

**Γενικό Λύκειο Νευροκοπίου**

**Κάτω Νευροκόπι 66033**

**Τηλ. 2523022240**

**Διευθυντής Σχολικής Μονάδος :Παυλίδης Δημήτριος.**

**Υπεύθυνος Καθηγητής: Σαχινίδης Συμεών Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Σερρών**

**Φυσικός Ραδιοηλεκτρολόγος και Τέως ερευνητής Πολυτεχνικής Σχολής**

**Ξάνθης.**

**Τηλ. 6936962608 Email:SaxSim@otenet.gr**

**Ομάδα Μαθητών:**

**Χοροζόπουλος Γιώργος Β' Λυκείου Γελ. Νευροκοπίου.**

**Φλήκα Ελένη Β' Λυκείου Γελ. Νευροκοπίου.**

**Μυστακίδου Μαρία: Α Λυκείου 4<sup>ο</sup> Γελ Λυκείου**

### **Περίληψη.**

Η συγκέντρωση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα, η κοινωνική και τεχνολογική ανάπτυξη, καθώς και η αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών οδήγησαν στη μεγάλη αύξηση της ποσότητας των στερεών αποβλήτων. Έτσι τα απορρίμματα αποτελούν σήμερα, ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα της σύγχρονης ελληνικής κοινωνίας. Πρόκειται για ένα πρόβλημα πολυδιάστατο, με πλήθος αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που γίνεται αντιληπτό στο τελευταίο του στάδιο, αυτό της διάθεσης των απορριμμάτων. Τα απορρίμματα δημιουργούν σημαντικά υγειονομικά προβλήματα, τόσο από άποψη της υγιεινής του περιβάλλοντος, όσο και της δημόσιας υγείας και επιδημιολογίας. Ξεχωριστή σημασία έχει η σωστή διάθεσή τους καθώς και η έγκαιρη και σωστή αποκομιδή τους. Στη χώρα μας έχει προσλάβει εκρηκτική διάσταση, εξαιτίας της έλλειψης, μέχρι τώρα, περιβαλλοντικής ευαισθησίας και της απουσίας σύγχρονης ολοκληρωμένης πολιτικής για τα απορρίμματα. Σήμερα λειτουργούν περίπου 5.000 σκουπιδότοποι, από τους οποίους τα 2/3 χωρίς άδεια και χωρίς να τηρούν στοιχειώδεις κανόνες υγειονομικής ταφής. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση μιας πλήρους μελέτης που παίρνει υπόψη της όλες τις χωροταξικές παραμέτρους και δίνει τις ορθολογικότερες λύσεις στα τεχνικά και οικονομικά θέματα. Ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη τις γενικότερες κατευθύνσεις και στόχους ανάπτυξης για τη συγκεκριμένη περιοχή. Η δυσκολία που υπάρχει συνήθως είναι να βρεθεί η χρυσή τομή μεταξύ κόστους και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Για να βρεθεί λύση στο πρόβλημα αυτό αναπτύχθηκαν διάφορα διαχειριστικά σενάρια όπως:

(α) απλή διάθεση σε χώρο υγειονομικής ταφής .

(β) μηχανική διαλογή συνοδευόμενη από κομποστοποίηση και υγειονομική ταφή υπολειμμάτων

(γ) μηχανική διαλογή συνοδευόμενη από καύση με ανάκτηση ενέργειας και υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων.

Προτάσεις για το καταλληλότερο διαχειριστικό σενάριο.

## Τίτλος: Εναλλακτικά Διαχειριστικά Σενάρια Αστικών Απορριμμάτων

Μία Ελληνική επαρχιακή πόλη 150.000 κατοίκων εξετάζει το ενδεχόμενο να εισαγάγει μονάδα επεξεργασίας των απορριμμάτων, αντί για απλή διάθεση σε ΧΥΤΑ. Αυτό όπως γνωρίζετε θα εξασφαλίσει (α) συμμόρφωση με τις παρούσες Κοινοτικές Οδηγίες, (β) παραγωγή χρήσιμων υλικών ή/και ενέργειας και (γ) επιμήκυνση του χρόνου ζωής του χώρου υγειονομικής ταφής.

Θεωρήσατε ότι τα απορρίμματα έχουν τυπική σύσταση:

Ζυμώσιμα 50%, πλαστικό 10%, χαρτί 20%, γυαλί 5%, μέταλλα 5% και αδρανή 10%.

Προσδιορίστε ένα τυπικό εμπειρικό τύπο για τη στοιχειακή σύσταση των απορριμμάτων.

Εξετάστε στη συνέχεια τα ακόλουθα διαχειριστικά σενάρια:

(α) απλή διάθεση σε χώρο υγειονομικής ταφής (στοιχεία από τη Γραπτή εργασία 1)

(β) μηχανική διαλογή συνοδευόμενη από κομποστοποίηση και υγειονομική ταφή υπολειμμάτων

(γ) μηχανική διαλογή συνοδευόμενη από καύση με ανάκτηση ενέργειας και υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων

Σε κάθε περίπτωση εκτιμείστε τις ροές υλικών:

Για την κομποστοποίηση εκτιμείστε την ενδεχόμενη απαίτηση προσθήκης αζώτου και εκτιμείστε τις ροές των υλικών, δηλαδή τις ποσότητες σε ανακυκλώσιμα υλικά που θα διαχωρίζονται ετησίως, τις ποσότητες κομποστ που θα παράγονται και τα υπολείμματα που θα οδηγούνται σε ΧΥΤΥ, καθώς και την αναμενόμενη επιμήκυνση στον χρόνο ζωής του χώρου υγειονομικής ταφής

Για την καύση παρομοίως εκτιμείστε τις ποσότητες που θα πρέπει να διαχωρίζονται πριν την καύση, τις ποσότητες που θα οδηγούνται προς καύση, τις απαιτήσεις σε αέρα κατά την καύση, την αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας κατά την καύση και τις αναμενόμενες ποσότητες που θα οδηγούνται σε ΧΥΤΥ. Τέλος εκτιμείστε την παράταση ζωής του χώρου υγειονομικής ταφής.

Συγκρίνατε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε διαχειριστικού σεναρίου.

Διαμορφώστε και αιτιολογήσατε την τελική σας εισήγηση.

