



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

**Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από Χώρους
Διάθεσης Απορριμμάτων, Ανάλυση Κύκλου Ζωής.
Μελέτη περίπτωσης**

Γραμματικογιάννης Ηλίας

Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

για το Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του
Ε.Μ.Πολυτεχνείου
"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2009

**Μέλη Τριμελούς Επιτροπής
Καθηγήτρια: Λοϊζίδου Μαρία (Επιβλέπουσα)
Καθηγήτρια: Γιαουτζή Μαρία
Καθηγήτρια: Ώξενκιουν Μαρία**

ABSTRACT

The issue of environmental protection has gained much attention as unsustainable human behavior in respect to the environment has clearly shown the signs of the risks inherent. In order to reap the benefits expected by an environmentally responsible way of thinking, the impacts of human activities on the environment have to be demonstrated in the most clear and undoubtable way. One of the most serious environmental impacts, in this respect, is related to waste management and disposal.

The scope of the present Diploma Thesis is to study the issue of waste disposal and more specifically the impacts on the environment of uncontrolled sites of waste disposal in respect to sites of sanitary burial.

As a case study, the Azemmour region in Morocco has been selected, where a certain site of uncontrolled waste disposal is examined that is running out of life cycle. Future wastes are going to be disposed in the region of Oulad Rahmoune. For both sites the present study evaluates gas emissions and leachates using appropriate models. Finally, by use of the Life Cycle Assessment, the environmental impacts of both sites have been assessed, while options available towards reducing the impacts of gas emissions and leachates to the environment have been explored.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η περιβαλλοντική προστασία γίνεται όλο και περισσότερο συνείδηση για τον άνθρωπο. Για να μπορέσει ωστόσο η στροφή αυτή προς την προστασία του περιβάλλοντος, να έχει και τα αναμενόμενα οφέλη, θα πρέπει να καταδειχθούν με τον πλέον αδιαμφισβήτητο τρόπο, οι επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας σε αυτό.

Είναι σαφές πως οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι πολλές και καλύπτουν όλο το εύρος της ανθρώπινης δραστηριότητας. Μία από τις πιο σημαντικές είναι και η 'απόρριψη των απορριμμάτων', δεδομένου ότι χαρακτηρίζεται από επιπτώσεις μακροχρόνιες και ιδιαίτερα επικίνδυνες, τόσο για το φυσικό περιβάλλον όσο και για τον άνθρωπο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, που συντάσσεται στο πλαίσιο του διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος 'Περιβάλλον και Ανάπτυξη', του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ασχολείται με τον προσδιορισμό των επιπτώσεων στο περιβάλλον από χώρους απόρριψης απορριμμάτων. Είναι μία προσπάθεια, να εφαρμοστεί μέρος της διαθέσιμης γνώσης για την ουσιαστική αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Λοϊζίδου Μαρία, επιβλέπουσα Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την διαρκή καθοδήγηση και εποπτεία της, την κα. Γιαουτζή Μαρία, Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την παρότρυνση ενασχόλησης με τα θέματα αυτά, δίνοντας ουσιαστικές κατευθύνσεις, και τον κ. Παπαδόπουλο Αχιλλέα, Δρ. Χημικό Μηχανικό Ε.Μ.Π., για τη βοήθειά του στο να ξεπεραστούν οι τεχνικές δυσκολίες.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αρχιπλοίαρχο Ε.Ν. Ηλία Κ. Σπυρόπουλο, για τη βοήθειά του σε θέματα πολύ σημαντικά, για την ομαλή ολοκλήρωση της διαδρομής αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1. ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	10
1.1. Αστικά Στερεά Απόβλητα.....	10
1.2. Τεχνικές Διάθεσης Απορριμμάτων	11
1.2.1. Ανεξέλεγκτη απόθεση απορριμμάτων	11
1.2.2. Υγειονομική Ταφή.....	12
1.3. Μηχανισμοί Αποδόμησης Απορριμμάτων	17
1.3.1. Στάδιο αερόβιας βιοαποδόμησης οργανικών.....	17
1.3.2. Οξυγενές στάδιο	18
1.3.3. Μεθανογένεσης στάδιο	18
1.3.4. Στάδιο σταθεροποίησης.....	18
1.4. Εκπομπές Ρύπων σε Χώρους Διάθεσης Απορριμμάτων.....	19
1.4.1. Στραγγίσματα	20
1.4.2. Παραγωγή βιοαερίου – αέριες εκπομπές	24
1.4.3. Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις	25
2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....	32
2.1. Μοντέλα Εκτίμησης Αερίων Εκπομπών Χώρων Ταφής Απορριμμάτων	32
2.1.3. Απλό μοντέλο υπολογισμού εκπομπών	33
2.1.2. Η σχέση του Tabasaran	35
2.1.1. Σλοβακικό μοντέλο βιοαερίου.....	37
2.2. Μοντέλα Προσδιορισμού Στραγγισμάτων των Χώρων Ταφής Απορριμμάτων.....	46
2.2.1. Μοντέλο υπολογισμού στραγγισμάτων HELP	47
2.2.2. Το μοντέλο WBM (Water Balance Model).....	53
2.2.3. Προσεγγιστικοί τρόποι υπολογισμού στραγγισμάτων.....	54
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	56
3.1. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης (Azemmour)	56
3.2. Είδος Παραγόμενων Απορριμμάτων	58
3.2.1. Σύσταση των απορριμμάτων στο Μαρόκο.....	58
3.2.2. Σύσταση των απορριμμάτων στον υφιστάμενο χώρο διάθεσης απορριμμάτων... ..	58
3.3. Υπολογισμός Αερίων Εκπομπών	59
3.3.1. Αέριες εκπομπές από τον υφιστάμενο χώρο διάθεσης	59
3.3.2. Επιλογή τελικών εκπομπών	69

3.3.3. Αέριες εκπομπές από το νέο Χ.Υ.Τ.Α.	69
3.4. Υπολογισμός Στραγγισμάτων.....	73
3.4.1. Υπολογισμός στραγγισμάτων από τον υφιστάμενο χώρο διάθεσης.....	73
3.4.2. Υπολογισμός στραγγισμάτων από το νέο Χ.Υ.Τ.Α.....	81
3.5. Συνολικές Επιπτώσεις στο Περιβάλλον.....	91
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (ΑΚΖ).....	93
4.1. Έννοια της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	93
4.2. Μεθοδολογία Εφαρμογής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	94
4.3. Προσδιορισμός του Στόχου και του Πεδίου Μελέτης.....	94
4.3.1. Στόχος μελέτης	94
4.3.2. Αντικείμενο/Πεδίο μελέτης	95
4.3.3. Ορισμός λειτουργικής μονάδας.....	96
4.4. Απογραφή των Δεδομένων	96
4.4.1. Περιοχή Azemmour	97
4.4.2. Περιοχή Oulad Rahmoune	97
4.5. Εκτίμηση Επιπτώσεων	98
4.5.1. Ταξινόμηση.....	98
4.5.2. Χαρακτηρισμός	99
4.6. Εκτίμηση Βελτιώσεων.....	100
4.6.1. Συλλογή βιοαερίου	101
4.6.2. Συλλογή στραγγισμάτων	104
4.7. Συνολικές Επιπτώσεις στο Περιβάλλον.....	104
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. 1: Σύσταση οικιακών αποβλήτων στο διεθνή χώρο.....	11
Πίνακας 1. 2: Συγκριτικός πίνακας θερμικών και ηλεκτροκίνητων απορριμματοφόρων	26
Πίνακας 2. 1: Χαρακτηριστικά χώρου απόθεσης απορριμμάτων.....	32
Πίνακας 2. 2: Παραγόμενο βιοαέριο	34
Πίνακας 2. 3: Παραγόμενο μεθάνιο	35
Πίνακας 2. 4: Παραγόμενο βιοαέριο	36
Πίνακας 2. 5: Παραγόμενο βιοαέριο	38
Πίνακας 2. 6: Μεταβλητή k	40
Πίνακας 2. 7: Μεταβλητή L_0	41
Πίνακας 2. 8: Συγκέντρωση NMOC ppmv	41
Πίνακας 2. 9: Ρυπαντές μοντέλου LandGEM	44
Πίνακας 2. 10: Απορρίμματα στο κύτταρο σε βάθος 30 ετών	45
Πίνακας 2. 11: Παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα.....	46
Πίνακας 2. 12: Είδη εδαφών μοντέλου LandGEM.....	48
Πίνακας 2. 13: Είδη βλάστησης μοντέλου LandGEM	48
Πίνακας 3. 1: Πληθυσμός και παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων (1998-2020)....	58
Πίνακας 3. 2: Σύσταση οικιακών αποβλήτων στο Μαρόκο	58
Πίνακας 3. 3: Διαθέσιμα στοιχεία για την παραγωγή απορριμμάτων στο Azemmour ..	60
Πίνακας 3. 4: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Azemmour για την 1 ^η εφαρμογή....	61
Πίνακας 3. 5: Συνολικές εκπομπές 1 ^{ης} εφαρμογής.....	62
Πίνακας 3. 6: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Azemmour για την 2 ^η εφαρμογή....	64
Πίνακας 3. 7: Συνολικές εκπομπές 2 ^{ης} εφαρμογής.....	65
Πίνακας 3. 8: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Azemmour για την 3 ^η εφαρμογή....	66
Πίνακας 3. 9: Συνολικές εκπομπές 3 ^{ης} εφαρμογής.....	67
Πίνακας 3. 10: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Azemmour για την 4 ^η εφαρμογή .	68
Πίνακας 3. 11: Συνολικές εκπομπές 4 ^{ης} εφαρμογής.....	69
Πίνακας 3. 12: Συγκεντρωτικός πίνακας των εκπομπών για όλες τις εφαρμογές	69
Πίνακας 3. 13: Διαθέσιμα στοιχεία για την παραγωγή απορριμμάτων στο Oulad Rahtoune	70
Πίνακας 3. 14: Ρυθμός συγκέντρωσης των ποσοτήτων στο κύτταρο	71
Πίνακας 3. 15: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Oulad Rahtoune	72
Πίνακας 3. 16: Συνολικές εκπομπές στην του Oulad Rahtoune	73
Πίνακας 3. 17: Κατακρήμνιση στην ευρύτερη περιοχή	74
Πίνακας 3. 18: Μέσο μηνιαίο ποσοστό ημέρας	75
Πίνακας 3. 19: Γραμμική παρεμβολή για τον προσδιορισμό του ποσοστού ημέρας.....	76
Πίνακας 3. 20: Υπολογισμός τιμών I_1	76
Πίνακας 3. 21: Αριθμός ημερών ανά μήνα	76
Πίνακας 3. 22: Μέση μηνιαία θερμοκρασία.....	77
Πίνακας 3. 23: Ετήσιος δείκτης θερμότητας.....	77
Πίνακας 3. 24: Δονητική εξατμισοδιαπνοή	78
Πίνακας 3. 25: Ποσότητες νερού στα απορρίμματα	79
Πίνακας 3. 26: Σύνολο στραγγισμάτων στην περιοχή του Azemmour	80
Πίνακας 3. 27: Ημερήσια κατακρήμνιση για την είσοδο στο μοντέλο HELP	81
Πίνακας 3. 28: Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή	83
Πίνακας 3. 29: Σχετική υγρασία ανά εποχή	83

Πίνακας 3. 30: Ημερήσια κατακρήμνιση για την είσοδο στο μοντέλο HELP	84
Πίνακας 3. 31: Απορρίμματα στο κότταρο του Oulad Rahmoune.....	85
Πίνακας 3. 32: Επιλογή διαστρωμάτωσης.....	86
Πίνακας 3. 33: Ποσοστό υγρασίας στα απορρίμματα	90
Πίνακας 3. 34: Στραγγίσματα στην περιοχή του Oulad Rahmoune	91
Πίνακας 3. 35: Συνολικές επιπτώσεις στις περιοχές Azemmour και Oulad Rahmoune	91
Πίνακας 4. 1: Κατηγορίες επιπτώσεων	99

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. 1: Παραδοσιακή διάθεση απορριμμάτων	13
Εικόνα 1. 2: Τεχνητή μόνωση	15
Εικόνα 1. 3: Επιφανειακή υγειονομική ταφή.....	16
Εικόνα 1. 4: Πλήρωση τάφρου	16
Εικόνα 1. 5: Δημιουργία όξινης βροχής.....	29
Εικόνα 1. 6: Γλυπτό στον πύργο Χέρτεν στη Βεστφαλία	31
Εικόνα 2. 1: Τοπική διάταξη έντεκα διαστρωματώσεων	51
Εικόνα 2. 2: Είδη στρώσεων που παρέχονται από το μοντέλο.....	52
Εικόνα 2. 3: Καμπύλη υπολογισμού διαρροών	52
Εικόνα 2. 4: Water Balance Model	53
Εικόνα 3. 1: Απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής του Azemmour	56
Εικόνα 3. 2: Η πόλη του Azemmour	57
Εικόνα 3. 3: Χώροι απόθεσης απορριμμάτων.....	57
Εικόνα 3. 4: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο LandGEM 1 ^{ης} εφαρμογής.....	60
Εικόνα 3. 5: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο LandGEM 2 ^{ης} εφαρμογής.....	63
Εικόνα 3. 6: Είσοδος των τιμών των κατακρημνισμάτων στο μοντέλο HELP	82
Εικόνα 3. 7: Κλιματολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο HELP.....	84
Εικόνα 3. 8: Βασικά δεδομένα σχεδιασμού.....	86
Εικόνα 3. 9: Χαρακτηριστικά διαστρωματώσεων	87
Εικόνα 3. 10: Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα στρωμάτων	87
Εικόνα 3. 11: Επιλογή καμπύλης σχεδιασμού	88
Εικόνα 3. 12: Μηνιαίες τιμές για το 2011.....	88
Εικόνα 3. 13: Ετήσιες τιμές για το 2011	89

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. 1: Μέση ποιοτική σύσταση αστικών αποβλήτων.....	10
Διάγραμμα 1. 2: Βιοαποδόμηση του οργανικού φορτίου των απορριμμάτων.....	19
Διάγραμμα 1. 3: Χρονική εξέλιξη της παραγωγής και σύστασης του βιοαερίου.....	24
Διάγραμμα 1. 4: Διαγραμματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου.....	27
Διάγραμμα 2. 1: Εκπομπές βιοαερίου και μεθανίου.....	35
Διάγραμμα 2. 2: Εκπομπές βιοαερίου.....	37
Διάγραμμα 2. 3: Εκπομπές βιοαερίου.....	38
Διάγραμμα 2. 4: Εκπομπές μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα.....	46
Διάγραμμα 3. 1: Είδος απορριμμάτων στην περιοχή του Azemmour.....	59
Διάγραμμα 3. 2: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την 1 ^η εφαρμογή.....	62
Διάγραμμα 3. 3: Αέριες εκπομπές σε Mg για την 1 ^η εφαρμογή.....	62
Διάγραμμα 3. 4: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την 2 ^η εφαρμογή.....	64
Διάγραμμα 3. 5: Αέριες εκπομπές σε Mg για την 2 ^η εφαρμογή.....	65
Διάγραμμα 3. 6: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την 3 ^η εφαρμογή.....	66
Διάγραμμα 3. 7: Αέριες εκπομπές σε Mg για την 3 ^η εφαρμογή.....	67
Διάγραμμα 3. 8: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την 4 ^η εφαρμογή.....	68
Διάγραμμα 3. 9: Αέριες εκπομπές σε Mg για την 4 ^η εφαρμογή.....	68
Διάγραμμα 3. 10: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την περιοχή του Oulad Rahmoune.....	72
Διάγραμμα 3. 11: Αέριες εκπομπές σε Mg για την του Oulad Rahmoune.....	72
Διάγραμμα 4. 1: Βήματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	94
Διάγραμμα 4. 2: Μορφή του συστήματος.....	96
Διάγραμμα 4. 3: Εισροές και εκροές του συστήματος.....	96

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το περιβάλλον στη σημερινή εποχή, απειλείται από την ανεξέλεγκτη ανθρώπινη δραστηριότητα. Όπως σημειώνει ο Καμύ (1951), στο βιβλίο του 'Ο επαναστατημένος άνθρωπος', σύμφωνα με το Μάρξ, ο άνθρωπος ξεχωρίζει από το ζώο, διότι μπορεί να παράγει τα μέσα συντήρησής του. Είναι προφανές λοιπόν, πως το περιβάλλον δέχεται πιέσεις από την ανθρώπινη δραστηριότητα που παράγει, καταναλώνει αλλά και απορρίπτει τα μέσα της συντήρησής του, μετά από τη χρήση τους. Η θεραπεία των προβλημάτων που σχετίζονται με το περιβάλλον, μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τη λήψη μέτρων, στις τρεις αυτές διαστάσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία αφορά στο θέμα της διάθεσης αποβλήτων που παράγονται από ανθρωπογενή δραστηριότητα και ειδικότερα στη μελέτη των επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη λειτουργία χώρων απόρριψης απορριμμάτων, αλλά και οργανωμένων χώρων υγειονομικής ταφής.

Ως μελέτη περίπτωσης, χρησιμοποιείται ο υφιστάμενος χώρος ανεξέλεγκτης απόρριψης στην περιοχή του Azemmour, του Μαρόκου όπου στο παρόν στάδιο ολοκληρώνει τον κύκλο ζωής του, και τα απορρίμματα οδηγούνται σε νέο χώρο υγειονομικής ταφής, που δημιουργείται στην περιοχή του Oulad Rahmoune. Για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τους δύο αυτούς χώρους (υφιστάμενο και μελλοντικό), γίνεται προσπάθεια έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα που σχετίζονται με την αντιμετώπιση των επιπτώσεων αυτών, αλλά και να υπάρξει ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών με στόχο τη διαμόρφωση μιας αναβαθμισμένης οικολογικής συνείδησης.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στους τρόπους τελικής διάθεσης των απορριμμάτων και περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της υγειονομικής ταφής. Επίσης περιγράφονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την λειτουργία χώρων ταφής απορριμμάτων και αναδεικνύονται μεταξύ άλλων, οι δύο κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που είναι η παραγωγή 'βιοαερίου' και 'στραγγισμάτων'.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται τα υπολογιστικά μοντέλα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των αέριων ρύπων και των στραγγισμάτων, που παράγονται από ένα χώρο ταφής απορριμμάτων. Τα μοντέλα που παρουσιάζονται διαφοροποιούνται τόσο ως προς τα δεδομένα που χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό των επιπτώσεων, αλλά και ως προς τις εξισώσεις στις οποίες βασίζονται οι υπολογισμοί τους. Οι διαφορές μπορούν να χαρακτηριστούν βασικές μεν, ωστόσο η φιλοσοφία εκτίμησης των

επιπτώσεων παραμένει η ίδια. Μέσα από το σύνολο των μοντέλων αυτών, χρησιμοποιούνται/επιλέγονται εκείνα που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των διαθέσιμων δεδομένων.

Στο επόμενο κεφάλαιο, το τρίτο, γίνεται η εκτίμηση των ποσοτήτων των αέριων εκπομπών και των στραγγισμάτων, με τη χρήση των μοντέλων που επιλέχθηκαν ως πληρέστερα. Παρουσιάζονται τα διαθέσιμα δεδομένα και γίνονται οι αναγκαίες παραδοχές και υποθέσεις στις περιπτώσεις που τα διαθέσιμα στοιχεία δεν είναι επαρκή. Έτσι, ολοκληρώνοντας τις αντίστοιχες εφαρμογές γίνεται ποσοτικοποίηση των αναμενόμενων επιπτώσεων από τους χώρους ταφής απορριμμάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, τέλος, τα δεδομένα εισέρχονται στη διαδικασία της 'Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής', όπου πλέον μέσα από τη μεθοδολογία που ακολουθείται προσδιορίζονται οι επιπτώσεις των δύο χώρων στο περιβάλλον. Παράλληλα, περιγράφονται οι βελτιώσεις που θα μπορούσε να γίνουν για τον περιορισμό των επιπτώσεων, και εκτιμάται το μέγεθος από τα αναμενόμενα οφέλη.

Η εφαρμογή των παραπάνω προσεγγίσεων οδηγεί στον εντοπισμό των επιπτώσεων από τους χώρους ταφής απορριμμάτων στο περιβάλλον, διευκολύνοντας έτσι τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών.

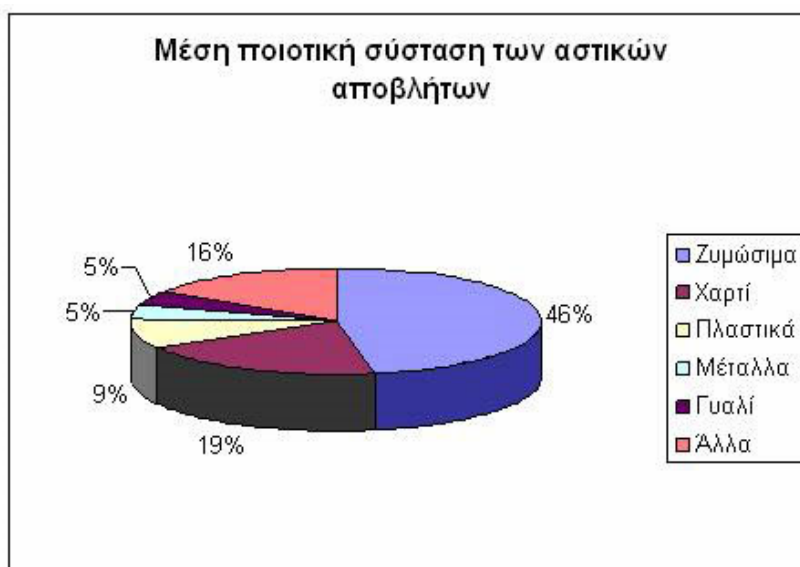
1. ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

1.1. Αστικά Στερεά Απόβλητα

Σύμφωνα με την Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΕΔΣΑ) 'στον όρο αστικά στερεά απόβλητα ή ΑΣΑ (*Municipal Solid Waste*) περιλαμβάνονται τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα, τα οποία λόγω φύσης ή σύνθεσης, είναι παρόμοια με τα οικιακά, όπως απόβλητα από εμπορικές και συναφείς δραστηριότητες, κτίρια γραφείων και ιδρύματα (σχολεία, νοσοκομεία, κυβερνητικά κτίρια). Περιλαμβάνει επίσης ογκώδη απόβλητα (στρώματα, έπιπλα κ.α.) και απόβλητα κήπων, φύλλα, κλαδιά, κηπευτικά, καθώς και απόβλητα από καθαρισμό δρόμων'. (www.eedsa.gr)

Όσον αφορά στη σύσταση των αστικών αποβλήτων, αυτή δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται από πλήθος παραμέτρων. Έτσι, σύμφωνα με την ΕΕΔΣΑ, οι παράγοντες που επηρεάζουν τόσο τη σύσταση όσο και τον όγκο των αστικών αποβλήτων είναι το βιοτικό επίπεδο, τα καταναλωτικά πρότυπα, η κινητικότητα του αστικού πληθυσμού αλλά και οι εποχές του έτους. (www.eedsa.gr)

Ειδικά για την Ελλάδα τα διαθέσιμα στοιχεία σε εθνικό επίπεδο ορίζουν τη σύσταση των οικιακών αποβλήτων σε ζυμώσιμα (οργανικά) 46%, χαρτί 19%, πλαστικά 9%, μέταλλα 5%, γυαλί 5%, ενώ τα υπόλοιπα απόβλητα κυμαίνονται σε ποσοστό 16%. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν δεδομένα του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (2003) και απεικονίζονται στο Διάγραμμα 1.1. (www.eedsa.gr)



Διάγραμμα 1. 1: Μέση ποιοτική σύσταση αστικών αποβλήτων

Σκόπιμη κρίνεται η παρουσίαση της σύστασης των αστικών αποβλήτων στο διεθνή χώρο για να αποτυπωθούν οι όποιες διαφοροποιήσεις. Έτσι παρατηρείται από τον Πίνακα 1.1. (Φελεσκούρα κ.α. 2004), πως οι αναπτυσσόμενες χώρες παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά οργανικών υλικών τις τάξεως του 60%, σε αντίθεση με τις αναπτυγμένες περιοχές του πλανήτη που το αντίστοιχο ποσοστό κυμαίνεται στο 20%. Αντιθέτως, όσον αφορά τα ανακυκλώσιμα υλικά αυτά είναι περιορισμένα στις αναπτυσσόμενες χώρες και ιδιαίτερος αυξημένα στις ανεπτυγμένες.

	Δυτική Ευρώπη	ΗΠΑ	Μέση Ανατολή
Οργανικά	21,3	22,6	60,0
Χαρτί	27,4	45,6	25,3
Υφάσματα	3,5	4,5	1,4
Πλαστικά	3,1	2,6	5,8
Γυαλί	9,5	6,2	1,0
Μέταλλα	8,5	9,1	2,8
Σκόνη, Αδρανή	19,8	7,6	2,3
Διάφορα	6,8	1,8	1,4

Πίνακας 1. 1: Σύσταση οικιακών αποβλήτων στο διεθνή χώρο

1.2. Τεχνικές Διάθεσης Απορριμμάτων

1.2.1. Ανεξέλεγκτη απόθεση απορριμμάτων

Η ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων οδηγεί σε πλείστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και περιβαλλοντικούς κινδύνους. Η μη συστηματική και χωρίς εφαρμογή συγκεκριμένης τεχνολογίας απόρριψη των απορριμμάτων, επιβαρύνει το περιβάλλον κυρίως εξαιτίας της διαφυγής ρυπογόνων και μολυσματικών στραγγισμάτων στον υδροφόρο ορίζοντα, αλλά και μέσω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όπως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Οι χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία καθότι μέσα από τα τρωκτικά και τα ζώα που πλησιάζουν σ' αυτές, δημιουργείται σοβαρό ενδεχόμενο μετάδοσης μολυσματικών ασθενειών στον άνθρωπο και τα ζώα.

Οι δυσοσμίες είναι μία άλλη αρνητική συνέπεια της ύπαρξης τέτοιων χώρων, όπως επίσης και ο κίνδυνος αυτανάφλεξης από τις εκπομπές μεθανίου, με αποτέλεσμα την εκδήλωση πυρκαγιών. Η φωτιά σε ένα τέτοιο χώρο, πέρα από τον κίνδυνο πυρκαγιών,

ευθύνεται και για την απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα επικίνδυνων σωματιδίων, που επίσης θέτουν σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία.

Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος μπορεί να περιοριστεί μέσα από την εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνολογιών, όπως η υγειονομική ταφή, που αποτελεί ένα σύστημα περιβαλλοντικά φιλικής τελικής διάθεσης των απορριμμάτων.

1.2.2. Υγειονομική Ταφή

Αναζητώντας έναν ορισμό για το τι είναι η υγειονομική ταφή θα μπορούσε κανείς να την εκφράσει ως μία διαδικασία ταφής των απορριμμάτων με την οποία ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία, με κατάλληλα έργα υποδομής και προσχεδιασμένες διαδικασίες λειτουργίας και ελέγχου. (Λοϊζίδου, 1997). Η υγειονομική ταφή αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο όλων των συστημάτων διαχείρισης λόγω του γεγονότος ότι όλες οι επιμέρους εφαρμοζόμενες τεχνικές αφήνουν κατάλοιπα για τα οποία απαιτείται ασφαλής τελική διάθεση.

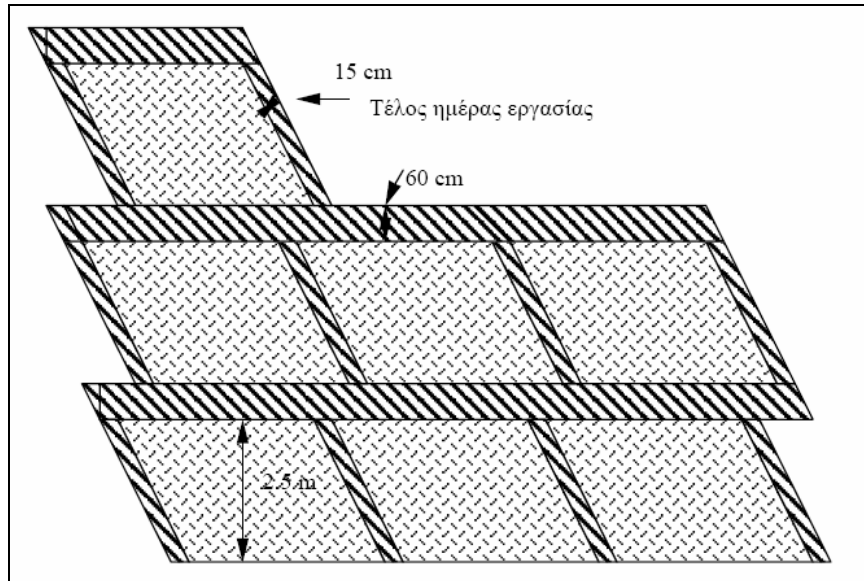
Οι κανόνες χωροθέτησης και λειτουργίας των Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων καθορίζεται από την κοινοτική οδηγία 1999/31/ΕΚ. Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό η λειτουργία ενός Χ.Υ.Τ.Α. είναι περίπλοκη διαδικασία και καθορίζεται από πλήθος παραμέτρων.

Στους χώρους αυτούς τα είδη απορριμμάτων που μπορούν να ταφούν είναι οικιακά απορρίμματα, μπάζα, τέφρες και σκουριές, στερεοποιημένες και αφυδατωμένες λάσπες. Είναι προφανές πως απορρίμματα που απαιτούν ειδική επεξεργασία, όπως επικίνδυνα τοξικά, ραδιενεργά, δε μπορούν να γίνουν δεκτά σε ένα χώρο υγειονομικής ταφής αν δεν προηγηθεί η απαραίτητη επεξεργασία.

- **Τρόποι υγειονομικής ταφής**

Σύμφωνα με το Μαρνέλλο (2007), οι βασικοί τρόποι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων είναι:

Παραδοσιακή διάθεση απορριμμάτων: διαδοχικές επάλληλες στρώσεις που καλύπτονται από χώμα πάχους 60 εκατοστών, ενώ στο λοξό μέρος της απόθεσης γίνεται κάλυψη πάχους 15 εκατοστών. Η παραδοσιακή διάθεση απορριμμάτων παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.1. (Μουσιόπουλος, 2002):



Εικόνα 1. 1: Παραδοσιακή διάθεση απορριμμάτων

Διάθεση με συμπίεση: τα απορρίμματα συμπιέζονται σε πυκνότητα 1000 κιλά/κ.μ., εξασφαλίζοντας έτσι οικονομία χώρου, στεγανότητα από τα νερά της βροχής και προστασία από εκρήξεις καθότι υπάρχει απουσία οξυγόνου.

Λεπτοτεμαχισμός: τα απορρίμματα τεμαχίζονται σε πάχος 5 εκατοστών και βιοαποδομούνται γρήγορα, ευνοώντας η μορφή τους τις αερόβιες διεργασίες.

Δεματοποίηση: τα απορρίμματα συμπιέζονται σε μπάλες ενός κυβικού μέτρο και βάρους ενός τόνου. Ο τρόπος αυτός διευκολύνει την εναπόθεση των αποβλήτων.

- **Κριτήρια χωροθέτησης χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων**

Τέτοια κριτήρια είναι γεωλογικά – υδρογεωλογικά, χωροταξικά, περιβαλλοντικά, λειτουργικά, οικονομικά (Λοϊζίδου, 2007). Κατά τη χωροθέτηση ενός χώρου υγειονομικής ταφής, θα πρέπει επί της ουσίας να εξασφαλίζεται ότι τα πετρώματα της περιοχής έχουν μικρή διαπερατότητα στο νερό, όπως επίσης να μην υπάρχουν ύδατα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για ύδρευση. Αυτά είναι υδρογεωλογικά κριτήρια, αντιστοίχως στην κατηγορία των χωροταξικών εντάσσονται κριτήρια όπως η μέγιστη απόσταση από τον πλησιέστερο οικισμό, περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, δίκτυα υποδομών κ.α. Περιβαλλοντικά είναι τα κριτήρια όπως η κατεύθυνση των ανέμων, η θερμοκρασία, η οπτική απομόνωση και οι οχλήσεις που δημιουργούνται από τις προσπελάσεις. Τέλος, στα λειτουργικά κριτήρια περιλαμβάνονται η ευκολία της πρόσβασης, τα δίκτυα μεταφορών κ.α. ενώ τα οικονομικά σχετίζονται περισσότερο με το κόστος κατασκευής και μεταφοράς.

- **Μόνωση**

Σημαντικά είναι τα μέτρα που λαμβάνονται για την προστασία από τη διαφυγή των στραγγισμάτων προς τον υπόγειο υδροφορέα. Τα στραγγίσματα δημιουργούνται από νερό της βροχής το οποίο διεισδύει στο χώρο υγειονομικής ταφής και ρυπαίνεται από τα απορρίμματα που υπάρχουν εκεί, από τη συμπίεση των αποβλήτων οπότε και εκλύονται υγρά, αλλά και από τα προϊόντα της βιοαποδόμησης. Θέματα που σχετίζονται αναλυτικότερα με την παραγωγή και την επεξεργασία των στραγγισμάτων θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο.

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό, η διαφυγή μιας τέτοιας τοξικότητας υγρό στον υπόγειο υδροφορέα είναι πολύ επικίνδυνη. Για το λόγο αυτό, τοποθετούνται ειδικά συστήματα μόνωσης και στεγανοποίησης. Αυτά τα συστήματα μόνωσης θα πρέπει να είναι ανθεκτικά σε θερμοκρασίες 700 °C, σε πιθανές καθιζήσεις, σε φαινόμενα διάβρωσης, σε διάφορα βιολογικά φαινόμενα. Θα πρέπει να τοποθετούνται εύκολα, να επιδορθώνονται εύκολα και να έχουν χαμηλό κόστος. (Λοϊζίδου, 2007)

Σύμφωνα με το πλαίσιο προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων , (Κ.Υ.Α. 114218/97 (ΦΕΚ 1016 Β)) αναφέρεται χαρακτηριστικά για το σύστημα μόνωσης ότι:

‘Η προστασία του εδάφους, των υπογείων και επιφανειακών υδάτων επιτυγχάνεται με το συνδυασμό των παρακάτω συντελεστών:

- Φυσική υπάρχουσα (ενδεχομένως) μόνωση.
- Σύστημα τεχνητής μόνωσης από συμπιεσμένα αργιλικά υλικά και συνθετική μεμβράνη.
- Σύστημα αποστράγγισης και συλλογής στραγγισμάτων.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω συντελεστών λαμβάνονται υπόψη τα γεωλογικά, υδρογεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφών καθώς και το είδος των προς διάθεση απορριμμάτων.’

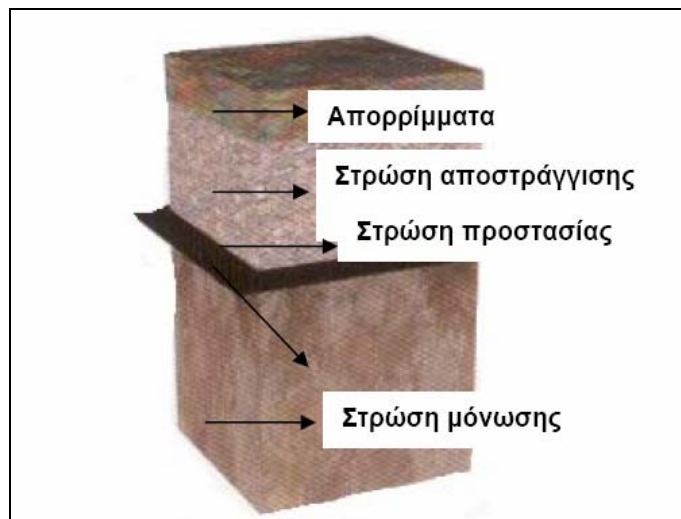
Συνεπώς η μόνωση ενός χώρου υγειονομικής ταφής μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικές κατηγορίες, την τεχνητή μόνωση και τη φυσική μόνωση.

Τεχνητή Μόνωση

Οι βασικές στρώσεις ενός συστήματος στεγανοποίησης είναι: (Κουλλάπης, 2006)

- Στρώση υπόβασης
- Στρώση μόνωσης – στεγανοποίησης
- Στρώση προστασίας

- Στρώση αποστράγγισης



Εικόνα 1. 2: Τεχνητή μόνωση

Αξίζει να σημειωθεί ότι η στρώση μόνωσης είναι η σημαντικότερη καθώς καθορίζει την ταχύτητα διαφυγής των στραγγισμάτων. Για την στρώση αυτή έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, όπου οι πλέον καθιερωμένες είναι:

- Χρήση σύνθετης στεγανωτικής στρώσης (Composite Liner)
- Χρήση διπλής μόνωσης (Double Liner)
- Χρήση διπλής σύνθετης στεγανωτικής στρώσης (Double Composite)
- Χρήση απλής συνθετικής (Single Synthetic)

Οι τεχνικές αυτές είναι διαφορετικής αποτελεσματικότητας και ευκολίας στην εφαρμογή τους και χρησιμοποιούνται ανάλογα με την επικινδυνότητα της κατάστασης και του επιθυμητού βαθμού στεγανοποίησης.

