Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Τεχνολογιών Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων και Προοπτικές

Ι. Δ. ΜΑΝΑΡΙΩΤΗΣ
Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Περιφέρεια Δυτ. Ελλάδας

Π. Χ. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ
Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών

Περίληψη
Αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εφαρμογή των βασικών τεχνολογιών διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ΔΣΑ) με έμφαση κυρίως στα αστικά απόβλητα, στο βαθμό που οι τεχνολογίες αυτές συμμετέχουν κατά την προτεινόμενη πολιτική ολοκληρωμένης ΔΣΑ της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Η υγειονομική ταφή προκαλεί τοπικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και συμβάλλει σε παγκόσμιες επιπτώσεις, λόγω εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, κατά δέκα φορές περισσότερο απ' ό,τι η ανακύκλωση (μετά της λιπασματοποίησης) και η καύση που προκαλούν κυρίως τοπικές επιπτώσεις. Από στοιχεία της ΕΕ εκτιμάται ότι με την επίτευξη θεσμοθετημένων στόχων μετά το έτος 2020 η ανακύκλωση (με τη λιπασματοποίηση), η καύση με ανάκτηση ενέργειας και η υγειονομική ταφή θα προσεγγίσουν επίπεδα 50-55%, 20-25% και 25%, αντιστοίχως, της ποσότητας αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ). Προκύπτει, επίσης, ότι στον ίδιο χρονικό ορίζοντα, οι τοπικές και παγκόσμιες επιπτώσεις και το συνολικό κόστος διαχείρισης θα μπορούσαν να ελαχιστοποιηθούν, εάν η ολοκληρωμένη ΔΣΑ, πλέον της διαλογής στην πηγή για ανακύκλωση, λιπασματοποίηση και αναερόβια χώνευση, περιελάμβανε και ανακύκλωση, καύση με ανάκτηση ενέργειας και μηχανική-βιολογική επεξεργασία πριν από την τελική διάθεση με υγειονομική ταφή.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρεαλιστική βέλτιστη στρατηγική ολοκληρωμένης διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ΔΣΑ) είναι πλήρως εναρμονισμένη με την αρχή της αειφόρου (βιώσιμης) ανάπτυξης, κατά την οποία δεν θα πρέπει να στερήσουμε από τους απογόνους μας τη χρήση των πόρων που εμείς απολαμβάνουμε σήμερα [1]. Ο σχεδιασμός της στρατηγικής αυτής στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), σύμφωνα με το ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 14.11.1996 [2], βασίζεται στην ιεράρχηση των δράσεων διαχείρισης με την ακόλουθη σειρά: αποφυγή παραγωγής αποβλήτων, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση ενέργειας, τελική διάθεση. Οι δράσεις αυτές θα πρέπει επιπλέον να βελτιστοποιούνται σύμφωνα με αποτελέσματα αναλύσεων κύκλου ζωής των υλικών που καταλήγουν στα στερεά απόβλητα.

Η έως σήμερα διαθέσιμη τεχνογνωσία και εμπειρία δείχνει ότι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται αυτούσιες ή με παραλλαγές και συνδυασμούς στη ΔΣΑ είναι η ανάκτηση υλικών (διαλογή, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, λιπασματοποίηση), η ανάκτηση ενέργειας (καύση με ανάκτηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας) και η τελική διάθεση σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους (υγειονομική ταφή) [3]. Εκάστη επί μέρους τεχνολογία επιτελεί ένα διαφορετικό εύρος στόχων στο σχεδιασμό της ολοκληρωμένης ΔΣΑ και ο βαθμός απόδοσής της είναι πρακτικά περιορισμένος. Ως εκ τούτου, απαιτείται η συνδυασμένη εφαρμογή και προσαρμογή των προαναφερθεισών τεχνολογιών στις πραγματικές συνθήκες, προκειμένου να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα σε πλήρη συμφωνία με την ακολουθούμενη περιβαλλοντική πολιτική.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι θετικές και αρνητικές επιδράσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή των προαναφερθεισών τεχνολογιών και εκτιμώνται οι προοπτικές που διαμορφώνονται μετά από πλήρη ανάπτυξη της προτεινόμενης στρατηγικής στις χώρες-μέλη της ΕΕ. Για το σκοπό αυτόν έγινε επεξεργασία και συναξιολόγηση στοιχείων από πολυάριθμες πηγές και τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης είναι χρήσιμα σε δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς που εμπλέκονται με τη ΔΣΑ.

2. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

ΑΕΑ/HWI	Αποτέφρωση επικίνδυνων αποβλήτων/ Hazardous waste incineration.
ΑΕΠ/GDP	Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν/Gross domestic product.
ΑΝΑ/REC	Ανακύκλωση /Recycling.
ΑΣΑ/MSW	Αστικά στερεά απόβλητα/Municipal solid waste.
BAO_5/BOD_5	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (5 d, 20°C)/Biochemical oxygen demand (5 d, 20°C).
ΔΠΠ/EPE	Δαπάνες για την προστασία του περιβάλλοντος / Environmental protection expenditures.

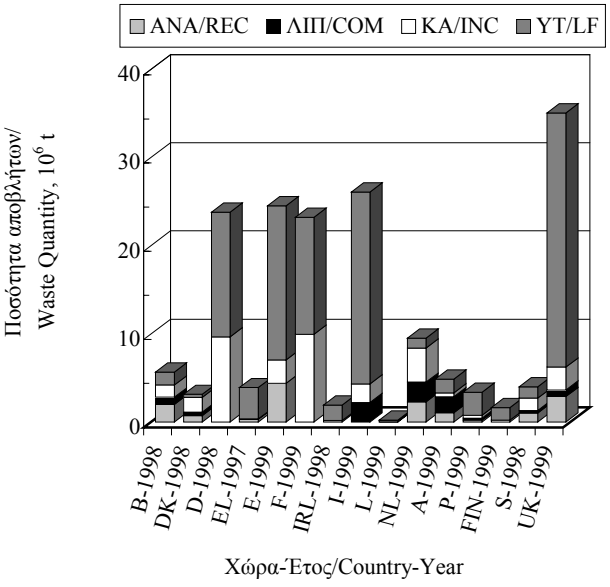
Υποβλήθηκε: 5.3.2004 Έγινε δεκτή: 16.3.2005

ΔΣΑ/SWM	Διαχείριση στερεών αποβλήτων/Solid waste management.
ΔΤ/PS	Δημόσιος τομέας/Public sector.
ΔΤΑ/WSE	Δαπάνες τομέα αποβλήτων/Waste sector expenditures.
ΕΕ/EU	Ευρωπαϊκή Ένωση/European Union.
ΚΑ/IN	Καύση/Incineration.
ΚΑΕ/IER	Καύση με ανάκτηση ενέργειας/Incineration with energy recovery.
ΛΙΠ/COM	Λιπασματοποίηση/Composting.
ΜΠΟΑ/NVOC	Μη πτητικός οργανικός άνθρακας/Non volatile organic carbon.
ΟΟΑ/TOC	Ολικός οργανικός άνθρακας/Total organic carbon.
ΠΑΟΕ/AOX	Προσροφούμενες αλογονούχες οργανικές ενώσεις/Absorbable organic halogens.
ΥΑ/WW	Υγρά απόβλητα/Wastewater.
ΥΤ/LF	Υγειονομική ταφή/Landfilling.
ΧΑΟ/COD	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο/Chemical oxygen demand.
ΧΥΤΑ/LS	Χώρος υγειονομικής ταφής/Landfill site.
A	Αυστρία/Austria.
B	Βέλγιο/Belgium.
D	Γερμανία/Germany.
DK	Δανία/Denmark.
E	Ισπανία/Spain.
EL	Ελλάδα/Greece.
F	Γαλλία/France.
FIN	Φινλανδία/Finland.
I	Ιταλία/Italy.
IRL	Ιρλανδία/Ireland.
L	Λουξεμβούργο/Luxemburg.
NL	Ολλανδία/Netherlands.
NW	Νορβηγία/Norway.
P	Πορτογαλία/Portugal.
RDF	Καύσιμο παραγόμενο από απόβλητα/ Refuse derived fuel.
S	Σουηδία/Sweden.
UK	Ηνωμένο Βασίλειο/United Kingdom.

3. ΕΠΙΤΕΥΓΜΑΤΑ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η στρατηγική που έχει υιοθετηθεί από την ΕΕ για τη ΔΣΑ απορρέει από το στόχο για αειφόρο ανάπτυξη [1,4] και εξιδανικεύεται *στα ψηφίσματα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 14.11.1996* [2] και του *Συμβουλίου της ΕΕ της 24.2.1997* [5]. Το δεύτερο ψήφισμα «επιβεβαιώνει την ανάγκη συνολικής πολιτικής ΔΣΑ στην Κοινότητα χάριν της προστασίας του περιβάλλοντος», «προτρέπει τα κράτη-μέλη να χρησιμοποιούν, κατά τον πλέον συνεκτικό τρόπο, ευρύ φάσμα μέσων, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών, ανάλογα με την περίπτωση, με σκοπό την επίτευξη των στόχων της πολιτικής τους για τα απόβλητα» και «καλεί τα κράτη-μέλη να προσανατολίσουν κατάλληλα τις πολιτικές τους για ΔΣΑ, ώστε οι δυνατότητες αυτές να υλοποιηθούν». Επομένως, η ευρωπαϊκή στρατηγική οικοδομείται στη λογική της ολοκληρωμένης ΔΣΑ.

Κατόπιν σχετικής επεξεργασίας δεδομένων για όλες τις χώρες-μέλη που έχουν ληφθεί από αρμόδιες Υπηρεσίες της ΕΕ [6] και ανάλυσης αντίστοιχων στοιχείων της Στατιστικής Υπηρεσίας της ΕΕ (EUROSTAT) [7], σχετικά με τις παραγόμενες ποσότητες αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) και τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται για τη διαχείρισή τους, συντέθηκε ο πίνακας 1, όπου καταγράφονται οι επικρατέστερες τάσεις, και το σχήμα 1, όπου παρουσιάζονται οι εφαρμοζόμενες τεχνολογίες και η σχετική ποσότητα ΑΣΑ που διαχειρίζονται. Οι τιμές στην τελευταία στήλη του πίνακα 1 υπολογίστηκαν, ώστε το συνολικό ποσοστό κάθε έτους να ισούται με 100. Σημειώνεται ότι τα διαθέσιμα σταθμισμένα στατιστικά στοιχεία της ΕΕ από 28.8.2003 ενσωματώνουν τη λιπασματοποίηση στην ανακύκλωση. Λαμβάνοντας υπόψη τα παλαιότερα στοιχεία για την ΕΕ-15 (πίνακας 1) [6], φαίνεται ότι η λιπασματοποίηση κινούνταν σε σχετικά χαμηλά επίπεδα (3-6%) κατά μέσον όρο. Η συμπεριφορά αυτή αποδίδεται κυρίως στη δυσκολία διάθεσης του προϊόντος, σε συνδυασμό με την ανυπαρξία κοινωνικής αποδοχής για χρήση αυτού του φτωχού λιπάσματος στις καλλιέργειες. Πάντως, η ΕΕ λαμβάνει μέτρα για τη βελτίωση της κατάστασης αυτής στο άμεσο μέλλον, όπως εφαρμογή της ανακύκλωσης πλαστικών και των πολιτικών διαχείρισης ειδικών ρευμάτων αποβλήτων (ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών υλικών, μπαταριών κ.ά.).