## Εισαγωγή

Η συγκέντρωση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα, η κοινωνική και τεχνολογική ανάπτυξη, καθώς και η αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών οδήγησαν στη μεγάλη αύξηση της ποσότητας των στερεών αποβλήτων. Έτσι τα απορρίμματα αποτελούν σήμερα, ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα της σύγχρονης ελληνικής κοινωνίας. Πρόκειται για ένα πρόβλημα πολυδιάστατο, με πλήθος αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που γίνεται αντιληπτό στο τελευταίο του στάδιο, αυτό της διάθεσης των απορριμμάτων. Τα απορρίμματα δημιουργούν σημαντικά υγειονομικά προβλήματα, τόσο από άποψη της υγιεινής του περιβάλλοντος, όσο και της δημόσιας υγείας και επιδημιολογίας. Ξεχωριστή σημασία έχει η σωστή διάθεσή τους καθώς και η έγκαιρη και σωστή αποκομιδή τους. Στη χώρα μας έχει προσλάβει εκρηκτική διάσταση, εξαιτίας της έλλειψης, μέχρι τώρα, περιβαλλοντικής ευαισθησίας και της απουσίας σύγχρονης ολοκληρωμένης πολιτικής για τα απορρίμματα. Σήμερα λειτουργούν περίπου 5.000 σκουπιδότοποι, από τους οποίους τα 2/3 χωρίς άδεια και χωρίς να τηρούν στοιχειώδεις κανόνες υγειονομικής ταφής. Το χαρακτηριστικότερο μέγεθος που περιγράφει την παραγωγή απορριμμάτων είναι η **Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων (Μ.Π.Α.)**, η οποία εκφράζεται από

το βάρος των απορριμμάτων (Kg) που παράγει ένα άτομο (per) σε μια ημέρα (day). Η τιμή της Μ.Π.Α. για την Ελλάδα κυμαίνεται από 0,6 Kg/per/day για τις αγροτικές περιοχές ως 1,4 Kg/per/day για τις οικονομικά ακμαίες αστικές περιοχές. Λέγοντας διαχείριση απορριμμάτων εννοούμε την προσωρινή αποθήκευση τη συλλογή, τη μεταφορά καθώς και την εναπόθεσή τους σε ειδικούς χώρους διάθεσης. Σχεδιασμό διαχείρισης απορριμμάτων λέμε μια πλήρη μελέτη που παίρνει υπόψη της όλες τις χωροταξικές παραμέτρους και δίνει τις ορθολογικότερες λύσεις στα τεχνικά και οικονομικά θέματα. Ο σχεδιασμός πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις γενικότερες κατευθύνσεις και στόχους ανάπτυξης για τη συγκεκριμένη περιοχή. Η δυσκολία που αντιμετωπίζεται συνήθως είναι να βρεθεί η χρυσή τομή μεταξύ κόστους και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. (Βουδρισλής Ν., 1998)

Για να βρεθεί λύση στο πρόβλημα αυτό αναπτύχθηκαν διάφορα διαχειριστικά σενάρια όπως:

- (α) απλή διάθεση σε χώρο υγειονομικής ταφής .
- (β) μηχανική διαλογή συνοδευόμενη από κομποστοποίηση και υγειονομική ταφή υπολειμμάτων
- (γ) μηχανική διαλογή συνοδευόμενη από καύση με ανάκτηση ενέργειας και υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων

### **Κυρίως Θέμα**

Αναλύοντας ξεχωριστά το κάθε σενάριο είτε από άποψη ενεργειακή είτε από άποψη περιβαλλοντική. Ας θεωρήσουμε ότι τα απορρίμματα έχουν τυπική σύσταση: Ζυμώσιμα 50%, πλαστικό 10%, χαρτί 20%, γυαλί 5%, μέταλλα 5% και αδρανή 10%.

Πρώτα προσδιορίζουμε ένα τυπικό εμπειρικό τύπο για τη στοιχειακή σύσταση των απορριμμάτων.

Υποθέτουμε ότι η υγρασία των απορριμμάτων είναι 49%

Ποιοτική σύσταση απορριμμάτων

Συστατικά	% κ.β
Ζυμώσιμα	50
Χαρτί	20
πλαστικά	10
μέταλλα	5
Γυαλί	5
αδρανή	10

Στοιχειακή ανάλυση των συστατικών των ΑΣΑ ( % επί του ξηρού βάρους)

Υλικό	(% κ.β.)					
	C	H	O	N	S	Τέφρα
Ζυμώσιμα	50	6	38	3	0,4	2,6
Χαρτί	44	6	44	0,3	0,2	5,5
πλαστικά	60	7	23	-	-	10
μέταλλα	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	90,5
Γυαλί	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	98,9
αδρανή	26,3	3	2	0,2	0,2	68

Θεωρώντας 100Kg απορριμμάτων, έχουμε τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ζυμώσιμα:  $100\text{Kg} \cdot 0.50 \cdot (1 - 0.49) = 25,5\text{Kg}$
- Χαρτί:  $100\text{Kg} \cdot 0.20 \cdot (1 - 0.49) = 6.12\text{Kg}$
- Πλαστικά  $100\text{Kg} \cdot 0.10 \cdot (1 - 0.49) = 5.1\text{Kg}$

Μέταλλα  $100\text{Kg} \cdot 0,05 \cdot (1 - 0.49) = 2,55\text{Kg}$

Γυαλί  $100\text{Kg} \cdot 0,05 \cdot (1 - 0.49) = 2,55\text{Kg}$

Αδρανή  $100\text{Kg} \cdot 0.10 \cdot (1 - 0.49) = 5.1\text{Kg}$

Υλικό	Συμμετοχή κάθε στοιχείου (Kg)				
	Μαζα (Kg)	C	H	O	N
Ζυμώσιμα	25,5	50	6	38	3
Χαρτί	6,12	44	6	44	0,3
πλαστικά	5,1	60	7	23	-
μέταλλα	2,55	4,5	0,6	4,3	<0,1
Γυαλί	2,55	0,5	0,1	0,4	<0,1
αδρανή	5,1	26,3	3	2	0,2

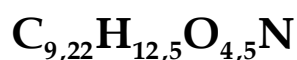
Υλικό	Συμμετοχή κάθε στοιχείου (Kg)				
	Μαζα (Kg)	C	H	O	N
Ζυμώσιμα	25,5	12,7	1,5	9,7	0,8
Χαρτί	6,12	2,7	0,4	2,7	0,02
πλαστικά	5,1	3	0,4	1,2	-
μέταλλα	2,55	0,11	0,015	0,2	<0,1
Γυαλί	2,55	0,01	0,003	0,4	<0,1
αδρανή	5,1	1,3	0,15	0,1	<0,1

