

Τεχνολογίες διάθεσης, επεξεργασίας και αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων

1. Εισαγωγή.

Η φύση δεν παράγει απόβλητα. Όλα τα παραπροϊόντα και τα τελικά προϊόντα των φυσικών διεργασιών χρησιμοποιούνται σ' ένα συνεχή κύκλο σύνθεσης και σταθεροποίησης των οργανικών ενώσεων. Η βιόσφαιρα έχει μία υψηλή ρυθμιστική ικανότητα δίνοντας ένα ευρύ φάσμα ανεκτικότητας για όλα τα φυσικά προϊόντα και τις διεργασίες. Μόνο με την αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και των δραστηριοτήτων του, τα απόβλητα έγιναν ένας σοβαρός κίνδυνος στη σταθερότητα των φυσικών μεταβολικών δραστηριοτήτων. Με τη συνεχή αύξηση των πόλεων και τη συγκέντρωση των πληθυσμών σε αστικές περιοχές, η αναγκαιότητα επίλυσης των προβλημάτων διάθεσης και επεξεργασίας των αστικών απορριμμάτων, γίνεται ολοένα και πιο πιεστική.

Το σύνολο σχεδόν των αστικών απορριμμάτων σήμερα στην Ελλάδα, απορρίπτεται ανεξέλεγκτα σε χωματερές. Ένα μικρό μέρος μόνο των απορριμμάτων, αποτελούμενο από υλικά α' διαλογής που έχουν άμεση εμπορική αξία (εφημερίδες, περιοδικά, γυάλινα μπουκάλια, αλουμινένια κουτιά, μεταλλικά αντικείμενα κ.ά.), ανακυκλώνεται από ρακοσυλλέκτες, τόσο στη πηγή όσο και στους τελικούς χώρους απόθεσης. Η μη ελεγχόμενη αποσύνθεση των απορριμμάτων, στις χωματερές, προσθέτει έναν άλλο αρνητικό παράγοντα στο ήδη βεβαρημένο περιβάλλον. Οι μερικώς αναερόβιες συνθήκες που επικρατούν στις χωματερές, γίνονται η αιτία εκπομπών αερίων ρύπων, όπως CO_2 , NH_3 και CH_4 σε μεγάλες ποσότητες στην ατμόσφαιρα. Το CO_2 και το CH_4 είναι γνωστά ως τα αέρια του θερμοκηπίου, επιπλέον το CH_4 ευθύνεται για τη δημιουργία του οξειδωτικού νέφους στην τροπόσφαιρα, ενώ λόγω του μικρού μοριακού βάρους του, ανέρχεται στη στρατόσφαιρα, συντελώντας

στη καταστροφή του όζοντος. Η αμμονία με τη βροχή κατακρημνίζεται στο έδαφος, εμπλουτίζοντας τα επιφανειακά νερά με αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου. Επίσης, τα μη αέρια προϊόντα των διεργασιών σταθεροποίησης στις χωματερές, όπως τα στραγγίσματα, επιβαρύνουν τα υπόγεια ύδατα με φωσφορικά, νιτρικά και άλλα άλατα βαρέων μετάλλων, τα οποία δηλητηριάζουν τις βασικές πηγές ανεφοδιασμού της ανθρώπινης ζωής. Από την άλλη πλευρά, οι μερικώς αερόβιες συνθήκες που επικρατούν στα επιφανειακά στρώματα απόθεσης των χωματερών, προάγουν αερόβιες εξώθερμες βιοαντιδράσεις που μπορούν να ανεβάσουν τις θερμοκρασίες μέχρι του σημείου ανάφλεξης των απορριμμάτων. Πολλές πυρκαγιές κάθε χρόνο οφείλονται σ' αυτή την αιτία.

2. Τεχνολογίες διαχείρισης αστικών απορριμμάτων.

Τα απορρίμματα δεν μπορούν να εξαφανισθούν, αλλά μετατρέπονται με φυσικές ή με τεχνητές μεθόδους σε άλλη στερεά, υγρή ή αέρια μορφή. Αυτή η τελική τους μορφή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε κατ' ελάχιστον, να μην προξενεί ρύπανση στον αέρα και τα νερά ή το έδαφος, να μπορούν ει δυνατόν, να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό μετά από καθαρισμό, μεταποίηση ή επεξεργασία, σε προϊόντα ανακύκλωσης, χρήσης ή παραγωγής ενέργειας. Υπάρχει ένας αριθμός μεθόδων διάθεσης ή αξιοποίησης των απορριμμάτων, όπως η υγειονομική ταφή, θερμική επεξεργασία με καύση ή πυρόλυση και ο διαχωρισμός των απορριμμάτων με σκοπό την ανάκτηση χρήσιμων υλικών, η κομποστοποίηση ή η αναερόβια χώνευση του οργανικού κλάσματος, καθώς επίσης και παραλλαγές αυτών των μεθόδων. Κάθε μέθοδος διαφέρει ως προς τις επιπτώσεις

που μπορεί να έχει στο περιβάλλον, το κόστος εγκαταστάσεως και λειτουργίας, την ανάκτηση ή εξοικονόμηση ενέργειας, την ανάκτηση χρήσιμων υλικών και την ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων. Η ποσοτική και ποιοτική σύσταση των απορριμμάτων κατά κύριο λόγο, καθώς επίσης και τα περιβαλλοντικά, οικονομικά, χωροταξικά και κοινωνικά περιθώρια ανοχής, καθορίζουν την δόκιμη μέθοδο ή τον συνδυασμό μεθόδων επεξεργασίας. Η σύσταση και η ποσότητα των απορριμμάτων εξαρτώνται από την βιομηχανική ανάπτυξη και το βιοτικό επίπεδο της περιοχής από όπου προέρχονται, στοιχεία τα οποία μεταβάλλονται πολλές φορές γρήγορα και πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη για τις τελικές προτεινόμενες λύσεις. Έτσι, σε διαφορετικές περιοχές υπάρχουν διαφορετικά προβλήματα με διαφορετικές δυνατότητες και προοπτικές και εξ αυτού, πρέπει να αντιμετωπισθούν με διαφορετικό συνδυασμό τεχνολογικών λύσεων και επομένως αντιγραφή ή μηχανιστική μεταφορά λύσεων από ένα μέρος σε άλλο προδικάζει, κατά πάσα πιθανότητα, αποτυχία της εφαρμογής. Παρακάτω περιγράφονται, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, οι κλασικές διακεκριμένες τεχνολογίες διάθεσης και αξιοποίησης των απορριμμάτων, καθώς και οι δυνατοί συνδυασμοί αυτών σαν «πακέτα» ολοκληρωμένων λύσεων (παρακάτω αναφέρονται ως μέθοδοι), που σκοπό έχουν να μεγιστοποιήσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα (κριτήρια επιλογής).

