



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Ι: Χημικών Επιστημών

Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***“Εκτίμηση της δυνατότητας μείωσης των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη
διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων
στην Ελλάδα με βάση τους στόχους του νέου
Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Στερεών
Αποβλήτων”***

Δανάη Τσουρδαλάκη

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Μαρία Λοϊζίδου

Αθήνα, Ιούνιος 2017

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας Λοϊζίδου Μαρίας, επικεφαλής της μονάδας, την οποία ευχαριστώ ιδιαίτερα για την ανάθεση της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην υποψήφια διδάκτορα Παπαδασκαλοπούλου Χριστίνα για την καθοδήγηση, τη βοήθεια και τη φιλική διάθεση με την οποία με προσέγγισε. Επιπλέον την ευχαριστώ για τον προσωπικό χρόνο που διέθεσε ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλο το προσωπικό της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π., για το άριστο κλίμα συνεργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, για την ηθική συμπαράσταση και τη δύναμη που μου δίνει για την εκπλήρωση των στόχων μου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	4
Περίληψη.....	1
Abstract	4
1 Κλιματική αλλαγή.....	6
1.1 Νομοθεσία.....	7
1.2 Αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου.....	10
1.3 Κλιματική αλλαγή και διαχείριση αποβλήτων.....	13
2 Παραγωγή αποβλήτων.....	18
2.1 Είδη αποβλήτων.....	18
2.2 Παραγωγή Αστικών Στερεών Αποβλήτων σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	20
2.3 Σύσταση αποβλήτων	22
3 Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων.....	25
3.1 Διαχείριση αποβλήτων σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης	25
3.2 Νομοθεσία.....	29
3.2.1 Αρχές διαχείρισης στερεών αποβλήτων.....	29
3.2.2 Νομοθεσία της ΕΕ για τη διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων.	30
3.2.3 Ελληνικό Νομικό Πλαίσιο για τη διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων.....	32
3.3 Μέθοδοι συλλογής των ΑΣΑ	32
3.3.1 Συλλογή σύμμεικτων ΑΣΑ.....	33
3.3.2 Συλλογή ανάμεικτων ΑΥ.....	33
3.3.3 Συλλογή με Διαλογή στην Πηγή (ΔσΠ).....	34
3.4 Μέθοδοι διαχείρισης ΑΣΑ.....	34
3.4.1 Μηχανική Επεξεργασία.....	34
3.4.2 Βιολογική επεξεργασία	39
3.4.3 Τελική Διάθεση – Ταφή.....	41
4 Υφιστάμενη κατάσταση παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα	45
4.1 Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής αποβλήτων στην Ελλάδα.....	45
4.2 Συστήματα συλλογής και μεταφοράς των ΑΣΑ.....	46
4.3 Ανάκτηση Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΑΥ).....	47
4.4 Ανάκτηση Οργανικών	52
4.5 Τελική Διάθεση – Ταφή.....	54
5 Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαχείριση στερεών αποβλήτων	58
5.1 Εκπομπές ΑΦΘ από τους Χώρους Διάθεσης Αποβλήτων.....	58
5.1.1 Θεωρητική προσέγγιση παραγωγής εκπομπών ΑΦΘ.....	58
5.1.2 Μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ	60

5.1.3	Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την ταφή	63
5.2	Εκπομπές ΑΦΘ από την βιολογική επεξεργασία και κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων	66
5.2.1	Θεωρητική προσέγγιση εκπομπών ΑΦΘ	66
5.2.2	Μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ	67
5.2.3	Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ	71
5.3	Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαλογή Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΑΥ) σε ΚΔΑΥ	75
5.3.1	Θεωρητική προσέγγιση εκπομπών ΑΦΘ από διαλογή ΑΥ	75
5.3.2	Μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ	77
5.3.3	Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την διαλογή υλικών	78
5.4	Εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση χαρτιού – χαρτονιού	79
5.4.1	Θεωρητική προσέγγιση – μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση χαρτιού – χαρτονιού.....	79
5.4.2	Εκτίμηση των εκπομπών ΑΦΘ	83
5.5	Εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση πλαστικού	85
5.5.1	Θεωρητική προσέγγιση – μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση πλαστικού	85
5.5.2	Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση πλαστικών	87
5.6	Εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση γυαλιού	88
5.6.1	Θεωρητική προσέγγιση – μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση γυαλιού	88
5.6.2	Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση γυαλιού	91
5.7	Εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση αποβλήτων μετάλλων.....	92
5.7.1	Θεωρητική προσέγγιση – μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση μετάλλων	92
5.7.2	Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση.....	95
5.8	Συνολική εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων.....	97
6	Συμπεράσματα	101
7	Βιβλιογραφία.....	103
8	Παραρτήματα	107
8.1	Υπολογισμοί παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων	107
8.2	Κομποστοποίηση.....	113
8.3	Υπολογισμοί εκπομπών ΑΦΘ από επεξεργασία σε ΕΜΑΚ	113
8.3.1	Άμεσες εκπομπές ΑΦΘ από την κομποστοποίηση κλειστού τύπου	114
8.3.2	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές ΑΦΘ από την κομποστοποίηση κλειστού τύπου.....	116
8.4	Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών.....	117
	Υφιστάμενες εγκαταστάσεις ΚΔΑΥ.....	117

Πίνακες

Πίνακας 1-1: Στόχοι μείωσης εκπομπών ΑΦΘ για τις χώρες που συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κυότο..	8
Πίνακας 1-2: Συγκριτική παρουσίαση στόχων για τη μείωση εκπομπών αερίων του Πρωτόκολλου του Κιότο και της ΕΕ.....	10
Πίνακας 1-3: Χρόνος ζωής και τιμές δυναμικού της παγκόσμιας θέρμανσης με χρονικό ορίζοντα τα 100χρόνια. Πηγή: IPCC, 2013α.....	12
Πίνακας 1-4: Αέριες εκπομπές CO ₂ , CH ₄ και N ₂ O λόγω διαχείρισης αποβλήτων στην ΕΕ, για το έτος 1994. Πηγή: Smith et al. 2001.....	17
Πίνακας 2-1: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ). Πηγή: ΕΕΔΣΑ (2011), ΥΠΕΚΑ (2013).....	18
Πίνακας 2-2: Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής ΑΣΑ ανά χώρα, σε επίπεδο ΕΕ (kg/cap). Πηγή: Eurostat, 2017α.....	21
Πίνακας 2-3: Μέση σύσταση (%) των ΑΣΑ, σε παγκόσμιο επίπεδο, ανά περιοχή για το έτος 2000. Πηγή: IPCC, 2006.....	22
Πίνακας 2-4: Μέση σύσταση ΑΣΑ ανά Περιφέρεια και σε επίπεδο χώρας, για το έτος 2011. Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2014.....	23
Πίνακας 2-5: Ποσοστό περιεχόμενου C κατά βάρος αποβλήτων. Πηγή: IPCC, 2006.....	24
Πίνακας 3-1: Ποσότητες ΑΣΑ (εκατ. τόνοι) που οδηγήθηκαν σε ανακύκλωση, κομποστοποίηση, καύση και ταφή σε επίπεδο ΕΕ, για την περίοδο 1995-2014. Πηγή: Eurostat, 2015.....	26
Πίνακας 4-1: Στόχοι ανάκτησης ανά απόβλητο υλικό συσκευασίας, Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2015.....	49
Πίνακας 4-2: Ποσότητες ανάκτησης οργανικών αποβλήτων για τα έτη 2011, Πηγή: ΥΠΕΚΑ (2014), ΕΠΠΕΡΑΑ (2012).....	53
Πίνακας 4-3: Διαχρονική εξέλιξη εκτροπής οργανικών αποβλήτων προς κομποστοποίηση, για την περίοδο 1997 – 2015.....	53
Πίνακας 4-4: Ετήσια καύση βιοαερίου από ΧΥΤΑ, για την περίοδο 1990-2013. Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2015.....	55
Πίνακας 5-1: : Παράγοντες εκπομπής για τον υπολογισμό των έμμεσων προγενέστερων αερίων εκπομπών σχετικών με την κομποστοποίηση. Πηγή: Fruergaard et al. (2009).....	68
Πίνακας 5-2: Μέση κατανάλωση καυσίμων από τον μηχανολογικό εξοπλισμό στις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης. Πηγή: A. Boldrin et al. (2009β).....	68
Πίνακας 5-3: Περιεκτικότητα των διαφόρων ειδών βιοαποβλήτων σε άνθρακα και άζωτο. Πηγή: Boldrin et al. (2009β).....	69
Πίνακας 5-4: Αέριες εκπομπές από την κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων. Πηγή: Boldrin et al. (2009β).....	70
Πίνακας 5-5: Περιεκτικότητα των εισερχόμενων βιοαποβλήτων σε άνθρακα και άζωτο.	71
Πίνακας 5-6: Υπολογισμοί άμεσων και έμμεσων μεταγενέστερων εκπομπών από την οικιακή κομποστοποίηση αποβλήτων.	73
Πίνακας 5-7: Παράγοντες εκπομπής ΑΦΘ ανά είδος διεργασίας. Πηγή: Fruergaard et al. 2009.....	74
Πίνακας 5-8: Εκπομπές ΑΦΘ από την επεξεργασία βιοαποβλήτων σε μονάδες ΕΜΑΚ, για την περίοδο 1997-2015 και εκτίμηση με βάση τους στόχους του ΕΣΔΑ για το έτος 2020.....	74
Πίνακας 5-9: Παράγοντες εκπομπής για την διαδικασία της ανακύκλωσης χαρτιού. Πηγή: Gentil et al. 2009.....	79
Πίνακας 5-10:Υπολογισμός άμεσων και έμμεσων προγενέστερων και μεταγενέστερων εκπομπών από την ανακύκλωση έντυπου χαρτιού.....	83
Πίνακας 5-11: Υπολογισμός άμεσων και έμμεσων προγενέστερων και μεταγενέστερων εκπομπών από την ανακύκλωση χάρτινης συσκευασίας.	84
Πίνακας 5-12: Υπολογισμοί άμεσων και έμμεσων προγενέστερων και μεταγενέστερων εκπομπών ΑΦΘ για την ανακύκλωση πλαστικού, για τα έτη 2004-2015 και εκτίμηση εκπομπών για το 2020.....	87

Πίνακας 5-13: Υπολογισμοί άμεσων και έμμεσων προγενέστερων και μεταγενέστερων εκπομπών ΑΦΘ για την ανακύκλωση γυαλιού, για τα έτη 2004-2015 και εκτίμηση εκπομπών για το 2020.....	91
Πίνακας 5-14: Υπολογισμοί αέριων εκπομπών από την ανακύκλωση μεταλλικών συσκευασιών για την περίοδο 2004-2015 και εκτίμηση εκπομπών για το έτος 2020.	95
Πίνακας 5-15: Υπολογισμοί αέριων εκπομπών από την ανακύκλωση συσκευασιών αλουμινίου για την περίοδο 2004-2015 και εκτίμηση εκπομπών για το έτος 2020.	96
Πίνακας 8-1: Διαχρονική εξέλιξη αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή, για την περίοδο 1991 – 2020.....	108
Πίνακας 8-2: Διαχρονική εξέλιξη εκτροπής αποβλήτων προς κομποστοποίηση ανά μονάδα ΕΜΑΚ, για την περίοδο 1997-2020.	113
Πίνακας 8-3: Άμεσες εκπομπές λόγω κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας από τον εξοπλισμό της εγκατάστασης.....	114
Πίνακας 8-4: Εισερχόμενες ποσότητες αποβλήτων κουζίνας και κήπων για την περίοδο 1997 – 2020.	115
Πίνακας 8-5: Εισερχόμενες ποσότητες C και N και εκλυόμενες ποσότητες CH ₄ , N ₂ O και CO ₂ – eq, για την περίοδο 1997 – 2020.....	116
Πίνακας 8-6: Αποφευχθείσες εκπομπές CO ₂ , λόγω χρήσης του κομπόστ σε επίχωση, για τη χρονική περίοδο 1997-2020.....	117
Πίνακας 8-7: κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από διαλογή σε ΚΔΑΥ, για την περίοδο 2004 – 2015.	120

Εικόνες

Εικόνα 1-1: Χάρτης των Κρατών που συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κυότο.	9
Εικόνα 3-1: Πυραμίδα ιεράρχησης μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ29	
Εικόνα 3-2: Διάγραμμα ροής των αποβλήτων ανά μέθοδο συλλογής αποβλήτων.	33
Εικόνα 3-3: Διαδικασία χειροδιαλογής. Πηγή: ΚΔΑΥ Ελευσίνας.	35
Εικόνα 3-4: Άποψη λειτουργίας εξοπλισμών μείωσης μεγέθους των αποβλήτων. Πηγή: Νταρακάς, 2014 ...	36
Εικόνα 3-5: Είδος οριζόντιου αεροδιαχωριστή.....	37
Εικόνα 3-6: Μηχανισμός διαδοχικών κεκλιμένων κοσκίνων.	37
Εικόνα 3-7: Μαγνητική ταινία διαχωρισμού (Αριστερή εικόνα) και μαγνητικός διαχωριστής (Δεξιά εικόνα).38	
Εικόνα 4-1: Σχηματική απεικόνιση της ακολουθούμενης πορείας των ΑΣΑ από τους κάδους όπου εναποτίθενται από τους κατοίκους έως την τελική τους διάθεση σε ΧΥΤΑ, Πηγή: ίδια επεξεργασία.	47
Εικόνα 4-2: Κέντρο ανταποδοτικής ανακύκλωσης του ατομικού ΣΕΔ ΑΒ Βασιλόπουλος ΑΕ.....	48
Εικόνα 4-3: Κέντρο Ανταποδοτικής Ανακύκλωσης του ΣΕΔ «Ανταποδοτική Ανακύκλωση».....	48
Εικόνα 4-4: Μπλε κάδος συλλογής ανάμεικτων συσκευασιών και μπλε κώδωνας συλλογής γυάλινων συσκευασιών της ΕΕΑΑ ΑΕ.	49
Εικόνα 4-5: Εγκαταστάσεις διαχείρισης και διάθεσης ΑΣΑ ανά περιφέρεια, για το έτος 2011.....	56
Εικόνα 5-1: Συνοπτική περιγραφή διεργασιών κομποστοποίησης και ενδιάμεσων προϊόντων της. Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014	67
Εικόνα 5-2: Διάγραμμα ροής ΚΔΑΥ το οποίο ανακτά αλουμίνιο, σιδηρούχα, γυαλί, συσκευασίες HDPE, ανάμεικτο χαρτί, πεπιεσμένο χαρτόνι (OCC), συσκευασίες PET και πλαστικά φιλμ. Όλα τα βέλη αναπαριστούν ταινίες μεταφοράς. Πηγή: Pressley et al. 2014	77

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1-1: Παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές ΑΦΘ για την περίοδο 1970 - 2010. Πηγή: IPCC (2014)	12
Διάγραμμα 1-2: Συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές ΑΦΘ (GtCO ₂ eq / yr) από τους οικονομικούς τομείς, για το έτος 2010. Πηγή: IPCC, 2014γ.	13
Διάγραμμα 1-3: συνολικές εκπομπές ΑΦΘ από τον τομέα της βιομηχανίας ανά πηγή σε παγκόσμιο επίπεδο, 1970-2010 (GtCO ₂ eq / yr). Πηγή: IPCC, 2014β	14
Διάγραμμα 1-4: Συγκριτική συμβολή στην εκπομπή ΑΦΘ, σε επίπεδο ΕΕ, για το έτος 1990, ανά τομέα δραστηριότητας. Πηγή: Eurostat, 2017β.	14
Διάγραμμα 1-5: Συγκριτική συμβολή στην εκπομπή ΑΦΘ, σε επίπεδο ΕΕ, για το έτος 2013 ανά τομέα δραστηριότητας. Πηγή: Eurostat, 2017β.	15
Διάγραμμα 1-6: Παγκόσμιες εκπομπές ΑΦΘ από τον τομέα διαχείρισης αποβλήτων σε MtCO ₂ eq/έτος, ανά ΑΕΠ και κατά κεφαλή. Πηγή: IPCC, 2014β	16
Διάγραμμα 3-1: Ποσοστιαία συμβολή των διαφορετικών μεθόδων στην συνολική διαχείριση των ΑΣΑ, σε επίπεδο ΕΕ, για το έτος 2014. Πηγή: Eurostat, 2017β.	26
Διάγραμμα 3-2: Ποσότητες ΑΣΑ ανά κάτοικο και ανά μέθοδο διαχείρισης, σε επίπεδο ΕΕ, για την περίοδο 1995-2014. Πηγή: Eurostat, 2017.	27
Διάγραμμα 3-3: Σύγκριση των μεθόδων διαχείρισης που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες, σαν ποσοστό των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΣΑ, για το έτος 2013. Πηγή: IPCC, 2014.	28
Διάγραμμα 4-1: Διαχρονική εξέλιξη παραγόμενων ποσοτήτων ΑΣΑ στην Ελλάδα, για την περίοδο 1991 – 2020, Πηγή: Eurostat (2017α), ΥΠΕΚΑ (2012) και ίδια επεξεργασία.	45
Διάγραμμα 4-2: Ποσοστιαία συμβολή των Περιφερειών Ελλάδος στην συνολική παραγωγή ΑΣΑ για τα έτη 2011 και 2012, Πηγή ΥΠΕΚΑ (2014)	46
Διάγραμμα 4-3: : Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης συσκευασιών (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 - 2012, Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017	50
Διάγραμμα 4-4: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης χάρτινων συσκευασιών και χαρτονιού (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012, Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017... ..	50
Διάγραμμα 4-5: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης συσκευασιών πλαστικού (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012, Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017	51
Διάγραμμα 4-6: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης μεταλλικών συσκευασιών (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012, Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017	51
Διάγραμμα 4-7: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης γυάλινων συσκευασιών (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012, Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017	52
Διάγραμμα 4-8: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης συσκευασιών ξύλου (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012, Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017	52
Διάγραμμα 4-9: Ποσότητες οργανικών αποβλήτων που εκτράπηκαν από την ταφή, σε επίπεδο χώρας, για την περίοδο 1997-2020.	54
Διάγραμμα 4-10: Διαχρονική εξέλιξη ταφής αποβλήτων σε επίπεδο χώρας, για την περίοδο 1991 – 2015.. ..	57
Διάγραμμα 5-1: Διαδοχικές φάσεις παραγωγής βιοαερίου σε ΧΔΑ (I-Αρχική προσαρμογή, II-Μεταβατική φάση, III-Όξινη φάση, IV-Φάση ζύμωσης μεθανίου, V-Φάση ωρίμανσης). Πρωτεύον διάγραμμα: σύνθεση αερίων ανά φάση, Δευτερεύον διάγραμμα: χαρακτηριστικά στραγγισμάτων. (G. Tchobanoglous & F. Kreith, 2002).	60
Διάγραμμα 5-2: Αθροιστικές εκπομπές ΑΦΘ από την διάθεση αποβλήτων σε ΧΥΤΑ και σε ΧΑΔΑ, για την περίοδο 1991-2099.	64
Διάγραμμα 5-3: Εκπομπές ΑΦΘ από την τελική διάθεση αποβλήτων.	65
Διάγραμμα 5-4: Συνολικές εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή αποβλήτων για τα έτη 2011 και 2020 ανά περιφέρεια.	66

Διάγραμμα 5-5: Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαδικασία της οικιακής κομποστοποίησης και εξοικονόμηση εκπομπών από την χρήση του στο έδαφος (Πρωτεύων άξονας) και ποσότητες βιοαποβλήτων που οδηγήθηκαν σε οικιακή κομποστοποίηση (Δευτερεύων άξονας).....	73
Διάγραμμα 5-6: Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαδικασία της κομποστοποίησης σε ΕΜΑΚ και εξοικονόμηση εκπομπών από την χρήση του ως επίχωση (Πρωτεύων άξονας) και ποσότητες βιοαποβλήτων που οδηγήθηκαν σε ΕΜΑΚ (Δευτερεύων άξονας).	75
Διάγραμμα 5-7: Διαχρονική εξέλιξη εκπομπών ΑΦΘ από την λειτουργία των ΚΔΑΥ σε επίπεδο χώρας και για την περίοδο 2004-2015.	78
Διάγραμμα 5-8: : Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαδικασία της ανακύκλωσης έντυπου χαρτιού και εξοικονόμηση εκπομπών από την υποκατάσταση καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας) και ποσότητες εντύπου χαρτιού που ανακυκλώθηκαν (Δευτερεύων άξονας).	84
Διάγραμμα 5-9: Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαδικασία της ανακύκλωσης χάρτινης συσκευασίας και χαρτονιού και εξοικονόμηση εκπομπών από την υποκατάσταση καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας) και ποσότητες εντύπου χαρτιού που ανακυκλώθηκαν (Δευτερεύων άξονας).	85
Διάγραμμα 5-10: Παρουσίαση έμμεσων και άμεσων εκπομπών ΑΦΘ από την διαλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση των αποβλήτων πλαστικού καθώς και αποφυγή εκπομπών λόγω της υποκατάστασης καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας). Ποσότητες αποβλήτων πλαστικού που οδηγήθηκαν στην ανακύκλωση για την περίοδο 2004 -2015 (Δευτερεύων άξονας)	88
Διάγραμμα 5-11: Παρουσίαση έμμεσων και άμεσων εκπομπών ΑΦΘ από την διαλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση των αποβλήτων γυαλιού καθώς και αποφυγή εκπομπών λόγω της υποκατάστασης καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας). Ποσότητες αποβλήτων γυαλιού που οδηγήθηκαν στην ανακύκλωση για την περίοδο 2004 -2015 (Δευτερεύων άξονας)	92
Διάγραμμα 5-12: : Παρουσίαση έμμεσων και άμεσων εκπομπών ΑΦΘ από την διαλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση των αποβλήτων σιδηρούχων μετάλλων καθώς και αποφυγή εκπομπών λόγω της υποκατάστασης καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας). Ποσότητες αποβλήτων μετάλλων που οδηγήθηκαν στην ανακύκλωση για την περίοδο 2004 -2015 (Δευτερεύων άξονας)	96
Διάγραμμα 5-13: Έμμεσες και άμεσες εκπομπές ΑΦΘ από την διαλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση αποβλήτων αλουμινίου και αποφυγή εκπομπών λόγω υποκατάστασης καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας). Ποσότητες αποβλήτων αλουμινίου που οδηγήθηκαν στην ανακύκλωση για την περίοδο 2004 -2015 (Δευτερεύων άξονας)	97
Διάγραμμα 5-14: Συνολικές εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή αποβλήτων για τις περιόδους 1991-2015 και 2016-2040.....	98
Διάγραμμα 5-15: Αποφευχθείσες εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση υλικών, για την περίοδο 2004-2015.	98
Διάγραμμα 5-16: Συνολικά αποφευχθείσες εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση υλικών για την περίοδο 2004-2020.....	99
Διάγραμμα 5-17: Συγκριτικές εκπομπές ΑΦΘ από τις διαφορετικές μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων	100

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας υπολογίστηκαν οι εκπομπές αερίων φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ) που παράγονται από το υφιστάμενο σύστημα διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) στην Ελλάδα και στη συνέχεια έγινε εκτίμηση της δυνατότητας μείωσης των εκπομπών ΑΦΘ με την υλοποίηση των στόχων μείωσης της παραγωγής αποβλήτων και αύξησης του ποσοστού ξεχωριστής διαλογής και επεξεργασίας των ΑΣΑ για το 2020, σύμφωνα με τον αναθεωρημένο Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΑ, 2015).

Ειδικότερα, οι υφιστάμενοι μέθοδοι διαχείρισης στερεών αποβλήτων που μελετήθηκαν ήταν η ταφή (υγειονομική ταφή και ανεξέλεγκτη διάθεση σε χωματερές), η κομποστοποίηση (κλειστού τύπου και οικιακή κομποστοποίηση), η διαλογή των ανακυκλώσιμων υλικών συσκευασίας σε ειδικά κέντρα (ΚΔΑΥ) και η ανακύκλωση των ανακτημένων υλικών (χαρτί, γυαλί, πλαστικό, αλουμίνιο, σίδηρος). Για τον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών από την υφιστάμενη διαχείριση, συλλέχθηκαν οι ετήσιες ποσότητες που διαχειρίστηκαν για την κάθε μέθοδο διαχείρισης για το διάστημα από το 1994 έως το 2015, για το οποίο και υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία. Πηγές άντλησης των στοιχείων αυτών ήταν τόσο το τμήμα Διαχείρισης Αποβλήτων του Υπουργείου Ενέργειας, Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), όσο η Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (ΕΕΑΑ) και ο Εθνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ).

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ΑΦΘ, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό εργαλείο της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) για την περίπτωση της ταφής, ενώ για τις υπόλοιπες μεθόδους χρησιμοποιήθηκαν συντελεστές εκπομπών από την διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε λαμβάνει υπόψη τόσο τις άμεσες εκπομπές από τις διεργασίες, όσο και τις έμμεσες προγενέστερες εκπομπές (indirect upstream emissions) και τις αποφευχθείσες έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές (indirect downstream emissions), οι οποίες είναι αρνητικές λόγω της υποκατάστασης πρώτων υλών από τα ανακυκλωμένα υλικά. Επίσης, για την περίπτωση της ταφής λαμβάνονται υπόψη οι αποφευχθείσες εκπομπές από την υποκατάσταση του συμβατικού ηλεκτρισμού της χώρας με τον ηλεκτρισμό που ενδεχομένως παράγεται από τη συλλογή και καύση του παραγόμενου βιοαερίου. Επίσης από τις συνολικές εκπομπές της ταφής αφαιρείται ο άνθρακας που κατακρατείται στο έδαφος κατά την ταφή.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής δείχνουν ότι από το υφιστάμενο σύστημα διαχείρισης, το μεγαλύτερο μερίδιο των εκπομπών προέρχεται από την ταφή, γεγονός το οποίο οφείλεται τόσο στο ότι η ταφή αποτελεί τη βασική μέθοδο διαχείρισης των ΑΣΑ μέχρι σήμερα όσο και στο ότι οι κύριες εκπομπές από την ταφή είναι οι εκπομπές μεθανίου οι οποίες έχουν δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης 31 φορές μεγαλύτερο από το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο αποτελεί το κύριο εκπεμπόμενο αέριο από τις υπόλοιπες μεθόδους διαχείρισης. Όσον αφορά στις εκπομπές ΑΦΘ σύμφωνα με τους στόχους του ΕΣΔΑ για το 2020, υπάρχει σημαντική μείωση των εκπομπών λόγω του ότι αυξάνεται κατά πολύ το ποσοστό της ξεχωριστής διαλογής και ανάκτησης και αντίστοιχα μειώνεται το ποσοστό της ταφής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο σε χρονοσειρές όσο και γεωγραφικά ανά περιφέρεια.

Ειδικότερα, για την ταφή όπου προβλέπεται σύμφωνα με τον ΕΣΔΑ μείωση άνω του 65% των αποβλήτων που θα οδηγούνται σε ταφή έως το 2020 με αντίστοιχη μείωση κατά τουλάχιστον 70% των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, προκύπτει σημαντική μείωση των εκπομπών ΑΦΘ.

Όσον αφορά την κομποστοποίηση, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η εκτροπή των βιοαποβλήτων από την ταφή για τη βιολογική επεξεργασία τους έχει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη αφού μειώνει την μάζα των αποβλήτων με αφαίρεση μεγάλου μέρους της υγρασίας και ταυτόχρονα έχει την ιδιότητα να δεσμεύει μεγάλες ποσότητες άνθρακα, ο οποίος αν και βιογενής μπορεί να θεωρηθεί ως αποφευχθείσα εκπομπή αφού δεν ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ταφή αυτών των αποβλήτων, λόγω των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν προκαλεί εκπομπές μεθανίου προκαλώντας πολλαπλάσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. Τέλος, η θετική συμβολή της κομποστοποίησης πολλαπλασιάζεται όταν το παραγόμενο κομπόστ υποκαθιστά ανόργανα λιπάσματα, αφού η παραγωγή τους προκαλεί εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων ΑΦΘ.

Όσον αφορά την κομποστοποίηση, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η εκτροπή των βιοαποβλήτων από την ταφή για τη βιολογική επεξεργασία τους έχει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη αφού μειώνει την μάζα των αποβλήτων με αφαίρεση μεγάλου μέρους της υγρασίας και ταυτόχρονα έχει την ιδιότητα να δεσμεύει μεγάλες ποσότητες άνθρακα, ο οποίος αν και βιογενής μπορεί να θεωρηθεί ως αποφευχθείσα εκπομπή αφού δεν ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ταφή αυτών των αποβλήτων, λόγω των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν προκαλεί εκπομπές μεθανίου προκαλώντας πολλαπλάσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. Τέλος, η θετική συμβολή της κομποστοποίησης πολλαπλασιάζεται όταν το παραγόμενο κομπόστ υποκαθιστά ανόργανα λιπάσματα, αφού η παραγωγή τους προκαλεί εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων ΑΦΘ.

Όσον αφορά το χαρτί, τόσο το έντυπο χαρτί που είναι χαμηλότερης ποιότητας και παρουσιάζει μεγαλύτερες απώλειες κατά την ανακύκλωσή του, όσο και η χάρτινη συσκευασία και το χαρτόνι, μπορούν να συμβάλουν στην μείωση των εκπομπών ΑΦΘ σε μεγάλο βαθμό. Αυτό συμβαίνει διότι, πρώτον η ανακύκλωση χαρτιού έχει πολύ χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις από την παραγωγή του από καθαρές πρώτες ύλες. Επιπρόσθετα, το χαρτί ανήκει στα βιοαποδομήσιμα υλικά, οπότε η μη διάθεσή του σε ΧΥΤ μειώνει περαιτέρω τις εκπομπές ΑΦΘ από την διαχείριση στερεών αποβλήτων.

Η ανακύκλωση των αποβλήτων γυαλιού και πλαστικού προκαλεί εκπομπές ΑΦΘ λόγω της ανάγκης διαλογής τους, η οποία γίνεται κυρίως μηχανικά. Για την περίοδο 2004 – 2015 μπορούν να παρατηρηθούν κάποιες μικρές διακυμάνσεις στις ποσότητες που ανακυκλώνονται και τις αντίστοιχες εκπομπές. Ωστόσο, οι στόχοι που τίθεται από τον ΕΣΔΑ για την ανακύκλωση γυαλιού και πλαστικού για το έτος 2020, έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά υψηλότερη εξοικονόμηση εκπομπών σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

Τέλος, η ανακύκλωση μετάλλων αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα στην αποφυγή ή όχι εκπομπών ΑΦΘ. Αυτό συμβαίνει καθώς η επεξεργασία ανακυκλωμένων υλικών έχει πολύ χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε σύγκριση με την παραγωγή νέων προϊόντων από καθαρές πρώτες ύλες.

Όσον αφορά τις καθαρές εκπομπές ΑΦΘ από τις διαφορετικές μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα, τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση έως και το έτος-στόχο 2020.

Σημειώνεται ότι οι εκπομπές από την ταφή, αφορούν μόνο αυτές που εκλύθηκαν κατά την περίοδο 1991-2020, ενώ οι εκπομπές που αναμένεται να εκλυθούν τα επόμενα έτη από τις ίδιες ποσότητες αποβλήτων δεν λαμβάνονται υπόψη. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι μέχρι το 2015 οι εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή είναι μεγαλύτερες από τις αποφευχθείσες εκπομπές λόγω ανακύκλωσης και κομποστοποίησης. Από το 2016 και έπειτα, όπου και θεωρείται ότι γίνονται βήματα προς την επίτευξη του στόχου του ΕΣΔΑ για το 2020, οι αποφευχθείσες εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση και την κομποστοποίηση αρχίζουν να υπερκαλύπτουν τις εκπομπές από την ταφή. Ωστόσο, αν λαμβάνονταν υπόψη και οι μεταγενέστερες εκπομπές από την ταφή, το αποτέλεσμα αυτό θα καθυστερούσε να γίνει ορατό.

Η δομή της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται στη συνέχεια:

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη νομοθεσία για την κλιματική αλλαγή, στα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου καθώς και στη συνεισφορά της διαχείρισης των αποβλήτων στην κλιματική αλλαγή.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των ειδών ΑΣΑ κατά τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ) και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παραγόμενες ποσότητες ΑΣΑ σε χρονοσειρές για κάθε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επίσης δίδεται η σύσταση των ΑΣΑ τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε επίπεδο γεωγραφικών περιφερειών της Ευρώπης.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των ΑΣΑ σε Ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, παρατίθενται διαγραμματικά οι ποσότητες των ΑΣΑ ανά μέθοδο διαχείρισης για κάθε χώρα της ΕΕ και τέλος αναλύονται οι υφιστάμενοι μέθοδοι συλλογής και διαχείρισης των ΑΣΑ.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της διαχρονικής εξέλιξης της παραγωγής αποβλήτων στην Ελλάδα καθώς και των υφιστάμενων συστημάτων συλλογής και μεταφοράς των ΑΣΑ, ενώ στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης των ανακυκλώσιμων υλικών καθώς, των υποδομών επεξεργασίας τους και των ποσοτήτων τους.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα για κάθε μέθοδο διαχείρισης ΑΣΑ οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή εκπομπών ΑΦΘ, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των εκπομπών ΑΦΘ ξεχωριστά ανά μέθοδο διαχείρισης καθώς και οι εκτιμώμενες εκπομπές ΑΦΘ, τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση όσο και για το 2020.

Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις που προκύπτουν από όλη την εργασία. Παρουσιάζονται τα οφέλη της εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων με βάση τις εκτιμώμενες εκπομπές ΑΦΘ που μπορούν να αποφευχθούν.

Abstract

In the framework of this thesis the greenhouse gas (GHG) emissions generated from the current municipal solid waste (MSW) management system in Greece were calculated while next the potential for reduction of GHG emissions with the achievement of the 2020 targets for the reduction in waste generation and the increase in the share of separate collection and treatment of MSW, according to the updated National Solid Waste Management Planning (2015) was estimated.

In particular, the existing MSW management methods studied were the disposal (sanitary landfill and uncontrolled disposal in dumps), the composting (enclosed and home composting), the recovery of recyclable materials in special facilities (MRF) and the recycling of recovered materials (paper, plastic, glass, ferrous and non-ferrous metals). For the calculation of total GHG emissions from the existing waste management system, quantitative data on waste per waste management method for the period 1994-2015 – for which there were data available -, were collected. Sources of these data were the department of Waste Management of the Ministry of Energy, Environment and Climate Change of Greece, the Hellenic Recovery of Packaging Materials S.A and the Hellenic Recycling Agency.

For the calculation of GHG emissions, the software created by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was used for the case of landfilling, whereas for the remaining waste management methods emission factors from the international scientific literature were applied. The methodology followed takes into account the direct emissions from the process as well as the indirect upstream emissions and the avoided downstream emissions. The latter are negative as they represent the substitution of virgin materials by recycled materials. Furthermore, for the case of landfilling, the avoided emissions from the substitution of conventional electricity by the electricity that is produced from the collection and flaring of the produced landfill gas, are calculated. Lastly, from the total emissions from landfilling the carbon that is sequestered to the soil is subtracted. The results of this thesis show that as regards the current waste management system, the largest GHG emissions share comes from landfilling, which is attributed to the fact that landfilling is the main MSW management method so far as well as to the fact that the main GHG emissions from landfilling are the methane emissions which have a global warming potential (GWP) 31 times higher compared to carbon dioxide, which is the main emitted GHG from the other waste management methods studied. As far as the GHG emissions calculated according to the targets of the NWMP for 2020 are concerned, a significant reduction of emissions is observed due to the significant increase of the separate collection and recovery share and the respective reduction of the landfilling share. The results are presented both in timeseries and geographically by NUTS2 region.

In particular, there is a prediction for reduction of more than 65% of landfilling waste with a corresponding reduction of at least 70% of biodegradable waste with a resulting reduction of GHG emissions.

Studying composting techniques and their respective emissions, suggests that the diversion of biowaste from landfilling and treatment contributes to the sustainability of landfilling sites by removing much of the moisture. Moreover, compost product can bind large amounts of biogenic carbon which would be released at the atmosphere. It should be also under consider that those amounts of biodegradable wastes would cause methane emissions due to

anaerobic conditions. Finally, the contribution of composting increases even more when the compost can substitute inorganic fertilizers, since their production causes emissions of large amounts of GHGs.

As for paper recycling, both printed paper of lower quality and greater recycling losses, as well as paper packaging and cardboard, can contribute significantly to reducing GHG emissions. Paper recycling has much lower energy demands than production of raw materials. Additionally, paper is biodegradable material, so avoiding its landfilling reduces even more GHG emission from solid waste management.

Recycling of glass and plastic waste causes GHG emissions due to the need of sorting them. Although the savings of emissions from avoiding the production from raw materials overcomes the emissions caused by the sorting process.

Finally, recycling of metals is also an important factor on reducing GHG emission from waste management, due to the less energy requirements compared to the production of new products from raw materials.

Regarding the net GHG emissions from the different waste management methods in Greece, both current situation up to the target year 2020, it is expected that after the year 2015, avoided GHG emissions will outweigh GHG emissions from landfilling due to the increasing recycling and composting wastes.

The structure of the current thesis is presented next:

Chapter 1 focuses on Climate Change, Green House Gas Emissions and Waste Management's techniques contribution to Climate Change.

Chapter 2 presents European Waste Catalogue (EWC), and the different types of Municipal Solid Waste (MSW). Then produced quantities of MSW are presented on EU level. Composition of MSW produced over the time for each member-state are presented and compared to international level.

Chapter 3 is introducing the European and National legislation for Municipal Waste Management, and is presented quantification for each waste management and by EU's member-state. Finally, there is a brief analysis on waste collection systems used on national and European level.

Chapter 4 presents waste producing over the years, in Greece and existing systems of MSW collection and management systems. An overview of Alternative management systems used on national level and existing facilities and their quantities.

Chapter 5 presents in detail the processes that take place for each MSW management method that results in the production of GHG emissions, the methodology followed for calculating GHG emissions separately by management method as well as the estimated GHG emissions both for the existing GHG Situation as well as for 2020.

Finally, Chapter 6 presents the conclusions and suggestions that come from all the work.

1 Κλιματική αλλαγή

Για την πληρέστερη παράθεση και καλύτερη κατανόηση του παρόντος κεφαλαίου, θεωρήθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν πρώτα οι παρακάτω ορισμοί. Σκοπός είναι η αποφυγή παρερμηνεύσεων που πολλές φορές ακολουθούν τις έννοιες *κλιματική αλλαγή*, *παγκόσμια θέρμανση* και *φαινόμενο του θερμοκηπίου*.

Ορισμοί:

Ο όρος **κλιματική αλλαγή** αναφέρεται σε αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να ταυτοποιηθεί (πχ με στατιστικές μεθόδους) από τις αλλαγές στο μέσο ή/και στη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του, που εξακολουθούν να υφίστανται για μεγάλο χρονικό διάστημα, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να οφείλεται σε φυσικές διαδικασίες ή σε εξωτερικούς παράγοντες όπως διακυμάνσεις των ηλιακών κύκλων, ηφαιστειακές εκρήξεις και επίμονες αλλαγές στη σύνθεση της ατμόσφαιρας ή στη χρήση γης. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο για την Κλιματική Αλλαγή των Ηνωμένων Εθνών (UNFCCC), στο άρθρο 1, η κλιματική αλλαγή ορίζεται ως “μια αλλαγή του κλίματος που αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα που μεταβάλλει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας του πλανήτη, η οποία διαχωρίζεται από τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος που παρατηρείται σε συγκρίσιμες χρονικές περιόδους”. Διαχωρίζεται έτσι, η αλλαγή του κλίματος από ανθρωπογενείς παράγοντες και η κλιματική μεταβλητότητα λόγω φυσικών αιτιών (UN, 1992).

Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί 0.85 ± 0.2 °C από τα τέλη του 19ου αιώνα και η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 ετών. Ενώ, οι 3 τελευταίες δεκαετίες ήταν οι θερμότερες από το 1850, οπότε και υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για σύγκριση (IPCC, 2013β).

Ο όρος **παγκόσμια θέρμανση** (global warming) αναφέρεται στη σταδιακή αύξηση, που παρατηρείται ή προβλέπεται, της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη. Ως αιτία εντοπίζεται η αύξηση της συγκέντρωσης αερίων στην ατμόσφαιρα, με την ιδιότητα της δέσμευσης της ακτινοβολίας του ήλιου. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως σε ανθρωπογενείς εκπομπές (IPCC, 2007).

Φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζεται το φαινόμενο απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα συστατικά της ατμόσφαιρας που έχουν αυτή την ιδιότητα. Τα αέρια του θερμοκηπίου, τα σύννεφα και, σε μικρότερο βαθμό, τα αερολύματα απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και αλλού στην ατμόσφαιρα. Τα αέρια αυτά εκπέμπουν την ακτινοβολία που απορροφούν, προς όλες τις κατευθύνσεις. Ωστόσο, το συνολικό ποσό της ακτινοβολίας που τελικά εκπέμπεται προς το διάστημα είναι μικρότερο, σε σχέση με αυτό που θα εκπεμπόταν απουσία αυτών των αερίων, λόγω της ελάττωσης της θερμοκρασίας με την αύξηση του υψομέτρου στην τροπόσφαιρα και την επακόλουθη αποδυνάμωση των εκπομπών. Μια αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου αυξάνει και το μέγεθος του φαινομένου, ενώ η αύξηση αυτή ονομάζεται *ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Η μεταβολή, συνήθως αύξηση, της συγκέντρωσης των θερμοκηπικών αερίων, λόγω ανθρωπογενών πηγών,

συμβάλει στην ακαριαία “κατακράτηση” ακτινοβολίας. Σαν αποτέλεσμα, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης και της τροπόσφαιρας, για να αποκατασταθεί τελικά η ισορροπία της ακτινοβολίας στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (IPCC, 2013α).

1.1 Νομοθεσία

Λόγω των ολοένα αυξανόμενων εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ) και των επιπτώσεων που αυτές έχουν στην κλιματική αλλαγή και την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, πάρθηκαν πρωτοβουλίες σε διεθνές επίπεδο, για τη δημιουργία δεσμευτικών συμβάσεων που να έχουν σαν στόχο τη μείωση των εν λόγω αερίων στην ατμόσφαιρα. Τα πλαίσια αυτά παρατίθενται στη παρούσα ενότητα.

Σύμβαση - Πλαίσιο των Η.Ε. για την κλιματική αλλαγή (UNFCC):

Η Σύμβαση - Πλαίσιο των Η.Ε. για τις κλιματικές αλλαγές υπεγράφη από 165 χώρες και την Ευρωπαϊκή Ένωση τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο, κατά τη διάρκεια της Συνόδου Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Έως τον Ιούνιο του 1993, η Σύμβαση είχε συγκεντρώσει 196 υπογραφές χωρών και 1 οικονομικής ένωσης χωρών.¹ Η Ελλάδα επικύρωσε την Σύμβαση με τον Νόμο 2205/1994 (ΦΕΚ 60/Α/15-4-1994).

Βασικός στόχος της Σύμβασης ήταν η συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω των 2°C, σε σύγκριση με την προ-βιομηχανική περίοδο. Στα πλαίσια της Σύμβασης δεν τέθηκαν νομικά δεσμευτικές υποχρεώσεις ωστόσο τέθηκαν οι βάσεις για περαιτέρω δράση στο μέλλον. Σε μια χρονική περίοδο που επικρατούσαν πολλές αμφισβητήσεις για την επιστημονική στήριξη της ανάγκης υιοθέτησης μέτρων, η σύμβαση έθεσε τις γενικές αρχές και τη διαδικασία για τη μετέπειτα υιοθέτηση δεσμεύσεων, κυρίως μέσω των τακτικών συνόδων των Κρατών Μερών της.

Εν ολίγοις, η Σύμβαση προέβλεπε για όλα τα Κράτη τα εξής:

1. Την ανάπτυξη, τακτική ενημέρωση και δημοσιοποίηση εθνικών απογραφών των ανθρωπογενών αερίων εκπομπών βάσει συγκρίσιμων μεθοδολογιών,
2. Τη δημοσίευση, αναθεώρηση και εφαρμογή εθνικών προγραμμάτων για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών,
3. Την υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων με στόχο την επαναφορά των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2000, για τα Κράτη που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι της Σύμβασης (ανεπτυγμένα κράτη). Η Σύμβαση δίνει τη δυνατότητα ο στόχος αυτός να επιτευχθεί από κάθε κράτος χωριστά ή από κοινού με άλλα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, κατά την επικύρωση της Σύμβασης, έθεσε σαν συνολικό στόχο της (για όλα τα κράτη – μέλη από κοινού) τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μέχρι το έτος 2000 στα επίπεδα του 1990. Η δέσμευση αυτή αποτελεί πιο αυστηρό στόχο σε σχέση με τα υπόλοιπα Κράτη-Μέρη (ΥΠΕΚΑ, β).

¹ UNFCC, Status of Ratification of the Convention

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ:

Στα πλαίσια της Σύμβασης-Πλαίσιο των ΗΕ για την κλιματική αλλαγή, υιοθετήθηκε το Δεκέμβριο του 1997 το Πρωτόκολλο του Κυότο. Το Πρωτόκολλο στοχεύει σε συνολική μείωση των εκπομπών τουλάχιστον κατά 5% την πενταετία 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για την επίτευξή του, τα ανεπτυγμένα Κράτη - Μέρη του Πρωτοκόλλου καλούνται να εξασφαλίσουν ότι οι εκπομπές τους, για 6 συνολικά αέρια, δεν θα υπερβούν τα όρια που τους τίθενται με το Πρωτόκολλο αυτό, το οποίο τέθηκε σε ισχύ το 2005.

Η Ελλάδα υπέγραψε το Πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998, παράλληλα με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της Ε.Ε. και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όλα τα Κράτη-Μέλη της ΕΕ κύρωσαν το Πρωτόκολλο το Μάιο 2002. Η Ελλάδα το κύρωσε με το Νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ Α'117).

Κατά την επικύρωση του Πρωτοκόλλου, η ΕΕ και τα Κράτη-Μέλη της έθεσαν ως υποχρέωσή τους, τη μείωση των εκπομπών κατά 8% κατά τη περίοδο 2008-2012 σε σύγκριση με τις εκπομπές του έτους βάσης (1990). Η Ελλάδα σύμφωνα με την απόφαση αυτή, δεσμεύεται να περιορίσει την αύξηση των εκπομπών της στο +25% για το διάστημα 2008-2012, προκειμένου να συνεισφέρει στο κοινό στόχο της ΕΕ. Για να ανταποκριθεί στη δέσμευσή της αυτή, εκτόνησε το Εθνικό Πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου για την περίοδο 2000-2010.

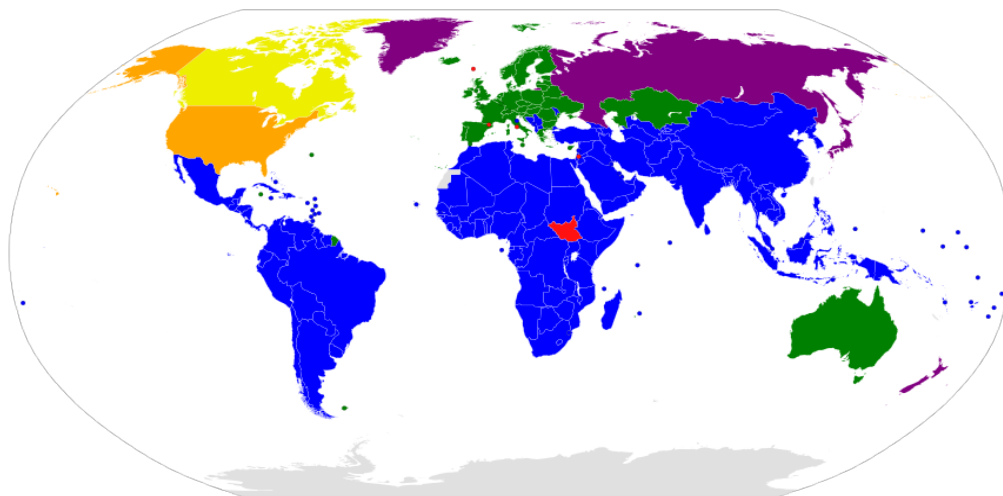
Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται χώρες που υπέγραψαν το Πρωτόκολλο του Κυότο στην πρώτη φάση του καθώς και οι στόχοι που έθεσαν προς επίτευξη. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι αν και οι ΗΠΑ υπέγραψαν αρχικά το Πρωτόκολλο δεν επικυρώθηκε καθώς απορρίφθηκε από την Γερουσία. Ενώ ο Καναδάς αποχώρησε από το Πρωτόκολλο με έγγραφη αίτησή του τον Δεκέμβριο 2011, που τέθηκε σε ισχύ ένα χρόνο μετά.

*Πίνακας 1-1: Στόχοι μείωσης εκπομπών ΑΦΘ για τις χώρες που συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κυότο.
Πηγή: UN, 2014*

Χώρα	Στόχοι (1990 - 2008/2012)
ΕΕ-15, Βουλγαρία, Τσέχικη Δημοκρατία, Εσθονία, Λετονία, Λιχτενστάιν, Λιθουανία, Μόναχο, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Σουηδία	-8%
ΗΠΑ	-7%
Καναδάς, Ουγγαρία, Ιαπωνία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ρωσική Ομοσπονδία, Ουκρανία	0%
Νορβηγία	+1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

Τα κράτη που ήταν μέλη της ΕΕ το 1997, όταν δηλαδή υιοθετήθηκε το Πρωτόκολλο του Κυότο, έθεσαν στόχο μείωσης των εκπομπών κατά 8% για το σύνολο της ΕΕ. Κατά την ενέργεια αυτή η Ένωση εκμεταλλεύτηκε το περιθώριο που δίνεται από το Πρωτόκολλο, μια ένωση κρατών να θέτει συνολικό στόχο και να τον καταναίμει στα κράτη της ανάλογα με τις

δυνατότητες. Επίσης, αν και ορίζεται ως έτος αναφοράς από το Πρωτόκολλο του Κυότο το έτος 1990, κάποια κράτη δεν το υιοθετούν ως έτος σύγκρισης των αέριων εκπομπών τους.



- Χώρες του Παραρτήματος Β² που έχουν δεσμευτικούς στόχους για την δεύτερη φάση του Πρωτόκολλο
- Χώρες του Παραρτήματος Β με δεσμευτικούς στόχους για την πρώτη φάση, όχι όμως και για την δεύτερη.
- Χώρες που δεν ανήκουν στο Παράρτημα Β και δεν έχουν δεσμευτικούς στόχους.
- Χώρες του Παραρτήματος Β με δεσμευτικούς στόχους για την πρώτη φάση οι οποίες όμως αποχώρησαν από το Πρωτόκολλο.
- Υπογράφωντες το Πρωτόκολλο χωρίς να το έχουν επικυρώσει.
- Άλλα Κράτη – Μέλη των Ηνωμένων Εθνών και παρατηρητές που δεν συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο.

Εικόνα 1-1: Χάρτης των Κρατών που συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κυότο.

Τα κύρια σημεία του Πρωτοκόλλου συνοψίζονται ως εξής:

- Τα ανεπτυγμένα κράτη δεσμεύονται να μειώσουν τις συνολικές τους αέριες εκπομπές κατά τουλάχιστον 5%. Ο στόχος αυτός αναφέρεται σε 6 αέρια (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες, πλήρως φθοριομένοι υδρογονάνθρακες και εξαφθοριούχο θείο).
- Ο στόχος κάθε κράτους πρέπει να επιτευχθεί κατά την περίοδο 2008-2012.

Παράλληλα το Πρωτόκολλο δεσμεύει τα Κράτη-Μέρη του σε εφαρμογή ή υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων για την επίτευξη των στόχων, σύμφωνα με τις εθνικές συνθήκες κάθε κράτους. Περιλαμβάνει και ενδεικτικό κατάλογο συγκεκριμένων μέτρων που μπορούν να εφαρμοσθούν από τα Κράτη-Μέρη. Ενώ προβλέπει την εγκαθίδρυση ενός αυστηρού καθεστώτος συμμόρφωσης (ΥΠΕΚΑ, β).

Σε συνέχεια των παραπάνω διεργασιών η ΕΕ υιοθέτησε επιπρόσθετους στόχους μέχρι και το 2030 μέσω της Ενεργειακής Στρατηγικής 2020 και της Ενεργειακής Στρατηγικής 2030. Ενώ έχει θέσει ως συνολικό στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου 80%-95% έως το 2050. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται σε συντομία οι στόχοι σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο σε σύγκριση με τους στόχους που έχει θέσει η ΕΕ:

² Στο Παράρτημα Β του Πρωτόκολλο του Κυότο ανήκουν οι χώρες εκείνες που ανήκαν στον OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) το 1992 και δεν είναι μεταβατικές οικονομίες και οφείλουν να χρηματοδοτούν και να υποστηρίζουν πρακτικές μείωσης ρύπανσης σε αναπτυσσόμενες χώρες.

Πίνακας 1-2: Συγκριτική παρουσίαση στόχων για τη μείωση εκπομπών αερίων του Πρωτόκολλου του Κιότο και της ΕΕ.

Έτος	Στόχοι μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με το 1990	
	Μέλη του UNFCCC	Χώρες της ΕΕ
2008-2012	5%	8%
2013-2020	18%	20%
2030	-	40%
2050	-	80-95% *

*Ο στόχος αυτός τέθηκε από το 2030 climate EU

1.2 Αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου

Στο Πρωτόκολλο του Κιότο αναγνωρίστηκαν και επίσημα τα παρακάτω έξι αερίων του θερμοκηπίου, για τα οποία θα πρέπει να ληφθούν μέτρα μείωσης της συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα:

- διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- μεθάνιο (CH₄)
- υποξείδιο του αζώτου (N₂O)
- υδροφθοράνθρακες (HFC)
- υπερφθοριομένοι υδρογονάνθρακες (PFC)
- εξαφθοριούχο θείο (SF₆)

Το **διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)**, είναι ένα αέριο που απαντάται στη φύση, ενώ αποτελεί και υποπροϊόν καύσης ορυκτών καυσίμων και κυρίως ορυκτών κοιτασμάτων άνθρακα, όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας, την καύση βιομάζας, την αλλαγή χρήσης γης και βιομηχανικές διεργασίες. Αποτελεί το κύριο ανθρωπογενές αέριο του θερμοκηπίου που επηρεάζει το ισοζύγιο ακτινοβολίας της Γης. Ενώ είναι το αέριο αναφοράς βάσει του οποίου μετρώνται οι εκπομπές των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου (IPCC, 2013).

Το **μεθάνιο (CH₄)** είναι το δεύτερο σε ποσότητα αέριο του θερμοκηπίου που απαντάται στην ατμόσφαιρα, σε ποσοστό περίπου 15% των συνολικών ανθρωπογενών αερίων. Τέθηκε προς περιορισμό με το Πρωτόκολλο του Κιότο και είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου, ενώ σχετίζεται με όλα τα καύσιμα υδρογονανθράκων, την κτηνοτροφία και τη γεωργία. Ο χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα έχει υπολογιστεί περίπου στα 12-13 έτη (IPCC, 2013).

Το **υποξείδιο του αζώτου (N₂O)**, αν και σε μικρές ποσότητες, πάντα αποτελούσε

συστατικό της ατμόσφαιρας. Ωστόσο, η συγκέντρωσή του φαίνεται να αυξάνει γραμμικά με το χρόνο, με ρυθμούς αύξησης 0,2 – 0,3%, λόγω του ανθρωπογενούς N_2O . Η βασική ανθρωπογενής πηγή υποξειδίου του αζώτου είναι η γεωργία, διαχείριση του εδάφους και των περιττωμάτων ζώων. Ωστόσο, σημαντικές εκπομπές προέρχονται επίσης από την επεξεργασία λυμάτων, την καύση ορυκτών καυσίμων και χημικές διεργασίες. Εμφανίζεται επίσης ως φυσικό παράγωγο βιολογικών διεργασιών σε έδαφος και νερό, και κυρίως από τη μικροβιακή δράση σε υγρά τροπικά κλίματα. Ο χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα έχει υπολογιστεί στα 121 έτη (IPCC, 2013).

