

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ
ΧΩΡΟΥΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ (Χ.Δ.Α.)**

ΧΑΛΒΑΤΖΑΚΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αναπλ. Καθ. Λαζαρίδης Μ. (Επιβλέπων)

Καθηγητής Καλογεράκης Ν.

Διδάκτορας Γλυτσός Θ.

ΧΑΝΙΑ

2010

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας έγινε με τη βοήθεια ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή κ. Λαζαρίδη Μιχαήλ για την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές και την υπομονή του κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Καλογεράκη Νικόλαο για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και για τον χρόνο που διέθεσε για την εξέταση της εργασίας αυτής. Επιπλέον, ευχαριστώ τον Διδάκτορα κ. Γλυτσό Θεόδωρο για τις πολύτιμες υποδείξεις του για την ολοκλήρωση και συγγραφή της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία συντάχθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος “Περιβαλλοντική και Υγειονομική μηχανική” που λειτουργεί στο Πολυτεχνείο Κρήτης στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Η εργασία αφορά τον υπολογισμό εκπομπών αέριων ρύπων που παράγονται από χώρους διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) στην Ελλάδα και στο εξωτερικό για την περίοδο 1990-2008 με τη χρήση του μοντέλου LandGEM. Στόχος της εργασίας είναι η εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων που εκλύονται από τους Χ.Δ.Α. ώστε να συμβάλει στην πρόληψη της υποβάθμισης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος με την ελαχιστοποίηση των εκπομπών και τη σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Σκοπός επίσης είναι να προληφθούν οι επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τη διάθεση απορριμμάτων στο έδαφος.

Για την εφαρμογή του μοντέλου LandGEM πρέπει να ξέρουμε το έτος έναρξης λειτουργίας των Χ.Δ.Α., τις ετήσιες απορριπτόμενες ποσότητες απορριμμάτων, τη σταθερά αντίδρασης παραγωγής μεθανίου, τη θεωρητική παραγωγή μεθανίου, τη συγκέντρωση του μεθανίου στο βιοαέριο και τέλος τη συγκέντρωση των συνολικών οργανικών μιγμάτων εκτός του μεθανίου. Πρέπει να τονιστεί ότι το μοντέλο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου και όχι για την εκτίμηση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Για τον υπολογισμό των εκπομπών του μεθανίου αφαιρέθηκε από το μεθάνιο που παράγεται η ανάκτηση και η οξείδωση του μεθανίου με βάση τη μεθοδολογία IPCC.

Εφαρμόστηκε το μοντέλο LandGEM στην Ελλάδα, στο Ηνωμένο Βασίλειο (μαζί με τη Βόρεια Ιρλανδία), στην Ιταλία, στη Γαλλία, στην Τσεχία, στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Αναφέρονται στη συνέχεια οι μέγιστες εκπομπές μεθανίου για κάθε χώρα με βάση το μοντέλο LandGEM.

Για την Ελλάδα η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρατηρείται το 2006 και είναι ίση με $1,18 \times 10^5$ tn/yr, για το Ηνωμένο Βασίλειο (μαζί με τη Βόρεια Ιρλανδία) η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρατηρείται το 1990 και είναι ίση με $2,32 \times 10^6$ tn/yr, για την Ιταλία η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρατηρείται το 2000 και είναι ίση με $8,03 \times 10^5$ tn/yr, για τη Γαλλία η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρατηρείται το 1996 και είναι ίση με $4,86 \times 10^5$ tn/yr, για την Τσεχία η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρατηρείται το 2007 και είναι ίση με $9,83 \times 10^4$ tn/yr. Έγιναν επίσης υπολογισμοί για την Ευρωπαϊκή Ένωση των 15 κρατών-μελών και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 15 κρατών-μελών η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρατηρείται το 1991 και είναι ίση με $7,49 \times 10^6$ tn/yr ενώ για τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρατηρείται το 1992 και είναι ίση με $7,64 \times 10^6$ tn/yr.

Στη συνέχεια συγκρίναμε τις εκπομπές μεθανίου που υπολογίστηκαν με το μοντέλο LandGEM με τις εκπομπές που υπολόγισαν οι αρμόδιοι φορείς της υπό εξέτασης χώρας με βάση τη μεθοδολογία IPCC. Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο οι συμβαλλόμενες χώρες έχουν την υποχρέωση να υποβάλλουν ετησίως εκθέσεις με αναφορά στη συμβολή των διάφορων

πηγών εκπομπής (στην περίπτωση μας Χ.Δ.Α.) στην κλιματική αλλαγή. Τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν μια μέση απόκλιση της τάξης του 7%.

Το μοντέλο LandGEM διαφέρει από τη μεθοδολογία IPCC στο ότι στα δεδομένα που εισάγονται (π.χ. η θεωρητική παραγωγή μεθανίου L_0) παραμένουν ίδια για όλα τα έτη λειτουργίας των Χ.Δ.Α. ενώ στη μεθοδολογία IPCC τα δεδομένα που εισάγονται αλλάζουν για κάθε έτος. Ως εκ τούτου, η μεθοδολογία IPCC είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδο για την εκτίμηση των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από Χ.Δ.Α.

Όμως το μοντέλο LandGEM είναι ένα εύχρηστο αυτοματοποιημένο εργαλείο για την ποσοτικοποίηση των αέριων που παράγονται από Χ.Δ.Α. και είναι κατάλληλο για χώρες που έχουν περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα και τη σύνθεση των απορριμμάτων. Το μοντέλο βελτιώθηκε με την προσθήκη εξίσωσης για τον υπολογισμό των εκπομπών του μεθανίου λαμβάνοντας υπόψη την ανάκτηση και την οξείδωση του μεθανίου. Επίσης το μοντέλο LandGEM θα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα σε χώρες με επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση των απορριμμάτων ώστε να μπορούν να εισάγουν διαφορετική τιμή για την παράμετρο L_0 (η θεωρητική παραγωγή μεθανίου) για κάθε έτος λειτουργίας των Χ.Δ.Α.

Για Ελλάδα προτάθηκαν πέραν του υπολογισμού των εκπομπών αερίων ρύπων και δυο σενάρια για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από Χ.Δ.Α. Το πρώτο σενάριο προτείνει τη μετατροπή όλων των Χ.Δ.Α. σε Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών

μεθανίου κατά 79% (μέση τιμή για την περίοδο 1990-2008) με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM και κατά 78% (μέση τιμή για την περίοδο 1990-2008) με βάση τις εκπομπές της μεθοδολογίας IPCC. Το δεύτερο σενάριο αποτελείται από τρία υποσενάρια και προτείνει την αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης κατά 20%, 40% και 60% με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών μεθανίου κατά 14%, 25% και 36% αντίστοιχα (μέση τιμή για την περίοδο 1990-2008) με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM και κατά 7%, 19% και 31% (μέση τιμή για την περίοδο 1990-2008) αντίστοιχα με βάση τις εκπομπές της μεθοδολογίας IPCC. Προτείνεται ο συνδυασμός των 2 σεναρίων για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από Χ.Δ.Α. Η μετατροπή των Χ.Δ.Α σε Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου και η ταυτόχρονη αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης θα έχει ως αποτέλεσμα τη μεγιστοποίηση του ποσοστού μείωσης των εκπομπών μεθανίου.

Πίνακας Συντομογραφιών

Χ.Δ.Α.	Χώρος Διάθεσης Απορριμμάτων
Χ.Υ.Τ.Α.	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
Χ.Α.Δ.Α.	Χώρος Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων
Α.Σ.Α.	Αστικά Στερεά Απόβλητα
Ε.Ε.	Ευρωπαϊκή Ένωση
Η.Π.Α.	Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής
US EPA	United States Environmental Protection Agency
LandGEM	Landfill Gas Emission Model
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
NMOCs	Οργανικά Συστατικά Εκτός Μεθανίου
NMS	Νέα Κράτη Μέλη
VOC _s	Πτητικές Οργανικές Ουσίες

Πίνακας Περιεχομένων

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1.Κλιματική αλλαγή	10
1.2. Κατανομή των αέριων του θερμοκηπίου	13
1.3. Το Πρωτόκολλο του Κιότο	14
2. ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	17
2.1. Υφιστάμενη κατάσταση στη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων	17
2.2. Κατά κεφαλή παραγωγή αστικών απορριμμάτων	19
2.3. Μέθοδοι διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων	22
3. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	32
3.1. Εισαγωγή	32
3.2. Παραγωγή αερίων ρύπων από χώρους διάθεσης απορριμμάτων	33
3.3. Εκτίμηση εκπομπών αερίων ρύπων με βάση τη μεθοδολογία IPCC	37
3.4. Βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφορικά με τις εκπομπές αέριων ρύπων από Χ.Δ.Α.	41
4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (LandGEM)	43
4.1. Εισαγωγή	43
4.2. Περιγραφή του μοντέλου LandGEM	44
4.3. Εφαρμογή του μοντέλου LandGEM στην Ελλάδα	47
4.4. Εφαρμογή του μοντέλου LandGEM στην Ε.Ε.-15 και στις Η.Π.Α.	52
4.5. Εφαρμογή του μοντέλου LandGEM σε χώρες της Ε.Ε.	62
4.6. Προτάσεις αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από Χ.Δ.Α. στην Ελλάδα	74
4.6.1. Σενάριο 1: Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου	75

4.6.2. Σενάριο 2: Χ.Υ.Τ.Α. με μονάδα κομποστοποίησης	77
6. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LandGEM ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ IPCC	80
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	87
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κλιματική αλλαγή

Η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα λόγω ανθρωπογενών διεργασιών έχει οδηγήσει σε σημαντικές κλιματικές αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές αποτελούν απειλή για την ποιότητα ζωής της ανθρωπότητας και των οικοσυστημάτων. Τα αέρια του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν κυρίως τους υδρατμούς, το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα, το υποξείδιο του αζώτου, το μεθάνιο και τους χλωροφθοράνθρακες (Gardner κ.ά., 1993).

Τα αέρια αυτά ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου επειδή επιτρέπουν τη διέλευση της ορατής και της υπέρυθρης ακτινοβολίας προκειμένου να φθάσει στην επιφάνεια της Γης. Στη συνέχεια όμως απορροφούν σε μεγάλο βαθμό την εκπεμπόμενη γήινη ακτινοβολία, παρεμποδίζοντας την να εξέλθει προς το διάστημα. Κάτι παρόμοιο, θεωρητικά τουλάχιστον, ισχύει και στο τρόπο λειτουργίας του θερμοκηπίου όπου το γυάλινο κάλυμμα του επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να περάσει ανεμπόδιστα μέσα στο θερμοκήπιο, ενώ παρεμποδίζει την εξερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, προκαλώντας με τον τρόπο αυτό αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Λαζαρίδης, 2010).

Η σημερινή τάση της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη προς την υψηλότερη θερμοκρασία του κατά τα τελευταία 40 εκατομμύρια χρόνια (Thomas κ.ά., 2004). Σύμφωνα με μελέτη των Thomas κ.ά., (2004) η αύξηση της θερμοκρασίας θα αποτελέσει απειλή για περίπου το

18% των ειδών (ζώων και φυτών) σε περιοχές της μελέτης (Μεξικό, Νότια Αφρική και Ευρώπη). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) προβλέπει μια ελάχιστη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,4°C και αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά 0,2 m το έτος 2100 λόγω των ανθρωπογενών κλιματικών αλλαγών (Albritton και Meira Filho, 2001).

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) είναι μια επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος. Ο σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της επιστημονικής γνωστικής βάσης και των ερευνών που διεξάγονται για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Η επιτροπή αξιολογεί επίσης τις συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων.

Η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκε κατά περίπου 25% μεταξύ 1850 και 1984 (Gardner κ.ά., 1992), ενώ κατά τα τελευταία 25 χρόνια, το μεθάνιο έχει αυξηθεί κατά περίπου 30% (IPPC, 2007), τα οξείδια του αζώτου έχουν αυξηθεί κατά περίπου 0,2% ετησίως ενώ από τις αρχές του 1980, οι χλωροφθοράνθρακες έχουν αυξηθεί κατά περίπου 6% ετησίως. Η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζον αυξάνεται επίσης λόγω φωτοχημικών διεργασιών 1-2% ετησίως (Gardner κ.ά., 1992). Οι χώροι διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) αναγνωρίζονται ως οι σημαντικότερες πηγές εκπομπών μεθανίου που παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και

αντιπροσωπεύουν το 10-19% των ετήσιων παγκοσμίων εκπομπών μεθανίου (Kumar κ.ά., 2004; US EPA, 2006).

Οι ετήσιες εκπομπές μεθανίου σε όλο τον κόσμο είναι σημαντικά μικρότερες από τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι 200 φορές χαμηλότερη από τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα. Όμως το μεθάνιο είναι 21 φορές πιο ισχυρό από το διοξείδιο του άνθρακα όσον αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Forster κ.ά., 2007). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μεθάνιο δεσμεύει 21 φορές περισσότερη θερμότητα ανά μόριο από το διοξείδιο του άνθρακα και επομένως είναι 21 φορές περισσότερο αποτελεσματικό σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη Γη.

Στην καταγραφή των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από Χ.Δ.Α. επικεντρώνεται η περιβαλλοντική πολιτική του τομέα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην άμβλυνση της αλλαγής του κλίματος (Zach κ.ά., 2000; IPCC, 2007; Ragossnig και Hilger, 2008). Για παράδειγμα, με την κομποστοποίηση των απορριμμάτων μπορεί να επιτευχθεί μέχρι και 90% μείωση της συνολικής παραγωγής βιοαερίου (Zach κ.ά., 2000). Επίσης με την εγκατάσταση συστήματος ανάκτησης μεθανίου σε ένα Χ.Υ.Τ.Α. ελαττώνονται οι εκπομπές μεθανίου από 30% μέχρι 60% (Hogan κ.ά., 1991) ενώ με τη μετατροπή μιας χωματερής σε Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου ελαττώνονται οι εκπομπές μεθανίου μέχρι και 94% (Manfredi και Christensen, 2009).

1.2 Κατανομή των αέριων του θερμοκηπίου

Τα αέρια που ακολουθούν, έχουν χαρακτηριστεί ως “αέρια θερμοκηπίου”, όμως αυτά που φέρουν τη μεγαλύτερη ευθύνη για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι τα τρία πρώτα, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων τους στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τα υπόλοιπα (IPCC, 2007; Λαζαρίδης, 2010).

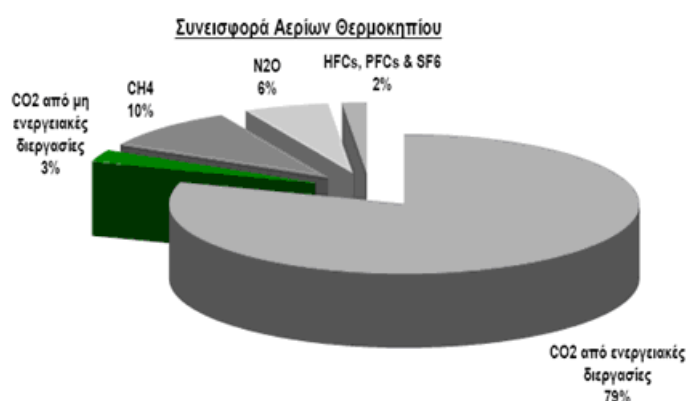
Κυριότερα αέρια θερμοκηπίου:

- Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2).
- Μεθάνιο (CH_4).
- Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O).

Λοιπά αέρια θερμοκηπίου:

- Υδροφθοράνθρακες (HFCs).
- Υπερφθοράνθρακες (PFCs).
- Εξαφθοουριούχο Θείο (SF_6).

Στο Διάγραμμα 1 απεικονίζεται σχηματικά η συνεισφορά καθενός από τα αέρια του θερμοκηπίου στην αλλαγή του κλίματος.



Διάγραμμα 1: Συνεισφορά αερίων του θερμοκηπίου στην αλλαγή του κλίματος (Ψαρράς, 2006).

Αλλαγές στις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων μπορούν να μεταβάλλουν την ισορροπία της ενέργειας που μεταφέρεται μεταξύ της ατμόσφαιρας, του διαστήματος, της ξηράς και των ωκεανών, μεταβάλλοντας το κλιματικό σύστημα (Schimel, 1995; Doney, 1999).

Έχει αναπτυχθεί μια πολιτική για τη βελτίωση των κλιματικών συνθηκών, όπου θα πρέπει να αναφέρουν σε διεθνές επίπεδο οι χώρες και σε τοπικό επίπεδο οι επιχειρήσεις, πως η διαχείριση των στερεών αποβλήτων συμβάλει στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Gentil κ.ά., 2009). Η υποβολή εθνικών εκθέσεων απογραφών των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου έχει ξεκινήσει από το 1988 από την IPCC και απαιτείται από τα συμβαλλόμενα μέρη της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές αλλαγές.

1.3. Το Πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο προέκυψε από τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων εθνών για τις Κλιματικές Αλλαγές που είχε υπογραφεί στη Διάσκεψη του Ρίο ντε Τζανέιρο, τον Ιούνιο του 1992, από το σύνολο σχεδόν των κρατών. Η Ελλάδα κύρωσε τη Σύμβαση το 1994 με το νόμο 2205 (ΦΕΚ Α' 60 – 15.04.1994). Σύμφωνα με το Άρθρο 4 της Σύμβασης, οι χώρες που έχουν κυρώσει τη Σύμβαση έχουν την υποχρέωση υποβολής εθνικών εκθέσεων απογραφών των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Η Ελλάδα, ως Συμβαλλόμενο Μέρος της Σύμβασης, έχει την υποχρέωση να υποβάλλει ετησίως εκθέσεις με αναφορά στη συμβολή των διάφορων πηγών

εκπομπής και των εκπομπών των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου στην κλιματική αλλαγή. Ανάλογες υποχρεώσεις απορρέουν και από την απόφαση 280/2004/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης με αντικείμενο την παρακολούθηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου. Στο άρθρο 5 του Πρωτοκόλλου, ορίζεται πως θα πρέπει να υπάρχει ένα Εθνικό Σύστημα (National System) για την εκτίμηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (MEECC, 2010).

Στο Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνονται τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος που προκαλείται λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με αυτό, τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου την πρώτη περίοδο ανάληψης υποχρεώσεων (2008-2012) κατά ένα συγκεκριμένο στόχο σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (ή του 1995 για ορισμένα αέρια). Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως ενώ για τα CO₂, CH₄, N₂O, η βάση μείωσης είναι το 1990, για τα HFC_s, PFC_s και SF₆, βάση αποτελεί το 1995. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι δεσμεύσεις κάθε χώρας σύμφωνα με το Πρωτόκολλο για την περίοδο 2008-2012.

Πίνακας 1: Προβλεπόμενη μείωση των εκπομπών για την περίοδο 2008-2012
(UNFCCC, 2008).

Ευρωπαϊκή Ένωση (των 15), Βουλγαρία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%
ΗΠΑ	-7%
Καναδάς, Ιαπωνία, Ουγγαρία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ουκρανία, Ρωσία	0%
Νορβηγία	+1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

Η κατανομή των υποχρεώσεων των Κρατών – Μελών της Ε.Ε. (burden sharing) όσον αφορά την από κοινού επίτευξη της νομικά δεσμευτικής μείωσης του 8%, που συμφωνήθηκε στο Κιότο, οριστικοποιήθηκε στις 16/17 Ιουνίου 1998 και φαίνεται στον Πίνακα 2.

Αν και ο συνολικός στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η μείωση των εκπομπών κατά 8%, υπάρχουν χώρες που τους έχει επιτραπεί να αυξήσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Στην Ελλάδα έχει επιτραπεί να αυξήσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 25% μέχρι το 2010 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.

Πίνακας 2: Περιορισμοί εκπομπών για την Ε.Ε. (UNFCCC, 2008)

ΧΩΡΑ (αλφαβητική σειρά)	Στόχοι μείωσης % σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 για την περίοδο 2008- 2012
Αυστρία	-13
Βέλγιο	-7,5
Γαλλία	0
Γερμανία	-21
Δανία	-21
Ελλάδα	+25
Ηνωμένο Βασίλειο	-12,5
Ιρλανδία	+13
Ισπανία	+15
Ιταλία	-6,5
Λουξεμβούργο	-28
Ολλανδία	-6
Πορτογαλία	+27
Σουηδία	+4
Φινλανδία	0
Σύνολο Ε.Ε. - 15	-8

2. ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

2.1. Υφιστάμενη κατάσταση στη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων

Τις τελευταίες δεκαετίες, η συγκέντρωση του πληθυσμού σε μεγάλα αστικά κέντρα και η παράλληλη εκβιομηχάνιση, είχαν σαν συνέπεια την αύξηση των παραγόμενων απορριμμάτων και την ανάγκη οργάνωσης της διαδικασίας απόθεσής τους. Το περιβάλλον αποτελούσε ανέκαθεν τον τελικό αποδέκτη των υπολειμμάτων της κατανάλωσης και των κατάλοιπων της παραγωγικής διαδικασίας. Τα παλαιότερα χρόνια η ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων ήταν μία ιδανική λύση αφού η φύση είχε τη δυνατότητα να τα ανακυκλώσει. Αντίθετα, σήμερα η κατάσταση έχει μεταβληθεί δραματικά, αφού ο άνθρωπος οδηγείται στην ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων αγνοώντας το

γεγονός ότι οι ποσότητες και η ποιοτική σύσταση των απορριμμάτων έχουν ξεπεράσει την ικανότητα της φύσης για αυτοκαθαρισμό.

Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, γίνονται συνεχώς προσπάθειες να μειωθεί η ποσότητα παραγωγής των στερεών αποβλήτων, παρόλο που οι πιο πολλές χώρες δε διαθέτουν σχεδόν καθόλου τα απαραίτητα μέσα για να κατευθυνθούν προς την προσπάθεια αυτή. Το φαινόμενο αυτό έγκειται στο γεγονός ότι, για να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα μείωσης των απορριμμάτων από τις εκάστοτε κυβερνήσεις, πρέπει η οικονομία και η κοινωνία των χωρών αυτών, να αντιμετωπίσουν επιτυχώς ορισμένα προβλήματα. Για παράδειγμα, ένα σημαντικό μέρος των απορριμμάτων προέρχεται από τις συσκευασίες. Για να αλλάξει η κατάσταση αυτή, πρέπει να αλλάξουν οι συνήθειες των καταναλωτών αλλά και οι μηχανισμοί με τους οποίους λειτουργεί το εμπόριο (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2000).

Επομένως για να μειωθεί αποτελεσματικά η παραγωγή των απορριμμάτων, πρέπει να τροποποιηθεί η τιμολογιακή πολιτική και έπειτα να εφαρμοστεί αυστηρά. Μέχρι τώρα, σχεδόν σε ολόκληρη την Ευρώπη, η τοπική αυτοδιοίκηση αναλαμβάνει τη δαπάνη διαχείρισης των απορριμμάτων, η οποία επιμερίζεται στους δημότες εντέλει, με βάση τα τετραγωνικά μέτρα της οικίας τους. Το μέτρο αυτό, όπως είναι αναμενόμενο, δεν ενθαρρύνει τους δημότες να συμβάλουν στις προσπάθειες μείωσης των απορριμμάτων (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2000).

Ένα άλλο μέτρο που είναι γνωστό και εφαρμόζεται στην Ελβετία, είναι η τιμολόγηση με βάση το βάρος των απορριμμάτων. Ωστόσο και το μέτρο αυτό μπορεί να επιφέρει προβλήματα όπως, αδικίες όσον αφορά τον καταμερισμό των δαπανών και σοβαρά διαχειριστικά προβλήματα. Αν και η μείωση της παραγωγής των απορριμμάτων είναι ιδιαίτερα επιθυμητή από τις ανεπτυγμένες χώρες, προς το παρόν εφαρμόζεται περιορισμένα, λόγω του υψηλού κόστους που απαιτείται για την εφαρμογή της (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2000).

2.2. Κατά κεφαλή παραγωγή αστικών απορριμμάτων

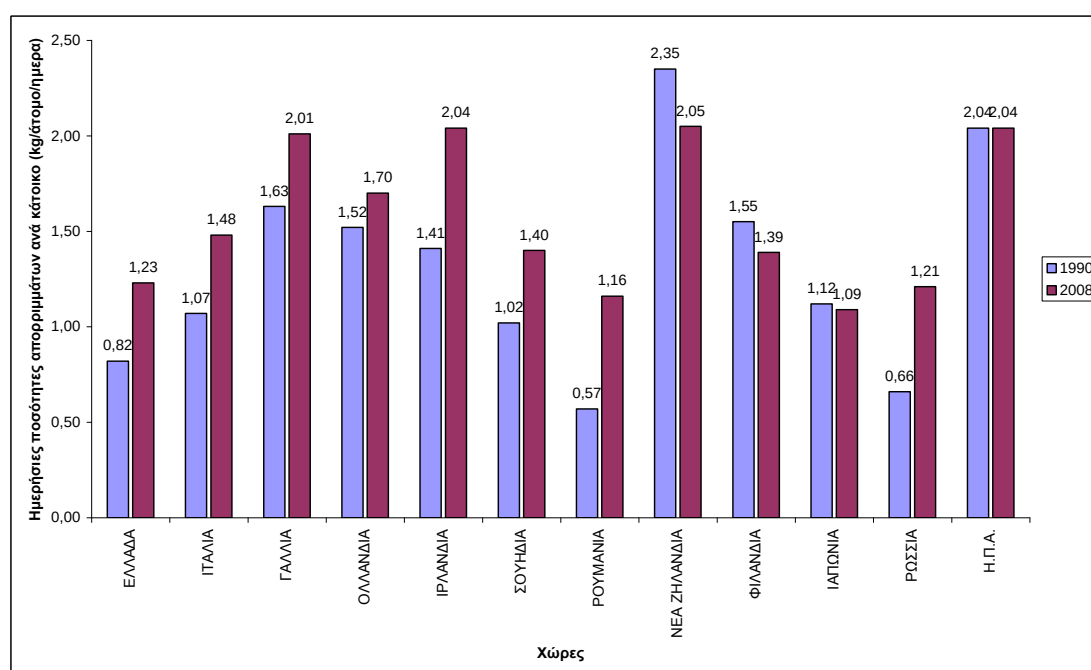
Η ποσότητα των αστικών απορριμμάτων που παράγονται ανά κάτοικο μιας χώρας όσο και οι ποσότητες που τελικά διαχειρίζονται οι διάφοροι δήμοι και κοινότητες εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων όπως (Μανιός, 2001):

- Την οικονομική ανάπτυξη της χώρας με μια τάση αύξησης της ποσότητας των απορριμμάτων παράλληλα με την αύξηση του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος.
- Την περιβαλλοντική συνείδηση και την παιδεία των πολιτών μιας χώρας που παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στην ποσότητα των απορριμμάτων που παράγονται όσο και στη σύνθεση τους.