Φυσική Μόνωση

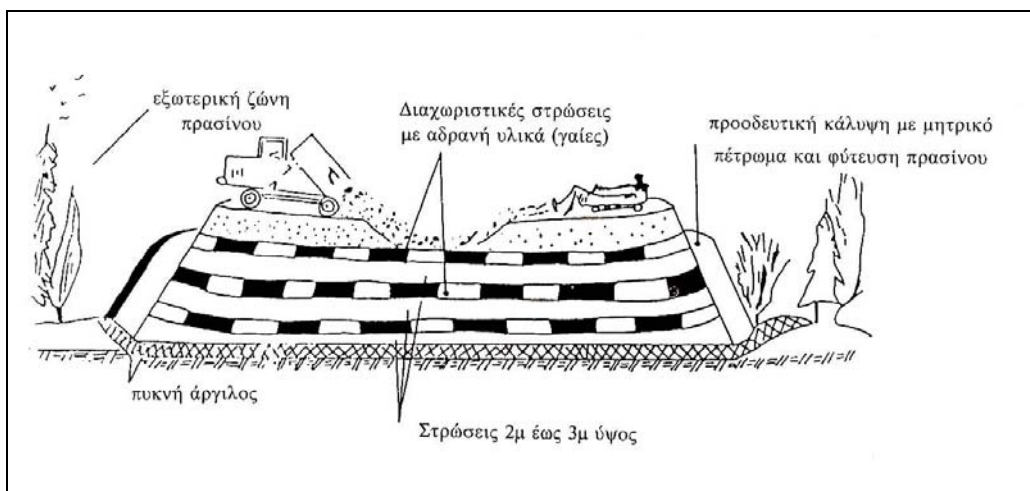
Στην περίπτωση της φυσικής μόνωσης του εδάφους χρησιμοποιούνται στεγανωτικά υλικά τα οποία είναι κυρίως ορυκτά. Τέτοια ορυκτά μπορεί να είναι άργιλος, μπετονίτης, ζεόλιθος, ιπτάμενη τέφρα, υδρύαλος, ασφαλτος.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα βασικά που εξετάζονται για τη χρήση ενός υλικού μόνωσης είναι η υδατοπερατότητα, η πλαστικότητα και το μέγεθος των κόκκων του.

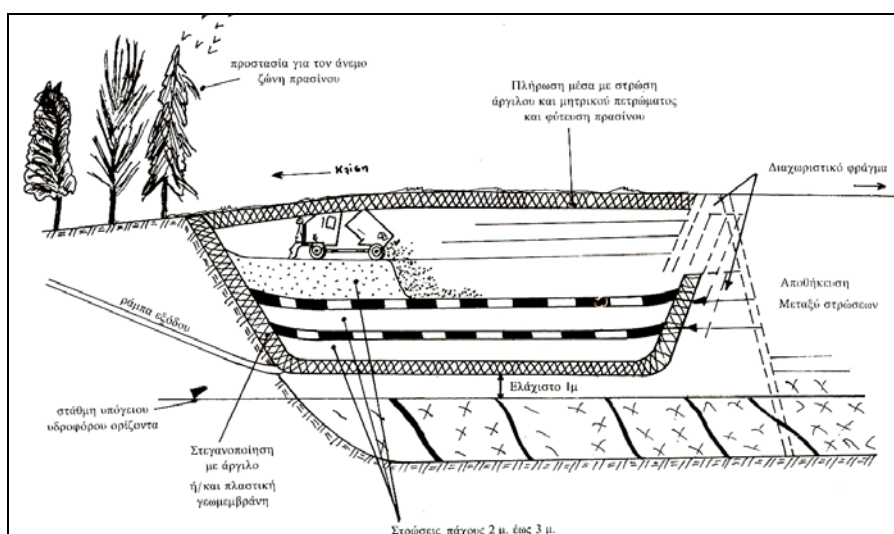
- **Χαρακτηριστικά στάδια κατασκευής ΧΥΤΑ**

Ακολούθως παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά στάδια κατασκευής ενός Χ.Υ.Τ.Α., Εικόνες 1.3., 1.4. (Κόλλιας, 2004). Συγκεκριμένα γίνεται απόθεση των απορριμμάτων σε επάλληλες στρώσεις, ενώ η κάθε στρώση διαχωρίζεται με αδρανή υλικά. Προβλέπεται επίσης

η δημιουργία εξωτερικής ζώνης πρασίνου για την αισθητική αναβάθμιση του τοπίου και την προστασία κυρίως από τον άνεμο. Επίσης δημιουργείται σύστημα συλλογής των στραγγισμάτων και ασφαλούς απομάκρυνσής τους. Τέλος για τη συλλογή του βιοαερίου τοποθετούνται κάθετοι σωλήνες στο κύτταρο μέσα από τους οποίους διέρχεται και απομακρύνεται το βιαέριο.



Εικόνα 1. 3: Επιφανειακή υγειονομική ταφή



Εικόνα 1. 4: Πλήρωση τάφρου

• Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα υγειονομικής ταφής

Σύμφωνα με το Μαρνέλλο (2007), τα πλεονεκτήματα της υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων είναι:

- Απαιτείται μικρό κεφάλαιο επένδυσης και λειτουργίας
- Μέθοδος που δεν αφήνει υπολείμματα
- Ευέλικτη σε απότομη αύξηση του όγκου των απορριμμάτων,

- Το παραγόμενο μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- Ενώ τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν:
- Δυσκολία στην εξεύρεση των κατάλληλων χώρων
 - Πολυδάπανη μεταφορά των απορριμμάτων καθότι οι χώροι πολλές φορές βρίσκονται μακριά από το πολεοδομικό συγκρότημα
 - Δυσκολίες κοινωνικής αποδοχής
 - Ύπαρξη καθιζήσεων σε περίπτωση που τα απορρίμματα κατά την υγειονομική ταφή δεν έχουν υποστεί καθίζηση
 - Κίνδυνος διαφυγής των στραγγισμάτων στον υπόγειο υδροφόρα
 - Παραγωγή μεθανίου που αν δεν προβλεφθεί η απομάκρυνσή του υπάρχει κίνδυνος, εκρήξεων, φωτιάς και ανεπιθύμητων οσμών.

1.3. Μηχανισμοί Αποδόμησης Απορριμμάτων

Με την απόθεση των απορριμμάτων στο χώρο υγειονομικής ταφής αρχίζουν οι διαδικασίες αποδόμησης τους, που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Επί της ουσίας αυτό που συντελείται κατά την αποδόμηση των απορριμμάτων, είναι η διάσπαση οργανικών ουσιών, παράγοντας βακτηριακή μάζα, υγρά και αέρια προϊόντα.

Μέσα από την αρχικά αερόβια και στη συνέχεια αναερόβια διαδικασία παράγεται το βιοαέριο, και η διαδικασία της παραγωγής και της διαφοροποίησης της σύστασης του διαιρείται σε τέσσερα διακριτά στάδια, ως εξής:

1.3.1. Στάδιο αερόβιας βιοαποδόμησης οργανικών

Κατά το στάδιο αυτό που διαρκεί από μερικές μέρες έως εβδομάδες, αρχίζουν σταδιακά να διαμορφώνονται οι ικανές συνθήκες υγρασίας για την έναρξη της βιοαποδόμησης. Στη συνέχεια το οξυγόνο που έχει μεταφερθεί στο εσωτερικό του χώρου από τα διάκενα των απορριμμάτων, χρησιμοποιείται για την βιοαποδόμηση και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται είναι ίσες γραμμομοριακά με το οξυγόνο που καταναλώνεται.

Προτού ξεκινήσουν οι αναερόβιες συνθήκες το άζωτο μειώνεται, ωστόσο παρουσιάζει πολύ υψηλή συγκέντρωση που ανέρχεται στο 75% κ.β.. Στη φάση αυτή παράγεται αέριο άζωτο και υδρόθειο.

Το πρώτο αυτό στάδιο ολοκληρώνεται με τη σταδιακή μείωση του οξυγόνου εξαιτίας της κατανάλωσής του και του τελικού μηδενισμού του, δηλαδή της πλήρους καταναλώσεώς του, οπότε και προοδευτικά επικρατούν οι αναερόβιες συνθήκες.

1.3.2. Οξυγενές στάδιο

Στο στάδιο αυτό, απουσία πλέον αέρα παράγονται σημαντικές ποσότητες οργανικών οξέων και αερίου υδρογόνου. Η δράση των μικροοργανισμών που ευθύνονται για την παραγωγή των οξέων και του υδρογόνου διακρίνεται σε τρία επίπεδα, της υδρόλυσης, της οξυγένεσης και της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα (Λοϊζίδου, 2006):

- Υδρόλυση

Στη φάση της υδρόλυσης μεγαλομοριακές ενώσεις μετασχηματίζονται σε λιπαρά οξέα, αλκοόλες, αμμωνία κ.α. τα οποία μπορεί να καταναλωθούν από μικροοργανισμούς. Οι μικροοργανισμοί που μετέχουν σε αυτές τις αντιδράσεις είναι μη μεθανογενείς και αποτελούνται από αναερόβια βακτηρία.

- Οξυγένεση

Στο στάδιο της οξυγένεσης τα οργανικά που έχουν ήδη υποστεί υδρόλυση, αποδομούνται περαιτέρω καταλήγοντας σε οργανικά μεσαίου και μικρού μοριακού βάρους. Το κύριο προϊόν των αντιδράσεων αυτών είναι το οξικό οξύ.

- Παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα

Στο επίπεδο αυτό πλέον, οι οργανικές ενώσεις διασπώνται σε διοξείδιο του άνθρακα και αερίου υδρογόνου. Έτσι η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα αγγίζει τις ανώτερες τιμές της, ενώ παράγεται και υδρογόνο. Στο επίπεδο αυτό η παραγωγή μεθανίου είναι μηδενική, ωστόσο, η παραγωγή του αρχίζει αμέσως μετά.

1.3.3. Μεθανογένεσης στάδιο

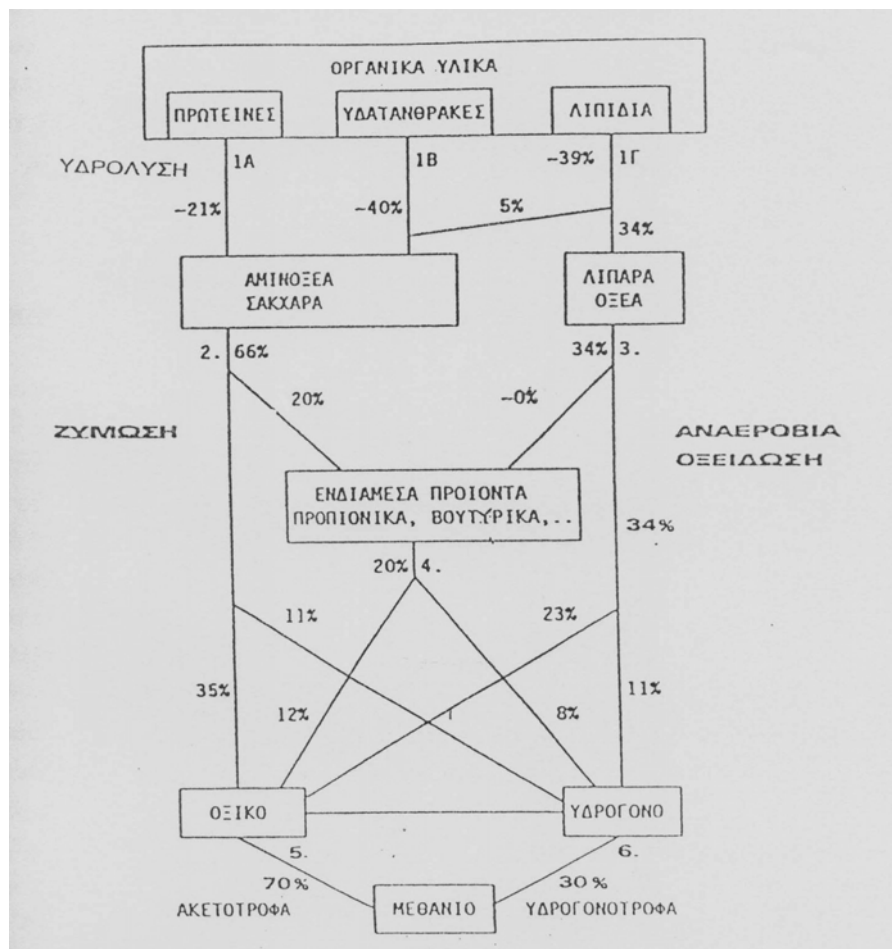
Στο στάδιο της μεθανογένεσης αρχίζει η παραγωγή μεθανίου που φτάνει και υπερβαίνει το 50% του κ.β. με ταυτόχρονη κατανάλωση του υδρογόνου. Παράλληλα αρχίζει και η μείωση του διοξειδίου του. Η παραγωγή του μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα γίνεται με την παρουσία μικροοργανισμών οι οποίοι διασπούν το οξικό οξύ και αξιοποιούν το υδρογόνο. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι αυστηρώς αναερόβιοι και ονομάζονται μεθανογενείς και περιλαμβάνουν δύο τύπους βακτηρίων (Παληκύρας, 2007):

- Εκείνους που ανάγουν το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέποντας το σε μεθάνιο, και
- Εκείνους που αποκαρβοξυλιώνουν το οξικό οξύ σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

1.3.4. Στάδιο σταθεροποίησης

Στο στάδιο αυτό, σταθεροποιούνται πλέον οι ποσότητες του βιοαερίου καθότι το οργανικό φορτίο των αποβλήτων έχει περάσει σε φάση σταθεροποίησης. Κύρια αέρια είναι πλέον το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Εκτιμάται ότι η σύσταση και η ποσότητα του

βιοαερίου σταθεροποιούνται μετά την πάροδο δύο τριών ετών από την έναρξη λειτουργίας του χώρου διάθεσης. Η δε θερμoγόνος δύναμη του βιοαερίου κυμαίνεται από 5000kcal/m³ έως 9300kcal/m³, ενώ τέλος η σύσταση του είναι 55-65% μεθάνιο και 35-45% διοξείδιο του άνθρακα. Ακολούθως παρουσιάζεται το Διάγραμμα 1.2. της βιοαποδόμησης του οργανικού φορτίου των απορριμμάτων (Παπαδόπουλος, 1994):



Διάγραμμα 1. 2: Βιοαποδόμηση του οργανικού φορτίου των απορριμμάτων

Αξίζει να σημειωθεί ότι εξαιτίας της απόθεσης απορριμμάτων σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, οι φάσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως συμβαίνουν παράλληλα σε διάφορα σημεία του χώρου υγειονομικής ταφής.

1.4. Εκπομπές Ρύπων σε Χώρους Διάθεσης Απορριμμάτων

Οι κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων έχουν να κάνουν με τη διαφυγή στραγγισμάτων στον υπόγειο

υδροφορέα, αλλά και την εκπομπή αερίων. Οι εκπομπές αερίων συμβάλλουν στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, όπως και στη δημιουργία όξινης βροχής.

Εκτός των προαναφερθείσων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η χωροθέτηση ενός χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων συνεπάγεται πρόσθετες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που έχουν να κάνουν με τις οσμές των χώρων αυτών και το θόρυβο από τη μετακίνηση των οχημάτων μεταφοράς απορριμμάτων.

1.4.1. Στραγγίσματα

Για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, είναι ιδιαίτερως σημαντική η εκτίμηση της ποσότητας και της ποιότητας των στραγγισμάτων.

- **Ποσότητα και σύσταση στραγγισμάτων**

Η ποσότητα και η σύσταση των στραγγισμάτων εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Σύνθεση απορριμμάτων.
- Τρόπος ταφής απορριμμάτων.
- Οι κλιματολογικές συνθήκες και υδρολογία της περιοχής.
- Χαρακτηριστικά του χώρου διάθεσης (χημικές και βιολογικές δράσεις, υγρασία εδάφους, θερμοκρασία, pH και ηλικία χωματερής).

Οι παράγοντες αυτοί, παρουσιάζουν τοπική διαφοροποίηση, έχοντας ως αποτέλεσμα στραγγίσματα διαφορετικών χωματερών να παρουσιάζουν διαφορές ως προς τη σύστασή τους. Πέραν αυτής της διαφοροποίησης παρατηρούνται χρονικές μεταβολές στη σύσταση των στραγγισμάτων μιας συγκεκριμένης χωματερής, η οποία έχει να κάνει με την ηλικία του χώρου διάθεσης. (Φάττα, 1998)

- **Διαδικασία Δημιουργίας Στραγγισμάτων**

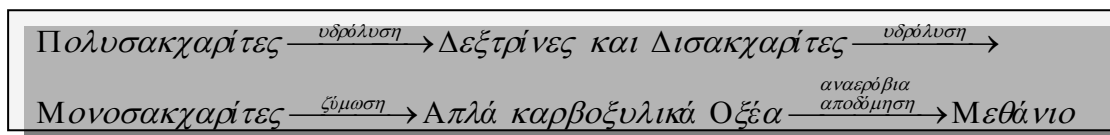
Τα στραγγίσματα επί της ουσίας ρυπαίνονται από τις οργανικές και ανόργανες ενώσεις που υπάρχουν στο χώρο υγειονομικής ταφής και οι οποίες με διάφορους τρόπους εισέρχονται στο διερχόμενο νερό.

- Οργανικές Ενώσεις

Οι οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στα απορρίμματα αφορούν κυρίως πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο οι οργανικές ενώσεις διαλύονται στο διερχόμενο νερό.

Υδατάνθρακες

Ανώτερες μορφές υδατανθράκων είναι οι πολυσακχαρίτες όπου στα απορρίμματα περιέχονται κυρίως ως άμυλο και κυτταρίνη. Όσον αφορά τους πολυσακχαρίτες αυτοί ακολουθούν το εξής διάγραμμα αποδόμησης:



Οι πολυσακχαρίτες σε γενικές γραμμές είναι αδιάλυτοι στο νερό, ωστόσο μέσα από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα και τη μετατροπή τους σε δεξτρίνες, δισακχαρίτες, μονοσακχαρίτες και απλά καρβοξυλικά οξέα, τα παράγωγά αυτών διαλύονται στο νερό. (Φάττα, 1998)

Λιπίδια

Τα λιπίδια είναι εστέρες λιπαρών οξέων με αλκοόλες ή άλλες ενώσεις. Είναι ενώσεις αδιάλυτες στο νερό, διαλυτές στον αιθέρα, στο χλωροφόρμιο, στη βενζίνη κ.λ.π. Περιέχουν άνθρακα, οξυγόνο, υδρογόνο και μερικές από αυτές φωσφόρο και άζωτο. Τα λιπίδια χωρίζονται σε απλά λιπίδια και σε σύνθετα λιπίδια ή λιποειδή.

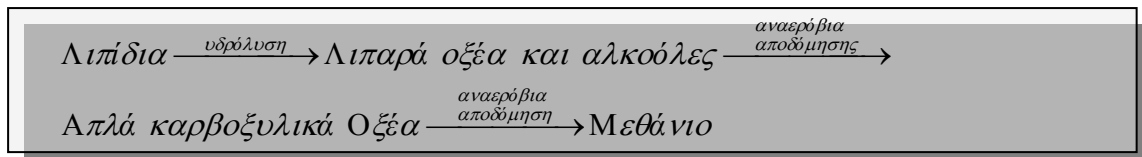
- ✓ Απλά λιπίδια. Είναι εστέρες λιπαρών οξέων και αλκοολών. Τα κυριότερα απλά λιπίδια είναι:
 1. Λίπη και έλαια. Εστέρες γλυκερίνης με λιπαρά οξέα
 2. Κηροί. Εστέρες ανώτερων και ανώτατων λιπαρών οξέων με ανώτερες μονοσθενείς αλκοόλες.
- ✓ Σύνθετα λιπίδια ή λιποειδή. Εστέρες λιπαρών οξέων και αλκοολών, σε συνδυασμό με άλλες ενώσεις.
 1. Φωσφατίδια ή φωσφολιπίδες. Ενώσεις που μοιάζουν με τα λίπη, μέσα στα οποία διαλύονται (χλωροφόρμιο, αιθέρας, βενζίνη κ.λ.π.), διαφέρουν όμως στη σύνθεση. Περιέχουν λιπαρά οξέα, φωσφορικό οξύ, αλκοόλη (συχνά, αλλά όχι πάντα γλυκερίνη) και μια αζωτούχα βάση (χολίνη ή αιθανολαμίνη). Σ' αυτές περιλαμβάνονται οι λεκιθίνες, οι κεφαλίνες και οι σφιγγομυελίνες.
 2. Γλυκολιπίδια ή γαλακτολιπίδια. Ονομάζονται γλυκολιπίδια, γιατί περιέχουν σάκχαρο γαλακτολιπίδια, και γιατί το σάκχαρο είναι πολύ συχνά η γαλακτόζη. Υδρολύονται σε γαλακτόζη, ένα λιπαρό οξύ και σφιγοσινόλη. Δεν περιέχουν φωσφόρο.

- ✓ Παράγωγα λιπιδίων. Τα παράγωγα αυτών., απλά ή σύνθετα, όταν υδρολύονται παράγουν:

- 1.Λιπαρά οξέα
- 2.Αλκοόλες
- 3.Στερόλες

Στα λιπίδια περιλαμβάνονται επίσης τα λιπαρά οξέα και οι ισοπρενοειδείς ενώσεις (τερπενοειδή, καροτινοειδή, στεροειδή).

Το διάγραμμα αποδόμησης των λιπιδίων έχει ως εξής:

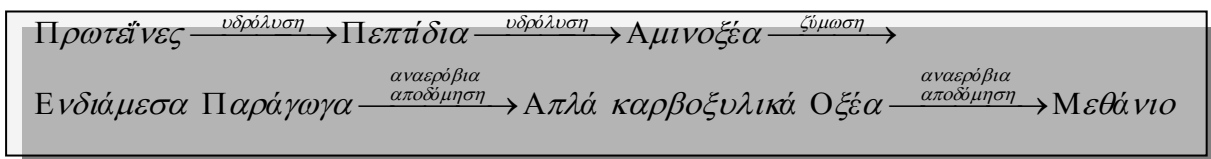


Μπορεί τα λιπίδια να είναι αδιάλυτα στο νερό, ωστόσο τα παράγωγα αυτών τα λιπαρά οξέα έχουν μία διαλυτότητα στο νερό που εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων άνθρακα που βρίσκεται στο μόριο τους. Έτσι διαλύονται στο διερχόμενο νερό μέσω της διαδικασίας της διάλυσης, λιπαρά οξέα τα οποία έχουν μέχρι έξι άτομα άνθρακα στο μόριό τους.

Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες είναι μεγάλα σύνθετα βιομόρια, με μοριακό βάρος από 10.000 μέχρι πάνω από 1 εκατομμύριο), αποτελούμενα από αμινοξέα, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς σχηματίζοντας μια γραμμική αλυσίδα, καλούμενη αλυσίδα πολυπεπτιδίων. Όλες οι πρωτεΐνες περιέχουν άνθρακα, οξυγόνο και άζωτο και οι περισσότερες εξ αυτών και θείο.

Τα παράγωγα των πρωτεϊνών προκύπτουν μέσα από την εξής διαδικασία αποδόμησης:



Οι πρωτεΐνες και τα παράγωγά τους είναι υδροδιαλυτά και δύναται να περάσουν στο νερό μέσα από της διάλυσής τους. Έτσι λοιπόν πεπτίδια, αμινοξέα και απλά καρβοξυλικά οξέα μπορούν να περάσουν στο διερχόμενο στράγγισμα.

Χουμικές Ενώσεις

Οι χουμικές ενώσεις υπάρχουν στο έδαφος στο οποίο λαμβάνει χώρα η διάθεση των απορριμμάτων. Οι ενώσεις αυτές προέρχονται από την αποσύνθεση των φυτικών ιστών ή ζωικών οργανισμών με την επίδραση μικροοργανισμών. Η διαδικασία της μετατροπής της φυτικής ύλης σε οργανική ουσία ονομάζεται χουμοποίηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι χουμικές ενώσεις δεν έχουν δομή ακριβή, δεν έχουν σταθερές φυσικές ιδιότητες (όπως σημείο τήξεως)

και πρόκειται περί όχι καθαρών ενώσεων. Δεν υπάρχει ταυτόσημη χουμική ένωση και μια χουμική δομή δε μπορεί να αναπαραχθεί. Τέλος τα μόρια των χουμικών ενώσεων είναι άμορφα σφαιρικά κolloειδή με μεγάλο μοριακό βάρος.

Στα μόρια των ενώσεων αυτών υπάρχουν άνθρακας, υδρογόνο, άζωτο, θείο και οξυγόνο και διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες, χουμικό οξύ, φουλβικό οξύ, και χουμίνη. Έτσι, οι χουμικές ενώσεις, αρχίζουν στη συνέχεια να βιοαποδομούνται, με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Ένα μέρος διασπάται με υδρόλυση και αναερόβια ζύμωση σε απλά προϊόντα ενώ ένα άλλο απαιτεί σύνθετους μηχανισμούς βιοαποδόμησης για τη δημιουργία νέων προϊόντων. Αυτό που έχει σημασία να τονιστεί είναι πως με όλες αυτές τους μηχανισμούς που λαμβάνουν χώρα αυξάνεται οι συγκέντρωση των οργανικών στα απορρίμματα και κατ' επέκταση στο νερό που διέρχεται της χωματερής. (Φάττα, 1998)

Αρωματικές Οργανικές Ενώσεις

Ανάλογα με το είδος των απορριμμάτων μπορεί να υπάρχουν στο χώρο υγειονομικής ταφής και κατά συνέπεια να διαφύγουν πλήθος αρωματικών ενώσεων, όπως φαινόλες, βενζόλιο, ναφθαλίνη και άλλα. Μέρος των ενώσεων αυτών διαφεύγουν στο διερχόμενο νερό.

- **Ανόργανες Ενώσεις**

Πλήθος ανόργανων ενώσεων διαλύονται στο νερό με διάφορους τρόπους. Αρχικά διαλύονται συστατικά των απορριμμάτων όπως χλωριούχα, θειικά άλατα και άλατα αλκαλίων. Έπειτα και αφού αρχίζουν να εκτελούνται διάφορες βιοχημικές δράσεις στα απορρίμματα διαλύονται ανόργανα συστατικά όπως: ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο, νάτριο, χλωριούχα, θειικά, φωσφορικά και αμμωνιακά. Η βιοαποδόμηση αζωτούχων οργανικών ενώσεων οδηγεί στο σχηματισμό αμμωνιακών ενώσεων.

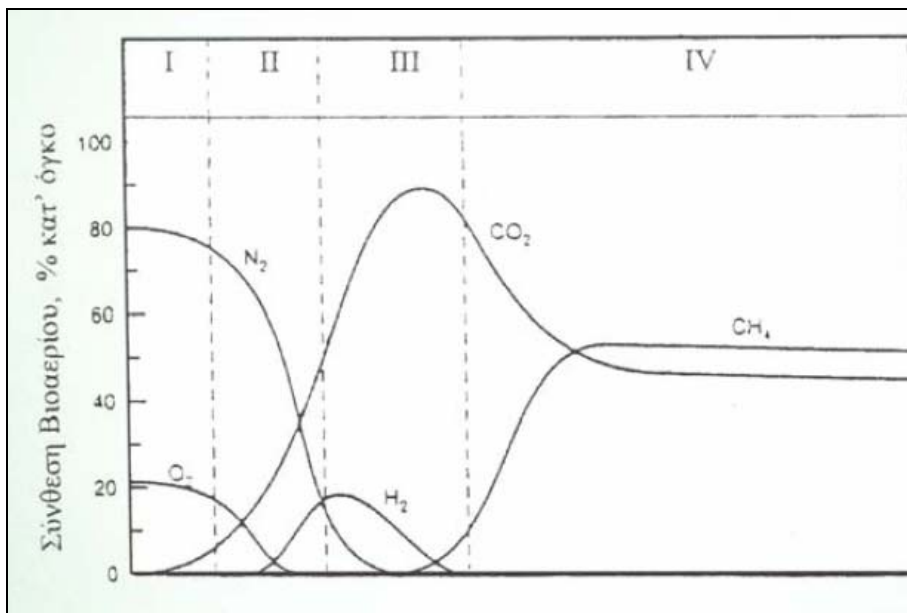
Όπως προκύπτει από την ανάλυση τις σύνθεσης των στραγγισμάτων μέσα από τον τρόπο δημιουργίας τους, τα στραγγίσματα αποτελούν μια πολύ σοβαρή απειλή για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Αυτό συμβαίνει διότι περιέχει σημαντικό αριθμό, επικίνδυνων και μη, ανόργανων και οργανικών ενώσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά βήματα ρύπανση του νερού το οποίο εισέρχεται μέσα από ένα χώρο διάθεσης απορριμμάτων και οι οποίες οδηγούν στην παραγωγή στραγγισμάτων (Λοϊζίδου, 2007):

1. Διάλυση διαλυτών συστατικών που υπάρχουν αρχικά στο χώρο, όπως PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-} , μερικά οργανικά (χουμικά και φουλβικά οξέα, σάκχαρα, κ.λ.π.)
2. Διάλυση οργανικών παραγώγων που σχηματίζονται κατά την βιοαποδόμηση σύνθετων οργανικών ενώσεων (καρβοξυλικά οξέα, αλκοόλες, αμινοξέα, σάκχαρα)
3. Διάλυση οργανικών παραγώγων που σχηματίζονται κατά τις χημικές αντιδράσεις που

- λαμβάνουν χώρα στη χωματερή (σύνθετες χουμικές ενώσεις, κ.λ.π.)
4. Διάλυση αμμωνιακών που σχηματίζονται κατά τη βιοαποδόμηση αζωτούχων οργανικών ενώσεων και την αναγωγή νιτρικών και νιτρωδών.
 5. Διάλυση φωσφορικών που σχηματίζονται κατά τη βιοαποδόμηση σύνθετων οργανικών ενώσεων που περιέχουν φώσφορο (φωσφολιπίδια, κ.λ.π.)
 6. Διάλυση ευδιάλυτων Fe^{2+} που σχηματίζονται κατά την αναγωγή των Fe^{3+} .
 7. Απλή εκχύλιση δυσδιάλυτων ή αδιάλυτων οργανικών συστατικών (πολυσακχαρίτες, ανώτερα λιπαρά οξέα, πρωτεΐνες, πεπτίδια, φαινόλες, απλές και πολυκυκλικές αρωματικές ενώσεις, κ.λ.π.)
 8. Έκπλυση λεπτομερών σωματιδίων και κολλοειδών.

1.4.2. Παραγωγή βιοαερίου – αέριες εκπομπές

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 1.3., τα οργανικά υλικά που ενταφιάζονται στον ΧΥΤΑ, σταδιακά αποσυντίθενται με απουσία οξυγόνου (αναερόβια ζύμωση). Η διαδικασία αυτή εκλύει διάφορα αέρια που αποκαλούνται συνολικά βιοαέριο. Η σύσταση των αερίων που συνθέτουν το βιοαέριο μεταβάλλεται με το χρόνο, όπως περιγράφεται στο Διάγραμμα 1.3. (Λοϊζίδου, 1997):



Διάγραμμα 1. 3: Χρονική εξέλιξη της παραγωγής και σύστασης του βιοαερίου

Το γεγονός ότι στο βιοαέριο περιέχεται σημαντική ποσότητα μεθανίου, το καθιστά αξιοποιήσιμο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής αλλά και θερμικής ενέργειας, κάτω από κατάλληλες προϋποθέσεις.

Μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την συλλογή και καύση του βιοαερίου, βρίσκεται στην περιοχή του Δήμου Άνω Λιοσίων, όπου έχει τη δυνατότητα παροχής 8.000 κυβικών μέτρων βιοαερίου την ώρα, ενώ παράγεται ηλεκτρισμός (ισχύς 13MW) και θερμότητα (16MW).

1.4.3. Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις

- **Οσμές**

Οι οσμές από τους χώρους ταφής απορριμμάτων μπορούν να γίνουν αισθητές χιλιόμετρα μακριά από τους χώρους αυτούς. Καθοριστικός παράγοντας για τις οσμές είναι οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και η κατεύθυνση των ανέμων. Είναι γεγονός ότι σε περιοχή που επικρατούν ισχυροί άνεμοι, όπου η συχνότητά τους σε ετήσια βάση είναι μεγάλη, π.χ. 200 ημέρες το χρόνο, τότε από αυτή την περιοχή οι οσμές θα μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις, περισσότερες μέρες το χρόνο. Μια ακόμα παράμετρος που επηρεάζει τη διασπορά των οσμών από το χώρο απόθεσης είναι και το υψόμετρο. Το υψόμετρο σε συνδυασμό με τους επικρατούντες στην περιοχή ανέμους, μπορεί να διασπείρει τις οσμές σε ακόμα μεγαλύτερη απόσταση από το χώρο ταφής.

- **Επιπτώσεις από τις μεταφορές**

Εξαιτίας του όγκου των απορριμμάτων και του διάσπαρτου χαρακτήρα τους στον αστικό ιστό, μία ευρεία και αποτελεσματική μέθοδος συγκομιδής τους είναι η χρήση απορριμματοφόρων. Όμως, τα απορριμματοφόρα για να καλύψουν τις ανάγκες συγκομιδής, είναι πολλά στον αριθμό και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν, υπολογίσιμες.

Οι επιπτώσεις αυτές έχουν να κάνουν με το θόρυβο, τις οσμές, την όχληση στην κυκλοφορία των οχημάτων και τις εκπομπές καυσαερίων που συνοδεύουν τα απορριμματοφόρα αυτά, που έχουν δηλαδή κινητήρα θερμικό (diesel).

Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων αυτών υπάρχουν δύο βασικές κατευθύνσεις, αυτή που αφορά τη βελτιστοποίηση των διαδρομών που θα ακολουθήσουν τα απορριμματοφόρα προς κάλυψη των αναγκών συλλογής απορριμμάτων και η χρήση ηλεκτροκίνητων απορριμμάτων. Η χρήση ηλεκτροκίνητων απορριμματοφόρων αντιμετωπίζει αποτελεσματικά μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς παρουσιάζουν πλεονεκτήματα έναντι των απορριμματοφόρων με θερμική μηχανή. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.2. (Μαρνέλλος, 2007):

Χαρακτηριστικά	Θερμικός κινητήρας	Ηλεκτρικός κινητήρας
Αυτονομία	Απεριόριστη	Μέχρι 70 χιλιόμετρα
Βάρος		Αυξημένο λόγω της ύπαρξης συσσωρευτών
Ταχύτητα	Μέχρι 100 km/h	Μέχρι 30 km/h, επαρκής για μέσα στην πόλη
Ισχύς	90-150 KW	25-30 KW
Συντήρηση	Μεγάλη φθορά του συμπλέκτη και του κιβωτίου ταχυτήτων	Αντοχή του κινητήρα Ανάγκη επίβλεψης συσσωρευτών
Επένδυση	Κοστίζει λιγότερο	Κοστίζει περισσότερο αλλά έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
Θόρυβος	Πολύς	Ελάχιστος
Κατανάλωση		Πιο οικονομικό
Ρύπανση	Πολλοί αέριοι ρύποι	Μηδενική ρύπανση

Πίνακας 1. 2: Συγκριτικός πίνακας θερμικών και ηλεκτροκίνητων απορριμματοφόρων

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα ο θόρυβος για τα ηλεκτροκίνητα απορριμματοφόρα είναι ελάχιστος, ενώ οι εκπομπές και κατ' επέκταση η ρύπανση που προκαλούν μηδενική.

Η βελτιστοποίηση των διαδρομών που θα ακολουθήσουν τα απορριμματοφόρα είναι σημαντική διότι μπορεί (Μαρνέλλος, 2007) :

1. να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση του προκαλεί το απορριμματοφόρο.
2. να περιορίσει την όχληση στην κυκλοφορία των οχημάτων που διέρχονται από την περιοχή.
3. να εξοικονομήσει καύσιμα και να περιορίσει τις απαιτούμενες εργατοώρες.

• Εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας της Γης, η Τροπόσφαιρα (πάχους 10-15 km), θερμαίνεται μέσω μιας εξισορροπημένης ανταλλαγής θερμότητας ανάμεσα στη Γη, την ατμόσφαιρα και το διάστημα, έτσι, ώστε:

- Η ηλιακή θερμότητα ακτινοβολείται προς τη γη
- Ένα τμήμα επανακτινοβολείται προς το διάστημα και το υπόλοιπο τμήμα εγκλωβίζεται από υδρατμούς, το CO₂ και τα άλλα αέρια και επανακτινοβολείται προς την ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. (Ψαρράς, 2007)

Πρόκειται για ένα φαινόμενο το οποίο επιτρέπει στη Γη να διατηρεί μία 'φιλική' για τη ζωή θερμοκρασία. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου το φαινόμενο του θερμοκηπίου δε θα συνέβαινε, τότε το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που προσλαμβάνει η Γη από τον Ήλιο, δε θα

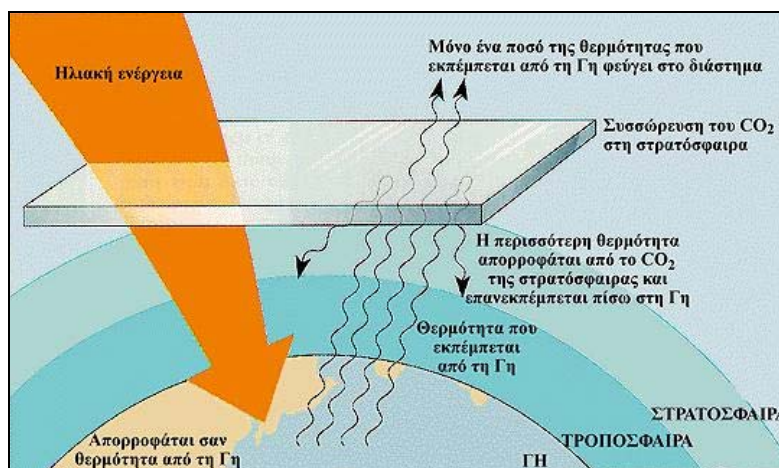
μπορούσε να συγκρατηθεί και θα εκπεμπόταν ξανά στο διάστημα. Κάτι τέτοιο θα είχε ως επακόλουθο η μέση θερμοκρασία του πλανήτη να βρίσκεται στα επίπεδα των -18°C , καθιστώντας τη ζωή ανύπαρκτη και τη Γη ακατοίκητη.

Όπως προκύπτει, το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι συνδεδεμένο με τη ζωή στον πλανήτη, ωστόσο η ανθρώπινη δραστηριότητα αρχίζει σιγά σιγά να το καθιστά επικίνδυνο για τη συνέχεια των ειδών. Συγκεκριμένα αρκετές πτυχές των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, όπως η βιομηχανία, η κτηνοτροφία, οι μεταφορές, οι πυρκαγιές, οι χωματερές, κ.α. διοχετεύουν στην ατμόσφαιρα αέρια που βοηθούν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Τα αέρια αυτά ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου και είναι:

Αέρια που βρίσκονται φυσικά στην ατμόσφαιρα

- CO_2 Διοξείδιο του άνθρακα
- CH_4 Μεθάνιο
- N_2O Μονοξείδιο του αζώτου
- Αέρια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες
- HFCS Υδρογονοφθοράνθρακες
- PFCS Υπερφθοράνθρακες
- SF_6 Εξαφθοριούχο θείο

Στο Διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου (users.att.sch.gr/xtsamisOkosmosMasFainThermoKip.htm):



Διάγραμμα 1. 4: Διαγραμματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Με βάση την Ενότητα 1.3. όπου περιγράφηκαν οι μηχανισμοί που αναπτύσσονται κατά την απόθεση των απορριμμάτων, είναι σαφές, πως στις διάφορες φάσεις αποδόμησης των απορριμμάτων παράγονται διάφορα αέρια. Από αυτά, εκείνα που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και μονοξείδιο του αζώτου. Τα

αέρια αυτά έχουν διαφορετική συμπεριφορά στην ατμόσφαιρα και συμβάλλουν με διαφορετικό τρόπο στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα:

- CO_2 Διοξείδιο του άνθρακα: Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να απορροφηθεί με διάφορους τρόπους από την ατμόσφαιρα. Οι δύο βασικότεροι έχουν να κάνουν με την απορρόφηση για την εξυπηρέτηση των διαδικασιών της φωτοσύνθεσης και την απορρόφηση από τους ωκεανούς. Συγκεκριμένα, το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την αλκαλικότητα της θάλασσας δίνοντας όξινα ανθρακικά τα οποία στη συνέχεια καταλήγουν σε αναδιάλυση των ιζημάτων ανθρακικού ασβεστίου.

Από το 1800 και έπειτα τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά 30% περίπου, γεγονός που συσχετίζεται πλήρως με την έναρξη της βιομηχανικής δραστηριότητας και την κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων, για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών. Αξίζει να σημειωθεί πως το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα για χρονικά διαστήματα που κυμαίνονται από πενήντα έως διακόσια χρόνια. Σήμερα η παγκόσμια παραγωγή του ανέρχεται στους 25 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως.

- CH_4 Μεθάνιο: Το μεθάνιο έχει χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα που κυμαίνεται από δέκα ως δεκαπέντε χρόνια, μία χρονική διάρκεια αρκετά μικρότερη του διοξειδίου του άνθρακα. Το μεθάνιο προέρχεται από φυσικές πηγές, κυρίως βακτήρια που δρουν ελλείψει οξυγόνου, αλλά και από την ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως καύση ορυκτών καυσίμων, από χώρους ταφής απορριμμάτων κ.α.. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις βιομηχανικές χώρες η παραγωγή μεθανίου ανέρχεται στο 15% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Το μεθάνιο παρόλο που βρίσκεται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα, συμβάλει στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου σε ποσοστό 20%. Αυτό διότι έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει 23 φορές αποτελεσματικότερα τη θερμότητα σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα. (*Ευρωπαϊκή Επιτροπή, C 279 E/111*)

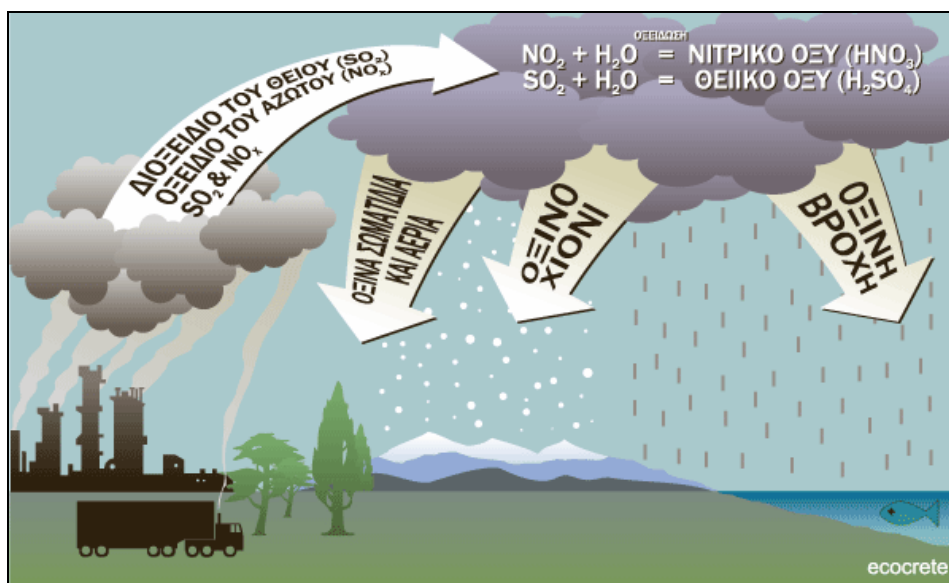
- N_2O Μονοξείδιο του αζώτου: Το μονοξείδιο του αζώτου μπορεί να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα, ακολουθώντας την 'πρακτική' των δύο προηγούμενων αερίων, τόσο με φυσικό όσο και από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Στις φυσικές πηγές κατατάσσονται οι ωκεανοί, τα παρθένα δάση καθώς και τα βακτήρια του εδάφους, όπως επίσης και από την ανθρώπινη δραστηριότητα σχετική με την καύση ορυκτών καυσίμων και τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων.

Οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα είναι αυξημένες κατά 16% από τη βιομηχανική επανάσταση, συμβάλλοντας στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου περίπου 6%.

Αυτό που είναι ιδιαίτερος σημαντικό για το μονοξείδιο του αζώτου, είναι η ικανότητά του να απορροφά 310 φορές περισσότερο τη θερμότητα που προσπαθεί να διαφύγει στο διάστημα, σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα. Η ιδιότητά του αυτή το καθιστά ιδιαίτερος επικίνδυνο. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή C 279 E/111)

- **Όξινη βροχή**

Η όξινη βροχή αφορά τη βροχόπτωση εκείνη η οποία περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικού και θειικού οξέως, αποτελώντας έτσι ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύπανσης του περιβάλλοντος. Φυσικά, το νιτρικό και θειικό οξύ, μπορεί να φτάσει στο έδαφος εκτός από τη βροχή και μέσω του χιονιού, της ομίχλης, του χαλαζιού, γεγονός που κάνει τη χρήση του όρου όξινη κατακρήμνιση ορθότερη. Ακολουθεί η Εικόνα 1.5. που απεικονίζει σχηματικά τον τρόπο δημιουργίας της όξινης βροχής, (www.ecocrete.gr/index.php):



Εικόνα 1. 5: Δημιουργία όξινης βροχής

Ο σχηματισμός της όξινης βροχής γίνεται από το σχηματισμό θειικού οξέως (H₂SO₄) και νιτρικού οξέως (HNO₃), όταν το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξειδία του αζώτου (NO_x), αντιδρούν με τους υδρατμούς και το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Έτσι, τα οξέα αυτά σε μορφή διαλυμένη πλέον στο νερό της βροχής, έρχονται σε επαφή με το έδαφος, προκαλώντας σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το νερό αυτό έχει pH που κυμαίνεται από 4.6 έως 4, καθιστώντας το ιδιαίτερα όξινο.

Οι χώροι ταφής απορριμμάτων, εξαιτίας των εκπομπών τους κυρίως σε οξειδία του αζώτου συμβάλουν και αυτές κατά ένα μέρος στο σχηματισμό της όξινης βροχής ή των όξινων

κατακρημνισμάτων γενικότερα. Ωστόσο οι κύριες αιτίες δημιουργίας των όξινων κατακρημνισμάτων είναι τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και οι βιομηχανικές εκπομπές.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των όξινων κατακρημνισμάτων αφορούν κυρίως τα ακόλουθα:

- Λίμνες και ποτάμια: Η όξινη κατακρήμνιση μεταβάλλει το pH των λιμνών και των ποταμών, προς τα όξινα επίπεδα. Έχοντας φυσιολογικά επίπεδα pH το 6.5, ανάλογα με την ένταση των φαινομένων που αναπτύσσονται το φυσιολογικό pH διαμορφώνεται ποικιλοτρόπως. Όσο πιο όξινο γίνεται το υδατικό περιβάλλον, τόσο μεγαλύτερους κινδύνους αντιμετωπίζουν οι υδρόβιοι οργανισμοί, όπου σε ιδιαίτερα όξινα επίπεδα η ζωή τους είναι αδύνατη. Σημαντικές καταστροφές στο οικοσύστημα έχει υπολογιστεί πως αποφέρει, μία εναπόθεση θείου μεγαλύτερη των 0.5 gr/m² επιφάνειας νερού.

- Δάση: Τα δέντρα υπό την επίδραση των όξινων κατακρημνισμάτων νεκρώνουν μέρος του οργανισμού τους, ενώ ρίχνουν τα φύλλα τους. Εξαιτίας των κατακρημνισμάτων, αυτών που έχει ως επακόλουθο την οξίνιση των εδαφών, τα δέντρα παρουσιάζουν προβλήματα στην ορθή ανάπτυξή τους. Αυτό διότι προσλαμβάνονται στα φύλλα τους, αέρια όπως το διοξείδιο του θείου (SO₂), το οποίο διαταράσσει και εν τέλει αναστέλλει σε μεγάλες συγκεντρώσεις τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. (Κεραμάρης, 2007)

- Ανθρωπογενές περιβάλλον: Πολύ σοβαρές είναι οι επιπτώσεις στα μνημεία του ανθρώπινου πολιτισμού, στις κατασκευές αλλά και στην ίδια την υγεία του ανθρώπου.

Όσον αφορά τα πολιτιστικά μνημεία τα οποία είναι κατασκευασμένα από μάρμαρο, κατά την εξέλιξη των όξινων κατακρημνισμάτων, το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) των μαρμάρων, ενώνεται με το θειικό οξύ (H₂SO₄) και δίνει γύψο (CaSO₄), διοξείδιο του άνθρακα και νερό (CaCO₃ + H₂SO₄ -> CaSO₄ + CO₂ + H₂O)

. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διάβρωση και την αποσάθρωση του υλικού. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της επίδρασης των όξινων κατακρημνισμάτων, σε γλυπτό στον πύργο Χέρτεν στη Βεστφαλία της Γερμανίας (www.ecocrete.gr):



Εικόνα 1. 6: Γλυπτό στον πύργο Χέρτεν στη Βεστφαλία

Η ανθρώπινη υγεία απειλείται και αυτή από τα όξινα κατακρημνίσματα καθότι τα οξειδία του αζώτου και του θείου, έχει σημειωθεί πως δημιουργούν στον άνθρωπο αναπνευστικά και δερματολογικά προβλήματα, μειώνοντας έτσι το προσδόκιμο ζωής.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ

Καίριο ρόλο στην ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαδραματίζει, ο τρόπος εκτίμησης της ρύπανσης από τους χώρους απόθεσης απορριμμάτων. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί υπολογιστικά μοντέλα τα οποία προσεγγίζουν, την παραγόμενη ρύπανση από το χώρο ταφής.

Τα μοντέλα που θα αναλυθούν στη συνέχεια, περιλαμβάνουν δύο βασικές ενότητες οι οποίες αφορούν, τα μοντέλα προσδιορισμού αερίων που εκπέμπονται και τα μοντέλα που προσδιορίζουν τα παραγόμενα στραγγίσματα. Για το σύνολο των μοντέλων, θα περιγραφεί στη συνέχεια η θεωρητική τους δομή και ο τρόπος λειτουργίας τους.

2.1. Μοντέλα Εκτίμησης Αερίων Εκπομπών Χώρων Ταφής Απορριμμάτων

Τα μοντέλα προσδιορισμού αερίων που εκπέμπονται από χώρους απόθεσης απορριμμάτων και κατά κύριο λόγο αφορούν εκπομπές μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και αζώτου, είναι αρκετά, με αρκετές συνήθως διαφορές μεταξύ τους. Μερικά από τα μοντέλα υπολογίζουν το εκπεμπόμενο βιοαέριο, άλλα μόνο το μεθάνιο, ενώ ορισμένα που βρίσκονται σε πιο πλήρη μορφή υπολογίζουν το κάθε αέριο που εκπέμπεται ξεχωριστά. Σκόπιμο κρίνεται να παρουσιαστούν στη συνέχεια μερικά από αυτά, αλλά να γίνει και εφαρμογή τους σε ίδιες συνθήκες ταφής απορριμμάτων για να παρουσιαστούν ευκρινώς οι όποιες διαφοροποιήσεις τους. Έτσι θεωρείται χώρος απόθεσης απορριμμάτων, που έχει τα εξής χαρακτηριστικά.

Έτος	Τόνοι	Ειδικό βάρος μεθανίου ε
1995	7,122	0.716 kg / m ³
1996	7,396	Μεθάνιο στο βιοαέριο
1997	7,670	55%
1998	7,944	
1999	8,218	
2000	8,492	
2001	8,766	
2002	9,040	
2003	9,314	
2004	9,588	
2005	9,862	
2006	10,136	
2007	10,410	
2008	10,684	
2009	10,958	
2010	11,231	

Πίνακας 2. 1: Χαρακτηριστικά χώρου απόθεσης απορριμμάτων

2.1.3. Απλό μοντέλο υπολογισμού εκπομπών

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται μοντέλα τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού των αέριων εκπομπών μετά την απόθεση και των τελευταίων απορριμμάτων στους χώρους ταφής. Αυτό δίνει τη δυνατότητα ακριβέστερου υπολογισμού, των αέριων εκπομπών καθότι είναι γεγονός ότι η παραγωγή αερίων δε σταματά με το κλείσιμο του κυττάρου, αλλά αντιθέτως διαρκεί και αρκετά χρόνια αργότερα.

Συνεπώς ασφαλέστεροι υπολογισμοί θα απαιτούσαν τη χρήση μοντέλων που εκτιμούν τις εκπομπές και μετά το κλείσιμο του κυττάρου. Ένα από τα μοντέλα αυτά είναι:

$$BGt = L_0 R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt})$$

(Phare Twinning Project SK/02/IB/EN/02)

όπου,

BGt , η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου εκφρασμένο σε κυβικά μέτρα.

L_0 , η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου ανά κιλό απορρίμματος (m^3 / kg). Αξίζει να σημειωθεί ότι στη βιβλιογραφία συναντάται ένα εύρος τιμών για τη μεταβλητή αυτή, ωστόσο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια η τιμή που υπολογίζεται σε ένα από τα μοντέλα που περιγράφονται στη συνέχεια. Σε ένα από αυτά τα μοντέλα εκτίμησης αέριων εκπομπών, προσδιορίστηκε το βιοαέριο στην τιμή των $185.2 m^3$ ανά τόνο. Συνεπώς μπορεί για λόγους σύγκρισης να χρησιμοποιηθεί κατά αντιστοιχία η τιμή αυτή για το παραγόμενο βιοαέριο στις αντίστοιχες μονάδες. Δηλαδή, $L_0 = 0.1852 m^3 / kg$.

R , ο ρυθμός με τον οποίο εισέρχονται τα απορρίμματα στο χώρο διάθεσης. Ο ρυθμός αυτό θεωρείται για αυτό το μοντέλο ως κιλά ανά χρόνο (kg / y). Για τα δεδομένα που παρέχονται ο ρυθμός αυτός είναι σταθερός και ισούται: $R = M_{1996} - M_{1995} = 274(t / y)$ ή για τις ανάγκες χρήσης του μοντέλου $R = 274.000 (kg / y)$. Η τιμή αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση που υπήρχε σταθερή ροή απορριμμάτων στο χώρο διάθεσης και ήταν 274.000 το χρόνο. Στην περίπτωση όμως που εξετάζεται η ροή απορριμμάτων είναι αυξανόμενη, για το λόγο αυτό ως R θεωρείται $R = M + tR_0$, όπου M η αρχική ποσότητα απορριμμάτων, ως τη χρονική στιγμή που το κύτταρο δέχεται απορρίμματα.

t , τα έτη που έχουν διανυθεί από τη στιγμή που ο χώρος απόθεσης έχει αρχίσει να δέχεται απορρίμματα.

c , τα έτη που έχουν διανυθεί από τη στιγμή που ο χώρος απόθεσης σταμάτησε να δέχεται απορρίμματα. Πρέπει να γίνει σαφές πως σε περίπτωση που ο χώρος απόθεσης, δέχεται ακόμη απορρίμματα η μεταβλητή αυτή παίρνει την τιμή μηδέν.

k , ο ετήσιος ρυθμός παραγωγής βιοαερίου, εκφρασμένη σε αντίστροφα έτη ($1/ \text{years}$).

Έτσι, με την υπόθεση πως το βιοαέριο εκλύεται για δεκαοκτώ χρόνια, τότε η τιμή του ετήσιου

$$\text{ρυθμού } k = \frac{1}{18} = 0,045 .$$

Ακολουθεί ο πίνακας εφαρμογής των αποτελεσμάτων του μοντέλου

c	t	Έτος	Απορρίμματα Mg	kg	Βιοαέριο m ³
		1995	7122	7122000	60272
0	1	1996	7396	7396000	122259
0	2	1997	7670	7670000	185793
0	3	1998	7944	7944000	250714
0	4	1999	8218	8218000	316877
0	5	2000	8492	8492000	384145
0	6	2001	8766	8766000	452390
0	7	2002	9040	9040000	521494
0	8	2003	9314	9314000	591348
0	9	2004	9588	9588000	661851
0	10	2005	9862	9862000	732908
0	11	2006	10136	10136000	804433
0	12	2007	10410	10410000	876344
0	13	2008	10684	10684000	948568
0	14	2009	10958	10958000	1021036
0	15	2010	0	0	976108
1	16	2011	0	0	933157
2	17	2012	0	0	892096
3	18	2013	0	0	852841
4	19	2014	0	0	815314
5	20	2015	0	0	779438
6	21	2016	0	0	745141
7	22	2017	0	0	712353
8	23	2018	0	0	681008
9	24	2019	0	0	651042
10	25	2020	0	0	622394
11	26	2021	0	0	595007
12	27	2022	0	0	568825
13	28	2023	0	0	543796
14	29	2024	0	0	519867
15	30	2025	0	0	496992

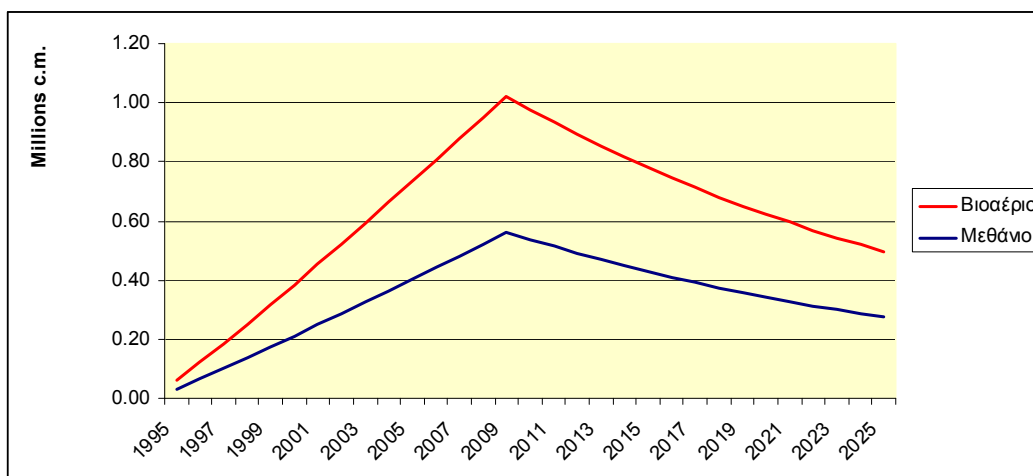
Πίνακας 2. 2: Παραγόμενο βιοαέριο

Στην εφαρμογή αυτή υπολογίστηκαν οι εκπομπές βιοαερίου για τα επόμενα δεκαπέντε χρόνια από το κλείσιμο του χώρου απόθεσης. Είναι φανερό ότι τη στιγμή πριν από το κλείσιμο οι αέριες εκπομπές αγγίζουν τη μέγιστη τιμή τους και αρχίζουν να μειώνονται ομαλά στη συνέχεια. Θεωρώντας ότι το μεθάνιο βρίσκεται στο 55% της σύστασης του βιοαερίου προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές:

Έτος	Μεθάνιο m ³	Έτος	Μεθάνιο m ³
1995	33150	2011	513236
1996	67243	2012	490653
1997	102186	2013	469063
1998	137893	2014	448423
1999	174282	2015	428691
2000	211280	2016	409828
2001	248814	2017	391794
2002	286822	2018	374554
2003	325242	2019	358073
2004	364018	2020	342317
2005	403100	2021	327254
2006	442438	2022	312854
2007	481989	2023	299088
2008	521713	2024	285927
2009	561570	2025	273345
2010	536859		

Πίνακας 2. 3: Παραγόμενο μεθάνιο

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το συγκριτικό διάγραμμα που εμφανίζει τις εκπομπές μεθανίου, αλλά και συνολικά του βιοαερίου. Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζεται η ραγδαία αύξηση των εκπομπών μέχρι το κλείσιμο του χώρου απόθεσης, αλλά και η αργή στη συνέχεια μείωση των εκπομπών. Το διάγραμμα αυτό είναι μια χαρακτηριστική απεικόνιση των εκπομπών αερίων από τους χώρους απόθεσης απορριμμάτων.



Διάγραμμα 2. 1: Εκπομπές βιοαερίου και μεθανίου

2.1.2. Η σχέση του Tabasaran

Η σχέση του Tabasaran είναι (Μαρνέλλος, 2007):

$$G_t = 1868 \cdot C_0 (0.014 \cdot \delta + 0.28)(1 - e^{-kt})$$

όπου,

G_t , είναι η παραγωγή βιοαερίου σε κυβικά μέτρα το χρόνο (m^3 / y)

C_0 , η ποσότητα του οργανικού άνθρακα στα απορρίμματα. Για τα αστικά απορρίμματα το μέγεθος της ποσότητας αυτής κυμαίνεται από $150 kg / t$ έως $200 kg / t$.

δ , η θερμοκρασία εκφρασμένη σε βαθμούς Κελσίου. Στους χώρους απόθεσης απορριμμάτων η θερμοκρασία αυτή κυμαίνεται από $20^\circ C$ έως $40^\circ C$.

k , η μεταβλητή k αφορά το ρυθμό παραγωγής βιοαερίου το χρόνο. Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0.03 έως 0.06.

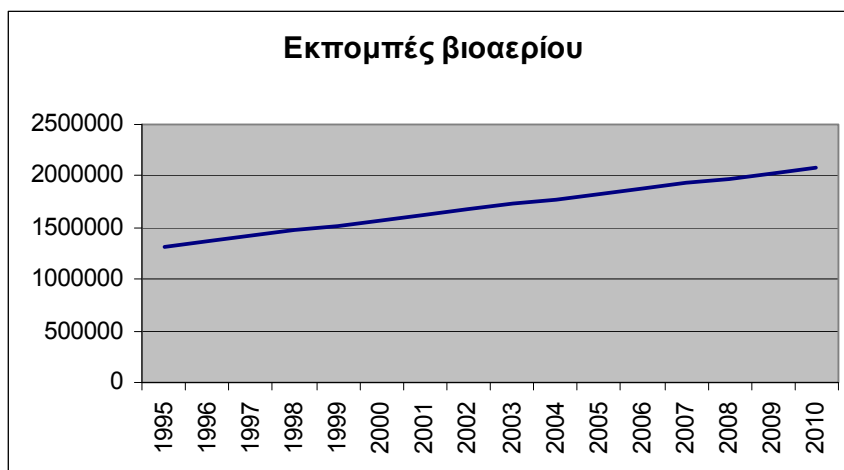
t , ο χρόνος ο οποίος μετράται σε έτη.

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνουν ορισμένες παραδοχές για τις μεταβλητές εκείνες που η τιμή τους κυμαίνεται μεταξύ ενός εύρους τιμών. Οι παραδοχές αυτές παραμένουν ίδιες για τα μοντέλα, όπου αυτό είναι δυνατόν, ούτως ώστε τα αποτελέσματα των μοντέλων να είναι συγκρίσιμα.

Έτσι, η ποσότητα C_0 θεωρείται ίση με $175 kg / t$, η θερμοκρασία δ ίση με $30^\circ C$ και ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου k ίσος με 0.0045. Εισάγοντας στο μοντέλο τα απορρίμματα που εισέρχονται στο χώρο ταφής, αλλά και τις μεταβλητές που ορίστηκαν προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Year	Tonnes			Total Gas m^3	Methane tones
1995	7122	C_0	0.175 kg/t	836454	329
1996	7396	δ	$30^\circ C$	868634	342
1997	7670	k	0.045	900815	355
1998	7944	t	16 έτη	932995	367
1999	8218			965175	380
2000	8492			997356	393
2001	8766	Gas/year/ton		1029536	405
2002	9040	117.4		1061716	418
2003	9314			1093897	431
2004	9588			1126077	443
2005	9862			1158257	456
2006	10136			1190438	469
2007	10410			1222618	481
2008	10684			1254798	494
2009	10958			1286979	507
2010	11231			1319041	519

Πίνακας 2. 4: Παραγόμενο βιοαέριο



Διάγραμμα 2. 2: Εκπομπές βιοαερίου

Αρχικά θα υπολογιστεί η ποσότητα μεθανίου που εμπεριέχεται στο βιοαέριο. Έτσι, από τα 117.4 κυβικά μέτρα βιοαερίου στον τόνο το 55% είναι μεθάνιο ή αλλιώς $64.57 m^3$.

Βάσει του ειδικού βάρους του μεθανίου $\epsilon = 0.716 kg / m^3$ προκύπτει ότι το μεθάνιο που εκλύεται είναι $46.23 kg / t$. Έτσι για κάθε έτος, πολλαπλασιάζονται οι τόνοι που εισήχθησαν στο χώρο με τα κυβικά βιοαερίου ανά τόνο. Έπειτα από τα κυβικά μέτρα βιοαερίου και ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε υπολογίζονται οι τόνοι παραγόμενου βιοαερίου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4..

Από τη χρήση αυτού του μοντέλου προκύπτει ο υπολογισμός των εκπομπών του βιοαερίου από το χώρο απόθεσης. Ωστόσο στον υπολογισμό αυτό υπάρχουν αντικειμενικοί περιορισμοί οι οποίοι είναι:

- Δεν παρέχεται η δυνατότητα υπολογισμού των εκπομπών στα έτη που ο χώρος απόθεσης θα κλείσει, αλλά τα απορρίμματα που έχουν θαφτεί εξακολουθούν να εκπέμπουν αέρια.

Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί πως με το μοντέλο αυτό, παρ' όλες τις εγγενείς του αδυναμίες, παρέχεται ένας γρήγορος προσεγγιστικός υπολογισμός των αερίων εκπομπών ενός χώρου ταφής απορριμμάτων.

2.1.1. Σλοβακικό μοντέλο βιοαερίου

Το σλοβακικό μοντέλο, βασίζεται στη σχέση του Tabasaran, παρουσιάζοντας μικρές διαφορές. Συγκεκριμένα, η διαφορά εντοπίζεται στο τελευταίο μέρος της σχέσης όπου εμφανίζεται βάση του 10 αντί του νεπέριου e . Αυτό το μοντέλο εκτίμησης των εκπομπών βιοαερίου, ακολουθεί τις καθορισμένες Σλοβακικές τεχνικές προδιαγραφές και περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

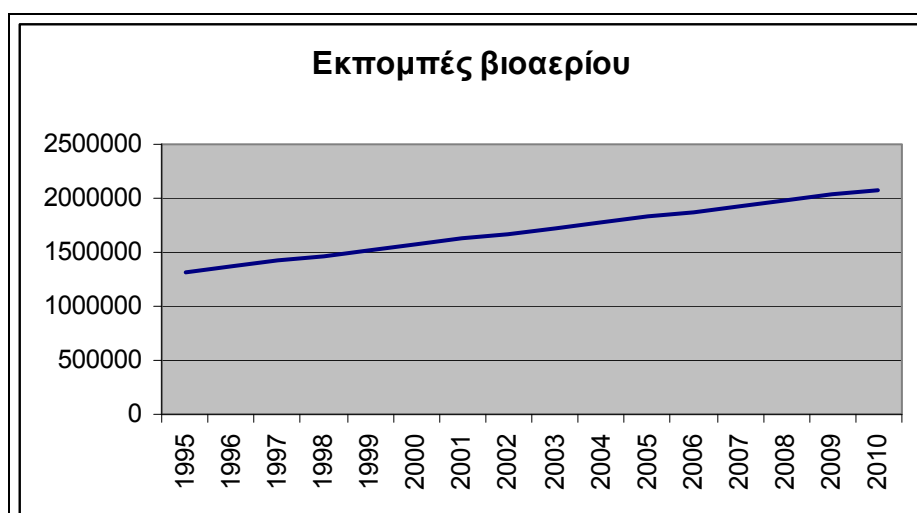
$$G_t = 1.868 \cdot C_0 (0.014 \cdot \delta + 0.28)(1 - 10^{-kt})$$

(Phare Twinning Project SK/02/IB/EN/02)

Είναι προφανές οι μεταβλητές που εμφανίζονται στη σχέση ορίζονται ακριβώς όπως και στο μοντέλο Tabasaran. Για λόγους πληρότητας το μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί ξανά για να φανούν οι διαφορές στις τιμές των εκπομπών που προκύπτουν.

Year	Tones			Total Gas m ³	Methane tones
1995	7122	Co	175 kg/t	1319189	519
1996	7396	δ	30 °C	1369941	539
1997	7670	k	0.045	1420694	559
1998	7944	t	16 έτη	1471446	579
1999	8218			1522198	599
2000	8492			1572951	619
2001	8766	Gas/year/ton 185.2		1623703	639
2002	9040			1674455	659
2003	9314			1725207	679
2004	9588			1775960	699
2005	9862			1826712	719
2006	10136			1877464	739
2007	10410			1928217	759
2008	10684			1978969	779
2009	10958			2029721	799
2010	11231			2080288	819

Πίνακας 2. 5: Παραγόμενο βιοαέριο



Διάγραμμα 2. 3: Εκπομπές βιοαερίου

2.1.4. Μοντέλο εκπομπών LandGEM

Το μοντέλο εκπομπών LandGEM, είναι το πλέον διαδεδομένο στη χρήση, για τον υπολογισμό αέριων εκπομπών που προκύπτουν από ένα χώρο απόθεσης απορριμμάτων. Το μοντέλο αυτό παρέχει έναν ολοκληρωμένο υπολογισμό των κυριότερων αέριων ρυπαντών αλλά και πλήθους άλλων που εκπέμπονται σε μικρότερο βαθμό.

Συγκεκριμένα το μοντέλο LandGEM υπολογίζει:

- Συνολικές εκπομπές αερίων
- Διοξείδιο του άνθρακα
- Μεθάνιο
- NonMethane Organic Compound (NMOC)
- Άλλες δευτερογενείς εκπομπές

Εξίσωση εκπομπών

Ο υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών μεθανίου από τον χώρο απόθεσης απορριμμάτων υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

(U.S. E.P.A., 2005)

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

όπου,

Q_{CH_4} , η ετήσια παραγωγή μεθανίου κατά το χρόνο του υπολογισμού, εκφρασμένη σε μονάδες m^3 / y .

$i = 1$, χρονική αύξηση κατά ένα έτος.

n , η τιμή που προκύπτει από το έτος υπολογισμού των αέριων εκπομπών του μεθανίου αν αφαιρεθεί το έτος έναρξης λειτουργίας του χώρου απόθεσης.

$j = 0.1$, χρονική αύξηση κατά 0.1.

k , ρυθμός παραγωγής μεθανίου εκφρασμένος σε μονάδες $years^{-1}$.

L_0 , η εν δυνάμει παραγωγή μεθανίου εκφρασμένη σε m^3 / Mg .

M_i , η μάζα των απορριμμάτων που έγινε δεκτή τον i χρόνο εκφρασμένη σε Mg ή τόνους.

t_{ij} , η ηλικία του j τμήματος των απορριμμάτων M_i τα οποία γίνονται δεκτά τον i χρόνο.

Η τιμή του χρονικού αυτού διαστήματος είναι δεκαδική, π.χ. 4.5.

Ορισμένες από τις μεταβλητές που περιγράφηκαν θα αναλυθούν διεξοδικά παρακάτω.

Ρυθμός παραγωγής μεθανίου k

Η τιμή k , προσδιορίζει το ρυθμό παραγωγής μεθανίου από τα απορρίμματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της μεταβλητής k , τόσο περισσότερη είναι η παραγωγή μεθανίου και κατά συνέπεια ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η αποδόμηση.

Για τον προσδιορισμό της μεταβλητής k λαμβάνονται υπ' όψιν παράγοντες από τους οποίους η μεταβλητή αυτή επηρεάζεται. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

- Το επίπεδο υγρασίας των απορριμμάτων.
- Η διαθεσιμότητα θρεπτικών για τους μικροοργανισμούς, ούτως ώστε να αποσυνθέσουν τα απορρίμματα σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.
- Το pH των απορριμμάτων.
- Η θερμοκρασία των απορριμμάτων.

Έτσι παρέχονται συγκεκριμένες τιμές για την μεταβλητή αυτή και οι οποίες είναι *U.S. E.P.A., 2005*:

Προεπιλεγμένος τύπος	Τύπος κυτάρου	Τιμή k , $years^{-1}$
CCA	Συμβατικός	0.05 (προεπ.)
CCA	Ξηρή περιοχή	0.02
Inventory	Συμβατικός	0.04
Inventory	Ξηρή περιοχή	0.02
Inventory	Υγρή περιοχή	0.7

Πίνακας 2. 6: Μεταβλητή k

Αξίζει να σημειωθεί ότι ως ξηρή περιοχή θεωρείται εκείνη στην οποία το ετήσιο ύψος βροχής είναι μικρότερο από 25 ίντσες το χρόνο. Ο προσδιορισμός των τιμών αυτών γίνεται από τους αντίστοιχους καταλόγους των ρυπαντών, που περιέχονται στην Clean Air Act (CAA) και Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής.

Εν δυνάμει παραγωγή μεθανίου L_0

Η εν δυνάμει παραγωγή μεθανίου εξαρτάται κατά αποκλειστικότητα, από το είδος και τον τρόπο ταφής των απορριμμάτων στο χώρο ταφής. Όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο της κυτταρίνης στα απορρίμματα τόσο μεγαλύτερη είναι η εν δυνάμει παραγωγή μεθανίου.

Για τον προσδιορισμό της τιμής αυτής, παρέχονται προεπιλεγμένες τιμές, όπως ακριβώς συνέβη και με το ρυθμό παραγωγής μεθανίου. Είναι σημαντικό το σημειωθεί πως η

προεπιλεγμένη τιμή του μοντέλου, είναι αντιπροσωπευτική των αστικών στερεών αποβλήτων, που εξετάζεται άλλωστε στην παρούσα μελέτη.