Τα **φθοριούχα αέρια** αποτελούν μια οικογένεια από τεχνητά αέρια που χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, κυρίως στους τομείς της ψύξης και του κλιματισμού. Οι συγκεντρώσεις αυτών των αερίων παρουσιάζουν αυξητική τάση στην ατμόσφαιρα, καθώς χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τη δεκαετία του 1990 οπότε και επιλέχθηκαν για την αντικατάσταση των *Χλωροφθορανθράκων* (CFCs) και των *Υδροχλωροφθορανθράκων* (HCFCs), αερίων που επίσης καταργήθηκαν σταδιακά από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ³, ως ουσίες υπεύθυνες για την καταστροφή της στιβάδας του όζοντος (ΥΠΕΚΑ, γ). Τα αέρια αυτά διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

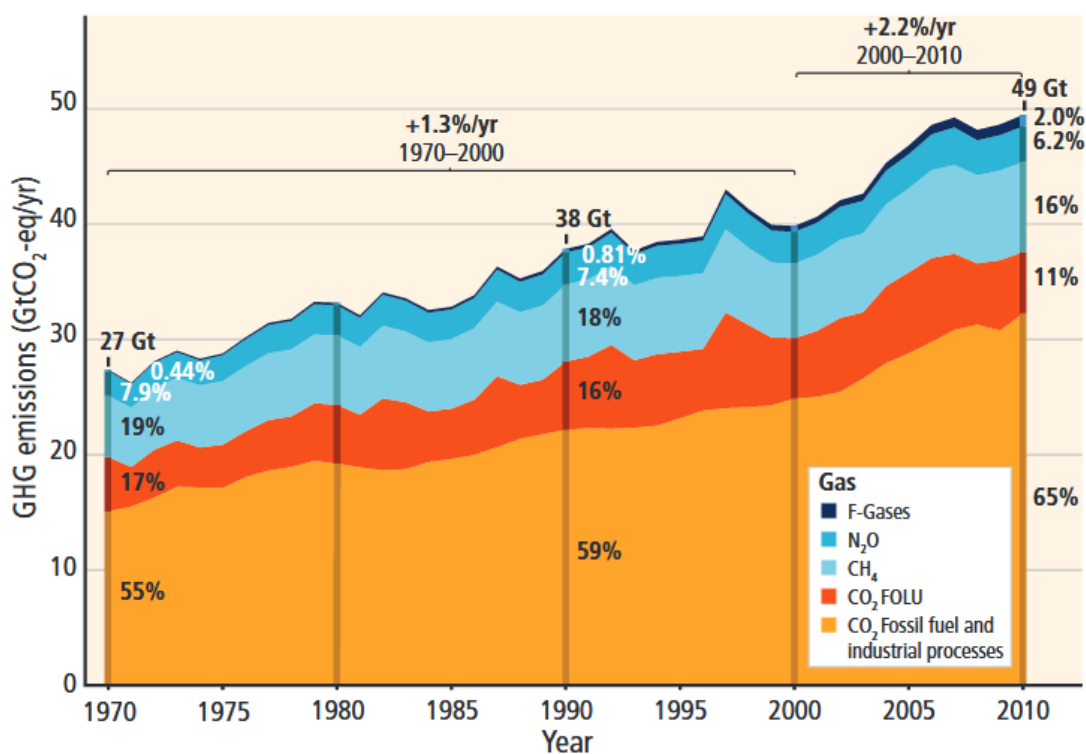
Οι **Υδρογονάνθρακες (HFCs)** είναι η συνηθέστερη και μεγαλύτερη ομάδα φθοριούχων αερίων. Χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα σε εξοπλισμό ψύξης, κλιματισμού και αντλιών θερμότητας, ως παράγοντες διόγκωσης αφρωδών υλικών, ως διαλύτες καθώς και σε πυροσβεστήρες και αερολύματα.

Οι **Υπερφθοράνθρακες (PFCs)** χρησιμοποιούνται συνήθως στον τομέα των ηλεκτρονικών, καθώς και στον τομέα των καλλυντικών και τη φαρμακευτική βιομηχανία. Στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν επίσης σε πυροσβεστήρες και πιθανό να υπάρχουν ακόμα τέτοια συστήματα.

Το **Εξαφθοριούχο θείο (SF₆)** που χρησιμοποιείται κυρίως ως μονωτικό αέριο, σε διακόπτες υψηλής τάσης καθώς και στην παραγωγή μαγνησίου και αλουμινίου.

Όπως φαίνεται όμως και στο παρακάτω διάγραμμα, τα φθοριούχα αέρια αν και παρουσιάζουν αυξητική τάση, αποτελούν μόλις το 1% περίπου των ανθρωπογενών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ο κύριος όγκος των αερίων του θερμοκηπίου που απαντώνται στην ατμόσφαιρα και προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), τα οποία συνήθως αναφέρονται και ως κύρια θερμοκηπικά αέρια.

³Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ υπογράφηκε στις 16 Σεπτεμβρίου 1987 και τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 1989. Θέτει συγκεκριμένους (και υποχρεωτικούς για τα κράτη-μέλη) περιορισμούς στην παραγωγή και κατανάλωση των ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος (ΥΠΕΚΑ, δ).



Διάγραμμα 1-1: Παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές ΑΦΘ για την περίοδο 1970 - 2010. Πηγή: IPCC (2014)

Ωστόσο, η συγκέντρωση του κάθε αερίου στην ατμόσφαιρα από μόνη της δεν μπορεί να αποτελέσει μέτρο των επιπτώσεων που προκαλεί στην κλιματική αλλαγή. Έτσι προέκυψε η ανάγκη ενός δείκτη που μπορεί να κάνει συγκρίσιμα μεταξύ τους τα διαφορετικά αέρια ως προς τη δραστηριότητά τους. Δείκτης μέτρησης για την δραστηριότητα των αερίων αυτών στην ατμόσφαιρα είναι το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential, GWP). Ο δείκτης αυτός επιτρέπει την έκφραση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου σε ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα που θα επέφεραν τις ίδιες επιπτώσεις στην παγκόσμια θέρμανση. Ο δείκτης αυτός, εξαρτάται από τις φασματικές ιδιότητες του εξεταζόμενου αερίου, το χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα και τον χρονικό ορίζοντα που επιλέγεται για τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή. Ως μέτρο σύγκρισης θεωρείται το διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα (Smith et al. 2001).

Κάθε μόριο μεθανίου έχει συνεισφορά στην παγκόσμια θέρμανση ισοδύναμη με 34 μόρια διοξειδίου του άνθρακα, ενώ το υποξείδιο του αζώτου με 298 μόρια άνθρακα. Οι παραπάνω ισοδυναμίες βασίζονται στους πιο πρόσφατους υπολογισμούς της Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2013α), όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα.

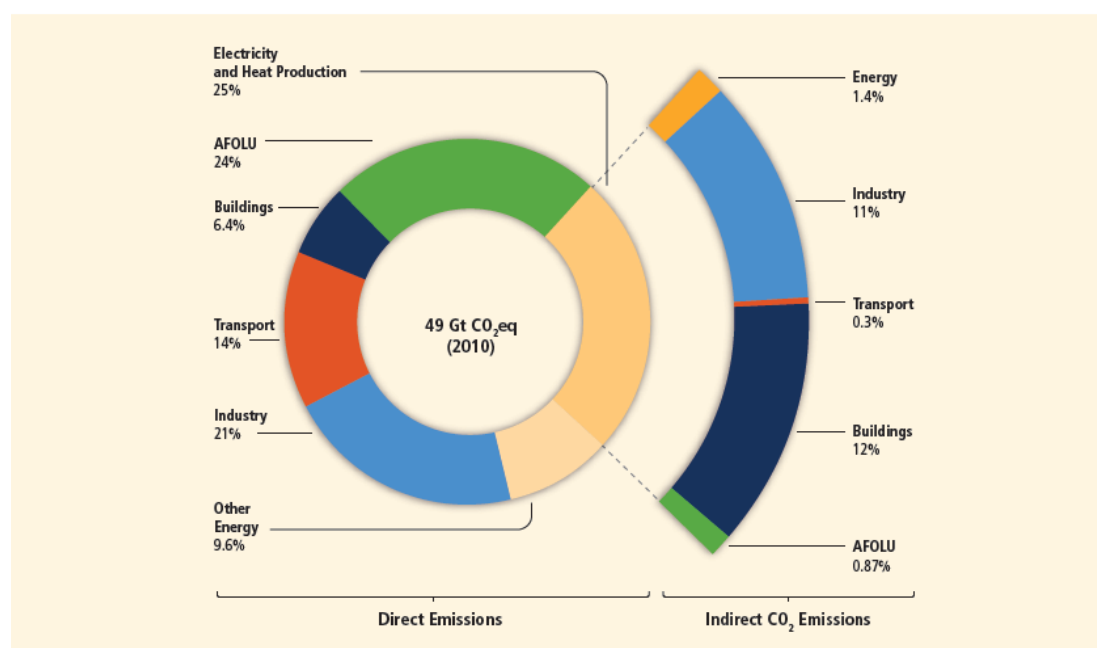
Πίνακας 1-3: Χρόνος ζωής και τιμές δυναμικού της παγκόσμιας θέρμανσης με χρονικό ορίζοντα τα 100χρόνια. Πηγή: IPCC, 2013α

GHG	Χρόνος ζωής	2001	2007	2013
CO ₂	-	1	1	1
CH ₄	12.4	23	25	34
N ₂ O	121	296	298	298

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι επιστήμονες προσανατολίζονται στη μείωση των συγκεντρώσεων κυρίως του μεθανίου στην ατμόσφαιρα, για την αποτελεσματική μείωση των αερίων του θερμοκηπίου συνολικά. Αυτό οφείλεται στη σχετικά υψηλή τιμή του δυναμικού συνεισφοράς στην παγκόσμια θέρμανση, στη σχετικά μεγάλη ποσότητα που εκλύεται από ανθρωπογενείς πηγές καθώς και στο σχετικά μικρό χρόνο ζωής του στην ατμόσφαιρα (περίπου 12 χρόνια).

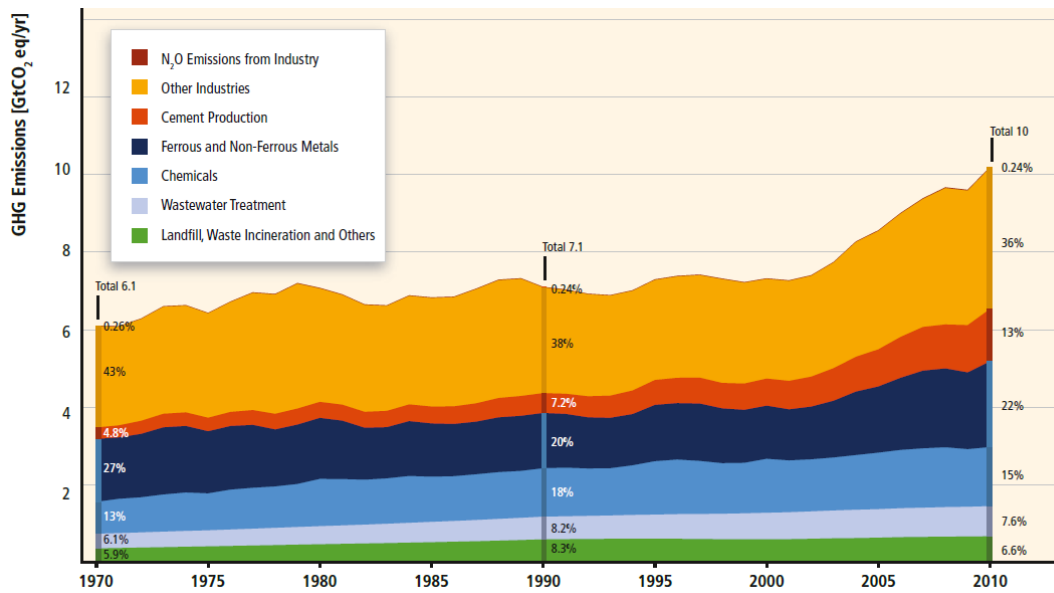
1.3 Κλιματική αλλαγή και διαχείριση αποβλήτων

Όσον αφορά τη συνεισφορά των τομέων της οικονομίας σε παγκόσμιο επίπεδο στις άμεσες εκπομπές ΑΦΘ, οι τομείς με το μεγαλύτερο μερίδιο είναι αυτοί της παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (25%), της γεωργίας, δασοκομίας και άλλων χρήσεων γης (24%), ενώ στην τρίτη θέση έρχεται ο τομέας της βιομηχανίας (21%), όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.



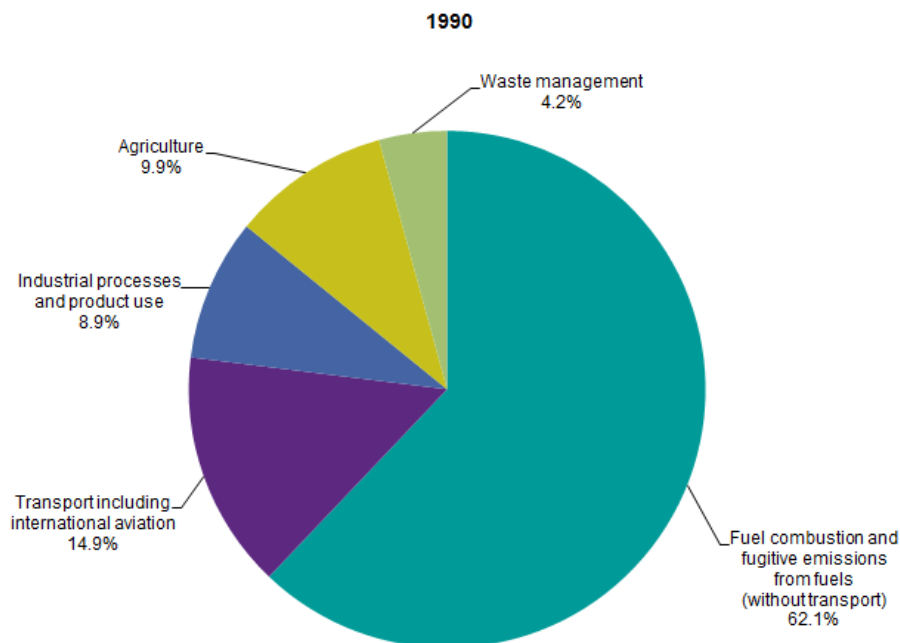
Διάγραμμα 1-2: Συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές ΑΦΘ (GtCO₂eq / yr) από τους οικονομικούς τομείς, για το έτος 2010. Πηγή: IPCC, 2014γ.

Ο τομέας της διαχείρισης αποβλήτων και οι εκπομπές αυτού συμπεριλαμβάνονται στον τομέα της βιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα, το 2010 η διαχείριση στερεών αποβλήτων (ταφή, καύση και άλλα) συνέβαλλε κατά 6.6% στις συνολικές εκπομπές ΑΦΘ του τομέα της βιομηχανίας (ή 1.4% στις συνολικές εκπομπές), όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί. Επίσης στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη της συνεισφοράς του τομέα των αποβλήτων από το 1970 έως το 2010.

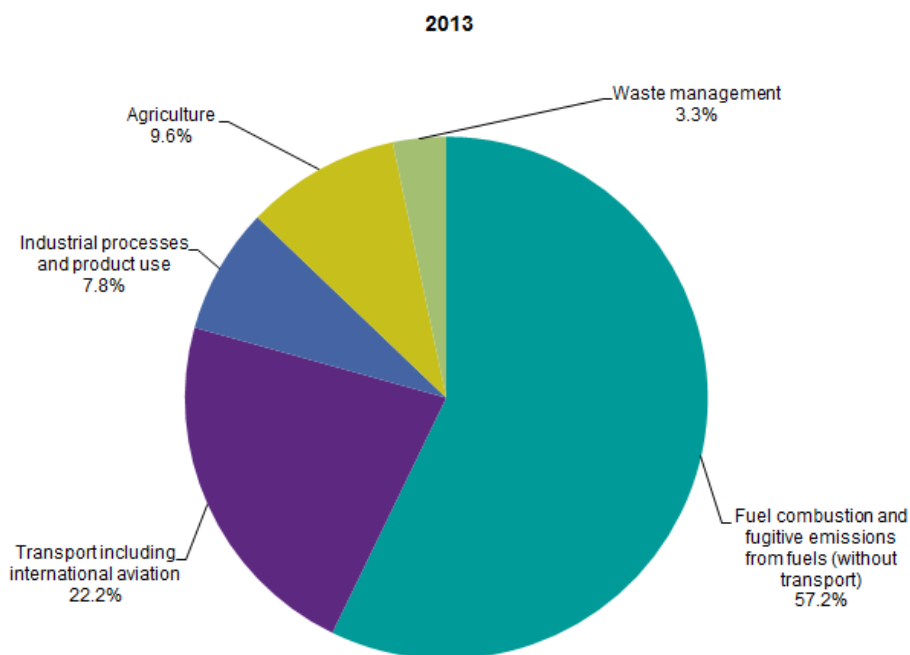


Διάγραμμα 1-3: συνολικές εκπομπές ΑΦΘ από τον τομέα της βιομηχανίας ανά πηγή σε παγκόσμιο επίπεδο, 1970-2010 (GtCO₂eq / yr). Πηγή: IPCC, 2014B

Κατά την πάροδο του χρόνου δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στο ποσοστό που συνεισφέρει η διαχείριση των αποβλήτων ως τομέας στην συνολική έκλυση ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου. Όπως φαίνεται και στο επόμενο διάγραμμα, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, η διαχείριση αποβλήτων παρουσιάζει συμβολή της τάξης του 3-4%.



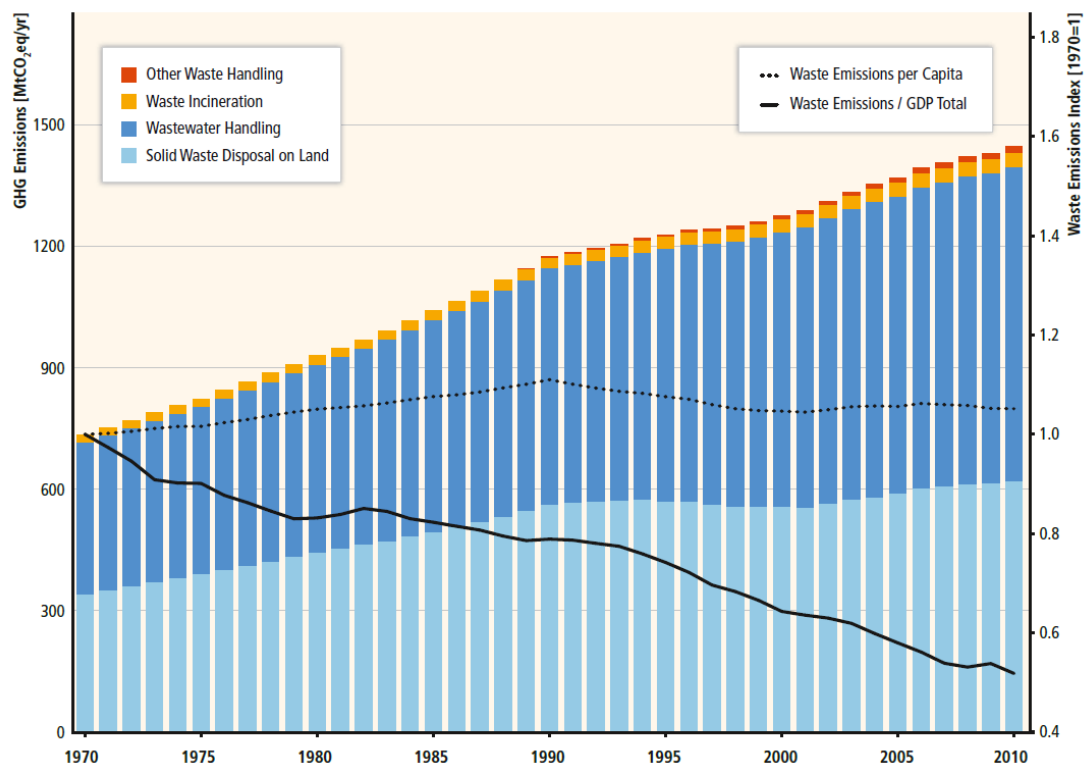
Διάγραμμα 1-4: Συγκριτική συμβολή στην εκπομπή ΑΦΘ, σε επίπεδο ΕΕ, για το έτος 1990, ανά τομέα δραστηριότητας. Πηγή: Eurostat, 2017B.



Διάγραμμα 1-5: Συγκριτική συμβολή στην εκπομπή ΑΦΘ, σε επίπεδο ΕΕ, για το έτος 2013 ανά τομέα δραστηριότητας. Πηγή: Eurostat, 2017b.

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, η διαχείριση των αποβλήτων έχει μικρή συνεισφορά στη συνολική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, κατά τη διαχείριση των αποβλήτων παράγονται και τα τρία κύρια αέρια του θερμοκηπίου, CO₂, CH₄ και N₂O.

Από το επόμενο διάγραμμα φαίνεται ότι όσον αφορά τη συνεισφορά των διαφορετικών μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων το 2010 στις συνολικές εκπομπές ΑΦΘ από τον τομέα διαχείρισης (υγρών και στερεών) αποβλήτων παγκοσμίως, οι κύριες εκπομπές προέρχονται από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων (~50%) και από την ταφή στερεών αποβλήτων (~43%), ενώ η καύση ευθύνεται για ένα πολύ μικρό μερίδιο των εκπομπών. Διαχρονικά φαίνεται ότι ενώ από το 1970 έως το 1990 παρουσιάζουν αύξηση τόσο οι εκπομπές από τη διαχείριση υγρών αποβλήτων όσο και από τη ταφή των στερεών αποβλήτων, από το 1990 και μετά παρατηρείται σταθεροποίηση των εκπομπών από τη ταφή των αποβλήτων ενώ οι εκπομπές από τη διαχείριση υγρών αποβλήτων συνεχίζει και αυξάνεται. Σε σχέση με τις εκπομπές ΑΦΘ κατά κεφαλή, φαίνεται από το ίδιο διάγραμμα ότι αυτές αυξάνονται ελαφρώς έως το 1990 ενώ από το 1990 έως το 2010 επανέρχονται σταδιακά στα αρχικά επίπεδα. Τέλος, όσον αφορά το δείκτη εκπομπών ΑΦΘ από τη διαχείριση αποβλήτων σε σχέση με το συνολικό ΑΕΠ, φαίνεται ότι οι εκπομπές ΑΦΘ αυξάνονται με αισθητά μικρότερο ρυθμό σε σχέση με το ΑΕΠ.



Διάγραμμα 1-6: Παγκόσμιες εκπομπές ΑΦΘ από τον τομέα διαχείρισης αποβλήτων σε MtCO₂eq/έτος, ανά ΑΕΠ και κατά κεφαλή. Πηγή: IPCC, 2014β

Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με τα κύρια θερμοκηπικά αέρια και τις εκπεμπόμενες ποσότητές τους από τη διαχείριση αποβλήτων σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 1994. Αν και υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στους προτιμώμενους τρόπους διαχείρισης των αποβλήτων για το σύνολο της ΕΕ (το 1994 βασική μέθοδος διαχείρισης ήταν η διάθεση των αποβλήτων), ο παρακάτω Πίνακας δίνει μια συνολικότερη εικόνα των επιπτώσεων της διαχείρισης αποβλήτων στην κλιματική αλλαγή.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, υπολογίστηκε ότι το 1/3 του εκπεμπόμενου μεθανίου από ανθρωπογενείς πηγές σε επίπεδο ΕΕ οφειλόταν στη διάθεση αποβλήτων, ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (ορυκτής προέλευσης) και υποξειδίου του αζώτου από τη διάθεση αποβλήτων συνέβαλλαν μόλις στο 0,5% και 1% αντίστοιχα των συνολικών εκπομπών (από όλες τις πηγές) για το έτος 1994. Παράλληλα, σε επίπεδο συνολικών εκπομπών από τη διάθεση αποβλήτων, το 89% του συνόλου αφορούσε το μεθάνιο, ενώ το 9% και 2%, αφορούσαν το διοξείδιο του άνθρακα και το υποξείδιο του αζώτου, αντίστοιχα.

Πίνακας 1-4: Αέριες εκπομπές CO₂, CH₄ και N₂O λόγω διαχείρισης αποβλήτων στην ΕΕ, για το έτος 1994. Πηγή: Smith et al. 2001

Άμεσες εκπομπές	Εκπομπές (Mtn)	GWP (over 100 years)	Global Warming Equivalence of all emissions Mt equiv CO ₂ (% from solid waste disposal)	Global warming equivalence emissions from waste disposal Mt equiv CO ₂ (% of total waste management component for each gas)
CO ₂ ορυκτό	3,215	1	3,215 (<0,5%)	15 (9%)
CH ₄	22	21	460 (33%)	152 (89%)
N ₂ O	1,05	310	325 (1%)	3 (2%)

Για το λόγο αυτό θεωρείται συχνά ότι η μείωση των εκπομπών μεθανίου από τη διάθεση αποβλήτων, είναι το πιο αποδοτικό μέτρο για τη μείωση των συνολικών επιπτώσεων της διαχείρισης αποβλήτων στη κλιματική αλλαγή. Επιπρόσθετα, εκτιμάται ότι λόγω του μικρού χρόνου ζωής του μεθανίου, οι εκπομπές μεθανίου θα πρέπει να μειωθούν μόλις κατά 8% για να σταθεροποιηθούν στα σημερινά επίπεδα. Αυτή είναι πολύ μικρότερη ποσοστιαία μείωση από την αντίστοιχη απαιτούμενη για τα άλλα δύο κύρια αέρια του θερμοκηπίου, CO₂ και N₂O (Smith et al., 2001).

Τέλος, εκτός από τη μείωση καθαυτή των εκπεμπόμενων αερίων, η διαχείριση των αποβλήτων μπορεί να μετατραπεί σε σημαντική πηγή εξοικονόμησης αέριων εκπομπών. Εκτός από τα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος κατά τη διαχείριση και διάθεση των αποβλήτων που μπορούν να ληφθούν, με την ανάκτηση ενέργειας ή/και υλικών αποφεύγονται εκπομπές σε όλους τους υπόλοιπους τομείς της οικονομίας. Για παράδειγμα, με τη χρήση καύσης και ταυτόχρονης παραγωγής ενέργειας, μειώνονται οι απαιτήσεις για καύση ορυκτών καυσίμων που θα προκαλούσαν περισσότερες εκπομπές CO₂. Μέσω της ανάκτησης υλικών από τα απόβλητα μειώνονται οι ανάγκες για νέες πρώτες ύλες και οι αντίστοιχες εκπομπές που θα προκαλούνταν από την παραγωγή τους (UNEP, 2010).

2 Παραγωγή αποβλήτων

2.1 Είδη αποβλήτων

Στον όρο αστικά στερεά απόβλητα ή ΑΣΑ (Municipal Solid Waste) περιλαμβάνονται τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα, τα οποία λόγω φύσης ή σύνθεσης, είναι παρόμοια με τα οικιακά, όπως απόβλητα από εμπορικές και συναφείς δραστηριότητες, κτίρια γραφείων και ιδρύματα (σχολεία, νοσοκομεία, κυβερνητικά κτίρια). Περιλαμβάνονται επίσης, ογκώδη απόβλητα (στρώματα, έπιπλα κ.α.) και απόβλητα κήπων, φύλλα, κλαδιά, κηπευτικά, καθώς και απόβλητα από καθαρισμό δρόμων.

Πιο συγκεκριμένα, στα αστικά απόβλητα περιλαμβάνονται:

- Κατάλοιπα κάθε φύσης, όπως οικιακά απορρίμματα, φύλλα, σκουπίσματα, χαρτιά που τοποθετούνται μέσα στις πλαστικές σακούλες.
- Απορρίμματα από εμπορικές εγκαταστάσεις και βιοτεχνίες, κτίρια γραφείων που τοποθετούνται επίσης σε σακούλες ή κάδους όπως τα οικιακά
- Κοπριές, αφυδατωμένες ιλύες, προϊόντα από καθαρισμούς δρόμων και δημοσίων χώρων, που συγκεντρώνονται σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Κατάλοιπα από χώρους εκθέσεων αγορές, εορτές, κλπ. που συγκεντρώνονται επίσης σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Απορρίμματα από σχολεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία (πλην των μολυσματικών) που συγκεντρώνονται σε ειδικούς χώρους.
- Ογκώδη αντικείμενα

Ενώ, δεν περιλαμβάνονται τα εξής:

- Αδρανή και κατάλοιπα δημοσίων έργων
- Βιομηχανικές στάχτες, σκουριές, μολυσματικά νοσοκομείων, υπολείμματα σφαγείων
- Πολύ ογκώδη αντικείμενα που απαιτούν ειδικό τρόπο μεταφοράς.

Με βάση τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων, τα δημοτικά απόβλητα ταξινομούνται με τον κωδικό 20.

Πίνακας 2-1: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ). Πηγή: ΕΕΔΣΑ (2011), ΥΠΕΚΑ (2013)

Κωδικός ΕΚΑ	Περιγραφή αποβλήτου	Υποκατηγορία ΑΣΑ
	20 ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ (ΟΙΚΙΑΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΟΜΟΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΚΑΙ ΙΔΡΥΜΑΤΑ), ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΡΩΝ ΧΩΡΙΣΤΑ ΣΥΛΛΕΓΕΝΤΩΝ	
20 01	χωριστά συλλεγόμενα μέρη (εκτός από το σημείο 15 01)	
20 01 01	χαρτιά και χαρτόνια	ΒΑΑ/ Ανακυκλώσιμο
20 01 02	Γυαλιά	Ανακυκλώσιμο
20 01 08	βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χωρών διαίτησης	Βιοαπόβλητο

20 01 10	Ρούχα	
20 01 11	Υφάσματα	
20 01 17*	φωτογραφικά χημικά	
20 01 19*	Ζιζανιοκτόνα	
20 01 21	σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα υδράργυρο	
20 01 22	Αεροζόλ	
20 01 23	απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες	
20 01 31*	κυτταροτοξικές και κυτταροστατικές φαρμακευτικές ουσίες	
20 01 32	φάρμακα άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 31	
20 01 33*	μπαταρίες και συσσωρευτές που περιλαμβάνονται στα σημεία 16 06 01, 16 06 02 ή 16 06 03 και μεικτές μπαταρίες και συσσωρευτές που περιέχουν τις εν λόγω μπαταρίες	
20 01 34	μπαταρίες και συσσωρευτές άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 33	
20 01 35*	απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21 και 20 01 23 που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία	
20 01 36	απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21, 20 01 23 και 20 01 35	
20 01 37*	ξύλο που περιέχει επικίνδυνες ουσίες	
20 01 38	ξύλο εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στο σημείο 20 01 37	BAA
20 01 39	Πλαστικά	Ανακυκλώσιμο
20 01 40	Μέταλλα	Ανακυκλώσιμο
20 01 41	απόβλητα από τον καθαρισμό καμινάδων	
20 01 99	άλλα μέρη μη προδιαγραφόμενα άλλως	
20 02	απόβλητα κήπων και πάρκων (περιλαμβάνονται απόβλητα νεκροταφείων)	
20 02 01	βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα	Βιοαπόβλητο
20 02 02	χώματα και πέτρες	Αδρανή
20 02 03	άλλα μη βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα	
20 03	άλλα δημοτικά απόβλητα	
20 03 01	ανάμεικτα δημοτικά απόβλητα	
20 03 02	απόβλητα από αγορές	
20 03 03	υπολείμματα από τον καθαρισμό δρόμων	
20 03 04	λάσπη σηπτικής δεξαμενής	
20 03 06	απόβλητα από τον καθαρισμό λυμάτων	
20 03 07	ογκώδη απόβλητα	
20 03 99	δημοτικά απόβλητα με προδιαγραφόμενα άλλως	
15 01	15 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ (ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΔΙΑΙΤΕΡΩΣ ΣΥΛΛΕΓΕΝΤΩΝ ΔΗΜΟΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ)	
15 01 01	Συσκευασία από χαρτί και χαρτόνι	BAA/ Ανακυκλώσιμο
15 01 02	Πλαστική συσκευασία	Ανακυκλώσιμο

15 01 03	Ξύλινη συσκευασία	BAA
15 01 04	Μεταλλική συσκευασία	Ανακυκλώσιμο
15 01 05	Συνθετική συσκευασία	
15 01 06	Μεικτή συσκευασία	
15 01 07	Γυάλινη συσκευασία	Ανακυκλώσιμο
15 01 09	Συσκευασία από υφαντουργικές ύλες	
15 01 10*	Συσκευασίες που περιέχουν κατάλοιπα επικίνδυνων ουσιών ή έχουν μολυνθεί	
15 01 11*	Μεταλλική συσκευασία που περιέχει επικίνδυνη μήτρα στερεού πορώδους υλικού (πχ αμιάντου), περιλαμβανομένων των κενών δοχείων υπό πίεση	
15 01 11*	Μεταλλική συσκευασία που περιέχει επικίνδυνη μήτρα στερεού πορώδους υλικού (πχ αμιάντου), περιλαμβανομένων των κενών δοχείων υπό πίεση	

Στον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων χρησιμοποιείται το σύμβολο () δίπλα στον κωδικό των αποβλήτων εκείνων που θεωρούνται εν δυνάμει επικίνδυνα απόβλητα.

2.2 Παραγωγή Αστικών Στερεών Αποβλήτων σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η ποσότητα, σε κιλά ανά κάτοικο, των αποβλήτων που παράγονται σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς και η μεταβολή τους από το έτος 1995 ως το 2014.

Τα αστικά απόβλητα αντιστοιχούν μόλις στο 10% των συνολικά παραγόμενων αποβλήτων. Ωστόσο, αποτελούν σημαντικό κομμάτι τους λόγω της πολυπλοκότητάς τους, της σύνθεσής τους, της κατανομής τους σε πολλές πηγές αποβλήτων και της σύνδεσής του με τα καταναλωτικά πρότυπα (Eurostat, 2017α).

Για το έτος 2014, η παραγωγή των αστικών αποβλήτων ποικίλει σημαντικά, από 759kg ανά κάτοικο στη Δανία ως 272kg ανά κάτοικο σε Πολωνία και Ρουμανία. Οι διαφορές αυτές αντανακλούν διαφορετικά καταναλωτικά πρότυπα και οικονομική κατάσταση, αλλά εξαρτώνται και από τον τρόπο συλλογής και διαχείρισης των αστικών αποβλήτων. Παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στις χώρες ως προς τον βαθμό στον οποίο τα απόβλητα από δημόσιους χώρους, εμπορικές δραστηριότητες και την κεντρική διοίκηση συλλέγονται και διαχειρίζονται μαζί με τα απόβλητα από τα νοικοκυριά.

Στις 17 από τις 31 χώρες, η ποσότητα που παράγεται ανά κάτοικο αυξήθηκε στην περίοδο 1994-2014. Οι μεγαλύτεροι ετήσιοι ρυθμοί αύξησης καταγράφηκαν για την Ελλάδα (2,3% για την περίοδο 1996-2013), για την Μάλτα (2,2%) και την Δανία (2%). Σε 12 χώρες, οι ετήσιοι ρυθμοί παραγωγής αποβλήτων διακυμάνθηκαν/διαφοροποιήθηκαν, από αυξητικούς ρυθμούς παραγωγής κατά τα πρώτα έτη σε συνεχώς μειούμενους ρυθμούς για τα τελευταία 10 χρόνια. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην οικονομική κρίση αλλά και σε μεγαλύτερα επίπεδα ευαισθητοποίησης όσον αφορά την πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων.

Από τις 14 χώρες που παρουσιάζουν αυτή τη μειωτική τάση, μόνο η Βουλγαρία και η

Σλοβενία παρουσίασαν μείωση τόσο πριν όσο και μετά το 2004. Η Βουλγαρία εμφάνισε τη μέγιστη μείωση, με σταθερό ετήσιο ρυθμό μείωσης 2,4%, ακολουθούμενη από τη Σλοβενία με ρυθμό 1,7%.

Πίνακας 2-2: Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής ΑΣΑ ανά χώρα, σε επίπεδο ΕΕ (kg/cap). Πηγή: Eurostat, 2017α

	1995	2000	2004	2008	2011	2014	Μεταβολή (%) 1995- 2014
ΕΕ 28	-	521	511	520	496	475	-
ΕΕ 27	473	523	513	521	497	475	0
Βέλγιο	455	471	485	479	456	435	-4
Βουλγαρία	694	612	599	599	508	442	-36
Δημοκρατία της Τσεχίας	302	335	279	306	320	310	3
Δανία	521	610	620	741	781	759	46
Γερμανία	623	642	587	589	614	618	-1
Εσθονία	371	453	445	392	301	357	-4
Ιρλανδία	512	599	737	718	617	586	14
Ελλάδα	-	412	438	458	503	510	-
Ισπανία	510	658	600	551	485	435	-15
Γαλλία	475	514	519	541	538	511	8
Κροατία	-	262	304	415	384	387	-
Ιταλία	454	509	540	552	629	488	7
Κύπρος	595	628	684	728	683	626	5
Λετονία	264	271	318	345	350	281	6
Λιθουανία	426	365	373	428	442	433	2
Λουξεμβούργο	587	654	679	697	666	616	5
Ουγγαρία	460	446	454	454	382	385	-16
Μάλτα	395	546	623	674	589	600	52
Ολλανδία	539	598	599	600	568	527	-2
Αυστρία	437	580	574	600	573	565	29
Πολωνία	285	320	256	320	319	272	-5
Πορτογαλία	352	457	445	518	490	453	29
Ρουμανία	342	355	349	411	259	272	-20
Σλοβενία	596	513	485	542	415	432	-28
Σλοβακία	295	254	261	313	311	321	9
Φιλανδία	413	502	469	521	505	482	17
Σουηδία	386	428	460	483	449	438	13
Ηνωμένο Βασίλειο	498	577	602	541	491	482	-3
Ισλανδία	426	462	503	495	320	345	-19
Νορβηγία	624	613	414	487	485	423	-32
Ελβετία	600	656	660	736	689	730	22
Μαυροβούνιο	-	-	-	-	-	508	-
Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας	-	-	-	-	357	370	-
Σερβία	-	-	-	347	375	302	-

Τουρκία	441	465	440	400	416	405	-8
Βοσνία	-	-	-	-	340	349	-
Ερζεγοβίνη							

2.3 Σύσταση αποβλήτων

Η ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ είναι δυναμική παράμετρος, τόσο τοπικά όσο και χρονικά. Βασικοί παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η κοινωνικοοικονομική κατάσταση και η γεωγραφική θέση κάθε περιοχής, ενώ τυχόν διαφοροποιήσεις στη σύσταση οφείλονται, εν μέρει, και στις μεθόδους διαχείρισης που εφαρμόζονται σε κάθε περιοχή.

Έτσι, διαφοροποιήσεις στη σύσταση των ΑΣΑ μπορεί να παρατηρούνται έντονα από χώρα σε χώρα, αλλά ακόμα και μέσα στην ίδια χώρα, από περιοχή σε περιοχή. Παράλληλα, η σύσταση μπορεί να μεταβάλλεται και σε συνάρτηση με τον χρόνο. Μεταβολές μπορούν να παρατηρηθούν από έτος σε έτος, από εποχή σε εποχή ακόμα και από μέρα σε μέρα. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται κυρίως σε παράγοντες όπως: καταναλωτικές και διατροφικές συνήθειες των κατοίκων, προτιμώμενες συσκευασίες και το σύνολο των δραστηριοτήτων των κατοίκων της εκάστοτε περιοχής. Παραδείγματος χάριν, κατά τη θερινή περίοδο παρατηρείται αύξηση του ζυμώσιμου κλάσματος στα ΑΣΑ της χώρας μας λόγω αυξημένης κατανάλωσης φρούτων και νωπών λαχανικών. Επίσης, μια αγροτική περιοχή αναμένεται να έχει μικρότερο ζυμώσιμο κλάσμα στα απόβλητα απ' ότι μια αστική περιοχή, αφού συνηθίζεται στην ελληνική επαρχία τα απόβλητα φαγητών να αξιοποιούνται ως ζωοτροφές ή λιπάσματα (ΕΣΔΝΑ, 2015).

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται η μέση ποσοστιαία σύσταση των ΑΣΑ σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο γίνεται περαιτέρω διαχωρισμός σε βόρεια, νότια, ανατολική και δυτική Ευρώπη. Η Ελλάδα κατατάσσεται στην νότια Ευρώπη, όσον αφορά τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2-3: Μέση σύσταση (%) των ΑΣΑ, σε παγκόσμιο επίπεδο, ανά περιοχή για το έτος 2000. Πηγή: IPCC, 2006

Περιοχή	Οργανικά απόβλητα	Χαρτί/ Χαρτόνι	Ξύλο	Ύφασμα	Δέρμα/ rubber	Πλαστικό	Μέταλλο	Γυαλί	Άλλο
Ασία	26,2 - 43,5	11,3 - 18,8	3,5 - 9,9	2,5 - 3,5	0,6 - 1	6,3 - 14,3	1,3 - 3,8	2,2 - 4	5,4 - 21,9
Αφρική	23 - 53,9	7,7 - 25	2 - 7	1 - 2,5	1,1	4,5 - 5,5	1,8 - 3,5	2 - 2,3	1,5 - 11,6
Αμερική	33,9 - 46,9	13,7 - 23,2	2,4 - 13,5	2,6 - 3,9	-	6,7 - 10,8	2,6 - 5	3,3 - 6,5	3,5 - 12,3
Ωκεανία	36 - 67,5	6 - 30	2,5 - 24	-	0,7 - 1,8	3	1	-	-
Ευρώπη									
Ανατολική Ευρώπη	30,1	21,8	7,5	4,7	1,4	6,2	3,6	10	14,6

Βόρεια Ευρώπη	23,8	30,6	10	2	-	13	7	8	-
Νότια Ευρώπη	36,9	17	10,6	-	-	-	-	-	-
Δυτική Ευρώπη	24,2	27,5	11	-	-	-	-	-	-

Σημείωση 1: Τα στοιχεία του Πίνακα έχουν υπολογιστεί ως προς το βάρος των ΑΣΑ με υγρασία, χωρίς τα βιομηχανικά απόβλητα, για το έτος 2000.

Σημείωση 2: Οι δοσμένες τιμές ανά περιοχή υπολογίστηκαν με βάση τα εθνικά δεδομένα σύνθεσης των αποβλήτων, τα οποία μπορεί να είναι εν μέρει ελλιπή. Ως εκ τούτου είναι πιθανό το άθροισμα των ποσοστών για συγκεκριμένη περιοχή να μην ισούται με 100%. Ενώ, τα κενά στον πίνακα αντιπροσωπεύουν έλλειψη στοιχείων για τα συστατικά αυτά.

Η σύσταση των ΑΣΑ για την Ελλάδα και για το έτος 2011, δίνεται στον παρακάτω Πίνακα. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται, είναι οι εκτιμώμενες ποσότητες από το Τμήμα Στερεών Αποβλήτων του ΥΠΕΚΑ και βασίζονται στα στοιχεία που παρατίθενται στους ΠΕΣΔΑ όλης της χώρας. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν χωριστές κατηγορίες για ξύλο, ύφασμα και δέρμα τα οποία συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία «Λοιπά».

Πίνακας 2-4: Μέση σύσταση ΑΣΑ ανά Περιφέρεια και σε επίπεδο χώρας, για το έτος 2011. Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2014

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Εκτιμώμενη Παραγωγή ΑΣΑ tn/y	Οργανικό κλάσμα	Χαρτί - Χαρτόνι	% κ.β.				
				Πλαστικά	Μέταλλα	Γυαλί	Λοιπά	
Αν. Μακεδονία και Θράκη	321.639	45,8	15,3	16,5	3,4	4,3	14,7	
Κεν. Μακεδονία	973.306	38,6	21,6	14,9	3,9	3,4	17,6	
Δυτ. Μακεδονία	127.138	46,2	19,4	14,4	2,3	1,9	15,8	
Ήπειρος	137.492	44,9	18,9	11,3	5,2	3,8	15,9	
Θεσσαλία	380.121	53,9	17,1	16,3	3,8	6,7	2,2	
Ιόνια Νησιά	144.415	47,0	20,0	8,5	4,5	4,5	15,5	
Δυτική Ελλάδα	347.002	47,0	20,0	8,5	4,5	4,5	15,5	
Στερεά Ελλάδα	295.938	47,0	20,0	8,5	4,5	4,5	15,5	
Αττική	2.060.018	43,6	28,1	13,0	3,3	3,4	8,6	
Πελοπόννησος	296.655	41,0	29,0	14,0	3,5	3,5	9,0	
Βόρειο Αιγαίο	101.414	48,3	21,6	9,4	3,2	5,8	11,7	
Νότιο Αιγαίο	264.490	30,0	28,0	21,0	3,0	7,0	11,0	
Κρήτη	384.696	39,2	20,0	16,9	3,0	5,3	13,6	
Σταθ. Σύσταση ΑΣΑ Χώρας	5.834.324	43,1	23,5	13,7	3,8	4,1	11,8	

Στον παρακάτω Πίνακα δίνεται το ποσοστό του περιεχόμενου άνθρακα κατά βάρος ξηρών και νωπών αποβλήτων. Ο διαχωρισμός αφορά τα είδη αποβλήτων που περιέχονται στα Αστικά Στερεά Απόβλητα. Με βάση το περιεχόμενο σε άνθρακα μπορούν να υπολογιστούν οι αναμενόμενες αέριες εκπομπές από τη διαχείριση (κυρίως διάθεση) των εν

λόγω αποβλήτων.

Πίνακας 2-5: Ποσοστό περιεχόμενου C κατά βάρος αποβλήτων. Πηγή: IPCC, 2006

Κλάσμα ξηρών αποβλήτων, DOC, ολικός άνθρακας και κλάσμα ορυκτού άνθρακα των διαφορετικών συστατικών των ΑΣΑ										
Συστατικά ΑΣΑ	Ποσοστό κλάσματος ξηρών αποβλήτων	Ποσοστό περιεχόμενου DOC σε απόβλητα με υγρασία			Ποσοστό περιεχόμενου DOC των ξηρών αποβλήτων		Περιεχόμενος ολικός άνθρακας ως ποσοστό των ξηρών αποβλήτων		Κλάσμα ορυκτού άνθρακα σε ποσοστό του ολικού άνθρακα	
		Προ-επιλογή	Προ-επιλογή	Εύρος	Προ-επιλογή	Εύρος	Προ-επιλογή	Εύρος	Προ-επιλογή	Εύρος
Χαρτί/Χαρτόνι	90	40	36 - 45	44	40 - 50	46	42 - 50	1	0 - 5	
Υφάσματα	80	24	20 - 40	30	25 - 50	50	25 - 50	20	0 - 50	
Απόβλητα φαγητού	40	15	8 - 20	38	20 - 50	38	20 - 50	-	-	
Ξύλο	85	43	39 - 46	50	46 - 54	50	46 - 54	-	-	
Απόβλητα κήπων	40	20	18 - 22	49	45 - 55	49	45 - 55	0	0	
Απόβλητα τουαλέτας	40	24	18 - 32	60	44 - 80	70	54 - 90	10	10	
Ελαστικά και δέρματα	84	(39)	(39)	(47)	(47)	67	67	20	20	
Πλαστικά	100	-	-	-	-	75	67 - 85	100	95 - 100	
Μέταλλα	100	-	-	-	-	-	-	-	-	
Γυαλί	100	-	-	-	-	-	-	-	-	
Άλλα, αδρανή απόβλητα	90	-	-	-	-	3	0 - 5	100	50 - 100	

Περαιτέρω ανάλυση των αέριων εκπομπών που προκαλούνται από τη διαχείριση των αποβλήτων γίνεται στο Κεφάλαιο 5.

3 Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων

3.1 Διαχείριση αποβλήτων σε διεθνές και Ευρωπαϊκό επίπεδο

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι η ανασκόπηση των μεθόδων διαχείρισης των ΑΣΑ που εφαρμόζονται σε επίπεδο ΕΕ. Οι μέθοδοι που μελετώνται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι η ανακύκλωση, η κομποστοποίηση, η καύση και η ταφή των αποβλήτων. Στην ανάλυση παρατίθεται και η κατηγορία «άλλη επεξεργασία», η οποία χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διαφορά ανάμεσα στις ποσότητες αποβλήτων που υπέστησαν κάποια από τις παραπάνω επεξεργασίες και τις συνολικά παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων. Η διαφορά αυτή εμφανίζεται κυρίως σε χώρες όπου γίνεται εκτίμηση της συνολικής παραγόμενης ποσότητας αποβλήτων και ιδιαίτερα σε περιοχές οι οποίες δεν καλύπτονται από το δημόσιο σύστημα συλλογής αποβλήτων, με αποτέλεσμα η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων να είναι μεγαλύτερη από αυτή που υπόκειται σε επεξεργασία. Επιπλέον, αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει και την επεξεργασία αποβλήτων που εισάγονται από άλλες χώρες, απώλειες βάρους, διπλή καταμέτρηση των υπολειμμάτων (όπως ταφή και ανακύκλωση της τέφρας από την καύση), διαφορές λόγω χρονικών υστερήσεων, προσωρινής αποθήκευσης, και τη χρήση προεπεξεργασίας, όπως η μηχανική βιολογική επεξεργασία (ΜΒΕ). Σε επίπεδο ΕΕ-27 αυτές οι ποσότητες αλληλοαναιρούνται και επηρεάζουν μόνο οριακά την εξαγωγή συμπεράσματος, αλλά σε επίπεδο χώρας μπορούν να προκύψουν σημαντικές διαφορές.

Στον Πίνακα 3-1 παρατίθεται η ποσότητα των αποβλήτων ανά μέθοδο και ανά έτος, σε εκατομμύρια τόνους για το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τη χρονική περίοδο 1995-2014. Ενώ στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η ποσοστιαία συμβολή της κάθε μεθόδου στην διαχείριση των αποβλήτων στο σύνολο της ΕΕ για το έτος 2014.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 1, προκύπτει ότι αν και έχει αυξηθεί η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων σε επίπεδο ΕΕ-27, έχει μειωθεί η ποσότητα αυτών που οδηγούνται σε ταφή. Στην περίοδο που μελετάται, η συνολική ποσότητα αστικών αποβλήτων που οδηγήθηκαν σε ταφή μειώθηκε κατά 71,1 εκατ τόνους (ή 49%), από 144,2 εκατ. τόνους (302kg ανά κάτοικο) το 1995 σε 66 εκατ. τόνους (131kg ανά κάτοικο) το 2014. Αυτό αντιστοιχεί σε ετήσιο ρυθμό μείωσης 4%. Ενώ, από το 2004, η ποσότητα που οδηγείται σε ταφή μειώνεται ετησίως κατά 5,6% κατά μέσο όρο. Σαν αποτέλεσμα, το ρεύμα που οδηγείται σε ταφή έχει μειωθεί από το 63,8% των συνολικά παραγόμενων αποβλήτων για το 1995, στο 27,5% για το 2014.

Η ποσότητα αποβλήτων που ανακυκλώθηκε αυξήθηκε από 25 εκατ. τόνους (52kg ανά κάτοικο) το 1995 σε 66 εκατ. τόνους (132kg ανά κάτοικο) το 2014, με ένα μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 5,5%. Έτσι, το ποσοστό των ΑΣΑ που ανακυκλώνεται αυξήθηκε συνολικά από 11% σε 28%.

Η ανάκτηση του οργανικού ρεύματος των αποβλήτων με κομποστοποίηση έχει αυξηθεί με ετήσιο ρυθμό αύξησης 5,3%. Η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση μαζί υπολογίζονται στο 44% του οργανικού κλάσματος για το έτος 2014, σε σχέση με τα παραγόμενα απόβλητα.

Η καύση παρουσιάζει επίσης σταθερή αύξηση για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, αλλά μικρότερη από ότι η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση. Πιο συγκεκριμένα, από το

1995, η ποσότητα των ΑΣΑ που οδηγήθηκαν σε καύση έχει αυξηθεί κατά 32 εκατ. τόνους ή 100% και υπολογίζεται σε 64 εκατ. τόνους για το 2014. Έτσι, η ποσότητα των ΑΣΑ που οδηγούνται σε καύση έχει σχεδόν διπλασιαστεί (από 67kg ανά κάτοικο σε 128kg ανά κάτοικο).

Η μηχανική και βιολογική επεξεργασία (ΜΒΕ) και η διαλογή των αποβλήτων δεν αναφέρονται ως ξεχωριστές κατηγορίες επεξεργασίας. Αυτές οι μέθοδοι αφορούν στην προετοιμασία των αποβλήτων που οδηγούνται σε κάποιου είδους ανάκτηση, όπως κομποστοποίηση και ανακύκλωση.

Πίνακας 3-1: Ποσότητες ΑΣΑ (εκατ. τόνοι) που οδηγήθηκαν σε ανακύκλωση, κομποστοποίηση, καύση και ταφή σε επίπεδο ΕΕ, για την περίοδο 1995-2014. Πηγή: Eurostat, 2015

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Μεταβολή %
Ταφή	144	142	143	140	139	139	135	131	124	117	109	108	106	99	96	92	84	78	71	66	-54%
Καύση	32	32	35	35	36	39	40	41	41	44	48	51	52	55	56	57	60	59	62	64	100%
Ανακύκλωση	25	28	32	35	40	40	42	46	47	49	52	54	59	60	61	62	64	66	65	66	166%
Κομποστοποίηση	14	16	17	18	19	24	24	26	26	28	29	31	32	35	35	34	34	36	37	38	170%
Άλλο	10	14	12	12	12	11	12	12	12	13	16	13	11	10	7	7	6	6	6	5	-52%
Σύνολο	225	232	239	240	246	253	253	256	250	251	254	257	260	259	255	252	248	245	241	239	6,2%

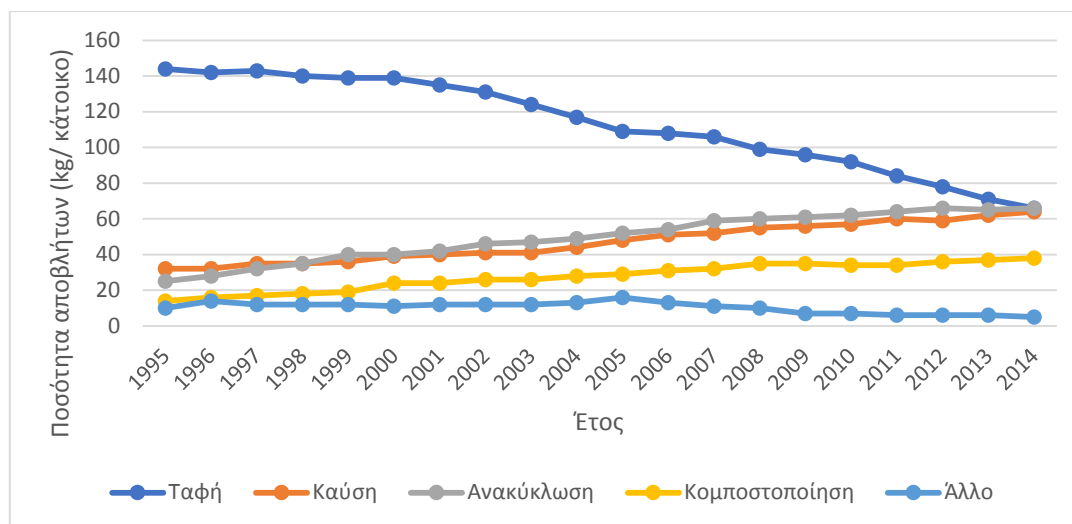
Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των αποβλήτων ανά μέθοδο διαχείρισης για το σύνολο των αποβλήτων που παράχθηκαν το έτος 2014 σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Περισσότερο από το 75% των αποβλήτων οδηγείται σε ταφή, ανακύκλωση και καύση. Ενώ, το 16% των αποβλήτων οδηγούνται σε κομποστοποίηση.



Διάγραμμα 3-1: Ποσοστιαία συμβολή των διαφορετικών μεθόδων στην συνολική διαχείριση των ΑΣΑ, σε επίπεδο ΕΕ, για το έτος 2014. Πηγή: Eurostat, 2017b.