Σχήμα 1: Μεθοδολογίες διαχείρισης ΑΣΑ στις χώρες της ΕΕ-15.
Figure 1: MSW methodologies in EU-15 countries.
Πίνακας 1: Επικρατούσες τάσεις διαχείρισης ΑΣΑ στην Ευρώπη.

Σημείωση: Για τη DK αναφέρονται μόνο απόβλητα κήπων.
Note: For DK only garden wastes are given.

Table 1: Prevalent trends in MSW management in Europe.

Χώρα / Country	Έτος/ Year	KA/INC	YT/LF	ΑΝΑ+ΛΙΠ+Άλλη*/ REC+COM+Other	
		%			
A	2002	11	30	59	
	2001	11	33	56	
	2000	11	33	56	(21, 35)**
	1999	12	35	54	
	1998	11	37	52	(19, 33)
	1997	10	35	55	(19, 36)
	1996	11	37	52	(18, 34)
	1995	12	42	46	(22, 24)
B	2002	34	12	54	
	2001	34	13	53	
	2000	34	13	53	(27, 26)
	1999	34	18	48	(24, 24)
	1998	33	22	45	(23, 22)
	1997	35	23	42	(21, 21)
	1996	40	32	28	(15, 13)
	1995	34	46	20	(12, 8)
D	2002	23	20	57	
	2001	24	23	53	(27, 15)
	2000	22	26	52	(27, 15)
	1999	22	27	51	(26, 14)
	1998	23	33	44	(26, 14)
	1997	20	36	44	(23, 13)
	1996	20	40	40	(22, 13)
	1995	20	42	38	
DK	2002	54	5	41	(19, 15)
	2001	55	6	39	(18, 14)
	2000	56	7	37	(21, 16)
	1999	56	11	33	(21, 12)
	1998	53	11	36	(22, 14)
	1997	53	11	36	(21, 14)
	1996	51	11	38	(25, 13)
	1995	54	14	31	(20, 11)
E	2002	7	61	32	
	2001	6	61	33	(11, 10)
	2000	6	61	33	(7, 12)
	1999	6	59	35	
	1998	7	62	31	
	1997	7	62	31	
	1996	7	65	28	
	1995	5	64	31	
EL	2002	0	93	7	(6, 1)
	2001	0	92	8	(7, 1)
	2000	0	93	7	(6, 1)
	1999	0	92	8	(7, 1)
	1998	0	95	5	
	1997	0	95	5	
	1996	0	98	2	
F	2002	34	38	28	
	2001	34	40	26	(12, 13)
	2000	34	42	24	(11, 12)
	1999	33	43	24	(11, 10)
	1998	33	44	23	(10, 10)
	1997	34	46	20	(9, 9)
	1996	35	47	18	(8, 9)
	1995	36	47	17	(7, 9)
FIN	2002	9	62	29	
	2001	8	62	30	
	2000	8	56	36	
	1999	11	63	26	
	1998	8	60	32	
	1997	6	66	28	
	1996	5	69	26	
	1995	0	66	34	
I	2002	9	62	29	
	2001	9	64	27	
	2000	9	68	23	
	1999	8	77	15	(8, 7)
	1998	8	81	11	
	1997	7	78	15	(6, 9)
	1996	7	82	11	(5, 6)
	1995	6	84	10	
IRL	2002	0	72	28	
	2001	0	71	29	
	2000	0	90	10	(9, 1)
	1999	0	96	4	
	1998	0	93	7	(7, 0)
	1997	0	87	13	
	1996	0	84	16	
	1995	0	82	18	
L	2002	42	23	35	
	2001	44	22	34	
	2000	42	20	38	(0, 14)
	1999	44	21	35	(0, 12)
	1998	49	22	29	(0, 11)
	1997	47	24	29	(0, 9)
	1996	51	25	24	(0, 5)
	1995	52	28	20	(0, 7)
NL	2002	32	8	60	(21, 24)
	2001	33	8	59	(22, 23)
	2000	31	9	60	(22, 24)
	1999	34	7	59	(22, 23)
	1998	33	9	58	(21, 25)
	1997	37	12	51	(20, 25)
	1996	30	20	50	(18, 24)
	1995	25	29	46	(17, 24)
P	2001	19	69	12	
	2000	22	75	3	
	1999	22	76	2	
	1998	15	72	14	(-, 4)
	1997	0	77	23	(-, 7)
	1996	0	67	33	(-, 16)
	1995	0	60	40	(-, 13)
S	2002	40	20	40	
	2001	38	22	40	(29, 10)
	2000	38	23	39	
	1999	38	25	37	(-, 4)
	1998	38	28	34	(-, 7)
	1997	36	31	33	(-, 16)
	1996	37	32	31	(-, 13)
	1995	39	36	25	
UK	2002	8	77	15	
	2001	8	80	12	(12, -)
	2000	8	82	10	(10, -)
	1999	7	82	11	(11, -)
	1998	7	86	7	(7, -)
	1997	7	86	7	(7, -)
	1996	6	90	4	
	1995	7	87	6	
EE-15/ EU-15	2002	19	45	36	
	2001	19	47	34	
	2000	18	50	32	
	1999	18	51	30	(9, 3)
	1998	18	54	27	(12, 4)
	1997	17	55	28	
	1996	18	58	24	(5, 6)
	1995	17	59	23	(4, 3)
EE-25/ EU-25	2002	17	49	34	
	2001	18	51	31	
	2000	17	53	30	
	1999	16	56	28	
	1998	17	59	24	
	1997	16	59	25	
	1996	16	62	22	
	1995	15	63	21	
NW	2002	16	16	68	(32, 7)
	2001	16	17	67	(31, 7)
	2000	15	55	30	(21, 9)
	1999	15	55	30	(22, 8)
	1998	13	64	23	(17, 6)
	1997	13	62	25	(20, 5)
	1996	13	67	20	(17, 3)
	1995	13	73	14	(12, 2)

* Άλλη τεχνολογία πλην ΑΝΑ και ΛΙΠ, π.χ. αναερόβια χώνευση/Other technology than REC and COM, i.e. anaerobic digestion.

** Οι τιμές σε παρένθεση δίνουν ΑΝΑ, ΛΙΠ πριν από 28.8.2003/Values in parenthesis give REC, COM before 28.8.2003.

Συναξιολογώντας όλα τα διαθέσιμα στοιχεία, συμπεραίνεται ότι η δράση της ανακύκλωσης, συμπεριλαμβανομένης και της λιπασματοποίησης, δείχνει σημαντική πρόοδο κυρίως στην Αυστρία, Βέλγιο, Γερμανία, Δανία, Γαλλία, Ιταλία, Ολλανδία, Σουηδία και Νορβηγία, αλλά και γενικά στις χώρες-μέλη της ΕΕ (ΕΕ-15 και ΕΕ-25), με ταυτόχρονη σημαντική πτώση εφαρμογής της υγειονομικής ταφής στις ίδιες χώρες. Επακόλουθο της πτωτικής τάσης στην υγειονομική ταφή είναι η αντιμετώπιση προβλημάτων αποδοχής από το ευρωπαϊκό κοινό της κατασκευής και λειτουργίας χώρων υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ), σε συνδυασμό και με τη σχετικώς σύντομη πλήρωσή τους, την ενδεχόμενη υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, καθώς και πλήθος άλλων δυνητικών επιπτώσεων.

Ωστόσο, η πλέον πρόσφατη εικόνα της ΕΕ-15 και ΕΕ-25 δείχνει ότι η ανακύκλωση, αν και αυξανόμενη, είναι ακόμα σε χαμηλό επίπεδο (<30%) με υψηλότερα ποσοστά εφαρμογής (27-29%) στη Σουηδία, Βέλγιο και Γερμανία, ενώ η καύση αυξάνεται πολύ αργά (17-19%) και η υγειονομική ταφή μειώνεται συνεχώς (45-49%).

Με δεδομένο ότι η ανακύκλωση αποτελεί την πλέον φιλική προς το περιβάλλον δράση ΔΣΑ, η οποία εξυπηρετεί πλήρως τους στόχους της αειφόρου ανάπτυξης, εκτιμάται ότι η ΕΕ πρέπει να επιτύχει στο εγγύς μέλλον ποσοστό περίπου 50-55% (συνυπολογιζομένης και της λιπασμα-

τοποίησης). Αυτό το ποσοστό θα διαμόρφωνε επίπεδα καύσης και υγειονομικής ταφής περίπου 20-25% και 25%, αντίστοιχα.

Με την προαναφερόμενη ιεράρχηση δράσεων, η ευρωπαϊκή στρατηγική στοχεύει στη βιώσιμη ΔΣΑ από όλες τις χώρες-μέλη με κατεύθυνση τη σταδιακή μείωση της μάζας και όγκου των απορριμμάτων για την καλύτερη προστασία περιβάλλοντος και μείωση των εκτάσεων για ΧΥΤΑ. Έτσι, αφενός θα αυξηθεί ο χρονικός ορίζοντας διαθεσιμότητας χώρων, που σήμερα ανέρχεται κατά μέσον όρο σε μια δεκαετία [8,9], αλλά και θα διευκολυνθεί η εξεύρεση νέων θέσεων, που γίνεται όλο και πιο δύσκολη, προσκρούοντας τόσο στην έλλειψη κατάλληλων εκτάσεων όσο και στη δυσκολία αποδοχής των από τις τοπικές κοινωνίες [σύνδρομο NIMBY (Not In My Back Yard)].

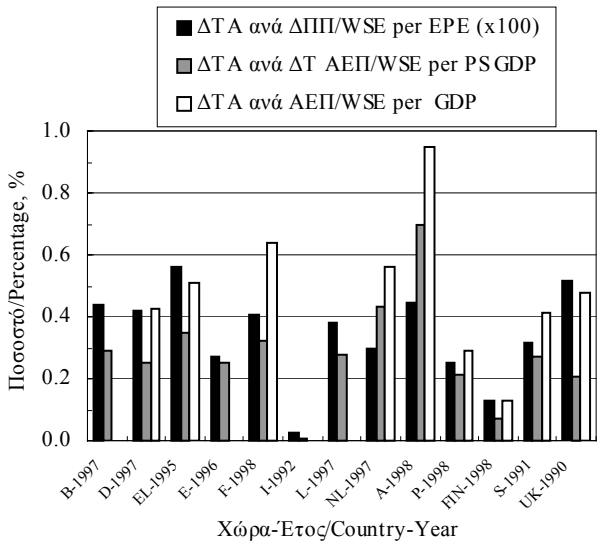
Η τεχνολογία της καύσης εφαρμόζεται σε 13 από τις χώρες-μέλη της ΕΕ-15, που αντιπροσωπεύουν το 96% του πληθυσμού και το 94% της έκτασής της, ενώ ακόμη δεν χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και Ιρλανδία.

Άλλες όμως μεσογειακές χώρες της ΕΕ-15 και συγκεκριμένα η Γαλλία, η Ιταλία και η Ισπανία ανακτούν ενέργεια, για θέρμανση και ηλεκτρισμό, 0,7, 3,8 και 6,6 TJ/10^6 kg ΑΣΑ, αντίστοιχα [8]. Αυτό δείχνει ότι και η Ελλάδα ως μεσογειακή χώρα θα μπορούσε να ανακτήσει αντίστοιχα ποσά ενέργειας.