Διαιρώντας με τα ατομικά βάρη των στοιχείων βρίσκουμε τον αριθμό των ατόμων κάθε στοιχείου:

Υλικό	Μαζα (Kg)	Συμμετοχή κάθε στοιχείου (Kg)			
		C	H	O	N
Ζυμώσιμα	25,5	1.01	1,5	0,6	0,07
Χαρτί	6,12	0,225	0.4	0,17	0,001
πλαστικά	5,1	0,5	0,4	0,1	-
μέταλλα	2,55	0,009	0,015	0,0125	<0,1
Γυαλί	2,55	0,0008	0,003	0,025	<0,1
αδρανή	5,1	0,1	0,15	0,006	
Σύνολο	46,92	1,844	2,5	0,9	0.20

Υλικό	Συμμετοχή κάθε στοιχείου (Kg)			
	C	H	O	N
Σύνολο	9,22	12,5	4,5	1

Ο ζητούμενος εμπειρικός τύπος



Η κομποστοποίηση είναι μία ρυθμιζόμενη διάσπαση ή αδρανοποίηση των οργανικών ενώσεων των απορριμμάτων, από την οποία σε τελική φάση προκύπτουν με τη βοήθεια μικροοργανισμών: Χούμους (humus), δηλ. ένα βελτιοτικό εδάφους (BE) που ονομάζεται κομπόστ, καθώς επίσης CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O (στην περίπτωση αερόβιας). CH<sub>4</sub>, (μεθανογένεση), καθώς επίσης CO<sub>2</sub> και λάσπη (στην περίπτωση αναερόβιας). Στην πολύπλοκη αυτή βιοχημική διαδικασία λαμβάνουν μέρος διάφοροι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα), η δραστηριότητα των οποίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η αναλογία C/N (ο άνθρακας αποτελεί πηγή ενέργειας και το άζωτο τροφή των μικροοργανισμών), η υγρασία των απορριμμάτων (η τροφή των μικροοργανισμών είναι πάντα σε υδάτινη μορφή), το διαθέσιμο οξυγόνο (αερόβια ζύμωση), το pH και η θερμοκρασία. Η υγρασία επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Γι' αυτό πρέπει να είναι γνωστό το περιεχόμενο υγρασίας του οργανικού κλάσματος που πρόκειται να μετατραπεί, ειδικά όταν πρόκειται για μια

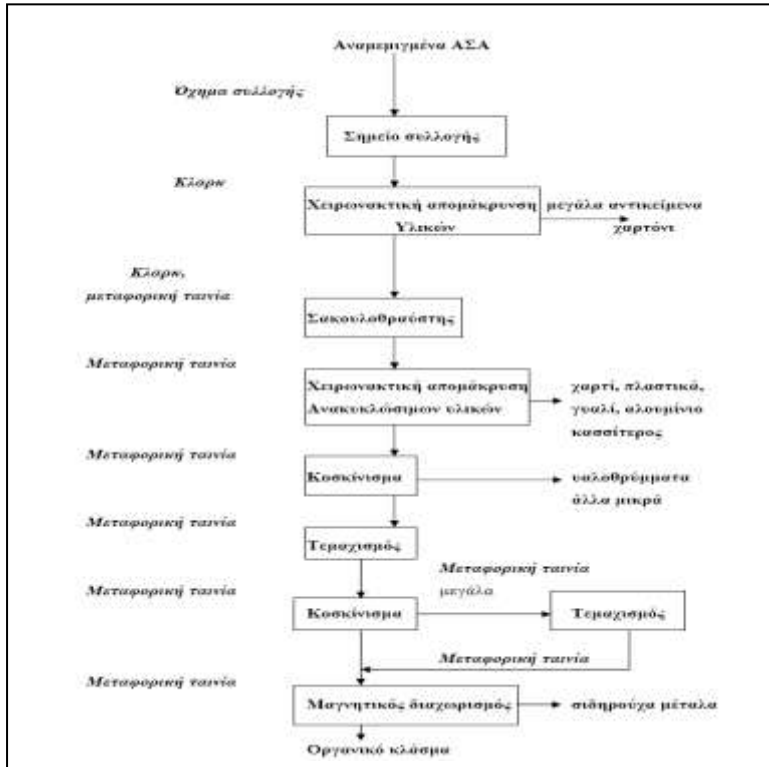
ξηρή διαδικασία όπως αυτή της κομποστοποίησης. Πολλές φορές απαιτείται η προσθήκη νερού για την επίτευξη βέλτιστης υγρασίας. Όταν η υγρασία είναι πολύ μικρή, οι μικροοργανισμοί που είναι απαραίτητοι για τη ζύμωση δε μπορούν να αναπτυχθούν. Αντίθετα, όταν η υγρασία είναι πολύ μεγάλη, τότε δεν υπάρχει η απαιτούμενη επαφή με το οξυγόνο που επίσης είναι απαραίτητο για τη ζύμωση.

Ως ακραία όρια μπορούμε να θεωρήσουμε το 30-70%. Η βέλτιστη τιμή της για αερόβια κομποστοποίηση είναι μεταξύ 50-60%. Μπορεί να ρυθμιστεί με ανάμειξη συστατικών ή με προσθήκη νερού. Πτώση κάτω από 40% επιβραδύνει το βαθμό κομποστοποίησης, ενώ υπερβολική αύξηση σε επίπεδα, ώστε ο αέρας που υπάρχει στο βελτιωτικό να αντικατασταθεί με νερό, δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες συνοδευόμενες πάντα από δυσοσμία και παύση της κομποστοποίησης. (Γιδαράκος Ε., 2007).