Τα παραπάνω στοιχεία που αφορούν στην διαχείριση των αποβλήτων σε επίπεδο ΕΕ εκφράζονται διαχρονικά σε ποσότητα αποβλήτων ανά κάτοικο για διευκόλυνση της εξαγωγής συμπερασμάτων (Διάγραμμα 3-2). Για το 1995, φαίνεται ότι η μεγαλύτερη

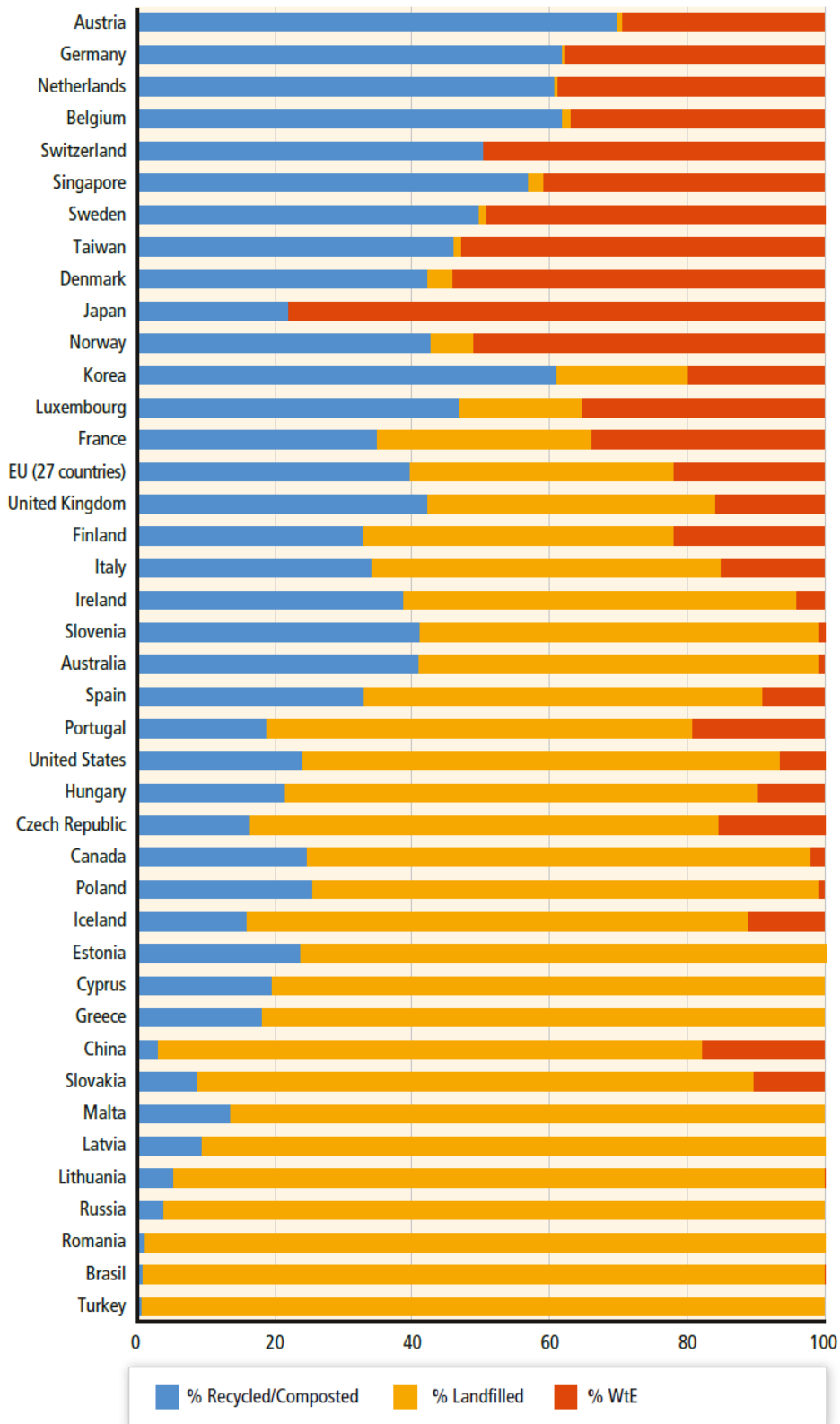
ποσότητα των αποβλήτων ανά κάτοικο, οδηγούνται σε ταφή. Με την πάροδο των χρόνων, παρουσιάζεται δραστική μείωση των ποσοτήτων που οδηγούνται σε ταφή και αύξηση των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης. Η κατηγορία «Άλλο» που αφορά σε μη γνωστή επεξεργασία ή κάποιες φορές σε ανεξέλεγκτη διάθεση, παρουσιάζει επίσης τάση μείωσης.



Διάγραμμα 3-2: Ποσότητες ΑΣΑ ανά κάτοικο και ανά μέθοδο διαχείρισης, σε επίπεδο ΕΕ, για την περίοδο 1995-2014. Πηγή: Eurostat, 2017.

Στο Διάγραμμα 3-3 παρουσιάζονται οι μέθοδοι διαχείρισης που χρησιμοποιούνται ανά χώρα σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, για το έτος 2013. Οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στα κράτη μέλη είναι σημαντικές. Ορισμένα κράτη μέλη παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά ανακύκλωσης όπως η Σλοβενία και η Γερμανία. Άλλα, παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά καύσης με ανάκτηση ενέργειας, όπως η Εσθονία, η Δανία και η Σουηδία. Τα κράτη μέλη με τα υψηλότερα ποσοστά υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, είναι η Μάλτα, η Κροατία, η Λετονία και η Ελλάδα.

Αναφορικά με τη κατάσταση διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα για το έτος 2014, ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 80% των παραγόμενων ΑΣΑ οδηγήθηκε σε ταφή, ένα ποσοστό της τάξης του 2-3% οδηγήθηκε σε κομποστοποίηση ενώ η υπόλοιπη ποσότητα (15-16%) των ΑΣΑ οδηγήθηκε προς ανακύκλωση. Πιο αναλυτικά, όσον αφορά την υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα γίνεται εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 4.



Διάγραμμα 3-3: Σύγκριση των μεθόδων διαχείρισης που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες, σαν ποσοστό των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΣΑ, για το έτος 2013. Πηγή: IPCC, 2014.

3.2 Νομοθεσία

3.2.1 Αρχές διαχείρισης στερεών αποβλήτων

Η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων βασίζεται στις παρακάτω αρχές:

- Η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», σύμφωνα με την οποία, αυτός που παράγει απόβλητα ή ρυπαίνει υποχρεούται να πληρώνει το κόστος των μέτρων που θα ληφθούν για την προστασία του περιβάλλοντος από τη ρύπανση που προκάλεσε.
- Η αρχή «της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού», όπου περιλαμβάνεται η υποχρέωση αποδοχής και διάθεσης από τους κατασκευαστές των επιστρεφόμενων προϊόντων που παραμένουν μετά τη χρήση.
- Η αρχή «της πρόληψης», η οποία στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της παραγωγής των αποβλήτων, λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα πριν αυτά παραχθούν.
- Η αρχή «της προφύλαξης», κατά την οποία, πρέπει να λαμβάνονται προληπτικά μέτρα για την αποφυγή προβλημάτων, όταν εντοπίζεται δυνητικός κίνδυνος. Να προτείνονται δηλαδή μέτρα προστασίας όταν υπάρχει επιστημονική αβεβαιότητα για την εμφάνιση ενός κινδύνου.
- Η αρχή «της εγγύτητας», η οποία υπαγορεύει την ύπαρξη επαρκών υποδομών διαχείρισης αποβλήτων όσο το δυνατό πιο κοντά στην πηγή τους.

Μεταξύ των αρχών που διέπουν τη διαχείριση των αποβλήτων στην ΕΕ, βασική είναι η *ιεράρχηση των μεθόδων διαχείρισης* από τις πιο επιθυμητές προς τις μεθόδους, που γίνεται προσπάθεια αποφυγής τους. Η ιεράρχηση αυτή παρουσιάζεται με τη μορφή της ανεστραμμένης πυραμίδας στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3-1: Πυραμίδα ιεράρχησης μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ

3.2.2 Νομοθεσία της ΕΕ για τη διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων.

- Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19^{ης} Νοεμβρίου 2008, για τα απόβλητα.

Η παρούσα οδηγία, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει μέχρι σήμερα, θεσπίζει ένα νομικό πλαίσιο επεξεργασίας των αποβλήτων στην ΕΕ. Έχει σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας υπογραμμίζοντας τη σημασία της κατάλληλης διαχείρισης των αποβλήτων, των τεχνικών ανάκτησης και ανακύκλωσης για τη μείωση της εξάντλησης των φυσικών πόρων και τη βελτίωση της χρήσης τους.

Στα πλαίσια της οδηγίας αυτής, θεσπίζεται η ιεράρχηση των μεθόδων διαχείρισης των αποβλήτων: πρόληψη, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση για άλλους σκοπούς – όπως η ανάκτηση ενέργειας – και διάθεση (όπως φαίνεται στο σχήμα). Επιβεβαιώνεται η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και εισάγεται η έννοια της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού».

Γίνεται διάκριση μεταξύ αποβλήτων και υποπροϊόντων, όπου ως υποπροϊόν θεωρείται το αποτέλεσμα από μια διαδικασία παραγωγής, της οποίας πρωταρχικός στόχος δεν είναι η παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος. Αντίθετα με τα απόβλητα, τα υποπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά το πέρας της διαδικασίας αυτής.

Θέτει περιβαλλοντικούς όρους στη διαχείριση των αποβλήτων για την αποφυγή μόλυνσης του περιβάλλοντα χώρου, νερού και αέρα.

Οι παραγωγοί ή κάτοχοι αποβλήτων υποχρεώνονται να επεξεργάζονται μόνοι τους ή να εμπιστεύονται την επεξεργασία των αποβλήτων τους σε αδειοδοτημένους φορείς εκμετάλλευσης, με την απαίτηση αδείας και περιοδικής υποβολής σε επιθεωρήσεις.

Εισάγεται η ευθύνη των αρμοδίων κρατικών αρχών στην κατάρτιση εθνικών σχεδίων διαχείρισης αποβλήτων (Ε.Σ.Δ.Α.) και προγράμματα πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων.

Τέλος, προβλέπεται στόχος ανακύκλωσης και ανάκτησης για τα οικιακά απόβλητα κατά 50% έως το 2020.

- Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Συμβουλίου, της 26^{ης} Απριλίου 1999, περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων.

Η παρούσα οδηγία, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει μέχρι σήμερα, αποσκοπεί στην κατά το δυνατόν πρόληψη ή μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, το έδαφος, την ατμόσφαιρα ή την ανθρώπινη υγεία, μέσω της θέσπισης αυστηρών τεχνικών απαιτήσεων.

Οι χώροι υγειονομικής ταφής διαχωρίζονται σε χώρους ταφής επικίνδυνων αποβλήτων, χώρους ταφής αδρανών αποβλήτων και χώρους ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων.

Τα κράτη μέλη οφείλουν να εφαρμόζουν εθνικές στρατηγικές για τη μείωση της ποσότητας βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Οι εγκαταστάσεις των χώρων υγειονομικής ταφής μπορούν να μη δέχονται μεταχειρισμένα ελαστικά αυτοκινήτων ή υγρά, εύφλεκτα, εκρηκτικά ή διαβρωτικά απόβλητα ή απόβλητα νοσοκομείων και προερχόμενα από ιατρικές ή κτηνιατρικές εγκαταστάσεις.

Στους χώρους υγειονομικής ταφής πραγματοποιείται διάθεση μόνο αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία.

Τα αστικά απόβλητα οδηγούνται προς διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων.

Οι εθνικές αρχές πρέπει να διασφαλίζουν ότι η τιμή που χρεώνουν οι φορείς εκμετάλλευσης για τη διάθεση των αποβλήτων καλύπτει όλες τις δαπάνες που απαιτούνται από την έναρξη έως την παύση λειτουργίας του χώρου υγειονομικής ταφής.

Εισάγονται επίσης τα απαιτούμενα στοιχεία που πρέπει να προσκομίζονται κατά την υποβολή αίτησης για χορήγηση αδειάς, από τους φορείς διαχείρισης χώρων υγειονομικής ταφής.

- Οδηγία 94/62/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 20^{ης} Δεκεμβρίου 1994 για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασίας.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει την εναρμόνιση των εθνικών μέτρων που αφορούν τη διαχείριση συσκευασιών και απορριμμάτων συσκευασίας με στόχο να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος και να διασφαλιστεί η λειτουργία της εσωτερικής αγοράς.

Στην παρούσα Οδηγία, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει μέχρι σήμερα, προβλέπονται μέτρα με σκοπό τον περιορισμό της παραγωγής απορριμμάτων συσκευασίας και την προώθηση της ανακύκλωσης, της επαναχρησιμοποίησης και άλλων μορφών αξιοποίησης των εν λόγω απορριμμάτων. Η τελική τους διάθεση πρέπει να θεωρείται ως η έσχατη λύση. Η οδηγία καλύπτει όλες τις συσκευασίες που διατίθενται στην ευρωπαϊκή αγορά και όλα τα απορρίμματα συσκευασίας, είτε έχουν χρησιμοποιηθεί είτε προέρχονται από τις βιομηχανίες, το εμπόριο, τα γραφεία, τα νοικοκυριά ή οποιαδήποτε άλλη πηγή, ανεξαρτήτως των υλικών κατασκευής τους.

Στα πλαίσια της Οδηγίας θεσπίζονται στόχοι για τα κράτη μέλη όσον αφορά την πρόληψη δημιουργίας απορριμμάτων συσκευασίας και την ανάπτυξη συστημάτων επαναχρησιμοποίησης των συσκευασιών.

Εισάγεται σύστημα σήμανσης και αναγνώρισης στις συσκευασίες για την αναγνώριση και κατάταξή τους με βάση τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Η σήμανση θα πρέπει να βρίσκεται σε εμφανές σημείο πάνω στη συσκευασία.

Οι βασικές απαιτήσεις όσον αφορά τις συσκευασίες που διατίθενται στην αγορά είναι οι εξής:

- Περιορισμός του όγκου και του βάρους των συσκευασιών στο ελάχιστο όριο που επαρκεί ώστε να διατηρείται το αναγκαίο επίπεδο ασφαλείας, υγιεινής και αποδοχής για το συσκευασμένο προϊόν και για τον καταναλωτή

- Ελαχιστοποίηση της παρουσίας επικίνδυνων ουσιών και υλικών ως συστατικών του υλικού συσκευασίας ή οποιουδήποτε στοιχείου της συσκευασίας
- Σχεδιασμός επαναχρησιμοποιήσιμης ή ανακτήσιμης συσκευασίας

Δημιουργία συστημάτων πληροφορικής (βάσεις δεδομένων) για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας ώστε να καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση της εφαρμογής των στόχων της παρούσας οδηγίας.

3.2.3 Ελληνικό Νομικό Πλαίσιο για τη διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων

Το νομικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των αποβλήτων στην Ελλάδα, είναι εναρμονισμένο με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και καθορίζεται πλέον από τους Νόμους και τις Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις:

- Το Ν. 2939/2001 (ΦΕΚ 179/Α/06.08.2001) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις» όπως τροποποιήθηκε με το Ν.3854/10 (ΦΕΚ 94/Α/23.06.2010) «Τροποποίηση της νομοθεσίας για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων και τον Εθνικό Οργανισμό Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις».
- Το Ν. 4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012) «Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής» που ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την Οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ για τα απόβλητα,

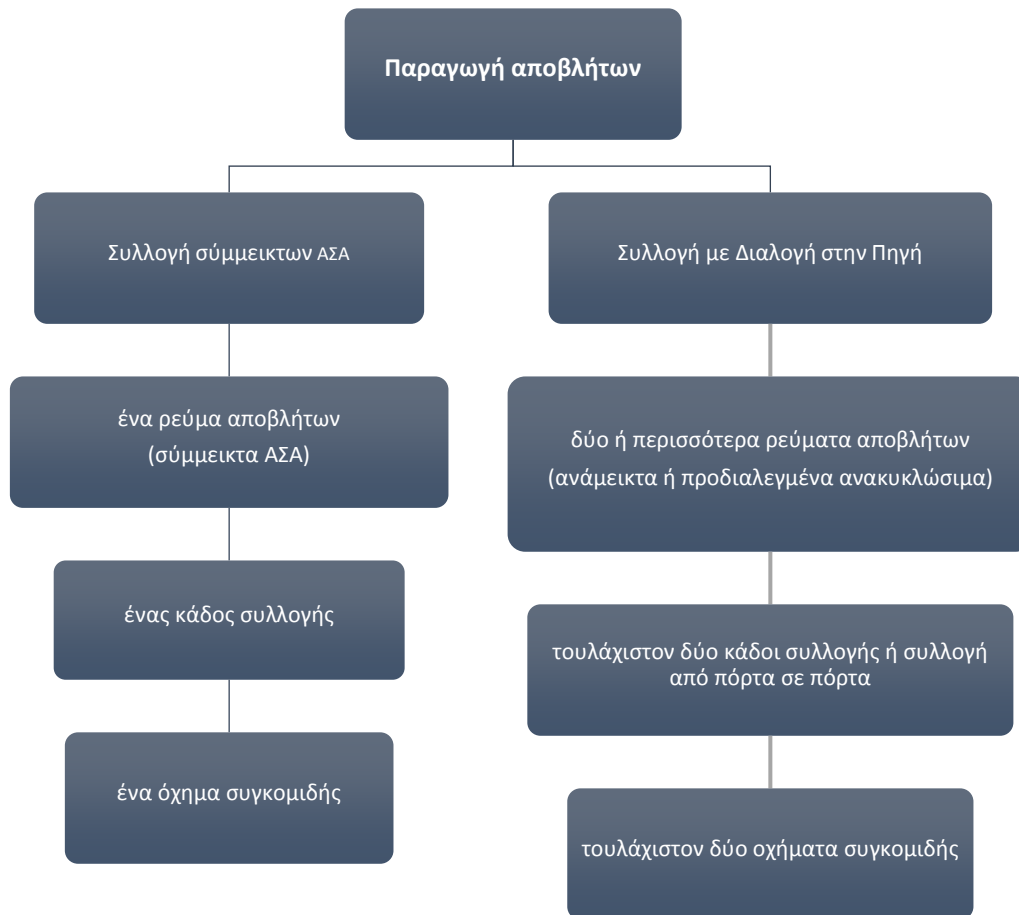
Στο άρθρο 46 του παρόντος προβλέπεται η μετονομασία του ΕΟΕΔΣΑΠ σε Ελληνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (Ε.Ο.ΑΝ.)

- Τις ειδικές προβλέψεις του Ν. 4014/11 (ΦΕΚ 209/Α/21-9-11) «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος» όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.
- ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572 Β) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ
- ΚΥΑ 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν.4042/2012

3.3 Μέθοδοι συλλογής των ΑΣΑ

Σε αυτή την ενότητα κρίνεται δόκιμο να γίνει σύντομη αναφορά στις μεθόδους συλλογής των ΑΣΑ, καθώς επιδρούν στην σύσταση και το είδος των συλλεγόμενων ΑΣΑ και κατ' επέκταση στην απόδοση των μεθόδων διαχείρισης των ΑΣΑ.

Οι μέθοδοι συλλογής διαχωρίζονται με βάση το πλήθος των εξερχόμενων ρευμάτων αποβλήτων σε δύο βασικές κατηγορίες: την συλλογή σύμμεικτων ΑΣΑ, τη συλλογή ανάμεικτων ΑΥ και τη συλλογή με Διαλογή στην Πηγή (Ludwig et al. 2003).



Εικόνα 3-2: Διάγραμμα ροής των αποβλήτων ανά μέθοδο συλλογής αποβλήτων.

3.3.1 Συλλογή σύμμεικτων ΑΣΑ

Στην περίπτωση αυτή, τα απορρίμματα συλλέγονται ως ένα ενιαίο ρεύμα σε κάδους και απαιτείται μόνο ένα όχημα συλλογής. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα μεθόδων επεξεργασίας των ΑΣΑ, όπως ανάκτηση υλικών ή ενέργειας και ταφή. Στην Ελλάδα, για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται συνήθως οι “πράσινοι κάδοι” σε επίπεδο γειτονιάς στις αστικές περιοχές (drop-off sites), ενώ σε πιο αραιοκατοικημένες περιοχές μπορεί να χρησιμοποιούνται κάδοι ανά κατοικία, δηλαδή η συλλογή να γίνεται έξω από την οικία του παραγωγού (kerbside). Τα απόβλητα οδηγούνται σε ειδικές εγκαταστάσεις διαχωρισμού των επιμέρους ρευμάτων, όταν πρόκειται να ανακτηθούν είτε υλικά ή ενέργεια από αυτά.

3.3.2 Συλλογή ανάμεικτων ΑΥ

Σε αυτή τη περίπτωση, τα ανακυκλώσιμα υλικά τοποθετούνται ανάμεικτα σε κάδους,

χωριστά όμως από τα μη ανακυκλώσιμα. Συνήθως, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την ανακύκλωση συσκευασιών. Στην Ελλάδα, για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούνται οι “μπλε κάδοι” του ΣΣΕΔ της ΕΕΑΑ όπου τοποθετούνται όλα τα ανακυκλώσιμα υλικά χωρίς να διαχωριστούν πριν σε επιμέρους ρεύματα. Εδώ οι κάδοι συλλογής τοποθετούνται είτε σε επίπεδο γειτονιάς ή σε πιο κεντρικά σημεία (drop-off sites), καλύπτοντας τις ανάγκες περισσότερων νοικοκυριών.

3.3.3 Συλλογή με Διαλογή στην Πηγή (ΔσΠ)

Με τον όρο «Διαλογή στην Πηγή» περιγράφεται η διαδικασία της ανακύκλωσης με την οποία επιτυγχάνεται ανάκτηση χρήσιμων υλικών πριν αυτά αναμειχθούν με την υπόλοιπη μάζα των απορριμμάτων. Εδώ ο παραγωγός θα πρέπει να διαχωρίσει τα απόβλητά του και να δημιουργήσει περισσότερα από δυο ρεύματα αποβλήτων πριν αυτά απορριφθούν. Στην περίπτωση αυτή, οι τεχνικές που ακολουθούνται είναι τα κέντρα απόρριψης (green centers) τα οποία τοποθετούνται σε μεγαλύτερη απόσταση από το νοικοκυριό, καλύπτοντας μια συνοικία. Η τοποθέτηση χρωματιστών κάδων, με διαφορετικό χρώμα ανά ρεύμα αποβλήτων, σε επίπεδο γειτονιάς. Τέλος, η συλλογή πόρτα-πόρτα των διαφορετικών ρευμάτων από τα νοικοκυριά, μέθοδος που παρουσιάζει μεγαλύτερο κόστος από τις υπόλοιπες αλλά επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ποσότητα και καλύτερη ποιότητα των υλικών, αντισταθμίζοντας έτσι το κόστος λειτουργίας.

3.4 Μέθοδοι διαχείρισης ΑΣΑ

3.4.1 Μηχανική Επεξεργασία

Οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές σε μια μονάδα μηχανικής επεξεργασίας εξαρτώνται από το είδος του εισερχόμενου ρεύματος, αν είναι από διαλογή στην πηγή (ΔσΠ), αν είναι σύμμεικτα ή και τα δύο. Ενώ, εξαρτώνται από τη φύση και την χρησιμότητα των ανακτώμενων υλικών. Τόσο ο χειρωνακτικός όσο και ο μηχανικός διαχωρισμός διακρίνονται σε αρνητικό και θετικό. Ο αρνητικός διαχωρισμός αναφέρεται στην απομάκρυνση των ξένων προς το ρεύμα προσμίξεων, για τον καθαρισμό του. Ενώ, ο θετικός αναφέρεται στη συγκομιδή από το κυρίως ρεύμα των υλικών – στόχων (Pinellas County, 2009).

3.4.1.1 Χειρωνακτικός διαχωρισμός

Στην περίπτωση επεξεργασίας σύμμεικτων αποβλήτων, τα ογκώδη αντικείμενα (συσκευές, έπιπλα κα) και συγκεκριμένες προσμίξεις (πχ. επικίνδυνα απόβλητα) μπορεί, και συνήθως γίνεται, να απομακρυνθεί χειροκίνητα από το ρεύμα των αποβλήτων που οδηγείται σε μηχανική επεξεργασία. Σε μικρής δυναμικότητας εγκαταστάσεις, όπου το ρεύμα εισόδου αποτελείται από ανακυκλώσιμα με ΔσΠ, μπορεί να υιοθετηθεί αποκλειστικά αυτή η μέθοδος, χωρίς να παρεμβάλλεται κάποιο άλλο είδος μηχανικού διαχωρισμού.

Ο εξοπλισμός του χειρωνακτικού διαχωρισμού μπορεί να είναι ένας ιμάντας μεταφοράς ή ένα τραπέζι, με τους διαλογείς στη μία ή και στις δύο πλευρές του. Σε κοντινή απόσταση από τους διαλογείς τοποθετούνται χοάνες ή μεγάλοι κάδοι για τη συλλογή των διαχωρισθέντων υλικών.



Εικόνα 3-3: Διαδικασία χειροδιαλογής. Πηγή: ΚΔΑΥ Ελευσίνας.

3.4.1.2 Μηχανικός διαχωρισμός

Ο μηχανικός διαχωρισμός περιλαμβάνει συνήθως τη χρήση διαφόρων μονάδων επεξεργασίας. Οι συνηθέστερες είναι: μείωση μεγέθους, αεροδιαχωρισμός, κοσκίνισμα, μαγνητικός διαχωρισμός, διαχωρισμός γυαλιού, διαχωρισμός μη σιδηρούχων, συμπίεση – δεματοποίηση.

Η ακολουθία και η χρήση των διαδικασιών για την επεξεργασία των σύμμεικτων ποικίλει. Ωστόσο, η μείωση μεγέθους ή μια προκαταρκτική διαλογή είναι το πρώτο βήμα.

3.4.1.2.1 Μείωση μεγέθους

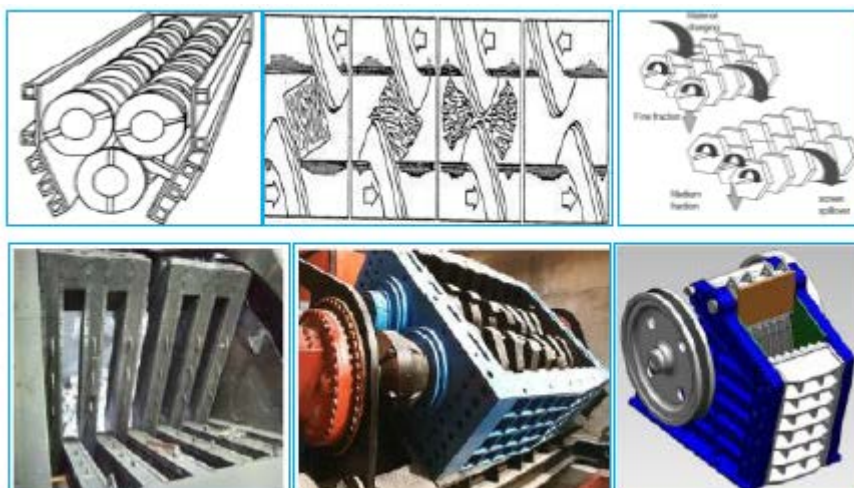
Η μείωση μεγέθους μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους όπως “τεμαχισμός / shredding” και “άλεσμα / grinding”, όσον αφορά στην διαχείριση αποβλήτων. Ο όρος “τεμαχισμός” αφορά κυρίως σε σύμμεικτα απόβλητα, ενώ όταν πρόκειται για απόβλητα με ΔσΠ χρησιμοποιούνται κυρίως κοκκοποιητές/granulators και μύλοι/grinders, για συγκεκριμένα είδη πλαστικών και γυαλιών, αντίστοιχα.

Η μείωση μεγέθους είναι ένα βασικό βήμα στη μηχανική επεξεργασία των σύμμεικτων αποβλήτων. Κατά τη διαδικασία αυτή, ογκώδη αντικείμενα τεμαχίζονται έτσι ώστε το μέγεθός τους να είναι συμβατό με τις προδιαγραφές του εξοπλισμού. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται ομοιομορφία ως προς το μέγεθος των υλικών, που είναι απαραίτητη για κάποια συστήματα μηχανικής διαλογής.

Τα υλικά που προέρχονται από ΔσΠ έχουν συνήθως σχετικά μικρό μέγεθος ή μικρές διαφορές στο μέγεθος των σωμάτων ή και τα δύο. Έτσι, η μείωση μεγέθους δεν είναι απαραίτητο στάδιο πριν τη διαλογή. Σε αρκετές περιπτώσεις, τα διαχωρισμένα υλικά υπόκεινται μείωση μεγέθους μετά τη διαλογή, για την προετοιμασία τους για διάθεση στην αγορά.

Χονδροειδής ή πρωτογενής τεμαχισμός, σε ένα μέγιστο μέγεθος περίπου 10cm,

χρησιμοποιείται σε πολλές εγκαταστάσεις επεξεργασίας σύμμεικτων αποβλήτων. Δευτερογενής ή και τριτογενής τεμαχισμός εφαρμόζεται κάθε φορά που απαιτείται ένα μέγιστο μέγεθος πολύ μικρότερο των 10cm (πχ παραγωγή RDF). Άλλες περιπτώσεις είναι η ανάκτηση και επεξεργασία σιδηρούχων μετάλλων, αλουμινίου, πλαστικών και γυαλιού, όταν κρίνεται απαραίτητο.

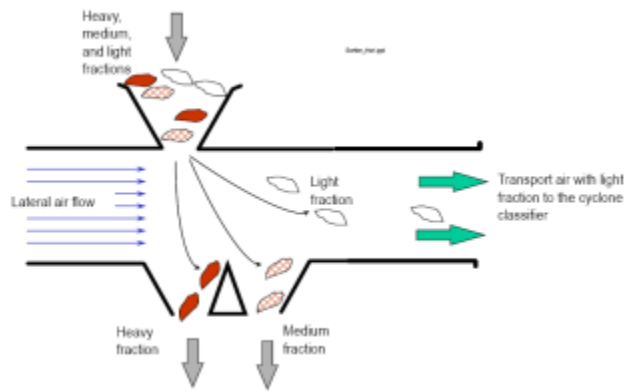


Εικόνα 3-4: Άποψη λειτουργίας εξοπλισμών μείωσης μεγέθους των αποβλήτων. Πηγή: Νταρακάς, 2014

3.4.1.2.2 Αεροδιαχωρισμός

Ο αεροδιαχωρισμός είναι μια διαδικασία διαχωρισμού σε κατηγορίες υλικών με βάση τις διαφορές των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι συνάρτηση του μεγέθους, του σχήματος και της πυκνότητάς τους. Η διαδικασία στηρίζεται στην αλληλεπίδραση ενός ρεύματος αέρα, των τεμαχισμένων υλικών και της βαρυτικής δύναμης, σε έναν περιορισμένο όγκο. Εδώ, η ελκτική και η βαρυτική δύναμη ασκούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις πάνω στα υλικά. Αποτέλεσμα αυτού είναι να αιωρούνται τα σώματα εκείνα που παρουσιάζουν μεγάλο λόγο ελκτικής προς βαρυτική δύναμη (ελαφρύ κλάσμα), ενώ αντίθετα, αυτά που παρουσιάζουν μικρό λόγο τείνουν να καθιζάνουν εκτός του ρεύματος αέρα (βαρύ κλάσμα).

Στον αεροδιαχωρισμό των τεμαχισμένων σύμμεικτων ΑΣΑ, το χαρτί και τα πλαστικά υλικά τείνουν να συγκεντρώνονται στο ελαφρύ κλάσμα, ενώ τα μέταλλα και το γυαλί είναι τα κύρια συστατικά στο βαρύ κλάσμα. Ωστόσο, ο αεροδιαχωρισμός επηρεάζεται σημαντικά από την υγρασία που μπορεί να περιέχεται στο μίγμα. Έτσι, είναι πολύ πιθανό να βρεθούν υλικά όπως χαρτί ή απόβλητα φαγητού, με μεγάλα ποσοστά υγρασίας, στο βαρύ κλάσμα.



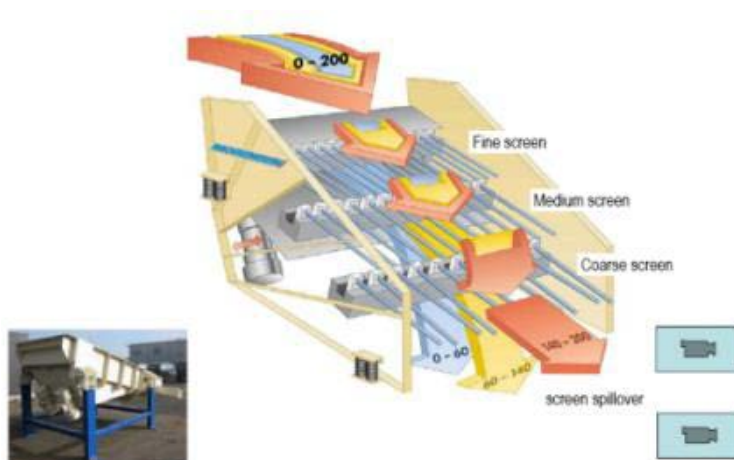
Εικόνα 3-5: Είδος οριζόντιου αεροδιαχωριστή.

3.4.1.2.3 Κοσκίνισμα

Τα κόσκινα χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό σωματιδίων βάσει του μεγέθους τους. Ο διαχωρισμός οδηγεί, θεωρητικά, στη δημιουργία δύο ρευμάτων, όπου το ελάχιστο μέγεθος του πρώτου είναι μεγαλύτερο από τα ανοίγματα του κόσκινου, ενώ το μέγιστο του δεύτερου είναι μικρότερο από τα ανοίγματα αυτά. Το πρώτο ρεύμα συγκρατείται πάνω ή μέσα στο κόσκινο, ενώ το δεύτερο διαπερνά το κόσκινο και συλλέγεται σε άλλο χώρο.

Από το διαχωρισμό αυτό μπορεί να προκύπτουν περισσότερα από δύο ρεύματα αποβλήτων διαφορετικής τάξης μεγέθους, στην περίπτωση που τοποθετηθούν δύο ή περισσότερα κόσκινα, με διαφορετικού μεγέθους ανοίγματα, στη σειρά.

Κατά κύριο λόγο, χρησιμοποιούνται τρεις τύποι κοσκίνων από τη βιομηχανία επεξεργασίας στερεών αποβλήτων, τόσο σύμμεικτων όσο και προδιαλεγμένων: κόσκινο επίπεδης κλίσης, κυκλικό κόσκινο και περιστρεφόμενο κόσκινο. Το τελευταίο έχει αποδειχθεί αποτελεσματικότερο για το διαχωρισμό των σύμμεικτων ΑΣΑ και μιγμάτων που περιέχουν μεγάλα επίπεδα υλικά και αδρανή. Έτσι αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη τεχνική. Οι άλλοι δύο τύποι κοσκίνων χρησιμοποιούνται κυρίως για προδιαλεγμένα υλικά. Ο διαχωρισμός υλικών με παρόμοιες διαστάσεις ή υλικών που έχουν την τάση δημιουργίας συσσωματωμάτων, απαιτεί συνεχή ανάδευση για καλύτερη απόδοση.



Εικόνα 3-6: Μηχανισμός διαδοχικών κεκλιμένων κοσκίνων.

3.4.1.2.4 Μαγνητικός διαχωρισμός

Ο μαγνητικός διαχωρισμός χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό μαγνητικών (σιδηρούχων) μετάλλων από μίγμα διαφόρων υλικών, όπως σύμμεικτα απόβλητα, ανάμεικτα μέταλλα, γυαλιά και πλαστικά δοχεία. Η διαδικασία είναι τεχνικά απλή και σχετικά χαμηλού κόστους.

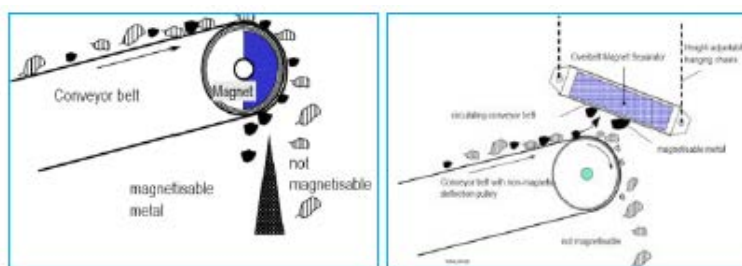
Οι μαγνήτες που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι είτε μόνιμοι ή ηλεκτρομαγνήτες. Υπάρχουν τρεις τύποι μαγνητικών διαχωριστών: τροχαλία μαγνητικής κεφαλής, τύμπανο και μαγνητικός ιμάντας. Η τροχαλία μαγνητικής κεφαλής αποτελείται από μια μαγνητική τροχαλία που τοποθετείται στο κέντρο του ιμάντα μεταφοράς. Κατά τη λειτουργία της, το ρεύμα αποβλήτων που πρόκειται να διαχωριστεί περνάει πάνω από τον ιμάντα και η τροχαλία έλκει τα μαγνητικά μέρη, διαχωρίζοντάς τα από το λοιπό ρεύμα.

Στην περίπτωση του τυμπάνου – μαγνήτη, η ηλεκτρομαγνητική διάταξη τοποθετείται στο εσωτερικό του περιστρεφόμενου τυμπάνου, όπου παραμένει σταθερή. Η διάταξη αυτού του τύπου τοποθετείται είτε στο άνω ή στο κάτω άκρο του εξοπλισμού.

Η μαγνητική ζώνη αποτελείται από ένα σταθερό μαγνητικό μηχανισμό που τοποθετείται ανάμεσα σε δύο κεκλιμένους ιμάντες μεταφοράς. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι μαγνητικές ζώνες έλκουν τα σιδηρούχα υλικά απομακρύνοντάς τα από τον ιμάντα, ενώ τα υπόλοιπα υλικά ακολουθούν άλλη κατεύθυνση κάτω από την επίδραση της βαρύτητας.

Όσον αφορά την απόδοση, η ανάκτηση των σιδηρούχων μετάλλων από τα σύμμεικτα απόβλητα με έναν μόνο μαγνητικό διαχωριστή φτάνει περίπου το 80% ανά μονάδα βάρους του τεμαχισμένου μετάλλου. Εάν όμως προηγηθεί αεροδιαχωρισμός και ο μαγνητικός διαχωρισμός εφαρμοστεί μόνο στο βαρύ κλάσμα, η απόδοση αυξάνεται στο 85-90%, καθώς οι ελαφρές προσμίξεις έχουν ήδη αφαιρεθεί, στην πλειοψηφία τους. Έτσι, μειώνεται και ο όγκος του ρεύματος που οδηγείται προς διαχωρισμό, κάνοντας τη διαδικασία πιο αποτελεσματική. Επίσης, υψηλότερα ποσοστά ανάκτησης μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση περισσότερων του ενός σταδίου μαγνητικού διαχωρισμού στην ίδια διάταξη.

Τέλος, η ποιότητα των ανακτηθέντων θραυσμάτων από τα σύμμεικτα ΑΣΑ είναι υψηλότερη όταν έχουν απομακρυνθεί οι ελαφρές προσμίξεις πριν τον μαγνητικό διαχωρισμό. Οπότε κρίνεται απαραίτητη η παρεμβολή κάποιας αντίστοιχης διαδικασίας (βλ. Αεροδιαχωρισμός) πριν το μαγνητικό διαχωρισμό, προκειμένου το υλικό που θα ανακτηθεί να είναι εμπορεύσιμο (UNEP, 2005).



Εικόνα 3-7: Μαγνητική ταινία διαχωρισμού (Αριστερή εικόνα) και μαγνητικός διαχωριστής (Δεξιά εικόνα).

3.4.1.2.5 Διαχωρισμός αλουμινίου και γυαλιού

Πολλές τεχνολογικά πολύπλοκες διαδικασίες έχουν χρησιμοποιηθεί ή προταθεί για τον διαχωρισμό των μη σιδηρούχων μετάλλων και του γυαλιού. Το βασικό μη σιδηρούχο μέταλλο που περιέχεται στα ΑΣΑ και συνήθως αποτελεί στόχο ανάκτησης, είναι το αλουμίνιο. Αυτό μπορεί να διαχωριστεί με διαχωριστή επαγωγικών ρευμάτων (ή Eddy Current διάταξη). Κατά το διαχωρισμό, προκαλείται ηλεκτρομαγνητικό ρεύμα που διαπερνά τον όγκο των αποβλήτων, απομακρύνοντας τα μεταλλικά σωματίδια από τα υπόλοιπα απόβλητα. Προσμίξεις άλλων μη σιδηρούχων μετάλλων στο ανακτώμενο αλουμίνιο, εξαρτώνται κυρίως από την συγκέντρωσή τους στα ΑΣΑ, την κατανομή μεγέθους των υλικών στο ρεύμα των αποβλήτων και τις συνθήκες λειτουργίας του διαχωριστή.

Για την απομάκρυνση του γυαλιού χρησιμοποιείται τόσο η μέθοδος της επίπλευσης όσο και ο οπτικο-ηλεκτρονικός διαχωρισμός. Ωστόσο, καμία από αυτές τις μεθόδους δεν είναι οικονομικά βιώσιμη. Γενικά, ο αποτελεσματικός μηχανικός διαχωρισμός αλουμινίου και γυαλιού από τα σύμμικτα ΑΣΑ (είτε ανά χρώμα ή ανάμεικτα) είναι δαπανηρή και πολύπλοκη διαδικασία (UNEP, 2005).

3.4.1.2.6 Ξήρανση και συμπύκνωση

Συνήθως, η ξήρανση χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ανάκτησης καυσίμων από τα απόβλητα, πχ παραγωγής RDF ή συμπυκνωμένου RDF. Ο στόχος της ξήρανσης είναι η απομάκρυνση της υγρασίας και η παροχή καυσίμου υψηλότερης ποιότητας.

Η συμπύκνωση, δεματοποίηση ειδικότερα, των σύμμεικτων ΑΣΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων που οδηγούνται σε ταφή (εξοικονόμηση χώρου, δηλαδή, στους ΧΥΤΑ). Η συμπύκνωση χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή στερεού καυσίμου από το ελαφρύ (εύφλεκτο) κλάσμα των ΑΣΑ ή από διάφορα κλάσματα χαρτιού. Αυτά τα καύσιμα ονομάζονται *refuse derived fuels*, RDF ή dRDF. Τέλος, η συμπύκνωση μπορεί να χρησιμοποιείται στη δεματοποίηση αλουμινένιων και χαλύβδινων δοχείων και δοχείων φαγητού, για συγκεκριμένες αγορές (UNEP, 2005).

3.4.2 Βιολογική επεξεργασία

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, η κομποστοποίηση όμως είναι η βασικότερη και πιο διαδεδομένη, στην Ελλάδα

Η κομποστοποίηση είναι μια ακόμα μέθοδος ανακύκλωσης. Είναι αερόβια διαδικασία όπου τα βιοαποδομήσιμα υλικά αποδομούνται για να σχηματίσουν ένα σταθερό, κοκκώδες υλικό, μέσω της θερμότητας. Η διαδικασία είναι μια σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ των αποβλήτων και των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται σε αυτά. Οι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν σε αυτή τη διαδικασία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: βακτήρια, μύκητες και ακτινομύκητες. Οι ακτινομύκητες είναι ένα είδος μυκήτων-όπως τα βακτήρια, μικροσκοπικοί οργανισμοί που αποδομούν την οργανική ύλη.

Το πρώτο στάδιο της βιολογικής δραστηριότητας είναι η κατανάλωση των εύκολα διαθέσιμων σακχάρων από τα βακτήρια, που προκαλεί τη γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη διάσπαση της κυτταρίνης από τα βακτήρια και τους ακτινομύκητες. Στο τελευταίο στάδιο όπου υπάρχει πτώση της θερμοκρασίας, οι μύκητες διασπούν την πιο λιγνίνη.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές και εξοπλισμός για τη διαδικασία της κομποστοποίησης, η χρήση των οποίων εξαρτάται από το είδος του υλικού και τον απαιτούμενο χρόνο για τη διαδικασία. Η γενική πείρα υποδεικνύει ότι η παροχή οξυγόνου είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας και ως εκ τούτου ο σχεδιασμός του εξοπλισμού τείνει να επικεντρώνεται στην αποτελεσματική μεταφορά του σε όλο το υλικό. (Dubois et al. 2004)

- *Windrows (αναδευόμενα σειράδια)*

Η μέθοδος των αναδευόμενων σειραδιών είναι ένα σύστημα που απαιτεί ελάχιστο εξοπλισμό. Πρόκειται για έναν παραδοσιακό τρόπο κομποστοποίησης, όπου το υλικό τοποθετείται σε μακριές σωρούς ή σειρές (σειράδια), συνήθως ύψους 2-3m και πλάτους 3-4m.

Ο αερισμός των σειραδιών επιτυγχάνεται με ανάδευση του υλικού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οχήματα εμπρόσθιας ανύψωσης ή άλλου είδους μηχανήματα. Αν πρόκειται για διαφορετικών ειδών υλικά, θα πρέπει να προηγηθεί ανάδευση και στη συνέχεια να τοποθετηθούν σε σειράδια. Η διαδικασία της κομποστοποίησης είναι ταχύτερη στο εσωτερικό των σειραδιών όπου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη. Έτσι, με τη διαδικασία της ανάδευσης, όπου μεταφέρεται υλικό από το εσωτερικό των σειραδιών προς το εξωτερικό και αντίστροφα, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ομοιομορφία. Απαιτείται η πάροδος 10 μηνών για τη δημιουργία κομπόστ με αυτή τη διαδικασία. Στη συνέχεια το κομπόστ οδηγείται προς ξήρανση (curing) και αποθήκευση για ακόμα 40 ημέρες (Richard & Walker, 1990).

- *Aerated piles (αεριζόμενοι στατικοί σωροί/σειράδια)*

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα βελτιωμένων μηχανικών συστημάτων κομποστοποίησης, που αποσκοπούν στη βελτίωση του τρόπου αερισμού, έτσι ώστε να διατηρούνται βέλτιστες συνθήκες στο σύστημα κομποστοποίησης.

Οι αεριζόμενοι σωροί χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αέρα μέσα στη σωρό. Όταν η θερμοκρασία της σωρού υπερβαίνει το βέλτιστο, ένας θερμοστάτης ενεργοποιεί το σύστημα αερισμού (συνήθως ένα είδος ανεμιστήρα) παρέχοντας ταυτόχρονα και την απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου στη σωρό.

Επειδή δεν περιλαμβάνεται μηχανισμός ανάδευσης του υλικού, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για ομογενή υλικά, όπως η ιλύς. Όταν αυτά τα υλικά αναμειγνύονται με ένα ξηρό πορώδες υπόστρωμα, όπως κομμάτια ξύλου (ροκανίδια), σχηματίζουν ένα λεπτό υγρό φιλμ στο οποίο μπορεί να γίνει αποσύνθεση. (Richard & Walker, 1990)

- *Enclosed vessels – invessels (κλειστές δεξαμενές/κλειστά συστήματα)*

Σαν τεχνολογία κομποστοποίησης χρησιμοποιούνται επίσης οι κλειστές δεξαμενές. Η δεξαμενή ή το δοχείο μπορεί να είναι οτιδήποτε, από ένα σιλό μέχρι και ένα όρυγμα με συγκεκριμένη επένδυση. Μέσα σε αυτά τα συστήματα είναι δυνατό να συλλέγονται και να επεξεργάζονται οι οσμές από υλικά όπως η ιλύς και τα ΑΣΑ. Συνήθως χρησιμοποιείται μηχανικός αερισμός, όπως και στις αεριζόμενες σωρούς.

Διαφορετικά συστήματα τύπου σιλό είναι αυτά που βασίζονται στην βαρύτητα για την ανάδευση του υλικού μέσα στη δεξαμενή, τα οποία όμως προτιμώνται για την επεξεργασία μόνο ομογενών υλικών, όπως η ιλύς. Η αναδευόμενη κλίση είναι ένα ακόμα είδος κλειστής δεξαμενής. Εδώ το περιεχόμενο υλικό στη δεξαμενή αναδύεται φυσικά, συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα τόσο της μεθόδου των σειραδιών όσο και των αεριζόμενων σωρών. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι σε γενικές γραμμές ταχεία, μπορεί να διαρκέσει λίγες μέρες.

3.4.3 Τελική Διάθεση – Ταφή

Η μέθοδος της ταφής ως τρόπος διαχείρισης των στερεών αποβλήτων είναι από τις παλαιότερες μεθόδους και μέχρι πρόσφατα η πιο αποδεκτή. Στο παρελθόν, ο όρος “υγειονομική ταφή” αναφερόταν σε Χώρους Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΔΑ), στους οποίους τα εναποτιθέμενα απόβλητα επικαλύπτονταν στο τέλος κάθε ημέρας. Πλέον ο ίδιος όρος αφορά σε εγκαταστάσεις απόθεσης ΑΣΑ σχεδιασμένες έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Ανάγκη που γίνεται ακόμα πιο επιτακτική όταν αφορά σε ολοένα αυξανόμενα σε πληθυσμό αστικά κέντρα.

Μερικοί όροι που συχνά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα μέρη ενός ΧΔΑ παρουσιάζονται παρακάτω.

Ο όρος *κελί* χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον όγκο του υλικού που τοποθετείται σε ένα ΧΔΑ μια ορισμένη χρονική περίοδο, συνήθως μια μέρα. Ένα κελί περιλαμβάνει τα εναποτιθέμενα απόβλητα καθώς και το υλικό επικάλυψης που τα περιβάλλει. Η ημερήσια επικάλυψη αποτελείται από χώμα από τη γύρω περιοχή ή από άλλα υλικά επικάλυψης, όπως κομπόστ, άμμος χυτηρίου ή τεμαχισμένα ξηρά υπολείμματα. Διαχρονικά, η επικάλυψη σε καθημερινή βάση γινόταν για την αποφυγή τρωκτικών, εντόμων και άλλων φορέων ασθενειών από την είσοδο ή την έξοδο τους από το ΧΔΑ. Πλέον, η επικάλυψη χρησιμοποιείται πρωτίστως για την αποφυγή αυτανάφλεξης των αποβλήτων, τη μείωση των οσμών και τον έλεγχο των εισερχόμενων υδάτων κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

Ένα *επίπεδο (lift)* είναι ένα ολοκληρωμένο στρώμα από κελιά στην ενεργό περιοχή του ΧΔΑ. Τυπικά, οι ΧΔΑ περιλαμβάνουν σειρές από επίπεδα.

Μια *βεράντα (bench, terrace)* χρησιμοποιείται όταν το ύψος του ΧΔΑ πρόκειται να υπερβεί τα 15m έως περίπου τα 23m. Χρησιμοποιείται ουσιαστικά για να διασφαλίσει την ευστάθεια των πρανών, για την τοποθέτηση αποχετευτικών καναλιών για τα επιφανειακά νερά και για την τοποθέτηση αγωγών άντλησης αερίων από τον ΧΔΑ.

Η επένδυση στεγανοποίησης των ΧΔΑ αποτελείται από υλικά, φυσικά ή τεχνητά, που χρησιμοποιούνται για τη στεγανοποίηση του πυθμένα και των πλαϊνών του χώρου κάτω από το έδαφος. Συνήθως αποτελείται από διαδοχικά στρώματα πεπιεσμένου αργίλου ή/και γεωσυνθετικά υλικά σχεδιασμένα να αποτρέπουν τη διαρροή στραγγισμάτων και αερίων στη γύρω περιοχή. Το τελικό στρώμα επικάλυψης εφαρμόζεται πάνω από ολόκληρη την επιφάνεια του ΧΔΑ, μετά το πέρας όλων των εργασιών, αποτρέποντας όχι μόνο τη μόλυνση του περιβάλλοντος αλλά και την εισροή υδάτων στο χώρο.

Τα υγρά που συγκεντρώνονται στον πυθμένα των ΧΔΑ ονομάζονται *στραγγίσματα*. Γενικά, τα στραγγίσματα προέρχονται από τη διείδυση των κατακρημνίσεων, ανεξέλεγκτες απορροές και ύδατα άρδευσης του ΧΔΑ. Τα στραγγίσματα επίσης περιλαμβάνουν υγρά τα οποία περιέχονται στα απόβλητα. Περιλαμβάνουν μια πληθώρα χημικών ενώσεων που προέρχονται από τη διαλυτοποίηση (solubilization) των εναποτιθέμενων υλικών και από τα προϊόντα χημικών και βιοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα μέσα στον ΧΔΑ.

Ο κύριος όγκος των αερίων μέσα σε ένα ΧΔΑ αποτελείται από μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), που είναι τα βασικά προϊόντα της αποσύνθεσης σε αναερόβιες συνθήκες του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ μέσα σε ένα χώρο ταφής.

Ο *περιβαλλοντικός έλεγχος* περιλαμβάνει ενέργειες όπως η δειγματοληψία και η ανάλυση δειγμάτων νερού και αέρα, για τον έλεγχο κίνησης των στραγγισμάτων και των αέριων εκπομπών, αντίστοιχα, στην περιοχή του ΧΔΑ.

Ο όρος *παύση λειτουργίας του ΧΔΑ* περιγράφει όλα τα απαραίτητα στάδια που πρέπει να ακολουθηθούν μετά την πλήρωση του διαθέσιμου χώρου.

Ο όρος *μετέπειτα φροντίδα* αναφέρεται στις δράσεις εκείνες που αφορούν στην μακροπρόθεσμη συντήρηση ενός κλειστού ΧΔΑ, συνήθως 30-50 χρόνια μετά την παύση λειτουργίας του.

Ο όρος *αποκατάσταση* αναφέρεται σε όλες τα απαραίτητα μέτρα που πρέπει να ληφθούν στην περίπτωση που παρατηρηθούν διαρροές αέριων ή υγρών ρύπων στο περιβάλλον. (Tchobanoglous & Kreith, 2002)

Αναλόγως την τεχνολογία που χρησιμοποιούν, οι ΧΔΑ διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες.

- *ΧΑΔΑ-ανοιχτές χωματερές:*

Πρόκειται για χώρους όπου καταλήγουν απορρίμματα διαφόρων ειδών χωρίς να υπάρχει σχεδιασμός ως προς τη διαχείρισή τους, χωρίς μέτρα πρόληψης αέριων εκπομπών και στραγγισμάτων προς το περιβάλλον και χωρίς επικάλυψη των αποβλήτων. Οι χωματερές δεν θεωρούνται πλέον αποδεκτός τρόπος διαχείρισης αποβλήτων αλλά χαρακτηρίζεται ως η χειρίστη περίπτωση, αφού οι ΧΑΔΑ χρησιμοποιούνται ακόμα σε κάποιες περιπτώσεις. Τα στραγγίσματα από τα νερά της βροχής μεταφέρονται στο έδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα κάτω από τη χωματερή. Οι αέριες εκπομπές που δημιουργούνται από την αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων θεωρείται ότι απελευθερώνονται απευθείας στην ατμόσφαιρα. Οι

απώλειες σε άνθρακα είναι λόγω του διαλυμένου άνθρακα στα στραγγίσματα και του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα στις αέριες εκπομπές. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις στις αέριες εκπομπές μπορεί να συμβάλλουν και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, πχ οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs).

- *Συμβατική ταφή (ΧΥΤΑ):*

Οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (ΧΥΤΑ) είναι χώροι ταφής που συμπεριλαμβάνουν τεχνικά μέτρα συλλογής και διαχείρισης των στραγγισμάτων και των αέριων εκπομπών που παράγονται. Όσον αφορά τη διαχείριση των στραγγισμάτων, συνήθως πρόκειται για μεμβράνες στο κάτω μέρος και στα πλαϊνά του χώρου ταφής με σύστημα συλλογής και επεξεργασίας των στραγγισμάτων πριν τη διάθεσή τους στα επιφανειακά ύδατα. Όσον αφορά τη διαχείριση των αέριων εκπομπών, τα αντίστοιχα μέτρα περιλαμβάνουν σύστημα συλλογής των αερίων, καύση και πιθανή επικάλυψη του εδάφους για το μετριασμό των μη συλλεγόντων αερίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Αυτός ο τύπος ταφής αναφέρεται ως “συμβατικός” λόγω του γεγονότος ότι δεν λαμβάνονται μέτρα για την ενίσχυση της αποδόμησης των αποβλήτων (πχ ανακύκλωση των στραγγισμάτων, προσθήκη νερού, ενέσεις αέρα κα). Το περιεχόμενο οργανικό φορτίο είναι σημαντικό και η αποδόμηση μπορεί να διαρκέσει για μεγάλες περιόδους, από μερικά χρόνια έως δεκαετίες για τις περισσότερες βιοαποδομήσιμες ενώσεις έως και πάνω από έναν αιώνα για τα λιγότερο βιοαποδομήσιμα υλικά (αδρανή).

Η κατασκευή και λειτουργία των συμβατικών ΧΥΤΑ συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με τη χρήση υλικών (πχ μονωτικά υλικά), καυσίμων που χρησιμοποιούν τα μηχανήματα εκσκαφής, επικάλυψης και συμπίεσης των αποβλήτων, καθώς και η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται στους εσωτερικούς χώρους (πχ εγκαταστάσεις διαχείρισης, ο φωτισμός, η διαχείριση στραγγισμάτων και οι αντλίες αερίων). Ο μετριασμός των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται μέσω της καύσης των αερίων σε πυρσούς και μέσω της πιθανής οξειδωσης του μεθανίου στα ανώτερα στρώματα. Βασικός παράγοντας είναι το σύστημα συλλογής του αερίου. Η αποτελεσματικότητα αυτών των μέτρων ποικίλει λόγω των πολλών τεχνικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Επιπρόσθετα, η διάρκεια της ενεργούς διαχείρισης αερίων μπορεί να μην είναι αρκετή για τους χαμηλούς ρυθμούς παραγωγής τους.

- *ΧΥΤΑ με ενεργειακή ανάκτηση:*

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες όσον αφορά την υγειονομική ταφή, συμπεριλαμβανόμενων βιοαντιδραστήρων και ημι-αερόβιων χώρων ταφής. Επιπλέον των τεχνικών που εφαρμόζονται στους συμβατικούς ΧΥΤΑ, αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν δραστικά μέτρα για την ενίσχυση της διαδικασίας της βιοδιάσπασης, ώστε να γίνει ταχύτερη και πιο αποδοτική. Αυτό οδηγεί σε υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής αερίου στα πρώτα στάδια λειτουργίας του ΧΥΤΑ (πιο νωρίς απ' ότι στους συμβατικούς ΧΥΤΑ), γεγονός που κάνει πιο αποδοτική τη συλλογή και αξιοποίηση του αερίου π.χ. με την παραγωγή ηλεκτρισμού ή με τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ενέργειας.