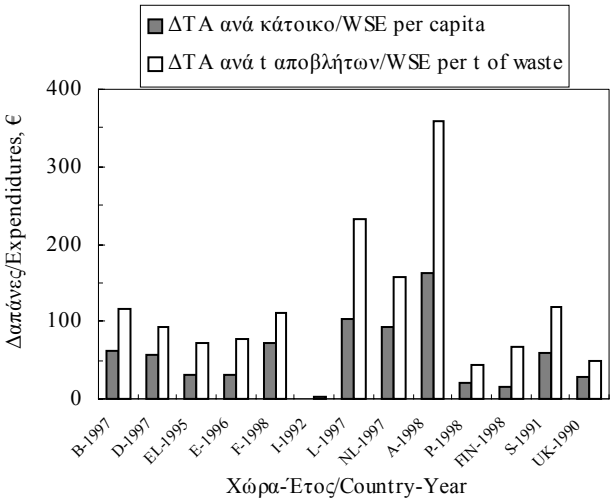
Οι συνολικές δαπάνες στον τομέα των αποβλήτων (ΔΤΑ) αντικατοπτρίζουν τα επιτεύγματα κάθε χώρας στον τομέα αυτόν. Όσον αφορά στη σύγκριση μεταξύ των χωρών-μελών, στο σχήμα 2α φαίνονται κατόπιν επεξεργασίας τα ποσά αυτά ανηγμένα στο συνολικό ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ), στο ΑΕΠ του δημόσιου τομέα (ΔΤ ΑΕΠ) και στις συνολικές δαπάνες για την προστασία του περιβάλλοντος (ΔΠΠ), και στο σχήμα 2β δίνονται τα ποσά αυτά ανά κάτοικο ή ανά t συνολικά παραγόμενων ΑΣΑ [7].

Αν και τα στοιχεία αυτά δεν αφορούν την ίδια χρονική περίοδο, οι υψηλές τιμές ΔΤΑ σε συνδυασμό με σχετικώς υψηλά ποσοστά ΔΠΠ αντανακλούν υψηλές επιδόσεις στον τομέα των στερεών αποβλήτων, όπως ισχύει για το Λουξεμβούργο, Ολλανδία και Αυστρία.

Η εικόνα των επενδύσεων στον τομέα των ΑΣΑ στην Ελλάδα παρουσιάζεται στον πίνακα 2, όπου κατόπιν σχετικής επεξεργασίας δίνονται τα προϋπολογισθέντα και απορροφηθέντα ποσά κατά την περίοδο 1994-1999 ανά κατηγορία έργων και δραστηριοτήτων, που είχαν ενταχθεί στα προγράμματα του Ταμείου Συνοχής, ΕΠΠΕΡ και ΠΕΠ-ΕΑΠΤΑ [10]. Για το ειδικό ταμείο ΕΤΕΡΠΣ συνολικού προϋπολογισμού 17,735X10^6 € δεν δίνονται στοιχεία, διότι δεν ήταν διαθέσιμο το μέγεθος της απορρόφησης. Πάντως στον πίνακα 2 δεν περιλαμβάνονται οι λειτουργικές δαπάνες, οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Αναγωγή των ετήσιων μέσων επενδύσεων τομέα ΑΣΑ περιόδου 1994-1999 στην Ελλάδα, ως προς τον αντίστοιχο πληθυσμό (10,48 εκατομμύρια κάτοικοι) δίνει μέση τιμή 3,77 €/κάτοικο ετησίως, ήτοι 12,4% επί αντίστοιχων συνολικών δαπανών του σχήματος 2β.



2α. Ποσοστό ΔΤΑ των συνολικών ΔΠΠ, ΔΤ ΑΕΠ και ΑΕΠ.
2a. Percentage of WSE on total EPE, PS GDP and GDP.



2β. ΔΤΑ ανά κάτοικο ή t αποβλήτων.
2b. WSE per capita or t of waste.

Σχήμα 2(α, β): Δαπάνες στον τομέα των αποβλήτων (ΔΤΑ).
Figure 2(a, b): Waste sector expenditures (WSE).

Πίνακας 2: Επενδύσεις στην Ελλάδα στον τομέα ΑΣΑ κατά την περίοδο 1994-1999 - Κατανομή πόρων.
Table 2: Investments in MSW sector in Greece during the period 1994-1999 - Resource allocation.

Κατηγορία έργων/ Projects category	Προτεινόμενος προϋπολογισμός/ Proposed budget	Απορρόφηση/ Absorbance
	10^6 €	%
ΥΤ/LF	183,63	64,57
ΑΝΑ/REC	48,115	66,94
ΛΙΠ/COM	4,453	100
ΑΕΑ/HWI	1,011	13,771

Αποτέλεσμα της συναξιολόγησης των προαναφερθέντων δημοσιευμένων εθνικών σχεδίων ΔΣΑ των χωρών-μελών της ΕΕ [6] καθώς και των προτεινόμενων στην Οδηγία 1999/31/EC [11], είναι ο πίνακας 3, ο οποίος δίνει την κατάσταση ολοκληρωμένης διαχείρισης ΑΣΑ που επικράτησε στην ΕΕ-15 στην αρχή της δεκαετίας 2001-2010 και την εκτίμησή μας για τη συνολική εικόνα που θα επιτευχθεί μετά το 2020. Η εκτίμηση αυτή επικουρείται και από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Πίνακας 3: Ολοκληρωμένη διαχείριση ΑΣΑ στην ΕΕ.
Table 3: Integrated MSW management in the EU.

Δράσεις-Τεχνολογίες/ Actions-Technologies	Αρχή 2001-2010/ Start of 2001-2010	Μετά το 2020/ After 2020
	%	
ΑΝΑ+ΛΙΠ+Άλλες /REC+COM+Other	35	50-55
ΚΑΕ/IER	19	20-25
ΥΤ/LF	46	25

4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις αφορούν στην υγειονομική ταφή και καύση και προκαλούνται κυρίως από τις εκπομπές οργανικών μικρο-ρύπων, αερίων θερμοκηπίου και πτητικών βαρέων μετάλλων, αλλά και από διαρροές στραγγισμάτων στο υπέδαφος που μεταφέρουν υψηλά ρυπαντικά φορτία. Σοβαρά προβλήματα είναι δυνατό να προκληθούν και από τη διαφυγή άλλων ενώσεων από μονάδες καύσης και υγειονομικής ταφής. Η ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων, η μείωση των επικίνδυνων συστατικών και η κατάλληλη διαχείριση των καταλοίπων τους αποτελούν την κυριότερη πρόκληση των επόμενων ετών για την αποφυγή των επιπτώσεων [12].

4.1. Υγειονομική ταφή

Οι κύριες περιβαλλοντικές πιέσεις από την υγειονομική ταφή, ως τεχνολογίας τελικής διάθεσης των στερεών αποβλήτων σε ΧΥΤΑ, είναι τοπικές, αλλά και ευρύτερες ή παγκόσμιες [8]. Οι πιο σημαντικές πιέσεις περιλαμβάνουν:

- Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων με τοξικές ουσίες, βαρέα μέταλλα και θρεπτικά, μέσω των στραγγισμάτων των αποβλήτων, με εμφάνιση προβλημάτων οικοτοξικότητας και ευτροφισμού [9].
- Οχλήσεις γειτονικών περιοχών κατά τη λειτουργία των ΧΥΤΑ, λόγω εκπομπών σκόνης και θορύβου και, σε ακτίνα μερικών χιλιομέτρων, οσμών.
- Σημαντική συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω εκπομπής κυρίως μεθανίου (CH_4) αλλά και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).
- Χρήση γης, συμπεριλαμβανομένης και της απώλειας φυσικών εκτάσεων.
- Εμφάνιση προβλημάτων υγείας στους γειτονικούς πληθυσμούς, λόγω έκθεσής τους σε ενώσεις που ελευθερώνονται στον αέρα, τα ύδατα και το έδαφος [12,13,14].
- Αύξηση δημόσιων δαπανών για παρακολούθηση και αποκατάσταση περιβάλλοντος, λόγω μόνιμης απώλειας πόρων και ανάγκης ελέγχου ρύπανσης των ΧΥΤΑ.

Η έκταση των επιπτώσεων ποικίλει ανάλογα με τον τύπο των στερεών αποβλήτων, την κατασκευή και λειτουργία του ΧΥΤΑ, την απόσταση από το χώρο και τις υδρολογικές συνθήκες. Η χρήση υπόγειων υδάτων σε ακτίνα 2 km από ΧΥΤΑ ενέχει επικινδυνότητα [12], ενώ έχει αποδειχθεί ότι τα στραγγίσματα των αποβλήτων αποτελούν εν δυνάμει πηγή ρύπων για μερικούς αιώνες. Η ρύπανση των υδάτων συχνά προβληματίζει επί δεκαετίες, ακόμη και μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, επειδή τα υπόγεια ύδατα αναγεννώνται αρκετά αργά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, για ΧΥΤΑ μέσου πάχους 12 m, με μέσο ρυθμό παραγωγής στραγγισμάτων 200 mm/έτος η ρύπανση υπόγειων υδάτων προβληματίζει επί 100 έως 600 έτη, ενώ για υψηλό ρυθμό παραγωγής 400 mm/έτος επί 50 έως 300 έτη, ανάλογα και με το είδος των στερεών αποβλήτων. Η επικινδυνότητα των στραγγισμάτων μπορεί να μειωθεί με κατάλληλη προεπεξεργασία των αποβλήτων (όπως διαλογή, ανακύκλωση, καύση), όμως στραγγίσματα από τα υπολείμματα προεπεξεργασίας είναι δυνατόν να υπερβαίνουν τα κριτήρια ποιότητας υπόγειων υδάτων για διάστημα άνω των 100 ετών [8]. Η συγκέντρωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών στα στραγγίσματα παρουσιάζει σημαντική διακύμανση και, εν γένει, μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Επίσης, η μείωση των οργανικών στους ΧΥΤΑ (π.χ. με λιπασματοποίηση του οργανικού κλάσματος) είναι πιθανόν να συμβάλλει στη μείωση των οργανικών στα στραγγίσματα. Στον πίνακα 4 δίνονται τα κυριότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά στραγγισμάτων σε ΧΥΤΑ κατά την πρώιμη και την ώριμη φάση λειτουργίας τους [15,16]. Η παρουσία διοξινών και φουρανίων στα στραγγίσματα, έχει επίσης αναφερθεί χωρίς όμως να δίνονται στοιχεία για την προέλευση αυτών των τοξικών χημικών [17].