2.1. Διαχωρισμός και ανακύκλωση χρήσιμων υλικών.

Ένα μεγάλο μέρος των ανόργανων συστατικών των απορριμμάτων, όπως γυαλιά, πλαστικά, μέταλλα κλπ, θα μπορούσαν σήμερα να ανακυκλωθούν, η δε μεθοδολογία παραλαβής τους, μπορεί να θεωρηθεί πλέον κλασική και τυποποιημένη. Προγράμματα διαλο-

του
Απόστολου
Βλυσίδα,
Αν. Καθηγητή
Τμ. Χημ. Μηχανικών
Ε.Μ.Π.

Πίνακας 1: Σύνθεση απορριμμάτων Αττικής σε σύγκριση με την αντίστοιχη των ανεπτυγμένων χωρών.

Κλάσμα	Αττική *	Η.Π.Α. **	Καναδάς **	Γερμανία **	Αγγλία **	Γαλλία **	Ιταλία **
Παραγωγή kg/d-άτομο	0.84	2.25	1.01	0.96	0.88	0.74	0.58
Ζυμώσιμα % kg/d-100 άτομα	25.54 21.5	11.25 25.3	7.50 7.6	9.75 9.4	20.25 17.8	14.30 10.6	17.5 10.2
Χαρτί % kg/d-100 άτομα	8.44 7.1	33.0 74.3	52.5 53.0	18.2 17.5	28.5 25.1	22.1 16.4	14.0 8.1
Αδρανή % kg/d-100 άτομα	0.30 0.3	5.25 11.8	3.75 3.8	5.85 17.5	6.75 7.3	5.85 9.6	4.90 10.2
Γυαλί % kg/d-100 άτομα	1.12 0.9	6.75 15.2	3.75 3.8	5.85 5.6	6.75 5.9	5.85 4.3	4.90 2.8
Πλαστικό % kg/d-100 άτομα	3.03 2.5	3.75 8.4	3.75 3.8	4.55 1.9	6.75 2.0	5.20 1.9	2.10 2.0
Μέταλλα % kg/d-100 άτομα	1.65 1.4	6.75 15.2	3.75 3.8	4.55 4.4	6.75 5.9	5.20 3.8	2.10 1.2
Διάφορα % kg/d-100 άτομα	3.20 2.7	8.25 18.6	0.00 0.0	6.50 6.2	2.25 2.0	2.60 1.9	10.5 6.1
Υγρασία % kg/d-100 άτομα	56.7 47.6	25 56.3	25 25.3	35 33.6	25 22.0	35 25.9	30 17.4
Θερμογόνα δύναμη kcal/kg	1320	4700	5200	2020	2350	2350	1680
kg/d-100 άτομα	1108	10575	5252	1939	2068	1739	974

* ΕΣΔΚΝΑ (Εργαστήριο Στερεών Αποβλήτων και Βιοτεχνολογίας - 1987).

** Ζέρβας, Γ. και Χριστόπουλος, Σ. (1986) Τεχνική Διαχείριση Απορριμμάτων, Εκδόσεις ΕΛ.ΚΕ.ΠΑ.

γής στη πηγή, πρέπει να συνοδεύονται με κατάλληλη βιομηχανική πρακτική εκμετάλλευσης των προϊόντων διαλογής και ανακύκλωσης ή αλλιώς, θα καταλήξουν σε προγράμματα διάτλησης οικολογικής συμπεριφοράς και μόνο. Έτσι, σήμερα, ο Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Αττικής, με τα προγράμματα διαλογής στη πηγή, συλλέγει ημερησίως 80 τόνους παλαιόχαρτο, για το οποίο δεν υπάρχει βιομηχανικό ενδιαφέρον, με αποτέλεσμα αυτό να καταλήγει και πάλι στις χωματερές. Η παραλαβή υλικών ανακύκλωσης από τα απορρίμματα θεωρείται σήμερα προϋπόθεση οποιασδήποτε περαιτέρω διάθεσης, επεξεργασίας ή αξιοποίησης των απορριμμάτων.

2.2. Υγειονομική ταφή.

Η υγειονομική ταφή των απορριμμάτων είναι φαινομενικά η πλέον απλή και γ' αυτό, πιο διαδεδομένη μέθοδος διάθεσης των απορριμμάτων. Σύμφωνα με αυτήν, τα απορρίμματα συλλέγονται σε υδατοστεγείς δεξαμενές μεγά-

λου όγκου, συμπιέζονται κατά το δυνατόν και όταν οι δεξαμενές πληρωθούν, επιχωματώνονται κατά το δυνατόν αεροστεγώς. Ακολουθεί ημιαερόβια-αναερόβια χώνευση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων, με ελάττωση του όγκου τους κατά το 1/3 περίπου. Παραπροϊόντα της χώνευσης είναι το βιοαέριο, το οποίο συλλέγεται σε ειδικές προοχεδιασμένες διατάξεις εντός της χωματερής, καθώς επίσης και στραγγίσματα από την εισροή της βροχής εντός της χωματερής.

Το παραγόμενο βιοαέριο, λόγω ανεξέλεγκτων βιοανταδράσεων, είναι φτωχό σε μεθάνιο (45-55%) και πλούσιο σε ενώσεις του θείου και της αμμωνίας. Ο καθαρισμός του είναι πολύ δύσκολος και δαπανηρός ενώ η ενεργειακή αξιοποίησή του είναι χαμηλής απόδοσης, διότι δεν μπορούν, λόγω διαβρωτικότητας, να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με cogenerators.

Επί πλέον, από το συνολικό βιοαέριο που παράγεται, στην καλύτερη περίπτωση, μπορεί να συλλεχθεί μόνο

το 1/3. Έτσι μεγάλες ποσότητες αέριων ρύπων (CH_4 , CO_2 , NH_3 , H_2S , COS κ.ά.), εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Τα στραγγίσματα επίσης περιέχουν σημαντική τοξική ρύπανση και η επεξεργασία τους αποτελεί ένα πρόβλημα.

Ο χρόνος ολοκλήρωσης της χώνευσης εξαρτάται πολύ από την σύσταση των απορριμμάτων καθώς και από την θερμοκρασία και υγρασία του περιβάλλοντος. Έτσι στις ΗΠΑ, όπου το οργανικό περιεχόμενο των απορριμμάτων αποτελείται κυρίως από χαρτί και λίγα «ζυμώσιμα» με μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία (βλέπε πίνακα 1), η μέση διάρκεια εξάντλησης μιάς χωματερής από την έναρξή της, είναι περίπου πέντε χρόνια και το αποκορύφωμα των βιοανταδράσεων, τοποθετείται στα 2.5 χρόνια.