Οι βιοαντιδραστήρες των ΧΥΤΑ ουσιαστικά ανακυκλοφορούν τα στραγγίσματα στη μάζα των αποβλήτων. Αυτό κρατά τα επίπεδα υγρασίας υψηλά και παρέχει συνεχή προμήθεια υγρασίας και θρεπτικών με αποτέλεσμα την ενίσχυση του αναερόβιου μικροβιακού περιβάλλοντος. Οι flushing βιοαντιδραστήρες ανακυκλώνουν τα στραγγίσματα μαζί με επιπρόσθετες ποσότητες νερού ώστε να ξεπλύνουν τα διαλυτά συστατικά των αποβλήτων. Αυτό συχνά συνδυάζεται με μέτρα πρόληψης της υπερβολικής περιεκτικότητας των στραγγισμάτων σε αμμωνία. Οι ημι-αερόβιοι χώροι ταφής βασίζονται σε μια υβριδική ακολουθία αερόβιας και αναερόβιας αποδόμησης. Η αναερόβια φάση προηγείται και διακόπτεται με ένεση αέρα όταν η απόδοση μεθανίου είναι πολύ χαμηλή για να δικαιολογήσει τη διαχείριση αέριων εκπομπών (συνήθως μετά από 5-10 χρόνια). Η φάση της αερόβιας αποδόμησης θα σταθεροποιήσει γρήγορα τα απόβλητα, σταματώντας, θεωρητικά τουλάχιστον, την παραγωγή μεθανίου.

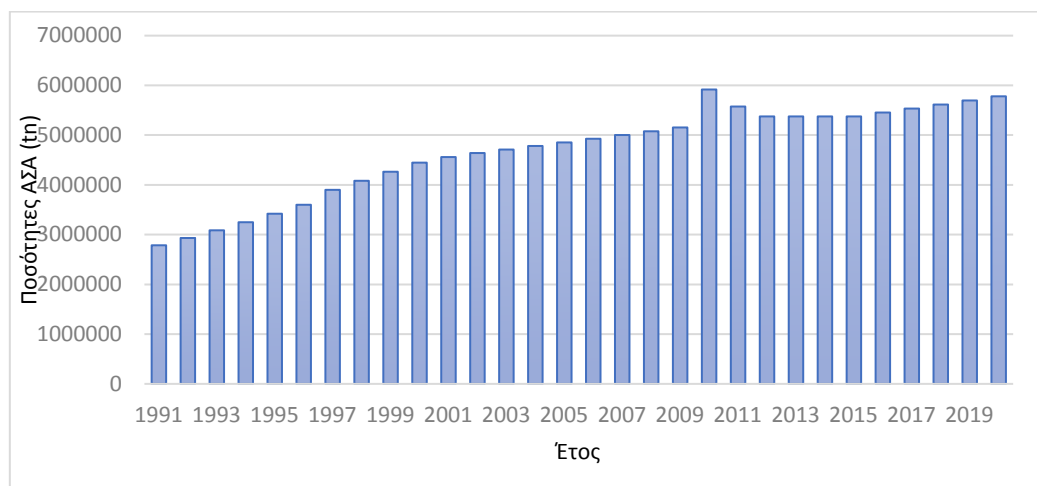
- *ΧΥΤΥ (για χαμηλό οργανικό φορτίο):*

Η ταφή των οργανικών αποβλήτων έχει μειωθεί ως ένα βαθμό λόγω της Οδηγίας της ΕΕ (1999). Μια πληθώρα καθιερωμένων τεχνικών είναι διαθέσιμες για τη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων, αλλά ακόμα σε πολλές χώρες η ταφή αποβλήτων με χαμηλό οργανικό φορτίο είναι αναπόφευκτη. Αντίστοιχα με τα ΧΥΤΑ, τα ΧΥΤΥ υιοθετούν τεχνικές για τη συλλογή και διαχείριση των παραγόμενων στραγγισμάτων. Η διαχείριση του αερίου όμως δεν είναι απλή, αφού η αποδόμηση αποβλήτων χαμηλού οργανικού φορτίου δεν παράγει ικανή ποσότητα μεθανίου (ουσιαστικά κάτω από $10-15\text{m}^3\text{CH}_4/\text{tn}$ συγκριτικά με $60-90\text{m}^3\text{CH}_4/\text{tn}$) οπότε δεν δικαιολογείται πάντα η επένδυση σε τεχνολογίες διαχείρισης αερίου. Η τεχνολογία που χρησιμοποιούν για το αέριο είναι καύση ή οξείδωση του μεθανίου στα ανώτερα στρώματα του εδάφους (Manfredi et al. 2009).

4 Υφιστάμενη κατάσταση παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα

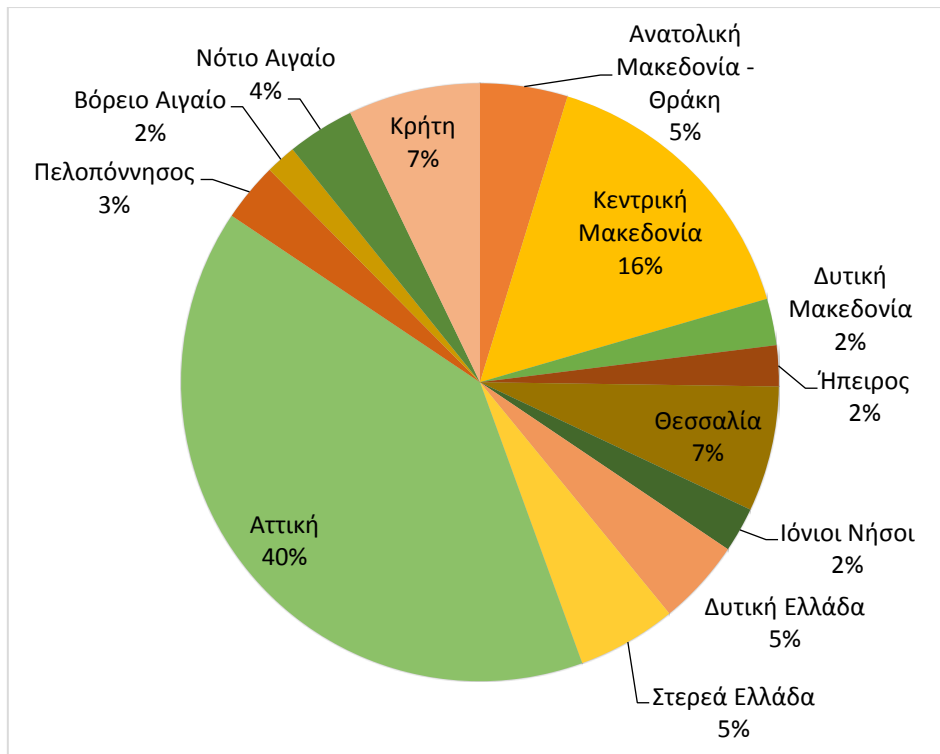
4.1 Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής αποβλήτων στην Ελλάδα

Από το έτος 1996 υπάρχει επίσημη καταγραφή των παραγόμενων αποβλήτων από την Eurostat. Πρόκειται για στοιχεία που υποχρεούνται να προσκομίζουν όλες οι χώρες της ΕΕ, για την καλύτερη παρακολούθηση των ποσοστών επίτευξης των εκάστοτε στόχων που τίθενται από την κοινοτική νομοθεσία. Από τα στοιχεία αυτά, παρατηρείται μια συνεχής αύξηση των παραγόμενων αστικών αποβλήτων έως το έτος 2011. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat καθώς και τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην μελέτη του ΕΣΔΑ, εμφανίζεται μια μείωση της παραγωγής για τα έτη 2011 και 2012. Ενώ εκτιμάται ότι η ποσότητα αυτή παραμένει σταθερή για τα τρία επόμενα χρόνια και θα αρχίσει να παρουσιάζει αυξητικές τάσεις από το έτος 2016 και μετά. Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά σε επίπεδο χώρας στο Διάγραμμα 4-1.



Διάγραμμα 4-1: Διαχρονική εξέλιξη παραγόμενων ποσοτήτων ΑΣΑ στην Ελλάδα, για την περίοδο 1991 – 2020, Πηγή: Eurostat (2017α), ΥΠΕΚΑ (2012) και ίδια επεξεργασία.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μέση ποσοστιαία συμβολή της κάθε Περιφέρειας στην συνολική παραγωγή αποβλήτων της χώρας, με βάση στοιχεία από τον ΕΣΔΑ καθώς και από τους Περιφερειακούς Σχεδιασμούς.



Διάγραμμα 4-2: Ποσοστιαία συμβολή των Περιφερειών Ελλάδος στην συνολική παραγωγή ΑΣΑ για τα έτη 2011 και 2012, Πηγή ΥΠΕΚΑ (2014)

4.2 Συστήματα συλλογής και μεταφοράς των ΑΣΑ

Η συλλογή και μεταφορά των ΑΣΑ πραγματοποιείται από τις υπηρεσίες καθαριότητας των Δήμων, των Συνδέσμων τους ή των αντίστοιχων Φορέων Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων (ΦοΔΣΑ). Επιπρόσθετα, για τη συλλογή και μεταφορά μη επικίνδυνων αποβλήτων, υπάρχουν 502 αδειοδοτημένες επιχειρήσεις στις οποίες δύνανται να αναθέτουν οι Δήμοι την εργασία αυτή. Η αποκομιδή των ΑΣΑ καλύπτει το σύνολο της χώρας, συμπεριλαμβανομένων μικρών νησιών και απομακρυσμένων περιοχών.

Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ) διαθέτουν τον εξοπλισμό (κάδους, απορριματοφόρα κ.α.) που χρειάζεται για την συλλογή και μεταφορά των ΑΣΑ, ενώ επωμίζονται τις λειτουργικές δαπάνες αυτών (μισθοδοσία, κίνηση και συντήρηση οχημάτων, καθαρισμό κάδων κ.α.). Σε επίπεδο χώρας, ο σχεδιασμός της προσωρινής αποθήκευσης των ΑΣΑ ακολουθεί συγκεκριμένα πρότυπα, καθορισμένα από εθνικές και κοινοτικές οδηγίες. Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται κυρίως σε μεγέθη κάδων και οχημάτων, συχνότητα αποκομιδής και πλύσης κάδων, είναι αποτέλεσμα τοπικών χωροταξικών και πολεοδομικών ιδιαιτεροτήτων, σε συνδυασμό με τις οργανωτικές δυνατότητες του εκάστοτε ΟΤΑ.

Όσον αφορά στα απόβλητα που οδηγούνται σε ταφή, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός Σταθμού Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων, για την προσωρινή αποθήκευση αποβλήτων των Δήμων εκείνων που είναι αρκετά απομακρυσμένοι από κάποιον ΧΥΤΑ. Στα ΣΜΑ αποθηκεύονται προσωρινά τα ΑΣΑ μέχρι τη μεταφορά τους στις εγκαταστάσεις διάθεσης. Στο σύνολο της χώρας λειτουργούν 55 τέτοιοι σταθμοί, ενώ σε πορεία υλοποίησης βρίσκονται 14 ακόμα.

Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων από τους κάδους όπου τοποθετούνται από τους κατοίκους μέχρι την τελική διάθεση. Στο παρόν σχεδιάγραμμα δεν γίνεται αναφορά σε ενδιάμεσες επεξεργασίες, καθώς αυτές αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.



Εικόνα 4-1: Σχηματική απεικόνιση της ακολουθούμενης πορείας των ΑΣΑ από τους κάδους όπου εναποτίθενται από τους κατοίκους έως την τελική τους διάθεση σε ΧΥΤΑ, Πηγή: ίδια επεξεργασία.

4.3 Ανάκτηση Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΑΥ)

Στα ΑΣΑ περιέχονται υλικά όπως χαρτί, αλουμίνιο, πλαστικό, μέταλλα και ξύλο, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν είτε με την επαναχρησιμοποίησή τους ή με την ανακύκλωσή τους σε νέες εφαρμογές, οδηγώντας έτσι στην εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας.

Με το νόμο 2939/2001 για τις συσκευασίες και την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων, εισάγεται στην πράξη η «διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού» με υποχρεωτική συμμετοχή των παραγωγών/διαχειριστών των σχετικών προϊόντων σε «Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης». Τα Συστήματα αυτά έχουν την ευθύνη της οργάνωσης των εργασιών συλλογής, μετά από διαλογή στην πηγή, μεταφοράς, μεταφόρτωσης, προσωρινής αποθήκευσης και αξιοποίησης των εν λόγω αποβλήτων. Η έγκριση λειτουργίας καθώς και η εποπτεία των ΣΕΔ γίνεται από τον Εθνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ). Ο ΕΟΑΝ είναι ο αρμόδιος φορέας του Υπουργείου Παραγωγικής Ανασυγκρότησης, Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΑΠΕΝ, πρώην ΥΠΕΚΑ) για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή της πολιτικής για την ανακύκλωση στην Ελλάδα.

Όσον αφορά την ανακύκλωση ρευμάτων των ΑΣΑ, που αναλύονται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, και ειδικότερα των αποβλήτων συσκευασίας των ΑΣΑ λειτουργούν 3 ΣΕΔ πανελλαδικής εμβέλειας το «ΣΣΕΔ-ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ» της ΕΕΑΑ, το «ΑΝΤΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ» και το ατομικό ΣΕΔ «Α.Β. ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ».

Το Ατομικό ΣΕΔ της ΑΒ Βασιλόπουλος ΑΕ εφαρμόζει την πρακτική των Κέντρων Ανταποδοτικής Ανακύκλωσης. Χρησιμοποιεί αυτόματα μηχανήματα διαλογής και χωριστής

αποθήκευσης των συσκευασιών ανάλογα με το υλικό τους, παρέχοντας παράλληλα ανταποδοτικά κίνητρα στους καταναλωτές. Τα Κέντρα αυτά τοποθετούνται σε χώρους των καταστημάτων της εταιρίας (ΕΟΑΝ, 2017).



Εικόνα 4-2: Κέντρο ανταποδοτικής ανακύκλωσης του ατομικού ΣΕΔ ΑΒ Βασιλόπουλος ΑΕ

Το Συλλογικό ΣΕΔ Ανταποδοτικής Ανακύκλωσης χρησιμοποιεί επίσης Κέντρα Ανταποδοτικής Ανακύκλωσης για τη συλλογή των συσκευασιών. Τα Κέντρα αυτά τοποθετούνται σε συνεργασία με τους συμμετέχοντες ΟΤΑ σε σημεία των Δήμων και το μέγεθός τους εξαρτάται από τον διαθέσιμο χώρο (ΕΟΑΝ, 2017).



Εικόνα 4-3: Κέντρο Ανταποδοτικής Ανακύκλωσης του ΣΕΔ «Ανταποδοτική Ανακύκλωση»

Η δράση του ΣΣΕΔ-Ανακύκλωση της ΕΕΑΑ ΑΕ καλύπτει τα οικιακά – δημοτικά απόβλητα συσκευασιών. Σε συνεργασία με τους ΟΤΑ, οργανώνεται το δίκτυο των μπλε κάδων όπου συλλέγονται ανάμεικτα τα απόβλητα συσκευασιών και στη συνέχεια οδηγούνται στα ΚΔΑΥ. Το ΣΣΕΔ είναι υπεύθυνο επίσης για την λειτουργία των ΚΔΑΥ, όπου τα ανάμεικτα απόβλητα συσκευασιών διαχωρίζονται σε επιμέρους ρεύματα είτε χειρωνακτικά ή με μηχανικά μέσα και τα ρεύματα που προκύπτουν οδηγούνται στη συνέχεια στις κατάλληλες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης. Το ποσοστό ανάκτησης μέσω αυτής της μεθόδου φτάνει το 70-80% ενώ το υπόλειμμα οδηγείται προς διάθεση σε ΧΥΤΑ (ΕΟΑΝ, 2017).

Για τη νησιωτική χώρα, το ΣΣΕΔ έχει δημιουργήσει μια κατηγοριοποίηση με πληθυσμιακά κριτήρια ώστε να γίνει αποτελεσματικότερος σχεδιασμός. Έτσι, ανάλογα την κατηγορία που ανήκει το κάθε νησί εφαρμόζεται διαχωρισμός σε 2 ή 3 ρεύματα και μεταφέρονται με ευθύνη του Συστήματος ή του Δήμου – με οικονομική στήριξη από το ΣΣΕΔ – στην ηπειρωτική χώρα για περαιτέρω επεξεργασία. Ωστόσο, σε μεγάλα νησιά δημιουργούνται, με ευθύνη του ΣΕΔ, ΚΔΑΥ κατάλληλης δυναμικότητας.



Εικόνα 4-4: Μπλε κάδος συλλογής ανάμεικτων συσκευασιών και μπλε κώδωνας συλλογής γυάλινων συσκευασιών της ΕΕΑΑ ΑΕ.

Υπό την εποπτεία ή σε συνεργασία με το ΣΣΕΔ – Ανακύκλωση λειτουργούν 32 ΚΔΑΥ πανελλαδικά για το έτος 2015 (ΕΕΑΑ, 2015). Στο παράρτημα παρατίθεται αναλυτικός πίνακας με τα ΚΔΑΥ και τις περιοχές που αυτά εξυπηρετούν.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιούνται τα στοιχεία και οι ποσότητες ανακτήσιμων υλικών που προκύπτουν μόνο από το ΣΣΕΔ – Ανακύκλωση της ΕΕΑΑ ΑΕ, καθώς δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για τα άλλα δύο Συστήματα. Παράλληλα, το ΣΣΕΔ της ΕΕΑΑ έχει συνάψει σύμβαση με την πλειονότητα των Δήμων και θεωρείται αντιπροσωπευτική για τη διαχείριση συνολικά των ανακυκλώσιμων υλικών.

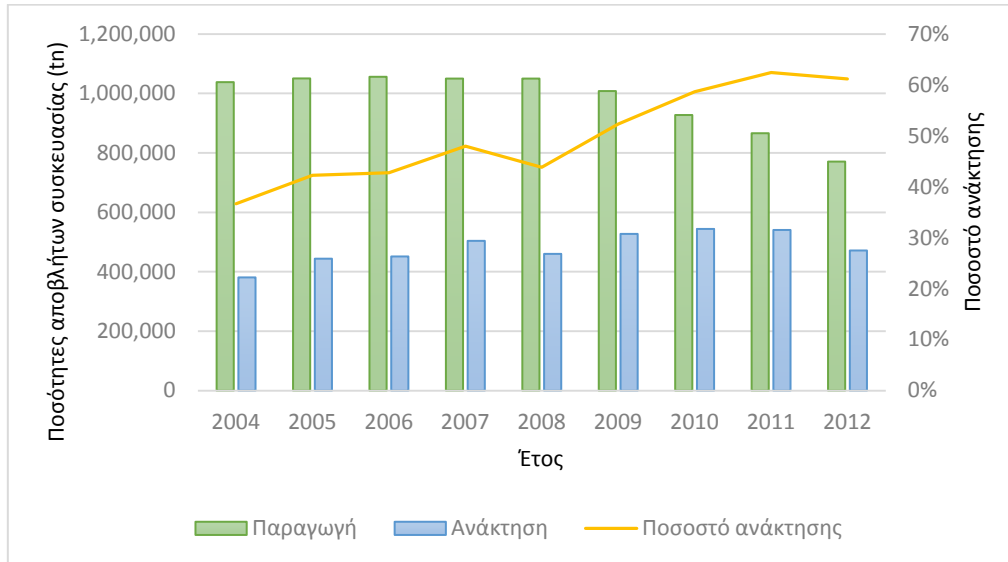
Στα τέλη του έτους 2014, το 87% του πληθυσμού της χώρας εξυπηρετείται για χωριστή συλλογή ΑΥ από το δίκτυο μπλε κάδων και αυτόνομη αποκομιδή (200 Δήμοι). Χωριστή συλλογή σε 4 επιμέρους ρεύματα ΑΥ πραγματοποιείται σε 15 Δήμους της χώρας, εξυπηρετώντας 350 χιλιάδες μόνιμους κατοίκους (3,2% του πληθυσμού).

Για κάθε ρεύμα αποβλήτων τίθενται ποσοτικοί στόχοι για τη χωριστή συλλογή και ανάκτηση, από την εθνική νομοθεσία σε εναρμόνιση με τις κοινοτικές οδηγίες. Οι στόχοι αυτοί εισάγονται από τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Αποβλήτων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι στόχοι που τέθηκαν κατά την τελευταία αναθεώρηση του ΕΣΔΑ (2015).

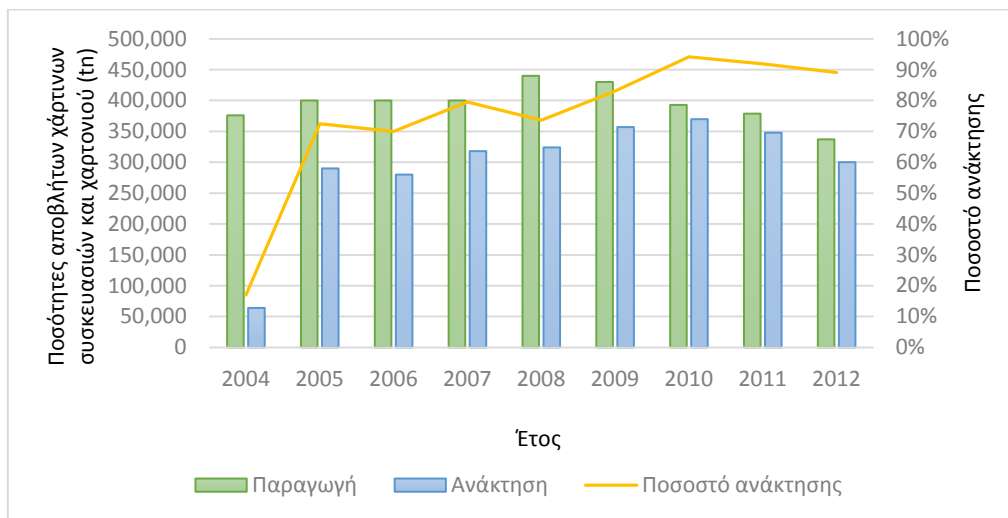
Πίνακας 4-1: Στόχοι ανάκτησης ανά απόβλητο υλικό συσκευασίας. Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2015

Έτος εισαγωγής στόχου	2011
Υλικά συσκευασίας	55-80%
Χαρτί	60%
Γυαλί	60%

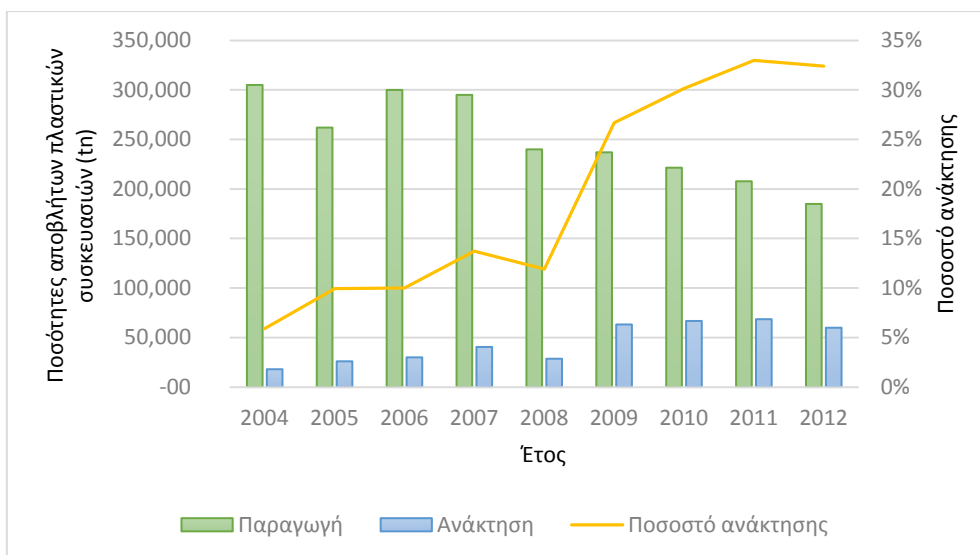
Μέταλλα	50%
Πλαστικά	22,5%
Ξύλο	15%



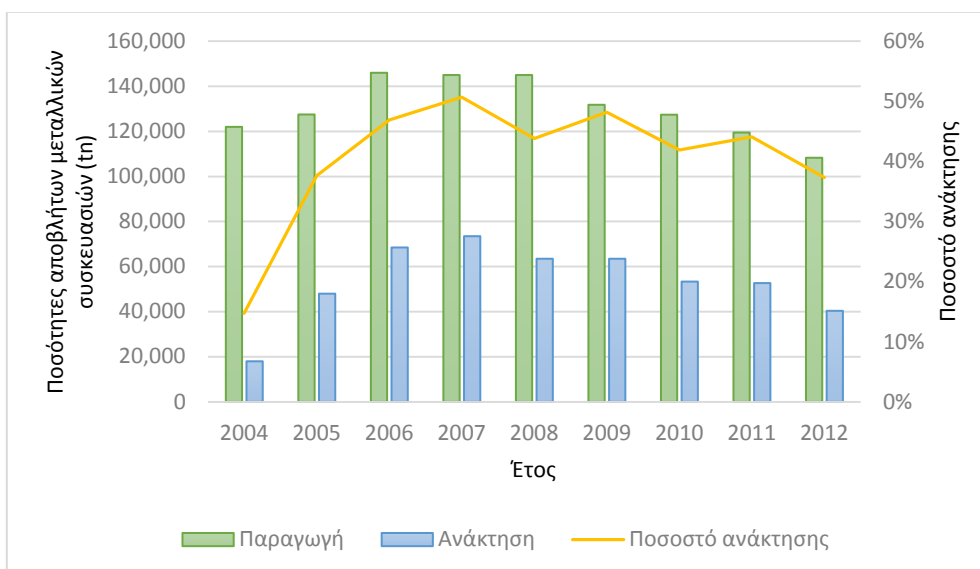
Διάγραμμα 4-3: : Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης συσκευασιών (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012. Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017



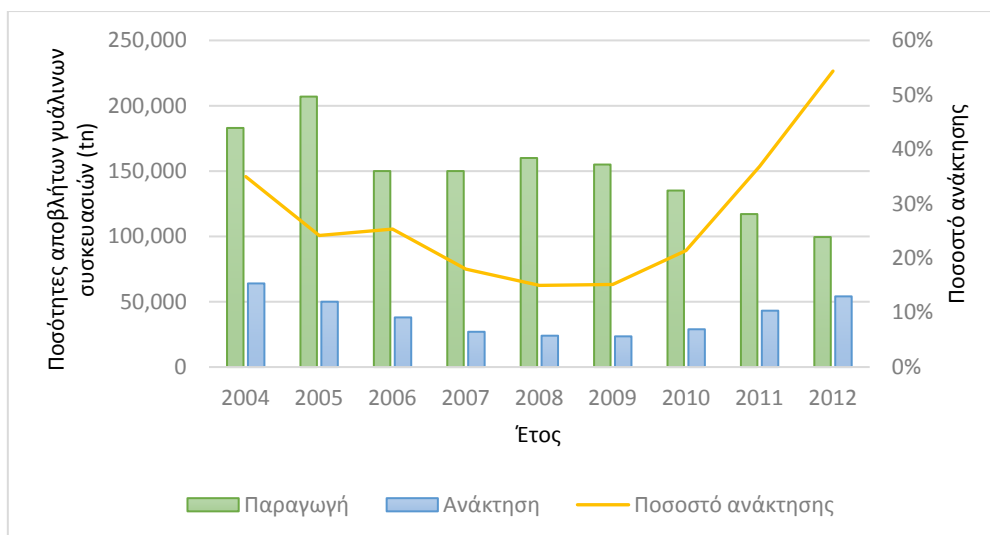
Διάγραμμα 4-4: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης χάρτινων συσκευασιών και χαρτονιού (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012. Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017



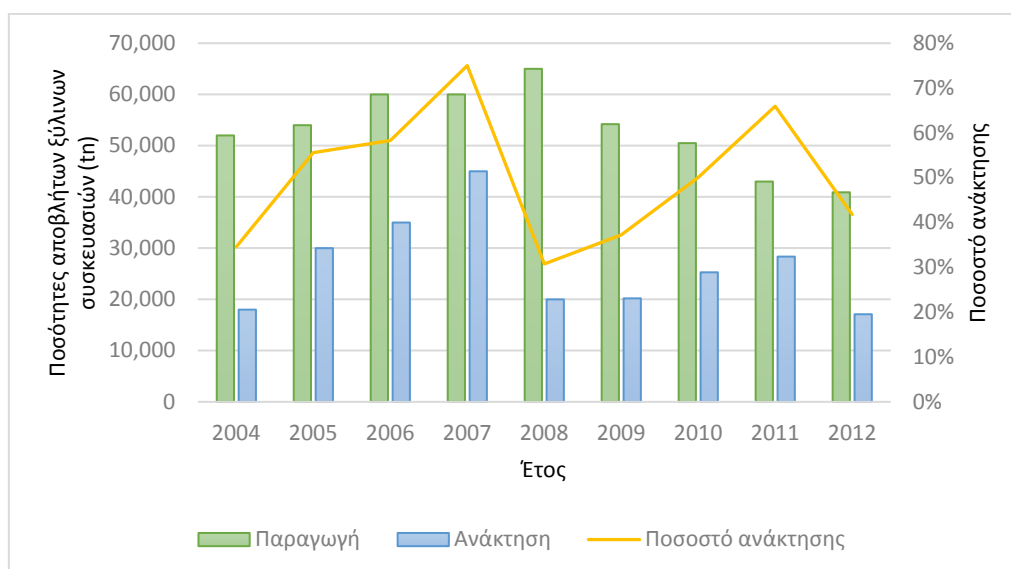
Διάγραμμα 4-5: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης συσκευασιών πλαστικού (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012. Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017



Διάγραμμα 4-6: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης μεταλλικών συσκευασιών (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012. Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017



Διάγραμμα 4-7: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης γυάλινων συσκευασιών (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012. Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017



Διάγραμμα 4-8: Ποσότητες παραγωγής και ανάκτησης συσκευασιών ξύλου (Πρωτεύων άξονας) και Ποσοστά ανάκτησης (Δευτερεύων άξονας) για την περίοδο 2004 – 2012. Πηγή: ΕΟΑΝ, 2017

4.4 Ανάκτηση Οργανικών

Σημαντικό μέρος των Αστικών Στερεών Αποβλήτων αποτελούν τα οργανικά απόβλητα, από τα οποία μπορούν να προκύψουν νέα προϊόντα, κάτω από τις κατάλληλες επεξεργασίες, ή να σταθεροποιηθούν για την αποφυγή αέριων εκπομπών πριν οδηγηθούν σε τελική διάθεση, με την παράλληλη δέσμευση άνθρακα.

Για το έτος 2011, σε επίπεδο χώρας λειτουργούσαν 3 Εγκαταστάσεις Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) στην περιοχή των Άνω Λιοσίων, στα Χανιά και στην Κεφαλονιά. Ενώ παράλληλα, λειτουργούσε η κινητή μονάδα κομποστοποίησης του Δήμου Ελευσίνας καθώς και η μονάδα βιοξήρανσης στο Ηράκλειο Κρήτης. Εκτιμάται ότι η συνολική εκτροπή σύμμεικτων ΑΣΑ προς τις μονάδες αυτές ανέρχεται στο 4,7% της συνολικής παραγωγής ΑΣΑ. Στις διεργασίες ανάκτησης οργανικών από τα ΑΣΑ συμπεριλαμβάνονται, επίσης, η οικιακή κομποστοποίηση μέσω των αντίστοιχων κάδων καθώς και η εκτροπή οργανικού κλάσματος αγροτικών περιοχών σε επίπεδο νοικοκυριού. Ωστόσο, η ποσότητα οργανικών που αφορά τις αγροτικές περιοχές όπου σε επίπεδο νοικοκυριού χρησιμοποιούν τα οργανικά απόβλητα κυρίως ως ζωοτροφές, οπότε οι ποσότητες αυτές προσμετρώνται στην ανακύκλωση αλλά δεν υπόκεινται σε κομποστοποίηση. (ΥΠΕΚΑ, 2013)

Οι ποσότητες οργανικών αποβλήτων που ανακτήθηκαν, σύμφωνα με το Τμήμα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων του ΥΠΕΚΑ, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-2: Ποσότητες ανάκτησης οργανικών αποβλήτων για τα έτη 2011. Πηγή: ΥΠΕΚΑ (2014), ΕΠΠΕΡΑΑ (2012)

Εγκαταστάσεις ΕΜΑΚ	Ποσότητες (tn)	Ποσοστό συνεισφοράς (%)
1. Άνω Λιόσια – Αττική	30.074	18,3%
2. ΕΛΕΥΣΙΝΑ – Δυτική Αττική	131	0,1%
3. Χανιά	9.624	5,9%
4. Ηράκλειο	23.614	14,4%
5. Κεφαλονιά	4.696	2,9%
Ανάκτηση σε επίπεδο νοικοκυριού		
1. Οικιακή κομποστοποίηση	14.757*	9%
2. Εκτροπή οργανικού κλάσματος αγροτικών περιοχών	81.144	49,5%

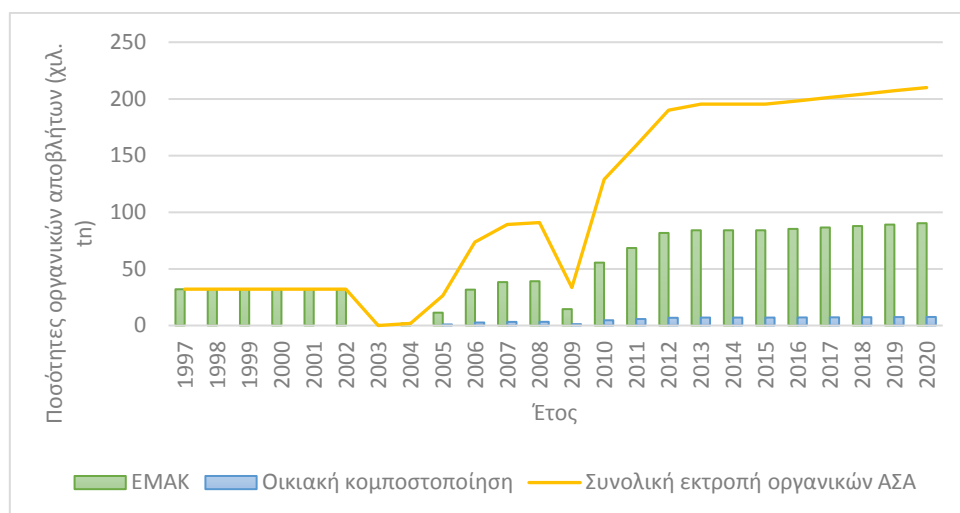
Σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat, η εκτροπή των οργανικών αποβλήτων ισούται με το 4% της συνολικής παραγωγής ΑΣΑ στην Ελλάδα. Με βάση αυτή την παραδοχή έγινε η εκτίμηση των ποσοτήτων που εκτράπηκαν για κομποστοποίηση για την περίοδο 2013 – 2020. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία για το έτος 2011, η εκτροπή προς μονάδες επεξεργασίας (ΕΜΑΚ) ισούται με το 43% της συνολικής εκτροπής ενώ η οικιακή κομποστοποίηση με το 11%, για τα έτη που υπάρχουν στοιχεία ότι υφίσταται, δηλαδή μετά το 2004 (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012). Από το 2004 και πριν, θεωρείται ότι όλη η ποσότητα που εκτρέπεται οδηγείται σε ΕΜΑΚ προς επεξεργασία. Η διαχρονική εξέλιξη εκτροπής ποσοτήτων οργανικών αποβλήτων για κομποστοποίηση καταγράφεται από 1997 και φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-3: Διαχρονική εξέλιξη εκτροπής οργανικών αποβλήτων προς κομποστοποίηση, για την περίοδο 1997 – 2015.

Έτος	Συνολική εκτροπή (χιλ tn)	Εκτροπή προς ΕΜΑΚ (χιλ tn)	Εκτροπή προς οικιακή κομποστοποίηση (χιλ tn)
1997	32	32	0
1998	32	32	0
1999	32	32	0
2000	32	32	0
2001	32	32	0
2002	32	32	0

2003	0	0	0
2004	2	2	0
2005	26	11	2
2006	74	32	5
2007	89	38	6
2008	91	39	6
2009	34	14	2
2010	129	56	8
2011	159	68	10
2012	190	82	12
2013	195	84	12
2014	195	84	12
2015	195	84	12
2016	198	85	13
2017	201	87	13
2018	204	88	13
2019	207	89	13
2020	210	90	13

Ενώ, σε επίπεδο χώρας, η διαχρονική εξέλιξη διαχείρισης των οργανικών και βιοαποδομησίμων αποβλήτων για την χρονική περίοδο 1997-2011 καθώς και η εκτιμώμενη εξέλιξή τους για τη χρονική περίοδο 2012 – 2020, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4-1.



Διάγραμμα 4-9: Ποσότητες οργανικών αποβλήτων που εκτράπηκαν από την ταφή, σε επίπεδο χώρας, για την περίοδο 1997-2020.

4.5 Τελική Διάθεση – Ταφή

Η ασφαλής τελική διάθεση των ΑΣΑ, σε επίπεδο χώρας, αφορά αποκλειστικά την ταφή τους σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής, καλύπτοντας το 94% του μόνιμου πληθυσμού της χώρας το έτος 2011 σε 74 ΧΥΤΑ.

Σύμφωνα με στοιχεία που παραχωρήθηκαν από το ΥΠΕΚΑ, το έτος 2013, σε 66 ΧΥΤΑ πραγματοποιείται συμπίεση των αποβλήτων πριν την ταφή τους, σε 69 γίνεται επικάλυψη των αποβλήτων με εδαφικό υλικό σε καθημερινή βάση, σε 22 πραγματοποιείται συλλογή του βιοαερίου, σε 2 γίνεται ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου με παραγωγή ενέργειας συνολικά 4735MW ενώ καύση του βιοαερίου πραγματοποιείται σε 15 ΧΥΤΑ. Ενώ, μία τέτοια μονάδα λειτουργεί αντλώντας βιοαέριο από ΧΑΔΑ και ακόμα 2 μονάδες είναι κατασκευασμένες αλλά δεν λειτουργούν (Κωνσταντινίδης, 2012). Στοιχεία για την διαχρονική εξέλιξη διαχείρισης του βιοαερίου συγκεντρώθηκαν από την ετήσια έκθεση του Υπουργείου Περιβάλλοντος προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρακολούθησης των αέριων εκπομπών, σύμφωνα με την διεθνή Σύμβαση.

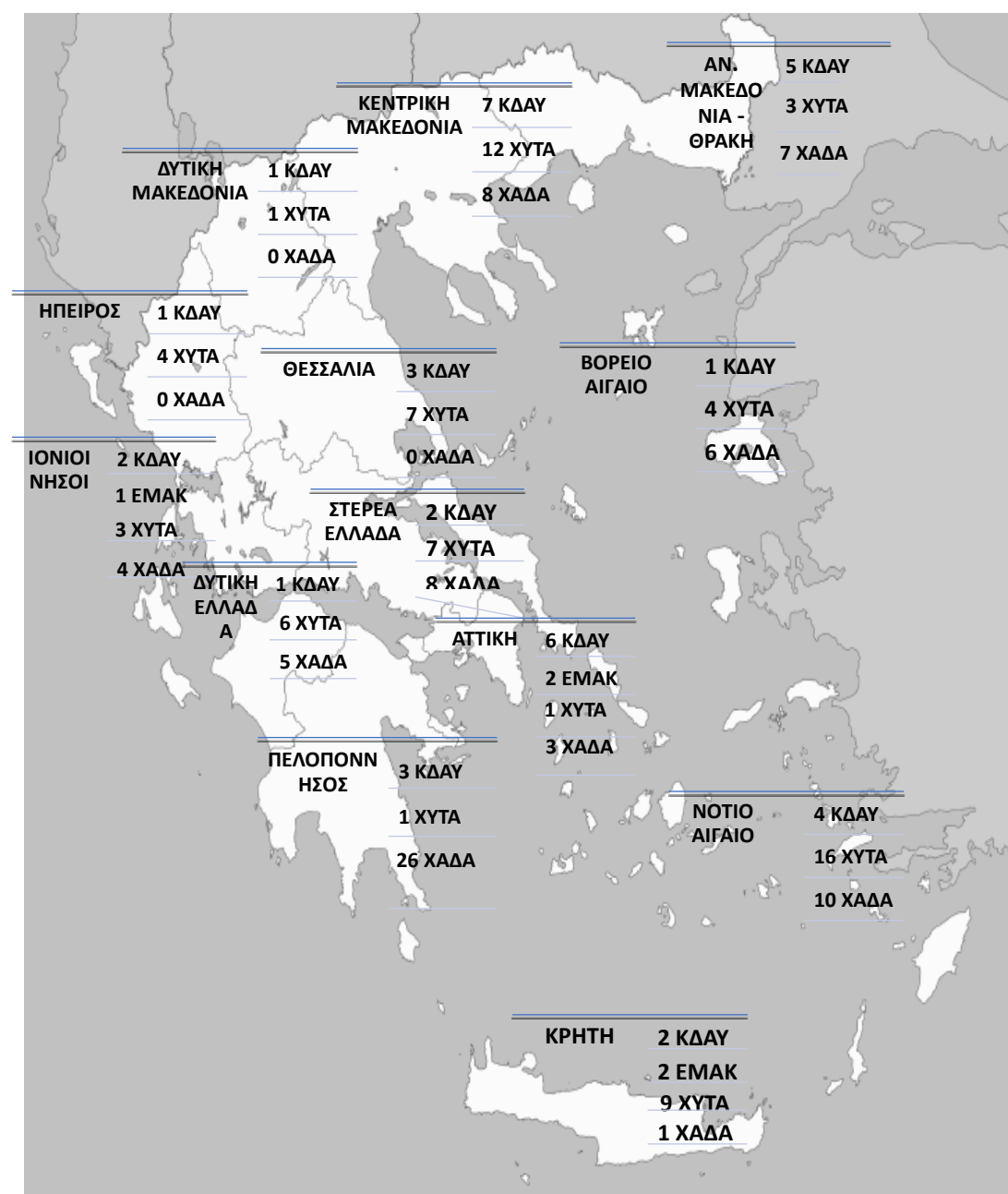
Πίνακας 4-4: Ετήσια καύση βιοαερίου από ΧΥΤΑ, για την περίοδο 1990-2013. Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2015

έτος	Καύση βιοαερίου σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη
1990	0.0
1991	0.0
1992	0.0
1993	0.0
1994	0.0
1995	0.0
1996	0.0
1997	0.0
1998	0.08
1999	0.32
2000	0.0
2001	23.77
2002	23.61
2003	20.04
2004	23.06
2005	19.64
2006	19.23
2007	24.58
2008	23.51
2009	38.43
2010	33.63
2011	45.99
2012	57.66
2013	57.66

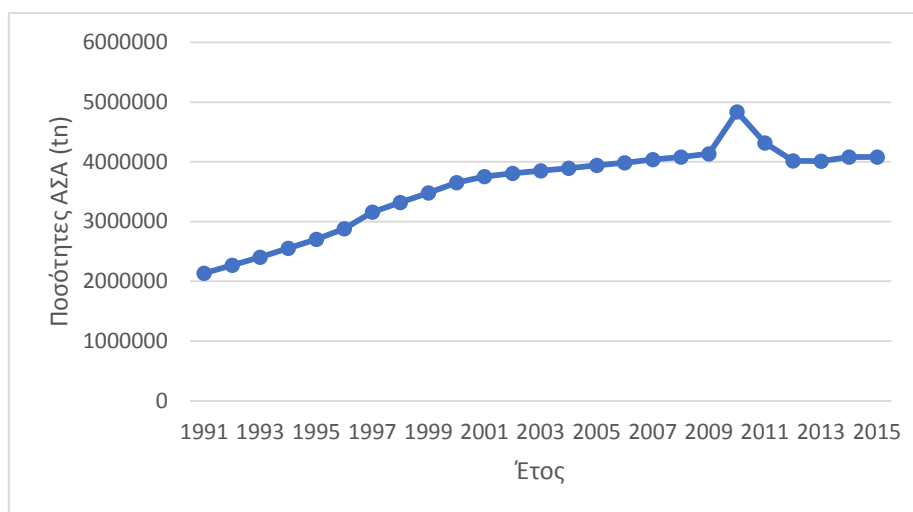
Για την ανάκτηση βιοαερίου δεν γίνεται περαιτέρω ανάλυση και υπολογισμοί, καθώς δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας των εγκαταστάσεων αυτών.

Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, απαρέγκλιτο στόχο αποτελεί η παύση λειτουργίας και η περιβαλλοντική αποκατάσταση όλων των χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων καθώς και η δημιουργία προϋποθέσεων για τη φυσική επανένταξη των χώρων αυτών στο γειτονικό τους περιβάλλον. (ΥΠΕΚΑ, ε)

Σύμφωνα με την παραπάνω πηγή, Δυτική και Κεντρική Μακεδονία, Ήπειρος και Θεσσαλία έχουν εξαλείψει οριστικά το φαινόμενο της ανεξέλεγκτης διάθεσης, ενώ στην Περιφέρεια της Κρήτης λειτουργεί ένας ΧΑΔΑ στην Γαύδο που εξυπηρετεί 98 κατοίκους και έχουν δρομολογηθεί οι διαδικασίες παύσης της λειτουργίας του και αποκατάστασής του. Από τους συνολικά 69 ενεργούς ΧΑΔΑ, το 39% αυτών βρίσκεται σε νησιωτικές περιοχές (Νότιο και Βόρειο Αιγαίο, Ιόνιοι Νήσοι, Αττική και Κρήτη) εξυπηρετώντας περίπου 60.000 κατοίκους. Για την πλειοψηφία των ΧΑΔΑ έχει ήδη εγκριθεί η χρηματοδότηση, έχουν ληφθεί οι απαραίτητες διοικητικές αποφάσεις και έχουν δρομολογηθεί οι διαδικασίες παύσης λειτουργίας και αποκατάστασης τους. Από την διαδικασία αυτή εξαιρούνται 4 ΧΑΔΑ. Τέλος, έχει ήδη γίνει παύση λειτουργίας και αναμένεται η αποκατάστασή τους (ΥΠΕΚΑ, 2013).



Εικόνα 4-5: Εγκαταστάσεις διαχείρισης και διάθεσης ΑΣΑ ανά περιφέρεια, για το έτος 2011.



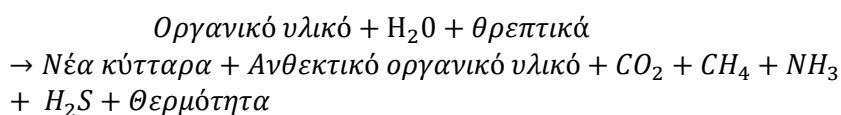
Διάγραμμα 4-10: Διαχρονική εξέλιξη ταφής αποβλήτων σε επίπεδο χώρας, για την περίοδο 1991 – 2015.

5 Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαχείριση στερεών αποβλήτων

5.1 Εκπομπές ΑΦΘ από τους Χώρους Διάθεσης Αποβλήτων.

5.1.1 Θεωρητική προσέγγιση παραγωγής εκπομπών ΑΦΘ

Ένας ΧΥΤΑ λειτουργεί όπως ένας βιοχημικός αντιδραστήρας, με βασικό ρεύμα εισόδου τα στερεά απόβλητα και νερό και ρεύμα εξόδου τα στραγγίσματα και τις αέριες εκπομπές. Τα απόβλητα που εναποτίθενται σε ΧΥΤΑ, όταν δεν προηγείται επεξεργασία αυτών, περιέχουν οργανικό βιοαποδομήσιμο κλάσμα και άλλα ανόργανα συστατικά. Η παραγωγή των αερίων μέσα σε ένα ΧΥΤΑ συντελείται σε 5 διαδοχικές φάσεις και μπορεί να περιγραφεί με την γενική αντίδραση:



Η 1^η φάση είναι η «αρχική προσαρμογή», κατά την οποία ξεκινά η βιοαποδόμηση των οργανικών συστατικών των ΑΣΑ σύντομα μετά την ταφή τους. Σε αυτή τη φάση, επικρατούν αερόβιες συνθήκες λόγω παγιδευμένων ποσοτήτων αέρα στα απόβλητα. Βασική πηγή τόσο των αερόβιων όσο και των αναερόβιων μικροοργανισμών, που ευθύνονται για την αποδόμηση των οργανικών, είναι το υλικό επικάλυψης που χρησιμοποιείται για την καθημερινή και τελική επικάλυψη. Επίσης πηγή μπορεί να αποτελέσει και η σταθεροποιημένη ιλύς που διατίθεται σε κάποιους ΧΔΑ καθώς και η ανακύκλωση των στραγγισμάτων που είναι επίσης προαιρετική.

Η 2^η φάση είναι η «μεταβατική φάση», όπου έχει καταναλωθεί το οξυγόνο και αναπτύσσονται προοδευτικά αναερόβιες συνθήκες. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα νιτρικά και θειικά, που μπορούν να λειτουργήσουν ως δέκτες ηλεκτρονίων στις αντιδράσεις βιολογικής μετατροπής, συχνά ανάγονται σε αέριο άζωτο και υδρόθειο. Η μέτρηση του δυναμικού οξειδοαναγωγής μπορεί να υποδείξει την αρχή αναερόβιων συνθηκών. Όσο το δυναμικό οξειδοαναγωγής αυξάνεται, οι μικροοργανισμοί που ουσιαστικά παράγουν μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, ξεκινούν μια διαδικασία 3 σταδίων κατά την οποία η πολύπλοκη οργανική ύλη μετατρέπεται σε οργανικά οξέα και άλλα ενδιάμεσα προϊόντα, όπως περιγράφεται παρακάτω. Στη 2^η φάση, το pH των στραγγισμάτων μειώνεται σταδιακά λόγω της παρουσίας των οργανικών οξέων και την απορρόφηση από τα στραγγίσματα του CO₂ που παράγεται.

Η 3^η φάση είναι η «όξινη φάση», όπου η βακτηριακή δραστηριότητα επιταχύνεται με την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων οργανικών οξέων και λιγότερων ποσοτήτων αέριου υδρογόνου. Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας αυτής περιλαμβάνει την ενζυμική μετατροπή (υδρόλυση) συστατικών και ενώσεων μεγαλύτερου μοριακού βάρους (όπως λιπίδια, οργανικά πολυμερή και πρωτεΐνες) σε ενώσεις κατάλληλες για να αξιοποιηθούν από τους μικροοργανισμούς ως πηγή ενέργειας και στοιχειακού άνθρακα. Το δεύτερο στάδιο της διαδικασίας (οξεογένεση) περιλαμβάνει τη διάσπαση των ενώσεων που προκύπτουν από το πρώτο στάδιο σε χαμηλότερου μοριακού βάρους ενώσεις, όπως το οξικό οξύ. Το CO₂ είναι το βασικό αέριο προϊόν της 3^{ης} φάσης, ενώ παράγονται και μικρότερες ποσότητες αέριου υδρογόνου. Οι μικροοργανισμοί που εμπλέκονται στις παραπάνω μετατροπές είναι

προαιρετικά ή υποχρεωτικά αναερόβιοι και αναφέρονται συνήθως στη βιβλιογραφία ως «μετατροπείς οξέων» ή «οξεογενείς».

Λόγω των οξέων που παράγονται στην 3^η φάση, το pH των στραγγισμάτων θα μειωθεί σημαντικά. Ενώ παράλληλα θα αυξηθούν οι συγκεντρώσεις του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅), του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) και η αγωγιμότητα των στραγγισμάτων, λόγω της διάλυσης οργανικών οξέων μέσα στα στραγγίσματα. Επίσης, λόγω του χαμηλού pH, στην 3^η φάση διαλυτοποιείται πλήθος οργανικών συστατικών και θρεπτικά συστατικά παρασύρονται στα στραγγίσματα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ανακύκλωση των στραγγισμάτων, τα θρεπτικά αυτά συστατικά θα χαθούν από το σύστημα.

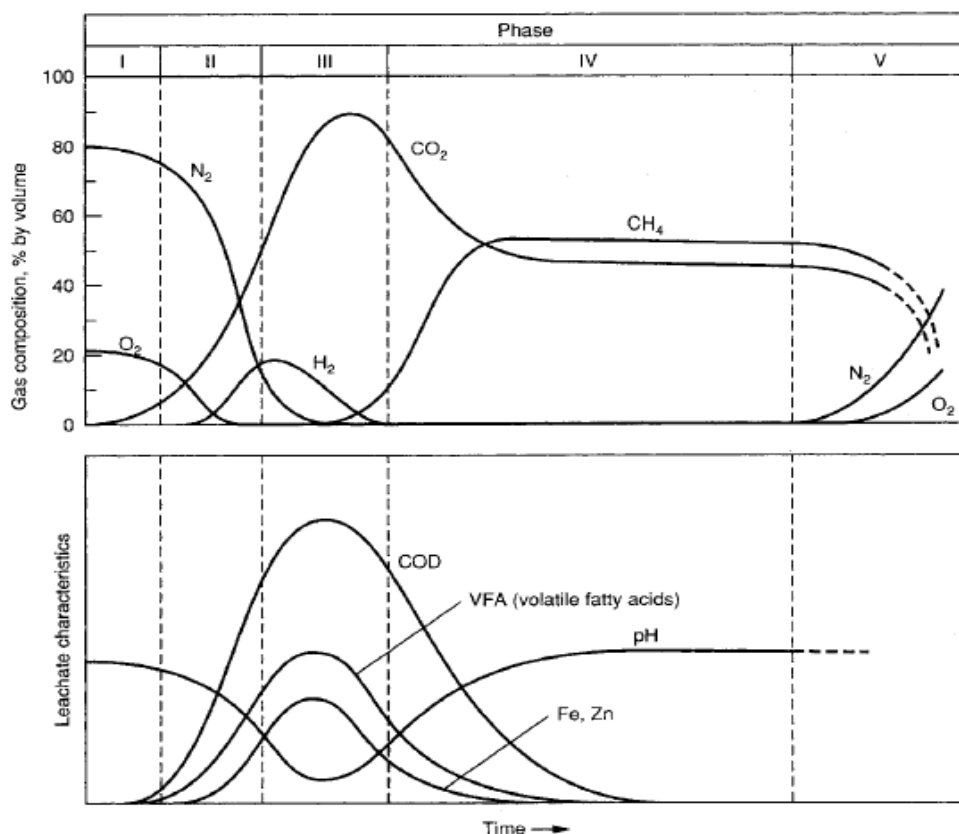
Η 4^η φάση είναι η φάση ζύμωσης του μεθανίου. Εδώ, μια δεύτερη ομάδα μικροοργανισμών επικρατεί, που ευθύνεται για την μετατροπή του οξικού οξέος και του υδρογόνου που παράχθηκαν στην προηγούμενη φάση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μικροοργανισμοί αυτοί αρχίζουν να αναπτύσσονται στα τελευταία στάδια της 3^{ης} φάσης, είναι αυστηρώς αναερόβιοι και αποκαλούνται μεθανογόνοι. Σε αυτή τη φάση η ζύμωση για την παραγωγή μεθανίου και η όξινη ζύμωση εξελίσσονται ταυτόχρονα, ωστόσο ο ρυθμός της όξινης ζύμωσης έχει μειωθεί αισθητά.

Λόγω της ζύμωσης των οξέων και του αερίου υδρογόνου της 3^{ης} φάσης, σε CH₄ και CO₂ στην 4^η φάση, το pH μέσα στον ΧΔΑ θα αυξηθεί σε πιο ουδέτερα επίπεδα. Αντίστοιχα, θα αυξηθεί και το pH των στραγγισμάτων, ενώ, η συγκέντρωση του βιοχημικά και χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅ και COD, αντίστοιχα) καθώς και η αγωγιμότητα των στραγγισμάτων θα μειωθούν. Όσο αυξάνει η τιμή του pH, τόσο μικρότερες ποσότητες ανόργανων συστατικών θα διαλυτοποιούνται στα στραγγίσματα, με αποτέλεσμα να μειώνεται και η συγκέντρωσή τους σε αυτά.

Η 5^η φάση είναι η «φάση ωρίμανσης». Εδώ το άμεσα διαθέσιμο οργανικό υλικό έχει ήδη καταναλωθεί στην προηγούμενη φάση και έχει μετατραπεί σε CH₄ και CO₂. Ωστόσο, λόγω της υγρασίας που συνεχίζει να μεταφέρεται ανάμεσα στα απόβλητα, ποσότητες οργανικών υλικών που δεν ήταν μέχρι αυτή τη φάση διαθέσιμες, αρχίζουν να μετατρέπονται. Ο ρυθμός παραγωγής αερίων μειώνεται αισθητά καθώς τα περισσότερα διαθέσιμα θρεπτικά υλικά έχουν απομακρυνθεί στις προηγούμενες φάσεις μέσω των στραγγισμάτων και τα υπολείμματα αυτών βιοαποδομούνται με αργούς ρυθμούς. Τα βασικά αέρια προϊόντα της 5^{ης} φάσης είναι τα CH₄ και CO₂, ωστόσο, μπορεί να συνυπάρχουν και μικρές ποσότητες οξυγόνου και αζώτου, γεγονός που εξαρτάται από τις συνθήκες παύσης λειτουργίας του ΧΔΑ. Κατά τη φάση ωρίμανσης, τα στραγγίσματα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις χουμικού και φουλβικού οξέος, τα οποία δύσκολα επιδέχονται περαιτέρω βιολογική επεξεργασία.