Η μείωση παραγωγής απορριμμάτων, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση των υλικών (γυαλί, χαρτί, αλουμίνιο, πλαστικά) αποτελούν την κορυφαία μορφή περιβαλλοντικής δραστηριοποίησης. Πολύ συχνά αυτό οδηγεί στη μείωση της ποσότητας που διαχειρίζεται η δημοτική

αρχή και όχι κατά ανάγκη στη μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων που παράγονται ανά κάτοικο.

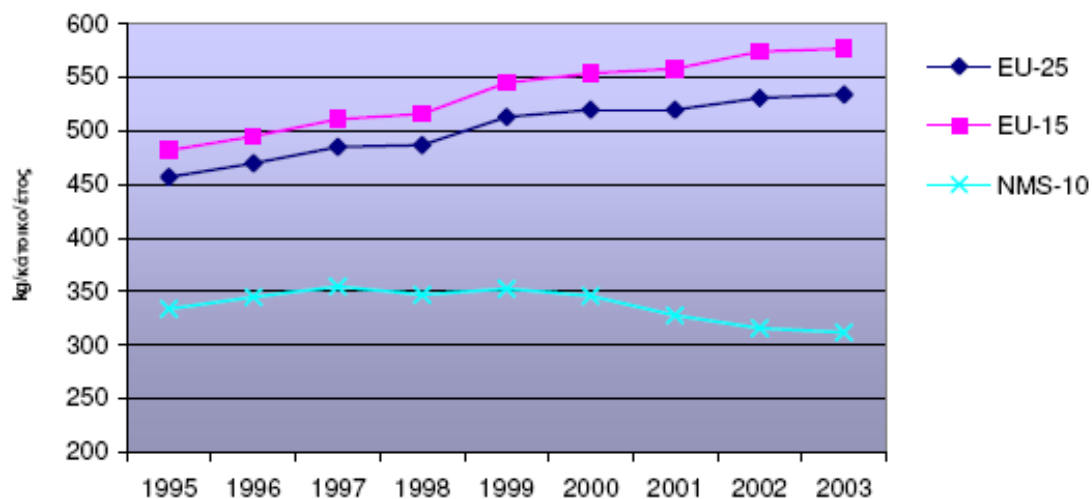
Στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζονται οι ποσότητες των αστικών στερεών απορριμμάτων που παράγονται ανά κάτοικο ημερησίως σε διάφορες χώρες. Παρατηρούμε ότι οι ημερήσιες ποσότητες απορριμμάτων που παράγονται ανά κάτοικο αυξήθηκαν το 2008 σε σύγκριση με το 1990 για όλες τις χώρες με εξαίρεση τη Νέα Ζηλανδία, τη Φιλανδία και την Ιαπωνία που έχουν μείωση της ημερήσιας παράγωγης και τις Η.Π.Α. που έχει μείνει στάσιμη. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη Ρουμανία (104%), στη συνέχεια στη Ρωσία (83%) και μετά στην Ελλάδα (50%).



Διάγραμμα 2: Ποσότητες απορριμμάτων που παράγονται ανά άτομο ημερησίως.

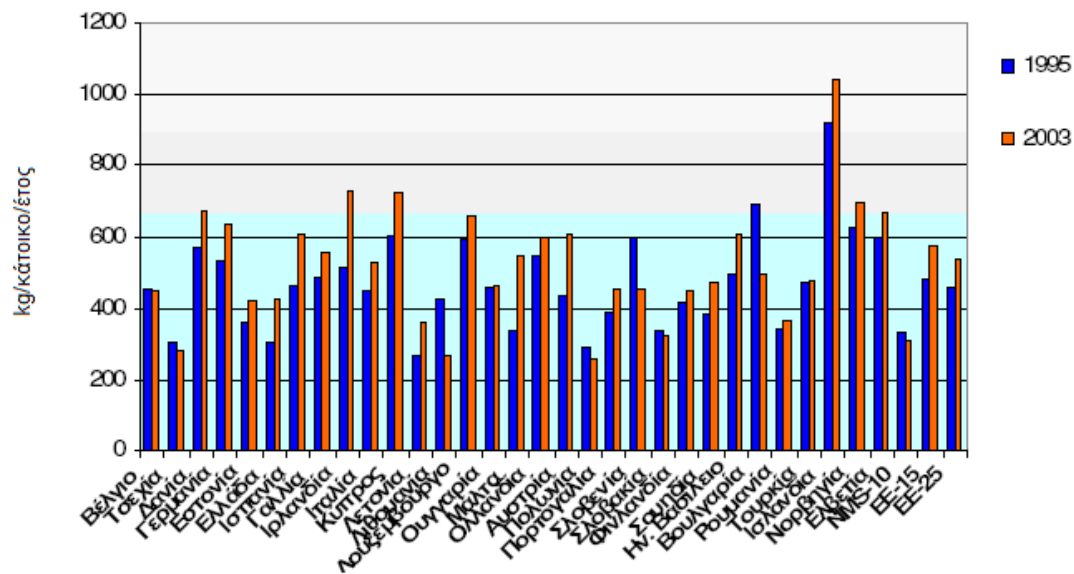
Στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζεται η κατά κεφαλή παραγωγή των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ε.Ε.-25 από το 1995 ως το 2003. Παρατηρούμε ότι η ανά κάτοικο παραγωγή των κρατών μελών της Ευρώπης των 15 είναι

υψηλότερη από αυτή των νέων μελών. Πιο συγκεκριμένα οι αντίστοιχες ποσότητες ήταν 577 kg/κάτοικο/έτος (1,60 kg/κάτοικο/ημέρα) έναντι 312 kg/κάτοικο/έτος (0,85 kg/κάτοικο/ημέρα), στα παλαιά και τα νέα κράτη μέλη αντίστοιχα. Επίσης η κατά κεφαλή παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων (Α.Σ.Α.) στα νέα κράτη-μέλη (NMS-10) παρουσιάζει μια μείωση μετά το 1999. Η συνολική παραγωγή ΑΣΑ στην Ε.Ε.-25 αυξήθηκε κατά περίπου 2% ετησίως, από 204 εκατομμύρια τόνους (457kg/κάτοικο/έτος) το 1995 σε 243 εκατομμύρια τόνους (534 kg/κάτοικο/έτος) το 2003.



Διάγραμμα 3: Παραγωγή στερεών αποβλήτων (kg/κάτοικο/έτος) κατά τα έτη 1995-2003 (EC, 2005).

Στο Διάγραμμα 4 συγκρίνονται οι ποσότητες απορριμμάτων που παράγονται για κάθε κράτος-μέλος για τα έτη 1995 και 2003 και παρατηρούμε ότι όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης έχουν αύξηση της παραγωγής αστικών στερεών αποβλήτων με εξαίρεση το Βέλγιο που έχει μείνει στάσιμο και τη Βουλγαρία, τη Σλοβενία και τη Λιθουανία που έχουν μειώσει την παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων.



Διάγραμμα 4: Παραγωγή στερεών αποβλήτων (kg/κάτοικος/έτος) τα έτη 1995 και 2003 στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EC, 2005).

2.3 Μέθοδοι διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων

Οι βασικότεροι μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων είναι:

Ανακύκλωση:

Κάθε διεργασία ανακύκλωσης αποτελεί μια τεχνική μετατροπής υλικών. Από ένα μίγμα απορριμμάτων είναι δυνατόν να ανακτηθούν ανακυκλώσιμα υλικά μέσα από διεργασίες διαχωρισμού και ταξινόμησης. Τα υλικά που ανακτώνται ονομάζονται δευτερογενείς πρώτες ύλες. Για το λόγο αυτό μια διεργασία ανακύκλωσης μπορεί να χαρακτηριστεί και ως διαδικασία παραγωγής νέων υλικών (Παναγιωτακόπουλος, 2002).

Στόχος της διεργασίας της ανακύκλωσης είναι η μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος με απορρίμματα (ιδίως μή-ζυμώσιμα), η εξοικονόμηση πόρων και συγκεκριμένα χρήματος, πρώτων υλών και ενέργειας. Τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι το χαρτί, το γυαλί, τα μέταλλα, καθώς και

ορισμένα είδη πλαστικών. Προκειμένου ένα σύστημα ανακύκλωσης να είναι αποδοτικό, πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις (Ρούσσος, 2009):

- Συλλογή κάθε είδους υλικού σε χωριστούς κάδους.
- Ύπαρξη αγοράς των ανακυκλώσιμων υλικών (ώστε να υπάρξει οικονομικό όφελος για τη χρηματοδότηση του προγράμματος).
- Ενεργός συμμετοχή των κατοίκων.
- Επαρκείς ποσότητες ανακυκλώσιμων υλικών.
- Ορθή χωροθέτηση των κάδων συλλογής των ανακυκλώσιμων υλικών.

Κομποστοποίηση:

Η κομποστοποίηση είναι μία μέθοδος διαχείρισης όπου το οργανικό κλάσμα αποικοδομείται βιολογικά υπό ελεγχόμενες συνθήκες με αποτέλεσμα τη σταδιακή μετατροπή του σε ένα υλικό βιολογικά σταθερό (compost), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό (Παναγιωτακόπουλος, 2002).

Αποτέφρωση:

Η αποτέφρωση (πλήρης καύση) είναι μια εναλλακτική μέθοδος επεξεργασίας απορριμμάτων, ορίζεται ως η ταχεία μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική, με οξείδωση της οργανικής ύλης των Α.Σ.Α., υπό συνθήκες περίσσειας οξυγόνου, προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Τα ανόργανα συστατικά των απορριμμάτων παραμένουν στο παραγόμενο στερεό υπόλειμμα (Γιδαράκος, 2009). Η αποτέφρωση μπορεί να εφαρμοσθεί στα αστικά απορρίμματα, στα απορρίμματα εμπορικών δραστηριοτήτων, στα νοσοκομειακά (μολυσματικά) απόβλητα και στις ιλείς από την επεξεργασία αστικών λυμάτων.

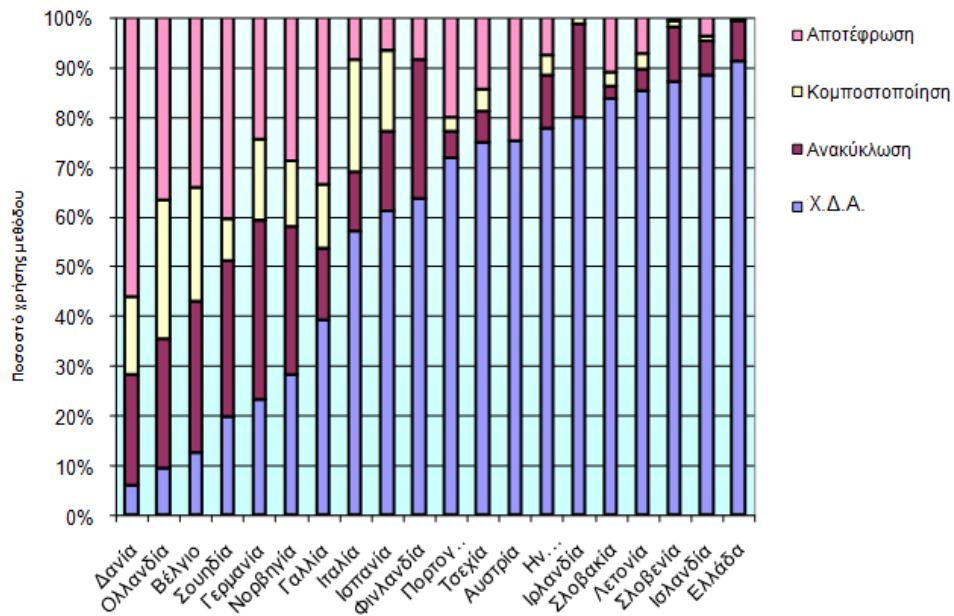
Τα πλεονεκτήματα της αποτέφρωσης είναι (Ρούσσος, 2009):

- Ταχεία μέθοδος.
- Σημαντική μείωση του όγκου των απορριμμάτων.
- Παραγωγή ενέργειας από την καύση.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας.
- Κάλυψη μικρής έκτασης.
- Δεν υπάρχει ανάγκη μακροχρόνιας παρακολούθησης της συμπεριφοράς του βιοαερίου που παράγεται. Όμως όταν τα απορρίμματα δεν αποτεφρώνονται αλλά καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. τότε υπάρχει ανάγκη μακροχρόνιας παρακολούθησης της συμπεριφοράς του βιοαερίου που παράγεται επειδή το κλείσιμο ενός Χ.Δ.Α. δεν συνοδεύεται με αδρανοποίηση των μικροβιολογικών διεργασιών στον Χ.Δ.Α. με αποτέλεσμα να παράγεται βιοαέριο. Η αδρανοποίηση παρατηρείται τουλάχιστον 20-30 χρόνια μετά το κλείσιμο του Χ.Δ.Α.

Αντίθετα, τα μειονεκτήματα είναι (Ρούσσος, 2009): :

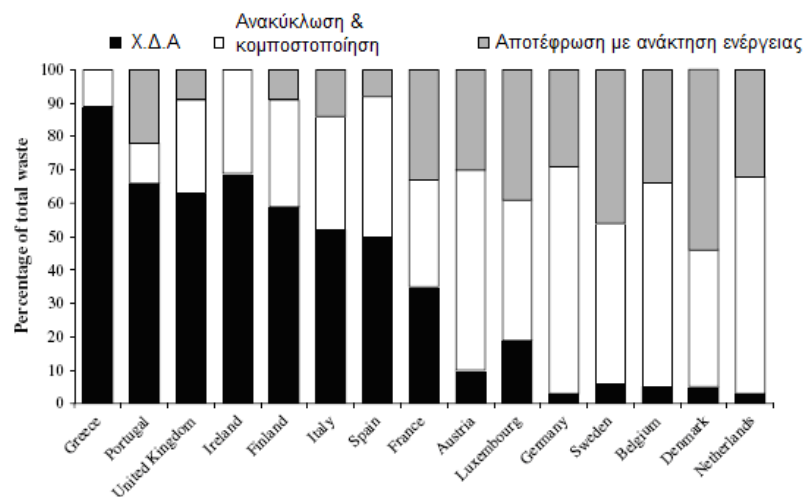
- Υψηλό κόστος κατασκευής.
- Μονάδες υψηλής τεχνολογίας.
- Κίνδυνος διαφυγής τοξικών αερίων (διοξίνες).
- Παραγωγή CO₂ (φαινόμενο θερμοκηπίου).

Στα Διάγραμμα 5 & 6 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέθοδοι διαχείρισης των απορριμμάτων σε διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το ποσοστό χρήσης της κάθε μεθόδου για τα έτη 2002 και 2006 αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5: Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ε.Ε.

το έτος 2002. (Λάλας κ.ά., 2007).

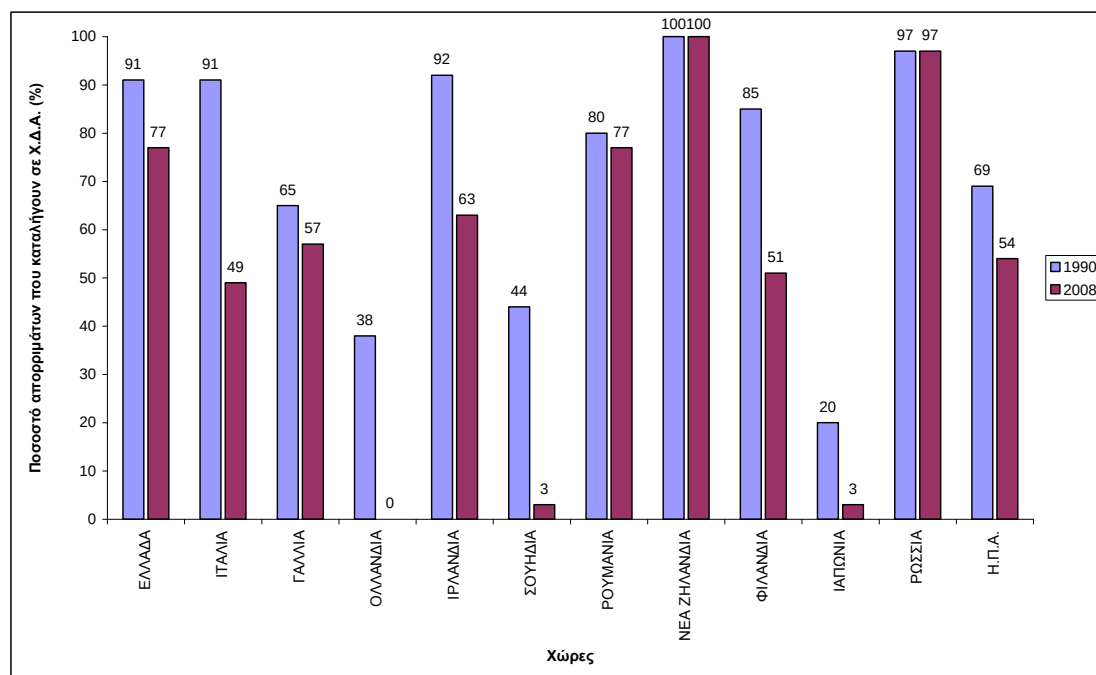


Διάγραμμα 6: Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ε.Ε. το έτος

2006. (Papageorgiou κ.ά., 2009).

Στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζεται το ποσοστό των απορριμμάτων που καταλήγουν σε χώρους διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) σε διάφορες χώρες. Παρατηρούμε ότι το ποσοστό των απορριμμάτων που καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. μειώθηκε το 2008 σε σύγκριση με το 1990 για όλες τις χώρες με εξαίρεση τη

Νέα Ζηλανδία και τη Ρωσία που έχουν μείνει στάσιμες. Οι χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά απορριμμάτων που καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. για το έτος 2008 είναι η Νέα Ζηλανδία (100%), η Ρωσία (97%), η Ελλάδα (77%) και η Ρουμανία (77%) ενώ οι χώρες με τα μικρότερα ποσοστά είναι η Ολλανδία (0%), η Σουηδία (3%) και η Ιαπωνία (3%).



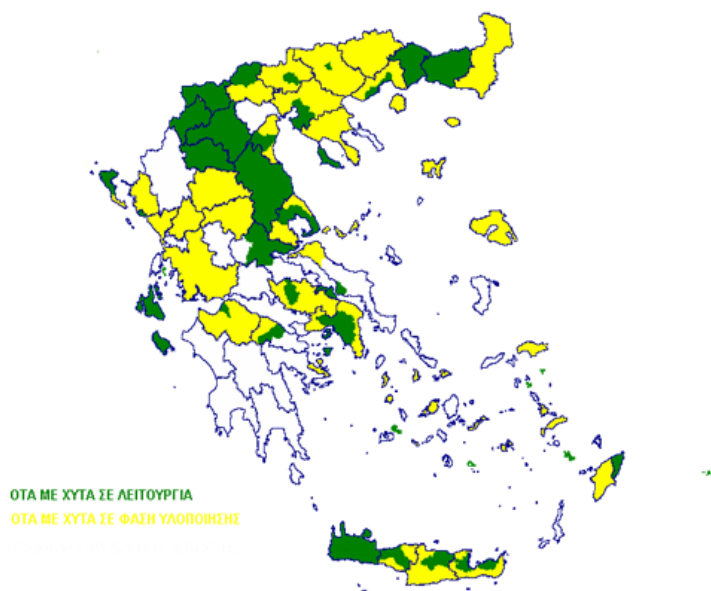
Διάγραμμα 7: Ποσοστό απορριμμάτων που καταλήγουν σε χώρους διάθεσης απορριμμάτων.

Το ποσοστό των απορριμμάτων που καταλήγουν σε χώρους διάθεσης απορριμμάτων έχει μειωθεί με την πάροδο του χρόνου λόγω των συστημάτων διαχείρισης που έχουν δημιουργηθεί. Κάθε σύστημα διαχείρισης Α.Σ.Α. είναι ένας συνδυασμός επεξεργασιών και αποσκοπεί στην εκμετάλλευση της χωρητικότητας του φυσικού περιβάλλοντος να απορροφήσει απόβλητα χωρίς υπέρβαση των αποδεκτών ορίων για την ποιότητα του.

Αναφέρονται στη συνέχεια ενδεικτικά τα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων που εφαρμόζουν διάφορες χώρες.

Ελλάδα

Η Ελλάδα βασίζεται ακόμη σχεδόν αποκλειστικά στην εδαφική διάθεση των αποβλήτων, με ένα μικρό ποσοστό να ανακυκλώνεται. Η εδαφική διάθεση αναφέρεται σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) αλλά και σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Α.Δ.Α.). Στο Σχήμα 1 φαίνεται η συνολική κάλυψη της χώρας από έργα Χ.Υ.Τ.Α., όπου με πράσινο χρώμα είναι οι περιοχές όπου λειτουργούν Χ.Υ.Τ.Α. ενώ με κίτρινο οι περιοχές με Χ.Υ.Τ.Α. υπό κατασκευή.



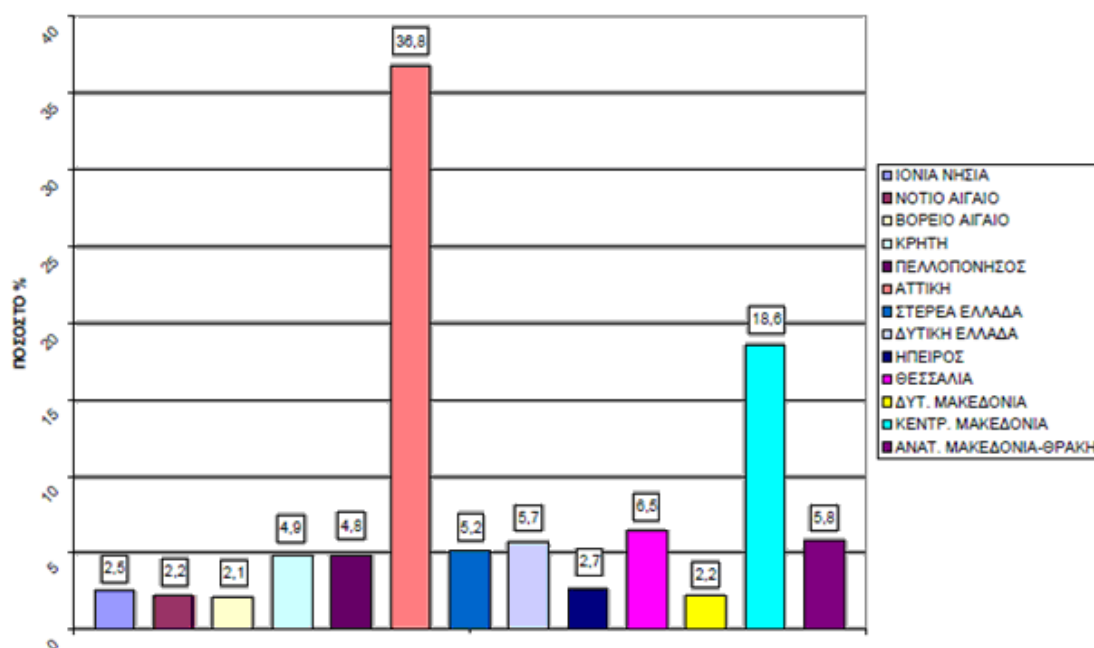
Σχήμα 1: Κάλυψη της χώρας από έργα Χώρων Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων για το έτος 2005 (Λάλας κ.ά., 2007).

Οι υπό κατασκευή Χ.Υ.Τ.Α. έχουν δυναμικότητα που φτάνει τους 2.500.000 τόνους/έτος (Λάλας κ.ά., 2007). Συγκρίνοντας την κατάσταση με το έτος 2002 (Μαυρόπουλος κ.ά., 2002) προκύπτει ότι τη τριετία 2002-2005 έχουν κατασκευαστεί 10 νέοι Χ.Υ.Τ.Α.

Στα πλαίσια της ημερίδας “Τεχνολογίες Διαχείρισης Στερών Αποβλήτων”, που διοργάνωσε ο Πανελλήνιος Σύλλογος Χημικών Μηχανικών (ΠΣΧΜ) (12/2004), εξάχθηκαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ο αριθμός των υπό λειτουργία Χ.Α.Δ.Α. είναι 1458.
- Πολλοί από τους Χ.Α.Δ.Α., αν και έχουν παύσει τη λειτουργία τους, δεν έχουν αποκατασταθεί, με αποτέλεσμα να συνεχίζονται οι περιβαλλοντικές οχλήσεις.
- Σε πολλούς από τους υπό λειτουργία Χ.Υ.Τ.Α. εμφανίζεται σημαντικό πρόβλημα ως προς το μη ορθό τρόπο λειτουργίας τους, τον έλεγχο και την παρακολούθηση καθώς και την μη συμμόρφωση με τις πρόσφατες νομοθετικές απαιτήσεις.
- Απουσιάζουν σχεδόν παντελώς συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων με σημαντική διεθνή παρουσία, όπως κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων, τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας, ενώ η ενεργειακή αξιοποίηση των Α.Σ.Α. είναι σχεδόν ανύπαρκτη.
- Η έλλειψη αξιόπιστων στοιχείων για την ποιοτική σύσταση και τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των Α.Σ.Α. δημιουργεί προβλήματα στα σχέδια ορθολογικής διαχείρισης.

Στο Διάγραμμα 8 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή της παραγωγής των Α.Σ.Α. στην Ελλάδα ανά περιφέρεια κατά το έτος 2001.



Διάγραμμα 8: Ποσοστιαία κατανομή της παραγωγής των Α.Σ.Α. στην Ελλάδα ανά περιφέρεια κατά το έτος 2001 (Καλδέλλης, 2005).

Γερμανία

Στη Γερμανία πραγματοποιείται διαλογή και θερμική επεξεργασία Α.Σ.Α. Αποτελεί μια από τις πρώτες χώρες που υιοθέτησαν τη θερμική επεξεργασία. Συμφωνά με τα στοιχεία του 2004, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από θερμική επεξεργασία Α.Σ.Α. ανέρχονται στις 61, αριθμός ο οποίος αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον αφού η Γερμανία έχει απαγορεύσει την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων (Λάλας κ.ά., 2007). Όσον αφορά τον τομέα διαχείρισης της ανακύκλωσης των υλικών συσκευασίας, τον έχει αναλάβει ο ιδιωτικός φορέας, ενώ ένας ενδιάμεσος ιδιωτικός οργανισμός συντονίζει το όλο πρόγραμμα (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2000).

Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί επίσης, ότι η πόλη Schleswig-Holstein, εφαρμόζει επιτυχώς από το έτος 1995, ένα πρόγραμμα που σχετίζεται με τη

συλλογή, επισκευή, πώληση αλλά και ανακύκλωση παλιών μεταχειρισμένων επίπλων. Το πρόγραμμα αυτό οφείλει την επιτυχία του στο γεγονός ότι καλύπτει τις ανάγκες του πολίτη, δημιουργεί σπουδαία επενδυτικά κίνητρα και μειώνει εν μέρει την ανεργία με τις θέσεις εργασίας που προσφέρει (Θωμά, 2005).

Στόχος του προγράμματος είναι με τις επιδοτήσεις του προϋπολογισμού της τοπικής αυτοδιοίκησης, να δοθεί κίνητρο δημιουργίας μιας αλυσίδας επιχειρήσεων που να διαχειρίζεται τα υλικά από ανακύκλωση, με σκοπό την τελική τους διάθεση στην αγορά, σε ανταγωνιστικές τιμές. Συνεπώς, θα δημιουργηθούν περισσότερες ανάγκες διακίνησης ανακυκλωμένων υλικών με χαμηλό κόστος ακόμα και σε είδη ένδυσης, διατροφής και μετακίνησης (Θωμά, 2005).

Δανία

Στη Δανία γίνεται διαλογή και θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων ενώ ένα μικρό ποσοστό απορριμμάτων (7%) καταλήγει σε Χ.Υ.Τ.Α. Η Δανία αποτέλεσε μια από τις πρωτοπόρες χώρες στον τομέα της θερμικής επεξεργασίας (τουλάχιστον στην Ευρώπη) και το 2003 γιόρτασε 100 χρόνια εφαρμογής μεθόδων θερμικής επεξεργασίας Α.Σ.Α. Κατά την πάροδο αυτών των 100 χρόνων, οι Δανοί είδαν τις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας Α.Σ.Α. να μεταβάλλονται και να μετατρέπονται από χώρους “καταστροφής” απορριμμάτων σε “περιβαλλοντικά φιλικές” και αξιόπιστες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Η Δανία διέθετε το έτος 2007 συνολικά 30 μονάδες παραγωγής ενέργειας (θερμότητας και ηλεκτρισμού) από Α.Σ.Α., οι οποίες

λειτουργούν με πολύ καλές αποδόσεις και προκαλούν ελάχιστη περιβαλλοντική όχληση (Λάλας κ.ά., 2007). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι ορισμένοι δήμοι σε περίπτωση που κάποιοι πολίτες χρησιμοποιούν κάδους κομποστοποίησης απορριμμάτων, επιβάλλουν μικρότερη φορολογία.

Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ηνωμένο βασίλειο, αν και αποτέλεσε την πρώτη χώρα της Ευρώπης, που υλοποίησε τη θερμική επεξεργασία των Α.Σ.Α., δεν εξακολουθεί και σήμερα να είναι πρωτοπόρα στον συγκεκριμένο τομέα, καθώς οι μονάδες που διέθετε το 2007 είναι μόλις 15, ενώ το 50% των παραγόμενων Α.Σ.Α. διαχειρίζεται μέσω της υγειονομικής ταφής (Λάλας, 2007)

Η.Π.Α.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του 2005, από τους 245,7 εκ. τόνους Α.Σ.Α., που παρήχθησαν στις Η.Π.Α., το 23,8% ανακυκλώθηκε, το 8,3% κομποστοποιήθηκε, το 13,6% επεξεργάστηκε θερμικά σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και το 54,3% κατέληξε σε υγειονομική ταφή, γεγονός το οποίο ενδεχομένως να οφείλεται και στη μεγάλη διαθεσιμότητα γης (Λάλας, 2007).

3. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

3.1 Εισαγωγή

Υπάρχει όλο και περισσότερο ενδιαφέρον για τις εκπομπές αέριων ρύπων από χώρους διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) και τη συμβολή τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι εκπομπές από Χ.Δ.Α. μπορεί να μην είναι κυρίαρχες πηγές για τους περισσότερους συμβατικούς αέριους ρύπους, περιέχουν όμως σημαντικές ποσότητες μεθανίου, οι οποίες συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, δύσσομες ενώσεις καθώς επίσης και σημαντικούς βλαπτικούς και τοξικούς αέριους ρύπους.

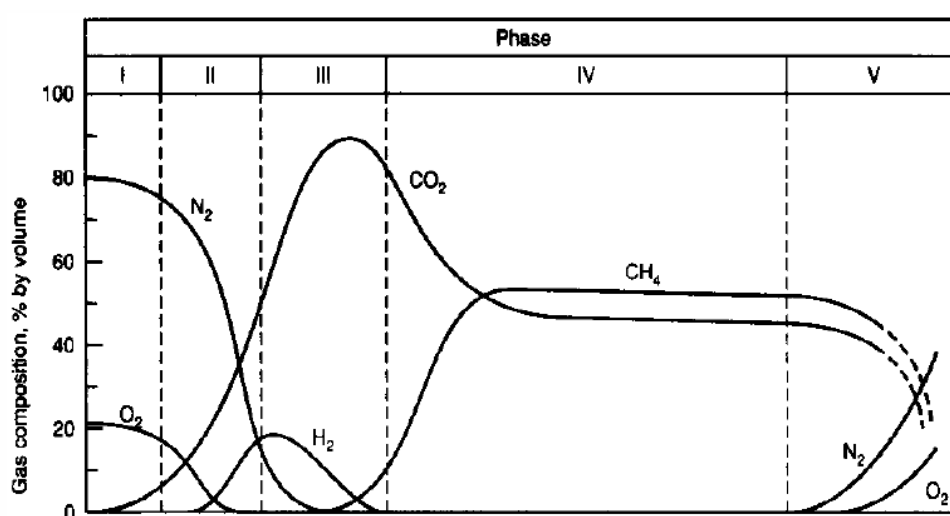
Η απογραφή των παραγόμενων αέριων ρυπαντικών φορτίων από Χ.Δ.Α. είναι στοιχείο χρήσιμο για μια ολοκληρωμένη αποτύπωση της παραγόμενης αέριας ρύπανσης από Χ.Δ.Α. καθώς και για το σχεδιασμό και την εφαρμογή μιας πολιτικής μείωσης των αέριων εκπομπών και διαχείρισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που παράγεται από αυτές (Παρασκάκη, 2003).

Χρησιμοποιούνται σήμερα διάφορες μέθοδοι για την εκτίμηση των εκπομπών βιοαερίου από χώρους διάθεσης απορριμμάτων. Αυτές οι μέθοδοι διαφέρουν σημαντικά, όχι μόνο στις παραδοχές τις οποίες κάνουν, αλλά και ως προς την πολυπλοκότητά τους και τα στοιχεία που απαιτούν για να λειτουργήσουν. Ωστόσο, η αβεβαιότητα των εκτιμήσεων είναι μεγάλη, διότι ο ίδιος ο μηχανισμός των εκπομπών είναι πολύπλοκος και κατ' επέκταση οι υπολογισμοί είναι δύσκολοι. Επίσης, είναι δύσκολη η συλλογή αξιόπιστων στοιχείων για τα απορρίμματα.

3.2. Παραγωγή αερίων ρύπων από χώρους διάθεσης απορριμμάτων

Η αναερόβια αποσύνθεση των αστικών στερεών αποβλήτων σε Χ.Δ.Α. παράγει περίπου 45-60% CH₄ και 40-60% CO₂ σε συνδυασμό με άλλα ίχνη αερίων (Hedge κ.ά., 2003).

Η βιαποδόμηση των οργανικών υλικών και η παραγωγή αερίων θεωρείται ότι συμβαίνει σε πέντε διαδοχικές φάσεις, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 9.



Διάγραμμα 9: Μεταβολή της συγκέντρωσης των βασικότερων συστατικών του βιοαερίου με το χρόνο (Tchobanoglous κ.ά., 1993).

Οι φάσεις αυτές περιγράφονται ως εξής (Γενειατάκης, 2004):

Φάση I-αρχική προσαρμογή: Πρόκειται για μικρής διάρκειας αέρια φάση που λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την απόθεση των απορριμμάτων, στην οποία τα ευκόλως αποδομούμενα οργανικά συστατικά αποσυνθέτονται αερόβια με παραγωγή CO₂. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα αέρια του Χ.Δ.Α. έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- **N₂:** 80% αρχικά και φθάνει στο 75%.
- **O₂:** 20% αρχικά και φθάνει σε τιμές λίγο πάνω από το 15%.

- **CO₂**: ξεκινάει από επίπεδα ατμοσφαιρικά και φτάνει μέχρι και το 10%.

Φάση II-Μεταβατική φάση: Η μεταβατική φάση μπορεί να κρατήσει από 1 έως 6 μήνες. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης η ποσότητα του O₂ έχει εξαντληθεί από την προηγούμενη φάση και αναερόβιες συνθήκες αρχίζουν να επικρατούν στο εσωτερικό του Χ.Δ.Α. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζει δραματικά ο χαρακτήρας των μικροοργανισμών που επικρατούν στο στάδιο αυτό με αποτέλεσμα τελικά να επικρατήσουν οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Η δράση των βακτηρίων έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων, CO₂ και H₂. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα αέρια του Χ.Δ.Α. έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- **N₂**: κατακόρυφη πτώση της συγκέντρωσης σε επίπεδα χαμηλότερα του 20%.
- **O₂**: φθίνει ακόμα περισσότερο μέχρι ουσιαστικά να μηδενιστεί.
- **CO₂**: από το 10% φτάνει στο τέλος της φάσης αυτής σε τιμές πάνω από 50%.
- **H₂**: στο τέλος της φάσης αυτή φτάνει λίγο κάτω από το 20%.

Φάση III- Όξινη φάση: Κατά την όξινη φάση οι βιολογικές διεργασίες που άρχισαν στη μεταβατική φάση επιταχύνονται και έτσι έχουμε την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων οργανικών οξέων, διοξειδίου του άνθρακα και μικρότερες ποσότητες αερίου υδρογόνου. Η μετατροπή της οργανικής ύλης ακολουθεί τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο έχουμε την ενζυμική υδρόλυση των μιγμάτων με μεγάλα μοριακά βάρη (π.χ. λιπίδια, πολυσακχαρίδια, πρωτεΐνες και νουκλειικά οξέα) σε μίγματα με μικρότερο μοριακό βάρος, τα οποία είναι

κατάλληλα για χρήση από τους μικροοργανισμούς σαν πηγή ενέργειας και άνθρακα. Στο δεύτερο στάδιο συμβαίνει ζύμωση των παραπάνω προϊόντων και παραγωγή καρβοξυλικών οξέων μικρότερου μοριακού βάρους (προπιονικού, βουτυρικού και οξικού οξέος, τα οποία είναι πρόδρομες ενώσεις του μεθανίου), CO_2 , και H_2 . Στο τρίτο στάδιο συμβαίνει οξεογένεση (παραγωγή οξικού οξέος, CO_2 και H_2) από τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου (προπιονικό και βουτυρικό οξύ) από βακτήρια. Η διάρκεια της όξινης φάσης αυτής μπορεί να διαρκέσει 3 μήνες έως 3 χρόνια. Κατά τη διάρκεια της τα αέρια του Χ.Δ.Α. έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- **N_2** : πτώση της συγκέντρωσης μέχρι μηδενισμού.
- **CO_2** : το κυρίαρχο αέριο αυτής της φάσης που φτάνει και σε τιμές πάνω από το 90%.
- **H_2** : στη φάση αυτή φτάνει τη μέγιστη τιμή του 20% αλλά κατά τη διάρκεια της ίδιας φάσης εξαφανίζεται ανοίγοντας το δρόμο σε μεθανογενείς μικροοργανισμούς .
- **CH_4** : για πρώτη φορά αρχίζει να εμφανίζεται σε αυτή τη φάση.

Φάση IV- φάση μεθανικής ζύμωσης: Χαρακτηρίζεται ως φάση του μεθανίου, καθώς έχουμε σταθερή παραγωγή αυτού, της τάξης του 50-65%, κάτι που διατηρεί σε χαμηλά ποσοστά τα πτητικά οξέα και το H_2 . Στη διάρκεια της φάσης αυτής τα οργανικά οξέα που είχαν σχηματισθεί και το H_2 μετασχηματίζονται σε CH_4 και CO_2 . Οι μικροοργανισμοί μετασχηματισμού είναι αποκλειστικά αναερόβιοι και ονομάζονται μεθανογενείς μικροοργανισμοί. Σημαντικές ποσότητες CH_4 παράγονται μετά από 3 με 12 μήνες μετά την έναρξη της φάσης αλλά η παραγωγή του μπορεί να συνεχιστεί μέχρι και 30

χρόνια μετά το κλείσιμο του Χ.Δ.Α. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής τα αέρια του Χ.Δ.Α. έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο :

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

Φάση V-φάση ωρίμανσης : Κατά τη φάση αυτή η παραγωγή CH₄ ελαχιστοποιείται, παραμένει στα απορρίμματα ο ελάχιστος αποδομήσιμος οργανικός άνθρακας και εμφανίζεται N₂ στο βιοαέριο εξαιτίας της διάχυσής του στους χώρους απόθεσης από την ατμόσφαιρα. Αερόβιες ζώνες και υψηλά δυναμικά οξειδοαναγωγής για την παραγωγή CH₄ εμφανίζονται στα ανώτερα στρώματα του χώρου απόθεσης. Η φάση αυτή διαρκεί από 1 έως και 40 χρόνια. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα αέρια του Χ.Δ.Α. έχουν την παρακάτω σύνθεση κατά όγκο:

- **CO₂**: μειώνεται δραματικά φτάνοντας σε ατμοσφαιρικές τιμές.
- **CH₄**: μειώνεται δραματικά φτάνοντας σε ατμοσφαιρικές τιμές.
- **N₂**: αύξηση της συγκέντρωσης του σε ατμοσφαιρικά επίπεδα.
- **O₂**: αύξηση της συγκέντρωσης του σε ατμοσφαιρικά επίπεδα.

Η διάρκεια κάθε φάσης ποικίλει εξαρτώμενη από την κατανομή των οργανικών συστατικών στον Χ.Δ.Α., την επάρκεια θρεπτικών, την υγρασία των απορριμμάτων και το επίπεδο της αρχικής συμπίεσης των απορριμμάτων.

3.3. Εκτίμηση εκπομπών αερίων ρύπων με βάση τη μεθοδολογία IPCC

Η μεθοδολογία IPCC βασίζεται στις εξισώσεις (IPCC, 2000):

$$P_t = \sum_{x=x_0}^t A \times k \times MSW_T(x) \times MSW_F(x) \times L_0(x) \times e^{-k(t-x)} \quad (1)$$

$$E_t = (P_t - R_t) \times (1 - OX) \quad (2)$$

$$L_0(x) = MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times 16/12 \quad (3)$$

$$A = (1 - e^{-k}) / k \quad (4)$$

όπου P_t η παραγωγή μεθανίου το έτος t , E_t οι εκπομπές μεθανίου το έτος t , A ο συντελεστής κανονικοποίησης, k η σταθερά αντίδρασης παραγωγής μεθανίου, MSW_T το σύνολο των παραγόμενων απορριμμάτων, MSW_F το ποσοστό των απορριμμάτων που αποτίθεται σε χώρο απόθεσης, $L_0(x)$ η θεωρητική παραγωγή μεθανίου, R η ανακτώμενη ποσότητα μεθανίου, OX το ποσοστό του παραγόμενου μεθανίου που οξειδώνεται, MCF ο συντελεστής διόρθωσης ανάλογα με το είδος του χώρου διάθεσης, DOC ο βιοαποικοδομήσιμος οργανικός άνθρακας, DOC_F το ποσοστό του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού άνθρακα που μετατρέπεται σε βιοαέριο και F η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο.

Συντελεστής διόρθωσης μεθανίου (MCF):

Οι σύγχρονοι Χ.Υ.Τ.Α. χαρακτηρίζονται από ευνοϊκές συνθήκες για αναερόβια αποσύνθεση. Πιο συγκεκριμένα (Κουτσιούκη, 2005):

- Μεγάλο βάθος ταφής (ελάχιστο 10 μέτρα).
- Υψηλή συμπίεση με ειδικά μηχανήματα.
- Σωστά σχεδιασμένα συστήματα συλλογής στραγγισμάτων και όμβριων υδάτων.

- Έλεγχος της ποσότητας και της σύστασης των εισερχομένων στο χώρο απορριμμάτων.
- Συχνή επικάλυψη με χώμα.
- Αποφυγή των πυρκαγιών.
- Αποφυγή της εισόδου ζώων στο χώρο.
- Εγκατάσταση συστήματος συλλογής, ελέγχου και ανάκτησης του βιοαερίου.

Αντιθέτως, οι συνθήκες που επικρατούν στους ανεξέλεγκτους ή ημι-ελεγχόμενους χώρους ταφής απορριμμάτων, ευνοούν την αερόβια αποσύνθεση. Πιο συγκεκριμένα:

- Μικρά βάθη ταφής (< 5 μέτρα).
- Φτωχός μηχανολογικός εξοπλισμός με αποτέλεσμα τη μικρή συμπίεση των απορριμμάτων.
- Καθόλου ή περιορισμένη κάλυψη της επιφάνειας.
- Αναμόχλευση των απορριμμάτων από ανθρώπους και ζώα.

Οι πραγματικές συνθήκες, στις περισσότερες περιπτώσεις, βρίσκονται κάπου ανάμεσα στους δύο παραπάνω τρόπους διάθεσης. Η IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) προτείνει τις παρακάτω τιμές για τον συντελεστή MCF.

Πίνακας 3: Συντελεστή MCF σε συνάρτηση του τύπου Χ.Δ.Α.

Τύπος Χ.Δ.Α.	Τιμές MCF
Διαχείριση εκπομπών	1
Ανυπαρξία συστήματος διαχείρισης εκπομπών- βάθος $\geq 5m$ απορριμμάτων	0,8
Ανυπαρξία συστήματος διαχείρισης εκπομπών- βάθος $\leq 5m$ απορριμμάτων	0,4
Default τιμή – μη κατηγοριοποιήσιμος χώρος	0,6

Βιοαποικοδομήσιμος οργανικός άνθρακας (DOC):

Ο βιοαποικοδομήσιμος οργανικός άνθρακας (DOC) υπολογίζεται από την εξίσωση (5) (Thompson κ.ά., 2009):

$$DOC (\%) = 0,4 \times (A) + 0,17 \times (B) + 0,15 \times (C) + 0,3 \times (D) \quad (5)$$

όπου:

A: το ποσοστό των χαρτιών και των υφασμάτων στα εναποτιθέμενα απορρίμματα,

B: το ποσοστό των απορριμμάτων κήπου και άλλων οργανικών που αποσυντίθενται, εκτός από τα τροφικά υπολείμματα, στα εναποτιθέμενα απορρίμματα,

C: το ποσοστό των τροφικών υπολειμμάτων στα εναποτιθέμενα απορρίμματα,

D : το ποσοστό του ξύλου στα εναποτιθέμενα απορρίμματα.

Το ποσοστό του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού άνθρακα που μετατρέπεται σε βιοαέριο (DOC_F):

Το ποσοστό του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού άνθρακα που μετατρέπεται σε βιοαέριο υπολογίζεται από την εξίσωση του Tabasaran:

$$\text{DOC}_F = 0,014 \times T + 0,28 \quad (6)$$

όπου T η θερμοκρασία των απορριμμάτων.

Ωστόσο, σήμερα, οι τιμές αυτής της παραμέτρου είναι υπό εξέταση και η IPCC (1996) πρότεινε την τιμή 0,77 ενώ αργότερα (2006) διόρθωσε την προτεινόμενη τιμή σε 0,5 (Thompson κ.ά., 2009). Παρόλα αυτά, δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο σε ποιο βαθμό η θερμοκρασία στην αναερόβια ζώνη επηρεάζει το ποσοστό του DOC που μετατρέπεται σε μεθάνιο, κατά την αποδόμηση.

Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο (F):

Το βιοαέριο στη βασική αναερόβια φάση, αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και από ένα μεγάλο αριθμό ιχνοαερίων. Η IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) προτείνει την τιμή 0,5, δηλαδή θεωρείται ότι το βιοαέριο αποτελείται από 50% μεθάνιο.

Συντελεστής οξείδωσης τους μεθανίου (OX):

Η ποσότητα του μεθανίου που οξειδώνεται είναι αβέβαιη, εξαρτώμενη από πολλούς παράγοντες (θερμοκρασία επιφανειακού χώματος, χαρακτηριστικά χώματος). Η έρευνα πάνω στο θέμα ποσοτικοποίησης του οξειδούμενου μεθανίου σε Χ.Δ.Α. είναι περιορισμένη. Η EPA (Environmental protection

Agency) θεωρεί ότι κατά τη μεταφορά του μεθανίου στην επιφάνεια του Χ.Δ.Α., οξειδώνεται το 10% του παραγόμενου μεθανίου.

Θεωρητική παραγωγή μεθανίου (L_0):

Είναι η σταθερά που αντιπροσωπεύει την εν δυνάμει ικανότητα των απορριμμάτων να παράγουν μεθάνιο και εξαρτάται από το είδος των απορριμμάτων. Όσο μεγαλύτερο είναι το οργανικό κλάσμα στα απορρίμματα, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του L_0 . Οι κατευθυντήριες οδηγίες της IPCC αναφέρονται σε ένα εύρος τιμών από $100 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn}$ απορριμμάτων έως και $200 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn}$ απορριμμάτων. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από το DOC, το DOC_F , και τις συνθήκες που επικρατούν στο Χ.Δ.Α.

3.4. Βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφορικά με τις εκπομπές αέριων ρύπων από Χ.Δ.Α.

Στη συνέχεια γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφορικά με τις εκπομπές αέριων ρύπων από Χ.Δ.Α. σε διάφορες χώρες:

Στην Αυστραλία οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα) το έτος 1998 ήταν $460 \text{ Mt CO}_{2\text{eq}}$ όπου το 3,4% οφείλονταν στα απόβλητα. Από αυτό το ποσοστό το 90% οφείλονταν στην αναερόβια αποσύνθεση των οργανικών ουσιών σε Χ.Δ.Α. (AGO 2000).

Ως ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα ορίζεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα που θα προκαλούσε το ίδιο δυναμικό παγκόσμια αύξησης της θερμοκρασίας (GWP) με ένα δεδομένο μίγμα αέριων του

θερμοκηπίου. Το GWP είναι μια έννοια που λαμβάνει υπ' όψιν την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας του αερίου και τη διάρκεια ζωής του στην ατμόσφαιρα ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε την επίπτωση των διάφορων αερίων στην εξέλιξη του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Ο Καναδάς έχει τις περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά κάτοικο. Το 2001 οι κατά κεφαλήν εκπομπές του Καναδά ήταν 23,2 tn CO_{2eq} (ο πληθυσμός του Καναδά το 2001 ήταν 31,021 εκατομμύρια) άρα οι συνολικές εκπομπές του Καναδά ήταν 720 Mt CO_{2eq}. Από τους 720 Mt, οι 23 Mt CO_{2eq} παρήχθησαν από Χ.Δ.Α. Θα πρέπει να αναφέρουμε πως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (σε ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα) το έτος 1990 ήταν 608 Mt CO_{2eq} άρα είχαμε μια αύξηση 18,4% το έτος 2001 (Mohareb κ.ά., 2008).

Στην Κίνα οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από συστήματα διαχείρισης των ΑΣΑ είναι 467,34 Mt CO_{2eq} όπου το 68% οφείλεται σε Χ.Δ.Α. και το 26% σε θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ. Θα πρέπει να αναφέρουμε στην Κίνα ένα κιλό απόβλητα παράγει 0,65 kg CO_{2eq} (Zhao κ.ά., 2009).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο υπάρχουν αρκετές πηγές μεθανίου και το 20% των εκπομπών οφείλεται σε Χ.Δ.Α. Παρόλο που οι εκπομπές του μεθανίου είναι μικρότερες από αυτές του διοξειδίου του άνθρακα εκτιμάται ότι το μεθάνιο συνεισφέρει 18% στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας. Στο Ηνωμένο βασίλειο οι εκπομπές του μεθανίου που εκπέμπονται από Χ.Δ.Α. εκτιμώνται σε 22 Mt το χρόνο ενώ οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα που

εκπέμπονται από Χ.Δ.Α. εκτιμώνται σε 50 Mt το χρόνο. Η συμβολή των αερίων που παράγονται στους Χ.Δ.Α. στην υπερθέρμανση του πλανήτη είναι σχετικά μικρή και εκτιμάται στο 3% (Parageorgiou κ.ά., 2009).

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι εκπομπές του μεθανίου σε ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα για τις Η.Π.Α. Οι εκπομπές μεθανίου από χώρους υγειονομικής ταφής στις Η.Π.Α. αντιπροσωπεύουν το 34% των συνολικών εκπομπών του μεθανίου από ανθρωπογενές πηγές .

Πίνακας 5 : Εκπομπές μεθανίου (ισοδύναμο του CO₂) στις Η.Π.Α. από Χ.Δ.Α.

Tg CO ₂	1990	2000	2001	2002	2003
Χ.Δ.Α.	172,2	130,7	126,2	126,8	131,2
Σύνολο ανθρωπογενών πηγών	605,3	554,2	546,7	542,3	544,9

4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (LandGEM)

4.1. Εισαγωγή

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί αρκετά μαθηματικά μοντέλα ποσοτικοποίησης παραγωγής αερίων ρύπων (LandGEM model, IPCC methodology, stoichiometric model, triangular model). Η μεθοδολογία IPCC παρουσιάστηκε λεπτομερώς στην παράγραφο 3.3. Το κάθε μοντέλο κάνει διαφορετικές παραδοχές και χρησιμοποιεί διαφορετικά δεδομένα εισαγωγής για την εκτίμηση των αερίων εκπομπών. Το μοντέλο που θα χρησιμοποιήσουμε για να εκτιμήσουμε τα αέρια που εκπέμπονται από Χ.Δ.Α. είναι το μοντέλο “Landfill Gas Emissions Model” ή LandGEM.