Στον πίνακα 5 δίνεται η τυπική παρουσία των κυριότερων εκλυόμενων αερίων από ΧΥΤΑ [18]. Όπως δείχνουν τα στοιχεία του πίνακα αυτού, τα κυριότερα εκπεμπόμενα αέρια είναι το CH_4 και το CO_2, τα οποία παράγονται κατά την αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων, που περιέχονται στα στερεά απόβλητα. Εκτός όμως αυτών, ο αέρας ρυπαίνεται και από άλλα αέρια και σκόνη, στην οποία προσκολλώνται διάφορες χημικές ουσίες, ειδικά κατά την περίοδο λειτουργίας του ΧΥΤΑ, με πιθανή πρόκληση σοβαρών συνεπειών στην υγεία γειτονικών πληθυσμών. Παρατηρήσεις ερευνητών από τη λειτουργία 21 και 23 ΧΥΤΑ επικίνδυνων αποβλήτων στην Ευρώπη έδειξαν ότι μπορεί να προκληθούν προβλήματα υγείας (κυρίως επίκτητες ασθένειες) σε ακτίνα έως και 6 km [13,14]. Από τους ερευνητές αυτούς εκφράζεται η άποψη (ίσως υπερβολική κατά τη γνώμη μας) ότι τα αποτελέσματα αυτά ισχύουν και για δημοτικούς ΧΥΤΑ, λόγω της παρόμοιας

Πίνακας 4: Ποιοτικά χαρακτηριστικά στραγγισμάτων ΧΥΤΑ.
Table 4: Quality characteristics of landfill leachate.

Χαρακτηριστικό/ Characteristic	Νέοι ΧΥΤΑ/ New landfills* [15]	Παλαιοί ΧΥΤΑ/Old landfills** [15]	[16]
pH	6,73 (5,12-7,8)+	7,52 (6,8-8,2)+	7,0 (0,51)++
Αγωγιμότητα/Conductivity (μS/cm)	16921(5800-52000)	11502 (5990-19300)	3000 (2500)
Αλκαλικότητα/Alkalinity (mg $CaCO_3$/L)	7251 (2720-15870)	5376 (3000-9130)	
NH_4-N (mg N/L)	922 (194-3610)	889 (283-2040)	91 (156)
Θειικά/Sulfate (SO_4^{-2}) (mg/L)	676 (<5-1560)	67 (<5-322)	150 (220)
Φωσφορικά/Phosphate (mg P/L)	5,0 (0,6-22,6)	4,3 (0,3-18,4)	
Ολικός φώσφορος/Total phosphorus (mg P/L)			1,5 (5,5)
ΧΑΟ/COD (mg/L)	36817 (2740-152000)	2307 (622-8000)	320 (550)
BAO_5/BOD_5 (mg/L)	18632 (2000-68000)	374 (97-1770)	44 (120)
ΟΟΑ/TOC (mg/L)	12217 (1010-29000)	733 (184-2270)	130 (430)
ΜΠΟΑ/NVOC (mg/L)			82 (140)
ΠΑΟΕ/AOX (mg/L)			1,1 (8,5)
Λιπαρά οξέα/Fatty acids (mg C/L)	8197 (963-22414)	18 (<5-146)	
CH_4 (mg/L)			22 (60)
Αιθυλοβενζόλιο/Ethylbenzene (mg/L)			0,03 (0,046)
Βενζόλιο/Benzene (mg/L)			0,022 (0,065)
Κρεζόλες/Crezols (mg/L)			0,017 (0,098)
Ξυλόλιο/Xylene (mg/L)			0,21 (2)
Ναφθαλίνιο/Napthalene (mg/L)			0,034 (0,14)
Τετραχλωροεθυλένιο/Tetrachloroethylene (mg/L)			0,0032 (0,016)
Τολουόλιο/Toluene (mg/L)			0,038 (0,24)
1,1,1-Τριχλωροαιθάνιο/1,1,1-Trichloroethane ((mg/L)			0,0033 (0,015)
Τριχλωροεθυλένιο/Trichloroethylene (mg/L)			0,056 (0,044)
Φαινόλες/Phenols (mg/L)			0,023 (0,087)
Χλωροφόρμιο/Chloroform (mg/L)			0,00039 (0,00038)
Xylenoles (mg/L)			0,027 (0,16)
Ca (mg/L)	2241 (270-6240)	151 (23-501)	280 (210)
K (mg/L)	1143 (350-3100)	854 (100-1580)	140 (320)
Mg (mg/L)	384 (25-820)	250 (40-1580)	60 (77)
Mn (mg/L)	32,94 (1,4-164)	0,46 (0,04-3,59)	3,5 (8,1)
Na (mg/L)	1371 (474-2400)	1480 (474-3650)	210 (370)
Fe (mg/L)	654 (48-2300)	27,4 (1,6-160)	76 (380)
Cl^- (mg/L)	1805 (659-4670)	2074 (570-4710)	360 (750)
As (mg/L)	0,024 (<0,001-0,148)	0,034 (<0,001-0,485)	0,016 (0,032)
Cd (μg/L)	0,02 (<0,01-0,1)	0,015 (<0,01-0,08)	0,0068 (0,011)
Hg (μg/L)	0,0004 (<0,0001-0,0015)	0,0002 (<0,0001-0,0008)	0,0052 (0,0083)
Pb (mg/L)	0,28 (<0,04-0,65)	0,20 (<0,04-1,9)	0,07 (0,46)
Ni (mg/L)	0,42 (<0,03-1,87)	0,17 (<0,03-0,6)	0,13 (0,37)
Cu (mg/L)	0,13 (0,02-1,1)	0,13 (<0,02-0,62)	0,07 (0,30)
Cr (mg/L)	0,13 (0,03-0,3)	0,09 (<0,03-0,56)	0,076 (0,32)
Zn (mg/L)	17,37 (0,09-140)	1,14 (0,03-6,7)	0,67 (4,5)

* Δεδομένα από οξικογενή στραγγίσματα ΧΥΤΑ/Data from acetogenic landfill leachates.
** Δεδομένα από μεθανογενή στραγγίσματα ΧΥΤΑ/Data from methanogenic landfill leachates.
\+ Μέσος όρος (εύρος τιμών)/Average (range of values).
++ Μέσος όρος (τυπική απόκλιση)/Average (standard deviation).

περιβαλλοντικής επικινδυνότητας που παρουσιάζουν τα αστικά απόβλητα [13]. Παρά τις όποιες αβεβαιότητες αυτών των παρατηρήσεων, ανάλογοι προβληματισμοί εκφράζονται και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος [12].

Συχνά έχουν αναφερθεί παράπονα κατοίκων κοντά σε ΧΥΤΑ για οσμές και έχουν εκφραστεί ερωτηματικά επί των επιπτώσεων στην υγεία τους. Οι οσμές συνοδεύονται από ίχνη προϊόντων της αναερόβιας διεργασίας και η πιθανότητα εμφάνισής τους είναι μεγαλύτερη κατά το πρώτο έτος μετά την απόθεση των αποβλήτων, με κύρια συνεισφορά σε οργανοθειούχες ενώσεις και εστέρες. Τα προβλήματα οσμών μπορούν να μειωθούν με συχνή και αποτελεσματική κάλυψη των αποβλήτων, καθώς και με την τελική κάλυψη του χώρου. Η χρήση λεπτόκοκκων υλικών για κάλυψη συνήθως είναι αποτελεσματική στη μείωση των οσμών.

Οι επιπτώσεις από διαφυγή βιοαερίου μπορούν να μειωθούν με κατάλληλη επιλογή του χώρου, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των ευαίσθητων στόχων στην περιοχή πέριξ του ΧΥΤΑ. Η σύσταση του βιοαερίου επηρεάζεται σημαντικά από τη σύσταση των στερεών αποβλήτων. Τα προβλήματα από αέριες εκπομπές προκαλούνται κυρίως από τη βιολογική διάσπαση του οργανικού υλικού των αποβλήτων. Στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος συμβάλλει η εφαρμογή της Οδηγίας 1999/31/EC με επιβολή μείωσης του οργανικού κλάσματος που οδηγείται στους ΧΥΤΑ [11].

Οι επιπτώσεις στα υπόγεια ύδατα από τα στραγγίσματα των ΧΥΤΑ συνήθως προαγγέλλονται με τον έλεγχο της μετακίνησης του βιοαερίου, το οποίο προηγείται του στραγγίσματος λόγω της μεγαλύτερης διεισδυτικότητάς του. Η επαφή του βιοαερίου με τα υδροφόρα στρώματα συντελεί στη

μείωση του pH, λόγω υψηλής περιεκτικότητάς του σε CO_2 (περίπου 50%), και συνεπώς διευκολύνεται η παρακολούθηση της μετακίνησης του βιοαερίου, η οποία γίνεται με δειγματοληψίες ύδατος σε γεωτρήσεις γύρω από τον ΧΥΤΑ.

Πίνακας 5: Περιεκτικότητα κύριων χαρακτηριστικών αέριων εκπομπών ΧΥΤΑ.
Table 5: Composition of main characteristics of landfills air emissions.

Χαρακτηριστικό/ Characteristic	Εύρος συγκέντρωσης/ Concentration range % (ξηρός όγκος/dry volume)
CH_4	40-70
CO_2	30-60
CO	0-3
N_2	3-5
O_2	0-3
H_2	0-5
H_2S	0-2
Ίχνη ενώσεων/Trace compounds	0-1
Ίχνη ενώσεων/Trace compounds	mg/m^3
Αλκοόλες/Alcohols	2-2500
Οργανοσουλφουρικά / Organosulphuric	3-240
Αλδεύδες/Aldehydes	0-200
Κετόνες/Ketones	0-50
Αιθέρες/Ethers	0-250
Εστέρες/Esters	0-1300
Υδρογονάνθρακες/Hydrocarbons	
Αλογονωμένοι /Halogenated	1-2900
Αρωματικοί/Aromatic	30-1900
Αλκάνια/Alkanes	20-4500
Αλκένια/Alkenes	6-1100
Κυκλοαλκάνια/Cycloalkanes	1-1000
Cycloalanes	8-600

Οι εκπομπές CH_4 των ΧΥΤΑ συντελούν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα του πλανήτη μας. Τα επίπεδα CH_4 στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι σήμερα υπερδιπλάσια εκείνων της προβιομηχανικής περιόδου. Το 1994 οι τιμές τους ανήλθαν σε 1.720 ppb (σε κανονικές συνθήκες), ενώ ήσαν 700 ppb κατά την προβιομηχανική περίοδο. Ο ετήσιος ρυθμός ανόδου των επιπέδων CH_4 μετά το 1993 μειώθηκε σε 8 ppb περίπου. Με θεώρηση του δυναμικού παγκόσμιας θέρμανσης[1] για χρονικό ορίζοντα 100 ετών, προκύπτει ότι το CH_4 συμβάλλει στην καθολική θέρμανση της τροπόσφαιρας κατά 21 φορές περισσότερο απ' ό,τι το CO_2, λόγω του ατμοσφαιρικού χρόνου ζωής 12 ετών, που είναι πολύ μικρότερος σε σύγκριση με το χρόνο 50 έως 200 ετών του CO_2 [19]. Ωστόσο, έχει εκτιμηθεί ότι κατά το 2008-2012 αρκεί μείωση 8% από τα επίπεδα παγκοσμίων εκπομπών CH_4 του 1990 [20]. Αυτό αποτελεί στόχο υψηλής προτεραιότητας της ΕΕ που συνυπέγραψε το Πρωτόκολλο του Κιότο για το πλαίσιο συμφωνίας των Ηνωμένων Εθνών επί της Κλιματικής Αλλαγής [21]. Η μείωση αυτή είναι κατά πολύ μικρότερη από εκείνη για τα άλλα αέρια θερμοκηπίου, το CO_2 και πρωτοξείδιο του αζώτου (N_2O) [9,22].