Η διάρκεια των ξεχωριστών φάσεων κατά την παραγωγή αερίων ποικίλει ανάλογα με την κατανομή των βιοαποδομήσιμων υλικών, τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, την περιεκτικότητα των αποβλήτων σε υγρασία, τη μεταφορά της υγρασίας μέσα στα απόβλητα και την αρχική συμπύεση των αποβλήτων. Μελέτες σε δείγματα ΧΔΑ υποδεικνύουν ότι η παραγωγή μεθανίου παρουσιάζει αυξητικές τάσεις όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα των αποβλήτων σε υγρασία, ανεξάρτητα από την ηλικία, τη πυκνότητα και τη σύνθεση των αποβλήτων. Ενώ, το ιδανικό pH για τη δράση των μεθανογόνων μικροοργανισμών είναι μεταξύ 6.8 και 7.4. Η συλλογή, ουδετεροποίηση και επανακυκλοφορία των στραγγισμάτων μέσα στον ΧΔΑ έχει αποδειχτεί ότι έχει θετική επίδραση στη συνεχή παραγωγή μεθανίου. Τέλος, όταν πρόκειται για μικρούς ή σχετικά ρηχούς ΧΔΑ, σημαντικό ρόλο έχουν και οι

κλιματικές συνθήκες. Έχει αποδειχθεί ότι, οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί δρουν σε θερμοκρασίες από 5°C - 40°C. Έτσι, οι ρυθμοί παραγωγής μεθανίου, για αυτούς τους ΧΔΑ, μειώνονται από τα τέλη του φθινοπώρου έως τις αρχές της άνοιξης, λόγω χαμηλών θερμοκρασιών (UNEP, 2005).



Διάγραμμα 5-1: Διαδοχικές φάσεις παραγωγής βιοαερίου σε ΧΔΑ (I-Αρχική προσαρμογή, II-Μεταβατική φάση, III-Οξινη φάση, IV-Φάση ζύμωσης μεθανίου, V-Φάση ωρίμανσης). Πρωτεύον διάγραμμα: σύνθεση αερίων ανά φάση, Δευτερεύον διάγραμμα: χαρακτηριστικά στραγγισμάτων. (G. Tchobanoglous & F. Kreith, 2002)

Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και οι επικρατούσες συνθήκες ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή, οπότε και οι ρυθμοί και οι παραγόμενες ποσότητες βιοαερίου παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών. Ωστόσο, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, αύξηση των ρυθμών παραγωγής εμφανίζονται κατά τα 5 πρώτα χρόνια που ακολουθούν την κατανάλωση του περιεχόμενου οξυγόνου, ενώ οι μεγαλύτερες ποσότητες μεθανίου παράγονται 20 έτη μετά την παύση λειτουργίας του ΧΔΑ. Η παραγωγή βιοαερίου μπορεί να συνεχιστεί, με μειούμενους ρυθμούς μέχρι τα επόμενα 50 έτη. (UNEP, 2005)

5.1.2 Μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ

Ως μεθοδολογία για την εκτίμηση των εκπομπών ΑΦΘ από την ταφή των αποβλήτων επιλέχθηκε η μέθοδος *First Order Decay* του IPCC. Βασικές παράμετροι για την εκτίμηση των εκπομπών, για τη συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι η ετήσια παραγωγή και η σύσταση των αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή. Η σύσταση των αποβλήτων επηρεάζει τις εκπομπές ΑΦΘ, καθώς διαφορετικά είδη αποβλήτων περιέχουν διαφορετικά ποσά βιοδιασπώμενου οργανικού άνθρακα (DOC) και ορυκτού άνθρακα. Από το μοντέλο δίνονται προκαθορισμένες

τιμές για απόβλητα κουζίνας, απόβλητα κήπων, χαρτί κ.α. Ενώ η κατηγοριοποίησή τους γίνεται με βάση την περιεκτικότητά τους σε οργανικό ή ορυκτό άνθρακα.

Η μεθοδολογία του IPCC στηρίζεται στη μέθοδο του FOD. Η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρεί ότι το βιοδιασπώμενο ρεύμα των ΑΣΑ (DOC) διασπάται αργά μέσα σε λίγες δεκαετίες, οπότε και παράγονται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Εάν οι συνθήκες είναι σταθερές, η παραγωγή του ρεύματος μεθανίου εξαρτάται μόνο από το ποσό του εναπομείναντος άνθρακα στα απόβλητα. Έτσι, οι εκπομπές μεθανίου από τους χώρους διάθεσης των αποβλήτων είναι μεγαλύτερες στη διάρκεια των πρώτων ετών μετά την διάθεση, στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά καθώς ο βιοδιασπώμενος άνθρακας καταναλώνεται από τα βακτήρια που ευθύνονται για τη διάσπαση.

Οι εκπομπές μεθανίου από χώρους διάθεσης στερεών αποβλήτων για ένα έτος μπορούν να υπολογιστούν από την εξίσωση 1. Το μεθάνιο παράγεται ως αποτέλεσμα της αποδόμησης του οργανικού υλικού σε αναερόβιες συνθήκες. Μέρος του παραγόμενου μεθανίου οξειδώνεται στα ανώτερα στρώματα του ΧΔΑ ή μπορεί να συλλεγεί για παραγωγή ενέργειας ή για καύση. Συνεπώς, το ποσό μεθανίου που εκπέμπεται από έναν ΧΔΑ θα είναι κατά πολύ μικρότερο από το ποσό που παράγεται.

Εξίσωση 1

$$CH_4 \text{ Emissions} = \left[\sum_x CH_4 \text{ generated}_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - OX_T)$$

Όπου

CH_4 Emissions: οι εκπομπές CH_4 στον χρόνο T, σε Gg

T : το έτος αναφοράς

X : κατηγορία ή είδος αποβλήτου

R_T : ποσότητα ανακτημένου CH_4 στο έτος αναφοράς, σε Gg

OX_T : ποσότητα που οξειδώθηκε το έτος αναφοράς

Η ποσότητα CH_4 θα πρέπει να αφαιρεθεί από την παραγόμενη ποσότητα καθώς μόνο μέρος του CH_4 που δεν συλλέχθηκε θα οξειδωθεί στα ανώτερα στρώματα του ΧΔΑ.

Παραγωγή μεθανίου

Το δυνητικά παραγόμενο CH_4 από τα απόβλητα που διατίθενται θα μειωθεί σταδιακά με την πάροδο μερικών δεκαετιών. Έτσι, και η παραγωγή μεθανίου από τη συγκεκριμένη ποσότητα αποβλήτων θα μειωθεί σταδιακά. Το μοντέλο FOD έχει βασιστεί σε έναν εκθετικό παράγοντα που περιγράφει το ποσοστό του βιοδιασπώμενου υλικού που διασπάται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα κάθε χρόνο.

Βασική εισαγωγή στο μοντέλο είναι η ποσότητα οργανικού υλικού (DOCm) που περιέχεται στα απόβλητα που οδηγούνται προς διάθεση. Αυτό υπολογίζεται με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες ως προς το ποσοστό κάθε κατηγορίας αποβλήτου που οδηγείται σε διάθεση (ΑΣΑ, λύματα, βιομηχανικά και άλλα απόβλητα) καθώς και το είδος των αποβλήτων (φαγητό, χαρτί, ξύλο κα) συμπεριλαμβανομένου σε αυτά ή εναλλακτικά μια μέση τιμή του DOC που περιέχεται στα ογκώδη απορρίμματα. Χρειάζονται επίσης πληροφορίες όσον αφορά τα απόβλητα που διατίθενται στην χώρα και οι παράμετροι που περιγράφονται παρακάτω. Για τη πρώτη σειρά (Tier 1) μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκαθορισμένες τιμές όσον αφορά τη δραστηριότητα της περιοχής και τις παραμέτρους. Αλλά οι επόμενες σειρές (Tier 2 και 3) χρειάζονται συγκεκριμένες πληροφορίες για δραστηριότητα και/ή συγκεκριμένες παραμέτρους για κάθε χώρα.

Οι εξισώσεις υπολογισμού παραγωγής CH₄ δίνονται παρακάτω. Καθώς τα μοντέλα υπολογισμού είναι τα ίδια για την παραγωγή εκπομπών CH₄ για όλες τις κατηγορίες και είδη αποβλήτων δεν χρησιμοποιούνται παράμετροι διαφοροποίησης για τα διαφορετικά απόβλητα.

Η συνολική ποσότητα παραγόμενου CH₄ που παράγεται με τα χρόνια μπορεί να υπολογιστεί με βάση τα ποσά και τη σύνθεση των αποβλήτων που διατίθενται στους ΧΔΑ καθώς και τις μεθόδους διαχείρισης που χρησιμοποιούνται στους χώρους διάθεσης. Βάση για τους υπολογισμούς αποτελεί το ποσοστό οργανικού άνθρακα στο βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αποβλήτων που βιοδιασπάται (Decomposable Degradable Organic Carbon (DDOC_m)) όπως εξηγείται και στην εξίσωση 2. Το DDOC_m είναι ουσιαστικά το μέρος του οργανικού άνθρακα που θα διασπαστεί υπό αναερόβιες συνθήκες στους ΧΔΑ. Ο δείκτης *m* χρησιμοποιείται για τη μάζα. Το DDOC_m ισοδυναμεί με το προϊόν της ποσότητας των αποβλήτων (*W*), το ρεύμα του αποδομήσιμου οργανικού άνθρακα στα απόβλητα (DOC), το ποσό του βιοαποδομήσιμου οργανικού άνθρακα που διασπάται σε αναερόβιες συνθήκες (DOC_f) και το μέρος των αποβλήτων που θα αποδομηθεί σε αερόβιες συνθήκες (πριν οι συνθήκες μετατραπούν σε αναερόβιες) στους ΧΔΑ, που περιγράφεται με τον διορθωτικό παράγοντα του μεθανίου (MCF).

$$\text{Εξίσωση 2} \\ DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

Όπου:

DDOC_m: η μάζα του βιοαποδομήσιμου DOC που διατίθεται, σε Gg

W : η μάζα των αποβλήτων που οδηγείται σε διάθεση, σε Gg

DOC : βιοδιασπώμενος οργανικός άνθρακας στο έτος διάθεσης, κλάσμα, Gg C/ Gg αποβλήτων

DOC_f : κλάσμα του DOC που μπορεί να αποδομηθεί

MCF : διορθωτικός παράγοντας του CH₄ για την αερόβια βιοδιάσπαση στο έτος διάθεσης

Αν και η δυνητικά παραγόμενη ποσότητα CH₄, L₀, δεν χρησιμοποιείται αναλυτικά σε αυτές τις οδηγίες, ισούται με την συγκέντρωση CH₄ στο βιοαέριο (F) και το λόγο των μοριακών βαρών μεθανίου προς άνθρακα (16/12).

$$\text{Εξίσωση 3} \\ L_0 = DDOC_m \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

Όπου

L₀: δυνητική παραγωγή CH₄, σε Gg CH₄

DDOC_m : η μάζα του βιοαποδομήσιμου DOC, σε Gg

F : το κλάσμα CH₄ στο παραγόμενο βιοαέριο (κλάσμα όγκου)

16/12: λόγος μοριακών βαρών CH₄/C

Χρησιμοποιώντας το μέγεθος DDOC_m (το συσσωρευμένο DDOC_m στον ΧΔΑ) από τα υπολογιστικά φύλλα, η παρακάτω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας του δυνητικά παραγόμενου CH₄ από τα εναπομείναντα απόβλητα στους ΧΔΑ.

First order decay basics

Σε μια αντίδραση πρώτης τάξης, η ποσότητα του προϊόντος είναι πάντα ανάλογη της ποσότητας των αντιδρώντων. Αυτό σημαίνει ότι το έτος κατά το οποίο τα απόβλητα διατέθηκαν στους ΧΔΑ δεν συνδέεται με την ποσότητα του CH₄ που παράχθηκε κάθε έτος.

Αυτό που έχει σημασία είναι η συνολική μάζα βιοδιασπώμενου υλικού που είναι τη δεδομένη περίοδο στον ΧΔΑ.

Αυτό επίσης σημαίνει ότι όταν γνωρίζουμε την ποσότητα του βιοδιασπώμενου υλικού στον ΧΔΑ στην αρχή της χρονιάς, κάθε χρονιά μπορεί να θεωρηθεί ως πρώτη χρονιά στην μέθοδο υπολογισμού και οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν μέσω των δύο απλών εξισώσεων που ακολουθούν, με την αντίδραση διάσπασης να ξεκινά την 1^η Ιανουαρίου της επόμενης χρονιάς.

Εξίσωση 4

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k})$$

Εξίσωση 5

$$DDOCm\ decompr_T = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

Όπου

T : έτος αναφοράς

DDOCma_T : το συσσωρευμένο DDOCm στον ΧΔΑ στο τέλος του έτους T, σε Gg

DDOCma_{T-1} : το συσσωρευμένο DDOCm στον ΧΔΑ στο τέλος του έτους (T-1), σε Gg

DDOCmd_T : το DDOCm που εναποτέθηκε στον ΧΔΑ το έτος T, σε Gg

DDOCm decompr_T : το DDOCm που διασπάστηκε το έτος T, σε Gg

k : σταθερά αντίδρασης, $k = \ln(2)/t_{1/2}$ σε γ⁻¹

t_{1/2} : χρόνος ημιζωής σε γ

Η μέθοδος μπορεί να προσαρμοστεί και σε ημερομηνίες πριν την 1^η Ιανουαρίου της χρονιάς μετά τη διάθεση.

Παραγόμενο CH₄ από το εύκολα διασπάσιμο DDOCm

Η ποσότητα παραγόμενου CH₄ από το αποδομήσιμο υλικό μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας το κλάσμα του CH₄ στο παραγόμενο βιοαέριο με το λόγο των μοριακών βαρών CH₄/C.

Εξίσωση 6

$$CH_4\ generated_T = DDOCm\ decompr_T \cdot F \cdot 16 / 12$$

Όπου

CH₄ generated_T : η ποσότητα CH₄ που παράχθηκε από αποδομήσιμα υλικά

DDOCm decompr_T : DDOCm που διασπάστηκε κατά το έτος T, σε Gg

F : το κλάσμα του CH₄, κατ' όγκο, στο παραγόμενο βιοαέριο

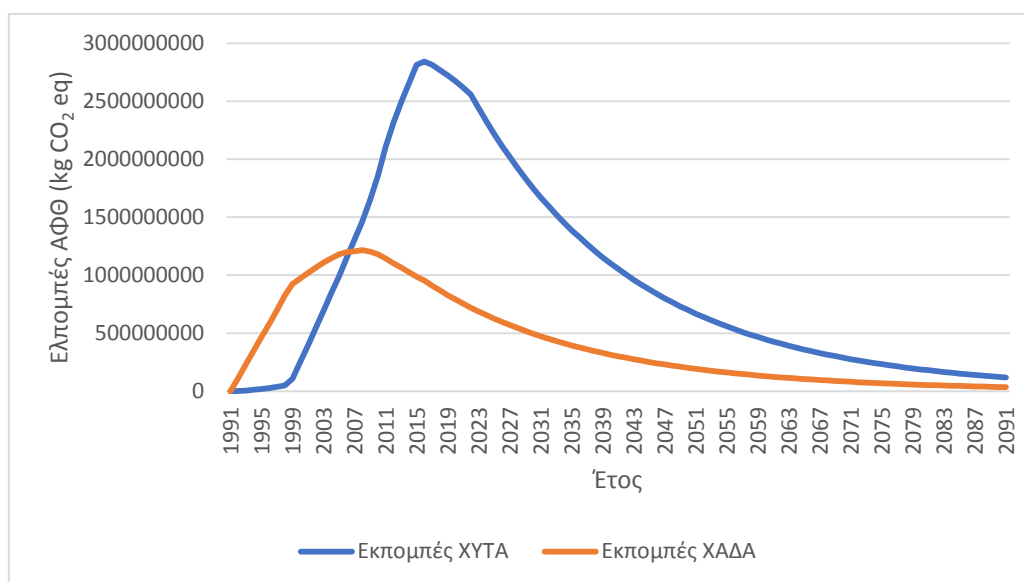
16/12 : λόγος μοριακών βαρών CH₄/C

5.1.3 Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την ταφή

Στο διάγραμμα 5-2 παρουσιάζεται η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από την διάσπαση των αποβλήτων που εναποτέθηκαν σε ΧΥΤΑ για την περίοδο 1991-2015, σε επίπεδο χώρας (μπλε χρώμα). Παρουσιάζεται επίσης η παράλληλη διάθεση αποβλήτων σε ΧΑΔΑ την ίδια χρονική περίοδο και για τις ίδιες περιοχές (κόκκινο χρώμα). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, οι μέγιστες τιμές των εκπομπών και στις δύο περιπτώσεις σημειώνονται κατά τα έτη όπου θεωρείται ότι παύει η λειτουργία των περισσότερων εξ αυτών. Για την ανάλυση του διαγράμματος θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι το 1991 λειτουργούσε πολύ μικρότερος αριθμός ΧΥΤΑ, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα των αποβλήτων οδηγούνταν σε ΧΑΔΑ. Επίσης, από

το έτος 1991 έως το 2015, η παραγωγή των αποβλήτων αυξάνεται συνεχώς, άρα αυξάνονται και οι ποσότητες που οδηγούνται σε ταφή καθώς είναι η πιο διαδεδομένη πρακτική διαχείρισης αποβλήτων στη χώρα. Ωστόσο, με την πάροδο των χρόνων οι συνολικές ποσότητες που οδηγήθηκαν σε ΧΑΔΑ είναι μικρότερες από τις ποσότητες που οδηγούνται σε ΧΥΤΑ.

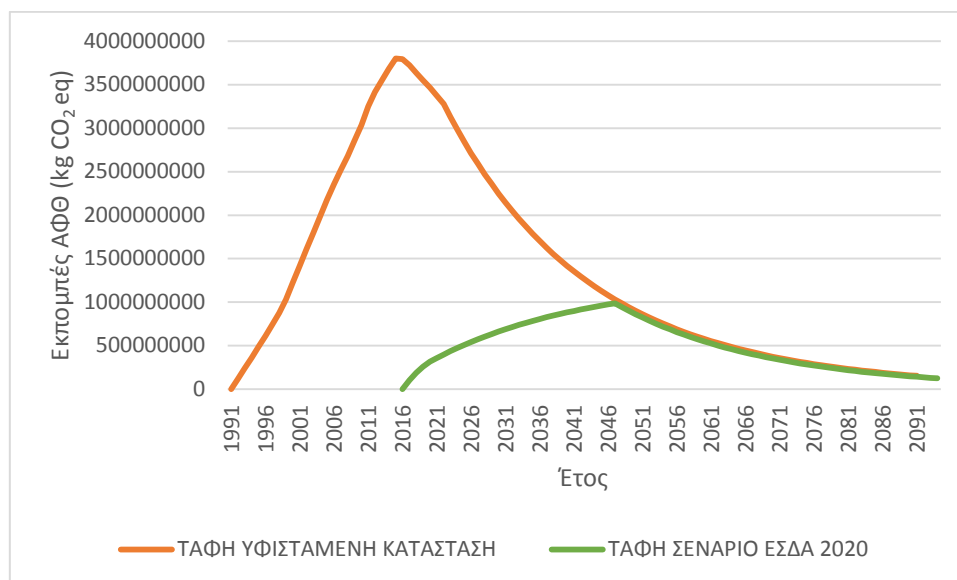
Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι οι εκπομπές ΑΦΘ για την περίπτωση των ΧΑΔΑ είναι 2 -3 φορές μικρότερες από τις αντίστοιχες των ΧΥΤΑ. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στους ΧΑΔΑ δεν λαμβάνεται κανένα μέτρο πρόληψης όσον αφορά τις αέριες εκπομπές, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες ποσότητες οξυγόνου να εισέρχονται στα απόβλητα και να προκαλούν οξείδωση σε αντίστοιχες ποσότητες άνθρακα. Έτσι, παράλληλα με τις εκπομπές μεθανίου που παρουσιάζονται στο διάγραμμα, προκύπτουν και μεγάλες ποσότητες εκλυόμενου διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα. Ενώ, στους ΧΥΤΑ, το φαινόμενο αυτό είναι περιορισμένο και εκτός από τον εγκλωβισμένο αέρα ανάμεσα στα απόβλητα, μπορεί να παρατηρηθεί μικρό ποσοστό οξείδωσης του άνθρακα στα ανώτερα στρώματα του ΧΥΤΑ, λόγω περιορισμένης εισροής οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τέλος, στους ΧΥΤΑ, μπορεί να υπάρξει συλλογή και καύση ή ενεργειακή αξιοποίηση του παραγόμενου μεθανίου με ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών του. Ωστόσο, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, δεν μπορεί να εκτιμηθεί ένα ποσοστό ανάκτησης που να καλύπτει όλους τους ΧΑΔΑ. Χαρακτηριστικά, το μοντέλο εκτίμησης που χρησιμοποιείται για την παρούσα εργασία (FOD IPCC Waste Model) περιγράφει ως καλή πρακτική τον μη υπολογισμό των εκπομπών όταν γίνεται εκτίμηση για τον τομέα των αποβλήτων, ενώ αν πρέπει να γίνει αυτή η εκτίμηση θα πρέπει να θεωρηθεί η απόδοση του συστήματος συλλογής ίση με 20% (IPCC, 2006). Την ίδια στιγμή διάφορες πηγές εκτιμούν την απόδοση ενός συστήματος συλλογής και καύσης του βιοαερίου από 10% έως και 80%, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται (Oonk and Boom, 1995). Όλες οι ποσότητες ΑΦΘ που παριστάνονται στο διάγραμμα είναι εκφρασμένες σε kg CO₂-eq.



Διάγραμμα 5-2: Αθροιστικές εκπομπές ΑΦΘ από την διάθεση αποβλήτων σε ΧΥΤΑ και σε ΧΑΔΑ, για την περίοδο 1991-2099.

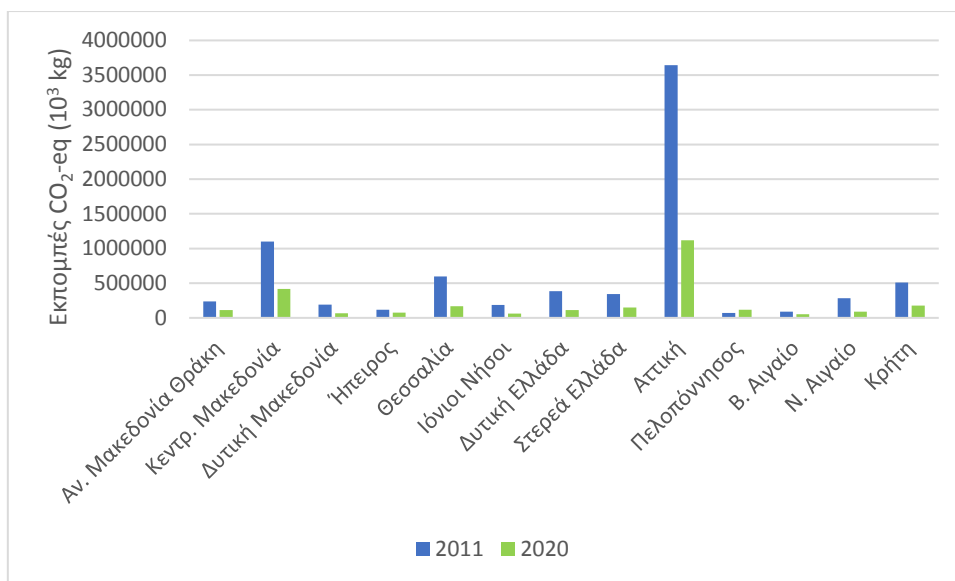
Στο διάγραμμα 5-3, παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενες ποσότητες ΑΦΘ από ΧΥΤΑ, υπολογισμένες σε kg CO₂-eq. Οι ποσότητες ΑΦΘ αφορούν σε εκπομπές από απόβλητα που διατέθηκαν συνολικά σε ΧΥΤΑ για την περίοδο 1991-2015 και παρουσιάζονται στο

διάγραμμα με κόκκινο χρώμα. Σε σύγκριση με αυτούς τους υπολογισμούς, παρατίθενται οι ποσότητες που αναμένεται να εκλυθούν από απόβλητα που θα οδηγηθούν σε ΧΥΤ, με βάση το σενάριο τον ΕΣΔΑ, μετά το 2020. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα, λήφθηκε χρονοσειρά από το 2016 και για περίοδο ίση με 24 έτη, που είναι η υφιστάμενη κατάσταση. Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι μειώνοντας τα οργανικά και βιοαποδομήσιμα υλικά στους ΧΥΤ μειώνονται άμεσα οι εκπομπές ΑΦΘ από την διάθεση αποβλήτων σε αυτούς.



Διάγραμμα 5-3: Εκπομπές ΑΦΘ από την τελική διάθεση αποβλήτων.

Στο διάγραμμα 5-4 υπολογίζονται οι εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή αποβλήτων ανά Περιφέρεια της χώρας για τα έτη 2011 και 2020. Οι υπολογισμοί για το 2011 έγιναν με βάση τις ποσότητες που οδηγήθηκαν σε ταφή (ΧΥΤΑ και ΧΑΔΑ) και τις συστάσεις που έχουν τα απόβλητα στην κάθε περιφέρεια, ενώ για το 2020 έγινε εκτίμηση με βάση τους υπολογισμούς των ποσοτήτων και των συστάσεων τους, όπως αυτές παρουσιάζονται από το σενάριο του ΕΣΔΑ και θεωρώντας ότι δεν θα υφίστανται πλέον ΧΑΔΑ. Πρέπει να σημειωθεί ότι, οι αέριες εκπομπές που παρουσιάζονται είναι το άθροισμα των εκπομπών που αναμένονται να εκλυθούν από την ταφή των αποβλήτων με την πάροδο των χρόνων και όχι για το έτος αναφοράς σε κάθε περίπτωση.



Διάγραμμα 5-4: Συνολικές εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή αποβλήτων για τα έτη 2011 και 2020 ανά περιφέρεια.

5.2 Εκπομπές ΑΦΘ από την βιολογική επεξεργασία και κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων

5.2.1 Θεωρητική προσέγγιση εκπομπών ΑΦΘ

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης συντελούνται πολυάριθμες χημικές αντιδράσεις και αναπτύσσονται και δραστηριοποιούνται διαφορετικοί μικροοργανισμοί. Η διαδικασία της κομποστοποίησης θεωρείται ότι συντελείται σε 4 διαδοχικές φάσεις, οι οποίες διακρίνονται ανάλογα με το ύψος της θερμοκρασίας.

Η 1^η φάση, «ψυχροφιλική», διαρκεί 1-2 ημέρες και αφορά σε θερμοκρασίες έως 22°C. Σε αυτή τη φάση γίνεται αποικισμός του υλικού με μικροοργανισμούς απαραίτητους για την κομποστοποίηση. Ουσιαστικά σε αυτή τη φάση διαμορφώνονται οι σωροί των βιοαποβλήτων όπου θα γίνει η κομποστοποίηση.

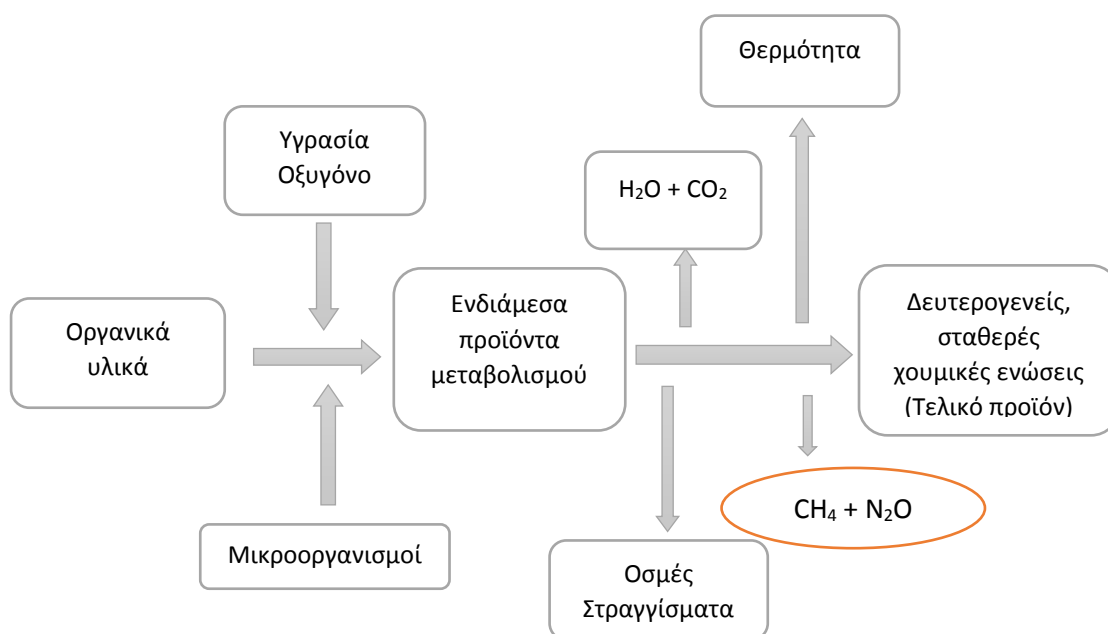
Η 2^η φάση, «πρώτη μεσοφιλική», διαρκεί 3-4 ημέρες και κατά τη διάρκειά της αναπτύσσονται θερμοκρασίες 22°C – 40°C. Ως αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας, αναπτύσσεται και πολλαπλασιάζεται ο πληθυσμός των μικροοργανισμών στα απόβλητα. Στη φάση αυτή αναπτύσσονται μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, όπως βακτήρια, μύκητες και ακτινοβακτήρια. Οι μικροοργανισμοί αυτοί αποσυνθέτουν με ταχείς ρυθμούς τις εύκολα διασπάσιμες ουσίες, όπως πρωτεΐνες, αμινοξέα, λιπίδια και υδατάνθρακες μικρού μοριακού βάρους. Στη φάση αυτή μπορούμε να πούμε ότι γίνεται έναρξη της ενεργούς βιοαποδόμησης.

Η 3^η φάση, «θερμοφιλική» διαρκεί 15-20 ημέρες και οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι 40°C – 60°C. Εδώ, με την αύξηση της θερμοκρασίας άνω των 40°C γίνεται παράλληλα αντικατάσταση των μεσόφιλων από θερμοφίλους μικροοργανισμούς, οι οποίοι διασπούν ταχύτερα πρωτεΐνες, λίπη και σύνθετους υδατάνθρακες, όπως κυτταρίνες

και ημικυτταρίνες. Με την αύξηση της θερμοκρασίας σε επίπεδα άνω των 55°C καταστρέφονται παθογόνοι μικροοργανισμοί και σπόροι ζιζανίων, επιτυγχάνοντας έτσι την υγειονομοποίηση του υλικού. Ωστόσο, άνοδος της θερμοκρασίας άνω των 65°C μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή χρήσιμων για την κομποστοποίηση μικροοργανισμών και να μειώσει τους ρυθμούς αποδόμησης του υλικού. Η φάση αυτή αποτελεί ουσιαστικά την ενεργό βιοαποδόμηση.

Η 4^η και τελευταία φάση της κομποστοποίησης, «δεύτερη μεσοφιλική», διαρκεί πάνω από 30 ημέρες και η θερμοκρασία αρχίζει να μειώνεται από τους 40°C έως τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Εδώ, η βιολογική δραστηριότητα στο υλικό μειώνεται. Μεσοφιλικοί μικροοργανισμοί, που είτε προϋπάρχουν στο υλικό είτε προστίθενται σε αυτό, αποικοδομούν ουσίες όπως το άμυλο και η κυτταρίνη. Ενώ, λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις που κάνουν την οργανική ύλη πιο σταθερή και κατάλληλη για χρήση. Το τελικό προϊόν περιέχει, κατά αυτό το τρόπο, ουσίες που δεν επιδέχονται περαιτέρω διάσπαση. Η φάση αυτή αποκαλείται και φάση ωρίμανσης. (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014)

Συνολικά η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά από το Σχήμα 6-1, που ακολουθεί.



Εικόνα 5-1: Συνοπτική περιγραφή διεργασιών κομποστοποίησης και ενδιάμεσων προϊόντων της. Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014

5.2.2 Μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ

Για τον υπολογισμό των αέριων εκπομπών που προκαλούνται από την κομποστοποίηση πρέπει να ληφθούν υπόψη η παροχή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων, οι αέριες εκπομπές μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου από την διαδικασία της κομποστοποίησης καθώς και η αποφυγή εκπομπών από τη χρήση του τελικού προϊόντος. Οι εκπομπές διαφέρουν αναλόγως το είδος των αποβλήτων, την τεχνολογία που χρησιμοποιείται καθώς και την αποτελεσματικότητα του εξαερισμού, όταν πρόκειται για κλειστά συστήματα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις αέριες εκπομπές δεν προσμετράται

το παραγόμενο CO₂ από την διαδικασία της κομποστοποίησης καθώς είναι βιογενές και κατατάσσεται στον φυσικό κύκλο του άνθρακα, ως μέρος της αλλαγής χρήσης γης και των δασών, και όχι στις αέριες εκπομπές από τα απόβλητα. (IPCC, 2006)

Οι αέριες εκπομπές που σχετίζονται με τη διαδικασία της κομποστοποίησης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες, τις έμμεσες προγενέστερες, τις άμεσες και τις έμμεσες μεταγενέστερες.

- Προγενέστερες έμμεσες εκπομπές

Οι έμμεσες προγενέστερες εκπομπές οφείλονται στην παροχή ορυκτών καυσίμων και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στην παροχή καυσίμων λογίζονται η παραγωγή και μεταφορά τους, η συμβολή των οποίων υπολογίζεται σε 0.4-0.5kg CO₂/lt ντήζελ (Fruegaard et al. 2009). Η κατανάλωση ηλεκτρισμού ποικίλει αναλόγως με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την κομποστοποίηση. Γενικά, ανοιχτές τεχνικές καταναλώνουν μικρότερες ποσότητες ηλεκτρισμού σε σχέση με κλειστού τύπου. Οι τιμές για τις αέριες εκπομπές ανά κατηγορία και πηγή προέλευσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5-1.

Πίνακας 5-1: : Παράγοντες εκπομπής για τον υπολογισμό των έμμεσων προγενέστερων αέριων εκπομπών σχετικών με την κομποστοποίηση. Πηγή: Fruegaard et al. (2009)

Είδος διαδικασίας/εκπομπής	Παράγοντας εκπομπής
Παροχή ορυκτών καυσίμων	0.4-0.5kg CO ₂ -eq/lt ντήζελ
Κατανάλωση καυσίμων	2.7kg CO ₂ -eq/lt ντήζελ
Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας	0.1-0.9kg CO ₂ -eq/kWh

- Άμεσες εκπομπές

Οι άμεσες εκπομπές συνδέονται με την διαδικασία της κομποστοποίησης και την αποσύνθεση των αποβλήτων. Οι εκπομπές αυτές μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: εκπομπές λόγω κατανάλωσης καυσίμων από τον μηχανολογικό εξοπλισμό και αέριες εκπομπές λόγω δράσης μικροοργανισμών για την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Τυπικά εύρη τιμών για τη μέση κατανάλωση ορυκτών καυσίμων από τον μηχανολογικό εξοπλισμό παρουσιάζονται στον πίνακα 5-2. Γενικά, τεχνολογίες ανοιχτού τύπου παρουσιάζουν μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τις κλειστού τύπου.

Πίνακας 5-2: Μέση κατανάλωση καυσίμων από τον μηχανολογικό εξοπλισμό στις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης. Πηγή: A. Boldrin et al. (2009b)

Είδος τεχνολογίας	Μέση κατανάλωση καυσίμων
Ανοιχτού τύπου	0.4-6 lt ντήζελ/ tn ww*
Κλειστού τύπου	0.13-3 lt ντήζελ/ tn ww*

*ww: wet waste (απόβλητα με υγρασία)

Οι κύριες αέριες εκπομπές από την διεργασία της κομποστοποίησης είναι το βιογενές CO₂, που όπως προαναφέρθηκε δεν συνυπολογίζεται στις αέριες εκπομπές, καθώς και μικρότερες ποσότητες CH₄ και N₂O. Οι εκπομπές των αερίων αυτών εξαρτώνται από τη

χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, το είδος των εισερχόμενων αποβλήτων και την συνολική διαχείριση της επεξεργασίας. Οι διαφορετικές συγκεντρώσεις άνθρακα και αζώτου στα διάφορα ρεύματα αποβλήτων παρουσιάζονται στον πίνακα 5-3.

Πίνακας 5-3: Περιεκτικότητα των διαφόρων ειδών βιοαποβλήτων σε άνθρακα και άζωτο. Πηγή: Boldrin et al. (20098)

Συστατικό	Απόβλητα τροφίμων	Απόβλητα κήπων	Μονάδα μέτρησης
Άνθρακας (C)	100-365	93-250	kg/tn ww*
	249-491	150-460	kg/tn dw**
Ολικό Άζωτο (N)	3.7-13	2.3-17	kg/tn ww*
	10-26	17-75	kg/tn dw**

*ww: wet waste (απόβλητα που περιέχουν υγρασία)

**dw: dry waste (ξηρά απόβλητα)

Οι ποσότητες άνθρακα και αζώτου που εκπέμπονται στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης μπορούν να υπολογιστούν με ισοζύγιο μάζας ή, εναλλακτικά, από τον εισερχόμενο άνθρακα και άζωτο και τα ποσοστά απωλειών και για τα δύο, όπως φαίνεται στις παρακάτω εξισώσεις:

$$C_{release} = C_{input} \cdot C_{loss,\%}$$

όπου,

$C_{release}$, είναι ο άνθρακας που απελευθερώνεται

C_{input} , είναι ο εισερχόμενος άνθρακας στο σύστημα από τα απόβλητα

$C_{loss,\%}$, είναι το ποσοστό απώλειας για τον άνθρακα, το ποσοστό που διασπάται

$$N_{release} = N_{input} \cdot N_{loss,\%}$$

Όπου,

$N_{release}$, είναι το άζωτο που απελευθερώνεται

N_{input} , είναι το εισερχόμενο άζωτο στο σύστημα από τα απόβλητα

$N_{loss,\%}$, είναι το ποσοστό απώλειας για το άζωτο.

Μέσω ισοζυγίου μάζας μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα άνθρακα και αζώτου που αποσυντίθεται. Μελέτες έχουν δείξει ότι η μεγαλύτερη ποσότητα άνθρακα που αποσυντίθεται μετατρέπεται σε βιογενές CO₂, ενώ ένα μικρό μέρος αυτού μετατρέπεται σε CH₄ σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη οξυγόνου. Σε κλειστές εγκαταστάσεις κομποστοποίησης, η εκπομπή ποσοτήτων CH₄ στο περιβάλλον περιορίζεται με την παρουσία βιόφιλτρων, τα οποία βοηθούν στην οξειδωση του CH₄ σε CO₂. Οι συνολικές απώλειες CH₄ υπολογίζονται από τις συνολικές απώλειες άνθρακα, το ποσοστό απωλειών σε CH₄ και τον συντελεστή απόδοσης του βιόφιλτρου, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εξίσωση:

$$CH_{4, release} = C_{release} \cdot CH_{4, emitted} \cdot (1 - n) \cdot (16/12)$$

όπου,

$CH_{4, release}$ είναι η ποσότητα μεθανίου που απελευθερώνεται στο περιβάλλον

$C_{release}$ είναι η συνολική ποσότητα άνθρακα που διασπάται κατά την κομποστοποίηση

$CH_{4, emitted}$ είναι το ποσοστό των απωλειών σε μορφή μεθανίου

n είναι ο συντελεστής απόδοσης του βιόφιλτρου, όσον αφορά την οξειδωση του μεθανίου.

Το υποξείδιο του αζώτου δημιουργείται σε περιοχές που επικρατούν αναερόβιες συνθήκες (Beck-Friis et al. 2000) ως ένα υποπροϊόν τόσο της διαδικασίας νιτροποίησης όσο

και της απονιτροποίησης (IPCC, 2006). παράγεται κυρίως στα τελευταία στάδια της κομποστοποίησης όπου ο διαθέσιμος άνθρακας έχει ήδη καταναλωθεί (He et al. 2000). Αντίστοιχα με τις εκπομπές μεθανίου, μπορούμε να υπολογίσουμε τις εκπομπές N₂O, με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$N_2O_{\text{release}} = N_{\text{release}} \cdot N_2O_{\text{emitted}} \cdot (1 - n) \cdot (44/28)$$

όπου,

N₂O_{release} είναι η ποσότητα N₂O που απελευθερώνεται στο περιβάλλον

N_{release} είναι η ποσότητα αζώτου που διασπάται κατά την κομποστοποίηση

N₂O_{emitted} είναι το ποσοστό απωλειών σε υποξείδιο του αζώτου

n είναι ο συντελεστής απόδοσης του βιόφιλτρου.

Στον πίνακα 5-4 παρουσιάζονται οι αέριες εκπομπές από την κομποστοποίηση βιοαποβλήτων και αποβλήτων κήπων. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται, όπως φαίνεται κατά πολύ από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την κομποστοποίηση.

Πίνακας 5-4: Αέριες εκπομπές από την κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων. Πηγή: Boldrin et al. (20098)

Αέριο	Τεχνολογία	Είδος αποβλήτου	Διάσπαση	Εκπομπές
			% εισερχόμενου C	kg CO ₂ /tn ww
CO ₂	Ανοιχτή	Απόβλητα κήπου	56-83	118-413
		Βιοαπόβλητα	50-66	43-173
	Κλειστή	Βιοαπόβλητα	50-60	250-390
	Οικιακή κομπ.	Βιοαπόβλητα		139-215
			% διασπώμενου C	kg CH ₄ /tn ww
CH ₄	Ανοιχτή	Απόβλητα κήπου	2.1-2.7	0.05-6.8
		Βιοαπόβλητα	0.8-2.5	0.03-1.5
	Κλειστή	Βιοαπόβλητα	2.4-3	0.02-1.8
	Οικιακή κομπ.	Βιοαπόβλητα	2-3.6	0.8-2.2
			% εισερχόμενου N	kg N ₂ O /tn ww
N ₂ O	Ανοιχτή	Απόβλητα κήπου	0.5-1.8	25-178
		Βιοαπόβλητα	0.1-0.7	7.5-252
	Κλειστή	Βιοαπόβλητα	1.8	10-120
	Οικιακή κομπ.	Βιοαπόβλητα	0.95-1.25	192-454

- Μεταγενέστερες έμμεσες εκπομπές

Το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης, κομπόστ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επίχωση ή ως υποκαταστάτης λιπασμάτων. Για την Ελλάδα μπορεί να θεωρηθεί ως δεδομένο ότι το προϊόν της οικιακής κομποστοποίησης χρησιμοποιείται από τον παραγωγό του ως κομπόστ, ωστόσο δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για τη χρήση και του κομπόστ που παράγεται σε επίπεδο ΕΜΑΚ ως λιπάσματος. Αντίθετα υπάρχουν ενδείξεις ελλιπούς ζήτησης στην αγορά και διάθεσή του αποκλειστικά ως υλικό κάλυψης σε ΧΥΤΑ. Έτσι, στα πλαίσια της

παρούσας εργασίας θα αναλυθεί η χρήση του οικιακού κομπόστ ως λιπάσματος και η χρήση του κομπόστ από ΕΜΑΚ ως επίχωση.

Το κομπόστ περιέχει οργανική ύλη που μπορεί να χαρακτηριστεί ως αποδομήσιμη με ταχείς ρυθμούς, αποδομήσιμη με βραδείς ρυθμούς και ως σταθεροποιημένη οργανική ύλη. Όταν η οργανική ύλη αποδομείται, εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα ποσότητες CO₂. Η διάσπαση όμως της σταθεροποιημένης οργανικής ύλης μπορεί να διαρκέσει από 100 – 1000 έτη. Έτσι, ο περιεχόμενος άνθρακας σε αυτήν δεσμεύεται για το διάστημα αυτό στο έδαφος (Smith et al. 2001, Favoino & Hogg 2008). Αυτή η δέσμευση του άνθρακα ισοδυναμεί με απομάκρυνσή του από την ατμόσφαιρα και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ως αποφυγή εκπομπής του που προσμετράται στον τομέα των αποβλήτων (Favoino & Hogg, 2008). Ο δεσμευμένος άνθρακας μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$CO_{2, \text{ bind}} = C_{\text{ input}} \cdot C_{\text{ bind}} \cdot (44/12)$$

όπου,

CO_{2, bind} είναι η δεσμευμένη ποσότητα CO₂

C_{input} είναι ο περιεχόμενος άνθρακας στο κομπόστ

C_{bind} είναι το κλάσμα του δεσμευμένου άνθρακα στο έδαφος.

5.2.3 Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ

Στην Ελλάδα λειτουργούν 4 Εγκαταστάσεις Μηχανικής Ανακύκλωσης Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) ενώ έχουν μοιραστεί και κάδοι οικιακής κομποστοποίησης. Τόσο η κομποστοποίηση σε ΕΜΑΚ όσο και σε κάδους οικιακής κομποστοποίησης θεωρούνται τεχνικές κλειστού τύπου, καθώς πραγματοποιείται σε κλειστούς χώρους ή κάδους (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014). Ωστόσο, υπάρχουν διαφορές στην κατανάλωση ενέργειας και καυσίμων μεταξύ των δύο τεχνικών, οπότε θα γίνουν χωριστοί υπολογισμοί των εκπεμπόμενων ΑΦΘ.

Κοινό στοιχείο των δύο μεθόδων είναι η σύσταση των αποβλήτων που οδηγούνται σε κομποστοποίηση και ο περιεχόμενος άνθρακας και άζωτο ανά τόνο αποβλήτων. Η μέση σύσταση των βιοαποβλήτων που περιέχονται στα ΑΣΑ είναι 76% απόβλητα κουζίνας και 24% απόβλητα κήπων (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012). Δεδομένου ότι δεν βρέθηκαν περαιτέρω στοιχεία για τη μέση σύσταση των αποβλήτων που οδηγούνται σε οικιακή κομποστοποίηση καθώς και ότι η σύσταση αυτή πλησιάζει την ιδανική αναλογία C:N = 25:1 (Tchobanoglous & Kreith, 2002), λαμβάνεται η παραπάνω σύσταση ως ισχύουσα. Η περιεκτικότητα των δύο αυτών ειδών αποβλήτων σε άνθρακα και άζωτο, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5-5: Περιεκτικότητα των εισερχόμενων βιοαποβλήτων σε άνθρακα και άζωτο.

Συστατικό	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μ.Ο.	Μονάδα Μέτρησης
Άνθρακας	(0,76·100+0,24·93)= 98,3	(0,76·365+0,24·250)= 337,4	217,9	kg/tn ww
Άζωτο	(0,76·3,7+0,24·2,3)= 3,4	(0,76·13+0,24·17)= 14	8,7	kg/tn ww

- Οικιακή κομποστοποίηση

Στην οικιακή κομποστοποίηση δεν υπάρχουν έμμεσες προγενέστερες εκπομπές, καθώς δεν χρησιμοποιείται μηχανολογικός εξοπλισμός και δεν υπάρχουν εκπομπές ΑΦΘ για την παροχή και κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και ηλεκτρισμού.

Οι άμεσες εκπομπές ΑΦΘ από την οικιακή κομποστοποίηση αφορούν αποκλειστικά την διαδικασία αποδόμησης του οργανικού και βιοαποδομήσιμου υλικού που τοποθετείται στον κάδο.

Προγράμματα οικιακής κομποστοποίησης καταγράφονται επίσημα από το έτος 2007, με αναφορές όμως και σε προγενέστερη εφαρμογή της μεθόδου (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012). Έτσι, γίνεται η παραδοχή ότι προγράμματα οικιακής κομποστοποίησης λειτουργούν και καταγράφονται από το 2005, στα ποσά της συνολικής εκτροπής βιοαποβλήτων από την διάθεση - ταφή.

Λόγω του γεγονότος ότι η οικιακή κομποστοποίηση δεν μπορεί να ελεγχθεί άμεσα από ειδικούς και να ληφθούν κατάλληλα μέτρα για την αποφυγή τυχόν εκπομπών ΑΦΘ, γίνεται η θεώρηση ότι για την εκπομπή των ΑΦΘ ισχύουν τα ανώτερα όρια που παρουσιάζονται στον Πίνακα II-6.

Οι ποσότητες C και N που απελευθερώνονται κατά τη διάσπαση της οργανικής ύλης για 1 tn οργανικής ύλης είναι:

$$\text{Εξίσωση II-1: } C_{\text{release}} = 217,9 \cdot 60\% = 130,74 \text{ kg / tn}\cdot\text{ww}$$

$$\text{Εξίσωση II-3: } CH_{4, \text{release}} = 130,74 \cdot 3,6\% \cdot (1 - 0) \cdot (16/12) = 6,26 \text{ kg / tn}\cdot\text{ww}$$

$$\text{Εξίσωση II-5: } N_2O_{\text{release}} = 8,7 \cdot 1,25\% \cdot (1 - 0) \cdot (44/28) = 0,17 \text{ kg / tn}\cdot\text{ww}$$

Το προϊόν της οικιακής κομποστοποίησης χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό για την υποκατάσταση άλλων τεχνητών λιπασμάτων, οπότε ένα μέρος του διασπώμενου άνθρακα δεσμεύεται στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η ποσότητα του δεσμευμένου άνθρακα υπολογίζεται από την εξίσωση II-6:

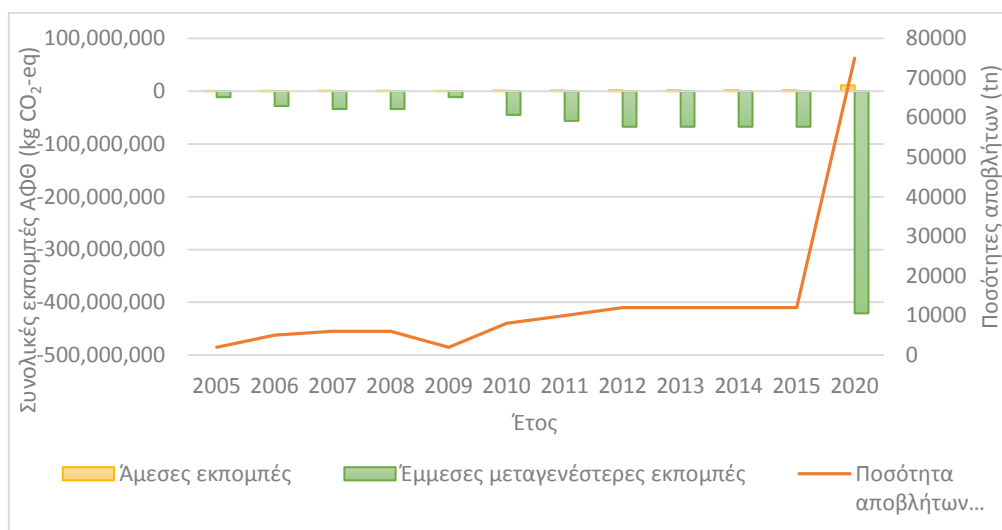
$$CO_{2, \text{bind}} = C_{\text{input}} \cdot C_{\text{bind}} \cdot (44/12) \quad (\text{II-6})$$

Το μέγεθος C_{bind} είναι το ποσοστό του άνθρακα που δεσμεύεται στο τελικό προϊόν και υπολογίζεται ως ποσοστό του εισερχόμενου άνθρακα. Έτσι, με βάση την περιεκτικότητα του εισερχόμενου κομποστού που υπολογίστηκε στον πίνακα b-5 καθώς και το εύρος τιμών που δίνεται από τη βιβλιογραφία για τις τιμές του C_{bind} , που είναι 2-10% (Smith *et al.* 2001, Brinkmann *et al.* 2004; Den Boer *et al.* 2005, Fisher 2006).

Οι ποσότητες βιοαποβλήτων που οδηγούνται σε οικιακή κομποστοποίηση καθώς και οι ποσότητες εκπομπών CH_4 και N_2O για την περίοδο 2005 – 2015 καθώς και το προβλεπόμενο σενάριο για το 2020 από τον ΕΣΔΑ παρουσιάζονται στο διάγραμμα. Εδώ εκπομπές προκύπτουν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης λόγω μικρών ποσοτήτων CH_4 και N_2O που σχηματίζονται μέσα στο μίγμα. Ωστόσο, η αποφυγή των εκπομπών από τη δημιουργία του κομποστού σε σχέση με οργανικό κλάσμα που θα οδηγούνταν σε ταφή και αναερόβια διάσπαση υπερκαλύπτει τις μικρές ποσότητες εκπεμπόμενων ΑΦΘ.

Πίνακας 5-6: Υπολογισμοί άμεσων και έμμεσων μεταγενέστερων εκπομπών από την οικιακή κομποστοποίηση αποβλήτων.

Έτος	Ποσότητα αποβλήτων (tn)	Άμεσες εκπομπές (Ελάχιστη τιμή)	Άμεσες εκπομπές (Μέγιστη τιμή)	Άμεσες εκπομπές	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές (Ελάχιστη τιμή)	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές (Μέγιστη τιμή)	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές
2005	2000	154000	440000	297000	-22484000	34000	-11225000
2006	5000	385000	1100000	742500	-56210000	85000	-28062500
2007	6000	462000	1320000	891000	-67452000	102000	-33675000
2008	6000	462000	1320000	891000	-67452000	102000	-33675000
2009	2000	154000	440000	297000	-22484000	34000	-11225000
2010	8000	616000	1760000	1188000	-89936000	136000	-44900000
2011	10000	770000	2200000	1485000	-112420000	170000	-56125000
2012	12000	924000	2640000	1782000	-134904000	204000	-67350000
2013	12000	924000	2640000	1782000	-134904000	204000	-67350000
2014	12000	924000	2640000	1782000	-134904000	204000	-67350000
2015	12000	924000	2640000	1782000	-134904000	204000	-67350000
2020	75000	5775000	16500000	11137500	-843150000	1275000	-420937500



Διάγραμμα 5-5: Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαδικασία της οικιακής κομποστοποίησης και εξοικονόμηση εκπομπών από την χρήση του στο έδαφος (Πρωτεύων άξονας) και ποσότητες βιοαποβλήτων που οδηγήθηκαν σε οικιακή κομποστοποίηση (Δευτερεύων άξονας).

Αντίστοιχη εικόνα παρουσιάζουν και οι εκπομπές ΑΦΘ για την κομποστοποίηση σε ΕΜΑΚ. Παρά το γεγονός ότι σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν και έμμεσες προγενέστερες εκπομπές ΑΦΘ οι οποίες προστίθενται στις άμεσες εκπομπές, η έμμεση μεταγενέστερη χρήση του τελικού προϊόντος προκαλεί αποφυγή μεγαλύτερων ποσοτήτων εκπομπών ΑΦΘ από αυτές που παράγονται κατά την δημιουργία του. Ενώ, από το παρακάτω διάγραμμα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερες είναι οι ποσότητες οργανικών που οδηγούνται σε κομποστοποίηση τόσο μεγαλύτερη είναι η υπερκάλυψη των εκπομπών από

τις αποφευχθείσες ποσότητες ΑΦΘ. Ενώ, η εξοικονόμηση εκπομπών ΑΦΘ αυξάνεται όταν το παραγόμενο κομπόστ είναι κατάλληλο για υποκατάσταση ανόργανων τεχνητών λιπασμάτων.

Οι έμμεσες προγενέστερες εκπομπές ΑΦΘ για την επεξεργασία αποβλήτων σε μονάδες κομποστοποίησης θεωρούνται η παροχή ορυκτών καυσίμων και κατανάλωσή τους καθώς και η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση. Οι παράγοντες εκπομπής που αφορούν τα ΑΦΘ δίνονται στον Πίνακα.