4.2. Περιγραφή του μοντέλου LandGEM

Το μοντέλο Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) αναπτύχθηκε από το Κέντρο Ελέγχου Τεχνολογίας της Αμερικανικής Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος (US EPA) και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των αέριων ρύπων που παράγονται από Χ.Δ.Α. Το μοντέλο βασίζεται σε αποδόμησης πρώτης τάξης (US EPA, 2005):

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right)^{t_{i,j}} e^{-kt_{i,j}} \quad (7)$$

όπου:

Q_{CH_4} : η ετήσια παραγωγή μεθανίου κατά το έτος υπολογισμού (m^3 / yr),

n : η διαφορά: (έτος του υπολογισμού) - (έτος έναρξης της αποδοχής των απορριμμάτων),

M_i : η μάζα των εναποτιθέμενων απορριμμάτων στο έτος i (tn),

$t_{i,j}$: η ηλικία του j τμήματος των αποβλήτων M_i που εναποτέθηκαν στο Χ.Δ.Α. το έτος i (years),

k : η σταθερά αντίδρασης παραγωγής μεθανίου (yr^{-1}),

L_0 : η θεωρητική παραγωγή μεθανίου ($m^3 CH_4 / tn$ απορριμμάτων).

Για τον υπολογισμό του μεθανίου που εκπέμπεται πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας την ανάκτηση και την οξείδωση του μεθανίου με βάση την εξίσωση (8) που χρησιμοποιεί η IPCC μεθοδολογία:

$$E_t = (Q_{CH_4t} - R_t) \times (1 - OX) \quad (8)$$

όπου:

E_t : Οι εκπομπές μεθανίου το έτος t (tn/yr).

Q_{CH_4t} : Ο ρυθμός παραγωγής μεθανίου το έτος t (tn/yr).

R_t: Η ανάκτηση μεθανίου το έτος t (tn/yr)

OX: Η οξείδωση μεθανίου (%).

Ο ετήσιος ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται από την εξίσωση (9) (US EPA, 2005):

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \times \left[\frac{F}{100} + 1 \right] \quad (9)$$

όπου:

Q_{CO₂}: Ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα (m³/yr ή tn/yr).

Q_{CH₄}: Η ετήσια παραγωγή μεθανίου κατά το έτος υπολογισμού (m³/yr ή tn/yr).

F: Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο (%).

Ενώ ο ετήσιος ρυθμός παραγωγής για κάθε VOC (πτητική οργανική ουσία) υπολογίζεται από την εξίσωση (10):

$$Q_c = (Q_{CH_4} \times C_c \times m_c) / ((1 \times 10^6) \times (22,41)) \quad (10)$$

όπου:

c: Η πτητική οργανική ουσία μας ενδιαφέρει (π.χ. βινυλοχλωρίδιο).

Q_c: Ο ρυθμός παραγωγής της πτητικής οργανικής ουσίας (m³/yr).

C_c: Η συγκέντρωση της ουσίας (ppm).

Q_{CH₄}: Ο ρυθμός παραγωγής του μεθανίου (m³/yr).

m_c: Το μοριακό βάρος της πτητικής οργανικής ουσίας.

Για την λειτουργία του μοντέλου χρειαζόμαστε τα παρακάτω δεδομένα (US EPA, 2005):

- Τον ετήσιο ρυθμό αποδοχής απορριμμάτων.

- Τη σταθερά αντίδρασης παραγωγής μεθανίου η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση (11) (US EPA, 2004):

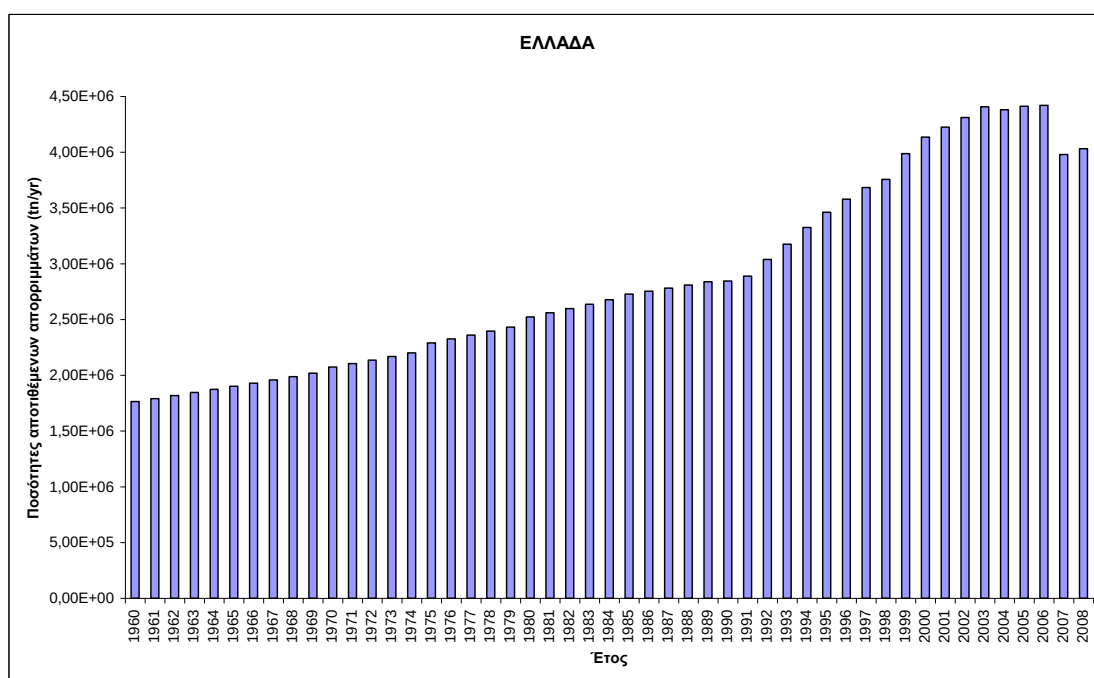
$$k=3,2 \times 10^{-5} \times \text{βροχόπτωση (mm)}+0,01 \quad (11)$$

- Τη θεωρητική παραγωγή μεθανίου (L_0). Η EPA προτείνει 3 σετ τιμών ($96 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn απορριμμάτων}$, $100 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn απορριμμάτων}$ και $170 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn απορριμμάτων}$) ενώ η IPCC όπως αναφέραμε πιο πάνω προτείνει ένα εύρος τιμών από $100 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn απορριμμάτων}$ έως και $200 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn απορριμμάτων}$. Στη βιβλιογραφία μπορούμε να εντοπίσουμε τιμές L_0 που να μη βρίσκονται στο εύρος τιμών που προτείνουν η EPA και η IPCC. Στην παρούσα εργασία δοκιμάσαμε διάφορες τιμές L_0 στο εύρος τιμών που προτείνουν η EPA και η IPCC ώστε να βρούμε τη βέλτιστη τιμή που αντιστοιχεί στην ελαχιστοποίηση της διαφοράς των δυο μοντέλων. Για την Ελλάδα η βέλτιστη τιμή L_0 είναι ίση με $150 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn απορριμμάτων}$ ενώ για τις υπόλοιπες χώρες είναι ίση με $100 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tn απορριμμάτων}$.
- Τη συγκέντρωση των συνολικών οργανικών μιγμάτων εκτός του μεθανίου (NMOCs). Η τιμή της εξαρτάται στο αν ο χώρος έχει σχεδιαστεί ώστε να δέχεται και επικίνδυνα απορρίμματα ή όχι (disposal ή co-disposal).
- Το έτος έναρξης λειτουργίας των Χ.Δ.Α.
- Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο.

Το μοντέλο υποθέτει χρόνο υστέρησης διάρκειας ίσο με ένα χρόνο πριν την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών και την έναρξη παραγωγής βιοαερίου (US EPA, 2005).

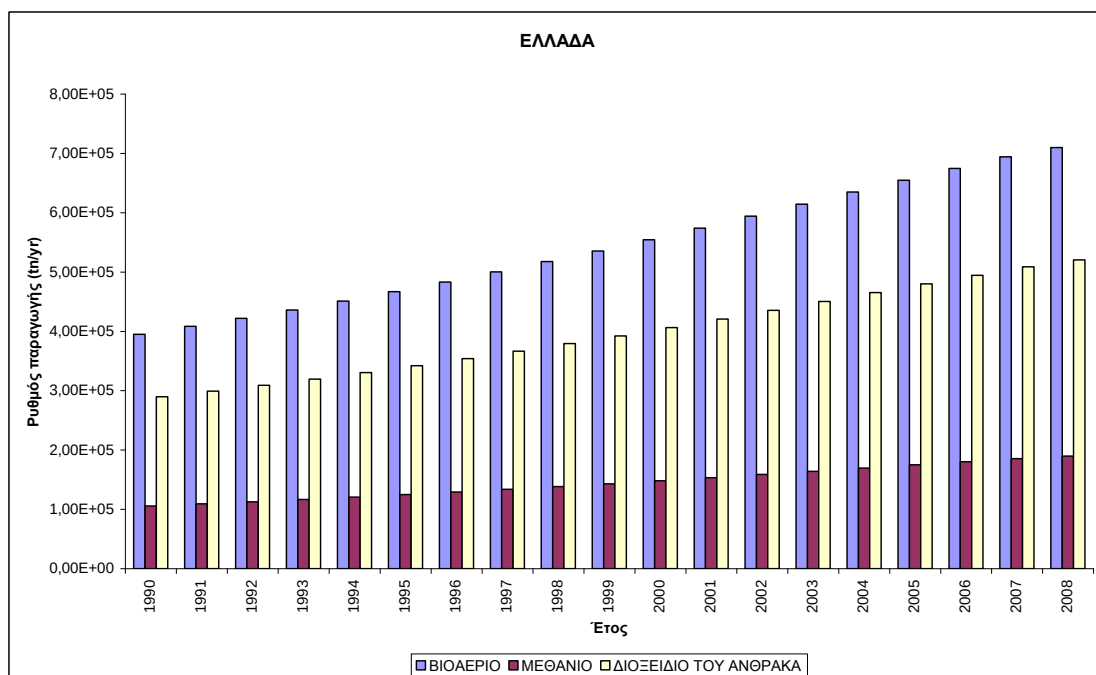
4.3. Εφαρμογή του μοντέλου LandGEM στην Ελλάδα

Για τον υπολογισμό των αέριων του θερμοκηπίου που παράγονται από όλους τους Χ.Δ.Α. της Ελλάδας για την περίοδο 1990-2008 εφαρμόστηκε το μοντέλο LandGEM. Το μοντέλο βελτιώθηκε με την προσθήκη εξίσωσης για τον υπολογισμό των εκπομπών του μεθανίου λαμβάνοντας υπόψη την ανάκτηση και την οξείδωση του μεθανίου. Για την εφαρμογή του μοντέλου θεωρήθηκε ότι η σταθερά ρυθμού αποδόμησης k είναι ίση με $0,02 \text{ yr}^{-1}$, η θεωρητική παραγωγή μεθανίου L_0 είναι ίση με $150 \text{ m}^3/\text{Mg}$, η συγκέντρωση των συνολικών οργανικών μιγμάτων εκτός του μεθανίου είναι ίση με 2400 ppmv ως εξάνιο, η συγκέντρωση μεθανίου στο βιοαέριο είναι ίση με 50% , το έτος έναρξης λειτουργίας είναι το 1960 και τέλος οι ετήσιες απορριπτόμενες ποσότητες απορριμμάτων παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 10 (MEECC, 2010). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ποσότητες των αποτιθέμενων απορριμμάτων αυξήθηκαν κατά 128% το 2008 σε σύγκριση με το 1960 ενώ σε σύγκριση με το 1990 αυξήθηκαν κατά 42% .



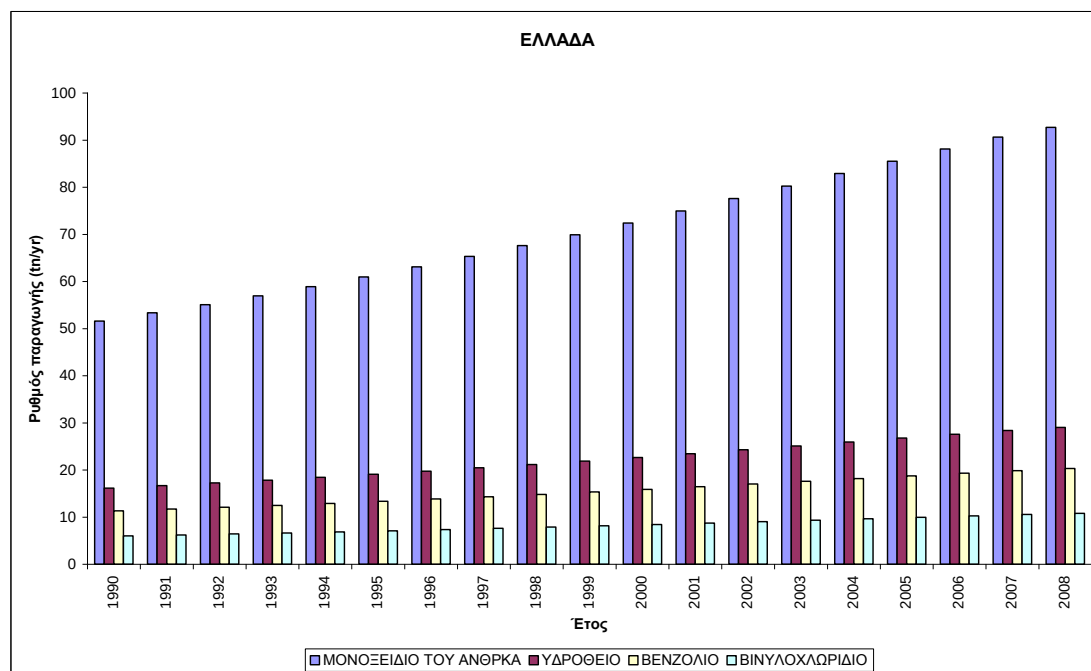
Διάγραμμα 10 : Ποσότητες αποτιθέμενων απορριμμάτων (tn/yr) (MEECC, 2010)

Το Διάγραμμα 11 παρουσιάζει τον ρυθμό παράγωγης βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1990-2008. Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζεται το έτος 2008 και είναι ίση με $7,10 \times 10^5$ tn/yr, $1,90 \times 10^5$ tn/yr και $5,20 \times 10^5$ tn/yr αντίστοιχα. Επίσης παρατηρούμε ότι η ελάχιστη παραγωγή βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζεται το έτος 1990 και είναι ίση με $3,96 \times 10^5$ tn/yr, $1,06 \times 10^5$ tn/yr και $2,90 \times 10^5$ tn/yr αντίστοιχα, ενώ η μέση παραγωγή βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα είναι ίση με $5,43 \times 10^5$ tn/yr, $1,45 \times 10^5$ tn/yr και $3,98 \times 10^5$ tn/yr. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκε το 2008 σε σύγκριση με το 1990 κατά 80%.



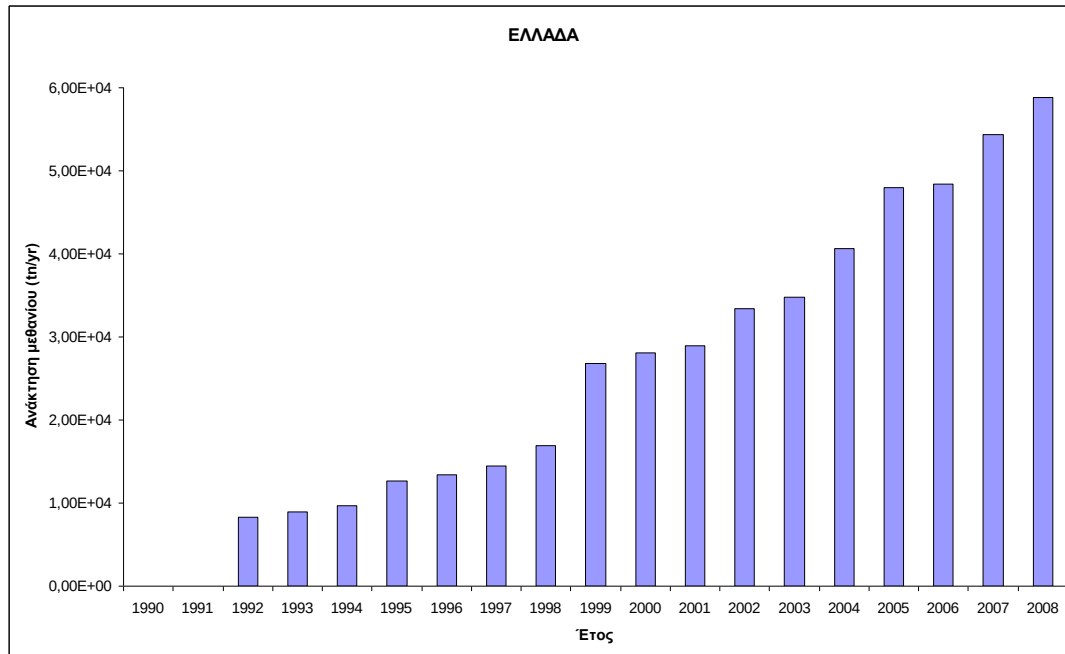
Διάγραμμα 11: Ρυθμός παραγωγής (tn/yr) βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1990-2008.

Το Διάγραμμα 12 παρουσιάζει τον ρυθμό παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου για την περίοδο 1990-2008. Η μέγιστη παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου παρουσιάζεται το έτος 2008 και είναι ίση με 92,71 tn/yr, 29,01 tn/yr, 20,31 tn/yr και 10,79 tn/yr αντίστοιχα. Επίσης παρατηρούμε ότι η ελάχιστη παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου παρουσιάζεται το έτος 1990 και είναι ίση με 51,60 tn/yr, 16,14 tn/yr 11,31 tn/yr και 6,00 tn/yr αντίστοιχα, ενώ η μέση παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου είναι ίση με 70,94 tn/yr, 22,19 tn/yr , 15,54 tn/yr και 8,25 tn/yr. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου αυξήθηκε το 2008 σε σύγκριση με το 1990 κατά 80%.

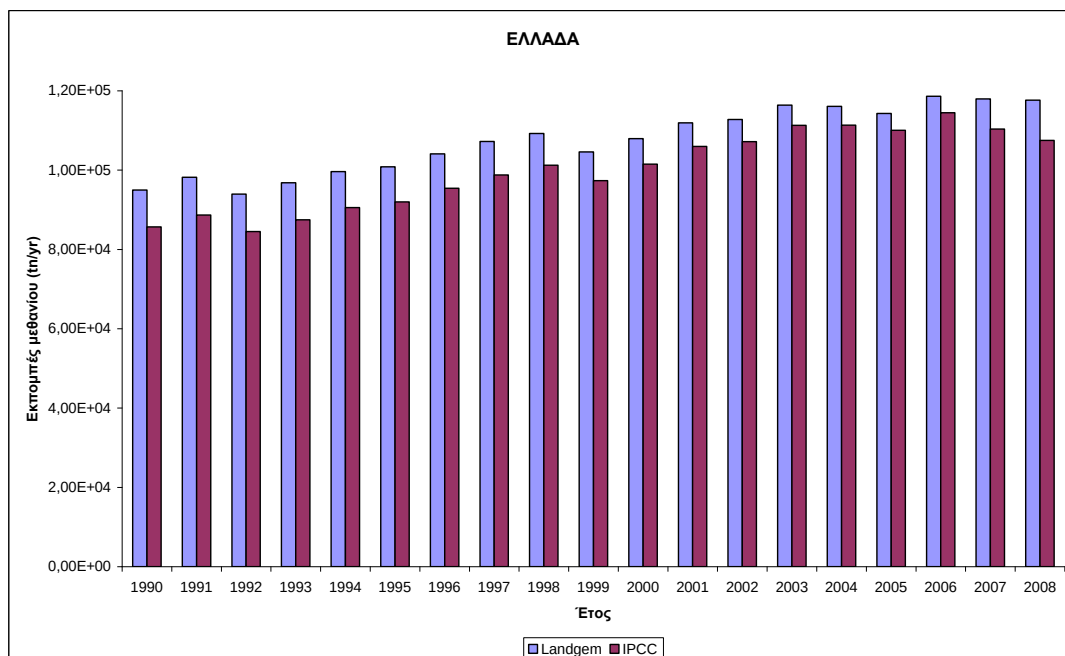


Διάγραμμα 12: Ρυθμός παραγωγής (tn/yr) CO, H₂S, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου για την περίοδο 1990-2008.

Το διάγραμμα 13 παρουσιάζει την ανάκτηση μεθανίου για την περίοδο 1990-2008. Η ανάκτηση μεθανίου πραγματοποιείται σε τέσσερις ελεγχόμενους χώρους διάθεσης απορριμμάτων (Αθήνα, Πάτρα, Λάρισα και Θεσσαλονίκη).



Διάγραμμα 13: Ανάκτηση μεθανίου από την καύση βιοαερίου (MEECC, 2010)



Διάγραμμα 14: Σύγκριση εκπομπών μεθανίου (tn/yr) για την περίοδο 1990-2008.

Στο Διάγραμμα 14 συγκρίνουμε τις εκπομπές μεθανίου που υπολογίστηκαν από το μοντέλο LandGEM με τη μεθοδολογία IPCC για την περίοδο 1990-2008. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται το έτος 2006 και για τα δύο μοντέλα. Για το μοντέλο LandGEM η μέγιστη τιμή είναι ίση με $1,18 \times 10^5$ tn/yr ενώ για τη μεθοδολογία IPCC η μέγιστη τιμή είναι ίση με $1,14 \times 10^5$ tn/yr. Στον Πίνακα 6 φαίνονται οι αποκλίσεις που έχουν τα δύο μοντέλα μεταξύ τους για την περίοδο 1990-2008.

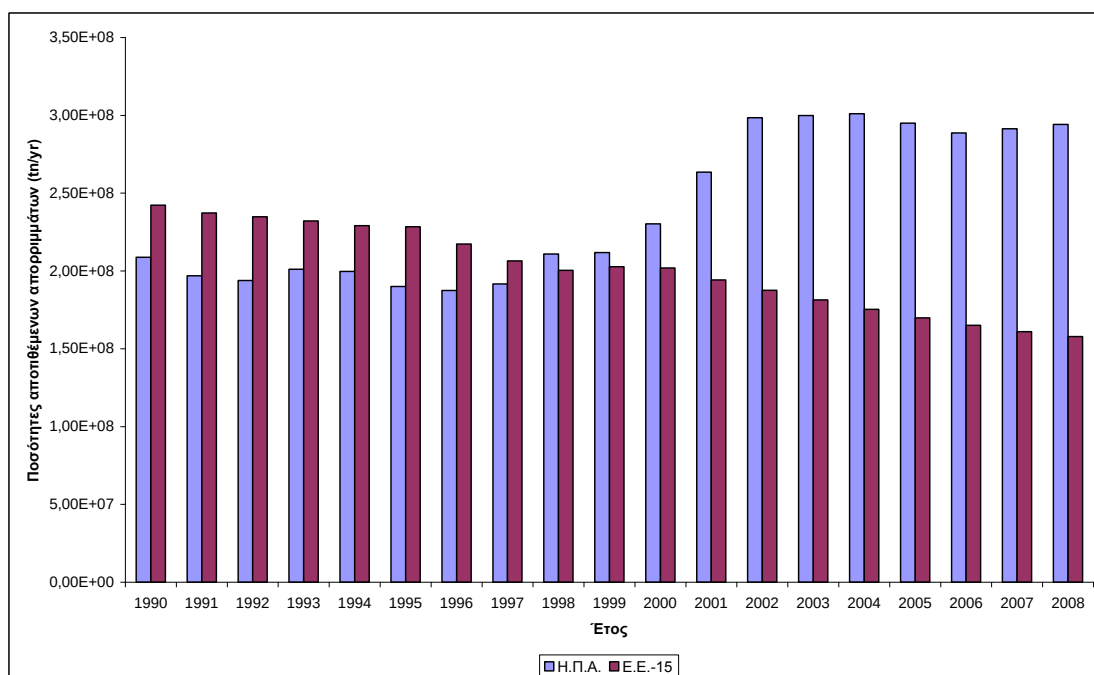
Πίνακας 6: Απόκλιση των δυο μοντέλων (LandGEM, IPCC) για την περίοδο 1990-2008.

Έτος	Απόκλιση (%)
1990	11
1991	11
1992	11
1993	11
1994	10
1995	10
1996	9
1997	9
1998	8
1999	7
2000	6
2001	6
2002	5
2003	5
2004	4
2005	4
2006	4
2007	7
2008	9
Μέση τιμή	8

4.4. Εφαρμογή του μοντέλου LandGEM στην Ε.Ε.-15 και στις Η.Π.Α.

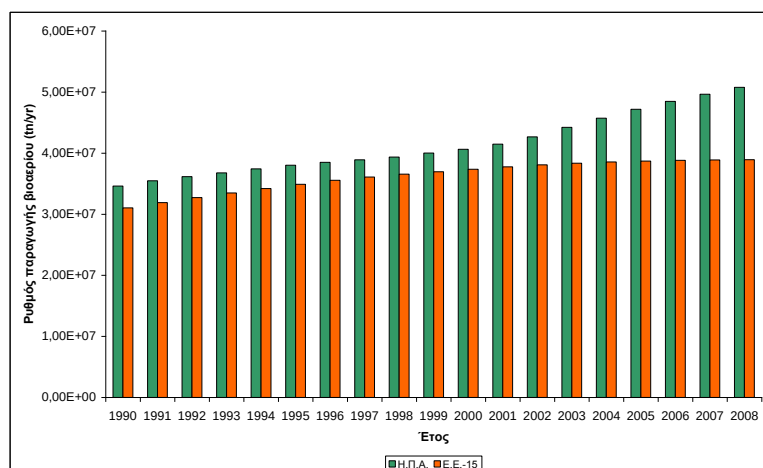
Εφαρμόστηκε το μοντέλο LandGEM για την Ευρωπαϊκή Ένωση των 15 κρατών-μελών και για τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Για την εφαρμογή του μοντέλου χρειάστηκαν οι ετήσιες απορριπτόμενες ποσότητες απορριμμάτων (Διάγραμμα 15). Στο Διάγραμμα 15 παρατηρούμε ότι οι ποσότητες των αποτιθέμενων απορριμμάτων μειώθηκαν κατά 35% το 2008 σε σύγκριση με το 1990 για την Ε.Ε.-15 ενώ για τις Η.Π.Α. αυξήθηκαν κατά 41%. Επίσης παρατηρούμε ότι από το 1998 μέχρι το 2008 οι ποσότητες των αποτιθέμενων απορριμμάτων στις Η.Π.Α. είναι υψηλότερες από της Ε.Ε.-15 παρόλο που ο πληθυσμός της Ε.Ε.-15 είναι κατά περίπου 85 εκατομμύρια κατοίκους μεγαλύτερος από τις Η.Π.Α.

Αυτό οφείλεται στο ότι οι Αμερικάνοι πολίτες παράγουν περίπου 0,5 kg/κάτοικο/ημέρα περισσότερα απορρίμματα από τους Ευρωπαίους πολίτες αλλά και λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας γης στις Η.Π.Α. με αποτέλεσμα να καταλήγει το 54% των απορριμμάτων σε Χ.Δ.Α. Αντίθετα σε χώρες της Ε.Ε. χρησιμοποιούνται εναλλακτικές μεθόδους επεξεργασίας απορριμμάτων, όπως για παράδειγμα η Γερμανία, όπου έχει καταργήσει την υγειονομική ταφή και χρησιμοποιεί τη θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων.