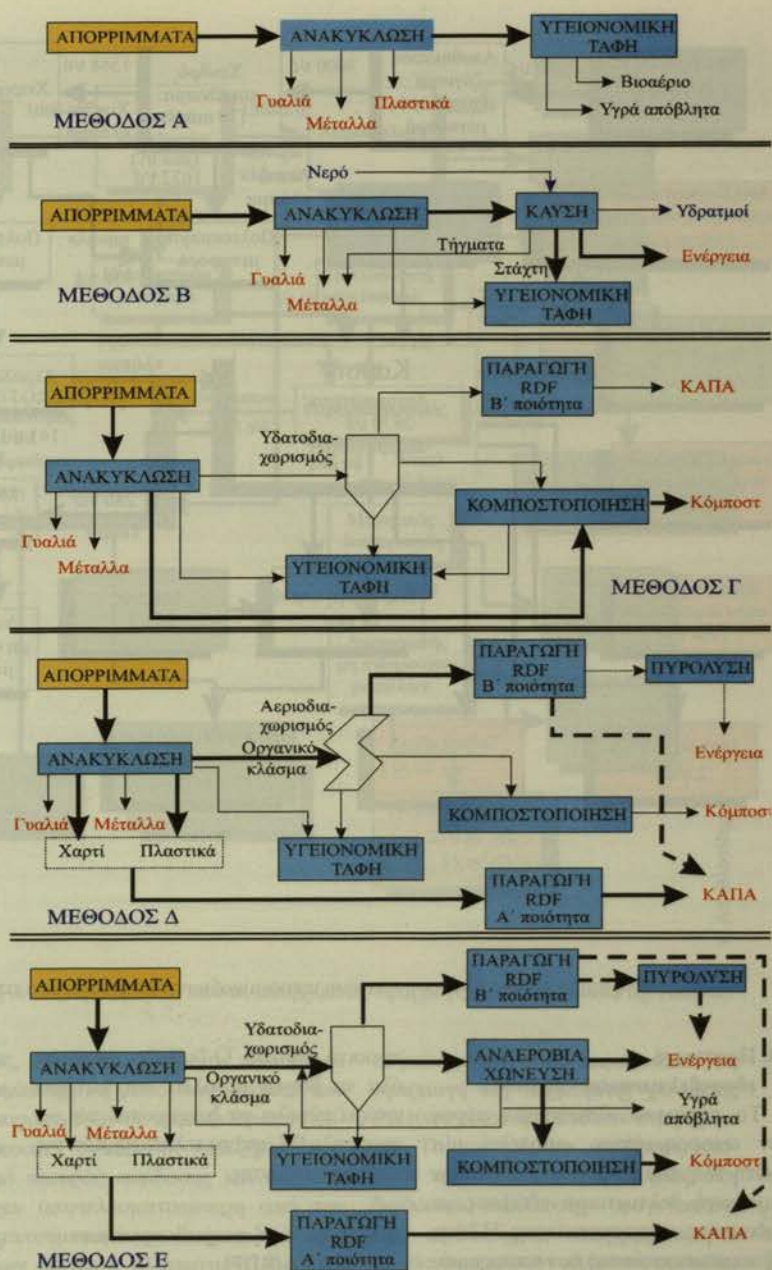
Η υγειονομική ταφή των ελληνικών απορριμμάτων δημιουργεί επί πλέον προβλήματα (από τα προαναφερόμενα) και αυτό οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητά τους σε «ζυμώσιμα» οργανικά και υγρασία, τα οποία σε

συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στη χώρα μας, σταθεροποιούνται σε συντομότερο χρόνο (0.8 με 1.3 χρόνια) και επομένως η παραγωγή του βιοαερίου ολοκληρώνεται πριν προλάβει να ολοκληρωθεί η πλήρωση των δεξαμενών ταφής, εκτός και αν κατασκευάζονται πολύ μικρές χωματερές.

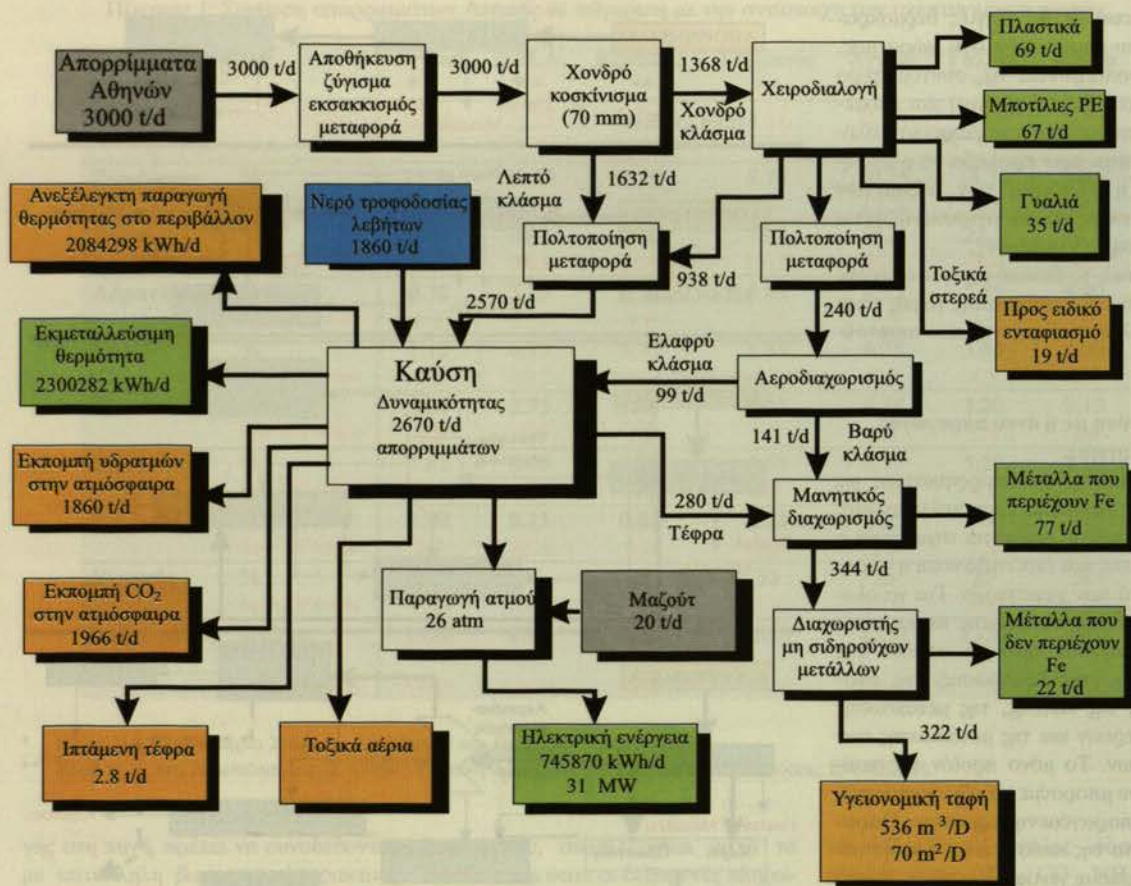
Γενικά, το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου της υγειονομικής ταφής είναι οι μεγάλες εκτάσεις γης που απαιτούνται.