Οι τιμές που παρέχονται για την μεταβλητή L_0 είναι U.S. E.P.A., 2005:

Τύπος εκπομπών	Τύπος κυτάρου	Τιμή L_0 , m^3 / Mg
CCA	Συμβατικός	170 (προεπ.)
CCA	Ξηρή περιοχή	170
Inventory	Συμβατικός	100
Inventory	Ξηρή περιοχή	100
Inventory	Υγρή περιοχή	96

Πίνακας 2. 7: Μεταβλητή L_0

NonMethane Organic Compound (NMOC)

Η συγκέντρωση των NMOC στο αέριο που παράγεται από το χώρο απόθεσης, είναι συνάρτηση του τύπου των απορριμμάτων στο κύτταρο και του εύρους των αντιδράσεων που παράγουν διάφορες ενώσεις από την αναερόβια αποδόμηση των απορριμμάτων.

Οι μονάδες που δίνονται για τα NMOC είναι μέρη στο εκατομμυριοστό ανά όγκο (ppmv) και χρησιμοποιούνται από το μοντέλο LandGEM, μόνο στην περίπτωση που τα NMOC υπολογίζονται.

Οι τιμές που αποδίδονται από το μοντέλο για τη μεταβλητή αυτή είναι U.S. E.P.A., 2005:

Τύπος εκπομπών	Είδος απόθεσης	Συγκέντρωση NMOC ppmv
CCA	Δεν γίνεται διάκριση	4000
Inventory	Καθόλου ή άγνωστη συναπόθεση επικινδύνων απορριμμάτων	600
Inventory	Γνωστή συναπόθεση επικινδύνων απορριμμάτων	2400

Πίνακας 2. 8: Συγκέντρωση NMOC ppmv

Ρυθμός εισόδου των απορριμμάτων στο κύτταρο

Είναι αρκετά σημαντικό στοιχείο, διότι διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον υπολογισμό των αέριων εκπομπών. Οι μονάδες που μπορούν να εισαχθούν οι τιμές του μεγέθους των απορριμμάτων στο κύτταρο είναι Megagrams και Short Tons το χρόνο.

Υπολογισμός εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Είναι ήδη φανερό πως η εξίσωση που χρησιμοποιείται, υπολογίζει τα κυβικά μέτρα μεθανίου που παράγονται από ένα χώρο απόθεσης απορριμμάτων το χρόνο. Ωστόσο παραμένει ακόμα ασαφής ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, συγκεκριμένα:

Θεωρείται ότι η συνολική εκπομπή αερίων είναι ίση με την εκπομπή του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα. Δηλαδή είναι:

$$Q_{TOTAL} = Q_{CH_4} + Q_{CO_2} \quad (1)$$

Ωστόσο η ποσότητα του μεθανίου είναι ίση με τη συνολική ποσότητα των παραγόμενων αερίων επί το ποσοστό του μεθανίου που μετέχει σε αυτή. Έτσι:

$$Q_{CH_4} = Q_{TOTAL} \cdot \frac{P_{CH_4}}{100} \quad (2)$$

όπου συνεπάγεται, ότι η συνολική ποσότητα αερίων εκπομπών είναι:

$$Q_{TOTAL} = \frac{Q_{CH_4}}{P_{CH_4}} 100 \quad (3)$$

Εξισώνοντας την σχέση (1) με την (3) και λύνοντας ως προς το διοξείδιο του άνθρακα προκύπτει:

$$Q_{CO_2} = Q_{TOTAL} - Q_{CH_4} = \frac{Q_{CH_4}}{P_{CH_4}} 100 - Q_{CH_4} \Rightarrow$$

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \cdot \left(\frac{100}{P_{CH_4}} - 1 \right)$$

(U.S. E.P.A., 2005)

Είναι πλέον φανερό έχοντας ήδη υπολογίσει την εκπεμπόμενη ποσότητα μεθανίου και εισάγοντας και το ποσοστό μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο, υπολογίζεται η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα. Σύμφωνα, ωστόσο με τις οδηγίες χρήσης του μοντέλου το ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο θα πρέπει να κινείται μεταξύ του 40% και του 60%. Σε αντίθετη περίπτωση, τα αποτελέσματα που προκύπτουν δε θα πρέπει να θεωρούνται ασφαλή.

Πρόσθετα στοιχεία εισόδου στο μοντέλο

Εκτός από τα στοιχεία που προσδιορίστηκαν προηγουμένως, υπάρχουν δεδομένα εξίσου σημαντικά για την ορθή λειτουργία του μοντέλου. Τέτοια είναι:

- Χρονολογία έναρξης του χώρου απόθεσης.

Επί της ουσίας πρόκειται για την χρονολογία κατά την οποία ο χώρος απόθεσης άρχισε να δέχεται απορρίμματα.

- Χρονολογία κλεισίματος του χώρου απόθεσης.

Η χρονολογία αυτή πρέπει να μην υπερβαίνει τα ογδόντα χρόνια από την έναρξη λειτουργίας του χώρου απόθεσης.

- Μοντέλο υπολογισμού της ημερομηνίας κλεισίματος του χώρου απόθεσης.

Σε περίπτωση που είναι γνωστή η χρονολογία κατά την οποία ο χώρος απόθεσης απορριμμάτων έκλεισε, είναι απαραίτητο να είναι γνωστός ο ρυθμός με τον οποίο εισέρχονται τα απορρίμματα.

Όταν όμως η χρονολογία κλεισίματος είναι άγνωστη απαιτείται εκτός από τον ρυθμό με τον οποία τα απορρίμματα εισέρχονται στο κύτταρο και η χωρητικότητα του.

Προσδιορισμός άλλων ρυπαντών

Όπως προαναφέρθηκε το μοντέλο προσδιορίζει και πλήθος άλλων ρυπαντών. Σκόπιμο κρίνεται να γίνει μια σύντομη παρουσίασή τους. Ο πίνακας των ρυπαντών όπως αυτός παρουσιάζεται στο μοντέλο είναι ο εξής:

Χημική Ένωση	Συγκέντρωση (ppmv)	Μοριακό Βάρος	Σημειώσεις
1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform) - HAP	0.48	133.41	A
1,1,2,2-Tetrachloroethane - HAP/VOC	1.1	167.85	A, B
1,1-Dichloroethane (ethylidene dichloride) - HAP/VOC	2.4	98.97	A, B
1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride) - HAP/VOC	0.20	96.94	A, B
1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride) - HAP/VOC	0.41	98.96	A, B
1,2-Dichloropropane (propylene dichloride) - HAP/VOC	0.18	112.99	A, B
2-Propanol (isopropyl alcohol) - VOC	50	60.11	B
Acetone	7.0	58.08	
Acrylonitrile - HAP/VOC	6.3	53.06	A, B
Benzene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC	1.9	78.11	A, B
Benzene - Co-disposal - HAP/VOC	11	78.11	A, B
Bromodichloromethane - VOC	3.1	163.83	B
Butane - VOC	5.0	58.12	B
Carbon monoxide	140	28.01	
Carbon tetrachloride - HAP/VOC	4.0E-03	153.84	A, B
Carbonyl sulfide - HAP/VOC	0.49	60.07	A, B
Chlorobenzene - HAP/VOC	0.25	112.56	A, B
Chlorodifluoromethane	1.3	86.47	

Χημική Ένωση	Συγκέντρωση (ppmv)	Μοριακό Βάρος	Σημειώσεις
Chloroethane (ethyl chloride) - HAP/VOC	1.3	64.52	A, B
Chloroform - HAP/VOC	0.03	119.39	A, B
Chloromethane - VOC	1.2	50.49	B
Dichlorobenzene - (HAP for para isomer/VOC)	0.21	147	B, C
Dichlorodifluoromethane	16	120.91	
Dichlorofluoromethane - VOC	2.6	102.92	B
Dichloromethane (methylene chloride) - HAP	14	84.94	A
Dimethyl sulfide (methyl sulfide) - VOC	7.8	62.13	B
Ethane	890	30.07	
Ethanol - VOC	27	46.08	B
Ethyl mercaptan (ethanethiol) - VOC	2.3	62.13	B
Ethylbenzene - HAP/VOC	4.6	106.16	A, B
Ethylene dibromide - HAP/VOC	1.0E-03	187.88	A, B
Fluorotrchloromethane - VOC	0.76	137.38	B
Hexane - HAP/VOC	6.6	86.18	A, B
Hydrogen sulfide	36	34.08	
Mercury (total) - HAP	2.9E-04	200.61	A
Methyl ethyl ketone - HAP/VOC	7.1	72.11	A, B
Methyl isobutyl ketone - HAP/VOC	1.9	100.16	A, B
Methyl mercaptan - VOC	2.5	48.11	B
Pentane - VOC	3.3	72.15	B
Perchloroethylene (tetrachloroethylene) - HAP	3.7	165.83	A
Propane - VOC	11	44.09	B
<i>t</i> -1,2-Dichloroethene - VOC	2.8	96.94	B
Toluene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC	39	92.13	A, B
Toluene - Co-disposal - HAP/VOC	170	92.13	A, B
Trichloroethylene (trichloroethene) - HAP/VOC	2.8	131.40	A, B
Vinyl chloride - HAP/VOC	7.3	62.50	A, B
Xylenes - HAP/VOC	12	106.16	A, B

Πίνακας 2. 9: Ρυπαντές μοντέλου LandGEM

Πηγή: U.S. E.P.A., 2005

Στους ρυπαντές υπάρχουν τα χαρακτηριστικά A, B, C, όπου το κάθε ένα από αυτά υποδηλώνει:

- A. Επικίνδυνος αέριος ρυπαντής
- B. Υπολογίσιμες πτητικές οργανικές ενώσεις
- C. Δεν είναι ξεκάθαρο αν αυτές οι ενώσεις είναι πάρα- ή όρθο- ισομερή.

Επίσης το μοντέλο LandGEM παρέχει τη δυνατότητα να προστεθούν από το χρήστη δέκα ρυπαντές της επιλογής του.

Εφαρμογή

Ο ρυθμός με τον οποίο τα απορρίμματα εισέρχονται στο χώρο απόθεσης φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα, όπου παρουσιάζονται οι ποσότητες που εισέρχονται καθώς επίσης και το πώς αυτές αθροίζονται στο κύτταρο, σε μία χρονική διάρκεια τριάντα ετών.

Έτος	Ετήσια απορρίμματα	Απορρίμματα στο κύτταρο	Έτος	Ετήσια απορρίμματα	Απορρίμματα στο κύτταρο
	(Mg/year)	(Mg)		(Mg/year)	(Mg)
1995	7,122	0	2012	0	146,831
1996	7,396	7,122	2013	0	146,831
1997	7,670	14,519	2014	0	146,831
1998	7,944	22,189	2015	0	146,831
1999	8,218	30,133	2016	0	146,831
2000	8,492	38,351	2017	0	146,831
2001	8,766	46,843	2018	0	146,831
2002	9,040	55,609	2019	0	146,831
2003	9,314	64,649	2020	0	146,831
2004	9,588	73,963	2021	0	146,831
2005	9,862	83,551	2022	0	146,831
2006	10,136	93,413	2023	0	146,831
2007	10,410	103,548	2024	0	146,831
2008	10,684	113,958	2025	0	146,831
2009	10,958	124,642			
2010	11,231	135,599			
2011	0	146,831			

Πίνακας 2. 10: Απορρίμματα στο κύτταρο σε βάθος 30 ετών

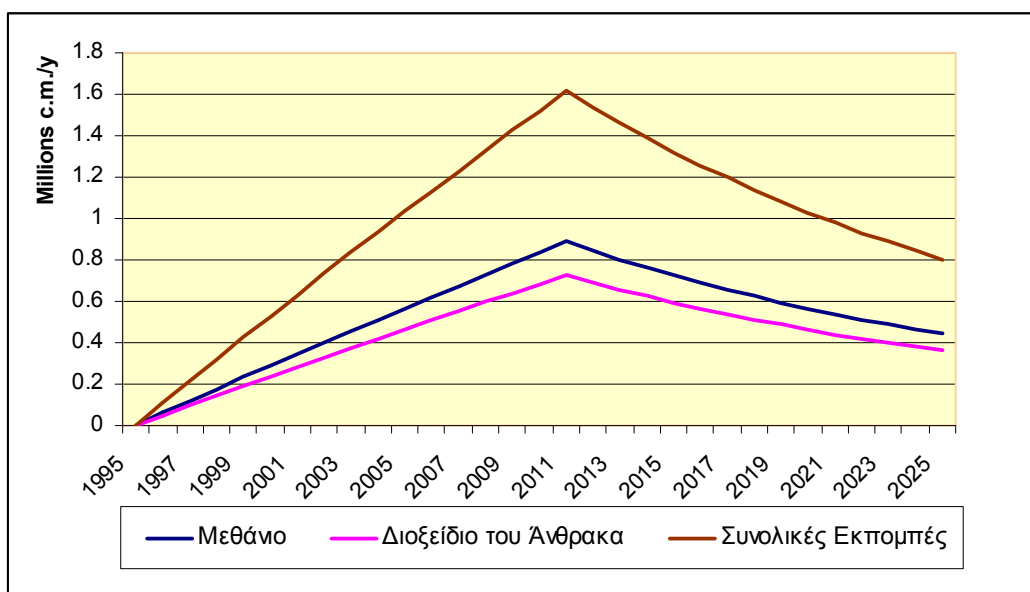
Από την εφαρμογή της εξίσωσης στη βάση της οποίας λειτουργεί το μοντέλο, προκύπτουν οι τιμές των εκπομπών μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα σε κυβικά μέτρα ανά έτος, όπως και σε τόνους (Μεγαγραμμαρία) το έτος. Οι τιμές αυτές θεωρούνται ως οι πλέον ρεαλιστικές σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα, αφού για τον υπολογισμό τους ελήφθησαν υπ' όψιν περισσότερες μεταβλητές του εν λόγω προβλήματος. Οι τιμές αυτές είναι:

Year	Methane		Carbon dioxide	
	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)
1995	0	0	0	0
1996	39	59200	89	48440
1997	79	117800	176	96370
1998	117	175800	263	143800
1999	156	233300	349	190800
2000	194	290200	435	237400
2001	231	346600	519	283600
2002	269	402600	603	329400
2003	306	458100	686	374800
2004	342	513100	769	419800
2005	379	567800	850	464600
2006	415	622100	932	509000
2007	451	676000	1012	553100
2009	522	782800	1172	640400
2010	558	835700	1252	683700
2011	593	888300	1330	726800
2012	564	844900	1265	691300
2013	536	803700	1204	657600
2014	510	764500	1145	625500

Year	Methane		Carbon dioxide	
	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)
2015	485	727200	1089	595000
2016	462	691800	1036	566000
2017	439	658000	986	538400
2018	418	625900	938	512100
2019	397	595400	892	487200
2020	378	566400	848	463400
2021	359	538800	807	440800
2022	342	512500	768	419300
2023	325	487500	730	398900
2024	309	463700	695	379400
2025	294	441100	661	360900

Πίνακας 2. 11: Παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα

Από τις τιμές του προηγούμενου πίνακα κατασκευάζεται το ακόλουθο διάγραμμα που περιλαμβάνει τις αέριες εκπομπές μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, καθώς επίσης και των συνολικών εκπομπών.



Διάγραμμα 2. 4: Εκπομπές μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα

2.2. Μοντέλα Προσδιορισμού Στραγγισμάτων των Χώρων Ταφής Απορριμμάτων

Μοντέλα που προσδιορίζουν τα παραγόμενα στραγγίσματα από τους χώρους ταφής των απορριμμάτων δεν είναι τόσο διαδεδομένα, όσο τα μοντέλα υπολογισμού αέριων εκπομπών. Είναι επίσης γεγονός, ότι εξαιτίας της φύσης του προβλήματος υπολογισμού των στραγγισμάτων, το οποίο είναι πολυπαραμετρικό μιας και εξετάζει πλήθος δεδομένων, η δυνατότητα χρήσης τέτοιων μοντέλων είναι ιδιαίτερα απαιτητική. Για το λόγο αυτό μπορούν να αναζητηθούν και προσεγγιστικοί τρόποι υπολογισμού των στραγγισμάτων οι οποίοι

παρέχουν ανεκτά αποτελέσματα. Στη συνέχεια περιγράφονται οι σημαντικότεροι τρόποι υπολογισμού των στραγγισμάτων.

2.2.1. Μοντέλο υπολογισμού στραγγισμάτων HELP

Το μοντέλο HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance), αναπτύχθηκε από το μηχανικό τμήμα του αμερικάνικου στρατού, σε συνεργασία με την υπηρεσία περιβαλλοντικής προστασίας – Environmental Protection Agency (EPA) της ίδιας χώρας.

Τα στοιχεία εισαγωγής στο μοντέλο αφορούν τις ακόλουθες δύο βασικές κατηγορίες:

- Κλιματολογικά δεδομένα.
- Εδαφολογικά δεδομένα και δεδομένα σχεδιασμού.

Κρίνεται σκόπιμο στη συνέχεια τα στοιχεία αυτά να αναλυθούν περαιτέρω:

Κλιματολογικά Δεδομένα

Έχει ήδη αναφερθεί πως στο χώρο ταφής των απορριμμάτων υπάρχουν ενώσεις, που με διάφορους τρόπους διαλύονται στο διερχόμενο νερό και παράγονται τα στραγγίσματα. Έτσι, εκτός από τα στραγγίσματα που παράγονται από τα ίδια τα απορρίμματα, βασικό στοιχείο στη δημιουργία των στραγγισμάτων αποτελεί και το διερχόμενο νερό. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντικό να ληφθούν υπ' όψιν παράμετροι από τους οποίους εξαρτάται η ποσότητα του διερχόμενου νερού, να εισαχθούν στο μοντέλο τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής.

Τα κλιματολογικά δεδομένα τα οποία εισάγονται στο μοντέλο είναι η εξατμισοδιαπνοή, η κατακρήμνιση, η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία, για τα οποία ισχύουν:

- Εξατμισοδιαπνοή

Αναζητώντας έναν ορισμό για την εξατμισοδιαπνοή θα μπορούσε να αναφερθεί κανείς ως το σύνολο των πραγματικών απωλειών νερού από την εξάτμιση εδαφών και από τη διαπνοή της χλωρίδας. (www.itia.ntua.gr/dk-el/hydroglossica/orologia)

Για να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή από το μοντέλο πρέπει να εισαχθούν από το χρήστη στοιχεία όπως:

1. Βάθος εξάτμισης στο έδαφος

Επί της ουσίας, προσδιορίζεται το βάθος εκείνο του εδάφους, από το οποίο μπορεί να εξατμιστεί το νερό. Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό τα βάθη αυτά μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα του είδους του εδάφους που υπάρχει σε κάθε περιοχή.

Έτσι σε έδαφος που καλύπτεται από αμμοχάλικα μπορεί το βάθος να είναι μερικά εκατοστά, σε αμμώδη εδάφη το βάθος κυμαίνεται από δέκα έως είκοσι εκατοστά (10-20cm). Ακόμα μεγαλύτερο είναι το βάθος σε εδάφη λασπώδη, όπου κυμαίνεται από είκοσι ως

σαρανταπέντε εκατοστά (20-45cm). Τέλος, σε αργιλικά εδάφη το βάθος εξάτμισης του νερού ξεκινά από τριάντα εκατοστά και φτάνει το ενάμιση μέτρο(30-150cm).

είδος εδάφους	αμμώδη	λασπώδη	αργιλικά
εκατοστά	10-20	20-45	30-150

Πίνακας 2. 12: Είδη εδαφών μοντέλου LandGEM

2. Δείκτης βλάστησης

Πρόκειται για τον αδιάστατο λόγο της επιφάνειας της επιδρωμένης βλάστησης προς τη συνολική επιφάνεια στην οποία η βλάστηση αναπτύσσεται. Οι τιμές που παίρνει ο δείκτης αυτός κυμαίνονται ανάλογα με την ποσότητα της φυτοκάλυψης.

Έτσι για το γυμνό έδαφος ο δείκτης αυτός είναι μηδέν, ενώ για φτωχή φυτοκάλυψη ο δείκτης ισούται με ένα. Οι επόμενες διαβαθμίσεις έχουν να κάνουν με μέτρια, καλή και εξαιρετική φυτοκάλυψη όπου οι τιμές είναι 2, 3.5 και 5, αντίστοιχα. Είναι λογικό η τιμή που παίρνει η φυτοκάλυψη στους χώρους απόθεσης απορριμμάτων να είναι εξαιρετικά χαμηλή, διότι δεν συνηθίζεται σχεδιασμός που ευνοεί την ανάπτυξη βλάστησης. Έτσι, οι τιμές ένα και δύο, για βλάστηση φτωχή και μέτρια μπορούν να θεωρούνται ρεαλιστικές.

βλάστηση	γυμνό έδαφος	φτωχή	μέτρια	καλή	άριστη
λόγος	0	1	2	3.5	5

Πίνακας 2. 13: Είδη βλάστησης μοντέλου LandGEM

3. Αρχή και τέλος της περιόδου βλάστησης

Η παράμετρος αυτή αφορά την χρονική περίοδο εκείνη που η θερμοκρασία διατηρείται σε επίπεδα μεγαλύτερα των 50 με 55 βαθμούς $^{\circ}F$ ή 10 με 12.7 $^{\circ}C$. Σε αυτά τα θερμοκρασιακά επίπεδα ευνοείται η ανάπτυξη της βλάστησης. Έτσι εισάγονται στο μοντέλο οι μέρες για τις οποίες η μέση θερμοκρασία έγινε μεγαλύτερη από την τιμή αυτή. Οι μέρες εισάγονται σε ετήσια κλίμακα με τιμές από 0 έως 365.

4. Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου

Απαραίτητο στοιχείο για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής είναι και η εισαγωγή της μέση ετήσια ταχύτητας του ανέμου. Αυτό διότι η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται άμεσα από τον άνεμο.

5. Εποχιακά επίπεδα υγρασίας

Απαραίτητη είναι και η εισαγωγή στο μοντέλο των επιπέδων εργασίας που επικρατούν ανά εποχή. Εκφρασμένη σε ποσοστό επί τοις εκατό.

- Κατακρήμιση

Με τον όρο κατακρήμιση νοείται η διαδικασία με την οποία το νερό που υπάρχει στην ατμόσφαιρα περνά στο έδαφος. Ο τρόπος με τον οποίο ολοκληρώνεται η διαδικασία αυτή είναι μέσο διαφόρων ατμοσφαιρικών κατακρημισμάτων όπως η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι, η ομίχλη κ.α.. Η τιμή η οποία εισάγεται στο μοντέλο είναι τα χιλιοστά των κατακρημισμάτων στα έτη που υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία.

- Θερμοκρασία

Όπως η κατακρήμιση έτσι και η θερμοκρασία είναι πολύ σημαντική για τα παραγόμενα στραγγίσματα, έτσι στο μοντέλο μπορούν να εισαχθούν δεδομένα σε μορφή μέσων μηνιαίων τιμών. Η θερμοκρασία μπορεί να εκφραστεί σε βαθμούς $^{\circ}F$ ή $^{\circ}C$.

- Ηλιακή ακτινοβολία

Πρόκειται για την ακτινοβολία που προσπίπτει στη γη προερχόμενη από τον ήλιο και διαδραματίζει και αυτή με τη σειρά της καίριο ρόλο στον υπολογισμό των στραγγισμάτων. Η ακτινοβολία εισάγεται στο μοντέλο σε μονάδες MJ / m^2 .

Για όλα τα κλιματολογικά δεδομένα που περιγράφηκαν μπορούν να οριστούν προεπιλεγμένες τιμές, που έχουν εισαχθεί στη βάση δεδομένων του μοντέλου που αφορά ωστόσο μια πλειάδα πόλεων των Η.Π.Α..

Εδαφολογικά δεδομένα και δεδομένα σχεδιασμού

Σημαντικό ρόλο στην παραγωγή στραγγισμάτων διαδραματίζουν, εκτός από τα κλιματολογικά δεδομένα που επικρατούν στην περιοχή, ο τρόπος με τον οποίο έχει σχεδιαστεί ο χώρος απόθεσης απορριμμάτων και τα εδαφολογικά δεδομένα της περιοχής. Συγκεκριμένα:

- Γενικές πληροφορίες

1. Έκταση της περιοχής

Εισάγονται η έκταση της περιοχής, η οποία εκφράζεται σε εκτάρια (1εκτάριο=10σρέμματα). Η έκταση της περιοχής σε συνδυασμό με την βροχόπτωση υπολογίζει το νερό που κατέρχεται στο κύτταρο. Συνεπώς όσο μεγαλύτερη η έκταση, τόσο περισσότερα τα παραγόμενα στραγγίσματα.

2. Ποσοστό βρεχόμενης περιοχής

Σημειώνεται το ποσοστό της περιοχής εκείνης που είναι δυνατόν να βραχεί, είναι δηλαδή ακάλυπτη στα κατακρημίσματα.

3. Αρχική Υγρασία

Τέλος εισάγεται η αρχική υγρασία που υπήρχε στην περιοχή. Η τιμή αυτή είναι απαραίτητη για να ξεκινήσει το πρόγραμμα να υπολογίζει τα παραγόμενα στραγγίσματα. Σε περίπτωση που δεν προσδιοριστεί η αρχική υγρασία το μοντέλο την υπολογίζει λαμβάνοντας υπ' όψιν τα δεδομένα που επικρατούν στην πλησιέστερη πολιτεία των Η.Π.Α..

Συνεπώς, κάθε φορά που ο υπολογισμός των στραγγισμάτων γίνεται σε περιοχή εκτός των Η.Π.Α. ο προσδιορισμός της αρχικής υγρασίας είναι απαραίτητος.

- Δεδομένα στρωμάτων

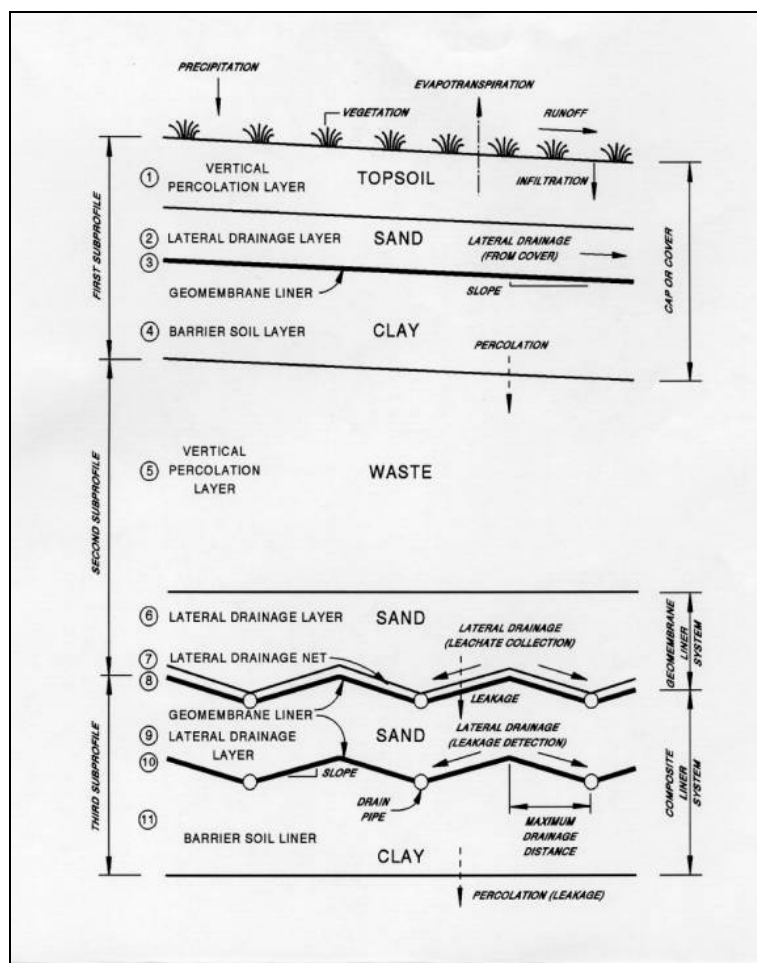
Τα δεδομένα που αφορούν τις στρώσεις μόνωσης του κυτάρου και εισάγονται στο μοντέλο είναι:

- Τύπος στρώματος

Οι δυνατοί τύποι του στρώματος είναι οι εξής τέσσερις:

1. Κάθετη διείδυση (vertical percolation)
2. Πλευρικής αποστράγγισης (lateral drainage)
3. Εδαφική μόνωση (barrier soil liner)
4. Γεωμεμβράνη (geomembrane liner)

Από το μοντέλο παρέχεται μία τυπική διάταξη έντεκα διαστρωματώσεων ενώ μπορούν να εισαχθούν μέχρι είκοσι επίπεδα στρώσεων. Η τυπική διάταξη που ορίζεται από το μοντέλο είναι η ακόλουθη (<http://msw.cecs.ucf.edu/AndFiles/fig1.html>):



Εικόνα 2. 1: Τοπική διάταξη έντεκα διαστρωματώσεων

- Πάχος στρώματος

Πρόκειται για την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών στρωμάτων.

- Ειδικά χαρακτηριστικά

Τα ειδικά χαρακτηριστικά του στρώματος εξετάζουν το πόσο αυτό είναι:

1. Πορώδες (porosity) , (vol/vol)
2. Χωρητικότητα μέσου(field capacity) , (vol/vol)
3. Όριο μαρασμού (wilting point) , (vol/vol)
4. Αρχική περιεκτικότητα υγρασίας (initial moisture), (vol/vol)
5. Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, (cm/sec)

Οι τιμές των παραμέτρων αυτών είναι εξαιρετικά δύσκολο να εντοπιστούν, ωστόσο το μοντέλο παρέχει έναν ικανοποιητικό αριθμό προεπιλεγμένων στρώσεων με όλες τις παραμέτρους που περιγράφηκαν.

Συγκεκριμένα τα είδη των στρώσεων που παρέχονται από το μοντέλο υπολογισμού στραγγισμάτων είναι (Μοντέλο HELP):

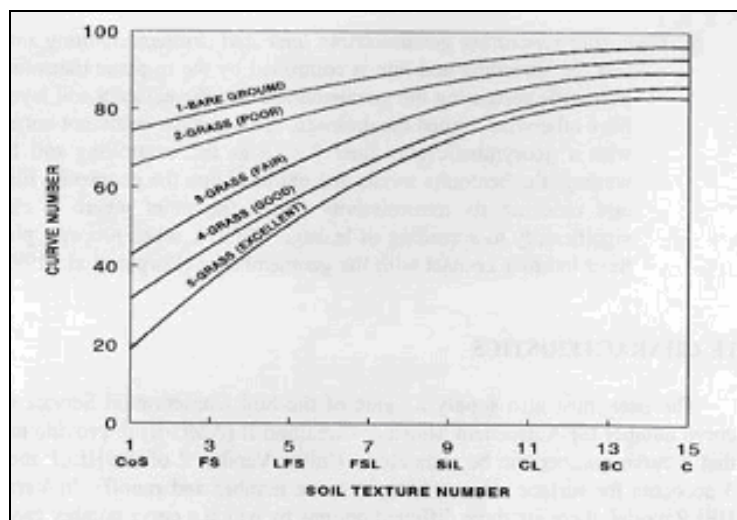
SOIL TEXTURE			POROSITY <UOL/UOL>	FIELD CAPACITY <UOL/UOL>	WILTING POINT <UOL/UOL>	SAT. HYD. CONDUCTIVITY <CM/SEC>
HELP	USDA	USCS				
1	CoS	SP	0.417	0.045	0.018	1.0E-02
2	S	SW	0.437	0.062	0.024	5.8E-03
3	FS	SW	0.457	0.083	0.033	3.1E-03
4	LS	SM	0.437	0.105	0.047	1.7E-03
5	LFS	SM	0.457	0.131	0.058	1.0E-03
6	SL	SM	0.453	0.190	0.085	7.2E-04
7	FSL	SM	0.473	0.222	0.104	5.2E-04
8	L	ML	0.463	0.232	0.116	3.7E-04
9	SiL	ML	0.501	0.284	0.135	1.9E-04
10	SCL	SC	0.398	0.244	0.136	1.2E-04
11	CL	CL	0.464	0.310	0.187	6.4E-05
12	SiCL	CL	0.471	0.342	0.210	4.2E-05
13	SC	CH	0.430	0.321	0.221	3.3E-05
14	SiC	CH	0.479	0.371	0.251	2.5E-05
15	C	CH	0.475	0.378	0.265	1.7E-05
16	Barrier Soil		0.427	0.418	0.367	1.0E-07
17	Bentonite Mat (<0.6 cm>		0.750	0.747	0.400	3.0E-09
18	Municipal Waste (<900 pcy>		0.671	0.292	0.077	1.0E-03
19	Municipal Waste w/ Channeling		0.168	0.073	0.019	1.0E-03
20	Drainage Net (<0.5 cm>		0.850	0.010	0.005	1.0E+01
21	Gravel		0.397	0.032	0.013	3.0E-01

Εικόνα 2. 2: Είδη στρώσεων που παρέχονται από το μοντέλο

- Υπολογισμός καμπύλης υπολογισμού διαρροών

Ανάλογα με το υλικό που δημιουργήθηκαν οι στρώσεις αλλά και το είδος της κάλυψης του εδάφους, δηλαδή καθόλου, φτωχή, μέτρια, καλή και εξαιρετική φυτοκάλυψη, προσδιορίζεται η καμπύλη υπολογισμού των διαρροών (runoff curve number). Η καμπύλη αυτή υπολογίζεται από το μοντέλο ωστόσο η γραφική παράσταση που δείχνει πως οι καμπύλες σχετίζονται με το υλικό αλλά και τη φυτοκάλυψη παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.

Πλέον με τον προσδιορισμό και της καμπύλης διαρροών είναι έτοιμη να εκτελεστεί η προσομοίωση των διαρροών (<http://msw.cecs.ucf.edu/AndFiles/fig3.html>):

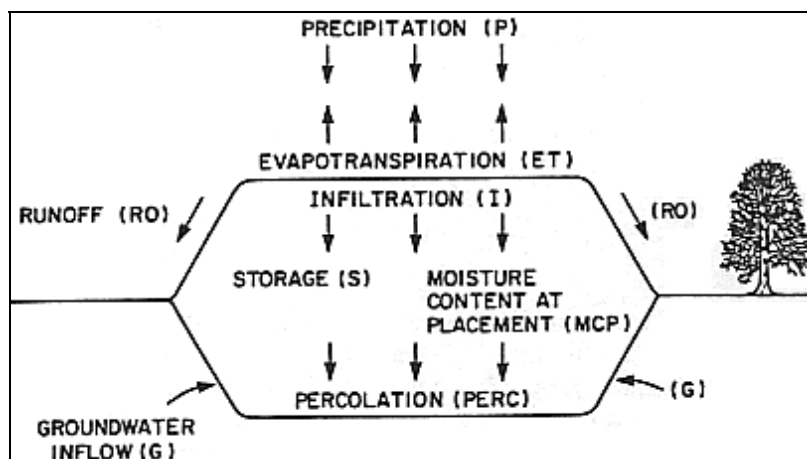


Εικόνα 2. 3: Καμπύλη υπολογισμού διαρροών

2.2.2. Το μοντέλο WBM (Water Balance Model)

Ένας άλλος τρόπος προσέγγισης του προβλήματος προσδιορισμού των στραγγισμάτων είναι να εξεταστεί ο χώρος απόθεσης ως προς το 'υδρολογικό' του ισοζύγιο. Να εξεταστούν δηλαδή οι εισροές και οι εκροές του νερού από το χώρο ταφής, ούτως ώστε αυτό το οποίο παραμένει να θεωρηθεί ως η ποσότητα των στραγγισμάτων.

(www.cepis.ops-oms.org/muwaw/fulltext/repind49/lesson10/leachate.html)



Εικόνα 2. 4: Water Balance Model

Όπως φαίνεται και στην εικόνα του 'υδρολογικού' ισοζυγίου, στο σύστημα του χώρου ταφής απορριμμάτων εισέρχονται και εξέρχονται ύδατα. Συγκεκριμένα:

Εισροές

- Κατακρήμνιση (Precipitation P)
- Επίπεδο υγρασίας των απορριμμάτων (MCP)
- Εισροή υπόγειων υδάτων (GroundWater Inflow G)

Εκροές

- Επιφανειακή απορροή (RunOff RO)
- Εξαμισοδιαπνοή (EvaPoTranSpiRaTiOν ET)
- Φιλτράρισμα (Infiltration I)

Συνεπώς, το νερό που προέρχεται από τα κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι κλπ), μέσα από τη διαδικασία της κατακρήμνισης (**P**) έρχεται σε επαφή με το χώρο απόθεσης απορριμμάτων.

Ένα μέρος της ποσότητας αυτής απορρέει επιφανειακά (**RO**) και δεν εισέρχεται εντός του κυτάρου.

Το υπόλοιπο μέρος της ποσότητας των κατακρημισμάτων εισέρχεται εντός του κυτάρου, όπου και κατακρατείται (*I*), επίσης κατά ένα μέρος από την επιφανειακή κάλυψη των απορριμμάτων.

Ποσοστό της ποσότητας (*I*), υφίσταται εξατμισοδιαπνοή και διαφεύγει στην ατμόσφαιρα (*ET*).