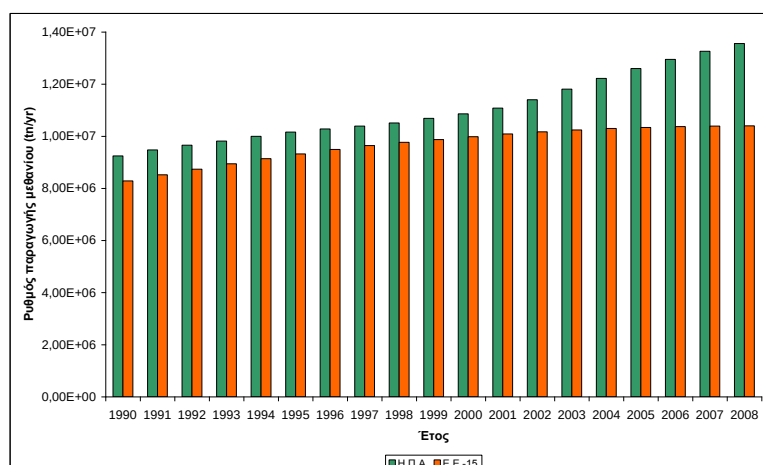


Διάγραμμα 15: Ποσότητες αποτιθέμενων απορριμμάτων (tn/yr) (European Environment Agency, 2010; EPA, 2010).

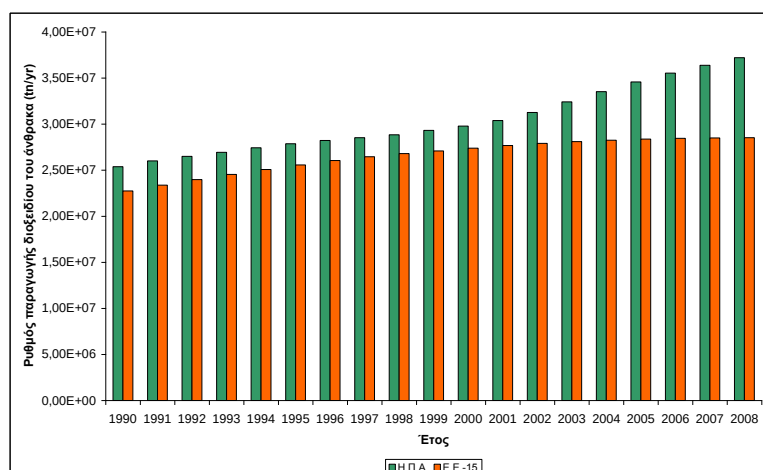
Το Διάγραμμα 16 παρουσιάζει τον ρυθμό παράγωγης βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1990-2008. Για τις Η.Π.Α. και την Ε.Ε.-15 η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζεται το έτος 2008 ενώ η ελάχιστη παραγωγή παρουσιάζεται το έτος 1990.



(α)



(β)



(γ)

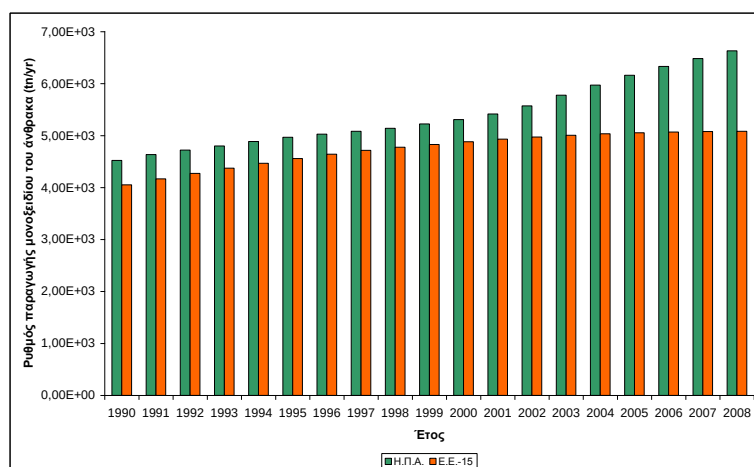
Διάγραμμα 16: Ρυθμός παραγωγής (tn/yr) (α) βιοαερίου, (β) μεθανίου και (γ) διοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1990-2008.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκε το 2008 σε σύγκριση με το 1990 κατά 25% για την Ε.Ε.-15 ενώ για τις Η.Π.Α. αυξήθηκε κατά 47%. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής για κάθε αέριο.

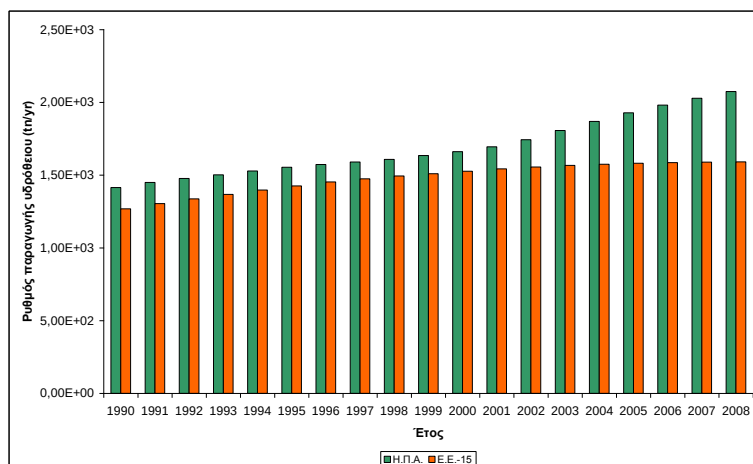
Πίνακας 7: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής.

	Ρυθμός παράγωγης βιοαερίου ($\times 10^7$ tn/yr)			Ρυθμός παράγωγης μεθανίου ($\times 10^7$ tn/yr)			Ρυθμός παράγωγης διοξειδίου του άνθρακα ($\times 10^7$ tn/yr)		
	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή
Ε.Ε.-15	3,89	3,10	3,63	1,04	0,83	0,97	2,85	2,27	2,66
Η.Π.Α.	5,08	3,46	4,14	1,36	0,92	1,11	3,72	2,54	3,03

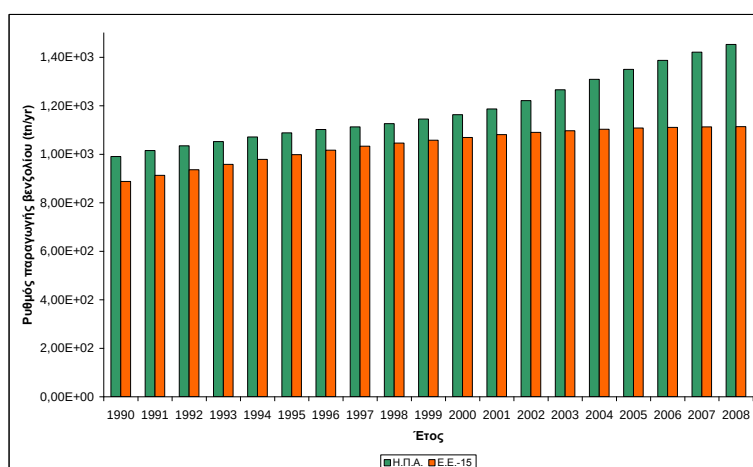
Το Διάγραμμα 17 παρουσιάζει τον ρυθμό παράγωγης μονοξειδίου του άνθρακα, υδροθείου, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου για την περίοδο 1990-2008. Για τις Η.Π.Α. και την Ε.Ε.-15 η μέγιστη παραγωγή παρουσιάζεται το έτος 2008 ενώ η ελάχιστη παραγωγή παρουσιάζεται το έτος 1990.



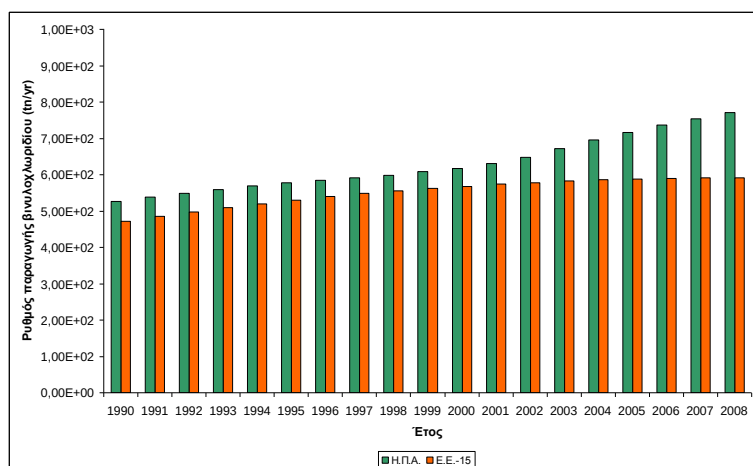
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Διάγραμμα 17: Ρυθμός παραγωγής (tn/yr) (α) μονοξειδίου του άνθρακα, (β) υδρόθειου, (γ) βενζολίου και (δ) βινυλοχλωριδίου για την περίοδο 1990-2008.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου αυξήθηκε το 2008 σε σύγκριση με το 1990 κατά 25% για την Ε.Ε.-15 ενώ για τις Η.Π.Α. αυξήθηκε κατά 47%. Στους Πίνακες 8 & 9 παρουσιάζονται οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής για κάθε αέριο ρύπο.

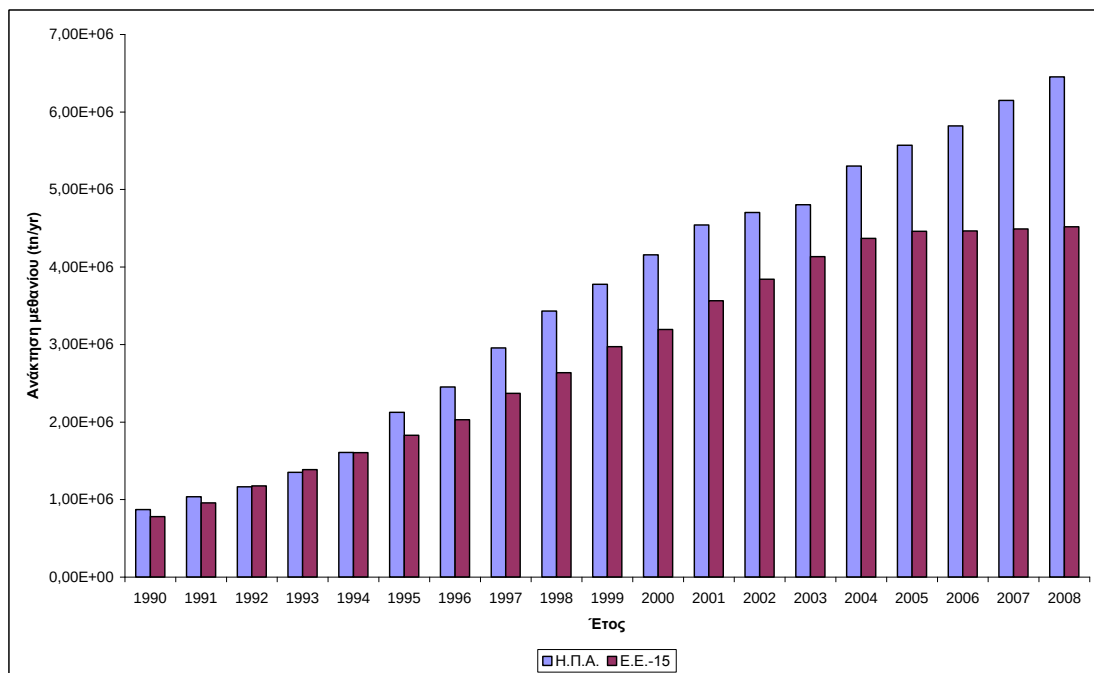
Πίνακας 8: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής.

	Ρυθμός παράγωγης μονοξειδίου του άνθρακα ($\times 10^3$ tn/yr)			Ρυθμός παράγωγης υδρόθειου ($\times 10^3$ tn/yr)		
	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή
Ε.Ε.-15	5,08	4,05	4,74	1,59	1,27	1,48
Η.Π.Α.	6,63	4,52	5,40	2,08	1,42	1,69

Πίνακας 9: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής.

	Ρυθμός παράγωγης βενζολίου ($\times 10^3$ tn/yr)			Ρυθμός παράγωγης βινυλοχλωριδίου ($\times 10^3$ tn/yr)		
	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή
Ε.Ε.-15	1,11	0,89	1,04	0,59	0,47	0,55
Η.Π.Α.	1,45	0,99	1,18	0,77	0,53	0,69

Για τον υπολογισμό του μεθανίου που εκπέμπεται πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας την οξείδωση μεθανίου (η ΕΡΑ θεωρεί ότι οξειδώνεται το 10% του παραγόμενου μεθανίου) και την ανάκτηση μεθανίου (Διάγραμμα 18). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάκτηση μεθανίου αυξήθηκε το 2008 σε σύγκριση με το 1990 κατά 479% για την Ε.Ε.-15 ενώ για τις Η.Π.Α. αυξήθηκε κατά 640%.

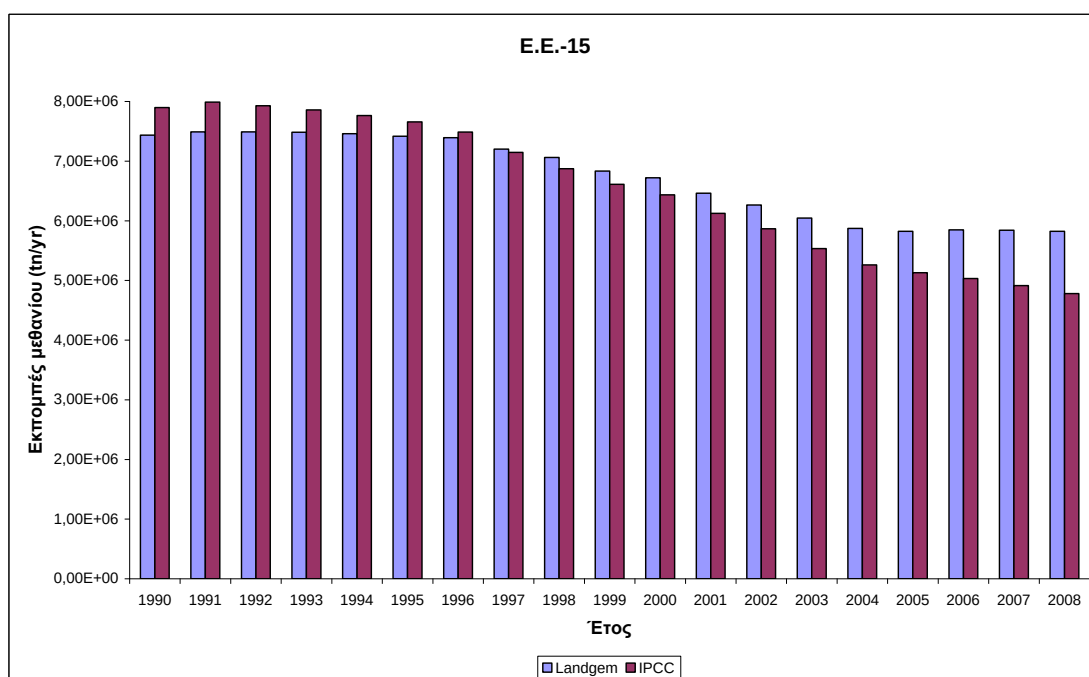


Διάγραμμα 18: Ανάκτηση μεθανίου από την καύση βιοαερίου (European Environment Agency, 2010; EPA, 2010).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις εκπομπές μεθανίου που υπολογίστηκαν με το μοντέλο LandGEM με τις εκπομπές που υπολόγισαν οι αρμόδιοι φορείς της υπό εξέταση χώρας βάση τη μεθοδολογία IPCC.

E.E.-15

Στο Διάγραμμα 19 συγκρίνονται οι εκπομπές μεθανίου που υπολογίστηκαν από το μοντέλο LandGEM με τη μεθοδολογία IPCC για την περίοδο 1990-2008. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται το έτος 1991 και για τα δυο μοντέλα (αν και ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής μεθανίου παρουσιάζεται το έτος 2008) δεδομένου ότι παρατηρείται μεγαλύτερη ανάκτηση μεθανίου το έτος 2008. Για το LandGEM μοντέλο η μέγιστη τιμή είναι ίση με $7,49 \times 10^6$ tn/yr ενώ για την IPCC μεθοδολογία η μέγιστη τιμή είναι ίση με $7,99 \times 10^6$ tn/yr. Στον Πίνακα 10 φαίνονται οι αποκλίσεις που έχουν τα δύο μοντέλα μεταξύ τους για την περίοδο 1990-2008.



Διάγραμμα 19: Σύγκριση εκπομπών μεθανίου (tn/yr) για την περίοδο 1990-2008.

Πίνακας 10 Απόκλιση των δυο μοντέλων (LandGEM, IPCC) για την περίοδο 1990-2008

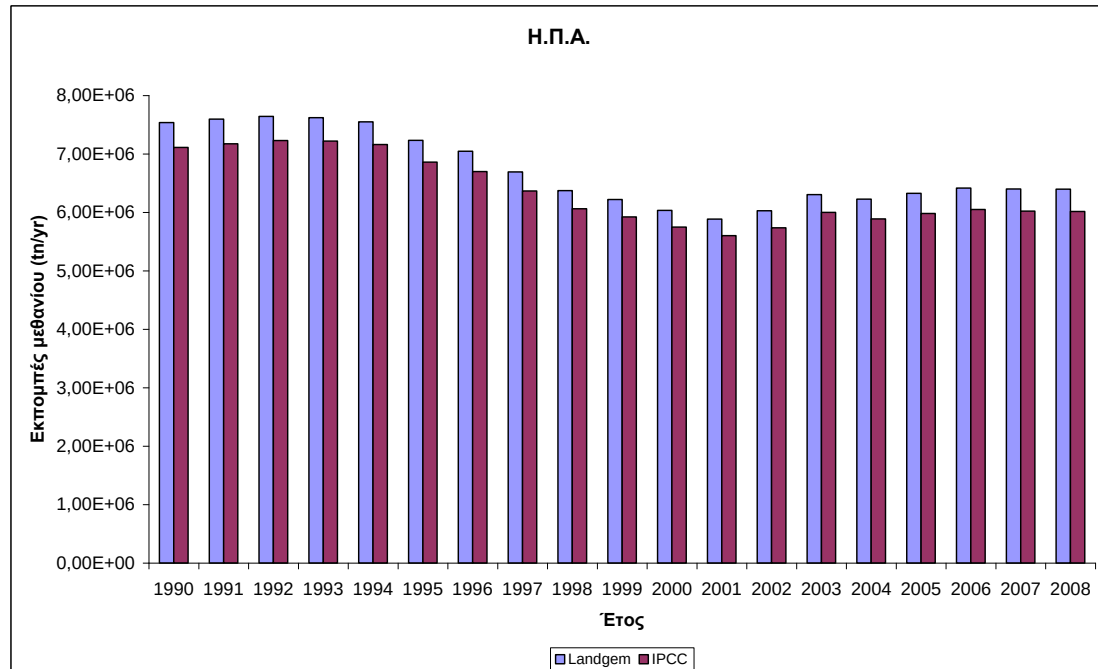
Έτος	Απόκλιση (%)
1990	6
1991	7
1992	6
1993	5
1994	4
1995	3
1996	1
1997	1
1998	3
1999	3
2000	4
2001	5
2002	6
2003	9
2004	12
2005	14
2006	16
2007	19
2008	22
Μέση τιμή	8

Στον Πίνακα 10 παρατηρούμε μια μέση απόκλιση της τάξης του 8%, όμως υπάρχουν αποκλίσεις που φτάνουν και το 22% αυτό οφείλεται στο ότι η θεωρητική παραγωγή μεθανίου L_0 εξαρτάται από τη σύνθεση των απορριμμάτων και με την πάροδο του χρόνου αλλάζει η σύνθεση των απορριμμάτων και επομένως αλλάζει το L_0 . Τα δεδομένα εισαγωγής (π.χ. η θεωρητική παραγωγή μεθανίου L_0) για τη μεθοδολογία IPCC αλλάζουν για κάθε έτος λειτουργίας των Χ.Δ.Α. ενώ στο μοντέλο LandGEM πρέπει να εισάγουμε μια μέση τιμή για όλα έτη λειτουργίας των Χ.Δ.Α.

Η.Π.Α.

Στο Διάγραμμα 20 παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται το έτος 1992 και για τα δυο μοντέλα (αν και ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής μεθανίου παρουσιάζεται το έτος 2008) δεδομένου ότι παρατηρείται μεγαλύτερη ανάκτηση μεθανίου το έτος 2008. Για το LandGEM μοντέλο η μέγιστη τιμή

είναι ίση με $7,64 \times 10^6$ tn/yr ενώ για τη μεθοδολογία IPCC η μέγιστη τιμή είναι ίση με $7,23 \times 10^6$ tn/yr. Στον Πίνακα 11 φαίνονται οι αποκλίσεις που έχουν τα δύο μοντέλα μεταξύ τους για την περίοδο 1990-2008.



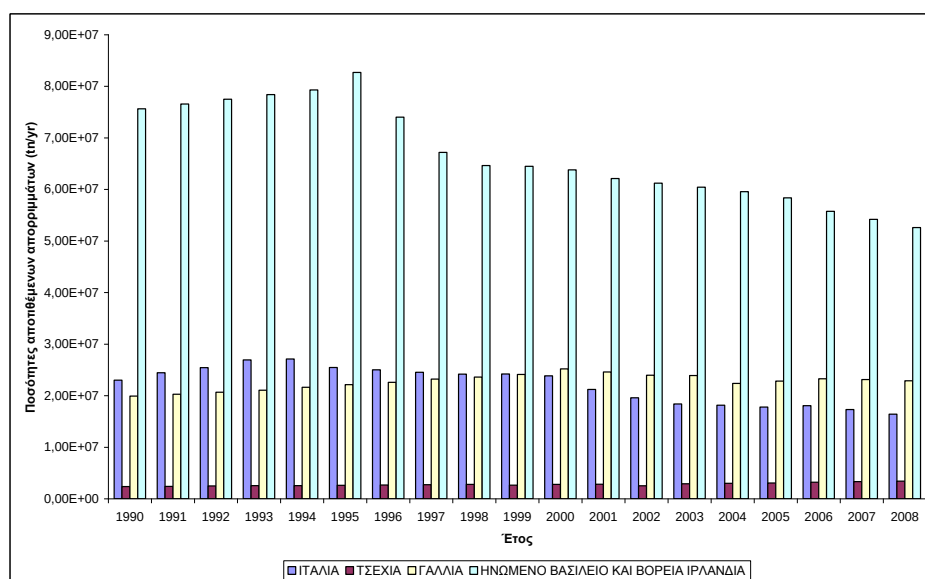
Διάγραμμα 20: Σύγκριση εκπομπών μεθανίου (tn/yr) για την περίοδο 1990-2008.

Πίνακας 11: Απόκλιση των δυο μοντέλων (LandGEM, IPCC) για την περίοδο 1990-2008.

Έτος	Απόκλιση (%)
1990	6
1991	6
1992	6
1993	6
1994	5
1995	5
1996	5
1997	5
1998	5
1999	5
2000	5
2001	5
2002	5
2003	5
2004	6
2005	6
2006	6
2007	6
2008	6
Μέση τιμή	6

4.5. Εφαρμογή του μοντέλου LandGEM σε χώρες της Ε.Ε.

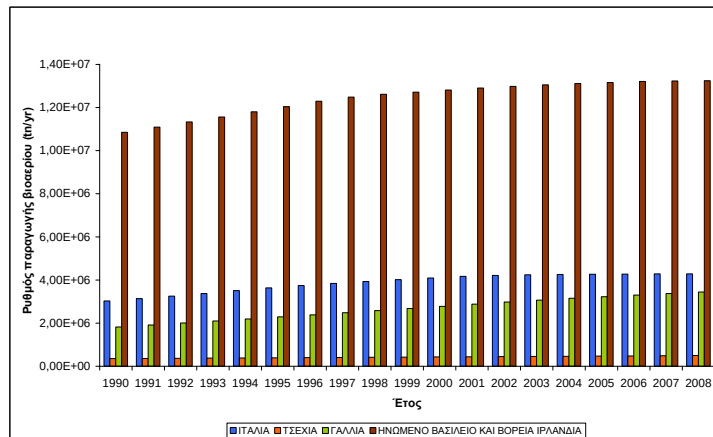
Εφαρμόστηκε το μοντέλο LandGEM για τρεις χώρες της Ε.Ε. των 15 κρατών-μελών (Ηνωμένο Βασίλειο μαζί με Βόρεια Ιρλανδία, Γαλλία και Ιταλία) και για μια χώρα που ανήκει στα νέα Κράτη μέλη (NMS-10) της Ε.Ε. (Τσεχία). Για την εφαρμογή του μοντέλου χρειάστηκαν οι ετήσιες απορριπτόμενες ποσότητες απορριμμάτων (Διάγραμμα 21).



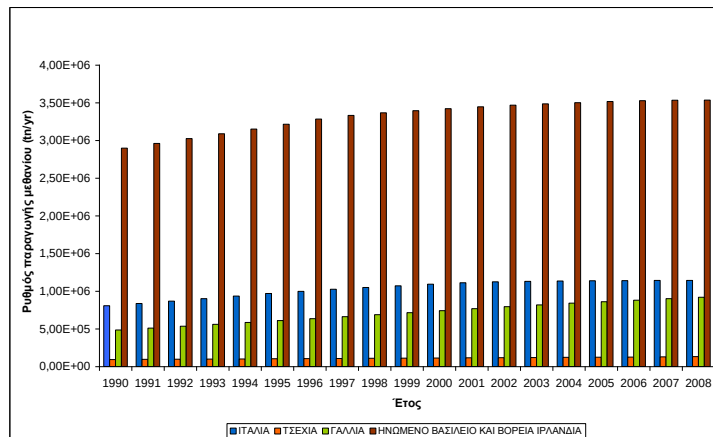
Διάγραμμα 21 : Ποσότητες αποτιθέμενων απορριμμάτων (tn/yr) (Department of energy and climate change, 2010; ISPRA, 2010; Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, 2010; Czech Hydrometeorological institute, 2010).

