8))/Dno));

```

Εικόνα 7-1: Η πρώτη υπορουτίνα επίλυσης σε MATLAB

```

1 - close all %clean the workspace
2 - clear
3 - clc
4 - Ro = 1300*10^-6; %kg/cm^3
5 - Km = 6600*10^-6; %unitless, (see Table 2)
6 - c1init=5.51; % nmol/cm^2*s
7 - c2init=5.41; % nmol/cm^2*s
8 - c3init=0.044; % nmol/cm^2*s
9 - c4init=0.9; %nmol/cm^2*s
10 - c5init=0.305; % (-)
11 - c6init=0.294; % (-)
12 - c7init=0.001; % (-)
13 - c8init=0.4;% (-)
14 - cinit=[c1init c2init c3init c4init c5init c6init c7init c8init].
15 - z0=-40;%cm
16 - zf=0;%cm
17 - zspan=[z0 zf];
18 - [z,c]=ode15s(@nikos332a,zspan,cinit);
19 - plot(c(:,1),z,c(:,2),z,c(:,3),z,c(:,4),z)
20 - ylabel('depth (cm)')
21 - xlabel('flux (nmol/(cm^2*s))')
22 - title('landfill cover soil in Mesomouri')
23 - figure(figure);
24 - plot(c(:,5),z,c(:,6),z,c(:,7),z,c(:,8),z)
25 - ylabel('depth (cm)')
26 - xlabel('y')
27 - title('landfill cover soil in Mesomouri')
28 - figure(figure);
29 - Vmax=415;
30 - biomax=1;
31 - L=-40;
32 - for i=1:size(z)
33 - if (z(i)>L/2)
34 - biomass=biomax*2*z(i)/L;
35 - else
36 - biomass=biomax*2*(L-z(i))/L;
37 - end
38 - Vm(i)=Vmax*biomass;
39 - end
40 - plot(Vm,z)
41 - ylabel('depth (cm)')
42 - xlabel('Vm (nmol/(kg*s))')
43 - title('landfill cover soil in Mesomouri')

```

Εκόνα 7-2: Η δεύτερη και βασική υπορουτίνα επίλυσης σε MATLAB

7.3 Αποτελέσματα του μοντέλου