2.3. Καύση με ή άνευ παραγωγής ενέργειας.

Η καύση των απορριμμάτων, ως μέθοδος διάθεσης, είναι πολύ παλαιά. Με την καύση μειώνεται σημαντικά ο όγκος τους και έτσι αυξάνεται η χωρητικότητά των χωματερών. Για να ολοκληρωθεί η αποτέφρωση, τα απορρίμματα περνούν από τα στάδια της ξήρανσης, της εξαέρωσης, της ανάφλεξης, της καύσης, της μετάκαυσης των στερεών και της μετάκαυσης των αερίων. Το μόνο προϊόν της καύσης, που μπορούμε να αξιοποιήσουμε, είναι η παραγόμενη θερμότητα. Παραπροϊόντα της καύσης είναι: (α) η στάχτη, η οποία γενικά θεωρείται τοξικό στερεό απόβλητο, επειδή περιέχει υψηλή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, (β) διοξίνες και φουράνια στα καυσαέρια, λόγω της καύσης των πλαστικών που περιέχουν χλώριο, (γ) ιπτάμενη τέφρα στα καυσαέρια, και (δ) υδρατμός χαμηλής ενθαλπίας από τους πύργους ψύξης, στη περίπτωση που η θερμική ενέργεια αξιοποιείται σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τους λόγους αυτούς, ενώ η μέθοδος της καύσης εφαρμόστηκε στο παρελθόν πολύ στις ανεπτυγμένες χώρες (Γερμανία Αγγλία, ΗΠΑ), σήμερα, για περιβαλλοντικούς λόγους βρίσκεται σε ύφεση. Η εφαρμογή της καύσης των απορριμμάτων στην Ελλάδα, προβλέπεται να έχει επί πλέον προβλήματα, τόσο περιβαλλοντικά, διότι τα πλαστικά περιέχονται σε μεγαλύτερο ποσοστό, όσο και ενεργειακά, διότι τα απορρίμματα περιέχουν σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας από αυτά των αναπτυγμένων χωρών (βλέπε πίνακα 1).



Διάγραμμα 1:
Συνδυασμός τεχνολογιών διάθεσης
- επεξεργασίας - αξιοποίησης
αστικών απορριμμάτων



Διάγραμμα 2: Ανακύκλωση - καύση απορριμμάτων, εφαρμογή στα απορρίμματα της Αθήνας.

2.4. Παραγωγή εδαφοβελτιωτικού - κόμποστ.

Το οργανικό «ζυμώσιμο» μέρος των απορριμμάτων, αποτελεί μία πρώτη ύλη που προσφέρεται για την παραγωγή βελτιωτικού εδάφους με διαδικασίες κομποστοποίησης. Η λύση της κομποστοποίησης των απορριμμάτων ακολουθήθηκε σε πολλές χώρες της Ευρώπης. Σήμερα όμως, εγκαταλείπεται διότι το τελικό προϊόν (κόμποστ) πολλές φορές περιέχει συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα πάνω από τα επιτρεπόμενα διεθνώς όρια. Στο Ε.Μ.Π. έχουν αναπτυχθεί αποτελεσματικές τεχνολογίες συνεπεξεργασίας των απορριμμάτων με ζεολίθους, ορυκτό που είναι άφθονο στο Ελληνικό υπέδαφος, σε οικονομικά

προσιτό επίπεδο. Ο ζεολίθος δεσμεύει όλα τα βαρέα μέταλλα και κατόπιν μπορεί εύκολα να διαχωριστεί και να ανακυκλωθεί από το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης.

2.5. Παραγωγή στερεών καυσίμων (ΚΑΠΑ/RDF).

Η παραγωγή ΚΑΠΑ αποτελεί μία εναλλακτική λύση του διαχωρισμού του χαρτιού από τα πλαστικά, που αντιμετωπίζει πολλά τεχνολογικά, οργανωτικά και οικονομικά προβλήματα. Τα συστατικά αυτά μαζί με τα υράσματα αποτελούν το 90% περίπου του καυσίμου ΚΑΠΑ. Η απόδοση σε ΚΑΠΑ, καθώς και τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά, εξαρτώνται από την αρχική σύσταση των απορριμμάτων,

καθώς επίσης και από τις διεργασίες μηχανικού διαχωρισμού που υφίστανται τα απορρίμματα. Έτσι μπορεί να παραληφθεί ΚΑΠΑ που δεν περιέχει «ζυμώσιμα» οργανικά, το οποίο όμως αποτελεί μικρό ποσοστό του συνόλου των απορριμμάτων, αλλά περιέχει υψηλή θερμογόνο δύναμη (4500 kcal/kg) και χαμηλή υγρασία ή να παραληφθεί ΚΑΠΑ που περιέχει «ζυμώσιμα» οργανικά και επομένως το ποσοστό του να είναι αρκετά αυξημένο, αλλά με παράλληλη ελάττωση της περιεχόμενης θερμογόνου δύναμής του (2000 kcal/kg). Η αποδοτικότητα της παραγωγής ΚΑΠΑ από τα απορρίμματα εξαρτάται κατά μέγιστο από την αγορά του τελικού προϊόντος.

αυτή παραλαμβάνονται: α) ένα αέριο μίγμα, που περιέχει CH_4 , H_2 , CO_2 , CO με θερμογόνου περιεχόμενο περίπου 1800 Kcal/m^3 , β) ένα υγρό μίγμα νερού, λαδιού και πίσσας, που περιέχει ένα πλήθος οργανικών ενώσεων όπως μεθανόλη, ακετόνη, φαινόλη, βενζόλιο κ.ά. και γ) ένα ανθρακούχο στερεό υπόλειμμα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως καύσιμο υψηλής θερμογόνου δύναμης είτε ως ανθρακούχο πρόσθετο στη μεταλλουργία του σιδήρου. Η πυρόλυση είναι μία τεχνολογία σε ανάπτυξη και θα μπορούσε, τουλάχιστον, να εφαρμοστεί αποτελεσματικά, ως εναλλακτική λύση, στο παραγόμενο ΚΑΠΑ, όταν αυτό δεν μπορεί να διατεθεί στο εμπόριο.

Οι πλέον δόκιμοι συνδυασμοί των παραπάνω μεθόδων, έχουν ως εξής (σχήμα 1):

Μέθοδος Α: Ανακύκλωση υλικών - Υγειονομική ταφή των υπολοίπων,

Μέθοδος Β: Ανακύκλωση υλικών - Καύση των οργανικών - Υγειονομική ταφή της στάχτης και των υπολοίπων.