Στο Διάγραμμα 21 παρατηρούμε ότι η Τσεχία έχει τις λιγότερες ποσότητες απορριμμάτων που καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. από τις άλλες χώρες. Αυτό οφείλεται στο ότι ο πληθυσμός της Τσεχίας είναι περίπου 6 φορές μικρότερος από τον πληθυσμό των υπόλοιπων χωρών. Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει τις περισσότερες ποσότητες απορριμμάτων που καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. από τις άλλες χώρες. Αυτό οφείλεται στο ότι το 78% των απορριμμάτων που παράχθηκε το έτος 2002 στο Ηνωμένο βασίλειο κατέληξε σε Χ.Δ.Α. ενώ στη Γαλλία μόλις το 39% των απορριμμάτων κατέληξε σε Χ.Δ.Α. και στην Ιταλία το

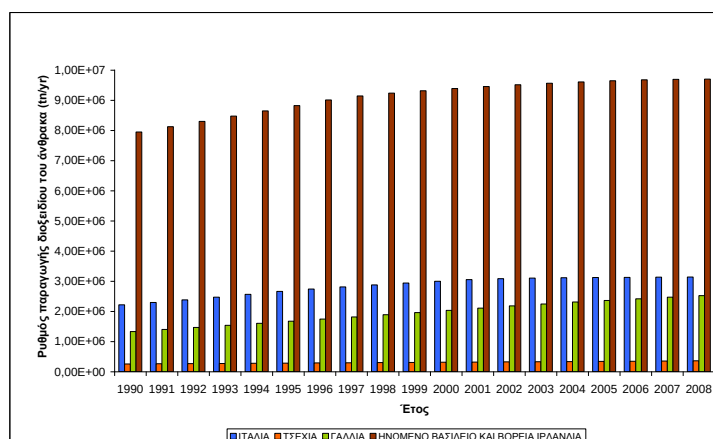
58% των απορριμμάτων. Η ίδια διάφορά στα ποσοστά ή και μεγαλύτερη υπάρχει και στα υπόλοιπα έτη.



(α)



(β)



(γ)

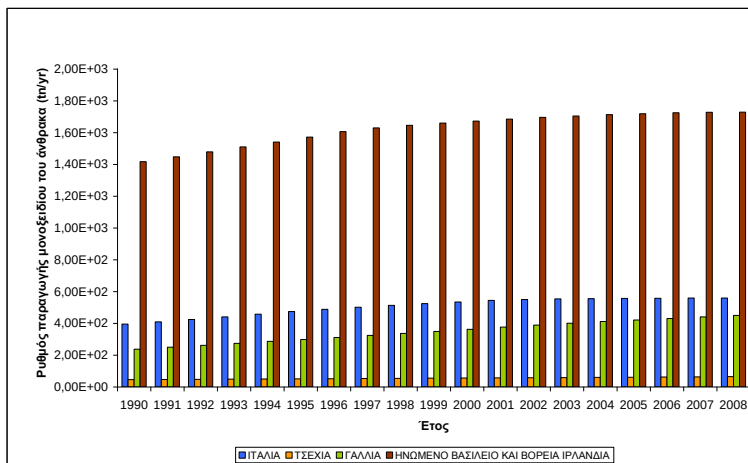
Διάγραμμα 22: Ρυθμός παραγωγής (tn/yr) (α) βιοαερίου, (β) μεθανίου και (γ) διοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1990-2008.

Το Διάγραμμα 22 παρουσιάζει τον ρυθμό παράγωγης βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1990-2008. Για όλες τις χώρες η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζεται το έτος 2008 ενώ η ελάχιστη παραγωγή παρουσιάζεται το έτος 1990. Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής.

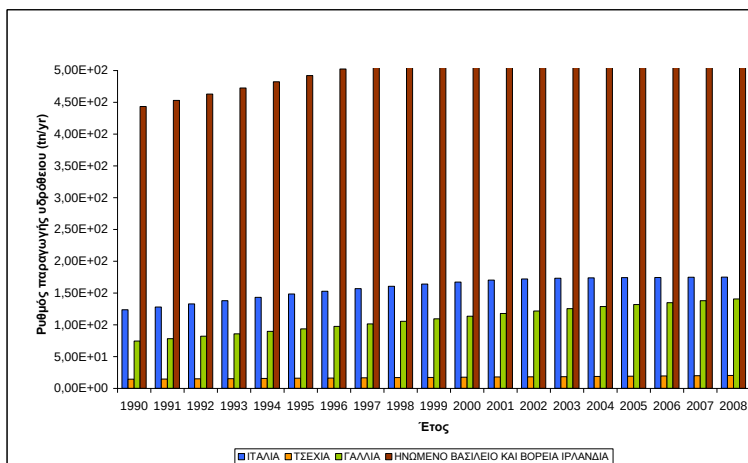
Πίνακας 12 : Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής.

	Ρυθμός παράγωγης βιοαερίου ($\times 10^7$ tn/yr)			Ρυθμός παράγωγης μεθανίου ($\times 10^7$ tn/yr)			Ρυθμός παράγωγης διοξειδίου του άνθρακα ($\times 10^7$ tn/yr)		
	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή
Ιταλία	0,43	0,30	0,39	0,11	0,08	0,10	0,31	0,22	0,28
Τσεχία	0,05	0,04	0,04	0,01	0,009	0,01	0,04	0,02	0,03
Γαλλία	0,34	0,18	0,27	0,09	0,05	0,07	0,25	0,13	0,20
Ηνωμένο Βασίλειο	1,32	1,09	1,24	0,35	0,03	0,03	0,97	0,80	0,91

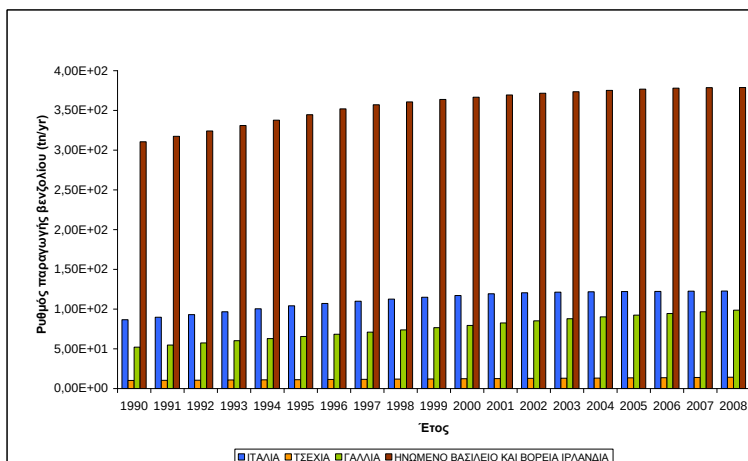
Το Ηνωμένο Βασίλειο (μαζί με τη Βόρεια Ιρλανδία) έχει τον μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής αέριων ρύπων σε σχέση με τις άλλες χώρες λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας απορριμμάτων που καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. ενώ η Τσεχία παρατηρείται να έχει τον μικρότερο ρυθμό παραγωγής αερίων ρύπων λόγω ότι ο πληθυσμός της είναι 6 φορές μικρότερος από τις άλλες χώρες και επομένως οι ποσότητες απορριμμάτων που καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. να είναι αρκετά μικρότερος από τις άλλες χώρες.



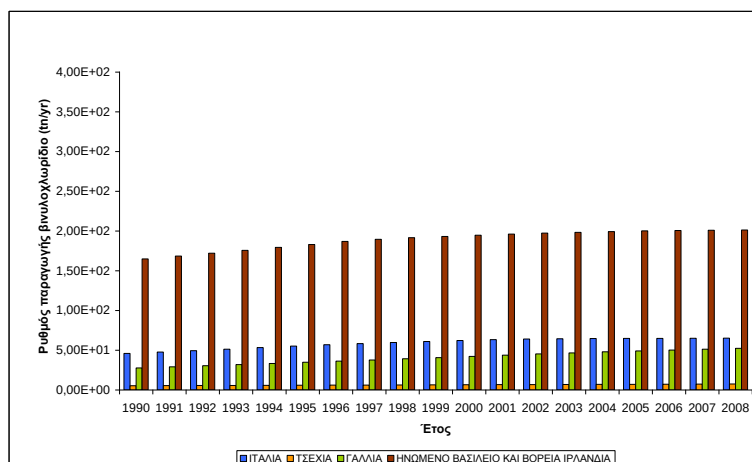
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Διάγραμμα 23: Ρυθμός παραγωγής (tn/yr) (α) μονοξειδίου του άνθρακα, (β) υδρόθειου, (γ) βενζολίου και (δ) βινυλοχλωριδίου για την περίοδο 1990-2008.

Το Διάγραμμα 23 παρουσιάζει τον ρυθμό παράγωγης μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, βενζολίου και βινυλοχλωριδίου για την περίοδο 1990-2008. Για όλες τις χώρες η μέγιστη παραγωγή παρουσιάζεται το έτος 2008 ενώ η ελάχιστη παραγωγή παρουσιάζεται το έτος 1990. Επίσης παρατηρούμε με την πάροδο του χρόνου όλες οι χώρες να αυξάνουν το ρυθμό παραγωγής τους με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται στη Γαλλία. Αυτό οφείλεται στο ότι η κατά κεφαλή παραγωγή απορριμμάτων αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Στους Πίνακες 13 & 14 παρουσιάζονται οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής για κάθε αέριο ρύπο.

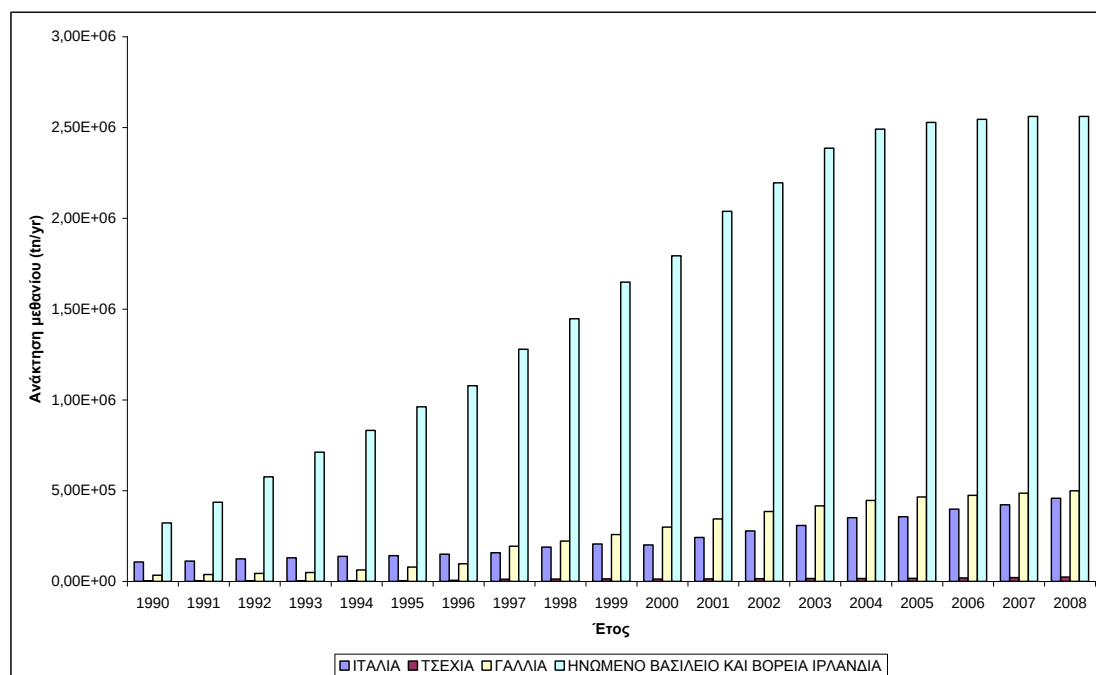
Πίνακας 13: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής.

	Ρυθμός παράγωγης μονοξειδίου του άνθρακα (tn/yr)			Ρυθμός παράγωγης υδροθείου (tn/yr)		
	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή
Ιταλία	559	395	505	175	124	158
Τσεχία	65	46	55	20	14	17
Γαλλία	450	238	348	141	74	109
Ηνωμένο Βασίλειο	1730	1420	1630	541	443	509

Πίνακας 14: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές του ρυθμού παραγωγής.

	Ρυθμός παράγωγης βενζολίου (tn/yr)			Ρυθμός παράγωγης βινυλοχλωριδίου (tn/yr)		
	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή
Ιταλία	123	87	111	65	46	59
Τσεχία	14	10	12	8	5	6
Γαλλία	99	52	76	52	28	40
Ηνωμένο Βασίλειο	379	310	356	201	165	189

Στο Διάγραμμα 24 παρουσιάζεται η ανάκτηση μεθανίου και παρατηρούμε τη μεγαλύτερη ανάκτηση στο Ηνωμένο Βασίλειο (μαζί με τη Βόρεια Ιρλανδία).



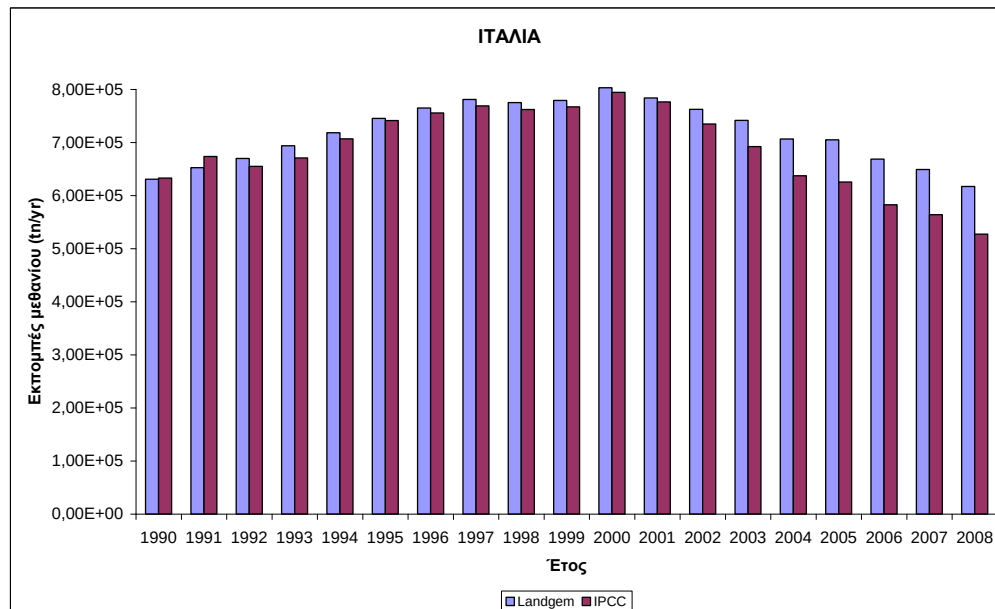
Διάγραμμα 24: Ανάκτηση μεθανίου από την καύση βιοαερίου (Department of energy and climate change, 2010; ISPRA, 2010; Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, 2010; Czech Hydrometeorological institute, 2010).

Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις εκπομπές μεθανίου που υπολογίστηκαν με το μοντέλο LandGEM με τις εκπομπές που υπολογίστηκαν από τη μεθοδολογία IPCC για κάθε χώρα ξεχωριστά.

Ιταλία:

Στο Διάγραμμα 25 συγκρίνουμε τις εκπομπές μεθανίου που υπολογίστηκαν από το μοντέλο LandGEM με τη μεθοδολογία IPCC για την περίοδο 1990-2008. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται το έτος 2000 και για τα δυο μοντέλα (αν και ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής μεθανίου παρουσιάζεται το έτος 2008) δεδομένου ότι παρατηρείται μεγαλύτερη ανάκτηση μεθανίου το

έτος 2008. Για το μοντέλο LandGEM η μέγιστη τιμή είναι ίση με $8,03 \times 10^5$ tn/yr ενώ για τη μεθοδολογία IPCC η μέγιστη τιμή είναι ίση με $7,94 \times 10^5$ tn/yr. Στον Πίνακα 15 φαίνονται οι αποκλίσεις που έχουν τα δύο μοντέλα μεταξύ τους για την περίοδο 1990-2008.



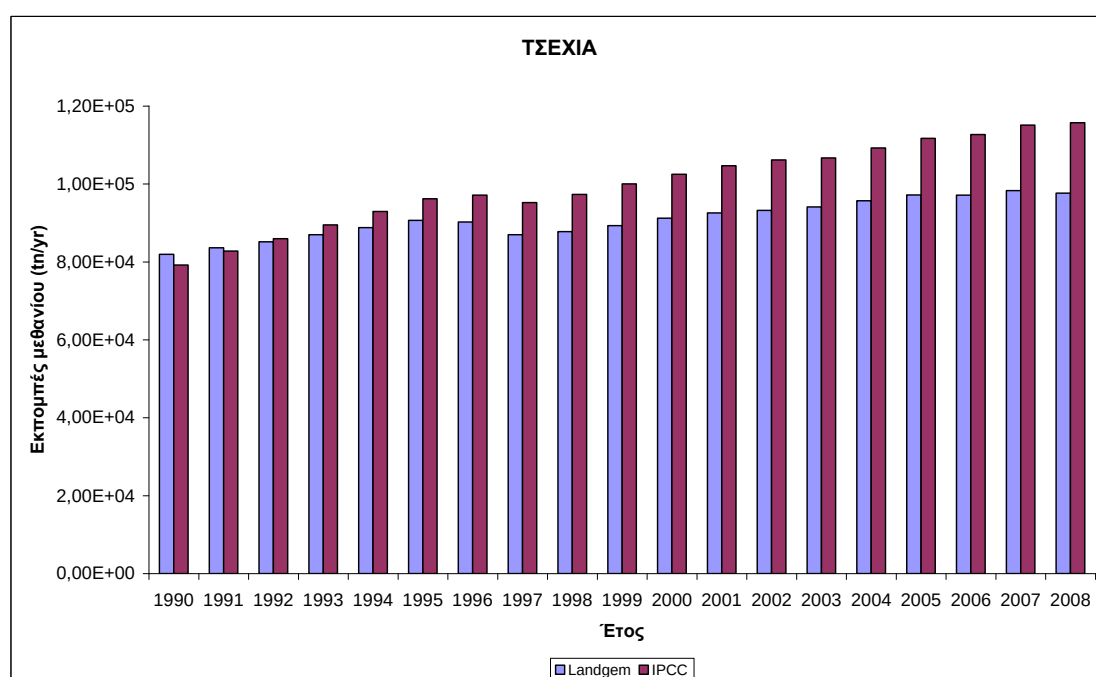
Διάγραμμα 25: Σύγκριση εκπομπών μεθανίου (tn/yr) για την περίοδο 1990-2008.

Πίνακας 15: Απόκλιση των δυο μοντέλων (LandGEM, IPCC) για την περίοδο 1990-2008.

Έτος	Απόκλιση (%)
1990	0
1991	3
1992	2
1993	3
1994	2
1995	1
1996	1
1997	2
1998	2
1999	2
2000	1
2001	1
2002	4
2003	7
2004	11
2005	13
2006	15
2007	15
2008	17
Μέση τιμή	5

Τσεχία:

Στο Διάγραμμα 26 παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται το έτος 2007 για το LandGEM μοντέλο ενώ για τη μεθοδολογία IPCC το έτος 2008. Για το LandGEM μοντέλο η μέγιστη τιμή είναι ίση με $9,83 \times 10^4$ tn/yr ενώ για την IPCC μεθοδολογία η μέγιστη τιμή είναι ίση με $1,16 \times 10^5$ tn/yr. Στον Πίνακα 16 φαίνονται οι αποκλίσεις που έχουν τα δύο μοντέλα μεταξύ τους για την περίοδο 1990-2008.



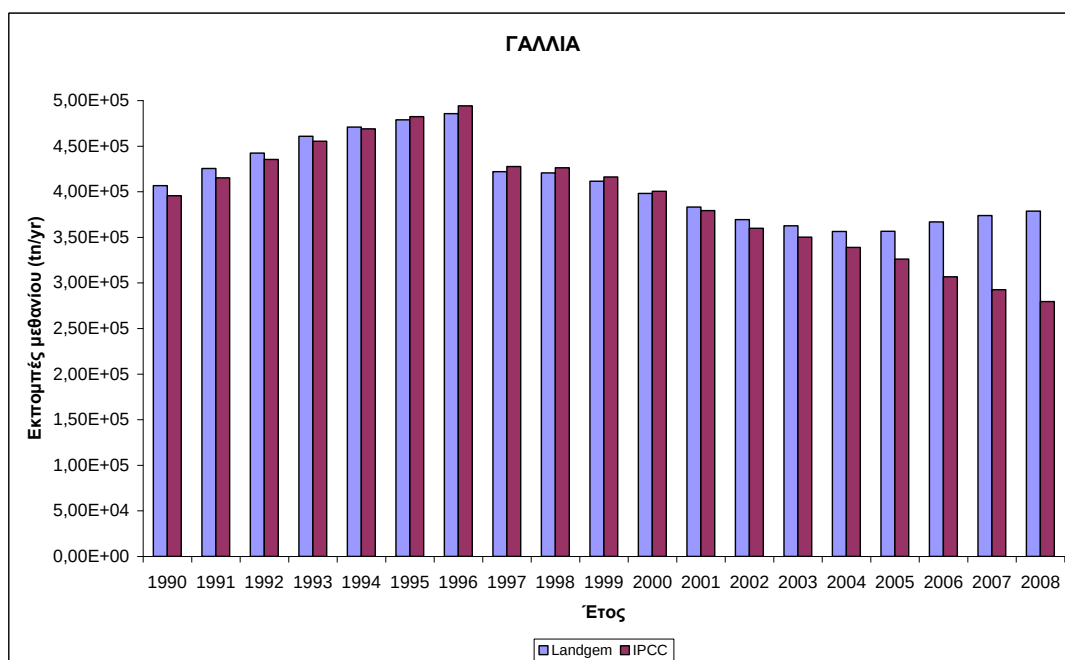
Διάγραμμα 26: Σύγκριση εκπομπών μεθανίου (tn/yr) για την περίοδο 1990-2008.

Πίνακας 16: Απόκλιση των δυο μοντέλων (LandGEM, IPCC) για την περίοδο 1990-2008.

Έτος	Απόκλιση (%)
1990	3
1991	1
1992	1
1993	3
1994	4
1995	6
1996	7
1997	9
1998	10
1999	11
2000	11
2001	12
2002	12
2003	12
2004	12
2005	13
2006	14
2007	15
2008	16
Μέση τιμή	9

Γαλλία:

Στο Διάγραμμα 27 παρατηρούμε ότι οι εκπομπές μεθανίου παρουσιάζουν τη μέγιστη τιμή το έτος 1996 και για τα δυο μοντέλα. Για το LandGEM μοντέλο η μέγιστη τιμή είναι ίση με $4,86 \times 10^5$ tn/yr ενώ για τη μεθοδολογία IPCC η μέγιστη τιμή είναι ίση με $4,94 \times 10^5$ tn/yr. Στον Πίνακα 17 φαίνονται οι αποκλίσεις που έχουν τα δύο μοντέλα μεταξύ τους για την περίοδο 1990-2008.



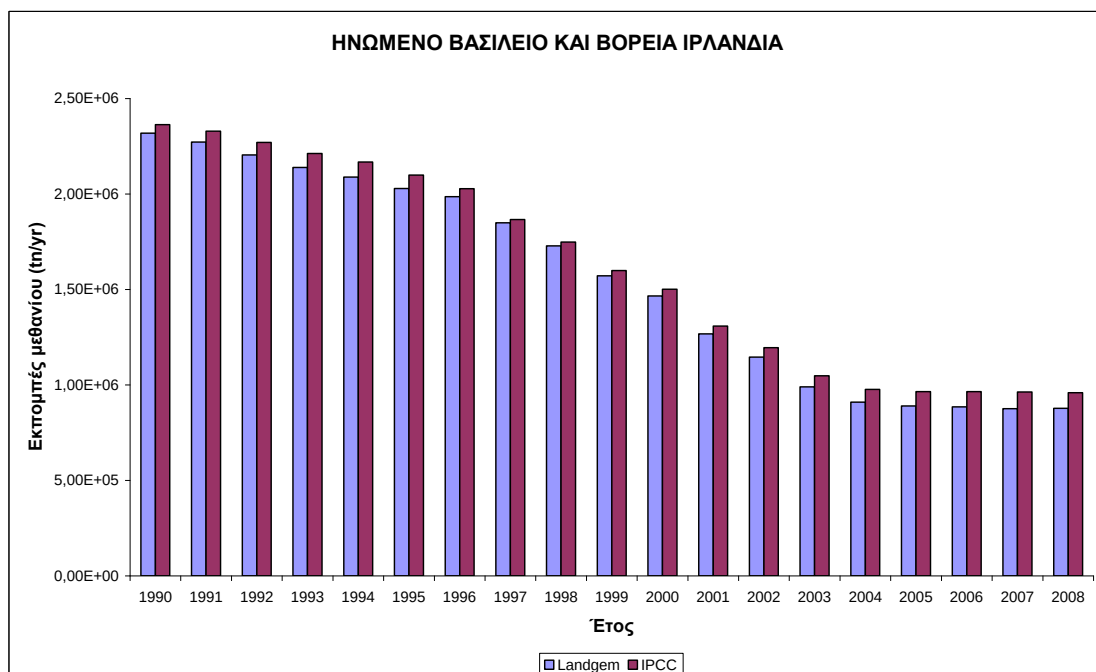
Διάγραμμα 27: Σύγκριση εκπομπών μεθανίου (tn/yr) για την περίοδο 1990-2008.

Πίνακας 17: Απόκλιση των δυο μοντέλων (LandGEM, IPCC) για την περίοδο 1990-2008.

Έτος	Απόκλιση (%)
1990	3
1991	2
1992	2
1993	1
1994	0
1995	1
1996	2
1997	1
1998	1
1999	1
2000	1
2001	1
2002	3
2003	4
2004	5
2005	9
2006	20
2007	28
2008	36
Μέση τιμή	6

Ηνωμένο Βασίλειο:

Στο Διάγραμμα 28 παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται το έτος 1990 και για τα δυο μοντέλα δεδομένου ότι παρατηρείται μεγαλύτερη ανάκτηση μεθανίου το 2008 σε σχέση με το 1990. Για το LandGEM μοντέλο η μέγιστη τιμή είναι ίση με $2,32 \times 10^6$ tn/yr ενώ για τη μεθοδολογία IPCC η μέγιστη τιμή είναι ίση με $2,36 \times 10^6$ tn/yr. Στον Πίνακα 18 φαίνονται οι αποκλίσεις που έχουν τα δύο μοντέλα μεταξύ τους για την περίοδο 1990-2008.



Διάγραμμα 28: Σύγκριση εκπομπών μεθανίου (tn/yr) για την περίοδο 1990-2008.

Πίνακας 18: Απόκλιση των δυο μοντέλων (LandGEM, IPCC) για την περίοδο 1990-2008.