Το μοντέλο προσομοίωσης με τις εξισώσεις Stefan-Maxwel χρησιμοποιήθηκε για να υπολογίσει τη μεταβολή συγκεντρώσεων των αέριων συστατικών στο έδαφος που αναμένεται κατά τη διάρκεια επώασης σε παχιά άμμο σε συνθήκες που μελετήθηκαν από τον De Visscher et al για 22°C.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των έξι διαφορετικών περιπτώσεων, οι οποίες έχουν αναφερθεί παραπάνω. Σε αυτές τις περιπτώσεις έχουν ληφθεί διαφορετικές συνοριακές συνθήκες και παράγοντες για τις οποίες εξετάστηκε κατά πόσον αυτές επηρεάζουν την συμπεριφορά των εδαφικών αέριων συστατικών του μοντέλου.

Οι χρωματισμοί που χρησιμοποιήθηκαν από το MATLAB στα γραφίματα της ροής και του γραμμομοριακού είναι:

- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

Περίπτωση 1^η Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομυρίου»

$$Po\acute{\eta} N_2 = 0 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$Po\acute{\eta} CH_4 = 5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$Po\acute{\eta} CO_2 = 5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$Po\acute{\eta} O_2 = 0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$y CH_4 = 0,305$$

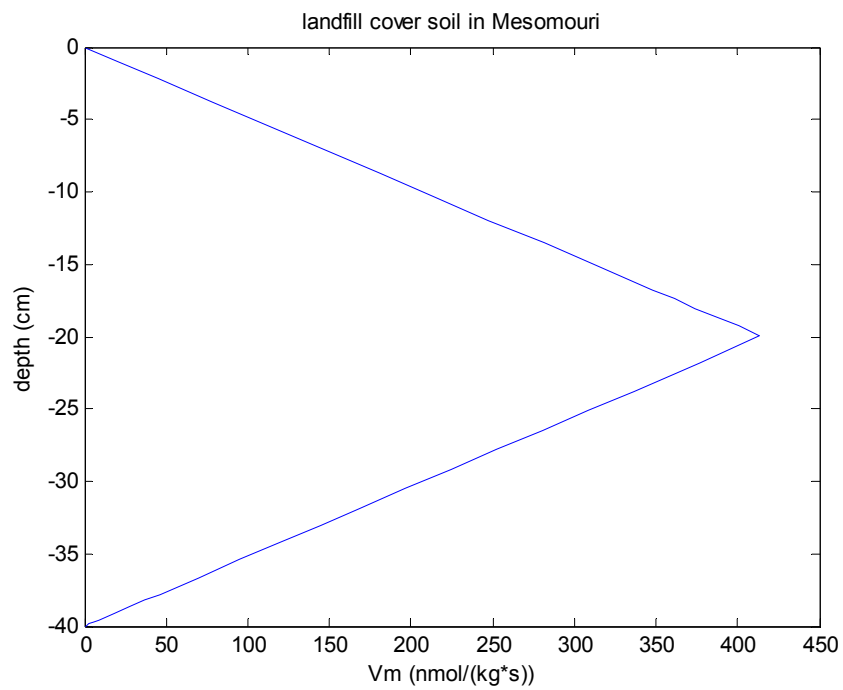
$$y CO_2 = 0,294$$

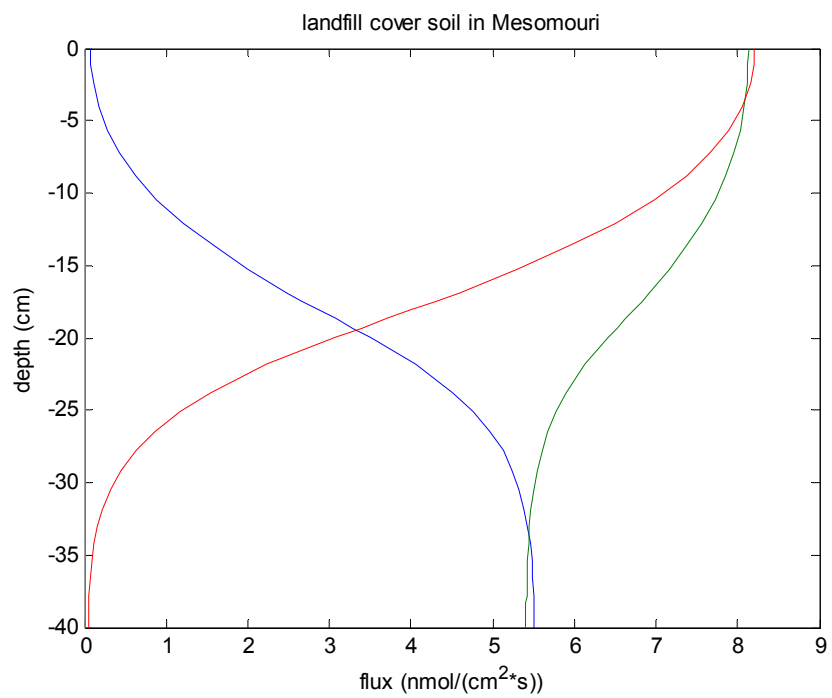
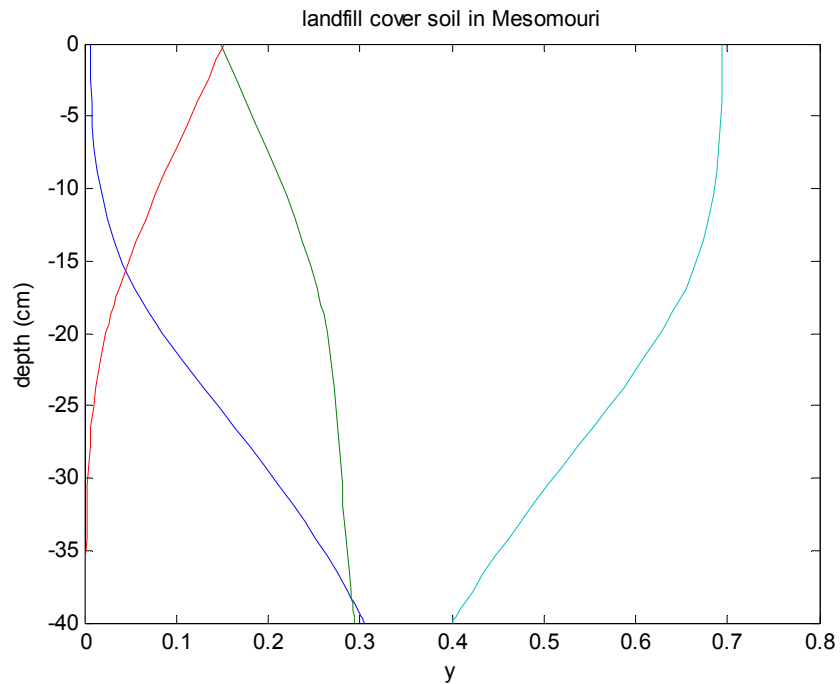
$$y O_2 = 0,001$$

$$y N_2 = 0,40$$

$$V_m = 415 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$z = 40 \text{ cm}$$





- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

Περίπτωση 2^η Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομυρίου»