Μέθοδος Γ: Ανακύκλωση υλικών - Υδατοδιαχωρισμός χαρπιού και πλαστικών και παραγωγή ΚΑΠΑ α' ποιότητας - Κομποστοποίηση των υπολοίπων.

Μέθοδος Δ: Ανακύκλωση υλικών - Διαχωρισμός χαρπιού και πλαστικών και παραγωγή ΚΑΠΑ α' ποιότητας - Παραγωγή ΚΑΠΑ β' ποιότητας με αεροδιαχωρισμό των οργανικών - Κομποστοποίηση των υπολοίπων οργανικών - Υγειονομική ταφή όλων των υπολοίπων - Πυρόλυση του ΚΑΠΑ β' ποιότητας.

Μέθοδος Ε: Ανακύκλωση υλικών - Διαχωρισμός χαρπιού και πλαστικών και παραγωγή ΚΑΠΑ α' ποιότητας - Παραγωγή ΚΑΠΑ β' ποιότητας με υδατοδιαχωρισμό των οργανικών - Αναερόβια χώνευση των υπολοίπων οργανικών - Κομποστοποίηση των στερεών υπολειμμάτων της αναερόβιας - Υγειονομική ταφή όλων των υπολοίπων - Πυρόλυση του ΚΑΠΑ β' ποιότητας.

Επιπρόσθετο πλεονέκτημα εφαρμογής της μεθόδου Ε είναι η δυνατότητα συνεπεξεργασίας των πρωτογενών

και δευτερογενών λασπών των μονάδων βιολογικού καθαρισμού, καθώς επίσης και όλων των γεωργικών και κτηνοτροφικών παραπροϊόντων που παράγονται στη γύρω περιοχή. Η εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης, δίνει επίσης, τη δυνατότητα της συνεπεξεργασίας των απορριμμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων της περιοχής, που περιέχουν υψηλό οργανικό φορτίο, όπως μπορεί να είναι απόβλητα από σφαγεία, από βιομηχανίες επεξεργασίας γάλακτος, ελαιοτριβεία, χοιροτροφεία κ.ά.

Η κομποστοποίηση είναι μία αερόβια βιολογική διεργασία που συντελείται σε δύο φάσεις, τη θερμοφιλή φάση, όπου σταθεροποιείται το οργανικό υπόστρωμα με αποικοδόμηση των ευκόλως βιοαποικοδομήσιμων οργανικών και τη μεσόφιλη φάση, κατά την οποία τα σταθεροποιημένα οργανικά βιομετατρέπονται σε χυμικά προϊόντα. Οι εδαφοβελτιωτικές ιδιότητες του κόμποστ δημιουργούνται κατά τη μεσόφιλη φάση, ενώ η πρώτη φάση της σταθεροποίησης είναι μία αναγκαία αλλά όχι ικανή διαδικασία. Έπα πλέον, κατά τη πρώτη φάση, το οργανικό υπόστρωμα χάνει ένα σημαντικό μέρος του ενεργειακού του περιεχομένου, το οποίο εκπέμπεται στο περιβάλλον ως μη εκμεταλλεύσιμη θερμική ενέργεια. Η πρώτη φάση της αερόβιας σταθεροποίησης μπορεί να αντικατασταθεί, όπως απέδειξαν έρευνες στο Εργαστήριο Οργανικής και Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π., με μία διεργασία αναερόβιας χώνευσης, η οποία μπορεί να μεγιστοποιήσει την εκμετάλλευση του ενεργειακού περιεχομένου των απορριμμάτων, παράγοντας μεθάνιο, που διαφορετικά η ενέργεια αυτή θα χάνονταν.

Επί πλέον, η ύπαρξη μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης μπορεί να αξιοποιήσει καλύτερα μία πυρολυτική διαδικασία του παραγόμενου ποσοστού ΚΑΠΑ/RDF, καθώς τα παραγόμενα αέρια κατά την πυρόλυση, μπορούν να αξιοποιηθούν εύκολα μαζί με το παραγόμενο μεθάνιο. Γενικά η αναερόβια χώνευση ενδείκνυται για ενεργειακή αξιοποίηση υδαρούς βιομάζας, όπως είναι τα Ελληνικά απορρίμματα (βλέπε πίνακα 1).

3. Μεθοδολογία επιλογής τεχνολογιών επεξεργασίας.

Πρωταρχικός στόχος κάθε μονάδας επεξεργασίας των απορριμμάτων, είναι η ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η σωστή διαχείριση των αστικών απορριμμάτων αποτελεί πλέον ένα απαραίτητο κομμάτι για την προστασία του περιβάλλοντος, υπηρετεί τη δημόσια υγείνη, αλλά επίσης, μπορεί να συμβάλει στην εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας.

Σκοπός της διαχείρισης των απορριμμάτων είναι:

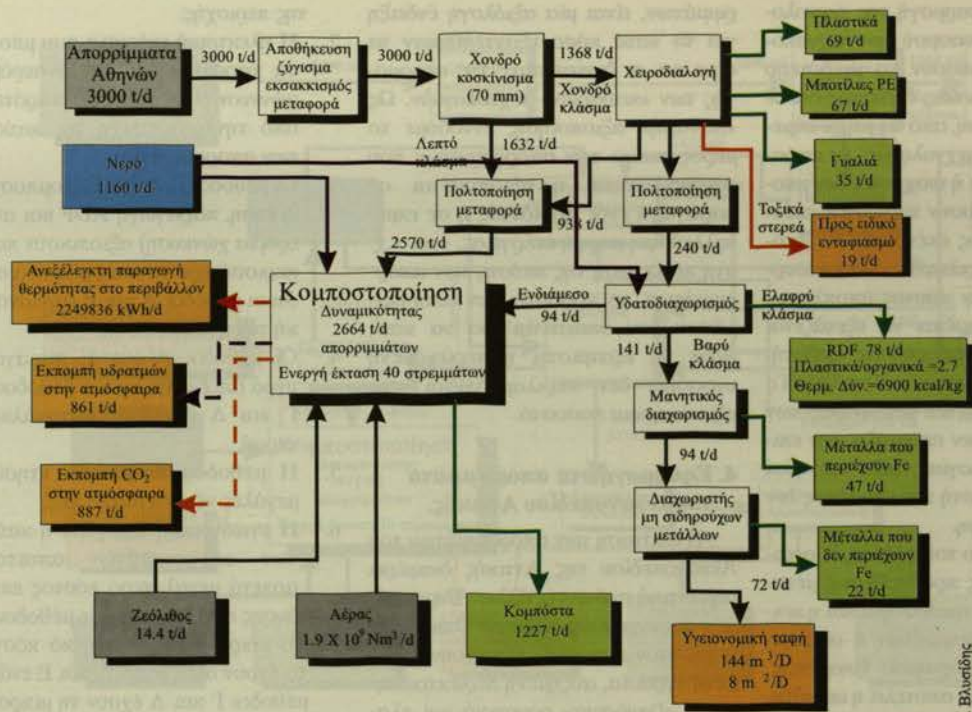
- η συλλογή, εναπόθεση, επεξεργασία ή καταστροφή των απορριμμάτων κατά τον ευνοϊκότερο για το περιβάλλον τρόπο,
- η ελαχιστοποίηση της παραγωγής τους, και
- η ανάκτηση, επαναφορά και επαναχρησιμοποίηση διαφόρων υλικών.