Κατόπιν σχετικής διερεύνησης και επεξεργασίας διαθέσιμων στοιχείων [22] συντέθηκε ο πίνακας 6, όπου δίνονται στοιχεία συμμετοχής τομέων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου, που έλαβαν χώρα στην ΕΕ κατά τα έτη 1990 και 1999. Με βάση τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα ποσοστά συμβολής και δυναμικού εκπομπών για τον τομέα αποβλήτων και για το σύνολο. Η συμβολή του τομέα αποβλήτων στις εκπομπές CH_4 ανήλθε στο 32,93% για το έτος 1990 και στο 31,81% για το έτος 1999, ενώ του CO_2 και N_2O ήταν αρκετά χαμηλή. Το συγκριτικό δυναμικό των αερίων που παράγονται από τα απόβλητα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι δυνατόν να εκτιμηθεί, εάν θεωρηθούν οι συντελεστές ισοδυναμίας της συμβολής εκάστου αερίου στη θέρμανση της τροπόσφαιρας ως προς την αντίστοιχη για το CO_2, ήτοι: CO_2 1, CH_4 21 και N_2O 310 (με ατμοσφαιρικό χρόνο ζωής 114 έτη) [19,20]. Από τα στοιχεία του πίνακα 6 προκύπτει ότι οι συνολικές εκπομπές CH_4 συνέβαλαν κατά 11,11 και 9,71% κατά τα έτη 1990 και 1999, αντίστοιχα, όπου το 1/3 περίπου αυτών προερχόταν από τα απόβλητα, ενώ παρατηρείται μείωση εκπομπών στη δεκαετία 1990-1999 κατά 16,75% για το σύνολο δραστηριοτήτων και 19,59% μόνο από τον τομέα των αποβλήτων. Η τελευταία αυξήθηκε σε 26% μεταξύ 1990 και 2000 [21]. Πάντως, η σχετική συμβολή του CH_4 από τα απόβλητα για τα έτη 1990 και 1999 ανήλθε σε 93,62 και 92,80%, αντίστοιχα, σε σχέση με το σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από απόβλητα, ενώ η συνολική συμβολή του τομέα αποβλήτων στο φαινόμενο θερμοκηπίου έβαινε μειούμενη από 3,91 σε 3,33% στο διάστημα αυτό.

Με ανάλογο τρόπο συντέθηκε ο πίνακας 7, απ' όπου συμπεραίνεται ότι η συμβολή της υγειονομικής ταφής σε CH_4 ήταν μεγαλύτερη από 90% σε σχέση με τις άλλες επί μέρους δραστηριότητες. Οι παρατηρήσεις αυτές δείχνουν ότι ο περιορισμός του CH_4 που εκπέμπεται από τα απόβλητα είναι αναγκαίος, στο πλαίσιο της παγκόσμιας πολιτικής ελέγχου του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στον πίνακα 7 υπολογίζεται επίσης, για κάθε βασική τεχνολογία ΔΣΑ, η συνολική συμβολή της στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η υγειονομική ταφή είχε τη μεγαλύτερη σχετική συμβολή (88-84%) από το 1990 έως το 1999, υπερβαίνοντας κατά μια τάξη μεγέθους τη συμβολή κάθε άλλης τεχνολογίας, με ετήσιο ρυθμό πτώσης 0,44%. Η σχετική συμβολή της καύσης ήταν αρκετά μικρή (4-5%) με ανοδικό ρυθμό 0,06% ετησίως. Πιο μικρή (1-3%) ήταν και η συμβολή άλλων τεχνολογιών (λιπασματοποίησης, αναερόβιας χώνευσης κ.ά.) δείχνοντας ετήσιο ανοδικό ρυθμό 0,24%. Συνδυάζοντας τα στοιχεία των πινάκων 6 και 7, προκύπτει ότι η συμβολή της υγειονομικής ταφής στο φαινόμενο του θερμοκηπίου έβαινε μειούμενη από 3,44% (3,91X88,05/100) σε 2,80% (3,33X84,08/100) από το 1990 έως το 1999, ενώ η αντίστοιχη συμβολή της καύσης και των άλλων δραστηριοτήτων (εκτός των υγρών αποβλήτων) αυξανόμενη από 0,21% [3,91X(4,28+1,17)/100] σε 0,27% [3,33X(4,85+3,32)/100]· πάντως, ήταν μικρότερη από αυτή της υγειονομικής ταφής κατά μια τάξη μεγέθους.

[1] Δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης αέριας ή αεροσωματιδιακής ένωσης (αερίου θερμοκηπίου) είναι το μέτρο της σχετικής, άμεσης ή έμμεσης, επίδρασης της ένωσης στις μέσες παγκόσμιες μεταβολές ιδιοτήτων ακτινοβολίας, συνεπεία ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Ως αέριο αναφοράς επιλέγεται το CO_2 [19].

Πίνακας 6: Εκπομπές (αφαιρέσεις) των αερίων θερμοκηπίου (CO_2, CH_4 και N_2O) ανά τομέα δραστηριοτήτων στην ΕΕ-15 για τα έτη 1990 και 1999 και συμβολή του τομέα αποβλήτων στο φαινόμενο θερμοκηπίου.

Table 6: Emissions (removals) of greenhouse gases (CO_2, CH_4 and N_2O) per activity sector in the EU-15 for the years 1990 and 1999 and contribution of waste sector in the greenhouse effect.

Τομέας/Sector	Έτος/Year					
	1990			1999		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
Εκπομπές/Emissions, Gg						
Ενέργεια/Energy	3.159.538	4.832	154	3.113.743	3.337	186
Βιομηχανικές διεργασίες/Industrial processes	149.000	22	356	142.214	20	155
Χρήση διαλυτών και άλλων προϊόντων/Use of solvents and other products	5.997		11	5.614		11
Γεωργία/Agriculture	3.215	9.077	715	2.016	8.431	703
Αλλαγή χρήσεων γης και δασοκομία/Changes in land use and forestry	(-199.850)	122	19	(-200.984)	105	18
Απόβλητα/Waste	5.544	6.901	14	4.388	5.549	15
Άλλα/Other	2.076	2	4	2.544	2	4
Σύνολο/Total	3.125.520	20.955	1.272	3.069.536	17.445	1.092
Συμβολή τομέα αποβλήτων/Contribution of waste sector, %	0,18	32,93	1,10	0,14	31,81	1,37
Δυναμικό συμβολής εκπομπών στο φαινόμενο θερμοκηπίου/Emissions potential contributing to the greenhouse effect						
Απόβλητα/Waste	5.544	144.921	4.340	4.388	116.529	4.650
Συμβολή στον τομέα αποβλήτων/Contribution to waste sector, %	3,58	93,62	2,80	3,49	92,80	3,70
Σύνολο όλων των τομέων/Total of all sectors	3.125.520	440.055	394.320	3.069.536	366.345	338.520
Συνολική συμβολή/Total contribution, %	78,93	11,11	9,96	81,33	9,71	8,97
Δυναμικό συνολικών εκπομπών/Potential of total emissions	3.959.895 (100,00%)			3.774.401 (100,00%)		
Συμβολή τομέα αποβλήτων/Contribution of waste sector	154.805 (3,91%)			125.567 (3,33%)		

Πίνακας 7: Εκπομπές CO_2, CH_4 και N_2O και συμβολή στο φαινόμενο θερμοκηπίου ανά επί μέρους δραστηριότητα του τομέα αποβλήτων στην ΕΕ-15 για τα έτη 1990 και 1999.

Table 7: Emissions of CO_2, CH_4 and N_2O and contribution to the greenhouse effect per individual activity of waste sector in EU-15 for years 1990 and 1999.

Δραστηριότητα/ Activity	Έτος/Year					
	1990			1999		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
	Gg					
YT/LF	263	6.478	0	53	5.025	0
YA/WW	0	302	12	0	286	12
KA/IN	5.170	40	2	4.151	48	3
Άλλες/Others	111	80	0	184	191	0
Σύνολο/Total	5.544	6.901	14	4.388	5.549	15
Συμβολή YT/ Contribution of LF, %	4,74	93,87	0	1,21	90,56	0
Δυναμικό και συμβολή (%) στο φαινόμενο θερμοκηπίου/Potential and contribution (%) to the greenhouse effect						
YT/LF	136.301 (88,05)			105.578 (84,08)		
YA/WW	10.062 (6,50)			9.726 (7,75)		
KA/IN	6.630 (4,28)			6.089 (4,85)		
Άλλες/Others	1.791 (1,17)			4.195 (3.32)		
Σύνολο/Total	154.805 (100,00)			125.567 (100,00)		

Η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου προβλέπεται να φθάσει στο 60% από το 1990 έως το 2010, κυρίως λόγω εφαρμογής της οδηγίας για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων [21]. Παράλληλα, το CH_4 αποτελεί αέριο καύσιμο με ενέργεια που πρέπει να ανακτάται. Η τυπική θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου που παράγεται από αναερόβια χώνευση ανέρχεται σε 17 έως 25 MJ/m^3 (65% CH_4 και 35% CO_2). Η εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων με παράλληλη μετατροπή του CH_4 σε αντίστοιχου όγκου CO_2 οδηγεί σε ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων θερμοκηπίου.

4.2. Επεξεργασία βιοδιασπάσιμων αποβλήτων

Προκαταρκτικές εκτιμήσεις έχουν δείξει ότι, η συμβολή της βιολογικής επεξεργασίας βιοδιασπάσιμων αποβλήτων σε αέρια θερμοκηπίου ανέρχεται σε ισοδύναμα 30 και 90 kg CO_2/1000 kg επεξεργασμένων αποβλήτων, στις περιπτώσεις της λιπασματοποίησης και της αναερόβιας χώνευσης, αντίστοιχα. Το 35% (37-60% για ελληνικές πόλεις [23]) των αστικών στερεών αποβλήτων είναι βιοδιασπάσιμο υλικό και, ως εκ τούτου, θα ήταν δυνατή η μείωση ετησίως στην ΕΕ-15 εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της τάξης των 2 Gg σε ισοδύναμο CO_2 στην περίπτωση λιπασματοποίησης και 6 Gg στην περίπτωση αναερόβιας χώνευσης [22].

4.3. Καύση

Η καύση των αποβλήτων συνεισφέρει σε εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα (αέριων ενώσεων, τέφρας, σκόνης και αιθάλης), υγρά απόβλητα, υπολείμματα και οσμές. Στον κλίβανο καύσης, τα μέταλλα και οι ενώσεις τους μπορεί να εξαχνωθούν και έπειτα να συμπυκνωθούν σε μικροσκοπικά αεροσωματίδια. Η ενδεχόμενη περιεκτικότητα των αποβλήτων σε ενώσεις Cl, F, S, N, και άλλων στοιχείων συμβάλλει στην παραγωγή τοξικών ή διαβρωτικών αερίων. Από την ατελή καύση των στερεών αποβλήτων παράγονται μονοξείδιο του άνθρακα (CO), πτητικές οργανικές ενώσεις (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, διοξίνες και φουράνια), αλλά και καπναιθάλη.