Ο λόγος C/N είναι πολύ σημαντικός παράγοντας γιατί επηρεάζει την ταχύτητα της βιολογικής αντίδρασης των υλικών. Βέλτιστες τιμές του λόγου είναι 20/1-30/1 για το φρέσκο οργανικό κλάσμα και σταδιακά μειώνεται καθώς η κομποστοποίηση προχωρά. Στο ώριμο ΒΕ ο λόγος C/N είναι 12:1. Γενικά οι διάφοροι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στα οργανικά υλικά χρησιμοποιούν μόνο το 1/3 μέχρι 1/2) του συνολικού C (ως μεταβολιζόμενο C), ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα ως CO<sub>2</sub>. Για να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί πρέπει να τραφούν. Συνεπώς είναι απαραίτητη η παρουσία N<sub>2</sub> (θρεπτικό συστατικό) στο προς κομποστοποίηση υλικό για να τροφοδοτήσει τους μικροοργανισμούς και μάλιστα σε αναλογία 10 μέρη μεταβολιζόμενου C προς 1 μέρος N<sub>2</sub>. Βάσει αυτών προκύπτει ότι η βέλτιστη σχέση αναλογίας C/N (όπου C είναι ο συνολικός) είναι 30/1 μέχρι 20/1. Αν ο λόγος είναι μεγάλος π.χ. 40-50 μπορεί να προστεθεί άζωτο ώστε να γίνει η λιπασματοποίηση. Μία καλή λύση είναι να προστίθεται σε απορρίμματα φτωχά σε άζωτο η λάσπη από τους βιολογικούς καθαρισμούς. Ο ΜΔ είναι μία αρκετά δαπανηρή μέθοδος και παρουσιάζει συχνά προβλήματα στην πώληση των ανακτώμενων υλικών, είτε λόγω της μη καθαρότητάς τους, είτε λόγω της περιεκτικότητάς τους σε βαρέα μέταλλα. Με εκτεταμένα προγράμματα κομποστοποίησης στην Ελλάδα, μπορεί να μειωθεί σημαντικά ο όγκος των απορριμμάτων που καταλήγει στους χώρους τελικής διάθεσης, αφού το 35-55% των Ελληνικών απορριμμάτων είναι οργανικά. (Μάρμολος Γ., 2007)

Σύμφωνα με τον εμπειρικό τύπο που προσδιορίσαμε με βάση την τυπική σύσταση των απορριμμάτων C<sub>9,22</sub>H<sub>12,5</sub>O<sub>4,5</sub>N, μπορούμε να βρούμε τον λόγο C/N που είναι C/N περίπου 10/1. Παρατηρούμε ότι έχει ανακτηθεί το οργανικό μέρος των απορριμμάτων και έχει μετατραπεί σε χρήσιμο ΕΒ.

Στην εικόνα 1 παρουσιάζονται οι ποσότητες σε ανακυκλώσιμα υλικά που διαχωρίζονται ετησίως, οι ποσότητες κομπόστ που παράγονται και τα υπολείμματα που οδηγούνται σε ΧΥΤΥ.



Εικόνα 1.Μηχανική διαλογή πριν την βιοσταθεροποίηση. (Διαχείριση στερεών αποβλήτων-Λυμπεράτοςκαι Τσιλιγιάννης)

Η διεργασία της καύσης αρχίζει με το άδειασμα των απορριμμάτων σε αποθηκευτικό χαντάκι, μεγέθους ικανού για να δεχθεί απορρίμματα δύο περίπου ημερών. Επιλέγεται το μείγμα των απορριμμάτων έτσι ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη υγρασία στην τροφοδοσία. Μεγάλη σημασία δίνεται στον αερισμό του μείγματος, δηλ στον απαιτούμενο όγκο αέρα. Απομακρύνονται μεγάλα και μη καύσιμα αντικείμενα. Τα περισσότερα οργανικά απορρίμματα είναι θερμικά ασταθή, αναδύονται διάφορα αέρια τα οποία μαζί με μικρά οργανικά σωματίδια ανέρχονται στον χώρο καύσης και καίγονται σε θερμοκρασία άνω των 9000C. Εξετάζεται η περίπτωση καύσιμο από απορρίμματα (Refuse Derived Fuel) (RDF). Με τον όρο RDF υποδηλώνεται το στερεό απόβλητο το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε λέβητες για την παραγωγή ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το RDF είναι τα ακόλουθα:

- α) Αρκετά σταθερή ποιότητα καυσίμου.
- β) Καλή θερμική απόδοση.
- γ) Μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. (Οικονομόπουλος Α., 2007)

Η παραγόμενη ενέργεια ανακτάται μέσω εξάτμισης νερού (βραστήρα) που παράγει ατμό, και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω τουρμπίνας (γεννήτριας).

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για έλεγχο των αερίων ρύπων περιλαμβάνει χρήση αμμωνίας για έλεγχο των NO<sub>x</sub>, ξηρό φίλτρο για έλεγχο του SO<sub>2</sub> και των όξινων αερίων, και ένα υφασμάτινο φίλτρο για απομάκρυνση σωματιδίων.

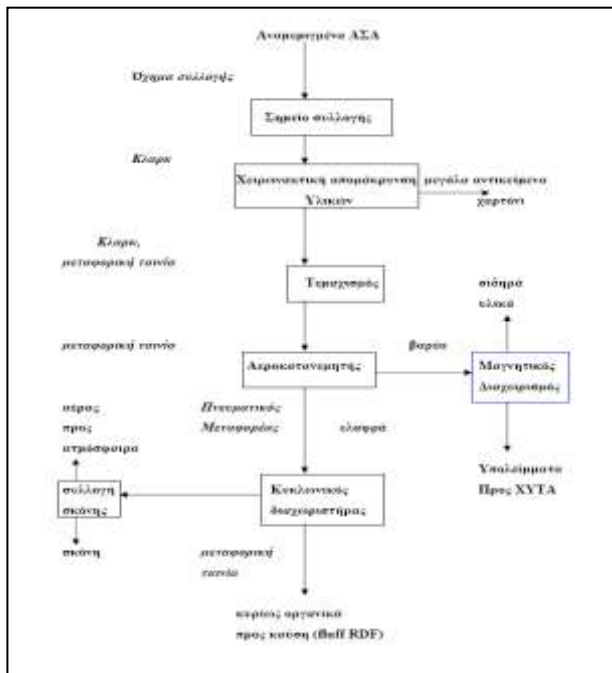
Τα τελικά προϊόντα της καύσης είναι θερμά καυσαέρια και στάχτες. Τα καθαρισμένα αέρια εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Η στάχτη οδηγείται σε χωματερές.

Τα κύρια στοιχεία των στερεών απορριμμάτων είναι C, O, N και S. Μικρότερες ποσότητες πολλών ακόμη στοιχείων ευρίσκονται στην στάχτη. Υπό ιδανικές συνθήκες τα καυσαέρια θα περιέχουν κυρίως CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> και μικρές ποσότητες SO<sub>2</sub>. (IPCC., 1996).