Επομένως, θα μπορούσαν να καθοριστούν τα παρακάτω κριτήρια επιλογής της τεχνολογίας, για κάθε μεμονωμένη περίπτωση διαχείρισης απορριμμάτων:

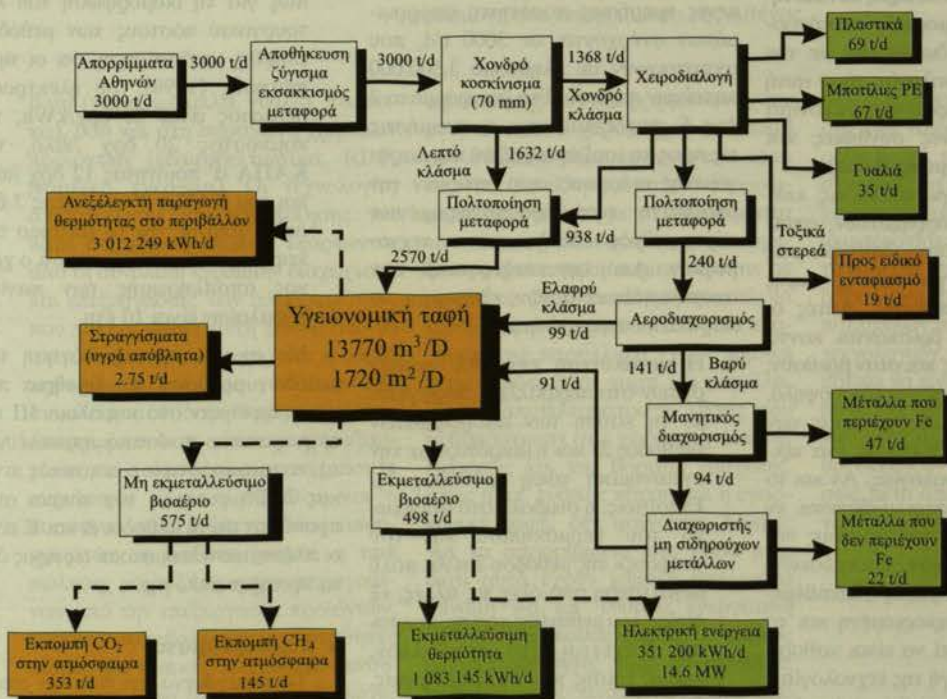
1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις,
2. Κόστος επεξεργασίας,
3. Κόστος επένδυσης,
4. Διάρκεια εφαρμογής της τεχνολογίας,
5. Απαραίτητη έκταση γης,
6. Ποσοστό αξιοποίησης.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αφορούν την τεχνολογία, συσχετίζονται με τη παραγωγή αερίων ρύπων (CO_2 , CH_4 , VOCs, H_2S , ιπτάμενη τέφρα κ.ά.), την εκπομπή στο περιβάλλον μη εκμεταλλεύσιμης θερμότητας, την παραγωγή υγρών αποβλήτων, την εκπομπή υδρατμών, την εκπομπή τοξικών ρυπαντών (διοξίνες, ιπτάμενη τέφρα, βαρέα μέταλλα κ.ά.). Η ένταση όμως των επιπτώσεων, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τόπου, όπου θα εγκατασταθεί η μονάδα επεξεργασίας (θερμοκρασία και υγρασία της περιοχής, ρύπανση από άλλες πηγές, οικιστική κατάσταση, υπέδαφος κ.ά.).

Το κόστος αποτελεί μία άλλη σπουδαία παράμετρο επιλογής. Επι-



© Ατ. Βλασίδης



© Ατ. Βλασίδης

διώκουμε την εφαρμογή της τεχνολογίας ή του συνδυασμού των τεχνολογιών που θα δώσουν το μικρότερο κόστος επεξεργασίας, δοθέντος ότι σε καμία περίπτωση, από τις μέχρι σήμερα διαθετέμες τεχνολογίες, τα παραγόμενα προϊόντα ή υπηρεσίες δεν μπορούν να αποσβέσουν το κόστος επένδυσης. Το κόστος επένδυσης θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στο λειτουργικό κόστος, σαν κόστος αποπληρωμής, όμως θα πρέπει να εξετάζεται ξεχωριστά στις περιπτώσεις επιδοτήσεων από Κοινωνικά Ταμεία. Το κόστος συλλογής και μεταφοράς των απορριμμάτων δεν επηρεάζει την επιλογή της τεχνολογίας, διότι αποτελεί κοινό παρανομαστή και επομένως δεν λαμβάνεται υπόψη.

Με τη πάροδο του χρόνου, οι αρχικές σχεδιαστικές προϋποθέσεις μεταβάλλονται, όπως η ποσότητα και η ποιότητα των απορριμμάτων ή οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί. Επομένως, ένα άλλο κριτήριο αποτελεί η ικανότητα και η ευκολία της τεχνολογίας να προσαρμόζεται στις νέες απαιτήσεις. Συνήθως, όσο περισσότερες δυνατότητες εναλλακτικών μορφών ταυτόχρονης επεξεργασίας διαθέτουμε με την προσφερόμενη τεχνολογία, τόσο αυτή έχει μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και επομένως, θα είναι μακροβιότερη.

Συνήθως, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας των απορριμμάτων, απαιτούν μεγάλες εκτάσεις, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις της υγειονομικής ταφής και της κομποστοποίησης. Αυτές οι εκτάσεις δύσκολα βρίσκονται κοντά σε αστικές περιοχές και όταν βρεθούν, το κόστος αγοράς της γης είναι υψηλό, επομένως, οι αναγκαίες εκτάσεις των εγκαταστάσεων είναι επίσης ένα κριτήριο επιλογής τεχνολογίας. Αν και το κριτήριο αυτό συμπεριλαμβάνεται εν μέρει στο κριτήριο του κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, επειδή όμως πολλές φορές η διαθέσιμη έκταση είναι περιορισμένη και το γεγονός αυτό μπορεί να είναι καθοριστικό για την επιλογή της τεχνολογίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα διάφορο κριτήριο.