$$\text{Ροή CH}_4 = 5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή CO}_2 = 5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή O}_2 = 0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$y \text{ CH}_4 = 0,305$$

$$y \text{ CO}_2 = 0,294$$

$$y \text{ O}_2 = 0,001$$

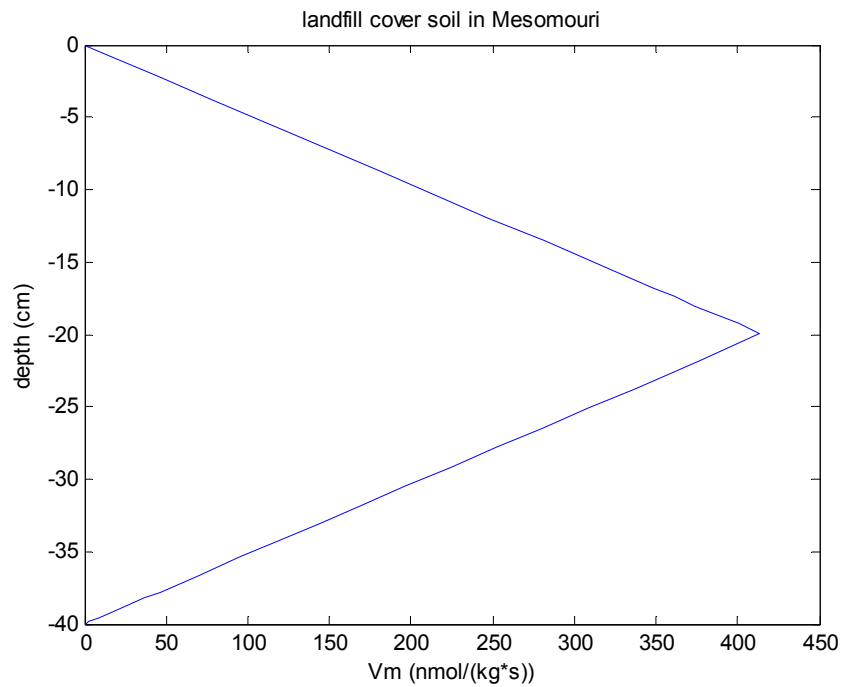
$$y \text{ N}_2 = 0,40$$

$$V_m = 415 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

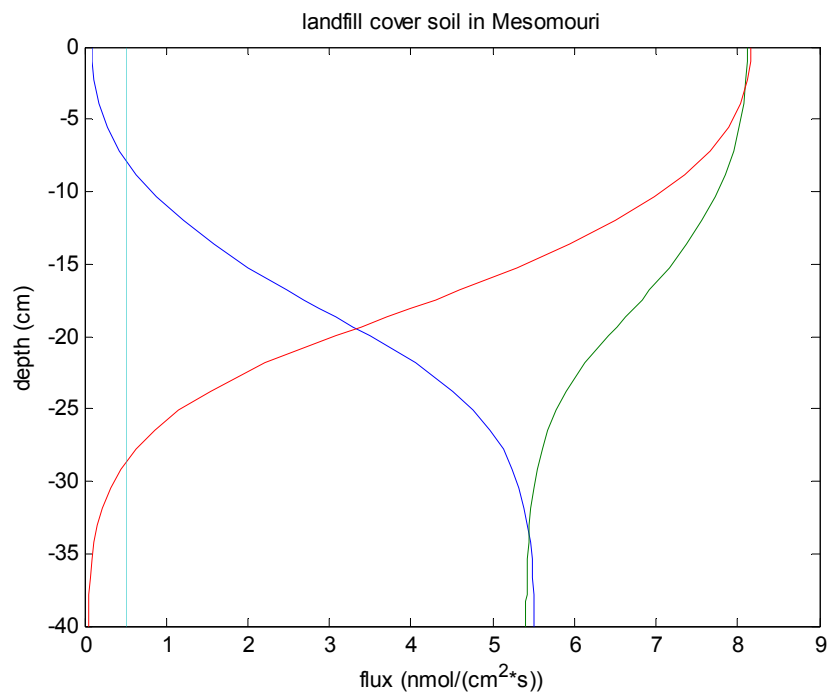
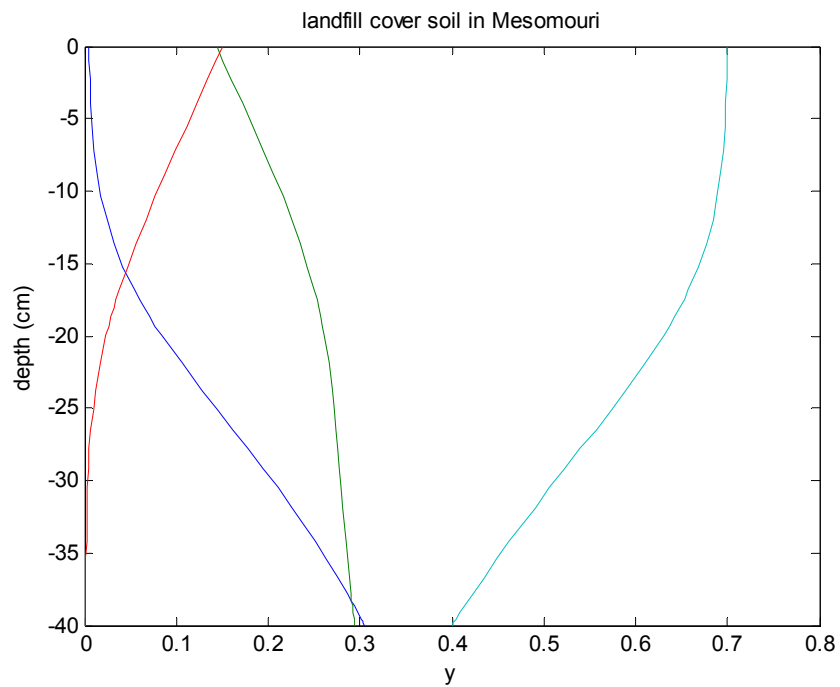
$$z = 40 \text{ cm}$$

$$\alpha) \text{ για ροή N}_2 \text{ } 0,5 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\beta) \text{ για ροή N}_2 \text{ } 0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

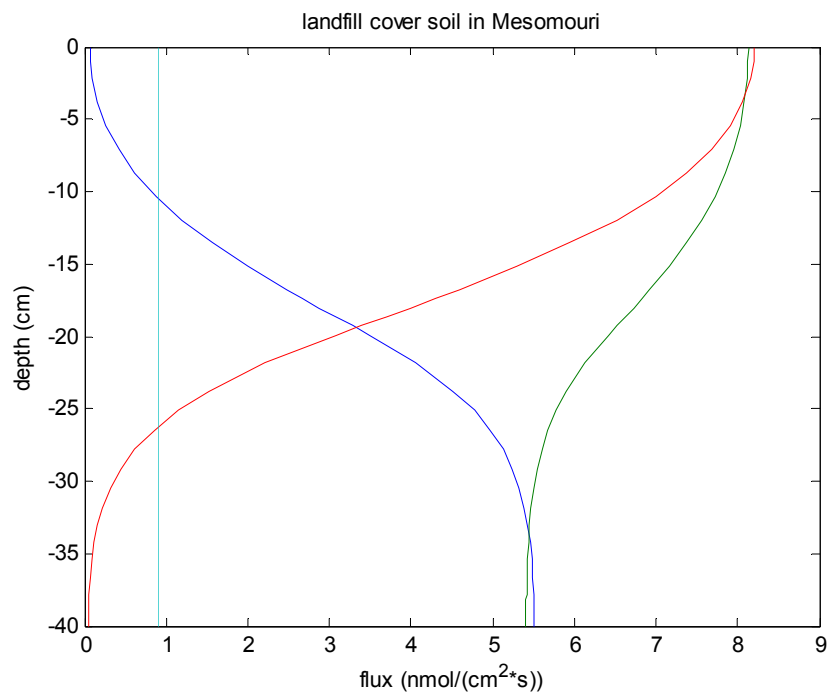
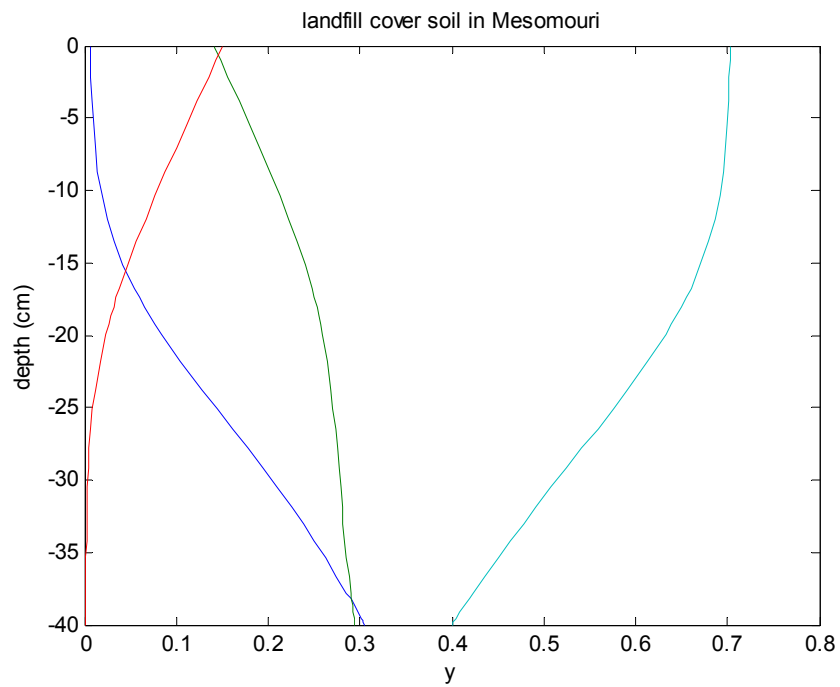


α) για ροή N_2 $0,5 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



- πράσινο για το CO_2
- μπλέ για το CH_4
- κόκκινο για το O_2
- γαλάζιο για το N_2

β) για ροή N_2 $0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



- πράσινο για το CO_2
- μπλέ για το CH_4
- κόκκινο για το O_2
- γαλάζιο για το N_2

Περίπτωση 3^η Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομυρίου»

$$\text{Ροή } \text{N}_2 = 0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{CH}_4 = 5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{CO}_2 = 5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{O}_2 = 0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$y \text{ CH}_4 = 0,305$$