Η εναπομένουσα ποσότητα των κατακρημισμάτων η οποία δεν υπέστη τις προηγούμενες διαδικασίες, προχωρεί στον πυθμένα του κυτάρου, ενώνεται με τα στραγγίσματα που παράγουν τα ίδια τα απορρίμματα (*MCP*) και ολοκληρώνει τη διήθηση (*PERColate*).

Η ποσότητα αυτή (*PERC*), μπορεί στη συνέχεια να ενωθεί με υπόγεια ύδατα (*G*) και να αποτελέσει τελικά τα στραγγίσματα.

Η σχέση που περιγράφει την προηγούμενη διαδικασία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των στραγγισμάτων, με τους κατάλληλους υπολογισμούς ή παραδοχές είναι η ακόλουθη:

$$PERC = P - RO - ET - I + MCP + G$$

2.2.3. Προσεγγιστικοί τρόποι υπολογισμού στραγγισμάτων

Όπως έχει ήδη γίνει φανερό, το μοντέλο HELP είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στον υπολογισμό στραγγισμάτων ωστόσο είναι ιδιαίτερα απαιτητικό στην εισαγωγή δεδομένων. Για το λόγο αυτό δε θα μπορούσε να θεωρηθεί άσκοπη η χρήση προσεγγιστικών μεθόδων προσδιορισμού των στραγγισμάτων. Επί τοις ουσίας, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν παραδοχές για μεγέθη, από τα οποία εξαρτάται ο υπολογισμός των στραγγισμάτων.

Στραγγίσματα από τη διήθηση του νερού

Για να γίνει μία προσεγγιστική εκτίμηση των στραγγισμάτων λαμβάνονται υπ' όψιν παλαιότερες εφαρμογές – μελέτες των στραγγισμάτων σε χώρους ταφής απορριμμάτων. Σαφώς τέτοιες εκτιμήσεις δεν μπορεί να είναι ασφαλής καθότι τα στραγγίσματα εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες αλλά και τη φύση του εδάφους, όπου δεν είναι ίδια παντού. Ωστόσο μία τέτοια εκτίμηση αξίζει να γίνει, μιας και παρέχει μία τάξη μεγέθους των παραγόμενων στραγγισμάτων η οποία είναι χρήσιμη.

Στην μελέτη περίπτωση που έγινε στο Χ.Υ.Τ.Α. Άνω Λιοσίων, δομήθηκαν πέντε διαφορετικά σενάρια υπολογισμού των στραγγισμάτων. Τα σενάρια αυτά διαφοροποιούνταν μεταξύ τους ανάλογα με τον αριθμών και το είδος των επιπέδων που είχα επιλεγεί. Αυτό που παρατηρείται

είναι πως στις περιπτώσεις που δεν είχε επιλεγεί μία συμπαγής και σε υψηλό βαθμό αδιαπέραστη στρώση, ήταν (*Phare twinning project sk/02/ib/en/02*):

- Οι επιφανειακές απορροές, ήταν εξαιρετικά χαμηλές αγγίζοντας το 1% των κατακρημνίσεων, δηλώνοντας πως το περισσότερο νερό εισέρχεται στο κύτταρο.
- Η εξατμισοδιαπνοή αγγίζει τα πολύ υψηλά επίπεδα του 56%, σε μία περιοχή που επικρατεί η ηλιοφάνεια τις περισσότερες μέρες του χρόνου.
- Τέλος το εναπομείναν νερό όπως αυτά έχει έρθει σε επαφή με τα απορρίμματα, αποτελεί και τα στραγγίσματα σε ένα ποσοστό 43%.

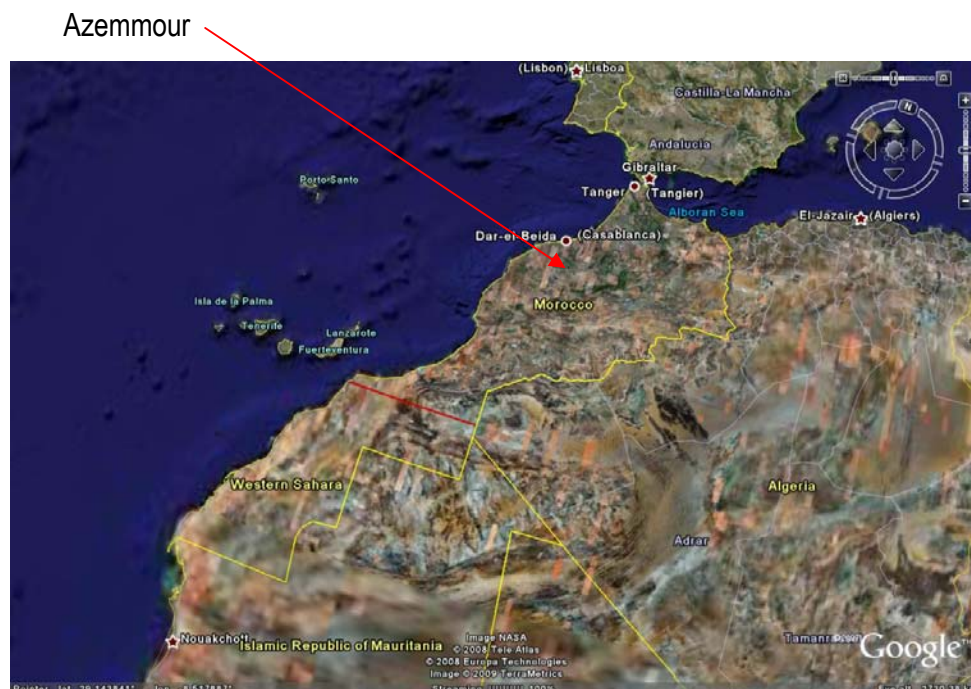
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει εφαρμογή των μοντέλων υπολογισμού των αερίων εκπομπών και των στραγγισμάτων από τους χώρους ταφής. Τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν χαρακτηρίζονται από ευχρηστία, απαιτήσεις σε δεδομένα εισόδου που μπορούν να καλυφθούν από την παρούσα εργασία και αξιοπιστία.

Για την εφαρμογή των μοντέλων επιλέχθηκε συγκεκριμένη περιοχή στο Μαρόκο, στην οποία ο υπάρχον χώρος ταφής απορριμμάτων στην περιοχή του Azemmour θα σταματήσει να λειτουργεί και θα δημιουργηθεί Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) στην περιοχή του Oulad Rahmoune. Ο υπολογισμός των εκπομπών θα γίνει και στις δύο περιοχές, τη σχεδιαζόμενη και την υπάρχουσα. Έτσι θα χρησιμοποιηθούν τα μοντέλα ως εργαλεία στο σχεδιασμό νέων Χ.Υ.Τ.Α., αλλά και στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την ανεξέλεγκτη ταφή απορριμμάτων, όπου είναι και ο αντικειμενικός στόχος της παρούσας μελέτης.

3.1. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης (Azemmour)

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντοπίζεται βορειοδυτικά της χώρας του Μαρόκου, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



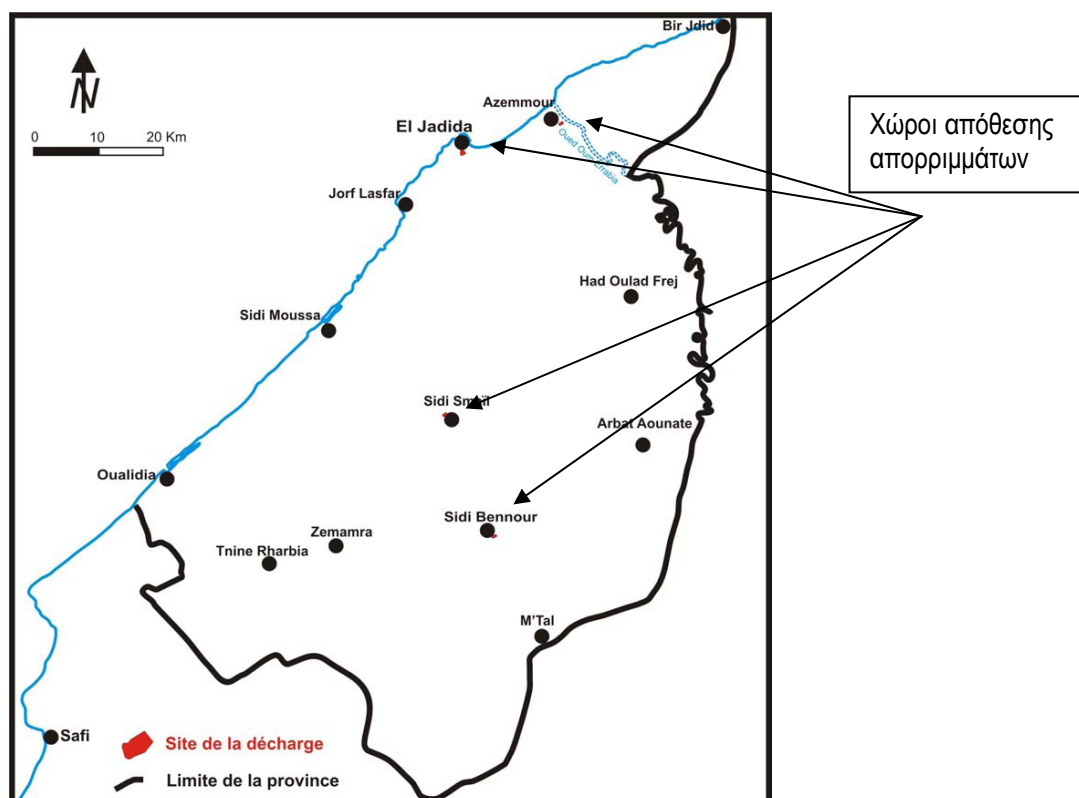
Εικόνα 3. 1: Απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής του Azemmour

Συγκεκριμένα βρίσκεται 75 km, νότια της Καζαμπλάνκα στην δυτική όχθη του ποταμού Oum Er-Rbia.



Εικόνα 3. 2: Η πόλη του Azemmour

Η πόλη του Azemmour αποτελεί μία επαρχιακή πόλη 40.000 κατοίκων, η οποία παράγει κατά κύριο λόγο αστικά απορρίμματα χωρίς προσμίξεις βιομηχανικών αποβλήτων. Τέλος αξίζει να σημειωθεί, στην ευρύτερη επαρχία που ανήκει και η πόλη του Azemmour, υπάρχουν πλήθος χώρων ανεξέλεγκτης απόθεσης απορριμμάτων, οι οποίοι παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.3. (Younsi et al., 2005).



Εικόνα 3. 3: Χώροι απόθεσης απορριμμάτων

3.2. Είδος Παραγόμενων Απορριμμάτων

3.2.1. Σύσταση των απορριμμάτων στο Μαρόκο

Οι παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων που εκτιμάται θα παραχθούν στη χώρα του Μαρόκου είναι (WASTESUM (LIFE06 TCY/MA/000254):

Quantity of waste (T/year)				
Year	Population (x1000)	Urban	Rural	Total
1998	27310	3997480	1400067	5397547
2005	30484	5220000	2380000	7600000
2010	32628	6120000	2690000	8810000
2020	36914	8400000	3450000	11850000

Πίνακας 3. 1: Πληθυσμός και παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων (1998-2020)

Παρατηρείται από τον πίνακα 3.1. πως τα απορρίμματα θα διπλασιαστούν στη διάρκεια είκοσι ετών. Όσον αφορά τη σύστασή τους αυτή είναι (WASTESUM (LIFE06 TCY/MA/000254):

Parameters	1960	1990	1999
Organics	75%	65-70%	50-70%
Paper-cardboard	15%	18-20%	5-10%
Plastics	0.3%	2-3%	6-8%
Metals	0.4%	1-3%	1-4%
Other	9.4%	6-8%	17-18%
Density	-	0.4Kg/l	0.4-0.5Kg/l
Moisture	-	65-70%	70%

Πίνακας 3. 2: Σύσταση οικιακών αποβλήτων στο Μαρόκο

Από τη σύσταση των απορριμμάτων προκύπτει πως τα οργανικά κυμαίνονται σε ποσοστό από 50% έως 70% των παραγόμενων απορριμμάτων. Από αυτό το στοιχείο προκύπτει ότι το ποσοστό του μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο θα είναι υψηλό. Ένα δεύτερο εξίσου σημαντικό στοιχείο είναι το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας στα απορρίμματα. Το ποσοστό αυτό είναι πολύ υψηλό (70%) και αναμένονται υψηλές ποσότητες παραγόμενων στραγγισμάτων.

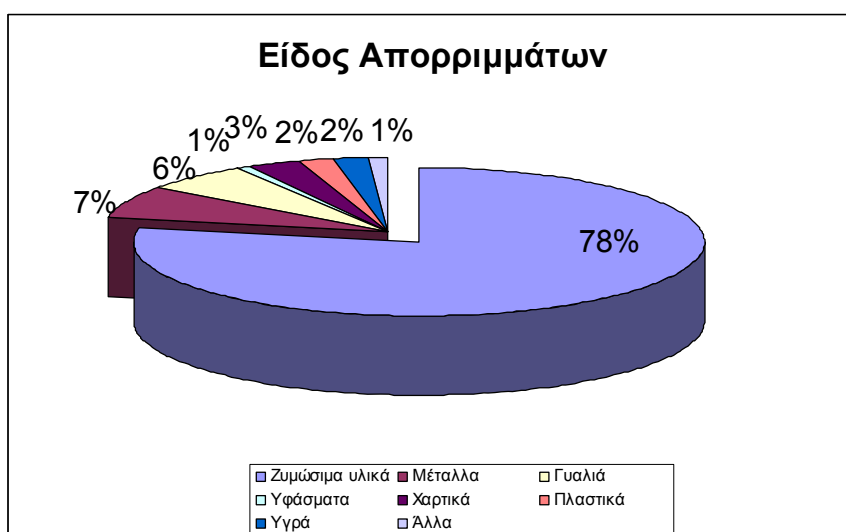
3.2.2. Σύσταση των απορριμμάτων στον υφιστάμενο χώρο διάθεσης απορριμμάτων

Το είδος των παραγόμενων απορριμμάτων αλλά και οι συνθήκες που επικρατούν, απεικονίζεται καθαρά στην επιδημιολογική μελέτη που εκπονήθηκε από τους (Younsi et al., 2005). Μεταξύ άλλων για την περιοχή η αναφορά περιγράφει τα εξής:

Τα στερεά απορρίμματα της πόλης του Azemmour εναποτίθενται σε συγκεκριμένο χώρο ανεξέλεγκτα, στο οδικό δίκτυο που ενώνει την πόλη με το Oulad Rahmoune. Στο χώρο αυτό, υπάρχουν ζώα που βοσκούν ελεύθερα σε άσχημες συνθήκες για τη δημόσια υγεία.

Η αναφορά τονίζει πως πρακτικά όλα τα είδη των απορριμμάτων εισέρχονται στο χώρο απόθεσης. Έτσι εντοπίζεται η παρουσία εκεί επικίνδυνων νοσοκομειακών αποβλήτων, λάδια μηχανών κ.α.

Μία εξίσου ενδιαφέρουσα κατηγοριοποίηση αφορά την διάκριση των οικιακών αποβλήτων. Σύμφωνα επίσης με την αναφορά η διάκριση αφορά τα εξής (Younsi et al., 2005):



Διάγραμμα 3. 1: Είδος απορριμμάτων στην περιοχή του Azemmour

Στη συγκεκριμένη αναφορά παρουσιάζεται άλλο ένα σημαντικό στοιχείο, το οποίο σχετίζεται με την πληθυσμιακή αύξηση του Azemmour. Εκτιμάται πως στο μέλλον αυτή θα είναι 3.6%, γεγονός το οποίο θα έχει άμεση συνέπεια και στα παραγόμενα οικιακά απορρίμματα.

3.3. Υπολογισμός Αέριων Εκπομπών

Από τα μοντέλα αέριων εκπομπών που παρουσιάστηκαν, αυτό που θα χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς, είναι το μοντέλο LandGEM. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαθέσιμα στοιχεία εισόδου στο μοντέλο, για τις δύο αυτές περιοχές:

3.3.1. Αέριες εκπομπές από τον υφιστάμενο χώρο διάθεσης

Στην περιοχή του Azemmour τα ετήσια παραγόμενα απορρίμματα που οδηγούνται στο χώρο απόθεσης είναι:

Έτος	Τόνοι/Ημέρα	Τόνοι/Έτος
1995	19.50	7122
1996	20.25	7396
1997	21.00	7670
1998	21.75	7944
1999	22.50	8218
2000	23.25	8492
2001	24.00	8766
2002	24.75	9040
2003	25.50	9314
2004	26.25	9588
2005	27.00	9862
2006	27.75	10136
2007	28.50	10410
2008	29.25	10684
2009	30.00	10958
2010	30.75	11231

Πίνακας 3. 3: Διαθέσιμα στοιχεία για την παραγωγή απορριμμάτων στο Azemtour

Όπου 1995 είναι το έτος έναρξης λειτουργίας του χώρου και 2010 το έτος που σχεδιάζεται να σταματήσει να δέχεται απορρίμματα. Πρέπει να σημειωθεί πως σύμφωνα με τα στοιχεία των υπηρεσιών του Azemtour, γίνεται παράλληλη απόθεση 1T/μ επικίνδυνων νοσοκομειακών αποβλήτων.

Θα γίνουν τέσσερις εφαρμογές με διαφορετικές παραμέτρους, για να υπάρξει μία συνολική εικόνα των εκπομπών αερίων για διάφορες τιμές των μεταβλητών.

Εφαρμογή 1^η: k=0.05, Lo=170, Περιεχόμενο μεθανίου στο βιοαέριο 45%

Τα δεδομένα εισόδου αναλυτικά είναι:

LANDFILL CHARACTERISTICS		
Landfill Open Year	1995	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2010	
Actual Closure Year (without limit)	2010	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		megagrams
MODEL PARAMETERS		
Methane Generation Rate, k	0.050	year ⁻¹
Potential Methane Generation Capacity, L ₀	170	m ³ /Mg
NMOC Concentration	2,400	ppmv as hexane
Methane Content	45	% by volume
GASES / POLLUTANTS SELECTED		
Gas / Pollutant #1:	Methane	
Gas / Pollutant #2:	Carbon dioxide	
Gas / Pollutant #3:	NMOC	
Gas / Pollutant #4:	Total landfill gas	

Συμβατική περιοχή

Συναπόθεση επικίνδυνων αποβλήτων

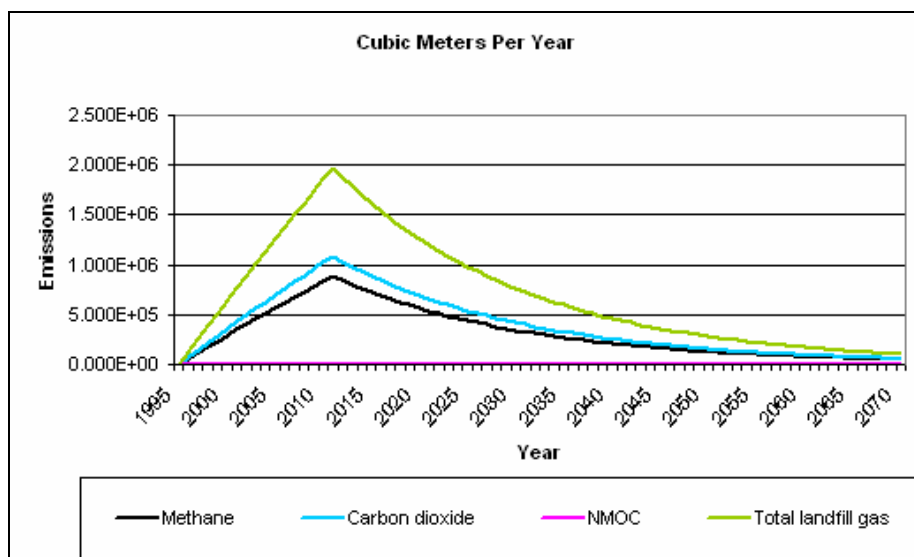
Εικόνα 3. 4: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο LandGEM 1^{ης} εφαρμογής

Το μοντέλο υπολογίζει τις εκπομπές για 140 χρόνια από την έναρξη λειτουργίας του κυτάρου. Ακολούθως παρουσιάζονται οι εκπομπές για τις εκπομπές, μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα, ΝΜΟC αλλά και οι συνολικές εκπομπές για τα πρώτα τριάντα χρόνια.

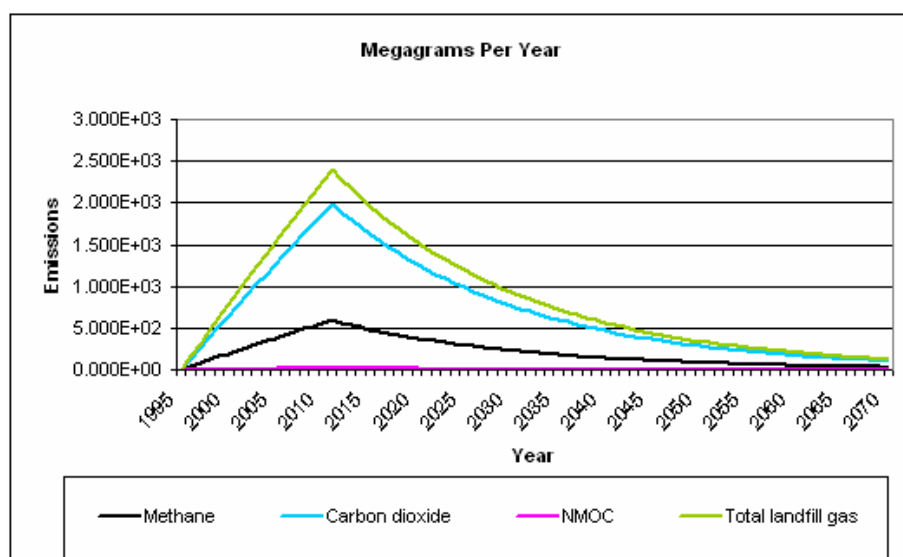
Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		ΝΜΟC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year
1995	0	-	0	-	0	-	0	-
1996	39.49	59,199	132.45	72,355	1.13	316	159.9	131,554
1997	78.58	117,788	263.53	143,964	2.25	628	318.15	261,752
1998	117.28	175,797	393.31	214,863	3.36	938	474.83	390,660
1999	155.61	233,253	521.85	285,087	4.46	1,244	630.03	518,341
2000	193.6	290,184	649.22	354,670	5.55	1,548	783.8	644,854
2001	231.24	346,616	775.48	423,641	6.63	1,849	936.22	770,257
2002	268.58	402,572	900.66	492,032	7.7	2,147	1087.36	894,604
2003	305.6	458,076	1024.84	559,870	8.76	2,443	1237.28	1,017,946
2004	342.35	513,150	1148.06	627,183	9.81	2,737	1386.04	1,140,333
2005	378.82	567,814	1270.36	693,995	10.85	3,028	1533.69	1,261,810
2006	415.03	622,090	1391.79	760,332	11.89	3,318	1680.29	1,382,423
2007	450.99	675,996	1512.39	826,217	12.92	3,605	1825.89	1,502,213
2008	486.72	729,549	1632.2	891,671	13.95	3,891	1970.54	1,621,220
2009	522.22	782,768	1751.27	956,716	14.96	4,175	2114.28	1,739,484
2010	557.51	835,668	1869.62	1,021,371	15.98	4,457	2257.17	1,857,039
2011	592.6	888,264	1987.29	1,085,656	16.98	4,737	2399.23	1,973,921
2012	563.7	844,943	1890.37	1,032,708	16.15	4,506	2282.22	1,877,652
2013	536.21	803,735	1798.18	982,343	15.37	4,287	2170.92	1,786,077
2014	510.06	764,536	1710.48	934,433	14.62	4,078	2065.04	1,698,969
2015	485.18	727,249	1627.06	888,860	13.9	3,879	1964.33	1,616,110
2016	461.52	691,781	1547.71	845,510	13.22	3,689	1868.53	1,537,291
2017	439.01	658,042	1472.22	804,274	12.58	3,510	1777.4	1,462,316
2018	417.6	625,949	1400.42	765,049	11.97	3,338	1690.71	1,390,998
2019	397.23	595,421	1332.12	727,737	11.38	3,176	1608.25	1,323,159
2020	377.86	566,382	1267.15	692,245	10.83	3,021	1529.82	1,258,627
2021	359.43	538,760	1205.35	658,484	10.3	2,873	1455.21	1,197,243
2022	341.9	512,484	1146.57	626,369	9.8	2,733	1384.24	1,138,853
2023	325.23	487,490	1090.65	595,821	9.32	2,600	1316.73	1,083,311
2024	309.37	463,715	1037.46	566,762	8.86	2,473	1252.51	1,030,477
2025	294.28	441,099	986.86	539,121	8.43	2,353	1191.42	980,220
...
2135	1.2	1,803	4.03	2,203	0.03	10	4.87	4,006

Πίνακας 3. 4: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Αzeitmour για την 1^η εφαρμογή

Ακολουθούν τα σχετικά διαγράμματα:



Διάγραμμα 3. 2: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την 1^η εφαρμογή



Διάγραμμα 3. 3: Αέριες εκπομπές σε Mg για την 1^η εφαρμογή

Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αρχίζουν και μειώνονται ένα χρόνο αργότερα από το κλείσιμο του χώρου απόθεσης. Ωστόσο η παραγωγή τους κρατάει αρκετά χρόνια έως ότου περιοριστούν στο ελάχιστο. Χρήσιμος είναι ο ακόλουθος πίνακας της παραγωγής αερίων, τα χρόνια που διαρκεί η διαδικασία αποδόμησης των απορριμμάτων.

Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές CO ₂ + CH ₄	
Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ							
16671	24,988,480	55906	30,541,476	477	133,271	67494	55,529,956

Πίνακας 3. 5: Συνολικές εκπομπές 1^{ης} εφαρμογής

Η συνολική επίπτωση στο περιβάλλον από τη λειτουργία του συγκεκριμένου χώρου ανέρχεται σε 55.5 εκατ. m³, οι οποίες μοιράζονται σε 25 εκατ. m³ μεθανίου και 30.5 εκατ. m³ διοξειδίου του άνθρακα.

Εφαρμογή 2^η: k=0.02, Lo=170, Περιεχόμενο μεθανίου στο βιοαέριο 45%

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται ως συντελεστής k=0.02 που αντιπροσωπεύει μία περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται ως ξηρή. Οι υπόλοιποι παράμετροι παραμένουν ως έχουν, ωστόσο οι τιμές των εκπομπών διαφοροποιούνται σημαντικά. Συγκεκριμένα:

LANDFILL CHARACTERISTICS		
Landfill Open Year	1995	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2010	
Actual Closure Year (without limit)	2010	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		<i>megagrams</i>
MODEL PARAMETERS		
Methane Generation Rate, k	0.020	<i>year⁻¹</i>
Potential Methane Generation Capacity, L ₀	170	<i>m³/Mg</i>
NMOC Concentration	2,400	<i>ppmv as hexane</i>
Methane Content	45	<i>% by volume</i>
GASES / POLLUTANTS SELECTED		
Gas / Pollutant #1:	Methane	
Gas / Pollutant #2:	Carbon dioxide	
Gas / Pollutant #3:	NMOC	
Gas / Pollutant #4:	Total landfill gas	

Εικόνα 3. 5: Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο LandGEM 2^{ης} εφαρμογής

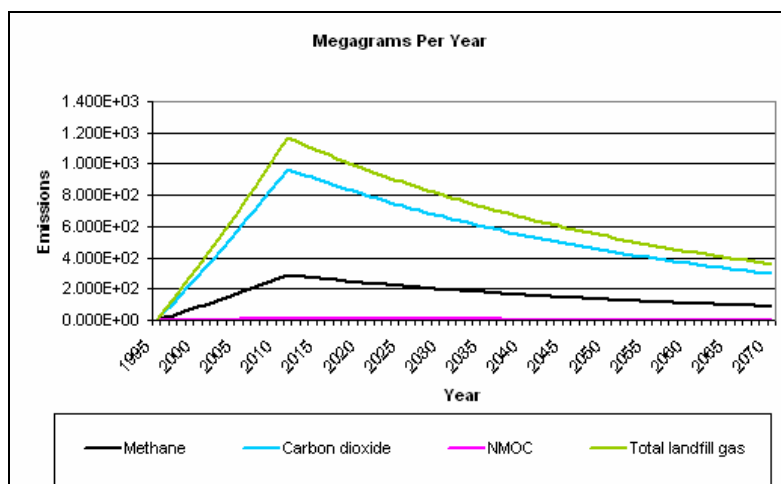
Οι εκπομπές κατ' έτος που προκύπτουν για την εφαρμογή αυτή είναι:

Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year
1995	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
1996	16.01	24000	53.69	29333	0.46	128	64.82	53332
1997	32.32	48447	108.39	59213	0.93	258	130.86	107660
1998	48.92	73333	164.07	89629	1.40	391	198.08	162963
1999	65.81	98650	220.71	120572	1.89	526	266.46	219222
2000	82.99	124388	278.29	152030	2.38	663	335.98	276418
2001	100.43	150540	336.80	183993	2.88	803	406.61	334533
2002	118.15	177097	396.21	216452	3.39	945	478.34	393548
2003	136.13	204051	456.52	249396	3.90	1088	551.15	453447

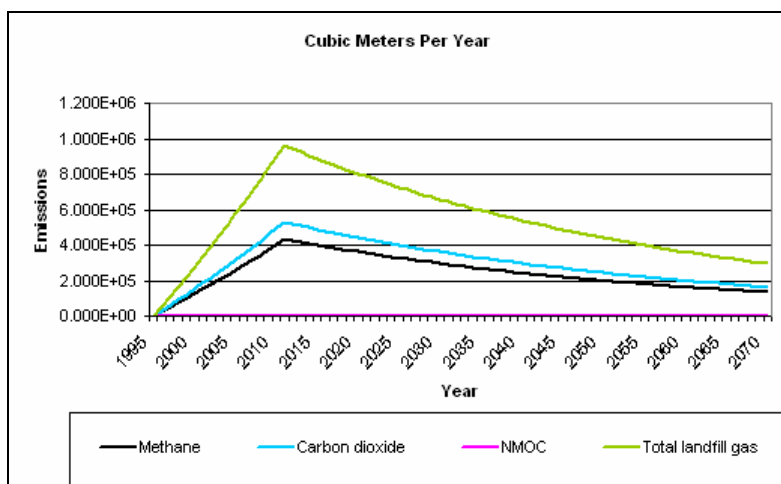
Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year
2005	172.87	259120	579.72	316702	4.95	1382	699.89	575821
2006	191.62	287219	642.59	351045	5.49	1532	775.79	638264
2007	210.61	315685	706.27	385837	6.03	1684	852.68	701521
2008	229.84	344510	770.76	421067	6.59	1837	930.53	765577
2009	249.30	373687	836.04	456729	7.14	1993	1009.34	830416
2010	269.00	403210	902.09	492812	7.71	2150	1089.08	896022
2011	288.92	433071	968.90	529309	8.28	2310	1169.74	962381
2012	283.20	424496	949.71	518828	8.12	2264	1146.58	943324
2013	277.59	416090	930.91	508555	7.95	2219	1123.88	924645
2014	272.10	407851	912.48	498485	7.80	2175	1101.62	906336
2015	266.71	399775	894.41	488614	7.64	2132	1079.81	888389
2016	261.43	391859	876.70	478939	7.49	2090	1058.43	870798
2017	256.25	384100	859.34	469455	7.34	2049	1037.47	853555
2018	251.18	376494	842.32	460160	7.20	2008	1016.92	836654
2019	246.20	369039	825.64	451048	7.05	1968	996.79	820087
2020	241.33	361732	809.29	442116	6.92	1929	977.05	803848
2021	236.55	354569	793.27	433362	6.78	1891	957.70	787931
2022	231.87	347548	777.56	424781	6.64	1854	938.74	772329
2023	227.27	340666	762.16	416370	6.51	1817	920.15	757036
2024	222.77	333920	747.07	408125	6.38	1781	901.93	742045
2025	218.36	327308	732.28	400043	6.26	1746	884.07	727352
...
2135	24.20	36267	81.14	44326	0.69	193	97.96	80593

Πίνακας 3. 6: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Azemttour για την 2^η εφαρμογή

Στα σχετικά διαγράμματα παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των ετήσιων εκπομπών αερίων.



Διάγραμμα 3. 4: Αέριες εκπομπές σε κοβικά μέτρα για την 2^η εφαρμογή



Διάγραμμα 3. 5: Αέριες εκπομπές σε Mg για την 2^η εφαρμογή

Όπως προκύπτει από τα διαγράμματα οι εκπομπές αερίων για συντελεστή $k=0.02$ είναι αισθητά μειωμένες, με το μεθάνιο να ανέρχεται στα 23.1 εκατ. m^3 και το διοξείδιο του άνθρακα 28.3 εκατ. m^3 . Ενώ οι συνολικές εκπομπές είναι 51.5 εκατ. m^3 .

Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές $CO_2 + CH_4$	
Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ							
15471.76	23,190,888	51884.42	28,344,418	443.34	123,685	62639.42	51,535,306

Πίνακας 3. 7: Συνολικές εκπομπές 2^{ης} εφαρμογής

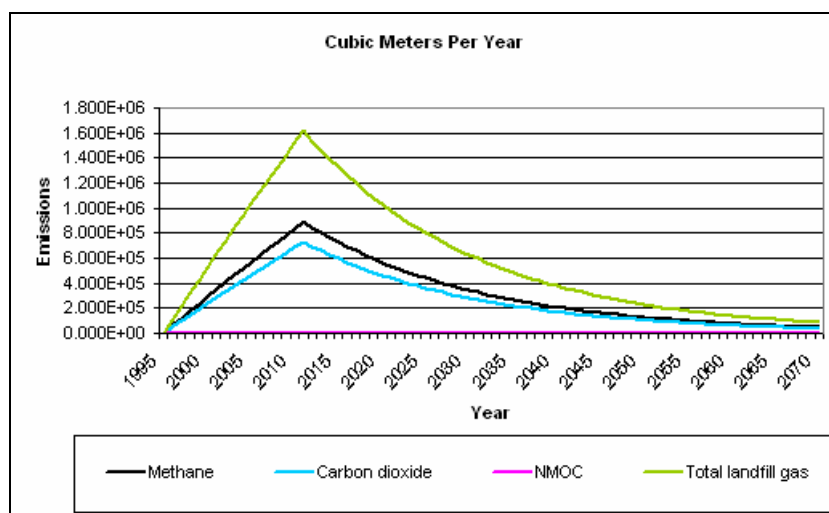
Εφαρμογή 3^η: $k=0.05$, $Lo=170$, Περιεχόμενο μεθανίου στο βιοαέριο 55%

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται περιοχή συμβατική ($k=0.05$), δηλαδή ούτε ξηρή ούτε υγρή και ποσότητα μεθανίου στο βιοαέριο 55% προκύπτει:

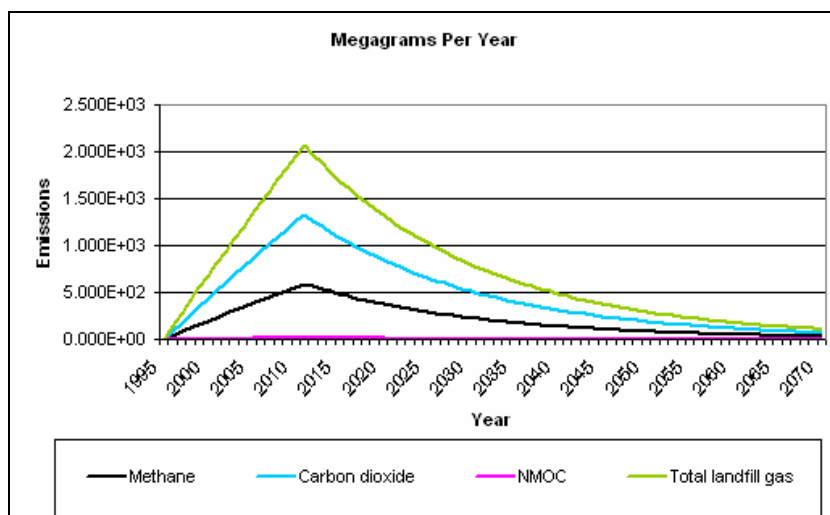
Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year
1995	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-
1996	39.49	59,199	88.66	48,436	0.93	258	138.01	107,635
1997	78.58	117,788	176.41	96,372	1.84	514	274.59	214,161
1998	117.28	175,797	263.29	143,834	2.75	767	409.82	319,631
1999	155.61	233,253	349.34	190,844	3.65	1,018	543.77	424,097
2000	193.60	290,184	434.60	237,424	4.54	1,266	676.49	527,608
2001	231.24	346,616	519.12	283,595	5.42	1,513	808.04	630,210
2002	268.58	402,572	602.92	329,377	6.30	1,757	938.49	731,949
2003	305.60	458,076	686.05	374,789	7.16	1,999	1067.88	832,865
2004	342.35	513,150	768.53	419,850	8.03	2,239	1196.27	932,999
2005	378.82	567,814	850.40	464,575	8.88	2,478	1323.71	1,032,390
2006	415.03	622,090	931.69	508,983	9.73	2,715	1450.24	1,131,073
2007	450.99	675,996	1012.43	553,087	10.57	2,950	1575.91	1,229,083
2008	486.72	729,549	1092.63	596,904	11.41	3,183	1700.75	1,326,453
2009	522.22	782,768	1172.34	640,446	12.24	3,416	1824.82	1,423,214
2010	557.51	835,668	1251.56	683,728	13.07	3,647	1948.14	1,519,395
2011	592.60	888,264	1330.34	726,762	13.89	3,876	2070.76	1,615,026

Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year
2012	563.70	844,943	1265.46	691,317	13.22	3,687	1969.76	1,536,260
2013	536.21	803,735	1203.74	657,601	12.57	3,507	1873.70	1,461,336
2014	510.06	764,536	1145.03	625,530	11.96	3,336	1782.32	1,390,066
2015	485.18	727,249	1089.19	595,022	11.38	3,173	1695.39	1,322,272
2016	461.52	691,781	1036.07	566,003	10.82	3,019	1612.71	1,257,784
2017	439.01	658,042	985.54	538,398	10.29	2,871	1534.05	1,196,441
2018	417.60	625,949	937.47	512,140	9.79	2,731	1459.24	1,138,090
2019	397.23	595,421	891.75	487,163	9.31	2,598	1388.07	1,082,584
2020	377.86	566,382	848.26	463,404	8.86	2,471	1320.37	1,029,786
2021	359.43	538,760	806.89	440,803	8.43	2,351	1255.98	979,563
2022	341.90	512,484	767.54	419,305	8.02	2,236	1194.72	931,789
2023	325.23	487,490	730.10	398,855	7.62	2,127	1136.45	886,345
2024	309.37	463,715	694.50	379,403	7.25	2,023	1081.03	843,118
2025	294.28	441,099	660.63	360,899	6.90	1,925	1028.31	801,998
2026	279.93	419,586	628.41	343,298	6.56	1,831	978.16	762,884
2027	266.27	399,123	597.76	326,555	6.24	1,742	930.45	725,678
2028	253.29	379,657	568.61	310,629	5.94	1,657	885.07	690,286
2029	240.93	361,141	540.87	295,479	5.65	1,576	841.91	656,621
2030	229.18	343,528	514.50	281,069	5.37	1,499	800.85	624,597
2031	218.01	326,774	489.40	267,361	5.11	1,426	761.79	594,135
2032	207.37	310,837	465.53	254,321	4.86	1,356	724.64	565,159
2033	197.26	295,678	442.83	241,918	4.62	1,290	689.29	537,595
2034	187.64	281,257	421.23	230,119	4.40	1,227	655.68	511,377
2035	178.49	267,540	400.69	218,896	4.18	1,167	623.70	486,437
...
2135	1.20	1,803	2.70	1,475	0.03	8	4.20	3,278

Πίνακας 3. 8: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Αzeitmour για την 3^η εφαρμογή



Διάγραμμα 3. 6: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την 3^η εφαρμογή



Διάγραμμα 3. 7: Αέριες εκπομπές σε Mg για την 3^η εφαρμογή

Όπως ήταν αναμενόμενη η παραγωγή μεθανίου παραμένει ίδια με την εφαρμογή 1, ωστόσο μειώνεται η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα επειδή το μεθάνιο αποτελεί το 55% του παραγόμενου βιοαερίου.

Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές CO ₂ + CH ₄	
Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ							
16671.02	24,988,480	37424.77	20,445,120	390.85	109,041	58254.10	45,433,601

Πίνακας 3. 9: Συνολικές εκπομπές 3^{ης} εφαρμογής

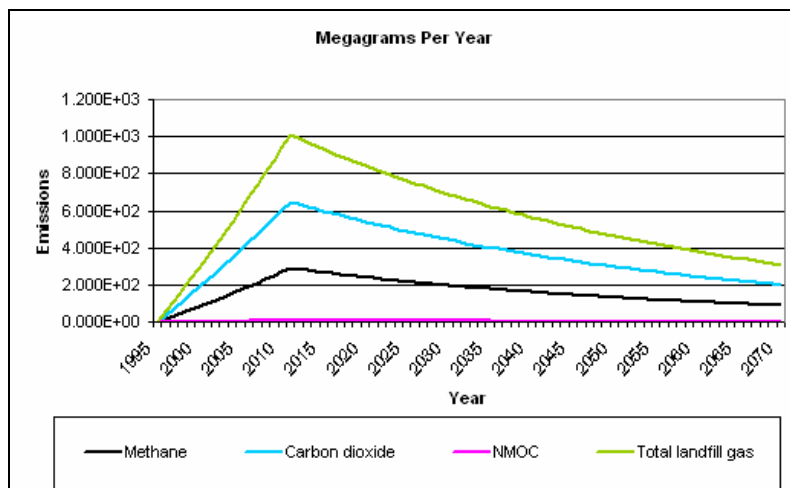
Εφαρμογή 4^η: k=0.02, Lo=170, Περιεχόμενο μεθανίου στο βιοαέριο 55%

Κατά αντίστοιχο τρόπο προκύπτουν τα δεδομένα και για τα στοιχεία εισόδου της τέταρτης εφαρμογής, όπου πρόκειται για ξηρή περιοχή με μεθάνιο που ανέρχεται στο 55%.

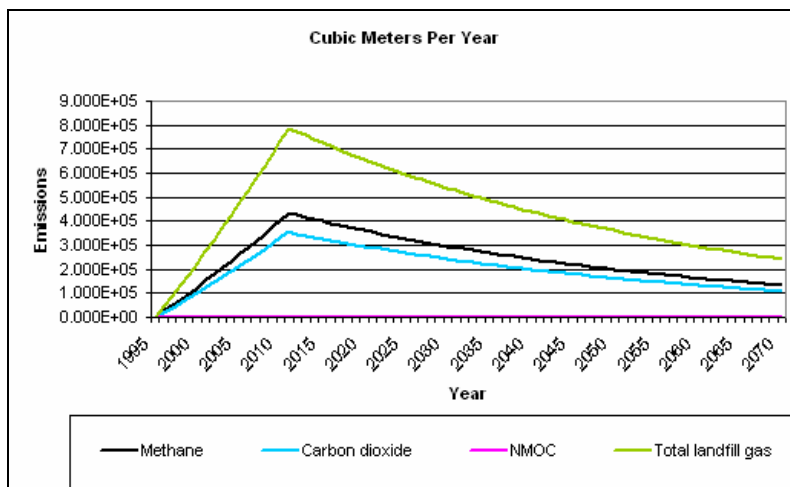
Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year
1995	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-
1996	16.01	24,000	35.94	19,636	0.38	105	55.95	43,635
1997	32.32	48,447	72.56	39,638	0.76	211	112.94	88,085
1998	48.92	73,333	109.83	60,000	1.15	320	170.96	133,333
1999	65.81	98,650	147.75	80,713	1.54	430	229.98	179,363
2000	82.99	124,388	186.29	101,772	1.95	543	289.98	226,160
2001	100.43	150,540	225.46	123,169	2.35	657	350.94	273,709
2002	118.15	177,097	265.23	144,897	2.77	773	412.85	321,994
2003	136.13	204,051	305.60	166,951	3.19	890	475.69	371,002
2004	154.37	231,394	346.56	189,323	3.62	1,010	539.44	420,717
2005	172.87	259,120	388.08	212,007	4.05	1,131	604.07	471,126
2006	191.62	287,219	430.16	234,997	4.49	1,253	669.58	522,216
2007	210.61	315,685	472.79	258,287	4.94	1,378	735.94	573,972

Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year		Mg/y	m3/year	Mg/y
2008	229.84	344,510	515.97	281,872	5.39	1,503	803.13	626,381
2009	249.30	373,687	559.66	305,744	5.84	1,631	871.15	679,431
2010	269.00	403,210	603.88	329,899	6.31	1,759	939.98	733,109
2011	288.92	433,071	648.60	354,331	6.77	1,890	1009.59	787,402
2012	283.20	424,496	635.76	347,315	6.64	1,852	989.60	771,811
2013	277.59	416,090	623.17	340,438	6.51	1,816	970.01	756,528
2014	272.10	407,851	610.83	333,696	6.38	1,780	950.80	741,548
2015	266.71	399,775	598.74	327,089	6.25	1,744	931.97	726,864
2016	261.43	391,859	586.88	320,612	6.13	1,710	913.52	712,471
2017	256.25	384,100	575.26	314,264	6.01	1,676	895.43	698,363
2018	251.18	376,494	563.87	308,041	5.89	1,643	877.70	684,535
2019	246.20	369,039	552.70	301,941	5.77	1,610	860.32	670,980
2020	241.33	361,732	541.76	295,962	5.66	1,578	843.28	657,694
2021	236.55	354,569	531.03	290,102	5.55	1,547	826.58	644,671
...
2135	24.20	36,267	54.32	29,673	0.57	158	84.55	65,940

Πίνακας 3. 10: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Azemtour για την 4^η εφαρμογή



Διάγραμμα 3. 8: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την 4^η εφαρμογή



Διάγραμμα 3. 9: Αέριες εκπομπές σε Mg για την 4^η εφαρμογή

Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		ΝΜΟC		Συνολικές Εκπομπές CO ₂ + CH ₄	
Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ							
15471.76	23,190,888	34732.55	18,974,363	362.74	101,197	54063.48	42,165,251

Πίνακας 3. 11: Συνολικές εκπομπές 4^{ης} εφαρμογής

3.3.2. Επιλογή τελικών εκπομπών

Με την επιλογή των διαφόρων πιθανών καταστάσεων που θα υπάρξουν στο χώρο απόθεσης απορριμμάτων του Azemmour και τον υπολογισμό των αντίστοιχων εκπομπών, ακολουθεί η εκτίμηση των τελικών εκπομπών, ούτως ώστε να γίνει στη συνέχεια η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Για το λόγο αυτό συντάσσεται ο ακόλουθος συγκεντρωτικός πίνακας:

Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		ΝΜΟC		Συνολικές Εκπομπές CO ₂ + CH ₄	
Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3	Mg	m3
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ 1995-2135							
k	0.05	Lo	170	% CH ₄	45		
16671	24,988,480	55906	30,541,476	477	133,271	67494	55,529,956
k	0.02	Lo	170	% CH ₄	45		
15471.76	23,190,888	51884.42	28,344,418	443.34	123,685	62639.42	51,535,306
k	0.05	Lo	170	% CH ₄	55		
16671.02	24,988,480	37424.77	20,445,120	390.85	109,041	58254.10	45,433,601
k	0.02	Lo	170	% CH ₄	55		
15471.76	23,190,888	34732.55	18,974,363	362.74	101,197	54063.48	42,165,251

Πίνακας 3. 12: Συγκεντρωτικός πίνακας των εκπομπών για όλες τις εφαρμογές

Θεωρώντας πως η περιοχή μελέτης είναι ξηρή (k=0.02) και ότι το μεθάνιο μετά τη σταθεροποίηση του χώρου ταφής, εκλύεται σε ποσοστό 55-65% επί του βιοαερίου (Λοϊζίδου, 2007), μπορεί να οδηγηθεί κανείς σε ασφαλείς εκτιμήσεις για τις εκπομπές από το συγκεκριμένο χώρο.

Έτσι, οι συνολικές εκπομπές για μια περίοδο 140 χρόνια είναι αυτές που υπολογίστηκαν για ποσοστό μεθανίου 55% στο βιοαέριο και είναι **23.1 εκατ. m³** μεθανίου, **19 εκατ. m³** διοξειδίου του άνθρακα και **42.1 εκατ. m³** συνολικές εκπομπές.

3.3.3. Αέριες εκπομπές από το νέο Χ.Υ.Τ.Α.

Στα δυτικά της περιοχής του Azemmour εντοπίζεται η περιοχή που θα δημιουργηθεί ο νέος χώρος, υγειονομικής πλέον, ταφής απορριμμάτων. Πρόκειται για το Oulad Rahmoune,

όπου η διάρκεια λειτουργίας του δε θα υπερβαίνει τα 25 χρόνια και στη διάρκεια αυτή θα δέχεται τα εξής απορρίμματα:

Έτος	Τόνοι/Ημέρα	Τόνοι/Έτος
2011	31.50	11505
2012	32.25	11779
2013	33.00	12053
2014	33.75	12327
2015	34.50	12601
2016	35.25	12875
2017	36.00	13149
2018	36.75	13423
2019	37.50	13697
2020	38.25	13971
2021	39.00	14245
2022	39.75	14519
2023	40.50	14793
2024	41.25	15067
2025	42.00	15341
2026	42.80	15614
2027	43.50	15888
2028	44.30	16162
2029	45.00	16436
2030	45.80	16710
2031	46.50	16984
2032	47.30	17258
2033	48.00	17532
2034	48.80	17806
2035	49.50	18080

Πίνακας 3. 13: Διαθέσιμα στοιχεία για την παραγωγή απορριμμάτων στο Oulad Rahmoune

Ακολουθεί ο πίνακας που απεικονίζει το ρυθμό με τον οποίο τα απορρίμματα εισέρχονται στο χώρο υγειονομικής ταφής, αλλά και οι ποσότητες που συσσωρεύονται στο κύτταρο ετήσια.

Έτος	Ετήσια απορρίμματα	Απορρίμματα στο κύτταρο
	(Mg/year)	(Mg)
2011	11,505	0
2012	11,779	11,505
2013	12,053	23,285
2014	12,327	35,338
2015	12,601	47,665
2016	12,875	60,266
2017	13,149	73,141

Έτος	Ετήσια απορρίμματα (Mg/year)	Απορρίμματα στο κύτταρο (Mg)
2018	13,423	86,290
2019	13,697	99,713
2020	13,971	113,410
2021	14,245	127,381
2022	14,519	141,626
2023	14,793	156,144
2024	15,067	170,937
2025	15,341	186,004
2035	0	369,816
...
2150	0	369,816

Πίνακας 3. 14: Ρυθμός συγκέντρωσης των ποσοτήτων στο κύτταρο

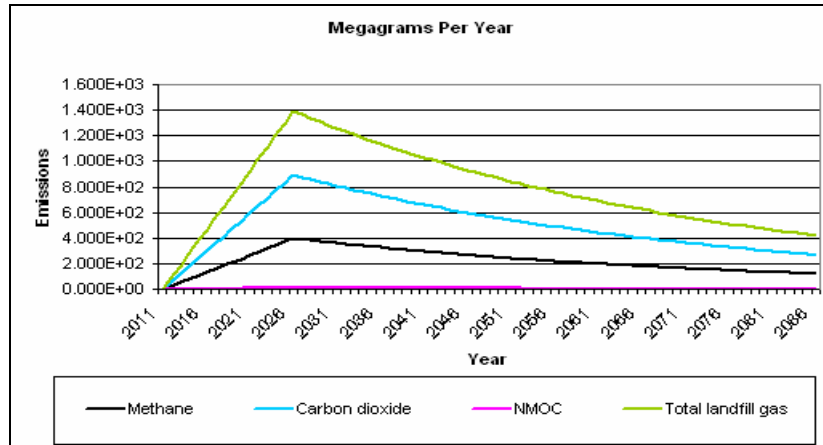
Ο προσδιορισμός των αέριων εκπομπών θα γίνει για τις τιμές εκείνες των παραμέτρων, που κρίθηκαν πιο ρεαλιστικές στην περίπτωση του Azemmour, δηλαδή για περιβάλλον ξηρό και για παραγωγή μεθανίου στο βιοαέριο σε ποσοστό 55%.

Εφαρμογή Oulad Rahmoune: $k=0.02$, $L_0=170$, Περιεχόμενο μεθανίου στο βιοαέριο 55%

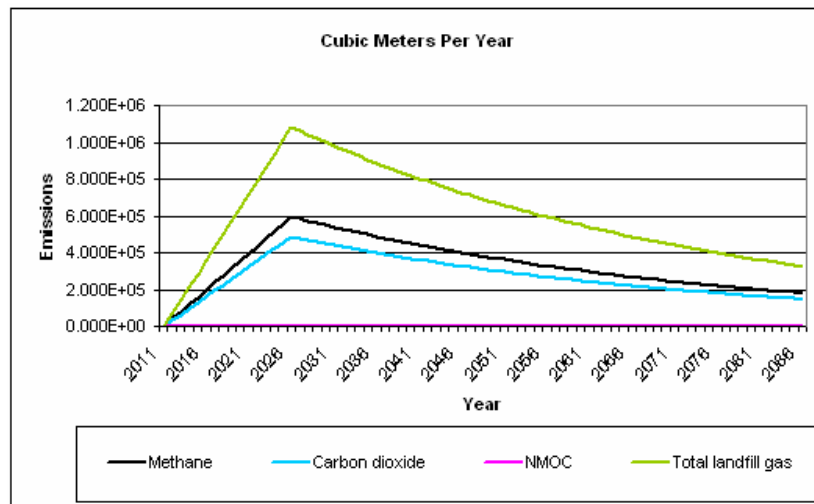
Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year
2011	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	25.86	38,767	58	31,719	1	169	90	70,486
2013	51.83	77,690	116	63,565	1.22	339	181	141,254
2014	77.90	116,765	175	95,535	1.83	510	272	212,301
2015	104.07	155,990	234	127,628	2.44	681	364	283,618
2016	130.34	195,362	293	159,841	3.06	852	455	355,203
2017	156.70	234,877	352	192,172	3.67	1,025	548	427,049
2018	183.15	274,533	411	224,618	4.29	1,198	640	499,150
2019	209.70	314,327	471	257,176	4.92	1,372	733	571,503
2020	236.34	354,256	531	289,846	5.54	1,546	826	644,101
2021	263.07	394,318	591	322,623	6.17	1,721	919	716,941
2022	289.88	434,509	651	355,508	6.80	1,896	1,013	790,017
2023	316.78	474,829	711	388,496	7.43	2,072	1,107	863,325
2024	343.76	515,273	772	421,587	8.06	2,248	1,201	936,860
2025	370.83	555,839	832	454,778	8.69	2,425	1,296	1,010,617
2026	397.97	596,526	893	488,067	9.33	2,603	1,391	1,084,593
2027	425.19	637,328	955	521,450	9.97	2,781	1,486	1,158,779
2028	452.49	678,246	1,016	554,928	10.61	2,960	1,581	1,233,174
2029	479.86	719,276	1,077	588,498	11.25	3,139	1,677	1,307,774
2030	507.31	760,417	1,139	622,159	11.89	3,318	1,773	1,382,576
2031	534.83	801,666	1,201	655,909	12.54	3,498	1,869	1,457,575
2032	562.42	843,022	1,263	689,745	13.19	3,679	1,965	1,532,767
2033	590.08	884,481	1,325	723,667	13.83	3,860	2,062	1,608,148
2034	617.81	926,043	1,387	757,672	14.48	4,041	2,159	1,683,715
2035	645.60	967,705	1,449	791,759	15.14	4,223	2,256	1,759,464
2036	673.46	1,009,465	1,512	825,926	15.79	4,405	2,353	1,835,391

Έτος	Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές	
	Mg/y	m3/year	Mg/y	m3/year		Mg/y	m3/year	Mg/y
2037	660.13	989,476	1,482	809,571	15.48	4,318	2,307	1,799,048
2038	647.06	969,883	1,453	793,541	15.17	4,232	2,261	1,763,424
2039	634.24	950,678	1,424	777,828	14.87	4,148	2,216	1,728,506
2040	621.68	931,854	1,396	762,426	14.58	4,066	2,172	1,694,279
...
2151	67.52	101,208	152	82,806	1.58	442	236	184,014

Πίνακας 3. 15: Αέριες εκπομπές στην περιοχή του Oulad Rahmoune



Διάγραμμα 3. 10: Αέριες εκπομπές σε κυβικά μέτρα για την περιοχή του Oulad Rahmoune



Διάγραμμα 3. 11: Αέριες εκπομπές σε Mg για την του Oulad Rahmoune

Συγκρίνοντας τα σχετικά διαγράμματα των δύο περιοχών, για τις ίδιες συνθήκες, προκύπτουν αυξημένες εκπομπές για την περιοχή του Oulad Rahmoune όπως ήταν άλλωστε αναμενόμενο εξαιτίας των αυξημένων απορριμμάτων που αποτίθενται.

Μεθάνιο		Διοξείδιο Άνθρακα		NMOC		Συνολικές Εκπομπές CO ₂ + CH ₄	
Mg	m ³	Mg	m ³	Mg	m ³	Mg	m ³
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ 1995-2135							
k	0.02	Lo	170	% CH ₄	55		
38,642	57,921,751	86,748	47,390,524	906	252,749	135,029	105,312,275

Πίνακας 3. 16: Συνολικές εκπομπές στην του Oulad Rahmoune

Συμπερασματικά, οι συνολικές εκπομπές σε ένα βάθος 140 ετών από την έναρξη λειτουργίας του Χ.Υ.Τ.Α. ανέρχονται περίπου σε **57.9 εκατ. m³** μεθανίου, **47.3 εκατ. m³** διοξειδίου του άνθρακα και **105 εκατ. m³** στο σύνολο των εκπομπών.

3.4. Υπολογισμός Στραγγισμάτων

Ο υπολογισμός των στραγγισμάτων όπως έχει ήδη διαφανεί αποτελεί μία σχετικά πιο δύσκολη διαδικασία, συγκρίσει του υπολογισμού των αέριων εκπομπών. Εν τούτοις θα χρησιμοποιηθούν εκείνα τα μοντέλα, τα οποία υπολογίζουν τα στραγγίσματα για το συγκεκριμένο επίπεδο πληροφορίας που παρέχεται.

3.4.1. Υπολογισμός στραγγισμάτων από τον υφιστάμενο χώρο διάθεσης

Για τον υπολογισμό των στραγγισμάτων στην περιοχή του Azemmouj όπου πρόκειται για μια περιοχή ελεύθερης απόθεσης απορριμμάτων, θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο WBM που περιγράφεται στην ενότητα 2.2.2..

Το μοντέλο αυτό, όπως έχει ήδη αναφερθεί υπολογίζει τα στραγγίσματα (**PERC**) από την εξίσωση:

$$PERC = P - RO - ET - I + MCP + G$$

Αρκεί λοιπόν να υπολογιστούν οι παράμετροι που περιγράφονται στην εξίσωση, έτσι:

❖ Κατακρήμιση **P**

Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής του Azemmouj δεν είναι διαθέσιμα, ωστόσο διατίθενται κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής Casablanca η οποία βρίσκεται μόλις 70 χιλιόμετρα βορειότερα. Τα δεδομένα αυτά θεωρούνται αξιόπιστα εξαιτίας της εγγύτητας της περιοχής της Casablanca στην περιοχή του Azemmouj. Συγκεκριμένα για την ετήσια κατακρήμιση αναγράφονται οι εξής τιμές (Μετεωρολογικός σταθμός FM60155, NOAA):

Κωδικός	615	Μέση Μηνιαία Τιμή
Στατιστικό	Κατακρήμιση	
Μονάδες	mm	
Ιαν.	62.2	
Φεβ.	59.0	

Κωδικός	615	Μέση Μηνιαία Τιμή
Στατιστικό	Κατακρήμνιση	
Μονάδες	mm	
Μαρ	50.7	
Απρ.	40.2	
Μάι.	18.8	
Ιούν.	5.8	
Ιούλ.	0.7	
Αύγ.	0.4	
Σεπ.	4.9	
Οκτ.	31.1	
Νοε.	74.4	
Δεκ.	77.6	
Μέση Ετήσια Τιμή	425.8	

Πίνακας 3. 17: Κατακρήμνιση στην ευρύτερη περιοχή

Τα στοιχεία αυτά είναι δεδομένα NOAA τα οποία ελήφθησαν από το μετεωρολογικό σταθμό FM60155. Από τον πίνακα της κατακρήμνισης προκύπτει πως η ετήσια κατακρήμνιση ανέρχεται στα 425.8 mm. Μάλιστα αν συγκριθεί με τα στοιχεία του WASTESUM (deliverable 12), όπου ορίζει για την περιοχή του Azemmour κατακρήμνιση μικρότερη των 400mm το έτος, μπορεί να υποτεθεί πως αποτελούν τα στοιχεία της Casablanca αντιπροσωπευτικά για το Azemmour. Η κατακρήμνιση αυτή προέρχεται αποκλειστικά από βροχόπτωση καθότι τα υπόλοιπα κατακρημνίσματα στην περιοχή είναι μηδενικά.

❖ Εξαμυσοδιαπνοή **ET**

Η εξαμυσοδιαπνοή στην περιοχή δεν μπορεί να εισαχθεί στο μοντέλο άμεσα, διότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για αυτή. Ωστόσο είναι δυνατός ο υπολογισμός της, ακολουθώντας έναν από τους πολλούς προσεγγιστικούς τρόπους που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Μάλιστα ο τρόπος που θα επιλεγεί θα πρέπει να υπολογίζει την εξαμυσοδιαπνοή, βάσει της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας. Τέλος, τονίζεται ότι αρχικά υπολογίζεται η δυνητική εξαμυσοδιαπνοή, δηλαδή αυτή που θα πραγματοποιούταν αν υπήρχαν επαρκείς ποσότητες νερού. Στόχος είναι να φανεί η ένταση για εξαμυσοδιαπνοή που επικρατεί στην περιοχή και έτσι να μπορέσει να αξιολογηθεί η πραγματική εξαμυσοδιαπνοή που υπολογίζεται από το μοντέλο του Turk.

Η μέθοδος υπολογισμού της δυνητικής εξαμυσοδιαπνοής που θα ακολουθηθεί είναι η μέθοδος Thornthwaite, όπου η εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι (Τσακίρης, 1995):

$$ET_P = 16 \left(\frac{l_1}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10T_a}{I} \right)^{a_1}$$

όπου:

l_1 = η μέση αστρονομική διάρκεια της μέρας

N = ο αριθμός των ημερών του μήνα

T_a = η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C

I = ετήσιος δείκτης θερμότητας

a_1 , εμπειρική παράμετρος

Υπολογισμός παραμέτρων

- Αστρονομική διάρκεια της μέρας, l_1

Η παράμετρος αυτή δίνεται από τη σχέση: $l_1 = 1.46 \cdot Pa$, όπου Pa είναι το μηνιαίο ποσοστό των ωρών της ημέρας επί τοις εκατό των ωρών ημέρας του έτους. Οι τιμές αυτές δίνονται από σχετικό πίνακα που συσχετίζει το Pa , με το μήνα και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Σημειώνεται ότι η περιοχή του Azemmour βρίσκεται στον 33° παράλληλο και συγκεκριμένα σε πλάτος 33° 17' ή 33.27, ενώ ο σχετικός πίνακας είναι ο εξής:

(www.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/ekatm_biblio.pdf)

Β.Γεωγ. Πλάτος	Μήνας											
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.49	9.10	8.31	8.06	9.30	7.36	7.35
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
32	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.93	9.11	7.05
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
36	6.99	6.86	8.35	8.85	9.81	9.83	9.99	9.40	8.36	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.90	6.82	6.66
40	6.76	6.73	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.38	7.75	6.72	6.52
42	6.62	6.65	8.31	9.00	10.14	10.21	10.35	9.62	8.40	7.70	6.62	6.38
44	6.40	6.58	8.30	9.05	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.22
46	6.33	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.58	6.36	6.04
48	6.17	6.42	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.22	5.86
50	5.98	6.32	8.25	9.25	10.69	10.93	10.99	10.00	8.44	7.43	6.07	5.65

Πίνακας 3. 18: Μέσο μηνιαίο ποσοστό ημέρας

Συνεπώς για το γεωγραφικός πλάτος των $33^{\circ} 17'$, με γραμμική παρεμβολή προκύπτουν τιμές P_a :

Β. Γεωγ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
32	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
33.27	7.23	6.99	8.37	8.75	9.60	9.57	9.75	9.26	8.35	7.96	7.13	7.06
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92

Πίνακας 3. 19: Γραμμική παρεμβολή για τον προσδιορισμό του ποσοστού ημέρας

Πλέον οι τιμές του l_1 είναι:

Β. Γεωγ. Πλάτος	P_a		l_1
	32°	33.27	
Ιαν	7.30	7.23	10.55
Φεβ	7.03	6.99	10.20
Μαρ	8.38	8.37	12.22
Απρ	8.72	8.75	12.77
Μαι	9.53	9.60	14.02
Ιουν	9.49	9.57	13.97
Ιουλ	9.67	9.75	14.23
Αυγ	9.22	9.26	13.52
Σεπ	8.34	8.35	12.19
Οκτ	7.99	7.96	11.62
Νοε	7.19	7.13	10.41
Δεκ	7.14	7.06	10.31

Πίνακας 3. 20: Υπολογισμός τιμών l_1

- Αριθμός των ημερών διάρκειας του μήνα N

Απλά αναφέρονται οι τιμές για λόγους πληρότητας:

Μήνας	N
Ιαν	31
Φεβ	28
Μαρ	31
Απρ	30
Μαι	31
Ιουν	30
Ιουλ	31
Αυγ	31
Σεπ	30
Οκτ	31
Νοε	30
Δεκ	31

Πίνακας 3. 21: Αριθμός ημερών ανά μήνα

- Μέση μηνιαία θερμοκρασία T_a

Τα στοιχεία που αφορούν την μηνιαία θερμοκρασία προέρχονται από τον ίδιο μετεωρολογικό σταθμό, ο οποίος συνέλεξε στοιχεία και για την κατακρήμνιση και είναι:

Κωδικός	0101	Μέση Μηνιαία Τιμή
Στατιστικό	Θερμοκρασία	
Μονάδες	$^{\circ}C$	
Ιαν.	12.8	
Φεβ.	13.4	
Μαρ	14.1	
Απρ.	15.4	
Μάι.	17.5	
Ιούν.	20.2	
Ιούλ.	22.4	
Αύγ.	22.7	
Σεπ.	21.7	
Οκτ.	19.2	
Νοε.	16.1	
Δεκ.	13.5	
Μέση Ετήσια Τιμή	17.42	

Πίνακας 3. 22: Μέση μηνιαία θερμοκρασία

Πηγή: Μετεωρολογικός σταθμός FM60155, NOAA

- Ετήσιο δείκτης θερμότητας I

Ο δείκτης αυτός αποτελεί το άθροισμα των μηνιαίων τιμών i , που προκύπτει από τη σχέση:

$$i = \left(\frac{Ta}{5} \right)^{1.514}$$

Μήνας	i
Ιαν.	4.150
Φεβ.	4.448
Μαρ	4.805
Απρ.	5.491
Μάι.	6.664
Ιούν.	8.281
Ιούλ.	9.684
Αύγ.	9.881
Σεπ.	9.229
Οκτ.	7.668
Νοε.	5.873
Δεκ.	4.499
Ετήσια τιμή (I)	80.672

Πίνακας 3. 23: Ετήσιος δείκτης θερμότητας

- Εμπειρική παράμετρος a_1

Η εμπειρική παράμετρος a_1 δίνεται από τη σχέση:

$$a_1 = 6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0.49$$

και τελικά είναι: $a_1 = 1.786$

θα πρέπει να θεωρείται ρεαλιστική λαμβανομένης υπ' όψιν της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που προκύπτει από τη θερμοκρασία και την ηλιοφάνεια που επικρατεί στην περιοχή.

❖ **Επιφανειακή απορροή RO**

Θεωρώντας ότι στην περιοχή του Azemmour γίνεται ελεύθερη απόθεση απορριμμάτων χωρίς να υπάρχει επικάλυψη των απορριμμάτων, αλλά εξαιτίας και της έλλειψης δεδομένων σχετικών με την τοπογραφία της περιοχής, οι επιφανειακές απορροές θεωρούνται μηδενικές.

❖ **Εισροή υπόγειων υδάτων G**

Μηδενική θεωρείται και η εισροή υπόγειων υδάτων εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων που να την αποδεικνύουν, χωρίς ωστόσο να απορρίπτεται ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεδομένης και της εγγύτητας στην περιοχή του ποταμού Oum Er-Rbia.

❖ **Επίπεδο υγρασίας απορριμμάτων MCP**

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας για την παραγωγή των στραγγισμάτων εκτός των κατακρημνίσεων είναι και το επίπεδο υγρασίας που φέρουν τα απορρίμματα. Βάσει των διαθέσιμων στοιχείων αυτή είναι εξαιρετικά μεγάλη και αγγίζει το 70% της ποσότητας των απορριμμάτων. Ο όγκος από ένα τόνο απορρίμματα ισοδυναμεί με 1.5 m^3 . Όμως στον όγκο αυτό το 70% είναι νερό, κατά συνέπεια ανά τόνο απορριμμάτων αντιστοιχούν 1.05 m^3 νερό.

Συνεπώς τα συνολικά μεγέθη είναι:

Έτος	Ετήσια απορρίμματα	MCP
	(Mg/year)	(m^3)
1995	7,122	7,478
1996	7,396	7,766
1997	7,670	8,054
1998	7,944	8,341
1999	8,218	8,629
2000	8,492	8,917
2001	8,766	9,204
2002	9,040	9,492
2003	9,314	9,780
2004	9,588	10,067
2005	9,862	10,355
2006	10,136	10,643
2007	10,410	10,931
2008	10,684	11,218
2009	10,958	11,506
2010	11,231	11,793

Πίνακας 3. 25: Ποσότητες νερού στα απορρίμματα

Αξίζει να σημειωθεί πως από το νερό που εμπριέχεται σε ένα τόνο απορριμμάτων, στραγγίσματα αποτελούν περίπου του 20% της ποσότητας αυτής.

❖ **Φιλτράρισμα I**

Θεωρείται ότι είναι και αυτό μηδενικό αφού γίνεται ελεύθερη απόθεση απορριμμάτων και δεν κατακρατείται στο έδαφος ποσότητα νερό αλλά αυτό εισρέει στο κύτταρο.

Υπολογισμός στραγγισμάτων

Θεωρώντας ότι το κύτταρο έχει μία έκταση γύρω στα 8 εκτάρια, ή αλλιώς 80000 m^2 , υπολογίζονται τα στραγγίσματα ως εξής:

$$Perc = P - RO - ET - I + MCP + G$$

$$Perc = 425.8\text{mm} \cdot 80000\text{m}^2 - 0 - 409.45\text{mm} \cdot 80000\text{m}^2 - 0 + 7478 \cdot 0.2\text{m}^3 + 0$$

$$Perc = 425.8 \cdot 10^{-3}\text{m} \cdot 80000\text{m}^2 - 409.45 \cdot 10^{-3}\text{m} \cdot 80000\text{m}^2 + 7478 \cdot 0.2\text{m}^3$$

$$Perc = 34064\text{m}^3 - 32756\text{m}^3 + 7478 \cdot 0.2\text{m}^3$$

$$Perc = 2803\text{m}^3$$

Για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του χώρου απόθεσης απορριμμάτων, τα παραγόμενα στραγγίσματα είναι $2803 \approx 2800\text{ m}^3$. Συνολικά για όλα τα έτη λειτουργίας τα παραγόμενα στραγγίσματα υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο, και απεικονίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Έτος	P m^3	ET m^3	MCP m^3	Στραγγίσματα m^3
1995	34064	32756	7,478	2804
1996			7,766	2861
1997			8,054	2919
1998			8,341	2976
1999			8,629	3034
2000			8,917	3091
2001			9,204	3149
2002			9,492	3206
2003			9,780	3264
2004			10,067	3321
2005			10,355	3379
2006			10,643	3437
2007			10,931	3494
2008			11,218	3552
2009	11,506	3609		
2010	11,793	3667		
Σύνολο Στραγγισμάτων				51763

Πίνακας 3. 26: Σύνολο στραγγισμάτων στην περιοχή του Azemmour

Κατά των υπολογισμό των στραγγισμάτων θεωρείται η κατακρήμιση και η εξαμυσοδιαπνοή ίδια για όλα τα έτη λειτουργίας καθότι τα διαθέσιμα στοιχεία είναι μόνο για το έτος 2007.

3.4.2. Υπολογισμός στραγγισμάτων από το νέο Χ.Υ.Τ.Α.

Ο υπολογισμός των στραγγισμάτων στην περιοχή του Oulad Rahmoune διαφέρει λίγο ως προς τη μέθοδο που θα ακολουθηθεί, σε σχέση με τον υπολογισμό που έγινε στην περιοχή του Azemmour. Επί τοις ουσίας θα χρησιμοποιηθεί εκ νέου, το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου WBM, με στοιχεία εισόδου τα στραγγίσματα που προκύπτουν από την κατακρήμνιση και το υδατικό περιεχόμενο των απορριμμάτων. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός πως για τον υπολογισμό των στραγγισμάτων από την κατακρήμνιση θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο HELP, το οποίο υπολογίζει την εξαμισοδιαπνοή και έχει ήδη περιγραφεί στη παράγραφο 2.2.1.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως ο Χ.Υ.Τ.Α. στην περιοχή του Oulad Rahmoune σχεδιάζεται για 25ετής λειτουργία. Για τα χρόνια που θα λειτουργεί ο συγκεκριμένος Χ.Υ.Τ.Α. για τον υπολογισμό των στραγγισμάτων θα έπρεπε να γίνει πρόγνωση των κλιματολογικά δεδομένων για να εισαχθούν στο μοντέλο. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατο, για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθούν τα κλιματολογικά δεδομένα περασμένων ετών και θα θεωρηθεί πως οι ίδιες συνθήκες θα επικρατήσουν και στο μέλλον.