Πολλά από τα αέρια εκπομπής έχουν πιθανές επιπτώσεις στην υγεία. Πολλές φορές το κόστος κατάλληλων συστημάτων ελέγχου των εκπομπών είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το κόστος των λοιπών εγκαταστάσεων για την καύση.

Τα στερεά υπόλοιπα περιλαμβάνουν την καθιζάνουσα τέφρα, την ιπτάμενη τέφρα και τα προϊόντα διήθησης. Η καθιζάνουσα τέφρα οδηγείται στις χωματερές. Υγρές εκπομπές μπορούν να πηγάσουν από τις εγκαταστάσεις απομάκρυνσης στάχτης, από την απορροή υγρών απορροφητικών στηλών, απόβλητα και αντλίες. Σύμφωνα με την εικόνα 2 φαίνονται οι ποσότητες που διαχωρίζονται πριν την καύση και που οδηγούνται προς καύση. Γενικά η καύση αποτελεί μία ελκυστική μέθοδο επεξεργασίας, μια και μπορεί να μειώσει τον όγκο των απορριμμάτων κατά 85-95%, παράγοντας παράλληλα ενέργεια. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα που έχει, είναι οι χαμηλές απαιτήσεις σε χώρο. Ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλεί παραμένει ωστόσο το βασικό πρόβλημα της μεθόδου, παρά την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας κατά τα τελευταία χρόνια. Η κοινοτική νομοθεσία απαγορεύει πλέον την καύση των απορριμμάτων χωρίς ανάκτηση ενέργειας και έχει εισάγει μια σειρά αυστηρών περιβαλλοντικών απαιτήσεων για τις εγκαταστάσεις καύσης.



Εικόνα 2. Μηχανική διαλογή πριν την καύση (Διαχείριση στερεών αποβλήτων-Λυμπεράτος και Τσιλιγιάννης)

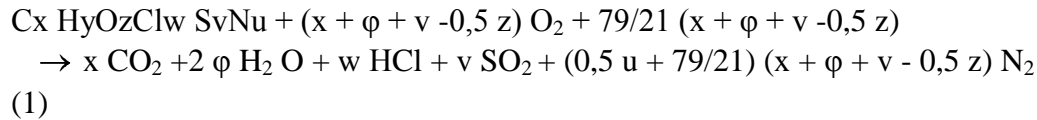
Οι εγκαταστάσεις καύσης μπορούν να επιβαρύνουν το περιβάλλον με εκπομπές αερίων ρύπων και σωματιδίων, με υγρά απόβλητα και με στερεά υπολείμματα της καύσης.

Πολύ σημαντική για την καύση είναι η σύσταση των αστικών στερεών απορριμμάτων και ιδιαίτερα η θερμογόνος δύναμή τους. Η κυριότερη πηγή της θερμογόνου δύναμης είναι η κυτταρίνη που απαντάται κυρίως στο χαρτί. Συνήθως η θερμογόνος δύναμη είναι περίπου 2500 Kcal/ Kg απορριμμάτων, και είναι άμεση συνάρτηση της υγρασίας των απορριμμάτων. Στην χώρα μας, λόγω της αυξημένης υγρασίας των απορριμμάτων η θερμογόνος δύναμή τους είναι περίπου 1750 Kcal/Kg. (Λυμπεράτος „Τσιλιγιάννης„2007 ).

Η αποτέφρωση των απορριμμάτων για το μεγαλύτερο ποσοστό τους ακολουθεί την κλασσική αντίδραση πλήρους οξείδωσης των ενώσεων με αέρα. Ο υπολογισμός των απαιτήσεων αερισμού και των εκλύσεων γίνεται με τον αναλυτικό προσδιορισμό της στοιχειακής σύστασης αρχικού μείγματος. Η στοιχειακή ανάλυση μπορεί να είναι είτε με βάση τα σχετικά βάρη είτε με βάση γραμμομοριακή αναλογία.

Οι απαιτήσεις σε αέρα υπολογίζονται ως εξής:

Αν η στοιχειομετρική ανάλυση δίνεται σε γραμμομοριακή βάση τότε ισχύουν τα ακόλουθα:



(1)

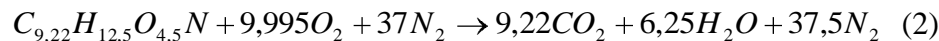
όπου:

$$\varphi = 1/4 (y - w) \text{ αν } y > w$$

$$\varphi = 0 \text{ αν } y \leq w$$

Έτσι αν είναι γνωστά τα  $x, y, z, w, v, u$  (αρχική σύσταση υλικού επεξεργασίας) υπολογίζονται οι απαιτήσεις σε οξυγόνο και αέρα. Ο προσδιορισμός των  $x, y, z, w, v, u$  γίνεται στην διάρκεια δοκιμών και αρχικής λειτουργίας μιας εγκατάστασης και για το συγκεκριμένο είδος μίγματος τροφοδοσίας και τις επικρατούσες συνθήκες επεξεργασίας. Θέτω  $W=0$ ,  $v=0$  και  $u=1$

H (1) γίνεται



Από την (2) υπολογίζω την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου και στη συνέχεια τον απαιτούμενο όγκο αέρα.

Μοριακό Βάρος της  $C_{9,22}H_{12,5}O_{4,5}N$   $MB=209,14$ 

Τα 209,14 gr απαιτούν 223,89 lit οξυγόνου, τα 46,92gr της  $C_{9,22}H_{12,5}O_{4,5}N$  απαιτούν 50,228 lit Οξυγόνου.

Αν δεχθώ την αναλογία του οξυγόνου στον αέρα ότι είναι 20% , βρίσκω ότι ο απαιτούμενος όγκος αέρα είναι 251,1 lit .

Τα απορρίμματα στους υπολογισμούς γίνανε για 100Kg . Στην παρούσα εργασία θα πρέπει να κάνω υπολογισμό για 150.000Kg ( 1<sup>η</sup> εργασία).

Τα απορρίμματα των 150000 kg απαιτούν 376650 lit αέρα.

Πολύ σημαντική για την καύση είναι η σύσταση των αστικών στερεών απορριμμάτων και ιδιαίτερα η θερμογόνος δύναμή τους.

Στην χώρα μας, λόγω της αυξημένης υγρασίας των απορριμμάτων η θερμογόνος δύναμή τους είναι περίπου 1750 Kcal/Kg.

Με βάση το 1750 Kcal/Kg μπορώ να υπολογίσω την θερμογόνο δύναμη των 150000 Kg απορριμμάτων που βρίσκω ότι είναι  $2,6 \cdot 10^8$  Kcal.