$$y \text{ CO}_2 = 0,294$$

$$y \text{ O}_2 = 0,001$$

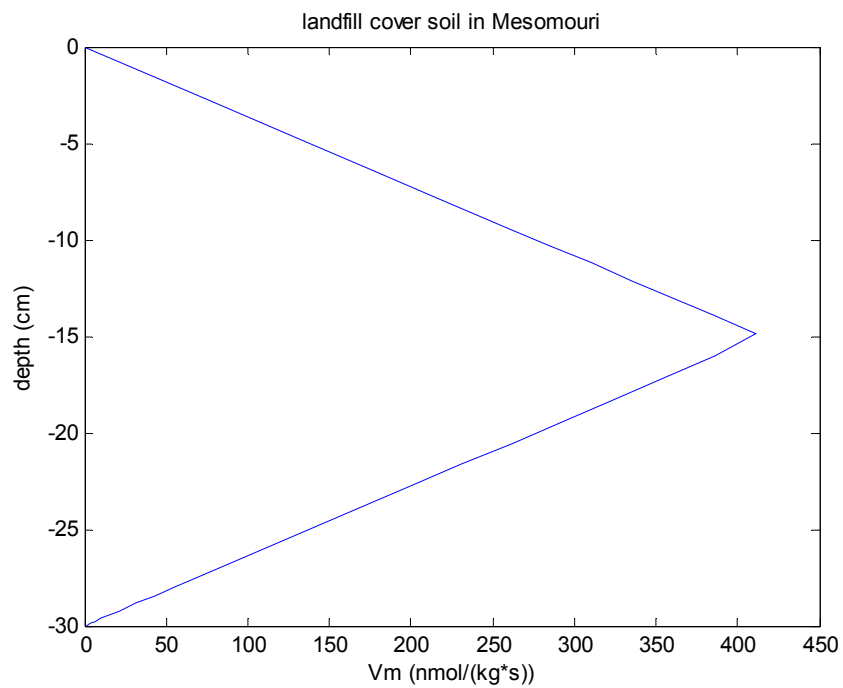
$$y \text{ N}_2 = 0,40$$

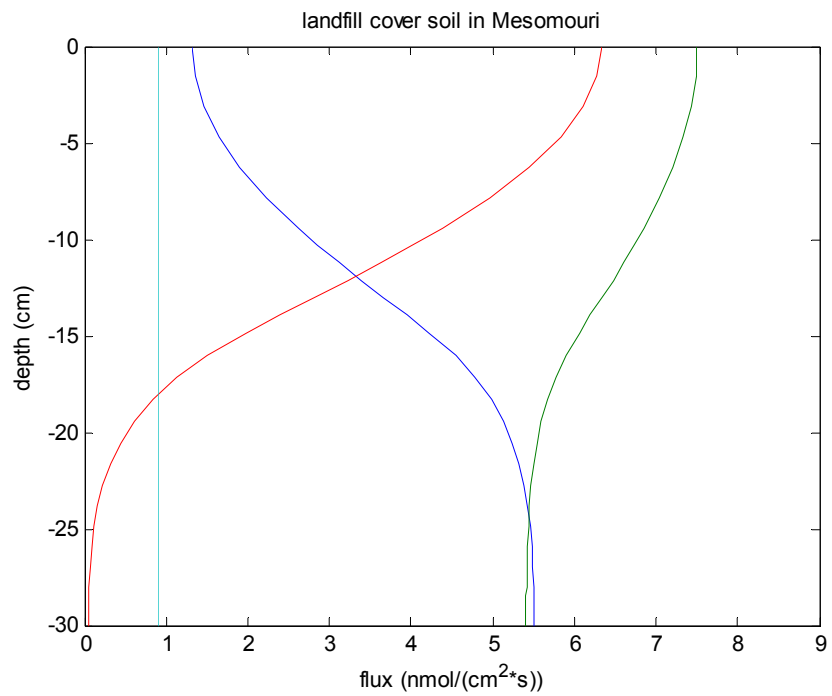
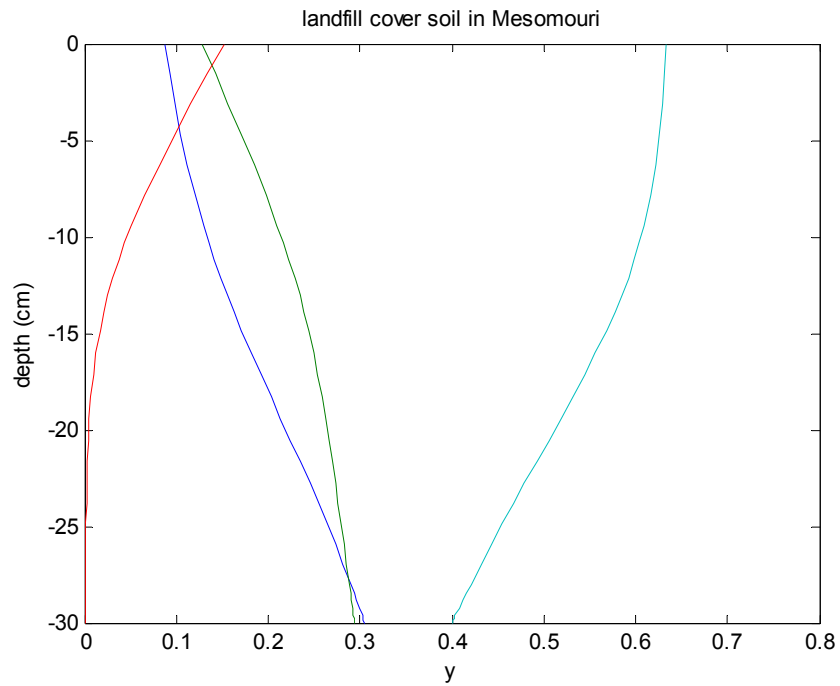
$$V_m = 415 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

α) για μικρότερο βάθος, $z = 30\text{cm}$

β) για μεγαλύτερο βάθος, $z = 50\text{cm}$

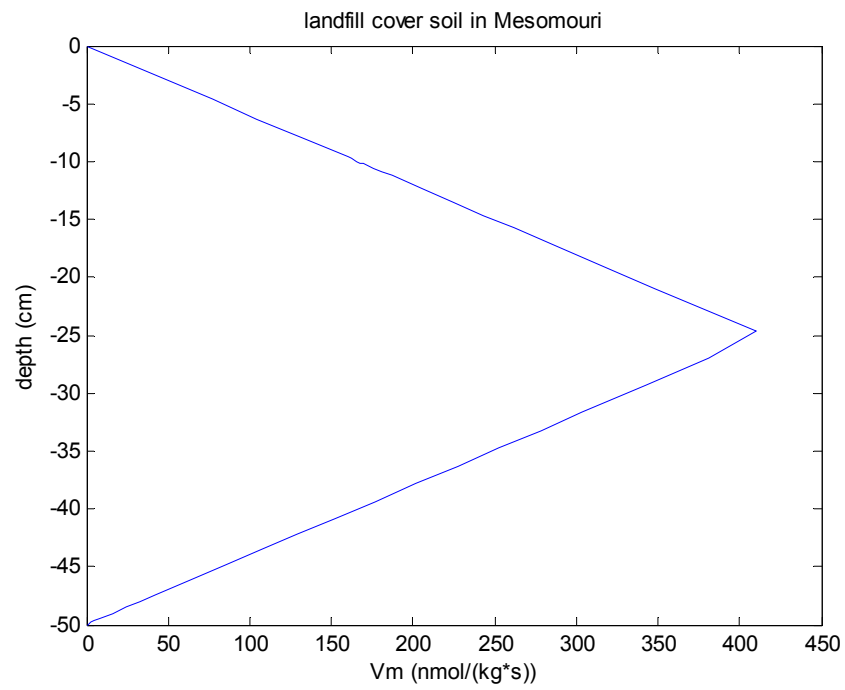
α) για μικρότερο βάθος, $z = 30\text{cm}$

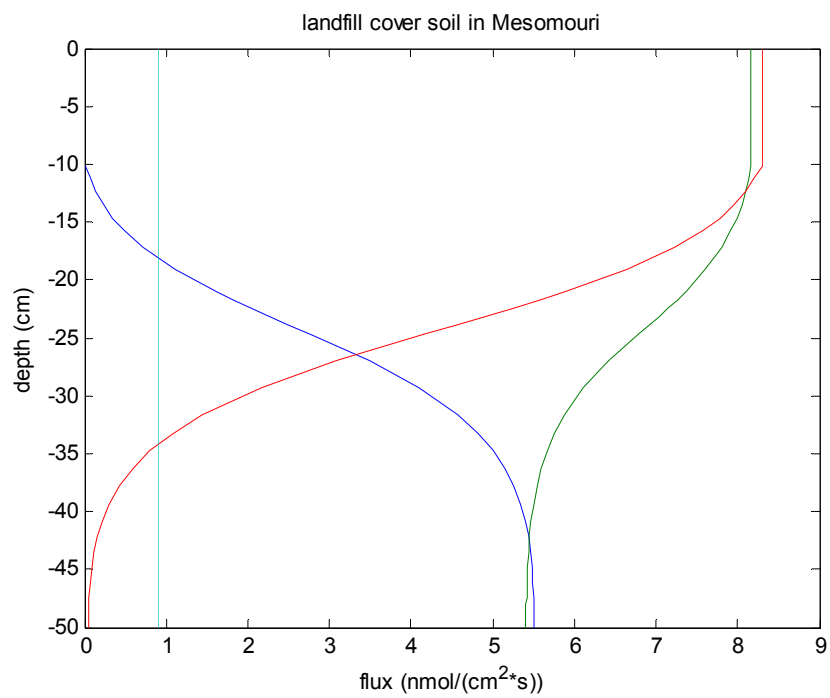
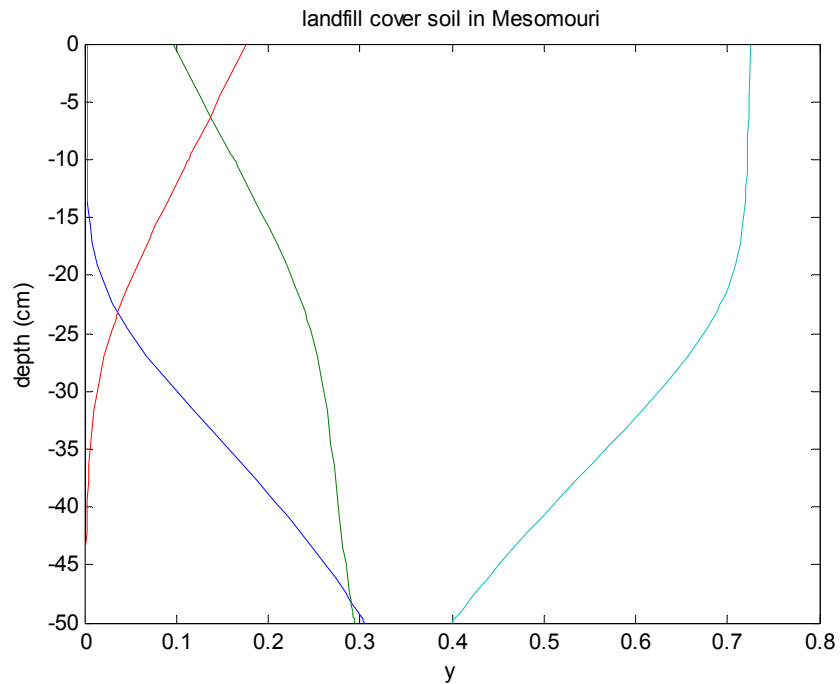




- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

β) για μεγαλύτερο βάθος, $z = 50\text{cm}$





- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

Περίπτωση 4^η Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομυρίου»

$$\text{Ροή } \text{N}_2 = 0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{CH}_4 = 5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{CO}_2 = 5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{O}_2 = 0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$y \text{ O}_2 = 0,001$$

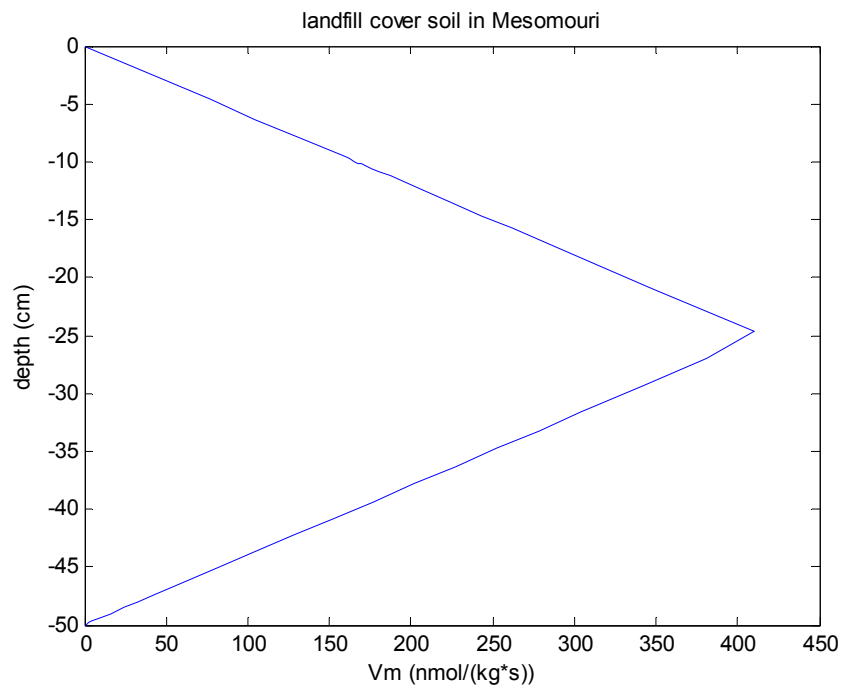
$$y \text{ N}_2 = 0,40$$

$$V_m = 415 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

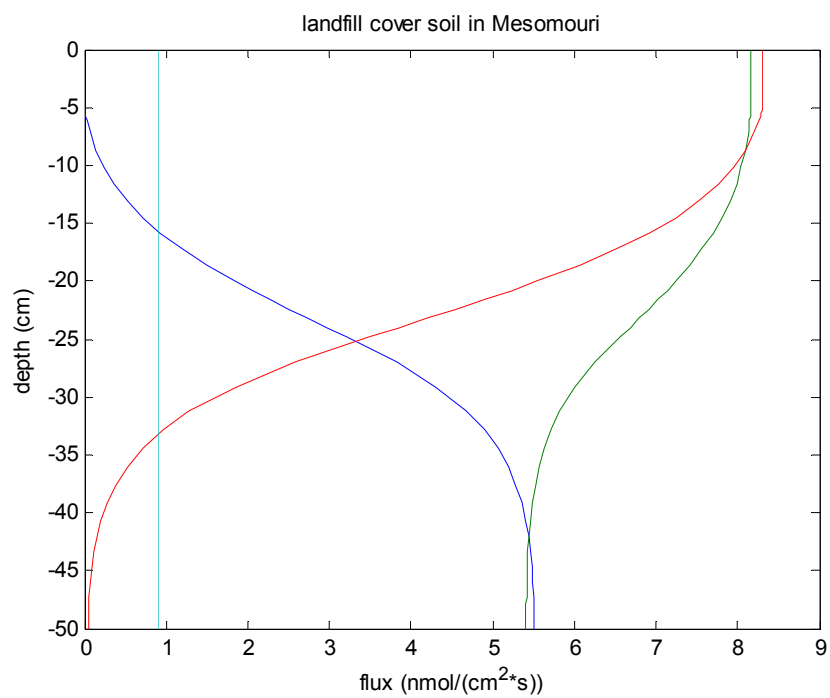
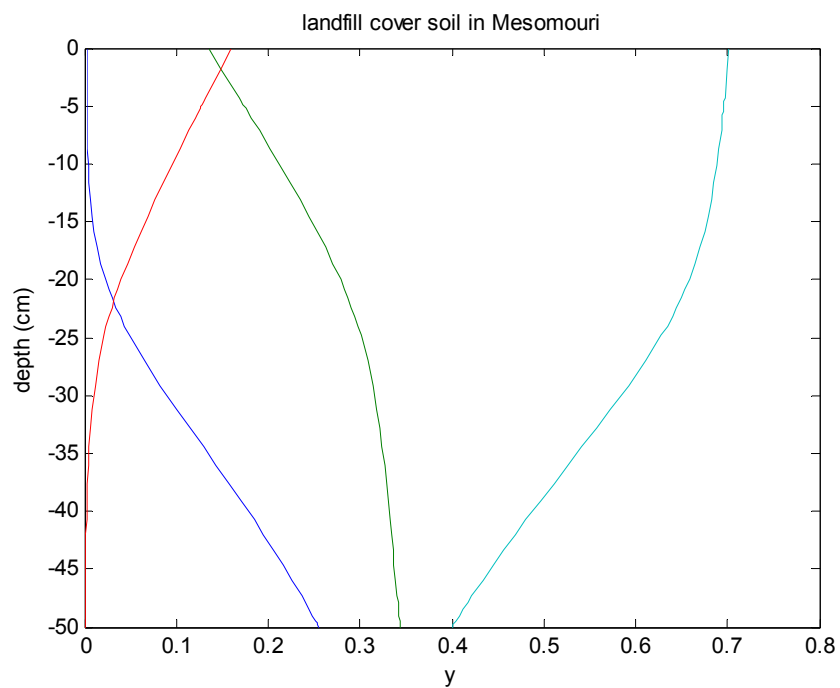
$$z = 50 \text{ cm}$$

α) για σύσταση βιοαερίου με $y_{\text{CH}_4} = 0,25$ και $y_{\text{CO}_2} = 0,35$