Επίσης, το ποσοστό «καθαρής» αξιοποίησης του συνόλου των απορ-

ριμμάτων, είναι μία αξιολόγηση ένδειξη για το κατά πόσο εξαντλήθηκαν τα όρια και οι δυνατότητες της εφαρμογής των «καθαρών» τεχνολογιών. Ως «καθαρή» αξιοποίηση, εννοούμε το μέρος εκείνο των απορριμμάτων που ανακυκλώνεται ή αξιοποιείται σε παραγωγή ενός προϊόντος ή σε εκμεταλλεύσιμη μορφή ενέργειας, έτσι π.χ. στη περίπτωση της καύσης των απορριμμάτων, το ποσοστό των απορριμμάτων που απαιτείται για να καεί, ώστε να εξατμιστεί η περιεχόμενη υγρασία, δεν περιλαμβάνεται στο αξιοποιήσιμο ποσοστό.

4. Εφαρμογή στα απορρίμματα του λεκανοπεδίου Αττικής.

Η σύσταση των απορριμμάτων του Λεκανοπεδίου της Αττικής διαφέρει σημαντικά από αυτές άλλων Ευρωπαϊκών περιοχών και πόλεων. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, περιέχουν αυξημένη υγρασία, αυξημένη περιεκτικότητα σε «ζυμώσιμα» οργανικά και πλαστικά, καθώς επίσης και ελαττωμένη περιεκτικότητα σε χαρτί. Οι παραγόμενες ημερήσιες ποσότητες απορριμμάτων ανέρχονται σε 3000 t/d, που αντιστοιχούν σε πληθυσμό 3.500.000 κατοίκων περίπου. Στα διαγράμματα 2 έως 6, παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις ως προς τα ισοζύγια μαζών και παραγόμενης ενέργειας, που αφορούν την εφαρμογή των προαναφερομένων πέντε μεθόδων συνδυασμένων τεχνολογιών. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών, εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η μεγαλύτερη εκπομπή αερίων ρύπων στο περιβάλλον, παράγεται με τη καύση των απορριμμάτων (μέθοδος 2) και η μικρότερη με την υγειονομική ταφή (μέθοδος 1). Εντούτοις, η συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και του «νέφους» της μεθόδου 1 είναι πολύ μεγαλύτερη από όλες τις άλλες, εξαιτίας του μεθανίου που παράγεται και διαχέεται στο περιβάλλον, καθώς επίσης και της θερμότητας. Επίσης οι ποσότητες υδρατμών, ιπτάμενης τέφρας και τοξικών αερίων ρύπων της μεθόδου 2, είναι ικανές να αλλάξουν το μικροκλίμα

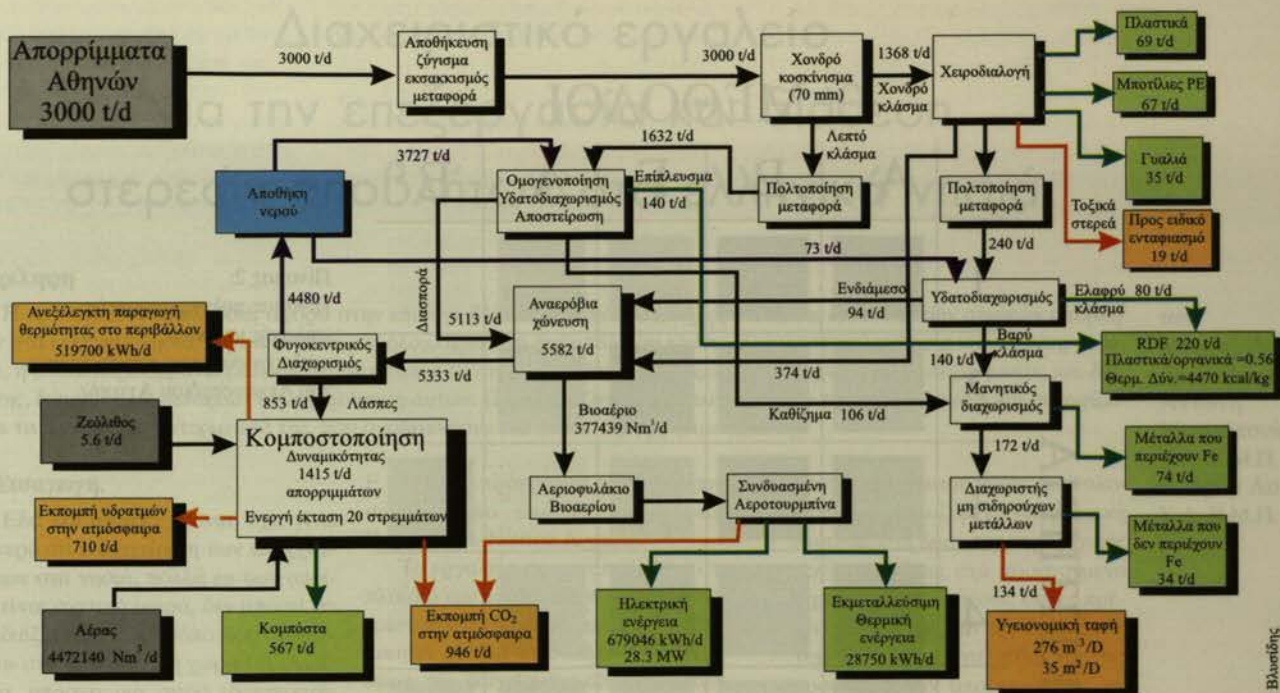
της περιοχής.

2. Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από την αναερόβια χώνευση είναι ελαφρώς μικρότερη από την αντίστοιχη της καύσης των απορριμμάτων.
3. Οι μέθοδοι Γ, Δ και Ε (κομποστοποίηση, παραγωγή RDF και αναερόβια χώνευση) αξιοποιούν πολύ περισσότερο τα απορρίμματα από ότι οι μέθοδοι Α και Β (υγειονομική ταφή και καύση).
4. Οι μέθοδοι Α και Ε παράγουν υγρά απόβλητα, ενώ οι μέθοδοι Β, Γ και Δ απαιτούν κατανάλωση νερού.
5. Η μέθοδος Α απαιτεί ετησίως μεγάλες νέες εκτάσεις γης.
6. Η υγειονομική ταφή και η καύση των απορριμμάτων απαιτούν αρκετά μεγαλύτερο κόστος επένδυσης από ότι οι άλλες μέθοδοι.
7. Το μικρότερο λειτουργικό κόστος το έχουν οι μέθοδοι Δ και Ε ενώ οι μέθοδοι Γ και Δ έχουν τη μικρότερη ανάγκη επιδοτήσεων του κόστους επένδυσης. Σημειώνεται πως για τη διαμόρφωση του λειτουργικού κόστους των μεθόδων ελήφθη, κατ'εξέταση, ότι οι τιμές πώλησης (1998) του ηλεκτρικού ρεύματος είναι 20 δρχ/kWh, της κομπόστας 20 δρχ /κilo, του ΚΑΠΑ α' ποιότητας 12 δρχ /κilo και του ΚΑΠΑ β' ποιότητας 7 δρχ /κilo. Επίσης, ότι το επιτόκιο των κεφαλαίων είναι 10% και ότι ο χρόνος αποπληρωμής των παγίων κεφαλαίων είναι 10 έτη.