Πίνακας 5-7: Παράγοντες εκπομπής ΑΦΘ ανά είδος διεργασίας. Πηγή: Fruergaard et al. 2009

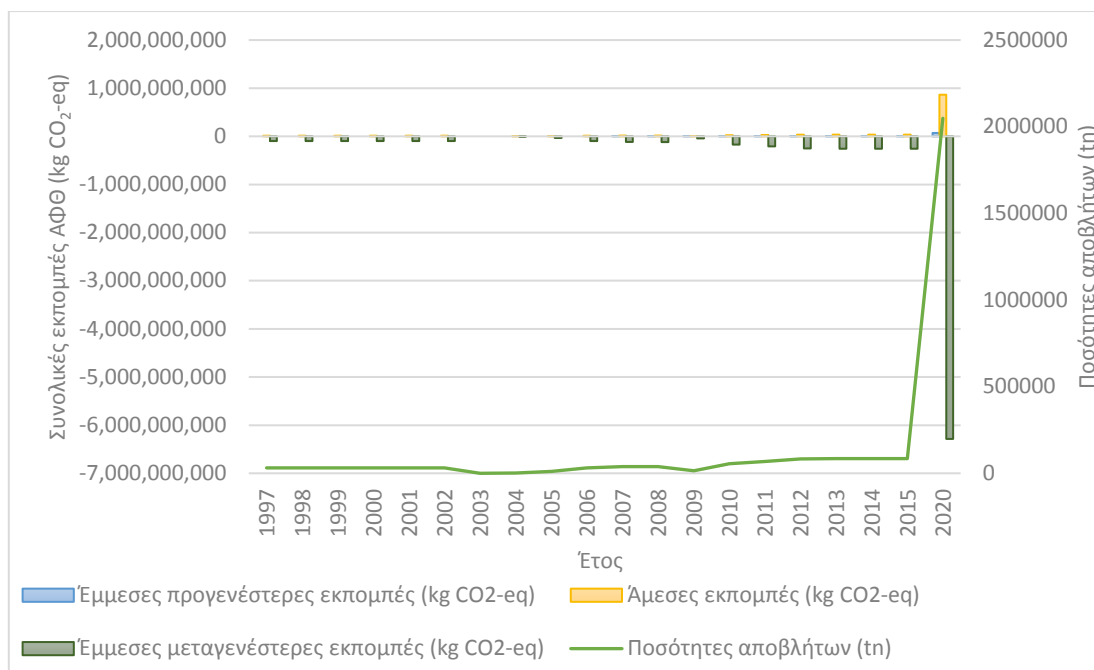
Είδος διεργασίας	Παράγοντας εκπομπής
Παροχή καυσίμων	0,45 kg CO ₂ -eq / lt ντήζελ
Κατανάλωση καυσίμων	2,7 kg CO ₂ -eq / lt ντήζελ
Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας	0,1-0,9 kg CO ₂ -eq / kWh

Επειδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα γίνεται σε μεγάλο ποσοστό από λιγνίτη, επιλέγεται τιμή για τον παράγοντα εκπομπής, όσον αφορά στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ίση με 0,9 kg CO₂-eq / kWh.

Οι έμμεσες προγενέστερες, άμεσες και έμμεσες μεταγενέστερες αέριες εκπομπές από την κομποστοποίηση σε ΕΜΑΚ παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5-8: Εκπομπές ΑΦΘ από την επεξεργασία βιοαποβλήτων σε μονάδες ΕΜΑΚ, για την περίοδο 1997-2015 και εκτίμηση με βάση τους στόχους του ΕΣΔΑ για το έτος 2020.

Έτος	Ποσότητες αποβλήτων (tn)	Έμμεσες προγενέστερες εκπομπές (kg CO ₂ -eq)	Άμεσες εκπομπές (kg CO ₂ -eq)	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές (kg CO ₂ -eq)
1997	32000	1098,864	13508014,78	-98.202.086
1998	32000	1098,864	13508014,78	-98.202.086
1999	32000	1098,864	13508014,78	-98.202.086
2000	32000	1098,864	13508014,78	-98.202.086
2001	32000	1098,864	13508014,78	-98.202.086
2002	32000	1098,864	13508014,78	-98.202.086
2003	0	0	0	0
2004	2000	68,679	844250,9235	-6.137.630
2005	11000	377,734,5	4643380,079	-33.756.967
2006	32000	1098,864	13508014,78	-98.202.086
2007	38000	1304901	16040767,55	-116.614.978
2008	39000	1339240,5	16462893,01	-119.683.793
2009	14000	480753	5909756,465	-42.963.413
2010	56000	1923012	23639025,86	-171.853.651
2011	68000	2335086	28704531,4	-208.679.434
2012	82000	2815839	34614287,87	-251.642.846
2013	84000	2884518	35458538,79	-257.780.477
2014	84000	2884518	35458538,79	-257.780.477
2015	84000	2884518	35458538,79	-257.780.477
2020	2.048.400	70341031,8	864681795,9	-6286161056



Διάγραμμα 5-6: Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαδικασία της κομποστοποίησης σε ΕΜΑΚ και εξοικονόμηση εκπομπών από την χρήση του ως επίχωση (Πρωτεύων άξονας) και ποσότητες βιοαποβλήτων που οδηγήθηκαν σε ΕΜΑΚ (Δευτερεύων άξονας).

5.3 Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαλογή Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΑΥ) σε ΚΔΑΥ

5.3.1 Θεωρητική προσέγγιση εκπομπών ΑΦΘ από διαλογή ΑΥ

Τα Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ) ταξινομούνται σε 4 είδη, ανάλογα με το είδος και το πλήθος των εισερχόμενων ρευμάτων αποβλήτων. Έτσι, προκύπτουν τα ΚΔΑΥ μονού ρεύματος ανακυκλώσιμων (ανάμεικτα ανακυκλώσιμα), σύμμεικτων αποβλήτων, δύο ρευμάτων ανακυκλώσιμων (όπου το ρεύμα χαρτιού είναι χωριστό από τα υπόλοιπα ανακυκλώσιμα) και χωριστών ρευμάτων ΑΥ. Οι δύο πρώτες κατηγορίες δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ως προς τον μηχανολογικό τους εξοπλισμό και έτσι οι υπολογισμοί των εκπομπών από αυτές είναι κοινοί (Pressley et al. 2014). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα μελετήσουμε μόνο τις περιπτώσεις ΚΔΑΥ που δέχονται ένα ρεύμα αποβλήτων, είτε ανάμεικτων ανακυκλώσιμων ή σύμμεικτων ΑΣΑ, καθώς δεν βρέθηκαν στοιχεία για την ύπαρξη άλλου είδους ΚΔΑΥ στην Ελλάδα.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η διαλογή των ανακυκλώσιμων υλικών δεν λαμβάνεται, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ως χωριστή μέθοδος διαχείρισης υλικών. Λαμβάνεται ως το στάδιο που προηγείται της ανακύκλωσης υλικών, οι έμμεσες προγενέστερες εκπομπές της, και τα αποτελέσματα των αέριων εκπομπών συνυπολογίζονται στην εκτίμηση των αέριων εκπομπών από τη διαδικασία της ανακύκλωσης ανά ρεύμα ανακυκλώσιμου υλικού.

Τα όρια του συστήματος διαλογής υλικών ξεκινούν από την εναπόθεση των υλικών στο χώρο του ΚΔΑΥ, ενώ αέριες εκπομπές αναμένονται λόγω της παροχής και καύσης ορυκτών καυσίμων, καθώς και από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία του

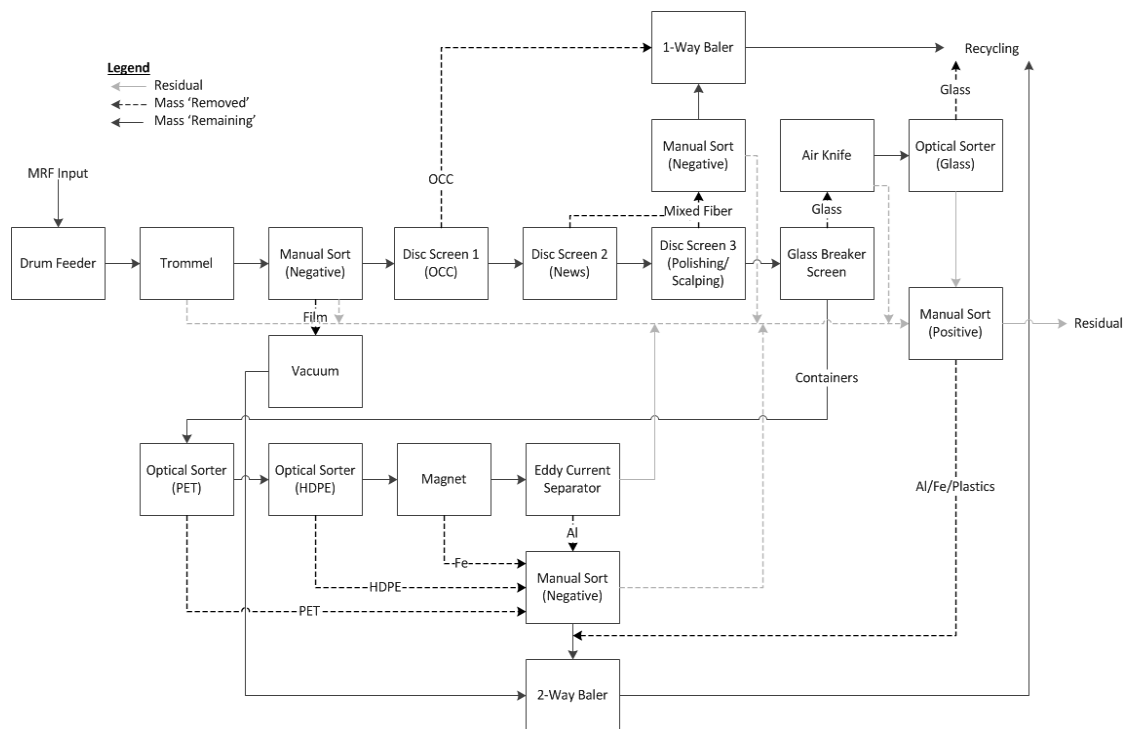
μηχανολογικού εξοπλισμού των ΚΔΑΥ καθώς και των οχημάτων που μπορεί να λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία διαλογής. Έτσι, βασικό ζητούμενο είναι ο καθορισμός του εξοπλισμού που διαθέτουν τα ΚΔΑΥ.

Ανάλογα την εγκατάσταση του ΚΔΑΥ και τα ρεύματα ανακυκλώσιμων υλικών των οποίων στοχεύει την ανάκτηση, διαφέρει και ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Στο σχήμα 5-2 που ακολουθεί, γίνεται περιγραφή της διαδικασίας ανάκτησης για ένα ΚΔΑΥ το οποίο ανακτά όλα τα είδη ανακυκλώσιμων υλικών, από ένα ρεύμα εισόδου ανάμεικτων ανακυκλώσιμων υλικών.

Αρχικά, το ρεύμα αποβλήτων μεταφέρεται μέσω ταινίας μεταφοράς ή οχήματος σε έναν κυλινδρικό τροφοδότη, η ύπαρξη του οποίου διασφαλίζει τη σταθερή ροή αποβλήτων στον υπόλοιπο εξοπλισμό. Η πρώτη ταινία μεταφέρει τα υλικά σε χώρο χειροδιαλογής, όπου απομακρύνονται τα ογκώδη και όσα θεωρούνται επικίνδυνα για τον εξοπλισμό. Επίσης, απομακρύνονται πλαστικά φιλμ, με μηχανήμα απορρόφησης και οδηγούνται απευθείας σε δεματοποιητή. Όλα τα άλλα υλικά οδηγούνται σε έναν κεκλιμένο δίσκο διαλογής, όπου διαχωρίζεται το πεπιεσμένο χαρτόνι και οδηγείται σε δεματοποιητή. Τα υλικά που διαπερνούν τον πρώτο δίσκο διαλογής, οδηγούνται σε δεύτερο δίσκο διαλογής, όπου ανακτώνται έντυπα χαρτιά και εφημερίδες. Ακολουθεί τρίτος δίσκος διαλογής ο οποίος απομακρύνει το χαρτί, που παραμένει στην επιφάνεια του δίσκου, από το ρεύμα των συσκευασιών και των λοιπών ανακυκλώσιμων, που τον διαπερνούν. Το ρεύμα χαρτιού στη συνέχεια οδηγείται σε χειροδιαλογή πριν τη δεματοποίηση για την απομάκρυνση προσμίξεων. Το ρεύμα που διαπερνά και τον τρίτο δίσκο, οδηγείται σε διαχωριστή – θραυστήρα γυαλιού, όπου δημιουργείται το υαλόθραυσμα. Αυτό διαπερνά τον διαχωριστή αναμειγμένο με άλλα λεπτόκοκκα υλικά. Ακολουθεί αεροδιαχωριστής ο οποίος διαχωρίζει το υαλόθραυσμα από τα άλλα υλικά. Στη συνέχεια γίνεται οπτικός διαχωρισμός του υαλοθραύσματος με βάση το χρώμα. Το χρωματικά διαχωρισμένο υαλόθραυσμα υπόκειται και σε χειροδιαλογή, για την απομάκρυνση τυχόν προσμίξεων, όπως κεραμικά.

Το δεύτερο ρεύμα που δημιουργείται από τον διαχωριστή – θραυστήρα, μεταφέρεται σε οπτικό διαχωριστή για την ανάκτηση του PET. Ενώ, το υπόλειμμα οδηγείται σε δεύτερο οπτικό διαχωριστή για την ανάκτηση όλων των χρωμάτων HDPE. Ακολουθεί μαγνητικός διαχωρισμός για την απομάκρυνση των σιδηρούχων υλικών, ενώ το αλουμίνιο ανακτάται μέσω διάταξης Eddy-Current. Τέλος, το υπόλειμμα και από αυτή τη διεργασία διαχωρισμού, οδηγείται σε χειροδιαλογή για την ανάκτηση τυχόν ανακυκλώσιμων και στη συνέχεια οδηγείται σε διάθεση, συνήθως ταφή.

Όσον αφορά τα σύμμεικτα απόβλητα, η διαδικασία διαχωρισμού που ακολουθείται είναι ίδια με αυτήν για τα ανάμεικτα ανακυκλώσιμα, εκτός από ένα περιστρεφόμενο κόσκινο που τοποθετείται ακριβώς μετά την τροφοδοσία του ΚΔΑΥ, για την απομάκρυνση οργανικών και βιοαποδομήσιμων υλικών. (Pressley et al. 2014)



Εικόνα 5-2: Διάγραμμα ροής ΚΔΑΥ το οποίο ανακτά αλουμίνιο, σιδηρούχα, γυαλί, συσκευασίες HDPE, ανάμεικτο χαρτί, πεπιεσμένο χαρτόνι (OCC), συσκευασίες PET και πλαστικά φιλμ. Όλα τα βέλη αναπαριστούν ταινίες μεταφοράς. Πηγή: Pressley et al. 2014

5.3.2 Μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Pressley et al. 2014), ο πιο ασφαλής τρόπος εκτίμησης της κατανάλωσης τόσο ενέργειας όσο και καυσίμων για κάθε ρεύμα υλικού που ανακτάται, θα ήταν η εκτίμηση της κατανάλωσης ανά μηχανήμα διαχωρισμού σε συνδυασμό με την απόδοση διαχωρισμού ως προς το εξεταζόμενο ρεύμα υλικών. Για τον διαχωρισμό κάθε υλικού υπάρχει πληθώρα διαφορετικών εξοπλισμών, που ενδεχομένως να λειτουργούν με την ίδια φιλοσοφία, ωστόσο παρουσιάζουν διαφορές στην κατανάλωση και στην απόδοσή τους.

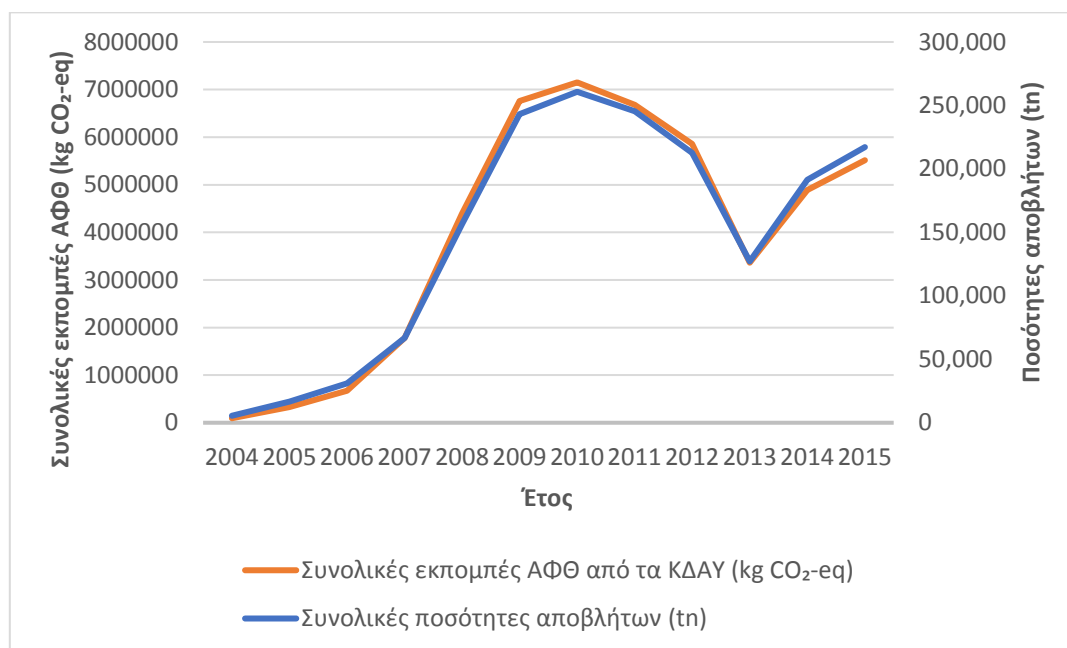
Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας δεν ήταν δυνατή η εύρεση τόσο αναλυτικών στοιχείων για ικανό αριθμό ΚΔΑΥ, ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν υπολογισμοί αντιπροσωπευτικοί για το σύνολο της διαλογής σε επίπεδο χώρας. Οι υπολογισμοί βασίστηκαν στα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν στην γενική περιγραφή του εξοπλισμού, στις εισερχόμενες ποσότητες αποβλήτων και ΑΥ, στα είδη και τις ποσότητες των εξερχόμενων ρευμάτων, το υπόλειμμα που προκύπτει από την επεξεργασία καθώς και την συνολική κατανάλωση ενέργειας από τις εγκαταστάσεις των ΚΔΑΥ. Κατά αυτόν τον τρόπο εξάχθηκαν συμπεράσματα που αφορούν στην συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από κάθε ΚΔΑΥ καθώς και σε επίπεδο χώρας. Επίσης, υπολογίστηκαν η κατανάλωση ενέργειας και οι αντίστοιχες εκπομπές για κάθε είδος ανακτώμενου υλικού.

Ο παράγοντας εκπομπής για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας παίρνει τιμές από 0.1 έως 0.9kg CO₂-eq/kWh, ανάλογα με την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται. Στην Ελλάδα, ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε μεγάλο

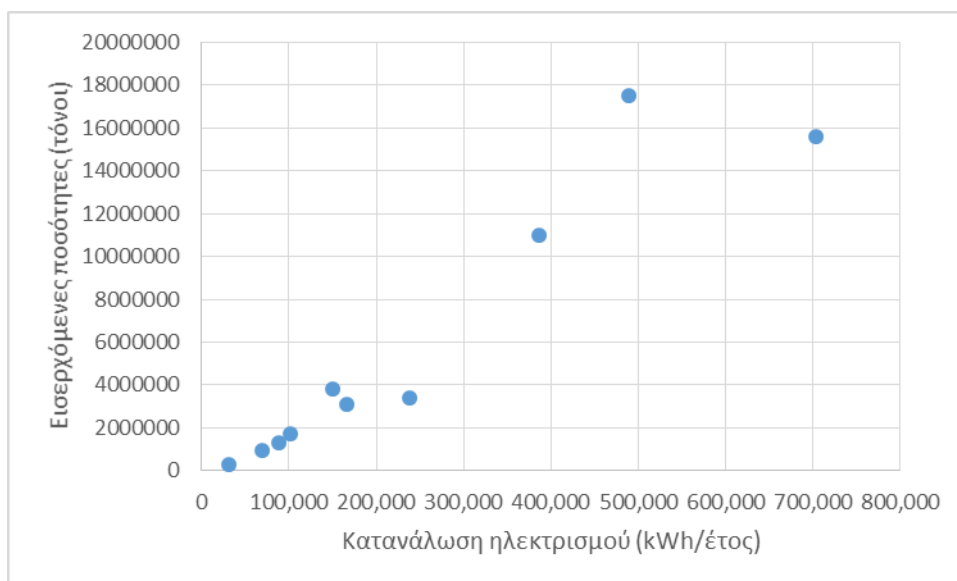
βαθμό με χρήση ορυκτών καυσίμων ως πρώτη ύλη. Για το λόγο αυτό, επιλέγεται για τους υπολογισμούς η μέγιστη τιμή του παράγοντα εκπομπής, δηλαδή η τιμή 0.9kg CO₂-eq/kWh.

5.3.3 Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την διαλογή υλικών

Με βάση τους υπολογισμούς, οι εκπομπές ΑΦΘ από την λειτουργία των ΚΔΑΥ, σε επίπεδο χώρας, παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις για την περίοδο 2004 – 2010. Την ίδια περίοδο, αυξητικές τάσεις παρουσιάζουν και οι ποσότητες υλικών που οδηγούνται σε ανακύκλωση ενώ αυξάνεται και ο αριθμός των λειτουργούντων ΚΔΑΥ. Στη συνέχεια, οι εκπομπές μειώνονται συνεχώς έως το έτος 2013. Για την περίοδο 2010 -2013 παρουσιάζει μείωση η ανακύκλωση, ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης (ΕΟΑΝ, 2014). Επίσης, την περίοδο 2010-2013 έγινε παύση της λειτουργίας σε 2 ΚΔΑΥ, το ΚΔΑΥ Φυλής και το ΚΔΑΥ Αμαρουσίου, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών. Από το έτος 2013 και μετά, οι εκπομπές παρουσιάζουν και πάλι αύξηση, η οποία μπορεί να αποδοθεί κατά κύριο λόγο στην αντίστοιχη αυξητική τάση των ποσοτήτων που οδηγούνται σε ανακύκλωση. Αναφορά στη διαχρονική εξέλιξη της ανακύκλωσης γίνεται στο Κεφάλαιο 5.



Διάγραμμα 5-7: Διαχρονική εξέλιξη εκπομπών ΑΦΘ από την λειτουργία των ΚΔΑΥ σε επίπεδο χώρας και για την περίοδο 2004-2015.



Αναλυτικότερα στοιχεία για τα Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών καθώς και την εξέλιξη της ανάκτησης, βρίσκονται στο Παράρτημα.

5.4 Εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση χαρτιού – χαρτονιού

5.4.1 Θεωρητική προσέγγιση – μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση χαρτιού – χαρτονιού

Το χαρτί και το χαρτόνι αποτελούν ένα μεγάλο τμήμα των αστικών στερεών αποβλήτων, κυρίως έντυπο χαρτί και συσκευασίες. Χαρτί και χαρτόνι ως απόβλητα μπορούν να αποτελούν ένα ρεύμα προς επεξεργασία ή να διαχωρίζονται, ανάλογα με την ποιότητα χαρτιού που πρέπει να παραχθεί. Εκτός από το χαρτί πολύ υψηλής ποιότητας, όλα τα υπόλοιπα είδη μπορούν να παραχθούν αποκλειστικά από ανακύκλωση χαρτιού. Έτσι, τα προδιαλεγμένα ρεύματα μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω και να ανακυκλωθούν. Η ανακτημένη ίνα προτιμάται ως πρώτη ύλη για τις βιομηχανίες χαρτοπολτού τόσο λόγω της νομοθετικής προώθησης της ανακύκλωσης όσο και την ανταγωνιστικής τιμής του έναντι των καθαρών πρώτων υλών.

Χρήσιμες πληροφορίες παρέχονται στον πίνακα 5-9 όπως παρουσιάζεται από τους Gentil et al. 2009. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει τις άμεσες εκπομπές της διεργασίας και τις μεταγενέστερες έμμεσες εκπομπές ΑΦΘ.

Πίνακας 5-9: Παράγοντες εκπομπής για την διαδικασία της ανακύκλωσης χαρτιού. Πηγή: Gentil et al. 2009

Άμεσες εκπομπές	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές
GWF (kg CO ₂ -eq. tn ⁻¹ ww): 2.7 έως 9.4	GWF (kg CO ₂ -eq. tn ⁻¹ ww): -4392 έως 1464

Η διαχείριση αποβλήτων χαρτιού περιλαμβάνει τη συλλογή, μεταφορά και διαχωρισμό σε ένα ΚΔΑΥ και γίνεται με το σκοπό παροχής κατάλληλου προϊόντος για

επεξεργασία και παραγωγή νέου χαρτιού και συναφών προϊόντων. Παρουσιάζονται διαφορές στη συλλογή και μεταφορά που δεν αναλύονται περαιτέρω. Στην παρούσα εργασία, η διαχείριση αποβλήτων χαρτιού συνεισφέρει στις αέριες εκπομπές έμμεσα με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων κατά τη λειτουργία των ΚΔΑΥ και άμεσα από την επεξεργασία τους, όπως μηχανική ή / και χημική πολτοποίηση. Η μηχανική επεξεργασία χρησιμοποιείται για χαρτί χαμηλότερης ποιότητας όπως είδη χαρτονιού, ενώ η μηχανική-χημική διεργασία, που περιλαμβάνει στάδιο απομάκρυνσης του μελανιού, χρησιμοποιείται για ανώτερης ποιότητας όπως το χαρτί εκτύπωσης, τα περιοδικά και τα χαρτομάντηλα. Όσον αφορά στις αέριες εκπομπές, οι διάφορες τεχνολογίες ποικίλουν κυρίως ως προς την κατανάλωση ενέργειας.

Στο σημείο αυτό κρίνεται δόκιμη μια σύντομη επισκόπηση των τεχνολογιών ανακύκλωσης χαρτιού καθώς και οι διεργασίες και ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή χαρτιού από καθαρές πρώτες ύλες. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, όταν αφορά στην παραγωγή χαμηλής ποιότητας χαρτιού, η χρήση ανακυκλωμένου χαρτιού επαρκεί. Όμως όταν απαιτείται υψηλότερη ποιότητα, μπορεί να κριθεί αναγκαία η επικουρική χρήση καθαρών πρώτων υλών για να αναβαθμίσουν τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Αυτό παρατηρείται διότι, κάθε φορά που υπόκειται σε επεξεργασία ανακύκλωσης το χαρτί, μειώνεται η ποιότητα των. Έτσι σπάνια χρησιμοποιείται αποκλειστικά ανακυκλωμένος χαρτοπολτός ως πρώτη ύλη. Εδώ θεωρείται ότι για τη παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού χρησιμοποιείται αποκλειστικά ανακυκλωμένο υλικό για να αντικαταστήσει χαρτί και χαρτόνι που παράγεται αποκλειστικά από καθαρές πρώτες ύλες.

Οι προγενέστερες έμμεσες εκπομπές για τη διαδικασία ανακύκλωσης χαρτιού οφείλονται στην κατανάλωση ενέργειας και ορυκτών καυσίμων κατά την διαδικασία της διαλογής των αποβλήτων χαρτιού. Οι εκπομπές αυτές υπολογίζονται στο Κεφάλαιο 5.3.3.

Οι άμεσες εκπομπές ΑΦΘ σχετίζονται με την επεξεργασία των αποβλήτων χαρτιού, για την παραγωγή νέου προϊόντος. Υπάρχουν δύο τρόποι μετατροπής του χαρτιού σε χαρτοπολτό, ο μηχανικός και ο χημικός μηχανικός.

Στον πρώτη περίπτωση, η παραγωγή χαρτιού βασίζεται στη μηχανική επαναπολτοποίηση και περιέχει συνήθως τις ακόλουθες διεργασίες: επαναπολτοποίηση, μηχανική αφαίρεση των ογκωδών προσμίξεων, εξευγενισμός μέσω πλύσης, διαχωρισμός και άλεσμα, μηχανική απομάκρυνση των προσμίξεων μικρότερου μεγέθους, ενίσχυση, προαιρετική λεύκανση και τέλος ξήρανση.

Ενώ, στην περίπτωση της χημικής-μηχανικής επεξεργασίας, περιλαμβάνεται το επιπρόσθετο στάδιο του αποχρωματισμού. Ο αποχρωματισμός γίνεται για τη λεύκανση του πολτού έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί σε ποιότητες χαρτιού, όπως το χαρτί εκτύπωσης, όπου είναι σημαντική η καθαρότητα. Ο αποχρωματισμός περιλαμβάνει ένα χημικό και ένα μηχανικό στάδιο. Στο χημικό στάδιο προστίθενται παράγοντες αποχρωματισμού στον πολτό, στάδιο που πραγματοποιείται συνήθως κατά τη διάρκεια της πολτοποίησης. Το μελάνι απομακρύνεται μηχανικά μέσω επίπλευσης. Το στάδιο αυτό συνήθως γίνεται μετά το στάδιο εξευγενισμού.

Παραγωγή χαρτιού από καθαρές πρώτες ύλες:

Το χαρτί που παράγεται μέσω ανάκτησης υλικών θα αντικαταστήσει προϊόντα με τα ίδια χαρακτηριστικά που θα παράγονταν από καθαρές πρώτες ύλες. Η παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού από καθαρή πρώτη ύλη ξύλου γίνεται με δύο τρόπους: μηχανική ή χημική πολτοποίηση.

Στην μηχανική πολτοποίηση οι ίνες του ξύλου διαχωρίζονται μεταξύ τους μηχανικά. Οι βασικές διεργασίες και τεχνικές είναι: πολτοποίηση ξύλου με πέτρα (SGW), πολτοποίηση

ξύλου με πίεση (PGW), θερμομηχανική πολτοποίηση (TMP) και χημικο-θερμομηχανική πολτοποίηση (CTMP). Αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: στην μηχανική όπου το ξύλινο φορτίο πιέζεται σε μία κυλιόμενη πέτρα αλέσματος με ταυτόχρονη προσθήκη νερού. Στη θερμομηχανική πολτοποίηση το ξύλο μετατρέπεται σε πολτό μέσω δίσκων κοπής.

Με τη διεργασία αυτή θα προκύψει ένα μείγμα ινών και μεγαλύτερων θραυσμάτων. Ο πολτός ξύλου έχει μεγάλη περιεκτικότητα καλής ποιότητας υλικού και κατεστραμμένων ινών που δίνουν στον πολτό τις οπτικές και επιφανειακές ιδιότητες. Μέσω των δίσκων κοπής παράγονται μεγαλύτερες ποσότητες ανέπαφων μακριών ινών που προσδίδουν στον πολτό μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Η χημικο-θερμομηχανική επεξεργασία θεωρείται μηχανική πολτοποίηση καθώς τα χημικά χρησιμοποιούνται για να λειάνουν τη λιγνίνη πριν το μηχανικό στάδιο, αντί να την διαλύσουν πλήρως όπως σε μία αμιγώς χημική διεργασία (IPCC 2001).

Η χημική πολτοποίηση περιλαμβάνει επεξεργασία με καυστικό νάτριο (NaOH) και θειικά (SO_4^{2-}) ή θειώδη (SO_3^{2-}) για την απομάκρυνση ινών κυτταρίνης από τη λιγνίνη και άλλες ακαθαρσίες κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας υπό υψηλή πίεση. Τα κομμάτια του ξύλου αποδομούνται μερικώς για να αποδυναμωθούν οι δεσμοί μεταξύ των ινών και της λιγνίνης. Τα κομμάτια μετά επεξεργάζονται σε ραφινιέρα. Η χημική πολτοποίηση δεν έχει μεγάλο βαθμό απόδοσης, ωστόσο είναι πιο αποδοτική σε σχέση με τη μηχανική όταν πρόκειται για μακριές ίνες. Η πιο διαδεδομένη διαδικασία χημικής πολτοποίησης στη παραγωγή είναι με τη χρήση θειικών, που αποκαλείται επίσης και μέθοδος Kraft. Μόλις το 10% της παγκόσμιας παραγωγής χρησιμοποιεί πολτοποίηση με θειώδη (IPCC 2001). Τα πλεονεκτήματα της χρήσης θειικών έναντι των θειωδών είναι ότι παράγεται πιο ανθεκτικός πολτός και μπορεί να γίνει επεξεργασία όλων των ειδών του ξύλου, ενώ με τα θειώδη δεν μπορούμε να επεξεργαστούμε ξύλο πεύκου. Η πολτοποίηση με θειικά χρησιμοποιείται για ποιότητα χαρτιού όπως είναι πάνελ επένδυσης ή χαρτί συσκευασίας τροφίμων, ενώ τα θειώδη χρησιμοποιούνται για παραγωγή χαρτιού χαμηλότερης ανθεκτικότητας. Λόγω των χημικών αντιδράσεων ο χαρτοπολτός γίνεται πιο σκουρόχρωμος από ότι με το ξύλο και έτσι συνήθως υπόκειται σε λεύκανση. Η χημική πολτοποίηση έχει μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις λόγω της φάσης υψηλής πίεσης. Ωστόσο, το κομμάτι των κορμών που δεν καταλήγουν ως ίνες και το «μαύρο υγρό» που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εναλλακτική πηγή ενέργειας, κάνουν τους μύλους χημικής πολτοποίησης λιγότερο εξαρτώμενους από εξωτερικές πηγές ηλεκτρισμού. Μπορούν επίσης να γίνουν καθαροί προμηθευτές ενέργειας, θερμότητας και καυσίμων.

Πηγές αέριων εκπομπών:

Οι πηγές αέριων εκπομπών παρουσιάζονται ως άμεσες ή έμμεσες σε σχέση με τις αντίστοιχες δραστηριότητες στο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων. Περιλαμβάνει διαδικασίες που εκτελούνται μέσα στο ΚΔΑΥ και τις προγενέστερες και μεταγενέστερες έμμεσες διαδικασίες που επηρεάζονται από την λειτουργία των ΚΔΑΥ. Για την διαχείριση αποβλήτων χαρτιού οι αέριες εκπομπές συνδέονται άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας. Τα περισσότερα αέρια δημιουργούνται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, για την παραγωγή ενέργειας, είτε με καύση στην εγκατάσταση, από προγενέστερες διαδικασίες που παρέχουν ενέργεια ή προσμετρώνται στις μεταγενέστερες διαδικασίες.

Άμεσες εκπομπές από τη διεργασία:

Τα στοιχεία, που προκύπτουν από τη βιβλιογραφία, καλύπτουν την κατανάλωση καυσίμων ντίζελ από τους ανυψωτές (0,7-1 lt/ton αποβλήτων χαρτιού) και κατανάλωση καυσίμων για την θέρμανση των κτιρίων (15-87 MJ/ton αποβλήτων χαρτιού) και ηλεκτρικής ενέργειας (9-30 kWh/ton αποβλήτων χαρτιού). Οι άμεσες εκπομπές από τις διεργασίες αυτές

είναι λίγες καθώς οι περισσότερες εκπομπές εμφανίζονται προγενέστερα στο σύστημα. Εδώ προσδιορίζονται οι εκπομπές από την κατανάλωση ντίζελ από τα οχήματα και τον εξοπλισμό καθώς και η θέρμανση των κτιρίων (Merrild et al. 2009).

Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές:

Αυτές προκαλούνται από τη χρήση των αποβλήτων χαρτιού στη παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού αλλά και στην επεξεργασία των υπολειμμάτων από το ΚΔΑΥ. Ενώ ανάλογα με το σύστημα μπορούν να προσμετρηθούν και η εξοικονόμηση ενέργειας από την υποκατάσταση πρωτογενών πρώτων υλών αλλά και η διάσωση των δασών. Επίσης μπορεί να προσμετρηθεί η δέσμευση του άνθρακα από τα δάση και η υποκατάσταση παραγωγής ενέργειας από τη χρήση βιομάζας για παραγωγή ενέργειας. Τα περισσότερα στοιχεία που αφορούν στα ΚΔΑΥ στη βιβλιογραφία παρουσιάζουν τα στοιχεία ανά τόνο εκροής. Δεν είναι σύνηθες το συλλεγόμενο χαρτί να μην περιέχει προσμίξεις ή να μην υπάρχει απώλεια υλικού κατά την επεξεργασία. Στην παρούσα εργασία τα στοιχεία έχουν μετατραπεί ανά τόνο εισροής όπως συμβαίνει και για τα υπόλοιπα υλικά. Στην βιβλιογραφία δεν υπάρχει καμία τεκμηρίωση για την απώλεια υλικού. Το EcoInvert παρουσιάζει μία απώλεια υλικού ως προς την επεξεργασία χαρτιού σε 2,4% κατά βάρος και αυτή την απώλεια χρησιμοποιούμε και εδώ. Θεωρείται δικαιολογημένο να αποκλείονται οι αέριες εκπομπές από την επεξεργασία των υπολειμμάτων χαρτιού καθώς οι ποσότητες είναι πολύ μικρές και οι αέριες εκπομπές περιορισμένες.

Εκτίμηση των αέριων εκπομπών:

Οι προγενέστερες, κατά τη διαδικασία και μεταγενέστερες αέριες εκπομπές εκτιμώνται με τη χρήση των παραγόντων εκπομπής (EFs). Ένας τέτοιος παράγοντας περιγράφει κάθε εκπομπή σαν μία ποσότητα που εκπέμπεται ανά χαρακτηριστική μονάδα. Μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να είναι συγκεντρωτικό από μία πληθώρα παραγόντων και να παρουσιάζεται ως kg CO₂-eq ανά χαρακτηριστική μονάδα. Στη περίπτωση συγκεντρωτικών παραγόντων, οι αέριες εκπομπές μετατρέπονται σε ισοδύναμα διοξειδίου του άνθρακα με τη χρήση των δυναμικών στη παγκόσμια θέρμανση (GWP) όπως παρουσιάζονται από την IPCC για 100 χρόνια. (Solomon et al. 2007)

Υπάρχει πληθώρα περιβαλλοντικών αναφορών από χαρτοβιομηχανίες και το επίπεδο των αέριων εκπομπών είναι τόσο ευρύ όσο τα στοιχεία που αναφέρονται. Μη συγκεντρωτικά και καλά περιγραφόμενα στοιχεία είναι συχνά περιορισμένα γεωγραφικά για να αναπαραστήσουν τη βόρεια και κεντρική Ευρώπη. Αυτό καθιστά δύσκολη την εκτίμηση της εγκυρότητας των στοιχείων και την εκτίμηση του πόσο αντιπροσωπευτικά είναι τα στοιχεία από την άποψη των αποβλήτων χαρτιού που παρέχονται στην παγκόσμια αγορά. Έχουν υπάρξει προγενέστερες μελέτες για την επεξεργασία χαρτιού και χαρτονιού όπου στοιχεία για διαφορετικές χώρες έδειξαν διαφορετικές αέριες εκπομπές. Αυτό συνδέεται πρωταρχικά με τις διαφορές των τεχνολογιών και της ενέργειας που χρησιμοποιούν. Επιπρόσθετα οι διαφορές μπορεί να προκύπτουν και από το αν συμπεριλαμβάνουν την περιορισμένη χρήση βιομάζας ως πηγή για ενέργεια

Όταν ανακυκλώνεται το χαρτί υπάρχει τόσο απώλεια υλικού όσο και απώλεια ποιότητας του υλικού κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Η απώλεια υλικού σημαίνει ότι ένας τόπος εισερχόμενων αποβλήτων χαρτιού δεν δίνει έναν τόνο εξερχόμενου χαρτιού και αυτή η απώλεια είναι συγκεκριμένη για κάθε εγκατάσταση και κυμαίνεται από 2% έως 18% (Merrild et al. 2008). Η απώλεια ποιότητας υλικού οφείλεται στην επανεπεξεργασία του χαρτιού λόγω του ότι οι ίνες σε κάθε επεξεργασία χάνουν μήκος και πρέπει να προστεθούν νέες ίνες για να διατηρήσουν την ίδια ποιότητα χαρτιού. Αυτό σημαίνει ότι η αναλογία υποκατάστασης ανάμεσα στο ανακυκλωμένο και στο καθαρό χαρτί είναι συνήθως λιγότερο από 1 : 1. Η αναλογία υποκατάστασης ποικίλει ανάλογα με την ποιότητα του χαρτιού που

συλλέγεται και την ποιότητα του χαρτιού που παράγεται. Σύμφωνα με τους Schmidt & Stromberg (2006) η απώλεια ποιότητα για χαρτί εφημερίδας και για χαρτί περιοδικού είναι αμελητέα ενώ για χαρτί συσκευασίας, χαρτόνι συσκευασίας, χαρτί εκλεκτής ποιότητας και ανάμεικτο χαρτί είναι περίπου 10%.

Οι προσεγγίσεις στη δέσμευση του άνθρακα από τα δάση που περιγράφονται στη βιβλιογραφία παρουσιάζουν διαφορές. Σε σχέση με το χαρτί οι προσεγγίσεις κυμαίνονται από την απόλυτη δέσμευση άνθρακα λόγω της ανακύκλωσης (US EPA 2006) σε απόλυτη δέσμευση άνθρακα κατά την πρωτογενή παραγωγή (McDougall et al. 2001). Το US EPA παρουσιάζει δέσμευση άνθρακα από 1,2 – 3 kg CO₂ / kg ανακυκλωμένου χαρτιού. Ο McDougall et al. (2001) θεωρεί ότι η χρήση ξύλου προωθεί τα δάση των ταχέως αναπτυσσόμενων δένδρων και έτσι την πρόσληψη CO₂, δέσμευση την οποία εξαλείφει η ανακύκλωση. Η δέσμευση άνθρακα καταγράφεται μεταξύ 1,8 και 2,2 kg CO₂ / kg ξύλου που καταναλώνεται. Αυτές οι προσεγγίσεις δεν λαμβάνονται περαιτέρω υπόψιν.

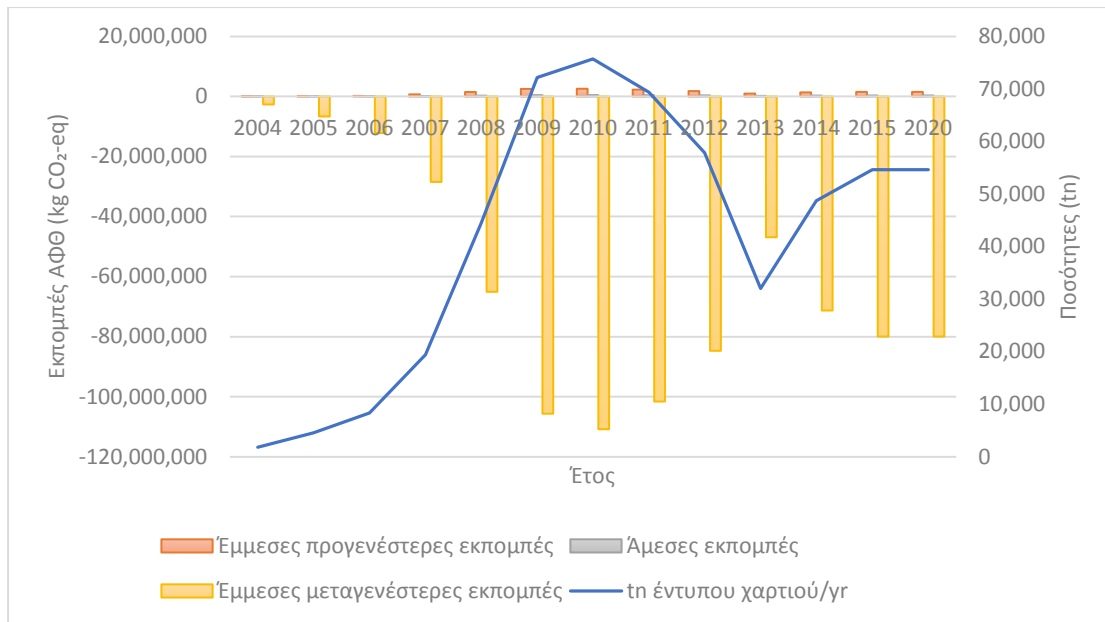
Οι αέριες εκπομπές έχουν παραπέρα συγκεντρωθεί στους παράγοντες παγκόσμιας θέρμανσης (GWFs). Οι παράγοντες αυτοί εδώ χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν το συνολικό δυναμικό συνεισφοράς στην παγκόσμια θέρμανση από το σύνολο των διεργασιών για τη τεχνολογία διαχείρισης αποβλήτων εκφραζόμενο σε kg CO₂-eq/ ton αποβλήτων με υγρασία. Ενώ, έχουν θετικές τιμές όταν πρόκειται για συνεισφορά στην παγκόσμια θέρμανση και αρνητικές όταν αφορούν σε εξοικονόμηση.

5.4.2 Εκτίμηση των εκπομπών ΑΦΘ

Για την ανακύκλωση του χαρτιού γίνονται δύο χωριστές προσεγγίσεις. Η πρώτη, που παρουσιάζεται και στο Διάγραμμα 5-8, αφορά αποκλειστικά την ανακύκλωση του έντυπου χαρτιού. Ενώ, η δεύτερη αφορά την ανακύκλωση χάρτινης συσκευασίας και χαρτονιού και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5-9.

Πίνακας 5-10:Υπολογισμός άμεσων και έμμεσων προγενέστερων και μεταγενέστερων εκπομπών από την ανακύκλωση έντυπου χαρτιού.

Έτος	τη έντυπου χαρτιού/γρ	Έμμεσες προγενέστερες εκπομπές	Άμεσες εκπομπές	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές	Συνολικές
2004	1.820	30.996	11.011	-2.664.480	-2.622.473
2005	4.546	86.643	27.503	-6.655.344	-6.541.198
2006	8.322	179.235	50.350	-12.183.906	-11.954.320
2007	19.444	695.883	117.636	-28.465.987	-27.652.468
2008	44.442	1.481.895	268.873	-65.062.854	-63.312.086
2009	72.175	2.504.671	436.661	-105.664.639	-102.723.307
2010	75.710	2.571.305	458.044	-110.839.074	-107.809.725
2011	69.400	2.276.072	419.867	-101.600.985	-98.905.046
2012	57.864	1.791.430	350.075	-84.712.325	-82.570.820
2013	32.030	966.943	193.781	-46.891.700	-45.730.976
2014	48.696	1.359.453	294.612	-71.291.237	-69.637.172
2015	54.610	1.516.755	330.388	-79.948.484	-78.101.340
2020	54.610	1.516.755	330.388	-79.948.484	-78.101.340

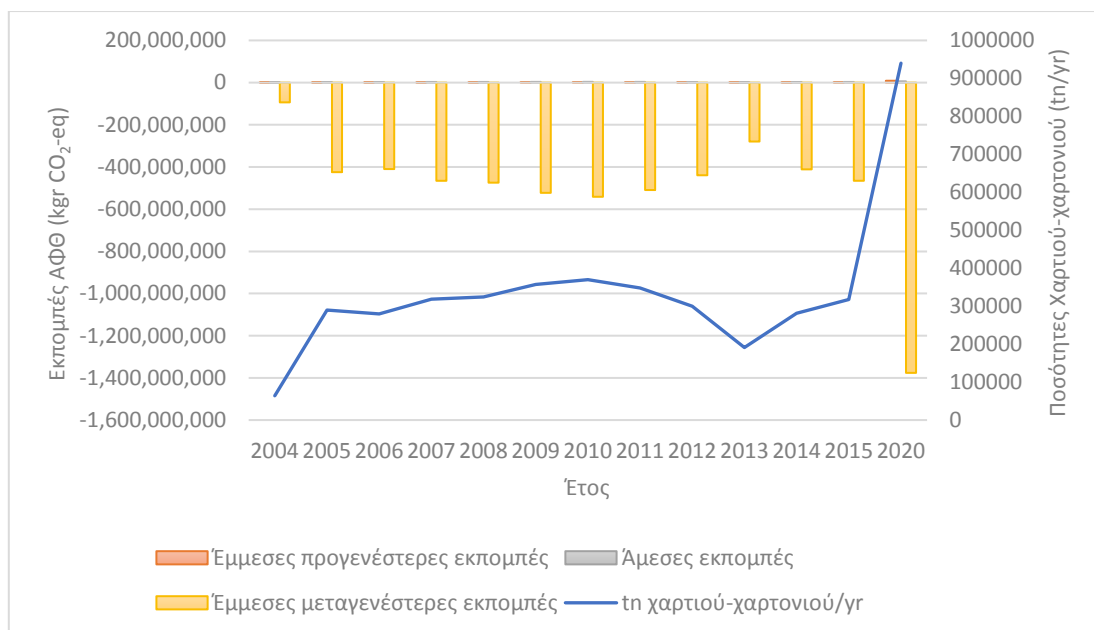


Διάγραμμα 5-8: : Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαδικασία της ανακύκλωσης έντυπου χαρτιού και εξοικονόμηση εκπομπών από την υποκατάσταση καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας) και ποσότητες εντύπου χαρτιού που ανακυκλώθηκαν (Δευτερεύων άξονας).

Η διακύμανση των εκπομπών από την ανακύκλωση έντυπου χαρτιού που παρατηρείται στο διάγραμμα 5-8, είναι ανάλογη των ποσοτήτων που ανακυκλώθηκαν την περίοδο αυτή με το έτος 2010 να παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή και το έτος 2013 η ελάχιστη τιμή. Στόχος του ΕΣΔΑ είναι να παραμείνει η ανακύκλωση έντυπου χαρτιού στα επίπεδα που βρισκόταν το έτος 2015. Αντίθετα, όσον αφορά στη χάρτινη συσκευασία, ο στόχος μείωσης των ποσοτήτων που θα οδηγούνται σε ταφή με παράλληλη αύξηση της ανακύκλωσης είναι σχεδόν διπλή ποσότητα από αυτή που ανακυκλώθηκε το 2015 με παράλληλο τετραπλασιασμό σχεδόν των εκπομπών που μπορούν να αποφευχθούν.

Πίνακας 5-11: Υπολογισμός άμεσων και έμμεσων προγενέστερων και μεταγενέστερων εκπομπών από την ανακύκλωση χάρτινης συσκευασίας.

Έτος	Ποσότητες συσκευασίας χαρτιού tn/yr	Έμμεσες προγενέστερες εκπομπές	Άμεσες εκπομπές	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές	Συνολικές εκπομπές
2004	64000	34083	601600	-93.696.000	-93.060.317
2005	290000	143636,4	2726000	-424.560.000	-421.690.364
2006	280000	290938,14	2632000	-409.920.000	-406.997.062
2007	318000	640170,432	2989200	-465.552.000	-461.922.630
2008	324056	1670730,138	3046126,4	-474.417.984	-469.701.127
2009	357000	2449280,97	3355800	-522.648.000	-516.842.919
2010	369780	2657593,026	3475932	-541.357.920	-535.224.395
2011	347900	2547684,756	3270260	-509.325.600	-503.507.655
2012	300100	2323998,792	2820940	-439.346.400	-434.201.461
2013	190814	1408088,952	1793651,6	-279.351.696	-276.149.955
2014	280986	2051812,728	2641268,4	-411.363.504	-406.670.423
2015	317938	2317598,64	2988617,2	-465.461.232	-460.155.016
2020	497.249	12.083.151	8.836.254	-1.376.199.528	-1.358.429.214



Διάγραμμα 5-9: Εκπομπές ΑΦΘ από τη διαδικασία της ανακύκλωσης χάρτινης συσκευασίας και χαρτονιού και εξοικονόμηση εκπομπών από την υποκατάσταση καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας) και ποσότητες εντύπου χαρτιού που ανακυκλώθηκαν (Δευτερεύων άξονας).

5.5 Εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση πλαστικού

5.5.1 Θεωρητική προσέγγιση – μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση πλαστικού

Περίπου το 11% κατά βάρος των ΑΣΑ μπορεί να είναι απόβλητα πλαστικού. Πολυαιθυλένιο (χαμηλής και υψηλής πυκνότητας, LDPE και HDPE) και πολυπροπυλένιο (PP) είναι σημαντικά πολυμερή, αλλά το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) και πολυστυρένιο (PS) εμφανίζονται επίσης (Astrup et al. 2009). Τα πλαστικά αντικείμενα στα απόβλητα μπορεί να είναι είτε καθαρά πλαστικά ενός τύπου (όπως μπουκάλια νερού) ή βρώμικα ενός τύπου (όπως αντικείμενα συσκευασίας αλλά και σακούλες απορριμμάτων) και σύμμεικτα πλαστικά για τη συσκευασία τροφίμων (όπως κρέατος και λαχανικών) καθώς και πλαστικά συνδυασμένα με άλλα υλικά (νάυλον, μέταλλα και χαρτόνι) όπως είναι τα παιχνίδια και τα εργαλεία.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σύντομη παρουσίαση των διεργασιών που σχετίζονται με τη διαχείριση αποβλήτων πλαστικού. Η προγενέστερη συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς. Μελετώνται τα απόβλητα πλαστικού αφού παραληφθούν από το ΚΔΑΥ, όπου γίνεται επεξεργασία τους για να οδηγηθούν στη βιομηχανία προς παραγωγή νέων προϊόντων ή για χρήση ως καύσιμα. Καθώς η ποιότητα του πλαστικού μειώνεται κάθε φορά που υπόκειται σε επεξεργασία, είναι απαραίτητη η προσθήκη καθαρών πρώτων υλών για την παραγωγή υψηλής ποιότητας πλαστικού έτσι ώστε να διασφαλιστούν οι επιθυμητές ιδιότητες. Θεωρούμε ότι η παραγωγή πλαστικού από αποκλειστικά ανακυκλωμένο υλικό, αντικαθιστά πλαστικό παραγόμενο αποκλειστικά από καθαρές πρώτες ύλες ή από καθαρό ξύλο όταν πρόκειται για προϊόντα χαμηλής ανθεκτικότητας. Πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι μπορεί να υποκαθιστούνται και άλλα

υλικά πέρα από το ξύλο, ωστόσο αυτό απαιτεί μεγαλύτερη ανάλυση της αγοράς το οποίο είναι εκτός εργασίας.

Επανεπεξεργασία των απόβλητων πλαστικών:

Υψηλής ποιότητας απόβλητα πλαστικού που περιέχουν μόνο ενός τύπου πλαστικό (HDPE, PP, PET) μπορούν να οδηγηθούν κατευθείαν στην παραγωγή όπως γίνεται με τις καθарές πρώτες ύλες. Ωστόσο λεπτά κόσκινα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση μικρών ακαθαρσιών που παραμένουν στο ρευστό πλαστικό πριν τη δημιουργία του νέου προϊόντος. Η ποσότητα των ακαθαρσιών που απομακρύνεται είναι συνήθως πολύ μικρή αλλά καθοριστική για την ποιότητα του προϊόντος. Για πρακτικούς λόγους θα θεωρήσουμε ότι η διαδικασία επεξεργασίας των κόκκων είναι ίδια με την επεξεργασία των καθαρών πρώτων υλών, τουλάχιστον από την άποψη των αέριων εκπομπών. Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι δεν υπάρχει παραπάνω συμβολή στην παγκόσμια θέρμανση που να σχετίζεται με την επεξεργασία των αποβλήτων πλαστικού (ωστόσο η μεταγενέστερη εξοικονόμηση οφείλεται στην αποφυγή παραγωγής από καθарές πρώτες ύλες).

Πηγές αέριων εκπομπών:

Τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες εκπομπές σχετίζονται με τις διεργασίες μέσα στο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων. Για τη διαχείριση αποβλήτων πλαστικού, οι άμεσες εκπομπές σχετίζονται με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα ΚΔΑΥ, ενώ οι έμμεσες καλύπτουν τις προγενέστερες και μεταγενέστερες διεργασίες που επηρεάζονται από την λειτουργία των ΚΔΑΥ. Οι αέριες εκπομπές επηρεάζονται κυρίως από τη χρήση ενέργειας. Οι περισσότερες προκύπτουν από την ενέργεια που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα είτε από την κατανάλωση καυσίμων στο ΚΔΑΥ, από την ενέργεια που παρέχεται ή πιστώνεται στις μεταγενέστερες διεργασίες που υποκαθιστούνται από το ανακυκλωμένο υλικό.

Άμεσες εκπομπές:

Οι άμεσες εκπομπές από τη διαχείριση των αποβλήτων πλαστικού σχετίζονται με τις διεργασίες μετατροπής του πλαστικού σε ένα προϊόν που να μπορεί να πουληθεί στη βιομηχανία πλαστικού. Βασικός παράγοντας είναι η λειτουργία του ΚΔΑΥ. Στα ΚΔΑΥ καταναλώνεται ενέργεια (ηλεκτρισμός και καύσιμα) για την διαχείριση και τη μηχανική επεξεργασία των πλαστικών και καύσιμα για τα οχήματα. Η κατανάλωση ηλεκτρισμού είναι σημαντική. Με βάση τη βιβλιογραφία (Astrup et al. 2009) η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας έχει υπολογιστεί από 25 kWh/ton πλαστικού (για απλό διαχωρισμό και κοπή) έως 600 kWh/ton πλαστικού (σε περιπτώσεις όπου το πλαστικό ρευστοποιείται πριν τη κοκκοποίηση για την απομάκρυνση προσμίξεων και τη διασφάλιση υψηλής ποιότητας προϊόντος). Συνήθως, η κατανάλωση κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών 25-300 kWh/ton πλαστικού. Η δημιουργία καυσίμου από τα απόβλητα πλαστικού χρειάζεται λιγότερη επεξεργασία άρα και κατανάλωση ενέργειας και κυμαίνεται από 25 – 200 kWh/ton πλαστικού.

Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας προσμετράται ως διεργασία εκτός του συστήματος διαχείρισης και θεωρείται ως προγενέστερη πηγή αέριων εκπομπών. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τα οχήματα έχουν υπολογιστεί γενικά ως 1 lt ντίζελ/ton αποβλήτων (Fisher 2006). Μπορεί επίσης να γίνεται και κατανάλωση φυσικού αερίου ή πετρελαίου, για παράδειγμα για τη ξήρανση πριν το διαχωρισμό, αυτό έχει υπολογισθεί σε περίπου 25Nm³ φυσικού αερίου και 1 lt πετρελαίου /ton αποβλήτων (Consonni et al. 2005). Η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων από τα ΚΔΑΥ προκαλεί άμεσες αέριες εκπομπές ενώ η παροχή των καυσίμων θεωρείται ως έμμεση προγενέστερη εκπομπή.