❖ Κατακρήμνιση *P*

Η κατακρήμνιση θεωρείται η ίδια που επιλέχθηκε στην περιοχή του Azemmour και είναι αυτή που αφορά την περιοχή της Casablanca, **423.9mm**. Η χρήση δεδομένων γειτονικών περιοχών δεν είναι απαγορευτική, μάλιστα το μοντέλο HELP παρέχει μία τέτοια δυνατότητα από μία βάση δεδομένων με κλιματολογικά χαρακτηριστικά που αφορούν πόλεις των Η.Π.Α.. Σε περίπτωση δηλαδή που ο σχεδιασμός γινόταν σε μία περιοχή των Η.Π.Α. και δεν υπήρχαν δεδομένα, το μοντέλο χρησιμοποιεί τα δεδομένα της πλησιέστερης περιοχή, που είναι καταγεγραμμένα στη βάση.

Η κατακρήμνιση αυτή παρέχεται σε μηνιαίες τιμές και από αυτές προκύπτουν ημερήσιες για να εισαχθούν στο πρόγραμμα, για τα έτη 2011 έως 2035. συγκεκριμένα η μορφή του αρχείου είναι η εξής:

OULAD	MOROCCO											
2011	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1
2011	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2
2011	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3
2011	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	4
2011	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	5

Πίνακας 3. 27: Ημερήσια κατακρήμνιση για την είσοδο στο μοντέλο HELP

Εισάγονται δηλαδή ανά δεκαήμερο η ημερήσιες τιμές και στην τελευταία στήλη καταγράφεται ο αύξων αριθμός του δεκαημέρου, του έτους που καταγράφεται. Οι τιμές αυτές εισάγονται σε μορφή Ascii, όπως παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3. 6: Είσοδος των τιμών των κατακρημνισμάτων στο μοντέλο HELP

❖ Εξαμυσοδιαπνοή **ET**

Ως στοιχεία εισόδου στο μοντέλο εισάγονται τα ακόλουθα:

- Μονάδες

Η επιλογή είναι metric. Οι μονάδες είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία εισόδου καθότι καθορίζουν στην συνέχεια τη μορφή που θα έχουν όλα τα υπόλοιπα δεδομένα.

- Γεωγραφικό πλάτος

Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής είναι 33 και εντοπίζεται μέσω του GoogleEarth.

- Βάθος εξάτμισης στο έδαφος

Το έδαφος θεωρείται πορώδες για το λόγο αυτό, το ζητούμενο βάθος κυμαίνεται από 10 έως 20cm. Εντούτοις επιλέγεται βάθος τα 20cm.

- Δείκτης βλάστησης

Ο δείκτης βλάστησης χαρακτηρίζεται ως φτωχός για το λόγο αυτό επιλέγεται από το σχετικό πίνακα η τιμή 1.

- Αρχή και τέλος της περιόδου βλάστησης

Για τον προσδιορισμό των μεταβλητών αυτών πρέπει να προσδιοριστεί η μέση ημερήσια θερμοκρασία και να ελεγχθούν οι μέρες που η θερμοκρασία είναι πάνω από $12.7^{\circ}C$.

Εξετάζοντας τα στοιχεία του Πίνακα 3.20, παρατηρείται ότι η μέση θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι που έχει οριστεί, όλο το χρόνο. Κατά συνέπεια αρχή και τέλος της

περιόδου βλάστησης, σύμφωνα με τις οδηγίες συμπλήρωσης των στοιχείων του μοντέλου, ορίζεται 0 και 365 αντίστοιχα.

- Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου

Οι μέσες ταχύτητες ανέμου που επικρατούν στην περιοχή χαρακτηρίζονται ως μέσες. Από σχετική ιστοσελίδα για το 2007, αυτές ήταν ο ακόλουθες:

(www.myforecast.com/bin/climate.m?city=69815&metric=false)

Μήνας	mph	kph	m/s
Ιανουάριος	7	11.27	3.13
Φεβρουάριος	6	9.66	2.68
Μάρτιος	9	14.48	4.02
Απρίλιος	10	16.09	4.47
Μάιος	10	16.09	4.47
Ιούνιος	9	14.48	4.02
Ιούλιος	9	14.48	4.02
Αύγουστος	9	14.48	4.02
Σεπτέμβριος	9	14.48	4.02
Οκτώβριος	8	12.87	3.58
Νοέμβριος	7	11.27	3.13
Δεκέμβριος	7	11.27	3.13

Πίνακας 3. 28: Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή

Από τον πίνακα αυτό προκύπτει η μέση ταχύτητα του ανέμου, εκφρασμένη σε χιλιόμετρα ανά ώρα, ίση με 13.41kph.

- Εποχιακά επίπεδα υγρασίας

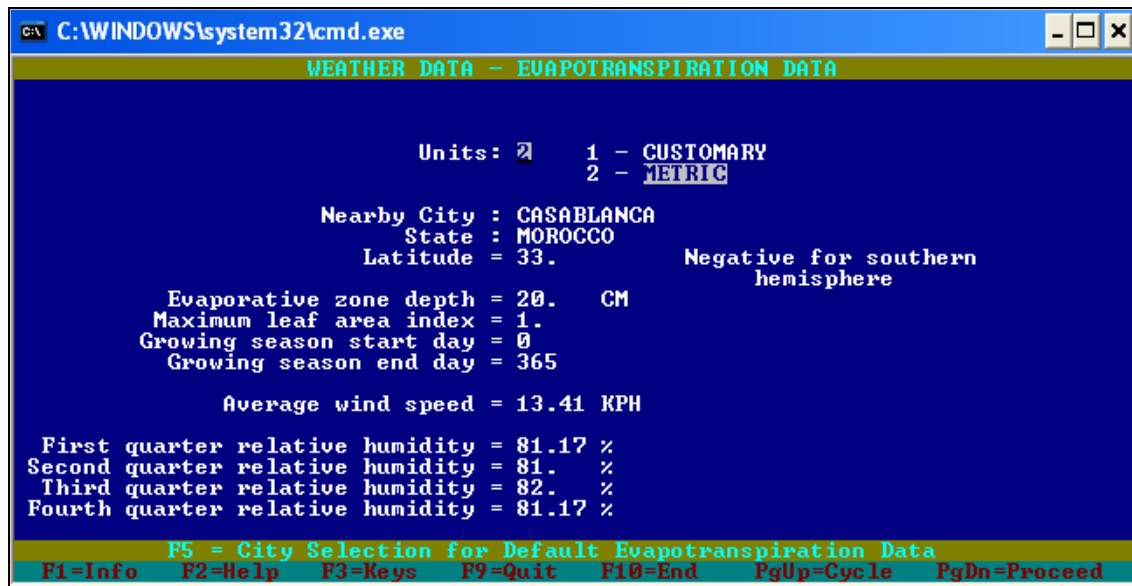
Έχοντας ως στοιχεία εισόδου την μηνιαία υγρασία το πρωί και το απόγευμα, υπολογίστηκε η μέση και στη συνέχεια η σχετική υγρασία ανά εποχή. Οι τιμές αυτές είναι:

(www.myforecast.com/bin/climate.m?city=69815&metric=false)

Μήνας	Πρωί	Απόγευμα	Μέση	Τριμήνου
Ιανουάριος	91	71	81.0	
Φεβρουάριος	91	72	81.5	
Μάρτιος	91	71	81.0	81.17
Απρίλιος	91	72	81.5	
Μάιος	89	71	80.0	
Ιούνιος	89	74	81.5	81.00
Ιούλιος	89	74	81.5	
Αύγουστος	91	74	82.5	
Σεπτέμβριος	91	73	82.0	82.00
Οκτώβριος	90	71	80.5	
Νοέμβριος	89	73	81.0	
Δεκέμβριος	91	73	82.0	81.17

Πίνακας 3. 29: Σχετική υγρασία ανά εποχή

Ολοκληρώνοντας τα στοιχεία που αφορούν την εξατμισοδιαπνοή, στο μοντέλο HELP εισάγονται τα στοιχεία όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 3. 7: Κλιματολογικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο HELP

❖ Εξατμισοδιαπνοή **T**

Απαραίτητη για τον υπολογισμό των στραγγισμάτων είναι και η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή του Azemmour, θεωρείται ότι η ίδια θα επικρατεί και τα επόμενα χρόνια λειτουργίας του Χ.Υ.Τ.Α.. Εισάγεται σε βαθμούς Κελσίου, η μορφή του αρχείου είναι παρόμοια με την κατακρήμνιση.

	OULAD		MOROCCO									
	12.8	13.4	14.1	15.4	17.5	20.2	22.4	22.7	21.7	19.2	16.1	13.5
2011	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	1
2011	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	2
2011	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	3
2011	12.8	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	4
2011	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	5
2011	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	14.1	6
2011	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	7

Πίνακας 3. 30: Ημερήσια κατακρήμνιση για την είσοδο στο μοντέλο HELP

❖ Ηλιακή ακτινοβολία **SR**

Στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμα, ωστόσο το πρόγραμμα HELP, παρέχει τη δυνατότητα προσεγγιστικού υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας από τα στοιχεία που έχουν ήδη εισαχθεί, δηλαδή την κατακρήμνιση και την θερμοκρασία.

❖ Δεδομένα σχεδιασμού

Αρχικά τα δεδομένα σχεδιασμού που πρέπει να εισαχθούν είναι έκταση περιοχής, ποσοστό περιοχής επιφανειακής απορροής και αρχική υγρασία.

- Έκταση περιοχής

Η έκταση της περιοχής μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά ως εξής. Έχοντας ως δεδομένο ότι το σύνολο των απορριμμάτων που θα εισέλθουν στο κύτταρο, το ύψος των στρωμάτων που θα σχεδιαστούν, αλλά και τον όγκο που καταλαμβάνουν τα απορρίμματα, μπορεί να υπολογιστεί η έκταση. Έτσι:

Τα απορρίμματα που εισέρχονται στο κύτταρο σε μελλοντικό χρόνο είναι δίνονται από τον πίνακα που ακολουθεί:

Έτος	Ετήσια απορρίμματα	Έτος	Ετήσια απορρίμματα
	(Mg/year)		(Mg/year)
2011	11,505.38	2024	15,066.56
2012	11,779.31	2025	15,340.50
2013	12,053.25	2026	15,614.44
2014	12,327.19	2027	15,888.38
2015	12,601.13	2028	16,162.31
2016	12,875.06	2029	16,436.25
2017	13,149.00	2030	16,710.19
2018	13,422.94	2031	16,984.13
2019	13,696.88	2032	17,258.06
2020	13,970.81	2033	17,532.00
2021	14,244.75	2034	17,805.94
2022	14,518.69	2035	18,079.88
2023	14,792.63	Σύνολο	369,815.63

Πίνακας 3. 31: Απορρίμματα στο κύτταρο του Oulad Rahtoune

Συνεπώς το σύνολο των απορριμμάτων για 25 χρόνια λειτουργίας ανέρχεται σε 370,000Mg/year, όπου ο κάθε τόνος καταλαμβάνει 1.5 m³ όγκου. Άρα, τα απορρίμματα θα πρέπει να περιέλθουν σε ένα χώρο όγκου: $V = 370,000 \cdot 1.5 = 555,000m^3$

Το ύψος της διαστρωμάτωσης των απορριμμάτων θα θεωρηθεί σύμφωνα με το (Μαρνέλλο, 2007): Βάσει της παραδοσιακής απόθεσης απορριμμάτων κατά την υγειονομική ταφή, τα απορρίμματα αποτίθενται σε στρώσεις 2 – 3 μέτρων. Ιδανική θεωρείται η στρώση των 2.5 μέτρων διότι παρέχει καλή ορατότητα στους χειριστές των μηχανημάτων. Όσον αφορά το πάχος του μονωτικού υλικού αυτό μπορεί να θεωρηθεί 80cm, όπου είναι μια μέση τιμή τους πάχους που είχε χρησιμοποιηθεί στον Χ.Υ.Τ.Α. άνω Λιοσίων.

Συνεπώς, μια ρεαλιστική διαστρωμάτωση του κυττάρου μπορεί να είναι η ακόλουθη:

α/α	Τύπος στρώσης	cm
1	Απορρίμματα	250
2	Μονωτικό υλικό	80
3	Απορρίμματα	250
4	Μονωτικό υλικό	80
5	Απορρίμματα	250
6	Μονωτικό υλικό	80
7	Απορρίμματα	250
8	Μονωτικό υλικό	80
9	Απορρίμματα	250
10	Μονωτικό υλικό	80
11	Απορρίμματα	250
	Ύψος Απορριμμάτων	1500
	Συνολικό Ύψος	1900

Πίνακας 3. 32: Επιλογή διαστρωμάτωσης

Άρα το ύψος των απορριμμάτων θα είναι περίπου 15 μέτρα και όγκος που θα καταλαμβάνουν τα $555,000 m^3$, τότε η επιφάνεια A του χώρου θα είναι:

$$A = \frac{V}{H} = \frac{555,000}{15} = 37,000 m^2 \text{ δηλαδή περίπου 4 εκτάρια.}$$

- Επιφανειακή απορροή

Η επιφανειακή απορροή θεωρείται μηδέν, δηλαδή δεν υπάρχουν εκείνες οι κλίσεις που θα επιτρέψουν, το νερό της βροχής να απομακρυνθεί και έτσι αυτό κατεισδύει στο κύτταρο.

- Αρχικά επίπεδα υγρασίας

Η αρχική υγρασία θεωρείται και αυτή μηδέν, δηλαδή στην επιφάνεια δεν υπάρχουν συγκεντρωμένα κατακρημνίσματα, όπως π.χ. χιόνι κλπ.

Έτσι τα στοιχεία που εισάγονται αρχικά παρουσιάζονται στην ακόλουθη εικόνα:

Εικόνα 3. 8: Βασικά δεδομένα σχεδιασμού

- Χαρακτηριστικά διαστρωματώσεων

Όπως έχει ήδη διαφανεί ο αριθμός των στρώσεων θα είναι έντεκα. Από αυτές οι έξι αφορούν τα απορρίμματα και πέντε το μονωτικό υλικό. Οι στρώσεις και τα ειδικά χαρακτηριστικά αυτών που απαιτούνται παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες:

	LAYER TYPE	LAYER THICKNESS (CM)	SOIL TEXTURE NO.	TOTAL POROSITY (UOL/UOL)	FIELD CAPACITY (UOL/UOL)	WILTING POINT (UOL/UOL)	INITIAL MOISTURE (UOL/UOL)
1	1	200	18	.671	.292	.077	.2921
2	3	80	13	.43	.321	.221	.43
3	1	200	18	.671	.292	.077	.292
4	3	80	13	.43	.321	.221	.43
5	1	200	18	.671	.292	.077	.292
6	3	80	13	.43	.321	.221	.428
7	1	200	18	.671	.292	.077	.292
8	3	80	13	.43	.321	.221	.426
9	1	200	18	.671	.292	.077	.292
10	3	80	13	.43	.321	.221	.424
11	1	200	18	.671	.292	.077	.2919
12							

Εικόνα 3. 9: Χαρακτηριστικά διαστρωματώσεων

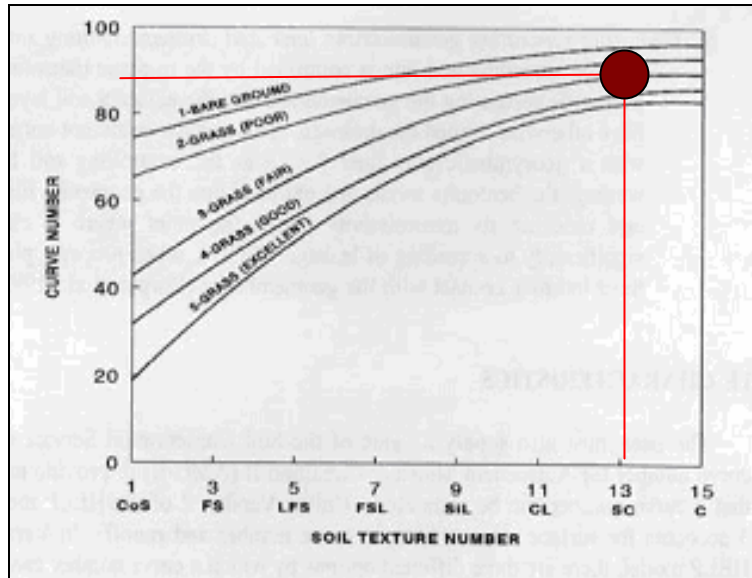
	LAYER TYPE	SAT. HYD. CONDUCTIVITY (CM/SEC)
1	1	.001
2	3	.000033
3	1	.001
4	3	.000033
5	1	.000899
6	3	.0000319
7	1	.000899
8	3	.0000319
9	1	.000899
10	3	.0000319
11	1	.000899
12		

Εικόνα 3. 10: Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα στρωμάτων

Τα ειδικά αυτά χαρακτηριστικά αφορούν, τιμές πορώδους (total porosity), χωρητικότητας μέσου σε υγρασία (field capacity), οριακού σημείο υγρασίας για τα φυτά (wilting point), αρχική περιεκτικότητα υγρασίας (initial moisture) και κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (saturated hydraulic conductivity). Πρέπει να σημειωθεί πως παρόλο που οι στρώσεις είναι όμοιες τα τεχνικά χαρακτηριστικά μεταβάλλονται καθώς οι στρώσεις βρίσκονται σε μεγαλύτερες στρώσεις εξαιτίας της συμπίεσης που υφίστανται τα υλικά. (Φάππα, 1998)

❖ Επιλογή καμπύλης σχεδιασμού

Ως μονωτικό υλικό έχει επιλεγεί στρώμα αργίλου που συμβολίζεται με SC και εμφανίζεται στην Εικόνα 3.11.. Δεδομένου του φτωχού εδάφους η καμπύλη επιλέγεται να έχει από το Διάγραμμα τον αριθμό 90.



Εικόνα 3. 11: Επιλογή καμπύλης σχεδιασμού

❖ Εφαρμογή

Με την είσοδο όλων των προηγούμενων στοιχείων πλέον είναι δυνατόν να γίνει η εκτέλεση του προγράμματος και να υπολογιστούν τα στραγγίσματα που θα παραχθούν στο συγκεκριμένο χώρο από την κατακρήμιση. Επειδή τα κλιματολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίδια θα παρουσιαστεί μία χρονιά, οι υπόλοιπες είναι όμοιες.

Μηνιαίες τιμές για το 2011

MONTHLY TOTALS (MM) FOR YEAR 2011						
	JAN/JUL	FEB/AUG	MAR/SEP	APR/OCT	MAY/NOV	JUN/DEC
PRECIPITATION	62.0 0.0	58.8 0.4	49.6 6.0	39.0 31.0	18.6 75.0	6.0 77.5
RUNOFF	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00
EVAPOTRANSPIRATION	46.63 0.00	52.75 0.40	80.48 6.00	30.92 20.52	27.90 48.03	7.05 49.27
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 2	22.633 0.000	7.079 0.000	1.732 0.000	0.008 0.000	0.002 0.007	0.000 26.945
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 4	22.633 0.000	7.079 0.000	1.732 0.000	0.008 0.000	0.002 0.007	0.000 26.946
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 6	22.633 0.000	7.079 0.000	1.732 0.000	0.008 0.000	0.002 0.007	0.000 26.847
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 8	22.633 0.000	7.079 0.000	1.732 0.000	0.008 0.000	0.002 0.007	0.000 26.847
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 10	22.633 0.000	7.079 0.000	1.732 0.000	0.008 0.000	0.002 0.007	0.000 26.847
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 11	24.821 0.000	6.591 0.000	2.117 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 1.084

Εικόνα 3. 12: Μηνιαίες τιμές για το 2011

	MM	CU. METERS	PERCENT
PRECIPITATION	423.90	16956.045	100.00
RUNOFF	0.000	0.000	0.00
EVAPOTRANSPIRATION	369.974	14798.966	87.28
PERC./LEAKAGE THROUGH LAYER 2	58.406250	2336.250	13.78
AUG. HEAD ON TOP OF LAYER 2	0.0460		
PERC./LEAKAGE THROUGH LAYER 4	58.406250	2336.250	13.78
AUG. HEAD ON TOP OF LAYER 4	0.0527		
PERC./LEAKAGE THROUGH LAYER 6	58.307312	2332.292	13.75
AUG. HEAD ON TOP OF LAYER 6	0.0522		
PERC./LEAKAGE THROUGH LAYER 8	58.307316	2332.293	13.75
AUG. HEAD ON TOP OF LAYER 8	0.0522		
PERC./LEAKAGE THROUGH LAYER 10	58.307327	2332.293	13.75
AUG. HEAD ON TOP OF LAYER 10	0.0522		
PERC./LEAKAGE THROUGH LAYER 11	61.057365	2442.295	14.40

Εικόνα 3. 13: Ετήσιες τιμές για το 2011

Από το μοντέλο HELP υπολογίστηκε η ετήσια τιμή της εξατμισοδιαπνοής ίση με 369.974mm ή 14798.96 m^3 , ενώ τα στραγγίσματα που θα καταλήξουν στο τελευταίο στρώμα είναι 2442.295 m^3 .

Επειδή τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούν μόνο ένα έτος, θεωρείται πως για όλα τα χρόνια η εξατμισοδιαπνοή έχει την ίδια τιμή.

❖ Επίπεδο υγρασίας απορριμμάτων **MCP**

Ο υπολογισμός των στραγγισμάτων που παράγονται από την υγρασία που φέρουν τα ίδια τα απορρίμματα, γίνεται με τον ίδιο τρόπο που έγινε και στην περιοχή του Azemmour. Το μόνο που διαφοροποιείται είναι οι ποσότητες, ενώ το 1.05 m^3 ανά τόνο απορριμμάτων εξακολουθεί να ισχύει. Έτσι συμπληρώνεται ο πίνακας:

Έτος	Ετήσια απορρίμματα	MCP
	(Mg/year)	m^3
2011	11,505.38	12,080.64
2012	11,779.31	12,368.28
2013	12,053.25	12,655.91
2014	12,327.19	12,943.55
2015	12,601.13	13,231.18
2016	12,875.06	13,518.82
2017	13,149.00	13,806.45
2018	13,422.94	14,094.08
2019	13,696.88	14,381.72
2020	13,970.81	14,669.35
2021	14,244.75	14,956.99

Έτος	Ετήσια απορρίμματα	MCP
	(Mg/year)	m ³
2022	14,518.69	15,244.62
2023	14,792.63	15,532.26
2024	15,066.56	15,819.89
2025	15,340.50	16,107.53
2026	15,614.44	16,395.16
2027	15,888.38	16,682.79
2028	16,162.31	16,970.43
2029	16,436.25	17,258.06
2030	16,710.19	17,545.70
2031	16,984.13	17,833.33
2032	17,258.06	18,120.97
2033	17,532.00	18,408.60
2034	17,805.94	18,696.23
2035	18,079.88	18,983.87
	Σύνολο	388,306.41

Πίνακας 3. 33: Ποσοστό υγρασίας στα απορρίμματα

➤ Υπολογισμός στραγγισμάτων

Θεωρείται ότι το νέο κύτταρο θα έχει μία έκταση 4 εκτάρια, έτσι τα στραγγίσματα είναι:

$$Perc = P - RO - ET - I + MCP + G$$

$$Perc = 423.9mm \cdot 40000m^2 - 0 - 369.97mm \cdot 40000m^2 - 0 + 12080m^3 \cdot 20\% + 0$$

$$Perc = 423.9 \cdot 10^{-3} m \cdot 40000m^2 - 369.97 \cdot 10^{-3} m \cdot 40000m^2 + 12080m^3 \cdot 20\%$$

$$Perc = 16956m^3 - 14798m^3 + 2416m^3$$

$$Perc = 4574m^3$$

Ενεργώντας ανάλογα και για τα επόμενα χρόνια, προκύπτουν τα ακόλουθα στραγγίσματα από το νέο κύτταρο.

Έτος	P	ET	MCP	20% MCP	Στραγγίσματα
2011	16956	14798	12,081	2,416	4,574
2012			12,368	2,474	4,632
2013			12,656	2,531	4,689
2014			12,944	2,589	4,747
2015			13,231	2,646	4,804
2016			13,519	2,704	4,862
2017			13,806	2,761	4,919
2018			14,094	2,819	4,977
2019			14,382	2,876	5,034
2020			14,669	2,934	5,092
2021			14,957	2,991	5,149
2022			15,245	3,049	5,207
2023			15,532	3,106	5,264
2024	15,820	3,164	5,322		
2025	16,108	3,222	5,380		
2026	16,395	3,279	5,437		
2027	16,683	3,337	5,495		
2028	16,970	3,394	5,552		
2029	17,258	3,452	5,610		

Έτος	MCP	20% MCP	Στραγγίσματα
2030	17,546	3,509	5,667
2031	17,833	3,567	5,725
2032	18,121	3,624	5,782
2033	18,409	3,682	5,840
2034	18,696	3,739	5,897
2035	18,984	3,797	5,955
		ΣΥΝΟΛΟ	77,661

Πίνακας 3. 34: Στραγγίσματα στην περιοχή του Oulad Rahmoune

3.5. Συνολικές Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα στοιχεία των επιπτώσεων στο περιβάλλον, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή των μοντέλων, για να δημιουργηθεί μία συνολική εικόνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Azemmour	Αέριες Εκπομπές (50 έτη)			
	Μεθάνιο	Διοξείδιο του Άνθρακα	NMOC	Συνολικές Εκπομπές
εκατ. m ³	14.1	11.5	0.06	25.6
Στραγγίσματα (15 έτη)				
m ³	51,763			
Oulad Rahmoune	Αέριες Εκπομπές (50 έτη)			
	Μεθάνιο	Διοξείδιο του Άνθρακα	NMOC	Συνολικές Εκπομπές
εκατ. m ³	32.0	26.2	0.14	58.2
Στραγγίσματα (25 έτη)				
m ³	77,661			

Πίνακας 3. 35: Συνολικές επιπτώσεις στις περιοχές Azemmour και Oulad Rahmoune

Και για τις δύο περιοχές, οι συνολικές εκπομπές που παρουσιάζονται αφορούν τις εκπομπές εκείνες που θα συμβούν αν δεν σχεδιαστεί κανένα έργο περιορισμού τους. Έτσι, ορισμένες από αυτές τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχουν ήδη συμβεί και θα εξακολουθούν να συμβαίνουν, όπως γίνεται δηλαδή με την περιοχή του Azemmour, ενώ άλλες όπως στην περιοχή του Oulad Rahmoune, δεν έχουν συμβεί και σε μεγάλο μέρος θα αποφευχθούν.

Συγκρίνοντας τα στραγγίσματα που παράγονται από τον υφιστάμενο χώρο και από το σχεδιαζόμενο Χ.Υ.Τ.Α. προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Κάνοντας μία αναγωγή των στραγγισμάτων σε βάθος 25ετίας προκύπτουν για τον υφιστάμενο χώρο απόθεσης, παραγόμενα στραγγίσματα 87376 m³, περίπου 10000 m³ περισσότερα από το σχεδιαζόμενο Χ.Υ.Τ.Α. για το ίδιο βάθος χρόνου. Αν συνυπολογιστεί και το γεγονός πως τα απορρίμματα που οδηγούνται στο νέο Χ.Υ.Τ.Α. είναι κατά πολύ αυξημένα

σε σχέση με τον υφιστάμενο χώρο, θα ανέμενε κανείς να συμβαίνει κάτι ανάλογο και με τα στραγγίσματα. Ωστόσο, εξαιτίας των επάλληλων στρώσεων κατά το σχεδιασμό του Χ.Υ.Τ.Α. μέρος των στραγγισμάτων κρατείται στις στρώσεις και δε διαφεύγει. Είναι και αυτό ένα σημαντικό πλεονέκτημα των οργανωμένων χώρων απόθεσης απορριμμάτων.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (ΑΚΖ)

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) θα απασχολήσει το κεφάλαιο αυτό. Μέχρις στιγμής, έχουν ήδη εκτιμηθεί οι ποσότητες των στραγγισμάτων και των αερίων εκπομπών, που αφορούν στον υπάρχοντα χώρο απόθεσης της περιοχής του Azempou και το σχεδιαζόμενο στην περιοχή του Oulad Rahmoune.

Στη συνέχεια θα γίνει εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων μέσα από τη χρήση της τεχνικής της 'Ανάλυσης Κύκλου Ζωής' μιας δραστηριότητας όπως η δημιουργία χώρου απόθεσης απορριμμάτων. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός θα ακολουθήσει λεπτομερής περιγραφή του τι είναι, τι εκφράζει η Ανάλυση Κύκλου Ζωής και πως υλοποιείται, ενώ στη συνέχεια θα γίνει η εφαρμογή της.

4.1. Έννοια της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η ΑΚΖ, σύμφωνα με τον οργανισμό SETAC (Society of Environmental Toxicology and Applied Chemistry) (Κορωνάιος, 2008), ορίζεται ως:

'..μία τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα, προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Στη συνέχεια εκτιμώνται οι επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζονται οι δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η ανάλυση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας: εξαγωγή και επεξεργασία πρώτων υλών, κατασκευή μεταφορά και διανομή, χρήση, πιθανή επαναχρησιμοποίηση, συντήρηση, ανακύκλωση και τελική απόρριψη. Πρόκειται για μία λεπτομερή μελέτη του προϊόντος ή της διεργασίας από την αρχή μέχρι το τέλος της ζωής του.' (SETAC, 1996)

Ο ορισμός αυτός είναι γενικός και καλύπτει όλες τις δυνατές εφαρμογές της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, ωστόσο η εφαρμογή της σε ένα Χ.Υ.Τ.Α. αφορά μία δραστηριότητα, όπου προσδιορίζονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται, δηλαδή τα απορρίμματα, όπως και τα απόβλητα που ελευθερώνονται στο περιβάλλον. Εκτιμώνται επίσης οι επιπτώσεις των αποβλήτων αυτών και διερευνώνται πιθανές βελτιώσεις.

4.2. Μεθοδολογία Εφαρμογής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

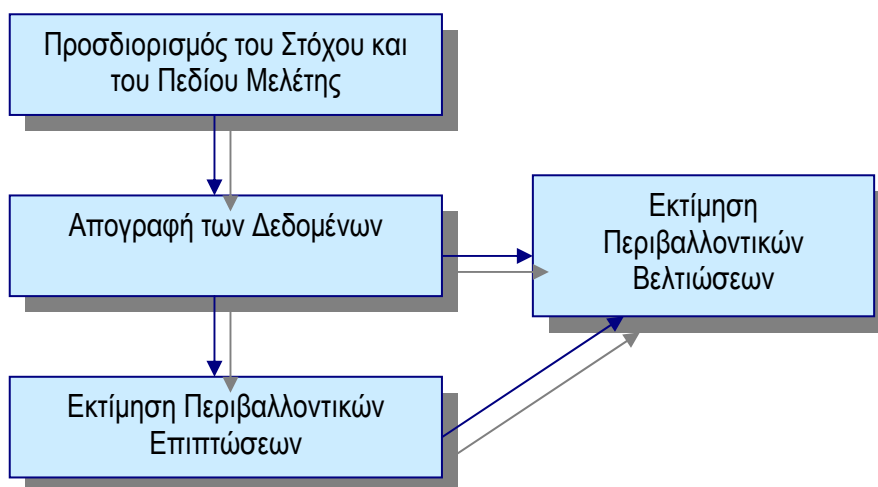
Τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου ΑΚΖ, όπως η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κ.λπ, ταξινομούνται σε βασικά βήματα τα οποία είναι: (Τριανταφυλλόπουλος , 2006)

- Προσδιορισμός του στόχου και του πεδίου της μελέτης
- Απογραφή των δεδομένων
- Εκτίμηση επιπτώσεων

Στα βήματα αυτά προστίθεται, άλλο ένα αυτό της εκτίμησης των περιβαλλοντικών βελτιώσεων (Κορωναίος, 2008). Βέβαια οι περιβαλλοντικές βελτιώσεις μπορεί να διαφανούν με την απογραφή των δεδομένων και πριν ολοκληρωθεί η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Το επιπρόσθετο βήμα της εκτίμησης των περιβαλλοντικών βελτιώσεων θα εφαρμοστεί στη δραστηριότητα του Χ.Υ.Τ.Α. στις δύο περιοχές –μελέτες περίπτωσης- όπου θα γίνει η ανάλυση.

Το διάγραμμα ροής της μεθόδου ΑΚΖ που θα ακολουθηθεί είναι:



Διάγραμμα 4. 1: Βήματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

4.3. Προσδιορισμός του Στόχου και του Πεδίου Μελέτης

Βασικό σημείο εκκίνησης μιας ΑΚΖ είναι η περιγραφή του στόχου και του πεδίου της μελέτης.

Συγκεκριμένα:

4.3.1. Στόχος μελέτης

Ο σκοπός της μελέτης είναι πολύ σημαντικό να καθορίζεται στην ΑΚΖ, ούτως ώστε τα δεδομένα που προκύπτουν να μελετώνται με τρόπο που συνάδει με τους σκοπούς της μελέτης.

Έτσι στη συγκεκριμένη μελέτη, σκοπός είναι η διερεύνηση της δυνατότητας απομάκρυνσης των απορριμμάτων, με τρόπο όπου οι περιβαλλοντικές συνέπειες να περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό.

4.3.2. Αντικείμενο/Πεδίο μελέτης

Το αντικείμενο μιας μελέτης καθορίζει το σύστημα, τα όρια, τις απαιτήσεις δεδομένων, τις υποθέσεις και τους περιορισμούς. (Κορωνάιος, 2008)

- Το σύστημα και όρια του συστήματος

Ως σύστημα ορίζεται ο Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων για την περιοχή του Oulad Rahmoune, ενώ για την περιοχή του Azemmour, όπου δεν λειτουργεί Χ.Υ.Τ.Α. ως σύστημα νοείται ο χώρος ελεύθερης απόθεσης απορριμμάτων. Όσον αφορά τα όρια τους συστήματος, αυτά ξεχωρίζουν το περιβάλλον του συστήματος από το εξωτερικό περιβάλλον.

- Απαιτήσεις δεδομένων

Οι απαιτήσεις σε δεδομένα έχουν ήδη διαφανεί από το δεύτερο κεφάλαιο, που έγινε η περιγραφή των μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν. Για τα μοντέλα αυτά που αφορούν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τη δημιουργία στραγγισμάτων, τα δεδομένα που απαιτούνται παρουσιάζονται αναλυτικά.

Για τα μοντέλα που υπολογίζουν τις εκπομπές αερίων, αναγκαίες ήταν οι ποσότητες των απορριμμάτων που εισρέουν στο κύτταρο-σύστημα, όπως επίσης και δεδομένα περισσότερο τεχνικά και αφορούν στην παραγωγή των αερίων.

Όσον αφορά τα μοντέλα υπολογισμού στραγγισμάτων τα δεδομένα, διακρίνονται σε μετεωρολογικά και σε δεδομένα σχεδιασμού του κυττάρου.

- Υποθέσεις και περιορισμοί

Οι υποθέσεις και οι περιορισμοί που έχουν ληφθεί παρουσιάζονται με τον καλύτερο τρόπο κατά την εφαρμογή των συγκεκριμένων μοντέλων, στο τρίτο κεφάλαιο. Οι περιορισμοί στον ακριβή προσδιορισμό των μεγεθών όπως π.χ. το ποσοστό μεθανίου στο βιοαέριο, οι περιορισμοί στην εύρεση των απαιτούμενων δεδομένων, όπως π.χ. κλιματολογικά δεδομένα, οδηγούν στη θεώρηση των κατάλληλων υποθέσεων. Αυτό που έχει σημασία είναι πως τίθενται οι υποθέσεις, λαμβάνοντας υπ' όψιν βιβλιογραφικές αναφορές για παρόμοιες περιπτώσεις, εξασφαλίζοντας έτσι τη μέγιστη δυνατή προσέγγιση στα πραγματικά μεγέθη του προβλήματος.

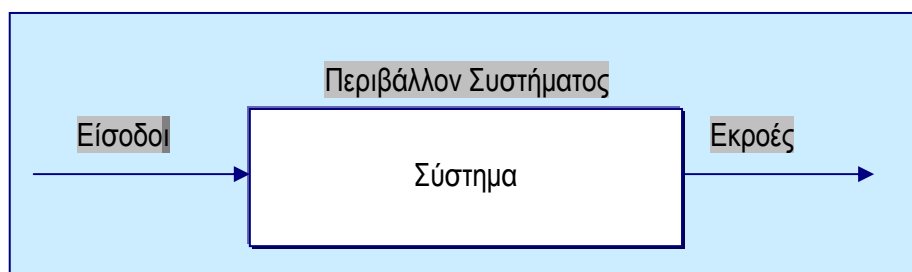
4.3.3. Ορισμός λειτουργικής μονάδας

Η λειτουργική μονάδα είναι ένα μέτρο, που χαρακτηρίζει την απόδοση του συστήματος και χρησιμοποιείται ως μονάδα αναφοράς. Έτσι, στη συγκεκριμένη ΑΚΖ χρησιμοποιείται ως μονάδα αναφοράς ο τόνος Αστικών Στερεών Αποβλήτων. (1T ΑΣΑ), όπου πλέον οι εισροές και οι εκροές από το σύστημα θα έχουν εκφραστεί ανά Τ Α.Σ.Α..