Έτος	Απόκλιση (%)
1990	2
1991	2
1992	3
1993	3
1994	4
1995	3
1996	2
1997	1
1998	1
1999	2
2000	2
2001	3
2002	4
2003	6
2004	7
2005	8
2006	9
2007	10
2008	9
Μέση τιμή	4

4.6. Προτάσεις αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από Χ.Δ.Α. στην Ελλάδα

Ένα μέτρο αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από Χ.Δ.Α. στην Ελλάδα αποτελεί η μετατροπή όλων των Χ.Δ.Α. σε Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου. Η καύση του βιοαερίου επιτυγχάνει τη μετατροπή (οξειδωση) του μεθανίου σε διοξείδιο του άνθρακα, με ανάλογο περιορισμό των επιπτώσεων σε ότι αφορά το φαινόμενο θερμοκηπίου. Επίσης άλλο ένα μέτρο αντιμετώπισης είναι η αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης. Η μεγαλύτερη εμπειρία στην κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ υπάρχει στις χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης στις οποίες κομποστοποιείται συνήθως το οργανικό κλάσμα μετά από διαλογή στην πηγή με στόχο την παραγωγή υψηλής ποιότητας κομπόστ (για αγροτική και οικιακή χρήση) ενώ συχνά κομποστοποιείται και το οργανικό υπόλειμμα στο ρεύμα των αποβλήτων που μένει μετά τη διαλογή των ανακυκλώσιμων και των

οργανικών στην πηγή, μετά από μηχανική διαλογή (Λαλας, 2007). Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αναλυτικά τα μετρά.

4.6.1. Σενάριο 1: Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου

Το σενάριο 1 υποθέτει ότι όλοι οι Χ.Δ.Α. που υπάρχουν στην Ελλάδα έχουν μετατραπεί σε Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου. Η ποσότητα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται από Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου βασίζεται στις εξισώσεις (Manfredi, 2009):

$$G_{CH_4} = C \times D_{LFG} \times 50/100 \times 16/12 \times 1,40 \quad (12)$$

$$G_{CO_2} = 50/50 \times G_{CH_4} \quad (13)$$

$$CH_{4dispersive} = G_{CH_4} \times (1-\varepsilon) \times (1-\beta) \quad (14)$$

$$CH_{4flares} = G_{CH_4} \times \varepsilon \times (1-\eta) \quad (15)$$

$$CH_{4emitted} = CH_{4dispersive} + CH_{4flares} \quad (16)$$

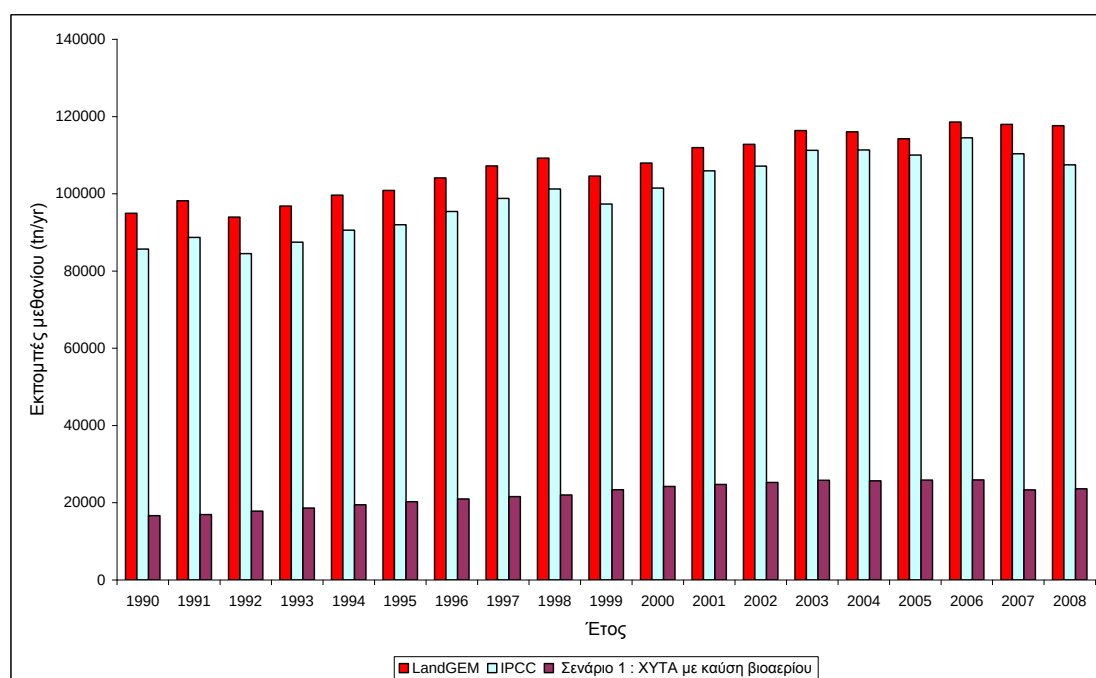
$$CO_{2dispersive} = G_{CO_2} \times (1-\varepsilon) + G_{CH_4} \times (1-\varepsilon) \times \beta = (1-\varepsilon) \times (G_{CO_2} + G_{CH_4} \times \beta) \quad (17)$$

$$CO_{2flares} = G_{CO_2} \times \varepsilon + G_{CH_4} \times \varepsilon \times \eta = \varepsilon \times (G_{CO_2} + G_{CH_4} \times \eta) \quad (18)$$

$$CO_{2emitted} = CO_{2dispersive} + CO_{2flares} \quad (19)$$

όπου G_{CH_4} το μεθάνιο που παράγεται, G_{CO_2} το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται, C ο βιοαποικοδομήσιμος οργανικός άνθρακας (75-105 kg/tn), D_{LFG} το ποσοστό του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού άνθρακα που μετατρέπεται σε βιοαέριο ($D_{LFG}=0,5$), 16/12 για τη μετατροπή του άνθρακα σε μεθάνιο, ε η αποδοτικότητα της συλλογής βιοαερίου (50-80%), β η αποδοτικότητα της οξειδωσης στο κάλυμμα (40-60%), η η αποδοτικότητα της οξειδωσης του μεθανίου σε διοξείδιο του άνθρακα (95-99%), $CH_{4dispersive}$ η ποσότητα του μεθανίου που διαχέεται στην ατμόσφαιρα, CH_{4flare} το μεθάνιο που δεν οξειδώθηκε από τον πυρσό καύσης.

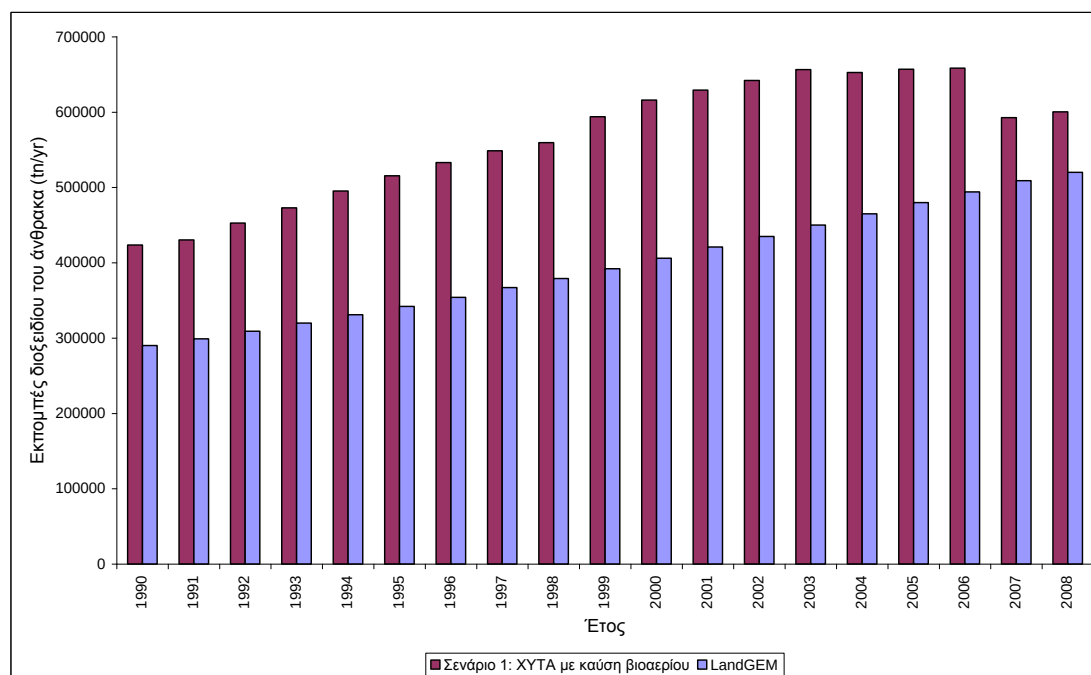
Τα αποτελέσματα του σεναρίου 1 παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 29 και παρατηρούμε πως οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν από 77-83% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 79% με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM ενώ με βάση τις εκπομπές της μεθοδολογίας IPCC οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν από 76-81% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 78%.



Διάγραμμα 29: Εκπομπές μεθανίου για την περίοδο 1990-2008 με χρήση διάφορων σεναρίων (α) υπάρχουσα κατάσταση (LandGEM), (β) υπάρχουσα κατάσταση (IPCC), (γ) Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου.

Το κύριο μειονέκτημα του σεναρίου 1 είναι ότι με την καύση βιοαερίου θα αυξηθεί το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 30 και παρατηρούμε πως οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν από 15-52% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 43%. Όμως το μεθάνιο συμβάλει 21 φορές περισσότερο από το διοξείδιο του άνθρακα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και επομένως είναι προτιμότερο μια

μείωση του μεθανίου κατά 79% ανεξάρτητος της αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα κατά 43%. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί το μοντέλο LandGEM υπολογίζει τον ρυθμό παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα και επομένως γίνεται η παραδοχή ότι όλη η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται, εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα.

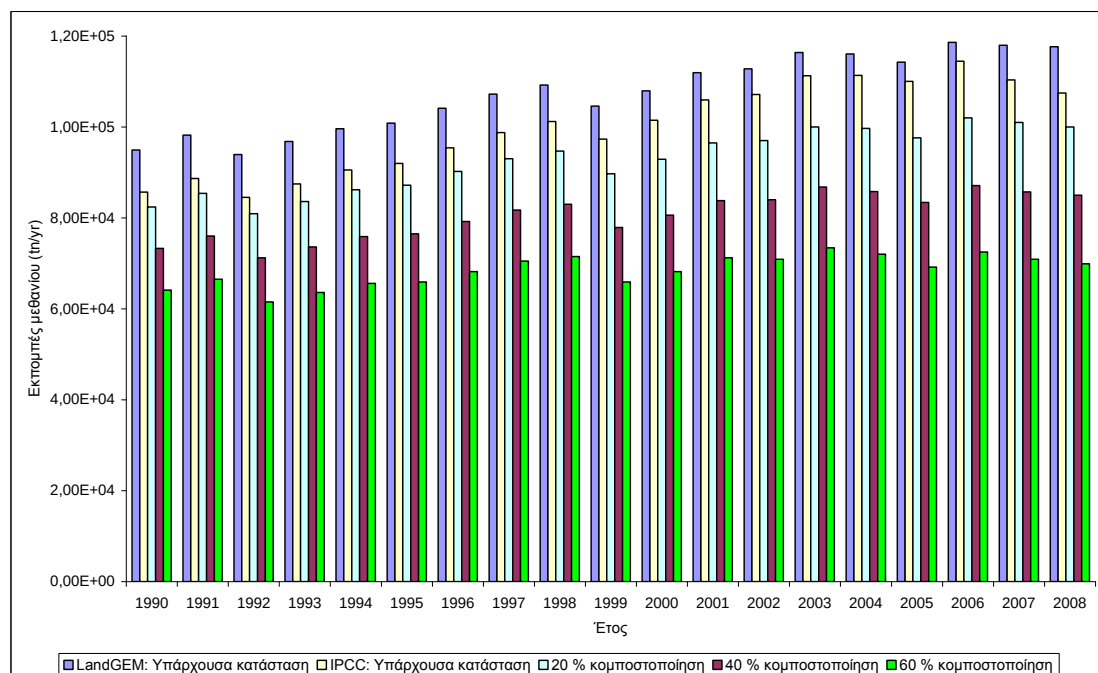


Διάγραμμα 30: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1990-2008 βάσει του μοντέλου LandGEM και με χρήση του σεναρίου καύσης του βιοαερίου.

4.6.2. Σενάριο 2: Χ.Υ.Τ.Α. με μονάδα κομποστοποίησης

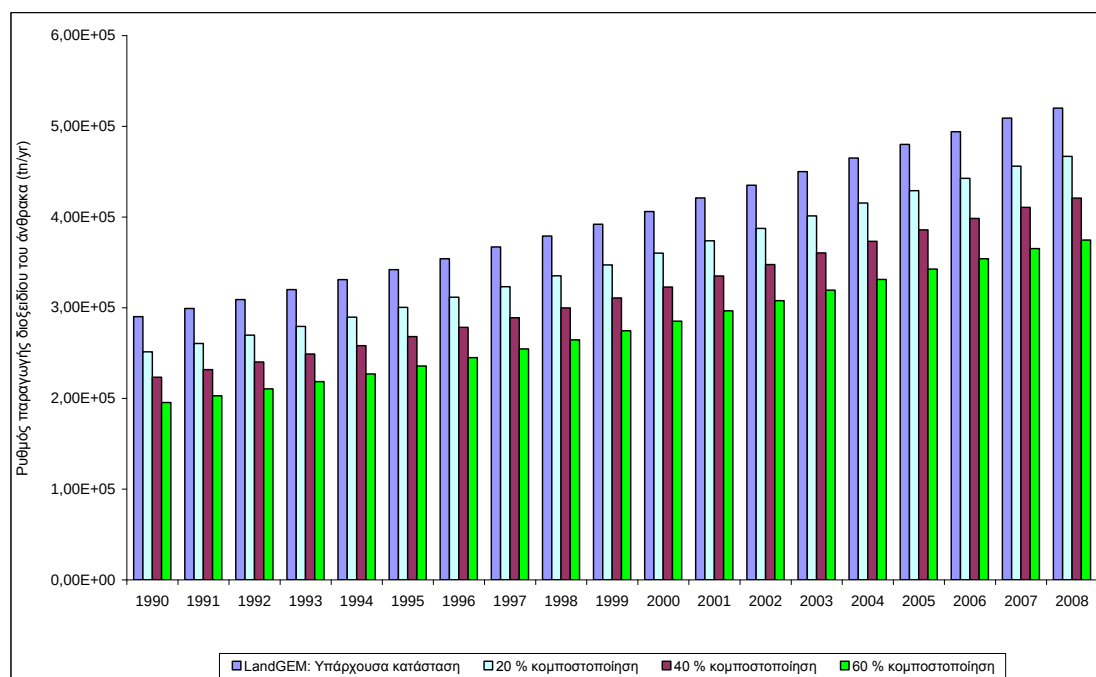
Το σενάριο 2 υποθέτει ότι οι Χ.Δ.Α. που υπάρχουν στην Ελλάδα έχουν μετατραπεί σε Χ.Υ.Τ.Α. με μονάδα κομποστοποίησης. Το σενάριο 2 αποτελείται από 3 υποσενάρια. Το πρώτο υποσενάριο θεωρεί ότι το ποσοστό κομποστοποίησης αυξήθηκε κατά 20% και παρατηρούμε στο Διάγραμμα 31 πως οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν από 13-15% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 14% με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM ενώ με βάση τις εκπομπές της μεθοδολογίας IPCC οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν

από 4-11% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 7%. Το δεύτερο υποσενάριο θεωρεί ότι το ποσοστό κομποστοποίησης αυξήθηκε κατά 40% και παρατηρούμε πως οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν από 23-28% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 25% με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM ενώ με βάση τις εκπομπές της μεθοδολογίας IPCC οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν από 14-24% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 19%. Το τρίτο υποσενάριο θεωρεί ότι το ποσοστό κομποστοποίησης αυξήθηκε κατά 60% και παρατηρούμε πως οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν από 32-41% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 36% με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM ενώ με βάση τις εκπομπές της μεθοδολογίας IPCC οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν από 25-37% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 31%.



Διάγραμμα 31: Εκπομπές μεθανίου για την περίοδο 1990-2008 με χρήση διάφορων σεναρίων (α) υπάρχουσα κατάσταση (LandGEM), (β) υπάρχουσα κατάσταση (IPCC), (γ) αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης κατά 20%, (δ) αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης κατά 40% και (ε) αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης κατά 60%.

Με βάση το πρώτο υπόσενάριο παρατηρούμε στο Διάγραμμα 32 πως ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα μειώθηκε από 10-13% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 12% με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM. Με βάση το δεύτερο υπόσενάριο παρατηρούμε πως ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα μειώθηκε από 19-23% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 21% με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM. Με βάση το τρίτο υποσενάριο παρατηρούμε πως ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα μειώθηκε από 28-33% για την περίοδο 1990-2008 με μέση τιμή το 30% με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM.



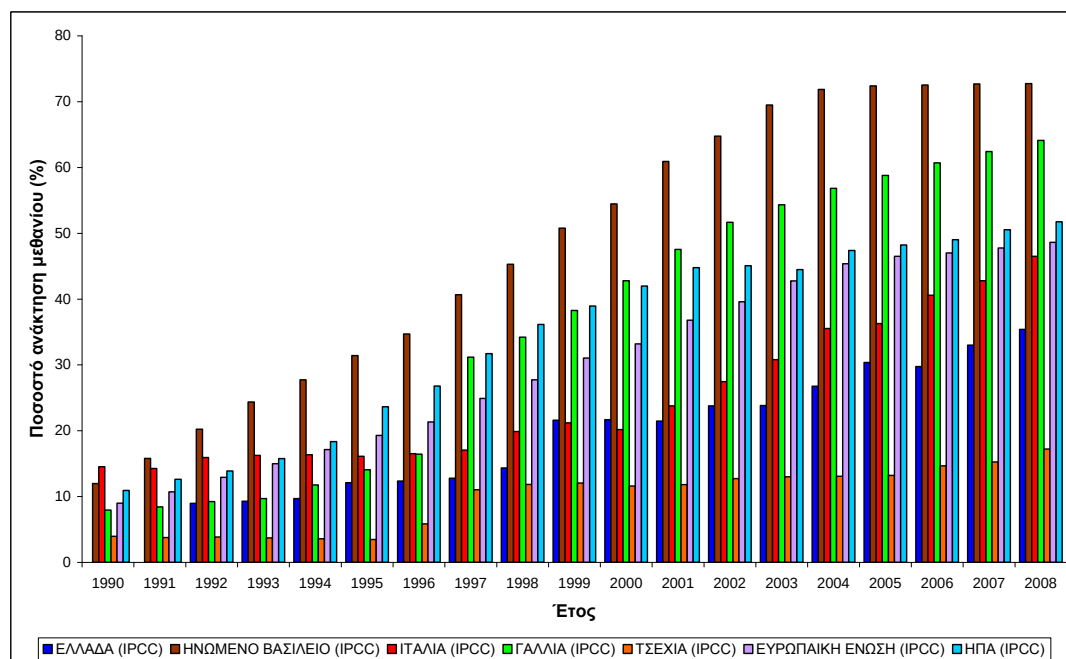
Διάγραμμα 32: Ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα για την περίοδο 1990-2008 με χρήση διάφορων σεναρίων (α) υπάρχουσα κατάσταση (LandGEM), (β) υπάρχουσα κατάσταση (IPCC), (γ) αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης κατά 20%, (δ) αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης κατά 40% και (ε) αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης κατά 60%.

5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ LandGEM ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ IPCC

Για τον υπολογισμό του ποσοστού ανάκτησης μεθανίου χρησιμοποιήσαμε τον παρακάτω τύπο:

Ποσοστό ανάκτησης μεθανίου (%) = $\frac{\text{ανάκτηση μεθανίου}}{(\text{ρυθμός παραγωγής μεθανίου})} \times 100$

Στο Διάγραμμα 33 συγκρίνουμε τα ποσοστά ανάκτησης μεθανίου για την περίοδο 1990-2008 για διάφορες χώρες με βάση τις εκπομπές μεθανίου της IPCC μεθοδολογίας. Στο Ηνωμένο Βασίλειο παρατηρούμε τα μεγαλύτερα ποσοστά ανάκτησης μεθανίου ενώ στην Τσεχία παρατηρούμε τα μικρότερα ποσοστά ανάκτησης μεθανίου. Τα ποσοστά ανάκτησης μεθανίου στο Ηνωμένο Βασίλειο κυμάνθηκαν μεταξύ 12-73% με μέση τιμή το 48% ενώ στην Τσεχία κυμάνθηκαν μεταξύ 4-18% με μέση τιμή το 11%.

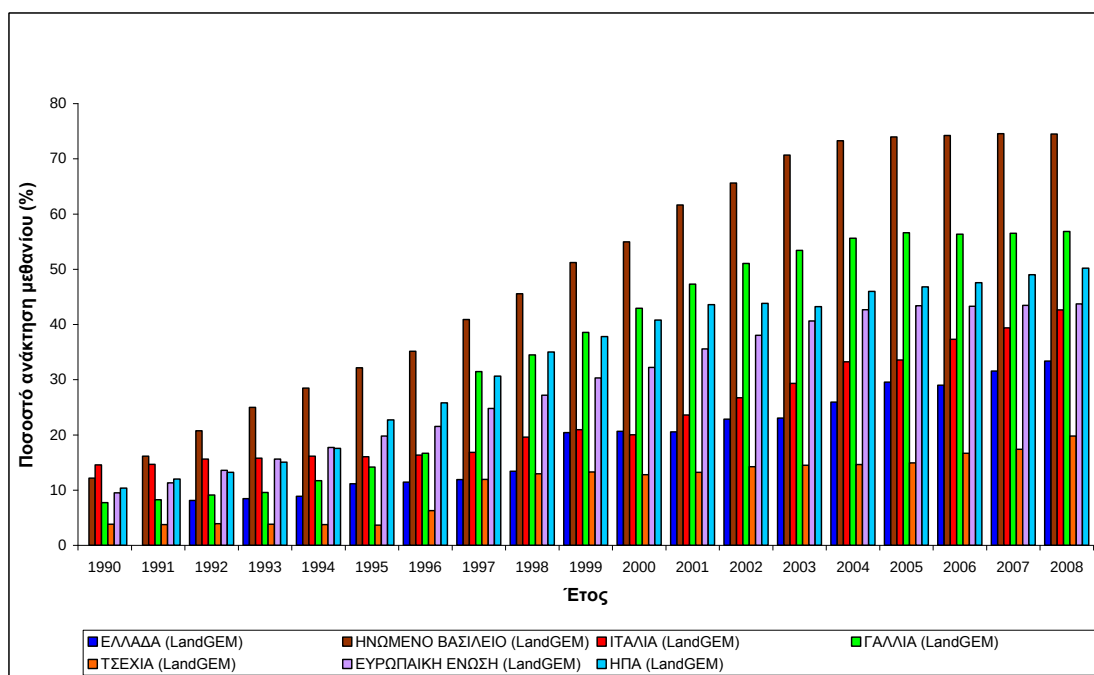


Διάγραμμα 33: Σύγκριση ποσοστών ανάκτησης μεθανίου για διάφορες χώρες με βάση τις εκπομπές της IPCC μεθοδολογίας.

Για την Ελλάδα παρατηρούμε ότι στα έτη 1990 και 1991 δεν είχαμε ανάκτηση μεθανίου ενώ από το 1992 έως το 2008 το ποσοστό ανάκτησης αυξάνεται με εξαίρεση το έτος 2001 (είχαμε μια μικρή μείωση της τάξης του 1% σε σύγκριση με το 2000) και το έτος 2006 (είχαμε μια μείωση του 2% σε σύγκριση με το 2005). Γενικά για την περίοδο 1990-2008 είχαμε μια μέση αύξηση της τάξης του 8%. Τα ποσοστά ανάκτησης κυμάνθηκαν μεταξύ 0-35% με μέση τιμή το 18%.

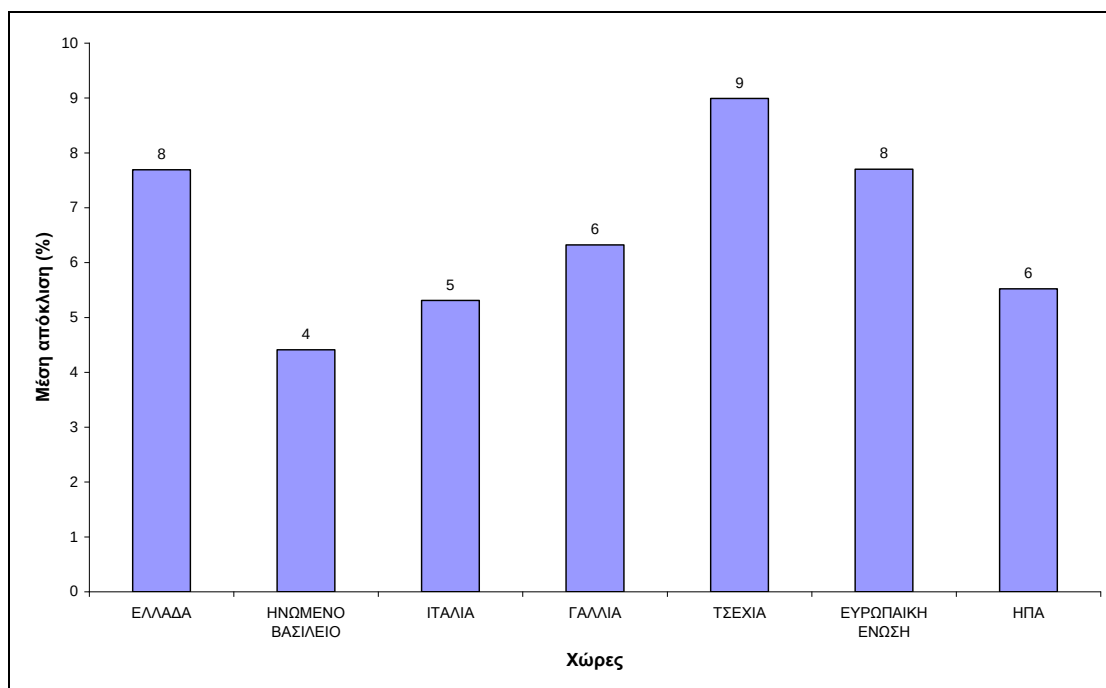
Στο Διάγραμμα 34 συγκρίνουμε τα ποσοστά ανάκτησης μεθανίου για την περίοδο 1990-2008 σε διάφορες χώρες με βάση τις εκπομπές μεθανίου του μοντέλου LandGEM. Παρατηρούμε στο Ηνωμένο Βασίλειο τα μεγαλύτερα ποσοστά ανάκτησης μεθανίου ενώ στην Τσεχία εμφανίζονται τα μικρότερα ποσοστά ανάκτησης μεθανίου. Στο Ηνωμένο Βασίλειο τα ποσοστά ανάκτησης μεθανίου κυμάνθηκαν μεταξύ 12-74% με μέση τιμή το 49% ενώ στην Τσεχία κυμάνθηκαν μεταξύ 4-20% με μέση τιμή το 11%.