Έμμεσες προγενέστερες εκπομπές:

Αυτές σχετίζονται με ένα εύρος διεργασιών, ωστόσο μόνο λίγες θεωρούνται σημαντικές και περιλαμβάνονται στην εργασία. Η πρώτη ομάδα δραστηριοτήτων σχετικών με τα ΚΔΑΥ είναι η παροχή ηλεκτρισμού, ντίζελ, προσθετικών υλικών και υλικών συσκευασίας. Εδώ λαμβάνουμε υπόψη μόνο την παροχή ηλεκτρισμού και καυσίμων.

Η δεύτερη ομάδα δραστηριοτήτων σχετίζεται με τη συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων. Εδώ όμως ασχολούμαστε με τα πλαστικά απόβλητα από τη στιγμή που καταφθάνουν στο ΚΔΑΥ και μετά.

Η τελευταία ομάδα προγενέστερων δραστηριοτήτων σχετίζεται με τη κατασκευή των κτιρίων και του εξοπλισμού. Η βασικότερη πηγή αέριων εκπομπών είναι η κατανάλωση ενέργειας κατά την κατασκευή. Ωστόσο θεωρείται πολύ χαμηλή ανά τόνο πλαστικού που επεξεργάζεται ένα ΚΔΑΥ κατά τη λειτουργία του.

Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές:

Αυτές σχετίζονται με την επανεπεξεργασία των πλαστικών κόκκων ή τη χρήση των αποβλήτων ως καύσιμα.

Για τη μεταγενέστερη συμβολή λαμβάνονται υπόψη τρεις βασικές εναλλακτικές: η ανακύκλωση καθαρού πλαστικού ενός τύπου, η ανακύκλωση αναμειγμένου πλαστικού με προσμίξεις και η χρήση του πλαστικού ως καυσίμου. Οι δύο πρώτες εναλλακτικές περιλαμβάνουν ανακύκλωση υλικών και συνήθως περιγράφονται στη βιβλιογραφία ως μηχανική ανακύκλωση. Η πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει την υποκατάσταση καθαρού πλαστικού ενώ στη δεύτερη αντικαθίσταται ξύλο. Στην τρίτη περίπτωση αντικαθίσταται η χρήση άλλων καυσίμων. Και στις τρεις περιπτώσεις οι έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές αντιστοιχούν σε εξοικονόμηση λόγω υποκατάστασης.

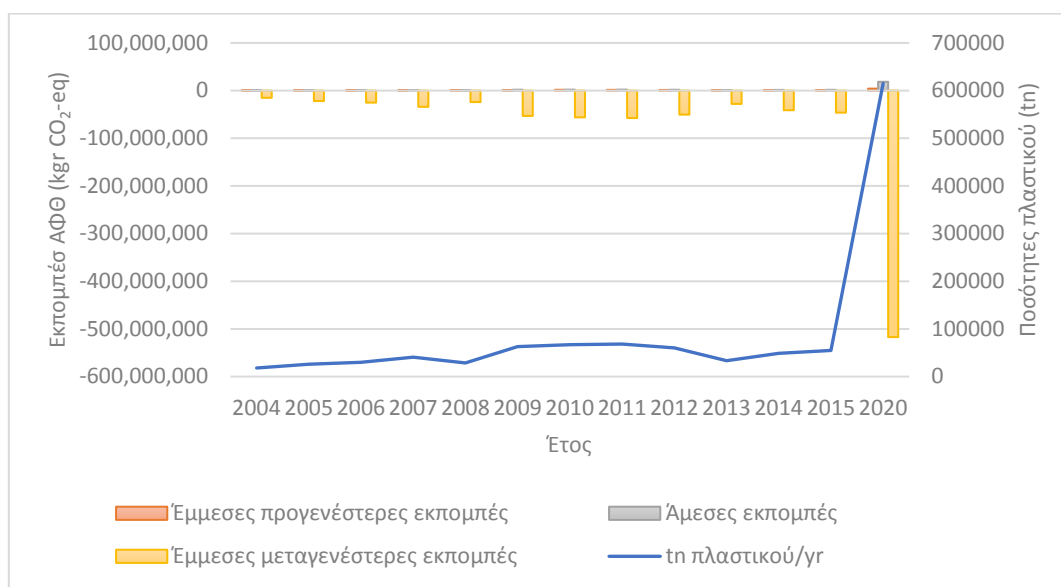
5.5.2 Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση πλαστικών

Σύμφωνα και με την παραπάνω ενότητα, αέριες εκπομπές λόγω ανακύκλωσης πλαστικού, παρουσιάζονται κατά την διαλογή, την επεξεργασία των αποβλήτων πλαστικού και την ανακύκλωση του. Ωστόσο, οι εκπομπές αυτές υπερκαλύπτονται από τις ποσότητες εκπεμπόμενων αερίων που αποφεύγονται κατά την υποκατάσταση καθαρών πρώτων υλών από ανακυκλωμένα, στις βιομηχανίες πλαστικού. Για την περίοδο 2004 – 2015 μπορούν να παρατηρηθούν κάποιες μικρές διακυμάνσεις στις ποσότητες που ανακυκλώνονται και τις αντίστοιχες εκπομπές. Ωστόσο, ο στόχος που τίθεται από τον ΕΣΔΑ για την ανακύκλωση πλαστικού για το έτος 2020, έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά υψηλότερη εξοικονόμηση εκπομπών σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση

Πίνακας 5-12: Υπολογισμοί άμεσων και έμμεσων προγενέστερων και μεταγενέστερων εκπομπών ΑΦΘ για την ανακύκλωση πλαστικού, για τα έτη 2004-2015 και εκτίμηση εκπομπών για το 2020.

Έτος	tn πλαστικού/yr	Έμμεσες προγενέστερες εκπομπές	Άμεσες εκπομπές	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές	Συνολικές εκπομπές
2004	18000	18837	540000	-15138000	-14579163
2005	26000	62622,9	780000	-21866000	-21023377,1
2006	30000	126559,08	900000	-25230000	-24203440,92
2007	40500	425075,148	1215000	-34060500	-32420424,85
2008	28605	1076671,296	858150	-24056805	-22121983,7

2009	63200	943966,9793	1896000	-53151200	-50311233,02
2010	66730	1731588,912	2001900	-56119930	-52386441,09
2011	68530	1611008,829	2055900	-57633730	-53966821,17
2012	59900	1366782,156	1797000	-50375900	-47212117,84
2013	33233	717745,194	996990	-27948953	-26234217,81
2014	48925	1019808,468	1467750	-41145925	-38658366,53
2015	54983	1140505,272	1649490	-46240703	-43450707,73
2020	615010	4171046,4	18450300	-517223410	-494602063,6



Διάγραμμα 5-10: Παρουσίαση έμμεσων και άμεσων εκπομπών ΑΦΘ από την διαλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση των αποβλήτων πλαστικού καθώς και αποφυγή εκπομπών λόγω της υποκατάστασης καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας). Ποσότητες αποβλήτων πλαστικού που οδηγήθηκαν στην ανακύκλωση για την περίοδο 2004 -2015 (Δευτερεύων άξονας)

5.6 Εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση γυαλιού

5.6.1 Θεωρητική προσέγγιση – μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση γυαλιού

Το γυαλί και η συσκευασία γυαλιού αποτελεί ένα σημαντικό μέρος των ΑΣΑ. Αυτά τα προϊόντα αγγίζουν το 82% της παραγωγής γυαλιού στην Ευρώπη (IPCC, 2001). Βασικά συστατικά του γυαλιού είναι ο χαλαζίας (SiO₂), το οξείδιο του νατρίου (Na₂O) και το οξείδιο του ασβεστίου (CaO).

Τα απόβλητα γυαλιού δεν αποσυντίθενται κατά την καύση ή την ταφή και προσθέτουν όγκο στα υπολείμματα αυτών των διεργασιών. Επίσης, δεν είναι δυνατή η ενεργειακή αξιοποίηση του γυαλιού και έτσι προκύπτει ότι η ανακύκλωσή του είναι η προτιμότερη διαδικασία για την επεξεργασία του. Η ανακύκλωση των αποβλήτων γυαλιού μπορεί να ακολουθήσει δύο κύριες οδούς (Waste Centre Denmark 2008):

1. Θραύση και τήξη των θραυσμάτων για την παραγωγή νέων γυάλινων συσκευασιών με την παράλληλη απομάκρυνση προσμίξεων. Ενώ παράλληλα μπορεί να γίνεται και διαχωρισμός των θραυσμάτων με βάση το χρώμα. Η χρήση των θραυσμάτων αυτών ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία γυαλιού μπορεί να εξοικονομήσει στη χρήση φυσικών πόρων καθώς και στην κατανάλωση ενέργειας.

2. Διαχωρισμός και πλύση γυάλινων συσκευασιών, κυρίων φιαλών, για επαναχρησιμοποίηση. Αυτή η μέθοδος συνήθως δεν προσμετράται στις στατιστικές των αποβλήτων διότι το συγκεκριμένο ρεύμα διαχειρίζονται μέσω προγραμμάτων επιστροφής συνήθως οι ίδιες οι βιομηχανίες. Τέτοια προγράμματα μπορούν να συμπεριληφθούν στην πρόληψη των αποβλήτων. Στην παρούσα έρευνα συμπεριλαμβάνονται μόνο οι φιάλες που συλλέγονται από τα απόβλητα και οδηγούνται σε επαναχρησιμοποίηση. Σε αυτή τη περίπτωση, η επαναχρησιμοποίηση υποκαθιστά τη παραγωγή νέου προϊόντος.

Οι δύο αυτές βασικές διεργασίες συνεισφέρουν στη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, από τη πλευρά της διαχείρισης των αποβλήτων. Χρήσιμες πληροφορίες για τις άμεσες και έμμεσες εκπομπές ή την εξοικονόμησή τους παρέχονται στο γενικό πλαίσιο που συστάθηκε από τον Gentil et al. (2009). Οι αέριες εκπομπές διαχωρίζονται με βάση το GWP.

Τήξη του υαλοθραύσματος:

Οι βιομηχανίες γυαλιού παραλαμβάνουν το υαλόθραυσμα από τα ΚΔΑΥ ή τις ΜΜΒΕ και το χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη. Πριν τη χρησιμοποίησή του, το υαλόθραυσμα υπόκειται σε επαναλαμβανόμενες διαδικασίες διαχωρισμού για την απομάκρυνση τυχόν προσμίξεων, έτσι ώστε να μπορεί να παραχθεί καθαρή πρώτη ύλη. Είναι πιθανή και η περαιτέρω θραύση του. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός είναι ίδιος με αυτόν των ΚΔΑΥ. Η τροφοδοσία για την παραγωγή γυάλινων συσκευασιών μπορεί να αποτελείται και ως 90% από υαλόθραυσμα όσον αφορά το χρωματιστό γυαλί (IPCC 2001). Ένα μεγάλο πλεονέκτημα στη χρήση υαλοθραύσματος είναι η χαμηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια όσον αφορά τους φούρνους όπου για κάθε 10% υαλόθραυσμα στην πρώτη ύλη η κατανάλωση μειώνεται κατά 2-3%.

Επαναχρησιμοποίηση:

Η επαναχρησιμοποίηση του γυαλιού αφορά κυρίως σε γυάλινες συσκευασίες ποτών, διότι απαντώνται σε μεγάλες ποσότητες και χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Η επαναχρησιμοποίηση περιλαμβάνει δύο κύριες διεργασίες: τον διαχωρισμό και την πλύση. Οι φιάλες που δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μετατρέπονται σε υαλόθραυσμα και μεταπωλούνται. Ο διαχωρισμός μπορεί να αφορά τόσο το σχήμα όσο και το χρώμα. Για την πλύση χρησιμοποιούνται καυτό νερό και σόδα για την απομάκρυνση βρωμιάς και ετικετών. Στη συνέχεια τα δοχεία «στεγνώνουν» και συσκευάζονται. Η διαδικασία περιλαμβάνει εξοπλισμό διαχωρισμού όπως των ΚΔΑΥ, και μηχανήματα για την πλύση τα οποία πιθανώς να ακολουθούνται από μηχανισμό καθαρισμού των υγρών αποβλήτων στην εγκατάσταση.

Πρωταρχική παραγωγή γυαλιού:

Στο παρόν κείμενο αναφέρεται μόνο η παραγωγή γυάλινων συσκευασιών (βάσει του IPCC, 2001 και IPCC, 2006) λόγω της συνάφειας με την ανακύκλωση γυάλινων συσκευασιών.

Οι πιο βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γυαλιού είναι η άμμος (SiO_2), το ανθρακικό νάτριο (NaCO_3) και ο ασβεστόλιθος (CaCO_3), καθώς και άλλα υλικά σε μικρότερες ποσότητες. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται και πληθώρα υγρών και αέριων υλικών κατά τη διαδικασία.

Τα υλικά τροφοδοτούνται σε ένα λουτρό στον κλίβανο όπου μέσω χημικών διεργασιών δημιουργείται το γυαλί. Κατά τη διάρκεια της ρευστοποίησης απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα από τα ανθρακικά άλατα, και δημιουργούνται οξείδια που είναι το βασικό συστατικό του γυαλιού. Οι απώλειες σε αέρια αγγίζουν το 20% της συνολικής μάζας. Το ρευστοποιημένο γυαλί μετά τον κλίβανο, μέσω διαδοχικών διαδικασιών θέρμανσης και ψύξης, μετατρέπεται στα τελικά προϊόντα. Η θερμοκρασία μέσα στον κλίβανο φτάνει τους

1650°C, και η θερμότητα προσφέρεται συμβατικά με καύση ορυκτών καυσίμων και φυσικού αερίου ενώ υπάρχει και κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε ενέργεια, η ανάκτηση θερμότητας από την καύση αερίου είναι κρίσιμη, για την υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η παραγωγική διαδικασία είναι συνεχής και ένας κλίβανος μπορεί να λειτουργεί συνεχόμενα για 12 έτη. Έως το 75% της κατανάλωσης ενέργειας αποδίδεται στον κλίβανο, ενώ το υπόλοιπο 25% αποδίδεται κυρίως σε διαδικασίες θέρμανσης και ψύξης.

Εάν θέλουμε να συμπεριλάβουμε το μεταγενέστερο όφελος της ανακύκλωσης, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ακριβή ποσότητα που αντικαθίσταται λόγω της ανακύκλωσης. Μια μικρή ποσότητα υλικού χάνεται στη διαδικασία της ανακύκλωσης και έτσι το γυαλί δεν μπορεί να ανακυκλώνεται επ' άπειρο. Ωστόσο, η ποιότητα του γυαλιού δεν αλλοιώνεται, ανεξάρτητα των διαδικασιών ανακύκλωσης που θα υποστεί, εάν το υαλόθραυσμα είναι αυστηρώς διαχωρισμένο ανά χρώμα.

Πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:

Για τον υπολογισμό των GWF (Global Warming Factors) πρέπει να εξακριβωθούν όλες οι πιθανές πηγές εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Η ανακύκλωση αποβλήτων συμπεριλαμβανόμενη στις διαδικασίες διαχείρισης αποβλήτων, προκαλούν άμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, αυτές οι διεργασίες επηρεάζουν άλλες διεργασίες εκτός του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων που μπορεί να προκαλούν αέριες εκπομπές. Οι πιθανές πηγές, έμμεσες ή άμεσες, περιγράφονται παρακάτω.

Άμεσες εκπομπές:

Η διαχείριση αποβλήτων γυαλιού καθορίζεται εδώ ως οι διαδικασίες που σχετίζονται με τη μετατροπή των αποβλήτων αυτών σε νέα προϊόντα, που μπορούν να αξιοποιηθούν από άλλες βιομηχανίες. Το κέντρο διαχωρισμού (βλ. ΚΔΑΥ – ΕΜΑΚ) είναι βασικό σε αυτό το πλαίσιο. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η βασική πηγή ενέργειας σε αυτές τις διαδικασίες διαχωρισμού, δεν προκαλεί όμως άμεσες εκπομπές. Έτσι, η βασικότερη πηγή άμεσων εκπομπών σε μια τέτοια εγκατάσταση είναι η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων από τα οχήματα μεταφοράς των αποβλήτων μέσα στην εγκατάσταση.

Προγενέστερες έμμεσες εκπομπές:

Η προγενέστερη συμβολή στις αέριες εκπομπές από την ανακύκλωση γυαλιού σχετίζονται με:

1. Προβλεπόμενες ανάγκες σε ηλεκτρισμό, καύσιμα, νερό, βοηθητικά μέσα και υλικά συσκευασίας της εγκατάστασης ανακύκλωσης. Η παραγωγή αυτών των υλικών και ενεργειακών φορέων απαιτεί κατανάλωση ενέργειας, η οποία συνήθως προέρχεται από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και ως εκ τούτου προκαλεί εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
2. Η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων γυαλιού. Η παροχή και καύση ορυκτών καυσίμων, κυρίως ντίζελ, από τα οχήματα μεταφοράς προκαλεί εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
3. Η κατασκευή των εγκαταστάσεων, μηχανημάτων και εξοπλισμού για την παροχή των παραπάνω αναφερθέντων προϊόντων και υπηρεσιών μπορεί επίσης να συνεκτιμηθεί σε μια ανάλυση κύκλου ζωής. Επίσης, σε αυτή τη περίπτωση, η παροχή ενέργειας είναι η κύρια πηγή αέριων εκπομπών.

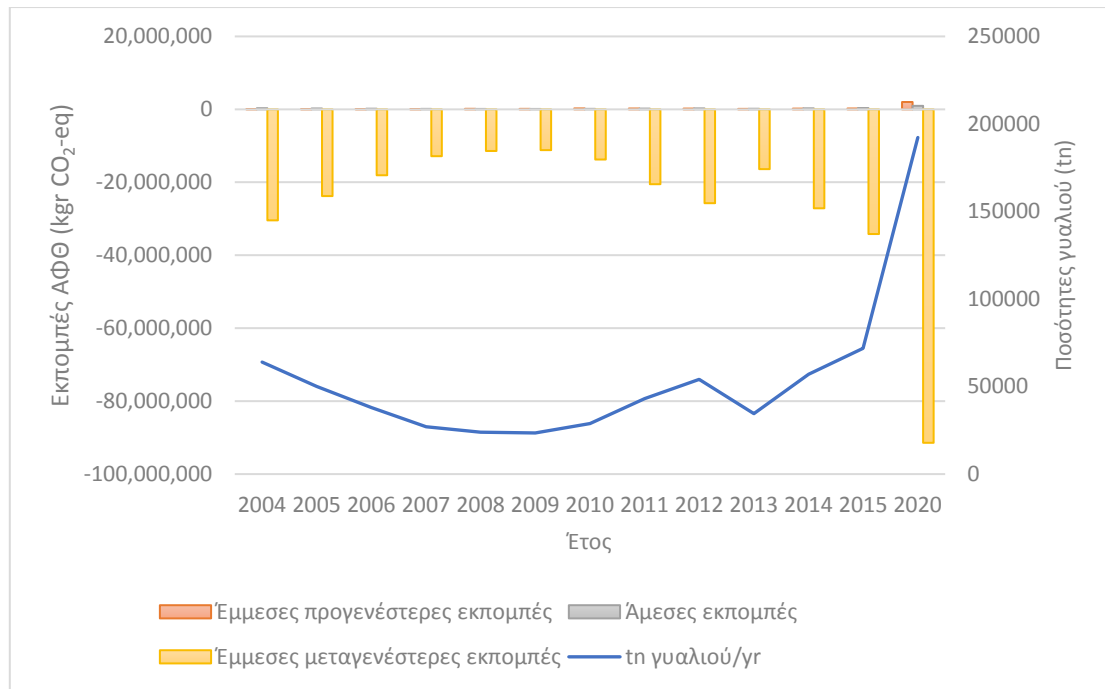
5.6.2 Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση γυαλιού

Σύμφωνα και με την παραπάνω ενότητα, αέριες εκπομπές λόγω ανακύκλωσης γυαλιού, παρουσιάζονται κατά την διαλογή, την επεξεργασία των αποβλήτων γυαλιού και την ανακύκλωση του. Ωστόσο, οι εκπομπές αυτές υπερκαλύπτονται από τις ποσότητες εκπεμπόμενων αερίων που αποφεύγονται κατά την υποκατάσταση καθαρών πρώτων υλών από ανακυκλωμένα, στις βιομηχανίες γυαλιού. Για την περίοδο 2004 – 2015 μπορούν να παρατηρηθούν κάποιες μικρές διακυμάνσεις στις ποσότητες που ανακυκλώνονται και τις αντίστοιχες εκπομπές. Ωστόσο, ο στόχος που τίθεται από τον ΕΣΔΑ για την ανακύκλωση γυαλιού για το έτος 2020, έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά υψηλότερη εξοικονόμηση εκπομπών σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

Πίνακας 5-13: Υπολογισμοί άμεσων και έμμεσων προγενέστερων και μεταγενέστερων εκπομπών ΑΦΘ για την ανακύκλωση γυαλιού, για τα έτη 2004-2015 και εκτίμηση εκπομπών για το 2020.

Έτος	Ποσότητες γυαλιού tn/yr	Έμμεσες προγενέστερες εκπομπές	Άμεσες εκπομπές	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές	Συνολικές εκπομπές
2004	64000	3780	320000	-30.432.000	-30108220
2005	50000	13054,5	250000	-23.775.000	-23511945,5
2006	38000	25918,38	190000	-18.069.000	-17853081,62
2007	27000	65547,792	135000	-12.838.500	-12637952,21
2008	24000	153810,594	120000	-11.412.000	-11138189,41
2009	23500	139885,3404	117500	-11.174.250	-10916864,66
2010	28923	256076,847	144615	-13.752.887	-13352194,65
2011	43150	235447,668	215750	-20.517.825	-20066627,33
2012	54100	214255,512	270500	-25.724.550	-25239794,49
2013	34462	134059,293	172310	-16.386.681	-16080311,71
2014	57048	205022,781	285240	-27.126.324	-26636061,22
2015	71883	238367,772	359415	-34.180.367	-33582583,73
2020	192261	2017143	961305	-91420106	-88441657,5

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, η ανακύκλωση των αποβλήτων γυαλιού προκαλεί εκπομπές ΑΦΘ λόγω της ανάγκης διαλογής τους, η οποία γίνεται κυρίως μηχανικά για λόγους ασφαλείας του προσωπικού, καθώς και λόγω της ανάγκης ρευστοποίησης του.



Διάγραμμα 5-11: Παρουσίαση έμμεσων και άμεσων εκπομπών ΑΦΘ από την διαλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση των αποβλήτων γυαλιού καθώς και αποφυγή εκπομπών λόγω της υποκατάστασης καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας). Ποσότητες αποβλήτων γυαλιού που οδηγήθηκαν στην ανακύκλωση για την περίοδο 2004 -2015 (Δευτερεύων άξονας)

5.7 Εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση αποβλήτων μετάλλων

5.7.1 Θεωρητική προσέγγιση – μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση μετάλλων

Τα μέταλλα, ως μέρος των ΑΣΑ, είναι κυρίως ρεύμα των αποβλήτων συσκευασίας. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα σιδηρούχα (σίδηρος και ατσάλι) και τα μη σιδηρούχα μέταλλα (που περιλαμβάνουν όλα τα υπόλοιπα, όπως αλουμίνιο, χαλκός, μόλυβδος, χρώμιο και πολύτιμα μέταλλα).

Ο κύριος λόγος ανακύκλωσης των μετάλλων είναι οι μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις κατά την παραγωγή των μετάλλων από πρωτογενείς πρώτες ύλες. Ενώ, η επανεπεξεργασία των αποβλήτων μετάλλου έχει πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, για παράδειγμα, η ανακύκλωση του αλουμινίου απαιτεί μόλις το 5% της ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη παραγωγή του από πρωτογενείς πρώτες ύλες (IPCC, 2001). Ένας ακόμη λόγος για την ανακύκλωση των μετάλλων είναι οι περιορισμένοι φυσικοί πόροι και το ορυκτό μέταλλευμα που γίνεται ολοένα πιο σπάνιο και πιο δαπανηρό στην εκμετάλλευση.

Η διαχείριση αποβλήτων μετάλλου περιλαμβάνει την συλλογή, μεταφορά και διαχωρισμό σε ΚΔΑΥ. Έτσι, η ανακύκλωση μετάλλων συμβάλει στη παγκόσμια θέρμανση είτε άμεσα μέσω της χρήσης καυσίμων ή έμμεσα μέσω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στην έμμεση συμβολή μπορεί να συμπεριληφθούν και η παραγωγή υλικών συσκευασίας και καθαρισμού.

Ανακύκλωση ατσαλιού:

Η επικρατέστερη, σε παγκόσμιο επίπεδο, διαδικασία είναι η χρήση φούρνων ηλεκτρικού τόξου (EAF) που δέχεται το 100% των αποβλήτων χάλυβα (IISI 2005). Τα κύρια μέρη αυτής της διεργασίας είναι τα ακόλουθα. Τα απόβλητα αρχικά προθερμαίνονται με τα αέρια που δημιουργούνται στο τελευταίο στάδιο της διεργασίας για εξοικονόμηση ενέργειας (μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και ορυκτά καύσιμα). Στη συνέχεια φορτώνονται σε κάδους μαζί με ανθρακικά, που χρησιμεύουν ως ρευστοποιητές. Οι άνοδοι του κλιβάνου βυθίζονται στη συνέχεια μέσα στα απόβλητα. Η αρχική ενέργεια των τόξων είναι χαμηλή, μέχρι να βυθιστούν εξ ολοκλήρου στο μίγμα οπότε και αυξάνεται η ενέργεια μέχρι να λιώσουν πλήρως. Στα πρώτα στάδια μπορεί να προστεθεί και οξυγόνο για την επιτάχυνση της διαδικασίας. Όταν επιτευχθεί η τελική θερμοκρασία και ο χάλυβας έχει ρευστοποιηθεί πλήρως, το μίγμα τοποθετείται σε κουτιά όπου προστίθενται και κράματα και αντιοξειδωτικές ενώσεις. Στη συνέχεια ο χάλυβας οδηγείται στην παραγωγή νέου προϊόντος.

Ανακύκλωση αλουμινίου:

Η ανακύκλωση αλουμινίου γίνεται συνήθως σε περιστροφικούς ή αναστρεφόμενους κλιβάνους, ενώ για μεγαλύτερη καθαρότητα μπορεί να χρησιμοποιηθούν και επαγωγικοί κλιβανοί οι οποίοι όμως δεν είναι ευρέως διαδεδομένοι. Για το αλουμίνιο από τα ΑΣΑ, όπως τα αλουμινένια δοχεία και τα λεπτά φύλλα, απαιτείται προεργασία για την απομάκρυνση των προσμίξεων, όπως ετικέτες και λεκέδες λαδιού, αναλόγως με την πηγή των αποβλήτων. Αυτό βελτιώνει τη θερμική απόδοση της ανακύκλωσης και μειώνει τις αέριες εκπομπές από την τήξη. Τα απόβλητα στη συνέχεια οδηγούνται στους κλιβάνους. Υπάρχει πληθώρα ρυθμίσεων για τους κλιβάνους ανάλογα με την ποιότητα των αποβλήτων αλουμινίου. Το ρευστοποιημένο αλουμίνιο μετά οδηγείται είτε απευθείας στην παραγωγή ή σε άλλους φούρνους για την δημιουργία κραμάτων. Σε αυτή τη διαδικασία το αλουμίνιο εκκαθαρίζεται για την απομάκρυνση και των τελευταίων προσμίξεων. Η ανακύκλωση του αλουμινίου χρησιμοποιεί μόλις το 5% της ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή αλουμινίου από καθαρές πρώτες ύλες (EEA 2008).

Πρωτογενής παραγωγή χάλυβα:

Εδώ το μέταλλευμα σιδήρου αρχικά ρευστοποιείται σε υψικάμινο για να τροφοδοτηθεί σε BOF για τη μετατροπή του σε χάλυβα. Το μέταλλευμα σιδήρου αναμειγνύεται με ρευστοποιητές και ημίκαυστο άνθρακα (coke) και φορτώνεται στο επάνω μέρος της υψικαμίνου. Ο κλίβανος θερμαίνεται μέσω εστιών που φτάνουν τους 1100-1500°C ενώ προωθείται ψυχρός αέρας που διαπερνά τις εστίες αυτές και έτσι τροφοδοτείται ο κλίβανος με θερμό αέρα θερμοκρασίας 900-1300 °C (IPCC 2008). Έτσι αντιδρούν τα οξείδια μετάλλου με τον ημίκαυστο άνθρακα (coke) και η σκωρία με τον λιωμένο σίδηρο απομακρύνονται από τον κλίβανο από το κάτω μέρος του. Η σκωρία απομακρύνεται στη συνέχεια από τον λιωμένο σίδηρο με τη χρήση «εξαφριστήρα» (skimmer) και το λιωμένο σίδηρο είτε χυτεύεται ή αποστέλλεται για την παραγωγή χάλυβα σε κάδους τορπιλών (torpedo ladles) ή οχήματα μεταφοράς. Εάν ο λιωμένος σίδηρος πρόκειται να οδηγηθεί για την παραγωγή χάλυβα θα προεπεξεργαστεί για την απομάκρυνση προσμίξεων θείου, φωσφόρου και σιλικόνης. Μετά θα σταλεί σε BOF όπου θα προστεθεί στο μίγμα οξυγόνο για την οξειδωσή του. Όταν επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία θα τοποθετηθεί σε κάδους και θα προστεθούν στο μίγμα κράματα και αντιοξειδωτικά. Μετά από αυτό το στάδιο το μίγμα θα σταλεί για χύτευση.

Πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου:

Η παραγωγή του περιλαμβάνει εξόρυξη βωξίτη, παραγωγή αλουμίνης, παραγωγή άνθρακα ανόδου, τήξη αλουμινίου και χύτευση ράβδων. Ο βωξίτης μετατρέπεται σε αλουμίνα μέσω της διεργασίας Bayer, κατά την οποία καυστικό νάτριο χρησιμοποιείται για την εκχύλιση της αλουμίνης. Αυτό παράγει μία λάσπη πλούσια σε νάτριο του αλουμινίου και

σε μείγμα οξειδίων των μετάλλων. Τα οξείδια των μετάλλων απομακρύνονται και το διάλυμα αλουμίνας ψύχεται και εμφυτεύεται με αλουμίνα για την κρυσταλλοποίηση της ένυδρης αλουμίνας. Η αλουμίνα διαλύεται σε ένα λουτρό με φθοριούχο νάτριο του αλουμινίου και μέσω ηλεκτρόλυσης μετατρέπεται σε αλουμίνιο. Η διαδικασία Hall-Heroult είναι πολύ ενεργοβόρα και είναι η κύρια πηγή αέριων εκπομπών κατά την παραγωγή αλουμινίου. Το τηγμένο αλουμίνιο αποσύρεται από τα κελιά μετατροπής και μεταφέρεται στα εργοστάσια χύτευσης, όπου προστίθεται κράμα προσθετικών και ακολουθεί η παραγωγή νέων προϊόντων.

Οι πηγές αέριων εκπομπών από την ανακύκλωση χάλυβα και αλουμινίου είναι τόσο άμεσες όσο και έμμεσες.

Για τη διαχείριση αποβλήτων μετάλλου οι άμεσες εκπομπές αφορούν στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο ΚΔΑΥ. Για τη διαχείριση των ανακτημένων χάλυβα και αλουμινίου η βασική πηγή αέριων εκπομπών είναι η κατανάλωση ενέργειας. Ενώ παράγεται και διοξείδιο του άνθρακα από τις διεργασίες τήξης με οξείδωση όταν αντιδρά το οξυγόνο με τον άνθρακα. Πολυφθοριούχοι άνθρακες (PFC) όπως ο τετραφθοράνθρακας και ο εξαφθοράνθρακας παράγονται κατά τη διάρκεια της ηλεκτρόλυσης (IPCC 2001), τα οποία αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου αρκετά επιβλαβή.

Οι μεταγενέστερες έμμεσες εκπομπές σχετίζονται με:

1. Η προσθήκη υαλοθραύσματος στην παραγωγή γυαλιού σχετίζεται με την αποφυγή αέριων εκπομπών. Παρά το γεγονός ότι ο διαχωρισμός του υαλοθραύσματος απαιτεί κατανάλωση ενέργειας, η προσθήκη του ως πρώτη ύλη μειώνει το σημείο τήξης και έτσι μειώνει τις ενεργειακές ανάγκες στη βιομηχανία παραγωγής γυαλιού. Οι ενεργειακές απαιτήσεις καλύπτονται από ηλεκτρισμό, φυσικό αέριο ή υγρά καύσιμα των οποίων η παραγωγή και χρήση προκαλούν εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου.

2. Η διάσπαση των ανθρακικών και η πύρωσή τους κατά τη διαδικασία παραγωγής γυαλιού, απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα. Η προσθήκη υαλοθραύσματος στην παραγωγή γυαλιού υποκαθιστά τη χρήση ανθρακικών αλάτων και έτσι αποφεύγονται οι αέριες εκπομπές.

3. Με την ανακύκλωση αποφεύγονται η εξόρυξη, ο τεμαχισμός και η διαλογή φυσικών πόρων όπως η άμμος, το αμμοχάλικο και ο ασβεστόλιθος. Οι αέριες εκπομπές που αποφεύγονται σχετίζονται με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων από τον εξοπλισμό και τα οχήματα κατά τις διαδικασίες αυτές.

Οι άμεσες εκπομπές προέρχονται από την λειτουργία των ΚΔΑΥ. Αυτές είναι κυρίως από την κατανάλωση καυσίμων από τους γεραμούς (6,8 lt/ton αποβλήτων μετάλλου). Ένα μέρος των άμεσων εκπομπών μπορεί επίσης να οφείλεται στην κατανάλωση καυσίμων για θέρμανση, ωστόσο τα ποσά θεωρούνται αμελητέα. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τους τεμαχιστές (50 kWh/ton αποβλήτων (H.J.Hansen 2009)), περιλαμβάνονται στη μεσαία στήλη.

Τα περισσότερα στοιχεία στη βιβλιογραφία υπολογίζονται ανά τόνο εξερχόμενου ρεύματος. Είναι απίθανο τα συλλεγόμενα μέταλλα να μην περιέχουν προσμίξεις και έτσι να μην υπάρχει καμία απώλεια υλικού κατά την επεξεργασία τους στα ΚΔΑΥ. Έτσι και εδώ όλες οι τιμές δίνονται ανά τόνο βρεγμένων αποβλήτων αν και στην περίπτωση των μετάλλων η περιεχόμενη υγρασία θεωρείται αμελητέα.

Η US EPA (2006) έχει καταγράψει απώλεια υλικού για την ανακύκλωση του αλουμινίου 7% ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση αλουμινίου (EAA 2008) καταγράφει τιμές 2-3% για συσκευασία και 4-6% για παλιά μέταλλα γενικότερα. Επειδή στην βιβλιογραφία δεν

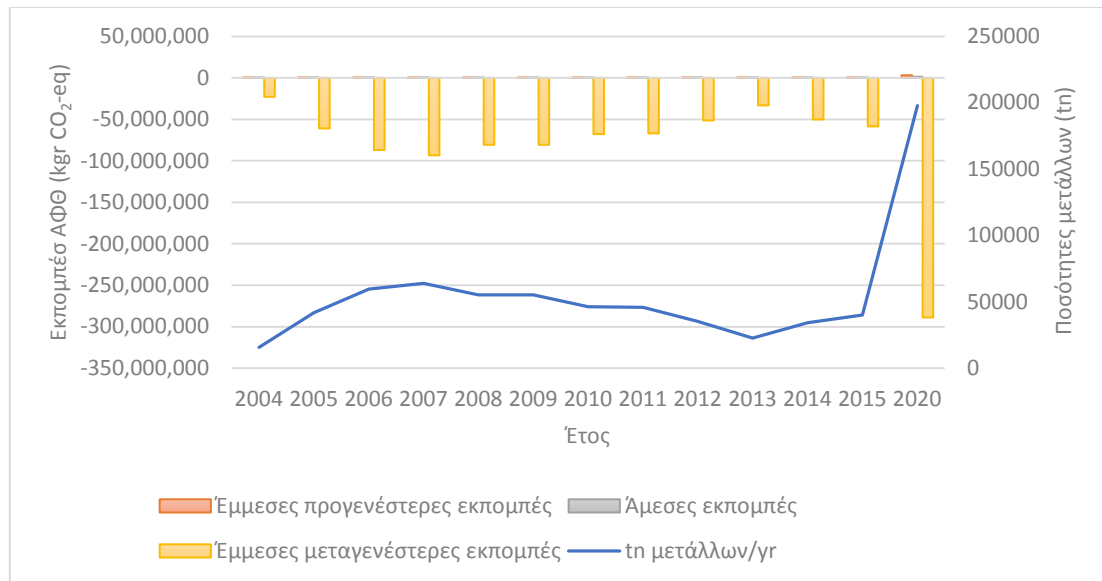
στοιχειοθετείται απώλεια υλικού, από τις παραπάνω πηγές χρησιμοποιήθηκε ένας μέσος όρος 5%. Επιπρόσθετα φάνηκε ότι κατά την προεπεξεργασία και τον διαχωρισμό του αλουμινίου στα ΚΔΑΥ υπήρξε απώλεια υλικού 4,8% πριν την ανακύκλωση (EAA 2008). Άρα η συνολική απώλεια αλουμινίου από τη στιγμή που εισέρχεται στο ΚΔΑΥ μέχρι την παραγωγή των τελικών ράβδων είναι περίπου 10% τιμή που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς. Η απώλεια υλικού στην ανακύκλωση χάλυβα είναι 5% σύμφωνα με την US EPA (2006), το οποίο συμφωνεί με τα στοιχεία από την EcoInvent (Classen et al. 2007). Η απώλεια χάλυβα στο ΚΔΑΥ είναι σχεδόν αμελητέα, αφού από τις πηγές φαίνεται να είναι 1-2% (US EPA 2006, Classen et al. 2007). Έτσι χρησιμοποιήθηκε η τιμή 2% όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο.

5.7.2 Εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από την ανακύκλωση

Λόγω των διαφορών ως προς την επεξεργασία και τις ενεργειακές απαιτήσεις που παρουσιάζουν τα δύο αυτά είδη μετάλλων, κρίθηκε σκόπιμη η χωριστή παρουσίαση των εκπομπών ΑΦΘ που παρατηρούνται κατά την ανακύκλωση αυτών των υλικών. Ο κύριος λόγος είναι για να δοθεί έμφαση στην υψηλή συμβολή τους στην εκπομπή ΑΦΘ κατά την παραγωγή τους καθώς και την αντίστοιχη εξοικονόμηση, όταν οι καθαρές πρώτες ύλες υποκαθίστανται από ανακυκλωμένες.

Πίνακας 5-14: Υπολογισμοί αέριων εκπομπών από την ανακύκλωση μεταλλικών συσκευασιών για την περίοδο 2004-2015 και εκτίμηση εκπομπών για το έτος 2020.

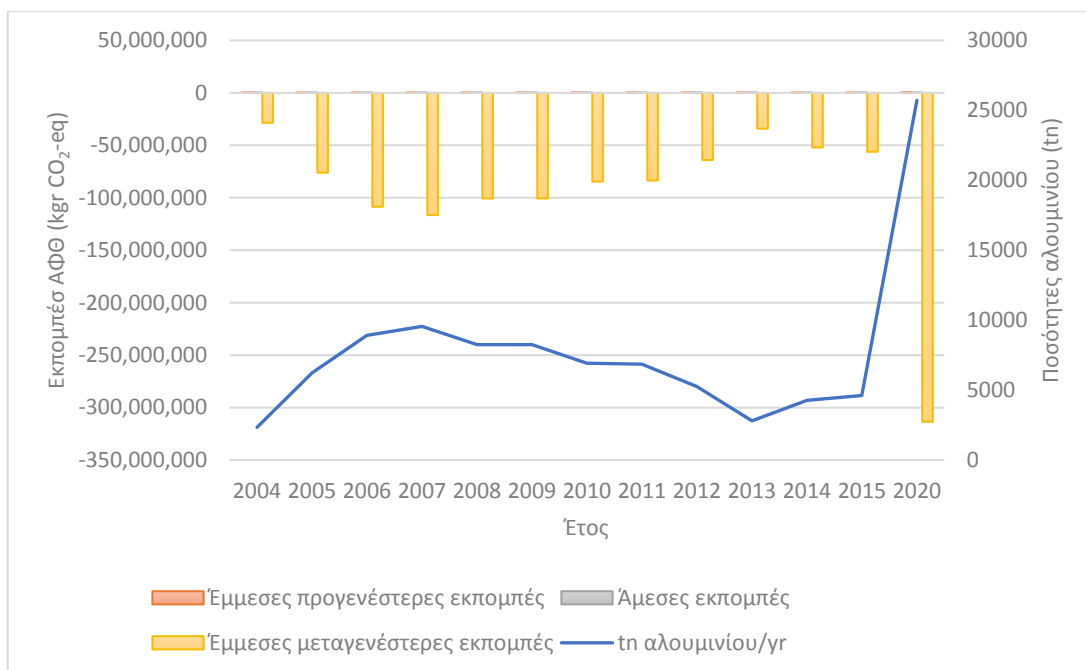
Έτος	Ποσότητες μετάλλων tn/yr	Έμμεσες προγενέστερες εκπομπές	Άμεσες εκπομπές	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές	Συνολικές πλαστικό
2004	15660	3276	106488	-22.863.600	-22753836
2005	41760	14494,5	283968	-60.969.600	-60671137,5
2006	59595	25750,98	405246	-87.008.700	-86577703,02
2007	63945	54868,806	434826	-93.359.700	-92870005,19
2008	55245	153155,286	375666	-80.657.700	-80128878,71
2009	55245	139283,671	375666	-80.657.700	-80142750,33
2010	46423,2	237754,242	315677,76	-67.777.872	-67224440
2011	45849	226489,275	311773,2	-66.939.540	-66401277,53
2012	35148	207212,76	239006,4	-51.316.080	-50869860,84
2013	22735	121480,857	154598	-33.193.100	-32917021,14
2014	34345	179933,085	233546	-50.143.700	-49730220,92
2015	40060	209546,649	272408	-58.487.600	-58005645,35
2020	197815	3131574,048	1345142	-288809900	-284333184



Διάγραμμα 5-12: : Παρουσίαση έμμεσων και άμεσων εκπομπών ΑΦΘ από την διαλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση των αποβλήτων σιδηρούχων μετάλλων καθώς και αποφυγή εκπομπών λόγω της υποκατάστασης καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας). Ποσότητες αποβλήτων μετάλλων που οδηγήθηκαν στην ανακύκλωση για την περίοδο 2004 -2015 (Δευτερεύων άξονας)

Πίνακας 5-15: Υπολογισμοί αέριων εκπομπών από την ανακύκλωση συσκευασιών αλουμινίου για την περίοδο 2004-2015 και εκτίμηση εκπομπών για το έτος 2020.

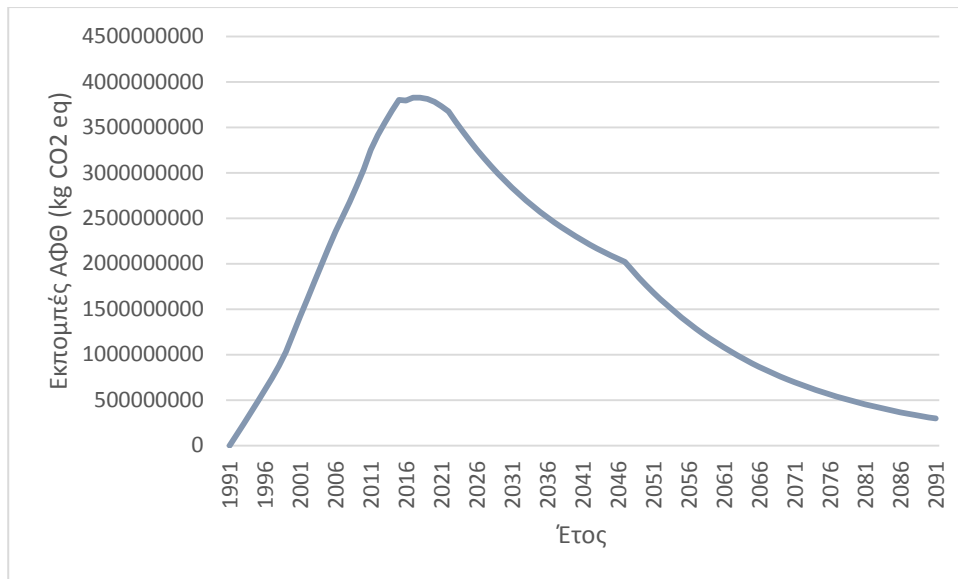
Έτος	Ποσότητες αλουμινίου tn/yr	Έμμεσες προγενέστερες εκπομπές	Άμεσες εκπομπές	Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές	Συνολικές πλαστικό
2004	2340	693	15912	-28.524.600	-28507995
2005	6240	2134,8	42432	-76.065.600	-76021033,2
2006	8905	4573,26	60554	-108.551.950	-108486822,7
2007	9555	14895,522	64974	-116.475.450	-116395580,5
2008	8255	36465,714	56134	-100.628.450	-100535850,3
2009	8255	33326,0838	56134	-100.628.450	-100538989,9
2010	6936,8	35234,04753	47170,24	-84.559.592	-84477187,71
2011	6851	57804,111	46586,8	-83.513.690	-83409299,09
2012	5252	44005,212	35713,6	-64.021.880	-63942161,19
2013	2800	22079,142	19040	-34.132.000	-34090880,86
2014	4266,7	32372,082	29.014	-52.011.073	-51949687,36
2015	4607	34491,483	31327,6	-56.159.330	-56093510,92
2020	25716	467.936	174.868	-313.477.431	-312834625,7



Διάγραμμα 5-13: Έμμεσες και άμεσες εκπομπές ΑΦΘ από την διαλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση αποβλήτων αλουμινίου και αποφυγή εκπομπών λόγω υποκατάστασης καθαρών πρώτων υλών (Πρωτεύων άξονας). Ποσότητες αποβλήτων αλουμινίου που οδηγήθηκαν στην ανακύκλωση για την περίοδο 2004 -2015 (Δευτερεύων άξονας)

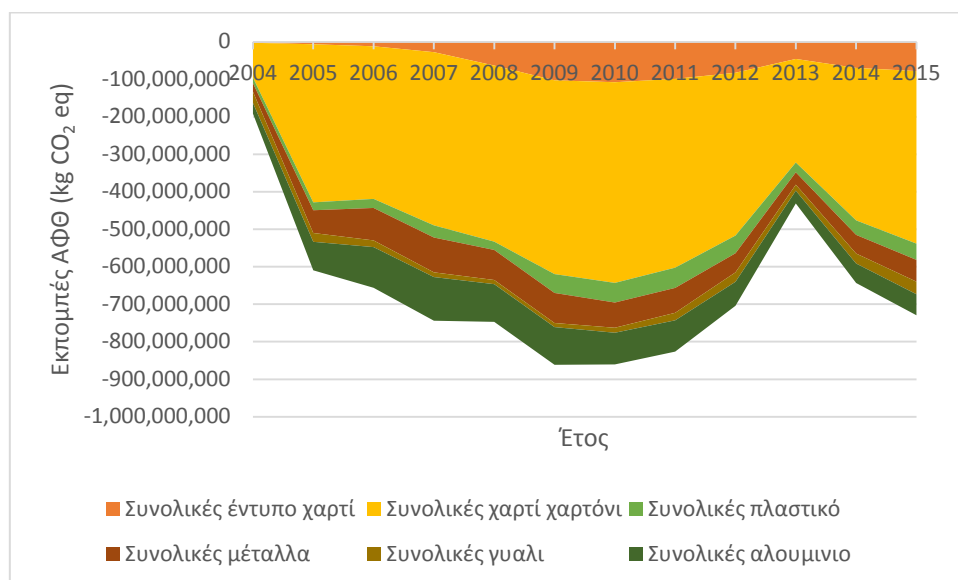
5.8 Συνολική εκτίμηση εκπομπών ΑΦΘ από μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή αποβλήτων αθροιστικά για την υφιστάμενη κατάσταση (1991-2015) και το σενάριο μείωσης του ΕΣΔΑ (2016-2040). Από το διάγραμμα συμπεραίνεται ότι οι εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή αυξάνονται έως το 2015-2020 όπου και παρατηρείται η μέγιστη τιμή, ενώ στη συνέχεια παρατηρείται συνεχώς πτωτική τάση στις εκπομπές. Για τους υπολογισμούς έγινε η παραδοχή ότι η μείωση των αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή μειώνονται σταδιακά από το 2016 για να επιτευχθεί ο στόχος του ΕΣΔΑ το έτος 2020.



Διάγραμμα 5-14: Συνολικές εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή αποβλήτων για τις περιόδους 1991-2015 και 2016-2040.

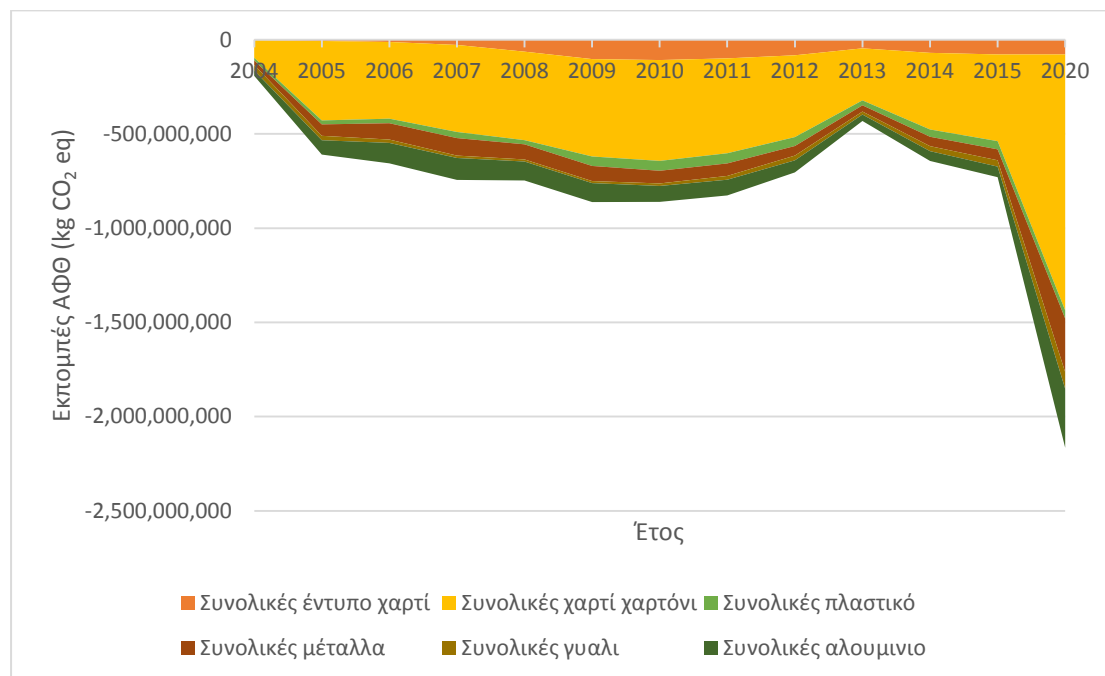
Οι συνολικές αποφευχθείσες ποσότητες εκπεμπόμενων ΑΦΘ από την ανακύκλωση υλικών για την χρονική περίοδο 2004-2015, με βάση τις ποσότητες που καταγράφηκαν από τον Ε.Ο.ΑΝ., παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Οι μικρές ποσότητες αερίων που καταγράφονται για την ανακύκλωση έντυπου χαρτιού οφείλονται κυρίως στις μικρές ποσότητες έντυπου χαρτιού που ανακυκλώνεται καθώς και στις μεγαλύτερες απώλειες ποιότητας που παρουσιάζει το ανακυκλωμένο έντυπο χαρτί.



Διάγραμμα 5-15: Αποφευχθείσες εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση υλικών, για την περίοδο 2004-2015.

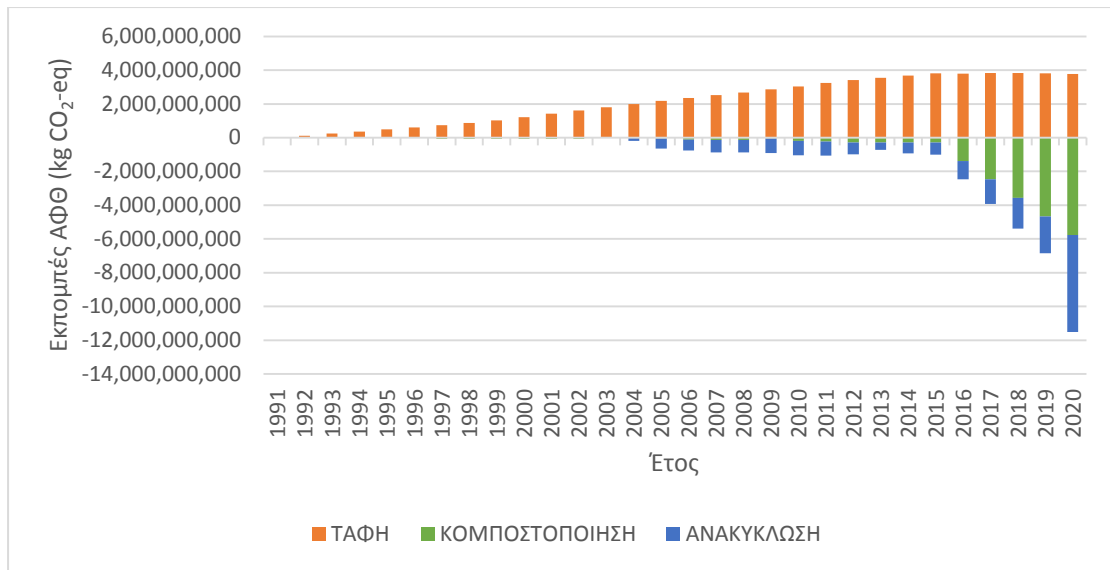
Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι εκπομπές ΑΦΘ που έχουν αποφευχθεί από την ανακύκλωση υλικών έως το 2015, ενώ έχουν προστεθεί και οι εκτιμώμενες αποφευχθείσες εκπομπές με βάση τις ποσότητες που θέτει ως στόχο για το 2020 ο Εθνικός Σχεδιασμός για τη Διαχείριση των Αποβλήτων. Παρατηρείται ότι οι ποσότητες αερίων που θα

αποφευχθούν το 2020 θα είναι πολλαπλάσιες των προηγούμενων χρόνων. Αυτό οφείλεται κυρίως στους υψηλούς στόχους που έχουν τεθεί από τον ΕΣΔΑ, σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση στη χώρα.



Διάγραμμα 5-16: Συνολικά αποφευχθείσες εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση υλικών για την περίοδο 2004-2020.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι καθαρές εκπομπές ΑΦΘ από τις διαφορετικές μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα, τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση έως και το έτος-στόχο 2020. Σημειώνεται ότι οι εκπομπές από την ταφή, αφορούν μόνο αυτές που εκλύθηκαν κατά την περίοδο 1991-2020, ενώ οι εκπομπές που αναμένεται να εκλυθούν τα επόμενα έτη από τις ίδιες ποσότητες αποβλήτων δεν λαμβάνονται υπόψη. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι μέχρι το 2015 οι εκπομπές ΑΦΘ από την ταφή είναι μεγαλύτερες από τις αποφευχθείσες εκπομπές λόγω ανακύκλωσης και κομποστοποίησης. Από το 2016 και έπειτα, όπου και θεωρείται ότι γίνονται βήματα προς την επίτευξη του στόχου του ΕΣΔΑ για το 2020, οι αποφευχθείσες εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση και την κομποστοποίηση αρχίζουν να υπερκαλύπτουν τις εκπομπές από την ταφή. Ωστόσο, αν λαμβάνονταν υπόψη και οι μεταγενέστερες εκπομπές από την ταφή, το αποτέλεσμα αυτό θα καθυστερούσε να γίνει ορατό.



Διάγραμμα 5-17: Συγκριτικές εκπομπές ΑΦΘ από τις διαφορετικές μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων

6 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής δείχνουν ότι από το υφιστάμενο σύστημα διαχείρισης, το μεγαλύτερο μερίδιο των εκπομπών προέρχεται από την ταφή, γεγονός το οποίο οφείλεται τόσο στο ότι η ταφή αποτελεί τη βασική μέθοδο διαχείρισης των ΑΣΑ μέχρι σήμερα όσο και στο ότι οι κύριες εκπομπές από την ταφή είναι οι εκπομπές μεθανίου οι οποίες έχουν δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης 31 φορές μεγαλύτερο από το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο αποτελεί το κύριο εκπεμπόμενο αέριο από τις υπόλοιπες μεθόδους διαχείρισης. Όσον αφορά στις εκπομπές ΑΦΘ σύμφωνα με τους στόχους του ΕΣΔΑ για το 2020, εκτιμάται ότι θα υπάρξει σημαντική μείωση των εκπομπών λόγω του ότι αυξάνεται κατά πολύ το ποσοστό της ξεχωριστής διαλογής και ανάκτησης και αντίστοιχα μειώνεται το ποσοστό της ταφής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο σε χρονοσειρές όσο και γεωγραφικά ανά περιφέρεια.