Τα υγρά απόβλητα που παράγονται κατά την καύση των

στερεών αποβλήτων προκύπτουν κυρίως από τον καθαρισμό των καυσαερίων και το σβήσιμο της τέφρας. Τα απόβλητα αυτά ανέρχονται περίπου σε 2,5 m^3 ανά 1.000 kg στερεών αποβλήτων που αποτεφρώνονται και περιέχουν βαρέα μέταλλα και ανόργανα υλικά, ενώ παρουσιάζουν υψηλές τιμές οξύτητας ή αλκαλικότητας και έχουν αυξημένη θερμοκρασία. Η απόρριψή τους επιτρέπεται μετά από επεξεργασία και εφόσον τηρούνται οι οριακές τιμές εκπομπών σύμφωνα με την Οδηγία 2000/76/ΕΚ [24].

Οι διοξίνες και τα φουράνια, που είναι προϊόντα ατελούς καύσης και συναντώνται στα αέρια και υπολείμματα, διασπώνται πλήρως με πυρόλυση και δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν στα καυσαέρια το όριο 0,1 ng/m^3 και στις απορρίψεις λυμάτων καθαρισμού καυσαερίων το όριο 0,3 mg/L [24,25]. Οι επιπτώσεις των ενώσεων αυτών στην ανθρώπινη υγεία περιλαμβάνουν ασθένειες δέρματος και ήπατος, έως και καρκίνο. Δειγματοληψία εδάφους και βλάστησης για τον προσδιορισμό διοξινών και φουρανίων κοντά σε μονάδα καύσης στην περιοχή της Βαρκελώνης που λειτουργεί από το 1975, έδειξε ότι τα επίπεδά τους αυξήθηκαν ελαφρά σε χρονικό διάστημα 12 μηνών, χωρίς ωστόσο οι διαφορές αυτές να φθάσουν το στατιστικό σφάλμα [26]. Επιδημιολογική μελέτη στη Γαλλία σε κατοικημένες περιοχές γύρω από 70 μονάδες καύσης έδειξε πιθανή τάση επικινδυνότητας στους εκτιθέμενους πληθυσμούς, όμως παρόλα αυτά οι ερευνητές αναφέρουν ότι η καύση θα αποτελέσει στο άμεσο μέλλον την κύρια μέθοδο διαχείρισης ΑΣΑ στη χώρα αυτή [27]. Η συνεισφορά στο ατμοσφαιρικό φορτίο ιχνοστοιχείων και ανιόντων (προϊόντων καύσης) στην περιοχή του Albany της Νέας Υόρκης από μονάδα που χρησιμοποιεί καύσιμο παραγόμενο από απορρίμματα (RDF) ήταν αμελητέα [28]. Ενδιαφέρον, επίσης, παρουσιάζουν οι εκπομπές σωματιδίων ή κονιορτού, αερίων οξέων (HCl, HF, SO_2) και βαρέων μετάλλων (Hg, Cd, Pb). Η αποτελεσματικότητα της καύσης περιορίζεται από την εκπομπή CO και οργανικού άνθρακα. Με τις νέες τεχνολογίες καύσης επιτυγχάνεται διάσπαση και εξουδετέρωση των διοξινών και φουρανίων, τήξη των καταλοίπων, στερεοποίηση και εξουδετέρωση της τοξικότητάς τους με δυνατότητα χρησιμοποίησης στον κατασκευαστικό τομέα εν γένει [25]. Τα εκπεμπόμενα σωματίδια, που αποτελούνται κυρίως από τέφρα, μειώνουν την ορατότητα της ατμόσφαιρας και συχνά το κοινό παραπονείται. Επιπλέον, άλλοι τοξικοί ρύποι (βαρέα μέταλλα, διοξίνες, φουράνια) προσροφώνται στα σωματίδια. Ως εκ τούτου η ελαχιστοποίηση της εκπομπής σωματιδίων είναι απαραίτητη.

4.4. Ανακύκλωση

Ως ανακύκλωση ορίζεται η επανεπεξεργασία σε διαδικασία παραγωγής των αποβλήτων συσκευασιών ή άλλων προϊόντων, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τον αρχικό τους σκοπό ή για άλλους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης και της οργανικής ανακύκλωσης, αλλά εξαιρουμένης της ανάκτησης ενέργειας [29]. Τα οφέλη που παράγονται από την ανακύκλωση περιλαμβάνουν την αποφυγή λειτουργικών και άλλων εξόδων που σχετίζονται με τη διάθεση των αποβλήτων (π.χ. διαρροή στραγγισμάτων, εκπομπές στον αέρα), το πιθανό όφελος από την πώληση των ανακυκλωμένων υλικών, αλλά και την εξοικονόμηση φυσικών πόρων και ενέργειας. Περιβαλλοντικές παράμετροι που ενισχύουν τη χρήση της ανακύκλωσης αποτελούν η διατήρηση των περιορισμένων πόρων συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα και αειφορία, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στην παραγωγή, ο περιορισμός της εκπομπής των ρύπων και αποβλήτων που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία και τα οφέλη από την περιβαλλοντική αγωγή του κοινού με τη συμμετοχή του στη διαδικασία της ανακύκλωσης. Η συμβολή της ανακύκλωσης σε διάφορους παραγωγικούς τομείς δίνεται στον πίνακα 8 [17]. Η εξοικονόμηση ενέργειας συνήθως θεωρείται περισσότερο σημαντική από την ανάκτηση υλικών, ενώ τα περιβαλλοντικά οφέλη από την ανακύκλωση διαφορετικών συστατικών των αποβλήτων εξαρτώνται από το υλικό-στόχο της πολιτικής ανακύκλωσης.

Οι εργαζόμενοι στο χειρωνακτικό διαχωρισμό οικιακών απορριμμάτων καθώς και σε μονάδες λιπασματοποίησης αντιμετωπίζουν συμπτώματα, όπως το σύνδρομο τοξικής οργανικής σκόνης και προβλήματα με το γαστροεντερικό σύστημα και τον ερεθισμό δέρματος και οφθαλμών κ.ά. Επί πλέον, έχουν αναφερθεί και σοβαρές ασθένειες πνευμόνων. Κατά τη χειρωνακτική διαλογή αποβλήτων είναι πιθανή η έκθεση του προσωπικού σε μεγάλες ποσότητες βακτηριδίων και ενδοτοξινών μεταφερόμενων μέσω του αέρα [30].

5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η ΕΕ έχει εξετάσει από οικονομική και περιβαλλοντική άποψη την αποδοτικότητα και δυνατότητα εφαρμογής

Πίνακας 8: Συμβολή της ανακύκλωσης στην εξοικονόμηση πόρων και μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον.
Table 8: Contribution of recycling to resource savings and reduction of impact on the environment.

Επίπτωση/ Impact	Υλικό/Material			
	Αλουμίνιο/Aluminum	Χάλυβας/Steel	Χαρτί/Paper	Γυαλί/Glass
	Μείωση/Reduction, %			
Χρήση ενέργειας/Energy use	90-97	47-74	23-74	4-32
Ατμοσφαιρική ρύπανση/Atmospheric pollution	95	85	74	20
Ρύπανση υδάτων/Water pollution	97	76	-	35
Απόβλητα ορυχείων-λατομείων/Mining wastes	-	74	-	80
Χρήση νερού/Water use	-	40	58	50

ορισμένων μέτρων με χρήση κατάλληλων τεχνολογιών για τη μείωση των εκπομπών από ΧΥΤΑ [20]. Στον πίνακα 9 δίνονται τιμές κόστους σε όρους μάζας δυνητικής μείωσης των εκπομπών CH_4 με εφαρμογή των μέτρων αυτών, ώστε να είναι δυνατή μια πρώτη εκτίμηση του οικονομικότερου από περιβαλλοντική άποψη συνδυασμού τεχνολογιών κατά περίπτωση.

Μελέτη της ΕΕ εξέτασε τις διάφορες εναλλακτικές τεχνολογίες ΔΣΑ (ανακύκλωση, λιπασματοποίηση, αναερόβια χώνευση, μηχανική-βιολογική επεξεργασία και σταθεροποίηση, υγειονομική ταφή και καύση) με στόχο τον προσδιορισμό της καθαρής συμβολής τους σε αέρια θερμοκηπίου [22]. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, με διαλογή στην πηγή των ΑΣΑ ακολουθούμενη από ανακύκλωση (χαρτί, μέταλλα, υφάσματα και πλαστικά) και λιπασματοποίηση ή αναερόβια χώνευση (βιοδιασπάσιμο μέρος), προκύπτει η χαμηλότερη καθαρή εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες για την επεξεργασία των ΑΣΑ εν συνόλω. Συγκριτικά με την υγειονομική ταφή ανεπεξέργαστων στερεών αποβλήτων, η λιπασματοποίηση ή αναερόβια χώνευση του βιοδιασπάσιμου μέρους και η ανακύκλωση του χαρτιού παράγουν τη συνολικά μεγαλύτερη μείωση στην καθαρή εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, και μέγιστη συνεισφορά στο αποτέλεσμα αυτό έχει η αποφυγή εκπομπών από τους ΧΥΤΑ, επειδή προηγήθηκε ανακύκλωση του βιοδιασπάσιμου μέρους των ΑΣΑ. Η εφαρμογή ανακύκλωσης, για τα βιοδιασπάσιμα στερεά απόβλητα και το χαρτί, αντί της υγειονομικής ταφής στους ΧΥΤΑ που λειτουργούν με ευρωπαϊκό μέσον όρο προδιαγραφών, θα μείωνε την καθαρή εκπομπή αερίων θερμοκηπίου κατά 260 έως 470 kg ισοδυνάμου CO_2/1000 kg ΑΣΑ. Επομένως, η ετήσια καθαρή μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου θα μπορούσε να είναι άνω των 100 Gg σε ισοδύναμο CO_2.

Στην προαναφερόμενη μελέτη εκτιμήθηκαν επίσης τέσσερα εναλλακτικά σενάρια ΔΣΑ κατά το έτος 2020 και συγκρίθηκαν οι επιπτώσεις σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου με αυτές του έτους 2000 [22]. Με την προϋπόθεση ότι θα πραγματοποιηθεί ο στόχος που θέτει η Οδηγία 1999/31/EC [11] για μείωση της υγειονομικής ταφής ανεπεξέργαστων βιοδιασπάσιμων αστικών αποβλήτων το έτος 2016 στο 35% των επιπέδων του 1995, προεκτιμήθηκε η συνολική μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μεταξύ των ετών 2000 και 2020 από τη θετική εκπομπή 50 στην αρνητική εκπομπή 200 kg ισοδυνάμου CO_2/1000 kg ΑΣΑ περίπου. Σε περίπτωση καθυστέρησης της επίτευξης του στόχου της ΕΕ-15 έως το 2020, η αρνητική εκπομπή θα γίνει σε 140 kg ισοδυνάμου CO_2/1000 kg ΑΣΑ. Πρόσθετη ετήσια μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου περίπου κατά 490 kg ισοδυνάμου CO_2/1000 kg ΑΣΑ θα μπορούσε να επιτευχθεί με ανακύκλωση, καύση με ανάκτηση ενέργειας και μηχανική-βιολογική επεξεργασία. Εναλλακτικά, χωρίς καύση και μέγιστη βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων, προβλέπεται συνολική μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 440 kg ισοδυνάμου CO_2/1.000 kg ΑΣΑ.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατόπιν επεξεργασίας και συναξιολόγησης διαθέσιμων στοιχείων από ευρωπαϊκές χώρες και υπηρεσίες της ΕΕ, καθώς και άλλων πηγών, συμπεραίνεται ότι για την ελαχιστοποίηση των τοπικών και παγκόσμιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων των τεχνολογιών ΔΣΑ απαιτούνται:

- Μείωση των αέριων και υγρών εκπομπών κυρίως από ΧΥΤΑ και περιορισμός της έκτασης των χώρων.
- Προεπεξεργασία των στερεών αποβλήτων πριν από την τελική τους διάθεση σε ΧΥΤΑ, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην Οδηγία 1999/31/EC.
- Εφαρμογή της προτεινόμενης στρατηγικής της ΕΕ για ολοκληρωμένη ΔΣΑ με επιλογή συνδυασμού τεχνολογιών, σκοπεύοντας σε ελαχιστοποίηση των εκπομπών και του συνολικού κόστους διαχείρισης.