4.4. Απογραφή των Δεδομένων

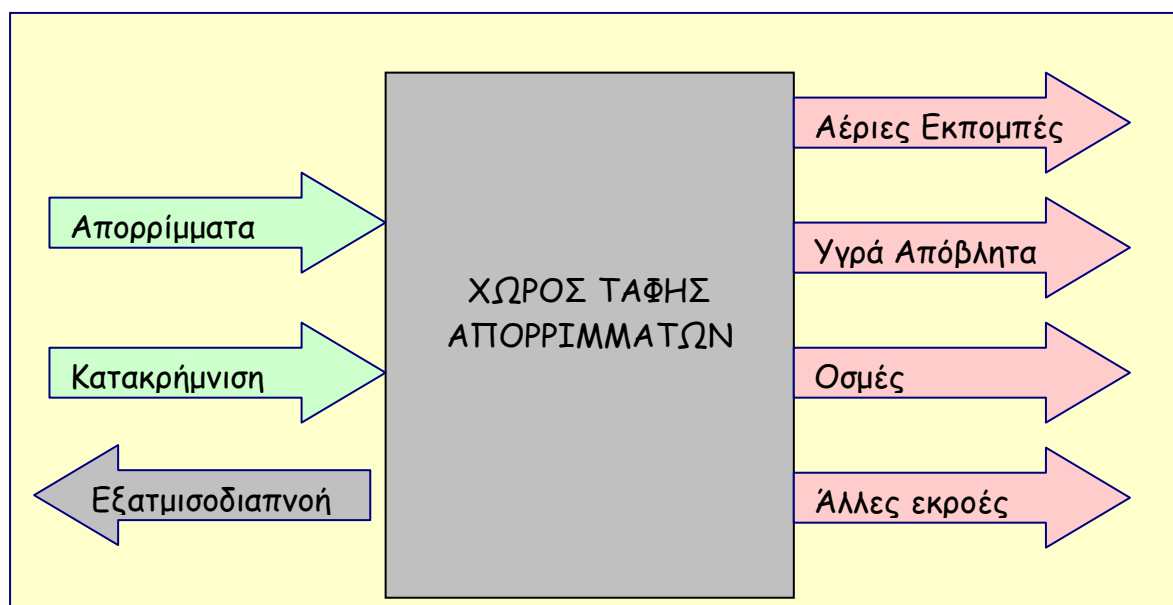
Κατά τον προσδιορισμό του αντικειμένου της ΑΚΖ έχει οριστεί το σύστημα και τα όρια του. Για να προχωρήσει το δεύτερο στάδιο της ΑΚΖ είναι να οριστούν στο σύστημα αυτό οι εισοδοί και οι εκροές του.

Το σύστημα μπορεί να περιγραφεί από το ακόλουθο σχήμα:



Διάγραμμα 4. 2: Μορφή του συστήματος

Στο σύστημα του χώρου ανεξέλεγκτης απόθεσης (Azemmour) και στο σύστημα υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Oulad Rahmoune) οι εισοδοί και οι εκροές είναι παρόμοιες. Οι επιπτώσεις είναι αυτές που μεταβάλλονται και θα αναγραφούν στο επόμενο στάδιο. Συγκεκριμένα οι εισοδοί και οι εκροές των δύο συστημάτων είναι:



Διάγραμμα 4. 3: Εισροές και εκροές του συστήματος

4.4.1. Περιοχή Azemmour

Για την περιοχή του Azemmour οι *είσοδοι* είναι:

- Απορρίμματα

Για την χρονική διάρκεια 1995 – 2010 ήταν τα απορρίμματα $146,831 T_{A.S.A.}$. Πρέπει να σημειωθεί πως τα απορρίμματα μεταφέρουν μαζί τους και υψηλές ποσότητες νερού, οι οποίες ανέρχονται σε $1.05 m^3 / T_{A.S.A.}$ (βλ. Ενότητα 3.4.1.)

- Κατακρήμνιση

Κατά την κατακρήμνιση, ποσότητες νερού εισέρχονται στην επιφάνεια του χώρου απόθεσης των απορριμμάτων όμως, ένα μεγάλο μέρος της ποσότητας αυτής επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Η ποσότητα που εισέρχεται στο κύτταρο είναι $20,928 m^3$ ή $0.14 m^3 / T_{A.S.A.}$.

Όσον αφορά τις εκροές:

- Αέριες εκπομπές

Οι αέριες εκπομπές διακρίνονται σε μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και NMOC (Non Methane Organic Compounds). Οι εκπομπές αυτές είναι:

Μεθάνιο: 14.6 εκ. m^3 ή $96 m^3 / T_{A.S.A.}$

Διοξείδιο του άνθρακα: 11.5 εκ. m^3 ή $78.3 m^3 / T_{A.S.A.}$

NMOC: 0.06 εκ. m^3 ή $0.4 m^3 / T_{A.S.A.}$

- Στραγγίσματα

Τα στραγγίσματα για την περιοχή του Azemmour υπολογίστηκαν σε $51,763 m^3$ ή $0.35 m^3 / T_{A.S.A.}$

4.4.2. Περιοχή Oulad Rahmoune

Κατά αντίστοιχο τρόπο περιγράφονται οι *είσοδοι* και οι εκροές στην περιοχή του Oulad Rahmoune. Έτσι οι *είσοδοι* στο σύστημα είναι:

- Απορρίμματα

Για την χρονική διάρκεια 2011 – 2035 τα απορρίμματα ανέρχονται σε $369,815 T_{A.S.A.}$. Όπως και στην περιοχή του Azemmour μεταφέρουν μαζί τους νερό σε ποσότητα $1.05 m^3 / T_{A.S.A.}$

- Κατακρήμνιση

Στην περιοχή αυτή οι ποσότητες νερού που εισρέουν στο κύτταρο είναι υψηλότερες γιατί ο Χ.Υ.Τ.Α. λειτουργεί περισσότερα χρόνια. Οι ποσότητες αυτές είναι $53,950 m^3$ ή

$0.14 m^3 / T_{A.S.A.}$. Είναι φανερό, πως ανά τόνο η ποσότητα νερού που εισρέει από την κατακρήμνιση είναι το ίδιο.

Οι δε εκροές είναι:

- Αέριες εκπομπές

Οι εκπομπές μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και NMOC είναι:

Μεθάνιο: 32.0 εκ. m^3 ή $82 m^3 / T_{A.S.A.}$

Διοξείδιο του άνθρακα: 26.2 εκ. m^3 ή $67 m^3 / T_{A.S.A.}$

NMOC: 0.14 εκ. m^3 ή $0.35 m^3 / T_{A.S.A.}$

- Στραγγίσματα

Τα στραγγίσματα στην περιοχή του Oulad Rahmoune είναι $77,661 m^3$ ή $0.20 m^3 / T_{A.S.A.}$

4.5. Εκτίμηση Επιπτώσεων

Μέχρι στιγμής έχει γίνει ο προσδιορισμός των επιπτώσεων της δραστηριότητας που περιγράφεται. Οι επιπτώσεις αυτές για να μπορέσουν να εκτιμηθούν, θα πρέπει να οριστούν σε μία κοινή βάση αναφοράς. Όπως αναφέρεται στον Κορωναίο, (2008):

‘Η εκτίμηση των επιπτώσεων στην AKZ είναι μία διαδικασία / τεχνική, ποσοτική ή και ποιοτική για να μπορέσει ο μελετητής να χαρακτηρίσει και να εκτιμήσει τις συνέπειες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι οποίες προσδιορίζονται στο στάδιο απογραφής των δεδομένων.[...] Η εκτίμηση επιπτώσεων αποτελείται από τρία μέρη: Ταξινόμηση, Χαρακτηρισμός, και Αξιολόγηση.’

Στη συνέχεια θα γίνει προσπάθεια εφαρμογής της εκτίμησης και της ταξινόμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στην αξιολόγηση που δίνει προτεραιότητες και ‘βάρη’ στις επιπτώσεις, και αφορά περισσότερο τις κοινωνικές διαστάσεις της διαχείρισης του προβλήματος δε θα γίνει κάποια επί μέρους ανάλυση. Στην εκτίμηση και ταξινόμηση θα ακολουθηθεί το πλαίσιο που καθορίζεται από την προσέγγιση του Κορωναίου, (2008):

4.5.1. Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον στα πλαίσια της παρούσας προσέγγισης γίνεται σε τρία επίπεδα, όπου στο αντίστοιχο επίπεδο θα ταξινομηθούν οι επιπτώσεις που προσδιορίστηκαν στην απογραφή δεδομένων. Τα επίπεδα αυτά αφορούν στα:

- Εξάντληση των φυσικών πόρων

Στην κατηγορία της εξάντλησης των φυσικών πόρων, δεν κατατάσσεται κάποια από τις εκροές που περιγράφηκαν. Ωστόσο, δε θα πρέπει να αγνοούνται τα καύσιμα που καταναλώνονται

κατά τη μεταφορά των απορριμμάτων προς το χώρο διάθεσης. Η κατανάλωση αυτή είναι συσχετισμένη με τον όγκο των απορριμμάτων, το σχεδιασμό της συγκομιδής, αλλά και την τεχνολογία των οχημάτων που χρησιμοποιούνται όπως περιγράφεται στην παράγραφο 1.5.5..

- Ανθρώπινη υγεία

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία προέρχονται από τις εκπομπές NMOC, τις οσμές και από τα παραγόμενα στραγγίσματα. Διότι σε περίπτωση που τα στραγγίσματα περάσουν στον υδροφόρο ορίζοντα ή με οποιοδήποτε άλλο τρόπο ο άνθρωπος εκτεθεί σε αυτά, οι συνέπειες για αυτόν θα είναι σοβαρές.

- Υγεία του οικοσυστήματος

Στην υγεία του οικοσυστήματος συγκαταλέγονται οι εκπομπές μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και NMOC, όπως και η παραγωγή στραγγισμάτων.

4.5.2. Χαρακτηρισμός

Προτού γίνει η ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σημασία έχει να αναφερθούν οι κατηγορίες τους, σε ποιους τομείς δηλαδή, οι εκροές αυτές μπορεί να επιδράσουν στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Αυτές είναι:

- Φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος
- Σχηματισμός φωτοοξειδωτικών
- Ευτροφισμός
- Όξυνση της ατμόσφαιρας

Για κάθε κατηγορία προσδιορίζεται και ο αντίστοιχος δείκτης ούτως ώστε να γίνει η ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Οι δείκτες αυτοί είναι (Τριανταφυλλόπουλος, 2006):

Κατηγορία Επίπτωσης	Δείκτης
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	Kg CO_2 eq. / $T_{A.S.A.}$
Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος	Kg CFC eq. / $T_{A.S.A.}$
Σχηματισμός φωτοοξειδωτικών	Kg ethylene eq. / $T_{A.S.A.}$
Ευτροφισμός	Kg PO_4^{3-} eq. / $T_{A.S.A.}$
Όξυνση της ατμόσφαιρας	Kg SO_2 eq. / $T_{A.S.A.}$

Πίνακας 4. 1: Κατηγορίες επιπτώσεων

Ο υπολογισμός των επιπτώσεων μπορεί να γίνει ποσοτικά στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου, όπου έχει καταστεί δυνατός ο υπολογισμός των αέριων εκπομπών.

Για τις υπόλοιπες κατηγορίες θα ακολουθηθεί ποιοτικός προσδιορισμός. Συγκεκριμένα:

Φαινόμενο του θερμοκηπίου

- Περιοχή Azemmour

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανέρχονται σε $78.3 m^3 / T_{A.S.A.}$. Οι εκπομπές αυτές δεν θεωρείται ότι συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, διότι οι ποσότητες αυτές που εκλύονται κατά τη βιοαποδόμηση του οργανικού κλάσματος, έχουν δεσμευτεί κατά τη σύνθεσή του.

Δεν ισχύει το ίδιο για το μεθάνιο όπου οι εκπομπές είναι $96 m^3 / T_{A.S.A.}$. Δεδομένου ότι το μεθάνιο, αποθηκεύει τη θερμότητα 23 φορές περισσότερο από το διοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να θεωρηθεί πως οι παραγόμενες ποσότητες μεθανίου ισοδυναμούν με ποσότητες $2208 m^3 / T_{A.S.A.}$ διοξειδίου του άνθρακα ή 335.8 εκ. m^3 .

Στις επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, προστίθενται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προέρχεται κατά την μεταφορά των απορριμμάτων στο χώρο απόθεσης, οι οποίες ωστόσο δεν έχουν ποσοτικοποιηθεί στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

- Περιοχή Oulad Rahmoune

Όμοια στην περιοχή του Oulad Rahmoune οι εκπομπές μεθανίου είναι $82 m^3 / T_{A.S.A.}$ που αντιστοιχούν σε $1886 m^3 / T_{A.S.A.}$ διοξειδίου του άνθρακα ή 697 εκ. m^3 .

Υπόλοιπες επιπτώσεις

Οι υπόλοιπες επιπτώσεις που μπορεί να προσδιοριστούν ποιοτικά, παρόλο του ποσοτικού χαρακτήρα τους είναι μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος, σχηματισμός φωτοοξειδωτικών, ευτροφισμός και οξίνιση της ατμόσφαιρας.

Συγκρίνοντας τους δύο χώρους απόθεσης απορριμμάτων, δεδομένης της ίδιας σύστασης απορριμμάτων που θα εισέρχονται στο χώρο και θεωρητικά των ίδιων μετεωρολογικών συνθηκών, οι επιπτώσεις θα είναι ανάλογες της μάζας των απορριμμάτων. Έτσι δεδομένων των απορριμμάτων στην περιοχή του Azemmour που είναι $146,831 T_{A.S.A.}$, και στην περιοχή Oulad Rahmoune $369,815 T_{A.S.A.}$, οι επιπτώσεις της δεύτερης περιοχής θα είναι 2.5 φορές περισσότερες από την πρώτη. Το πλεονέκτημα της περιοχής αυτής είναι ότι με κατάλληλο σχεδιασμό οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να αποφευχθούν, μέσα από μία στρατηγική βελτιώσεων.

4.6. Εκτίμηση Βελτιώσεων

Όσον αφορά στην εκτίμηση των βελτιώσεων, αυτή (Κορωναίος, 2008):

‘ορίζεται ως η συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση της ενέργειας και των πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ’ όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής προϊόντων, διεργασιών, δραστηριοτήτων. Η ανάλυση αυτή είναι δυνατόν να περιέχει τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά μέτρα βελτίωσης, όπως αλλαγές στο προϊόν, στη διεργασία και το σχεδιασμό, στη χρήση των πρώτων υλών, στη χρήση από τον καταναλωτή και στη διαχείριση των απορριμμάτων.’ (SETAC, 1996)

Περιβαλλοντικές βελτιώσεις μπορούν να γίνουν στο σχεδιαζόμενο Χ.Υ.Τ.Α. στην περιοχή του Oulad Rahmoune. Στις δύο κυριότερες επιπτώσεις, αυτές που αφορούν στα στραγγίσματα και την παραγωγή αέριων ρύπων, μπορεί να δημιουργηθεί υποδομή η οποία συλλέγει και επεξεργάζεται τις εκροές αυτές. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα σύστημα συλλογής και εκμετάλλευσης βιοαερίου και σύστημα συλλογής και επεξεργασίας στραγγισμάτων.

4.6.1. Συλλογή βιοαερίου

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός οργανωμένου χώρου απόθεσης απορριμμάτων είναι η συλλογή του παραγόμενου βιοαερίου. Για να καταστεί εφικτή η συλλογή του βιοαερίου, απαιτείται η κατασκευή δικτύου συλλογής.

Η μορφή του δικτύου αυτού εξαρτάται από τα γενικότερα χαρακτηριστικά του Χ.Υ.Τ.Α. (ύψος στρώματος ταφής, μορφολογία βιοαντιδραστήρα κ.λπ.. Σε γενικές γραμμές ωστόσο, σχεδιάζονται κατακόρυφες και οριζόντιες οπές, από τις οποίες διέρχεται το βιοαέριο. Παράμετροι για την κατασκευή τους, αποτελούν χαρακτηριστικά όπως, η διαστασιολόγηση των οπών, η δυνατότητα καθορισμού ενιαίας πίεσης λειτουργίας κ.α. Για την άντληση χρησιμοποιούνται αντλίες που οδηγούν το αέριο που συλλέχθηκε στο βιοαντιδραστήρα για καύση. (Στάμελος, κ.α.)

Το ποσοστό αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου διαφοροποιείται από τον ένα ΧΥΤΑ στον άλλο. Ωστόσο αυτό που θα πρέπει να τονιστεί είναι η τάση αυτό να βελτιώνεται με την πάροδο των χρόνων και την αντίστοιχη τεχνολογική εξέλιξη που αυτή συνεπάγεται. Βιβλιογραφικά, προκύπτει από αντίστοιχες εφαρμογές, η συλλογή του βιοαερίου τόσο σε χώρους απόθεσης που έπαψαν να λειτουργούν, όσο και σε σχεδιαζόμενους Χ.Υ.Τ.Α. τα εξής: Για μεν τους πρώτους ικανότητα συλλογής σε ποσοστό 68% ~ 70%, όπως παρουσιάζεται σε αντίστοιχη μελέτη στην περιοχή της πόλης Ensenada στο Μεξικό.

(www.methanetomarkets.org/events/2007/all/Landfill/LF_MX_Ensenada_poster.pdf)

Ενώ για οργανωμένους Χ.Υ.Τ.Α. το ποσοστό συλλογής του παραγόμενου βιοαερίου μπορεί να ανέλθει έως και 80%, αν και υπάρχουν αρκετές εφαρμογές που δεν κατέστη δυνατό το αναμενόμενο ποσοστό συλλογής του.

(<http://siteresources.worldbank.org/INTLACREGTOPURBDEV/Resources/840343-1178120035287/EditedLFGWorkshopReportAugust14.pdf>)

Εν κατακλείδι τα ποσοστά που περιγράφονται θα μπορούσαν να θεωρηθούν αισιόδοξα (70% για την περιοχή του Azemmour και 80% για την περιοχή του Oulad Rahmoune), γιατί έτσι προσδιορίζεται το μέγιστο της περιβαλλοντικής βελτίωσης.

Καύση

Στη συνέχεια θα υπολογιστούν οι βελτιώσεις στην περίπτωση που επιλεγεί ως τρόπος επεξεργασίας η καύση.

- **Περιοχή Azemmour**

Το 70% του βιοαερίου που μπορεί να συλλεχθεί θα αφορά τις ποσότητες εκείνες που εκλύονται από το 2011 έως τη λήξη του χρονικού ορίζοντα των 50 ετών από την έναρξη λειτουργίας, δηλαδή το 2045.

Για το χρονικό διάστημα αυτό οι ποσότητες που θα διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα είναι 10.7 εκ. m^3 , απ' όπου τελικά θα συλλεχθεί το 70%, δηλαδή 7.5 εκ. m^3 . Αν το μεθάνιο οδηγηθεί στην καύση θα ελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα διοξείδιο του άνθρακα, που ωστόσο έχει 23 φορές λιγότερη ικανότητας απορρόφησης της θερμοκρασίας. Συνεπώς, αντί της θεωρητικά ισοδύναμης ποσότητας των 7.5 εκ. m^3 x 23 ή 172.5 εκ. $m^3 CO_2$ θα διαφύγουν 7.5 εκ. $m^3 CO_2$. Στην ποσότητα αυτή προστίθεται και αυτή που θα διαφύγει $10.7 \cdot 30\% \cdot 23 = 73.8$ εκ. $m^3 CO_2$, που τελικά ισούται με 81.3 εκ. $m^3 CO_2$.

Από τη βελτίωση αυτή αντί των 335.8 εκ. m^3 ισοδύναμων του CO_2 , που θα διέφευγαν χωρίς παρέμβαση, τελικά διαφεύγουν 81.3 εκ. m^3 ισοδύναμων CO_2 , μείωση 76%.

- **Περιοχή Oulad Rahmoune**

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία υπολογισμού των βελτιώσεων στη περιοχή του Oulad Rahmoune, για ποσοστό συλλογής 80% και παραγόμενες ποσότητες μεθανίου για 50 χρόνια προκύπτει:

$$32.0 \text{ εκ. } m^3 \times 80\% = 25.6 \text{ εκ. } m^3$$

$$32.0 \text{ εκ. } m^3 \times 20\% = 6.4 \text{ εκ. } m^3 \times 23 = 147.2 \text{ εκ. } m^3 \text{ ισοδύναμου } CO_2$$

Συνολικά διαφεύγουν 172.8 εκ. m^3 αντί 697 εκ. m^3 ισοδύναμου CO_2 , μείωση 75%.

Ενεργειακή αξιοποίηση

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας και ως καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης. Ένα κυβικό μέτρο βιοαερίου υποκαθιστά 0,66l ντίζελ ή 0,75l πετρελαίου ή 0,85 κιλά κάρβουνου. (www.cres.gr/kape/news/deltia/forma_biogas.htm)

Πρέπει να σημειωθεί πως η απόδοση 1 Nm³ βιοαερίου (ένα κυβικό μέτρο αερίου σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης) περιέχει 7 kWh - θα μετατραπεί σε 2,24 kWh της ηλεκτρικής ενέργειας και 4 kWh της θερμικής ενέργειας με μορφή καυτού νερού.

(<http://starenergy-greece.com>)

Κατά συνέπεια το βιοαέριο μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά, όμως αυτό που έχει σημασία, είναι να εκτιμηθεί ο περιορισμός των επιπτώσεων. Έτσι για κάθε MWh διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα 850 Kg διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), 15,5 Kg διοξειδίου του θείου (SO₂), 1,2 Kg οξειδίων του αζώτου (NO_x).

(<http://www.economics.gr/articleData/IS/2006/Vasilakos.htm>)

Συνεπώς για κάθε kWh η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται είναι 0.85 kg CO₂ ή 0.464 m³ CO₂.

- Περιοχή Azemmour

Για το βιοαέριο που θα συλλεχθεί εκτός από τις εκπομπές που δε θα εκλυθούν στην ατμόσφαιρα, όπως ήδη περιγράφηκε, θα υπάρξει και πρόσθετο όφελος. Η ενέργεια που θα παράγει θα μειώσει εκπομπές που θα γίνονταν αν χρησιμοποιούταν λιγνίτης. Σύμφωνα με τα προηγούμενα οι ποσότητες αυτές είναι:

Για την περίοδο 2011 έως 2045, 19.6 εκ. m³ βιοαερίου, από όπου θα συλλεχθούν τα 13.7 εκ. m³ βιοαερίου. Θα παράγουν ενέργεια 96.1 εκ. kWh, που αντιστοιχούν σε 44.6 εκ. m³ CO₂. Οι ποσότητες αυτές, δε θα διαφύγουν οπότε θα υπάρχει πρόσθετο όφελος για το περιβάλλον. Τελικά από τα 81.3 εκ. m³ CO₂ αυτά που θα διαφύγουν είναι 36.7 εκ. m³ CO₂.

Από τη νέα βελτίωση αντί των 335.8 εκ. m³ ισοδύναμων του CO₂, που θα διέφευγαν, τελικά διαφεύγουν 44.6 εκ. m³ ισοδύναμων CO₂, μείωση στο 13% των εκπομπών μη παρέμβασης.

- Περιοχή Oulad Rahmoune

Ομοίως, από τα 46.6 εκ. m³ βιοαερίου που θα συλλεχθεί θα παραχθεί ενέργεια 325.9 εκ. kWh, που αντιστοιχούν σε 151.2 εκ. m³ CO₂. Τελικά από 172.8 εκ. m³ CO₂ αυτά που θα διαφύγουν είναι 21.6 εκ. m³ CO₂, μείωση στο 3%, των εκπομπών μη παρέμβασης.

4.6.2. Συλλογή στραγγισμάτων

Τα στραγγίσματα, παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις ως προς τα χαρακτηριστικά τους, σε σχέση με το βιοαέριο. Η επικινδυνότητά τους για τη δημόσια υγεία είναι σαφώς μεγαλύτερη. Όσον αφορά τη μορφή που συναντώνται, αυτή δεν είναι διάσπαρτη, όπως συμβαίνει με το βιοαέριο και κατά συνέπεια μπορούν να συλλεχθούν αποτελεσματικότερα.

Όσον αφορά στην περίπτωση που εξετάζεται, σε χώρους ανεξέλεγκτης απόθεσης απορριμμάτων, όπου δεν έχει σχεδιαστεί δίκτυο συλλογής στραγγισμάτων, είναι δύσκολο αυτά να συλλεχθούν εκ των υστέρων. Κατά συνέπεια, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από αυτά στους παλαιότερους σε λειτουργία χώρους απόθεσης, θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη.

Ωστόσο, σε Χ.Υ.Τ.Α. σχεδιάζεται σύστημα συλλογής και επεξεργασίας στραγγισμάτων, περιορίζοντας στο ελάχιστο τη διαφυγή τους στο περιβάλλον. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δίκτυο στεγάνωσης και δίκτυο αγωγών που οδηγούν τα στραγγίσματα σε βιολογική επεξεργασία, όπου αυτά επεξεργάζονται για να επιστρέψουν στο περιβάλλον χωρίς κινδύνους για τη δημόσια υγεία.

- Περιοχή Azemmour

Στην περιοχή του Azemmour δε μπορούν να υπάρξουν βελτιώσεις και έτσι τα στραγγίσματα που θα διαφύγουν σε 15 έτη είναι αυτά που αναφέρθηκαν στο βήμα της απογραφής δεδομένων, $51,763 m^3$.

- Περιοχή Oulad Rahmoune

Δεδομένης της δημιουργίας της κατάλληλης υποδομής στην περιοχή αυτή, ρεαλιστική θα πρέπει να θεωρείται οι μείωση των στραγγισμάτων σε ποσοστό 90%. Δηλαδή η διαφυγή τους στο περιβάλλον με τις αντίστοιχες επιπτώσεις ανέρχεται σε $776 m^3$ για τα 15 χρόνια λειτουργίας του κυττάρου.

4.7. Συνολικές Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

Αθροίζοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον όπως τελικά προέκυψαν ύστερα από τα τέσσερα βασικά σημεία της ΑΚΖ είναι:

- Επίπτωση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου:

Οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα από το σύνολο των δραστηριοτήτων ανέρχεται σε 66.2 εκ. m^3 ισοδύναμου CO_2 .

- Ευτροφισμός

Ο ευτροφισμός παρόλο που δεν μπορεί να υπολογιστεί σε μονάδες $Kg PO_4^{3-} eq. / T_{A.S.A.}$, εντούτοις από την μείωση της παραγωγής στραγγισμάτων, θα μειωθεί και αυτός.

Συγκεκριμένα, από τα $77,661 m^3$ στραγγισμάτων θα διαφύγουν $776 m^3$, μείωση 90% της παραγόμενης ποσότητας.

- Άλλες επιπτώσεις

Στις άλλες επιπτώσεις, όπως της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος, του σχηματισμού φωτοοξειδωτικών και της οξίνισης της ατμόσφαιρας, υπολογίζεται ότι θα μειωθούν κατά τα αντίστοιχα ποσοστά αξιοποίησης του αερίου, στις δύο περιοχές απόθεσης απορριμμάτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από χώρους απόθεσης απορριμμάτων, κρίνεται αναγκαία η εξαγωγή συμπερασμάτων, σχετικά με τα αποτελέσματα, τη διαδικασία που ακολουθήθηκε, αλλά και τις δυνατότητες της συγκεκριμένης μελέτης.

Σχολιάζοντας αρχικά το θέμα της επίτευξης των στόχων, ο προσδιορισμός των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την απόρριψη απορριμμάτων, απαιτεί τον υπολογισμό των κυριότερων ρυπαντών. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός της ποσότητας των εκπεμπόμενων αερίων και των στραγγισμάτων. Ο όγκος των παραγόμενων στραγγισμάτων και αερίων προσεγγίζεται με τη χρήση μοντέλων. Έτσι για τις αέριες εκπομπές χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο LandGEM και για τα στραγγίσματα τα μοντέλα HELP και WBM. Τα μοντέλα αυτά επιλέχθηκαν από ένα σύνολο παρόμοιων μοντέλων και αξιοποιούν όσο το δυνατόν περισσότερο τα διαθέσιμα δεδομένα. Επίσης, τα μοντέλα προσδιορίζουν τις ποσότητες των ρυπαντών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό μέτρων αντιρύπανσης. Ιδιαίτερα απαιτητικό σε δεδομένα εισόδου και υπό αυτή την έννοια δύσχρηστο, είναι το μοντέλο HELP, ενώ τα μοντέλα LandGEM και WBM είναι πιο απλά στη χρήση τους.

Για ένα ολοκληρωμένο προσδιορισμό των επιβαρύνσεων που επιφέρουν τα απορρίμματα στο περιβάλλον, ακολουθείται η διαδικασία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ). Έτσι για τους ρύπους που προσδιορίστηκαν από τα μοντέλα, ορίζεται το ποσοστό που συμμετέχουν στις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως φαινόμενο του θερμοκηπίου, όξυνση της ατμόσφαιρας κ.α. Η AKZ είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι συσχετίζει τα μεγέθη των ρυπαντών με την αντίστοιχη επίπτωσή τους στο περιβάλλον. Έτσι οι επιπτώσεις δεν αποτελούν απλά αριθμητικά δεδομένα ενός ρύπου, αλλά συνδέονται πλήρως με την επιβάρυνση που προκαλούν.

Η AKZ της δραστηριότητας της απόθεσης απορριμμάτων, καταδεικνύει επίσης τις αδυναμίες για καλύτερο προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος, σχηματισμός φωτοοξειδωτικών και όξυνση της ατμόσφαιρας. Αυτό διότι δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα μοντέλα που συνδέουν τον όγκο των απορριμμάτων με τα αέρια που οφείλονται για την κάθε επίπτωση.

Όσον αφορά στις αδυναμίες του υπολογισμού των επιπτώσεων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και τον ευτροφισμό, από του χώρους ταφής απορριμμάτων, αυτές οφείλονται

κυρίως στη χρήση των μοντέλων που επιλέγονται. Συγκεκριμένα το σημείο που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής είναι τα δεδομένα εισόδου στα μοντέλα αυτά. Δεδομένα όπως ο όγκος και η σύσταση των απορριμμάτων, κλιματολογικά δεδομένα ή δεδομένα σχεδιασμού ενός κυττάρου, είτε είναι δύσκολο να βρεθούν, είτε τα διαθέσιμα στοιχεία δεν είναι κατάλληλα.

Ολοκληρώνοντας, τονίζεται πως ο προσδιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από μία δραστηριότητα, αποτελεί το πρώτο βήμα για την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ισορροπίας. Παράλληλα επίσης σημαντικά για την αντιμετώπιση των προβλημάτων είναι, τόσο η τεχνολογική πρόοδος στην κατεύθυνση των αντιρυπαντικών λύσεων, όσο και η διαμόρφωση οικολογικής συνείδησης στο ευρύ κοινό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✚ Καρύ Α. 1951, **L' home révolté**, Éditions Gallimand, για την Ελληνική Εκδόσεις Μπουκουμάνης, 1971, Αθήνα.
- ✚ Κεραμάρης Κ. 2007*¹, **Ρύπανση του Αέρα**, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις Ενιαίου Λυκείου, Καρπενήσι.
- ✚ Κόλλιας Π. 2004, **Απορρίμματα, Αστικά – Βιομηχανικά**, Λύχνος ΕΠΕ – Γραφικές Τέχνες, Αθήνα.
- ✚ Κορωναίος Χ. 2008, **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις για το Διατμηματικό Μ.Π.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- ✚ Κουλλάπης Γ. 2006, **Master Plan For Solid Waste Pollution Control In Light Of The WFD In Cyprus**, Workshop on Environment – Measures and River Basin Management Plans, Nicosia
- ✚ Λοϊζίδου Μ. 1997, **Στερεά Απόβλητα**, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- ✚ Λοϊζίδου Μ. 2006, **Στερεά Απόβλητα**, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- ✚ Λοϊζίδου Μ. 2007, **Ρύπανση Περιβάλλοντος**, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις για το Διατμηματικό Μ.Π.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- ✚ Μαρνέλλος Γ. 2007*, **Μέρος Τρίτο – Στερεά Απόβλητα**, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις του Τμήματος Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη.
- ✚ Μουσιόπουλος Ν. 2002, **Διαχείριση Απορριμμάτων**, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- ✚ Παληκύρας Α. 2007, **Μοντελοποίηση Μηχανισμών Παραγωγής Βιοαερίου από Χώρους Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (ΧΥΤΑ)**, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Π.Μ.Σ. Θεοφράστειο, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- ✚ Παπαδόπουλος Α. 1994, **Ανάπτυξη Μεθόδων για την Επεξεργασία Στραγγισμάτων από Χώρους Ταφής Απορριμμάτων**, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- ✚ Στάμελος Κ., Αρχιτεκτονίδου Β., Β.С.С. – HASKONING, **Εξέταση των Τεχνολογιών Πρόληψης και Περιορισμού της Ρύπανσης Δραστηριοτήτων του Κλάδου**

¹ Ο αστερίσκος δηλώνει πως η σχετική βιβλιογραφία δεν εμφανίζει χρονολογία και ως εκ τούτου λαμβάνεται η χρονολογία ανάρτησης στο ίντερνετ

- Διαχείρισης Αποβλήτων**, (Οδηγία 96/61/EC, Παράρτημα Ι, εδάφιο 5.) - υποβολή προτάσεων για εφαρμογή των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών.
- ✚ Τριανταφυλλόπουλος Α., 2006, **Το Σύνδρομο NIMBY στη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων**, Δημοσίευση για το πρόγραμμα Knowledge Network, Δυτική Ελλάδα.
 - ✚ Τσακίρης Γ. 1995, **Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία**, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
 - ✚ Φάττα Δ. 1998, **Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Εκτίμηση της Ρύπανσης των Υπογείων Υδάτων σε Χώρους Απόρριψης Απορριμμάτων**, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα.
 - ✚ Φελεσκούρα Χ., Παπαϊωάννου Ε., 2004, **Σύγχρονες Τεχνολογίες Ανακύκλωσης Απορριμμάτων, Διαχείριση και Ενεργειακή Αξιοποίηση Απορριμμάτων**, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Τ.Ε.Ι., Χαλκίδα.
 - ✚ Ψαρράς Ι. 2007, **Σύστημα Λήψης Αποφάσεων**, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις για το Διατμηματικό Μ.Π.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
 - ✚ U.S. E.P.A. 2005, **Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide**, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory.
 - ✚ Younsi A., Naber N., Fardane B., Srrhir M., 2005, **Rapport sur l' Epidémiologie**, Project SADIN.
- ✓ Ευρωπαϊκή Επιτροπή, **Αέρια του Θερμοκηπίου που Αναφέρονται στα Άρθρα 4 και 29**, Δημοσίευση στην Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Δημοσίευση 22.11.2003.
 - ✓ Phare Twinning Project SK/02/IB/EN/02, **Implementation of the Integrated Pollution Prevention and Control Directive (IPPC)**
 - ✓ Society of Environmental Toxicology and Chemistry – Europe 1996, **Towards a Methodology for Life Cycle Assessment.**
 - ✓ WASTESUM, 2007, **Development of Domestic Solid Waste Management Schemes for Small Urban Communities in Morocco.**

Δικτυακοί χώροι:

- ✓ www.physics4u.gr/energy/biomass.html
- ✓ www.livopedia.gr/index.php?title=Λιπίδια
- ✓ www.nick.oncrete.gr/static/notes/edafologia/simeiwseis.txt

- ✓ www.ecocrete.gr
- ✓ www.ecocrete.gr/index.php?option=content&task=view&id=1858
- ✓ www.itia.ntua.gr/dk-el/hydroglossica/orologia
- ✓ www.cepis.ops-oms.org/muwww/fulltext/repind49/lesson10/leachate.html
- ✓ www.myforecast.com/bin/climate.m?city=69815&metric=false
- ✓ www.methanetomarkets.org/events/2007/all/Landfill/LF_MX_Ensenada_poster.pdf
- ✓ www.cres.gr/kape/news/deltia/forma_biogas.htm
- ✓ www.economics.gr/articleData/IS/2006/Vasilakos.htm
- ✓ www.eedsa.gr
- ✓ <http://msw.cecs.ucf.edu/AndFiles/fig1.html>
- ✓ <http://msw.cecs.ucf.edu/AndFiles/fig3.html>
- ✓ <http://starenergy-greece.com>
- ✓ <http://el.wikipedia.org/wiki/Πρωτεΐνη>
- ✓ users.att.sch.gr/xtsamisOkosmosMasFainThermoKip.htm
- ✓ <http://siteresources.worldbank.org/INTLACREGTOPURBDEV/Resources/840343-1178120035287/EditedLFGWorkshopReportAugust14.pdf>