Η καύση, αν και μειώνει σημαντικά τον όγκο των απορριμμάτων δεν τα εξαφανίζει Έτσι χρειάζεται ειδικός χώρος ταφής για τα στερεά υπολείμματα της καύσης.

Ακόμα και οι στεγανοποιημένες χωματερές όμως με το τεράστιο κόστος δεν λύνουν το πρόβλημα. Απλώς καθυστερούν τη ρύπανση των υπόγειων υδάτων και του εδάφους. Η μέθοδος αυτή απειλεί το περιβάλλον και την υγεία μας διότι εκπέμπονται ιδιαίτερα τοξικοί ρύποι (διοξίνες). Δεν λύνει το πρόβλημα του όγκου των απορριμμάτων διότι το 30-40% παραμένει με τη μορφή τοξικής τέφρας και απαιτεί και πάλι χωματερή για τη διάθεσή του. Τα ενεργειακά οφέλη από την καύση είναι σχετικά μικρά αν τα συγκρίνουμε με το περιβαλλοντικό και επενδυτικό κόστος .

Σαν ανακεφαλαίωση μπορώ να πω ότι:

A) Η Υγειονομική Ταφή είναι η μέθοδος της ελεγχόμενης και οργανωμένης διάθεσης των αποβλήτων στο έδαφος, στους χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ). Ο σχεδιασμός, η τεχνολογία και οι τεχνικές διαχείρισης των ΧΥΤΑ έχουν βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και η εξέλιξη συνεχίζεται.

Πλεονεκτήματα της Υγειονομικής Ταφής: Κατάλληλη για ένα ευρύ φάσμα απορριμμάτων.

Σχετικά χαμηλό κόστος. Παραγωγή βιοαερίου, το οποίο είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Μειονεκτήματα: Μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, η γη μπορεί να είναι ακατάλληλη για κάποιες χρήσεις, λόγω ρύπανσης. Το βιοαέριο, αν δεν τεθεί υπό έλεγχο, μπορεί να είναι επικίνδυνο (πυρκαγιά, έκρηξη, συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου). Η ανάκτηση ενέργειας από ΧΥΤΑ δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική. Μπορεί να υπάρξει όχληση λόγω θορύβου, οσμών, διέλευσης οχημάτων και αισθητικής υποβάθμισης, όπως με όλες τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας απορριμμάτων.

B) Η καύση των αποβλήτων περιγράφεται ως μία μέθοδος για τη μετατροπή σύνθετων οργανικών ενώσεων σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Αυτό δεν σημαίνει βέβαια ότι η καύση δημιουργεί ή καταστρέφει την ύλη. Αλλάζει απλώς τη χημική σύνθεση και μεταβάλλει την τοξικότητα των καιγόμενων ουσιών.

Ακόμη κι αν υπήρχε τεχνικά η δυνατότητα της πλήρους ή τέλει καύσης, θα παρέμενε το πρόβλημα των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το οποίο αποτελεί το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου και το οποίο ευθύνεται για την αποσταθεροποίηση της ατμόσφαιρας του πλανήτη και τις εν εξελίξει κλιματικές αλλαγές. Οι διεργασίες καύσης παράγουν μεγάλες ποσότητες εξαιρετικά μικροσκοπικών σωματιδίων και κυρίως σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2,5 εκατομμυριοστά του μέτρου, τα οποία μπορούν να εισχωρήσουν βαθύτερα στους πνεύμονες και να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες. Δεκάδες έρευνες σε όλο τον κόσμο ενοχοποιούν τα μικροσωματίδια όχι μόνο για αύξηση της θνησιμότητας, αλλά και για σημαντικές μακροχρόνιες βλάβες στην υγεία. Οι έρευνες ενοχοποιούν κυρίως τα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια μικρής διαμέτρου (γνωστά και ως PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>1</sub>), που εισχωρούν βαθύτερα στο αναπνευστικό σύστημα. (Σαχινίδης Σ., 2008)

Μελέτες έδειξαν ότι για κάθε αύξηση 10 μg/m<sup>3</sup> των επιπέδων PM<sub>10</sub> έχουμε αύξηση των εισαγωγών σε νοσοκομεία ασθενών με άσθμα κατά 2%. Οι σημερινές τεχνολογίες αντιρρύπανσης των εργοστασίων καύσης μπορούν να συγκρατήσουν μόνο το 5% έως 30% των εισπνεύσιμων σωματιδίων (PM<sub>2.5</sub>), ενώ είναι τελείως άχρηστες στην περίπτωση των εξαιρετικά μικρών σωματιδίων (PM<sub>1</sub>). (Allsopp M, Costner P, Johnston P., 2001).

Παράλληλα με τις αέριες εκπομπές, κάθε εργοστάσιο καύσης παράγει επίσης στερεά τοξικά απόβλητα (με τη μορφή σκουριάς και τέφρας), καθώς και τοξικά υγρά απόβλητα, τα οποία βέβαια απαιτούν ειδική διαχείριση. Όσο πιο αναπτυγμένα συστήματα αντιρρύπανσης διαθέτει ένα εργοστάσιο καύσης αποβλήτων, τόσο περισσότερες τοξικές ουσίες συσσωρεύονται στα υγρά και στερεά απόβλητα και τόσο δυσκολότερη και ακριβότερη γίνεται η διαχείρισή τους. Η καύση δεν εξαφανίζει τα απόβλητα και βέβαια δεν εξαλείφει τους ρύπους. Η εφαρμογή αντιρρυπαντικής τεχνολογίας έχει απλώς ως αποτέλεσμα τη μεταφορά του προβλήματος από την ατμόσφαιρα στο έδαφος και τα νερά. Τα σύγχρονα εργοστάσια καύσης αποτελούν πανάκριβη και συχνά απαγορευτική επιλογή, σε σχέση με εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης. Η υψηλή επένδυση που απαιτείται έχει οδηγήσει συχνά πολλές δημοτικές αρχές σε οικονομική κρίση και στα πρόθυρα της χρεοκοπίας.