Με σκοπό την αξιολόγηση των μεθόδων με βάση τα κριτήρια που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο ΙΙΙ και τα παραπάνω ποσοτικά αποτελέσματα, κατασκευάστηκε ο ποιοτικός πίνακας 2. Σύμφωνα με τον πίνακα αυτό προκύπτει ότι οι μέθοδοι Δ και Ε είναι οι πλέον αποτελεσματικοί ως προς όλα τα κριτήρια επιλογής.

6. Συμπεράσματα.

Το περιεχόμενο των αστικών απορριμμάτων, κατά ένα μεγάλο ποσοστό (μεγαλύτερο από 85%), θα μπορούσε να αξιοποιηθεί, τόσο στη παραλαβή υλικών που μπορούν να ανακυκλω-



© Ατ. Βλυσίδης

Διάγραμμα 6: Ανακύκλωση - κομποστοποίηση - αναερόβια χώνευση και παραγωγή RDF από τα απορρίμματα, εφαρμογή στα απορρίμματα της Αθήνας.

θούν (χαρτί, μέταλλα, γυαλιά, πλαστικά), όσο και στη παραγωγή χρήσιμων προϊόντων (εδαφοβελτιωτικά, RDF, βιοαέριο, ενέργεια). Οι τεχνολογίες ανακύκλωσης και αξιοποίησης για κάθε επί μέρους προϊόν, εξαρτώνται από τη συνολική «γραμμή» διαχείρισης και επεξεργασίας των απορριμμάτων, που πολλές φορές αυτή ξεκινά από το σπίτι (διαλογή στη πηγή) και η οποία καθορίζει τα επί μέρους δεδομένα. Η συνολική μέθοδος διαχείρισης των απορριμμάτων σε μία περιοχή, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, που οι κυριώτεροι είναι: η σύσταση και η ποσότητα των συλλεγομένων απορριμμάτων, η διάθεση χώρου, η τιμή πώλησης και η ζήτηση των παραγομένων από την επεξεργασία προϊόντων, τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και τοπικές κοινωνικές συνθήκες. Έτσι, ενώ διατίθενται αξιολογές τεχνολογίες για την ανάκτηση και παραγωγή των επί μέρους προϊόντων, εν τούτοις τεχνολογίες συνολικής

αξιοποίησης των απορριμμάτων έχουν έντονο τοπικό χαρακτήρα, σε βαθμό που δύσκολα μεταφέρονται από τόπο σε τόπο. Τα ελληνικά αστικά απορρίμματα, σε αντίθεση με τα απορρίμματα των ανεπτυγμένων χωρών, χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικά βιοαποικοδομήσιμα υλικά (55%), υψηλή υγρασία (52%) και πλαστικά, ενώ παράλληλα έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε χαρτί και μέταλλα. Έτσι, «αποτελεσματικές» λύσεις που εφαρμόστηκαν στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής, όπως η απ' ευθείας καύση και η υγειονομική ταφή, δεν φαίνονται δόκιμες για τα απορρίμματα της χώρας μας, διότι αυτά έχουν χαμηλή θερμογόνο δύναμη για απ' ευθείας ενεργειακή αξιοποίηση, καθώς επίσης ο χρόνος βιοαποικοδόμησής τους σε συνθήκες περιβάλλοντος είναι μικρότερος από το χρόνο ενταφιασμού τους. Από την άλλη, η κομποστοποίηση και η παραγωγή βιοαερίου, λύσεις που έχουν

αλλού απορριφθεί, εδώ, λόγω σύστασης των απορριμμάτων μας, θα μπορούσαν να ευδοκιμήσουν. Επομένως συνολικές «έτοιμες» λύσεις δεν υπάρχουν, κάθε χωματερή έχει τις δικές της ιδιαιτερότητες και επομένως, απαιτεί τη δική της συνολική τεχνολογική λύση βασισμένη στις μεθόδους επιλογής πολλαπλών κριτηρίων των επιμέρους τεχνολογιών. Η λύση αυτή επί πλέον πρέπει να είναι ευέλικτη, ώστε να λαμβάνει σοβαρά υπ' όψη τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές μεταβολές, που θα επέλθουν στη περιοχή, στην αμέσως, μετά από την εφαρμογή της, χρονική περίοδο.

ΜΕΘΟΔΟΙ

	A	B	Γ	Δ	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Πίνακας 2:
Πίνακας πολυκριτηριακής
επιλογής μεθόδου
επεξεργασίας των απορριμμάτων
του Λεκανοπεδίου Αττικής.

Δυσμενέστερη



Ευνοϊκότερη

Βιβλιογραφία.

1. Λαζαρίδη Κάτια, «Στερεά Αστικά Απόβλητα: προβλήματα και λύσεις», Περισκόπιο/158- Ιαν. 1993, σελ.34-41.
2. Βασιλάκος Νίκος «Η ενεργειακή αξιοποίηση των χωματερών», Νέα Οικολογία - Απρίλιος 1991, σελ. 130-135.
3. Βλυσιδής Απόστολος «Αριστοποίηση Μοντέλου στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης στη θερμόφιλη περιοχή», Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π. 1987.
4. Διακουλάκη Δ., Παπαγιαννάκης Λ., «Μέθοδοι διάθεσης απορριμμάτων και ιλός με πολλαπλά κριτήρια», Πρακτικά HELECO □93, Απρίλιος 1993.
5. Κόλλιας Σ. Παναγιώτης, «Μέθοδοι Διάθεσης Απορριμμάτων», Βιομηχανία & Περιβάλλον, Τεύχος 6, 1995, σελ. 16-18.
6. Κώνστας Ε.Π.Ε. Μελέτες, «Αξιολόγηση Δυναμικού Απορριμμάτων στην Ελλάδα», Τεύχος ΙΙ, Κεφ. 7-15, Αθήνα, 1987.
7. Peavy H.S., Rowe D.R., Tchobanoglous G., «Environmental Engineering», Mc Graw- Hill Book Company, 1985.
8. Σκορδίλης Αδαμάντιος, «Τεχνολογίες διάθεσης απορριμμάτων - η υγειονομική ταφή», Εκδόσεις «Ιών», 1993.
9. ΤΕΕ Ομάδα Εργασίας, «Μελέτη δυνατοτήτων ανακύκλωσης για τα αστικά απορρίμματα της Ελλάδας», Αθήνα 1985.
10. Χαλβαδάκης Χ. «Landfill Biogas in Attica: Production, Recovery, Utilization and Pollution Potential», Μελέτη ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα 1985.