β) για σύσταση βιοαερίου με $y_{\text{CH}_4} = 0,35$ και $y_{\text{CO}_2} = 0,25$

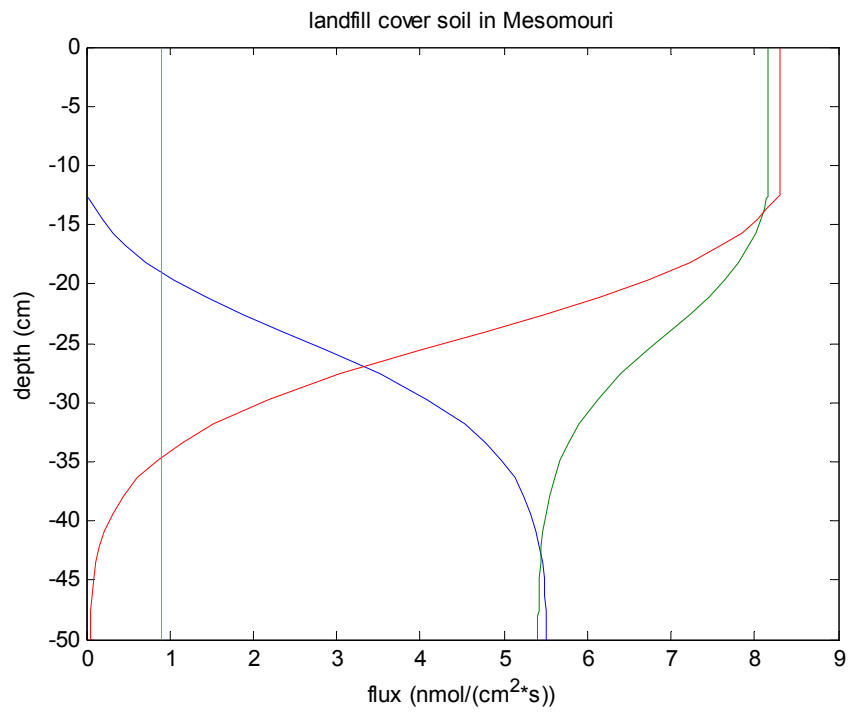
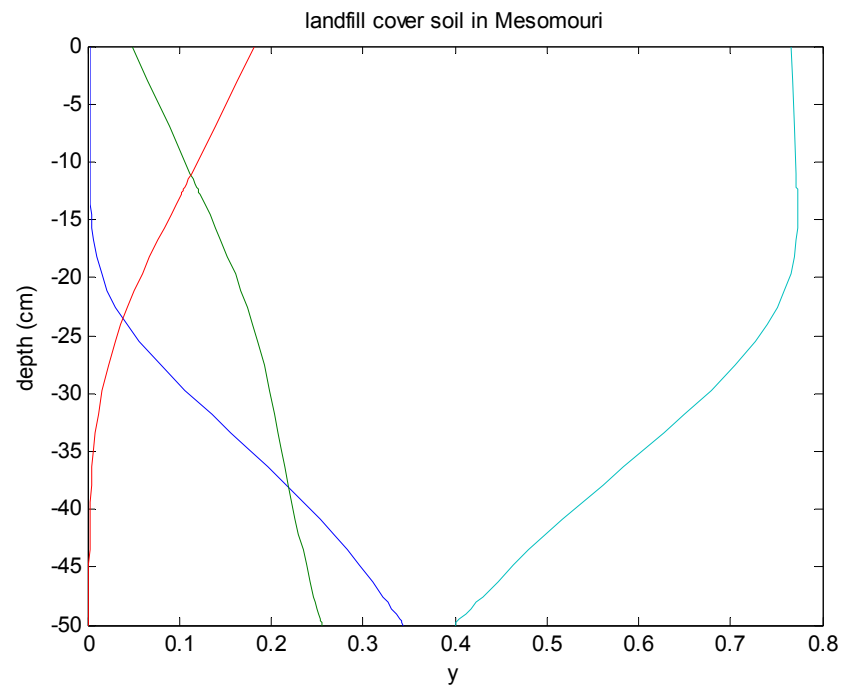


α) για σύσταση βιοαερίου με $y_{CH_4}=0,25$ και $y_{CO_2}=0,35$



- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

β) για σύσταση βιοαερίου με $Y_{CH_4}=0,35$ και $Y_{CO_2}=0,25$



- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

Περίπτωση 5^η Χ.Δ.Α. περιοχής «Μεσομουρίου»

$$\text{Ροή } \text{N}_2 = 0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{CH}_4 = 5,51 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{CO}_2 = 5,41 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή } \text{O}_2 = 0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$y \text{ CH}_4 = 0,305$$

$$y \text{ CO}_2 = 0,294$$

$$y \text{ O}_2 = 0,001$$

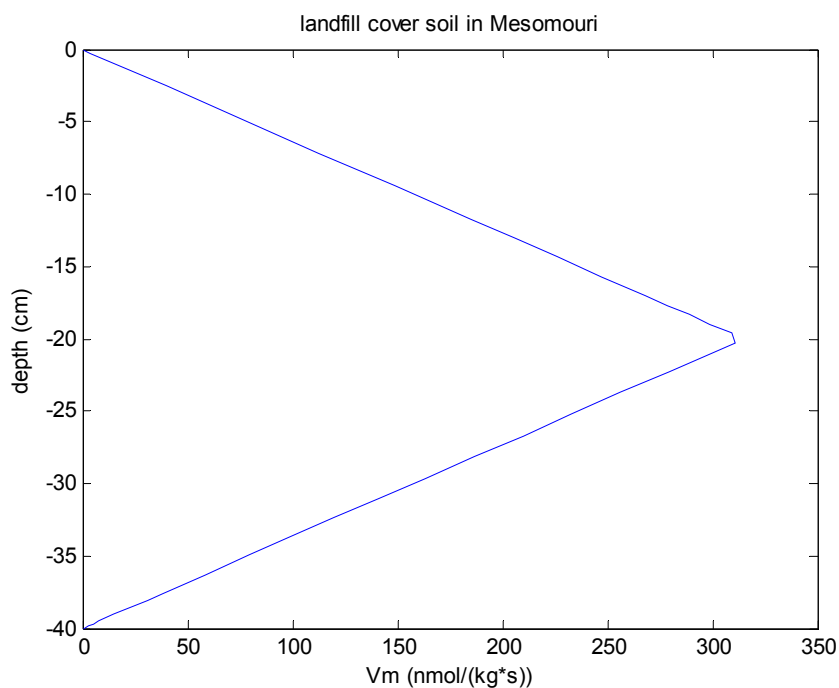
$$y \text{ N}_2 = 0,40$$

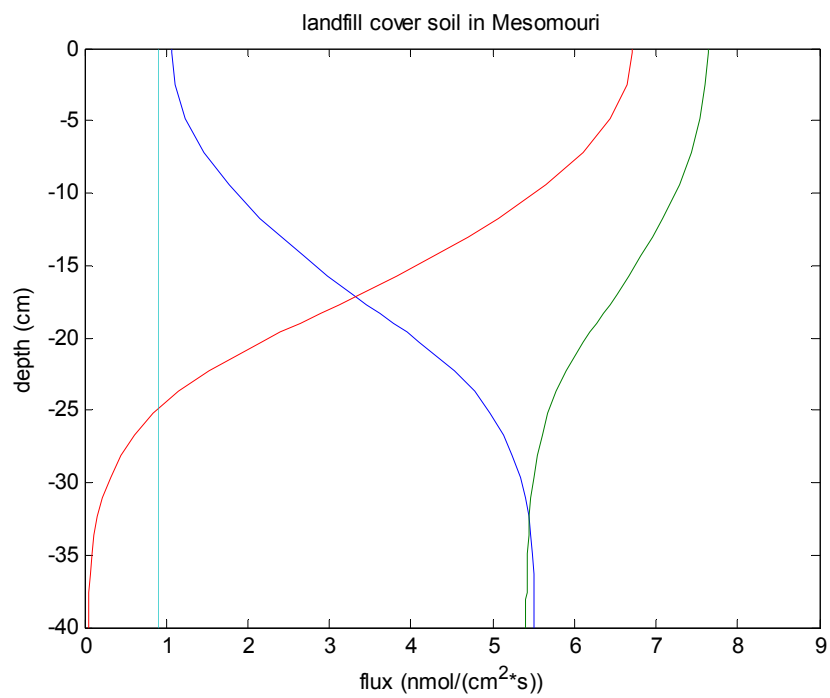
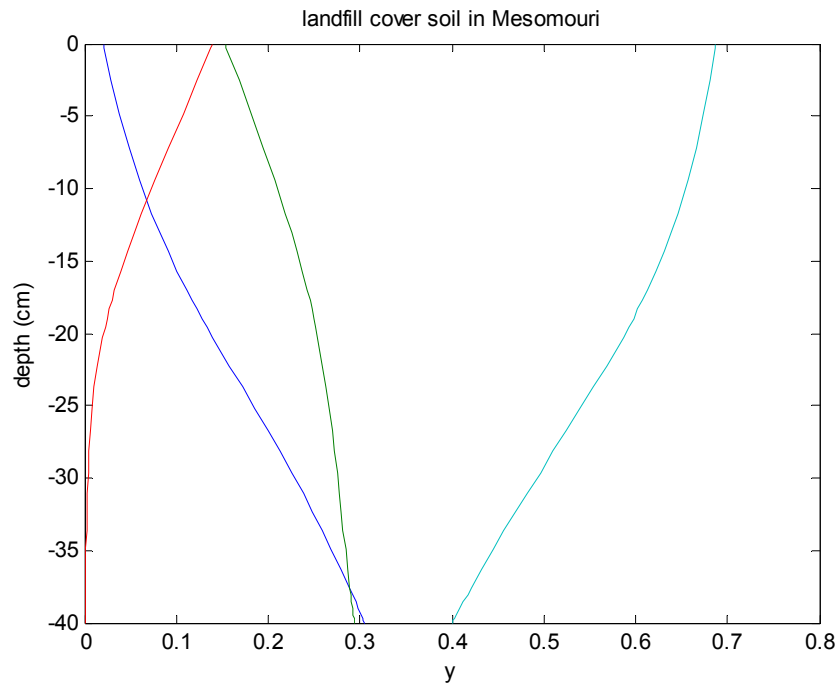
$$z = 40\text{cm}$$

α) για μικρότερο ρυθμό οξείδωσης του CH_4 , $V_m = 315 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$

β) για μεγαλύτερο ρυθμό οξείδωσης του CH_4 , $V_m = 515 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

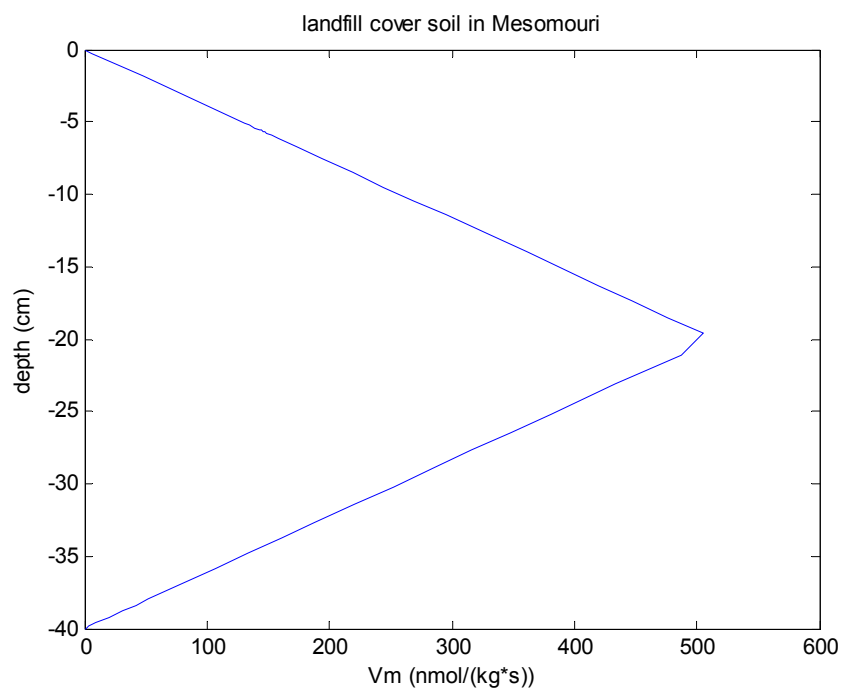
α) για μικρότερο ρυθμό οξείδωσης του CH_4 , $V_m = 315 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$

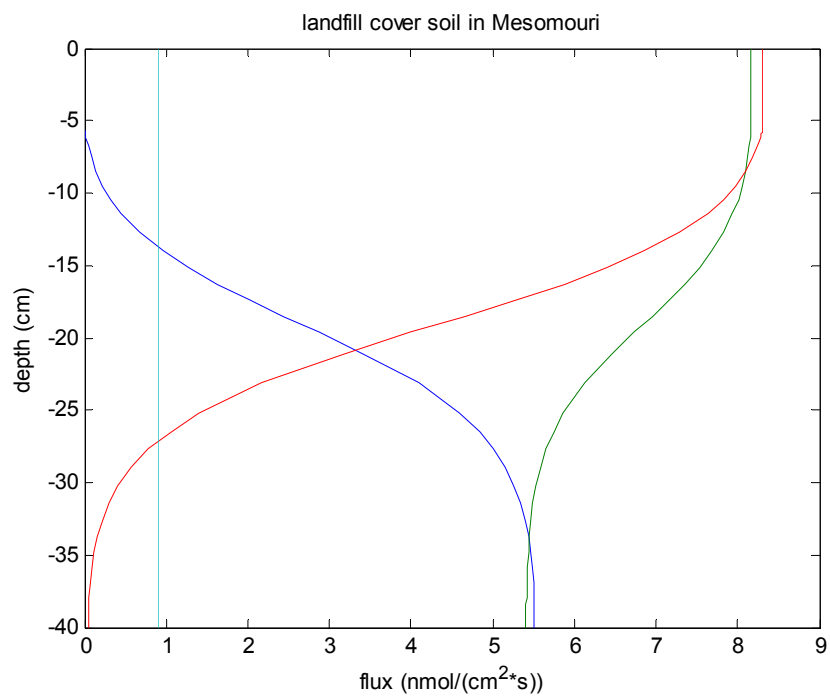