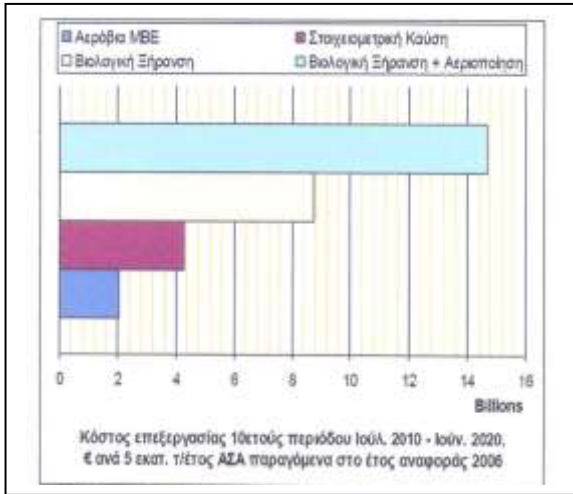
Γ) Όσο αφορά την κομποστοποίηση. Τα προγράμματα με διαλογή στην πηγή δίνουν πολύ καλής ποιότητας κομπόστ, όμως απαιτούν υψηλά κόστη συλλογής. Αντίθετα, ο μηχανικός διαχωρισμός των απορριμμάτων και παραγωγή κομπόστ απαιτεί πολύ υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας των μονάδων και παράγει πολύ χαμηλής ποιότητας κομπόστ. Έτσι, από πλευράς οικονομίας και ποιότητας του κομπόστ είναι πολύ πιο συμφέρον η κομποστοποίηση σε μικρή κλίμακα δηλ. σε επίπεδο κατοικίας ή συγκροτήματος κατοικιών, όπου λύνονται πολύ εύκολα τα προβλήματα ποιότητας και διάθεσης, αλλά όμως στην περίπτωση αυτή απαιτείται η ενεργή συμμετοχή των πολιτών. Άλλα μειονεκτήματα της κομποστοποίησης είναι η δέσμευση εκτάσεων γης και πιθανά προβλήματα δυσοσμίας, λόγω κακής λειτουργίας. Ο μηχανικός διαχωρισμός των απορριμμάτων είναι μία αρκετά πλήρης μέθοδος διαχείρισης των απορριμμάτων, η οποία έχει εφαρμοσθεί σε πολλές χώρες. Ο μηχανικός διαχωρισμός μπορεί να εφαρμοσθεί παράλληλα και συμπληρωματικά με την ανακύκλωση υλικών, για την παραγωγή κυρίως κομπόστ από το οργανικό μέρος των απορριμμάτων. Στα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής περιλαμβάνονται τα ακόλουθα: α) Συνολικά μπορεί να ανακτηθεί και αξιοποιηθεί το 40-70% κατά βάρος των οικιακών απορριμμάτων, β) Είναι η πιο παραγωγική μέθοδος σε βιομηχανική κλίμακα με την οποία διαχωρίζεται σχεδόν ολόκληρο το ζυμώσιμο κλάσμα των απορριμμάτων για την παραγωγή compost. Σαν μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής μπορούν να αναφερθούν όπως: α) Παράγονται περιορισμένης καθαρότητας (π.χ. κομπόστ) και αμφιβόλου εμπορευσιμότητας ανακτηθέντα υλικά (π.χ. RDF, χαρτί, πλαστικά).. β) Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα μηχανικής διαλογής που προσπαθούν με διάφορες δαπανηρές τεχνολογίες να εξαλείψουν τα προβλήματα που παρουσιάζονται.

Η μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων που οδηγούνται προς διάθεση, είτε για ταφή πρόκειται, είτε για καύση ή άλλη επεξεργασία, συνεπάγεται και ταυτόχρονη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα αυξάνει η διάρκεια ζωής των Χ.Υ.Τ.Α, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό τα τελευταία χρόνια δεδομένης της δυσκολίας ανεύρεσης χώρων για τέτοια χρήση. Ακόμη η εφαρμογή προγραμμάτων ανακύκλωσης δίνει τη δυνατότητα να απομακρύνονται σε μεγαλύτερο ποσοστό επικίνδυνα και τοξικά υλικά από τα απορρίμματα πριν την τελική διάθεσή τους. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων έγιναν και συνεχίζουν να γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης εναλλακτικών τεχνολογιών, όπως η πυρόλυση και η αεριοποίηση, που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στη χημική βιομηχανία. Όλες όμως οι προσπάθειες επεξεργασίας των ΑΣΑ με τις μεθόδους αυτές απέτυχαν και γι' αυτό το λόγο η προσπάθεια σήμερα επικεντρώνεται στην προεπεξεργασία των ΑΣΑ με στόχο την αύξηση του θερμικού τους περιεχομένου και τη σταθεροποίηση της ποιότητάς τους έτσι ώστε να μειωθούν τα τεχνικά προβλήματα.

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά στοιχεία η καύση είναι δαπανηρή τεχνολογία σε σχέση με την αερόβια μηχανική – βιολογική επεξεργασία, ακόμα και εάν ληφθούν υπόψη τα έσοδα από τη θερμική αξιοποίηση των ΑΣΑ. Η καύση μπορεί να συνδυαστεί με μονάδες αερόβιας ή αναερόβιας μηχανικής – βιολογικής επεξεργασίας για θερμική αξιοποίηση του τυχόν παραγόμενου RDF. Μπορεί να συνδυαστεί και με μονάδες βιολογικής ξήρανσης για αξιοποίηση του SRF, αν και στην περίπτωση αυτή η απ' ευθείας καύση των ΑΣΑ ενέχει υποπολλαπλάσιο κόστος και δεν δημιουργεί πρόσθετα περιβαλλοντικά προβλήματα. Από το διάγραμμα

(εικόνα 3) το κόστος της βιολογικής ξήρανσης είναι σημαντικά υψηλότερο από αυτό της αερόβιας μηχανικής – βιολογικής επεξεργασίας, αλλά και της στοιχειομετρικής καύσης. Η διαφορά αυτή οφείλεται τόσο στη υψηλό κόστος της βιολογικής ξήρανσης όσο και στην ανάγκη επεξεργασίας (σε περίπτωση χρήσης της) του συνόλου των

ΑΣΑ από το 2010 προκειμένου να τηρηθούν οι περιορισμένες αρχικές απαιτήσεις μείωσης των οργανικών.



Εικόνα 3 .Ενδεικτικό κόστος εναλλακτικών τεχνολογιών για επεξεργασία 5 εκατ.τ/έτος ΑΣΑ παραγωγής έτους 2006 κατά την δεκαετία 2010-2020.