Ειδικότερα, για την ταφή όπου προβλέπεται σύμφωνα με τον ΕΣΔΑ μείωση άνω του 65% των αποβλήτων που θα οδηγούνται σε ταφή έως το 2020 με αντίστοιχη μείωση κατά τουλάχιστον 70% των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, προκύπτει σημαντική μείωση των εκπομπών ΑΦΘ. Παράλληλα, αν και δεν εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, θα πρέπει να σημειωθεί ότι με μείωση των εισερχόμενων αποβλήτων σε ΧΥΤ, παρατείνεται ο χρόνος ζωής του ΧΥΤ, ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν όλοι οι χώροι διάθεσης αποβλήτων.

Όσον αφορά την κομποστοποίηση, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η εκτροπή των βιοαποβλήτων από την ταφή για τη βιολογική επεξεργασία τους έχει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη αφού μειώνει την μάζα των αποβλήτων με αφαίρεση μεγάλου μέρους της υγρασίας και ταυτόχρονα έχει την ιδιότητα να δεσμεύει μεγάλες ποσότητες άνθρακα, ο οποίος αν και βιογενής μπορεί να θεωρηθεί ως αποφευχθείσα εκπομπή αφού δεν ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ταφή αυτών των αποβλήτων, λόγω των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν προκαλεί εκπομπές μεθανίου προκαλώντας πολλαπλάσιες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. Τέλος, η θετική συμβολή της κομποστοποίησης πολλαπλασιάζεται όταν το παραγόμενο κομπόστ υποκαθιστά ανόργανα λιπάσματα, αφού η παραγωγή τους προκαλεί εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων ΑΦΘ.

Όσον αφορά το χαρτί, τόσο το έντυπο χαρτί που είναι χαμηλότερης ποιότητας και παρουσιάζει μεγαλύτερες απώλειες κατά την ανακύκλωσή του, όσο και η χάρτινη συσκευασία και το χαρτόνι, μπορούν να συμβάλουν στην μείωση των εκπομπών ΑΦΘ σε μεγάλο βαθμό. Αυτό συμβαίνει διότι, πρώτον η ανακύκλωση χαρτιού έχει πολύ χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις από την παραγωγή του από καθαρές πρώτες ύλες. Επιπρόσθετα, το χαρτί ανήκει στα βιοαποδομήσιμα υλικά, οπότε η μη διάθεσή του σε ΧΥΤ μειώνει περαιτέρω τις εκπομπές ΑΦΘ από την διαχείριση στερεών αποβλήτων.

Η ανακύκλωση των αποβλήτων γυαλιού και πλαστικού προκαλεί εκπομπές ΑΦΘ λόγω της ανάγκης διαλογής τους, η οποία γίνεται κυρίως μηχανικά. Για την περίοδο 2004 – 2015 μπορούν να παρατηρηθούν κάποιες μικρές διακυμάνσεις στις ποσότητες που ανακυκλώνονται και τις αντίστοιχες εκπομπές. Ωστόσο, οι στόχοι που τίθεται από τον ΕΣΔΑ για την ανακύκλωση γυαλιού και πλαστικού για το έτος 2020, έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά υψηλότερη εξοικονόμηση εκπομπών σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

Τέλος, η ανακύκλωση μετάλλων αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα στην αποφυγή ή όχι εκπομπών ΑΦΘ. Αυτό συμβαίνει καθώς η επεξεργασία ανακυκλωμένων υλικών έχει πολύ χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε σύγκριση με την παραγωγή νέων προϊόντων από καθαρές πρώτες ύλες.

Όσον αφορά τις καθαρές εκπομπές ΑΦΘ από τις διαφορετικές μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα, τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση έως και το έτος-στόχο 2020 φαίνεται ότι μέχρι το 2015 οι εκπομπές από την ταφή είναι μεγαλύτερες από τις αποφευχθείσες εκπομπές λόγω ανακύκλωσης και κομποστοποίησης. Από το 2016 και έπειτα, όπου και θεωρείται ότι γίνονται βήματα προς την επίτευξη του στόχου του ΕΣΔΑ για το 2020, οι αποφευχθείσες εκπομπές ΑΦΘ από την ανακύκλωση και την κομποστοποίηση αρχίζουν να υπερκαλύπτουν τις εκπομπές από την ταφή. Σημειώνεται ωστόσο ότι οι εκπομπές από την ταφή, αφορούν μόνο αυτές που εκλύθηκαν κατά την περίοδο 1991-2020, ενώ οι εκπομπές που αναμένεται να εκλυθούν τα επόμενα έτη από τις ίδιες ποσότητες αποβλήτων δεν λαμβάνονται υπόψη. Εάν λαμβάνονταν υπόψη και οι μεταγενέστερες εκπομπές από την ταφή, το αποτέλεσμα αυτό θα καθυστερούσε να γίνει ορατό.

7 Βιβλιογραφία

- Astrup, T., Fruergaard, T., & Christensen, T. H. (2009). Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste management & research*, 27(8), 763-772.
- Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E., 2009α. Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 800-812.
- Boldrin, A., Hartling, K.R., Smidt, M.M. & Christensen, T.H., 2009β. *Use of compost and peat in growth media preparation: an environmental comparison using LCA-modelling* (EASEWASTE). Submitted to *Resource, Conservation and Recycling*
- Pressley, P. N., Levis, J. W., Damgaard, A., Barlaz, M. A., & DeCarolis, J. F., 2015. *Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment. Waste Management*, 35, 307-17.
- Consonni, S., Giugliano, M. & Grosso, M., 2005. Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste Part A: mass and energy balances. *Waste Management*, 25, 123-135.
- Damgaard, A., Larsen, A. W., & Christensen, T. H., 2009. *Recycling of metals: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management & Research*, 27(8), 773-780.
- Dubois Maarten, Ana Maria Martin Gonzalez & Maria Knadel, 2004. *Municipal Solid Waste Management in the EU*. Environmental Studies, Aarhus University, Denmark
- EAA, 2008. Environmental Profile Report for the European Aluminum Industry. Life Cycle Inventory Data for Aluminum Production and Transformation Processes in Europe. European Aluminum Association.
- ΕΕΑΑ, 2014. *12 χρόνια ΕΕΑΑ. Ετήσιος Απολογισμός 2014*. Ελληνική Εταιρία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης.
- Eurostat, 2015. *Environment in the EU: Each person in the EU generated 475 kg of municipal waste in 2014*. Διαθέσιμο: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7214320/8-22032016-AP-EN.pdf/eea3c8df-ce89-41e0-a958-5cc7290825c3>
- Eurostat, 2017α. *Statistics Explained article "Municipal waste statistics"*. Διαθέσιμο στην επίσημη ιστοσελίδα της Eurostat: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics
- Eurostat, 2017β. *Statistics Explained article "Greenhouse Gas Emissions Statistics"*. Διαθέσιμο στην επίσημη ιστοσελίδα της Eurostat: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics
- Favoino, E. & Hogg, D., 2008. *The potential role of compost in reducing greenhouse gases. Waste Management & Research*, 26, 61-69.
- Fruergaard, T., Ekvall, T. & Astrup, T., 2009. *Energy use and recovery in waste management*
Fisher, K., 2006. *Impact of Energy from Waste and Recycling Policy on UK*

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

Greenhouse Gas Emissions – Final Report. Prepared by Environment Resource Management (ERM) for Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Oxford, UK. Management & Research, 27, in press.

He, Y., Inamori, Y., Mizuochi, M., Kong, H., Iwami, N. & Sun, T., 2001. *Nitrous oxide emissions from aerated composting of organic waste. Environmental Science & Technology*, 35, 2347–2351.

IISI, 2005. *Steel: The Foundation of a Sustainable Future. Sustainability Report of the World Steel Industry 2005.* International Iron and Steel Institute, Brussels, Belgium

IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., XXX pp.

IPCC, 2013 α . Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2013 β . Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014 α . *Climate Change 2014: Synthesis Report Summary for Policymakers. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf

IPCC, 2014 β . Fishedick M., J. Roy, A. Abdel-Aziz, A. Acquaye, J. M. Allwood, J.-P. Ceron, Y. Geng, H. Kheshgi, A. Lanza, D. Perczyk, L. Price, E. Santalla, C. Sheinbaum, and K. Tanaka, 2014: Industry. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPCC, 2014 γ : Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E.

Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Larsen, A. W., Merrild, H., & Christensen, T. H., 2009. *Recycling of glass: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. *Waste Management & Research*, 27(8), 754-762.

Manfredi, S., Tonini, D., Christensen, T. H., & Scharff, H. 2009. *Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. *Waste Management & Research*, 27(8), 825-836. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://wmr.sagepub.com/content/27/8/825>

Merrild, H., Damgaard, A., & Christensen, T. H., 2009. *Recycling of paper: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. *Waste Management & Research*, 27(8), 746-753.

Oonk, H. and Boom, T., 1995. *'Landfill gas formation, recovery and emissions'*, TNO-report R95-203, TNO. Appeldoorn, The Netherlands.

Pinellas County, 2009. *Innovate waste reduction & recycling Grant IG8-06. MRFing Our Way to Diversion: Capturing the Commercial Waste Stream. Materials Recovery Facility Technology Review*. Department of Solid Waste Operations, St. Petersburg

Richard, T. L., & Walker, L. P., 1990. *Composting trends and technologies. New York's food and life sciences quarterly (USA)*. Cornell University, N.Y.

Richard, T. L., & Walker, L. P., 1990. *Composting trends and technologies. New York's food and life sciences quarterly (USA)*.

Smith Alison, Brown Keith, Ogilvie Steve, Rushton Kathryn and Bates Judith, 2001. *Waste management options and climate change: final report to the European Commission*, AEA Technology, Abingdon, United Kingdom.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Berntsen, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegerl, G.C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B.J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T.F., Whetton, P., Wood, R.A., Wratt, D., 2007. Technical summary. 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 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 19–91. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

UN, 2014. *Kyoto Protocol*. Διαθέσιμο: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/3145.php

United Nations Framework on Climate Change, 1992. United Nations

US EPA, 2006. *Solid Waste Management and Greenhouse Gases – A Life Cycle Assessment of Emissions and Sinks*, 3rd Edition. United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

EEAA, 2017. *Έργα μπλε κάδου*. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.herrco.gr/default.asp?siteID=1&pageID=27&tablePageID=5&langID=1>

ΕΕΔΣΑ, 2011. *Ορισμοί Αστικών Αποβλήτων*, Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων.

ΕΟΑΝ, 2017. *Συστήματα: Συσκευασίες & Απόβλητα Συσκευασιών*. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://www.eoan.gr/el/content/8/suskeuasies-apovlita-suskeuasion>

ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012. *Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων Διαλογής στη Πηγή & Συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων*. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη.

ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014. *Οδηγός λειτουργίας ανοιχτών εγκαταστάσεων κομποστοποίησης (αερόβια επεξεργασία) προδιαλεγμένων αποβλήτων*. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη.

ΕΣΔΝΑ, 2015. *Μελέτη 2^{ης} Αναθεώρησης Περιφερειακού Σχεδίου Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΠΕΣΔΑ) Αττικής*. Ειδικός Διαβαθμικός Σύνδεσμος Νομού Αττικής. Συνοδεύει την 281/5.8.2015 Απόφαση Εκτελεστικής Επιτροπής ΕΔΣΝΑ.

Κωνσταντινίδης Α., 2012. *Οικονομική αποτίμηση ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου σε χώρους διάθεσης στερεών αστικών αποβλήτων*. Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Λοϊζίδου Μαρία, 2006. *Στερεά Απόβλητα*. Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. Αθήνα.

Νταρακάς Ευθύμιος. *“Διαχείριση στερεών αποβλήτων”* Τ.Π.Μ. –Α.Π.Θ. Διαθέσιμο: http://users.auth.gr/darakas/Solid_Waste.pdf

ΥΠΕΚΑ, 2013. *Αναθεώρηση Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Αποβλήτων: Υφιστάμενη Κατάσταση Διαχείρισης Αποβλήτων και Αξιολόγηση της Υφιστάμενης Κατάστασης*. (2^ο Παραδοτέο). Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Επιχειρησιακού Προγράμματος «Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη».

ΥΠΕΚΑ, 2015α. *Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ)*.

ΥΠΕΚΑ, 2015β. *Ετήσια Υποβολή Έκθεσης για τις Αέριες Εκπομπές της Ελλάδας, σύμφωνα με τη Σύμβαση για τα Αέρια του Φαινομένου του Θερμοκηπίου και άλλων, για τα έτη 1990-2013*.

ΥΠΕΚΑ, α. *Κλιματική Αλλαγή: Διεθνείς Διαπραγματεύσεις: Σύμβαση – Πλαίσιο των Η.Ε. για την Κλιματική Αλλαγή*. Διαθέσιμο: <http://ypeka.gr/Default.aspx?tabid=442&language=el-GR>

ΥΠΕΚΑ, β. *Κλιματική Αλλαγή: Διεθνείς Διαπραγματεύσεις: Πρωτόκολλο του Κυότο*. Διαθέσιμο: <http://ypeka.gr/Default.aspx?tabid=443&language=el-GR>

ΥΠΕΚΑ, γ. *Κλιματική Αλλαγή: Φθοριούχα Αέρια του Θερμοκηπίου*. Διαθέσιμο: <http://ypeka.gr/Default.aspx?tabid=911&language=el-GR>

ΥΠΕΚΑ, δ. *Κλιματική Αλλαγή: Προστασία της Στοιβάδας του Όζοντος: Διεθνές Πλαίσιο – Πρωτόκολλα και Συμβάσεις των Ηνωμένων Εθνών*. Διαθέσιμο: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=888&language=el-GR>

ΥΠΕΚΑ, ε. *Περιβάλλον: Διαχείριση αποβλήτων*. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://ypeka.gr/Default.aspx?tabid=238&language=el-GR>

8 Παραρτήματα

8.1 Υπολογισμοί παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων

Λόγω έλλειψης ικανοποιητικού αριθμού στοιχείων όσον αφορά την παραγωγή και διαχείριση των αποβλήτων, για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας κρίθηκε απαραίτητη η επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων καθώς και η υιοθέτηση παραδοχών για τον υπολογισμό των λοιπών απαραίτητων στοιχείων.

Για την εξέλιξη της διάθεσης αποβλήτων σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής, βασική πηγή πληροφοριών αποτέλεσε η Αναθεώρηση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (2013), όπου βρέθηκαν οι ποσότητες ανά μέθοδο διαχείρισης και ανά Περιφέρεια, για τα έτη 2010 και 2011. Επίσης, παραχωρήθηκαν στοιχεία για την υφιστάμενη κατάσταση σε επίπεδο χώρας, όσον αφορά την διάθεση σε ΧΥΤΑ, για το έτος 2013, από το αρμόδιο Υπουργείο (ΥΠΕΚΑ) κατόπιν προσωπικού αιτήματος. Από τα δεδομένα αυτά, υπολογίστηκε η ανά κάτοικο ποσότητα αποβλήτων που οδηγείται σε ταφή, για το αντίστοιχο έτος. Καθώς δεν θα ήταν επιστημονικά ορθή η θεώρηση αυτής της τιμής ως σταθερής, υπολογίστηκε η ποσοστιαία μεταβολή της παραγωγής αποβλήτων ανά κάτοικο, σύμφωνα με τα επικαιροποιημένα στοιχεία της Eurostat. Για τα έτη που δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία έγινε εκτίμηση της μεταβολής σε συνάρτηση με την υπαρκτή ή εκτιμώμενη μεταβολή του πληθυσμού της χώρας, με πηγή τα αποτελέσματα των απογραφών της ΕΛΣΤΑΤ για τα έτη 1991, 2001 και 2011 και τις εκτιμήσεις της Eurostat έως το έτος 2050. Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών συγκρίθηκαν – και όπου κρίθηκε αναγκαίο τροποποιήθηκαν – με βάση τις ποσότητες παραγόμενων αποβλήτων που δηλώθηκαν από τους ΠΕΣΔΑ.

Η ίδια ποσοστιαία μεταβολή εφαρμόστηκε και στις ποσότητες των συνολικά παραγόμενων ΑΣΑ, θεωρώντας ότι ακολουθούν ανάλογη μεταβολή τα ποσά αυτά. Ενώ, εκτιμήσεις έγιναν και για τις λοιπές μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων για τα έτη που δεν υπήρχαν καταγεγραμμένες ποσότητες αλλά υπήρχαν επίσημα έγγραφα που πιστοποιούσαν την ύπαρξη και λειτουργία τους. Τα περισσότερα στοιχεία αντλήθηκαν από τις Αναθεωρήσεις Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων που διατίθενται στο Πρόγραμμα «Διαύγεια» του Υπουργείου Διοικητικής Ανασυγκρότησης και τις εκθέσεις τόσο των Συλλογικών Συστημάτων Εναλλακτικής Διαχείρισης όσο και τις ετήσιες εκθέσεις του Εθνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης (Ε.Ο.ΑΝ.). Τέλος, για στοιχεία που δεν ήταν δυνατό να ανακτηθούν με κάποια άλλη μέθοδο, χρησιμοποιήθηκαν ισοζύγια μάζας, βασιζόμενα στις ποσότητες που μπόρεσαν να εκτιμηθούν και με κριτήριο τη συμφωνία τους με τα επίσημα στοιχεία της Eurostat.

Τα συνολικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν και εκτιμήθηκαν όσον αφορά τις ποσότητες αποβλήτων για τους ΧΥΤΑ, σε επίπεδο χώρας παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8-1: Διαχρονική εξέλιξη αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή, για την περίοδο 1991 – 2020.

ΕΤΟΣ	ΑΝ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ - ΘΡΑΚΗ				ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ												
	ΞΑΝΘΗΣ	ΚΑΒΑΛΑΣ	ΡΟΔΟΠΗΣ	ΚΙΛΙΚΙΣ	ΜΑΥΡΟΡΑΧΗΣ	ΚΙΛΙΚΙΣ	ΑΛΜΩΠΙΑΣ	ΕΔΕΣΣΑΣ	ΚΑΤΕΡΙΝΗΣ	ΛΙΤΟΧΩΡΟΥ	ΚΑΣΣΑΝΔΡΑΣ	ΠΟΛΥΓΥΡΟΥ	ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ	Δ.ΣΕΡΡΩΝ	Ν.ΣΕΡΡΩΝ	
1991																	
1992																	
1993	13915										11212						
1994	14814										11955						
1995	15769										12746						
1996	16783										13586						
1997	18437										14946						
1998	19434	31942									15777						
1999	20448	33418									16623						
2000	21536	35000									17532						
2001	22194	35871						33125			18091				30694		
2002	22696	36318					9945	33613			18525				30850		
2003	23149	36676	29498				10033	34020			18919				30924		
2004	23605	37033	29866				10121	34427			19317				30991		
2005	24122	37474	30304				10231	34915	14617		19764				31123		
2006	24588	37827	30673				10317	35323	14787		20171				31176		
2007	25115	38265	31113				10426	35811	14992		20628				31292		
2008	25590	38614	31483		397470		10510	17693	36219	15162	21043				31330		
2009	26126	39048	31923	16175	403716	16175	10617	17874	36708	15367	21509	12159	24073		31431		
2010	30844	45661	37432	18813	474178	18813	12403	20879	43021	18010	25422	14371	28452	24334	36459		
2011	30605	44881	36893	18618	456287	18618	11870	19982	41309	17293	24615	13915	27549	23289	34645		
2012	35673	51810	42829	19100	412928	19100	10658	17941	37410	15661	22567	12757	25257	20910	31044	22426	
2013	35845	51713	42965	19124	412785	19124	10666	17955	37755	15806	22733	12851	25442	20926	30827	22269	
2014	37075	52844	44383	19112	411912	19112	10643	17917	38012	15913	22846	12915	25569	20882		53898	
2015	37247	52702	44600	19158	411391	19158	10632	17898	38258	16016	23022	13014	25766	20860		53744	
2016	37419	52551	44824	19193	410866	19193	10619	17876	38491	16113	23186	13107	25950	20834		53575	
2017				19212	410075	19212		17836		16196		13190	26114	20787		53357	
2018				19218	409141	19218		17784		16269		13262	26256	20727		53110	
2019				19207	408021	19207		17725		16329		13324	26380	20658		52828	
2020				19185	406769	19185		17655		16380		13378	26486	20576		52521	

Πίνακας 8-1: Διαχρονική εξέλιξη αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή, για την περίοδο 1991 – 2020. (Συνέχεια)

ΕΤΟΣ	ΔΥΤ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	ΗΠΕΙΡΟΣ				ΘΕΣΣΑΛΙΑ							ΙΟΝΙΟΙ ΝΗΣΟΙ		
	ΚΟΖΑΝΗ	ΒΛΑΧΕΡΝΑΣ	ΚΑΡΒΟΥΝΑΡΙΟΥ	ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑΣ	ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΠΣ ΒΟΛΟΥ	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	ΣΚΙΑΘΟΥ	ΣΚΟΠΕΛΟΥ	ΑΛΟΝΝΗΣΟΥ	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ	ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΚΕΡΚΥΡΑΣ
1991															
1992															
1993															
1994															
1995															
1996													10631		
1997													16724		
1998						88956							18227		
1999						92946	68514						18562		
2000						97218	71706						19269		
2001						99509	73439						22411		
2002						101029	74459						22954		51077
2003						102307	75300						24096		51370
2004						103588	76139						24042		51655
2005	100723					105114	77156						24432		52053
2006	101545					106398	77993						24190		52323
2007	102592					107928	79008			7024			24843		52705
2008	103399	24775				109216	79843	81022		7099		2497	26080	18102	52959
2009	104429	24897				110750	80856	81821	6885	7189	3501	2529	26474	18402	53323
2010	121959	28929		9064		129867	94684	95547	8063	8418	4100	2961	26435	21633	62083
2011	120294	27203		8595	54108	120541	87766	88317	7474	7803	3801	2745	26481	21767	61864
2012	125340	28018	1429	8895	55863	102754	74816	74973	6371	6652	3240	2340	26681	23584	67177
2013	125002	27756	10394		55834	102873	75011	74709	6388	6669	3248	2346	26668	23690	67200
2014	126374	28008	10636		56707	103183	75376	74657	6419	6701	3264	2358	27137	24236	68435
2015		27835	10707		56940	102951	75619	74455	6439	6723	3274	2365	27189	24405	68532
2016		27658	10771		57170	102717	75862		6460	6745	3285	2373		24579	
2017		27455	10828		57370	102431	76061		6477	6762	3294	2379		24728	
2018		27243	10878		57553	102110	76236		6492	6778	3301	2384		24875	
2019		27014	10918		57713	101753	76381		6504	6791	3308	2389			
2020		26773	10955		57859	101374			6514	6801	3313	2393			

Πίνακας 8-1: Διαχρονική εξέλιξη αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή, για την περίοδο 1991 – 2020. (Συνέχεια)

ΕΤΟΣ	ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ						ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ							ΑΤΤΙΚΗΣ
	ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ	ΠΑΤΡΕΩΝ	ΔΥΤ. ΑΧΑΪΑΣ (ΦΛΟΚΑ)	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ Ν. ΑΧΑΪΑΣ	ΣΤΡΑΤΟΥ	ΛΕΒΑΔΕΙΑΣ	ΘΗΒΑΣ	ΛΑΜΙΑΣ	ΔΟΜΟΚΟΥ	ΙΣΤΙΑΙΑΣ	ΣΚΥΡΟΥ	ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΥΒΟΙΑΣ (ΧΑΛΚΙΔΑΣ)	ΛΙΟΣΙΩΝ-ΦΥΛΗΣ
1991									31090					
1992									32850					
1993			53587						34708					
1994			56822						36671					
1995			60248						38745					
1996			63877						40935					
1997			69904						44642					
1998			73410						46721					532449
1999			76960						48814	5771				1675914
2000			80764						51055	6036				1760131
2001			82938						52256	6178				1808908
2002			83897						52659	6224				1832007
2003			84646						52927	6255				1850612
2004			85390						53186	6285				1869142
2005			86329						53561	6328			73164	1891988
2006	14440		87061						53802	6356			74125	1910363.532
2007	14580		87986		5930				54158	6397			75260	1933038
2008	14686		88706	15330	5978				54382	6422	15034		76227	1951259
2009	14823	7409	89618	15488	6040			35296	54718	6461	15259		77369	1973763
2010	17301	8647	104696	18094	7056	39489	23921	41149	63662	9341	17909	1972	90805	2308710
2011	18555	9274	112392	19424	7575	42352	20415	35117	54220	7932	15388	1694	78020	1887156
2012	16102	8048	97869	16914	6596	36753	18292	31466	48772	8196	13850	1525	70224	1727754
2013	16052	8023	97668	16879	6582	36638	18382	31621	48905	8218	13868	1527	70316	1715273
2014	15918	7956	96847	16737	6527	36334	18738	32232	49721	8356	14089	1551	71435	1719127
2015	15849	7922	96708	16713	6518	36176	18894	32501	49846	8377	14107	1553	71528	
2016	15778	7886	96564	16689	6508	36012	19049		49976	8398	14125	1555		
2017	15696	7845		16654	6494	35825	19190		50072	8415	14134	1556		
2018	15607	7801		16615	6479	35624	19325		50159	8429	14139	1557		
2019	15511	7753		16568	6461	35404	19451			8439	14138	1557		
2020	15410	7702		16517	6441	35173				8449	14133	1556		

Πίνακας 8-1: Διαχρονική εξέλιξη αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή, για την περίοδο 1991 – 2020. (Συνέχεια)

ΕΤΟΣ	ΝΟΤΙΟΥ ΑΓΑΙΟΥ															
	ΡΟΔΟΥ	ΤΗΛΟΥ	ΑΓΑΘΟΝΗΣ ΙΟΥ	ΛΕΙΨΩΝ	ΚΑΡΠΑΘΟΥ	ΚΩ	ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑΣ	ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΥ	ΠΑΡΟΥ	ΜΥΚΟΝΟΥ	ΑΜΟΡΓΟΥ	ΚΙΜΩΛΟΥ	ΑΝΑΦΗΣ	ΚΥΘΟΥ	ΣΕΡΙΦΟΥ	ΣΥΡΟΥ
1991																
1992																
1993																
1994																
1995																
1996																
1997																
1998																
1999																
2000																
2001												371	31			
2002			103									379	32			
2003		84	105									386	32			
2004	61918	85	106									394	33			
2005	62864	86	108									402	34			
2006	63667	87	109									410	34			
2007	64617	89	111		2494					10473		418	35			
2008	65424	90	112	630	2525	28064	848		8555	10665		426	35			
2009	66379	91	114	639	2562	28474	860		8730	10882	1991	434	36			11766
2010	77878	107	148	749	3005	33407	1009		10299	12839	2349	513	43	726		13881
2011	81347	112	154	783	3139	34895	1054		10818	13485	2467	538	45	763		14581
2012	72948	100	168	702	2815	31291	945	488	9645	12023	2200		40	680	1049	13000
2013	73358	101	169	706	2831	31468	950	490	9692	12082	2211		40	683	1054	13063
2014	77186	106	178	743	2979		1000	516	16610	12691	2322		42	718	1107	13722
2015		107		751	3012		1011	522	16799	12822	2346		43	725	1118	13864
2016		108		760	3047		1023	528	16990	12954	2370		43	733	1130	14006
2017		109		768	3079		1034	533	17172	13078	2393		44	740	1141	14140
2018		111		776			1044	539	17349	13199	2415		44	746	1151	14271
2019		112		783			1055	544		13316	2436		44	753	1161	14397
2020				791			1065	549		13427	2457		45	759		14517

Πίνακας 8-1: Διαχρονική εξέλιξη αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή, για την περίοδο 1991 – 2020. (Συνέχεια)

ΕΤΟΣ	ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ				ΚΡΗΤΗΣ								
	ΚΙΑΤΟΥ	ΣΑΜΟΥ	ΧΙΟΥ	ΛΗΜΝΟΥ	ΛΕΣΒΟΥ	ΠΕΛΕΚΑΝΟΥ	ΑΓ.ΝΙΚΟΛΑΟΥ	ΣΗΤΕΙΑΣ	ΑΜΑΡΙΟΥ	ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ	ΒΙΑΝΝΟΥ	ΤΕΜΕΝΟΥΣ	ΠΕΡΑ ΓΑΛΛΗΝΩΝ
1991														
1992														
1993														
1994														
1995						419								
1996						447								
1997	6775					491			26229					
1998	7127					518			27717					
1999	7484					546			29235					
2000	7866					575	18694	9081	30864					
2001	8091					593	19203	9328	31881				7608	
2002	8211					605	19473	9459	32615				7756	
2003	8312					615	19695	9567	33279	61158	29645		7887	
2004	8413					626	19916	9674	33948	62211	30138	3431	8018	
2005	8534					638	20185	9805	34705	63419	30706	3496	8169	
2006	8634	9052				649	20406	9912	35388	64489	31207	3553	8302	
2007	8755	9154				661	20674	10042	36159	65715	31783	3618	8455	
2008	8856	9235		7186		672	20895	10150	36856	66801	32290	3676	8591	
2009	8977	9336		7249	19060	685	21163	10280	37642	68045	32874	3743	8746	99341
2010	10523	10915		8457	22235	807	24785	12039	44454	80148	38701	4406	10296	117318
2011	12040	9802		7579	30342	736	22499	10929	40690	73171	35313	4020	9395	107383
2012	14451	9800	16682	7554	29396	730	22205	10786	40509	72540	35134	4000	9347	106906
2013	14539	12841	16767	7165	29344	735	22259	10812	40809	73052	35405		9419	107698
2014	14837	12770	21020	7423	30788	740	22309	10837	41115	73529	35680		9492	108506
2015	14911	12848	21121	7451	30906	746	22342	10853	41536	74094	35865		9542	109617
2016		12923	21216	7480	31024									
2017		12993	21297	7506	31131									
2018		13061	21372	7530	31234									
2019		13121	21440	7553	31327									
2020		13181	21507		31418									

8.2 Κομποστοποίηση

Η κατανομή των ποσοτήτων που εκτρέπονται προς κομποστοποίηση σε ΕΜΑΚ, προσαρμόζεται επίσης με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία για το έτος 2011 (ΕΣΔΑ, 2014) ως ποσοστό της ποσότητας που εκτρέπεται προς ΕΜΑΚ.

Πίνακας 8-2: Διαχρονική εξέλιξη εκτροπής αποβλήτων προς κομποστοποίηση ανά μονάδα ΕΜΑΚ, για την περίοδο 1997-2020.

Έτος	Συνολική εκτροπή προς ΕΜΑΚ (χιλ tn)	ΕΜΑΚ Καλαμάτας (χιλ tn)	ΕΜΑΚ Λιοσίων (χιλ tn)	ΕΜΑΚ Χανίων (χιλ tn)	ΕΜΑΚ Ηρακλείου (χιλ tn)	ΕΜΑΚ Κεφαλονιάς (χιλ tn)
1997	32	32	0	0	0	0
1998	32	32	0	0	0	0
1999	32	32	0	0	0	0
2000	32	32	0	0	0	0
2001	32	32	0	0	0	0
2002	32	32	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0
2004	2	0	2	0	0	0
2005	11	0	8,3	2,7	0	0
2006	32	0	24	8	0	0
2007	38	0	28,5	9,5	0	0
2008	39	0	29,2	9,8	0	0
2009	14	0	10,5	3,5	0	0
2010	56	0	42	14	0	0
2011	68	0	30,1	9,6	2,4	4,7
2012	82	0	36,2	11,6	28,5	5,7
2013	84	0	37,1	11,9	29,1	5,8
2014	84	0	37,1	11,9	29,1	5,8
2015	84	0	37,1	11,9	29,1	5,8
2016	85	0	37,6	12,1	29,5	5,9
2017	87	0	38,5	12,4	30,2	6
2018	88	0	38,9	12,5	30,5	6,1
2019	89	0	39,3	12,6	30,9	6,1
2020	90	0	39,8	12,8	31,2	6,2

8.3 Υπολογισμοί εκπομπών ΑΦΘ από επεξεργασία σε ΕΜΑΚ

Για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας βρέθηκαν στοιχεία για το ΕΜΑΚ Χανίων το οποίο σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της Envitec (ανάδοχος εταιρεία) η ονομαστική ισχύς της εγκατάστασης είναι 2,3MW ενώ η εγκατάσταση είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί σε βάρδιες 6 ωρών επί 12 βάρδιες την βδομάδα και 260 ημέρες τον χρόνο. Έτσι, η κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται σε 7.176 MWh. Ενώ, η κατανάλωση καυσίμων τύπου ντήζελ από τα οχήματα και τον εξοπλισμό είναι 55.447 lt/year (Κ. Μαράκης, 2014). Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη εγκατάσταση λειτουργεί και ως κέντρο διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών, η

κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων που βρέθηκε στη βιβλιογραφία αφορά τα απόβλητα που δέχονται και οι δύο εγκαταστάσεις.

Με βάση τις ποσότητες που δίνονται από την Eurostat καθώς και τον καταμερισμό των ποσοτήτων στα ΕΜΑΚ, στο ΕΜΑΚ Χανίων για το 2010 κατέληξαν 14.000 tn οργανικών αποβλήτων. Ενώ, στο ΚΔΑΥ Χανίων κατέληξαν 9.813 tn ανακυκλώσιμων αποβλήτων. Οπότε η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων ανά τόνο εισερχόμενου αποβλήτου θα είναι:

Ηλεκτρική ενέργεια = 7.176 MWh / 23.813 tn = 30 kWh / tn αποβλήτων

Καύσιμα (ντίζελ) = 55.447 lt / 23.813 tn = 2,33 lt ντίζελ / tn αποβλήτων

Λόγω έλλειψης στοιχείων για την κατανάλωση καυσίμων και ενέργειας από κάποια άλλο ΕΜΑΚ, θεωρούμε ότι αυτή η κατανάλωση αντιπροσωπεύει και τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις.

8.3.1 Άμεσες εκπομπές ΑΦΘ από την κομποστοποίηση κλειστού τύπου

Στις άμεσες εκπομπές από τη διαδικασία κομποστοποίησης σε ΕΜΑΚ, συγκαταλέγονται οι εκπομπές λόγω κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση καθώς και οι εκπομπές ΑΦΘ λόγω της ίδιας της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Στον πίνακα φαίνονται οι καταναλωθείσες ποσότητες καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι ποσότητες εκπομπών ΑΦΘ που αυτές προκαλούν.

Πίνακας 8-3: Άμεσες εκπομπές λόγω κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας από τον εξοπλισμό της εγκατάστασης.

Έτος	Εκτροπή προς ΕΜΑΚ (tn)	Κατανάλωση καυσίμων (lt ντίζελ)	Εκπομπές ΑΦΘ λόγω κατανάλωσης καυσίμων (kg CO ₂ -eq)	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Εκπομπές ΑΦΘ λόγω παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (kg CO ₂ -eq)
1997	32.000	74.560	342.144	960.000	864.000
1998	32.000	74.560	342.144	960.000	864.000
1999	32.000	74.560	342.144	960.000	864.000
2000	32.000	74.560	342.144	960.000	864.000
2001	32.000	74.560	342.144	960.000	864.000
2002	32.000	74.560	342.144	960.000	864.000
2003	0	0	0	0	0
2004	2.000	4.660	21.384	60.000	54.000
2005	11.000	25.630	117.612	330.000	297.000
2006	32.000	74.560	342.144	960.000	864.000
2007	38.000	88.540	406.296	1.140.000	1.026.000
2008	39.000	90.870	416.988	1.170.000	1.053.000
2009	14.000	32.620	149.688	420.000	378.000
2010	56.000	130.480	598.752	1.680.000	1.512.000
2011	68.000	158.440	727.056	2.040.000	1.836.000
2012	82.000	191.060	876.744	2.460.000	2.214.000
2013	84.000	195.720	898.128	2.520.000	2.268.000
2014	84.000	195.720	898.128	2.520.000	2.268.000
2015	84.000	195.720	898.128	2.520.000	2.268.000
2016	85.000	198.050	908.820	2.550.000	2.295.000
2017	87.000	202.710	930.204	2.610.000	2.349.000
2018	88.000	205.040	940.896	2.640.000	2.376.000

2019	89.000	207.370	951.588	2.670.000	2.403.000
2020	90.000	209.700	962.280	2.700.000	2.430.000

Οι εκπομπές ΑΦΘ αφορούν, όπως και στην οικιακή κομποστοποίηση, κυρίως στα αέρια CH₄ και N₂O, που δημιουργούνται σε αναερόβιες περιοχές του υλικού. Ωστόσο, στην κομποστοποίηση κλειστού τύπου μεγάλο μέρος αυτών των εκπομπών αποφεύγονται με την ύπαρξη βιόφιλτρων στις εγκαταστάσεις (ΕΜΑΚ). Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας τα βιόφιλτρα παρουσιάζουν απόδοση της τάξης του 95%, η οποία πέφτει σε 30-85% στην περίπτωση που δεν συντηρούνται σωστά. (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014) Για τις ανάγκες υπολογισμών στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, γίνεται η θεώρηση ότι τα βιόφιλτρα των ΕΜΑΚ λειτουργούν υπό κανονικές συνθήκες και η απόδοσή τους είναι 95%.

Σημαντικό ρόλο στις ποσότητες των ΑΦΘ που θα δημιουργηθούν από την κομποστοποίηση έχει η σύσταση των εισερχόμενων βιοαποβλήτων σε αυτήν. Το μεγαλύτερο μέρος των βιοαποβλήτων που οδηγούνται σε κομποστοποίηση προέρχεται από βιοαπόβλητα οικίων στα οποία συγκαταλέγονται και τα κλαδέματα από πάρκα των δήμων. Έτσι, η μέση σύσταση των αποβλήτων που θα οδηγηθούν σε κομποστοποίηση είναι 76% απόβλητα κουζίνας και 24% απόβλητα κήπων. Με βάση τα παραπάνω γίνονται οι υπολογισμοί του εισερχόμενου C, του εκπεμπόμενου CH₄, του εισερχόμενου N και του εκπεμπόμενου N₂O, στους πίνακες.

Πίνακας 8-4: Εισερχόμενες ποσότητες αποβλήτων κουζίνας και κήπων για την περίοδο 1997 – 2020.

Έτος	Ποσότητες αποβλήτων κουζίνας (tn)	Ποσότητες αποβλήτων κήπου (tn)
1997	24.320	7.680
1998	24.320	7.680
1999	24.320	7.680
2000	24.320	7.680
2001	24.320	7.680
2002	24.320	7.680
2003	0	0
2004	1.520	480
2005	8.360	2.640
2006	24.320	7.680
2007	28.880	9.120
2008	29.640	9.360
2009	10.640	3.360
2010	42.560	13.440
2011	51.680	16.320
2012	62.320	19.680
2013	63.840	20.160
2014	63.840	20.160
2015	63.840	20.160
2016	64.600	20.400
2017	66.120	20.880
2018	66.880	21.120
2019	67.640	21.360
2020	68.400	21.600

Πίνακας 8-5: Εισερχόμενες ποσότητες C και N και εκλυόμενες ποσότητες CH₄, N₂O και CO₂ – eq, για την περίοδο 1997 – 2020.

Έτος	Ποσότητα εισερχόμενου C (C _{input} , kg)	Ποσότητα διασπώμενου C (C _{release} , kg)	Ποσότητα εκλυόμενου CH ₄ , (CH ₄ , release, kg)	Ποσότητα εισερχόμενου N (N _{input} , kg)	Ποσότητα εκλυόμενου N ₂ O (N ₂ O release, kg)	Ποσότητα εκλυόμενου ισοδύναμου CO ₂ * (kg CO ₂ -eq)
1997	446.373.120	267.823.872	535.648	277.184	392	18.328.844
1998	446.373.120	267.823.872	535.648	277.184	392	18.328.844
1999	446.373.120	267.823.872	535.648	277.184	392	18.328.844
2000	446.373.120	267.823.872	535.648	277.184	392	18.328.844
2001	446.373.120	267.823.872	535.648	277.184	392	18.328.844
2002	446.373.120	267.823.872	535.648	277.184	392	18.328.844
2003	0	0	0	0	0	0
2004	27.898.320	16.738.992	33.478	17.324	25	1.145.553
2005	153.440.760	92.064.456	184.129	95.282	135	6.300.540
2006	446.373.120	267.823.872	535.648	277.184	392	18.328.844
2007	530.068.080	318.040.848	636.082	329.156	466	21.765.503
2008	544.017.240	326.410.344	652.821	337.818	478	22.338.279
2009	195.288.240	117.172.944	234.346	121.268	172	8.018.869
2010	781.152.960	468.691.776	937.384	485.072	686	32.075.478
2011	948.542.880	569.125.728	1.138.251	589.016	833	38.948.795
2012	1.143.831.120	686.298.672	1.372.597	710.284	1.005	46.967.664
2013	1.171.729.440	703.037.664	1.406.075	727.608	1.029	48.113.217
2014	1.171.729.440	703.037.664	1.406.075	727.608	1.029	48.113.217
2015	1.171.729.440	703.037.664	1.406.075	727.608	1.029	48.113.217
2016	1.185.678.600	711.407.160	1.422.814	736.270	1.041	48.685.993
2017	1.213.576.920	728.146.152	1.456.292	753.594	1.066	49.831.546
2018	1.227.526.080	736.515.648	1.473.031	762.256	1.078	50.404.322
2019	1.241.475.240	744.885.144	1.489.770	770.918	1.090	50.977.099
2020	1.255.424.400	753.254.640	1.506.509	779.580	1.103	51.549.875

*Ο υπολογισμός του ισοδύναμου CO₂ γίνεται με βάση τις τιμές του Δυναμικού στην Παγκόσμια Θέρμανση για τα ΑΦΘ, όπως αυτό υπολογίστηκε για χρονικό ορίζοντα τα 100 χρόνια για το 2013. (IPCC, 2013)

8.3.2 Έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές ΑΦΘ από την κομποστοποίηση κλειστού τύπου

Οι έμμεσες μεταγενέστερες εκπομπές, αφορούν στην αποφυγή εκπομπών από την χρήση του τελικού προϊόντος (κομπόστ) είτε ως επίχωση ή ως υποκαταστάτη χημικών λιπασμάτων. Ωστόσο, το παραγόμενο κομπόστ από τις εγκαταστάσεις ΕΜΑΚ, είτε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή δεν έχει αγορά να διατεθεί, οπότε καταλήγει σε ΧΥΤΑ ως επίχωση. (ΕΣΔΑ, 2014)

Στην χρήση του κομπόστ ως επίχωση, οι εκπομπές που αποφεύγονται είναι από τη δέσμευση του άνθρακα σε αυτό. Αν και ο άνθρακας είναι βιογενής, επειδή αποφεύγεται η απελευθέρωσή του στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα συνυπολογίζεται στις εκπομπές ΑΦΘ που αποφεύγονται λόγω της διαχείρισης αποβλήτων. (Boldrin et al. 2009) Στον πίνακα που ακολουθεί υπολογίζονται η ελάχιστη και η μέγιστη ποσότητα δεσμευμένου άνθρακα στο κομπόστ για τη χρονική περίοδο 1997-2020.

Πίνακας 8-6: Αποφευχθείσες εκπομπές CO₂, λόγω χρήσης του κομπόστ σε επίχωση, για τη χρονική περίοδο 1997-2020.

Έτος	Ελάχιστη ποσότητα δεσμευμένου CO ₂ (CO ₂ bind, kg/yr)	Μέγιστη ποσότητα δεσμευμένου CO ₂ (CO ₂ bind, kg/yr)
1997	32.734.029	163.670.144
1998	32.734.029	163.670.144
1999	32.734.029	163.670.144
2000	32.734.029	163.670.144
2001	32.734.029	163.670.144
2002	32.734.029	163.670.144
2003	0	0
2004	2.045.877	10.229.384
2005	11.252.322	56.261.612
2006	32.734.029	163.670.144
2007	38.871.659	194.358.296
2008	39.894.598	199.472.988
2009	14.321.138	71.605.688
2010	57.284.550	286.422.752
2011	69.559.811	347.799.056
2012	83.880.949	419.404.744
2013	85.926.826	429.634.128
2014	85.926.826	429.634.128
2015	85.926.826	429.634.128
2016	86.949.764	434.748.820
2017	88.995.641	444.978.204
2018	90.018.579	450.092.896
2019	91.041.518	455.207.588
2020	92.064.456	460.322.280

8.4 Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών

Υφιστάμενες εγκαταστάσεις ΚΔΑΥ

Σύμφωνα με τις ετήσιες εκθέσεις της ΕΕΑΑ Α.Ε. καθώς και με προσωπική επαφή με τον Διευθυντή Έργων της ΕΕΑΑ, κ. Βασίλη Μακρίδη, σε επίπεδο χώρας λειτουργούν 32 ΚΔΑΥ που εξυπηρετούν το σύνολο της χώρας για το έτος 2015. Στον πίνακα παρατίθενται τα στοιχεία των ΚΔΑΥ, ενώ συμπεριλαμβάνονται και τα ΚΔΑΥ Φυλής και Αμαρουσίου, τα οποία δεν λειτουργούν πλέον.

Πίνακας Ι-1: Λειτουργούντα ΚΔΑΥ για το έτος 2015 και καθεστώς λειτουργίας τους.

Πηγή: ΕΕΑΑ – προσωπική επικοινωνία, ΕΣΔΑ, 2014

A/A	Κέντρο Διαλογής	Περιφέρεια	Ιδιοκτησία	Επωνυμία Εργολάβου
1	Ξάνθης	Αν. Μακεδονία Θράκη	ΟΤΑ	Κοινοπραξία Ανακύκλωσης ΕΛΔΙΑ ΑΕ- Αφοί Δινάκη ΟΕ
2	Δράμας	Αν. Μακεδονία Θράκη	ΟΤΑ	ΔΙ.Α.Α.ΜΑ.Θ. Α.Α.Ε.
3	Αλεξανδρούπολης	Αν. Μακεδονία Θράκη	ΕΕΑΑ	Eco Solutions ΕΠΕ
4	Σίνδου	Κεντρική Μακεδονία	Ιδιώτης	ΑΝΑ.ΕΜΠΟ. ΑΕ
5	Νεοχωρούδας	Κεντρική Μακεδονία	Ιδιώτης	Ελληνική Διαχείριση Απορριμμάτων ΑΕ (ΕΛΔΙΑ)
6	Ιωνίας	Κεντρική Μακεδονία	Ιδιώτης	ECOTRANS ΑΕΒΕ
7	Θέρμης	Κεντρική Μακεδονία	ΕΕΑΑ	Αφοί Κωνσταντινίδη ΑΒΒΕ & ΝΕ
8	Σερρών	Κεντρική Μακεδονία	Ιδιώτης	Νιζάμης Γεώργιος
9	Πιερίας (Κατερίνη)	Κεντρική Μακεδονία	Ιδιώτης	ECOSIP – Οσπίδης Δημήτριος
10	Κοζάνης	Δυτική Μακεδονία	ΟΤΑ	ΔΙΑΔΥΜΑ
11	Ιωαννίνων	Ήπειρος	Ιδιώτης	P.K. Recycling North West Ltd
12	Λάρισας	Θεσσαλία	ΟΤΑ / Ιδιώτης	Ενιαίος Σύνδεσμος Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Ν. Λάρισας
13	Μαγνησίας (Βόλου)	Θεσσαλία	Ιδιώτης	Recycling Central Ltd
14	Καρδίτσας	Θεσσαλία	ΕΕΑΑ	Αφοί Φλώρου ΑΕ
15	Κέρκυρας	Ιόνιοι Νήσοι	ΕΕΑΑ	GREENMEDIA ΕΠΕ
16	Ζακύνθου	Ιόνιοι Νήσοι	ΟΤΑ	Σύνδεσμος Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Ν. Ζακύνθου
17	Πάτρας	Δυτική Ελλάδα	ΕΕΑΑ / ΟΤΑ	ALPHA GREEN ΑΒΕΕ
18	Σχηματαρίου	Στερεά Ελλάδα	Ιδιώτης	Αφοί Σιακανδάρη ΕΠΕ
19	Λαμίας	Στερεά Ελλάδα	ΕΕΑΑ / ΟΤΑ	Αφοί Σιακανδάρη ΕΠΕ
20	Ελευσίνας	Αττική	ΕΕΑΑ	Waste Solutions ΕΠΕ
21	Ασπρόπυργου (ΑΣΑ)	Αττική	Ιδιώτης	Ανακύκλωση Στερεών Αποβλήτων ΑΕ
22	Ασπρόπυργου (ALPHA GREEN)	Αττική	Ιδιώτης	ALPHA GREEN ΑΒΕΕ
23	Κορωπίου	Αττική	Ιδιώτης	WATT ΑΕ
24	Φυλής	Αττική		Λειτουργήσε 2008 – 2012
25	Αμαρουσίου	Αττική		Λειτουργήσε 2004 – 2011
26	Τρίπολης	Πελοπόννησος	Ιδιώτης	Recycling South East Ltd
27	Καλαμάτας	Πελοπόννησος	ΕΕΑΑ	Δημήτριος Κούζης
28	Κορίνθου	Πελοπόννησος	Ιδιώτης	ECORAP ΑΕ
29	Λέσβου	Βόρειο Αιγαίο	Ιδιώτης	Ανακύκλωση Αιγαίου ΑΒΕΕ
30	Θήρας	Νότιο Αιγαίο	Ιδιώτης	ΚΑΠΑ ΓΚΡΟΥΠ
31	Κω	Νότιο Αιγαίο	Ιδιώτης	Polis Development
32	Μυκόνου	Νότιο Αιγαίο	Ιδιώτης	Οικοδομική Μυκόνου
33	Ηρακλείου	Κρήτη	ΕΕΑΑ	Waste Solutions ΕΠΕ
34	Χανίων	Κρήτη	ΟΤΑ	ΔΕΔΙΣΑ

Πίνακας Ι-2: Ποσότητες ΑΥ που ανακτήθηκαν σε ΚΔΑΥ για τη χρονική περίοδο 2004-2015.
 Πηγή: ΕΣΔΑ 2014, ΥΠΕΚΑ – προσωπική επικοινωνία, ΕΕΑΑ – Ετήσιες Εκθέσεις, ΕΕΑΑ – προσωπική επικοινωνία

ΚΔΑΥ	Ποσότητες ανά ΚΔΑΥ ανά έτος											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ξάνθης												1.850
Δράμας										155	1.591	1.283
Αλεξανδρούπολης							1.407	3.286	2.800	1.958	3.386	3.919
Σίνδου							2.673	8.688	12.548	8.155	11.365	13.624
Νεοχωρούδας				3000	8.500	8.445	8.645	5.727	5.483	3.042	3.482	3.691
Ιωνίας						1.461	1.261	2.841	5.095	3.044	5.083	5.367
Θέρμης			2.200	3.018	8.100	10.159	10.359	9.410	8.087	3.998	7.558	8.233
Σερρών						4.400	5.113	5.204	5.000	2.898	4.704	4.704
Πιερίας		700	2.200	2.492	3.500	2.528	2.749	2.360	2.200	1.584	2.128	2.238
Κοζάνης							4.163	4.224	4.000	3.752	4.668	4.446
Ιωαννίνων					4.426	5.000	5.177	5.001	4.500	4.182	4.872	6.543
Λάρισας						2.500	3.442	3.252	3.100	2.944	6.159	6.133
Μαγνησίας					4.000	4.600	6.735	7.163	5.000	3.299	5.176	4.860
Καρδίτσας			3.498	4.580	4.800	5.200	7.963	7.371	5.900	4.005	5.360	6.045
Κέρκυρας			1.000	2.000	2.560	2.800	3.803	5.384	5.500	3.469	4.494	3.148
Ζακύνθου												947
Πάτρας	2.000	3.200	3.500	3.719	8.000	9.500	10.065	8.532	9.000	4.416	8.485	10.050
Σχηματαρίου					6.000	6.400	9.030	9.574	6.000	3.669	7.458	8.311
Λαμίας		600	1.000	1.155	3.000	3.500	5.244	4.283	3.500	2.277	3.221	3.782
Ελευσίνας						13.982	12.982	14.686	7.350	6.349	13.551	15.694
Ασπρόπυργου (ΑΣΑ)				2.433	2.433	4.866	3.866	1.647	9.290	11.290	21.769	22.398
Ασπροπύργου (ALPHA GREEN)				24.945	33.840	65.844	64.844	46.845	22.845	13.190	8.423	9.068
Κορωπίου									18.555	16.141	26.683	32.072
Φυλής					35.357	44.970	44.957	52.078	40.960			
Αμαρουσίου	3.500	8000	10.000	8.324	8.370	16.379	15.379	6.657				
Τρίπολης						2.500	3.734	4.707	3.200	2.185	2.052	1.771
Καλαμάτας		1.250	2.500	3.059	3.500	4.151	4.857	4.756	3.800	3.144	4.214	3.028
Κορίνθου								2.864	3.000	3.411	4.377	5.225
Λέσβου										372	1.163	1.997
Θήρας											743	1.871
Κω												1.405
Μυκόνου											1.105	2.694
Ηρακλείου		1.000	2.500	3.828	12.269	14.390	12.510	11.018	10.000	6.112	8.974	8.152
Χανίων		2.000	2.500	4.180	7.731	9.623	9.813	7.773	6.000	7.308	8.473	13.202

Πίνακας 8-7: κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από διαλογή σε ΚΔΑΥ, για την περίοδο 2004 – 2015.

ΚΔΑΥ	Μέση κατανάλωση ενέργειας (kWh / tn εισερχόμενου αποβλήτου)	Διαχρονική εξέλιξη κατανάλωσης ενέργειας (kWh/yr)												
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Ξάνθης	10												18.500	
Δράμας	10										1.550	15.910	12.830	
Αλεξανδρούπολης	25							35.175	82.150	70.000	48.950	84.650	97.975	
Σίνδου	25							66.825	217.200	313.700	203.875	284.125	340.600	
Νεοχωρούδας	36				108.000	306.000	304.020	311.220	206.172	197.388	109.512	125.352	132.876	
Ιωνίας	25						52.596	45.396	102.276	183.420	109.584	182.988	193.212	
Θέρμης	28			61.600	84.504	226.800	284.452	290.052	263.480	226.436	111.944	211.624	230.524	
Σερρών	36						158.400	184.068	187.344	180.000	104.328	146.664	169.344	
Πιερίας	36		25.200	79.200	89.712	126.000	91.008	98.964	84.960	79.200	57.024	76.608	80.568	
Κοζάνης	36							149868	152.064	144.000	135.072	168.048	160.056	
Ιωαννίνων	36					159.336	180.000	186372	180.036	162.000	150.552	175.392	235.548	
Λάρισας	30						75.000	103260	97.560	93.000	88.320	184.770	183.990	
Μαγνησίας	25					100.000	115.000	168375	179.075	125.000	82.475	129.400	121.500	
Καρδίτσας	30			104.940	137.400	144.000	156.000	238890	221.130	177.000	120.150	160.800	181.350	
Κέρκυρας	14			14.000	28.000	35.840	39.200	53242	75.376	77.000	48.566	62.916	44.072	
Ζακύνθου	10										7.560	12.560	4.730	
Πάτρας	14	28.000	44.800	49.000	52.066	112.000	133.000	140910	119.448	126.000	61.824	118.790	140.700	
Σχηματαρίου	25						150.000	160.000	225750	239.350	150.000	91.725	186.450	207.775
Λαμίας	17		10.200	17.000	19.635	51.000	59.500	89148	72.811	59.500	38.709	54.757	64.294	
Ελευσίνας	22						307.604	285.604	323.092	161.700	139.678	298.122	345.268	
Ασπρόπυργου (ΑΣΑ)	30				72.990	72.990	145.980	115.980	49.410	278.700	338.700	653.070	671.940	
Ασπρόπυργου (ALPHA GREEN)	36				898.020	1.218.240	2.370.384	2.334.384	1.686.420	822.420	474.840	303.228	326.448	
Κορωπίου	36									667.980	581.076	960.588	1.154.592	
Φυλής	36						1.272.852	1.618.920	1.618.452	1.874.808	1.474.560			
Αμαρουσίου	22	77.000	176.000	220.000	183.128	184.140	360.338	338.338	146.454					
Τρίπολης	14						35.000	52.276	65.898	44.800	30.590	28.728	24.794	
Καλαμάτας	14		17.500	35.000	42.826	49.000	58.114	67.998	66.584	53.200	44.016	58.996	42.392	
Κορίνθου	33								94.512	99.000	112.563	144.441	172.425	
Λέσβου	10										3.720	11.630	19.970	
Θήρας	10											7.430	18.710	
Κω	10												14.050	
Μυκόνου	10											11.050	26.940	
Ηρακλείου	36		36.000	90.000	137.808	441.684	518.040	450.360	396.648	360.000	220.032	323.064	293.472	
Χανίων	30		60.000	75.000	125.400	231.930	288.690	294.390	233.190	180.000	219.240	254.190	396.060	
Σύνολο κατανάλωσης		105.000	369.700	745.740	1.979.489	4.881.812	7.511.246	7.945.297	7.417.448	6.506.004	3.736.175	5.436.341	6.127.505	