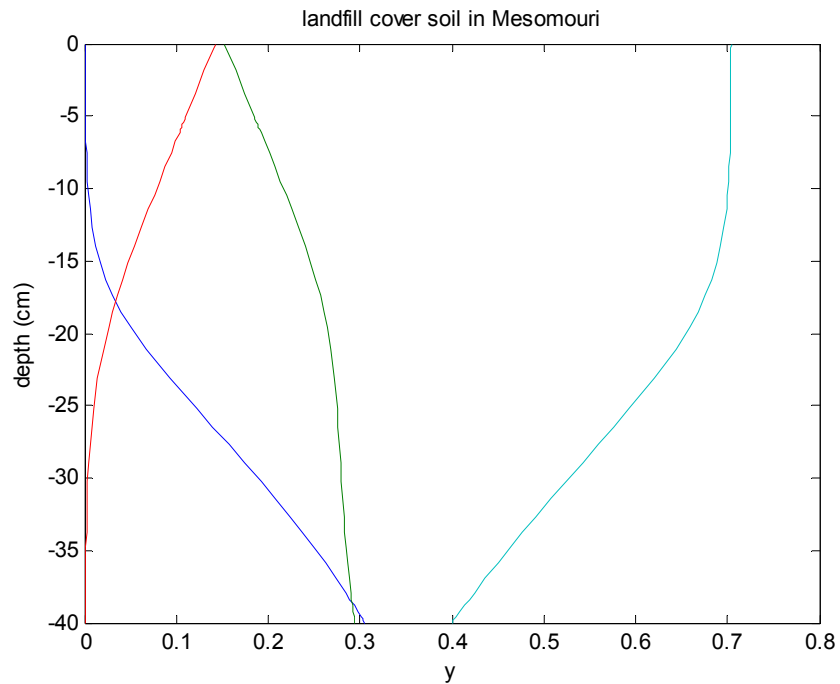




- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

β) για μεγαλύτερο ρυθμό οξείδωσης του CH₄, $V_m = 515 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$





- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

Περίπτωση 6^η X.Y.T.A. στη θέση «Κορακιά»

$$\text{Ροή CH}_4 = 4,04 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή CO}_2 = 3,97 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή N}_2 = 0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Ροή O}_2 = 0,044 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$y \text{ CH}_4 = 0,305$$

$$y \text{ CO}_2 = 0,294$$

$$y \text{ O}_2 = 0,001$$

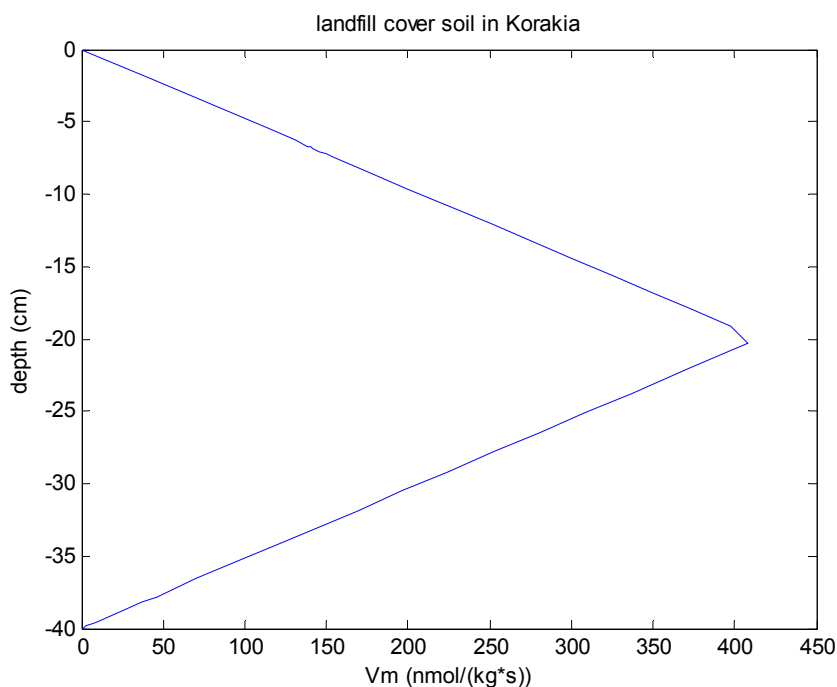
$$y \text{ N}_2 = 0,40$$

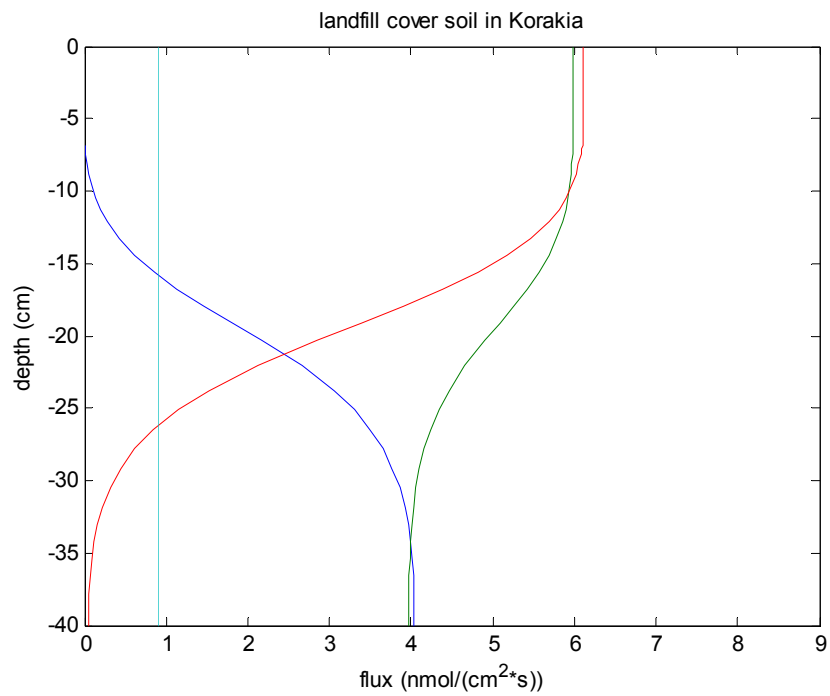
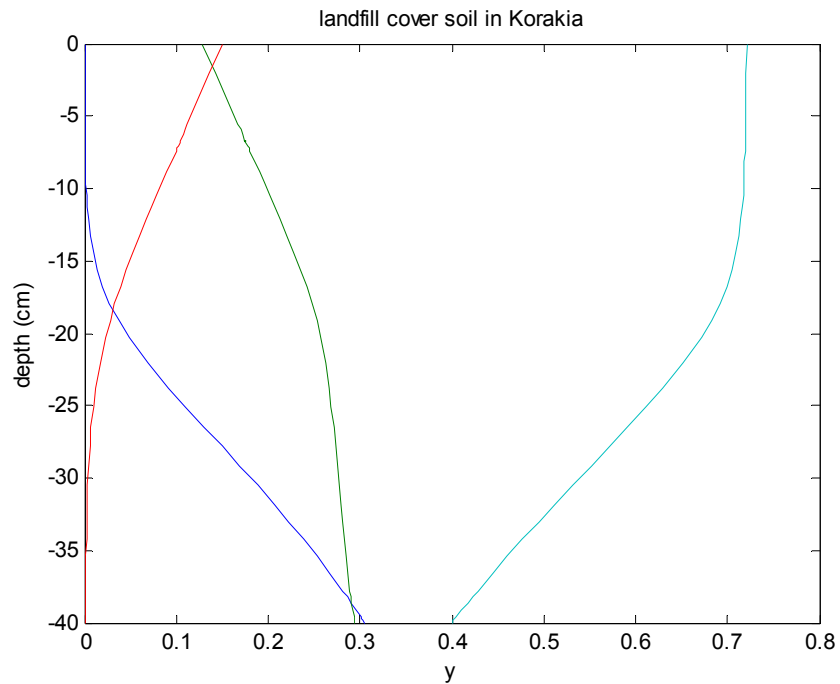
$$V_m = 415 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

α) οι ροές των αέριων συστατικών βιοαερίου της περιοχής «Κορακιάς» $4,04 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$ για το CH_4 και $3,97 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$ για το CO_2 για $z = 40\text{cm}$ και

β) οι ροές των αέριων συστατικών βιοαερίου της περιοχής «Κορακιάς» $4,04 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$ για το CH_4 και $3,97 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$ για το CO_2 για $z = 50\text{cm}$

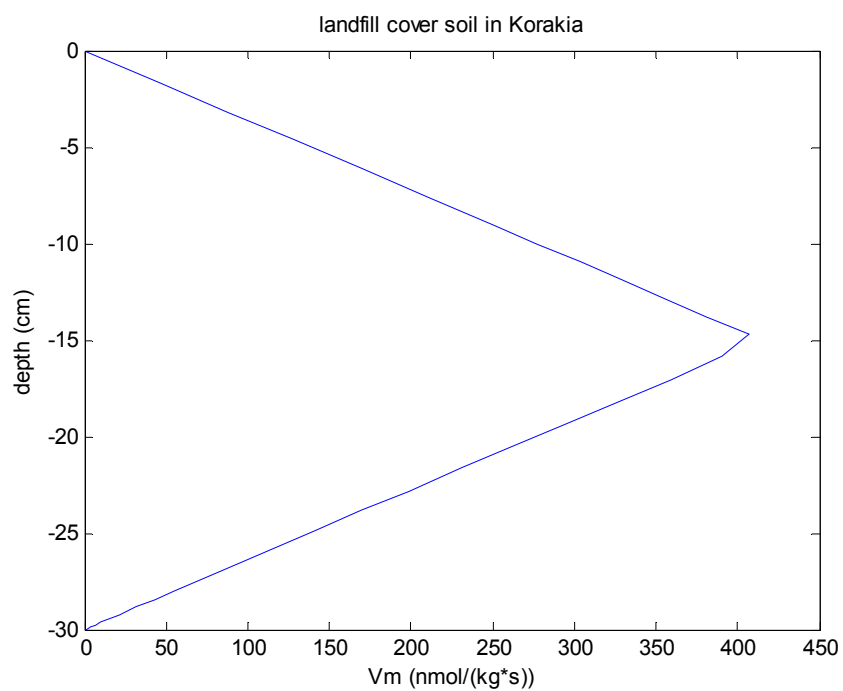