Εάν η ολοκληρωμένη ΔΣΑ (πλέον της προβλεπόμενης διαλογής στην πηγή για ανακύκλωση, λιπασματοποίηση και αναερόβια χώνευση των διαχωριζόμενων αποβλήτων) περιε-

Πίνακας 9: Κόστος ανά μάζα δυνητικής μείωσης CH_4 και σκοπιμότητα μέτρων για μείωση εκπομπών από ΧΥΤΑ.
Table 9: Cost per CH_4 mass of potential reduction and scope of measures to reduce landfill emissions.

Μέτρο μείωσης/ Mitigation measure	Έτος/Year		
	2000	2010	2020
	Κόστος/Cost, € ανά 1000 kg CH_4/€ per 1000 kg CH_4		
Βελτιωμένη ανάκτηση βιοαερίου με:/Improved gas recovery by:		2230	3683
- Άμεση χρήση βιοαερίου/Direct use of landfill gas	-76		
- Παραγωγή ενεργείας/Power generation	44		
- Καύση σε πυρσό/Flaring	23		
Βελτιωμένη κάλυψη /Improved capping		833	1937
Μείωση βιοδιασπάσιμων υλών αποβλήτων πριν από ΥΤ με:/ Reduce biodegradable waste before LF by:		1942	1336
- Ανακύκλωση χαρτιού/Paper recycling	-2208		
- Λιπασματοποίηση/Composting (turned windrow)	1033		
- Καύση/Incineration	1423		
- Λιπασματοποίηση σε σήραγγα)/Tunnel composting	1794		
- Αναερόβια χώνευση/Anaerobic digestion	1858		

λάμβανε ανακύκλωση, καύση με ανάκτηση ενέργειας και μηχανική-βιολογική επεξεργασία πριν από την τελική διάθεση σε ΧΥΤΑ, θα επιτυγχανόταν η μεγαλύτερη μείωση σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους διαχείρισης. Αυτό θα οδηγούσε σε επίπεδα ανακύκλωσης (συμπεριλαμβανομένης και της λιπασματοποίησης) 50-55%, με ταυτόχρονη πτώση της υγειονομικής ταφής σε επίπεδα της τάξης του 25%, περίπου συγκρίσιμα με αυτά της καύσης με ανάκτηση ενέργειας 20-25% για τα ΑΣΑ.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. European Commission, "Towards Sustainability," **Official Journal of European Communities**, 1993, C 138, pp. 5-98.4.

2. Ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, "Resolution on the Communication from the Commission on the Review of the Community Strategy for Waste Management and the Draft Council Resolution on Waste Policy (COM(96)0399-C4-0453/96)," **Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων**, 1996, C 362, pp. 241.

3. Παναγιωτακόπουλος, Δ. Χ. **"Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων,"** εκδόσεις ΖΥΓΟΣ, Θεσσαλονίκη, 2002.

4. Απόφαση 2179/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, "Περί Αναθεωρήσεως του Προγράμματος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας Σχετικά με την Πολιτική και τη δράση για το Περιβάλλον και τη Βιώσιμη Ανάπτυξη «Στόχος η Αειφορία»," **Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων**, 1998, L 275, pp.1-13..

5. Ψήφισμα του Συμβουλίου, "Για την Κοινοτική Στρατηγική Διαχείρισης Αποβλήτων," **Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων**, 1997, C 76, pp. 1-4.

6. http://wastebase.eionet.eu.int.

7. European Commission, Eurostat, **"Environment Statistics Pocketbook/Data 1980-1999,"** 2001 edition, Office of Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 2001.

8. European Environmental Agency, **"Environment in the European Union at the turn of the century,"** Chapter 3.7. Waste Generation and Management, Environmental Assessment Report No. 2, http://reports.eea.eu.int.

9. European Environment Agency, **"Waste Annual Topic Update 1998,"** Topic Report No. 6, Copenhagen, 1999.

10. ΥΠΕΧΩΔΕ, **"Χρηματοδοτήσεις έργων και δραστηριοτήτων διαχείρισης αποβλήτων 1994-1999),"** Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού, 2000.

11. Οδηγία 1999/31/ΕΟ του Συμβουλίου, "Περί Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων," **Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων**, 1999, L 182, pp. 1-19 (Εθνική συμμόρφωση Κ.Υ.Α. Αριθμ. Η.Π. 29407/3508/2002, ΦΕΚ 1572/Β).

12. European Environment Agency, **"Europe's Environment: The Third Assessment,"** Environmental Assessment Report No. 10, Copenhagen, 2003.

13. Dolk, H., Vrijheid, M., Armstrong, B., Abramsky, L., Bianchi, F., Garne, E., Nelen, V., Robert, E., Scott, J. E. S., Stone, D., Tenconi, R., "Risk of Congenital Anomalies Near Hazardous-Waste Landfill Sites in Europe: the EUROHAZCON study," **The Lancet**, 1998, vol. **352**, pp. 423-427.

14. Vrijheid, M., Dolk, H., Armstrong, B., Abramsky, L., Bianchi, F., Fazarinc, I., Garne, E., Ide, R., Nelen, V., Robert, E., Scott, J.E.S., Stone, D., Tenconi, R. "Chromosomal Congenital Anomalies and Residence Near Hazardous Waste Landfill Sites," **The Lancet**, 2002, vol. **359**, pp. 320-322.

15. Environmental Protection Agency, Ireland, **"Landfills Manulas, Landfill Site Design,"** Wexford, Ireland, 2000.

16. Kjeldsen, P. and Christophersen, M., "Composition of Leachate from Old Landfills in Denmark," **Waste Management & Research**, 2001, vol. 19, pp. 249-256.

17. Daskalopoulos, E., Badr, O., Probert, S. D., "Economic Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste," **Applied Energy**, 1997, vol. **58**, 4, pp. 209-255.

18. El-Fadel, M., Findikakis, A., Leckie, J. O., "Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling," **Journal of Environmental Management**, 1997, vol. **50**, pp. 1-25.

19. U.S. Environmental Protection Agency, **"Greenhouse Gas and Global Warming Potential Values. Excerpt from the Inventory of U.S. Greenhouse Emissions and Sinks: 1990-2000"** U.S. Greenhouse Gas Inventory Program, Office of Atmospheric Programs, EPA 430-R-02-003, April 2002, U.S.A.

20. European Union–DGXI,. **"Options to Reduce Methane Emissions (Final Report),"** Restricted – Commercial, AEAT – 3773, Issue 3, Nov. 1998. <www.epa.gov/globalwarming/publications/emissions>

21. Gugele, B., Strobel, B., Taylor, P., "Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe – Are the EU and the Candidate Countries on Track to Achieve the Kyoto Protocol Targets?," European Topic Centre on Air and Climate Change, European Environmental Agency, **Environmental Issue Report No. 33**, Copenhagen 2002.

22. Commission of the European Communities, **"Third Communication from the European Community Under the UN Framework Convention on Climate Change"**, Commission staff working paper, 30 Nov. 2001, SEC (2001) 2053, Brussels, 20.12.2001.

23. Koufodimos, G., Samaras, Z., "Waste Management Options in Southern Europe Using Field and Experimental Data," **Waste Management**, 2002, vol. **22**, pp. 47-59.

24. Οδηγία 2000/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, "Για την Αποτέφρωση των Αποβλήτων," **Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων**, 2000, L 332, pp. 91-111.

25. European Environment Agency, **"Biodegradable Municipal Waste Management in Europe. Part 3:Technology and Market Issues,"** Topic Report No. 15/2001, Copenhagen, 2002.

26. Domingo, J. L., Schuhmacher, M., Muller, L., Rivera, J., Granero, S., Llobet, J. M., "Evaluating the Environmental Impact of an Old Municipal Waste Incinerator: PCDD/F Levels in Soil and Vegetation Samples," **Journal of Hazardous Materials**, 2000, vol. A76, pp. 1-12.

27. Cordier, S., Chevrier, C., Robert-Gnansia, E., Lorente, C., Brula, P., Hours, M. "Risk of Congenital Anomalies in the Vicinity of Municipal Solid Waste Incinerators," **Occupational and Environmental Medicine**, 2004, vol. **61**, pp. 8-15.

28. Koblantz, S. M., Teiger, D. G., Kitto, M. E., Dutkiewicz, V. A., Matuszek, J. M., Husain, L., "Impact Assessment of Emissions from a Municipal Waste Incinerator," **Environmental Monitoring and Assessment**, 1997, vol. **45**, pp. 21-42.

29. Οδηγία 94/62/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, "Για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας," **Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων**, 1994, L 365, pp. 10-23 (Εθνική συμμόρφωση Ν. 2939/2001, ΦΕΚ 179/Α).

30. Poulsen, O. M., Breum, N. O., Ebbehoj, N., Hansen, A. M., Ivens, U. I., van Lelieveld, D., Malmros, P., Matthiasen, L., Nielsen, B. H., Moller, Nielsen, E., Schibye, B., Skov, T., Stenbaek, E., Wilkins, K. C., "Sorting and Recycling of Domestic Waste. Review of Occupational Health Problems and their Possible Causes," **The Science of the Total Environment**, 1995, vol. **168**, pp. 33-56.

Ιωάννης Δ. Μαναριώτης

Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωροταξίας, Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας, 261 10 Πάτρα.

Παναγιώτης Χ. Γιαννόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 265 00 Πάτρα.

Extended summary

Environmental Impact of Solid Waste Management Methodologies and Perspectives

I. D. MANARIOTIS
Civil Engineer, PhD, Region of Western Greece

P. C. YANNOPOULOS
Assistant Professor University of Patras

Abstract
The environmental impact from the implementation of the basic methodologies for municipal solid waste management (SWM), according to the European Union (EU) policy for integrated SWM, are analyzed. Landfilling has a local environmental impact and contributes to global effects, due to the emission of greenhouse gases, 10 times more than do recycling (including composting) and incineration, which cause mostly local impacts. Based on EU data and assuming achievement of the EU targets up to 2020, the levels of recycling (including composting), incineration with energy recovery and landfilling should approach 50-55%, 20-25% and 25%, respectively. During the same period, local and global environmental impact and total SWM costs could be minimized if the integrated SWM, in addition to sorting at the source for recycling, composting and anaerobic digestion, included recycling, incineration with energy recovery and mechanical-biological treatment before lanfilling. The implications have a high relevance for public and private entities dealing with SWM.