Από το διάγραμμα ( εικόνα 3) αυτό προκύπτει , η μέση ετήσια διαφορά κόστους είναι της τάξης των 640 εκατ. € ετησίως στην περίπτωση καθολικής χρήσης της βιολογικής ξήρανσης (δίχως να λαμβάνεται υπόψη το σημαντικό κόστος μεταφοράς και διάθεσης σε ΧΥΤΑ του SRF) και 1,24 δισ. € ετησίως στην περίπτωση πλήρους αξιοποίησης του SRF, είτε σε μονάδες αεριοποίησης, είτε σε μονάδες στοιχειομετρικής καύσης. Αξίζει να αναφέρουμε σαν τελικό συμπέρασμα ότι σήμερα στην Ελλάδα, τα κόστη για την ταφή των απορριμμάτων είναι 9-30 €/τόνο (περιλαμβανομένων των φόρων), γεγονός που σημαίνει ότι οποιοδήποτε επιπλέον κόστος θα έπρεπε να περάσει υπό τη μορφή αυξημένων δημοτικών τελών στους πολίτες. Στην περίπτωση της ανακύκλωσης αντίθετα, έχει επιλεγεί η μετακύληση του κόστους στο επίπεδο των προϊόντων και των χρηστών με τη θέσπιση ειδικών τελών (π.χ. για τη συσκευασία), καθιστώντας τη διαχείριση του όλου εγχειρήματος πιο αποτελεσματική. Στο επιχείρημα της βιομηχανίας καύσης ότι και η ανακύκλωση και κομποστοποίηση των απορριμμάτων είναι ακριβές διαδικασίες, η απάντηση είναι πως τουλάχιστον αυτές συνοδεύονται από προφανή περιβαλλοντικά και ενεργειακά πλεονεκτήματα και, συνεπώς, σωστά η κοινωνία πληρώνει γι' αυτήν την προστιθέμενη αξία. Στις διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, τα κόστη για την ταφή των απορριμμάτων κυμαίνονται από 9 έως 164 €/τόνο (με υψηλότερες τιμές εκεί όπου η ταφή ουσιαστικά εγκαταλείπεται ως μέθοδος τελικής διάθεσης), ενώ για την κομποστοποίηση, από 16 έως 189 €/τόνο (με συνήθεις τιμές περί τα 50 €/τόνο). (Hogg *et al* .,2002). (Greenpeace .,2001)

Σύμφωνα με την μελέτη μου και τα στοιχεία του πίνακα ( Σκορδύλης Α., Κομνίτσας Κ.,2004) προκύπτει ο πίνακας 1 λαμβάνοντας υπόψη και το βάρος των απορριμμάτων 54643 τ/χρόνο.

Μέθοδος Διάθεσης	Καταλαμβανόμενος όγκος ( $m^3$ )	Υγρά απόβλητα ( $m^3$ )	Αέρια Απόβλητα ( $m^3$ )	Κόστος * €
Υγεινομική ταφή	68303	19125	6830375	1311432
Καύση	19125	32785	$2,73 \cdot 10^8$	3934000
Μηχανική διαλογή + κομποστοποίηση	24042	6557	6830375	2732150

Πίνακας 1 .Παρουσίαση αποτελεσμάτων των τριών διαχειριστικών σεναρίων.

\*Στο κόστος περιλαμβάνεται και το κόστος ΧΥΤ υπολειμμάτων. Θεωρείται ότι οι εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν τη βέλτιστη υπάρχουσα τεχνολογία αντιρρόπησης και πληρούν τις πρόσφατες διατάξεις ΕΕ για περιβαλλοντική προστασία

**Συμπεράσματα.** Σύμφωνα με τον πίνακα 1 συμπεραίνουμε ότι : Η Υγειονομική ταφή είναι λιγότερο επιβλαβής περιβαλλοντικά. Καταλαμβάνει μεγάλο όγκο. Η καύση είναι πολύ ακριβή και λόγω το μεγάλο κόστος της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Παράταση ζωής του χώρου Υγειονομικής Ταφής είναι μεγάλη γιατί ο όγκος των απορριμμάτων μειώνεται δραστικά. Το ίδιο ισχύει και για την κομποστοποίηση που επιβαρύνεται οικονομικά λόγω της ακριβής μηχανικής τεχνολογίας διαλογής. Η επιτυχία των προγραμμάτων ανακύκλωσης (ιδιαίτερα όταν εφαρμόζεται η διαλογή στην πηγή) βελτιώνει κατά πολύ την ποιότητα των προς κομποστοποίηση απορριμμάτων και μειώνει το συνολικό κόστος της μηχανικής επεξεργασίας της κομποστοποίησης.

## Βιβλιογραφία

- Βουδρισλής Ν. Το πρόβλημα των απορριμμάτων και οι λύσεις του , σελ.27, σχ. 29Χ21 . Έκδοση 1998.
- Γιδαράκος Ευάγγελος .Σημειώσεις για την κομποστοποίηση .Διαχείριση και επεξεργασία αστικών απορριμμάτων Χανιά 2007.
- Λυμπεράτος και Τσιλιγιάννης .Διαχείριση στερεών αποβλήτων , σελ 84-85,98 .2007
- Μάρμολος Γ .Μηχανικός Διαχωρισμός .Κεφ 4 .2007.
- Οικονομόπουλος Α. Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων,Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και Ορθολογικές Λύσεις, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης . 2007.
- Σαχινίδης Σ. Συνέδριο Ένωσης Ελλήνων Φυσικών Καβάλα. Μάρτης 2008.  
([http://www.eef.gr/app/webroot/CD/search\\_page.php?srch\\_speaker=142&sub\\_search=1](http://www.eef.gr/app/webroot/CD/search_page.php?srch_speaker=142&sub_search=1))
- Σκορδίλης Α., Κομνίτσας Κ. Οικιακά και άλλα μη επικίνδυνα απόβλητα. Τόμος Α Πάτρα 2004.
- Allsopp M, Costner P, Johnston P, *Incineration and human health. State of knowledge of the impacts of waste incinerators on human health.* Greenpeace Research Laboratories. University of Exeter, UK. 2001
- Hogg .*Costs for Municipal Waste Management in the EU.* Final Report to DG Environment,European Commission. Eunomia Research & Consulting.2002
- Greenpeace.*The Construction Cost of Municipal Waste Incinerators Counter Measures against Dioxin. The Entire Picture of Domestic Expenditure and Its Trend (Interim Report).* Greenpeace Japan & Greenpeace International, 21-5-2001.  
[www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)
- IPCC. *Guidelines for National GHG Inventories.* Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996