α) οι ροές των αέριων συστατικών βιοαερίου της περιοχής «Κορακιάς» $4,04 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$ για το CH_4 και $3,97 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$ για το CO_2 για $z = 40\text{cm}$ και

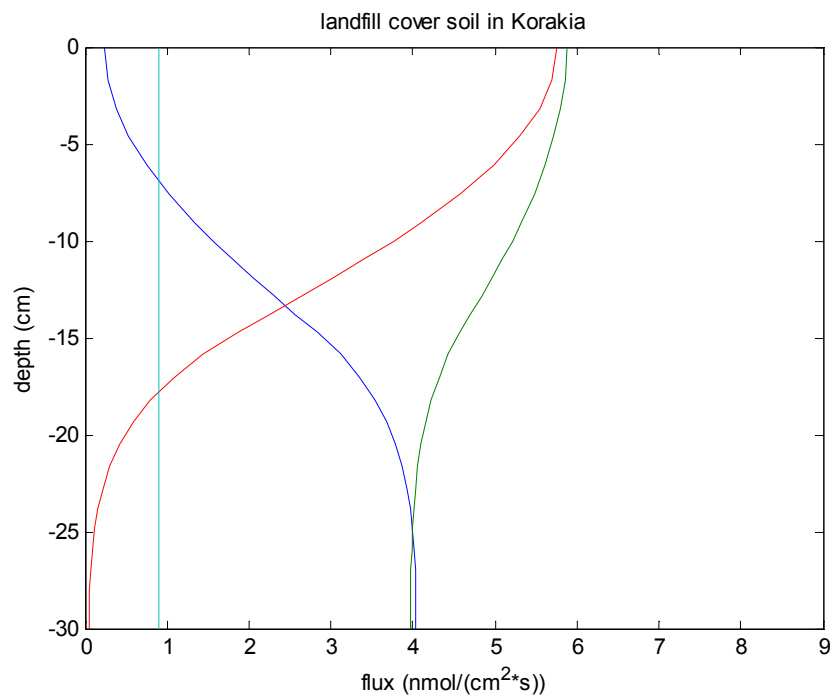
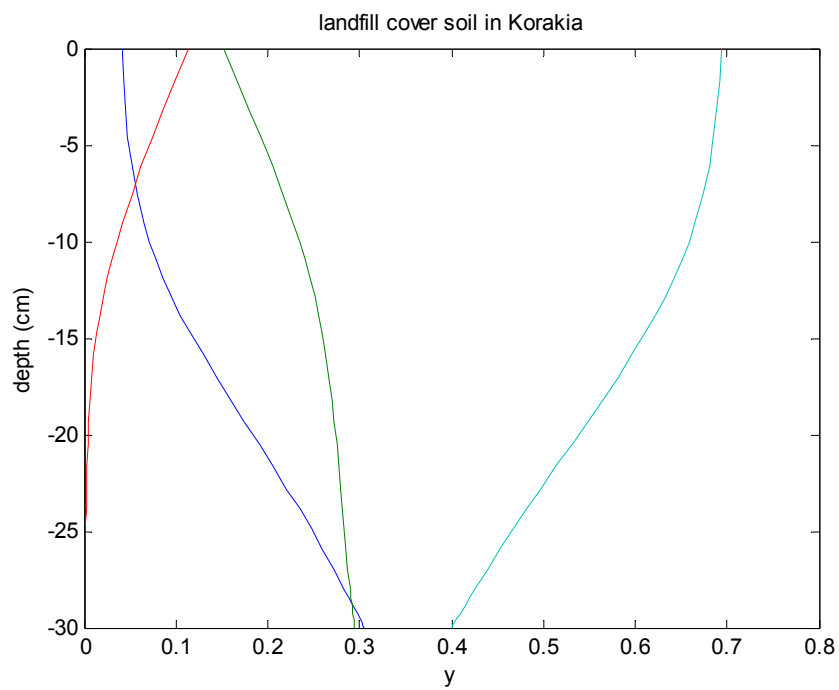




- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

β) οι ροές των αέριων συστατικών βιοαερίου της περιοχής «Κορακιάς» $4,04 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$ για το CH_4 και $3,97 \text{ nmol/cm}^2\text{s}$ για το CO_2 για $z = 50\text{cm}$





- πράσινο για το CO₂
- μπλέ για το CH₄
- κόκκινο για το O₂
- γαλάζιο για το N₂

8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η οξείδωση του CH_4 στους Χ.Δ.Α.-Χ.Υ.Τ.Α με την χρήση των εξισώσεων του Stefan-Maxwell και τη βοήθεια της MATLAB. Η επίλυση των εξισώσεων Stefan-Maxwell απαιτεί την γνώση κάποιων συνοριακών συνθηκών και παραγόντων. Κάποιες συνοριακές συνθήκες και οι κάποιοι παράγοντες μεταβλήθηκαν για να δούμε κατά πόσο επηρεάζεται η οξείδωση CH_4 . Οι συνοριακές συνθήκες και οι παράγοντες που μεταβλήθηκαν ήταν η ροή του N_2 , του CO_2 και του CH_4 στο έδαφος, το πάχος του εδάφους στο οποίο το μοντέλο εξετάζει τις μεταβολές στις αέριες συγκεντρώσεις, το γραμμομοριακό κλάσμα του CO_2 και του CH_4 του εδαφικού αέρα και ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης του CH_4 από τη μεθανοτροφική δραστηριότητα, βιομάζα.