Για την Ελλάδα παρατηρούμε ότι τα έτη 1990 και 1991 δεν είχαμε ανάκτηση μεθανίου, από το 1992 έως το 2007 το ποσοστό ανάκτησης αυξάνεται με εξαίρεση το έτη 2001 και 2006. Γενικά για την περίοδο 1990-2008 είχαμε μια μέση αύξηση της τάξης του 9%. Τα ποσοστά ανάκτησης κυμάνθηκαν μεταξύ 0-33% με μέση τιμή το 17%.



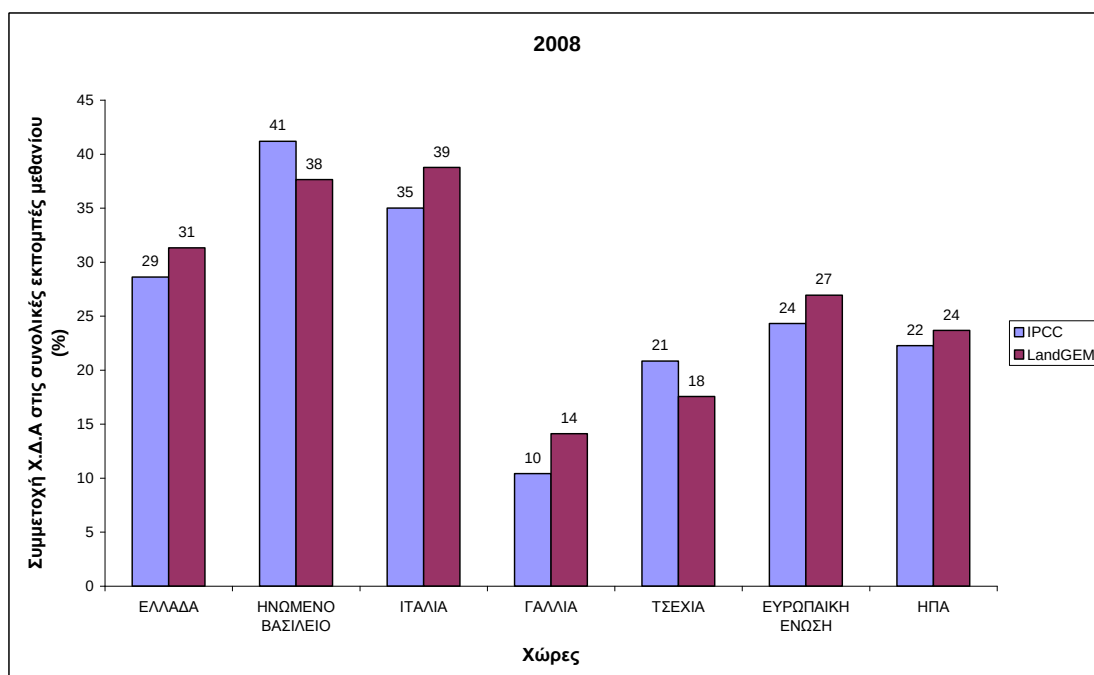
Διάγραμμα 34: Σύγκριση ποσοστών ανάκτησης μεθανίου για διαφορεές χώρες με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM.

Στο Διάγραμμα 35 συγκρίνουμε τη μέση απόκλιση των δύο μοντέλων (IPCC, LandGEM) για την περίοδο 1990-2008 και παρατηρούμε ότι η απόκλιση των δυο μοντέλων για τον υπολογισμό των εκπομπών μεθανίου κυμάνθηκαν μεταξύ 4-9% με μέση τιμή 7%. Η απόκλιση των μοντέλων οφείλεται στο ότι το μοντέλο LandGEM διαφέρει από τη μεθοδολογία IPCC στο ότι η θεωρητική παραγωγή μεθανίου L_0 παραμένει ίδια για όλα τα έτη λειτουργίας των Χ.Δ.Α. ενώ στη μεθοδολογία IPCC αλλάζει για κάθε έτος. Επίσης το μοντέλο LandGEM εφαρμόστηκε για όλους τους Χ.Δ.Α. (ελεγχόμενους ή μη) ενώ η μεθοδολογία IPCC πραγματοποιήθηκε από τους αρμόδιους φορείς της υπό εξέτασης χώρας ξεχωριστά για ελεγχόμενους χώρους διάθεσης και ξεχωριστά για μη ελεγχόμενους χώρους διάθεσης.



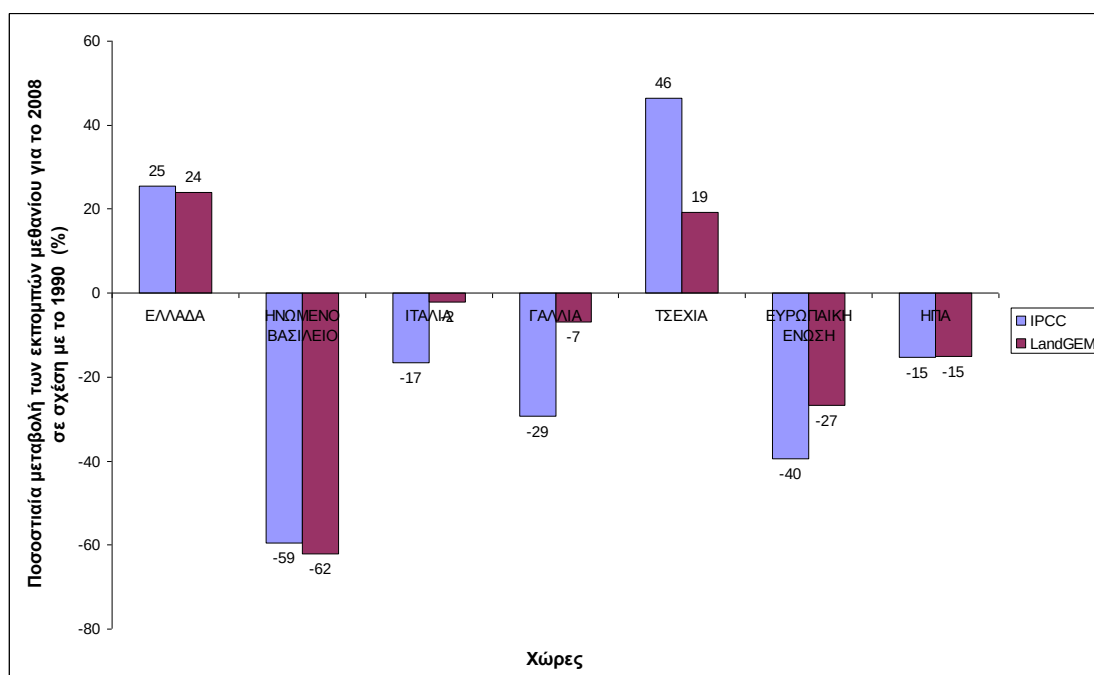
Διάγραμμα 35: Μέση απόκλιση των δύο μοντέλων (IPCC, LandGEM) για την περίοδο 1990-2008.

Στο Διάγραμμα 36 συγκρίνουμε τις συμμετοχές των Χ.Δ.Α (ελεγχόμενους ή μη) στις συνολικές εκπομπές μεθανίου για διάφορες χώρες και παρατηρούμε ότι οι εκπομπές μεθανίου από Χ.Δ.Α. συμβάλουν στις συνολικές εκπομπές μεθανίου περισσότερο στο Ηνωμένο Βασίλειο (μαζί με τη Βόρεια Ιρλανδία) σε σχέση με τις άλλες χώρες (41% IPCC, 38% LandGEM) ενώ στη Γαλλία οι εκπομπές από Χ.Δ.Α. συμβάλουν λιγότερο στις συνολικές εκπομπές μεθανίου σε σχέση με τις άλλες χώρες (10% IPCC, 14% LandGEM).



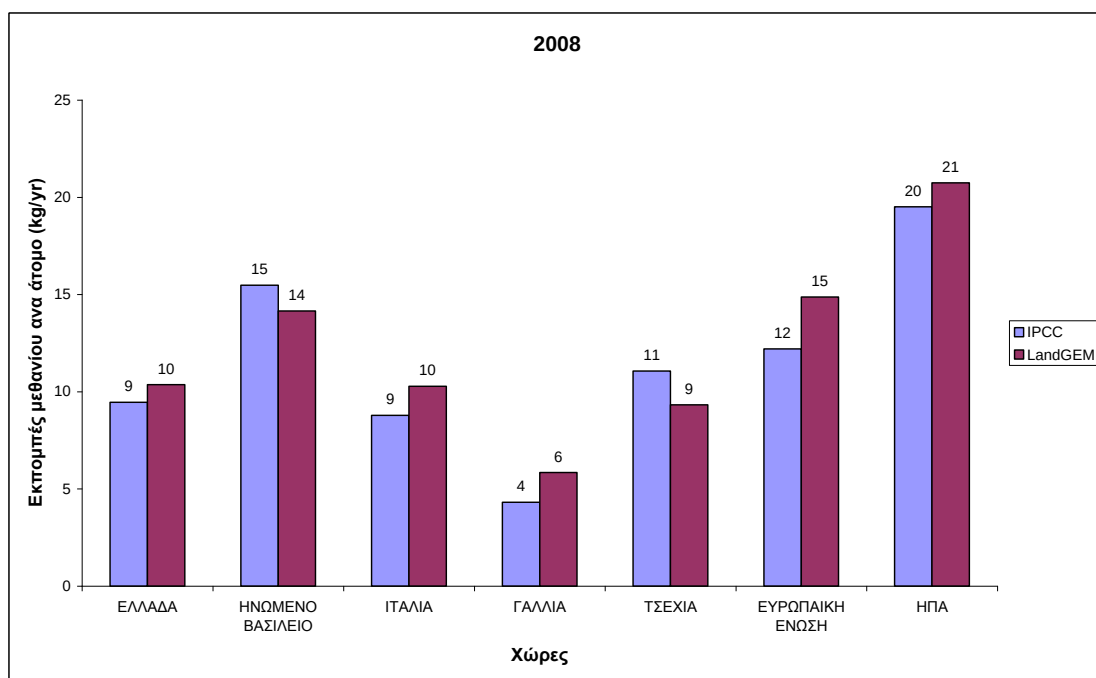
Διάγραμμα 36: Συμμετοχή των Χ.Δ.Α. στις συνολικές εκπομπές μεθανίου κάθε χώρας.

Στο Διάγραμμα 37 συγκρίνουμε την ποσοστιαία μεταβολή των εκπομπών μεθανίου για το 2008 σε σχέση με το 1990 και παρατηρούμε αύξηση των εκπομπών το 2008 σε σχέση με το 1990 στην Ελλάδα (25% IPCC, 24% LandGEM) και στην Τσεχία (46% IPCC, 19% LandGEM) ενώ στις υπόλοιπες χώρες έχουμε μείωσή των εκπομπών το 2008 σε σχέση με το 1990 με τη μεγαλύτερη μείωση στο Ηνωμένο βασίλειο (-59% IPCC, -62% LandGEM). Αυτό οφείλεται στο ότι το Ηνωμένο Βασίλειο μείωσε τις ποσότητες των απορριμμάτων που καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. κατά 30% το έτος 2008 σε σύγκριση με το έτος 1990 σε αντίθεση με την Ελλάδα και την Τσεχία που αύξησαν τις ποσότητες απορριμμάτων που καταλήγουν σε Χ.Δ.Α. κατά 42% και 44% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 37: Ποσοστιαία μεταβολή (%) των εκπομπών μεθανίου για το 2008 σε σύγκριση με το 1990.

Στο Διάγραμμα 38 παρουσιάζεται οι εκπομπές μεθανίου ανά άτομο για το έτος 2008 από Χ.Δ.Α. και παρατηρούμε τις Η.Π.Α. να έχουν τις περισσότερες εκπομπές μεθανίου ανά άτομο (21 kg/άτομο/ημέρα LandGEM, 20 kg/άτομο/ημέρα IPCC) ενώ στη Γαλλία έχουν τις λιγότερες εκπομπές μεθανίου ανά άτομο (6 kg/άτομο/ημέρα LandGEM, 4 kg/άτομο/ημέρα IPCC). Αυτό οφείλεται στο ότι οι Η.Π.Α. έχουν τη μεγαλύτερη κατά κεφαλή παραγωγή απορριμμάτων το έτος 2008 και ισούται με 2 kg/άτομο/ημέρα.



Διάγραμμα 38: Εκπομπές μεθανίου ανά άτομο (kg/yr).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο LandGEM για τον υπολογισμό των αερίων ρύπων που εκπέμπονται από Χ.Δ.Α. στην Ελλάδα, στο Ηνωμένο Βασίλειο (μαζί με τη Βόρεια Ιρλανδία), στην Ιταλία, στη Γαλλία, στην Τσεχία, στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Στο μοντέλο LandGEM για τον υπολογισμό των εκπομπών μεθανίου λάβαμε υπόψη μας την ανάκτηση και την οξείδωση του μεθανίου. Τα αποτελέσματα από το μοντέλο LandGEM τα συγκρίνουμε με αυτά που υπολόγισαν οι χώρες χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία IPCC.

Για την Ελλάδα παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρουσιάζεται το έτος 2006 και για τα δύο μοντέλα και είναι ίση με $1,18 \times 10^5$ tn/yr για το μοντέλο LandGEM και $1,14 \times 10^5$ tn/yr για τη μεθοδολογία IPCC. Τα δύο μοντέλα έχουν μια μέση απόκλιση της τάξης του 8% για την περίοδο 1990-2008. Για το Ηνωμένο Βασίλειο (μαζί με τη Βόρεια Ιρλανδία) παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρουσιάζεται το 1990 και για τα δύο μοντέλα και είναι ίση με $2,32 \times 10^6$ tn/yr για το μοντέλο LandGEM και $2,36 \times 10^6$ tn/yr για τη μεθοδολογία IPCC. Τα δύο μοντέλα έχουν μια μέση απόκλιση της τάξης του 4%.

Για την Ιταλία παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρουσιάζεται το έτος 2000 και για τα δύο μοντέλα και είναι ίση με $8,03 \times 10^5$ tn/yr για το μοντέλο LandGEM και $7,94 \times 10^5$ tn/yr για τη μεθοδολογία IPCC. Τα δύο μοντέλα έχουν μια μέση απόκλιση της τάξης του 5% για την περίοδο 1990-2008. Για τη Γαλλία παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρουσιάζεται το έτος 1996 για

τα δύο μοντέλα και είναι ίση με $4,86 \times 10^5$ tn/yr για το μοντέλο LandGEM και $4,94 \times 10^5$ tn/yr για τη μεθοδολογία IPCC. Τα δύο μοντέλα έχουν μια μέση απόκλιση της τάξης του 6% για την περίοδο 1990-2008 .

Για την Τσεχία παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται το έτος 2007 για το LandGEM μοντέλο ενώ για τη μεθοδολογία IPCC το έτος 2008 και είναι ίση με $9,83 \times 10^4$ tn/yr για το μοντέλο LandGEM και $1,16 \times 10^5$ tn/yr για τη μεθοδολογία IPCC. Τα δύο μοντέλα έχουν μια μέση απόκλιση της τάξης του 9% για την περίοδο 1990-2008. Για την Ευρωπαϊκή Ένωση παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρουσιάζεται το έτος 1991 και για τα δύο μοντέλα και είναι ίση με $7,49 \times 10^6$ tn/yr για το μοντέλο LandGEM και $7,99 \times 10^6$ tn/yr για τη μεθοδολογία IPCC. Τα δύο μοντέλα έχουν μια μέση απόκλιση της τάξης του 8%. Για τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη εκπομπή μεθανίου παρουσιάζεται το έτος 1992 και για τα δύο μοντέλα και είναι ίση με $7,64 \times 10^6$ tn/yr για το μοντέλο LandGEM και $7,23 \times 10^6$ tn/yr για τη μεθοδολογία IPCC. Τα δύο μοντέλα έχουν μια μέση απόκλιση της τάξης του 6%.

Για την Ελλάδα προτείνουμε και δυο σενάρια για την αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από Χ.Δ.Α. Το πρώτο σενάριο προτείνει τη μετατροπή όλων των Χ.Δ.Α. σε Χ.Υ.Τ.Α. με καύση βιοαερίου με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών μεθανίου κατά 79% (μέση τιμή για την περίοδο 1990-2008) με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM και κατά 78% με βάση τις εκπομπές της μεθοδολογίας IPCC. Όμως ένα μειονέκτημα του σεναρίου είναι ότι με τη καύση βιοαερίου θα αυξηθεί το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται κατά 43% (μέση τιμή για την περίοδο 1990-2008). Το δεύτερο

σενάριο αποτελείται από 3 υποσενάρια και προτείνει την αύξηση του ποσοστού κομποστοποίησης κατά 20%, 40% και 60% με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών μεθανίου κατά 14%, 25% και 36% (μέση τιμή για την περίοδο 1990 – 2008) αντίστοιχα με βάση τις εκπομπές του μοντέλου LandGEM και κατά 7%, 19% και 31% αντίστοιχα με βάση τις εκπομπές της μεθοδολογίας IPCC. Προτείνεται ο συνδυασμός των 2 σεναρίων για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από Χ.Δ.Α.

Πηγές σφαλμάτων του μοντέλου LandGEM και της μεθοδολογίας IPCC στην εκτίμηση του βιοαερίου είναι η επίδραση του κλίματος στους ρυθμούς παραγωγής μεθανίου, η επίδραση των χαρακτηριστικών του χώρου ταφής και η επίδραση του συστήματος ανάκτησης βιοαερίου στην αναερόβια ζώνη της μάζας των απορριμμάτων (η άντληση μπορεί να οδηγήσει περισσότερο αέρα μέσα στην αναερόβια ζώνη, με αποτέλεσμα να δρα ανασταλτικά στη μεθανογένεση). Ο ρυθμός αποδόμησης του οργανικού άνθρακα είναι αβέβαιος αφού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η διαθεσιμότητα της υγρασίας και των θρεπτικών.

Η μεθοδολογία IPCC είναι πιο αξιόπιστη για την εκτίμηση των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από Χ.Δ.Α. επειδή τα δεδομένα που εισάγονται (η θεωρητική παραγωγή μεθανίου L_0) αλλάζουν για κάθε έτος λειτουργίας των Χ.Δ.Α. σε αντίθεση με το μοντέλο LandGEM όπου τα δεδομένα που εισάγονται παραμένουν ίδια για κάθε έτος. Επιπλέον το μοντέλο LandGEM υποθέτει χρόνο υστέρησης διάρκειας ενός έτους πριν την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών και την έναρξη παραγωγής βιοαερίου. Όμως το μοντέλο LandGEM είναι ένα εύχρηστο αυτοματοποιημένο εργαλείο για την ποσοτικοποίηση των αέριων που

παράγονται από Χ.Δ.Α. και είναι κατάλληλο για χώρες που έχουν περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα και τη σύνθεση των απορριμμάτων.

7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adrian K. Mohareb, Mostafa A. Warith , Rodrigo Diaz (2008). Modelling greenhouse gas emissions for municipal solid waste management strategies in Ottawa, Ontario, Canada. Resources, Conservation and Recycling, 52, 1241-1251.

AGO (Australian Greenhouse Office) (2000). National Greenhouse Gas Inventory 1998, with Methodology Supplements. Commonwealth of Australia.

Albritton DL., Meira Filho LG. (2001). Technical Summary of Working Group 1 (Climate Change 2001—the Scientific Basis) Report. In Houghton JT. Ding Y. Griggs DJ. Noguer M. van der Linden PJ. Dai X. Maskell K. Johnson CA. editors. Climate change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge. UK; Cambridge University.

Czech Hydrometeorological institute: Air Quality Control Division (2010). National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic, NIR (Reported Inventories 1990-2008).

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php

Doney S.C. (1999). Major challenges confronting marine biogeochemical modelling, *Global Biogeochemical Cycles*, 13, 705-714.

Department of energy and climate change (2010). UK Greenhouse Gas inventory, 1990 to 2008. Annual Report for Submission under the Framework Convention on Climate Change.

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php

EC (2005). Waste generated and treated in Europe 1995-2003. European Commission, Eurostat, Theme Environment and Energy, Luxembourg.

European Environment Agency (2010). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2008 and inventory report 2010 Submission to the UNFCCC Secretariat.

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php

Gardner N, Manley B.J.W and Pearson J.M (1993). Gas Emissions from Landfills and their Contributions to Global Warming. Environmental Resources Ltd. 1 The Enterprise Park. Boughton Green Road. Northampton. UK. NN2 7AH. *Applied Energy*, 44, 165-174.

Gentil E.C., Christensen T.H. and Aoustin, E. (2009). Greenhouse gas accounting and waste management. *Waste Management & Research*, 27, 696-706.

Hogan K.B., Hoffman J.S. and Thompson A.M. (1991). Methane on the greenhouse Agenda. *Nature*, 354,181-182.

Hegde U., Chang T.C. and Yang S.S. (2003). Methane and carbon dioxide emissions from Shan-ch-ku landfill site in northern Taiwan. *Chemosphere*, 52, 1275-1285.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty management in Greenhouse Gas Inventories. World Meteorological Organization Global Atmosphere Watch. 2001. Global Atmosphere Watch Measurements Guide.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. New York, Cambridge.

ISPRA (2010). Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2008. National Inventory Report 2010.

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php

Karapidakis E.S. and Tsave A.A. (2006). Electric Power Production by Biogas Generation at Volos Landfill in Greece. World Sustainable Energy Days 2006, European Energy Efficiency Conference, Framework of the Poster Presentation, Wels/Austria.

Kumar S., Gaikwad S.A., Shekdar A.V., Kshirsagar P.S. and Singh R.N. (2004). Estimation method for national methane emission from solid waste landfills. Atmospheric Environment, 38, 3481-3487.

Manfredi S. and Christensen T.H. (2009). Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling . Waste Management 29, 32-43

Manfredi S., Tonini D., Christensen T.H. and Scharff H. (2009). Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management & Research, 27, 825-836.

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer (2010). Rapport National d'inventaire pour la France au titre de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques et du protocole de kyoto

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php

MEECC (2010). Ministry of environment, energy and climate change Climate Change: Emissions Inventory. Annual inventory submission under the convention and the Kyoto protocol for greenhouse and other gases for the years 1990-2008.

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php

Papageorgiou A., Barton J.R. and Karagiannidis A. (2009). Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: A case for England. *Journal of Environmental Management* 90, 2999-3012.

Ragossnig A. and Hilger H. (2008). Editorial: Waste management: stepping up to the climate change challenge. *Waste Management & Research*, 26, 3-4.

Schimel D. (1995). Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*, 1, 77-91.

Schulz M. and Van Dorland R. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA.

Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S. (1993). Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues.

Thomas CD., Cameron A., Green RE., et al (2004). Extinction risk from climate change. Nature, 427,145-148.

Thompson S., Sawyer J., Bonam R. and Valdivia J.E. (2009). Building a better methane generation model: Validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills. Waste Management 29, 2085-2091.

U.K. Parliamentary Office of Science and Technology (2000). Incineration of Household waste.

UNFCCC (2008). Kyoto protocol reference manual: On accounting of emissions and assigned amount.

http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf

United States Environmental Protection Agency (2004). Quantification of Exposure: Development of the Emissions Inventory for the Inhalation Risk Assessment (Chapter 7).

United States Environmental Protection Agency (2005). User's Manual, Landfill Gas Emissions Model, Version, 3.02.

United States Environmental Protection Agency (2006). Global Mitigation of Non-CO₂ Greenhouse Gas. 3. Landfill Sector. US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

United States Environmental Protection Agency (2010). Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks; 1990-2008, 1200 Pennsylvania Ave., N.W. Washington, DC 20460 U.S.A . EPA 430-R-10 006.

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php

Zach A., Binner E. and Latif M. (2000). Improvement of municipal solid waste quality for landfilling by means of mechanical–biological pre treatment. Waste Management & Research, 18, 25-32.

Zhao Wei , Ester van der Voet, Yufeng Zhang and Gjalt Huppes (2009). Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. Science of the total environment, 407 ,1517-1526.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Γενειατάκης Μ. (2004). In situ μετρήσεις βιοαερίου και εκτίμηση ανεξέλεγκτων εκπομπών CH₄ στο χώρο διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) Πέρα Γαλήνων Ηρακλείου . Μεταπτυχιακή διατριβή , Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Γιδαράκος Ε. (2009). Στερεά απόβλητα: Διαχείριση και επεξεργασία. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (2000). Σχεδιασμός έργων υποδομής και προστασία περιβάλλοντος. Τόμος Β, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων-Ειδικά έργα-Ασφάλεια, Πάτρα.

Θωμά Π. (2005). Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων στον Δήμο Πατρών. Πτυχιακή Μελέτη, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Καλδέλλης Ι. (2005). Περιβάλλον και Βιομηχανική Ανάπτυξη. Εκδόσεις Σταμούλης Αθ. Αθήνα.

Κουτσιούκη Ε. (2005). Εκτίμηση αερίων εκπομπών από το Χώρο Διάθεσης Απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) Πέρα Γαλήνων Ηρακλείου. Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Λαζαρίδης Μ. (2010). Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας. Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.

Λάλας Δ., Γεωργοπούλου Ε., Γιδαράκος Ε., Γκέκας Ρ., Λαζαρίδη Α., Μαυρόπουλος Α. και Μοιρασγεντής Σ. (2007). Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων. www.ita.org.gr

Μανιός Θ. (2001). Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.

Μαυρόπουλος Α., Στοιλόπουλος Β., Κολοκοτρώνης Κ. και Φαγογένη Ε. (2002). Οι ΧΥΤΑ στην Ελλάδα: υφιστάμενη κατάσταση και εμπειρίες. 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΕΔΣΑ, Βιώσιμη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Αθήνα, 28/2-1/3/2002.

Παναγιωτακόπουλος Δ. (2002). Βιώσιμη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εκδόσεις ΖΥΓΟΣ.

Παρασκάκη Ε. Ιωάννα (2003). Εκτίμηση εκπομπών αέριων ρύπων από χώρους διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Δ.Α). Πτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Ρούσσος Ε. (2009). Η Διαχείριση των απορριμμάτων στην Ελλάδα. Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας.

Ψαρράς Ι. και Πατλιτζιάνας Κ. (2006). Σημειώσεις: Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.