1. INTRODUCTION

The realistic ultimate strategy for integrated solid waste management SWM[2] in the European Union (EU) is fully harmonized with the principle of sustainability [1,4]. This strategy is based on the hierarchical use of the actions of prevention, reuse, recycling, recovery of materials and energy, and safe final disposal, optimized through life-cycle analyses [2,5]. The basic methodologies involved are recovery of materials (sorting, recycling, composting), energy recovery (incineration with thermal and electric energy recovery) and final disposal in landfills (landfilling) [3]. Optimization in compliance with environmental policy requires combined implementation and suitability of the above methodologies to actual conditions. The impact of the application of these methodologies is examined and the perspectives of the EU strategy are considered.

[2] Abbreviations are defined under "Συμβολισμοί/Abbreviations" of the Greek text.

Submitted: March 5, 2004 Accepted: March 16, 2005

2. PROGRESS OF SOLID WASTE MAMANAGEMENT

Based on data related to municipal solid waste (MSW) quantities and management for every EU member-state [6,7], table 1 and figure 1 were prepared. Values in the final table column were computed in order to get a total year percentage equal to 100. It is noted that after 28.8.2003 EU available statistical data incorporate composting within recycling; however, data available before this date show that in the EU-15 composting was limited (3-6%) on average and the EU is taking measures to improve this situation in the near future. Taking into consideration all available data, it is concluded that recycling including composting showed considerable progress in Austria, Belgium, Germany, Denmark, France, Italy, Netherlands, Sweden and Norway, as well as EU-15 and EU-25, while there was a simultaneous rapid decline in landfilling, primarily because of problems arising from landfills [8,9]. Given that recycling (including composting) constitutes the most environment friendly action of SWM, and also complies with sustainability, application in the entire EU should in the near future reach a level around 50-55%. This would establish incineration and landfilling levels of 20-25% and 25%.

Incineration is used by 13 member-states of EU-15 (96% of the EU population), excluding Greece and Ireland [8]. Other EU-15 Mediterranean countries, France, Italy and Spain, recover 0.7, 3.8 and 6.6 TJ/10^6 kg MSW, respectively, which would indicate that Greece could also recover comparable energy levels. EU achievements in the SWN sector are reflected by the total wastewater expenditures (WSE) given in figures 2a and 2b [7]. High levels of WSE representing relatively high percentages of environmental protection expenditures (EPE) reflect high performance levels in the solid waste sector. An overview of investments (not including operational expenditures) per category of works and activities in the MSW sector during the period 1994-1999 is shown for Greece in table 2 [10]. The yearly

average investment yields 3.77 €/capita which is 12.4% of the total expenditures given in figure 2b.

Based on the above data, the national SWM plans of the EU member-states [6] and the landfill Directive [11], a projection of the EU MSW management situation after 2020 is given in table 3 and compared to that for 2000.

3. ENVIRONMENTAL IMPACTS

3.1. Landfilling

The environmental pressures from landfilling are local, regional or global [8]. The most important of these include surface and groundwater pollution due to toxic substances and nutrients leaching from the waste, ecotoxicity and eutrophication problems [9]; odor, dust and noise problems in neighboring areas, up to several km from landfill sites (LS), during landfill operation; greenhouse effects mainly due to methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2) emissions; land use, including loss of natural areas; health problems for people who live near landfill sites because of exposure to chemical compounds released into the air, water and soil [12,13,14]; and increased public sector (PS) expenditures for monitoring and clean-up operations due to permanent loss of resources and the need for pollution control. The extent of these problems varies according to the type of solid waste landfilled, the construction of the landfill and the existing hydrogeological conditions [12]. It has been shown that leachate may be a risk for groundwater pollution for up to 600 years [8].

Quality characteristics for leachate are given in table 4 [15,16], and the content of major gases emitted from LS is given in table 5 [18]. Besides CH_4 and CO_2, air is polluted with other gases and dust where toxic chemicals can be adsorbed, presenting risks for severe health consequences. Observations in the neighborhood of hazardous solid waste landfills have shown health effects (mainly congenital anomalies) up to 6 km from the sites [12,13,14]. The presence of dioxins and furans in landfill leachate has also been reported without originating these toxic chemicals [17]. People living near landfills often complain of odors; these are associated with traces from anaerobic digestion by-products and can be reduced by effective and frequent waste covering.

Emissions of CH_4 from landfills significantly contribute to the greenhouse effect. In 1994, CH_4 levels were 1720 (standard conditions) ppb compared to 700 ppb during the pre-industrial period. After 1993, the rate of CH_4 emissions was reduced to 8 ppb/year, and it has been estimated that during the 2008-2012 period the global emission levels should be reduced to 8% from the 1990 levels [20], which is an EU target of high priority [21]. This reduction is rather lower than those required for CO_2 and nitrous oxide (N_2O) [9,22]. The greenhouse effect contribution of activities per sector in the EU for the years 1990 and 1999 is given in table 6 [22]. The global warming potential[3] of each greenhouse gas produced, i.e. a measure of the relative average gas global radiative forcing effect, is estimated by using equivalence factors in regard to CO_2: 1 for CO_2, 21 for CH_4, 310 for N_2O [19,20]. Based on table 6, the total CH_4 emissions contributed about 10% in 1990-1999, showing a reduction of 20% for the waste sector, reaching 26% in 2000 [21]. However, the relative contribution of CH_4 from waste in 1990-1999 was about 93%, in proportion to the total greenhouse gas emissions from waste, while as shown in table 7 the contribution of landfilling was greater than 90% compared to other actions. The data of table 6 show that the relative contribution of landfilling in the greenhouse effect was more than 84% in 1990-1999, exceeding by an order of magnitude the contribution of any other methodology (4-5% for incineration and 1-3% for all other methodologies). The total contribution of the waste sector to the greenhouse effect decreased from 3.91% to 3.33% between 1990 and 1999. Considering the data in tables 6 and 7, the contribution of landfilling to greenhouse effects decreased from 3.44% to 2.80% from 1990 to 1999, in contrast to the contribution of incineration and other actions (apart from wastewater), which increased from 0.21% to 0.27% however, the latter was one order of magnitude less than the landfilling contribution. It is estimated that the reduction of greenhouse gas emissions will reach 60% from 1990 to 2010, mainly because of the implementation of the landfill Directive [21]. Furthermore, CH_4 is a fuel [the heat of combustion of biogas (65% for CH_4 and 35% for CO_2) is 17 to 25 MJ per m^3] and its energy should be recovered.

3.2. Biodegradable waste treatment

Since about 35% (37-60% for Greek cities [23]) of MSW is putrescible savings in greenhouse gas emissions of 2 Gg equivalent CO_2 may be realized annually in the EU in the case of composting and 6 Gg in the case of anaerobic digestion [22].

3.3. Incineration

The incineration of solid waste generates pollutant emissions (gases, ash, dust and smoke), wastewater, slag and odors. The possible presence in the waste of Cl, F, S, N and other elements could contribute to toxic or corrosive gases. The wastewater that originates from the treatment of exhaust gases and quenching of incinerator ash contains heavy metals and inorganic materials with increased acidity

[3] The global warming potential of greenhouse gases or aerosols is the measure of their relative, direct or indirect, radiative forcing effect to average global changes of radiation characteristics due to anthropogenic activities. CO_2 is selected as the reference gas [19].

or alkalinity and temperature; its disposal is permitted only after pertinent treatment and compliance with applicable regulations [24]. Dioxins and furans are products of incomplete combustion, and may be decomposed completely by pyrolysis; their limiting value permitted in the exhaust gas is 0.1 ng/m^3 and in the wastewater discharged from the cleaning of exhaust gases 0.3 mg/L [24,25]. Their impact on human health includes skin and liver diseases, even cancer. There are a number of risk assessment studies of incineration emissions to nearby residents, indicating probable risk trends of exposed populations [26,27,28]. Of considerable importance are the particulate emissions, acid gases (HCl, HF, SO_2) and heavy metals (Hg, Cd, Pb). Novel incineration technologies completely decompose dioxins and furans, neutralize toxicity and stabilize the residue, which should be used in the construction sector [25]. Released aerosols mainly consist of ash absorbing other toxic pollutants; these reduce atmospheric visibility, resulting in public complains, and minimization of aerosol emissions is a must.

3.4. Recycling

Recycling is defined as the reprocessing in a production process of the waste materials for the original purpose or for other purposes, and includes organic recycling but excludes energy recovery [29]. The benefits derived from recycling include the elimination of operational and other costs associated with waste disposal and possible benefits from selling of the recycled material; in addition savings of natural resources and energy are realized. Energy savings are usually considered more important than the recovery of materials. The environmental benefits from the recycling of several components of waste depend on the target material on which the recycling policy is focused (table 8). The workers involved in MSW manual sorting and composting may experience adverse symptoms, such as organic dust toxic syndrome, gastrointestinal system problems, skin and eye irritation, severe pulmonary diseases etc. Manual sorting may also be associated with human exposure to increased levels of bacteria and endotoxins [30].

4. COMPARISON OF METHODOLOGIES PERSPECTIVES

The EU has examined the efficiency and applicability of measures from an economic and environmental point of view for the reduction of landfill emissions [20]. Costs per CH_4 mass of potential reduction due to use of particular methodologies are given in table 9, so that they may be used in optimization studies. The EU has evaluated the SWM alternatives (recycling, composting, anaerobic digestion, mechanical-biological treatment and stabilization, landfilling and incineration) to determine the clean contribution of greenhouse gases [22]. This study has shown that overall, source segregation of MSW followed by recycling (paper, metals, textiles and plastics) and composting/anaerobic digestion (putrescible wastes) gives the lowest net flux of greenhouse gases, compared with other options for the treatment of bulk MSW. The largest factor contributing to this is the avoidance of emissions from landfills as a result of recycling. Achievement of the landfill Directive target to reduce landfilling of untreated wastes in 2020 to 35% of 1995 levels is expected to result in an overall reduction in greenhouse gas flux between the years 2000 and 2020 from a positive value of 50 to a negative value of almost 140 kg eq. CO_2/1000 kg MSW. Further, yearly reductions in greenhouse gas fluxes of about 490 kg eq. CO_2/1000 kg MSW could be achieved through investment in recycling, incineration with energy recovery and mechanical-biological treatment. Alternatively, stopping of incineration and maximum use of biological treatment would achieve an overall reduction of 440 kg eq. CO_2/1000 kg MSW.

5. CONCLUSIONS

To eliminate local and global environmental impact from the application of SWM methodologies the following measures are required:

- Reduction of landfill emissions and areas for landfilling.
- Pretreatment of MSW before landfilling, following the landfill Directive.
- Implementation of the proposed EU strategy for an integrated SWM, by combining methodologies to minimize emissions and total cost.

If the integrated SWM (in addition to sorting, recycling, composting and anaerobic digestion at the source) included incineration with energy recovery and mechanical-biological treatment before landfilling, the highest reduction in greenhouse gases would be achieved with the least cost. This would lead to application levels around 50-55%, 25% and 20-25%, for recycling (including composting), landfilling and incineration with energy recovery, respectively.

Ioannis D. Manariotis
Civil Engineer, PhD, Directory of Environment and Planning, Region of Western Greece, 261 10 Patras.
Panayotis C. Yannopoulos
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Patras, 265 00 Patras.