Με βάση τις παραπάνω μεταβολές δημιουργήθηκαν έξη διαφορετικές περιπτώσεις συνθηκών για κάθε μια μεταβολή για να δούμε κατά πόσο και ποιες επηρεάζουν την αέρια σύσταση του εδάφους. Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων παρακολούθηθηκε η ροή και το γραμμομοριακό κλάσμα του O_2 , του CH_4 του CO_2 και του N_2 ως προς το βάθος.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν στην 1^η περίπτωση κάποιες συνοριακές συνθήκες και παράγοντες όπου κάθε φορά μεταβλήθηκε μια διαφορετική συνθήκη ή παράγοντας δημιουργώντας πέντε διαφορετικές περιπτώσεις οι οποίες συγκρινόμενες με την 1^η έδωσαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα της MATLAB για την 1^η περίπτωση μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το CH_4 μπορεί να οξειδωθεί πλήρως εάν χρησιμοποιήσουμε εδαφική κάλυψη πλάτους 40cm. Στην 2^η περίπτωση παρατηρήθηκε ότι η μικρή αύξηση στη ροή του N_2 της τάξεως του $0,5-0,9 \text{ nmol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, που μπορεί να προκληθούν από την καταστροφή του O_2 και την δημιουργία κενών στους εδαφικούς πόρους, δεν επηρεάζει την οξείδωση του CH_4 . Η μεταβολή του βάθους στην 3^η περίπτωση οδήγησε στο συμπέρασμα ότι με την μείωση του πάχους κάλυψης κατά 10cm το CH_4 δεν οξειδώθηκε πλήρως με αποτέλεσμα την εκπομπή μεγαλύτερων ποσοτήτων αυτού στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα η αύξηση του πάχους κάλυψης κατά 10cm οδήγησε στην πλήρη οξείδωση του CH_4 νωρίτερα από ότι στην 1^η περίπτωση. Στην 4^η περίπτωση μεταβλήθηκε η χημική σύστασης του βιοαερίου, το γραμμομοριακό κλάσματος του CH_4 και του CO_2 κατά 5%, και οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα 50cm πάχους κάλυψης επαρκούν για την πλήρη οξείδωση του CH_4 . Στην 5^η περίπτωση εξετάστηκε ο ρυθμός οξείδωσης CH_4 (V_{max}), που αντιπροσωπεύει τη μεθανοτροφική δραστηριότητα. Ο ρυθμός οξείδωσης CH_4 επηρεάζει την οξείδωση του CH_4 καθώς η μείωση του ρυθμού

οξειδωσης CH_4 κατά $100 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$ δεν επέτρεψε την πλήρη οξείδωση του, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση του στην ατμόσφαιρα. Ενώ αντίθετα η αύξηση του ρυθμού οξειδωσης CH_4 κατά $100 \text{ nmol kg}_{\text{soil}}^{-1} \text{ s}^{-1}$ οδήγησε στην πλήρη οξείδωση του CH_4 νωρίτερα από ότι συνέβη στην 1^η περίπτωση. Τέλος στην 6^η περίπτωση οι μικρότερες ροές του CH_4 και CO_2 του X.Y.T.A. στη θέση «Κορακιά» προκάλεσαν την οξείδωση του CH_4 νωρίτερα από ότι στην 1^η περίπτωση. Επίσης παρατηρήθηκε ότι τα 30cm βάθος δεν επαρκούν για την πλήρη οξείδωση του CH_4 επομένως πλήρη οξείδωση CH_4 συμβαίνει για πάχος κάλυψης τουλάχιστον 35cm.

Τα αποτελέσματα μας οδηγούν τελικά στο συμπέρασμα ότι το βάθος, ο μέγιστος ρυθμός οξείδωσης CH_4 (μεθανοτροφική δραστηριότητα) και η ροή του CH_4 , επηρεάζουν την οξείδωση του CH_4 στην κάλυψη X.Δ.Α.-X.Y.T.A. σύμφωνα με τις εξισώσεις του Stefan-Maxwel.

Τα παραπάνω αποτελέσματα και συμπεράσματα ισχύουν για μόνιμες συνθήκες μεταφοράς μάζας, δηλαδή συνθήκες όπου η συγκέντρωση από ένα σημείο και μετά δε φέρει χρονική εξάρτηση.

9. Βιβλιογραφία

Διεθνής βιβλιογραφία

1. ATSDR, 2001. 'Landfill Gas Primer- An overview for environmental health professionals'.
2. Fadel Mutasem EI-, Angelos N. Findikakis and James O. Leckie 'Environmental impacts of solid waste landfilling' , Journal of Enviromental Management (50), 1-25, 1997.
3. Fischer C., Maurice C., Lagerkvist A, 1999. 'Gas Emission from Landfills'.
4. Hamideh S, 2000. 'A Review of the Literature Regarding Non – Methane and Volatile Organic Compounds In Municipal Solid Waste Landfill Gas'.
5. Hanson R., Hanson T. 1996. 'Methanotrophic Bacteria (Review)'. Microbiological Reviews, June 1996, p. 439-471.
6. Miroslav Nastev, Therrien Rene , Lefebvre Rene, Pierre Gelinas, Journal of Contaminant Hydrology 52 2001 187-21, 'Gas production and migration in landfills and geological materials', Geological Survey of Canada, Quebec Geoscience Centre, 880, Canada G1V 4C7.
7. Perry's Chemical Engineering Handbook.
8. Stern J., Chanton J., Abichou T., Powelson D., Yuan L., Escoriza S., Bogner J.. 2006. 'Use a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation'. Waste Management (2006).
9. Tchobanoglous G., Theisen H.,Vigil S., 'Integrated solid waste management', Enginnering principles and management issues, 1993.
10. U.S Army Corps of Engineers, 1995. 'Landfill off-gas collection and treatment systems'.
11. V. Popov and H. Power 'DRM-MD approach for the numerical solution of gas, flow in porous media, with application to landfill', 'Engineering Analysis with Boundary Elements', Vol23, issue, 2,Febr. 1999
12. Visscher A., Cleemput O. 2003. 'Simulation model for gas diffusion and methane oxidation in landfill cover soils'. Waste Management 23 (2003) 581-591.

Ελληνική βιβλιογραφία

1. 'Βιώσιμη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων' του Δημήτριου

Χ.Παναγιωτακόπουλου

2. 'Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων Αποβλήτων' Σκορδίλης Α.
3. 'Επικίνδυνα απόβλητα διαχείριση, επεξεργασία διάθεση ' του κ. Ευάγγελου Γιδαράκου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
4. 'Matlab 5 για μηχανικούς' Adrian Biran & Moshe Breiner.
5. Μεταπτυχιακή διατριβή της Κ. Μύρκου , 'Εξέλιξη των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των στερεών απορριμμάτων του Νομού Χανίων'.
6. 'Μελέτη αποκατάστασης του χώρου εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων στη θέση Μεσομούρι Ακρωτηρίου Χανίων 'του τμήματος μελετών & τεκμηρίωσης και της διεύθυνσης προγραμματισμού & Δ.Π.Ε. της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Χανίων.
7. 'Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τις φάσεις κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρου Υγειονομικής Ταφής των απορριμμάτων της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Χανίων, στη θέση «Κορακιά» Ακρωτηρίου' του τμήματος μελετών & τεκμηρίωσης και της διεύθυνσης προγραμματισμού & Δ.Π.Ε. της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Χανίων.
8. 'Περιβαλλοντικά μοντέλα Τύχη και Μεταφορά Ρύπων στον Αέρα, Νερό και Εδαφος'. Schnoor.
9. Προσωπική επικοινωνία με τον κ. Πατερακη Κ. (Μηχανολόγος μηχανικός της Μονάδας Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων).
10. Προσωπική επικοινωνία με τον κ. Μαρινάκη Δ. (Χημικός μηχανικός νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Χανίων).
11. 'Σχέδιο διαχείρισης απορριμμάτων Νομού Χανίων' του τμήματος μελετών & τεκμηρίωσης και της διεύθυνσης προγραμματισμού & Δ.Π.Ε. της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Χανίων.
12. Σημειώσεις μαθήματος 'Έλεγχος ρύπανσης νερών' του κ. Αλέξανδρου Π. Οικονομόπουλου (καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης).
13. Σημειώσεις μαθήματος 'Ροή υπόγειων υδάτων και μεταφορά ρύπων' του κ. Καρατζά (καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης).
14. Σημειώσεις του μαθήματος 'Χημεία και έλεγχος ρύπανσης ατμόσφαιρας' του κ. Αλέξανδρου Π. Οικονομόπουλου (καθηγητής τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης).
15. Σημειώσεις του μαθήματος 'Διαχείριση και επεξεργασία αστικών απορριμμάτων' του κ. Γιδαράκου Ε. (καθηγητή τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
16. Σημειώσεις του μαθήματος 'Σχεδιασμός σταθμών μεταφόρτωσης και Χώρων

υγειονομικής ταφής απορριμμάτων' του κ. Αλέξανδρου Π. Οικονομόπουλου
(καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης).