



**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

Η/Γ  
604

**“ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:**  
**Σπουδαστής:**

**Π. ΣΙΝΙΟΡΟΣ**  
**Δ. ΚΟΣΜΙΔΗΣ**

**A.M. 29478**

**Αθήνα**

**Οκτώβριος - 2011**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου για την υπομονή που επέδειξαν, την καθοδήγησή τους και την συνεργασία μας καθ'όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Επίσης, πάνω απ'όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη στήριξη και την αμέριστη ηθική συμπαράστασή τους.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες .....	i
Περιεχόμενα .....	ii
Λίστα σχημάτων.....	v
Λίστα πινάκων.....	vi
Λίστα γραφημάτων .....	vii
Summary .....	viii
Πρόλογος .....	1
<b>1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Απορρίμματα”.....</b>	<b>1</b>
1.1 Συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων .....	1
1.2 Είδη απορριμμάτων .....	5
1.2.1 Σύνθεση οικιακών απορριμμάτων .....	6
<b>2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Υγειονομική Ταφή Απορριμμάτων” .....</b>	<b>9</b>
2.1 Αναερόβια χώνευση .....	9
2.2 ΧΥΤΑ – Ορισμός – Βασικές διεργασίες .....	10
2.2.1 Επιλογή περιοχής για την κατασκευή χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων .....	11
2.2.2 Μέθοδοι υγειονομικής ταφής .....	18
2.2.2.1 Επιφανειακή μέθοδος.....	18
2.2.2.2 Μέθοδος διαδοχικών τάφρων .....	19
2.2.2.3 Μέθοδος πλήρωσης κοιλοτήτων του εδάφους .....	19
2.2.3 Έργα υποδομής σε ΧΥΤΑ .....	21
2.2.4 Στεγανοποίηση ΧΥΤΑ .....	22
2.2.4.1 Φυσική μέθοδος στεγανοποίησης .....	23
2.2.4.2 Τεχνητή μέθοδος στεγανοποίησης .....	23
2.2.5 Σύνθεση και ποσοτικός προσδιορισμός στραγγισμάτων .....	24
2.2.6 Συστήματα συλλογής στραγγισμάτων .....	28
2.2.7 Τα αέρια που παράγονται στους ΧΥΤΑ .....	32
2.2.8 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις βιοαερίου .....	36
2.2.9 Εκτίμηση παραγωγής βιοαερίου και στραγγισμάτων σε ΧΥΤΑ .....	36
2.2.10 Σύστημα συλλογής βιοαερίου.....	37
2.2.11 Διαστασιολόγηση των ΧΥΤΑ .....	41
2.2.12 Λειτουργία ενός ΧΥΤΑ.....	42
2.3 Μέθοδοι επεξεργασίας των στραγγισμάτων .....	46
2.3.1.1 Βιολογική επεξεργασία .....	46
2.3.1.2 Συνδυασμός χημικής, φυσικής και βιολογικής επεξεργασίας .....	46
2.3.1.3 Προσρόφηση με ενεργό άνθρακα .....	47
2.3.1.4 Κροκίδωση - Καθίζηση.....	47
2.3.1.5 Καταλυτική οξείδωση .....	47
2.3.1.6 Ξήρανση και εξάτμιση .....	48
2.3.1.7 Καθαρισμός με αντίστροφη όσμωση.....	48
2.3.1.8 Καύση.....	49
2.3.1.9 Προεπεξεργασία και επαναφορά των στραγγισμάτων .....	49
2.4 Μέθοδοι επεξεργασίας του βιοαερίου .....	50
2.5 Σύστημα παρακολούθησης ΧΥΤΑ (monitoring system) .....	51
2.6 Σχεδιασμός μελλοντικής αποκατάστασης ΧΥΤΑ.....	53
2.7 Πλέονεκτήματα - Μειονεκτήματα.....	58
<b>3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο “Λιπασματοποίηση” .....</b>	<b>59</b>
3.1 Εισαγωγή.....	59
3.2 Composting: Μία φυσική βιολογική διαδικασία .....	59



3.3	Βασικοί παράγοντες του Composting .....	60
3.4	Ιστορική εξέλιξη του Composting.....	61
3.5	Μεθοδολογία επεξεργασίας και ζύμωσης οικιακών απορριμμάτων.....	62
3.5.1	Υποδοχή σκουπιδιών .....	62
3.5.2	Τεμαχισμός σκουπιδιών .....	62
3.5.3	Διαχωρισμός μεταλλικών αντικειμένων.....	63
3.5.4	Διαχωρισμός πλαστικών.....	63
3.5.5	Προσθήκη λάσπης - Ομογενοποίηση.....	64
3.5.6	Ζύμωση .....	64
3.5.7	Ωρίμανση.....	65
3.5.8	Ραφινάρισμα.....	65
3.5.9	Διάθεση .....	65
3.6	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Composting .....	66
3.7	Θετικά και αρνητικά στοιχεία του Composting .....	67
3.8	Κριτήρια επιλογής του Composting για τη διάθεση των οικιακών απορριμμάτων... ..	67
3.9	Εφαρμογή του Composting στη λάσπη του βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων των πόλεων.....	68
3.10	Οικονομική ανάλυση.....	68
<b>4<sup>ο</sup></b>	<b>Κεφάλαιο “Θερμική Επεξεργασία Απορριμμάτων” .....</b>	<b>70</b>
4.1	Εισαγωγή.....	70
4.2	Αποτέφρωση – Καύση.....	71
4.2.1	Συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης.....	81
4.2.2	Διάγραμμα ροής.....	89
4.3	Πυρόλυση.....	90
4.4	Αεριοποίηση.....	96
4.5	Τεχνική πλάσματος.....	100
4.6	Καινοτόμες θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας .....	102
4.6.1	Θερμόλυση .....	103
4.6.2	Μέθοδος Siemens .....	103
4.6.3	Μέθοδος Thermoselect.....	104
4.6.4	Μέθοδος Noell.....	106
4.6.5	Μέθοδος EDDITH.....	106
4.6.6	Μέθοδος Von Roll .....	107
4.6.6.1	Διεργασία RCP.....	108
4.6.7	Μέθοδος TPS.....	108
4.6.8	Μέθοδος NKK.....	109
4.6.9	Μέθοδος PKA.....	109
4.6.10	Μέθοδος P.I.T. Pyroflam.....	110
4.6.11	Μέθοδος Nexus.....	111
4.6.12	Μέθοδος Andro Torrex .....	111
4.6.13	Μέθοδος WGT.....	112
4.7	Εκπομές καινοτόμων τεχνολογιών.....	112
<b>5<sup>ο</sup></b>	<b>Κεφάλαιο “Η Βιομάζα ως Πηγή Ενέργειας.....”</b>	<b>114</b>
5.1	Εισαγωγή.....	114
5.2	Παγκόσμιο και Ελληνικό δυναμικό .....	115
5.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την ενεργειακή αξιοποίηση της Βιομάζας .....	116
5.4	Εφαρμογές από την ενεργειακή αξιοποίηση της Βιομάζας.....	117
5.4.1	Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης – ψύξης και ενέργειας σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες.....	118
5.4.2	Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών .....	119
5.4.3	Θέρμανση θερμοκηπίων.....	119
5.4.4	Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή Βιομάζας.....	119



5.4.5	Παραγωγή υγρών καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή Βιομάζας .....	120
5.4.5.1	Παραγωγή Βιοντίζελ από μικροοργανισμούς .....	120
5.4.6	Ενεργειακές καλλιέργειες .....	122
5.4.7	Βιοαέριο .....	122
5.4.8	Παραγωγή οργανοχημικών λιπασμάτων από πτηνοτροφικά απόβλητα .....	123
5.5	Προοπτικές της Βιομάζας .....	123
<b>6°</b>	<b>Κεφάλαιο “Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις” .....</b>	<b>125</b>
6.1	Αποτέφρωση .....	125
6.1.1	Αέρια .....	125
6.1.1.1	Ποιότητα αέριων εκπομπών .....	128
6.1.2	Υγρά .....	132
6.1.3	Στερεά .....	133
6.1.3.1	Ποιότητα στερεών υπολειμμάτων .....	133
6.1.4	Έλεγχος εκπομπών .....	134
6.2	Πυρόλυση - Αεριοποίηση .....	140
6.3	Κομποστοποίηση .....	141
6.4	Αναερόβια χώνευση .....	145
6.5	Μηχανική επεξεργασία .....	147
<b>7°</b>	<b>Κεφάλαιο “Εφαρμογή Μεθόδων Ενεργειακής Αξιοποίησης Αποβλήτων στην Ελλάδα” .....</b>	<b>150</b>
7.1	Εισαγωγή .....	150
7.2	Στρατηγικοί στόχοι .....	150
7.3	Διαθέσιμες λύσεις διαχείρισης απορριμμάτων .....	150
7.4	Προτεινόμενη λύση διαχείρισης απορριμμάτων για την Αττική και άλλα αστικά κέντρα .....	151
7.5	Συμπεράσματα - Προοπτικές .....	152
	<b>Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα .....</b>	<b>153</b>
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>154</b>

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1.....	3
Σχήμα 2.1.....	9
Σχήμα 2.2.....	18
Σχήμα 2.3.....	19
Σχήμα 2.4.....	19
Σχήμα 2.5.....	23
Σχήμα 2.6.....	26
Σχήμα 2.7.....	28
Σχήμα 2.8.....	29
Σχήμα 2.9.....	30
Σχήμα 2.10.....	30
Σχήμα 2.11.....	32
Σχήμα 2.12.....	39
Σχήμα 2.13.....	39
Σχήμα 2.14.....	40
Σχήμα 2.15.....	48
Σχήμα 3.1.....	63
Σχήμα 4.1.....	77
Σχήμα 4.2.....	78
Σχήμα 4.3.....	83
Σχήμα 4.4.....	84
Σχήμα 4.5.....	84
Σχήμα 4.6.....	86
Σχήμα 4.7.....	87
Σχήμα 4.8.....	88
Σχήμα 4.9.....	90
Σχήμα 4.10.....	91
Σχήμα 4.11.....	95
Σχήμα 4.12.....	96
Σχήμα 4.13.....	96
Σχήμα 4.14.....	99
Σχήμα 4.15.....	100
Σχήμα 4.16.....	101
Σχήμα 4.17.....	104
Σχήμα 4.18.....	105
Σχήμα 4.19.....	106
Σχήμα 4.20.....	107
Σχήμα 4.21.....	110
Σχήμα 4.22.....	111
Σχήμα 5.1.....	118
Σχήμα 5.2.....	119
Σχήμα 5.3.....	120
Σχήμα 6.1.....	125



## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 .....	7
Πίνακας 1.2 .....	8
Πίνακας 2.1 .....	15
Πίνακας 2.2 .....	16
Πίνακας 2.3 .....	16
Πίνακας 2.4 .....	16
Πίνακας 2.5 .....	17
Πίνακας 2.6 .....	18
Πίνακας 2.7 .....	24
Πίνακας 2.8 .....	25
Πίνακας 2.9 .....	25
Πίνακας 2.10.....	26
Πίνακας 2.11.....	33
Πίνακας 2.12.....	33
Πίνακας 2.13.....	34
Πίνακας 2.14.....	52
Πίνακας 2.15.....	53
Πίνακας 4.1 .....	73
Πίνακας 4.2 .....	93
Πίνακας 4.3 .....	94
Πίνακας 4.4 .....	95
Πίνακας 4.5 .....	113
Πίνακας 5.1 .....	124
Πίνακας 6.1 .....	129
Πίνακας 6.2 .....	129
Πίνακας 6.3 .....	130
Πίνακας 6.4 .....	131
Πίνακας 6.5 .....	135
Πίνακας 6.6 .....	136
Πίνακας 6.7 .....	136
Πίνακας 6.8 .....	136
Πίνακας 6.9 .....	138
Πίνακας 6.10.....	139
Πίνακας 6.11.....	141
Πίνακας 6.12.....	143
Πίνακας 6.13.....	144
Πίνακας 6.14.....	144

## ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1.1 .....	8
Γράφημα 2.1 .....	14
Γράφημα 2.2 .....	15
Γράφημα 2.3 .....	27
Γράφημα 2.4 .....	31
Γράφημα 2.5 .....	35



## SUMMARY

Recent events in the world have placed an increased awareness on the need to provide alternative sources of fuel and energy. Not only is the availability of fossil fuel in question, but fossil fuels are also known to disrupt the natural ecological balance of the planet. Within the past twenty-one years there have been two catastrophic oil spills in the United States alone that are disrupting the ecology both in local areas as well as around the globe. The Exxon Valdez Oil Spill of 1989 along with the BP Oil Spill in the Gulf of Mexico in April of 2010 has severely disrupted a delicate ecological balance and may continue to do so for years to come. While these two spills are significant, they are by no means among the worst on a global level. Taking into consideration that burning fossil fuels also promotes a greenhouse effect in the ozone, it is understandable that scientists around the world are exploring biomass (which is a renewable organic energy) as a safer alternative.

Biomass can be understood as regenerative (renewable) organic material that can be used to produce energy. These sources include aquatic or terrestrial vegetation, residues from forestry or agriculture, animal waste and municipal waste. In laymen's terms, that means biomass is manufactured from crops, wood, manure, land fill gasses and alcohol fuels. Ethanol is a prime example of biomass alcohol fuel. Producing fuel and energy from biomass is a complex procedure but the principle behind it corresponds directly to photosynthesis. This is a chemical reaction in which carbon dioxide and water are transformed into oxygen gas and glucose through the input of energy from the sun. Plants become autotrophs because they use glucose as a source of energy rather than fossil fuels.

Biomass is basically self-renewing energy. The chemical equation for photosynthesis is notated as  $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ . It shows through scientific notation that carbon dioxide plus water are converted into glucose and oxygen gas through the input of energy. With this in mind, harnessing that natural energy has become the focus of scientists in an effort to reduce the dependence on fossil fuels and find a safer and cleaner alternative source of energy.

One of the main benefits of biomass fuel over fossil fuel can be best understood in terms of greenhouse gasses. While both biomass fuels and fossil fuels release about the same amount of carbon dioxide into the atmosphere when burned, there is a distinct difference in the effect they each have on the atmosphere. Burning fossil fuel releases carbon dioxide that was captured during photosynthesis literally millions of years ago. As it is burned, carbon dioxide is released as a new greenhouse gas, a 'new' carbon dioxide. Biomass fuel, on the other hand, releases carbon dioxide that was recently captured during photosynthesis and it tends to equal itself out. Nothing 'new' is being sent into the atmosphere, thus greatly reducing the greenhouse gas effect on the ozone layer.

Part of the big picture involves the Middle East and other foreign oil producing nations. With such dependence on petroleum products for fuel, there is always a tension between the need for petroleum and foreign sanctions when there is a need to sanction one or more of those countries. As biomass fuel becomes more available and as such, the dependence on outside sources of fossil fuel will become much less necessary.

As those two major oil spills in the United States have evidenced, there is a tremendous need to find alternative sources of fuel. Biomass is ideal because it is renewable. There is no need to drill for it and transporting it does not provide the same risk factor that is involved in transporting fossil fuel. The danger to the ecology is significantly reduced even in the event that there should be a spill. The impact would be immediate but not over a period of hundreds of years. Live video feed is being broadcasted from the Louisiana coastline to show the sludge that is washing ashore due to the most recent (2010) spill; as a result, it could be centuries before vegetation and living creatures are able to inhabit those shorelines once again. A biomass spill would not have that kind of far-reaching and long-term consequences.

There is a wide array of products that are currently dependent on fossil fuels. Chemicals, plastics and an assortment of products like Vaseline are dependent on petroleum. Many of these products have become a staple of contemporary lifestyles and can easily be replaced by the same or similar products being manufactured from biomass. Some products that can be manufactured from biomass include such things as antifreeze, plastics, acids for photographic film, oil, wood adhesives, foam insulation, glues, and even toothpaste gel or artificial sweeteners. Scientific research is currently ongoing to provide cost effective methods of providing these ecologically preferable products to consumers.

One concern that many people have is where the land will come from that is used to produce crops for biomass. It has been a real concern that agricultural land which is needed for producing foods for human or animal consumption will be taken over. This is not the case because many crops which are otherwise inedible can be used in the production of biomass fuels. The added benefit to this is that as crops are harvested for use in biomass, they can be immediately replanted. Because of this, biomass can be harvest yearly instead of having to wait millions of years for the fossil fuels that we currently use.

Biomass provides a cleaner and renewable source of energy as well as the ability to reduce dependence on oil. More and more uses are being discovered as research continues in this amazing field with the current emphasis being placed on the fact that Biomass is not only affordable but is also a safer alternative fuel. With this in mind, new bio fuels will become more easily available in the future which in turn provides a solution to some of the current ecological and atmospheric concerns.



**Keywords:** Biomass, Biogas, Energy Crops, Thermal Waste Treatment, Plasma Technology, Waste Management, Incineration, Pyrolysis, Gasification, Mechanical – Biological Treatment

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ανέκαθεν ο άνθρωπος είχε απόλυτη εξάρτηση από τις ενεργειακές του πηγές. Στις μέρες μας αυτή η εξάρτηση έχει μεγιστοποιηθεί αφού η ενεργειακή επάρκεια μιας χώρας είναι αναγκαία συνθήκη για την ευημερία της. Πλέον η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών γίνεται με αποδοτικό τρόπο ως προς τους φυσικούς πόρους αλλά και με φιλική διάθεση ως προς το περιβάλλον. Η βιώσιμη ανάπτυξη είναι ένα από τα μεγαλύτερα στοιχεία που καλείται να κερδίσει ο σύγχρονος άνθρωπος.

Στις μέρες μας, ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα, το οποίο σχετίζεται με τη συνεχή αύξηση του πληθυσμού και με τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, είναι αυτό της διάθεσης των απορριμμάτων. Καθημερινά παράγονται τεράστιες ποσότητες σκουπιδιών ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Βιομηχανία και γεωργία, εμπόριο και υπηρεσίες και ο οικιακός τομέας συμβάλλουν στην συγκέντρωση απορριμμάτων τα οποία πρέπει να εναποτεθούν με ασφαλή τρόπο για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Αρκεί να αναφερθεί ότι στην περιοχή της Αττικής παράγονται κάθε μέρα 7300 τόνοι σκουπιδιών. Αυτό το ποσό αντιστοιχεί σε 1,5 κιλό απορρίμματα ανά κάτοικο ανά ημέρα ή σε μισό τόνο ανά κάτοικο ανά έτος και αποτελεί σοβαρότατο ζήτημα που απαιτεί έξυπνες λύσεις και σωστές αποφάσεις.

Μέχρι τώρα η κυρίαρχη μέθοδος διάθεσης των απορριμμάτων ήταν αυτή της υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ). Η παραγωγή μεθανίου (αέριο του θερμοκηπίου), η διαρροή βαρέων μετάλλων και διοξινών στον υδροφόρο ορίζοντα και οι απαιτήσεις σε μεγάλες εκτάσεις για τα ΧΥΤΑ οδήγησαν σταδιακά στην απαξίωση τους και στην προώθηση νέων μεθόδων επεξεργασίας.

Αναμφισβήτητα, η ανακύκλωση αποτελεί ένα πολύ σημαντικό και αναντικατάστατο μέρος των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας απορριμμάτων. Εκεί ανακτώνται χρήσιμα και ακριβά υλικά τα οποία επαναχρησιμοποιούνται. Εκτός αυτού η ανάκτηση μέρους των απορριμμάτων οδηγεί και στην ελάττωση του όγκου που καταλήγει στα ΧΥΤΑ. Για τους παραπάνω λόγους δίνεται έμφαση στη συγκεκριμένη τεχνική. Η Ελλάδα βρίσκεται σε πρώιμα στάδια όσο αφορά στην ανακύκλωση ενώ το 90% σχεδόν των παραγόμενων απορριμμάτων καταλήγουν σε ΧΥΤΑ και χωματερές.

Στην Ευρώπη παράλληλα με την ανακύκλωση αναπτύσσονται και οι θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας απορριμμάτων προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι θερμικές μέθοδοι έχουν διττό στόχο. Από τη μία συντελούν στην επεξεργασία μέρους των παραγόμενων απορριμμάτων και από την άλλη προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Συνδράμουν έτσι και στο ζήτημα των απορριμμάτων και στο ενεργειακό ζήτημα. Η ιδιότητα αυτή των θερμικών μεθόδων έχει γίνει κατανοητή από διάφορους φορείς όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση η οποία προωθεί αυτές τις τεχνολογίες έναντι των συμβατικών ΧΥΤΑ.

Στις θερμικές μεθόδους εντάσσονται η καύση και η αεριοποίηση, οι οποίες λειτουργούν ανταγωνιστικά. Μέχρι τώρα η καύση προτιμάται από την αεριοποίηση αφού είναι πιο απλή μέθοδος από την αεριοποίηση και το πρόβλημα των αερίων εκπομπών έχει επιλυθεί με τη χρήση σύγχρονων συστημάτων καθαρισμού. Η αεριοποίηση είναι περιβαλλοντικά πιο φιλική μέθοδος από την καύση. Από τα απορρίμματα παράγεται το αέριο σύνθεσης αποτελούμενο κυρίως από CO και H<sub>2</sub>, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για



την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (συστήματα καύσης, κυψέλες υδρογόνου) είτε για την παραγωγή χημικών (μεθανόλη, diesel). Η αεριοποίηση πλάσματος προσφέρει επιπλέον υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και για αυτό, το υπόλειμμα της διεργασίας της αεριοποίησης είναι ένα αδρανές υαλοποιημένο υλικό το οποίο μπορεί να εναποτεθεί με ασφάλεια στο περιβάλλον ή ακόμα και υπό συνθήκες χρησιμοποιηθεί ως κατασκευαστικό υλικό. Βασικό μειονέκτημα της αεριοποίησης πλάσματος είναι η κατανάλωση υψηλής ποιότητας ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια) για την διεξαγωγή των επιτελούμενων αντιδράσεων

Τέλος, αναφορά πρέπει να γίνει και στις βιολογικού τύπου διεργασίες (αερόβια – αναερόβια ζύμωση, κομποστοποίηση). Οι βιολογικές διεργασίες χρησιμοποιούν το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των απορριμμάτων για παραγωγή ενέργειας. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι απαιτούν αυστηρό διαχωρισμό των αποβλήτων προς επεξεργασία.

**Λέξεις κλειδιά:** Βιομάζα, Βιοαέριο, Ενεργειακές Καλλιέργειες, Θερμική Επεξεργασία Απορριμμάτων, Τεχνολογία Πλάσματος, Διαχείριση Απορριμμάτων, Καύση, Πυρόλυση, Αεριοποίηση, Μηχανική – Βιολογική Επεξεργασία

# 1<sup>Ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ”

### 1.1 Συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων

Τις τελευταίες δεκαετίες, η συγκέντρωση του πληθυσμού σε μεγάλα αστικά κέντρα και η παράλληλη εκβιομηχάνιση, είχαν σαν συνέπεια την αύξηση των παραγόμενων απορριμμάτων και την ανάγκη οργάνωσης της διαδικασίας απόρριψής τους. Έτσι σταδιακά άρχισαν με την παρέμβαση της πολιτείας να διατυπώνονται και να εφαρμόζονται κάποιοι κανόνες διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, ενώ ιδιαίτερα σε ότι αφορά τα απόβλητα της παραγωγικής διαδικασίας, επιδιώκεται όλο και περισσότερο η ανακύκλωσή τους. Η παρέμβαση αυτή της πολιτείας ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '60. Κύριο γνώρισμα της περιόδου αυτής είναι η έλλειψη σαφούς επίδρασης της κρατικής και δημοτικής παρέμβασης στην υπάρχουσα κατάσταση της διαχείρισης των αποβλήτων, που θα οδηγούσε στον επανακαθορισμό τους σε μια προσπάθεια βελτίωσης της κατάστασης.

Μόλις στα τέλη της δεκαετίας του '60 η κοινωνία άρχισε να ενδιαφέρεται σοβαρά και να παίρνει υπόψη της τα αποτελέσματα της παρέμβασής της στον τομέα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, προσπαθώντας να βελτιστοποιήσει τη δράση της. Βασικά αιτία της αλλαγής αυτής είναι η αυξανόμενη ποσότητα των αποβλήτων, η αλλαγή της φυσικής τους σύνθεσης, με κύριο γνώρισμα την αύξηση του χαρτιού και του πλαστικού και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον.

Όλα αυτά τα στοιχεία οδήγησαν σε μια ριζική ανατροπή της, ήδη διαταραγμένης από την προηγούμενη περίοδο, οικολογικής ισορροπίας, που εκφράζεται κύρια από την δυσκολία του φυσικού περιβάλλοντος να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στο ρόλο του σαν τροφοδότη υλικών (προοπτική εξαντλησιμότητας πολλών πρώτων υλών και ενεργειακών πόρων), και αποδέκτη αποβλήτων (αδυναμία αφομοίωσης των τεράστιων ποσοτήτων απορριμμάτων, αυξανόμενο ποσοστό τοξικών και μη αποικοδομήσιμων υλικών).

Η διαχείριση των απορριμμάτων βασίζεται σε 3 στοιχεία:

- 1) στη διατύπωση γενικού σχεδίου,
- 2) στο ρυθμιστικό σύστημα και στο σύστημα ελέγχου και
- 3) στη διαθεσιμότητα κατάλληλων τεχνικών και εγκαταστάσεων διαχείρισης και διάθεσης, με σκοπό να υλοποιηθεί η επιλεγμένη πορεία για την διαχείριση των απορριμμάτων.



Οι βασικές αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται ο σχεδιασμός της διαχείρισης των απορριμμάτων στη σύγχρονη κοινωνία είναι:

- Μείωση απορριμμάτων στην πηγή τους,
- Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων,
- Ανάκτηση ενέργειας από ακατέργαστα υλικά,
- Διαχείριση απορριμμάτων και
- Διάθεση των υπολειμμάτων από την χρήση και άλλων αναπόφευκτων απορριμμάτων.

Ένας γενικός κύκλος διαχείρισης μπορεί να περιγραφεί, όπως στο Σχήμα 1.1, παρουσιάζοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των διάφορων επιλογών. Ο κύκλος ξεκινά από την παραγωγή βιομηχανικών, οικιακών, αστικών απορριμμάτων κ.λπ.

Ακολουθώντας την παραπάνω ιεραρχία η πρώτη προτεραιότητα είναι να μειωθεί η παραγωγή απορριμμάτων στην πηγή τους και να υλοποιηθεί κατάλληλος διαχωρισμός και τακτικές ανακύκλωσης. Τα αναπόφευκτα απορρίμματα συσκευάζονται, συλλέγονται και μεταφέρονται είτε σε προσωρινές εγκαταστάσεις αποθήκευσης, είτε κατευθείαν στους χώρους ανάκτησης, διαχείρισης και διάθεσης. Η διαχείριση των απορριμμάτων εξυπηρετεί 2 σκοπούς:

- a) την ανάκτηση υλικών από το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων και
- b) την μετατροπή των απορριμμάτων σε μια μορφή που επιτρέπει την τελική διάθεσή τους με ασφαλή και σωστό τρόπο.

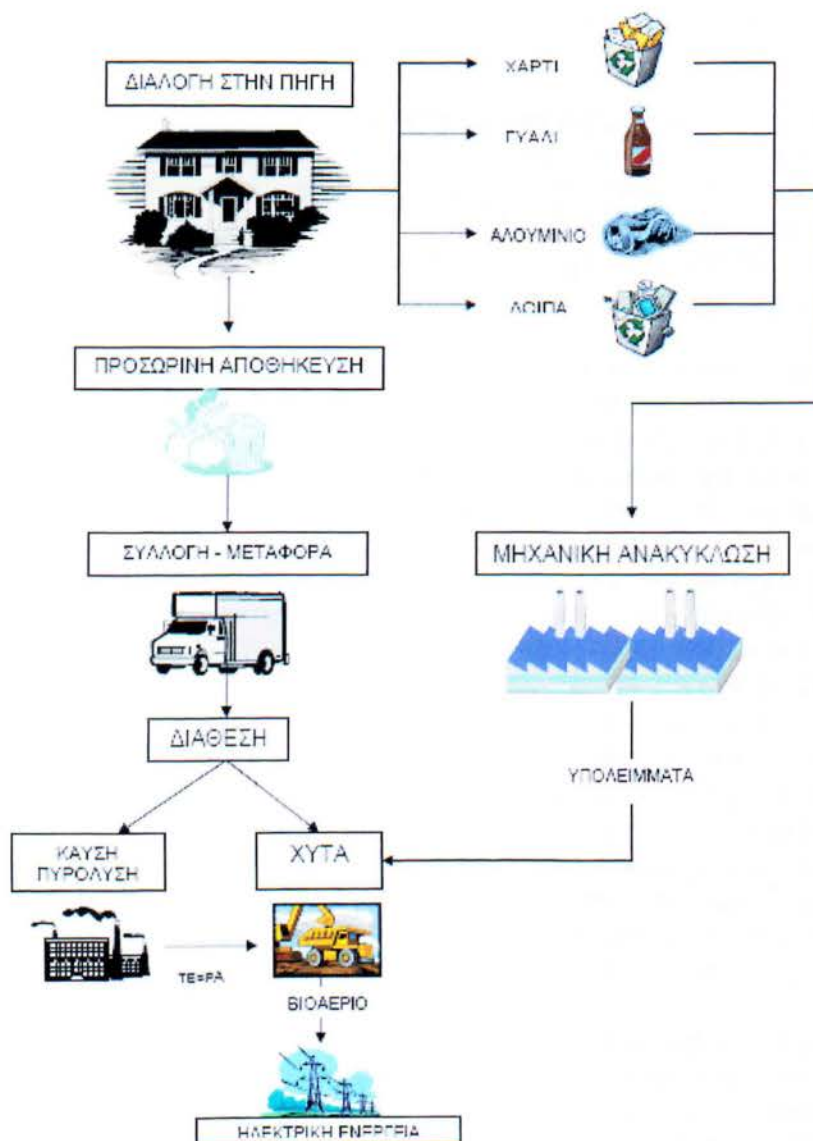
Ακόμα και στο σημείο της τελικής διάθεσης ο αντικειμενικός σκοπός είναι η εξάλειψη της όποιας πιθανότητας μόλυνσης του περιβάλλοντος.

Υπάρχουν 2 τρόποι να αντιμετωπιστούν οι μεγάλες ποσότητες στερεών απορριμμάτων που παράγουμε: (1) η διαχείριση απορριμμάτων και (2) η παρεμπόδιση της μόλυνσης. Η διαχείριση απορριμμάτων είναι μια μέθοδος που ενθαρρύνει την παραγωγή απορριμμάτων από χρήση στην πηγή και κατόπιν προσπαθεί να διαχειριστεί τα απορρίμματα με τρόπους που θα μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κυρίως θάβοντας ή καίγοντάς τα.

Αργά ή γρήγορα όμως, ακόμα και οι καλύτερα σχεδιασμένοι κλίβανοι αποτέφρωσης διαχέουν στον αέρα κάποιες τοξικές ουσίες και αφήνουν τοξικά υπολείμματα που πρέπει να καταστραφούν. Επιπλέον, ακόμα και στους καλύτερα σχεδιασμένους ΧΥΤΑ τελικά διαφεύγουν στραγγίσματα στα υπόγεια νερά.

Το βασικό πρόβλημα είναι ότι τα μοντέρνα οικονομικά συστήματα ανταμείβουν αυτούς που παράγουν απορρίμματα και όχι αυτούς που προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν τις πηγές πιο συνετά.





Σχήμα 1.1 Διαχείριση των απορριμμάτων

Η παρεμπόδιση της μόλυνσης είναι μια μέθοδος που:

- 1) αντιμετωπίζει τα στερεά απορρίμματα ως πηγές και
- 2) θεωρεί ότι πρέπει να ανακυκλώνουμε, να επαναχρησιμοποιούμε ή να μην χρησιμοποιούμε από την αρχή αυτά τα προϊόντα.

Η προσέγγιση της παρεμπόδισης έχει την παρακάτω ιεραρχία:

- Μείωση των απορριμμάτων και της μόλυνσης εμποδίζοντας τη δημιουργία της
- Επαναχρησιμοποίηση όσο περισσότερων πραγμάτων γίνεται
- Ανακύκλωση και κομποστοποίηση όσο περισσότερων απορριμμάτων γίνεται
- Αποτέφρωση ή επεξεργασία απορριμμάτων που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν ή να κομποστοποιηθούν
- Θάψιμο των υπολοίπων σε υψηλού τεχνικού επιπέδου ΧΥΤΑ

Η μείωση των απορριμμάτων και η παρεμπόδιση της μόλυνσης εξοικονομεί περισσότερη ενέργεια από ότι η ανακύκλωση και μειώνουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Τρόποι που μειώνονται τα απορρίμματα είναι οι ακόλουθοι:

- Χρησιμοποίηση λιγότερων υλικών ανά προϊόν
- Επανασχεδιασμός βιομηχανικών διεργασιών ώστε να χρησιμοποιούνται λιγότερες πηγές και να παράγονται λιγότερα απορρίμματα
- Κατασκευή προϊόντων που διαρκούν περισσότερο, είναι εύκολο να επισκευαστούν και να ανακυκλωθούν. Πολλές ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες σχεδιάζουν αυτοκίνητα και προσπαθούν να χρησιμοποιούν ανακυκλώσιμα ανταλλακτικά.
- Μείωση των περιττών συσκευασιών. Στις ΗΠΑ οι συσκευασίες αντιστοιχούν στο 50% του παραγόμενου χαρτιού, στο 90% του γυαλιού, στο 11% του αλουμινίου και στο 3% όλης της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Οι συσκευασίες αντιστοιχούν στο 50% κ.ό. και στο 30% κ.β. των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Το 1991 η Γερμανία θέσπισε τον πιο σκληρό νόμο που αφορά τις συσκευασίες με σκοπό να μειώσει τα απορρίμματα που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ ή αποτεφρώνονται. Ο σκοπός ήταν μέχρι το 1995 να ανακυκλώνεται ή να επαναχρησιμοποιείται το 65% των συσκευασιών, περιλαμβανομένων 90% μετάλλων και 80% χαρτιού και πλαστικού. Η επαναχρησιμοποίηση αυξάνει τις προμήθειες των πηγών και μειώνει την ενέργεια που χρησιμοποιείται και τη μόλυνση περισσότερο από την ανακύκλωση.

Παράδειγμα επαναχρησιμοποίησης είναι το μπουκάλι αναψυκτικών που ξαναγεμίζεται, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί 50 φορές ή και παραπάνω. Η συλλογή και το γέμισμα γίνεται σε τοπικές εγκαταστάσεις και έτσι μειώνεται το ενεργειακό κόστος και το κόστος μεταφοράς και επίσης δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας. Μελέτες που έχουν γίνει από εταιρείες αναψυκτικών του Καναδά, δείχνουν ότι τα μπουκάλια των αναψυκτικών του 0,5 lt κοστίζουν 1/3 λιγότερο σε μπουκάλια που ξαναγεμίζονται. Η Δανία ήταν η πρωτοπόρος χώρα που απαγόρευσε τα κουτιά που δεν μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν. Το Εκουαδόρ για να ενισχύσει τη χρήση μπουκαλιών που ξαναγεμίζονται έχει επιβάλει χρηματική επιβάρυνση που είναι 50% υψηλότερη από το κόστος του ποτού. Στη Φινλανδία το 95% των μπουκαλιών των αναψυκτικών, μπυρών και κρασιών γεμίζονται ξανά, ενώ στη Γερμανία το ποσοστό αυτό είναι 73%.

Σε κάθε σημείο αυτών των σταδίων τα απορρίμματα μπορεί να αλλάξουν σύνθεση, μορφή, συγκέντρωση, κυριότητα, τοποθεσία και έλεγχο. Η Περιβαλλοντική Αποτίμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για (1) να καθοριστεί ο κύκλος διαχείρισης και (2) για να καθοριστεί η δύναμη των επιλεγμένων στοιχείων του κύκλου διαχείρισης. Εδώ εστιάζουμε περισσότερο στα ακόλουθα στάδια του κύκλου διαχείρισης:

- Προσωρινή αποθήκευση,
- Συλλογή,
- Μεταφορά απορριμμάτων στην εγκατάσταση διαχείρισης
- Υποδοχή, αποδοχή και αποθήκευση
- Επεξεργασία απορριμμάτων ώστε να μετατραπούν σε κατάλληλη μορφή για ασφαλή διάθεση
- Μεταφορά επεξεργασμένων απορριμμάτων στον τελικό χώρο διάθεσης

Το καθένα από τα παραπάνω στάδια έχει τα δικά του τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά και το δικό του επίπεδο κοινωνικής οργάνωσης.



Η προσωρινή αποθήκευση είναι η φάση όπου ο κάτοχος των απορριμμάτων τα αποθέτει σε κάποια κοινόχρηστη θέση, που εξυπηρετεί συνήθως περισσότερα νοικοκυριά, περιορισμένου όμως αριθμού, απ' όπου θα συλλεχθούν από το απορριμματοφόρο του δήμου (ή κοινότητας ή κάποιου άλλου διαδημοτικού φορέα συλλογής). Πρόκειται λοιπόν για μια διαδικασία που περιορίζεται σε ατομικό επίπεδο μια και ενεργείται από ένα ή λίγα νοικοκυριά σε συνεννόηση μεταξύ τους. Και εδώ όμως υπάρχουν μεγάλα περιθώρια για μια ουσιαστική παρέμβαση του δήμου ή της κοινότητας στα πλαίσια ενός συνολικότερου σχεδιασμού της διαχείρισης των απορριμμάτων της περιοχής του. Η παρέμβαση αυτή αφορά το είδος των δοχείων και την προσωρινή αποθήκευση των σκουπιδιών και τα σημεία όπου αυτά θα τοποθετηθούν.

Η συλλογή είναι μια πιο σύνθετη από κάθε άποψη εργασία που ενεργείται με τη βοήθεια εξειδικευμένου προσωπικού και μηχανικών μέσων (κύρια απορριμματοφόρων οχημάτων) στη βάση ενός συγκεκριμένου προγράμματος που στοχεύει στην αποκομιδή των σκουπιδιών δηλ. στη μετακίνησή τους από τις θέσεις προσωρινής αποθήκευσης στα οχήματα συλλογής και μεταφοράς. Εδώ η κοινωνική παρέμβαση ανεβαίνει καθαρά στο επίπεδο του δήμου.

Η μεταφορά εξασφαλίζει την μετακίνηση των απορριμμάτων στο χώρο της τελικής τους διάθεσης. Χρησιμοποιούνται τα ίδια οχήματα της συλλογής, που αφού συμπληρώσουν το καθορισμένο πρόγραμμα αποκομιδής των απορριμμάτων του τομέα τους, κατευθύνονται στο χώρο απόρριψης. Κατά συνέπεια και εδώ η κοινωνική παρέμβαση ασκείται βασικά σε επίπεδο δήμου ή κοινότητας. Υπεισέρχεται όμως και το στοιχείο της διαδημοτικής συνεργασίας, κύρια στον καθορισμό των δρομολογίων των οχημάτων αλλά και της τεχνικής τους κατάστασης, μια και τα απορριμματοφόρα οδεύοντας προς το χώρο της τελικής διάθεσης των σκουπιδιών περνούν κατ' ανάγκη μέσα από άλλους δήμους και κοινότητες.

Η διάθεση αποτελεί την τελευταία και πιο ευαίσθητη φάση της διαχείρισης των απορριμμάτων και αποσκοπεί στην οριστική απαλλαγή από αυτά σε ειδικές ανοιχτές ή κλειστές εγκαταστάσεις.

## 1.2 Είδη απορριμμάτων

Τα απορρίμματα που πρόκειται να συλλεχθούν, να μεταφερθούν και να διατεθούν είναι:

- Τα κατάλοιπα κάθε φύσης που περιλαμβάνουν κυρίως οικιακά απορρίμματα, στάχτες, κατάλοιπα γυαλιών, φύλλα, σκουπίσματα, χαρτιά και άλλα που τοποθετούνται μέσα σε πλαστικές ή χάρτινες σακούλες ή δοχεία.
- Απορρίμματα από βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις, γραφεία, κτίρια διοίκησης, αυλές και κήπους, τοποθετημένα σε δοχεία ή σάκους στις ίδιες συνθήκες με τα οικιακά.
- Κοπριές, αφυδατωμένες ιλύς, προϊόντα από τους καθαρισμούς των δημόσιων οδών, των δημόσιων πάρκων, των νεκροταφείων και βοηθητικών κτιρίων, συγκεντρωμένων σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Τα προϊόντα καθαρισμού και τα κατάλοιπα, χώρων εκθέσεων, αγορών, χώρων δημόσιων εορτών, θέσεων συγκέντρωσης ζώων, συγκεντρωμένων και τοποθετούμενων σε μεγάλα κοντέινερ για την εκκένωσή τους.



- Τα απορρίμματα από σχολεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία, φυλακές και όλα τα δημόσια κτίρια, συγκεντρωμένα σε δοχεία συλλογής σε κατάλληλους χώρους και
- Ογκώδη αντικείμενα εγκαταλελειμμένα σε δημόσιους χώρους ή τοποθετημένα σε καθορισμένες θέσεις, καθώς και τα πτώματα μικρών ζώων.

Στον ορισμό των οικιακών απορριμμάτων δεν περιλαμβάνονται:

- Τα αδρανή και τα κατάλοιπα των δημοσίων έργων και ιδιαίτερα
- Οι βιομηχανικές στάχτες και σκουριές, τα ανατομικά και μολυσματικά απορρίμματα των νοσοκομείων και κλινικών και τα απορρίμματα σφαγείων και
- Ογκώδη απορρίμματα πολύ μεγάλου βάρους ή διαστάσεων ή τέτοιας φύσης, που δεν μπορούν να φορτωθούν σε συνήθη μεταφορικά μέσα.

### 1.2.1 Σύνθεση οικιακών απορριμμάτων

Η σύνθεση των απορριμμάτων αποτελεί μια από τις πλέον βασικές παραμέτρους για το σχεδιασμό της διάθεσής τους και επηρεάζεται από πολυάριθμους παράγοντες όπως:

- Ο χαρακτήρας του πολεοδομικού συγκροτήματος: πολεοδομική ζώνη, βιομηχανική κλπ.
- Το κλίμα και η εποχή. Το καλοκαίρι περιέχονται πολλά φρούτα και φρέσκα λαχανικά και το χειμώνα στάχτες.
- Ο τύπος της κατοικίας, η στάθμη ζωής, τα υλικά συσκευασίας.

Οι δειγματοληψίες σχεδιάζονται με στατιστικά παραδεκτές μεθόδους και στηρίζονται σε στατιστικά στοιχεία σχετικά με την απασχόληση, τη μόρφωση και γενικά το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων της περιοχής. Ένα αντιπροσωπευτικό γενικό δείγμα πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον το 1% της συνολικής ποσότητας των απορριμμάτων. Οι στατιστικές περιοχές πρέπει να είναι όσο το δυνατό ομοιογενείς. Οι αναλύσεις των απορριμμάτων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Στις ομάδες διαλογής των υλικών,
- Στις φυσικές και χημικές παραμέτρους και
- Στο μέγεθός τους.

Σύμφωνα με την πρώτη κατηγορία τα απορρίμματα χωρίζονται σε:

1. Χαρτί – χαρτόνι
2. Μέταλλα
3. Γυαλί
4. Πλαστικά
5. Ύφασμα, ξύλο, δέρμα, λάστιχο
6. Αδρανή
7. Ζυμώσιμα
8. Υπόλοιπα

Στην κατηγορία των φυσικών και χημικών παραμέτρων ανήκει ο προσδιορισμός της υγρασίας, του ξηρού στερεού, των πτητικών, της τέφρας, του άνθρακα, οργανικού και ανόργανου, του ολικού αζώτου, του αμμωνιακού αζώτου, του ολικού άνθρακα, του υδρογόνου και της θερμογόνου δύναμης. Επίσης, προσδιορίζεται η αναλογία C/N, ο φώσφορος, το θείο, το χλώριο, το φθόριο, το κάλιο, το νάτριο, το χρώμιο, το νικέλιο, ο χαλκός, το κάδμιο, ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος, το ολικό υπόλειμμα καύσης και τα ολικά καύσιμα.

Σύμφωνα με το μέγεθος τους, τα απορρίμματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Κατηγορία I: απορρίμματα μεγέθους 0-40mm,
- Κατηγορία II: απορρίμματα μεγέθους 40-120mm και
- Κατηγορία III: απορρίμματα μεγαλύτερα από 120mm.

	Αθήνα	Θεσ/νίκη	Ρόδος	Χανιά	Κως	Καλαμάτα	Νάξος
Ζυμώσιμα	56	52	41	55	37	47	48
Χαρτί	20	18	15	19	25	25	22
Ύφασμα, ξύλο, δέρμα	4	8	4	4	5	6	5
Μέταλλα	3	5	10	4	5	3,5	3
Πλαστικά	7	7	12	8	11	7,5	9
Γυαλί	2,5	4	16	4	12	3	6
Αδρανή και λοιπά	7,5	6	2	6	5	8	7

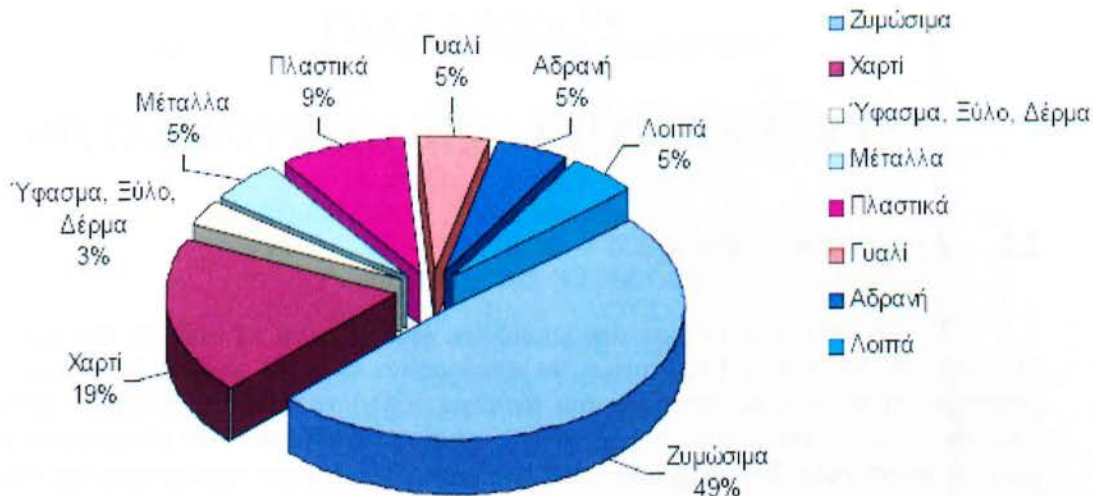
Πίνακας 1.1 Σύνθεση οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα (% κ.β.).

Στον Πίνακα 1.1 δίνεται η σύνθεση των οικιακών απορριμμάτων από διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Βασικά χαρακτηριστικά της σύνθεσης των ελληνικών οικιακών απορριμμάτων είναι το υψηλό ποσοστό σε ζυμώσιμα υλικά και πλαστικά.

Οι διακυμάνσεις για τις κατηγορίες των υλικών χαρτί, πλαστικά, μέταλλα, γυαλί, ύφασμα – ξύλο – δέρμα, αδρανή και υπόλοιπα δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Αντιθέτως τα ζυμώσιμα υλικά, παρουσιάζουν αυξήσεις κατά τη θερινή περίοδο. Κατά την ταξινόμηση ανά μέγεθος, η κατηγορία II (40-120 mm) δεν παρουσιάζει μεγάλη διαφορά από την κατηγορία III (0-40 mm), ενώ η κατηγορία I (>120 mm) έχει το μεγαλύτερο ποσοστό.

Η μέση τιμή σύνθεσης των ελληνικών απορριμμάτων φαίνεται στο Γράφημα 1.1.





Γράφημα 1.1 Μέση τιμή σύνθεσης των οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα.

Η μέση σύνθεση των απορριμμάτων διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα, εξαρτώμενη από μεγάλη ποικιλία παραγόντων (βιοτικό επίπεδο, διατροφή, πρόγραμμα ανακύκλωσης υλικών, κλπ).

Μερικές τυπικές αναλύσεις για τα οικιακά απορρίμματα και τα παρεμφερή στη Δυτική Ευρώπη, τις ΗΠΑ και τη Μέση Ανατολή παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.2.

	Δυτική Ευρώπη	ΗΠΑ	Μέση Ανατολή
Οργανικά	21,3	22,6	60,0
Χαρτί	27,4	45,6	25,3
Υφάσματα	3,5	4,5	1,4
Πλαστικά	3,1	2,6	5,8
Γυαλί	9,5	6,2	1,0
Μέταλλα	8,5	9,1	2,8
Σκόνη, αδρανής	19,8	7,6	2,3
Διάφορα	6,8	1,8	1,4

Πίνακας 1.2 Σύνθεση οικιακών απορριμμάτων σε άλλες χώρες (% κ.β.)

Η σύνθεση των απορριμμάτων ποικίλλει βέβαια, ανάλογα και με την εποχή του έτους.

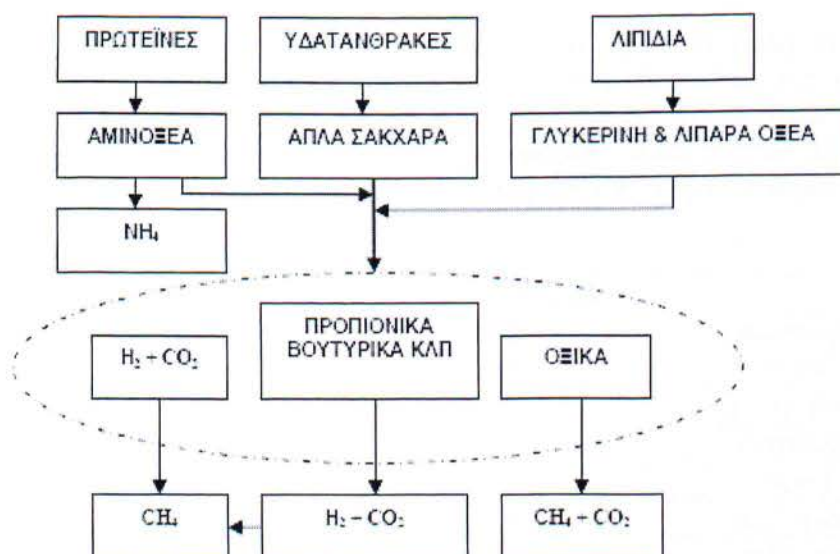


## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΤΑΦΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ”

#### 2.1 Αναερόβια χώνευση

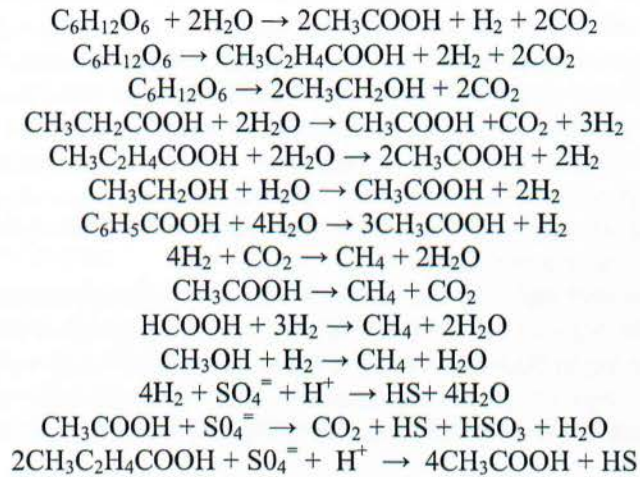
Το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων, αμέσως μετά τη διάθεσή του και αφού οι συνθήκες γίνουν αναερόβιες, αρχίζει να αποδομείται από ένα πλήθος βακτηρίων και να μετατρέπεται τελικώς σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ). Εντούτοις, οι μικροβιακές διεργασίες, που μετατρέπουν τον οργανικό άνθρακα των απορριμμάτων, είναι μάλλον πολύπλοκες. Στο διάγραμμα που ακολουθεί, γίνεται μια παρουσίαση της συνολικής διεργασίας.



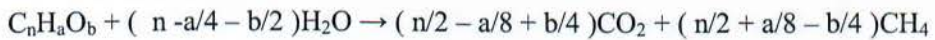
Σχήμα 2.1 Υπόστρωμα και βασικές βακτηριακές ομάδες που περιλαμβάνονται στο οικοσύστημα παραγωγής μεθανίου.

Στο διάγραμμα αυτό, φαίνεται ότι η αναερόβια αποδόμηση, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα στερεά και σύνθετα δυσδιάλυτα οργανικά υλικά, υδρολύονται και ζυμώνονται από κατάλληλα βακτήρια σε οργανικά οξέα, αλκοόλες, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Στο δεύτερο στάδιο, μια ομάδα οξεοπαραγωγών βακτηρίων, μετατρέπει τα προϊόντα του πρώτου σταδίου σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Μια τελευταία ομάδα βακτηρίων, τα μεθανοπαραγωγά, τροφοδοτείται από τα οξέα των οξυγενών που στη συνέχεια μεταβολίζει σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, δηλαδή βιοαέριο. Αυτό συμβαίνει, είτε μέσω των «οξύφυλων» βακτηρίων που μετατρέπουν το οξικό οξύ σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, είτε μέσω των «υδρογονόφυλων» βακτηρίων που μετατρέπουν το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα σε μεθάνιο επίσης.

Οι πιο σπουδαίες αντιδράσεις κατά την αναερόβια διεργασία είναι:



Η συνολική διεργασία που μετατρέπει τα οργανικά υλικά σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα στοιχειομετρικά, εκφράζεται με την παρακάτω εξίσωση (Buswell and Mueller, 1952), ενώ, βέβαια, η πραγματική διεργασία δεν είναι καθόλου μια απλή αντίδραση όπως φαίνεται και στο προηγούμενο διάγραμμα.



Η ύπαρξη λοιπόν, οργανικών στερεών και νερού αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία ενός μικροβιακού οικοσυστήματος με διάφορες ομάδες μικροβίων συμβιωτικά δεμένες μεταξύ τους με τροφική αλυσίδα που αρχίζει στο οργανικό στερεό και καταλήγει σε βιοαέριο. Αυτό ακριβώς, αποτελεί την καύσιμη ύλη που εκμεταλλευόμαστε στην ενεργειακή αξιοποίηση στερεών οργανικών αποβλήτων, όπως τα απορρίμματα.

## 2.2 ΧΥΤΑ – Ορισμός – Βασικές διεργασίες

Η υγειονομική ταφή είναι η διαδικασία κατά την οποία τα απορρίμματα που πρόκειται να διατεθούν διαστρώνονται σε στρώσεις ύψους 2-3 μέτρων, συμπιέζονται και καλύπτονται με κατάλληλο αδρανές υλικό στο τέλος της καθημερινής λειτουργίας. Όταν ο χώρος διάθεσης φθάσει στην τελική του χωρητικότητα, τοποθετείται μια τελική στρώση αδρανούς υλικού πάχους 0,60 m περίπου και μετά στρώμα χόματος κατάλληλο για δενδροφύτευση, ώστε να αποκατασταθεί τελικά το τοπίο.

Οι χώροι υγειονομικής ταφής δεν πρέπει να συγχέονται με τους χώρους ανεξέλεγκτης απόρριψης, φαινόμενο ιδιαίτερα συχνό στη χώρα μας, οι οποίοι αποτελούν εστίες ρύπανσης του περιβάλλοντός και πηγές ανάφλεξης. Αντίθετα η υγειονομική ταφή είναι όχι απλώς μια περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος διάθεσης αλλά επίσης ένας άριστος τρόπος για την αξιοποίηση ακρήστων χώρων και για την περιβαλλοντική τους αποκατάσταση. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός χώρου υγειονομικής ταφής προϋποθέτει την εφαρμογή μιας σειράς επιστημονικών, τεχνικών και οικονομικών αρχών. Οι διεργασίες στους χώρους της Υγειονομικής Ταφής είναι η γήρανση, η αποσάθρωση και η δημιουργία στραγγισμάτων.



Η γήρανση είναι το σύνολο των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο εναποτιθέμενο υλικό που σε κανονικές συνθήκες υγρασίας δεν επηρεάζονται από παράγοντες που προέρχονται από την επιφάνεια. Πρόκειται κυρίως για αναερόβια διεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη μετατρέπεται με την βιολογική αποσύνθεση σε Humus.

Παράλληλα συμβαίνει και ισχυρή ορυκτοποίηση με μετατροπή των υδροξειδίων των μετάλλων σε σουλφίδια, ανθρακικά, πυριτικά και φωσφορικά άλατα. Η αποσάθρωση δρα αντίστροφα. Διαβρώνει το υλικό και σχηματίζει πολλές ευδιάλυτες ουσίες. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ αποσάθρωσης και γήρανσης. Η φυσική αποσάθρωση που οφείλεται στο οξυγόνο και το CO<sub>2</sub>, επιδρά με μείωση του pH, διάλυση στερεών λόγω ανθρακικού οξέος και οξείδωση.

Η βιολογική αποσάθρωση οδηγεί σε οξείδωση των οργανικών ουσιών προς CO<sub>2</sub> και των οργανικών αζωτούχων σε οργανικές ενώσεις που περιέχουν και θείο. Τα στραγγίσματα αφορούν όλες τις ευδιάλυτες ουσίες που σχηματίστηκαν κατά τη γήρανση και τα διαλυτά προϊόντα της γήρανσης και της αποσάθρωσης. Οι ποσότητες τους εξαρτώνται από τη διεισδυτικότητα του νερού και ευνοείται η δημιουργία τους από μεγάλου ύψους στρώματα απορριμμάτων.

Η αλληλοεπίδραση των φυσικοχημικών και βιολογικών φαινομένων που εξελίσσονται στη μάζα των απορριμμάτων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία του χώρου διάθεσης.

### 2.2.1 Επιλογή περιοχής για την κατασκευή χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων

Η εξεύρεση χώρων για τη διάθεση των απορριμμάτων είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η Τοπική Αυτοδιοίκηση. Αυτό οφείλεται στο σχετικά μικρό διαθέσιμο χώρο της κάθε περιοχής, στην κακή διάθεση των απορριμμάτων μέχρι σήμερα (ανεξέλεγκτη απόρριψη), στην αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση των κατοίκων και στο ότι δεν υπάρχει σωστός σχεδιασμός γι 'αυτό το τόσο σοβαρό θέμα.

Είναι λοιπόν επιτακτική ανάγκη της εποχής μας να επιλεγούν οι χώροι διάθεσης των απορριμμάτων με αντικειμενικά και σωστά κριτήρια. Ο προσδιορισμός του χώρου πρέπει να συνοδεύεται από στοιχεία που θα αποδεικνύουν ότι πράγματι δεν υπάρχει καταλληλότερος χώρος. Η συλλογή, η κωδικοποίηση και η αξιολόγηση των στοιχείων είναι από τα πλέον βασικά πράγματα για την εξεύρεση και προεπιλογή των χώρων διάθεσης. Από την ορθή συλλογή και την αξιοπιστία των στοιχείων εξαρτάται και η σωστή ή καλύτερη τελική απόφαση της επιλογής του χώρου.

Παρακάτω περιγράφεται μια μεθοδολογία εξεύρεσης και επιλογής των χώρων διάθεσης. Αποτελεί βέβαια ένα βοήθημα, αλλά σε καμία περίπτωση δεν είναι ένας αυτόματος μηχανισμός που θα λύνει το πρόβλημα. Το βάρος κάθε κριτηρίου και οι απαιτήσεις ποιότητας του χώρου διάθεσης μπορούν και επιβάλλεται να επανεκτιμούνται και να αξιολογούνται από τους εκάστοτε υπεύθυνους φορείς. Γι' αυτό τον λόγο, το αντικειμενικό και το υποκειμενικό στοιχείο συνυπάρχουν, όχι μόνο στη φάση της κατάρτισης της βαθμολογίας των κριτηρίων αλλά και στη βαθμολόγηση των χαρακτηριστικών του χώρου υγειονομικής ταφής. Αυτή η υποκειμενική κρίση για να πλησιάσει την αντικειμενικότητα και να έχει μια αξιόπιστη συνισταμένη, πρέπει να οικοδομείται πάνω σε ενιαία βάση κοινών κατευθύνσεων και παραδοχών, από πολλούς φορείς.



Η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης για την επιλογή Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, περιλαμβάνει τις παρακάτω δράσεις:

- Ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης,
- Μελέτη χαρτών, σχεδίων και σχετικών μελετών,
- Μελέτη κριτηρίων και
- Αξιολόγηση κριτηρίων.

### 1. Ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης.

Σε πρώτη φάση, αναλύονται:

- a) Τα δημογραφικά στοιχεία των Δήμων και Κοινοτήτων. Τον υπάρχοντα πληθυσμό τους, την τυχόν αύξηση κατά τους θερινούς μήνες και τη μελλοντική πρόγνωση τους.
- b) Οι ποσότητες και η σύνθεση των απορριμμάτων (Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν μετρήσεις ή αναλύσεις, γίνονται εκτιμήσεις).
- c) Το υπάρχον σύστημα συλλογής-μεταφοράς και διάθεσης των απορριμμάτων.

### 2. Μελέτη χαρτών, σχεδίων και σχετικών μελετών.

Στη συνέχεια γίνεται μελέτη:

- 1) Του γενικού χάρτη της προς εξέταση περιοχής,
- 2) Των σχετικών αεροφωτογραφιών,
- 3) Του τοπογραφικού χάρτη
- 4) Του γεωλογικού χάρτη
- 5) Των υδρογεωλογικών μελετών της περιοχής και
- 6) Του ρυθμιστικού σχεδίου και του σχεδίου ανάπτυξης της περιοχής.

Μετά τη συλλογή και αξιολόγηση των παραπάνω στοιχείων εντοπίζονται οι χώροι που κρίνονται κατ' αρχήν κατάλληλοι για τη διάθεση των απορριμμάτων. Ιδιαίτερα πρέπει να προσεχθούν και τα παρακάτω. Για την ελαχιστοποίηση του κόστους επένδυσης και λειτουργίας η έκταση δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 5 στρεμμάτων. Ιδανικά εδάφη για Υγειονομική Ταφή είναι τα αργιλώδη ηφαιστειογενή και μεταμορφωμένα.

### 3. Μελέτη κριτηρίων.

Τα κριτήρια χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) Γενικά
- 2) Χωροταξικά
- 3) Έργα υποδομής
- 4) Προστασία του Περιβάλλοντος
- 5) Κλιματολογικές συνθήκες
- 6) Σύστημα συλλογής-μεταφοράς

Αναλυτικότερα, τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του χώρου είναι τα εξής:

#### 1) Γενικά

- Επιφάνεια χώρου
- Όγκος χώρου
- Ιδιοκτησιακό καθεστώς
- Υλικό βάσης, καθημερινής και τελικής επικάλυψης

2) Χωροταξικά

- Κατοικημένες περιοχές
- Περιοχές ιδιαίτερου κάλλους και προστασίας (αρχαιολογικοί χώροι, βιότοποι κ.λ.π.)
- Τουριστικές περιοχές και χώροι αναψυχής
- Περιοχές με ειδικές καλλιέργειες
- Ευαίσθητες βιομηχανίες-βιοτεχνίες (φαρμάκων-τροφίμων κ.λ.π.)
- Αεροδρόμια
- Προσπέλαση στο οδικό δίκτυο

3) Έργα υποδομής

- Παροχή νερού
- Σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο
- Τηλεφωνική σύνδεση

4) Προστασία του περιβάλλοντος

- Αλλοίωση της εικόνας του φυσικού τοπίου
- Επιπτώσεις στα ζώα και τα φυτά
- Αισθητική κατάσταση
- Μη διαπερατότητα του εδάφους
- Επιφανειακά νερά
- Υπόγεια νερά
- Ατμοσφαιρική ρύπανση
- Οσμές
- Θόρυβος

5) Κλιματολογικές συνθήκες

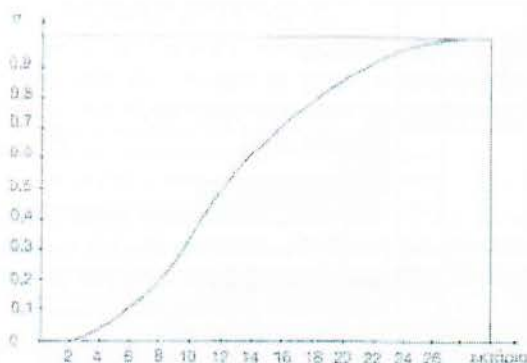
- Άνεμοι
- Βροχοπτώσεις -Ομίχλη
- Θερμοκρασιακές αναστροφές

6) Σύστημα Συλλογής μεταφοράς

Αξιολόγηση κριτηρίων :

Όλα τα κριτήρια αναγράφονται στην μήτρα αξιολόγησης κριτηρίων που φαίνεται στον πίνακα 1. Στην στήλη (3) αναγράφεται ο συντελεστής αξίας κάθε κριτηρίου (Bκ). Βαθμολογούνται ανάλογα με την σημασία τους. Το σύνολό τους δεν ξεπερνά το 100. Για κάθε προεκλεγέντα χώρο δίνεται από την ομάδα αξιολόγησης ο συντελεστής εκπλήρωσης (6). Ο συντελεστής εκπλήρωσης (6) είναι από 0-1 και φυσικά δίνεται ανάλογα με την εκπλήρωση των όρων κάθε τόπου. Στις Εικόνες 2 και 3 υπάρχουν παραδείγματα εξεύρεσης του συντελεστή εκπλήρωσης, όσον αφορά την επιφάνεια και τον όγκο του χώρου αντίστοιχα.



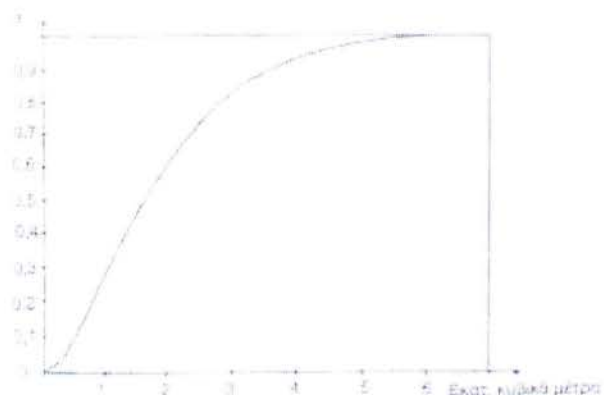


Γράφημα 2.1 Συντελεστής επιφάνειας χώρου.

Ο ομοιογενής προσδιορισμός του συντελεστή εκπλήρωσης για όλους τους χώρους αποτελεί προϋπόθεση για την σύγκριση των χώρων. Ο εκάστοτε συντελεστής αξίας του κριτηρίου ( $B_k$ ) πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή εκπλήρωσης ( $\sigma$ ) και μας δίνει τη βαθμολόγηση της ομάδας κριτηρίων. Ανάλογα γίνεται με το συντελεστή αξίας του επιμέρους κριτηρίου ( $B_{ek}$ ). Το σύνολο της βαθμολόγησης είναι και το μέτρο καταλληλότητας του συγκεκριμένου χώρου. Έτσι σχηματίζεται ένας πίνακας όπου αναγράφονται όλοι οι χώροι της περιφέρειας και γίνεται επιλογή από αυτόν ή αυτούς που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο βαθμό. Η κατανομή των συντελεστών αξίας γίνεται από ομάδα ειδικών.

Κωδ. Αριθμός	Ομάδα Κριτηρίων	Βκ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΒΕκ		ΜΕ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1.1	ΓΕΝΙΚΑ		Επιφάνεια χώρου			
1.2			Όγκος			
1.3			Ιδιοιπτησιακό καθεστώς			
1.4			Υλικό βάσης, καθημερινής και τελικής επικάλυψης			
2.1	ΧΑΡΟΤΑΞΙΚΑ		Κατακλιμένες περιοχές			
2.2			Περιοχές ιδιαίτερου κάλλους και προστασίας (άρχ. χώροι, βιότοποι, κλπ.)			
2.3			Τουριστικές περιοχές και χώροι αναψυχής			
2.4			Περιοχές με ειδικές καλλιέργειες			
2.5			Ευαίσθητες βιομηχανίες -βιοτεχνίες (φαρμάκων -τροφίμων κλπ.)			
2.6			Αεροδρόμια			
2.7			Προσπέλαση στο οδικό δίκτυο			
3.1	ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ		Παροχή νερού			
3.2			Σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο			
3.3			Τηλεφωνική σύνδεση			
4.1	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ		Αλλοίωση της εικόνας του φυσικού τοπίου			
4.2			Επιπτώσεις στα ζώα και τα φυτά			
4.3			Αισθητική κατάσταση			
4.4			Μη διαπερατότητα του εδάφους			
4.5			Επιφανειακά νερά			
4.6			Υπόγεια νερά -στραγγίσματα			
4.7			Ατμοσφαιρική ρύπανση			
4.8			Οσμές			
4.9			Θόρυβος			
5.1	ΚΩΜΑ		Άνεμοι			
5.2			Βροχοπτώσεις – ομίχλη			
5.3			Θερμοκρασιακές αναστροφές			
6.1	ΣΥΛΛΟΓΗ		Σχέση με τη συλλογή - μεταφορά			

Πίνακας 2.1 Μήτρα αξιολόγησης κριτηρίων



Γράφημα 2.2 Συντελεστής όγκου χώρου.



- Συντελεστής σε περιοχές ιδιαίτερου κάλλους.  
Στην περίπτωση όπου η περιοχή ιδιαίτερου κάλλους βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 10km από τον εκλεγέντα χώρο, ο συντελεστής είναι ίσος με 1,0, για απόσταση μικρότερη των 6km είναι 0,5, ενώ για απόσταση μικρότερη των 3km ο συντελεστής γίνεται 0,0.
- Συντελεστής ιδιοκτησιακού καθεστώτος.  
Για τον προσδιορισμό του συντελεστή σε σχέση με το ιδιοκτησιακό καθεστώς της περιοχής μπορούμε να συμβουλευτούμε τον παρακάτω πίνακα:

Ιδιοκτησιακό καθεστώς	Συντελεστής σ
Τοπική Αυτοδιοίκηση	1,0
Δημόσιο	0,9
Εκκλησία	0,6
Ιδιωτική περιοχή	0,3

Πίνακας 2.2 Συντελεστής ιδιοκτησιακού καθεστώτος.

- Συντελεστής υλικού επικάλυψης.  
Ο συντελεστής του υλικού επικάλυψης προκύπτει από το γινόμενο δυο συντελεστών  $\sigma_1$  και  $\sigma_2$  ως εξής:

$$\sigma = \sigma_1 \sigma_2$$

όπου :  $\sigma_1$  είναι ο συντελεστής για το είδος του υλικού επικάλυψης και  $\sigma_2$  ο συντελεστής για την τοποθεσία του υλικού επικάλυψης.

Οι τιμές του συντελεστή  $\sigma_1$  ανάλογα με το είδος του υλικού, αλλά και τον τρόπο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΥΛΙΚΟ	ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ		
	Μόνωση	Καθημερινή Επικάλυψη	Τελική Επικάλυψη
Αργιλώδης Πηλός	0,8 – 1,0	0,2	1,0
Γύψος	0,2	0,4	0,3
Αμμώδες Υλικό	0,0 – 0,1	0,5	0,3
Μπάζα	0,0	0,8	0,0

Πίνακας 2.3 Συντελεστής είδους του υλικού επικάλυψης.

Ο συντελεστής σε συνάρτηση με την απόσταση από όπου προέρχεται το υλικό επικάλυψης φαίνεται στον Πίνακα 2.4.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ $\sigma_2$
0 km (στη περιοχή του χώρου επικάλυψης)	1,0
< 2 km	0,8
< 4 km	0,5
< 5 km	0,0

Πίνακας 2.4 Συντελεστής για την τοποθεσία του υλικού επικάλυψης.

- Συντελεστής υπογείων νερών – στραγγισμάτων.  
Ο συντελεστής για τα υπόγεια νερά και τα στραγγίσματα προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή επικινδυνότητας E και του ετήσιου συντελεστή βροχόπτωσης – ομίχλης στην περιοχή K.
- Ο συντελεστής επικινδυνότητας E, έχει τιμή 1,0 για μηδενική επικινδυνότητα, ενώ όσο ο κίνδυνος αυξάνεται η τιμή του συντελεστή πλησιάζει στο μηδέν. Οι τιμές που παίρνει ο συντελεστής K σε σχέση με τα επίπεδα βροχόπτωσης φαίνονται στον Πίνακα 2.5.

Επίπεδο Βροχόπτωσης	Συντελεστής K
> 1100 mm	0,80
900 - 1100 mm	0,85
800 - 900 mm	0,90
700 - 800 mm	0,95
< 700 mm	1,00

Πίνακας 2.5 Συντελεστής βροχόπτωσης.

- Γεωλογικά και υδρογεωλογικά κριτήρια για την επιλογή των χώρων υγειονομικής ταφής.  
Οι γεωλογικοί και υδρογεωλογικοί παράγοντες είναι καθοριστικής σημασίας για την επιλογή των χώρων διάθεσης. Τα στοιχεία που πρέπει να μελετηθούν είναι η γεωλογική δομή της περιοχής, η κλίση, το πάχος των στρωμάτων, οι διακλάσεις και τα ρήγματα. Η λιθολογική σύσταση του χώρου σε σχέση με την τεκτονική δομή προσδιορίζουν τη συμπεριφορά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αποτελούν τα κριτήρια καταλληλότητας των χώρων.  
Τα πετρώματα με τη μεγαλύτερη προσβολή (χημική αποσάθρωση) είναι κυρίως τα ανθρακικά και οι ασβεστόλιθοι. Η ικανότητα που έχουν τα πετρώματα να επιτρέπουν τη διείσδυση και κυκλοφορία του νερού εξαρτάται από το πορώδες, το βαθμό διάρρηξης, την κλίση, τη στρώση και τη σχιστότητα των πετρωμάτων. Η υδροπερατότητα υπολογίζεται από το συντελεστή διαπερατότητας K (cm/sec). Τα υδροπερατά πετρώματα διακρίνονται σε ισότροπα και ανισότροπα. Ισότροπα είναι τα πετρώματα στα οποία ο συντελεστής K είναι ο ίδιος σε όλες τις διευθύνσεις στο χώρο.  
Προκειμένου να αποφανθούμε για την καταλληλότητα ενός χώρου μελετάμε και τη λιθολογία και τα κατατάσσουμε ανάλογα με το συντελεστή υδροπερατότητας, ο οποίος για διάφορες κατηγορίες υλικών φαίνεται στον Πίνακα 2.6.  
Για να διαπεράσουν τα στραγγίσματα ένα στρώμα πάχους 1m με  $K= 10^{-6}$  cm/sec χρειάζονται 3 χρόνια και 2 μήνες, ενώ αν το στρώμα έχει  $K= 10^{-7}$  cm/sec απαιτούνται 30 χρόνια.



Υλικά	Συντελεστής Υδροπερατότητας K (cm/sec)
Μίγμα αμμοχάλικου, χαλίκι διαβαθμισμένο	$10^{-2}$
Διαβαθμισμένο χαλίκι, διαβαθμισμένη άμμος, αμμοχάλικο	$10^{-3}$
Ιλώδη χαλίκια, αργιλώδης λευκή άμμος, ανόργανος ιλύς, πολύ λεπτόκοκκος άμμος, μίγμα ιλύος, άργιλος χαμηλής πλαστικότητας	$10^{-3} - 10^{-6}$
Ανόργανος ιλύς, μαρμαριγιακά ιλώδη εδάφη, οργανική ιλύς, άργιλος χαμηλής πλαστικότητας	$10^{-4} - 10^{-6}$
Οργανική άργιλος υψηλής πλαστικότητας, τύρφη, ανόργανος άργιλος υψηλής πλαστικότητας, παχείς άργιλοι, χαλικώδης αμμώδης και ιλώδης άργιλος, αργιλώδης άμμος, αργιλικά χαλίκια, μίγμα αργίλου και αμμοχάλικου	$10^{-6} - 10^{-8}$

Πίνακας 2.6 Συντελεστής υδροπερατότητας διάφορων υλικών.

## 2.2.2 Μέθοδοι υγειονομικής ταφής

Βασικό στοιχείο σχεδιασμού ενός χώρου υγειονομικής ταφής αποτελεί η μέθοδος που θα ακολουθηθεί για τη διάσθρωση των απορριμμάτων. Δεν υπάρχει μέθοδος κατάλληλη για όλους τους χώρους. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται κάθε φορά από τη μορφολογία του εδάφους και το είδος των απορριμμάτων που θα διατεθούν.

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι : η επιφανειακή μέθοδος, η μέθοδος των διαδοχικών τάφρων και η μέθοδος πλήρωσης λάκκων. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται ένας συνδυασμός των τριών μεθόδων.

### 2.2.2.1 Επιφανειακή μέθοδος

Εφαρμόζεται όταν είναι δύσκολη η εκσκαφή του εδάφους για τη διάνοιξη τάφρων. Τα απορρίμματα ξεφορτώνονται και διαστρώνονται σε στενές λωρίδες στην επιφάνεια του εδάφους σχηματίζονται στρώσεις βάθους περίπου 50 – 80 cm Κάθε στρώση συμπιέζεται καθώς προχωρεί η διαδικασία πλήρωσης του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας μέχρις ότου το πάχος των συμπιεσμένων απορριμμάτων φθάσει τα 2,50 – 3 μέτρα.



Σχήμα 2.2 Επιφανειακή μέθοδος πλήρωσης.

Στο τέλος της ημέρας τα απορρίμματα καλύπτονται με στρώση κατάλληλου αδρανούς υλικού, πάχους περίπου 15 – 30 cm το οποίο επίσης πρέπει να συμπιεσθεί. Το υλικό επικάλυψης εξασφαλίζεται από εκσκαφές στο γύρω χώρο, ή μεταφέρεται με φορτηγά από

αλλού. Συνήθως, πριν αρχίσει η λειτουργία της χωματερής, κατασκευάζεται ένα ανάχωμα στη μία πλευρά του χώρου, για να διευκολυνθεί και η συμπίεση των απορριμμάτων. Το πλάτος του χώρου στον οποίο εναποτίθενται και διαστρώνονται τα απορρίμματα κυμαίνεται από 3 – 8 μέτρα.

Το μήκος του χώρου που χρησιμοποιείται κάθε μέρα υπολογίζεται έτσι ώστε στο τέλος της ημέρας το βάθος των απορριμμάτων να φθάσει τα 2,50 – 3 cm. Τα συμπιεσμένα απορρίμματα μαζί με το υλικό επικάλυψης μιας μέρας αποτελούν ένα κύτταρο που αποτελεί βασικό δομικό στοιχείο κοινό σε όλες τις μεθόδους υγειονομικής ταφής. Κάθε στρώση απορριμμάτων αποτελείται από πολλά κύτταρα τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο. Οι στρώσεις τοποθετούνται διαδοχικά η μία πάνω στην άλλη μέχρι τα απορρίμματα φθάσουν το τελικό ύψος που προβλέπεται από τον αρχικό σχεδιασμό του χώρου.

Παραλλαγή της επιφανειακής μεθόδου, αποτελεί η μέθοδος της ράμπας που εφαρμόζεται όταν στο χώρο διάθεσης υπάρχει διαθέσιμη μικρή ποσότητα υλικού επικάλυψης. Σε αυτή τη μέθοδο η εναπόθεση και διάστρωση των απορριμμάτων γίνεται όπως και στην επιφανειακή μέθοδο, αλλά καλύπτονται, μερικά ή ολικά, από χώμα που προέρχεται από εκσκαφή του πυθμένα της χωματερής. Συνήθως, επειδή η εκσκαφή δεν είναι βαθιά δεν επαρκεί το χώμα για επικάλυψη και το υπόλοιπο πρέπει να εξασφαλισθεί από αλλού, όπως και στην επιφανειακή μέθοδο.

#### 2.2.2.2 Μέθοδος των διαδοχικών τάφρων

Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται όταν στο χώρο υπάρχει υλικό επικάλυψης σε αρκετό βάθος και όταν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ χαμηλός. Τα απορρίμματα αποτίθενται σε τάφρους μήκους 30 – 120 m, βάθους 1 – 2 m και πλάτους 5 – 8 m.



Σχήμα 2.3 Μέθοδος διαδοχικών τάφρων.

Στην αρχή της διαδικασίας γίνεται εκσκαφή ενός τμήματος της τάφρου και το χώμα αποτίθεται σε σωρό, στο πίσω μέρος της πρώτης τάφρου. Τα απορρίμματα κατόπιν αποτίθενται στην τάφρο, διαστρώνονται σε λεπτές στρώσεις πάχους 50 – 80 cm και συμπίεζονται. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό ύψος. Το μήκος της τάφρου που χρησιμοποιείται κάθε μέρα πρέπει να υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε στο τέλος της ημέρας τα απορρίμματα να έχουν φθάσει το επιθυμητό ύψος, το μήκος επίσης πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να αποφεύγονται καθυστερήσεις των απορριμματοφόρων που έρχονται να ξεφορτώσουν. Το υλικό επικάλυψης εξασφαλίζεται με την εκσκαφή της διπλανής τάφρου ή συνεχίζοντας την εκσκαφή της τάφρου που ήδη χρησιμοποιείται.

#### 2.2.2.3 Μέθοδος πλήρωσης κοιλοτήτων του εδάφους

Σε περιοχές που υπάρχουν φυσικές ή τεχνητές κοιλοότητες του εδάφους (χαράδρες, ρεματιές, ορυχεία, λατομεία), μπορούν κάλλιστα αυτές να χρησιμοποιηθούν για υγειονομική



ταφή απορριμμάτων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την διάστρωση και συμπίεση των απορριμμάτων στις διάφορες κοιλότητες εξαρτώνται από τη γεωμετρία του χώρου, τα χαρακτηριστικά του υλικού επικάλυψης, την υδρολογία και γεωλογία της περιοχής και την δυνατότητα πρόσβασης.

Σε χαράδρες που ο πυθμένας είναι κάπως επίπεδος η πρώτη στρώση μπορεί να τοποθετηθεί όπως στη μέθοδο των διαδοχικών τάφρων που αναφέρθηκε παραπάνω. Όταν συμπληρωθεί η πρώτη στρώση, το γέμισμα συνεχίζεται ξεκινώντας από τα σημεία που βρίσκονται προς την κορυφή της χαράδρας και καταλήγοντας προς το στόμιο. Τα απορρίμματα αποτίθενται στον πυθμένα της χαράδρας και συμπιέζονται προς τις πλευρές της, μέθοδος που εξασφαλίζει υψηλή συμπίεση.



Σχήμα 2.4 Μέθοδος πλήρωσης κοιλοτήτων του εδάφους.

Τα ορυχεία και τα λατομεία βρίσκονται συνήθως χαμηλότερα από την επιφάνεια του γύρω εδάφους και γι αυτό είναι αναγκαίο να ληφθεί μέριμνα για τον έλεγχο των επιφανειακών υδάτων. Και στα ορυχεία και τα λατομεία ο τρόπος πλήρωσης είναι παρόμοιος με αυτόν στις χαράδρες. Σημαντική σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η εξασφάλιση υλικού επικάλυψης τόσο για τις ενδιάμεσες στρώσεις όσο και για την τελική επιφάνεια. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων. Επίσης μπορεί στον ίδιο χώρο να χρησιμοποιηθούν περισσότερες της μίας μέθοδοι. Αν επί παραδείγματι στα περισσότερα σημεία του πυθμένα ενός χώρου υπάρχει ένα μεγάλο πάχος χώματος ενώ στα υπόλοιπα το χώμα είναι πολύ ρηχό, μπορεί να διανοιχτούν τάφροι, όπου αυτό είναι δυνατόν και το χώμα που θα εξασφαλισθεί να χρησιμοποιηθεί σαν υλικό επικάλυψης και για τον υπόλοιπο χώρο που θα χρησιμοποιηθεί η επιφανειακή μέθοδος.

Μια μέθοδος, παραλλαγή των παραπάνω μεθόδων, που εφαρμόζεται συχνά στη χώρα μας είναι η ταφή των απορριμμάτων σε χώρους της μορφής της πλατειάς μισγάγγειας που διαμορφώνεται από την πλαγιά κάποιου εδαφικού όγκου (βουνό, λόφος) και τις εκατέρωθεν πλαγιάς δύο γειτονικών ρευμάτων. Συνήθως η εδαφική λεκάνη διαμορφώνεται έτσι ώστε να είναι ανοιχτή κατά το 1/3 - 1/4 της περιμέτρου της. Κατά κανόνα η κατά μήκος κλίσης της εδαφικής λεκάνης (κλίση μισγάγγειας) είναι σημαντική.

Στην περίπτωση αυτή η ταφή των απορριμμάτων πρέπει να αρχίσει από τη χαμηλότερη πλευρά της λεκάνης και να προχωράει προς το εσωτερικό της με την παρακάτω τεχνική:

Το πρώτο ταμπάνι (πλάτωμα) θα αρχίσει κατ ευθείαν από το χαμηλότερο σημείο του δρόμου προσπέλασης: θα διαμορφωθεί με συμπιεσμένα μπάζα ή χώμα μια μικρή επιφάνεια για τους ελιγμούς των απορριμματοφόρων. Τα επόμενα ταμπάνια από στρώσεις απορριμμάτων θα κινούνται παράλληλα προς την ανοιχτή πλευρά του χώρου και προς το εσωτερικό του. Είναι φανερό ότι τα ταμπάνια θα “σβήνουν” προς τα ανάντη (θα ακουμπάνε στην πλαγιά του υψώματος). Το πλάτος τους δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 50 μέτρα, και το ύψος τους τα 2,5 μ. Το υλικό επικάλυψης των ταμπανιών πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 0,20 μ. ενώ η επικάλυψη των μετωπικών πρανών τουλάχιστον 0,60 μ. Η κλίση του μετώπου εργασίας πρέπει να είναι μικρή και να μην υπερβαίνει το 1/3. Ως υλικό επικάλυψης χρησιμοποιείται το



υλικό (χώμα, άμμος κ.λ.π.) που θα βγει από την διαμόρφωση του χώρου διάθεσης, καθώς και υλικό από εκσκαφές στην γύρω περιοχή ή μπάζα.

Η εγκάρσια ρύση της επιφάνειας του κάθε ταμπανιού θα πρέπει να δίνεται προς τα ανάντη (δηλ. προς το ύψωμα) έτσι ώστε:

- Τα νερά της βροχής να μην κυλούν προς το μετωπικό πρανάς του ταμπανιού και να μην εισδύουν στα απορρίμματα.
- Όταν το ταμπάνι πάρει τις πιο σημαντικές καθιζήσεις (περίπου σε μισό μήνα), η επιφάνειά του να παραμένει περίπου οριζόντια, με μικρή ρύση προς τα ανάντη.

Επίσης πρέπει να δίνεται μια κατά μήκος ρύση της επιφάνειας του ταμπανιού προς τον πλευρικό δρόμο προσπέλασης, απ όπου θα απάγονται τα νερά με τη βοήθεια μικρής τάφρου.

Η πιο πάνω διάταξη των εργασιών, πέρα από το ότι είναι λειτουργική για τη δεδομένη μορφολογία του χώρου, προσφέρεται επίσης για την εύκολη εκμετάλλευση των γαιωδών υλικών, που έχει επιφανειακά ο χώρος, ως υλικών επικάλυψης (και μάλιστα με τη χρήση του ίδιου μηχανήματος που εκτελεί την υγειονομική ταφή), με αποτέλεσμα να επιμηκύνεται και ο χρόνος λειτουργίας του ΧΥΤΑ.

Ανάμεσα στο ίχνος του μετωπικού πρανούς του ενός ταμπανιού και στη στέγη του προηγούμενου (υποκειμένου) θα πρέπει να μεσολαβεί μια βαθμίδα πλάτους 6 μ. περίπου για την κίνηση και τους ελιγμούς των απορριμματοφόρων (εσωτερικό δίκτυο κυκλοφορίας) που πρέπει να διατηρείται σε καλή κατάσταση. Η διάταξη των διαδοχικών στρώσεων των απορριμμάτων καθώς και το εσωτερικό δίκτυο κυκλοφορίας των απορριμματοφόρων πρέπει να προβλεφθούν από την αρχή σε τοπογραφικό διάγραμμα του χώρου.

### 2.2.3 Έργα υποδομής σε ΧΥΤΑ

Μετά την επιλογή του χώρου διάθεσης πρέπει να γίνει ένας αναλυτικός σχεδιασμός που θα περιλαμβάνει το σύνολο των έργων υποδομής που πρέπει να γίνουν για την προετοιμασία του χώρου, ένα πλήρες πρόγραμμα λειτουργίας του ΧΥΤΑ καθώς και τις αναγκαίες εργασίες για την αποκατάσταση του χώρου μετά το τέλος λειτουργίας του.

Ο σωστός σχεδιασμός των έργων υποδομής που απαιτούνται σε ένα χώρο διάθεσης είναι σημαντικός γιατί έχει σχέση τόσο με το κόστος, πάγιο και λειτουργικό, όσο κυρίως με την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία του ΧΥΤΑ.

Τα σημαντικότερα έργα υποδομής που πρέπει να γίνουν σε ένα χώρο υγειονομικής ταφής αναφέρονται παρακάτω.

- Διαμόρφωση του χώρου,
- Στεγανοποίηση του πυθμένα και των πλευρών του χώρου διάθεσης,
- Συστήματα συλλογής στραγγισμάτων,
- Έλεγχος επιφανειακών νερών,
- Συστήματα συλλογής αερίων,
- Δρόμος πρόσβασης -εσωτερικό δρομολόγιο,
- Κτίριο διοίκησης,
- Κτίριο προσωπικού,
- Συνεργείο -γκαράζ -αποθήκη υλικών,
- Γεφυροπλάστιγγα,
- Περίφραξη,



- Περιμετρική δεντροφύτευση,
- Χώρος απόθεσης απορριμμάτων για δειγματοληψία,
- Χώρος αναμονής και στάθμευσης απορριμματοφόρων,
- Σύστημα πυρόσβεσης,
- Δανειοθάλαμοι χωματισμών,
- Αποθήκη υλικών καυσίμων και
- Σύστημα παρακολούθησης (monitoring) του ΧΥΤΑ

#### 2.2.4 Στεγανοποίηση ΧΥΤΑ

Απαραίτητο στοιχείο της σωστής λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ, είναι η αποφυγή ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα από τα στραγγίσματα καθώς και η ανάσχεση της εισροής των παραγόμενων αερίων στο υπέδαφος.

Ένα σύστημα μόνωσης μιας εγκατάστασης αποτελείται από τρία μέρη:

- α) τη μόνωση της βάσης,
- β) τη μόνωση της επιφάνειας και
- γ) τη μόνωση των ενδεχομένων τοιχιών.

Η μόνωση πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Να κρατά στεγανό το χώρο από τις βροχοπτώσεις και τα επιφανειακά νερά.
- Να αντέχει σε θερμοκρασίες τουλάχιστον 70°C.
- Να στεγανοποιεί από τα παραγόμενα αέρια.
- Να αντέχει στις τυχόν καθιζήσεις και διαβρώσεις.
- Να αντέχει στους μικροοργανισμούς.
- Να τοποθετείται απλά.
- Να μπορεί να ελεγχθεί τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία.
- Να μπορεί εύκολα να επιδιορθωθεί και τέλος
- Να μην κοστίζει υπερβολικά.

Αν από την υδρογεωλογική μελέτη έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη μη υδροπερατών στρωμάτων στο χώρο διάθεσης, θα πρέπει να γίνει αναμόχλευση του εδάφους μέχρι βάθους 30 εκ. και μετά να επακολουθήσει συμπίεση σύμφωνα με τους κανόνες της εδαφομηχανικής και να δοθούν οι τελικές κλίσεις (1-2%) για την απορροή των στραγγισμάτων.

Σε περίπτωση που στο χώρο διάθεσης υπάρχουν υδροπερατά πετρώματα, θα πρέπει απαραίτητα να γίνει στεγανοποίηση. Υπάρχουν δύο μέθοδοι στεγανοποίησης, η φυσική (με ορυκτά υλικά) και η τεχνητή (με πλαστικά φύλλα).

Σήμερα χρησιμοποιούνται επίσης τα εξής συστήματα:

- Συνδυασμός μόνωσης πλαστικών και ορυκτών χωρίς σύστημα συλλογής.
- Συνδυασμός μόνωσης πλαστικών και ορυκτών με σύστημα συλλογής.
- Συνδυασμός μόνωσης τριπλός.
- Διπλό σύστημα μόνωσης με διπλούς αγωγούς.

#### 2.2.4.1 Φυσική μέθοδος στεγανοποίησης

Η μόνωση της βάσης του χώρου διάθεσης με ορυκτά είναι αρκετά διαδεδομένη αρκεί η περατότητα (K) να κυμαίνεται από  $10^{-8} - 10^{-10}$  m/s. Η μόνωση με ορυκτά υλικά κατασκευάζεται από άργιλο ή μπετονίτη, ή συνδυασμό ενός, δύο ή τριών στρώσεων από άργιλο, μπετονίτη, ιπτάμενη τέφρα, θηραϊκή γη ή υδρύαλο ή άσφαλτο. Για την τοποθέτηση του μονωτικού υλικού πρέπει το έδαφος να είναι καλά συμπιεσμένο.

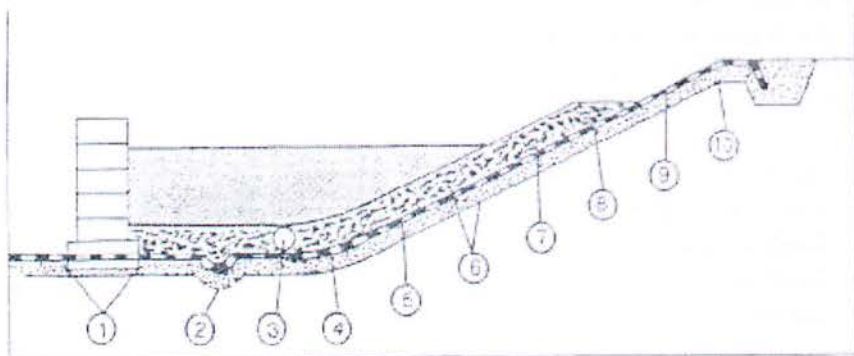
Το στρώμα της μόνωσης κυμαίνεται από 20 – 70 cm. Τα βασικά στοιχεία τα οποία εξετάζονται εκτός από την περατότητα είναι: το μέγεθος των κόκκων του υλικού μόνωσης, η περατότητά του σε νερό και η πλαστικοποίησή του. Τελευταίες έρευνες έδειξαν ότι τα οξέα και οι βάσεις μπορούν να αποδυναμώσουν ή ακόμη και να καταστρέψουν τη δομή του πηλού.

Στα πρανή των χώρων διάθεσης των απορριμμάτων ισχύει ότι και στη βάση. Σ' αυτή την περίπτωση όμως πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στις καθιζήσεις, ενώ θα πρέπει να δοθούν και οι κατάλληλες κλίσεις για την απορροή των στραγγισμάτων. Επίσης, η τελική στεγανοποιητική επιφάνεια θα πρέπει να προφυλαχθεί από ξήρανση, διάβρωση και από τον παγετό. Για το λόγο αυτό αναγκαίο είναι πολλές φορές η στεγανοποίηση να κατασκευάζεται τμηματικά, σύμφωνα με την εξέλιξη του ΧΥΤΑ.

#### 2.2.4.2 Τεχνητή μέθοδος στεγανοποίησης

Είναι η μέθοδος χρησιμοποίησης συνθετικών μεμβρανών (liners) από χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), από πολυαιθυλένιο χαμηλής ή υψηλής πυκνότητας (LDDE, HDPE), ή από πολυπροπυλένιο. Πριν αρχίσουν οι εργασίες στεγανοποίησης, θα πρέπει η επιφάνεια του εδάφους να είναι λεία και καλά συμπιεσμένη και να έχουν δοθεί οι κατάλληλες κλίσεις. Για να μην τρυπήσει η μεμβράνη από αιχμηρά αντικείμενα που υπάρχουν στα απορρίμματα ή έχουν απομείνει στην επιφάνεια του εδάφους, τοποθετούνται στρώσεις, λεπτόκοκκων υλικών, συνήθως άμμου και στις δύο πλευρές της μεμβράνης. Η μόνωση πρέπει να αντέχει στις μηχανικές και χημικές επιδράσεις. Οι χημικές ουσίες που μπορούν ως επί το πλείστον να επηρεάσουν τα πλαστικά φύλλα είναι το τριχλωροαιθυλένιο, το τετραχλωροαιθυλένιο, το χλωροφόρμιο, η τοξύλη, ο τετραχλωράνθρακας, η ξυλόλη, το χλωροβενζόλιο.

Τα αδύνατα σημεία της τεχνητής μόνωσης, στα οποία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή φαίνονται στο Σχήμα 2.5 και είναι:



Σχήμα 2.5 Αδύνατα σημεία τεχνητής μόνωσης.



- Κίνδυνος στην ένωση των φύλλων, στα φρεάτια των στραγγισμάτων και των αερίων (κακή κατασκευή) (σημείο 1),
- Υπερβολικό τέντωμα από κακή διαμόρφωση του εδάφους (σημείο 2),
- Κίνδυνος από κακή τοποθέτηση των συστημάτων συλλογής (σημείο 3),
- Δύσκολη συγκόλληση στην κλίση (σημείο 4),
- Σημείο μέγιστης πίεσης των απορριμμάτων (σημείο 5),
- Κίνδυνος από κακή τοποθέτηση του στρώματος κάλυψης (σημείο 6),
- Ενδεχόμενη απομάκρυνση του στρώματος φίλτρου των συστημάτων συλλογής των στραγγισμάτων (σημείο 7),
- Κίνδυνος από τις διακυμάνσεις τις θερμοκρασίας (σημείο 8),
- Κίνδυνος από ενδεχόμενο τράβηγμα των φύλλων (σημείο 9).

Οι συνθετικές μεμβράνες διατίθενται σε ρολά πλάτους 8-10 μέτρων περίπου και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη συγκόλλησή τους. Τα συνθετικά υλικά εξασφαλίζουν καλύτερη στεγάνωση από το στρώμα αργίλου, αλλά είναι πιο ακριβά και χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην τρυπήσουν ή να μην ξεκολλήσουν στις ενώσεις, γιατί τότε η διέλευση των στραγγισμάτων δεν μπορεί να ανασχεθεί.

Πολλές φορές, για εξασφάλιση καλύτερων αποτελεσμάτων, χρησιμοποιείται συνδυασμός των δύο μεθόδων. Τοποθετείται δηλαδή στρώμα αργίλου και από πάνω η συνθετική μεμβράνη.

Επίσης, πολλές φορές χρησιμοποιούνται διάφορα τεχνητά εδαφικά μείγματα, όπως π.χ. μίγμα αργίλου-άμμου και γυαλιού. Η περιεκτικότητα του μίγματος σε άργιλο είναι περίπου 20% και σε υδρύαλο 3-10 %. Με την παροχή της υδρύαλου σχηματίζεται κολλοειδές διάλυμα, ζελατινώδες το οποίο φράσσει τους πόρους του εδάφους. Η περατότητα  $K$  κυμαίνεται από  $1 \times 10^{-9}$  μέχρι  $5 \times 10^{-11}$  m/s. Η μόνωση μπορεί επίσης να επιτευχθεί και με άσφαλτο, η οποία όμως είναι αρκετά ευαίσθητη σε οργανικούς διαλύτες.

Όσον αφορά τη μόνωση των τοιχιών, αυτή μπορεί να κατασκευαστεί με μίγμα μετονίτη τσιμέντου ή με πλαστικά φύλλα και σε ειδικές περιπτώσεις με συνδυασμό και των δύο. Η περατότητα ( $K$ ) στο μίγμα μετονίτη – τσιμέντου κυμαίνεται από  $10^{-8}$  -  $10^{-9}$  m/sec.

### 2.2.5 Σύνθεση και ποσοτικός προσδιορισμός στραγγισμάτων

Αν λάβουμε υπόψη μας τη σύνθεση των απορριμμάτων, η μέση τιμή υγρασίας είναι γύρω στο 49%. Για το υπολογισμό της ποσότητας του παραγόμενου νερού από την αναερόβια διεργασία αποδόμησης των απορριμμάτων χωρίζουμε τα υλικά σε δύο κατηγορίες.

- 1) υλικά εύκολης αποδόμησης (20 χρόνια)
- 2) υλικά μέσης αποδόμησης (40 χρόνια)

Στην πρώτη κατηγορία (Πίνακας 2.7) υπάγονται ζυμώσιμα υλικά ενώ στη δεύτερη το χαρτί.

Υγρασία %				
Υλικά	% σε βάρος	Ολική	Μεμονωμένη	Αναγόμενη ξηρά ύλη % (βάρος)
Ζυμώσιμα	57	48	35,53	21,47
Χαρτί	20	48	12,47	7,53

Πίνακας 2.7 Χαρακτηριστικά υλικών εύκολης και μέσης αποδόμησης.

Τα ζυμώσιμα υλικά αποδομούνται 100% ενώ το χαρτί της πρώτης κατηγορίας κατά 60% δηλ. στο σύνολο 21,47% και 4,52% αντίστοιχα.

Με βάση τον πίνακα 20, ο οποίος μας παρουσιάζει την περιεκτικότητα σε ποσοστά % βάρους των C, H, O, και N του χαρτιού και των ζυμώσιμων υλικών. Η συμμετοχή των μεμονωμένων στοιχείων (% βάρους), στο σύνολο φαίνεται στον Πίνακα 2.8.

Στοιχεία Υλικό	C	H	O	N
Χαρτί	45.41	6.11	42.11	0.30
Ζυμώσιμα	41.75	5.75	27.50	2.80

Πίνακας 2.8 Στοιχεία ανά υλικό στα απορρίμματα.

Στοιχεία Υλικό	C	H	O	N
Χαρτί	2,05	0,27	1,90	0,01
Ζυμώσιμα	8,96	1,23	5,90	0,60
ΣΥΝΟΛΟ	11,01	1,50	7,80	0,61

Πίνακας 2.9 Συμμετοχή στοιχείων των διαφόρων υλικών.

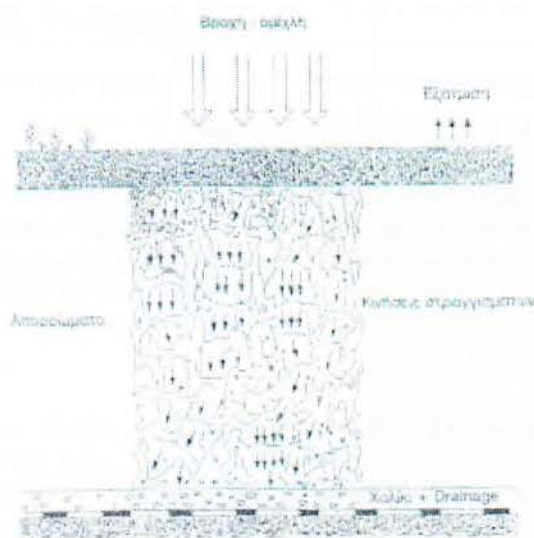
Το παραγόμενο νερό για την πρώτη και δεύτερη κατηγορία υπολογίζεται σε 5,94% και 3,42% αντίστοιχα.

Συγκεκριμένα το παραγόμενο νερό από την βιολογική αποδόμηση ενός m<sup>3</sup> απορριμμάτων για την πρώτη κατηγορία ανέρχεται σε 29,7 - 35,64 lt για τη δεύτερη κατηγορία σε 17,10 - 20,52 lt.

Οι πολύπλοκες αλληλοεπιδράσεις μεταξύ υδατικού ισοζυγίου και βιολογικής αποσύνθεσης στα απορρίμματα έχουν σαν συνέπεια την εμφάνιση μεγάλων διακυμάνσεων στην ποιοτική και ποσοτική σύσταση των στραγγισμάτων. Παρόλα αυτά είναι δυνατή η συλλογή αρκετών στοιχείων που επιτρέπουν μια εκτίμηση ποσοτική και ποιοτική της σύνθεσης των στραγγισμάτων σε μια εγκατάσταση Υγειονομικής Ταφής. Η παραγωγή των στραγγισμάτων επηρεάζεται κυρίως από τις κλιματολογικές συνθήκες, τη μορφολογία της περιοχής και τον τρόπο λειτουργίας του χώρου διάθεσης των απορριμμάτων.

Η ετερογενής δε σύνθεση των απορριμμάτων και η ταξινόμηση τους κατά μέγεθος τα κάνει να προσομοιάζουν σε μείγμα από χονδρή άμμο, χαλίκια και βότσαλα αναμειγμένα με οργανικές ουσίες. Η δομή αυτή σε συνάρτηση με τον εκάστοτε τρόπο λειτουργίας δυσκολεύει τη χρήση μαθηματικών μοντέλων για την περιγραφή της διακίνησης των στραγγισμάτων. Τη συμπεριφορά των στραγγισμάτων μπορούμε να την απεικονίσουμε στην Εικόνα 2.6.





Σχήμα 2.6 Σχηματική παράσταση των στραγγισμάτων μιας ελεγχόμενης απόθεσης.

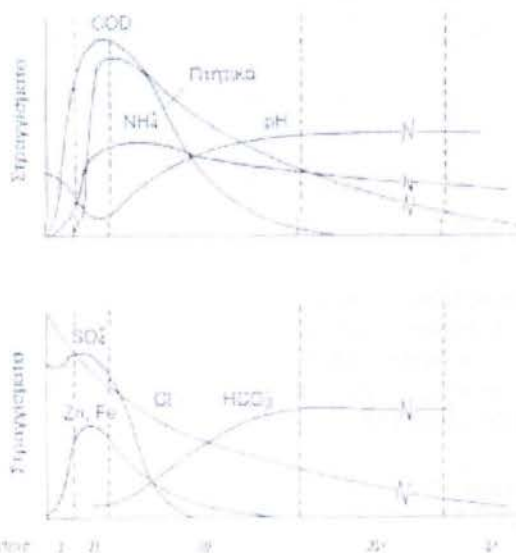
Οι οργανικές ουσίες αποτελούν τη σημαντικότερη επιβάρυνση των στραγγισμάτων αυτών και είναι το κυριότερο κριτήριο για την εκτίμηση της ποιότητά τους. Οι σπουδαιότεροι παράμετροι για την παραπάνω εκτίμηση είναι το BOD<sub>5</sub>, COD, TOC και εξαρτώνται από την ηλικία της εγκατάστασης, το είδος της εφαρμοσμένης συμπίεσης και φυσικά τη σύνθεση των απορριμμάτων (Πίνακας 2.10).

Παράμετροι (mg/l)	Αρχική φάση	Ζύμωση μεθανίου
pH <sup>1</sup>	6.1	8.0
CSB	22000	3000
BSB <sub>5</sub>	13000	180
SO <sub>4</sub>	1745 <sup>2</sup>	884 <sup>2</sup>
Fe	925	15
Ca	1300	30
Mg	600	250
Mn	24	0.65
Zn	5.6	0.64
NH <sub>4</sub> -N	741	
Org.N	593	
Cl	2119	
ges.P	5.7	
K	1085	
Na	1343	
HCO <sub>3</sub>	8063	
As	0.126	
Pb	0.087	
Cd	0.0052	
Cr	0.275	
Co	0.05	
Cu	0.65	
Ni	0.166	

Hg	0.0002 – 0.061 <sup>3</sup>	
F	0.6 <sup>3</sup>	

Πίνακας 2.10 Σύνθεση στραγγισμάτων.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ανάπτυξη των στραγγισμάτων σε χώρο διάθεσης οικιακών απορριμμάτων. Οι οργανικές ουσίες δείχνουν τάση μείωσης της συγκέντρωσής τους όσο αυξάνεται η ηλικία της εγκατάστασης.



Γράφημα 2.3 Ανάπτυξη των στραγγισμάτων.

Τα ανόργανα στοιχεία των στραγγισμάτων χωρίζονται ανάλογα με την διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεών τους σε τρεις κατηγορίες:

- 1) παράμετροι με διαχρονική εξέλιξη συγκέντρωσης (Fe, Ca, Mg, Mn, Zn),
- 2) παράμετροι με μακροπρόθεσμα ελαφρά αυξανόμενη συγκέντρωση (Cl, N<sub>4</sub><sup>+</sup>, K, Na),
- 3) παράμετροι με τυχαίες διακυμάνσεις συγκεντρώσεων (NO, P και βαρέα μέταλλα Pb, Ni, As, Cu, Cd, Cr, Co).

Συγκριτικά με τα λύματα, τα στραγγίσματα έχουν υψηλές τιμές σε Cl, K, Na, Mn και Mg. Η ποσότητα του νερού το οποίο εισέρχεται στο χώρο εξαρτάται από την ένταση των βροχοπτώσεων, την τοπογραφία, τις κλίσεις, το έδαφος και τις καλλιέργειες.

Βασικός παράγοντας για τον προσδιορισμό των παραγόμενων στραγγισμάτων, είναι η εξατμισοδιαπνοή. Η εξατμισοδιαπνοή, προσδιορίζεται ως μία φυσική διαδικασία, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την υγρασία και το έλλειμμα κορεσμού στον αέρα καθώς επίσης την πίεση του αέρα και το συντελεστή αεροδυναμικής. Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής πρέπει να γίνει ο διαχωρισμός όταν βρίσκεται σε λειτουργία ο χώρος και μετά τη διάρκεια λειτουργία του δηλ. την τελική επικάλυψή του.



## 2.2.6 Σύστημα συλλογής στραγγισμάτων

Έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι η μόνωση της βάσης χωρίς συλλογή και απομάκρυνση των στραγγισμάτων απ' αυτήν, τελικά βλάπτει περισσότερο απ' ότι ωφελεί. Ένα σύστημα συλλογής και αποστράγγισης είναι λοιπόν απαραίτητο και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα σημεία της κατασκευής ενός ΧΥΤΑ, καθώς η διάρκεια ζωής της μόνωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από αυτό. Το σύστημα συλλογής και αποστράγγισης πρέπει να εξασφαλίζει μακροχρόνια τη συλλογή της συνολικής ποσότητας των στραγγισμάτων και να αποκλείει την πρόσμιξή τους με τα βρόχινα νερά.

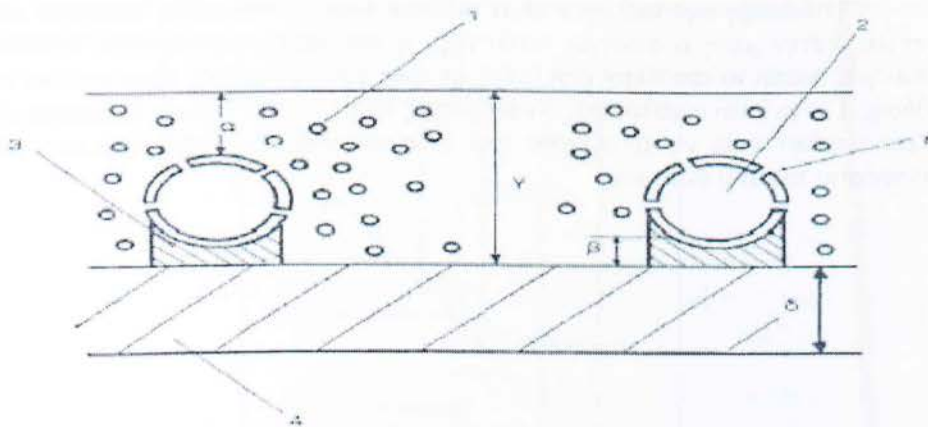
Η επιλογή του συστήματος συλλογής των στραγγισμάτων γίνεται σε συσχετισμό με τις παρακάτω απαιτήσεις:

- να μη προκληθούν βλάβες, παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στο μονωτικό σύστημα κατά την τοποθέτηση του,
- οι αγωγοί να είναι υδραυλικά αποδοτικοί και να αντέχουν σε χημικές, βιομηχανικές και φυσικές καταπονήσεις, τόσο κατά τη φάση λειτουργίας, όσο και της μετέπειτα φροντίδας του ΧΥΤΑ (50 χρόνια, 40°C, πυκνότητα αποβλήτων: 1,5 Mg/m<sup>3</sup>),
- να υπάρχει ελεύθερη ροή των στραγγισμάτων προς τη δεξαμενή συλλογής τους και να καθαρίζονται σχετικά εύκολα,
- το υδραυλικό ύψος των στραγγισμάτων να μη ξεπερνά τα 30 cm πάνω από τη γεωμεμβράνη.

Η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος γίνεται με βάση τις παραγόμενες ποσότητες στραγγισμάτων, τα οποία πρέπει να συλλεχθούν και να απομακρυνθούν και κατόπιν να επεξεργαστούν, σύμφωνα με τη διαθέσιμη τεχνική.

Οι σωλήνες στραγγισμάτων διακρίνονται σε:

- σωλήνες απορρόφησης (διάτρητοι) με μέγιστη απόσταση μεταξύ τους 15-20m, και ελάχιστη διάμετρο  $\Phi=100\text{mm}$  και
- σωλήνες συλλογής με ελάχιστη διάμετρο  $\Phi=300\text{mm}$  και μέγιστο μήκος 300m.

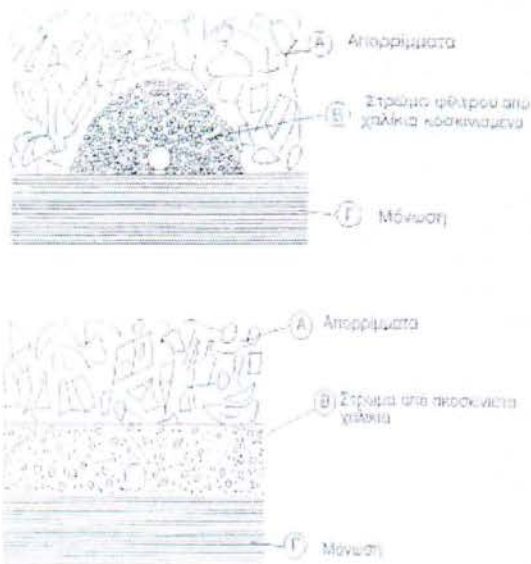


Σχήμα 2.7 Σωλήνες αποστράγγισης..

1. Χαλίκια  $\Phi=16\text{mm}$
2. Τσιμεντοσωλήνες αποστράγγισης  $\Phi=300\text{mm}$
3. Στήριξη από μπετόν
4. Στρώμα πηλού:

- A = 30 cm
- B = 10 cm
- Γ = 70 cm
- Δ = 30 cm
- E = οπή (13 οπές / μέτρο μήκους)

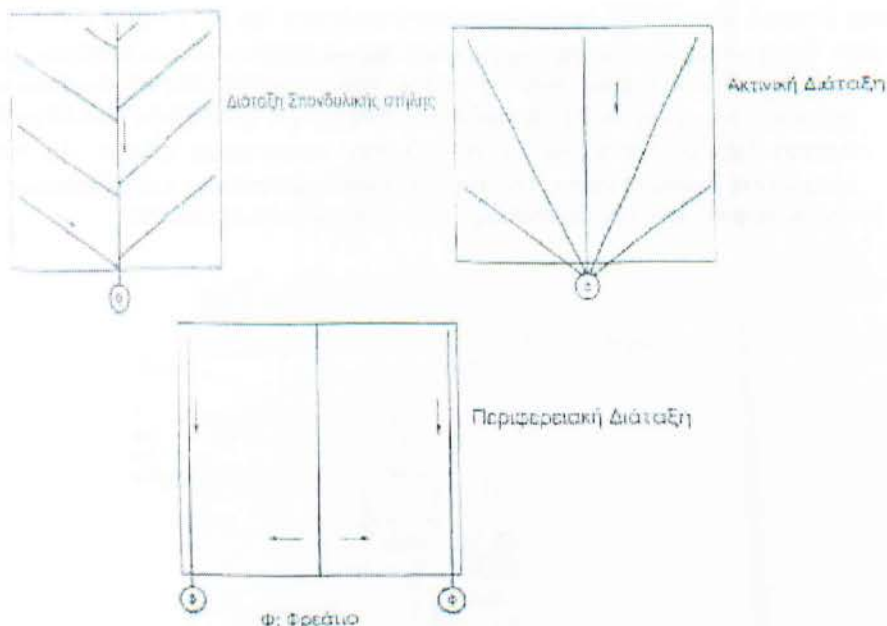
Οι σωλήνες απορρόφησης περιβάλλονται με στρώμα φίλτρου από χαλίκι 0,5m. Η κλίση των σωλήνων αυτών πρέπει να είναι ανάλογη με την κλίση βάσης, δηλαδή η μικρότερη επιτρεπόμενη τιμή να είναι 0,5% ή καλύτερα 1%.



Σχήμα 2.8 Τοποθέτηση σωλήνων αποστράγγισης.

Η διάταξη των σωλήνων είναι ακτινική (σχήμα αστέρα), ή σε σχήμα σπονδυλικής στήλης (στην μέση ο σωλήνας συλλογής), ή πιο σπάνια περιφερειακή (Εικόνα 2.9). Οι σωλήνες πρέπει να τοποθετούνται βαθιά, αν είναι δυνατόν αμέσως πάνω από την μόνωση της βάσης. Για να είναι ευκολότερος ο καθαρισμός τους (πλύσιμο) πρέπει να τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προεξέχουν από το κύριο σώμα των απορριμμάτων, για να είναι ευπρόσιτο το πάνω άκρο τους.

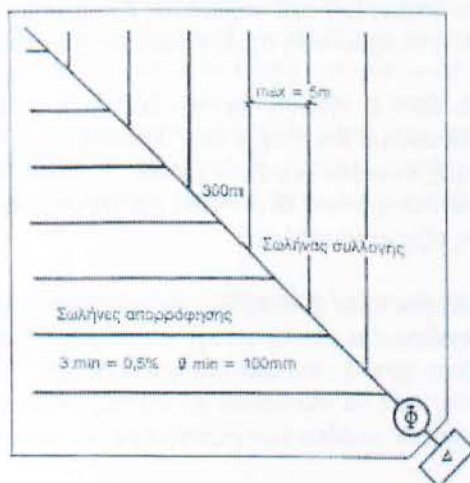




Σχήμα 2.9 Τεχνικές διατάξεων σωληνώσεων αποστράγγισης.

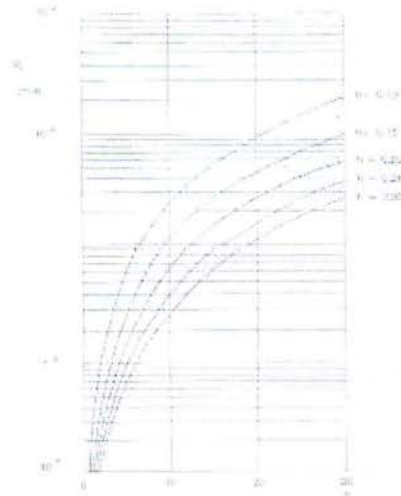
Η δεύτερη διάταξη επιτρέπει το εύκολο καθάρισμα των αγωγών και ανεξαρτησία του συστήματος από βλάβες μεμονωμένων σωλήνων, ιδίως όταν κοντά στο φρεάτιο οι σωλήνες έχουν φίλτρο από στρώμα χαλκιού.

Η περιφερειακή διάταξη είναι κατάλληλη για μικρές επιφάνειες με μεγάλες κλίσεις. Οι σωλήνες πρέπει να είναι χημικά ανθεκτικοί, μηχανικά σταθεροί, όχι ευαίσθητοι σε καθιζήσεις και υδραυλικά αποδοτικοί. Συνηθίζονται οι πήλινοι, οι αμιαντοτσιμέντου και οι πλαστικοί σωλήνες (PVC, HDPE). Συνιστάται σε κάθε περίπτωση μια προσεκτική στατική μελέτη για κάθε είδος σωλήνα, πριν από την εγκατάσταση, λόγω ισχυρών καθιζήσεων του σώματος της ελεγχόμενης απόθεσης. Το στρώμα φίλτρου (από κοσκινισμένο ή ακοσκινιστο χαλίκι) που περικλείει τους σωλήνες, εμποδίζει τις στερεές ουσίες να φράξουν τους σωλήνες και λειτουργεί συγχρόνως σαν αγωγός.



Σχήμα 2.10 Διάταξη συστήματος αποστράγγισης (σπονδυλική στήλη).

Το φίλτρο δηλαδή πρέπει να προσαρμόζεται στο είδος απορριμμάτων για να αποκλείεται ο κίνδυνος διείσδυσης των απορριμμάτων στο στρώμα του φίλτρου και των χαλικιών του φίλτρου στους σωλήνες. Επίσης και το στρώμα προστασίας πρέπει να έχει αρκετή διαπερατότητα για να ενεργεί σαν επιφανειακό φίλτρο. Τη σχέση μεταξύ του συντελεστή διαπερατότητας (K) του στρώματος προστασίας και απόστασης μεταξύ σωλήνων απορρόφησης, μας την παρουσιάζει το διάγραμμα που ακολουθεί.



Γράφημα 2.4 Συσχέτιση συντελεστή διαπερατότητας απόστασης σωλήνων και ύψους στρώματος φίλτρου.

K : συντελεστής διαπερατότητας  
A : απόσταση μεταξύ σωλήνων απορρόφησης  
H : Ύψος στρώματος φίλτρου

Από το παραπάνω διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα ότι π.χ. για ένα πάχος 15cm του στρώματος προστασίας και μια απόσταση μεταξύ σωλήνων απορρόφησης 10m ο συντελεστής διαπερατότητας (K) του στρώματος προστασίας πρέπει να είναι περίπου  $1 \times 10^{-5}$  m/s για να εμποδιστεί η συσσώρευση στραγγισμάτων στα απορρίμματα.

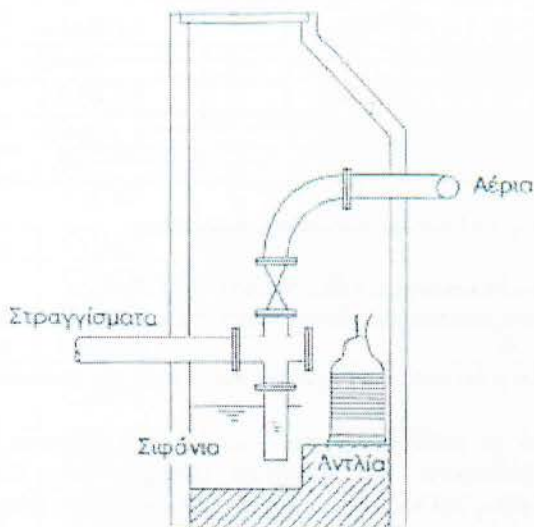
Σ' ένα σωστό δίκτυο αγωγών και συλλεκτήρων πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης για τον καθαρισμό και έλεγχό τους. Ο καθαρισμός των αγωγών μπορεί να γίνει με ξέπλυμα με νερό τουλάχιστον μια φορά τον χρόνο.

Σύμφωνα με τα γερμανικά πρότυπα DIN 16961 και DIN 8074/75 οι αγωγοί από HDPE πρέπει να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις:

- η διάμετρος τους να είναι  $\Phi=300$ , για τον καθαρισμό και τον έλεγχό τους,
- το HDPE να επιδεικνύει υψηλή αντοχή στα στραγγίσματα,
- να εξασφαλίζεται υψηλή σταθερότητα του HDPE,
- οι απαιτούμενες οπές να καλύπτουν τα 2/3 της επιφάνεια του σωλήνα με διάμετρο 12 mm και η επιφάνεια εισόδου των στραγγισμάτων είναι μεγαλύτερη ή ίση των 100 cm<sup>2</sup> και
- η σύνδεση τους να είναι απλή.



Η καλύτερη επιλογή για την επικάλυψη των αγωγών από HDPE είναι άμμος ή κάποιο υλικό μικρής περατότητας και μετέπειτα ένα στρώμα φίλτρου από χαλίκια 16-32 mm. Οι σωλήνες συλλογής στραγγισμάτων καταλήγουν στα φρεάτια περισυλλογής (Εικόνα 2.), που πολλές φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως φρεάτια αερίων.



Σχήμα 2.11 Φρεάτιο συλλογής στραγγισμάτων και αερίων.

Το φρεάτιο τύπου τηλεσκοπίου αποτελείται από την βάση στήριξης, τον κυρίως αγωγό, τον ειδικό δακτύλιο, ο οποίος μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με την καθίζηση και το επάνω τμήμα του αγωγού. Το φρεάτιο συλλογής ή ελέγχου μπορεί να κατασκευασθεί τόσο απότσιμέντο όσο και από HDPE και συνήθως έχει διάμετρο 2-3m.

### 2.2.7 Τα αέρια που παράγονται στους ΧΥΤΑ

Η διαδικασία αποδομήσεως των απορριμμάτων γίνεται κάτω από αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η σύνθεση των απορριμμάτων και η τεχνική με την οποία εναποτίθενται τα απορρίμματα.

Η μικροβιολογική διεργασία, η εισροή του αέρα στα απορρίμματα και ο αέρας στους πορώδεις χώρους των απορριμμάτων είναι τα κύρια αίτια δημιουργίας των αερίων. Κατά την αερόβια διαδικασία της αποδομήσεως των οργανικών ουσιών παράγεται CO<sub>2</sub>, νερό και ενέργεια. Υπολογίζεται ότι η παραγωγή του CO<sub>2</sub> κατά την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων του άνθρακα ανέρχεται σε 20,8 Vol % . Από την αποδόμηση των αμινοξέων εκτός του CO<sub>2</sub> παράγεται και NH<sub>3</sub>. Η αποδόμηση των οργανικών ουσιών σε αναερόβιες συνθήκες γίνεται σε δύο στάδια:

- 1) την όξινη ζύμωση (μετατροπή των κυπαρινών, λιπών και πρωτεϊνών σε οξέα, μέσω ενζυματικών υδρολύσεων) και
- 2) τη ζύμωση μεθανίου (παραγωγή μεθανίου)

Η σύνθεση και η περιεκτικότητα του παραγόμενου βιοαερίου στους Χ.Υ.Τ.Α., παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Σύσταση βιοαερίου	a % κ.ο.	b % κ.ο.	c % κ.ο.
CH <sub>4</sub>	65	50-45	25
CO <sub>2</sub>	35	45-35	20
N <sub>2</sub>	-	4-16	45
O <sub>2</sub>	-	1-6	10

Πίνακας 2.11 Τυπική σύσταση του βιοαερίου.

- κατά τη φυσική διαφυγή του αερίου από το Χ.Υ.Τ.Α.,
- με χρήση ενός τυπικού συστήματος απαγωγής και ύπαρξη καλής στεγάνωσης της επιφάνειας και
- με υπερβολική άντληση και ανεπαρκή στεγάνωση της επιφάνειας του Χ.Υ.Τ.Α.

Εκτός από το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα, που αποτελούν τα βασικά συστατικά του βιοαερίου, στο τελευταίο υπάρχουν και άλλες ουσίες σε μικρότερες συγκεντρώσεις, καθώς και τοξικές ουσίες που βρίσκονται σε ίχνη. Οι τυπικοί και οι οργανικοί ρυπαντές που βρίσκονται στο βιοαέριο φαίνονται στους Πίνακες 2.12 και 2.13, αντίστοιχα.

Τυπικοί Ρυπαντές	Μέση Τιμή	
	a mg/m <sup>3</sup>	b mg/m <sup>3</sup>
Σ S	200	150
Σ Cl	100	50
Σ F	20	10
CFC	50	25
HANC	5-1000	5-50
Cd	0-1	0-0.5
Hg	0-1	0-0.5
Σ Met.	0-5	0-3

Πίνακας 2.12 Τυπικοί ρυπαντές που περιλαμβάνει το βιοαέριο.

- κατά τη φυσική διαφυγή του αερίου από το Χ.Υ.Τ.Α.,
- με χρήση ενός τυπικού συστήματος απαγωγής και ύπαρξη καλής στεγάνωσης της επιφάνειας του Χ.Υ.Τ.Α.



Ρυπαντές		Ομάδα	WPC*	Τυπική Συγκέντρωση*	Μέγιστη Συγκέντρωση*
Χλωροφθορομεθάνιο	CH <sub>2</sub> ClF	A2		10	
Χλωροδιφθορομεθάνιο	CH <sub>2</sub> ClF <sub>2</sub>		1800	5	
Διχλωροφθορομεθάνιο (R21)	CHCl <sub>2</sub> F		45	5	
Διχλωροφθορομεθάνιο (R12)	CHCl <sub>2</sub> F		5000	50	50
Τριχλωροφθορομεθάνιο	CHCl <sub>3</sub> F		5600	10	
Τριχλωροφθοροαιθάνιο (R113)	C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F		3800	2	
Χλωροαιθυλένιο (VC)	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	A1		10	200
Διχλωρομεθάνιο	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	B	360	20	1000
1,1-Διχλωροαιθυλένιο	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	B	8		2
1,2-Διχλωροαιθυλένιο	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>		790	30	700
1,1,1-Τριχλωροαιθυλένιο	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>		1080	2	400
Τριχλωροαιθυλένιο (Tri)	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>		270	10	190
Τετραχλωροαιθυλένιο (Per)	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	B	345	10	180
Βενζόλιο	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	A1		5	500
Τολουένιο	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>		380	100	1700
Ξυλένιο	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>		440	50	
Υδρογονάνθρακες	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>			300	
Αιθανόλη	CH <sub>2</sub> CHO	B	90	20	
Φορμαλδεϋδή	CH <sub>2</sub> O	B	0.6		
Σουλφίδιο του υδρογόνου	H <sub>2</sub> S		15	100	20000
Άθροισμα οργανικών ενώσεων	-	-	-	500	20000
Mercaptane	RSH		1	2	200

\* mg/m<sup>3</sup>

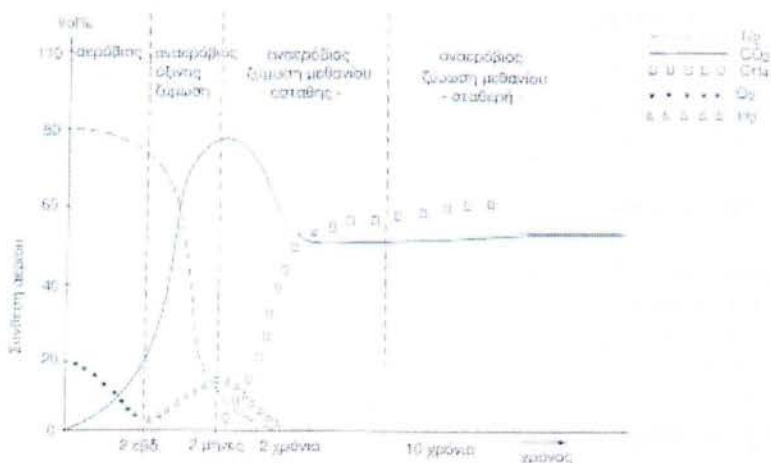
Πίνακας 2.13 Ορισμένοι οργανικοί ρυπαντές (VOCs) που συνήθως περιλαμβάνει το βιοαέριο.

Ομάδα A1: Καρκινογόνα για τον άνθρωπο

Ομάδα A2: Καρκινογόνα από πειράματα με ζώα

Ομάδα B: Ύποπτα ως καρκινογόνα

Μετά την εναπόθεση των απορριμμάτων αρχίζει η παραγωγή του CO<sub>2</sub> που σιγά-σιγά μειώνεται με μια σύγχρονη αύξηση της παραγωγής του μεθανίου. Μείωση παρατηρείται τόσο στο οξυγόνο που βρίσκεται στον πορώδη χώρο των απορριμμάτων όσο και στο άζωτο. Κατά τη διάρκεια των πρώτων μηνών υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις της παραγωγής αερίων τόσο στην ποσότητα όσο και στην ποιότητα. Στην Εικόνα 2.12 βλέπουμε τη σύνθεση του αερίου κατά τη διάρκεια της αποδομήσεως των απορριμμάτων.



Γράφημα 2.5 Σύσταση αερίων στους χώρους διάθεσης απορριμμάτων.

Οι ποσότητες των παραγόμενων αερίων εξαρτώνται από τις μικροβιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αποδόμηση των απορριμμάτων, από τη σύνθεσή τους και από μια σειρά άλλων παραγόντων, οι οποίοι μπορεί να είναι εσωτερικοί ή εξωτερικοί.

Οι παράγοντες αυτοί φαίνονται παρακάτω:

1) Εξωτερικοί παράγοντες:

- Αέρας – θερμοκρασία,
- Ατμοσφαιρική πίεση,
- Επικάλυψη,
- Βροχοπτώσεις,
- Τοπογραφία,
- Υδρογεωλογία,
- Σύνθεση απορριμμάτων.

2) Εσωτερικοί παράγοντες:

- Θερμοκρασία,
- Εισροή αέρα,
- Υγρασία,
- Οξειδοαναγωγή,
- ΡΗ,
- Θρεπτικές ουσίες,
- Τοξικές ουσίες.

Όπως είναι φυσικό, υπάρχει μια έντονη αλληλεπίδραση μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών παραγόντων. Για παράδειγμα, η εξωτερική θερμοκρασία καθορίζει τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του χώρου διάθεσης, ενώ η εισροή αέρα είναι συνάρτηση της ατμοσφαιρικής πίεσης που επικρατεί και της επικάλυξης του χώρου. Επίσης, η υγρασία εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις και την υδρογεωλογία του χώρου, ενώ η σύνθεση των απορριμμάτων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τις θρεπτικές και τοξικές ουσίες που περιέχονται σε αυτά.



Το βιοαέριο, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε μεθάνιο, έχει σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο. Πράγματι, η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του μεθανίου ανέρχεται σε 35,9 MJoules/m<sup>3</sup>, το δε ενεργειακό του ισοδύναμο ανέρχεται σε 9,94 KWh/m<sup>3</sup> περίπου. Έτσι, 1m<sup>3</sup> βιοαερίου, με περιεκτικότητα σε μεθάνιο ίση με 70%, είναι ισοδύναμο με 0,66 lt καυσίμου ντίζελ, ή 0,25m<sup>3</sup> αερίου προπανίου, ή 0,2m<sup>3</sup> αερίου βουτανίου ή 0,85 kg λιγνίτη.

Αν λάβουμε υπόψη μας ότι:

- 1) από 1 Kg απορρίμματα μπορούν να παραχθούν περίπου 100 lt CH<sub>4</sub>
- 2) από το παραγόμενο μεθάνιο περίπου το 40% μπορεί να συλλεγεί, γιατί το υπόλοιπο χάνεται στο έδαφος και την ατμόσφαιρα και
- 3) κάθε άτομο παράγει περίπου 1 Kg απορρίμματα την ημέρα.

Μπορούμε να υπολογίσουμε την παραγωγή μεθανίου σε 100 lt/κάτ. την ημέρα. Έτσι σε μια πόλη με περίπου 100.000 κατοίκους η θεωρητική παραγωγή μεθανίου είναι 10.000 m<sup>3</sup>. Με ανάκτηση μεθανίου 40% η παραγωγή μπορεί να υπολογισθεί σε 4.000 lt/ημ. Τα αέρια που προέρχονται από τους χώρους διάθεσης απορριμμάτων μπορούν να θεωρηθούν άριστης ποιότητας αν η σύνθεσή τους είναι η εξής: CH<sub>4</sub> πάνω από 60 Vol%, CO<sub>2</sub> λιγότερα από 50 Vol% ενώ τα υπόλοιπα αέρια να μην ξεπερνούν το 1 Vol%. Σε περίπτωση που η αναλογία O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> είναι διαφορετική από εκείνη του αέρα, παρουσιάζεται το φαινόμενο διεισδύσεως του O<sub>2</sub> στο χώρο διάθεσης που έχει σαν αποτέλεσμα την οξείδωση του μεθανίου, αρνητικό παράγοντα για τη χρησιμοποίησή του.

## 2.2.8 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις βιοαερίου

Εκτός από τους κινδύνους που εγκυμονούν για τη δημόσια υγεία οι Χ.Υ.Τ.Α., λόγω των αερίων εκπομπών βιοαερίου, ένας ιδιαίτερα σημαντικός κίνδυνος που σχετίζεται με την παραγωγή βιοαερίου, αφορά την πιθανότητα έκρηξης και αυτανάφλεξής του.

Συγκεκριμένα, συγκεντρώσεις μεθανίου, σε ποσοστά 5-15% κ.ο. με τον ατμοσφαιρικό αέρα, προκαλούν εύφλεκτο μίγμα. Σε συγκεντρώσεις μεθανίου πάνω από 15%, το οξυγόνο είναι ανεπαρκές για την πρόκληση εκρήξεων, αλλά οι κίνδυνοι παραμένουν ακόμα υψηλοί.

Επίσης, ιδιαίτερα σημαντική αρνητική επίπτωση, με παγκόσμια διάσταση, είναι η συμμετοχή του βιοαερίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, δεδομένου ότι το μεθάνιο ανήκει στα αέρια που έχουν την ιδιότητα να συγκρατούν ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Μάλιστα, το μεθάνιο εμφανίζει την ιδιότητα αυτή αυξημένα κατά 20-25%, συγκρινόμενο με το διοξείδιο του άνθρακα. Έτσι το μεθάνιο σήμερα, είναι υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας της γης, την τελευταία δεκαετία κατά 20%, ή διαφορετικά, για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,1 οC. Βέβαια, οι εκπομπές μεθανίου στην ατμόσφαιρα, οφείλονται κατά 75% στα φυσικά οικοσυστήματα, ενώ μόλις 4% των συνολικών εκπομπών μεθανίου οφείλονται στο βιοαέριο των Χ.Υ.Τ.Α.

## 2.2.9 Εκτίμηση παραγωγής βιοαερίου και στραγγισμάτων σε ΧΥΤΑ

Η αποτελεσματική και περιβαλλοντικά ασφαλής λειτουργία ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής, προϋποθέτει την ύπαρξη συστήματος συλλογής και επεξεργασίας του βιοαερίου και των στραγγισμάτων που παράγονται. Για το σωστό σχεδιασμό αυτών των συστημάτων είναι απαραίτητο να εκπονηθεί προηγουμένως σχετική μελέτη, για να εκτιμηθεί η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου και στραγγισμάτων.



Σήμερα, στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για τον υπολογισμό της ποσότητας στραγγισμάτων. Για παράδειγμα οι Fenn Et Al και Lu Et Al ανέπτυξαν τη Μέθοδο Υδατικού Ισοζυγίου (Water Balance Method). Οι Perrier και Gibson ανέπτυξαν την Υδρολογική Προσομοίωση στις Εγκαταστάσεις Στερεών Αποβλήτων (Hydrologic Simulation on Solid Waste Disposal Sites). Οι Shroeder Et Al ανέπτυξαν την Υδρολογική Αποτίμηση των ΧΥΤΑ (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance). Ένα σοβαρό μειονέκτημα για τις περισσότερες από τις ήδη υπάρχουσες μεθόδους είναι η έλλειψη λεπτομερούς εισόδου πληροφοριών και η πολυπλοκότητα των υπολογισμών.

Η ανάπτυξη μιας απλής σχετικά μεθόδου για τον υπολογισμό της ποσότητας του βιοαερίου και των στραγγισμάτων που παράγονται στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής, έχει από Μηχανικούς Περιβάλλοντος του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης. Οι υπολογισμοί έγιναν σε φύλλο Excel, στο οποίο διατηρήθηκε υπολογιστική συνέχεια, και κατέληξαν σε διαγράμματα ποσότητας διασταλαγμάτων ως συνάρτηση του χρόνου. Το φύλλο Excel είναι ένα εύχρηστο εργαλείο, όχι μόνο για τον υπολογισμό ποσοτήτων, αλλά και για την αξιολόγηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την παραγωγή των διασταλαγμάτων, καθώς και για τη σύγκριση διαφόρων ΧΥΤΑ ως προς την παραγωγή.

Η μέθοδος στηρίζεται στον υπολογισμό ενός υδατικού ισοζυγίου σε μια στρώση ενός ΧΥΤΑ και υπολογίζει:

- Την παραγωγή βιοαερίου συναρτήσει του χρόνου,
- Την απαιτούμενη ποσότητα ύδατος για την παραγωγή βιοαερίου,
- Την ποσότητα ύδατος που διαφεύγει με το βιοαέριο,
- Την ποσότητα ύδατος που περιέχεται στο απόβλητο,
- Το ξηρό βάρος αποβλήτου,
- Την υδροχωρητικότητα του αποβλήτου στο πεδίο και
- Την ποσότητα διασταλαγμάτων.

#### 2.2.10 Σύστημα συλλογής βιοαερίου

Δεδομένων των ιδιοτήτων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του βιοαερίου, η σύγχρονη τεχνολογία της υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων, προβλέπει ότι το βιοαέριο, θα πρέπει να συλλέγεται με τα κατάλληλα συστήματα και ακολούθως να καίγεται, ώστε να διατεθεί ασφαλώς στην ατμόσφαιρα.

Η ελεγχόμενη συλλογή του βιοαερίου, καταρχάς, ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που ενέχονται από την ανεξέλεγκτη εκπομπή-διαφυγή του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα και αφετέρου, η καύση του βιοαερίου μετατρέπει το μεθάνιο σε διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο συμβάλλει λιγότερο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η δε καύση του βιοαερίου (σε ορισμένες ποσότητες και άνω), μπορεί να συνδυαστεί με την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του μεθανίου και να καταλήξει έτσι, στην παραγωγή ενέργειας.

Πρωταρχικός στόχος των συστημάτων συλλογής των αερίων είναι η μείωση των εκπομπών επικίνδυνων ουσιών, οι οποίες βρίσκονται στο βιοαέριο. Για την επίτευξη αυτού του στόχου πρέπει το σύστημα να εξασφαλίζει:

- Μεγάλο βαθμό συλλογής του αερίου,
- Μεγάλη διάρκεια λειτουργίας,
- Αντοχή στις συνθήκες λειτουργίας (καθιζήσεις κλπ),
- Αποφυγή της δημιουργίας εκρηκτικού μίγματος αέρα / αερίου και
- Καλή δυνατότητα ρύθμισης των συλλεκτών .



Ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποτελείται από τους συλλέκτες, τους αγωγούς μεταφοράς, το σύστημα αφύγρανσης, το σύστημα παρακολούθησης και ρύθμισης. Οι συλλέκτες των αερίων διακρίνονται κυρίως σε κάθετους και οριζόντιους.

Κρίσιμο σημείο της λειτουργικότητας των συστημάτων αερίων αποτελούν οι αγωγοί μεταφοράς των αερίων. Επειδή υπάρχουν καθιζήσεις, στα σημεία αυτά παρουσιάζονται παραμορφώσεις, όπου συγκεντρώνεται το νερό, με αποτέλεσμα να βουλώνουν οι αγωγοί και να μην μπορεί να περάσει το αέριο. Ως υλικό κατασκευής των αγωγών χρησιμοποιείται συνήθως το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HPDE) γιατί έχει πολύ καλή αντοχή. Μετά την τοποθέτηση των αγωγών πρέπει να γίνεται έλεγχος υπό πίεση. Η αποφυγή έκρηξης μπορεί να γίνει με έλεγχο (μέτρηση) του οξυγόνου ή της περιεκτικότητας του μεθανίου. Οι αγωγοί στα κρίσιμα τους μέρη είναι ατσάλινοι. Η διάμετρος του αγωγού είναι έτσι υπολογισμένη ώστε η ταχύτητα του αερίου να μην υπερβαίνει τα 10 m/s.

Πολλές φορές δημιουργούνται βλάβες στους αγωγούς που δεν μπορούν να προβλεφθούν, όπως π.χ. από υψηλή θερμοκρασία στο εσωτερικό του χώρου ή από χημικά ή από τις πιέσεις. Μπορούν να γίνουν βέβαια θεωρητικοί υπολογισμοί, αλλά στη πράξη είναι αδύνατο να υπολογίσει κανείς τις συνθήκες πίεσης, λόγω της ανομοιογένειας των απορριμμάτων. Γι' αυτό το λόγο εκτιμάται ότι στο μέλλον οι αγωγοί θα έχουν πίεση 10 bar.

Για την αντιμετώπιση της διάβρωσης που προξενείται από τα σχηματιζόμενα οξέα του υδροθείου, του φθορίου και του χλωρίου, κατά την επαφή τους με την υγρασία του αερίου, πρέπει τα τελευταία να απομακρύνονται με νερό και η θερμοκρασία να είναι πάνω από το σημείο δρόσου. Οι αντλίες αερίου δεν πρέπει να αφήνουν να εισέρχεται αέρας, στα συστήματα του αερίου, καθώς επίσης σε καμιά περίπτωση τα λάδια ψύξης να έρχονται σε επαφή με το αέριο. Η διάβρωση μπορεί να προσβάλλει τους κινητήρες, τους λέβητες, τους εναλλάκτες κλπ. Οι αλογονούχες οργανικές ενώσεις σχηματίζουν πχ. HCl και CO<sub>2</sub>. Και τα δύο έχουν επιπτώσεις και στους καυστήρες το μεν πρώτο διάβρωσης το δε δεύτερο υψηλής θερμοκρασίας.

Στα συστήματα συλλογής των αερίων υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης:

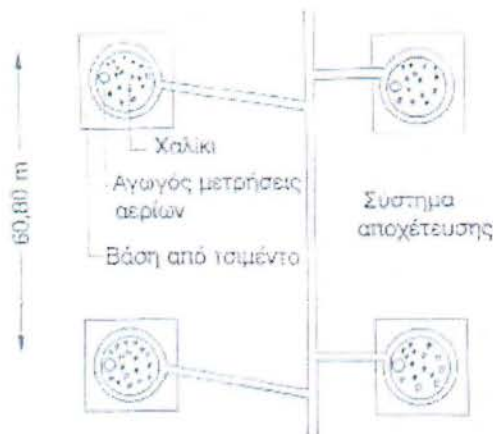
- κατά την έξοδο του αερίου (φρεάτια κλπ.),
- όταν εισέρχεται αέρας στο χώρο διάθεσης από ενδεχόμενη καθίζηση ή οποιοδήποτε άλλο λόγο,
- από βλάβη των αγωγών με αποτέλεσμα το αέριο να εξέρχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και
- από οτιδήποτε θα δημιουργούσε την αναλογία έκρηξης του αέρα/αερίου.

Για την αποφυγή ατυχημάτων πρέπει να υπάρχει σύστημα ελέγχου έτσι ώστε να σταματά η λειτουργία της εγκατάστασης πριν φθάσει το όριο έκρηξης. Επίσης πρέπει να υπάρχει στην εγκατάσταση σύστημα μέτρησης του οξυγόνου.

Αφού συλλεχθεί το παραγόμενο αέριο, περνάει στη φάση της εξαερίωσης, η οποία μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους:

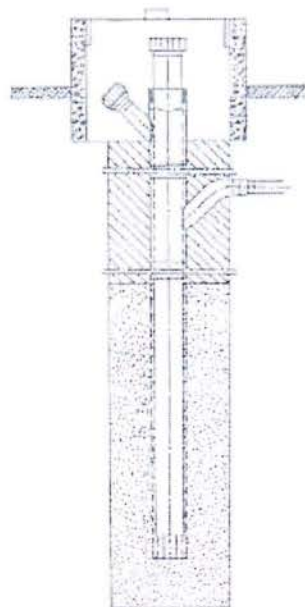
- με φρεάτια,
- με οριζόντιους,
- με κάθετους αγωγούς,
- μέσω του συστήματος συλλογής των στραγγισμάτων ή
- με βιοφίλτρα.

Η εξαερίωση με φρεάτια είναι από τις πλέον εφαρμοσμένες μεθόδους. Η σωστή συλλογή του αερίου γίνεται όταν υπάρχει αρκετά καλή μόνωση της επιφάνειας των χώρων διάθεσης με την ατμόσφαιρα.



Σχήμα 2.12 Εγκατάσταση απαερίωσης.

Διαφορετικά η ποιότητα του αερίου είναι κακή και πολλές φορές το μίγμα αερίων δεν καίγεται. Τα φρεάτια είναι κατασκευασμένα από τσιμεντοσωλήνες ή HDPE οι οποίοι έχουν κατά διαστήματα τρύπες. Για την καλύτερη ασφάλεια τους (σπάσιμο των σωλήνων) γεμίζονται με χαλίκι. Η διάμετρος τους δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,80m. Στο επάνω μέρος των φρεατίων τοποθετούνται βιοφίλτρα για τον καθαρισμό των αερίων, ή σύστημα συλλογής και επεξεργασίας των αερίων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.13 Φρεάτιο εξαερίωσης.

Στους καθέτους αγωγούς ή φρεάτια, μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα από συγκέντρωση νερών, με αποτέλεσμα να μη γίνεται σωστό το φιλτράρισμα ή να εμποδίζεται η διέλευση του αερίου. Στα φρεάτια αυτό το πρόβλημα λύνεται με διπλούς αγωγούς. Συνήθως σ' αυτού του είδους τα φρεάτια το νερό μπορεί να απομακρυνθεί με αντλία.

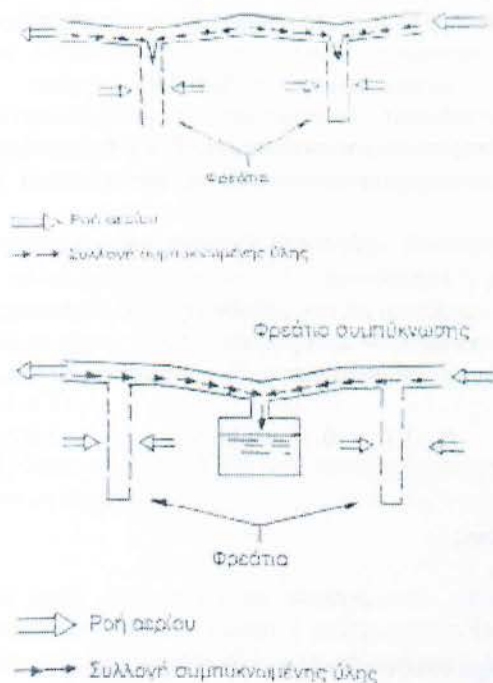


Στην περίπτωση όπου η εξαερίωση γίνεται με οριζόντιους αγωγούς, αυτοί τοποθετούνται σε διαφορετικά ύψη μέσα στο χώρο διάθεσης των απορριμμάτων, περιβάλλονται από χαλίκι και καταλήγουν στον κεντρικό σταθμό των αντλιών. Οι αγωγοί είναι από πλαστικό.

Το κόστος του συστήματος συλλογής των αερίων δεν είναι ακριβό. Η λειτουργία του χώρου διάθεσης δεν εμποδίζεται παρά μόνο κατά την τοποθέτησή τους ενώ υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής τους λόγω των κατολισθήσεων.

Στην τρίτη περίπτωση, το αέριο αντλείται μέσω των σωληνώσεων που είναι κάθετοι και τοποθετούνται σε όλο το χώρο των απορριμμάτων. Αυτό το ακριβό σύστημα εξαερίωσης είναι από τα πλέον αποτελεσματικά. Το αέριο είναι καλής ποιότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ενέργειας και ως καύσιμη ύλη.

Σε ειδικές περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση δεν έχει μεγάλο ύψος, μπορούν οι σωληνώσεις των στραγγισμάτων να χρησιμεύσουν συγχρόνως και για απαερίωση. Η εισροή εξωτερικού αέρα στους σωλήνες παρεμποδίζεται από ένα σιφόνιο, το οποίο συνδέει τους σωλήνες συλλογής με τα φρεάτια. Δεν υπάρχουν αρκετές εμπειρίες με το σύστημα αυτό, η δραστηριότητα όμως κοντά στην επιφάνεια εγκατάστασης υγειονομικής ταφής, πρέπει να αναμένεται ότι δε θα είναι αρκετή.



Σχήμα 2.14 Οριζόντιοι αγωγοί χωρίς και με αποστραγγιστικό σύστημα.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος είναι τα ελάχιστα έξοδα, η μη παρεμπόδιση της λειτουργίας της υγειονομικής ταφής και ότι δεν χρειάζονται αγωγοί και εγκαταστάσεις συλλογής στην επιφάνεια.

Για την εξαερίωση των χώρων διάθεσης με βιοφίλτρα κατασκευάζονται κατά μήκος του υλικού επικάλυψης ανοίγματα και σκεπάζονται με βελτιωτικό εδάφους (compost), το οποίο επενεργεί σαν αποσμητικό φίλτρο. Το προτεινόμενο αυτό σύστημα, είναι χαμηλό σε κόστος και δεν εμποδίζει τη λειτουργία του χώρου διάθεσης. Τα φίλτρα συνήθως, έχουν ύψος 40cm και μήκος 2 m.

### 2.2.11 Διαστασιολόγηση των ΧΥΤΑ

Ως διαστασιολόγηση ενός ΧΥΤΑ νοούμε τον καθορισμό βασικών ποσοτικών παραμέτρων του και ιδιαίτερα :

- Της έκτασής του και του απορριμματικού του ανάγλυφου
- Της διάρκειας λειτουργίας του
- Των απαιτήσεων σε κινητό εξοπλισμό διάθεσης των απορριμμάτων
- Των απαιτήσεων σε προσωπικό

Προκειμένου να καθοριστούν οι πιο πάνω παράμετροι απαιτείται να είναι προηγούμενα γνωστοί οι ΟΤΑ που θα εξυπηρετηθούν και οι άλλοι, ενδεχόμενα, παραγωγοί απορριμμάτων αποδεκτών σε ΧΥΤΑ οικιακών απορριμμάτων, καθώς και η θέση του προς διαστασιολόγηση ΧΥΤΑ.

Η γνώση της ακριβούς θέσης του ΧΥΤΑ καθιστά δυνατό τον προσδιορισμό του απορριμματικού του ανάγλυφου. Το σημείο Α λαμβάνεται κατά την έξοδο της μισγάγγειας στην κατάντη περιοχή. Μετά τον καθορισμό του ανάγλυφου προσδιορίζεται ο όγκος του, έστω  $V_{av}$ . Εκτιμούμε ότι το 20% του όγκου καταλαμβάνεται από το υλικό επικάλυψης και τελικής αποκατάστασης. Ο ενεργός όγκος κατά συνέπεια που διατίθεται για τα απορρίμματα είναι :

$$V_{av} = 0,8V_{av}$$

Εάν  $N$  είναι ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός,  $T$  η διάρκεια ζωής του ΧΥΤΑ σε έτη και  $Q$  η ετήσια παραγωγή απορριμμάτων σε τόνους ανά κάτοικο, τότε ο ΧΥΤΑ θα υποδεχθεί συνολικά :

$$\Phi = N_x Q_x T \text{ τόνους απορριμμάτων}$$

Σε ένα ΧΥΤΑ που εργάζεται με την μέθοδο της παραδοσιακής υγειονομικής ταφής εκτιμάται ότι σε  $1 \text{ m}^3$  χώρου «καθαρών» απορριμμάτων (δηλ. χωρίς το υλικό επικάλυψης) αντιστοιχούν 0,750 τόνοι διατεθέντων απορριμμάτων. Κατά συνέπεια, ισχύει η σχέση:

$$N_x Q_x T = 0,75 \times 0,80 V_{av} \text{ ή } V_{av} = 1,67 \times N_x Q_x T$$

Εάν θέσουμε:

$$Q = 0,3 \text{ Τον/κατ. έτος}$$

$$N = 150.000 \text{ άτομα}$$

$$T = 20 \text{ έτη}$$

ο όγκος του απορριμματικού ανάγλυφου προκύπτει ίσος με:

$$V = 1,67 \times 150.000 \times 0,3 \times 20 = 1.500.000 \text{ m}^3$$

Εάν συμβολίσουμε με  $V_{av}$  τον όγκο που προκύπτει από τους πιο πάνω υπολογισμούς και  $V_{av}$  τον όγκο που προκύπτει από την ογκομέτρηση του εδαφικού ανάγλυφου, θα πρέπει :

$$V_{av} > V_{av}$$

Εάν  $V_{av} \gg V_{av}$  σημαίνει ότι πρέπει να μειώσουμε τον όγκο του απορριμματικού ανάγλυφου. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μειώνοντας την επιφάνεια που θα καταληφθεί από τα απορρίμματα είτε αμβλύνοντας τις κλίσεις του είτε και τα δύο. Εάν  $V_{av} \ll V_{av}$ , εργαζόμαστε αντίστροφα.



Οι πολλές (και κοπιώδεις) δοκιμές για την επίτευξη του βέλτιστου απορριμματικού ανάγλυφου περιορίζονται αισθητά, εάν εξασφαλίσουμε μια πρώτη προσέγγιση της έκτασης που θα αυτοκαταλάβει, με τον εμπειρικό τύπο:

$$E = 0,5 N$$

όπου:

E = το εμβαδόν (σε κάτοψη) του απορριμματικού ανάγλυφου σε στρέμματα

N = ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός σε χιλιάδες κατοίκους

Ο τύπος επιτυγχάνει καλή προσέγγιση για  $N > 40$  χιλ., που αποτελεί και το σύνολο σχεδόν των περιπτώσεων των ΧΥΤΑ.

Το είδος των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθούν για τη διάθεση των απορριμμάτων εξαρτάται:

- Από το μέγεθος του ΧΥΤΑ, δηλαδή τη μέση ημερήσια ποσότητα των απορριμμάτων που προσκομίζονται στον ΧΥΤΑ, π.χ. για ποσότητα (120-150 τόνων δεν συνίσταται η χρήση συμπιεστή απορριμμάτων).
- Από τη στενότητα διαθέσιμων (και με την κοινωνική έννοια του όρου) χώρων για υγειονομική ταφή. Στενότητα τέτοιων χώρων οδηγεί στην πιθανή χρήση συμπιεστή.
- Από το καθεστώς διαθεσιμότητας του υλικού επικάλυψης εφόσον αυτό κρίνεται απαραίτητο. Αν υπάρχει δυνατότητα χωματοληψίας από τον ΧΥΤΑ ένας ερπυστριοφόρος φορτωτής είναι προτιμότερος του προωθητήρα. Για παντελή έλλειψη υλικού επικάλυψης ίσως φανείβ προτιμότερος ένας συμπιεστής.
- Από τον τρόπο Υ.Τ. που μπορεί να επιβληθεί για διαφορετικούς από τους πιο πάνω λόγους.
- Από άλλους παράγοντες υποκειμενικού χαρακτήρα (διάθεση χρημάτων, αξιοποίηση μηχανήματος για άλλους λόγους πλην Υ.Τ., δυνατότητα ή μη τεχνικής υποστήριξης του μηχανήματος).

## 2.2.12 Λειτουργία ενός ΧΥΤΑ

Οι βασικότερες δράσεις σε ένα ΧΥΤΑ που συνθέτουν τον κορμό των λειτουργικών του χαρακτηριστικών είναι οι παρακάτω:

### Απόθεση

Είναι η ενέργεια κατά την οποία τα απορρίμματα μετατίθενται από το μέσο μεταφοράς σε κάποιο σημείο του ΧΥΤΑ τελικό ή ενδιάμεσο (ενδιάμεση απόθεση). Τελικό θεωρείται το σημείο, όταν επιλαμβάνονται πλέον τα μηχανήματα διάθεσης του ΧΥΤΑ (απ' ευθείας απόρριψη). Ενδιάμεσο, θεωρείται το σημείο, όταν μεσολαβούν και οχήματα ή άλλος εξοπλισμός εσωτερικής μεταφόρτωσης ή μετακίνησης προκειμένου να τεθούν τα απορρίμματα στη διάθεση των μηχανημάτων (εσωτερική μεταφόρτωση με μεγάλα ανοιχτά φορτηγά, εσωτερικοί ελκυστήρες για μεμονωμένα containers ή συρμούς, containers από ΣΜΑ). Το ενδιάμεσο σημείο άλλοτε επιβάλλεται για λόγους τεχνικούς (σιδηροδρομική μεταφορά, συρμοί containers) και άλλοτε αποτελεί επιλογή του διαχειριστή του ΧΥΤΑ (ανοιχτά φορτηγά, μεμονωμένα containers), τόσο για λειτουργική διευκόλυνση του ΧΥΤΑ, όσο και για εξυπηρέτηση των οχημάτων μεταφοράς.

Στην περίπτωση της υγειονομικής ταφής με αναμόχλευση και με δεματισμένα απορρίμματα, το επίπεδο απόθεσης είναι υποχρεωτικά η επιφάνεια της διαμορφωμένης, ήδη, στρώσης απορριμμάτων. Αυτός ο τρόπος είναι προτιμότερος καθώς εξασφαλίζει σταθερότερη



επιφάνεια κυκλοφορίας, καλύτερο έλεγχο των επιφανειακών στραγγισμάτων και ευχέρεια διπλάσιασμού του λειτουργικού μετώπου απόρριψης με το ίδιο γεωμετρικό μήκος σε περίπτωση αιχμής, βλάβης κ.λπ. Ωστόσο προκαλεί διάσπαση της λειτουργίας του ΧΥΤΑ σε δυο επίπεδα (το διαμορφωμένο για τα απορρίμματα και το υπό διαμόρφωση για το υλικό επικάλυψης).

Σε περιπτώσεις υγειονομικής ταφής με συμπίεση (επί του πρανούς, με κίνηση από κάτω προς τα πάνω) και παραδοσιακής Υ.Τ. προτιμάται ως επίπεδο απόθεσης η επιφάνεια της υπό διαμόρφωση στρώσης, καθώς έτσι έχουμε λειτουργία σε ένα μόνο επίπεδο (της υπό διαμόρφωσης στρώσης), άρα καλύτερη αξιοποίηση προσωπικού και μηχανημάτων και ανεξαρτητοποίηση από κυκλοφοριακά εμπόδια της υποκείμενης στρώσης (σωροί μπαζών, λάκκοι, λιμνάζοντα νερά). Γενικά επιδιώκεται η δυνατότητα για εφεδρική απόρριψη και στο πόδι του πρανούς.

Όσον αφορά τα οχήματα απόθεσης μπορεί να είναι τα ίδια τα μέσα συλλογής και μεταφοράς των απορριμμάτων των ΟΤΑ, τα οχήματα μακρινής μεταφοράς των σταθμών μεταφόρτωσης, τα οχήματα του ΧΥΤΑ, εσωτερικοί ελκυστήρες (υπηρεσίας), γερανοί μεταφοράς containers (σε τροχιές ή μη), περονοφόρα μηχανήματα τακτοποίησης δεματιασμένων απορριμμάτων.

Το σημείο απόθεσης ενδιαφέρει τόσο κατά μήκος του φρυδιού (ή πόδα) του μετώπου πρανούς (άξονας των  $\chi$ , τετμημένη), όσο και η απόστασή του από αυτό (τεταγμένη). Η τετμημένη ενδιαφέρει για την ορθολογική ενσωμάτωση του απορριπτόμενου φορτίου στη λειτουργική εικόνα του μετώπου απόρριψης τη στιγμή της απόθεσης π.χ. να μην απορρίπτεται σε τμήμα του μετώπου όπου γίνεται τη στιγμή εκείνη επικάλυψη ή καταστροφή, ή απόθεση ειδικών απορριμμάτων (κλαδιά, ογκώδη κ.λπ.) και να μην απορρίπτεται επίσης σε μεγάλες αποστάσεις από τα μηχανήματα διάθεσης. Η τεταγμένη ενδιαφέρει σε σχέση με το έργο προώθησης (επιδίωξη η ελαχιστοποίησή του) του φορτίου στο πρανές (οικονομικό στοιχείο) και με το χρόνο απασχόλησης των μηχανημάτων διάθεσης (λειτουργικό στοιχείο για τη χωματερή και σημαντικό οικονομικό στοιχείο για τη συλλογή και μεταφορά λόγω αναμονής των οχημάτων). Η τεταγμένη εξαρτάται και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος απόθεσης όπως η ύπαρξη ή όχι συστήματος ανατροπής, η ύπαρξη δύο ή τριών αξόνων. Σ' αυτή την περίπτωση επιδιώκεται ένας ανακαθορισμός της τεταγμένης.

Επιδιώκεται γενικά η ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου απόθεσης. Αυτό σημαίνει βελτιστοποίηση του ατομικού χρόνου απόθεσης στο σωστό σημείο. Εάν τα διαθέσιμα σημεία απόρριψης περιορίζονται η επιδίωξη για βελτιστοποίηση του μέσου χρόνου απόθεσης οδηγεί στην ανάγκη για προσαύξηση του ατομικού χρόνου απόθεσης. Αλλιώς οδηγούμαστε σε μεγάλο χρόνο αναμονής των απορριματοφόρων στον ΧΥΤΑ. Εάν ο χρόνος αυτός αναμονής τείνει σε κάποιο όριο (π.χ. 20 λεπτά) είναι δυνατόν, κατά την κρίση του επιτόπου υπεύθυνου τεχνικού να γίνει μεθοδευόμενη υπέρβαση του μετώπου εργασίας, σύμφωνα με το καθημερινό πλάνο λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Ο χρόνος απόθεσης επηρεάζεται και από τα παρακάτω:

- Από την ύπαρξη ή μη μηχανικού συστήματος εκκένωσης του οχήματος (με ανατροπή, με εξώθηση, με περιστροφή). Χειρωνακτική εκκένωση συνεπάγεται την καθοδήγηση του οχήματος σε ειδική περιοχή (τετμημένη) του μετώπου εργασίας.
- Από ατυχή περιστατικά, όπως ανατροπή του οχήματος κατά την εκκένωση, «κόλλημα» στο μέτωπο απόρριψης, σύγκρουση, βλάβη κ.λπ. και
- Από υποκειμενικού χαρακτήρα στοιχεία όπως διάθεση του οδηγού για καθυστέρηση, αναζήτηση εμπορεύσιμων υλικών από τα σκουπίδια, εριστική διάθεση με άλλους οδηγούς ή το προσωπικό της χωματερής.



### Προώθηση

Προώθηση είναι η ενέργεια κατά την οποία το φορτίο, μετά την απόθεσή του, μετατοπίζεται στο σημείο της τελικής του παραμονής και διάθεσης. Είναι φανερό ότι η διαδικασία της προώθησης διαφέρει από αυτήν της εσωτερικής μεταφόρτωσης. Η ενέργεια της προώθησης μπορεί να γίνεται ενιαία (δηλ. ταυτόχρονα και σε συνάρτηση) με τη διασπορά, το θρυμματισμό, τη διάσθρωση και τη συμπίεση, μπορεί και ξεχωριστά ανάλογα με τον τρόπο Υ.Τ. Έτσι στην παραδοσιακή Υ.Τ. έχουμε μόνο προώθηση ή πρώτα διάσθρωση και θρυμματισμό (με το μηχάνημα της προώθησης) και στη συνέχεια την προώθηση. Στην Υ.Τ. με συμπίεση όπου λειτουργούν αυτοκινούμενοι συμπιεστές που υποστηρίζονται με προωθητήρες, η κυρίως προώθηση είναι τελείως αυτόνομη πράξη και ενεργείται με άλλο μηχάνημα (προωθητήρας). Όπου λειτουργούν μόνο συμπιεστές, εκτελείται πρώτα η κυρίως προώθηση και στη συνέχεια ενιαία η μερική προώθηση - διάσθρωση - θρυμματισμός - συμπίεση. Στην Υ.Τ. δεματιασμένων απορριμμάτων η προώθηση εκτελείται με προωθητήρα, φορτωτή ή καλύτερα, περονοφόρο όχημα. Με την έγκαιρη προώθηση απελευθερώνεται μεγάλη επιφάνεια του μετώπου απόρριψης, που μειώνει το χρόνο και την τεταγμένη απόθεσης. Ακόμη μπορεί να επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο χειρισμό της λεπίδας μια εξομάλυνση της επιφάνειας κυκλοφορίας στο μέτωπο εργασίας.

### Διασπορά -Θρυμματισμός

Είναι η ενέργεια κατά την οποία το φορτίο απόρριψης από κώνο ή κώνους μετατρέπεται με μηχανικό μέσο σε επίπεδες στρώσεις μικρού πάχους (διασπορά) και ταυτόχρονα τεμαχίζεται κάτω από το βάρος του μηχανήματος και τη δυναμική δράση των τροχών του (θρυμματισμός). Εφαρμόζεται συνήθως στην Υ.Τ. με συμπίεση, όταν αυτή γίνεται πάνω στο πρανές, με τη χρήση ερπυστριοφόρου μηχανήματος.

Σκοπός της λειτουργίας αυτής είναι η ογκομετρική ομογενοποίηση των απορριμμάτων για τον περιορισμό του όγκου τους όταν διαστρωθούν και την αποφυγή τοπικών εσωτερικών φωλιών αλλά και επιφανειακών κοιλιοτήτων, την αύξηση της ειδικής τους επιφάνειας ώστε να είναι πιο αποτελεσματική η όποια αερόβια δράση στην αντίστοιχη (πάνω) ζώνη.

Στην παραδοσιακή Υ.Τ. η ενέργειά αυτή συνήθως παραλείπεται για λόγους προστασίας από φθορές του μηχανήματος διάθεσης και ταχύτερης διάθεσης καθόσον μετά από αυτή πρέπει να ακολουθήσει και η διαδικασία της προώθησης.

Στην Υ.Τ. με συμπίεση η διασπορά-θρυμματισμός δεν υπάρχει σαν ανεξάρτητη λειτουργία αλλά ενσωματώνεται στην ενιαία διαδικασία της διάστροφης - θρυμματισμού συμπίεσης. Θρυμματισμένα απορρίμματα μεταφέρονται και απορρίπτονται στις χωματερές και μέσω αντίστοιχης τεχνολογίας σταθμών μεταφόρτωσης. Ειδική περίπτωση αποτελεί ο θρυμματισμός σε μύλους μέσα ή κοντά στον ΧΥΤΑ για την αποφυγή της επικάλυψής τους.

### Διάσθρωση - Θρυμματισμός - Συμπίεση

Είναι η συνδυασμένη ενέργεια κατά την οποία τα απορρίμματα με τη δράση του κάδου ή λεπίδας και των τροχών του μηχανήματος διάθεσης, διαστρώνονται, θρυμματίζονται και συμπιέζονται ταυτόχρονα, διευθετούμενα στην οριστική τους θέση. Η τεχνική της ενέργειας αυτής συνίσταται στην διαμόρφωση λεπτών και επάλληλων στρώσεων απορριμμάτων πάχους, πριν συμπιεστούν, 40-60 εκ. και συμπιεσμένων 10-20 εκ.

Ειδικότερα, η διάσθρωση επιτυγχάνεται με την χρήση του κάδου πολλαπλής χρήσης ή της λεπίδας προώθησης του μηχανήματος, ο θρυμματισμός επιτυγχάνεται περισσότερο με τις ειδικές προεξοχές των οδοντωτών τροχών του μηχανήματος και λιγότερο με το βάρος του και η συμπίεση επιτυγχάνεται περισσότερο με το βάρος του μηχανήματος αλλά και με την ευνοϊκή συνδρομή των οδόντων.



Με την έννοια, διάστρωση εννοούμε και τη διευθέτηση των απορριμμάτων κατά στρώσεις (ταμπάνια), ύψους συνήθως 2,5-3,0 μ. που αποτελούνται από τις αλληπάλληλες επιμέρους στρώσεις συμπίεσης. Στην παραδοσιακή Υ.Τ. η διάστρωση έχει αποκλειστικά την έννοια αυτή, χωρίς φυσικά να εκτελούνται οι επιμέρους στρώσεις συμπίεσης.

Σημαντική ακόμη, είναι η φυσική, διαχρονική, μηχανική συμπίεση, σαν κατ' όγκο αρχικά διατεθέντων απορριμμάτων (μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του ΧΥΤΑ) καθώς και η απομείωση του όγκου λόγω βιολογικών διεργασιών κυρίως στην παραδοσιακή Υ.Τ. Η φυσική συμπίεση επέρχεται λόγω βάρους υπερκείμενων στρώσεων και οχημάτων κυκλοφορίας και λιγότερο από τα μηχανήματα διάθεσης.

### Επικάλυψη

Είναι η ενέργεια κατά την οποία τα διαστρωμένα (και ενδεχόμενα θρυμματισμένα ή / και τεχνητά συμπίεσμένα) απορρίμματα απομονώνονται από τον περιβάλλοντα χώρο με τη χρήση κατάλληλου υλικού. Συνήθως καλύπτεται η επιφάνεια κυκλοφορίας της εκτελούμενης στρώσης και τα πλευρικά της πρηνή ενώ το μετωπικό πρηνές δεν επικαλύπτεται επειδή λόγω του ότι παραμένει πάντα σε λειτουργία, ενώ συνεχώς ανανεώνεται, άρα δεν μένουν εκτεθειμένα παλιά απορρίμματα και απαιτεί μεγάλες ποσότητες υλικού επικάλυψης στο τέλος του ημερήσιου προγράμματος λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Οι πιο πάνω λόγοι ενισχύονται στην περίπτωση Υ.Τ. με συμπίεση.

Στόχοι της επικάλυψης είναι ο περιορισμός διασποράς ελαφρών αντικειμένων, η δυνατή (παραδοσιακή Υ.Τ.) ή ευχερής (Υ.Τ. με συμπίεση) κυκλοφορία των οχημάτων μεταφοράς, ο περιορισμός της επαφής ανθρώπων και πανίδας με απορρίμματα, το αισθητικό αποτέλεσμα, η δημιουργία εσωτερικών κυβελίδων και ο περιορισμός της παραγωγής στραγγισμάτων χάρη στη μεγαλύτερη επιφανειακή απορροή και εξατμισοδιαπνοή.

Οι παραπάνω στόχοι επιτυγχάνονται με την καταβολή βέβαια κάποιου κόστους όπως είναι η αύξηση της σκόνης, ο περιορισμός της αερόβιας δράσης στην άνω στρώση των απορριμμάτων, το ιδιαίτερα υψηλό κόστος κτήσης (αν δεν προσκομίζεται δωρεάν ή δεν προσφέρεται σε κοντινή θέση), το σημαντικό κόστος λειτουργίας και η πλήρης εξάρτηση της λειτουργίας του ΧΥΤΑ από την ύπαρξη του υλικού.

Το ισοζύγιο των πιο πάνω θετικών και αρνητικών δράσεων πρέπει κάθε φορά να αναζητείται. Πάντως σε περίπτωση Υ.Τ. με συμπίεση, τα θετικά εξασφαλίζονται σε σημαντικό βαθμό και χωρίς το υλικό επικάλυψης. Το ίδιο ισχύει (σε λιγότερο όμως βαθμό) αν τα απορρίμματα είναι ήδη θρυμματισμένα.

Σε περίπτωση παραδοσιακής Υ.Τ. η επικάλυψη είναι απαραίτητη. Για τους πιο πάνω λόγους η νομοθεσία στο εξωτερικό δεν επιβάλλει την επικάλυψη των θρυμματισμένων συμπίεσμένων απορριμμάτων και συνήθως αυτή δεν εφαρμόζεται.

Το υλικό επικάλυψης συνήθως είναι:

- Υλικά εκσκαφής, που προέρχονται από δανειοληψία, από προσπέλαση ιδιωτικών, από έργα αρχικής διαμόρφωσης του ΧΥΤΑ ή από εκσκαφή κατά τη διάρκεια εκμετάλλευσης του ΧΥΤΑ.
- Σκωρίες από μονάδες καύσης απορριμμάτων, η χρήση των οποίων όμως αντενδείκνυται λόγω σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων, επιλεγμένα υλικά κατεδαφίσεων.
- Οργανικό υλικό ζυμωμένο από μονάδες κομποστοποίησης. Η χρήση αφυδατωμένης και χωνεμένης λάσπης από κέντρα επεξεργασίας λυμάτων δεν συνιστάται για λόγους κακής μηχανικής συμπεριφοράς τους.
- Συνθετικό αφρώδες υλικό, το οποίο είναι κατασκευασμένο ώστε να εξαλείφει ή περιορίζει τα μειονεκτήματα της επικάλυψης και να διατηρεί τα κύρια πλεονεκτήματά της και τον περιορισμό των στραγγισμάτων μέσω της αυξημένης εξάτμισης.



Όσον αφορά τα μηχανήματα επικάλυψης αυτά μπορεί να είναι συμπιεστές, οι οποίοι όμως κατά τη βροχερή περίοδο παρουσιάζουν προβλήματα με τους οδοντωτούς τροχούς, όταν υπάρχει υλικό επικάλυψης, προωθητήρες γαιών με την κλασσική λεπίδα ή φορτωτές με κάδους πολλαπλής χρήσης και ειδικά πολύτροχα οχήματα διασποράς του αφρώδους συνθετικού υλικού.

Η συχνότητα επικάλυψης μπορεί να είναι καθημερινή πλην του μετωπικού πρανούς, δύο περίπου φορές την εβδομάδα ή και κατά αραιά χρονικά διαστήματα όταν χρησιμοποιούνται συμπιεστές απορριμμάτων, ή προσκομίζονται δεματισμένα απορρίμματα ή όταν χρησιμοποιούνται δεματοποιητές.

## 2.3 Μέθοδοι επεξεργασίας των στραγγισμάτων

Για την επεξεργασία και τον καθαρισμό των στραγγισμάτων μπορούν να εφαρμοσθούν οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τα υγρά απόβλητα όπως:

- Βιολογικές μέθοδοι.
- Χημικές μέθοδοι.
- Επεξεργασία με μεμβράνες.
- Θερμική επεξεργασία.

### 2.3.1.1 Βιολογική επεξεργασία

Η βιολογική επεξεργασία των στραγγισμάτων είναι η συχνότερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Η αποδόμηση των οργανικών ενώσεων επιτυγχάνεται με την βοήθεια των μικροοργανισμών. Η ορυκτοποίηση των οργανικών ουσιών μπορεί να γίνει με την παροχή οξυγόνου (αερόβια διαδικασία) ή χωρίς οξυγόνο (αναερόβια διαδικασία).

Προτιμότερο είναι να διατηρηθεί κατά το δυνατό η όξινη ζύμωση των στραγγισμάτων ώστε, η επεξεργασία τους να περιοριστεί στη φάση της μεθανογένεσης. Ως επί το πλείστον εφαρμόζεται η μέθοδος της ενεργού ιλύος ή των βιόφιλτρων. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα επεξεργασίας των στραγγισμάτων μαζί με τα λύματα.

Πάντοτε βέβαια με την προϋπόθεση ότι δεν περιέχονται μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών. Σε μερικές χώρες όπως π.χ στην Γερμανία πριν διατεθούν στον βιολογικό καθαρισμό των λυμάτων πρέπει να υποστούν μια προεπεξεργασία. Αξιοσημείωτο είναι ότι πολλές εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού αντιμετωπίζουν προβλήματα αποδόμησης του αζώτου.

### 2.3.1.2 Συνδυασμός Χημικής, Φυσικής και Βιολογικής επεξεργασίας.

Η εγκατάσταση αποτελείται από μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας και μια μονάδα χημικής και φυσικής επεξεργασίας. Η χημική και φυσική επεξεργασία αποτελείται από τη μονάδα προσρόφησης με ενεργό άνθρακα, τις μονάδες επίπλευσης / καθίζησης με άλατα σιδήρου και πολυμερή, τη μονάδα εξουδετέρωσης με ασβέστη και τη δεξαμενή καθίζησης.

### 2.3.1.3 Προσρόφηση με Ενεργό Άνθρακα.

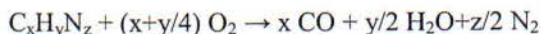
Η προσρόφηση σε φίλτρα ενεργού άνθρακα αποτελεί συνήθως μέρος της επεξεργασίας των στραγγισμάτων. Την οικονομικότητα της μονάδος μπορεί να εξασφαλίσει η αναγέννηση του ενεργού άνθρακα. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του ενεργού άνθρακα μειώνουν τόσο το COD όσο και τις οργανικές αλογονούχες ενώσεις. Σε περίπτωση που δεν μπορούν να αναγεννηθούν τα φίλτρα από ενεργό άνθρακα τότε πρέπει να διατεθούν με την μέθοδο της Υγειονομικής Ταφής ή να καούν στις μονάδες καύσης. Αλλά και κατά την αναγέννησή τους τουλάχιστον το 20% του ενεργού άνθρακα χάνεται.

### 2.3.1.4 Κροκίδωση – Καθίζηση.

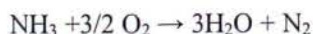
Αποτελεί μέρος των μονάδων βιολογικού καθαρισμού με ενεργό άνθρακα. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται χλωριούχος σίδηρος και θειικό οξύ. Η ιλύς από την επεξεργασία των στραγγισμάτων φθάνει περίπου το 3,5% ανά m<sup>3</sup>.

### 2.3.1.5 Καταλυτική οξείδωση.

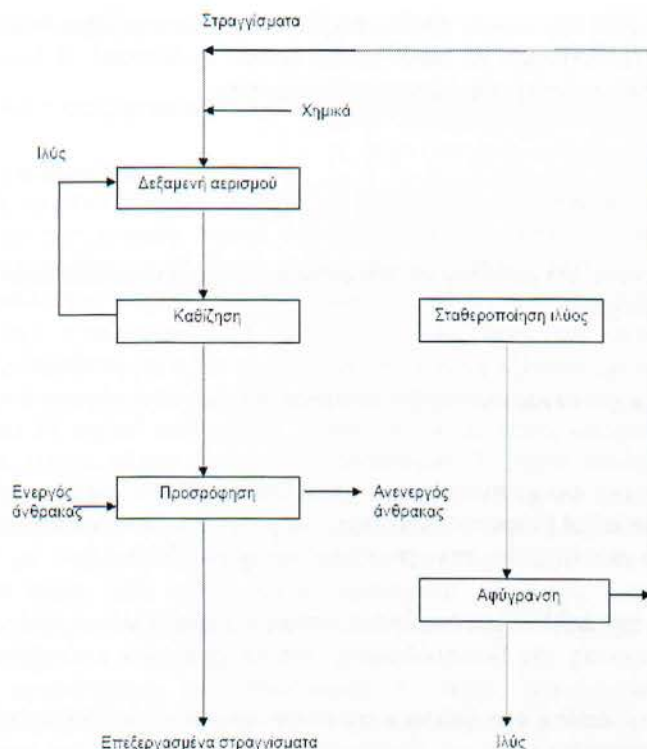
Οι επιβλαβείς ουσίες, οι οποίες βρίσκονται στα στραγγίσματα, μεταφέρονται στον αέρα μέσω ειδικών συστημάτων (κολώνες) με αντίθετου ρεύματος απαερίωση. Τα αέρια πρέπει ακολούθως να καθαριστούν με προσρόφηση από ενεργό άνθρακα. Για την αποφυγή αυτών των σταδίων μετά την κολώνα, τα αέρια υφίστανται μια καταλυτική οξείδωση δηλ. μετά τον εναλλάκτη θερμότητας εισέρχονται στον αντιδραστήρα. Ως παράδειγμα παρουσιάζεται η καταλυτική οξείδωση των ενώσεων του αζώτου:



Ειδικά για την αμμωνία:







Σχήμα 2.15 Βιολογική επεξεργασία - προσρόφηση.

### 2.3.1.6 Ξήρανση και εξάτμιση.

Πρόκειται για μία αρκετά δαπανηρή μέθοδο και χρησιμοποιείται, όταν η περιεκτικότητα σε άλατα είναι πάρα πολύ μεγάλη. Κατά την εξάτμιση παρουσιάζονται τα εξής προβλήματα:

- σχηματίζεται κρούστα,
- οι πτητικές ουσίες πρέπει να υποστούν μια επεξεργασία,
- σχηματίζεται αφρός και
- απαιτείται πολύ καλή ποιότητα των υλικών λόγω της διάβρωσης.

### 2.3.1.7 Καθαρισμός με αντίστροφη όσμωση.

Το διαλυτικό μέσο διεισδύει μέσω της ημιπερατής μεμβράνης στο διάλυμα. Το φαινόμενο αυτό διαρκεί έως ότου η περιεκτικότητα και των δύο μερών είναι ίδια ή όταν η υδροστατική πίεση του διαλύματος φθάσει την οσμωτική πίεση. Η πίεση για τη λειτουργία της εγκατάστασης κυμαίνεται μεταξύ 3-90 bar. Η αρχική περιεκτικότητα των αλάτων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 50 g/l. Το μεγάλο πρόβλημα στην αντίστροφη όσμωση είναι ότι

τελικά μένει 15-25% του όγκου των στραγγισμάτων το οποίο έχει 4-10 φορές μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άλατα και το οποίο τελικά πρέπει να διατεθεί. Η διάθεση του μπορεί να γίνει με την μέθοδο της στερεοποίησης-σταθεροποίησης.

#### 2.3.1.8 Καύση.

Η καύση είναι μια μέθοδος αρκετά δαπανηρή και συνηθίζεται όταν υπάρχει μονάδα καύσης στην περιοχή.

#### 2.3.1.9 Προεπεξεργασία και επαναφορά των στραγγισμάτων.

Αποτελεί μια απλή και καλή για την Ελλάδα μέθοδο. Τα στραγγίσματα υφίστανται μια προεπεξεργασία, με βιόφιλτρα συνήθως, απομακρύνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και στη συνέχεια επανέρχονται στην επιφάνεια του χώρου διάθεσης.

Η μέθοδος αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς εξασφαλίζει:

- την επιτάχυνση της βιοαποδόμησης στα απορρίμματα και αύξηση της παραγωγής βιοαερίου,
- την εξισορρόπηση των διακυμάνσεων των χημικών και βιολογικών συγκεντρώσεων των στραγγισμάτων,
- τη δυνατότητα προσθήκης θρεπτικών ουσιών και μικροοργανισμών και αύξηση της υγρασίας στο απορριμματικό ανάγλυφο,
- τη μείωση του όγκου των προς επεξεργασία στραγγισμάτων και κυρίως το χαμηλό κόστος.

Η επανακυκλοφορία των στραγγισμάτων είναι μια μέθοδος που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και γι' αυτό τον λόγο έχουν γίνει αρκετές σχετικές μελέτες. Στο Παράρτημα I παρουσιάζεται μελέτη, η οποία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ. Η εν λόγω μελέτη ασχολείται με το πρόβλημα του ρυθμού της βιολογικής αποδόμησης των οικιακών απορριμμάτων σε χώρους ελεγχόμενης απόθεσης και συνεπώς της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας των παραγόμενων στραγγισμάτων.

Έγιναν πειραματικές μετρήσεις με τη βοήθεια μικρών πειραματικών λυσιμέτρων, τα οποία πληρώθηκαν με απορρίμματα που ελήφθησαν από τον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων και λειτούργησαν επί τρία έτη. Τα αντικείμενα που ερευνήθηκαν ήταν ο ρυθμός αποδόμησης των απορριμμάτων, η μεταβολή της ποιότητας των στραγγισμάτων με το χρόνο, καθώς επίσης η επίδραση της επανακυκλοφορίας των παραγόμενων στραγγισμάτων δια μέσου του σώματος των απορριμμάτων και του τεμαχισμού των απορριμμάτων και τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά.

Είναι σαφές ότι η επανακυκλοφορία εκλαμβάνει τον ΧΥΤΑ σαν "αναερόβιο φίλτρο" κατείδυσης για την επεξεργασία των στραγγισμάτων, όμως δεν δίνει δυνατότητες ελέγχου της ποιότητας των στραγγισμάτων.



## 2.4 Μέθοδοι επεξεργασίας του βιοαερίου

Οι μέθοδοι επεξεργασίας του συλλεγόμενου βιοαερίου είναι:

### Επεξεργασία για θέρμανση:

Το παραγόμενο βιοαέριο καίγεται σε καυστήρες, παράγοντας έτσι ατμό. Επειδή είναι επιβαρυνόμενο με ίχνη ουσιών, πρέπει οπωσδήποτε να υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να απομακρυνθούν οι βλαβερές ουσίες. Αυτή η επεξεργασία κρίνεται απαραίτητη γιατί η οξειδωση αυτών των ουσιών στην εστία καύσης μπορεί να δημιουργήσει αέρια τα οποία θα διαβρώσουν την εγκατάσταση. Η γνώση της ποσότητας και σύνθεσης τους αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για κάθε τεχνική και οικονομική εξέταση χρήσης του βιοαερίου. Χαρακτηριστικά αναφέρονται το χλώριο και το φθόριο τα οποία δεν πρέπει να ξεπερνούν τα  $200 \text{ mg/m}^3$  και  $35 \text{ mg/m}^3$  αντίστοιχα. Βέβαια οι ουσίες αυτές μπορούν να απομακρυνθούν είτε με φίλτρα, είτε με πλήρη συστήματα καθαρισμού. Το αέριο συλλέγεται στα φρεάτια και μεταφέρεται με αγωγούς. Στα φρεάτια ελέγχεται το μεθάνιο, το οξυγόνο και η θερμογόνος δύναμη. Η απορρόφηση επιτυγχάνεται με συμπιεστές αγωγών. Η διανομή του αερίου μπορεί να γίνει είτε με σωλήνες PE ή μεταλλικούς αγωγούς. Για μικρές ποσότητες το δίκτυο λειτουργεί σε πίεση 100 mbar. Κατά διαστήματα υπάρχουν διαχωριστές νερού. Στις εγκαταστάσεις θέρμανσης ισχύει ότι και για το φυσικό αέριο. Υπάρχει μόνο μια διαφορά στα μπεκ του καυστήρα.

Στην εγκατάσταση του Haldenrain η οποία λειτουργεί από το 1983 δεν παρουσιάστηκε μέχρι σήμερα κανένα ιδιαίτερο πρόβλημα. Ανά  $\text{Nm}^3$  υπολογίζονται 5,5 Kwh. Η τιμή πώλησης του αερίου είναι 15% φθηνότερη του πετρελαίου θέρμανσης και ο χρόνος απόσβεσης ήταν 3 χρόνια.

### Επεξεργασία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο συνήθως ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Η συνολική παροχή του βιοαερίου περνά από ένα φίλτρο όπου απομακρύνεται το υδρόθειο. Στη συνέχεια το αέριο διέρχεται μέσα από ένα κυκλώνα, ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία που περιέχει και να οδηγηθεί με ασφάλεια στη μηχανή εσωτερικής καύσης. Η υπόλοιπη ποσότητα του βιοαερίου οδηγείται για καύση στο δαυλό. Επειδή, η πίεση του αερίου στην είσοδο πρέπει να είναι σταθερή, συνήθως υπάρχει ένας εφεδρικός φυγοκεντρικός ανεμιστήρας. Το καύσιμο ελέγχεται ηλεκτρονικά, ως προς τη σύνθεσή του και στη συνέχεια αναμειγνύεται με τον αέρα καύσης. Η μίξη με τον αέρα γίνεται μέσω ακροφυσίων ενώ ανάφλεξη γίνεται ηλεκτρονικά.

### Συμπαγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας:

Στην περίπτωση αυτή γίνεται ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την ίδια ποσότητα καυσίμου με σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από την ανεξάρτητη παραγωγή καθεμιάς από τις ανωτέρω μορφές ενέργειας. Ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης της συγκεκριμένης εφαρμογής σημαίνει κατανάλωση μικρότερης ποσότητας καυσίμων για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας με προφανή οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

### Χρήση του βιοαερίου σε συμπιεστές απορριμμάτων:

Το βιοαέριο λόγω της υψηλής θερμογόνου δύναμης του, περίπου  $5 \text{ Kwh/m}^3$ , αποτελεί μια πηγή ενέργειας. Μετά από μια επεξεργασία μπορεί το μεθάνιο να φθάσει σε βαθμό



καθαρότητας 95-98 % και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη στους συμπιεστές των απορριμμάτων. Για το σκοπό αυτό είναι αναγκαία τρία συστήματα:

- Εγκατάσταση καθαρισμού και συμπιεστής υψηλής πίεσης.
- Αποθήκευση του καυσίμου
- Ειδικά σχεδιασμένος κινητήρας του συμπιεστή, ο οποίος θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τόσο αέριο όσο και πετρέλαιο.

Ο συμπιεστής μπορεί να λειτουργήσει τόσο με πετρέλαιο, όσο και με μεθάνιο και πετρέλαιο. Για να λειτουργήσει με μεθάνιο πρέπει λόγω της εξάρτησης του αριθμού στροφών, να χρησιμοποιηθεί για την ανάφλεξη 10-20 % Diesel.

Σύμφωνα με τον Fister υπάρχουν δύο είδη κινητήρων, ανάλογα με την λειτουργία τους (δύχρονος-τετράχρονος) και το είδος ανάφλεξης. Στην περίπτωση των κινητήρων αερίου η ανάφλεξη επιτυγχάνεται με το μπουζί.

Η εταιρεία Hanomag A.G. ανέπτυξε ένα τέτοιο σύστημα για συμπιεστές, του οποίου τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά.

## 2.5 Σύστημα παρακολούθησης ΧΥΤΑ (monitoring system)

Ένα σοβαρότατο θέμα που άπτεται της περιβαλλοντικά ασφαλούς συμπεριφοράς ενός χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων είναι αυτό της επιτήρησης του, τόσο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, όσο και μετά την ολοκλήρωση των εργασιών αποκατάστασης.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 114218/17-11-1997, η οποία αφορά τις προδιαγραφές της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, στα πλαίσια του ελέγχου, της επιτήρησης και της παρακολούθησης ενός ΧΥΤΑ, πρέπει να εκτελείται ένα ελάχιστο πρόγραμμα μετρήσεων συγκεκριμένων παραμέτρων με σκοπό τον έλεγχο των διαδικασιών μέσα στη χωματερή και τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των συστημάτων που θα έχουν εγκατασταθεί για την προστασία της ευρύτερης περιοχής από πιθανή ρύπανση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι εάν από το ξεκίνημα της λειτουργίας ενός οργανωμένου ΧΥΤΑ, εφαρμοστεί σωστά ο έλεγχος και η παρακολούθηση του χώρου, τότε είναι βέβαιο ότι και μετά τις εργασίες αποκατάστασης του χώρου, το σύστημα παρακολούθησης θα λειτουργεί κατά βέλτιστο τρόπο.

Τα συστήματα ελέγχου και καταγραφής (Σ.Ε.Κ.) περιλαμβάνουν μία ποικιλία εργαστηριακού εξοπλισμού αλλά και εξοπλισμού πεδίου, των οποίων ο στόχος είναι η συλλογή πολλαπλών δεδομένων, η επεξεργασία τους και μέσω αυτής η πρόβλεψη και συνεπώς η αποφυγή γένεσης περιβαλλοντικών προβλημάτων από τους ΧΥΤΑ.

Ειδικότερα τα Σ.Ε.Κ. που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ρύπανσης των υδροφόρων στρωμάτων μπορούν να περιλαμβάνουν σταθμούς συλλογής μετεωρολογικών δεδομένων, μοντέλα υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου, γεωτρήσεις ελέγχου - δειγματοληψίας και απαραίτητα χημικό εργαστήριο για τη διεξαγωγή μίας σειράς αναλύσεων των χημικών παραμέτρων.

Η μεθοδολογία κατασκευής ενός Σ.Ε.Κ. για τους υπόγειους υδροφόρους επηρεάζεται από το είδος του χώρου διάθεσης (με ή χωρίς στεγανοποίηση πυθμένα) από το είδος της στεγάνωσης αν υπάρχει (αργιλική ή συνθετικά υλικά) από τη γεωλογία υδρογεωλογία του χώρου, και από το είδος της διαχείρισης διασταλαζόντων που εφαρμόζεται (επανακυκλοφορία -σταθμός βιολογικού καθαρισμού). Είναι όμως πάντα βασική αρχή να καθορίζεται το υδατικό ισοζύγιο και να καταγράφονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου που πιθανόν να αναπτύσσεται ανάντη του χώρου και να επηρεάζεται από αυτόν.



Λόγω της πολυπλοκότητας του θέματος αλλά και των διάφορων τοπικών γεωλογικών συνθηκών δεν μπορεί να υπάρξει μια κοινή μεθοδολογία κατασκευής αλλά είναι δεδομένη και επιβάλλεται προσαρμογή σε μια κοινή μεθοδολογία έρευνας η οποία θα προτείνει το εκάστοτε καλύτερο σύστημα και θα καταγράψει τα διάφορα δεδομένα ώστε να είναι εύκολη και αξιόπιστη η μετέπειτα συλλογή και επεξεργασία τους.

Οι παράμετροι που πρέπει να παρακολουθούνται για να υπάρχει ολοκληρωμένη καταγραφή της εξέλιξης των φυσικοχημικών και μηχανικών διεργασιών που συντελούνται σε έναν οργανωμένο χώρο, είναι οι εξής:

- Οι καθιζήσεις στα διάφορα σημεία του χώρου,
- Η γένεση και σύνθεση του βιοαερίου,
- Η γένεση και σύσταση των στραγγισμάτων και
- Η σύσταση και η ποιότητα των υπόγειων υδάτων

Η Οδηγία των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σχετικά με την υγειονομική ταφή, ορίζει στο Άρθρο 13 ότι:

"Μετά την οριστική παύση λειτουργίας χώρου υγειονομικής ταφής, ο φορέας λειτουργίας του είναι υπεύθυνος για την συντήρηση, την παρακολούθηση και τον συστηματικό έλεγχο του, κατά την φάση επιτήρησης, επί 10 έτη"

Σύμφωνα με την Οδηγία του Συμβουλίου της Ε.Ε. «Για την ταφή των αποβλήτων», και την υπάρχουσα Ελληνική Νομοθεσία, (ΚΥΑ 114218), το πρόγραμμα παρακολούθησης (monitoring system) σ' ένα χώρο διάθεσης απορριμμάτων, πρέπει να περιλαμβάνει τη συστηματική καταγραφή των παραμέτρων που παρουσιάζονται στη συνέχεια στους παρακάτω Πίνακες.

Μια πρώτη ομάδα στοιχείων είναι τα μετεωρολογικά δεδομένα. Αυτά μπορεί να καταγράφονται επί τόπου ή από τον πληρέστερο σταθμό με αντιπροσωπευτικά στοιχεία για το χώρο.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
Ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων	Καθημερινά, προστίθεται στις μηνιαίες τιμές
Θερμοκρασία (max, min, 14.00h ΩΚΕ)	Μηνιαίος μέσος όρος
Διεύθυνση και ένταση κυριαρχούντος ανέμου	Καθημερινά
Εξάτμιση	Καθημερινά, προστίθεται στις μηνιαίες τιμές
Ατμοσφαιρική υγρασία (ώρα 14.00 ΩΚΕ)	Μηνιαίος μέσος όρος

*Πίνακας 2.14 Συχνότητα παρακολούθησης παραμέτρων που συνδέονται με τα μετεωρολογικά δεδομένα.*

Μια δεύτερη ομάδα παραμέτρων που πρέπει να παρακολουθείται είναι οι παράμετροι που συνδέονται με την καθίζηση. Σχεδιάζεται πρόγραμμα μετρήσεων των καθιζήσεων (ολικών ή / και διαφορικών) και λαμβάνονται μέτρα κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα φαινόμενα καθιζήσεων και να αποφευχθούν τυχόν παραμορφώσεις στο υλικό επικάλυψης, στα στεγανωτικά συστήματα, στο σώμα του ΧΥΤΑ και στους αγωγούς βιοαερίου.

Η εξέλιξη των καθιζήσεων συνδέεται με την μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού και με την βιοαποικοδόμηση των απορριμμάτων, ενώ χρονικά εκτείνεται περίπου μία δεκαετία μετά την απόθεση. Σε έναν οργανωμένο ΧΥΤΑ το πρόγραμμα παρακολούθησης στις διάφορες θέσεις θα πρέπει να διατηρηθεί επί 10 χρόνια μετά το "κλείσιμο" του συγκεκριμένου ταμπανιού όπου βρίσκεται το σημείο παρακολούθησης.



Η ολοκλήρωση των καθιζήσεων ανοίγει την δυνατότητα για την κατασκευή και εγκατάσταση ευπαθών (σε μετακινήσεις) τεχνικών έργων επηρεάζοντας σημαντικά τον σχεδιασμό τους.

Μια τρίτη ομάδα παραμέτρων που πρέπει να μετρούνται αφορά τα δείγματα στραγγισμάτων και απορρεόντων επιφανειακών υδάτων σε αντιπροσωπευτικά σημεία (δείγματα αντιπροσωπευτικά της μέσης σύνθεσης, δειγματοληψία κατά ISO 5667-2, 1991).

Η παρακολούθηση της στάθμης και της σύστασης των στραγγιδίων στα διάφορα φρεάτια παρέχει πληροφορίες για τους ρυθμούς βιοαποικοδόμησης καθορίζοντας την ασκούμενη πολιτική διαχείρισης των στραγγισμάτων. Σε πολλές περιπτώσεις, τυχόν ανύψωση της στάθμης των στραγγιδίων σε φρεάτια βιοαερίου, υπαγορεύει αντλήσεις για την βελτίωση απόδοσης των φρεάτων αυτών.

Πιο συγκεκριμένα, η δειγματοληψία και η μέτρηση ( ποιοτική και ποσοτική) των στραγγισμάτων από τον χώρο ταφής και η παρακολούθηση των επιφανειακών υδάτων πρέπει να γίνεται σε τρία τουλάχιστον σημεία, ένα ανάντι και δύο κατάντι του χώρου ταφής. Οι παράμετροι που πρέπει να παρακολουθούνται , φαίνονται στον Πίνακα 2.14 :

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	
	Φάση λειτουργίας	Φάση μεταφροντίδας
Όγκος στραγγισμάτων	Μηνιαίως	Ανά εξάμηνο
Σύνθεση στραγγισμάτων	Ανά τρίμηνο	Ανά εξάμηνο
Όγκος και σύνθεση επιφανειακών υδάτων	Ανά τρίμηνο	Ανά εξάμηνο

Πίνακας 2.15 Συχνότητα παρακολούθησης παραμέτρων που συνδέονται με την καθίζηση.

## 2.6 Σχεδιασμός μελλοντικής αποκατάστασης ΧΥΤΑ

Το σχέδιο αποκατάστασης ενός ΧΥΤΑ καταστρώνεται με βάση τα επόμενα κριτήρια:

- την ομαλή επανένταξη του χώρου στο φυσικό του περιβάλλον
- την άρση των όποιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- την απόδοση του χώρου σε νέες ανθρωπογενείς δραστηριότητες

Τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η ομαλή και σχεδιασμένη εκτόνωση του βιοαερίου, μετά το πέρας της λειτουργίας του ΧΥΤΑ, καθώς και η ομαλή συλλογή των στραγγισμάτων. Η τελική στρώση του χώρου θα είναι από χώμα (μεταβλητού πάχους ), κατάλληλο για φυτεύσεις. Οι φυτεύσεις που θα ακολουθήσουν θα γίνουν με φυτά και δένδρα όπως αυτά που κυριαρχούν στην περιοχή. Η επιτυχία της αποκατάστασης είναι καθοριστικής σημασίας για την κοινωνική επίδραση της λειτουργίας του ΧΥΤΑ.

Ουσιαστικό στοιχείο της διαδικασίας αποκατάστασης είναι ότι αυτή θα γίνει τμηματικά. Κάθε κύτταρο που πληρώνεται θα αποκαθίσταται άμεσα και με τον τρόπο αυτό θα επιτευχθεί η πλήρης αποκατάσταση του ΧΥΤΑ, αμέσως μετά το πέρας της λειτουργίας του. Σε κάθε περίπτωση, το πρόγραμμα monitoring του ΧΥΤΑ, πρέπει να συνεχίζεται ακόμα και μετά το πέρας της λειτουργίας του ΧΥΤΑ, σε όσα σημεία προβλέπεται κάτι τέτοιο. Στη συνέχεια καταγράφονται ορισμένες λεπτομέρειες για την αποκατάσταση ενός χώρου.



### Το σχέδιο αποκατάστασης

Ο σχεδιασμός της αποκατάστασης είναι ένα σύνθετο έργο που απαιτεί την απασχόληση ενός μεγάλου φάσματος ειδικοτήτων και εξειδικευμένων επιστημόνων ώστε να είναι επιτυχής. Θεωρείται σημαντικό το σχέδιο αποκατάστασης να συνδυάζει τις περιβαλλοντικές και τις ευρύτερες ανάγκες της περιοχής, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να δίνει μεγάλη σημασία στο κόστος κατασκευής των έργων που το σχέδιο προτείνει.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι κατά το στάδιο σχεδιασμού και εφαρμογής μιας επιτυχούς επανένταξης της χωματερής, απαιτείται στενή συνεργασία του πολιτικού μηχανικού, του αρχιτέκτονα τοπίου, του βιολόγου και του μηχανικού περιβάλλοντος. Αν και τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά την διαδικασία αυτή αλληλοκαλύπτονται, είναι χρήσιμο να διαιρούνται σε θέματα τεχνικά, σχεδιασμού ανάγλυφου και βλάστησης.

Σαν γενικοί αντικειμενικοί στόχοι ανάκτησης του ΧΥΤΑ αναφέρονται:

- η αποκατάσταση ενός υγιούς και γόνιμου ανάγλυφου, πολλές φορές ξεπερνώντας και το αρχικό αντίστοιχο επίπεδο του χώρου,
- η δημιουργία ενός ευέλικτου σχήματος νέων χρήσεων γης,
- ένα ανάγλυφο οπτικά αποδεκτό και ταιριάζει στο ευρύτερο ανάγλυφο χωρίς προβλήματα,
- η δημιουργία ενός κατάλληλου περιβάλλοντος για την χλωρίδα και πανίδα στο νέο ισορροπημένο οικοσύστημα,
- η οικονομικότερη επαναφορά από την νέα χρήση.

Τα περιεχόμενα του σχεδίου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις νέες χρήσεις του χώρου, λαμβάνοντας φυσικά υπ' όψιν τις αναμενόμενες διεργασίες που γίνονται μέσα στη μάζα των απορριμμάτων, τις καθιζήσεις, την παραγωγή βιοαερίου και στραγγισμάτων.

Η μελέτη αποκατάστασης πρέπει να προσεγγίζεται σε δύο επίπεδα:

Το πρώτο περιλαμβάνει την ανάλυση και σύνθεση του χώρου και παρουσιάζει τις ευκαιρίες και τα εμπόδια που παρουσιάζονται. Η ανάλυση περιλαμβάνει την συλλογή και τεκμηρίωση των πληροφοριών σε σχέση με την αποστράγγιση, την τοπογραφία και τις κλίσεις, την υπάρχουσα βλάστηση και τις χρήσεις γης. Η σύνθεση αυτών των παραγόντων έχει σαν αποτέλεσμα την τεκμηρίωση των ευκαιριών, των δυνατοτήτων και εμποδίων για τον χώρο και την γύρω περιοχή.

Το δεύτερο περιλαμβάνει την μορφοποίηση των επιθυμητών δραστηριοτήτων. Η συμμετοχή των ΟΤΑ στο στάδιο αυτό είναι σημαντική. Η απάντηση που δίνει το σχέδιο αποκατάστασης δεν είναι απλά να "κρύψει" τα απορρίμματα αλλά να το κάνει δημιουργώντας αισθητικά ευχάριστες νέες καταστάσεις, με στόχο να αναβαθμιστεί οπτικά το τοπίο, να καλλωπιστεί η περίμετρος του χώρου, να βελτιωθεί η ασφάλειά του και να αναπτυχθούν οι σχέσεις με τον ΟΤΑ που φιλοξενεί το χώρο.

### Διαμόρφωση ανάγλυφου

Οι σύγχρονες θεωρίες στον σχεδιασμό του ανάγλυφου συμπεριλαμβάνουν την εκτίμηση της ισορροπίας της φυσικής οικολογίας και του νέου οικοσυστήματος που θα εγκατασταθεί στο χώρο, με την υποστήριξη όλων των απαραίτητων τεχνικών έργων που θα κατασκευαστούν.

Στον σχεδιασμό καθορίζονται οι τελικές υψομετρικές καμπύλες του χώρου, παίρνοντας υπ' όψιν την υφιστάμενη κατάσταση της ευρύτερης περιοχής στον χώρο διάθεσης και τις προτεινόμενες τελικές του χρήσεις. Σημαντικό στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στον καθορισμό των τελικών ισουψών είναι οι μακροχρόνιες καθιζήσεις (ενιαίες και διαφορικές).



Για τον καθορισμό της τελικής μορφής που θα πάρει ο χώρος δεν είναι πάντοτε απαραίτητο αυτός να αποκαθίσταται στις αρχικές υψομετρικές γραμμές, είτε γιατί η ανύψωση του τελικού επιπέδου καθίσταται αισθητικά επιθυμητή, ή γιατί δεν υφίστανται αρχεία για τα αρχικά επίπεδα της περιοχής. Το τελικό ανάγλυφο που προτείνεται στην αδειοδότηση, στον σχεδιασμό του χώρου διάθεσης και στα σχέδια αποκατάστασης θα καθορίσει σημαντικά τον τρόπο λειτουργίας της χωματερής και την επιτυχημένη υλοποίηση της αποκατάστασης.

Οι δύο κύριοι όροι για την τελική διαμόρφωση είναι ότι ο χώρος θα αναμειγνύεται με την γειτονική γη και ότι θα διευκολύνει την φυσική απορροή των όμβριων νερών. Το δεύτερο έχει υποτιμηθεί πολλές φορές στο παρελθόν. Έτσι μπορεί να σχεδιαστεί το αποστραγγιστικό σύστημα πρώτα και μετά να ταιριάζει η τελική τοπογραφία σ' αυτό, παρά το αντίθετο, που πολλές φορές είναι αδύνατο.

Η γνώση της τοπογραφίας και του συστήματος φυσικής παροχέτευσης των όμβριων αποτελούν σημαντικό τμήμα ενός τέτοιου σχεδιασμού. Για την αποφυγή προβλημάτων ρύπανσης πιθανών υπόγειων υδροφορέων, η απλή απάντηση είναι να "χτιστεί" η χωματερή υψηλότερα από τον περιβάλλοντα χώρο, υπολογίζοντας έτσι και την μελλοντική καθίζηση.

#### Νέες χρήσεις του χώρου

Στην μελέτη αποκατάστασης θα επιλεγούν οι χρήσεις που προτείνονται για τον νεοδημιουργηθέντα χώρο, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής και τις προτάσεις του ρυθμιστικού σχεδίου. Επίσης ρόλο παίζουν και το οδικό δίκτυο και τον κυκλοφοριακό φόρτο της περιοχής. Η αξιολόγηση αυτών των χρήσεων γης σε συνδυασμό με τις επιθυμητές δραστηριότητες, τις ευκαιρίες, τις δυνατότητες και τα εμπόδια καθορίζουν το γενικό σχέδιο χρήσεων.

Η βασική αντίληψη αυτού του σχεδίου περιλαμβάνει :

- Εξυπηρέτηση όσων χρήσεων γης είναι δυνατές κάτω από ένα περιβαλλοντικά ασφαλές και αισθητικά αναβαθμισμένο τρόπο,
- Ενοποίηση των διαφορετικών χρήσεων γης μέσα στην βασική νέα χρήση,
- Παροχή δυνατοτήτων στο κοινό για ανοιχτούς χώρους, πράσινο κ.λ.π. ,
- Μετασχηματισμό του τι είναι επιθυμητό σε αισθητικά ευχάριστη πραγματικότητα.
- Η εμπειρία έχει δείξει ότι παλαιοί χώροι διάθεσης απορριμμάτων μπορούν να επανενταχθούν στο περιβάλλον με διάφορα είδη βλάστησης και να αποδοθούν για χρήσεις κοινής ωφέλειας.

Γενικά οι νέες χρήσεις τις οποίες ένα σχέδιο αποκατάστασης μπορεί να προβλέπει και να περιλαμβάνει, είναι φυτεύσεις/ καλλιέργειες, κατασκευές, δένδροφυτεύσεις και άλλη βλάστηση στον χώρο.

Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται βασίζεται στην θεώρηση της επανεγκατάστασης της βλάστησης στο "εδαφικό" στρώμα επικάλυψης των απορριμμάτων ως φαινομένου πρωτογενούς φυτικής διαδοχής. Συνολικά, τα θέματα και ερωτήματα που εντάσσονται στο πλαίσιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας και που πρέπει να απαντηθούν είναι:

- ποιες οι διαδικασίες φυσικής διαδοχής της βλάστησης στις επιφάνειες των χωματερών,
- πως μπορεί να επιταχυνθεί ο ρυθμός της φυσικής διαδοχής,
- ποια τα κριτήρια επιλογής φυτικών ειδών για εισαγωγή στην επιφάνεια της χωματερής,
- ποιες τεχνικές (γεωπονικές, εδαφοβελτιωτικές κλπ) πρέπει να εφαρμοστούν τόσο στα σπέρματα ή άλλα βλαστικά όργανα των φυτών, όσο και στο χώμα επίστρωσης της χωματερής, ώστε να ευδοκιμήσουν τα φυτά,
- ποια τα κριτήρια επιλογής του χώματος και πως καθορίζεται η καταλληλότητα του ως υλικού επίστρωσης,



- ποια τα γεωμορφολογικά στοιχεία που επηρεάζουν την επιλογή και την καταλληλότητα του χώματος επίστρωσης της χωματερής,
- πως καθορίζεται και ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την επιλογή και την καταλληλότητα του χώματος επίστρωσης της χωματερής,
- πως καθορίζεται και ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το πάχος του χώματος επίστρωσης,
- πως συσχετίζεται αυτό με την εξέλιξη της διαδοχής και ποιες είναι οι σχέσεις πάχους επίστρωσης-διαμόρφωσης της επιφάνειας του ΧΥΤΑ.

Στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν σ' ένα τέτοιο σχεδιασμό είναι το οικοσύστημα της ευρύτερης περιοχής και ο τρόπος με τον οποίο το οικοσύστημα αυτό επιδρά στον χώρο της πρώην χωματερής.

Με δεδομένα ότι, συνήθως, στα πρώτα 50cm του εδάφους πραγματοποιείται το μέγιστο των εδαφοβιολογικών διαδικασιών, ότι το στρώμα αυτό υποστηρίζει την θρέψη των φυτών, καθώς επίσης, ότι το βάθος από 1-5μ είναι πολύ σημαντικό για τη συγκράτηση του νερού και την αποστράγγιση του, η προφανής απουσία οργανωμένης δομής του εδαφικού στρώματος επηρεάζει σημαντικά τις οικοφυσιολογικές διαδικασίες θρέψης των φυτών.

Είδη φυτεύσεων που μπορεί να εγκατασταθούν σ' ένα χώρο στον οποίο έχουν προηγηθεί έργα αποκατάστασης είναι γρασίδι, δένδρα και φυσική επαναφύτευση για κοινή χρήση.

Χρησιμοποιώντας αυτά τα είδη αποφεύγεται η αλλοίωση της χλωρίδας και επιτυγχάνεται ουσιαστικότερη επανένταξη του χώρου στο περιβάλλον. Επίσης εξασφαλίζεται με αυτόν τον τρόπο η βεβαιότητα ότι τα επιλεγθέντα είδη είναι κατ' αρχήν προσαρμοσμένα στις ευρύτερες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Συχνά όμως, εξ' αιτίας της ιδιομορφίας των χωρών ταφής απορριμμάτων, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και κάποια ξενικά είδη για τις πρώτες τουλάχιστον φυτεύσεις. Στην συνέχεια αυτά θα πρέπει να αντικατασταθούν από είδη εγχώριας χλωρίδας.

### Τελική κάλυψη

Από τους πρωταρχικούς στόχους των έργων αποκατάστασης είναι ο έλεγχος και η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των εισερχόμενων όμβριων στο ΧΥΤΑ. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση κάλυψης χαμηλής περατότητας στην επιφάνεια του χώρου για την αύξηση της επιφανειακής απορροής. Πρέπει να σημειωθεί ότι η παρεμπόδιση της εισόδου νερού στη μάζα των απορριμμάτων μειώνει τις διεργασίες αποσύνθεσής τους και κατά συνέπεια τους ρυθμούς βιοσταθεροποίησης του ΧΥΤΑ.

### Κατασκευή της κάλυψης

Η κάλυψη της χωματερής πρέπει να είναι κατασκευασμένη από υλικά που έχουν περατότητα  $1 \times 10^{-6}$  cm/sec ή και λιγότερο. Η επιφάνεια πρέπει να είναι θλωτή για να ενθαρρύνεται η επιφανειακή απορροή, να καλύπτεται με χώματα το συντομότερο δυνατό μετά την τοποθέτηση της στα οποία να γίνονται κατάλληλα οι φυτεύσεις με τρόπο ώστε να παρεμποδίζεται η εισροή υδάτων ευνοώντας την απώλεια νερού μέσω εξατμοσδιαπνοής.

Η πρακτική εμπειρία δείχνει ότι είναι δυνατή η κατασκευή αδιαπέραστων στρώσεων με μετεονίτη σε μίγμα με άμμο στην επιφάνεια μιας χωματερής. Το πάχος της κάλυψης εξαρτάται από την ποιότητα των υλικών που θα την αποτελέσουν. Πάχος περίπου 0,3m για φυσικά υλικά είναι αποτελεσματικό και κατάλληλο για τις περισσότερες χρήσεις.

Η επιτυχία της κάλυψης εξαρτάται σημαντικά από τον τρόπο ταφής. Ανόμοιες καθιζήσεις αποτελούν την αιτία ζημιών και αστοχιών της κάλυψης, για τον λόγο αυτό όπου εμφανίζονται τέτοιας μορφής καθιζήσεις κρίνεται σκόπιμο όπως τα έργα αποκατάστασης καθυστερήσουν. Στην περίπτωση αυτή, και μέχρι να τοποθετηθεί η οριστική, μπορεί να τοποθετηθεί μια προσωρινή κάλυψη για την παρεμπόδιση της εισόδου νερών στον χώρο.



Η κάλυψη προστατεύεται από τις δυο πλευρές με την δημιουργία προστατευτικών ζωνών. Όταν αυτή αποτελείται από συνθετικά υλικά, η ζώνη πρέπει να έχει πάχος 0,5m και να αποτελείται από αδρανή υλικά ώστε αυτά να μην αντιδρούν με τα απορρίμματα ή την τελική κάλυψη. Η κάλυψη δεν πρέπει να τοποθετείται κατά την διάρκεια βροχερών ημερών, πρέπει να περιέχει υγρασία ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική συμπίεση, ενώ μέγιστη συμπίεση επιτυγχάνεται όταν η τοποθέτηση γίνεται σε στρώσεις 0,3m που κατόπιν ισοπεδώνονται.

#### Προστασία της κάλυψης

Για να παραμένει η κάλυψη αποτελεσματική, πρέπει να προστατεύεται από τις κινήσεις μηχανημάτων στην επιφάνεια του χώρου, από ξήρανση και ρηγματώσεις, από την διείσδυση των ριζικών συστημάτων, από την διάβρωση κλπ. Το πάχος της προστατευτικής στρώσης πάνω από την τελική κάλυψη εξαρτάται από τις σχεδιαζόμενες χρήσεις.

Ενώ οι ρίζες των περισσότερων φυτών βρίσκονται μέσα στα πρώτα 300mm του χώματος, εντούτοις είναι ικανά να προκαλέσουν ξήρανση στα χώματα μέχρις βάθους 700mm. Έτσι, το βάθος του χώματος για την προστασία της κάλυψης επιβάλλεται να είναι τουλάχιστον 1m. Τέλος, η κάλυψη δεν διαβρώνεται όταν η επιφάνεια του χώρου είναι ήδη φυτεμένη.

#### Αποστραγγιστικό σύστημα

Ο σχεδιασμός του συστήματος αποστράγγισης εμφανίζει διάφορες λειτουργίες: Στα αρχικά στάδια της ανάκτησης πρέπει να προστατεύει τις γυμνές επιφάνειες του νέου ανάγλυφου από εκτεταμένη διάβρωση και αυτός ο αρχικός σχεδιασμός πρέπει να είναι ικανός να προσαρμοστεί σε ένα μόνιμο σύστημα που θα αντιμετωπίζει την μειωμένη απορροή από το πλήρως φυτεμένο σκηνικό. Οι απότομες κλίσεις πρέπει να προστατεύονται από την διήθηση και την συσσώρευση του νερού των πόρων.

Η αποστράγγιση εξαρτάται από την ποσότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων, τη διαπερατότητα των χωμάτων, την ύπαρξη ή όχι περατής τελικής στρώσης, την ύπαρξη ή όχι βλάστησης, τον τύπο της βλάστησης και τις κλίσεις των διαμορφωμένων πρανών.

Οι κλίσεις των τελικών πρανών αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα για την αποστράγγιση του αποκαταστημένου χώρου. Λιμνάζοντα νερά μπορεί να παρουσιαστούν όταν η περατότητα των επιφανειακών χωμάτων είναι περιορισμένη ή όταν η ένταση των βροχοπτώσεων ξεπερνάει τον συντελεστή περατότητας των χωμάτων.

Τα προβλήματα αποστράγγισης μπορούν να ξεπεραστούν όταν το τελικό σχήμα του χώρου πάρει την μορφή θόλου, οπότε τα όμβρια να εκτρέπονται μέσω περιφερειακών τάφρων, σημαντικό δε στοιχείο σχεδιασμού αποτελεί ο επαρκής υπολογισμός του συστήματος αποστράγγισης. Οι τελικές κλίσεις του 1:30 έχουν αποδειχθεί ικανές να εμποδίζουν την λίμναση των υδάτων και τα προβλήματα αποστράγγισης που δημιουργούνται από τις διαφορικές καθιζήσεις. Απότομες κλίσεις πρέπει να αποφεύγονται.

Οι κεντρικές τάφροι του συστήματος αποστράγγισης μπορεί να έχουν κλίσεις περί το 1:50. Όλες οι τάφροι πρέπει να κατασκευάζονται κατά μήκος των πρανών όπου είναι δυνατόν και στο πλέον απότομο πρανές, αποστάσεις 50m μεταξύ των τάφρων είναι ενδεικτικά. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην διαμόρφωση των κεντρικών τάφρων.

Αυτοί μπορεί να έχουν 0,6m πλάτος στην βάση με 45ο κλίσεις πρανών και 0,6m βάθος. Τα πρανή των τάφρων μπορεί να είναι επιρρεπή στην διάβρωση. Μια κατάρρευση των πρανών οδηγεί σε μπλοκάρισμα, για τον λόγο δε αυτό το επίχωμα πάνω στο οποίο κατασκευάζεται η τάφρος πρέπει να συμπιεστεί καλά πριν τις εκσκαφές και την κατασκευή του οριστικού προφίλ των τάφρων.



## 2.7 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της υγειονομικής ταφής σε σχέση με τις άλλες μεθόδους διάθεσης τα οποία την επέβαλαν σαν την πιο διαδεδομένη μέθοδο διεθνώς, είναι τα ακόλουθα:

1. Είναι μία μέθοδος τεχνικά απλή και αποτελεσματική ενώ η εφαρμογή της δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις. Ο σχετικός μηχανολογικός εξοπλισμός είναι οικείος σ' όλον τον πληθυσμό, ανθεκτικός, με ευχέρεια επισκευής και προμήθειας ανταλλακτικών.
2. Ο έλεγχος της καλής λειτουργίας του χώρου υγειονομικής ταφής από τις δημοτικές αρχές και το κοινό γίνεται χωρίς ιδιαίτερες δυσκολία.
3. Η υγειονομική ταφή έχει σχετικά χαμηλό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος.
4. Η υγειονομική ταφή είναι εξαιρετικά λειτουργική μέθοδος δεδομένου ότι:
  - Ο χώρος διάθεσης μπορεί να δεχθεί για άμεση διάθεση ετερογενή απορρίμματα.
  - Ευνοείται από τα εδαφομορφολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά της χώρας μας (π.χ. ορεινοί όγκοι, άρα εύκολη απόκρυψη), τα πληθυσμιακά και χωροταξικά δεδομένα.
  - Η λειτουργία του Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) δεν επηρεάζεται από τις έντονες εποχιακές διακυμάνσεις της ποσότητας και σύστασης των απορριμμάτων. Αυξημένες ποσότητες απορριμμάτων μπορεί να τις δεχθεί με μια απλή προσθήκη ενός ακόμη μηχανήματος (ενεργοποίηση εφεδρικού, προσωρινή μίσθωση).
  - Δεν απαιτεί άλλη εγκατάσταση διάθεσης στερεών αποβλήτων πράγμα που συμβαίνει με τις άλλες μέθοδες που απαιτούν συμπληρωματικά και ένα μικρό ΧΥΤΑ για την διάθεση των στερεών τους αποβλήτων.
5. Η υγειονομική ταφή μπορεί να συμβάλει στην αναμόρφωση υποβαθμισμένων τοπίων ή στην αποκατάσταση άλλων, που έχουν πληγεί από την ανθρώπινη δραστηριότητα (π.χ. λατομική δραστηριότητα), διαμορφώνοντας χώρο πράσινου, αθλητικών δραστηριοτήτων, εγκαταστάσεις θερμοκηπίων κλπ.

Απέναντι στα τόσα σοβαρά πλεονεκτήματα, η υγειονομική ταφή εμφανίζει στην χώρα μας το ουσιώδες, καθοριστικό για την ώρα, μειονέκτημα, ότι έχει ταυτιστεί στην συνείδηση των δημοτικών αρχών και του κοινού με την ανεξέλεγκτη διάθεση και για το λόγο αυτό δεν έχει κοινωνική αποδοχή. Ένα δεύτερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η απαίτηση σημαντικών εκτάσεων σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους διάθεσης πράγμα ανέφικτο σε περιοχές π.χ. έντονα τουριστικές ή άλλες με μεγάλη οικοπεδική ή γεωργική αξία. Ένα τελευταίο αρνητικό της είναι η αυξημένη επιμέλεια που απαιτεί για την αντιμετώπιση των εκπομπών δηλ. του βιοαερίου και των στραγγισμάτων που όμως βρίσκεται σαφώς μέσα στις δυνατότητες του εγχώριου έμπυχου δυναμικού μας και της προσιτής τεχνολογίας.

## 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### “ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ”

#### 3.1 Εισαγωγή

Η λιπασματοποίηση ή composting όπως διεθνώς ονομάζεται είναι μία από τις πολλές μεθόδους διάθεσης των απορριμμάτων που ικανοποιητικά αντιμετωπίζει και το πρόβλημα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος από τα στερεά υπολείμματα, αλλά και υλοποιεί την ανακύκλωση. Έτσι εκτός από την ανακύκλωση των μετάλλων, του χαρτιού, των γυαλιών και των ελαστικών, που σε κάποιο ικανοποιητικό βαθμό μπορούμε να επιτύχουμε, με τη σύνθετη διαδικασία της ανακύκλωσης και λιπασματοποίησης, ανακυκλώνουμε ουσιαστικά και το οργανικό κλάσμα, επαναφέροντάς το σωστά στο φυσικό αποδέκτη του το χώμα για να μπορέσει το τελευταίο διατηρώντας την κανονική δομή και γονιμότητά του να συνεχίσει να παράγει.

#### 3.2 Composting : μια φυσική βιολογική διεργασία

Η αποσύνθεση της οργανικής ύλης, όπως είναι γνωστό, είναι μια φυσική βιολογική διεργασία που ουσιαστικά συμβαίνει, στη φύση χωρίς διακοπή, από την εδραίωση της ζωής, πάνω στη γη. Η φύση μέσα από μιας θαυμαστής τελειότητας οικονομία, με τη συνεχή δόμηση και αποδόμηση της οργανικής ύλης, κατορθώνει να ανακυκλώνει την ύλη, να διατηρεί και συνεχώς να ανανεώνει τη ζωή μέσα από το θάνατο.

Ο μηχανισμός της φυσικής βιολογικής αποδόμησης της οργανικής ύλης, (οικοσύστημα) που διαμορφώθηκε στα εκατομμύρια χρόνια μέχρι σήμερα, έχει ορισμένες πεπερασμένες ικανότητες. Η υπερφόρτωση του οικοσυστήματος αυτού, με νεκρή οργανική ύλη, πέραν των ικανοτήτων του, επιφέρει αυτόματα την κατάρρευσή του που εκδηλώνεται αμέσως με την περιβαλλοντική κρίση και της συνέπειες της. Κι είναι αυτό ακριβώς που σημειώθηκε με την αύξηση στην εποχή μας των στερεών υπολειμμάτων και τη συγκέντρωσή τους σε μια σχετικά μικρή επιφάνεια εδάφους, τις χωματερές.

Με το composting έρχεται ουσιαστικά ο άνθρωπος σε μία από τις σπάνιες περιπτώσεις σύμπτωσης του με τη φύση, να την υποβοηθήσει στη γρήγορη και αποτελεσματική αποσύνθεση των τεραστίων αυτών ποσοτήτων της οργανικής ύλης, προϊόν εξάλλου αφύσικων διεργασιών, που από μόνη της είναι αδύνατον να πραγματοποιήσει χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Το τελικό υπόλειμμα αυτής της διεργασίας ονομάζεται compost κι είναι ένα σχετικά παρόμοιο υλικό με εκείνο που φυσιολογικά σχηματίζεται στο χώμα μετά τη φυσική βιολογική αποδόμηση της νεκρής οργανικής ύλης που καταλήγει σε αυτό.

Επομένως με τον όρο composting μπορούμε να πούμε ότι αποδίδουμε την αερόβια βιολογική αποδόμηση των οργανικών υλικών κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες που εξασφαλίζει : α) ικανοποιητική αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης από τα στερεά υπολείμματα και β) ανακύκλωση της οργανικής ύλης με την επαναφορά της στο φυσικό αποδέκτη της το χώμα, σε χουμοποιημένη μορφή, που συμβάλλει σημαντικά στη



βελτίωση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους και τη διατήρηση της γονιμότητάς του.

### 3.3 Βασικοί παράγοντες του Composting

Η σωστή και γρήγορη βιολογική αποδόμηση των οργανικών υλικών, με τη διαδικασία του composting, εξαρτάται από ορισμένους βασικούς παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι :

- οι αερόβιες συνθήκες,
- η υγρασία,
- η σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N),
- το μέγεθος των τεμαχιδίων του προς ζύμωση υλικού,
- η θερμοκρασία ζύμωσης και
- το pH.

Ο περιοδικός αερισμός του ζυμούμενου υλικού είναι απαραίτητος για να παρέχεται η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου στους αερόβιους μικροοργανισμούς που πραγματοποιούν τη ζύμωση του υλικού. Όταν η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στη ζυμούμενη μάζα πέσει κάτω του 5% περίπου, τότε αρχίζουν να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες που επιβραδύνουν τη ζύμωση και προκαλούν την παραγωγή δύσοσμων αερίων. Η οξυγόνωση των απορριμμάτων γίνεται, είτε με ρεύμα αέρα (κλιβανοί χωνεύσεως), είτε με γύρισμα των σωρών, ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τον προγραμματισμένο χρόνο λιπασματοποιήσεως (κάθε 2-3 ημέρες ή περισσότερο).

Η παρουσία ελεύθερου νερού στο ζυμούμενο υλικό είναι απαραίτητη για τις βιοτικές ανάγκες και τη μετακίνηση των μικροοργανισμών. Η συνολική ποσότητα υγρασίας που απαιτείται για την ομαλή πορεία της ζύμωσης εξαρτάται από τη φύση του υλικού (υδατοϊκανότητα) και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ του 55% και 65% σε υγρή βάση. Περίσσεια όμως νερού κλείνει τους πόρους εισόδου του αέρα και την τροφοδότηση σε οξυγόνο.

Η σχέση C/N επηρεάζει αποφασιστικά την ταχύτητα της βιολογικής αποδόμησης του υλικού γιατί από τη διαθέσιμη ποσότητα του βασικού στοιχείου N στους μικροοργανισμούς, εξαρτάται η ταχύτητα της αποδόμησης των οργανικών ενώσεων του C για τον προσδιορισμό από αυτούς της απαιτούμενης ποσότητας C και ενέργειας. Με βάση την περιεκτικότητα του μικροβιακού κυττάρου σε C και N και το δεδομένο ότι μόνο το 1/3 του μεταβολιζόμενου C χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς το δε άλλο αποβάλλεται κυρίως ως CO<sub>2</sub>, η άριστη σχέση C/N στο ζυμούμενο υλικό υπολογίζεται γύρω στο 30:1. Ωστόσο, τα απορρίμματα (ιδίως με πολύ χαρτί) έχουν δυσμενή λόγο θρεπτικών υλικών ( C/N μέχρι 60:1), που μπορεί όμως να βελτιωθεί με την προσθήκη αζωτούχων ενώσεων (π.χ. λάσπη λυμάτων με C/N 12:1). Στο τελικό προϊόν της λιπασματοποιήσεως ο λόγος C/N γίνεται περίπου ίσος με 20, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να δεσμευθεί κατά τη ζύμωση το άζωτο του εδάφους.

Το μέγεθος των τεμαχιδίων του υλικού επηρεάζει την ποσότητα του νερού και αέρα που μπορεί το υλικό να συγκρατήσει κατά τη ζύμωση αλλά και ταυτόχρονα τη διαθέσιμη συνολική επιφάνεια που προσφέρεται στους μικροοργανισμούς για προσβολή. Μια ορισμένη κοκκομετρική σύσταση του υλικού από τεμαχίδια με διάμετρο λίγων χιλιοστών μέχρι και πέντε εκατοστών περίπου θεωρείται ικανοποιητική.

Η θερμοκρασία ζύμωσης του υλικού εξασφαλίζει την ανάπτυξη της κατάλληλης μικροχλωρίδας και ταυτόχρονα τη νέκρωση διάφορων παθογόνων του ανθρώπου και των φυτών όπως επίσης και των σπόρων διάφορων ανεπιθύμητων ζιζανίων και φυτών.



Η αποδόμηση των οργανικών ουσιών είναι γενικά εξώθερμη αντίδραση, με αποτέλεσμα να ανεβαίνει αρχικά η θερμοκρασία του σωρού (στους 65-70 °C) και προοδευτικά να ελαττώνεται, με όριο τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν ολοκληρωθεί πρακτικά η αποδόμηση και απομείνει η ωρίμανση.

Τα απορρίμματα είναι συνήθως ουδέτερα (pH=7). Στην αρχική φάση της χώνευσης επικρατούν όξινες συνθήκες, ενώ αργότερα γίνονται αλκαλικές.

### 3.4 Ιστορική εξέλιξη του Composting

Πολύ πριν το composting αρχίσει να εφαρμόζεται σαν μέθοδος διάθεσης των στερεών υπολειμμάτων, με στόχο την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούν, χρησιμοποιήθηκε σαν μέθοδος ανακύκλωσης και επαναφοράς των οργανικών υπολειμμάτων στο έδαφος με στόχο τη διατήρηση και αύξηση της γονιμότητας του. Δίκαια χαρακτηρίζεται μια από τις πιο παλιές γεωργικές τεχνικές και η ιστορία του ανάγεται σε πολλούς αιώνες πριν, με κυριότερη περιοχή εφαρμογής την ανατολική Ασία που πάντα τη χαρακτήριζε ο πυκνός πληθυσμός με αυξημένες τις ανάγκες σε είδη διατροφής.

Μέχρι και τις αρχές του 20ου αιώνα η διαδικασία του composting ήταν εντελώς φυσική χωρίς κανένα έλεγχο ή επηρεασμό των βασικών αρχών της ζύμωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η πρώτη βελτίωση στη διαδικασία του composting εμφανίζεται από τον sir Albert Howard και τους συνεργάτες του μέσα στην τρίτη δεκαετία του αιώνα μας στην Ινδία.

Τεράστια όμως ώθηση προς την κατεύθυνση της μελέτης, συστηματοποίησης και μηχανοποίησης του composting έδωσε η ιδέα της εφαρμογής του στα δημοτικά σκουπίδια. Η προσπάθεια αυτή ενισχυμένη και από την αντίληψη του βιομηχανικού κεφαλαίου ότι ήταν δυνατή η εκμετάλλευση των σκουπιδιών για εύκολο κέρδος, σε πολλές περιπτώσεις ζημίωσε αντί να ωφελήσει την υπόθεση του composting. Το αποκορύφωμα αυτής της εσφαλμένης αντίληψης σημειώνεται μέσα στη δεκαετία του 1960 οπότε και έχουμε πολλές οικονομικές αποτυχίες σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις composting σκουπιδιών σε πολλά μέρη του κόσμου. Ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. όπου και κυρίως το βιομηχανικό κεφάλαιο προσπάθησε να δημιουργήσει κερδοσκοπικές βιομηχανίες composting των δημοτικών σκουπιδιών, η αποτυχία ήταν πλήρης, γεγονός που αποτέλεσε και ανασταλτικό παράγοντα στην παραπέρα πορεία του composting σε αυτή τη χώρα. Αντίθετα στον ευρωπαϊκό χώρο όπου την εφαρμογή του composting στα δημοτικά σκουπίδια την είδαν από την σκοπιά του κοινωφελούς έργου για τη διατήρηση του περιβάλλοντος και της γονιμότητας των εδαφών και οι κύριοι φορείς αυτής της προσπάθειας ήταν συνήθως οι τοπικές αρχές, η μηχανοποίηση του composting των δημοτικών σκουπιδιών εξελίχθηκε ομαλά. Έτσι η σχετική ευρωπαϊκή τεχνολογία θεωρείται εξαιρετικά υψηλού επιπέδου, με χαμηλό σχετικά λειτουργικό κόστος.

Τα τελευταία χρόνια, όπως αναφέρεται και από την αρμόδια commission της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, εμφανίζεται νέο ενδιαφέρον για την παραπέρα βελτίωση της τεχνολογίας του composting και την επέκταση της εφαρμογής του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα της κρίσης που παρουσιάζεται σήμερα στην ταφή των σκουπιδιών με τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται από αυτήν και την αύξηση της σχετικής δαπάνης για σωστότερη ταφή.



### 3.5 Μεθοδολογία επεξεργασίας και ζύμωσης οικιακών απορριμμάτων

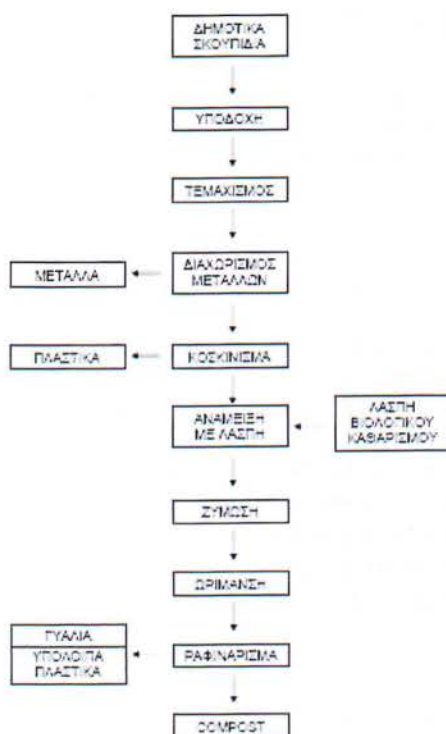
Τα διαδοχικά στάδια επεξεργασίας και ζύμωσης των οικιακών απορριμμάτων εμφανίζονται στην Εικόνα 3.1. Η περιγραφή που ακολουθεί είναι εντελώς συνοπτική, ενώ στο τέλος σημειώνονται και ορισμένες παραλλαγές που εμφανίζονται σήμερα στην όλη διαδικασία.

#### 3.5.1 Υποδοχή σκουπιδιών

Τα απορριμματοφόρα αυτοκίνητα αδειάζουν το φορτίο τους σε ανοικτό υπεδάφιο σιλό από μπετόν χωρητικότητας ίσης περίπου με το διπλάσιο του όγκου της ημερήσιας ποσότητας των σκουπιδιών που επεξεργάζεται το εργοστάσιο. Η διπλάσια αυτή χωρητικότητα του σιλό αποσκοπεί στην ύπαρξη δυνατότητας αποθήκευσης των σκουπιδιών δύο ημερών στην περίπτωση που θα παρουσιαστεί κάποια ζημιά και που συνήθως η επισκευή της δεν απαιτεί περισσότερο από δύο μέρες. Η χωρητικότητα αυτή υπολογίζεται με βάση το μέσο ειδικό βάρος των σκουπιδιών που κυμαίνεται συνήθως γύρω στο 0,45 (450 KG / m<sup>3</sup>). Επειδή όμως το μέσο ειδικό βάρος των σκουπιδιών ποικίλει από χώρα σε χώρα ή και από πόλη σε πόλη θεωρείται απαραίτητο σε κάθε περίπτωση να γίνεται προσδιορισμός του ειδικού βάρους.

#### 3.5.2 Τεμαχισμός σκουπιδιών

Ο τεμαχισμός των σκουπιδιών γίνεται συνήθως χωρίς καμιά προηγούμενη διαλογή και οι μύλοι που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως σφυρόμυλοι οριζόντιας ή κατακόρυφης διάταξης.



Σχήμα 3.1 Διαδοχικά στάδια λιπασματοποίησης οικιακών απορριμμάτων.

Σχεδόν κατά κανόνα οι μύλοι είναι εφοδιασμένοι με ασφαλιστικό σύστημα εκτόνωσης των αερίων που μπορούν να παραχθούν από ενδεχόμενη έκρηξη που μπορεί να σημειωθεί μέσα σε αυτούς κατά την άλεση των σκουπιδιών από βόμβα ή φιάλη υγραερίου ή ότι άλλο που μπορεί να υπάρχει σε αυτά και να προκαλέσει την έκρηξη.

Η τροφοδοσία των μύλων γίνεται με μεταφορική ταινία που είτε μόνη της παραλαμβάνει τα σκουπίδια από τον πυθμένα κατάλληλα διαμορφωμένου σιλό είτε με τη βοήθεια γερανού με αρπάγη. Ο χειρισμός του γερανού γίνεται από χειριστή που βρίσκεται πάνω από το σιλό στο δωμάτιο ελέγχου (control room).

### 3.5.3 Διαχωρισμός μεταλλικών αντικειμένων

Τα σκουπίδια μετά τον τεμαχισμό τους μεταφέρονται με μεταφορική ταινία και περνούν από συγκροτήματα μαγνητών όπου και γίνεται ο διαχωρισμός των μεταλλικών αντικειμένων. Τα μεταλλικά αυτά αντικείμενα με τη βοήθεια και πάλι μεταφορικής ταινίας οδηγούνται είτε σε πρέσα συμπίεσης όπου και μετασχηματίζονται σε μεγάλους κύβους, είτε οδηγούνται έξω από το κτιριακό συγκρότημα και αδειάζονται σε containers. Στη συνέχεια τόσο οι κύβοι όσο και το περιεχόμενο των containers μεταφέρονται και διαθέτονται σε μεταλλουργικές βιομηχανίες.

### 3.5.4 Διαχωρισμός πλαστικών

Μετά την απομάκρυνση των μεταλλικών αντικειμένων τα σκουπίδια μεταφέρονται σε κυλινδρικό συνήθως περιστρεφόμενο τύμπανο με οπές (κόσκινο) διαμέτρου γύρω στα 5 - 7



cm. Τα διάφορα υλικά με διάμετρο μεγαλύτερη των 5 ή 7 cm που δεν μπορούν να περάσουν από τις αντίστοιχες οπές του κόσκινου, πέφτουν σε μεταφορική ταινία που τα μεταφέρει έξω από το κτιριακό συγκρότημα του εργοστασίου. Τα υλικά αυτά είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος πλαστικά και ακολουθούν χαρτιά, υφάσματα κ.λ.π. που δεν τεμαχίστηκαν στο μύλο. Έτσι το κλάσμα αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί σαν καύσιμο υλικό και σε μερικές περιπτώσεις σαν τέτοιο διαθέτεται σε βιομηχανίες που όμως απαραίτητα πρέπει να έχουν κατάλληλα φίλτρα για την προστασία του περιβάλλοντος.

### 3.5.5 Προσθήκη λάσπης - Ομογενοποίηση

Η προσθήκη λάσπης (sludge) του βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων των πόλεων έχει δύο στόχους. Ο πρώτος είναι να μικραίνει τη σχέση C/N των σκουπιδιών με την αυξημένη περιεκτικότητα του στερεού κλάσματος σε N (10% σε ξερή βάση) και ο δεύτερος να ανεβάσει το επίπεδο υγρασίας στα επιθυμητά όρια.

Η προσθήκη της λάσπης δεν εφαρμόζεται πάντα, είτε γιατί δεν υπάρχει αυτή, όπως είναι σε επαρχιακά εργοστάσια πολλών μαζί κοινοτήτων, όπου δεν υπάρχουν μονάδες βιολογικού καθαρισμού, είτε γιατί θέλουν να μειώσουν το κόστος κατασκευής του εργοστασίου με τον αποκλεισμό του μηχανολογικού εξοπλισμού που απαιτείται για την προσθήκη λάσπης (σιλό, ταγκ, αντλητικό συγκρότημα, ομογενοποιητής). Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα να παρατείνεται η περίοδος ζύμωσης και να παράγεται compost χαμηλότερης ποιότητας.

### 3.5.6 Ζύμωση

Μετά την ανωτέρω προετοιμασία των σκουπιδιών ακολουθεί η ζύμωση τους που είναι η σημαντικότερη και η μεγαλύτερη σε διάρκεια φάση στη χουμοποίηση των σκουπιδιών. Η ζύμωση σε συνήθη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους οφείλεται σε δραστηριοποίηση των μεσόφιλων μικροοργανισμών με διάσπαση υδατανθράκων και πρωτεϊνών. Όταν η ζύμωση γίνει σε κλειστό μονωμένο σύστημα, η θερμότητα που παράγεται διατηρείται με συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τους 75 °C. Κατά τις συνθήκες αυτής της θερμοκρασιακής εξέλιξης παρατηρούνται τέσσερα στάδια:

- 1) Το μεσόφιλο στάδιο,
- 2) Το θερμόφιλο στάδιο,
- 3) Η ψύξη και
- 4) Η ωρίμανση.

Στην αρχή σε συνήθη θερμοκρασία, το προϊόν είναι ελαφρά όξινο και προσφέρεται για δραστηριοποίηση των μεσόφιλων οργανισμών, που ευνοούνται σε θερμοκρασίες 25-45 °C και όξινο περιβάλλον. Με την άνοδο της θερμοκρασίας οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί αρχίζουν να αντικαθιστούν τους μεσόφιλους και σιγά σιγά το προϊόν γίνεται αλκαλικό με παραγωγή μικρών ποσοτήτων αμμωνίας. Στη φάση αυτή συνήθως χρειάζεται προσθήκη C και N και άλλων θρεπτικών στοιχείων για την εξέλιξη της ζύμωσης. Σε αυτή τη φάση της ζύμωσης διασπώνται ουσιαστικά οι πρωτεΐνες και τα κυτταρινούχα προϊόντα. Σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 60 °C η θερμόφιλη καλλιέργεια καταστρέφεται και αντικαθίσταται από σποροβακτήρια και ακτινομύκητες. Με προσφορά οξυγόνου η θερμοκρασία μπορεί να ανέλθει στους 75 °C, ακολούθως όμως σταδιακά μειώνεται στους 60 °C, οπότε αρχίζει πάλι η δραστηριότητα των θερμόφιλων καλλιεργειών με συνεχή μείωση του



pH, που πάντοτε όμως διατηρείται ελαφρά αλκαλικό. Η περίοδος μείωσης της θερμοκρασίας οδηγεί σε ωρίμανση του προϊόντος, που απαιτεί αρκετό χρόνο.

Η ζύμωση των σκουπιδιών μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε στατικά, χωρίς ανατάραξη, αλλά με την εφαρμογή τεχνητού αερισμού για την εξασφάλιση των αερόβιων συνθηκών, ή με περιοδική ανατάραξη (γυρίσματα)

Και στις δύο ανωτέρω μεθόδους είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ζυμωτήρα (μεγάλο περιστρεφόμενο μεταλλικό τύμπανο) στο οποίο γίνεται η ανάμειξη των σκουπιδιών με τη λάσπη αλλά και ταυτόχρονα το προετοιμασμένο υλικό παραμένει μέσα στο ζυμωτήρα για ένα ή δύο 24ωρα οπότε και αρχίζει η ζύμωση. Στη συνέχεια το υλικό μεταφέρεται στο υπόστεγο όπου και εφαρμόζεται η μία ή η άλλη από τις ανωτέρω μεθόδους.

Η χρησιμότητα του ζυμωτήρα είναι αμφιλεγόμενη και παράλληλα το κόστος κατασκευής του πολύ μεγάλο δεδομένου ότι η χωρητικότητα του πρέπει να είναι τέτοια που να χωρά τα σκουπίδια μιας ή δύο ημερών.

### 3.5.7 Ωρίμανση

Με την ολοκλήρωση της ταχείας φάσης της ζύμωσης, με κύριο μακροσκοπικό χαρακτηριστικό την πτώση της θερμοκρασίας ζύμωσης στην θερμοκρασία περιβάλλοντος, δεν σημαίνει ότι το υλικό αυτό είναι έτοιμο για να χρησιμοποιηθεί, τουλάχιστον σε ευαίσθητες γεωργικές καλλιέργειες όπως είναι τα κηπευτικά και τα άνθη. Είναι απαραίτητο να περάσει ακόμη το στάδιο της ωρίμανσης κατά την οποία συνεχίζεται φυσικά η ζύμωση σε ήπιο τόνο και το υλικό απαλλάσσεται από διάφορες οξικές ουσίες που παράγονται κατά τη φάση της ταχείας ζύμωσης.

Η ωρίμανση γίνεται στο χώρο ζύμωσης (υπόστεγο ή ύπαιθρο) με ελάχιστο αερισμό ή γυρίσματα, πριν από το ραφινάρισμα. Μπορεί όμως ακόμη να γίνει και μετά το ραφινάρισμα στο αντίστοιχο υπόστεγο.

### 3.5.8 Ραφινάρισμα

Το ραφινάρισμα μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μία από τις περισσότερο σημαντικές εργασίες για την παρασκευή compost υψηλής ποιότητας κυρίως όσον αφορά την απαλλαγή του από γυαλιά. Η εργασία αυτή γίνεται από μηχανικό συγκρότημα που κυρίως με βάση το ειδικό βάρος του ζυμωμένου οργανικού κλάσματος, των γυαλιών και των μικροτεμαχιδίων πλαστικού, που πέρασαν από το κόσκινο, γίνεται ο διαχωρισμός τους. Έτσι τελικά το ζυμωμένο οργανικό υλικό απαλλάσσεται από τα γυαλιά και τα υπολείμματα των πλαστικών.

Η εξαφάνιση των γυαλιών μετά την απομάκρυνση και των τελευταίων τεμαχιδίων πλαστικού, γίνεται ακόμη και με το πέρασμα του ζυμωμένου υλικού μεταξύ δύο αντίστροφα και σε επαφή περιστρεφόμενων μεταλλικών κυλίνδρων οπότε τα τεμαχίδια του γυαλιού αλευροποιούνται.

### 3.5.9 Διάθεση

Το compost προσφέρεται στην αγορά σε κατάσταση χύμα και σε πλαστικούς σάκους των 25 KG ή και μικρότερου βάρους, χωρίς καμιά προσθήκη ή μετά από την προσθήκη χημικών λιπασμάτων. Σε κατάσταση χύμα μεταφέρεται σε φορτηγά αυτοκίνητα στις διάφορες γεωργικές επιχειρήσεις, ενώ το ενσაკισμένο compost διαθέτεται στην αγορά κυρίως για ερασιτέχνες κηπουρούς και τους οικογενειακούς ανθόκηπους. Η τιμή διάθεσης κυμαίνεται σε ευρύτατα όρια και εξαρτάται βασικά από την ποιότητα του προϊόντος. Το πρώτης ποιότητας



compost, καλά ζυμωμένο και ώριμο με 35 % περίπου υγρασία και πλήρως απαλλαγμένο από ανεπιθύμητα υλικά (γυαλιά, μέταλλα, πλαστικά). Τα χονδροειδή composts (coarse composts) χρησιμοποιούνται κυρίως σε αμπελουργικές και δενδροκομικές καλλιέργειες.

Στη διαδικασία επεξεργασίας και ζύμωσης που περιληπτικά περιγράφηκε παραπάνω, υπάρχουν ορισμένες παραλλαγές από τις οποίες οι σημαντικότερες είναι:

- η αντικατάσταση του υπεδάφιου σιλό με επίπεδη πλατφόρμα, με στόχο τον ευκολότερο καθαρισμό της.
- η διαλογή με τα χέρια των μεταλλικών αντικειμένων, χαρτιών, γυαλιών κ.λ.π πριν από το μύλο. Εφαρμόζεται σε περιοχές όπου υπάρχουν διαθέσιμα εργατικά χέρια.
- η κατάργηση του μύλου άλεσης και η ζύμωση ολόκληρης της ποσότητας των σκουπιδιών σε σωρούς, μετά από μια σχετική μηχανική ομογενοποίηση τους. Ακολουθεί η μηχανική απομάκρυνση του compost από τα άλλα αντικείμενα.
- η αντικατάσταση του ζυμωτήρα (περιστρεφόμενο τύμπανο) από κατακόρυφους ζυμωτήρες από μπετό, για το πρώτο στάδιο ζύμωσης των σκουπιδιών.

### 3.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Composting

Το composting ως μέθοδος διάθεσης των απορριμμάτων για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούν, μπορεί να θεωρηθεί ως η περισσότερο κατάλληλη, σε σχέση με τις δύο άλλες μεθόδους που κυρίως χρησιμοποιούνται, δηλαδή την υγειονομική ταφή και την καύση, για δύο κυρίως λόγους:

- 1) γιατί είναι, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μια φυσική βιολογική διεργασία και σαν τέτοια δεν προκαλεί καμιά διαταραχή και σε κανένα οικοσύστημα και
- 2) γιατί παρέχει τη δυνατότητα επιστροφής της οργανικής ύλης, με τη μορφή του χούμου, στο έδαφος και συμβάλλει έτσι στη διατήρηση της γονιμότητας των εδαφών κι ακόμη τη μείωση της διάβρωσης σε επικλινείς αναδασωτές περιοχές.

Έχει όμως κι αυτή τα μειονεκτήματά της από τα οποία τα κυριότερα είναι:

- 1) το μεγάλο κόστος της και
- 2) η ανάγκη ταφής τουλάχιστο ενός μέρους από το μη ζυμώσιμο κλάσμα των σκουπιδιών.

Το κόστος της λιπασματοποίησης ανά τόνο σκουπιδιών είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος της ελεγχόμενης απόρριψης, ενώ δεν διαφέρει σημαντικά από την απλή καύση. Δεδομένου όμως ότι ένα μέρος της δαπάνης καλύπτεται από τη διάθεση του παραγόμενου compost το τελικό κόστος της λιπασματοποίησης των οικιακών απορριμμάτων, σε πολλές περιπτώσεις, είναι μικρότερο της καύσης αλλά πάντα μεγαλύτερο της ελεγχόμενης απόρριψης.

Ως προς το κλάσμα των σκουπιδιών, που με την εφαρμογή της λιπασματοποίησης οδηγείται τελικά σε ταφή, σημειώνεται ότι προέρχεται βασικά από το μη ζυμωμένο κλάσμα (ανόργανα υλικά) και επομένως το ύψος του εξαρτάται: α) από τη σύνθεση των σκουπιδιών και β) από τη δυνατότητα που υπάρχει ή όχι στην περιοχή για τη διάθεση των διαχωριζόμενων μετάλλων, γυαλιών κ.λ.π σε αντίστοιχες βιομηχανίες. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι αυτό το ποσοστό είναι σχετικά χαμηλό και μηδενικής σχεδόν ρυπαντικής ικανότητας.



### 3.7 Θετικά και αρνητικά στοιχεία του Compost

Το παραγόμενο compost από τη λιπασματοποίηση των οικιακών απορριμμάτων είναι ένα οργανοχημικό υλικό που η προσθήκη του στο χώμα βελτιώνει τα φυσικά (πορώδες, υδατοϊκανότητα) και χημικά (CEC, pH) χαρακτηριστικά του τελευταίου. Ακόμη, η περιεκτικότητά του σε θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά, έστω και χαμηλή, και η βραδεία απόδοσή τους αποτελεί ένα ακόμη αγρονομικό στοιχείο θετικό, που συμβάλλει στην αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών.

Το compost όμως έχει και αρνητικά στοιχεία που έχουν σαν αποτέλεσμα να καθιστούν τουλάχιστο σε μερικές περιπτώσεις προβληματική τη διάθεσή του. Ένα από αυτά είναι η περιεκτικότητά του σε τεμαχίδια γυαλιού, μετάλλων και πλαστικών που καθιστούν δύσκολο το χειρισμό του και επικίνδυνες τις διάφορες επεμβάσεις, με τα χέρια. Το πρόβλημα όμως αυτό φαίνεται ότι συνεχώς μειώνεται με την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας του οδηγεί στην παραγωγή όλο και περισσότερο καθαρού compost αλλά φυσικά με μεγαλύτερο κόστος. Ένα άλλο πρόβλημα του compost των οικιακών απορριμμάτων αλλά και του compost της λάσπης του βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων των πόλεων, είναι η περιεκτικότητά τους σε βαριά μέταλλα. Η περιεκτικότητα αυτή εξαρτάται από την ποιοτική σύσταση των σκουπιδιών και ο έλεγχός τους είναι δυνατός και απαραίτητος πριν από την επιλογή της λιπασματοποίησης αλλά και περιοδικά μετά από αυτήν.

Οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από την προσθήκη του compost στο έδαφος με μεγάλη περιεκτικότητα σε βαριά μέταλλα, είναι δύο: α) η τοξική επίδραση τους στην ανάπτυξη των φυτών και β) η μεταφορά των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο και στα ζώα που καταναλώνουν την παραγωγή των φυτών που αναπτύχθηκαν σε αυτά τα εδάφη, δεδομένου ότι τα βαριά μέταλλα απορροφούνται από τα φυτά και συγκεντρώνονται στους φυτικούς ιστούς.

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος καταβάλλονται σήμερα, σε ερευνητικό επίπεδο, μεγάλες προσπάθειες σε ολόκληρο σχεδόν τον κόσμο, και ήδη φαίνεται πως υπάρχουν ελπιδοφόρες προοπτικές. Συγκεκριμένα, έχουν διαπιστωθεί τα εξής:

- 1) η απορρόφηση ή όχι των βαρέων μετάλλων από το φυτό σχετίζεται άμεσα με το είδος του φυτού. Έτσι, άλλα φυτά απορροφούν περισσότερο και άλλα λιγότερο τα βαριά μέταλλα,
- 2) όταν το pH του εδάφους που προστίθεται το compost είναι μεγαλύτερο από 6,5 τότε η απορρόφηση των βαρέων μετάλλων είναι περιορισμένη,
- 3) σε πειραματικό στάδιο ακόμη χρησιμοποιούνται ορισμένες χημικές ουσίες (κατιονικοί εναλλάκτες) που έχουν την ικανότητα να αδρανοποιούν τα βαριά μέταλλα κι έτσι να παρεμποδίζεται η απορρόφησή τους από τα φυτά, όπως επίσης και η τοξική επίδρασή τους σε αυτά.

### 3.8 Κριτήρια επιλογής του Composting για τη διάθεση των οικιακών απορριμμάτων

Πριν από τη λήψη απόφασης εγκατάστασης μονάδας χουμοποίησης (λιπασματοποίησης) των οικιακών απορριμμάτων μιας δεδομένης περιοχής ή πόλης, θα



πρέπει να εξεταστούν ορισμένοι παράγοντες που έχουν σχέση με τα απορρίμματα και την περιοχή. Οι σημαντικότεροι από αυτούς τους παράγοντες είναι:

- οι ανάγκες της πλησιέστερης αγροτικής ή δασικής περιοχής ή του πράσινου της πόλης σε οργανοχημικό εδαφοβελτιωτικό compost και οι δυνατότητες διάθεσής του. Περιοχές ξηροθερμικές, όπως π.χ. είναι η Ν.Α. νησιωτική Ελλάδα, έχουν πάντα αυξημένες ανάγκες σε οργανικά εδαφοβελτιωτικά. Ταυτόχρονα η ανάπτυξη στις περιοχές αυτές εκτός εποχής προστατευόμενων (θερμοκήπια) καλλιεργειών αυξάνει τη ζήτηση.
- η μηχανική σύνθεση των απορριμμάτων. Η αυξημένη περιεκτικότητά τους σε οργανικά υλικά (υπολείμματα τροφών) αυξάνει την απόδοση των σκουπιδιών σε compost και μειώνει το κόστος παραγωγής κατά χιλιόγραμμο προϊόντος.
- η χημική σύσταση των απορριμμάτων. Η χαμηλή περιεκτικότητά τους σε βαριά μέταλλα σημαίνει και χαμηλή περιεκτικότητα σε αυτά του compost που θα παράγεται. Σε περίπτωση αυξημένης περιεκτικότητας σε βαριά μέταλλα μπορεί να γίνει σχετική έρευνα για τον εντοπισμό της προέλευσής τους και να εξεταστεί η περίπτωση αποφυγής της ρύπανσης των απορριμμάτων απ' αυτά.
- η ημερήσια ποσότητα των απορριμμάτων. Αυτή θα πρέπει να είναι γύρω στους 130 τόνους την ημέρα, ή πολλαπλάσιο του 130, για την οικονομική λειτουργία της μονάδας ή των πολλών γραμμών που μπορούν να εγκατασταθούν.
- η ύπαρξη άλλων υπολειμμάτων (γεωργικής παραγωγής, γεωργικών βιομηχανιών κ.λ.π) στην περιοχή δεδομένου ότι η προσθήκη τους στο ζυμώσιμο κλάσμα αυξάνει την απόδοση σε compost, μειώνει το κόστος παραγωγής και βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα.

### 3.9 Εφαρμογή του Composting στη λάσπη του βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων των πόλεων

Η λάσπη που απομένει από το βιολογικό καθαρισμό των λυμάτων των πόλεων περιέχει συνήθως από 5-10% ξερή ουσία (στερεά υλικά) με μεγάλη περιεκτικότητα σε άζωτο (γύρω στο 10%).

Η λάσπη αυτή μετά τη σχετική αφυδάτωσή της μπορεί να προστεθεί στο οργανικό κλάσμα των στερεών απορριμμάτων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αν φυσικά υπάρχει μονάδα λιπασματοποίησης, και να ζυμωθεί με αυτό, επιταχύνοντας τη ζύμωση και εμπλουτίζοντας το παραγόμενο compost.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει μονάδα λιπασματοποίησης, η λάσπη μπορεί μετά την ξήρασή της να ζυμωθεί με την ίδια διαδικασία του composting για παραγωγή compost. Σε αυτήν την περίπτωση για τη διευκόλυνση της ζύμωσης προστίθεται στη λάσπη ροκανίδια ή άλλα χονδροειδή υλικά, ακόμη και θρυμματισμένα λάστιχα αυτοκινήτων. Τα τελευταία μετά τη ζύμωση απομακρύνονται από το compost κι επαναχρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό.

Η μεγάλη προσφορά του compost στην παραπάνω μεταχείριση της λάσπης είναι η σχεδόν εξ' ολοκλήρου καταστροφή των παθογόνων του ανθρώπου που περιέχονται σε αυτήν με τις υψηλότερες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη ζύμωση.

### 3.10 Οικονομική ανάλυση

#### Κόστος επενδύσεων :

Σε αυτό περιλαμβάνονται οι επενδυτικές δαπάνες που αφορούν την αγορά και διαμόρφωση του χώρου. Την δαπάνη για τη σύνδεσή του με τα δίκτυα υποδομής όπως και την εγκατάσταση δικτύου για την μεταφορά ατμού (σε περίπτωση που ανακτάται θερμότητα). Επίσης συμπεριλαμβάνονται και οι δαπάνες για την απόκτηση χώρου μελλοντικής επέκτασης. Ακόμη περιλαμβάνονται οι δαπάνες που αφορούν τις κτιριακές εγκαταστάσεις, την συντήρηση όπως και τον εξειδικευμένο μηχανολογικό εξοπλισμό (μηχανήματα διαλογής, μηχανήματα τεμαχισμού, μηχανήματα που χρειάζονται για την παραγωγή humus κ.α. ).

#### Κόστος λειτουργίας :

Περιλαμβάνονται οι δαπάνες προσωπικού, οι δαπάνες απομάκρυνσης καταλοίπων επεξεργασίας, τα γενικά έξοδα (φόροι, απόσβεση τοκοχρεολυσίων κ.α. ), οι δαπάνες μικροσυντηρήσεων, οι δαπάνες ανανέωσης του εξοπλισμού και τέλος τα έσοδα από την πώληση του humus.



## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ”

#### 4.1 Εισαγωγή

Η θερμική επεξεργασία (Θ.Ε.) των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μετατροπής του περιεχομένου τους σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας.

Οι σημαντικότεροι στόχοι της Θ.Ε. είναι:

- Η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ.
- Η αδρανοποίηση τους (μετατροπή τους σε υλικά λιγότερο επιβλαβή).
- Η εκμετάλλευση της θερμογόνου δύναμής τους προς ανάκτηση ενέργειας (θέρμανση, ηλεκτρικό ρεύμα, καύσιμη ύλη).
- Η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων (ΣΑ) διαθέτει τα εξής βασικά πλεονεκτήματα:

- Μειώνει τον όγκο τους σε μεγάλο βαθμό (έως και 90%). ο Μειώνει τη μάζα τους έως και 70%.
- Μπορεί να σχεδιασθεί τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες ποσότητες αποβλήτων.
- Επιτυγχάνεται ανάκτηση και αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.
- Είναι ανταγωνιστική των συμβατικών καυσίμων (κάρβουνο, αέριο, πετρέλαιο) στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της ΘΕ είναι:

- Υψηλό κόστος κατασκευής.
- Υψηλό κόστος λειτουργίας.
- Ανάγκη απασχόλησης εξειδικευμένου προσωπικού.
- Μη άμεση αξιοποίηση υλικών από τα απόβλητα.
- Δυσκολία αξιοποίησης της παραγόμενης θερμότητας (ιδίως σε μικρές εγκαταστάσεις).
- Χρήση δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης της προκαλούμενης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Εκπομπές επικίνδυνων ρύπων μέσω των καυσαερίων.

Οι τεχνικές θερμικής επεξεργασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: αποτέφρωση - καύση (incineration - combustion), αεριοποίηση (gasification), πυρόλυση (pyrolysis) και τεχνική του πλάσματος (plasma technology) ενώ υπάρχουν και οι καινοτόμες τεχνολογίες όπως θα δούμε παρακάτω.

## 4.2 Αποτέφρωση – Καύση

Η αποτέφρωση ή πιο κοινά η καύση των στερεών απορριμμάτων/αποβλήτων ουσιαστικά εκπροσωπεί μια αρκετά παλαιά και διαδεδομένη διεργασία, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών (850 έως 1500 °C), με παρουσία φλόγας, για την οξειδωση των επιμέρους στοιχείων αυτών, δηλαδή την ένωσή τους με το οξυγόνο. Στόχος της εν λόγω διεργασίας είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση και/ή η καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, παρουσία οξυγόνου (είτε σε στοιχειομετρική αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του προς τελική διάθεση όγκου τους.

Τα προϊόντα της διαδικασίας της αποτέφρωσης περιλαμβάνουν αέριες ενώσεις (π.χ. CO<sub>2</sub>, οξειδία αζώτου, όξινα αέρια, κα), οι οποίες χρήζουν κατάλληλης επεξεργασίας πριν την έκλυσή τους στην ατμόσφαιρα και σχετικά αδρανή στερεά υπολείμματα (τέφρα), τα οποία εκπροσωπούν το 15 - 40% του βάρους της τροφοδοσίας του αποτεφρωτή και ενδέχεται να περιέχουν σημαντικούς ανόργανους ρύπους, όπως βαρέα μέταλλα. Στην περίπτωση της ατελούς καύσης των απορριμμάτων (έλλειψης οξυγόνου), η οποία είναι ανεπιθύμητη, στα παραγόμενα αερίδια συμπεριλαμβάνονται και σημαντικές ποσότητες CO. Ως εκ τούτου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η πλήρης καύση των ΑΣΑ, πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις :

- επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου (O<sub>2</sub>) στην εστία καύσης,
- επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης,
- σωστή αναλογία μίγματος (καύσιμης ύλης - οξυγόνου),
- συνεχής απομάκρυνση των αερίων, τα οποία παράγονται κατά την καύση,
- συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης.

Ένα ακόμη ιδιαίτερα σημαντικό προϊόν της διαδικασίας της αποτέφρωσης ΑΣΑ αποτελεί και η θερμότητα, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί ως έχει ή και να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η καύση και γενικότερα η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων, συνδέεται με το ποσό της θερμότητας που μπορεί να εκλυθεί κατά την καύση τους. Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση της μονάδας μάζας ενός υλικού εκφράζεται ως η θερμογόνος δύναμη του υλικού αυτού. Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση, η θερμογόνος δύναμη



αναφέρεται ως ανώτερη (οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε υγρό ) και σε κατώτερη (οι υδρατμοί παραμένουν στην αέρια φάση ).

Η θερμογόνος δύναμη ενός υλικού εξαρτάται από την περιεκτικότητά του στα βασικά καύσιμα στοιχεία , που είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο και σε μικρότερο ποσοστό το θείο.

Σημαντικές παραμέτρους για τη δυνατότητα καύσης ενός υλικού , αποτελούν η περιεκτικότητά του σε υγρασία και τέφρα. Η υγρασία (στην ουσία το νερό ) που περιέχεται στα απορρίμματα αποτελεί εμπόδιο για την εύκολη καύση τους επειδή απαιτεί σημαντικό ποσό ενέργειας για να απομακρυνθεί ώστε να μπορέσουν τα απορρίμματα να καούν και να αποδώσουν το θερμικό φορτίο που περιέχουν . Από την άλλη , η τέφρα αποτελείται από ανόργανα συστατικά που περιέχονται στα απορρίμματα (μέταλλα, γυαλί, και άλλα αδρανή όπως χώμα) τα οποία δε μπορούν να καούν , και επιπρόσθετα θα πρέπει να απομακρυνθούν από το χώρο στον οποίο γίνεται η καύση των απορριμμάτων .

Η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση :

$$A\theta A = 80,8C + 344(H - O/8) + 25S$$

όπου  $A\theta A$  η ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)

$C$  η περιεκτικότητα (%) σε άνθρακα,

$H$  η περιεκτικότητα (%) σε υδρογόνο,

$O$  η περιεκτικότητα (%) σε οξυγόνο και

$S$  η περιεκτικότητα (%) σε θείο.

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη υπολογίζεται αφαιρώντας από την ανώτερη θερμογόνο δύναμη τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών :

$$K\theta A = A\theta A - 580(H + W)$$

όπου  $K\theta A$  η κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)

$H$  η περιεκτικότητα (%) σε υδρογόνο και

$W$  η περιεκτικότητα (%) σε υγρασία.

Η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων, μπορεί επομένως να εκτιμηθεί με βάση τη μέση σύσταση των απορριμμάτων και τη μέση θερμογόνο δύναμη της κάθε κατηγορίας.

Έτσι, ο Πίνακας 4.1. δίνει στοιχεία σχετικά με το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων της Ελλάδας.

Υλικά	Περιεκτικότητα (% κ.β.)	Κατώτερη Κ.Δ.Θ. (kcal/kg)	Ενέργεια στα 100 kg (kcal)	Συμμετοχή στην ενέργεια, (%)
Χαρτί	20,0	3,960	79,300	32,3
Πλαστικά	8,5	7,700	65,450	26,7
Ζυμώσιμα	49,0	1,100	53,900	22,0
Γυαλί	4,5	33	748	-
Μέταλλα	4,5	165	742	-
Δέρμα, Ξύλο, Υφασμα	3,0	4,400	13,200	5,4
Αδρανή	5,0	30	150	-
Υπόλοιπα	5,5	5,770	31,735	12,9

Πίνακας 4.1 Θερμογόνος δύναμη και ενεργειακά στοιχεία στα Ελληνικά οικιακά απορρίμματα.

Τα απορρίμματα καίγονται όταν η περιεκτικότητά τους σε νερό δεν ξεπερνά το 50%, η περιεκτικότητα σε τέφρα το 60% και η καύσιμη ύλη να είναι τουλάχιστον 25%, δηλαδή όταν η κατώτερη θερμογόνος δύναμή τους είναι 3.350 kJ/kg.

Τα κυριότερα είδη μονάδων αποτέφρωσης, που έχουν αναπτυχθεί, είναι δύο:

- μονάδες που απαιτούν ελάχιστη προεπεξεργασία των απορριμμάτων (μονάδες τύπου mass-fired),
- μονάδες που λειτουργούν με επεξεργασμένο RDF (Refuse-Derived Fuel) ως καύσιμο.

Οι μονάδες τύπου μαζικής καύσης (mass-fired) αποτελούν την πλειοψηφία των εγκατεστημένων μονάδων. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι ότι τα απορρίμματα εισάγονται χωρίς καμία προεπεξεργασία στο θάλαμο καύσης, με αποτέλεσμα η λειτουργία της όλης μονάδας να είναι απλή. Βέβαια, το συγκεκριμένο γεγονός εγκυμονεί και κινδύνους για τη λειτουργία της μονάδας (π.χ. εισαγωγή ογκωδών ή ιδιαίτερα επικινδύνων αποβλήτων), που αντιμετωπίζονται με την αυστηρή επίβλεψη των εισαγομένων ΑΣΑ και με τη δυνατότητα χειροκίνητης διακοπής της εισαγωγής τους, όποτε αυτό θεωρηθεί αναγκαίο από τον επιβλέποντα.

Το δεύτερο είδος μονάδων αποτέφρωσης χρησιμοποιεί ως υλικό τροφοδοσίας το λεγόμενο RDF, το οποίο ουσιαστικά εκπροσωπεί ένα μίγμα συγκεκριμένων κλασμάτων των ΑΣΑ, το οποίο προκύπτει έπειτα από διαχωρισμό και μπορεί να περιλαμβάνει χαρτί, υφάσματα, δέρμα, ελαστικά, κα. Στόχος είναι το τελικό μίγμα να έχει υψηλή θερμογόνο δύναμη. Μάλιστα, υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές που θα πρέπει να πληροί το RDF, οι οποίες ορίζονται από την ΚΥΑ 114218/1997 και είναι οι εξής:



- κατώτερη θερμογόνο δύναμη = 4.000kcal/g  
(16.744MJ/kg)
- υγρασία < 20%
- ποσοστό χαρτιού και πλαστικού > 95% (επί ξηρού βάρους).

Η όλη διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ειδικούς αποτεφρωτές, των οποίων η δυναμικότητα μπορεί να ποικίλει από 8 έως 25Mg/h. Ο δε τύπος αυτών επίσης ποικίλει, δεδομένου ότι κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη αποτεφρωτών, με διαφορετικά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα έκαστος. Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι αποτεφρωτών είναι:

- αποτεφρωτής κινούμενων εσχάρων,
- αποτεφρωτής περιστρεφόμενου κλιβάνου,
- αποτεφρωτής ρευστοποιημένης κλίνης.

#### Αποτεφρωτής κινούμενων εσχάρων

Τα βασικά στάδια που περιλαμβάνει κατά τη λειτουργία του είναι :

- Εήραση: Τα εισερχόμενα απορρίμματα λαμβάνουν θερμότητα με ακτινοβολία από τη φλόγα και με συναγωγή από την παροχή θερμού αέρα. Το αποτέλεσμα είναι η εξάτμιση της περιεχόμενης στα απορρίμματα υγρασίας και των πτητικών συστατικών.
- Πυρόλυση: Με την αύξηση της θερμοκρασίας τα περισσότερα πτητικά συστατικά εξατμίζονται.
- Ανάφλεξη: Η απαιτούμενη θερμότητα για την ανάφλεξη της καύσιμης ύλης προσδίδεται στα απορρίμματα μέσω ακτινοβολίας από τη φλόγα και τα τοιχώματα του φλογοθαλάμου. ο Αεριοποίηση και καύση: Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας της πλήρους ανάφλεξης των απορριμμάτων προκαλεί την αεριοποίηση μιας ποικιλίας υλικών, που περιέχονται σε αυτά. Ο εναπομένον άνθρακας οξειδώνεται πλήρως, ενώ στο φλογοθάλαμο καίγονται τα απαέρια που παράχθηκαν από τις φάσεις της πυρόλυσης και της αεριοποίησης. ο Ολοκλήρωση της καύσης: Η ολοκλήρωση της καύσης αποδίδει ένα αρκετά αδρανοποιημένο (ανόργανο) στερεό υπόλειμμα στο τέλος της εσχάρας.

Μερικοί συνηθισμένοι τύποι εσχάρων είναι :

Εσχάρα τύπου VKW : Αυτός ο τύπος είναι εγκατεστημένος σε πολλές χώρες της Ευρώπης, για παράδειγμα στο Dusseldorf της Γερμανίας, και το Edmonton του Ηνωμ. Βασιλείου. Αποτελείται από μία σειρά έξι κοίλων κυλίνδρων που μεταφέρουν προς τα κάτω τα στερεά απόβλητα υπό γωνία περίπου 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και επιτυγχάνουν την απαιτούμενη ανάδευση. Κάθε κύλινδρος μπορεί να κινηθεί με

διαφορετική ταχύτητα ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης καύση. Οι ταχύτητες αυτές συνήθως κυμαίνονται από 0.5-5 κύκλους ανά ώρα.

Εσχάρα τύπου Martin : Αυτή αποτελείται από μια εσχάρα που είναι εφοδιασμένη με κατακόρυφους άξονες διαδοχικά ακίνητους και κινητούς. Η κίνηση των αξόνων σπρώχνει το ρεύμα των ΑΣΑ προς τα πάνω υπό γωνία 30° αντίθετα με το νεοεισερχόμενο υλικό υποβοηθώντας έτσι την ξήρανση και την ανάφλεξή του.

Εσχάρα τύπου Volund : Αποτελείται από τρία επίπεδα που διαχωρίζονται από ένα φρέατιο που επιτρέπει στο ρεύμα των ΑΣΑ να πέφτει από το ένα τμήμα στο άλλο. Στο κάθε επίπεδο το υλικό αναδύεται με τη βοήθεια υδραυλικών μηχανισμών.

Εσχάρα τύπου Von Roll : Αποτελείται από μια σειρά επικλινών επιπέδων που έχουν την δυνατότητα να μετακινηθούν με την βοήθεια υδραυλικών βραχιόνων. Το ρεύμα των ΑΣΑ μετακινείται προς τα κάτω υπό γωνία 15°. Είναι εγκατεστημένη κυρίως στις ΗΠΑ και στην Ιαπωνία.

Εσχάρα τύπου De Bartolomeis : Είναι και αυτή πολυεπίπεδη με δυνατότητα μεταβολής του αριθμού και της κλίσης των επιπέδων.

Εσχάρα τύπου Widmer & Ernst : Η σπουδαιότερη διαφορά της με τους άλλους τύπους είναι η δυνατότητα της για διπλή κίνηση και προς τις δυο κατευθύνσεις.

#### Αποτεφρωτής περιστρεφόμενου κλιβάνου

Ένας αποτεφρωτής περιστρεφόμενου κλιβάνου επεξεργάζεται με επιτυχία πολλά είδη απορριμμάτων και ρύπους, που άλλες τεχνολογίες δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν. Αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο κλιβάνο, έναν μετακαυστήρα και ένα σύστημα ελέγχου των παραγόμενων αέριων εκπομπών.

Στους συμβατικούς περιστρεφόμενους κλιβάνους, ο κύλινδρος είναι οριζόντιος και περιστρέφεται περί του άξονά του. Το υλικό (πρέπει να υπάρχει σταθερή και συνεχής παροχή) αναδύεται, καίγεται και οδηγείται στο άλλο άκρο με την κατάλληλη κλίση (24%). Η καταστροφή των οργανικών επιτυγχάνεται με συνδυασμό υψηλών θερμοκρασιών και κατάλληλου χρόνου παραμονής, ο οποίος επηρεάζει και το βαθμό ανάμιξης. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μικρότερος ο χρόνος παραμονής που απαιτείται για την καύση.

Βασικές παράμετροι λειτουργίας ενός τέτοιου είδους αποτεφρωτή είναι:

- η θερμοκρασία εξόδου του περιστρεφόμενου κλιβάνου και του μετακαυστήρα, η οποία πρέπει να οδηγεί σε πλήρη αποτέφρωση των απορριμμάτων,
- η εσωτερική πίεση του κλιβάνου, που πρέπει να είναι αρνητική για την αποφυγή αέριων εκπομπών και σωματιδίων στην ατμόσφαιρα,
- ο ρυθμός παροχής αέρα (οξυγόνου) και των απορριμμάτων, έτσι ώστε οι συνθήκες λειτουργίας του καυστήρα να είναι οι βέλτιστες.



Η σύσταση των απαερίων καύσης αποτελεί δείκτη απόδοσης του κλιβάνου και δεδομένου ότι λειτουργεί με περίσσεια οξυγόνου, τα απαέρια θα πρέπει να περιέχουν χαμηλές συγκεντρώσεις CO και υδρογονανθράκων και μειωμένες ποσότητες υπολειμμάτων αποτέφρωσης.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

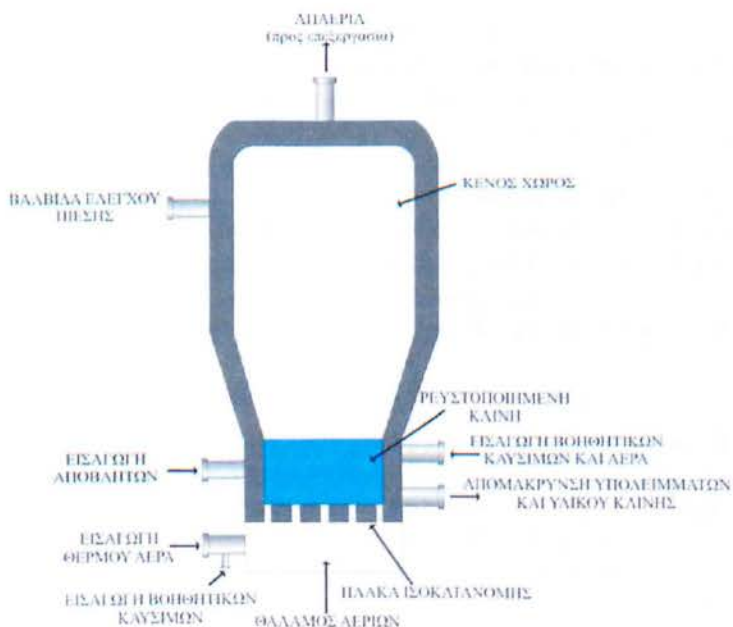
- Έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί μεγάλη ποικιλία αποβλήτων.
- Τα απορρίμματα δε χρειάζονται προεπεξεργασία.
- Ελέγχεται εύκολα ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων στον κλίβανο.
- Επιτυγχάνεται αποτελεσματική επαφή με τον αέρα.

ενώ στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

- Παραγωγή μεγάλης ποσότητας σωματιδίων λόγω υψηλής στροβιλότητας και τριβής που δημιουργείται στον κλίβανο.
- Απαιτείται μεγάλη ποσότητα περίσσειας αέρα (100-150%).
- Ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας χάνεται με τη στάχτη.
- Είναι αναγκαίος συχνά ένας θάλαμος μετάκαυσης.

#### Αποτεφρωτής ρευστοποιημένης κλίνης

Ο αποτεφρωτής ρευστοποιημένης κλίνης (Σχήμα 4.1) χρησιμοποιεί ένα στρώμα άμμου ή αλουμίνας (κλίνη), πάνω στο οποίο εισάγονται τα απορρίμματα. Κάτω από το στρώμα αυτό διοχετεύεται αέρας με τέτοια παροχή, ώστε ολόκληρη η κλίνη να βρίσκεται σε αιώρηση και σε θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία ανάφλεξης των υφιστάμενων ρύπων. Το παρεχόμενο οξυγόνο, οι έντονες συνθήκες ανάμιξης και η αυξημένη θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα την εξάτμιση και την καταστροφή των οργανικών ρύπων.



Σχήμα 4.1 Αποτεφρωτής ρευστοποιημένης κλίνης.

Βασική λειτουργική παράμετρο για το συγκεκριμένο είδος αποτεφρωτών αποτελεί η θερμοκρασία, η οποία ορίζεται σύμφωνα με την τροφοδοσία των απορριμμάτων, των παραγόμενων απαιριών και ενός βοηθητικού υλικού καύσης. Η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 750 - 880°C, χαμηλότερη σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες αποτέφρωσης, γεγονός που οφείλεται στην καλή ανάμιξη του προς επεξεργασία αποβλήτου. Το απαιτούμενο οξυγόνο καύσης και ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων αποτελούν επίσης σημαντικές παραμέτρους λειτουργίας ενός αποτεφρωτή ρευστοποιημένης κλίνης, οι οποίες καθορίζονται με βάση το ρυθμό τροφοδοσίας των προς επεξεργασία απορριμμάτων.

Οι υψηλές θερμοκρασίες που συντηρούνται στην άνω της κλίνης περιοχή και οι διαστάσεις του κλιβάνου παρέχουν επαρκή χρόνο παραμονής (περίπου 3-5 δευτερόλεπτα), έτσι ώστε όλες οι οσμές να οξειδώνονται. Παρόλα αυτά οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να συντελέσουν σε αύξηση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου και των βαρέων μετάλλων.

Η αμμόδης κλίνη λειτουργεί σαν μία δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας μέσα στον καυστήρα προσδίδοντας μία σημαντική θερμική αδράνεια στο σύστημα. Έτσι, τα συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης μπορούν να αντιμετωπίσουν διακυμάνσεις στα χαρακτηριστικά των εισερχομένων στερεών, το περιεχόμενο σε ξηρά στερεά ή το ρυθμό τροφοδότησης. Επιπλέον, οι καυστήρες ρευστοποιημένης κλίνης μπορούν να αντιμετωπίσουν επιτυχώς με αποδοτικό από ενεργειακής άποψης τρόπο προσωρινές διακοπές (2-3 ημερών).

Η ικανότητα των καυστήρων ρευστοποιημένης κλίνης να συμμορφώνονται με τα αυστηρά κριτήρια για την ατμοσφαιρική ρύπανση και η αξιοσημείωτη αξιοπιστία



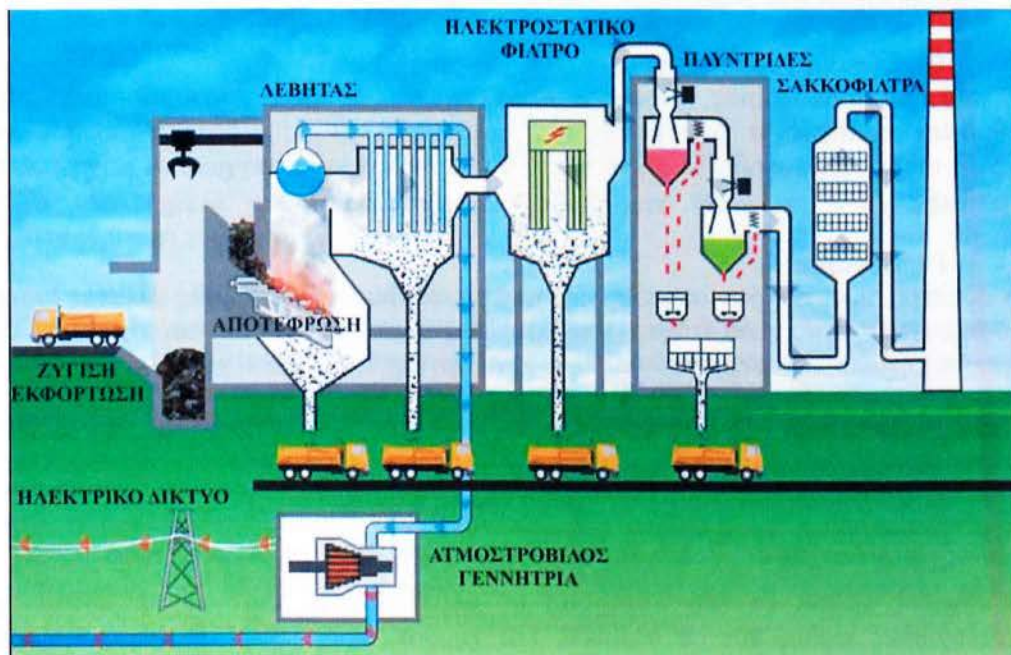
και σταθερότητα αυτού του συστήματος καθιστούν τη διεργασία της ρευστοποιημένης κλίνης ως την πιο ενδεδειγμένη επιλογή.

Τα κύρια πλεονεκτήματα ενός αποτεφρωτή ρευστοποιημένης κλίνης περιλαμβάνουν τα εξής:

- αποφυγή εμφάνισης τοπικών διαφορών θερμοκρασίας και επομένως μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων, που είναι αποτέλεσμα ατελούς καύσης, λόγω διαφορών θερμοκρασίας,
- δυνατότητα ενεργειακής αξιοποίησης δύσκολων καυσίμων, με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα,
- αύξηση του βαθμού μετατροπής του καυσίμου και πιο αποδοτική αξιοποίηση του αέρα καύσης, γεγονός που οδηγεί σε μικρότερες απαιτήσεις περίσσειας αέρα (στην προκειμένη περίπτωση περίπου 55% έναντι του συνήθους 100%).

Για την αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας και την ανάκτηση ενέργειας, οι σύγχρονοι αποτεφρωτές διαθέτουν ειδικούς λέβητες (boilers), με τη βοήθεια των οποίων η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού. Στη συνέχεια, ο παραγόμενος ατμός χρησιμοποιείται είτε ως πηγή θέρμανσης, είτε ως μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση ατμοστρόβιλων και γεννητριών.

Μια ολοκληρωμένη μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 4.2) αποτελείται από επιμέρους τμήματα τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια :



Σχήμα 4.2 Τοπική μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### I. Ζυγιστήριο

Το σύστημα ζύγισης των στερεών αποβλήτων πρέπει να είναι πρακτικό και να ελαχιστοποιεί το χρόνο παραμονής των οχημάτων σε αυτό.

### II. Χώρος Υποδοχής

Λόγω του γεγονότος ότι η προσκόμιση των αποβλήτων δεν γίνεται σε συνεχή βάση (σε αντίθεση με την τροφοδοσία της εγκατάστασης) είναι απαραίτητη η ύπαρξη χώρου υποδοχής - προσωρινής αποθήκευσής τους. Ο σχεδιασμός του χώρου γίνεται με τρόπο τέτοιο, έτσι ώστε να εξασφαλίζονται τα εξής:

- ο χρόνος εκφόρτωσης να είναι όσο το δυνατό μικρότερος,
- να παραλαμβάνονται όλα τα προσκομιζόμενα απόβλητα,
- να επιτυγχάνεται ομογενοποίηση των προσκομιζόμενων προς τροφοδοσία αποβλήτων και
- να εξασφαλίζεται απρόσκοπτη τροφοδοσία της εγκατάστασης.

Επίσης, ο σχεδιασμός του χώρου υποδοχής πρέπει να βασίζεται στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο πυθμένας του χώρου πρέπει να έχει κατάλληλη κλίση για την απομάκρυνση των στραγγισμάτων και των νερών έκπλυσης.
- Λόγω της δημιουργίας σκόνης πρέπει να προβλέπεται σύστημα απομάκρυνσης και ανανέωσης του αέρα.
- Για την αποφυγή έκλυσης οσμών αποφεύγεται η παραμονή των στερεών αποβλήτων στο χώρο για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των δύο ημερών.

### III. Σύστημα τροφοδοσίας

Το σύστημα τροφοδοσίας (γερανός, ταινία) πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στο ρυθμό και την ταχύτητα τροφοδοσίας της εγκατάστασης. Επίσης, βασική προϋπόθεση είναι η ισομερής τροφοδοσία της εστίας καύσης, η οποία επιτυγχάνεται μηχανικά ή υδραυλικά.

### IV. Εσχάρες

Το σύστημα των εσχάρων αποτελεί ένα από τα πιο βασικά μέρη μιας εγκατάστασης καύσης. Οι εσχάρες είναι στερεωμένες στα τοιχώματα της εστίας καύσης πάνω σε φέροντα μηχανισμό και εκτελούν τις εξής λειτουργίες:

- μεταφορά των στερεών αποβλήτων
- επίτευξη ομοιόμορφης παροχής αέρα
- αναμόγχευση των υλικών στη ζώνη κύριας καύσης
- μεταφορά της παραγόμενης τέφρας

Οι εσχάρες πρέπει να επικαλύπτονται με υλικό υψηλής αντοχής σε μηχανικές καταπονήσεις καθώς και σε θερμικές και χημικές επιδράσεις. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίδεται στην ανθεκτικότητά τους έναντι στο θείο και το χλώριο, τα οποία σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες δημιουργούν έντονες διαβρωτικές συνθήκες.



### V. Εστίες Καύσης

Η ανάφλεξη των στερεών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις καύσης επιτυγχάνεται με χρήση ειδικού καυστήρα, ο οποίος λειτουργεί με βοηθητικό καύσιμο. Βασικές παράμετροι για την σωστή λειτουργία των εστιών καύσης είναι:

- επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας
- επαρκής χρόνος καύσης
- επίτευξη συνθηκών στροβιλισμού / ομοιογενούς καύσης των αποβλήτων

### VI. Λέβητας

Ο λέβητας είναι το σύστημα με το οποίο ανακτάται το ενεργειακό περιεχόμενο της καύσιμης ύλης, μέσω παραγωγής ατμού. Βασικές παράμετροι για τη σωστή λειτουργία του λέβητα είναι η πίεση, η θερμοκρασία και ο ρυθμός παραγωγής του ατμού. Η κατασκευή του φέρει εξωτερική επένδυση έτσι ώστε να επιτυγχάνεται στεγανοποίηση, αποφυγή εισροής αέρα και θερμομόνωσή του. Επιπλέον, τα υλικά κατασκευής του πρέπει να είναι ανθεκτικά τόσο στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό όσο και στις μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό της κατασκευής.

Επίσης, υφίσταται και δεύτερο εξωτερικό στρώμα μόνωσης για το οποίο δεν απαιτούνται ειδικές αντοχές σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (πυρίμαχα τούβλα, υαλοβάμβακας κλπ).

### VII. Σύστημα απομάκρυνσης των υπολειμμάτων

Οι ποσοστιαίες ποσότητες υπολειμμάτων (κατά βάρος αποβλήτων) είναι οι εξής:

- υπολείμματα τα οποία εξέρχονται από τις εσχάρες: 20 - 35%
- υπολείμματα τα οποία διαπερνούν τις εσχάρες: 1 - 2%

Τα υπολείμματα συγκεντρώνονται σε χοάνες από όπου με ειδικό σύστημα μεταφέρονται για ψύξη.

### VIII. Περιτροφικός Κλίβανος

Ο κλίβανος αποτελείται από το σύστημα υποδοχής, το δοσομετρικό σύστημα, τον περιστροφικό κύλινδρο, το σύστημα παροχής αέρα, τον επιπλέον καυστήρα, το θάλαμο μετάκαυσης και το σύστημα απομάκρυνσης της σκόνης και της τέφρας. Το απόβλητο εισέρχεται στον κλίβανο όπου αναδεύεται και υφίσταται θερμική επεξεργασία. Ο κλίβανος πρέπει να είναι επενδυμένος με πυρίμαχα υλικά ενώ απαιτείται συνεχής και σταθερή παροχή αποβλήτων. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον κλίβανο κυμαίνεται από 800 - 1400°C και η αποτελεσματική καύση επιτυγχάνεται με κατάλληλο συνδυασμό της θερμοκρασίας και του χρόνου παραμονής των αποβλήτων. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερος χρόνος παραμονής απαιτείται και αντιστρόφως.

Λόγω του γεγονότος ότι ο χρόνος παραμονής των παραγόμενων αερίων στον κλίβανο είναι μικρός, για να επιτευχθεί πλήρης καύση τους τοποθετείται θάλαμος μετάκαυσης.

Τα υπολείμματα του κλιβάνου οδηγούνται μέσω χοάνης στο σύστημα ψύξης, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

### **ΙΧ. Εφεδρικοί καυστήρες**

Κάθε εγκατάσταση καύσης στερεών αποβλήτων διαθέτει και εφεδρικούς καυστήρες, που τίθενται αυτομάτως σε λειτουργία όταν σημειωθεί πτώση της θερμοκρασίας των απαερίων κάτω από 850 °C.

#### **4.2.1 Συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης**

Οι μονάδες επεξεργασίας των παραγόμενων απαερίων, αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης ΑΣΑ και ένα από τα πιο δαπανηρά στάδια της όλης διαδικασίας. Η απομάκρυνση των ρύπων από τα απαέρια μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ο σχεδιασμός των διαφόρων συστημάτων δεν εξαρτάται τόσο από την ποιότητα των καθαρών αερίων που επιβάλουν οι κανονισμοί και πρέπει να είναι σχεδόν η ίδια παντού στον κόσμο, όσο από το κόστος της επένδυσης και/ή λειτουργίας, τη χρήση ή τη διάθεση των υπολειμμάτων ή το διαθέσιμο χώρο που υπάρχει στην περίπτωση παλιών εγκαταστάσεων που απαιτούν αναβάθμιση.

Στις μέρες μας στις εγκαταστάσεις που είναι σε πλήρη λειτουργία συναντάμε κάθε είδους τεχνολογία και κάθε είδους συνδυασμό των βελτιωμένων επιλογών που προσφέρονται. Κάθε ένα σύστημα εγγυάται την εναρμόνιση με τα πιο αυστηρά όρια αερίων εκπομπών που υπάρχουν σήμερα. Η επιλογή της πιο κατάλληλης στρατηγικής καθαρισμού των απαερίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές συνθήκες. Σημαντικούς παράγοντες αποτελούν οι διοικητικές ρυθμίσεις (άδειες για υγρά απόβλητα, διάθεση των στερεών υπολειμμάτων), οι επιλογές και οι αγορές για μια ενδεχόμενη ανάκτηση και τέλος το κόστος της επένδυσης και το λειτουργικό κόστος του συνόλου του συστήματος.

Στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες για την απομάκρυνση :

- της ιπτάμενης τέφρας
- των όξινων αερίων
- συγκεκριμένων ρύπων όπως Hg ή PCDD/Fs και
- των οξειδίων του αζώτου

Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις ακολουθώντας την τάση να απλοποιούνται οι διαδικασίες καθαρισμού, κάποια από τα στάδια μπορούν να συνδυαστούν.

#### Απομάκρυνση σωματιδίων

Από τις τρεις κύριες κατηγορίες αερίων ρύπων τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ίσως εκείνα που ελέγχονται ευκολότερα. Ταξινομούνται είτε ανάλογα με το μέγεθος τους,



είτε ανάλογα με την προέλευση τους. Σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1 μm θεωρούνται ως σκόνη και λόγω του μικρού μεγέθους δεν αποτίθενται στο έδαφος αλλά συμπεριφέρονται ως αέρια. Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 10 μm συνήθως εναποτίθενται στο έδαφος. Τα σωματίδια τέφρας που συναντώνται στα απαέρια ενός λέβητα με διάμετρο 100 μm ή μικρότερη ονομάζονται συνοπτικά ιπτάμενη τέφρα.

Η τεχνολογία για τον έλεγχο των αιωρουμένων σωματιδίων είναι η πρώτη που αναπτύχθηκε. Η απόδοση συλλογής ποικίλει σημαντικά ανάλογα με το σύστημα αλλά συνήθως κυμαίνεται από 50% για απλά μηχανικά συστήματα, μέχρι και περισσότερο από 99% για τους ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές. Οι διαχωριστές αιωρουμένων σωματιδίων μπορεί να βασίζονται στην ξαφνική μείωση της ταχύτητας των αερίων, στην απότομη αλλαγή της διεύθυνσης της ροής, στην πρόσκρουση του αερίου ρεύματος σε μία σειρά από πτερύγια, και στην χρήση κεντρομόλου δύναμης με ανεμιστήρα.

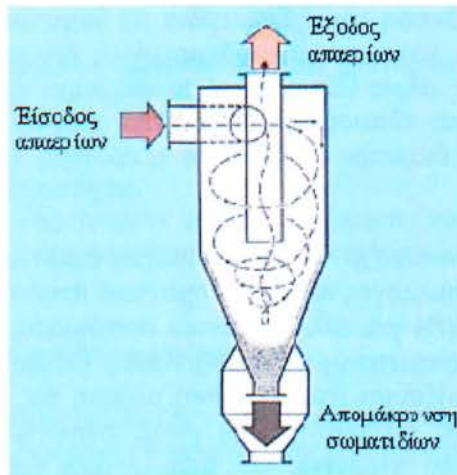
Το πρώτο βήμα στα περισσότερα συστήματα καθαρισμού απαερίων είναι η απομάκρυνση της ιπτάμενης τέφρας. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω

- κυκλώνων
- ηλεκτροστατικών φίλτρων (ESP)
- ή σακκόφίλτρων

#### **i) Κυκλώνες**

Οι κυκλωνικές διατάξεις στηρίζονται στην αύξηση της φαινόμενης διαφοράς πυκνότητας μεταξύ στερεού και αερίου όταν ασκείται φυγόκεντρη δύναμη (πολλαπλασιασμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας g).

Τα απαέρια εισέρχονται εφαπτομενικά με υψηλή ταχύτητα σε έναν κάθετο κυλινδρικό θάλαμο με κωνικό πυθμένα (Σχήμα 4.3). Η κεντρομόλος δύναμη που ενεργεί πάνω στα σωματίδια τα κάνει να συγκρούονται στα τοιχώματα του θαλάμου και να κατακάθονται στον πυθμένα του από όπου και απομακρύνονται. Το αέριο διαφεύγει μέσω ενός κεντρικού σωλήνα. Λόγω της περιορισμένης ικανότητάς τους στην απομάκρυνση λεπτών σωματιδίων οι κυκλώνες δεν συναντώνται πλέον σε σύγχρονες εγκαταστάσεις ή χρησιμοποιούνται για την προεπεξεργασία της ιπτάμενης τέφρας.

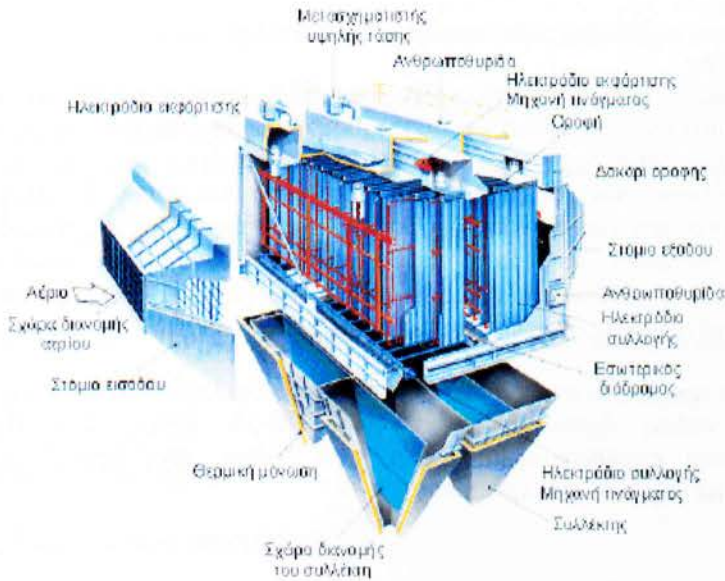


Σχήμα 4.3 Κυκλωνική διάταξη

### ii) Ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές (ESP)

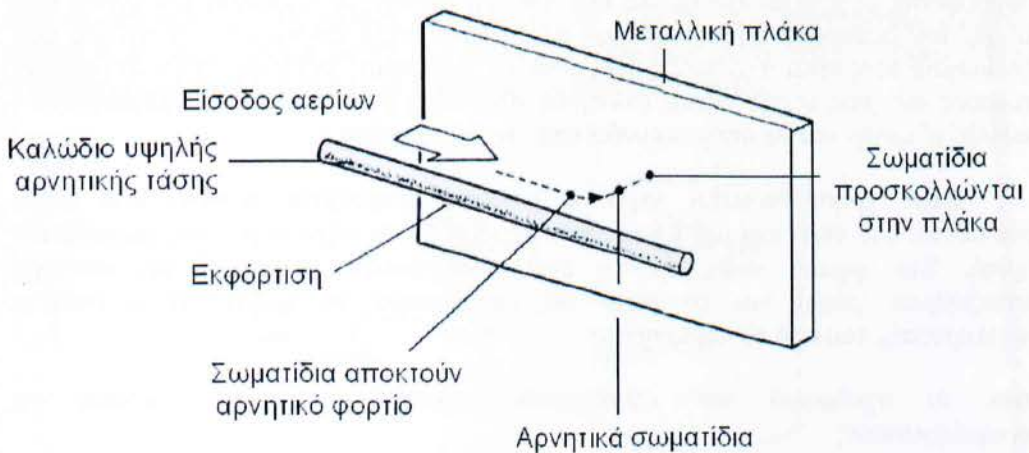
Λόγω του απλού σχεδιασμού τους, της μικρής απώλειας πίεσης και της εύκολης λειτουργίας τους οι ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές (ElectroStatic Precipitator) χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων για το διαχωρισμό της ιπτάμενης τέφρας όσο και σε άλλες διεργασίες ανάφλεξης όπως σε εργοστάσια καύσης λιγνίτη. Ένας σύγχρονος ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής (Σχήμα 4.6) που αποτελείται από τουλάχιστον δύο και συχνά τρεις τομείς εγγυάται ποσοστά απομάκρυνσης της τέφρας >99% στα σωματίδια με μεγέθη μεταξύ 0,01 και >100  $\mu\text{m}$ . Οι ESP με τρεις τομείς μπορούν να επιτύχουν επίπεδα τέφρας στα καθαρά αέρια της τάξης του  $1 \text{ mg/m}^3$ .





Σχήμα 4.4 Ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής

Η βασική αρχή λειτουργίας των ηλεκτροστατικών κατακρημνιστών φαίνεται στο Σχήμα 4.7. Η τάση λειτουργίας στους ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές είναι υψηλή (30.000 μέχρι 60.000V) και τα σωματίδια αποκτούν ένα φορτίο από τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόδια που κρέμονται μέσα στην ροή των απαερίων. Λόγω του φορτίου αυτού δε, έλκονται από τις γειωμένες πλάκες, που περιοδικά, με τίναγμα, καθαρίζονται από την συγκεντρωμένη ύλη.



Σχήμα 4.5 Βασική αρχή λειτουργίας ηλεκτροστατικού κατακρημνιστή.

### iii) Σακκόφιλτρα

Ακόμα μικρότερες εκπομπές από αυτές των ESP, ειδικότερα για τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια, μπορούν να επιτευχθούν με τα σακκόφιλτρα. Σ'αυτά, τα ακατέργαστα απαέρια περνούν από το εξωτερικό τμήμα προς το εσωτερικό, μέσα από υφασμάτινες σάκους που στηρίζονται σε μεταλλικά πλέγματα. Η ιπτάμενη τέφρα μένει στην εξωτερική επιφάνεια του φίλτρου και απομακρύνεται περιοδικά με την βοήθεια αέρα που φυσάει από το εσωτερικό. Αυτός ο καθαρισμός απελευθερώνει τα σωματίδια, τα οποία πέφτουν σε έναν συλλέκτη (Σχήμα 4.8). Τα σακκόφιλτρα εγγυώνται συγκεντρώσεις σκόνης στα καθαρά αέρια  $< 1 \text{ mg/m}^3$ .

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην περίπτωση των σακκόφιλτρων είναι το υψηλό κόστος συντήρησης, καθώς έχουν διάρκεια ζωής 18-36 μήνες. Για σακκόφιλτρα χρησιμοποιούνται συνήθως είτε σάκκοι από Teflon, είτε υφαντά φίλτρα από υαλοβάμβακα με διάφορα επιστρώματα.

### Χημικός καθαρισμός απαερίων

Το βήμα που ακολουθεί την πρωτογενή καθίζηση της ιπτάμενης τέφρας στα συστήματα ελέγχου της αέριας ρύπανσης είναι συνήθως, ο χημικός καθαρισμός των απαερίων που μπορεί να λάβει χώρα με δύο κύριες μεθόδους:

- τις υγρές πλυντρίδες και
- τις στεγνές πλυντρίδες.

Η αρχή της μεθόδου των υγρών πλυντρίδων βασίζεται στην απορρόφηση των αερίων συστατικών από ένα υγρό. Η αποτελεσματικότητα μιας τέτοιας διαδικασίας απορρόφησης εξαρτάται πρώτα από όλα από την διαθέσιμη επιφάνεια του υγρού που ελέγχει την μεταφορά μάζας από την αέρια στην υγρή φάση. Έτσι ο στόχος του σχεδιασμού τους είναι η επίτευξη μιας μεγάλης επιφάνειας επαφής μεταξύ του αερίου ρεύματος και μιας υγρής φάσης (συνήθως υδατικής) ώστε ο ρύπος να μεταφερθεί - διαλυθεί σ' αυτήν και να απομακρυνθεί από την αέρια φάση.

Όταν χρησιμοποιείται νερό η ρόφηση ονομάζεται φυσική ενώ όταν προστίθεται στο νερό και μια ένωση που αντιδρά με το ρύπο η ρόφηση ονομάζεται χημική. Στο χημικό καθαρισμό η διαλυμένη ένωση λειτουργεί ως συνεχής «καταβόθρα» (sink) για το ρύπο με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός απομάκρυνσής του από το αέριο ρεύμα.

Κατά το σχεδιασμό των συστημάτων χημικού καθαρισμού πρέπει να συνυπολογιστούν:

- Η αύξηση της απόδοσης σε απομάκρυνση (ή εναλλακτικά η επίτευξη της ίδιας απομάκρυνσης σε διάταξη μικρότερου όγκου).
- Η αύξηση του κόστους λόγω κατανάλωσης χημικών.
- Η ενδεχόμενη απαίτηση ανακύκλωσης του χημικού, προβλήματα αποθέσεων κλπ.



Η επιλογή διαλύτη (υγρής φάσης) γίνεται βασιζόμενη στις παρακάτω παραμέτρους:

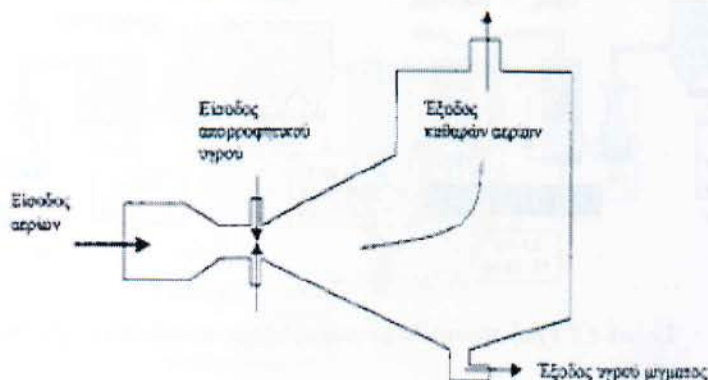
- Διαλυτότητα των απαερίων. Γενικώς, επιδιώκεται ανάλογη χημική φύση με το προς απομάκρυνση αέριο.
- Πτητικότητα του υγρού. Όσο πιο χαμηλή γίνεται για να μην υπάρχουν απώλειες, αφού το αέριο ρεύμα μετά την επαφή θα βγαίνει κορεσμένο.
- Διαβρωτικότητα.
- Ιξώδες. Επιδιώκεται χαμηλό ιξώδες για μικρή πτώση πίεσης, καλή ροή και καλούς συντελεστές μεταφοράς.
- Χημική σταθερότητα.
- Χαμηλό σημείο πήξης.

Οι διάφορες διατάξεις που εφαρμόζονται είναι:

- καθαριστές με διάταξη venturi,
- πύργοι με πληρωτικό υλικό,
- πύργοι με δίσκους,
- πύργοι ψεκασμού.

#### ι) Διάταξη Venturi

Στη διάταξη venturi (Σχήμα 4.9) έχουμε ομοροχή υγρού και αερίου ρεύματος. Στο στόμιο εισόδου του υγρού, λόγω της στένωσης αυξάνεται η ταχύτητα του αερίου (και των στερεών, αν περιέχει) - προβλεπόμενη από το ισοζύγιο ενέργειας (σχέση Bernoulli) - και δημιουργούνται τύρβες οι οποίες ενισχύουν την αποτελεσματικότητα της απορρόφησης. Ταυτόχρονα ελαττώνεται το μέγεθος των σταγονιδίων κάτι που επιδρά αυξητικά στην απόδοση. Στη συνέχεια, λόγω ελάττωσης της ταχύτητας γίνεται ο διαχωρισμός αερίου και υγρού μίγματος και απομακρύνονται.



Σχήμα 4.6 Διάταξη Venturi

### ii) Πύργοι πληρωτικού υλικού

Είναι γεμάτοι με αδρανές πληρωτικό υλικό που προσφέρει μεγάλη ειδική επιφάνεια (ανά μονάδα όγκου πύργου) και μικρή αντίσταση στη ροή (πτώση πίεσης). Το υγρό ρέει σε λεπτό στρώμα (αντιροή). Η διάταξη δεν μπορεί να λειτουργήσει όταν στα απαέρια περιέχονται και αιωρούμενα σωματίδια (φράξιμο των διακένων).

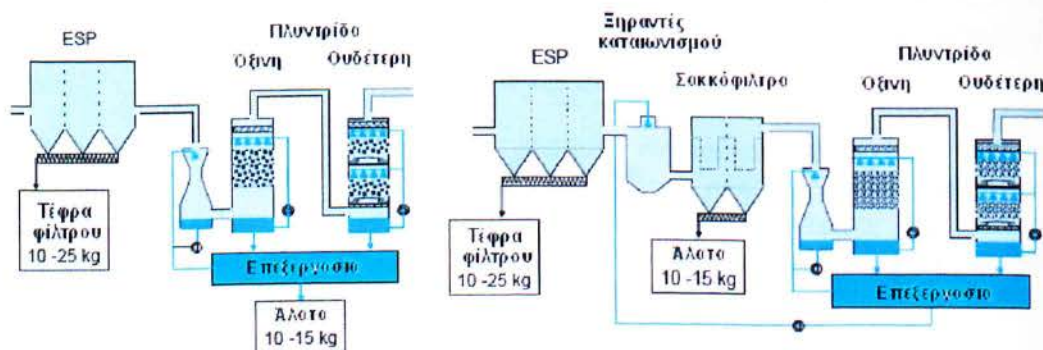
### iii) Πύργοι με δίσκους

Περιέχουν οριζόντιους δίσκους οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι ώστε να προσφέρουν αυξημένη διεπιφάνεια αερίου - υγρού. Το υγρό ρέει από την κορυφή του πύργου δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα πάνω στους δίσκους. Οι δίσκοι είναι διάτρητοι και το αέριο ρεύμα διέρχεται μέσα από τις οπές. Η διάταξη δεν μπορεί να λειτουργήσει στην περίπτωση ύπαρξης σωματιδίων.

### iv) Πύργοι ψεκασμού

Επεξεργάζονται μεγάλες παροχές αερίων με μικρή πτώση πίεσης και έχουν υψηλές αποδόσεις για χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων. Χρησιμοποιούνται και για την απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων. Γενικώς, έχουν χαμηλότερη απόδοση από τα άλλα συστήματα, αλλά έχουν χαμηλότερο κόστος (πάγιο και λειτουργικό) [Γρηγοροπούλου Ε., 2005].

Η χρήση πλυντριδών είναι μια κοινή στρατηγική στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων στην κεντρική Ευρώπη. Σήμερα, στις περισσότερες περιπτώσεις συναντάται ως μια εγκατάσταση δύο σταδίων ξεκινώντας με έναν όξινο καθαριστή που ακολουθείται από ένα ουδέτερο ή ελαφρώς αλκαλικό καθαριστή. Ο όξινος καθαριστής είναι τύπου venturi ή ψεκασμού και μειώνει την θερμοκρασία των απαερίων από 180-200 °C στους 63-65 °C. Κατά το δεύτερο στάδιο χρησιμοποιούνται κυρίως πύργοι με πληρωτικό υλικό. Οι υγρές πλυντρίδες λειτουργούν με ή χωρίς (που είναι και το σύστημα που προτιμάται στις μέρες μας) την αποδέσμευση υγρών εκροών (Σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.7 Υγρή πλυντρίδα με εκροή υγρών αποβλήτων (αριστερά) και χωρίς (δεξιά)

Τα συστήματα δύο σταδίων έχουν πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης για τα αλογόνα HF, HCl και HBr, για τον υδράργυρο και για το SO<sub>2</sub> και έτσι οι

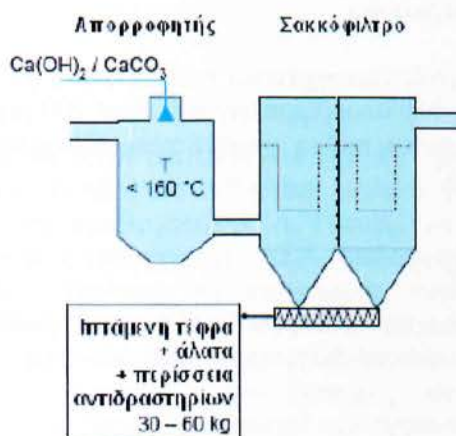


συγκεντρώσεις αυτών των συστατικών στα απαερία μειώνονται εύκολα πολύ κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών.

Οι υγρές πλυντρίδες αρχικά λειτουργούσαν με την απελευθέρωση υγρών εκροών, κάτι το οποίο απαιτούσε την αδρανοποίηση και την αποτελεσματική απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων ή άλλων τοξικών ρύπων. Τα επιτρεπόμενα όρια για την εκροή των υγρών σε ένα σύστημα αποχέτευσης είναι πολύ αυστηρά και για την επίτευξή τους απαιτείται μεγάλη προσπάθεια κυρίως για τον Hg και το Cd.

Οι αρχές συχνά απαγορεύουν την αποδέσμευση των υγρών αποβλήτων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις οι διαλύτες καθαρισμού πρέπει να εξατμιστούν, κάτι το οποίο γίνεται με τη βοήθεια ψεκαστών ξήρανσης που βρίσκονται αμέσως μετά τον βραστήρα (Σχήμα 4.10 δεξιά). Τα στερεά υπολείμματα απομακρύνονται από τη ροή του αερίου με τη βοήθεια ενός σακκόφιλτρου. Μια άλλη μέθοδος για την εξάτμιση των διαλυτών καθαρισμού είναι με την ξήρανση τους σε εξωτερικές συσκευές θερμαινόμενες με ατμό. Οι διεργασίες των στεγνών και ημι-στεγνών πλυντρίδων είναι απλές και κατά συνέπεια φτηνές σε ό,τι αφορά το κόστος αγοράς τους και χρησιμοποιούνται σε πολλές εγκαταστάσεις σε όλο τον κόσμο. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο απορροφητής εισάγεται είτε απευθείας στο αγωγό των απαερίων είτε στον ψεκαστή ξήρανσης κατάντι του βραστήρα σε ξηρή μορφή (ξηρή διεργασία) ή σαν λάσπη ( ημι-ξηρή διεργασία). Τα υπολείμματα καθαρισμού στις περισσότερες περιπτώσεις αφαιρούνται από τα απαερία μέσω σακκόφιλτρων. Σε κάποιες εγκαταστάσεις, λαμβάνει χώρα και ο διαχωρισμός της ιπτάμενης τέφρας πριν τη διάταξη του ψεκαστή ξήρανσης. Για αυτό το σκοπό στις περισσότερες περιπτώσεις τοποθετούνται κυκλώνες.

Η στεγνή πλυντρίδα μπορεί να εφαρμοστεί με τη βοήθεια διάφορων αντιδραστηρίων όπως ασβεστόλιθου,  $\text{CaCO}_3$ , οξειδίου του ασβεστίου,  $\text{CaO}$ , ασβέστη, και  $\text{Ca(OH)}_2$ . Στις μέρες μας δεν χρησιμοποιούνται πλέον διεργασίες που χρησιμοποιούν  $\text{CaCO}_3$  και  $\text{CaO}$  καθώς δεν εγγυώνται την εναρμόνιση τους με τα συνηθισμένα όρια εκπομπών. Μια τυπική διάταξη στεγνής πλυντρίδας φαίνεται στο Σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.8 Διάταξη στεγνής πλυντρίδας.

### Αποτίμηση πλυντρίδων απαερίων

#### Πλεονεκτήματα:

- Σχετικά μικρή πτώση πίεσης (σε σύγκριση με πύργους ρόφησης σε στερεά).
- Κατασκευή από πλαστικό, συνεπώς αντοχή στη διάβρωση.
- Ικανότητα επίτευξης μεγάλων ρυθμών μεταφοράς.
- Ευελιξία σε μεταβολή μεγέθους (προσθήκη τμημάτων).
- Χαμηλό πάγιο κόστος.
- Μικρές απαιτήσεις σε χώρο.
- Ικανότητα συλλογής σωματιδίων ταυτοχρόνως.

#### Μειονεκτήματα:

- Αποθέσεις (σωματιδίων ή αλάτων) δημιουργούν προβλήματα στη λειτουργία.
- Οι κατασκευές από πλαστικό είναι ευαίσθητες σε θερμοκρασιακές αλλαγές.
- Έχουν υψηλό κόστος συντήρησης.

### Μείωση NOx

Για τη βελτίωση των εκπομπών NOx ακολουθούνται δύο στρατηγικές:

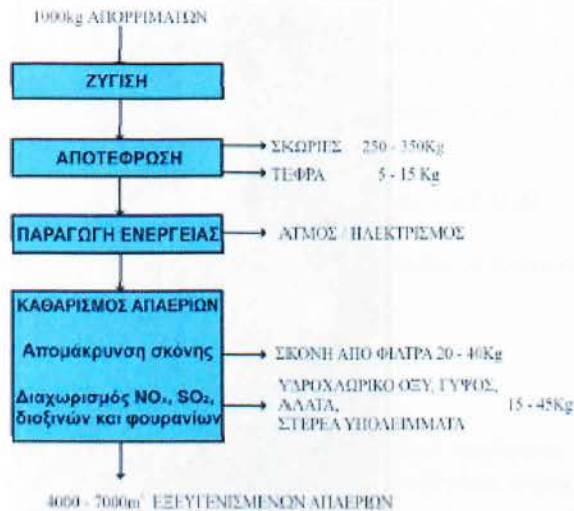
- Η μη καταλυτική απομάκρυνση (NSCR) με την είσοδο αμμωνίας ή κάποιας άλλης ένωσης του αζώτου στην θερμή φλόγα του αερίου σε θερμοκρασία 950 °C ή
- Η επιλεκτική καταλυτική μείωση (SCR) σε θερμοκρασία 250 - 300 °C, στις περισσότερες περιπτώσεις στο τέλος του καθαρισμού των απαερίων αφού το αέριο έχει ξαναθερμανθεί.

Και με τις δύο στρατηγικές επιτυγχάνεται η εναρμόνιση με τα όρια της οδηγίας της Ε.Ε. περί αποτέφρωσης των απορριμμάτων που είναι 200 mg/m<sup>3</sup>. Παρόλα αυτά στην περίπτωση που απαιτούνται ακόμα χαμηλότερες εκπομπές η μέθοδος SCR έχει καλύτερα αποτελέσματα.

#### 4.2.2 Διάγραμμα ροής

Βάσει των παραπάνω, η διεργασία της αποτέφρωσης των ΑΣΑ μπορεί να περιγραφεί σχηματικά από το διάγραμμα ροής του ακόλουθου σχήματος (Σχήμα 4.12).





Σχήμα 4.9 Διάγραμμα ροής μιας τυπικής σύγχρονης εγκατάστασης αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι για τον συνολικό έλεγχο της διαδικασίας της αποτέφρωσης, αλλά και των παραγόμενων αέριων ρύπων, κρίνεται αναγκαία η συχνή δειγματοληψία και η ανάλυση της σύστασης των:

- εισερχόμενων στερεών απορριμμάτων,
- παραγόμενων στερεών (υπολείμματα - ιπτάμενη τέφρα),
- παραγόμενων απαερίων,
- υγρών αποβλήτων, που παράγονται κατά την επεξεργασία των απαερίων.

### 4.3 Πυρόλυση

Η πυρόλυση (Εικόνα 4.10) αποτελεί μια σχετικά νέα θερμική διεργασία, η οποία αν και αναπτύχθηκε στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, μόλις τα τελευταία 20 - 30 χρόνια άρχισε να εφαρμόζεται στην επεξεργασία ΑΣΑ. Γενικά, δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ, τουλάχιστον στην Ευρώπη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητάς της. Παρόλα αυτά, μη Ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Ιαπωνία, διαθέτουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης στερεών απορριμμάτων, οι οποίες λειτουργούν αποδοτικά εδώ και πολλά χρόνια, γεγονός το οποίο πιθανότατα οφείλεται στις διαφορές των χαρακτηριστικών των απορριμμάτων τους (π.χ. ως προς το ποσοστό του οργανικού κλάσματος και τη θερμογόνο δύναμή τους), σε σχέση με εκείνα των Ευρωπαϊκών χωρών.



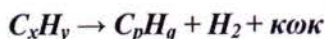
Σχήμα 4.10 Εγκατάσταση πυρόλυσης

Η πυρόλυση εκπροσωπεί την θερμική αποσύνθεση των οργανικών συστατικών των απορριμμάτων, που λαμβάνει χώρα απουσία οξυγόνου (ή ελάχιστων ποσοτήτων οξυγόνου) και άλλων παραγόντων πρόκλησης αεριοποίησης, όπως CO<sub>2</sub>, ατμός κα. Τα απορρίμματα βρίσκονται μέσα σε ατσάλινους αγωγούς και δεν έρχονται σε άμεση επαφή με φλόγα, καθιστώντας εφικτή την παραγωγή αερίων, χωρίς την άμεση καύση αυτών. Οι αρχικές αντιδράσεις της όλης διαδικασίας είναι ενδόθερμες, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι για την πραγματοποίησή τους απαιτείται η παροχή ενέργειας, είτε εξωτερικά, είτε εσωτερικά από την ελεγχόμενη καύση των προς επεξεργασία απορριμμάτων.

Οι αρχικές αντιδράσεις της πυρόλυσης περιλαμβάνουν κυρίως διασπάσεις, κατά τις οποίες χαμηλής πτητικότητας οργανικά συστατικά μετατρέπονται σε άλλα περισσότερο πτητικά συστατικά:



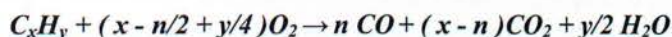
Επίσης, στις αρχικές αντιδράσεις πυρόλυσης περιλαμβάνονται συμπυκνώσεις, αφυδρογονώσεις και αντιδράσεις σχηματισμού δακτυλίων, οι οποίες προκαλούν τη μετατροπή των χαμηλής πτητικότητας οργανικών ενώσεων σε ένα στερεό ανθρακούχο υπόλειμμα (char - κωκ):



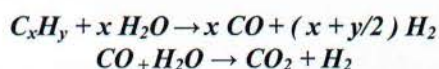
Τα πτητικά συστατικά που δημιουργούνται κατά τη διεξαγωγή των παραπάνω αντιδράσεων συμμετέχουν σε δευτερεύουσες αντιδράσεις και μπορούν να μετατραπούν σε ελαφρύτερα προϊόντα, αέρια ή κάρβουνο.



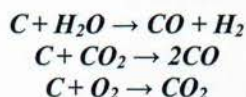
Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης λαμβάνουν χώρα και άλλες αντιδράσεις των οργανικών ρύπων. Στην περίπτωση που υπάρχει οξυγόνο, πραγματοποιείται σχηματισμός μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση (οξειδωτική πυρόλυση):



Επίσης, τα υπάρχοντα οργανικά συστατικά είναι δυνατόν να αλληλεπιδράσουν με το νερό, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:

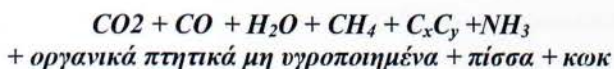


Τέλος, το ανθρακούχο στερεό υπόλειμμα (κωκ) που παράγεται κατά την πυρόλυση μπορεί να εξαερωθεί σε διοξείδιο του άνθρακα ή οξυγόνο, σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:



Οι παραπάνω αντιδράσεις πραγματοποιούνται από όλων των ειδών τους οργανικούς ρύπους, που δύναται να περιέχονται στα προς επεξεργασία απορρίμματα. Ανάλογα με τη σύστασή τους, παράγονται και διαφορετικά προϊόντα, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν οξείδια του αζώτου, υδρόθειο, υδροχλώριο, υδροκυάνιο και άλλες επικίνδυνες ενώσεις που χρήζουν ειδικής επεξεργασίας πριν απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.

Τυπικά, η πυρόλυση των οξυγονωμένων υδρογονανθράκων σε στερεά μορφή λαμβάνει χώρα σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



Στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την πυρόλυση των ΑΣΑ, οι οποίες κυμαίνονται από 100 έως 900°C, έχουμε την απομάκρυνση των πτητικών ενώσεων και τη διάσπαση πολύπλοκων υδρογονανθράκων σε απλούστερες ενώσεις. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται και ανθρακοποίηση χαμηλής θερμότητας ή καταστρεπτική δύλιση. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι επιμέρους αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την πυρολυτική αποδόμηση οργανικών ενώσεων.

Θερμοκρασία (°C)	Χημική αντίδραση
100 έως 120	Θερμική ξήρανση, αφυδάτωση
250	Αναγωγή, αποθείωση, μοριακή διάσπαση H <sub>2</sub> O και CO <sub>2</sub> , διάσπαση πολυμερισμένων μορίων, έναρξη διαχωρισμού H <sub>2</sub> S
340	Διάσπαση δεσμών αλειφατικών ενώσεων, έναρξη διάσπασης μεθανίου και άλλων αλειφατικών ενώσεων
380	Φάση ανθρακοποίησης, συγκέντρωση άνθρακα στα υπολείμματα
400	Διάσπαση δεσμών άνθρακα-οξυγόνου και άνθρακα-αζώτου
400 μέχρι 600	Αποσύνθεση ασφαλτούχων υλικών προς σχηματισμό χαμηλής θερμοκρασίας ελαιώδους φάσης και πίσσας
600	Διάσπαση ασφαλτούχων υλικών προς θερμοανθεκτικά υλικά (αέρια, μικρής αλυσίδας υδρογονάνθρακες), σχηματισμός αρωματικών ενώσεων (προϊόντων βενζολίου)
>600	Διμερισμός ολεφινών (αιθυλενίου) σε βουτυλένιο, αφυδρογόνωση προς σχηματισμό βουταδιένιου, αντίδραση αιθυλενίου προς σχηματισμό κυκλοεξανίου, θερμική αρωματοποίηση προς σχηματισμό βενζολίου και αρωματικών ενώσεων υψηλής πτητικότητας.



Με την πυρόλυση των στερεών απορριμμάτων σχηματίζονται τα εξής προϊόντα:

- αέρια: κυρίως υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, κα., ανάλογα με τη σύσταση των απορριμμάτων,
- υγρά: ελαιώδες κλάσμα με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες, που περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη), καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες,
- στερεά: σχεδόν καθαρός άνθρακας (κωκ) και αδρανή υλικά (γυαλί, μέταλλα, κα.), που υπάρχουν στα απορρίμματα.

Θερμοκρασία	Απορρίμματα	Αέρια	Οξέα και Πίτσες	Υπόλειμμα	Τελική μάζα
[°C]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
480	100	12.33	61.08	24.71	98.12
650	100	18.64	59.18	21.80	99.62
800	100	23.69	59.67	17.24	100.59
900	100	24.36	58.70	17.67	100.73

Πίνακας 4.3 Ισοζύγιο υλικών πυρόλυσης

Με περαιτέρω επεξεργασία τα υγρά προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνθετικό καύσιμο, καθώς το ενεργειακό περιεχόμενο τους εκτιμάται γύρω στα 1,6 MJ/kg. Το ενεργειακό περιεχόμενο των παραγόμενων απαερίων, ανάλογα με το υλικό εισόδου, κυμαίνεται μεταξύ 12.500 και 46.000kJ/Nm<sup>3</sup>. Επιπλέον, τα παραγόμενα στερεά μπορούν να επεξεργαστούν περαιτέρω για την ανάκτηση υλικών.

Αν η πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε χαμηλές θερμοκρασίες (~500°C), τότε στα απαέρια υπάρχουν και αρωματικές ενώσεις και φαινόλες. Για το λόγο αυτό, τις περισσότερες φορές η πυρόλυση συνδυάζεται με τη διεργασία της αποτέφρωσης των παραγόμενων απαερίων σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η αναλογία των προαναφερόμενων προϊόντων εξαρτάται σημαντικά από τις κάτωθι παραμέτρους:

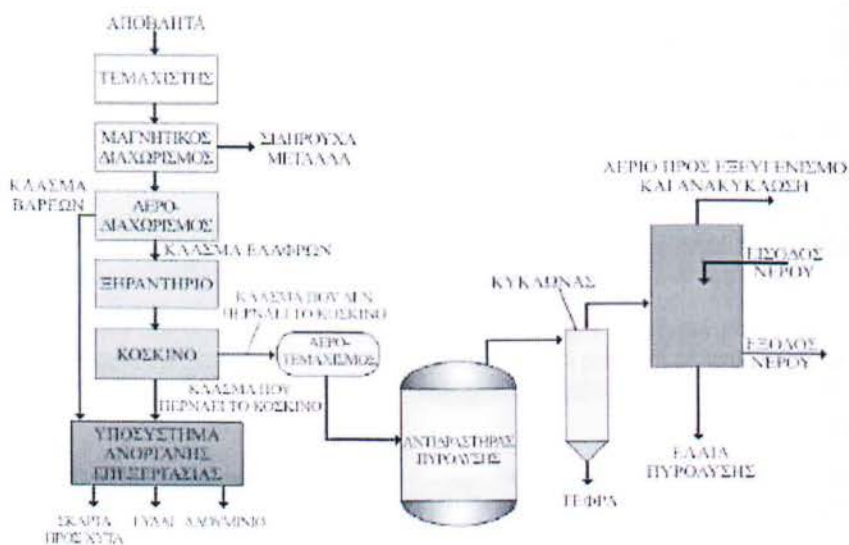
- τη σύσταση του αποβλήτου,
- τις συνθήκες θέρμανσης,
- τη θερμοκρασία πυρόλυσης,
- τον χρόνο αντίδρασης.

Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει αισθητά το στερεό υπόλειμμα, ελαττώνει το υγρό κλάσμα και αυξάνει τα αέρια προϊόντα.

Αέρια % κατά όγκο	500°C	650°C	800°C	900°C
H	5.56	16.58	28.55	32.48
CH <sub>4</sub>	12.43	15.91	13.73	10.45
CO	33.50	30.49	34.12	35.25
CO <sub>2</sub>	44.77	31.78	20.59	18.31
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.45	2.18	2.24	2.43
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.03	3.06	0.77	1.07
Σύνολο	99.74	100.0	100.00	99.99

Πίνακας 4.4 Σύνθεση αερίων πυρόλυσης σε σχέση με τη θερμοκρασία

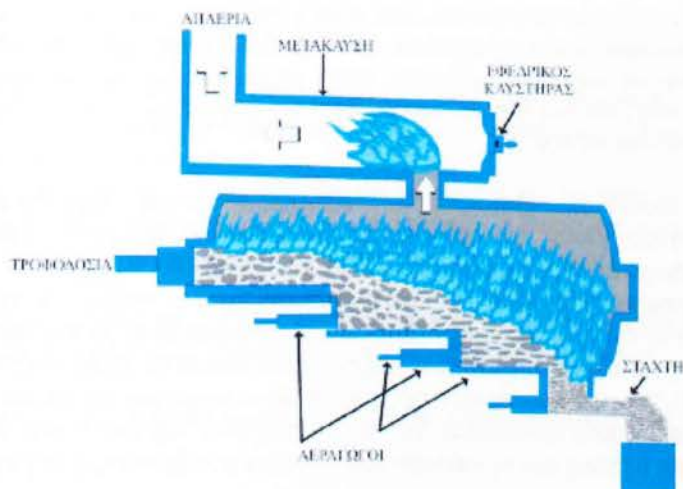
Για την εφαρμογή της διεργασίας της πυρόλυσης απαιτείται προεπεξεργασία (Σχήμα 4.11) των απορριμμάτων (απομάκρυνση μετάλλων, γυαλιού, κα.), έτσι ώστε στο θάλαμο πυρόλυσης να οδηγείται μόνο το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων.



Σχήμα 4.11 Διάγραμμα ροής της διεργασίας της πυρόλυσης

Η πυρόλυση συνήθως λαμβάνει χώρα σε κοινούς αποτεφρωτές, όπου απλά αναπτύσσονται χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την αποτέφρωση, διαθέτοντας όμως τις ίδιες δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας και παράλληλα παραγωγής «καυσίμων» (αερίων και υγρών). Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.12) παρουσιάζεται ένας τυπικός πυρολυτικός αντιδραστήρας.





Σχήμα 4.12 Πυρολυτικός αντιδραστήρας με ελεγχόμενη παροχή οξυγόνου

#### 4.4 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση (Εικόνα 4.13) αποτελεί επίσης μια σχετικά νέα και μη ευρέως διαδεδομένη, στην Ευρώπη, μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. Ουσιαστικά, περιλαμβάνει την μετατροπή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα μίγμα καύσιμων αερίων, μέσω μερικής οξείδωσης αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες (400 έως 1500 °C).



Σχήμα 4.13 Εγκατάσταση πυρόλυσης

*Ένα από τα πιο συνηθισμένα λάθη είναι η ταύτιση της πυρόλυσης με την αεριοποίηση των απορριμμάτων. Οι δύο μέθοδοι έχουν ομοιότητες, όπως τη μετατροπή των απορριμμάτων σε αέρια, στερεά και υγρά καύσιμα, αλλά παρουσιάζουν και βασική διαφορά κατά την εφαρμογή τους, η οποία μπορεί να συνοψιστεί ως εξής :*

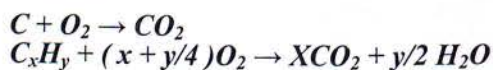
- Η πυρόλυση χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή θερμότητας για να ενεργοποιηθούν οι ενδόθερμες αντιδράσεις θερμικής διάσπασης των απορριμμάτων, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου.
- Η αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί πρόσθετο καύσιμο αέριο, όπως για παράδειγμα ατμό, διοξείδιο του άνθρακα, αέρα ή οξυγόνο, για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα. Η ενέργεια που απαιτείται για την αντίδραση αεριοποίησης παράγεται με καύση μέρους του οργανικού υλικού στον αντιδραστήρα αεριοποίησης.

Στόχος της αεριοποίησης είναι η ατελής καύση των απορριμμάτων και η παραγωγή αερίου αποτελούμενου από CO, H<sub>2</sub> και αέριους υδρογονάνθρακες, το οποίο παρουσιάζει υψηλό θερμικό περιεχόμενο.

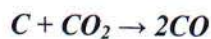
Η αεριοποίηση αποτελεί, θεωρητικά, το επόμενο στάδιο της πυρόλυσης, κατά το οποίο το υπολειμματικό κωκ της πυρόλυσης οξειδώνεται σε θερμοκρασίες >800°C, παρουσία περιορισμένων (μη στοιχειομετρικών) ποσοτήτων οξυγόνου. Η αεριοποίηση, όπως και η πυρόλυση, είναι μια διεργασία, η οποία μπορεί να αποτελέσει είτε τμήμα (σε συνδυασμό με τη διεργασία της αποτέφρωσης), είτε το σύνολο της θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ.

Οι κύριες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι :

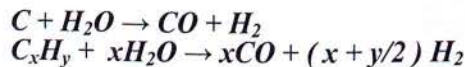
- Οξείδωση (εξώθερμη)



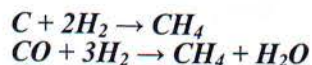
- Αντίδραση Boudouard (ενδόθερμη)



- Αντίδραση εξάτμισης νερού (ενδόθερμη)



- Αντίδραση σχηματισμού μεθανίου (εξώθερμη)





Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

- αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο,
- στερεό υπόλειμμα, που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή, ο συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα, που παρουσιάζει σύσταση παρόμοια με αυτή του υγρού κλάσματος, που παράγεται κατά την πυρόλυση.

Η ταχύτητα και η πορεία της αντίδρασης αεριοποίησης, καθώς επίσης και η σύσταση των παραγόμενων προϊόντων, εξαρτώνται από τις εξής παραμέτρους:

- το μέγεθος, τη διάμετρο των πόρων και την εσωτερική δομή της καύσιμης ύλης,
- την περιεχόμενη υγρασία, ο την επιφάνεια επαφής στερεών-αερίων,
- την αναπτυσσόμενη πίεση και θερμοκρασία,
- τον χρόνο παραμονής των ΑΣΑ εντός του θαλάμου πυρόλυσης

Τα παραγόμενα απαέρια εξαρτώνται από το είδος του μέσου αεριοποίησης. Στην περίπτωση που υπάρχει τροφοδοσία με αέρα, λόγω της παρουσίας του ατμοσφαιρικού αζώτου, η θερμογόνο δύναμη του αέριου προϊόντος είναι χαμηλή και κυμαίνεται γύρω στα  $0,35 \text{ MJ/m}^3$ . Η δε τυπική σύστασή του είναι η εξής: 10%  $\text{CO}_2$ , 20%  $\text{CO}$ , 15%  $\text{H}_2$ , 2%  $\text{CH}_4$ , 53%  $\text{N}_2$ .

Στην περίπτωση που η τροφοδοσία αποτελείται από καθαρό οξυγόνο, το ενεργειακό περιεχόμενο του αέριου προϊόντος αυξάνεται στα  $0,7 \text{ MJ/m}^3$ . Η δε τυπική σύσταση του είναι η ακόλουθη: 14%  $\text{CO}_2$ , 50%  $\text{CO}$ , 30%  $\text{H}_2$ , 4%  $\text{CH}_4$ , 1%  $\text{C}_x\text{H}_y$ , 1%  $\text{N}_2$ .

Το παραγόμενο αέριο μπορεί να αξιοποιηθεί κατά διάφορους τρόπους, όπως για:

- καύση για παραγωγή ατμού,
- τροφοδοσία μηχανής εσωτερικής καύσης, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κίνηση αεριοστροβίλου και ατμοπαραγωγή σε συνδυασμένο κύκλο,
- τροφοδοσία του δικτύου αερίου πόλης,
- τροφοδοσία σε βιομηχανία, όπως τσιμεντοβιομηχανία, για απ' ευθείας καύση σε εστία.

Το στερεό υπόλειμμα παρουσιάζει προσροφητικές ιδιότητες παρόμοιες με αυτές του ενεργού άνθρακα του εμπορίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων ή νερού, που προορίζεται για διάφορες χρήσεις.





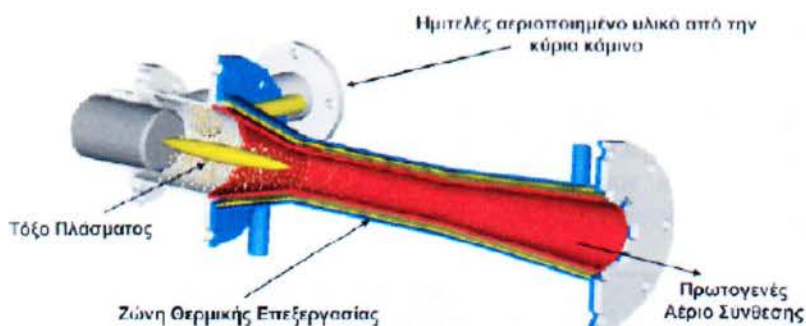
## 4.5 Τεχνική πλάσματος

Η τεχνική του πλάσματος (Εικόνα 4.15) είναι μια καινούρια μέθοδος για την επεξεργασία των αποβλήτων σε υψηλές θερμοκρασίες, με την οποία τα απόβλητα μετατρέπονται μέσω του ηλεκτρισμού σε εύφλεκτο αέριο και σε ένα αδρανές υπόλειμμα.



Σχήμα 4.15 Εγκατάσταση πλάσματος

Ο όρος πλάσμα (plasma) περιγράφει κάθε αέριο του οποίου τουλάχιστον ένα ποσοστό των ατόμων ή μορίων του είναι μερικά ή ολικά ιονισμένο. Ο ιονισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Στην περίπτωση της επεξεργασίας αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος, το αέριο μεταπίπτει στην κατάσταση του πλάσματος συνήθως με τη βοήθεια της θερμότητας που δημιουργείται από ηλεκτρική αντίσταση τόξου στήλης πλάσματος (Σχήμα 4.16). Το τόξο αυτό βρίσκεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων (άνοδος και κάθοδος) και αποτελείται από ένα ηλεκτρικά αγωγίμο αέριο, μετατρέποντας έτσι τον ηλεκτρισμό σε θερμότητα. Διάφορα αέρια όπως το αργό, το ήλιο, το μεθάνιο και ο ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές θερμικής επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του αερίου μπορεί να υπερβεί τους 6.000°C.



Σχήμα 4.16 Αεριοποιητής πλάσματος

Το αέριο σε κατάσταση πλάσματος, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη χημική δραστηριότητα συγκριτικά με τα περισσότερα αέρια σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε μια ποικιλία χημικών διαδικασιών. Τα πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας αυτής προκύπτουν κατά κύριο λόγο από την υψηλή κινητική ενέργεια που χαρακτηρίζει τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια του πλάσματος, αλλά και τα άτομα του ουδέτερου αερίου. Η μερική μεταφορά αυτής της ενέργειας στις χημικές ενώσεις κάνει δυνατές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν από τις εξώθερμες αντιδράσεις των συμβατικών διαδικασιών καύσης.

Εφαρμόζοντας την τεχνική του πλάσματος, λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση / υαλοποίηση του περιεχομένου των εισερχομένων στερεών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, υπό την επίδραση των πολύ υψηλών θερμοκρασιών, το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων αεριοποιείται και σχηματίζει το αέριο σύνθεσης (μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου) και απαέρια. Ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου να λάβει χώρα η καταστροφή των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας και το χρόνο παραμονής των οργανικών ενώσεων στην ιονισμένη ατμόσφαιρα ή σε υψηλή θερμοκρασία. Παράλληλα, το ανόργανο μέρος των αποβλήτων μετατρέπεται σε τηγμένο υπόλειμμα, το οποίο μετά από ψύξη σχηματίζει ένα σταθερό, αδρανές, υψηλής πυκνότητας υαλώδες υλικό.

Τα τελικά προϊόντα από την εφαρμογή της τεχνολογίας του πλάσματος είναι:

- **Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης**, το οποίο προκύπτει από την πλήρη αεριοποίηση όλων των πτητικών συστατικών (οργανικό μέρος των αποβλήτων) του εισερχόμενου ρεύματος. Η σύσταση του αερίου καθώς και το ενεργειακό του περιεχόμενο, εξαρτώνται άμεσα από το είδος και το οργανικό περιεχόμενο του εισερχόμενου προς επεξεργασία ρεύματος αποβλήτων. Το παραπάνω μίγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποδοτικό καύσιμο στη μονάδα πλάσματος μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το λειτουργικό κόστος ή εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εμπορεύσιμο προϊόν.
- **Το υαλώδους μορφής αδρανές υλικό**, το οποίο δημιουργείται από την υαλοποίηση του ανόργανου μέρους των επεξεργαζόμενων αποβλήτων. Το υπόλειμμα αυτό είναι ομογενές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατασκευαστικό υλικό σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. κατασκευή δρόμων,



κατασκευή τούβλων και πλακιδίων πολύ υψηλής ποιότητας, κατασκευή υλικών πεζοδρόμησης, κ.λ.π.).

- **Τα απαέρια**, τα οποία ύστερα από κατάλληλα επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα. Αναφορικά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των εκπομπών από μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του πλάσματος, ισχύουν τα ίδια όρια με τις υπόλοιπες μονάδες θερμικής επεξεργασίας.
- **Τα υγρά απόβλητα**, τα οποία προκύπτουν από τη διαδικασία καθαρισμού των απαερίων. Ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων αυτών, είναι δυνατόν να απαιτείται εγκατάσταση επεξεργασίας τους έτσι ώστε να είναι ασφαλής η τελική τους διάθεση.

Σε κάθε περίπτωση όμως, αναφορικά με τις επιτρεπτές τιμές στις παραγόμενες εκπομπές, αυτές ταυτίζονται με το σύνολο των τεχνικών θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων.

Η τεχνολογία αυτή είναι κατάλληλη για την επεξεργασία μιας μεγάλης ποικιλίας αποβλήτων που έχουν υψηλό ποσοστό ανόργανων συστατικών και χαμηλή θερμική αξία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό της απαιτούμενης θερμότητας δίνεται από το πλάσμα και όχι από την οξείδωση των αποβλήτων.

Σε διεθνές επίπεδο, η χρήση της τεχνολογίας αυτής βρίσκεται σε πιλοτικό - επιδεικτικό στάδιο κυρίως επειδή :

- Η εφαρμογή της μεθόδου και το κόστος λειτουργίας μιας μονάδας πλάσματος είναι πολύ υψηλό
- Το τόξο του πλάσματος επιτρέπει το λιώσιμο μικρών μόνο ποσοτήτων αποβλήτων, κάτι που καθιστά μεγάλες ποσότητες αποβλήτων ακατάλληλες για επεξεργασία με αυτή τη μέθοδο.
- Δεν υπάρχει η κατάλληλη εμπειρία σε μεγάλη χρονική κλίμακα.

Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η τεχνολογία αυτή δεν είναι η κατάλληλη τεχνολογική επιλογή για την επεξεργασία των «καθημερινών» αποβλήτων και μπορεί να εφαρμοστεί κυρίως σε επικίνδυνα και ραδιενεργά απόβλητα.

Εν τούτοις, η τεχνική αυτή μπορεί να εξελιχθεί και να επεκταθεί σε ευρεία κλίμακα, ειδικά εάν ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Οι μονάδες πλάσματος χαρακτηρίζονται από συγκριτικά μικρότερες απαιτήσεις χώρου, σε σχέση με τις άλλες θερμικές μεθόδους επεξεργασίας.
- Η άνοδος της θερμοκρασίας σε υψηλά επίπεδα επιτρέπει την επεξεργασία των αποβλήτων σε ένα κύριο στάδιο, περιορίζοντας την πολυπλοκότητα της μεθόδου.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται οδηγούν σε αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα.
- Η μέθοδος παρουσιάζει σημαντική ευελιξία αναφορικά με το είδος των προς επεξεργασία αποβλήτων και επιπλέον, οδηγεί στην παραγωγή λιγότερων απαερίων, μειωμένου ρυπαντικού φορτίου σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους καύσης.

## 4.6 Καινοτόμες θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι καινοτόμες μέθοδοι Θ.Ε. συνδυάζουν την καύση, την πυρόλυση και την αεριοποίηση και οι μονάδες εφαρμογής τους αποτελούνται από τυποποιημένες κατασκευές συμβατικών μονάδων. Οι σπουδαιότεροι λόγοι της γρήγορης εξάπλωσης των νέων μεθόδων είναι τα προκύπτοντα, λόγω εφαρμογής τους, οικολογικά (ελάχιστες εκπομπές αέριων ρύπων και μικρές ποσότητες τηγμένης σκωρίας μέσω διαχωρισμού πλύσης), ενεργειακά (εξοικονόμηση και ενεργειακή ανεξάρτηση) και οικονομικά (φθηνότερη κατασκευή) οφέλη. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των μεθόδων Noell και Thermostelect (βλ. παρακάτω), όχι μόνο οι ποσότητες των ρύπων είναι ελάχιστες αφού η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα με καθαρό οξυγόνο, αλλά επίσης παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με την αξιοποίηση του αερίου σύνθεσης.

### 4.6.1 Θερμόλυση

Κατά τη μέθοδο αυτή παράγεται ανθρακούχο υπόλειμμα με την εμπορική ονομασία «carbor». Είναι παρόμοια με την επεξεργασία διύλισης (cracking) που χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια για την παραγωγή διαφόρων κλασμάτων του αργού πετρελαίου. Η τεχνική αυτή ανταποκρίνεται στις ανάγκες περιοχών με μικρό πληθυσμό και τουριστικών περιοχών με έντονη διακύμανση του πληθυσμού. Από την άποψη αυτή συζητιέται η καταλληλότητά της για περιπτώσεις όπως τα Ελληνικά νησιά. Τα στάδια της μεθόδου είναι:

- (α) Μηχανική επεξεργασία-διαχωρισμός-αποθήκευση.
- (β) Ξήρανση σε εναλλάκτη θερμότητας αντιρροής (διαχωρισμός αέριας φάσης και στερεάς προς αντιδραστήρα).
- (γ) Θερμόλυση της στερεάς φάσης στο θάλαμο (αποικοδόμηση στους 5000<sup>0</sup>C).
- (δ) Επεξεργασία στερεών προϊόντων (αδρανών).
- (ε) Επεξεργασία της ιλύος.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:

- Η ανάκτηση των μετάλλων για επαναχρησιμοποίηση (αν δεν έχουν φτάσει στο σημείο τήξης).
- Η μικρή κατανάλωση ύδατος.
- Η παραγωγή εμπορεύσιμου Carbor.
- Το χαμηλό ρυπαντικό φορτίο των παραγόμενων υγρών και αερίων αποβλήτων.
- Τα χαμηλά κόστη κατασκευής και επεξεργασίας.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του CARBOR μοιάζουν με αυτά του λιγνίτη ενώ συγκρινόμενο με συμβατικά βιομηχανικά καύσιμα, παρουσιάζει το σημαντικό

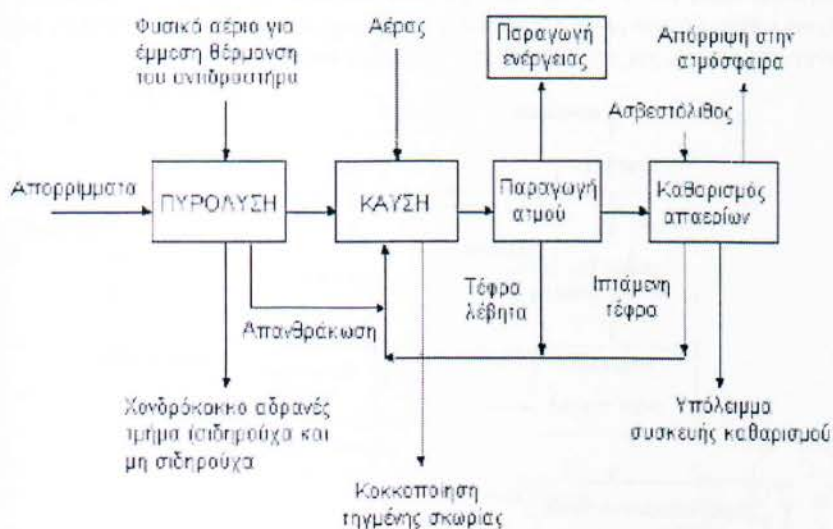


πλεονέκτημα της χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε κλιβάνους (τσιμεντοβιομηχανία, πλινθοποιία), χωρίς ιδιαίτερες επενδύσεις για την αποθήκευσή του.

#### 4.6.2 Μέθοδος Siemens

Η Siemens από τα μέσα της δεκαετίας του '90 ξεκίνησε στην Ευρώπη τη διεργασία της Θερμικής Ανακύκλωσης Αποβλήτων (Thermal Waste Recycling Process). Είναι μια διαδικασία κατάλληλη για την επεξεργασία αστικών απορριμμάτων, αστικών λυμάτων και υλός και αυτή τη στιγμή στην Ιαπωνία υπάρχουν 7 νεόδμητες εγκαταστάσεις σε λειτουργία που επεξεργάζονται από 150 έως 450 τόνους ΑΣΑ την ημέρα.

Η διεργασία αυτή απαιτεί προεπεξεργασία των απορριμμάτων με περιστροφικό κόπτη και αποτελεί ένα συνδυασμό της πυρόλυσης και της αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν οριζόντιο αντιδραστήρα μέσα στον οποίο τα απόβλητα πυρολύονται σε θερμοκρασία 450 °C για περίπου μια ώρα. Στη συνέχεια τα παραχθέντα αέρια της πυρόλυσης καίγονται μαζί με την τέφρα της πυρόλυσης σε ένα θάλαμο αποτέφρωσης που λειτουργεί σε θερμοκρασία 1300 °C. Η παραγόμενη ενέργεια στο θάλαμο ανάφλεξης χρησιμοποιείται για την αύξηση του ρεύματος στους 400 °C για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 4.17)



Σχήμα 4.17 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Siemens.

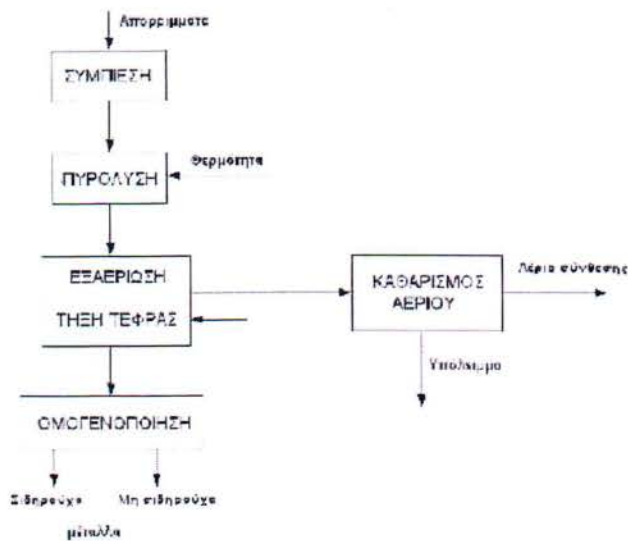
Οι θερμοκρασίες του θαλάμου ανάφλεξης είναι αρκετά υψηλές ώστε να μετατρέψουν την αδρανή τέφρα σε σκωρία η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή οδοστρωμάτων. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι το σύστημα μπορεί να

παράγει περίπου 405 kWh ανά τόνο αποβλήτων, κάτι που αντιστοιχεί σε ποσοστό απόδοσης της τάξης του 17%.

#### 4.6.3 Μέθοδος Thermoselect

Η μέθοδος Thermoselect (Σχήμα 4.18) πρωτοεφαρμόστηκε το 1989 και είναι μια διαδικασία που συνδυάζει ήπια πυρόλυση (στο πρώτο στάδιο) με αεριοποίηση (στο δεύτερο στάδιο) με προσαγωγή οξυγόνου υψηλής θερμοκρασίας.

Ένα από τα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι απαιτείται ελάχιστη ή μηδενική προεπεξεργασία των αποβλήτων. Στη διεργασία αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΑΣΑ χωρίς καμιά διαλογή. Τα απόβλητα τοποθετούνται σε ένα θάλαμο, όπου μέσω υδραυλικής πίεσης συμπιέζονται στο ένα πέμπτο του αρχικού τους όγκου. Στη συνέχεια διέρχονται διαμέσου ενός θερμαινόμενου κυλινδρικού καναλιού θερμοκρασίας 300 °C όπου λαμβάνει χώρα η ξήρανση τους και η πυρόλυση. Στο τέλος του οριζόντιου αυτού σωληνωτού αντιδραστήρα, τα στερεά υλικά εισέρχονται σε έναν υψηλής θερμοκρασίας οξυγόνου αεριοποιητή. Τα αέρια και τα στερεά πυρολυτικά προϊόντα αεριοποιούνται στη συνέχεια σε θερμοκρασία 1200 °C στην κορυφή του αεριοποιητή και υαλοποιούνται σε θερμοκρασίες 2000 °C στο κάτω μέρος του αεριοποιητή. Το μίγμα των αερίων εξέρχεται από τον αντιδραστήρα με θερμοκρασία 1200 °C και ψύχεται απότομα με τη χρήση νερού σε θερμοκρασία κάτω των 70 °C σε λιγότερο από ένα τρίτο του δευτερολέπτου. Τα αέρια στη συνέχεια καθαρίζονται με τη χρήση ενός συνδυασμού φίλτρων και ενεργού άνθρακα και ψύχονται περαιτέρω για την μείωση της υγρασίας τους.



Σχήμα 4.18 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Thermoselect.

Το παραγόμενο μίγμα αερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έρευνες έχουν δείξει ότι το σύστημα μπορεί να έχει απόδοση,

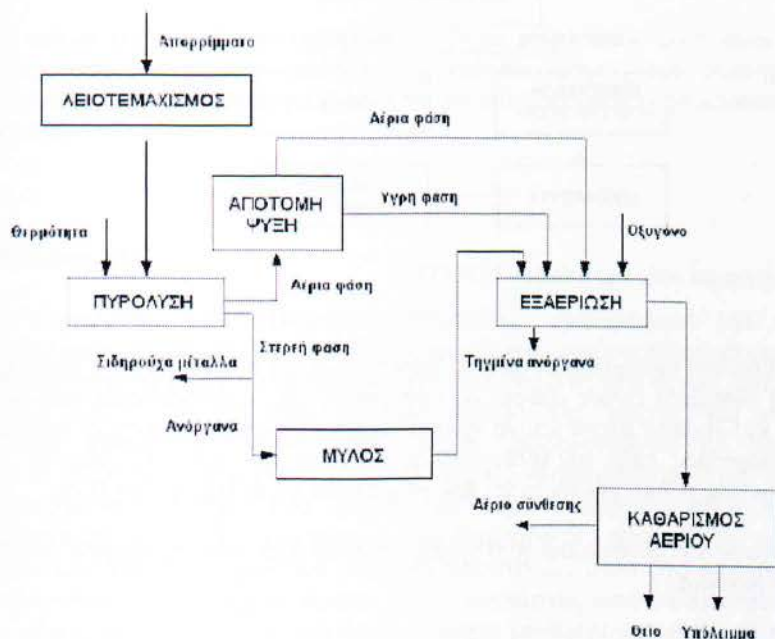


που κυμαίνεται από 11 - 40 % εξαρτώμενη από τον κύκλο παραγωγής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί. Σε ένα από τα εργοστάσια που χρησιμοποιείται στην Ιταλία παράγεται ενέργεια 200-500 kWh ανά τόνο αποβλήτων με κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 12 MJ/kg.

#### 4.6.4 Μέθοδος NOELL

Η μέθοδος NOELL είναι μια θερμική διεργασία δύο βημάτων όπου τα απόβλητα αρχικά πυρολύονται μέσα σε έναν εξωτερικά θερμαινόμενο περιστρεφόμενο κλίβανο σε θερμοκρασία περίπου 550 °C , για περίπου μια ώρα και στη συνέχεια αεριοποιούνται με τη χρήση οξυγόνου σε θερμοκρασίες 1400-2000 °C και πιέσεις 2-50 ατμοσφαιρών (Σχήμα 4.19).

Εκτός από ΑΣΑ η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για βιομηχανικά όσο και για επικίνδυνα απόβλητα. Το παραγόμενο αέριο είναι μέσης θερμικής αξίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα αέρια. Ένα μέρος του αερίου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του περιστρεφόμενου κλιβάνου. Η απόδοση του συστήματος φτάνει το 13% που είναι ένα καλό ποσοστό για μικρού μεγέθους εφαρμογές. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν τρεις εγκαταστάσεις σε Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο που χρησιμοποιούν την μέθοδο αυτή.



Σχήμα 4.19 Διάγραμμα ροής της μεθόδου Noell.

#### 4.6.5 Μέθοδος EDDITH

Η μέθοδος EDDITH (Σχήμα 4.20) βασίζεται σε μια διάταξη πυρολυτικού περιστρεφόμενου τυμπάνου. Μετά τη διαλογή και την ξήρανσή τους, τα απόβλητα εισέρχονται στο περιστρεφόμενο πυρολυτικό τύμπανο όπου και πυρολύονται σε θερμοκρασία 450 - 550 °C με χρόνο παραμονής περίπου τριάντα λεπτά. Το παραγόμενο αέριο καίγεται σε θερμοκρασία 1100 °C ώστε να δώσει την απαιτούμενη θερμότητα για την ξήρανση του ατμού.

Η μέθοδος αποτελείται από τα παρακάτω τρία βασικά στάδια:

- (α) Επεξεργασία απορριμμάτων.
- (β) Θερμόλυση.
- (γ) Επεξεργασία και αποθήκευση στερεού καυσίμου.



Σχήμα 4.20 Διάγραμμα ροής της μεθόδου EDDITH

Η εταιρία που εφαρμόζει τη μέθοδο υποστηρίζει ότι το ανθρακούχο υπόλειμμα με την εμπορική ονομασία *carbor* μπορεί να καθαριστεί και να διαχωριστεί από μέταλλα, άλλα αδρανή και διαλυτά άλατα και να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο. Ακόμα όμως και αν ο καθαρισμός είναι αποτελεσματικός φαίνεται ότι αυτό θα γίνει με μεγάλο οικονομικό και ενεργειακό κόστος, κάτι που το καθιστά μη ενδεδειγμένη λύση.

Σήμερα υπάρχουν δύο εργοστάσια που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία στη Γαλλία και τρία στην Ιαπωνία.



#### 4.6.6 Μέθοδος Von Roll

Η εταιρία Von Roll έχει αναπτύξει διάφορες μεθόδους επεξεργασίας για μια μεγάλη ποικιλία αποβλήτων. Ακολουθώς παρουσιάζεται μία από αυτές.

##### 4.6.6.1 Διεργασία RCP

Η διεργασία RCP (Recycled Clean Product) είναι μια διεργασία κινούμενων εσχαρών και τήξεως και έχει εφαρμογή στην επεξεργασία ΑΣΑ, υπολειπόμενων απορριμμάτων από ανακύκλωση και τεμαχισμένα υπολείμματα αυτοκινήτων. Η μέθοδος αυτή αποτελείται ουσιαστικά από τρία βήματα τα οποία περιλαμβάνουν ένα θάλαμο πυρόλυσης με σχάρες που λειτουργεί σε θερμοκρασία περίπου 500 °C, έναν οξειδοαναγωγικό κλίβανο τήξεως και έναν περιστρεφόμενο αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Αρχικά λαμβάνει χώρα η πυρόλυση και στη συνέχεια το πυρολυτικό κωκ και τα όποια μη χρησιμοποιημένα πυρολυτικά αέρια εισέρχονται στον κλίβανο τήξεως όπου οι υψηλές θερμοκρασίες και το προστιθέμενο οξυγόνο προκαλούν την τήξη όλων των στερεών υλικών. Τα υπολειπόμενα αέρια από τον κλίβανο αναφλέγονται μετέπειτα στον περιστρεφόμενο αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης σε θερμοκρασίες <1000 °C. Η μέθοδος στοχεύει στην αξιοποίηση της σκωρίας από τη τσιμεντοβιομηχανία και για αυτό προσανατολίζεται κυρίως στην απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων.

Αν και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή είναι γνωστές ο συνδυασμός τους οδηγεί στην αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος. Στη Γερμανία αυτή τη στιγμή λειτουργεί μια μικρή εγκατάσταση που χρησιμοποιεί τη μέθοδο αυτή πιλοτικά.

#### 4.6.7 Μέθοδος TPS

Η τεχνολογία TPS (Terminska Processor) χρησιμοποιεί μια διαδικασία αεριοποίησης με τη βοήθεια ενός συνδιασμού αφρίζοντα αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης και περιστρεφόμενου αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης που λειτουργούν σε θερμοκρασία 850 °C, κάτω από το όριο τήξεως της τέφρας, και κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση. Οι αντιδραστήρες αυτοί τροφοδοτούνται με θερμό αέρα, τεμαχισμένα ΑΣΑ και πελλέτες RDF. Ο αέρας χρησιμοποιείται ως παράγοντας αεριοποίησης/ρευστοποίησης. Ένα μέρος του αέρα εισέρχεται στον αεριοποιητή διαμέσου του κάτω μέρους του και το υπόλοιπο διαμέσου του πάνω μέρους του. Αυτός ο τρόπος διανομής του αέρα προκαλεί διαφορά πυκνότητας μέσα στο δοχείο. Στο κάτω τμήμα τα βαρύτερα τεμάχια έχουν αρκετό χρόνο παραμονής ώστε να αεριοποιηθούν ενώ στο πάνω μέρος τα ελαφρύτερα- μικρότερα τεμάχια μεταφέρονται στη ροή του αερίου. Το αέριο και τα διαχωρισμένα αυτά στερεά στη συνέχεια οδηγούνται σε ένα θερμό κυκλώνα όπου τα στερεά απομακρύνονται και οδηγούνται εκ νέου στην ρευστοποιημένη κλίνη. Το αέριο εισέρχεται σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο ρευστοποιημένης κλίνης

μέσα στον οποίο γίνεται το σπάσιμο της πίσσας και των υδρογονανθράκων. Το θερμό αέριο καθαρίζεται και αναφλέγεται σε ένα βραστήρα ή οδηγείται σε μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πιλοτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν στην Ιταλία, τη Σουηδία και τη Βραζιλία

#### 4.6.8 Μέθοδος NKK

Η NKK είναι μια μεγάλη Ιαπωνική εταιρία που έχει αναπτύξει μια τεχνολογία τήξεως των απορριμμάτων χρησιμοποιώντας την αεριοποίηση. Η εγκατάσταση που λειτουργεί στηριζόμενη στη μέθοδο NKK αποτελείται από τρεις μονάδες αεριοποίησης και τήξης υψηλής θερμοκρασίας. Τα απορρίμματα αεριοποιούνται σε θερμοκρασίες >1000 °C και στη συνέχεια τήκονται σε κλίβανο.

Η εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να επεξεργασθεί όχι μόνο οικιακά απορρίμματα αλλά και άλλα υλικά όπως κεραμικά και γυαλί και με τη πλήρη τήξη τους να προκύψει ανακυκλώσιμη τηγμένη λάσπη χωρίς μεταλλικά στοιχεία. Στην Ιαπωνία λειτουργεί πιλοτικά μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο και επεξεργάζεται 1 τόνο ΑΣΑ / ώρα.

#### 4.6.9 Μέθοδος PKA

Η μέθοδος PKA (Pyrolyse Kraft Anlagen) είναι ένας συνδυασμός πυρόλυσης, αεριοποίησης, και τήξεως (Σχήμα 4.21). Τα ΑΣΑ προεπεξεργάζονται ώστε να αφαιρεθούν υλικά όπως γυαλί, μέταλλα και άλλα που μπορούν να ανακυκλωθούν. Η πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο σε θερμοκρασία 500 °C και χρόνο παραμονής περίπου μια ώρα. Μέρος του αερίου που παράγεται από τη διαδικασία χρησιμοποιείται για την εξωτερική θέρμανση του κλιβάνου. Το πυρολυτικό αέριο που περιέχει πίσσα στη συνέχεια αεριοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες 1200 -1300 °C με την προσθήκη οξυγόνου και στη συνέχεια ψύχεται και καθαρίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της τελικής χρήσης. Από το πυρολυτικό στερεό κατάλοιπο μπορεί να γίνει ανάκτηση μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών.

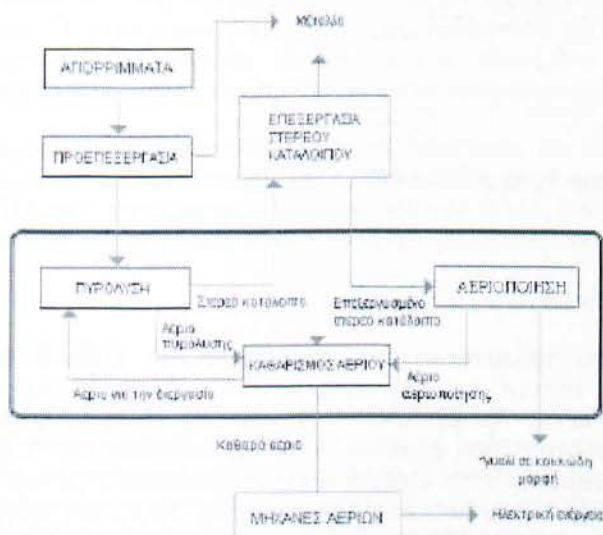
Η μέθοδος είναι κατάλληλη για την επεξεργασία των παρακάτω αποβλήτων:

- Χρησιμοποιημένα λάστιχα.
- Απόβλητα τεμαχισμού αυτοκινήτων.
- Υλικά συσκευασίας.
- Επικίνδυνα απόβλητα.
- Οικιακά απόβλητα.



➤ Απόβλητα βιολογικού καθαρισμού.

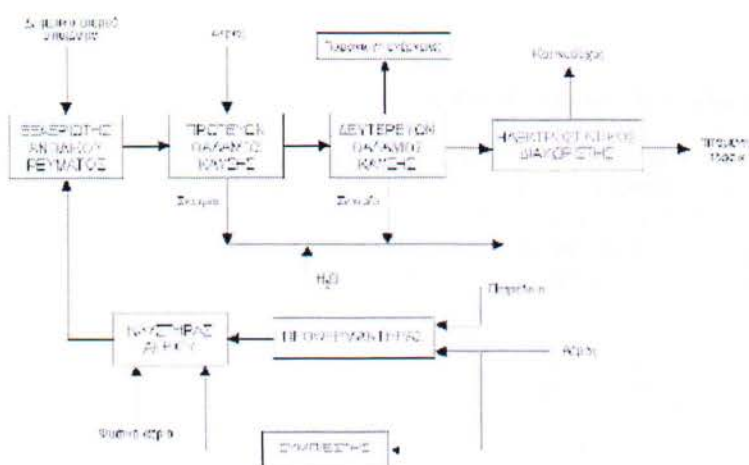
Η εταιρία Gibros PEC που ανέπτυξε την μέθοδο υποστηρίζει ότι η διεργασία έχει σχεδόν μηδενικές εκπομπές : όλα τα ρεύματα εξόδου ( παραγόμενο αέριο, μέταλλα, αδρανή) μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε προς πώληση είτε προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα υπάρχουν δύο συστήματα ΡΚΑ εγκατεστημένα στη Γερμανία τα επεξεργάζονται περίπου 30.000 τόνους απορριμμάτων / έτος.



Σχήμα 4.21 Διάγραμμα ροής της μεθόδου ΡΚΑ.

#### 4.6.10 Μέθοδος P.I.T. Pyroflam

Η μέθοδος P.I.T. (Σχήμα 4.22) είναι μία πυρολυτική μέθοδος που βασίζεται στη θέρμανση ποσότητας υδρογονανθράκων (απουσία οξυγόνου) σε χαμηλές θερμοκρασίες (450-750°C). Η θέρμανση των οργανικών έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπαση τους και την παραγωγή ενός αερίου και ενός υπολείμματος πλούσιου σε άνθρακα που στη συνέχεια μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο με αεριοποίηση. Η μέθοδος στηρίζεται στην πυρόλυση υπό κενό και αναπτύχθηκε αρχικά με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας από χρησιμοποιημένα ελαστικά και ξύλο. Σήμερα χρησιμοποιείται και για την επεξεργασία των δημοτικών και βιομηχανικών ΣΑ.



Σχήμα 4.22 Διάγραμμα ροής της μεθόδου PIT.

#### 4.6.11 Μέθοδος Nexus

Η διεργασία χρησιμοποιεί έναν περιστρεφόμενο κλίβανο και μπορεί να επεξεργαστεί ΑΣΑ, λάστιχα και μη επικίνδυνα απορρίμματα. Αρχικά, τα ΑΣΑ προεπεξεργάζονται για να ομοιογενοποιηθούν και στη συνέχεια εισέρχονται στον κλίβανο απουσία οξυγόνου, όπου πυρολύονται σε θερμοκρασία 650 °C και πίεση 700 mbar. Ο χρόνος παραμονής στον κλίβανο κυμαίνεται ανάλογα με την υγρασία των απορριμμάτων και μπορεί να φτάσει έως τις οκτώ ώρες. Τέλος, ακολουθεί η ψύξη του στερεού υπολείμματος. Το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων μετατρέπεται μέσω της διαδικασίας αυτής σε ανθρακούχο υπόλειμμα πυρόλυσης, αέρια καύσης και υγρούς υδρογονάνθρακες.

Αυτή τη στιγμή στη Γαλλία λειτουργεί πιλοτικά ένα εργοστάσιο που επεξεργάζεται 5.500 τόνους ΑΣΑ/ έτος ενώ σχεδιάζεται ένα ακόμη δυναμικότητας 33.000 τόνων ΑΣΑ / έτος.

#### 4.6.12 Μέθοδος Andro Torrax

Η μέθοδος Andco Torrax αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ το 1968 από την εταιρία Torrax Systems και έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας μιας ποικιλίας αποβλήτων (δημοτικά, νοσοκομειακά, βιομηχανικά).



Η μέθοδος αυτή σχεδιάστηκε ώστε να μετατρέπει το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ σε αναφλέξιμο αέριο το οποίο στη συνέχεια μπορεί να παράγει ατμό. Το σύστημα αποτελείται από πέντε κύριους παράγοντες: 1) τον προθερμαντήρα του αέρα, 2) τον αεριοποιητή, 3) τον δευτερεύον θάλαμο ανάφλεξης, 4) τον βραστήρα και 5) τον εξοπλισμό καθαρισμού αερίων.

Τα ΑΣΑ οδηγούνται στον αεριοποιητή ο οποίος είναι μια κυλινδρική στήλη με 12 έως 15 μέτρα ύψος και 1.8 έως 2.7 μέτρα διάμετρο. Τα απορρίμματα αρχικά ξηραίνονται, πυρολύονται σε θερμοκρασία έως 1100 °C και μετατρέπονται σε αναφλέξιμα αέρια. Τα πυρολυτικά αέρια στη συνέχεια εγκαταλείπουν τον αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 400-500 °C και εισέρχονται στον δευτερεύοντα θάλαμο ανάφλεξης όπου αναμιγνύονται με αέρα και καίγονται. Τα αέρια που δημιουργούνται στη συνέχεια οδηγούνται στο βραστήρα για την παραγωγή ατμού. Ο ατμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα απαέρια οδηγούνται στα συστήματα καθαρισμού τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές.

Τεχνικές δυσκολίες συναντώνται κατά τη διοχέτευση των αερίων του αντιδραστήρα καθώς πρόβλημα αποτελεί και ο υπερβολικός θόρυβος. Σήμερα λειτουργούν 5 εργοστάσια σε Ευρώπη και ΗΠΑ στα οποία επιτυγχάνεται μείωση του όγκου των απορριμμάτων κατά 80-85% ενώ η ανάκτηση της ενέργειας σε θέρμανση και ηλεκτρισμό ανέρχεται στο 62-68%.

#### 4.6.13 Μέθοδος WGT

Με τη μέθοδο WGT (Waste Gas Technology) επιτυγχάνεται η αεριοποίηση των συστατικών των απορριμμάτων που είναι πλούσια σε άνθρακα και η παραγωγή αερίου που διασπάται σε υδρογονάνθρακες μικρότερου μοριακού βάρους και υδρογόνο. Τα απορρίμματα αρχικά ξηραίνονται, προεπεξεργάζονται μηχανικά ώστε να αφαιρεθούν τα άκαυστα υλικά και κοκκοποιούνται στο βέλτιστο μέγεθος. Η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα σε ένα κυλινδρικό αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 700 - 900 °C απουσία οξυγόνου. Τα αέρια από τον αντιδραστήρα πλένονται ώστε να απομακρυνθούν οι ρύποι και στη συνέχεια οδηγούνται σε γεννήτριες προς παραγωγή ενέργειας. Τα στερεά υπολείμματα αναφλέγονται επίσης σε ένα βραστήρα ατμού.

Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να επεξεργαστούν διαφορετικά ήδη απορριμμάτων συμπεριλαμβανομένων των ΑΣΑ, ιλύων, πλαστικών και ΔΞΥΛ. Σήμερα στη Μεγάλη Βρετανία υπάρχει μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτή την τεχνολογία πιλοτικά.

### 4.7 Εκπομπές καινοτόμων τεχνολογιών

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι εκπομπές διάφορων ρύπων από εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν κάποιες από τις προαναφερθέντες καινοτόμες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας, σε σύγκριση με τα όρια που ισχύουν στις ΗΠΑ και στη Γερμανία. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται η απόδοση τους σε ηλεκτρική ενέργεια.

	M mg/m <sup>3</sup>	X mg/m <sup>3</sup>	O mg/m <sup>3</sup>	OC mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	Dioxins/ furan ng/m <sup>3</sup>	I mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	Cd mg/m <sup>3</sup>	Pb mg/m <sup>3</sup>	Hg mg/m <sup>3</sup>	Ενέργεια kWh/Mg
Όρια US EPA	8,4	19,8	9,2		1,2		9,1		0,01533	0,1533	0,0613	
Όρια German 17thBlmSchV	10	200	50		50	0,10	10		0,03	0,50	0,03	
PKA	2,3	54	38	2,3	7,7	0,02	2,3	0,15	0,002		0,002	280
P.I.T.	4,2-5,2	61-189	0,5-2,5	0,2-0,5	0,0-5,6	0,002	1,7-5	<0,1			0,05	
Thermoselect	0,84	21,76	2,95		0,16	0,0007- 0,0011			0,001	0,013	0,0018	450
Thide-Eddith		470	50	<15	<200		30	<1				
TPS	3-7	200-300	2,5-5		5-15	0,013	0,6-2	<0,1	<0,004	0,005	0,008-0,05	550
Nexus												390
Siemens												410
Von Roll												380

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα εκπομπών για εγκαταστάσεις διάφορων καινοτόμων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας και απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας

Από τον πίνακα διαπιστώνουμε ότι οι μέθοδοι PKA, PIT και Thermoselect πληρούν όλα τα όρια τόσο του Γερμανικού όσο και του κανονισμού των Η.Π.Α για τις αέριες εκπομπές. Η μέθοδος Thide-Eddith υπερβαίνει τα όρια για τις εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, και HCl ενώ η TPS υπερβαίνει μόνο το όριο για τις εκπομπές των NO<sub>x</sub>. Από πλευράς ενέργειας η απόδοση των διαφόρων διεργασιών κυμαίνεται από 250-700 kWh/Mg με μια μέση τιμή περίπου 450 kWh/Mg. Την καλύτερη απόδοση εμφανίζουν οι μέθοδοι Thermoselect και TPS. Σε κάθε περίπτωση η απόδοση μπορεί να αυξηθεί αν γίνει κατάλληλη προεπεξεργασία των απορριμμάτων και απομάκρυνση των ανόργανων υλικών.



## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

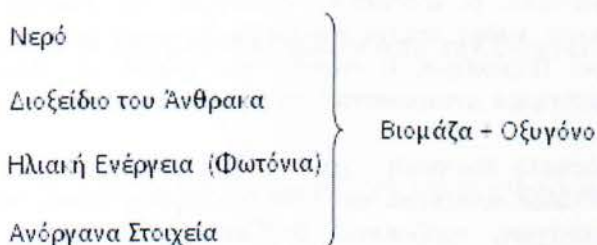
### “Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

#### 5.1 Εισαγωγή

Γενικά, ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτήν περιλαμβάνονται:

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.,
- Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.,
- Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά., καθώς και
- Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατά αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί πλέον κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας.

Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σ' αυτήν, εξάλλου, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας.

## 5.2 Παγκόσμιο και Ελληνικό δυναμικό

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172 δισεκ. τόνους ξηρού υλικού, με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλίσκείται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα κλπ.).

Στην Ελλάδα, τα κατ' έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 3040% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας.

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμιοι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρηνόξυλα, κουκούτσια ροδακίνων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά.

Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευοίωνες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, σε πολλές περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δυστυχώς παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.).

Από τις παραπάνω ποσότητες βιομάζας, το ποσοστό τους εκείνο που προκύπτει σε μορφή υπολειμμάτων κατά τη δευτερογενή παραγωγή προϊόντων (εκκοκκισμός βαμβακιού,



μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, επεξεργασία ξύλου κ.ά.) είναι άμεσα διαθέσιμο, δεν απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα συλλογής, δεν παρουσιάζει προβλήματα μεταφοράς και μπορεί να τροφοδοτήσει απ' ευθείας διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Μπορεί, δηλαδή, η εκμετάλλευσή του να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα.

Παράλληλα με την αξιοποίηση των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, σημαντικές ποσότητες βιομάζας είναι δυνατό να ληφθούν από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφανείας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, που προσπαθούν, μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν, πέραν των περιβαλλοντικών και ενεργειακών τους προβλημάτων, και το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων.

Όπως είναι γνωστό, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα γεωργικά πλεονάσματα, και τα οικονομικά προβλήματα που αυτά δημιουργούν, οδηγούν αναπόφευκτα στη μείωση της γεωργικής γης και της αγροτικής παραγωγής. Υπολογίζεται ότι, την προσεχή δεκαετία, θα μπορούσαν να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες 100-150 εκατ. στρέμματα γεωργικής γης, προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα των επιδοτήσεων των γεωργικών πλεονασμάτων και της απόρριψης αυτών στις χωματερές, με ταυτόχρονη αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων.

Στη χώρα μας, για τους ίδιους λόγους, 10 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί ή προβλέπεται να εγκαταλειφθούν στο άμεσο μέλλον. Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, το καθαρό όφελος σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται υπολογίζεται σε 5-6 ΜΤΠΠ (1 ΜΤΠΠ= 106 ΤΠΠ, όπου ΤΠΠ σημαίνει: Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) δηλαδή στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην Ελλάδα.

Στον ελληνικό χώρο έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία στον τομέα των ενεργειακών καλλιεργειών. Από την πραγματοποίηση σχετικών πειραμάτων και πιλοτικών εφαρμογών, προέκυψαν τα εξής σημαντικά στοιχεία:

- Η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να παραχθεί ανά ποτιστικό στρέμμα ανέρχεται σε 3-4 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 1-1,6 ΤΠΠ.
- Η ποσότητα βιομάζας, που μπορεί να παραχθεί ανά ξηρικό στρέμμα μπορεί να φτάσει τους 2-3 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 0,7-1,2 ΤΠΠ.

### 5.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

1. Η αποτροπή του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα δεν συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου αυτού στην ατμόσφαιρα γιατί, ενώ κατά την καύση της παράγεται  $\text{CO}_2$ , κατά την παραγωγή της και μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες αυτού του ρύπου



2. Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της “όξινης βροχής”. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.
3. Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος.
4. Η εξασφάλιση εργασίας και η συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και τις άλλες γεωργικές περιοχές, συμβάλλει δηλαδή η βιομάζα στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας.

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη χρησιμοποίηση της βιομάζας και αφορούν, ως επί το πλείστον, δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, είναι τα εξής:

1. Ο μεγάλος όγκος της και η μεγάλη περιεκτικότητά της σε υγρασία, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.
2. Η δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της, έναντι των ορυκτών καυσίμων.
3. Οι δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
4. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της. Εξ αιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων και για την πλειοψηφία των εφαρμογών της, το κόστος της βιομάζας παραμένει, συγκριτικά προς το πετρέλαιο, υψηλό. Ήδη, όμως, υπάρχουν εφαρμογές στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, το πρόβλημα αυτό βαθμιαία εξαλείφεται, αφ’ ενός λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου, αφ’ ετέρου και σημαντικότερο, λόγω της βελτίωσης και ανάπτυξης των τεχνολογιών αξιοποίησης της βιομάζας. Τέλος, πρέπει κάθε φορά να συνυπολογίζεται το περιβαλλοντικό όφελος, το οποίο, αν και συχνά δεν μπορεί να αποτιμηθεί με οικονομικά μεγέθη, εντούτοις είναι ουσιαστικής σημασίας για την ποιότητα της ζωής και το μέλλον της ανθρωπότητας.

#### 5.4 Εφαρμογές από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

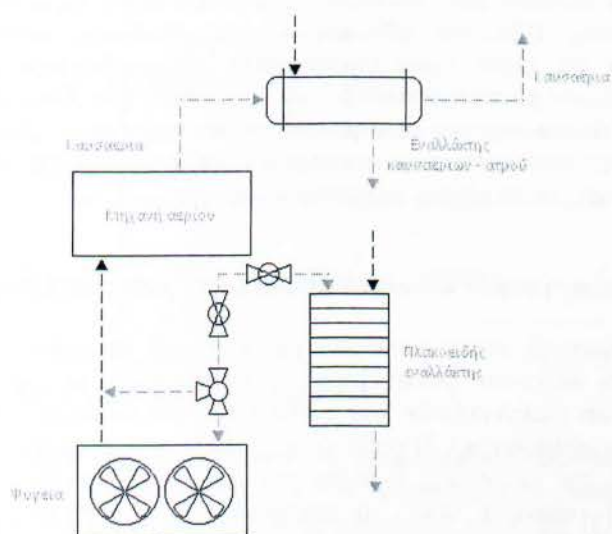
Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λ.π.) είτε με απ’ ευθείας καύση, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών (Σχήμα. 5.1).

Επειδή η αξιοποίηση της βιομάζας αντιμετωπίζει συνήθως τα μειονεκτήματα της μεγάλης διασποράς, του μεγάλου όγκου και των δυσχερειών συλλογής-μεταποίησης-μεταφοράς-αποθήκευσης, επιβάλλεται η αξιοποίησή της να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τόπο παραγωγής της. Έτσι, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευχερέστατα σε μια πληθώρα εφαρμογών:



### 5.4.1 Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης – ψύξης και ενέργειας σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες

Με τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες ποσότητες θερμότητας απορρίπτονται στο περιβάλλον, είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων, είτε μέσω των καυσαερίων. Με τη συμπαραγωγή, όπως ονομάζεται η συνδυασμένη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας από την ίδια ενεργειακή πηγή, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής ανακτάται και χρησιμοποιείται επωφελώς. Έτσι, αφ' ενός επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς αυξάνεται ο βαθμός ενεργειακής μετατροπής του καυσίμου σε ωφέλιμη ενέργεια, αφ' ετέρου μειώνονται αντίστοιχα και οι εκπομπές ρύπων. Επίσης, ελαττώνονται οι απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς τα συστήματα συμπαραγωγής είναι συνήθως αποκεντρωμένα και βρίσκονται πιο κοντά στους καταναλωτές απ' ό,τι οι κεντρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής. Πράγματι, οι συμβατικοί σταθμοί παρουσιάζουν βαθμό απόδοσης 15-40%, ενώ στα συστήματα συμπαραγωγής αυτός φθάνει μέχρι και 75-85%.



Σχήμα 5.1 Μονάδα συμπαραγωγής

Η συμπαραγωγή από βιομάζα στην Ελλάδα παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον σε αστικό-περιφερειακό επίπεδο. Η εξάπλωση της εφαρμογής της πρέπει να εξετασθεί με βασικό στόχο τη δημιουργία πολλών μικρών αποκεντρωμένων σταθμών συμπαραγωγής. Αυτοί θα πρέπει να εγκατασταθούν σε περιοχές της χώρας με σημαντικές ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, οι οποίες να βρίσκονται συγχρόνως κοντά σε καταναλωτές θερμότητας, καθώς η μεταφορά της θερμότητας παρουσιάζει υψηλές απώλειες και αυξημένο κόστος.

Οι καταναλωτές της παραγόμενης θερμότητας των προαναφερθέντων σταθμών συμπαραγωγής μπορεί να είναι χωριά ή πόλεις, τα οποία θα θερμαίνονται μέσω κάποιας εγκατάστασης συστήματος τηλεθέρμανσης, θερμοκήπια, βιομηχανικές μονάδες με αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα κ.ά. Η παραγόμενη από τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρική ενέργεια είναι δυνατό είτε να ιδιοκαταναλώνεται είτε να πωλείται στη ΔΕΗ, σύμφωνα με όσα ορίζονται στο Ν. 2244/94 ("Ψύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα").

### 5.4.2 Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών

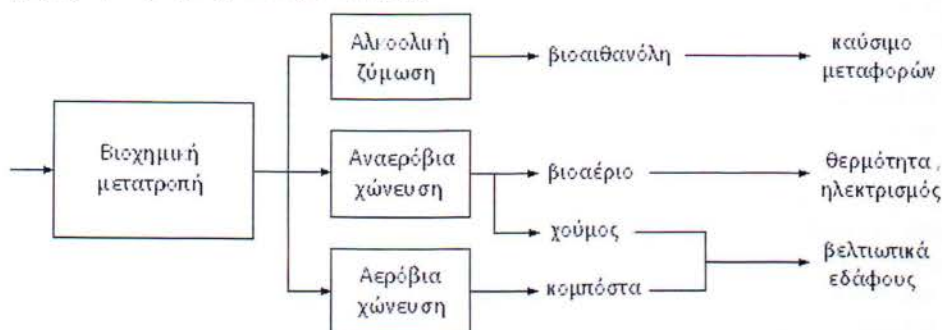
Τηλεθέρμανση (ή τηλεψύξη) ονομάζεται η εξασφάλιση ζεστού νερού τόσο για τη θέρμανση (ή ψύξη) των χώρων, όσο και για την απευθείας χρήση του σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μία πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας (ή ψύξης). Η παραγόμενη θερμότητα μεταφέρεται με δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια. Η τηλεθέρμανση παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη σε πολλές χώρες, καθώς εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι η επίτευξη υψηλότερου βαθμού απόδοσης, ο περιορισμός της ρύπανσης του περιβάλλοντος και η δυνατότητα χρησιμοποίησης μη συμβατικών καυσίμων, οπότε προκύπτουν επιπλέον οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

### 5.4.3 Θέρμανση θερμοκηπίων

Η αξιοποίηση της βιομάζας σε μονάδες παραγωγής θερμότητας για τη θέρμανση θερμοκηπίων αποτελεί μία ενδιαφέρουσα και οικονομικά συμφέρουσα προοπτική για τους ιδιοκτήτες τους. Ήδη, στο 10% περίπου της συνολικής έκτασης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων της χώρας έχουν εγκατασταθεί λέβητες βιομάζας με χρήση πυρηνόξυλου, άχυρου και άλλων φυτικών υπολειμμάτων ως καύσιμη ύλη. Κατά την κάυση της βιομάζας η δεσμευμένη ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική ενώ το CO<sub>2</sub> (που δεσμεύεται για την παραγωγή της) επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Τα ανόργανα στοιχεία που περιέχονται στην τέφρα εμπλουτίζουν το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία.

### 5.4.4 Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή βιομάζας

Η παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική διεργασία (Σχ. 5.2) επικεντρώνεται, κυρίως, στην παραγωγή βιοαιθανόλης (οινοπνεύματος) με ζύμωση σακχάρων, αμύλου, куτταρινών και ημικυτταρινών που προέρχονται από διάφορα είδη βιομάζας (αραβόσιτος, σόργο το σακχαρούχο κ.ά.). Η τεχνολογία ζύμωσης των σακχάρων είναι σήμερα γνωστή και ανεπτυγμένη, ενώ εκείνη της ζύμωσης των κυτταρινών και ημικυτταρινών βρίσκεται υπό εξέλιξη. Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες οχημάτων, ως έχει ή σε πρόσμιξη με βενζίνη, ως καύσιμο κίνησης.



Σχήμα 5.2 Βιοχημική μετατροπή της βιομάζας

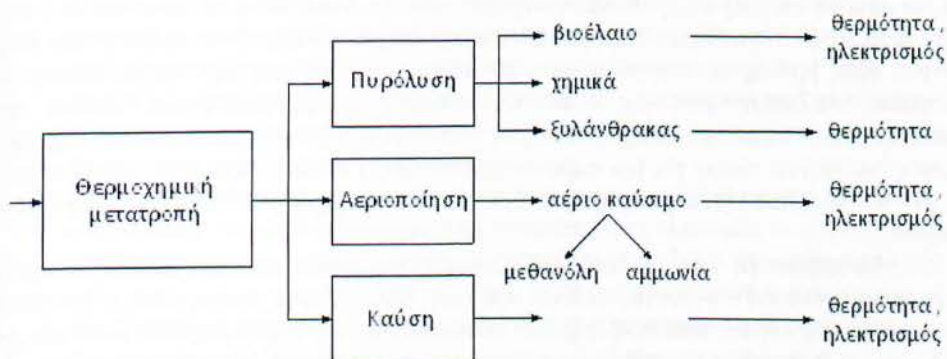
Παρά το γεγονός ότι, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων (π.χ. αντικατάσταση αεροπορικής βενζίνης), το κόστος της βιοαιθανόλης είναι υψηλότερο εκείνου της βενζίνης, η χρήση της ως καύσιμο κίνησης αυξάνει συνεχώς ανά τον κόσμο, με προεξάρχουσες τη Βραζιλία και τις



ΗΠΑ. Αυτό συμβαίνει διότι αφ' ενός η βιοαιθανόλη είναι καθαρότερο καύσιμο από περιβαλλοντικής πλευράς και αφ' ετέρου δίνει διέξοδο στα γεωργικά προβλήματα. Για τους λόγους αυτούς η παραγωγή και χρήση της βιοαιθανόλης παρουσιάζουν εξαιρετικά ευνοϊκές προοπτικές για το μέλλον.

#### 5.4.5 Παραγωγή υγρών καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή βιομάζας

Η θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας (Σχ. 5.3) οδηγεί είτε στην απ'ευθείας παραγωγή ενέργειας (καύση), είτε στην παραγωγή καυσίμου, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα. Η τεχνολογία της αστραπιαίας πυρόλυσης αποτελεί μία από τις πολλά υποσχόμενες λύσεις για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας. Κατ' αυτήν, τα ογκώδη δασικά και αγροτικά υπολείμματα, αφού ψιλοτεμαχισθούν, μετατρέπονται, με τη βοήθεια ειδικού αντιδραστήρα, σε υγρό καύσιμο υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, το βιοέλαιο.



Σχήμα 5.3 Θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας

Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου (έχει λίγο μικρότερη από τη μισή θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου) σε εφαρμογές θέρμανσης (λέβητες, φούρνους κ.λπ.) αλλά και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (μηχανές εσωτερικής καύσης κ.ά.). Η αστραπιαία πυρόλυση της βιομάζας αποτελεί την οικονομικότερη διεργασία ηλεκτροπαραγωγής, ιδίως στην περιοχή μικρής κλίμακας ισχύος (<5MWe).

Με την αεριοποίηση παράγεται αέριο καύσιμο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καυστήρες αερίου για την παραγωγή ενέργειας. Οι σχετικές τεχνολογίες όμως βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο και θα απαιτηθεί σημαντική περαιτέρω προσπάθεια προκειμένου να μπορέσουν τα πιλοτικά προγράμματα να φτάσουν σε σημείο να είναι οικονομικά συμφέρουσα η εφαρμογή τους σε ευρεία κλίμακα.

##### 5.4.5.1 Παραγωγή βιοντίζελ από μικροοργανισμούς

Μία από τις πλέον υποσχόμενες εναλλακτικές πηγές ενέργειας είναι το βιοντίζελ, το οποίο μπορεί να αποτελέσει υποκατάστατο των καυσίμων που προέρχονται από το αργό πετρέλαιο. Το βιοντίζελ ορίζεται ως μείγμα εστέρων αλκοολών με μικρή ανθρακική αλυσίδα (συνήθως μεθανόλη ή αιθανόλη) με λιπαρά οξέα μεγάλης ανθρακικής αλυσίδας, τα οποία προέρχονται συνήθως από φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη. Το έλαιο εστεροποιείται με συνήθη

χημική διαδικασία για την παραγωγή βιοντίζελ (όξινη κατάλυση). Εναλλακτικά αναπτύσσεται η διαδικασία μετατροπής των ελαίων σε βιοντίζελ με ενζυμική κατάλυση, που συνιστά μία «πράσινη» τεχνολογία κατεξοχήν φιλική προς το περιβάλλον.

Το βιοντίζελ είναι μη τοξικό και απόλυτα βιοδιασπώμενο. Λόγω του υψηλού σημείου ανάφλεξής του, παρουσιάζει χαμηλή ευφλεκτικότητα η οποία το καθιστά ασφαλές και χαμηλής επικινδυνότητας. Ακόμη, προσφέρει μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων, αφού έχει καλύτερες ιδιότητες από το πετρέλαιο. Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του αναφέρεται το καλύτερο ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα, αφού βασίζεται σε ανανεώσιμα βιολογικά υλικά. Στα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγεται επίσης το ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις συμβατικές βενζινοκίνητες ή πετρελαιοκίνητες μηχανές χωρίς αυτές να υποστούν τροποποιήσεις (ή σε κάποιες περιπτώσεις με μικρές τροποποιήσεις), ενώ για τη διανομή του μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ήδη υπάρχουσα υποδομή.

Μέχρι σήμερα την κύρια πηγή πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοντίζελ αποτελούν τα φυσικά έλαια από βρώσιμα ή μη φυτά. Η παραγωγή του επομένως βασίζεται στη διαθεσιμότητα συγκεκριμένων φυτικών ελαίων που συνεπάγεται μια σειρά μειονεκτημάτων και περιορισμών. Η παραγωγή βιοντίζελ σε βιομηχανική κλίμακα παραμένει γεωγραφικά περιορισμένη στις περιοχές καλλιέργειας των φυτών και φυσικά εξαρτάται και από τις εποχές και τις καιρικές συνθήκες. Η κατάσταση αυτή μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την παραγωγή φυτών προς βρώση αφού η παραγωγή βιοντίζελ με συμβατική τεχνολογία απαιτεί μεγάλες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης αλλά και ακόμη και τη βιομηχανία ελαίων που την τροφοδοτούν, αφού μεγάλες ποσότητες των φυτικών ελαίων που την τροφοδοτούν χρησιμοποιούνται πλέον για την παραγωγή βιοντίζελ. Για τους λόγους αυτούς γίνεται φανερή η ανάγκη της βιομηχανίας παραγωγής βιοντίζελ προς εύρεση εναλλακτικών πηγών πρώτων πηγών.

Η παραγωγή ελαίων από καλλιέργειες ελαιωδών μικροοργανισμών αποτελεί το αντικείμενο του ενδιαφέροντος πολλών ερευνών. Πολλά υποσχόμενη είναι η χρησιμοποίηση βακτηρίων και κυρίως κυανοβακτηρίων, καθώς επίσης και της ζύμης (*Rhodotorula glutinis*). Πρόσφατα άρχισαν να χρησιμοποιούνται ως πηγή παραγωγής ενέργειας και διάφορα μικροφύκη. Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης μικροφυκών στη παραγωγή βιοντίζελ έγκειται ότι η ανάπτυξή τους γίνεται φωτοσυνθετικά, οπότε δεν είναι απαραίτητη πηγή άνθρακα ως πρώτη ύλη για την ανάπτυξή τους. Εκτός του ότι δεν συναγωνίζονται τις φυτικές καλλιέργειες στις εκτάσεις γης που απαιτούνται, η καλλιέργεια μικροφυκών δεν απαιτεί γλυκό νερό αφού αυτά μπορούν να αναπτυχθούν με τη χρήση θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού ή γενικά νερού που έχει χαρακτηριστεί ακατάλληλο για ύδρευση και άρδευση. Είναι προφανές ότι τόσο ο ήλιος όσο και το θαλασσινό νερό προσφέρονται εν αφθονία στη χώρα μας και συνιστούν ένα τεράστιο συγκριτικό πλεονέκτημα για την επιλογή της ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας στην Ελλάδα.



#### 5.4.6 Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες, στις οποίες περιλαμβάνονται τόσο ορισμένα καλλιεργούμενα είδη όσο και άγρια φυτά, έχουν σαν σκοπό την παραγωγή βιομάζας, η οποία μπορεί, στη συνέχεια, να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα σχετικά με τις εφαρμογές της βιομάζας.

Ειδικότερα στην Ελλάδα, εξαιτίας των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών, πολλές καλλιέργειες προσφέρονται για ενεργειακή αξιοποίηση και δίνουν υψηλές στρεμματικές αποδόσεις. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι του καλαμιού, της αγριοαγκινάρας, του σόργου του σακχαρούχου, του μίσχανθου, του ευκάλυπτου και της ψευδοακακίας, για τις οποίες, τα τελευταία χρόνια, γίνεται εντατική μελέτη εφαρμογής στις ελληνικές συνθήκες.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται ορισμένα στοιχεία για τα παρακάτω είδη ενεργειακών καλλιεργειών:

1. Το καλάμι είναι φυτό ιθαγενές της Νότιας Ευρώπης. Δίνει υψηλές αποδόσεις, πάνω από 3 τόνους το στρέμμα. Είναι φυτό πολυετές, δηλαδή σπέρνεται άπαξ και κάθε χρόνο γίνεται συγκομιδή του, και, μετά την πρώτη εγκατάσταση, οι μόνες δαπάνες αφορούν τα έξοδα συγκομιδής του. Έχει, συνεπώς, χαμηλό ετήσιο κόστος καλλιέργειας. Η παραγόμενη από το καλάμι βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί σε μονάδες εσωτερικής καύσης, για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικού ρεύματος.
2. Η αγριοαγκινάρα είναι ένα άλλο σημαντικό φυτό, κατάλληλο για ενεργειακή αξιοποίηση, το οποίο προσαρμόζεται θαυμάσια στις ελληνικές συνθήκες. Είναι φυτό πολυετές, με υψηλές αποδόσεις της τάξεως των 2,5-3 τόνων/στρέμμα. Το κυριότερο, όμως, πλεονέκτημά του είναι ότι η ανάπτυξη του λαμβάνει χώρα από τον Οκτώβριο έως τον Ιούνιο και, συνεπώς, αναπτύσσεται με το νερό των βροχοπτώσεων (δηλαδή δεν απαιτεί άρδευση). Η παραγόμενη από την αγριοαγκινάρα βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές παρόμοιες με αυτές του καλαμιού.

Επίσης, στη Βόρεια Ευρώπη, όπου είναι πολύ διαδεδομένες οι ενεργειακές καλλιέργειες, καλλιεργούνται σήμερα διάφορα πολυετή φυτά για ενεργειακούς σκοπούς. Στη Σουηδία π.χ. καλλιεργούνται 200.000 στρέμματα με ιτιά, της οποίας η κοπή γίνεται κάθε τέσσερα χρόνια. Η παραγόμενη ποσότητα βιομάζας, αφού προηγουμένως ψιλοτεμαχισθεί, οδηγείται σε μονάδες συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.

#### 5.4.7 Βιοαέριο

Σημαντικές ενεργειακές ανάγκες μπορούν επίσης να καλυφθούν με τη χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου σε μηχανές εσωτερικής καύσης, για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Αυτό αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα των χοιροστασιών, πτηνοτροφιών, βουστασιών, καθώς και βιομηχανικών και αστικών οργανικών απορριμμάτων.

Στην περίπτωση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, η παραγωγή του βιοαερίου γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις, απλούστερες ή συνθετότερες, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής.

Σ' αυτές, εκτός από το βιοαέριο, παράγεται και πολύ καλής ποιότητας οργανικό λίπασμα, του οποίου η διάθεση στην αγορά μπορεί να συμβάλλει στην οικονομική βιωσιμότητα μίας εφαρμογής αυτού του είδους.

Στην περίπτωση των αστικών απορριμμάτων, το βιοαέριο παράγεται στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ. Η μάζα του μπορεί να αρχίσει μετά από το δεύτερο ή τρίτο χρόνο της απόθεσης των απορριμμάτων αυτών και εξαρτάται από την ποσότητά τους. Από την άλλη πλευρά, η ποσότητα του βιοαερίου που μαστεύεται εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα των αποτιθεμένων απορριμμάτων σε οργανικά υλικά, καθώς και από την ποιότητα του υλικού επικάλυψης των στρώσεων. Αυτό θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο στεγανό, ώστε να επιτυγχάνεται η αναερόβια χώνευση, εμποδίζοντας, ταυτόχρονα, την απαέρωση του παραγόμενου βιοαερίου.

#### 5.4.8 Παραγωγή οργανοχημικών λιπασμάτων από πτηνοτροφικά απόβλητα

Μία μονάδα παραγωγής οργανικών λιπασμάτων που παράγονται ύστερα από την επεξεργασία των αποβλήτων των πτηνοτροφείων μιας περιοχής έχει σημαντικές ευνοϊκές επιπτώσεις στο περιβάλλον, δεδομένου ότι η περιοχή απαλλάσσεται από σημαντικές ποσότητες πτηνοτροφικών αποβλήτων, που προκαλούν προβλήματα στους κατοίκους λόγω της τοξικότητάς τους και του κινδύνου διάδοσης μολυσματικών ασθενειών.

Συμβάλλει, όμως, και στην εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων, τα οποία θα απαιτούνταν για την κατ' άλλο τρόπο παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων ίσης λιπαντικής αξίας.

### 5.5 Προοπτικές της βιομάζας

Σύμφωνα με τα διάφορα σενάρια, τα αποθέματα των συμβατικών πηγών ενέργειας (πετρελαίου, άνθρακα κ.α.) πλησιάζουν στην εξάντλησή τους, ενώ και οι διαθέσιμες ποσότητες των πυρηνικών καυσίμων είναι οπωσδήποτε περιορισμένες, πέραν του ότι η χρήση τους εγκυμονεί τεράστιους κινδύνους. Στο ενδιάμεσο διάστημα, μέχρι δηλαδή να εξαντληθούν τα γνωστά αποθέματα καυσίμων υλών, προβλέπεται ο διπλασιασμός των κατοίκων του πλανήτη και ο πολλαπλασιασμός των ενεργειακών τους αναγκών.

Τα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων, στερεών, υγρών και αέριων, που προήλθαν από το φυτικό κόσμο, ο οποίος χρειάστηκε πολλές χιλιετίες για να δημιουργηθεί με τη φωτοσύνθεση, εξορύσσονται με ξέφρενους ρυθμούς και καίγονται. Το αποτέλεσμα είναι, μέσα σε διάστημα δύο μόνο αιώνων, να κοντεύει να εξαντληθεί το προϊόν του μακροχρόνιου έργου της φύσης, καθώς επίσης να έχει ήδη επιβαρυνθεί σοβαρά το περιβάλλον. Το τελευταίο αυτό γεγονός εγκυμονεί τεράστιους οικολογικούς κινδύνους για τον πλανήτη (φαινόμενο θερμοκηπίου, όξινη βροχή κλπ.).



<b>Καύσιμο</b>	<b>Έτη που απομένουν</b>
Λιγνίτες	510
Γαϊάνθρακες	130
Φυσικό αέριο	65
Πετρέλαιο	43

*Πίνακας 5.1 Διάρκεια παγκόσμιων αποθεμάτων εξαντλήσιμων πηγών ενέργειας*

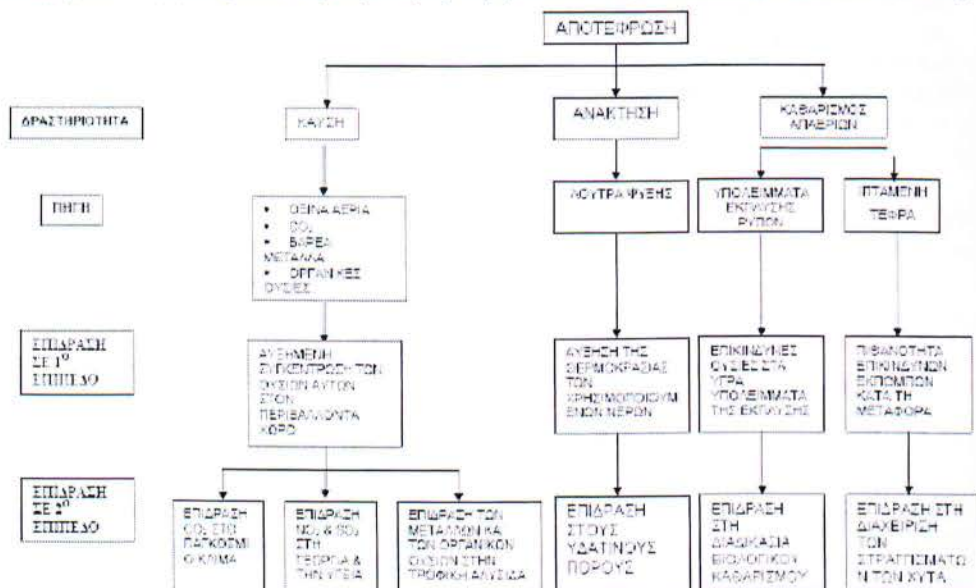
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες δεν εμφανίζουν τον κίνδυνο εξάντλησής τους και είναι φιλικές προς το περιβάλλον, προβάλλουν σήμερα ως η μόνη ελπίδα, η οποία διαγράφεται στο ζοφερό ενεργειακό και περιβαλλοντικό ορίζοντα του πλανήτη. Η ανάπτυξη και εξάπλωση της χρήσης της βιομάζας χρειάζεται τη συμβολή όλων. Τα οφέλη που μπορούν να αποκομισθούν είναι σημαντικά, τόσο από ενεργειακής οικονομικής πλευράς όσο και από την πλευρά της προστασίας του περιβάλλοντος, αρκεί να καταβληθεί η προσπάθεια που απαιτείται ώστε να γίνει συστηματική εκμετάλλευση και στη χώρα μας του πλούσιου δυναμικού που αυτή διαθέτει.

## 6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ”

#### 6.1 Αποτέφρωση

Στο Σχήμα 6.1 εμφανίζονται τις κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αποτέφρωσης.



Σχήμα 6.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτέφρωσης

#### 6.1.1 Αέρια

Τα κύρια προϊόντα και ρυπαντικά φορτία της διεργασίας της αποτέφρωσης περιλαμβάνουν είναι τα εξής: Αέρια, Υγρά, Στερεά. Κατά την αποτέφρωση προκύπτουν περίπου 4-5 · 10 m απαερίων ανά τόνο απορριμμάτων. Τα απαέρια αυτά βρίσκονται σε θερμοκρασία περίπου 1000°C.

Οι σχετικοί με την αποτέφρωση αέριοι ρύποι περιλαμβάνουν τα εξαιρώσιμα λόγω της θερμότητας στερεά ή άλλες ενώσεις που δημιουργούνται μέσω των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της καύσης. Κατά την καύση των απορριμμάτων λοιπόν εκλύονται στην ατμόσφαιρα τυπικά προϊόντα καύσης (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>),



άζωτο, οξυγόνο, σωματίδια σκόνης, ιπτάμενη τέφρα και άλλες ενώσεις των οποίων η παραγωγή εξαρτάται από τη σύσταση των απορριμμάτων, όπως HCl, πολυκυκλικό υδρογονάνθρακες, διοξίνες και φουράνια, αιθάλη, VOC (Volatile Organic Compounds).

Οι κυριότεροι αέριοι ρύποι μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

**Προϊόντα ατελούς καύσης (PICs):** Τα προϊόντα αυτά περιλαμβάνουν ενώσεις όπως μονοξειδίο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες που δεν έχουν καεί, πτητικές οργανικές ενώσεις και πολυκυκλικές οργανικές ενώσεις όπως οι διοξίνες και οι φουράνες. Η εκπομπή των ενώσεων αυτών είναι αποτέλεσμα της ατελούς καύσης του άνθρακα των προς καύση στερεών και της βοηθητικής καύσιμης ύλης λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και/ή της ανεπάρκειας του αέρα κατά τη διάρκεια της καύσης.

**Το μονοξειδίο του άνθρακα** μπορεί να απορροφηθεί από το ανθρώπινο αίμα και εμποδίζει την πρόσληψη του οξυγόνου. Σημαντικά υψηλές ποσότητες μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και το θάνατο. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι με εξαίρεση τις διοξίνες (PCDD) και τις φουράνες (PCDF), όρια ελέγχου για τις εκπομπές μεμονωμένων οργανικών ενώσεων δεν υπάρχουν. Αντ'αυτού έχουν θεσπιστεί όρια για τη συνολική συγκέντρωση της οργανικής ύλης στις εκπομπές, σε όρους ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) ή πτητικού οργανικού άνθρακα (VOC). Το κυριότερο συστατικό του ολικού οργανικού άνθρακα των αερίων (στις καπνοδόχους) είναι αλειφατικές ενώσεις, οι οποίες είναι απίθανο να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία όζοντος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, από τις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές αυτού του είδους των ενώσεων μόνο ένα αμελητέο ποσοστό οφείλεται στην αποτέφρωση, περίπου το ένα δέκατο σε σχέση με τις χωματερές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ανησυχίες έχουν εκφραστεί λόγω του εντοπισμού αρκετών εκατοντάδων αρωματικών ενώσεων οι οποίες είναι δυνητικά τοξικές. Πάντως, διάφορες έρευνες καρκινογένειας έχουν δείξει ότι με εξαίρεση τις διοξίνες και τις φουράνες, οι υπόλοιπες οργανικές ενώσεις συμβάλλουν κατά πολύ λίγο στο σύνολο των δυνητικών κινδύνων μιας μονάδας καύσης.

**Οι διοξίνες και τα φουράνια** είναι γνωστά καρκινογόνα που έχουν την ικανότητα να βιοσυσσωρεύονται στους οργανισμούς. Η ύπαρξή τους στα απαέρια οφείλεται :

- είτε σε διοξίνες και φουράνια, που υπάρχουν ήδη στα απορρίμματα,
- είτε στην παραγωγή τους στην αέρια φάση στους 500-700<sup>0</sup>C, λόγω συμπύκνωσης (coalescence) οργανικών μορίων με δότες χλωρίου, όπως χλωριούχα άλατα, PVC και HCl,
- είτε στην παραγωγή τους μέσω αντιδράσεων στερεής φάσης κάτω από τους 500<sup>0</sup>C πάνω σε σωματίδια.

Εκτός από τις διοξίνες και τα φουράνια, το βενζόλιο, οι φαινόλες, οι PAHs, το βενζοπυρένιο και τα χλωριωμένα οργανικά είναι επίσης ιδιαίτερος τοξικές και καρκινογόνες ενώσεις.

**Οξείδια του Αζώτου NOx:** Τα οξείδια του αζώτου μπορούν να βρεθούν σε πολλές μορφές, με το άτομο του αζώτου να αντιδρά με ένα, δύο ή και περισσότερα άτομα οξυγόνου. Οι εκπομπές NOx είναι αποτέλεσμα δύο κυρίως αντιδράσεων καύσης. Κατά τη διάρκεια της καύσης υπό υψηλές θερμοκρασίες, το άζωτο της ύλης ή των ΑΣΑ μπορεί να αντιδράσει με περίσσεια οξυγόνου και να δημιουργήσει NOx. Επιπρόσθετα, οξείδια του αζώτου



δημιουργούνται μέσω του ατμοσφαιρικού αζώτου το οποίο αντιδρά με περίσσεια οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες, γενικά υψηλότερες από 1100°C. Η πιο επιβλαβής συνέπεια των NOx είναι η δημιουργία αερίων οξέων στην ατμόσφαιρα όταν τα αέρια αντιδρούν με την υγρασία. Επίσης, αποτελούν παράγοντα που συντελεί στη δημιουργία του νέφους.

**Αέρια Οξέα:** Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) δημιουργείται κατά την καύση μέσω οξείδωσης του υπολειμματικού θείου που βρίσκεται στα ΑΣΑ. Το διοξείδιο του θείου στη συνέχεια αντιδρά με την υγρασία και δίνει θειικό οξύ. Οι εκπομπές από τις μονάδες αποτέφρωσης αποτελούν ένα μικρό μόνο ποσοστό των συνολικών εκπομπών από διαδικασίες καύσης. Το υδροχλωρικό οξύ δημιουργείται κατά την καύση λόγω του χλωρίου των ΑΣΑ. Πρόσθετα όξινα αέρια δημιουργούνται σε μικρότερες ποσότητες συμπεριλαμβανομένων του υδροφθορικού και του υδροβρωμικού οξέος. Στην ανθρώπινη υγεία, μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος, ειδικά δε σε ευπαθείς ομάδες πληθυσμού, όπως είναι οι υποφέροντες από άσθμα.

**Βαρέα Μέταλλα:** Από τα βαρέα μέταλλα, που περιέχονται στις αέριες εκπομπές, τα Cd, Cr, Hg και Pb είναι ιδιαίτερος τοξικά. Άλλα μέταλλα, όπως τα Cu, Pt και Ni, είναι λιγότερο τοξικά, αλλά δρουν ως καταλύτες για πολύπλοκες αντιδράσεις στα απαέρια, παράγοντας διοξίνες.

Οι εκπομπές μετάλλων αποτελούν ένα μέρος των συνολικών σωματιδιακών εκπομπών από τους αποτεφρωτές. Πηγή των μετάλλων είναι η τέφρα. Ανάλογα με το είδος του μετάλλου και την πίεση των ατμών του, τα μέταλλα μπορούν να διαφύγουν από τον αποτεφρωτή είτε σε αέρια είτε σε στερεά μορφή. Ο υδράργυρος και σε μικρότερο βαθμό το κάδμιο, απελευθερώνονται κυρίως στην αέρια φάση. Η διαδικασία της καύσης καθιστά ορισμένα μέταλλα βιολογικά περισσότερο ενεργά. Για παράδειγμα μετατρέπει ένα μέρος του καδμίου σε μορφή διαλυτών χλωριούχων (Cl) και θειικών αλάτων (SO<sub>4</sub>) και το μεγαλύτερο μέρος του χρωμίου στην εξασθενή του μορφή (Cr -6), με την οποία είναι καρκινογόνο.

Η κύρια οδός για την έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού στα βαρέα μέταλλα που απελευθερώνονται μέσω της αποτέφρωσης είναι η τροφική αλυσίδα. Ο υδράργυρος εναποτίθεται στην επιφάνεια του νερού και του εδάφους. Η εκπομπή του καδμίου στον αέρα γίνεται σε σωματιδιακή μορφή. Μετά την απόθεσή του στο έδαφος μπορεί να διοχετευθεί στα λαχανικά και στους καρπούς. Οι αναφερθείσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, έχουν παρατηρηθεί σε περιπτώσεις που σχετίζονται είτε με υψηλή ή με χρόνια έκθεση σε σωματιδιακό μέταλλο. Πολύ λιγότερα γνωστό είναι εάν οι μικρότερες δόσεις μπορούν να έχουν κάποια συγκεκριμένα αποτελέσματα. Παρότι οι εκπομπές βαρέων μετάλλων από τις μονάδες αποτέφρωσης δεν είναι απόλυτα συνδεδεμένες με τις αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, αναλύσεις επικινδυνότητας έχουν δείξει ότι γενικώς ο κίνδυνος από τα μέταλλα των αποτεφρωτών είναι υψηλότερος από τον κίνδυνο λόγω των οργανικών ενώσεων.

**Η ιπτάμενη τέφρα** εκτός από βαρέα μέταλλα περιέχει ακόμα υψηλές συγκεντρώσεις διαλυτών αλάτων, οργανικών και την υψηλότερη περιεκτικότητα από όλα τα κατάλοιπα σε χλωριωμένες οργανικές ενώσεις. Το επίπεδο διοξινών και φουρανίων κυμαίνεται από ppb έως ppb.



Τέλος, ως προς τα αέρια του θερμοκηπίου και ιδιαιτέρως το CO<sub>2</sub> όταν δεν έχουμε ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας, οι παραγόμενες εκπομπές είναι αρκετά σημαντικές, δεδομένου ότι στα απορρίμματα περιέχεται περίπου 25% κ.β. άνθρακας, ο οποίος κατά την καύση του δημιουργεί περίπου 1 τόνο CO<sub>2</sub> ανά τόνο απορριμμάτων.

#### 6.1.1.1 Ποιότητα αέριων εκπομπών

##### Διοξίνες και φουράνια

Σχεδόν τρεις δεκαετίες έρευνας σχετικά με τον σχηματισμό των PCDD/Fs κατά την αποτέφρωση των αποβλήτων έχουν αποκαλύψει τους κύριους μηχανισμούς σχηματισμού τους και τους παράγοντες που τις επηρεάζουν. Σήμερα γνωρίζουμε ότι :

- Τα PCDD/Fs σχηματίζονται κυρίως *via de novo synthesis* στο πίσω μέρος του καυστήρα.
- Η βελτιστοποίηση του ελέγχου ανάφλεξης και καύσης είναι κατάλληλα εργαλεία για την μείωση του επιπέδου των PCDD/Fs στο παραγόμενο αέριο και στα στερεά υπολείμματα
- Τα φίλτρα θα πρέπει να λειτουργούν σε θερμοκρασίες < 200 °C
- Αυξημένα επίπεδα αλογόνων δεν αυξάνουν τον σχηματισμό των PCDD/Fs αρκεί να επιτευχθεί καλή καύση
- Μόνιμα επίπεδα θείου εμποδίζουν τον σχηματισμό PCDD/Fs
- Τα PCDD/Fs μπορούν επίσης να σχηματιστούν μέσα στο θάλαμο καύσης αλλά αυτά μπορούν να καταστραφούν μετέπειτα.

Το επίπεδο των PCDD/Fs στο αέριο κατάντι του λέβητα μπορεί να κρατηθεί με τους κατάλληλους ελέγχους της διαδικασίας, κάτω από τα 5 ng(TE)/m<sup>3</sup> κάτι που επιτρέπει στη συνέχεια μια εύκολη εναρμόνιση με το σχεδόν παγκοσμίως καθιερωμένο όριο εκπομπής των 0,1 ng(TE)/m<sup>3</sup>. Οι εκπομπές τοξικών ρύπων από εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων έχουν μειωθεί δραστικά σε σχέση με το 1990. Οι ολικές εκπομπές διοξινών από τις 66 εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων π.χ. στη Γερμανία, έχουν μειωθεί στο ένα χιλιοστό σαν συνέπεια της τοποθέτησης φίλτρων εξαιτίας της νομοθεσίας που θεσπίστηκε. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές μειώθηκαν από 400 gr σε λιγότερα από 0,5 gr. Συνέπεια αυτού είναι ότι ενώ το 1990 το ένα τρίτο όλων των εκπομπών διοξινών στη Γερμανία προερχόταν από τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης, το ποσοστό αυτό το 2000 ήταν < 1% (Πίνακας 6.1).

	Εκπομπές ανά έτος σε g TU (μονάδες τοξικότητας)		
	1990	1994	2000
Μεταλλευτικές δραστηριότητες	740	220	40
Αποτέφρωση αποβλήτων	400	32	0,5
Εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας	5	3	3
Βιομηχανικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης	20	15	<10
Οικιακά συστήματα θέρμανσης	20	15	<10
Αυτοκίνητα	10	4	<1
Κρεματόρια	4	2	<2
Συνολικές εκπομπές	1.200	330	<<10

Πίνακας 6.1 Πηγές διοξινών στη Γερμανία – Ετήσιες εκπομπές

Αντίστοιχα νούμερα ισχύουν στη Μεγάλη Βρετανία και στις ΗΠΑ όπου και εκεί η πτώση ήταν της τάξης του 1000%.

### Βαρέα μέταλλα

Ο υδράργυρος είναι ένας καλός δείκτης της δραματικής μείωσης των εκπομπών από εγκαταστάσεις αποτέφρωσης στα τέλη του 20ού αιώνα. Μια μελέτη από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας (National Renewable Energy Laboratory) ανέφερε ότι το 1989, οι εκπομπές από όλες τις αμερικανικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης περιελάμβαναν 81,8 τόνους υδραργύρου. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '90, οι συνολικές εκπομπές από τις εγκαταστάσεις αυτές στις Η.Π.Α. είχαν μειωθεί σε 26,9 τόνους υδραργύρου.

Παρόμοια εικόνα συναντάμε και στις εκπομπές βαρέων μετάλλων και συγκεκριμένα υδραργύρου αλλά και μόλυβδου στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης της Γερμανίας όπου υπήρξε μια εντυπωσιακή μείωση των εκπομπών τους λόγω της κατακράτησής τους από τις διατάξεις ελέγχου των αερίων. Έτσι ενώ το 1990 οι εκπομπές από την αποτέφρωση ΑΣΑ έφταναν τα 57.900 kg σε μόλυβδο και 347 kg σε υδράργυρο, τα αντίστοιχα ποσοστά έπεσαν σε 130,5 kg (ισοδύναμο με το 0,2% των αρχικών εκπομπών) και 4,5 kg (1,3% των αρχικών εκπομπών) το έτος 2001 (Πίνακας 6.2).

	1990	2001
<b>Μόλυβδος</b>	57.900 kg	130.5 kg (= 0.2% των αρχικών εκπομπών)
<b>Υδράργυρος</b>	347 kg	4.5 kg (= 1.3% των αρχικών εκπομπών)
<b>Τέφρα (λεπτά σωματίδια)</b>	25.000 τόνοι (= μέγιστο 30 mg/m <sup>3</sup> αερίων)	< 3000 τόνοι

Πίνακας 6.2 Ετήσιες εκπομπές στη Γερμανία

Έτσι οι εκπομπές αυτών των στοιχείων δεν είναι πλέον σημαντικές για την πρόκληση κινδύνου στον άνθρωπο. Αν και δεν υπάρχουν τα τελευταία στοιχεία μέχρι το 2007, σύμφωνα με πληροφορίες από την Federal Environmental Agency τα μεγέθη των δύο αυτών βαρέων μετάλλων, λόγω των εκπομπών τους από άλλες ρυπογόνες πηγές - από



τα επιβατικά αυτοκίνητα μέχρι τα εργοστάσια ενέργειας - ήταν 624.000 kg για το μόλυβδο και 31.000 kg για τον υδράργυρο. Δηλαδή, αυτά τα μεγέθη είναι κατά χίλιες φορές μεγαλύτερα από αυτά των εκπομπών από τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης με παραγωγή ενέργειας.

Τα ίδια μεγέθη ισχύουν και στη Σουηδία για τις εκπομπές καδμίου και υδραργύρου που κατά την περίοδο 1985 - 1999 μειώθηκαν κατά περίπου 99% ενώ κατά την ίδια χρονική περίοδο και οι εκπομπές του ψευδάργυρου έπεσαν από 54.000 kg σε 90 kg ανά έτος, οι εκπομπές μολύβδου έφτασαν από τα 25.000 kg τα 35 kg ανά έτος και οι εκπομπές των PCDD/PCDFs μειώθηκαν από 90 g σε μόλις 3 g το χρόνο.

Επίσης, πριν το 1990 όλα τα εργοστάσια ΑΣΕ στη Γερμανία εξέπεμπαν 25.000 τόνους τέφρας (ή ένα μέγιστο 30 mg/m<sup>3</sup> αέρα). Το 2001 αυτό το νούμερο έπεσε στους 3.000 τόνους. Σήμερα οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων μπορούν να εκπέμπουν μια μέγιστη συγκέντρωση της τάξης του 10 mg/m<sup>3</sup> τέφρας στα απαέρια. Στην πράξη όμως αυτό το νούμερο είναι περίπου 1 mg/m<sup>3</sup> γιατί στον υπολογισμό πρέπει να συμπεριλάβουμε και το κέρδος από τις εκπομπές τέφρας από τα συμβατικά εργοστάσια ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση από μια σύγκριση με τις ετήσιες εκπομπές των 171.000 τόνων ιτάμενης τέφρας της Γερμανίας προκύπτει ότι η εκπομπή από τα εργοστάσια ΑΣΕ είναι αμελητέα. .

#### Διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3 με βάση την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια [kg/MWh] οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων με παραγωγή ενέργειας (ΑΣΕ) εκπέμπουν σημαντικά χαμηλότερες ποσότητες CO<sub>2</sub> από κάθε άλλη μονάδα παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα. Επίσης, εκπέμπουν λιγότερο SO<sub>2</sub> από τις μονάδες που χρησιμοποιούν κάρβουνο ή πετρέλαιο αλλά περισσότερο από τις μονάδες που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο. Τέλος, σε σχέση με τα NO<sub>x</sub> εκπέμπουν αντίστοιχες ποσότητες με τις μονάδες που χρησιμοποιούν ως καύσιμο κάρβουνο και πετρέλαιο αλλά αρκετά υψηλότερες σε σχέση με τις μονάδες που έχουν σαν καύσιμο το φυσικό αέριο.

Καύσιμο	CO <sub>2</sub> [kg / MWh]	SO <sub>2</sub> [kg / MWh]	NO <sub>x</sub> [kg / MWh]
Α.Σ.Α	379,66	0,36	2,45
Κάρβουνο	1.020,14	5,90	2.72
Πετρέλαιο	758,41	5,44	1.81
Φυσικό αέριο	514,83	0,05	0,77

Πίνακας 6.3 Εκπομπές CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> από διάφορες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας

Η ΕΡΑ λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα αποτελέσματα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι εγκαταστάσεις ΑΣΕ "παράγουν ενέργεια με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από σχεδόν κάθε άλλη πηγή ηλεκτρισμού". Η καύση ΑΣΑ παράγει NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub> καθώς και ποσότητες από άλλους ρύπους όπως ενώσεις του υδραργύρου και διοξίνες. Αν και οι εγκαταστάσεις ΑΣΕ εκπέμπουν CO<sub>2</sub> (το πρωτεύον αέριο του θερμοκηπίου), ένα ποσοστό αυτού θεωρείται ότι είναι τμήμα του φυσικού κύκλου του άνθρακα στη γη. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους, τα δέντρα και τα φυτά από τα οποία παράγονται τελικά τα απόβλητα χαρτιού και τροφής δεσμεύουν CO<sub>2</sub> που υπάρχει ήδη στην ατμόσφαιρα, το οποίο κατά την αποτέφρωσή τους επιστρέφει ξανά σ'αυτή. Έτσι ουσιαστικά δεν υπάρχει παραγωγή νέων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα. Σε αντίθεση μ'αυτό η καύση ορυκτών



καυσίμων προκαλεί την αποδέσμευση CO<sub>2</sub> που δεν ήταν μέρος της ατμόσφαιρας της γης για πολύ μεγάλο διάστημα (στην ανθρώπινη χρονική κλίμακα) και κατά συνέπεια επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με νέες ποσότητες.

Για να εκτιμήσουμε την περιβαλλοντική συμβατότητα της αποτέφρωσης αποβλήτων και για να δούμε τις μελλοντικές ανάγκες εξέλιξης θα ήταν χρήσιμο να εξετάσουμε τις εκπομπές μιας σύγχρονης εγκατάστασης ΑΣΕ. Αυτό έχει γίνει στον Πίνακα 6.4 για ένα πλήθος ενώσεων. Η δεύτερη στήλη δείχνει τις τυπικές τιμές εκπομπών μιας τέτοιας εγκατάστασης. Η τρίτη στήλη δείχνει τις μέσες συγκεντρώσεις υποβάθρου των ενώσεων αυτών στον αέρα και η τέταρτη στήλη δείχνει τις επιπρόσθετες συγκεντρώσεις στο σημείο όπου το πλούμιο φτάνει στο έδαφος. Αυτό είναι το σημείο στο οποίο ο περιβάλλον αέρας θα δεχτεί τη μέγιστη συγκέντρωση από τις εκπομπές της καμινάδας και κατά συνέπεια τα δεδομένα παρουσιάζουν τη δυσμενέστερη περίπτωση. Τα δεδομένα έχουν υπολογιστεί από τις τιμές των εκπομπών μέσω ενός μοντέλου διασποράς υποθέτοντας ένα όγκο ρεύματος 100.000m<sup>3</sup>/h και υψος καμινάδας 65m.

Ένωση	Εκπομπές καμινάδας	Συγκεντρώσεις υποβάθρου	Επιπρόσθετες εκπομπές	"Ρυπασμένος" αέρας
HCl	5 mg/m <sup>3</sup>	30 mg/m <sup>3</sup>	0.15 mg/m	0.15 mg/m
SO <sub>2</sub>	20 mg/m <sup>3</sup>	20 mg/m <sup>3</sup>	0.6 mg/m <sup>3</sup>	20.6 mg/m <sup>3</sup>
dust	1 mg/m <sup>3</sup>	40 mg/m	0.03 mg/m	40.03 mg/m <sup>3</sup>
Cd	5 mg/m <sup>3</sup>	3 ng/m <sup>3</sup>	0.15 ng/m <sup>3</sup>	3.15 ng/m
Hg	10 mg/m <sup>3</sup>	5 ng/m <sup>3</sup>	0.3 ng/m <sup>3</sup>	5.3 ng/m <sup>3</sup>
PCDD/Fs (TEQ)	0.05 ng/m <sup>3</sup>	50 fg/m <sup>3</sup>	1.5 fg/m <sup>3</sup>	51.5 fg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 6.4 Περιβαλλοντική συσχέτιση των εκπομπών καμινάδας από μια εγκατάσταση ΑΣΕ

Η τελευταία στήλη παρουσιάζει το άθροισμα της συγκέντρωσης του περιβάλλοντος αέρα και της επιπρόσθετης συγκέντρωσης της εκπομπής από την εγκατάσταση. Τα αποτελέσματα παρέχουν αποδείξεις ότι οι εκπομπές της καμινάδας μιας σύγχρονης μονάδας ΑΣΕ αυξάνει ποσοστιαία ελάχιστα το είδη χαμηλό επίπεδο των υπάρχοντων συγκεντρώσεων υποβάθρου. Αυτές οι εκπομπές δεν αποτελούν κανένα περιβαλλοντικό κίνδυνο. Κάτι που ισχύει ακόμα και για τις κρίσιμες ενώσεις των PCDD/Fs και του Hg.

#### Μονοξείδιο του άνθρακα

Κατά τη διάρκεια της αποτέφρωσης των ΑΣΑ σχηματίζεται μονοξείδιο του άνθρακα σαν προϊόν ατελούς καύσης. Το CO μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης προειδοποίησης ατελούς καύσης και είναι ένα σημαντικό ποιοτικό κριτήριο για το επίπεδο της ανάφλεξης των αερίων. Σαν κανόνας το CO μετράται σε καθημερινή βάση στις εγκαταστάσεις και η μέση τιμή του κυμαίνεται κάτω από τα 50 mg / m<sup>3</sup>. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις η μέση ημερήσια τιμή κυμαίνεται κάτω από τα 10 mg/m<sup>3</sup>.



### Οξειδία του αζώτου

Κατά την αποτέφρωση των ΑΣΑ στους αποτεφρωτές παράγονται οξειδία του αζώτου NO<sub>x</sub> (NO, NO<sub>2</sub>), τα οποία ουσιαστικά σχηματίζονται:

- από το άζωτο που περιέχεται στα απόβλητα,
- από την ίδια τη διαδικασία ανάφλεξης και
- από την αυθόρμητη αντίδραση.

Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου στα απαέρια μετρούνται συνεχώς κατά κανόνα στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης. Αν δεν ληφθεί καμία ενέργεια στους αποτεφρωτές των ΑΣΑ για την απομάκρυνση του αζώτου, τότε οι εκπομπές αναμένεται να κυμανθούν μεταξύ 350 και 400 mg/m<sup>3</sup>. Ένα επίπεδο της τάξης των 200 mg/m<sup>3</sup> μπορεί να επιτευχθεί με ασφάλεια αν χρησιμοποιηθούν κατάλληλα μέτρα επεξεργασίας όπως η μη καταλυτική μείωση (Non Selective Catalytic Reduction) ή η επιλεκτική καταλυτική μείωση (Selective Catalytic Reduction). Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις οι επιτυγχανόμενες συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 100 έως 150 mg/m<sup>3</sup> όταν χρησιμοποιείται η τεχνολογία SNCR και <70 mg/m<sup>3</sup> όταν χρησιμοποιείται η τεχνολογία SCR.

### Νιτρικά οξειδία

Όπως τα οξειδία του αζώτου NO και NO<sub>2</sub> έτσι και το νιτρικό οξείδιο N<sub>2</sub>O είναι σημαντικά από περιβαλλοντικής άποψης. Επίπεδα εκπομπών της τάξης του 1 έως 12 mg/m<sup>3</sup> έχουν υπολογιστεί σε μετρήσεις εγκαταστάσεων αποτέφρωσης με το μέσο όρο να κυμαίνεται στο 1-2 mg/m<sup>3</sup>.

### Αμμωνία NH<sub>3</sub>

Στην αποτέφρωση των ΑΣΑ οι εκπομπές αμμωνίας NH<sub>3</sub> οφείλονται κυρίως στην αμμωνία (και επίσης στο νερό αμμωνίας) που χρησιμοποιείται στα μέτρα επεξεργασίας των απαερίων για την απομάκρυνση του αζώτου (SNCR, SCR). Σαν κανόνας οι εκπομπές (όπως προσδιορίστηκαν από μετρήσεις) κυμαίνονται μεταξύ 1 - 10 mg/m<sup>3</sup>. Η μέση τιμή λαμβάνεται ίση με 4 mg/m<sup>3</sup>.

### Μη μεθανογενείς πτητικές οργανικές ενώσεις

Οι οργανικές ενώσεις (οργανικός άνθρακας) στα απαέρια της αποτέφρωσης των ΑΣΑ μετρούνται συνεχώς μέσω της παραμέτρου TOC. Αυτή η παράμετρος αποτελεί δείκτη του επιπέδου της καύσης που επιτυγχάνεται σε μια διαδικασία αποτέφρωσης. Οι εκπομπές μιας σύγχρονης εγκατάστασης είναι της τάξης του 1 mg/m<sup>3</sup> το δε όριο είναι 10 mg/m<sup>3</sup>.

#### **6.1.2 Υγρά**

Τα υγρά απόβλητα, που παράγονται κατά την καύση των απορριμμάτων, προέρχονται από την επεξεργασία των απαερίων (π.χ. πλυντρίδες) και την απομάκρυνση των στερεών καταλοίπων.

Τα μεν πρώτα συνήθως περιέχουν βαρέα μέταλλα, όπως Pb, Cd, Cu, Hg, Zn, As, κ.α., ενώ τα δεύτερα περιέχουν κυρίως άλατα και άκαυστα οργανικά. Είναι έντονα αλκαλικά και περιέχουν και πολλά αιωρούμενα σωματίδια και βαρέα μέταλλα.

### 6.1.3 Στερεά

Περιέχουν γενικώς τους ίδιους ρύπους με τις αέριες εκπομπές, αλλά σε διαφορετικές αναλογίες και συγκεντρώσεις. Στο στερεό υπόλειμμα περιέχονται μέταλλα, ενώ μια τυπική σύσταση αυτών είναι 45-60% SiO<sub>2</sub>, 5-10% ενώσεις Ca και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3-15% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και μικρότερα ποσοστά Mg, Na και K.

Όσον αφορά στις οργανικές ενώσεις, που περιέχονται στα στερεά υπολείμματα της καύσης, οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι λίγες, εκτός από την περίπτωση διοξινών και φουρανίων. Είναι πάντως γνωστό ότι δεν διαλυτοποιούνται σε νερό και δεν πρέπει να διατίθενται μαζί με οργανικούς διαλύτες.

#### 6.1.3.1 Ποιότητα στερεών υπολειμμάτων

##### Καθίζανουσα τέφρα

Η βάση για όλες τις συζητήσεις σχετικά με τα στερεά υπολείμματα της αποτέφρωσης των απορριμμάτων, είναι η γνώση των διαφορετικών ρευμάτων ΑΣΑ που εισέρχονται στον αποτεφρωτή. Σε ένα τυπικό σύγχρονο εργοστάσιο η τέφρα που καθιζάνει κυμαίνεται μεταξύ 15 - 25% κ.β. των απορριμμάτων. Η τέφρα αυτή περιέχει σημαντικές ποσότητες σιδηρούχων και μη σιδηρούχων scrap μετάλλων (π.χ. Fe, Al).

Η παραγωγή στάχτης από το βραστήρα εξαρτάται από τον τύπο του και από την ποσότητα της στάχτης που αρχικά απελευθερώθηκε από τις εσχάρες. Τυπικά μεγέθη τιμών σε σύγχρονες μονάδες είναι 2-5 kg / Mg αποβλήτων. Η στάχτη από το βραστήρα δε θα πρέπει να ενώνεται με την τέφρα των εσχάρων αλλά θα πρέπει να επεξεργάζεται μαζί με τη στάχτη από τα φίλτρα, κάτι το οποίο έχει ήδη νομοθετηθεί σε αρκετές χώρες.

Η ποσότητα των λεπτών σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας που απομακρύνονται από τα απαέρια μέσω των ηλεκτροστατικών κατακρημιστών κυμαίνεται μεταξύ 7-15 kg / Mg. Η ποσότητα των υπολειμμάτων που κατακρατείται στα συστήματα ελέγχου των απαερίων κυμαίνεται, ανάλογα με το είδος του συστήματος από 10 - 60 kg / Mg αποβλήτων.

##### Βαρέα μέταλλα

Η τέφρα των εσχάρων ή αλλιώς η καθιζάνουσα στάχτη μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα μίγμα πυριτικών και οξειδικών φάσεων. Όμως, η μείωση της μάζας και του όγκου των αποβλήτων κατά την αποτέφρωση προκαλεί τον εμπλουτισμό της τέφρας αυτής με μια σημαντική ποσότητα βαρέων μετάλλων, σε σύγκριση με τις αρχικές τους συγκεντρώσεις στα απόβλητα. Με εξαίρεση το As και τον Hg όλα τα βαρέα μέταλλα, ακόμα και αυτά με σημαντική πτητικότητα όπως το Cd συναντώνται σε υψηλές συγκεντρώσεις στην τέφρα των εσχάρων σε σχέση με τις συγκεντρώσεις τους στη λιθόσφαιρα. Γι' αυτό και αυτά τα υλικά πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα κατά την τελική τους διάθεση ή χρήση. Σύμφωνα π.χ. με την Ελβετική νομοθεσία αυτή η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο για τη διάθεσή τους.

Οι στάχτες του λέβητα καθιζάνουν σε θερμοκρασίες μεταξύ 800 και 200 °C, ενώ οι στάχτες στα φίλτρα σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 200 °C. Αυτό συμβαίνει γιατί τα βαρέα μέταλλα και άλλα είδη που αεριοποιούνται μέσα στο θάλαμο ανάφλεξης συμπυκνώνονται σε



κάποιο βαθμό στις επιφάνειες αυτές και οι συγκεντρώσεις στοιχείων όπως Cl, Zn, As ή Pb μπορούν να ξεπεράσουν σημαντικά αυτές της καθιζάνουσας τέφρας των εσχαρών.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας εκτός από τα βαρέα μέταλλα είναι και το περιεχόμενο της τέφρας αυτής σε άλατα. Για τη διάθεσή τους ο περιορισμός για την περιεκτικότητα σε άλατα έχει νομοθετηθεί στη Γερμανία μόνο για το διαλυτό κλάσμα και την ηλεκτρική αγωγιμότητα ενώ για τη χρήση δίνονται συγκεκριμένα όρια για τα χλωρίδια και τα σουλφίδια. Ένας επίσης σημαντικός παράγοντας τόσο για τη διάθεση όσο και για τη χρήση της στάχτης, είναι και ο TOC (Total Organic Carbon) ο οποίος χαρακτηρίζει και την ποιότητα της καύσης. Ο Γερμανικός TORW (Technical Ordinance Residential Waste) έχει ορίσει το όριο του TOC σε 1% κ.β. για διάθεση σε ΧΥΤΑ κατηγορίας I, δηλαδή για ΧΥΤΑ που μπορεί να δεχτεί όλων των ειδών μη επικίνδυνα στερεά απορρίμματα, αστικά, εμπορικά και βιομηχανικά απορρίμματα. Σε σύγχρονες μονάδες η τιμή του TOC της τέφρας είναι χαμηλότερη από αυτό το όριο. Σε ειδικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε ότι μια αύξηση της θερμογόνου δύναμης των αποβλήτων, η οποία οδηγεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες καύσης, έχει σαν αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα τέφρας.

#### 6.1.4 Έλεγχος εκπομπών

Για τον πλήρη έλεγχο των εκπομπών απαιτείται διενέργεια δειγματοληψιών και αναλύσεων για προσδιορισμό της σύστασης των:

- εισερχομένων στερεών αποβλήτων
- παραγόμενων στερεών (υπολείμματα - ιπτάμενη τέφρα)
- παραγόμενων αερίων
- υγρών αποβλήτων που παράγονται κατά την επεξεργασία των απαερίων

Οι δειγματοληψίες για τα εισερχόμενα στερεά απόβλητα πραγματοποιούνται στο σύστημα τροφοδοσίας της εγκατάστασης, με λήψη δείγματος το οποίο ομογενοποιείται και αναλύεται.

Οι δειγματοληψίες των υπολειμμάτων και της ιπτάμενης τέφρας πραγματοποιούνται στο σύστημα των εσχαρών, των θερμαντικών επιφανειών και στο σύστημα μεταφοράς των υπολειμμάτων.

Οι δειγματοληψίες των υγρών αποβλήτων και των αερίων πραγματοποιούνται στα σημεία απόρριψης και εκπομπής τους, αντίστοιχα.

#### **Απαιτήσεις για τις μετρήσεις**

##### Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων

Στις μονάδες αποτέφρωσης εκτελούνται οι παρακάτω μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων:

- i. Συνεχείς μετρήσεις των: NO<sub>x</sub>, CO, ολικός κονιορτός, TOC, HCl, HF, SO<sub>2</sub>.
- ii. Τουλάχιστον δύο μετρήσεις ετησίως των βαρέων μετάλλων, των διοξινών και των φουρανίων. Κατά το πρώτο δωδεκάμηνο λειτουργίας, εκτελείται μία μέτρηση τουλάχιστον ανά τρίμηνο.
- iii. Επιτρέπεται αντί της συνεχούς, η περιοδική μέτρηση των HCl, HF και SO<sub>2</sub>, εάν ο φορέας εκμετάλλευσης της μονάδας είναι σε θέση να αποδείξει ότι οι εκπομπές των ρύπων αυτών σε καμία περίπτωση δεν πρόκειται να υπερβούν τις καθορισμένες οριακές τιμές.

- iv. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διενεργούνται για να εξακριβωθεί η τήρηση των οριακών τιμών εκπομπών ανάγονται στις ακόλουθες συνθήκες:
- Θερμοκρασία 273 K, πίεση 101,3 kPa, περιεκτικότητα σε οξυγόνο 11%, ξηρό αέριο.
  - Σε περίπτωση αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης των αποβλήτων σε ατμόσφαιρα εμπλουτισμένη σε οξυγόνο, τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να ανάγονται σε περιεκτικότητα σε οξυγόνο, την οποία καθορίζει η αρμόδια αρχή ανάλογα με τις εκάστοτε ειδικές συνθήκες.
- v. Οι οριακές τιμές εκπομπών στον ατμοσφαιρικό αέρα θεωρείται ότι τηρούνται, εάν:
- καμία από τις ημερήσιες μέσες τιμές δεν υπερβαίνει τις οριακές τιμές εκπομπών που καθορίζονται στον Πίνακα 6.5
  - καμία από τις μέσες τιμές ανά ημίωρο δεν υπερβαίνει είτε τις οριακές τιμές εκπομπής που καθορίζονται στον Πίνακα 6.6 (στήλη Α), είτε εφόσον συντρέχει λόγος, το 97% των μέσων τιμών ανά ημίωρο κατά τη διάρκεια του έτους δεν υπερβαίνει καμία από τις οριακές τιμές εκπομπής που καθορίζονται στον Πίνακα 6.6 (στήλη Β)
  - καμία από τις μέσες τιμές της περιόδου δειγματοληψίας που καθορίζει για τα βαρέα μέταλλα, τις διοξίνες και τα φουράνια δεν υπερβαίνει τις οριακές τιμές εκπομπών που καθορίζονται στον Πίνακα 6.7
  - πληρούνται τα προβλεπόμενα στον Πίνακα 6.8
- vi. Οι μέσες τιμές ημίωρου και οι μέσες τιμές δεκαλέπτου προσδιορίζονται εντός του πραγματικού χρόνου λειτουργίας (εξαιρουμένων των φάσεων εκκίνησης και διακοπής, εάν δεν αποτεφρώνονται απόβλητα) από τις τιμές που έχουν προκύψει από τις μετρήσεις, αφού αφαιρεθεί η τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης. Οι ημερήσιες μέσες τιμές προσδιορίζονται από τις ανωτέρω επικυρωμένες μέσες τιμές.

Ολικός κονιορτός	10 mg/m <sup>3</sup>
Οργανικές ουσίες υπό μορφή αερίων και ατμών, υπολογιζόμενες ως ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροχλώριο (HCl)	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροφθόριο (HF)	1 mg/m <sup>3</sup>
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	50 mg/m <sup>3</sup>
Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας άνω των τριών τόνων ή νέες μονάδες αποτέφρωσης	200 mg/m <sup>3</sup>
Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας τριών τόνων ή μικρότερης	400 mg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 6.5 Οριακές ημερήσιες τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων



	(100%) A	(97 %) B
Ολικός κονιορτός	30 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Οργανικές ουσίες υπό μορφή αερίων και ατμών, υπολογιζόμενες ως ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	20 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροχλώριο (HCl)	60 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Υδροφθόριο (HF)	4 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	200 mg/m <sup>3</sup>	50 mg/m <sup>3</sup>
Υποξείδιο του αζώτου (NO) και οξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), υπολογιζόμενα ως οξείδιο του αζώτου, για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας άνω των τριών τόνων ή νέες μονάδες αποτέφρωσης	400 mg/m <sup>3</sup>	200 mg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 6.6 Οριακές τιμές ημιώρου για ατμοσφαιρικούς ρύπους

Κάδμιο και ενώσεις του, ως κάδμιο (Cd)	<b>σύνολο</b>	
Θάλλιο και ενώσεις του, ως θάλλιο (Tl)		
Υδράργυρος και ενώσεις του, ως υδράργυρος (Hg)	<b>0,05 mg/m<sup>3</sup></b>	
Αντιμόνιο και ενώσεις του, ως αντιμόνιο (Sb)	<b>σύνολο 0,5 mg/m<sup>3</sup></b>	
Αρσενικό και ενώσεις του, ως αρσενικό (As)		
Μόλυβδος και ενώσεις του, ως μόλυβδος (Pb)		
Χρώμιο και ενώσεις του, ως χρώμιο (Cr)		
Κοβάλτιο και ενώσεις του, ως κοβάλτιο (Co)		
Χαλκός και ενώσεις του, ως χαλκός (Cu)		
Μαγγάνιο και ενώσεις του, ως μαγγάνιο (Mn)		
Νικέλιο και ενώσεις του, ως νικέλιο (Ni)		
Βανάδιο και ενώσεις του, ως βανάδιο (V)		
Διοξίνες και φουράνια *		<b>0,1 ng/m<sup>3</sup></b>

Πίνακας 6.7 Μέσες τιμές περιόδου δειγματοληψίας ατμοσφαιρικών ρύπων ελάχιστης διάρκειας 30 λεπτών και μέγιστης διάρκειας 8 ωρών.

<b>Μέση ημερήσια τιμή</b>	<b>50 mg/m<sup>3</sup> καυσαερίων</b>
Τουλάχιστον στο 95% όλων των μετρήσεων, ως μέσες τιμές δεκαλέπτου	150 mg/m <sup>3</sup> καυσαερίων
Στο σύνολο των μετρήσεων, ως μέσες τιμές ημιώρου, λαμβανόμενες κατά τη διάρκεια όλου του 24ώρου	100 mg/m <sup>3</sup> καυσαερίων

Πίνακας 6.8 Οριακές τιμές εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα

Για να ληφθεί έγκυρη ημερήσια μέση τιμή, δεν απορρίπτονται περισσότερες από πέντε μέσες τιμές ημιώρου στη διάρκεια μίας ημέρας για λόγους ελαττωματικής λειτουργίας ή συντήρησης του συστήματος συνεχών μετρήσεων. Στη διάρκεια ενός έτους δεν απορρίπτονται περισσότερες από δέκα ημερήσιες μέσες τιμές για λόγους ελαττωματικής λειτουργίας ή συντήρησης του συστήματος συνεχών μετρήσεων. Αναφορικά με τις τεχνικές μετρήσεων επισημαίνονται τα εξής:

- Οι μετρήσεις για τον καθορισμό των συγκεντρώσεων ρυπαντικών ουσιών του αέρα και των υδάτων πρέπει να εκτελούνται κατά αντιπροσωπευτικό τρόπο.
- Η δειγματοληψία και η ανάλυση όλων των ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των διοξινών και των φουρανίων, καθώς και οι μετρήσεις με μεθόδους αναφοράς για τη βαθμονόμηση των αυτόματων συστημάτων μετρήσεων, διεξάγονται όπως ορίζουν τα πρότυπα CEN. Εάν δεν υπάρχουν τα πρότυπα CEN, ισχύουν τα πρότυπα ISO, εθνικά ή άλλα διεθνή πρότυπα που εξασφαλίζουν την παροχή δεδομένων ισοδύναμης επιστημονικής ποιότητας.
- Οι τιμές των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% ενός μεμονωμένου αποτελέσματος μέτρησης, που προσδιορίζονται επί της ημερήσιας οριακής τιμής εκπομπών, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα ακόλουθα ποσοστά επί τοις εκατό των οριακών τιμών εκπομπών:
  - Μονοξειδίο του άνθρακα: 10%
  - Διοξείδιο του θείου: 20%
  - Οξείδιο του αζώτου: 20%
  - Ολικός κονιορτός: 30%
  - Ολικός οργανικός άνθρακας: 30%
  - Υδροχλώριο: 40% . Υδροφθόριο: 40%.

#### Υγρά απόβλητα από την επεξεργασία των αεαρίων

- i. Εκτελούνται οι παρακάτω μετρήσεις στο σημείο απόρριψης των αποβλήτων:
  - συνεχείς μετρήσεις των παραμέτρων: pH, θερμοκρασία, παροχή
  - μεμονωμένες ημερήσιες μετρήσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών
  - τουλάχιστον μηνιαίες μετρήσεις, με αντιπροσωπευτικά και ανάλογα με τη ροή δείγματα της απόρριψης εικοσιτετράωρου, των ρυπαντικών ουσιών που αναφέρονται στον Πίνακα 6.9.
  - τουλάχιστον μετρήσεις ανά εξάμηνο των διοξινών και των φουρανίων. Κατά το πρώτο όμως δωδεκάμηνο λειτουργίας, εκτελείται μία μέτρηση τουλάχιστον ανά τρίμηνο.
- ii. Οι οριακές τιμές για τις εκπομπές στα ύδατα θεωρείται ότι τηρούνται, εάν:
  - για το σύνολο των αιωρούμενων στερεών, το 95% και το 100% των μετρούμενων τιμών δεν υπερβαίνει τις αντίστοιχες οριακές τιμές εκπομπών που καθορίζονται στον Πίνακα 6.9.
  - για τα βαρέα μέταλλα, μία και μόνη μέτρηση ανά έτος υπερβαίνει τις οριακές τιμές εκπομπών που καθορίζονται στον Πίνακα 6.9 ή εάν οι αρμόδιες αρχές προβλέπουν τη λήψη και ανάλυση περισσότερων από 20 δειγμάτων ανά έτος, το ποσοστό των δειγμάτων αυτών να μην υπερβαίνει το 5%, για τις οριακές τιμές που ορίζονται στον Πίνακα 6.9.
  - για τις διοξίνες και τα φουράνια, τα αποτελέσματα των δύο μετρήσεων δεν υπερβαίνουν την οριακή τιμή εκπομπής που καθορίζεται στον Πίνακα 6.9.



<b>Ρυπαντικές ουσίες</b>	<b>Οριακές τιμές εκπομπών εκφρασμένες ως συγκεντρώσεις κατά μάζα για αδιάθιτα δείγματα</b>
Ολικά αιωρούμενα στερεά, όπως ορίζονται στην οδηγία 91/271/ΕΟΚ	95% / 30mg/l 100% / 45 mg/l
Υδράργυρος και ενώσεις του, ως υδράργυρος (Hg)	0,03 mg/l
Κάδμιο και ενώσεις του, ως κάδμιο (Cd)	0,05 mg/l
Θάλλιο και ενώσεις του, ως θάλλιο (Tl)	0,05 mg/l
Αρσενικό και ενώσεις του, ως αρσενικό (As)	0,15 mg/l
Μόλυβδος και ενώσεις του, ως μόλυβδος (Pb)	0,2 mg/l
Χρώμιο και ενώσεις του, ως χρώμιο (Cr)	0,5 mg/l
Χαλκός και ενώσεις του, ως χαλκός (Cu)	0,5 mg/l
Νικέλιο και ενώσεις του, ως νικέλιο (Ni)	0,5 mg/l
Ψευδάργυρος και οι ενώσεις του, ως ψευδάργυρος (Zn)	1,5 mg/l
Διοξίνες και φουράνια	0,3 ng/l

Πίνακας 6.9 Οριακές τιμές εκπομπών για τις απορρίψεις υγρών αποβλήτων προερχόμενων από τον καθαρισμό των απαερίων.

### Στερεά απόβλητα

Πριν καθορισθεί η τεχνική για την επεξεργασία των στερεών υπολειμμάτων της λειτουργίας των μονάδων αποτέφρωσης, διεξάγονται κατάλληλες μετρήσεις για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, καθώς και του ρυπογόνου δυναμικού των υπολειμμάτων αυτών. Οι μετρήσεις καλύπτουν το συνολικό υδατοδιαλυτό κλάσμα και το υδατοδιαλυτό κλάσμα βαρέων μετάλλων.

### Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών

Οι αρμόδιες αρχές μπορούν να επιτρέψουν εξαιρέσεις όσον αφορά τα NO<sub>x</sub> για υφιστάμενες μονάδες αποτέφρωσης:

- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μικρότερης ή ίσης των 6 τόνων, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 500 mg/m<sup>3</sup> και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2008.
- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μεγαλύτερης των 6 τόνων, αλλά μικρότερης ή ίσης των 16 τόνων, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 400 mg/m<sup>3</sup> και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2010.
- ονομαστικής ωριαίας δυναμικότητας μεγαλύτερης των 16 τόνων, αλλά κατώτερης των 25 τόνων η οποία δεν παράγει απορρίψεις στα ύδατα, εφόσον η άδεια προβλέπει ημερήσιες μέσες τιμές το πολύ 300 mg/m<sup>3</sup> και μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2008.

Η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα απαέρια (εξαιρουμένων των φάσεων έναρξης και διακοπής) δεν υπερβαίνει τις ανωτέρω οριακές τιμές εκπομπών. Η αρμόδια αρχή μπορεί να εγκρίνει εξαιρέσεις για μονάδες στις οποίες χρησιμοποιείται τεχνολογία ρευστοστερεάς κλίνης, με την προϋπόθεση ότι στη σχετική άδεια προβλέπεται οριακή τιμή εκπομπών για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) 100 mg/m<sup>3</sup> κατ' ανώτατο όριο, ως ωριαία μέση τιμή.

#### Οριακές τιμές από την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων

Αναφορικά με τα στερεά υπολείμματα, λόγω του ρυπαντικού τους φορτίου απαιτείται αποτελεσματική επεξεργασία τους και όπου είναι δυνατόν η ανακύκλωσή τους. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο επεξεργασίας, πρέπει να επιτυγχάνονται τα εξής:

- Περιεκτικότητα σε άκαυστο υλικό μέχρι 2% (επί ξηρής βάσης).
- Περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά συστατικά μέχρι 1% (επί ξηρής βάσης).
- Η περιεκτικότητα σε νερό να είναι η μικρότερη δυνατή.
- Η περιεκτικότητα σε σίδηρο να είναι πολύ μειωμένη.
- Πλήρης καταστροφή των διοξινών - φουρανίων.

Στον πίνακα 6.10 δίδονται οι οριακές τιμές που πρέπει να πληρούνται μετά την επεξεργασία των στερεών υπολειμμάτων για τους κυριότερους ρύπους που περιέχονται σε αυτά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Τιμή (mg/l)
Χλωριόντα	250
Θειικά	600
Φθόριο	3
Μόλυβδος	0,1
Κάδμιο	0,004
Χρώμιο	0,04
Χαλκός	0,5
Νικέλιο	0,04
Ψευδάργυρος	0,5
Υδράργυρος	0,001

Πίνακας 6.10 Οριακές τιμές εκπομπών ρυπαντικών παραμέτρων στα στερεά απόβλητα μετά την επεξεργασία τους.

#### **Μέτρα για μείωση των εκπομπών**

Βασικός στόχος πριν από την εφαρμογή κατάλληλων αντιρρυπαντικών τεχνολογιών είναι η ελαχιστοποίηση των ρύπων που περιέχονται στα παραγόμενα αέρια. Η μείωση των εκπομπών των αερίων μπορεί να επιτευχθεί με τις εξής ενέργειες:

- βελτίωση της κατανομής του πρωτογενούς αέρα κατά μήκος των εσχάρων στο θάλαμο καύσης
- προσαρμογή των συνθηκών θερμοκρασίας κατά μήκος των εσχάρων σε σχέση με τη σύνθεση των απορριμμάτων
- βελτίωση των συνθηκών μετάκαυσης των αερίων (καλύτερη ανάμιξη των αερίων)
- αυτόματη αναπροσαρμογή της θερμοκρασίας στην περιοχή μετάκαυσης για πλήρη καύση των αερίων
- βελτίωση του συστήματος απομάκρυνσης τέφρας
- διακριτός διαχωρισμός της διαδικασίας καύσης (σε πρώτο στάδιο επιτυγχάνεται η ξήρανση - διάσπαση των οργανικών ή ακόμη και η απαέρωση, ενώ στο δεύτερο η πλήρης καύση των αερίων της απαέρωσης).



Επίσης, στις εστίες καύσης ενδείκνυται οι εξής ενέργειες:

- αύξηση του πρωτογενούς αέρα στο 70% του συνολικά απαιτούμενου αέρα,
- αύξηση της προθέρμανσης του πρωτογενούς αέρα καύσης τουλάχιστον στους 120°C για απόβλητα μέσης και υψηλής θερμογόνου δύναμης, δηλαδή 10.000 kJ/kg - 16.000 kJ/kg και στους 150-180°C για απόβλητα χαμηλής μέχρι μέσης θερμογόνου δύναμης, δηλαδή 4.000 kJ/kg - 10.000 kJ/kg.

## 6.2 Πυρόλυση - Αεριοποίηση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα κύρια προϊόντα των διεργασιών της πυρόλυσης και της αεριοποίησης είναι:

**Αέρια:** πλούσια σε υδρογόνο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, κα. (ανάλογα με την αρχική σύσταση των απορριμμάτων), τα οποία χρησιμοποιούνται περαιτέρω ως καύσιμο,

**Υγρά:** μεγάλου ιξώδους και ελαιώδους σύστασης, που περιέχουν κετόνες, υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω ως καύσιμα,

**Στερεά:** υπολείμματα με κύριο συστατικό τον άνθρακα και ορισμένα ανόργανα υλικά, όπως μέταλλα, γυαλί, κα., τα οποία μπορούν και αυτά να διαχωριστούν και να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω ως καύσιμα.

Γενικά, όλα τα προϊόντα (υγρά, στερεά και αέρια) των διεργασιών της πυρόλυσης και της αεριοποίησης μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω για την παραγωγή ενέργειας και ως εκ τούτου την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου των απορριμμάτων.

Οι μέθοδοι της πυρόλυσης και της αεριοποίησης, λόγω της χρήσης μηδενικών ή έστω ελάχιστων ποσοτήτων οξυγόνου - αέρα, παράγουν μικρότερες ποσότητες απαερίων. Ακόμη, σημαντικό είναι το γεγονός ότι στις διεργασίες αυτές ένας μεγάλος αριθμός ρύπων (π.χ. θείο, βαρέα μέταλλα, κα.) παραμένει στην παραγόμενη τέφρα, χωρίς να μεταφέρεται στην αέρια φάση και να επιβαρύνει την ποιότητα της ατμόσφαιρας. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι το παραγόμενο αέριο χρησιμοποιείται περαιτέρω ως καύσιμο, πολλές φορές περιορίζει τον αριθμό και το είδος των αναγκαίων τεχνολογιών αντιρρύπανσης.

Ανεξάρτητα από τις εκλύμενες ποσότητες, πολλά από τα αέρια συστατικά των απαερίων, που προκύπτουν από τις διάφορες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ, είναι κοινά. Σύμφωνα με στοιχεία που παρουσιάζονται σε έκθεση της Greenpeace, οι διεργασίες της αποτέφρωσης και της αεριοποίησης ΑΣΑ παράγουν ορισμένους κοινούς ρύπους σε διαφορετική μεν ποσότητα (Πίνακας 6.11), χωρίς όμως κάποια από αυτές να υπερτερεί σημαντικά στο σύνολο της στην προστασία της ατμοσφαιρικής ποιότητας.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγόμενη τέφρα, από όλες τις μεθόδους θερμικής διεργασίας, θεωρείται επικίνδυνο απόβλητο (λόγω της περιεκτικότητάς της σε βαρέα μέταλλα, διοξίνες και άλλους τοξικούς ρύπους), το οποίο χρήζει κατάλληλης επεξεργασίας πριν την τελική του διάθεση.

Ρύπος	Καύση	Αεριοποίηση	% διαφορά αεριοποίησης σε σχέση με καύση
Διοξίνες / φουράνια	0,027	0,050	+85%
Υδράργυρος	92,6	92,6	0%
Μόλυβδος	50	46,8	-6,4%
Διοξειδίο του θείου	57.335	53.524	-6,7%
Οξειδία αζώτου	40.930	52.364	+28%
Μονοξειδίο του άνθρακα	7.673	4.955	-35,4%

Πίνακας 6.11 Αέριες εκπομπές από την καύση και την αεριοποίηση απορριμμάτων (σε κιλά ετησίως).

### 6.3 Κομποστοποίηση

Τα κυριότερα περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με την κομποστοποίηση αφορούν στις αέριες εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων των οσμών, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, την πιθανή ρύπανση των υδάτων από τα στραγγίσματα της διεργασίας, τη ρύπανση του εδάφους κατά τη χρήση του κομποστ, το θόρυβο, τη διάδοση παθογόνων μικροοργανισμών και την κατανάλωση ενέργειας.

#### Αέρας

Οι αέριες εκπομπές της κομποστοποίησης δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από το είδος του υποστρώματος (π.χ. πράσινα απόβλητα, διαλεγμένα στην πηγή βιοαπόβλητα ή εμπλουτισμένο οργανικό κλάσμα μετά από μηχανική διαλογή). Αντίθετα, επηρεάζονται σημαντικά από τον τύπο της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, με τα ανοικτά συστήματα να παρουσιάζουν περισσότερες εκπομπές, που δεν είναι εύκολο να ελεγχθούν. Τα κυριότερα προβλήματα εστιάζονται στις εκπομπές βιο-αερολυμάτων (bioaerosols), πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), οσμών και σκόνης.

Τα βιο-αερολύματα είναι αιωρούμενα στον αέρα σωματίδια, βιολογικής προέλευσης και αποτελούνται από ζωντανούς ή νεκρούς μικρο-οργανισμούς, ή τμήματά τους ή σπόρια που αυτοί παράγουν. Βιο-αερολύματα παράγονται από όλες τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων και μπορούν να προκαλέσουν αλλεργίες ή και ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος, κυρίως στους εργαζόμενους. Οι εκπομπές βιο-αερολυμάτων είναι πιο έντονες κατά τη φάση αναστροφής των σειραδίων σε ανοικτά ή στεγαζόμενα συστήματα και είναι σημαντικά χαμηλότερες όταν χρησιμοποιούνται συστήματα βιοαντιδραστήρων.

Οι οσμές είναι το πρόβλημα που προκαλεί τις περισσότερες διαμαρτυρίες για τις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης, ενώ δεν είναι λίγες οι μονάδες που αναγκάστηκαν σε προσωρινή ή και μόνιμη παύση λειτουργίας λόγω των οσμών, ειδικά όταν είναι εγκατεστημένες κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Οι οσμές μπορούν να περιοριστούν με πρακτικές καλού χειρισμού της διεργασίας, έτσι ώστε να μην αναπτύσσονται έντονες αναερόβιες συνθήκες στη μάζα του υλικού (η αναερόβια αποδόμηση δημιουργεί πολύ έντονότερες οσμές από την αερόβια). Ωστόσο, ακόμη και στην καλύτερα διαχειριζόμενη διεργασία κομποστοποίησης κατά διαστήματα παράγονται έντονες οσμές, οι οποίες, σε κάποιες τεχνολογίες δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν ικανοποιητικά (π.χ. κατά την



αναστροφή ανοικτών σειραδιών). Αντίθετα, τα κλειστά συστήματα, όπως και οι στατικοί αεριζόμενοι σωροί με απορρόφηση αέρα, επιτρέπουν τη χρήση συστημάτων για την επεξεργασία των οσμών από τα απαέρια της διεργασίας με χρήση βιοφίλτρων ή φυσικοχημικών επεξεργασιών.

#### Νερά

Η απορροή του νερού της βροχής σε ανοικτά συστήματα καθώς και τα στραγγίσματα που πιθανόν να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης μπορούν να ρυπάνουν επιφανειακά και υπόγεια νερά, αν διαφύγουν στο περιβάλλον χωρίς επεξεργασία. Ωστόσο, το πρόβλημα δεν είναι σημαντικό και μπορεί να αντιμετωπιστεί με απλά μέτρα κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, τα στραγγίσματα που παράγονται - συνήθως σε περιορισμένες ποσότητες - μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαβροχή των αποβλήτων στα διάφορα στάδια της διεργασίας όπου απαιτείται προσθήκη νερού, για την αποφυγή της πρόωμης ξήρανσης του υλικού και τη συνεπαγόμενη παρεμπόδιση των βιολογικών διεργασιών. Όλες οι εγκαταστάσεις κομποστοποίησης (με εξαίρεση πολύ μικρές μονάδες επεξεργασίας πράσινων αποβλήτων) θα πρέπει να διαθέτουν μια αδιαπέρατη επιφάνεια, από σκυρόδεμα ή άσφαλτο, πάνω στην οποία εκτελείται η κομποστοποίηση. Η επιφάνεια αυτή θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλη κλίση και συστήματα για τη συλλογή των στραγγισμάτων και της απορροής, τα οποία θα πρέπει κατόπιν να υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία (συμπεριλαμβανομένης της επαναχρησιμοποίησής τους για διαβροχή των αποβλήτων).

#### Έδαφος

Η πιθανή ρύπανση του εδάφους από ρυπαντές και προσμίξεις που μπορεί να υπάρχουν στο κομπόστ αποτελεί σημαντικό θέμα, για το οποίο υπάρχουν προβλέψεις στην εθνική νομοθεσία όλων των κρατών-μελών της ΕΕ καθώς επίσης και στη θεματική Στρατηγική για το Έδαφος. Οι προβλέψεις αυτές έχουν τη μορφή προδιαγραφών που θεσπίζουν ανώτατα επιτρεπόμενα όρια για ανεπιθύμητες ουσίες όπως τα βαρέα μέταλλα, κάποιες οργανικές ενώσεις και ξένες προσμίξεις όπως το γυαλί και το πλαστικό, καθώς και κατώτατα όρια για κάποια επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως η οργανική ουσία. Οι προδιαγραφές ποιότητας του κομπόστ διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα, ανάλογα με το βαθμό υιοθέτησης της «αρχής της προφύλαξης» και τις περιβαλλοντικές προτεραιότητες της χώρας. Για παράδειγμα τείνουν να είναι πιο ανεκτικές στις ΗΠΑ, όπου ακολουθείται η προσέγγιση της εκτίμησης του κινδύνου με βάση την υπάρχουσα επιστημονική γνώση σε σχέση με τις χώρες της ΕΕ, όπου κυριαρχεί η προσέγγιση της προφύλαξης ενός πολυτίμου πόρου όπως το έδαφος. Ανάμεσα στις χώρες μέλη της ΕΕ, ακολουθείται μια πιο αυστηρή προσέγγιση στη βόρεια και κεντρική Ευρώπη, όπου τα εδάφη είναι πλούσια σε οργανική ουσία, ενώ στη νότια Ευρώπη τείνει να αξιολογείται ως σχετικά σημαντικότερη η συνεισφορά του κομπόστ στην καταπολέμηση της ερημοποίησης με αποτέλεσμα να ισχύουν πιο χαλαρά όρια για τα βαρέα μέταλλα. Ωστόσο, η απουσία ενιαίων προδιαγραφών σε Ευρωπαϊκό επίπεδο είναι πιθανό να μη διατηρηθεί για πολύ ακόμη, καθώς συζητείται στην ΕΕ μια νέα πρόταση Οδηγίας για την ποιότητα του κομπόστ. Η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και προσμίξεων στο κομπόστ εξαρτάται άμεσα από το αρχικό υλικό που χρησιμοποιείται ενώ δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη διαδικασία. Έτσι, το κομπόστ που προέρχεται από πράσινα απόβλητα έχει συνήθως πολύ χαμηλές προσμίξεις και ρύπους, ενώ χαμηλές είναι και οι συγκεντρώσεις στο κομπόστ που παράγεται με διαλογή στην πηγή του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ. Αντίθετα, το «κομπόστ» που παράγεται από το εμπλουτισμένο οργανικό κλάσμα που λαμβάνεται μετά από ΜΒΕ είναι περισσότερο επιβαρυνμένο και σε αρκετές χώρες η χρήση του περιορίζεται σε αποκατάσταση χώρων και ως



υλικό επικάλυψης σε ΧΥΤΑ. Είναι γενικά πλέον παραδεκτό ότι υψηλής ποιότητας κομπόστ από ΑΣΑ, που να ικανοποιεί τις όλο και αυστηρότερες προδιαγραφές για αγρονομικές χρήσεις μπορεί να παραχθεί μόνο μέσα από συστήματα χωριστής διαλογής του οργανικού κλάσματος στην πηγή. Χαρακτηριστικά παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα για κομπόστ από ΑΣΑ και κομπόστ από «καθαρό» οργανικό (μετά από διαλογή στην πηγή), στον Πίνακα 6.12.

Στοιχείο	Ανάμικτα ΑΣΑ (mg/kg)	Βιοαπορρίμματα (mg/kg)
Pb	420	83
Cu	222	41
Zn	919	224
Cr	107	61
Ni	84	26
Cd	2,8	0,4
Hg	1,9	<0,2

Πίνακας 6.12 Τυπική συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε κομπόστ από ανάμικτα ΑΣΑ και κομπόστ από βιοαπορρίμματα (με διαλογή στην πηγή)

Οι ποιοτικές προδιαγραφές της πρότασης Οδηγίας της ΕΕ για τις διαφορετικές προβλεπόμενες κατηγορίες κομπόστ σε σύγκριση με τις Ελληνικές παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.13. Αν και αυτή η πρόταση Οδηγίας έχει αποσυρθεί, η νέα αναμενόμενη πρόταση δεν θα διαφέρει σημαντικά ως προς τις οριακές τιμές των ρύπων. Πρέπει να σημειωθεί ότι για το κομπόστ κατηγορίας 1 δεν τίθενται περιορισμοί χρήσης, πέρα από αυτούς που επιβάλλει η καλή αγρονομική πρακτική ενώ κομπόστ κατηγορίας 2 μπορεί να εφαρμόζεται στο έδαφος σε ποσότητα που δεν υπερβαίνει τους 3 τόνους ξηρής ουσίας ανά στρέμμα κατά μέσο όρο τριετίας. Η Ελληνικές προδιαγραφές είναι παρόμοιες και συχνά χαλαρότερες από αυτές για τα σταθεροποιημένα απορρίμματα, το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς έχουν θεσπιστεί με άξονα αναφοράς τα συστήματα ΜΒΕ.

Μία ενδεικτική σύγκριση των επιτρεπόμενων ορίων των βαρέων μετάλλων μεταξύ Ευρώπης, ΗΠΑ και Καναδά, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.14. Επιπλέον, θα πρέπει να τονιστεί ότι εφόσον λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα προφύλαξης, κυρίως ως προς την καθαρότητα των αποβλήτων και τηρούνται οι ποιοτικές προδιαγραφές, η εδαφική εφαρμογή του κομπόστ προσφέρει καθαρά περιβαλλοντικά οφέλη, τα οποία όμως είναι σχετικά δύσκολο να αποτιμηθούν ποσοτικά. Πιο συγκεκριμένα, είναι καλά τεκμηριωμένο ότι η οργανική ουσία από το κομπόστ βελτιώνει την υδατο-ικανότητα και τη δομή του εδάφους, αυξάνει τη μικροβιακή του δραστηριότητα, ενισχύει τη δράση των χημικών λιπασμάτων καθώς μειώνει την έκπλυσή τους, καταστέλλει τα φυτοπαθογόνα και αυξάνει την παραγωγικότητα του εδάφους, ενώ συνολικά συνεισφέρει στην καταπολέμηση της ερημοποίησης. Οι ιδιότητες αυτές έχουν μεγαλύτερη σημασία για τις Μεσογειακές χώρες σε σχέση με την κεντρική και βόρεια Ευρώπη, καθώς τα Μεσογειακά εδάφη είναι πολύ φτωχότερα σε οργανική ουσία και ευάλωτα στην ερημοποίηση. Ωστόσο, απαιτείται πού περισσότερη έρευνα προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν τα παραπάνω οφέλη, έτσι ώστε να μπορούν να συνυπολογιστούν σε απλά εργαλεία λήψης αποφάσεων.



### Θόρυβος

Υπάρχουν δύο βασικές πηγές θορύβου στις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης: οι θρυμματιστές και το προειδοποιητικό σήμα οπισθοκίνησης των φορτωτών. Ο θόρυβος από τους θρυμματιστές μπορεί να φτάσει τα 90 dB, επίπεδο που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε ανοικτά συστήματα, μπορεί όμως να αντιμετωπιστεί με κατάλληλη χωροθέτηση του θρυμματιστή στην εγκατάσταση και χρήση των σειραδίων ως ηχοπετασμάτων. Το προειδοποιητικό σήμα οπισθοκίνησης για τους φορτωτές συνδέεται άμεσα με την υγιεινή και ασφάλεια της εργασίας στο χώρο και δεν πρέπει να αδρανοποιείται, μπορούν όμως να επιλεγθούν λιγότερο ενοχλητικοί ήχοι.

Παράμετρος	Πρόταση Οδηγίας			ΚΥΑ 114218
	Κομπόστ / Digestate		Σταθεροποιημένα Βιοαπορρίμματα	Κομπόστ
	Κατηγορία 1	Κατηγορία 2		
Cd (mg/kg dm)	0,7	1,5	5	10
Cr (mg/kg dm)	100	150	600	510
Cu (mg/kg dm)	100	150	600	500
Hg (mg/kg dm)	0,5	1	5	5
Ni (mg/kg dm)	50	75	150	200
Pb (mg/kg dm)	100	150	500	500
Zn (mg/kg dm)	200	400	1500	2000
As (mg/kg dm)	-	-	-	15
PCBs (mg/kg dm)	*	*	0,4	-
PAHs (mg/kg dm)	*	*	3	-
Προσμείξεις >2mm	<0,5%	<0,5%	<3%	<0.8**
Πέτρες >5mm	<5%	<5%	-	-

Πίνακας 6.13 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων βιολογικής επεξεργασίας του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ στην πρόταση Οδηγίας της ΕΕ και στην Ελλάδα.

\* Σε συμφωνία με την αναθεώρηση της Οδηγίας για την υλή βιολογικών καθαρισμών

\*\* Πλαστικό και γυαλί

Στοιχείο	Ε.Ε (διακύμανση) mg/kg	ΗΠΑ, κομπόστ από υλή (mg/kg)	Καναδάς (mg/kg)	
			Τύποι AA & A	Τύπος B
Κάδμιο	0,7-10	39	3	20
Χρόμιο	70-200	1200	210	1060
Χαλκός	70-600	1500	100	757
Υδράργυρος	0,7-10	17	0,8	5
Νικέλιο	20-200	420	62	180
Μόλυβδος	70-1000	300	150	500
Ψευδάργυρος	210-4000	2800	500	850

Πίνακας 6.14 Σύγκριση ορίων για τα βαρέα μέταλλα μεταξύ ΕΕ, ΗΠΑ και Καναδά.

### Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Η παρουσία παθογόνων είναι ένα σημαντικό θέμα δημόσιας υγείας που ρυθμίζει τις δυνατότητες χρήσης του κομπόστ και γι' αυτό όλες οι χώρες έχουν συμπεριλάβει υγειονομικά κριτήρια ποιότητας του κομπόστ, τόσο για παθογόνους μικροοργανισμούς για τον άνθρωπο, όσο και για τα ζώα και τα φυτά. Βέβαια, η κομποστοποίηση ως θερμοφίλη διαδικασία οδηγεί στη θερμική καταστροφή των περισσότερων παθογόνων, ενώ ταυτόχρονα φαίνεται πως λειτουργούν και άλλοι μηχανισμοί καταστροφής (σχέσεις ανταγωνισμού, παραγωγή αντιβιοτικών από τη μικροχλωρίδα του κομπόστ, σταθεροποίηση του οργανικού κλάσματος κλπ).

Όσον αφορά τις θερμοθετημένες προδιαγραφές, τα κριτήρια ποιότητας αναφέρονται στο προϊόν, στη διεργασία ή και στα δύο.

Τα κριτήρια που αναφέρονται στο προϊόν απαιτούν απουσία σαλμονέλας, και απουσία ή πολύ χαμηλές τιμές εντεροβακτηρίων και περιττωματικών στρεπτόκοκκων, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις απαιτείται απουσία νηματοειδών, κυστοειδών και άλλων φυτοπαθογόνων. Επίσης τίθενται όρια στον αριθμό των ικανών προς βλάστηση σπορών παρασιτικών φυτών και κριτήρια φυτοτοξικότητας για το κομπόστ. Σε άλλες περιπτώσεις η υγειονομοποίηση του κομπόστ εξασφαλίζεται μέσα από την εφαρμοζόμενη διεργασία, με την απαίτηση να έχει παραμείνει το υλικό πάνω από κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία για ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα, το οποίο συνήθως κυμαίνεται από απαίτηση για παραμονή σε θερμοκρασία άνω των 55°C για τρεις ημέρες, έως παραμονή σε θερμοκρασία άνω των 60°C για πέντε ημέρες. Οι απαιτήσεις αυτές αναφέρονται συνήθως σε συστήματα αναστρεφόμενων σειραδίων, όπου η έκθεση του υλικού στις υψηλές θερμοκρασίες δεν είναι ομοιόμορφη, καθυστερώντας έτσι την υγειονομοποίηση.

Τα αστικά απόβλητα κομποστοποιούνται συνήθως σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες, που παρέχουν καλύτερο έλεγχο και ομοιογένεια της θερμοκρασίας, επιτυγχάνοντας καλύτερη και ταχύτερη καταστροφή των παθογόνων. Βέβαια το εύρος των πιθανών παθογόνων στα ΑΣΑ είναι μεγάλο και θα πρέπει να τηρούνται σχολαστικά οι απαραίτητες προφυλάξεις.

## **6.4 Αναερόβια χώνευση**

Όπως και στην περίπτωση της κομποστοποίησης, έτσι και στην αναερόβια χώνευση τα κυριότερα περιβαλλοντικά θέματα αφορούν στις αέριες εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων των οσμών, την πιθανή ρύπανση των υδάτων από τα στραγγίσματα της διεργασίας, τη ρύπανση του εδάφους κατά τη χρήση της χωνεμένης υλύος, το θόρυβο και τη διάδοση παθογόνων μικροοργανισμών.

### Αέρας

Καθώς η αναερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες και το παραγόμενο αέριο συλλέγεται προς επεξεργασία και αξιοποίηση, δεν υπάρχουν αξιολογες εκπομπές αέριων ρύπων κατά τη διεργασία. Οι αέριες εκπομπές της αναερόβιας χώνευσης σχετίζονται με την καύση του βιοαερίου και συνίστανται κυρίως σε οξείδια του αζώτου και του θείου και δευτερευόντως σε άλλα προϊόντα της καύσης. Οι εκπομπές αυτές είναι παρόμοιες με τις εκπομπές από την καύση φυσικού αερίου, με ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα



SOx λόγω του υδρόθειου που περιέχει το βιοαέριο. Ο έλεγχος των αέριων εκπομπών από την καύση του βιοαερίου στις περισσότερες χώρες είναι σχετικά περιορισμένος λόγω της χαμηλής επικινδυνότητάς τους, με την προϋπόθεση της απομάκρυνσης του υδρόθειου πριν από την καύση.

Στην περίπτωση της αναερόβιας χώνευσης σύμμεικτων αποβλήτων, ενδέχεται να υπάρχουν και ουσίες υψηλότερης τοξικότητας στο βιοαέριο λόγω της πιθανής παρουσίας διαλυτών και άλλων επικίνδυνων ουσιών στο υπόστρωμα. Ο έλεγχος των αποβλήτων που εισέρχονται στη μονάδα θεωρείται επαρκής για την αντιμετώπιση αυτού του κινδύνου.

Οι αέριες εκπομπές από την καύση του βιοαερίου αντισταθμίζονται, τουλάχιστον εν μέρει, από την υποκατάσταση άλλων καυσίμων λόγω της παραγωγής ενέργειας. Οι εκπομπές ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο είναι συνήθως υψηλότερες από αυτές των μονάδων φυσικού αερίου αλλά χαμηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούν άνθρακα.

Κατά την αναερόβια χώνευση οσμές παράγονται μόνο κατά την προετοιμασία του ρεύματος τροφοδοσίας και την επεξεργασία της χωνεμένης ύλης, οι οποίες λαμβάνουν χώρα εκτός του βιοαντιδραστήρα. Ωστόσο, και αυτές οι διεργασίες πραγματοποιούνται εντός κτιρίων και ο αέρας υφίσταται επεξεργασία με βιόφιλτρα ή χημική έκπλυση, με αποτέλεσμα οι οσμές που απελευθερώνονται στο περιβάλλον να είναι πολύ χαμηλές. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε πολλές περιπτώσεις, μονάδες αναερόβιας χώνευσης είναι χωροθετημένες σε βιομηχανικές περιοχές, σε απόσταση μικρότερη από 10 μέτρα από άλλα κτίρια χωρίς να γίνονται παράπονα για όχληση.

#### Νερά

Κατά την αναερόβια χώνευση υπάρχει περίσσεια νερού, το οποίο μπορεί να ανακυκλωθεί εντός της διεργασίας. Αν δεν πραγματοποιείται ανακύκλωση παράγονται περίπου 100-300 m<sup>3</sup> υγρών αποβλήτων ανά τόνο εισερχόμενων αποβλήτων, τα οποία απαιτούν επεξεργασία είτε στην ίδια την εγκατάσταση είτε στο βιολογικό καθαρισμό της πόλης, εφόσον γίνονται δεκτά. Οι μονάδες που επεξεργάζονται οργανικά απόβλητα μετά από διαλογή στην πηγή τείνουν να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες υγρών αποβλήτων, καθώς η υγρασία του ρεύματος τροφοδοσίας τους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα σύμμεικτα ΑΣΑ. Κάποιες μονάδες επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ δεν έχουν καθόλου υγρά απόβλητα (Amiens, Vargon), ενώ άλλες έχουν σημαντικές ποσότητες.

#### Έδαφος

Οι κίνδυνοι για πιθανή ρύπανση του εδάφους από την εφαρμογή της χωνεμένης ύλης είναι ίδιοι με την περίπτωση της κομποστοποίησης. Εξ' άλλου τις περισσότερες φορές η χωνεμένη ύλη υφίσταται περεταίρω αερόβια επεξεργασία (δηλ. κομποστοποίηση) πριν εφαρμοστεί στο έδαφος. Κατά συνέπεια ο προβληματισμός και οι προδιαγραφές ποιότητας που αναφέρθηκαν στην κομποστοποίηση ισχύουν και στην περίπτωση της αναερόβιας χώνευσης, ενώ αντίστοιχα είναι και τα περιβαλλοντικά οφέλη από την εδαφική εφαρμογή χωνεμένης ύλης μετά από περεταίρω σταθεροποίηση.

#### Θόρυβος

Καθώς η αναερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα σε κλειστά κτίρια μειώνονται και οι εκπομπές θορύβου από τον τεμαχισμό και την επεξεργασία των αποβλήτων και της χωνεμένης ύλης. Ωστόσο, αρκετές εγκαταστάσεις δέχονται παράπονα για θόρυβο, κυρίως από τη λειτουργία των ανεμιστήρων και των αντλιών κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης, σε περίπτωση



παραγωγής ηλεκτρισμού από το βιοαέριο στην ίδια την εγκατάσταση όχληση προκαλούν και οι γεννήτριες, οι οποίες συχνά προκαλούν θόρυβο που υπερβαίνει τα 100 bB στο 1 μέτρο, απαιτώντας κατάλληλη ηχητική προστασία.

#### Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Λόγω της ύψιστης σημασίας που έχει η προστασία της δημόσιας υγείας από τον κίνδυνο διάδοσης μολυσματικών ασθενειών, όλες οι χώρες έχουν θεσπίσει κριτήρια για την υγιεινοποίηση των αποβλήτων. Τα κριτήρια αυτά είναι τα ίδια για όλα τα προϊόντα βιολογικής επεξεργασίας, είτε προέρχονται από αερόβιες είτε από αναερόβιες διεργασίες, και αφορούν τη διεργασία (δηλ. απαιτούν έκθεση του υλικού σε υψηλή θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα) ή το προϊόν (θέσπιση ανώτατων επιτρεπόμενων ορίων για δείκτες παθογόνων ή και παθογόνους μικροοργανισμούς) ή συνδυασμό τους.

Η θερμόφιλη αναερόβια χώνευση είναι πιο αποτελεσματική από τη μεσόφιλη στην καταστροφή των παθογόνων. Ωστόσο, η περεταίρω αερόβια επεξεργασία της χωνεμένης ιλύος εξασφαλίζει και στις δύο περιπτώσεις καλή υγιεινοποίηση και σταθεροποίηση του υποστρώματος. Ένα άλλο σημαντικό θέμα, όπως σε όλες τις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, είναι η ασφάλεια των εργαζομένων από την έκθεσή τους σε παθογόνα και άλλους κινδύνους, όπως τραυματισμός από αιχμηρά αντικείμενα. Η αναερόβια χώνευση έχει το πρόσθετο ρίσκο της πρόκλησης ασφυξίας ή έκρηξης από το βιοαέριο που μπορεί να συσσωρευτεί σε κλειστούς χώρους. Για το λόγο αυτό η εγκατάσταση πρέπει να αερίζεται καλά, ειδικά στους χώρους που γίνεται ο χειρισμός του στερεού υποστρώματος μετά τη χώνευση και να χρησιμοποιούνται επιτοίχιοι ή προσωπικοί ανιχνευτές αερίων.

## **6.5 Μηχανική επεξεργασία**

Όπως όλες οι διεργασίες και εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, η MBE δημιουργεί μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στον αέρα, τα νερά, το έδαφος και τον άνθρωπο. Το είδος και το μέγεθος αυτών των επιπτώσεων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό, τους στόχους της μονάδας και τα διαχωριζόμενα προϊόντα. Για παράδειγμα, διαφορετικά θέματα προκύπτουν για μια μονάδα που έχει στόχο την παραγωγή ενός προϊόντος τύπου κομπόστ και τη διάθεσή του στο έδαφος και διαφορετικά για μια εγκατάσταση που αποσκοπεί κυρίως στην παραγωγή RDF και την παραγωγή ενέργειας από αυτό. Στην πρώτη περίπτωση οι κυριότερες επιπτώσεις σχετίζονται με τη βιολογική επεξεργασία (π.χ. οσμές) και την εδαφική εφαρμογή του προϊόντος (ξένες προσμίξεις, βαρέα μέταλλα και εμμένοντες οργανικοί ρύποι, παθογόνα κλπ), ενώ στη δεύτερη με την καύση του RDF (αέριες εκπομπές, NOx, διοξίνες κλπ).

Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με τις διεργασίες προετοιμασίας και διαχωρισμού των αποβλήτων, δηλαδή το τμήμα της μηχανικής επεξεργασίας μιας μονάδας MBE.

#### Αέρας

Οι κυριότερες αέριες εκπομπές από τις διεργασίες μηχανικής επεξεργασίας των αποβλήτων σε μια μονάδα MBE είναι οι οσμές και η σκόνη.



Η μηχανική επεξεργασία και διαχωρισμός σύμμεικτων ΑΣΑ ή του κλάσματος των υπολειμματικών αποβλήτων μπορεί να έχει σημαντική έκλυση οσμών στο περιβάλλον, η οποία αντιμετωπίζεται με κατάλληλη χωροθέτηση της μονάδας και χρήση κατάλληλων τεχνολογιών ελέγχου των οσμών. Η σκόνη μπορεί να ελεγχθεί με την παροχή αποτελεσματικού αερισμού, για την προστασία των εργαζομένων και του γενικού πληθυσμού. Ιδιαίτερη σημασία έχει η παραγωγή σκόνης βιολογικής προέλευσης (βιοαερολύματα), η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά την υγεία των εργαζομένων αλλά και των κατοίκων γειτονικών περιοχών. Συνήθως, ο αέρας στα κτίρια της εγκατάστασης διατηρείται σε υποπίεση και συλλέγεται προς επεξεργασία σε βιόφιλτρα ή συστήματα θερμικής και χημικής οξείδωσης απαερίων.

#### Νερά

Κατά τη μηχανική επεξεργασία και διαχωρισμό σύμμεικτων αποβλήτων με υψηλή περιεκτικότητα βιοαποδομήσιμων, μπορούν να παραχθούν ποσότητες στραγγισμάτων. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για τη συλλογή και επεξεργασία τους. Κάποιες τεχνολογίες MBE πραγματοποιούν διαχωρισμό των αποβλήτων στην υγρή φάση, μετά από προσθήκη νερού. Αυτές παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες στραγγισμάτων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης που συνήθως υπάρχει σε αυτόν τον τύπο MBE.

#### Έδαφος

Κατά το μηχανικό διαχωρισμό των αποβλήτων ένα ποσοστό 10-15% κ.β. του εισερχόμενου ρεύματος απορρίπτεται ως ακατάλληλο προς ανάκτηση / αξιοποίηση. Ανάλογα με το σχεδιασμό και το βασικό στόχο επεξεργασίας της μονάδας, καθώς και τις διαθέσιμες αγορές, ένα πολύ μεγαλύτερο ποσοστό μπορεί να χρειαστεί εδαφική διάθεση. Έτσι, σε μια MBE που στοχεύει στην παραγωγή βιοσταθεροποιημένων αποβλήτων για διάθεση σε ΧΥΤΑ, περίπου το 20-50% κ.β. των εισερχόμενων αποβλήτων θα χρειαστεί εδαφική διάθεση. Αν στόχος είναι η παραγωγή «κομπόστ», περίπου το 50% κ.β. του εισερχόμενου ρεύματος αποβλήτων θα πρέπει να διατεθεί σε ΧΥΤΑ στην (πιθανή) περίπτωση που δεν εξασφαλιστεί μακροπρόθεσμη πρόσβαση σε κάποια αγορά. Τέλος, οι MBE που αποσκοπούν κυρίως στην παραγωγή RDF έχουν υπολειμματικό ρεύμα για εδαφική διάθεση που ανέρχεται σε περίπου 20% κ.β. των εισερχόμενων ΑΣΑ. Το ποσοστό αυτό αυξάνει στο 70% στην περίπτωση που δεν εξασφαλιστούν αγορές για το RDF, οπότε αναγκαστικά και αυτό διατίθεται εδαφικά. Αν η MBE συνοδεύεται από δική της μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης του RDF, τότε παράγονται τέφρες που και αυτές με τη σειρά τους απαιτούν εξειδικευμένη εδαφική διάθεση.

#### Θόρυβος

Καθώς η επεξεργασία των αποβλήτων λαμβάνει χώρα σε κλειστά κτίρια και οι σύγχρονες τεχνολογίες έχουν σχετικά χαμηλά επίπεδα θορύβου, δεν αναμένονται σημαντικά προβλήματα θορύβου. Επιπλέον, οι MBE κατασκευάζονται συνήθως στο ΧΥΤΑ ή σε βιομηχανικές περιοχές όπου υπάρχουν και άλλες οχλούσες εγκαταστάσεις, και όχι κοντά σε κατοικίες. Ίσως η μεγαλύτερη πηγή όχλησης και θορύβου να προέρχεται από την κυκλοφορία των απορριμματοφόρων οχημάτων που προσεγγίζουν τη MBE.

#### Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Από το μηχανικό μέρος της επεξεργασίας δεν παράγονται προϊόντα για άμεση χρήση ή εφαρμογή στο έδαφος. Συνεπώς, ο κίνδυνος επαφής με παθογόνα αφορά τους εργαζομένους στη μονάδα, για τους οποίους θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα ενδεικνύμενα μέτρα

προστασίας (π.χ. προστασία από αιχμηρά αντικείμενα, χρήση μάσκας κλπ), όπως και για όλους τους εργαζομένους στη συλλογή, επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων.

Ένα θέμα που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής και αφορά και τον γενικό πληθυσμό στη γειτνίαση με τη μονάδα είναι η πιθανή εκπομπή βιοαερολυμάτων, δηλ. βιολογικά ενεργών συστατικών που αιωρούνται στον αέρα με τη μορφή σκόνης και μπορεί να περιλαμβάνουν μύκητες και τα σποριά τους, βακτήρια, ακτινομύκητες, ενδοτοξίνες και μυκοτοξίνες. Τα βιοαερολύματα συνδέονται με αλλεργικές παθήσεις (αλλεργική ρινίτιδα, άσθμα, βρογχίτιδα, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια) και άλλες βλάβες του αναπνευστικού συστήματος, ενώ θα μπορούσαν να αποβούν θανατηφόρα για ανοσοκατεσταλμένα άτομα. Οι περισσότερες μελέτες για τα βιοαερολύματα αφορούν μονάδες κομποστοποίησης και έχουν εστίασει στη μέτρηση της συγκέντρωσης και διασποράς τους. Ωστόσο, δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα επιδημιολογική σύνδεση με την κατάσταση υγείας των εργαζομένων (ούτε βέβαια του γειτονικού γενικού πληθυσμού) ενώ δεν υπάρχουν σχετικά στοιχεία και έρευνες για μονάδες ΜΒΕ.



## 7<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ”

#### 7.1 Εισαγωγή

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύσαμε τις σημαντικότερες μεθόδους αξιοποίησης και διαχείρισης αποβλήτων. Στην περίπτωση της Ελλάδος, όπου η γεωγραφία της είναι ιδιαίτερη λόγω συνδυασμού πολλών ορεινών και νησιωτικών περιοχών, θα πρέπει να εφαρμοστούν κατάλληλες μέθοδοι ανά περιοχή ώστε να έχουν το βέλτιστο αποτέλεσμα από τεχνοοικονομική και περιβαλλοντική σκοπιά. Επομένως θα πρέπει να στοχεύσουμε στην επιλογή τεχνολογιών που μειώνουν τον όγκο των παραγόμενων αποβλήτων και είναι περιβαλλοντικά αποδεκτές και οικονομικά εφικτές.

#### 7.2 Στρατηγικοί στόχοι

Οι στρατηγικοί στόχοι είναι :

- Η μείωση της παραγωγής αποβλήτων, με κατεύθυνση την ενθάρρυνση των συστημάτων ανακύκλωσης συσκευασιών και άλλων προϊόντων.
- Η επίτευξη του υψηλότερου δυνατού ποσοστού αξιοποίησης των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων, έτσι ώστε να εξοικονομούνται πόροι και ενέργεια και να μειώνεται το ποσοστό της τελικής διάθεσης.

#### 7.3 Διαθέσιμες λύσεις διαχείρισης απορριμμάτων.

Η state of the art τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ώστε να μην γεμίσουμε ΧΥΤΑ όλη τη χώρα, κάτι το οποίο έχει γίνει μέχρι τώρα, είναι η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η αναερόβια χώνευση. Η πιο διαδεδομένη, κυρίαρχη και δοκιμασμένη, βέβαια απ'όλες, είναι η καύση με παραγωγή ενέργειας. Πλην της καύσης οι υπόλοιπες μέθοδοι δεν θεωρούνται επιτυχημένες ή δεν έχουν εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα, έτσι ώστε να έχουμε σαφή εικόνα για το τι αποτελέσματα μπορούν να έχουν.

Η πυρόλυση έχει αποτύχει σε σύμμεκτα απορρίμματα. Παρουσιάζει ενδιαφέρον μόνο σε πολύ μικρά ρεύματα απορριμμάτων και πάλι κάτω από πολλές προϋποθέσεις. Αυτή τη στιγμή έχει εφαρμοστεί περισσότερο σε βιομάζα, και γεωργικά υπολείμματα δασικής ξυλείας.

Η αεριοποίηση και η αεριοποίηση πλάσματος είναι πολλά υποσχόμενες μέθοδοι αλλά και αυτές, στα σύμμεκτα απορρίμματα και στα μεγάλα τονάζ, όπως της Αθήνας, Θεσσαλονίκης, Πάτρας, δεν έχουν εφαρμογές. Το πλεονέκτημα είναι ότι η αεριοποίηση έχει λιγότερες τέφρες ως υπόλειμμα, για αυτό παρακολουθείται και μελετάται σαν τεχνική. Στην αεριοποίηση πλάσματος υπάρχουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες αλλά ταυτόχρονα υπάρχουν και μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις, άρα αυτό από μόνο του είναι μειονέκτημα.



Ειδικά για την Αττική η καύση είναι αυτή που αρμόζει στην περίπτωση, καθώς είναι δοκιμασμένη ενώ οι παραγόμενες τέφρες στον πυθμένα επιδέχονται περιβαλλοντική διαχείριση.

#### 7.4 Προτεινόμενη λύση διαχείρισης απορριμμάτων για την Αττική και άλλα αστικά κέντρα.

Ο προσανατολισμός της Ε.Ε. είναι η ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων, στη λογική «τίποτα δεν πάει χαμένο». Συνεπώς θα πρέπει να ενσωματωθεί η θερμική επεξεργασία μέσα στον περιφερειακό σχεδιασμό της Αττικής και γενικότερα στον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων της Ελλάδας όπου σήμερα αναφέρεται μόνο για ΧΥΤΑ και για μονάδες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας, σε συνδυασμό με ταυτόχρονη ανάπτυξη την ανακύκλωση στη πηγή.

Πιο αναλυτικά:

- Να αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανακύκλωσης, το οποίο θα στηρίζεται στην αρμονική συνεργασία της ανακύκλωσης με την περιβαλλοντικά φιλική και ενεργειακά αποδοτική θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων (800 Μονάδες Παγκοσμίως).
- Να λαμβάνεται υπόψη το διπλό όφελος των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης, η διαχείριση αποβλήτων σε συνδυασμό με την ενεργειακή παραγωγή, μεγάλο μέρος της οποίας θεωρείται ΑΠΕ. Οι Πράσινες Πρωτεύουσες της Ευρώπης (Στοκχόλμη, Κοπεγχάγη, Παρίσι, Βιέννη, κ.α.) χρησιμοποιούν Ανακύκλωση στην Πηγή και Θερμική Επεξεργασία των Απορριμμάτων με Παραγωγή Ενέργειας.

Ειδικά η μονάδα καύσεως απορριμμάτων που είναι χωροθετημένη στο κέντρο του Παρισιού μέσα στον αστικό ιστό, μόνο δυόμιση χιλιόμετρα από τον πύργο του Άιφελ, όπως επίσης το ίδιο συμβαίνει και στην Αυστρία, με το γνωστό Spittelau στη Βιέννη. Τα υπερσύγχρονα συστήματα χημικού καθαρισμού καυσαερίων έχουν επιλύσει πλήρως τα θέματα των διοξεινίων και των φουρανίων, σε τέτοιο επίπεδο ώστε να έχουν χωροθέτηση ακόμα και μέσα στον αστικό ιστό.

Οπότε η βέλτιστη λύση είναι να δημιουργήσουμε μια μονάδα για την απευθείας καύση και την παραγωγή ενέργειας. Η απευθείας θερμική επεξεργασία των 700.000 τόνων απορριμμάτων, ύστερα από ανακύκλωση το χρόνο με παραγωγή ενέργειας, όπως γίνεται σε περισσότερες από 600 μονάδες σε όλο τον κόσμο και είναι η ενδεδειγμένη λύση. Μία τέτοια μονάδα το χρόνο θα μπορεί να παράγει τουλάχιστον 60MW, ενισχύοντας σημαντικά το ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας ειδικά σε περιόδους αιχμής και θα έχει ένα κόστος το οποίο θα ξεπεράσει τα 300 εκατ. Ευρώ. Ωστόσο η Ε.Ε. μπορεί να χρηματοδοτήσει το 30-35% του κόστους.

Συνήθως οι μονάδες καύσης είναι δυναμικότητας 300.000 – 400.000 τόνων απορριμμάτων το χρόνο. Δηλαδή η Αθήνα θα μπορούσε να έχει ή μία μεγάλη τέτοια μονάδα ή δύο μικρότερες. Η βέλτιστη χωροθέτηση για τη παραπάνω μονάδα είναι στη Φυλή, όπου υπάρχουν ήδη τα logistics και εναποτίθενται τα απορρίμματα στον ΧΥΤΑ ή στέλνονται στο ΕΜΑΚ.

Η παραπάνω πρόταση μπορεί να εφαρμοστεί και στη Θεσσαλονίκη, αλλά και σε κάποια συγκροτήματα πόλεων όπως π.χ. η Πάτρα, η Λάρισα, ο Βόλος και άλλες μεγάλες πόλεις. Το



ίδιο ισχύει και στην περίπτωση αστικών κέντρων σε μεγάλα νησιά της Ελλάδος π.χ. Κρήτη, Ρόδος, Εύβοια, Χίος, Κέρκυρα κλπ όπου ο πληθυσμός ξεπερνάει τους 80.000 κατοίκους.

Όσο αφορά μικρότερες πόλεις, χωριά και νησιά με λίγο σχετικά πληθυσμό η πιο συμφέρουσα λύση θα ήταν να μεταφέρονται από τις περιοχές αυτές τα απορρίμματα και να συγκεντρώνονται στις μονάδες των μεγάλων αστικών κέντρων, είτε η δημιουργία ΧΥΤΑ που να καλύπτει τις μειωμένες ανάγκες διάθεσης απορριμμάτων αλλά ταυτόχρονα να εξασφαλίζουν μία φτηνή και περιβαλλοντικά φιλική λύση.

## 7.5 Συμπεράσματα - Προοπτικές.

Κρίνοντας από την ως τώρα πορεία των έργων που αφορούν την Ενεργειακή Διαχείριση Απορριμμάτων, δεν πρέπει να είμαστε πολύ αισιόδοξοι. Το μόνο που εμπνέει αισιοδοξία, είναι η εμπειρία μας με τα έργα των Ολυμπιακών Αγώνων, όπου αποδείχτηκε (και μάλλον είναι χαρακτηριστικό της νοοτροπίας και του τρόπου λειτουργίας μας) ότι όταν η κατάσταση φθάνει στο απροχώρητο, τότε μόνο ενεργοποιούμαστε. Στον τομέα της Ενεργειακής Διαχείρισης των Απορριμμάτων, η ώρα αυτή έχει φθάσει.

Ενώ συζητούσαμε, ως πρόσφατα, στην Ελλάδα για το πώς θα κλείσουμε τις χωματερές και θα τις αντικαταστήσουμε με χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), αποδεικνύεται ότι ήδη η φιλοσοφία της Ε.Ε. έχει προχωρήσει προς την κατεύθυνση της ιεράρχησης της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, με την ταφή των απορριμμάτων να βρίσκεται τελευταία στην λίστα. Οι άλλες προηγμένες χώρες της Ε.Ε. ήδη προπορεύονται, τουλάχιστον μια δεκαετία. Τρέχουμε να προλάβουμε την Ευρώπη, αλλά είμαστε πίσω συνεχώς...

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξοικονόμηση ενέργειας και η διατήρηση των φυσικών πόρων είναι θέματα τα οποία απασχολούν την ανθρωπότητα κυρίως τις τελευταίες δεκαετίες αλλά θα απασχολήσουν εντονότερα στο κοντινό μέλλον. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης για ενέργεια χρήζει αναγκαία την προώθηση, σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό, διαδικασιών ανακύκλωσης και την αξιοποίηση της καύσης των απορριμμάτων ως μέθοδο παραγωγής ενέργειας. Στόχος πρέπει να είναι η αποφυγή της σπατάλης και η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων σε όλο τον κύκλο χρήσης τους.

Κάθε χώρα έχει αναπτύξει τις δικές της κρατικές πρωτοβουλίες για να προωθήσει τις ιδέες ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης καθώς και εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες εξαρτώνται από τις υπάρχουσες υποδομές μεταφορών, τις πυκνότητες των πληθυσμών, την διαθεσιμότητα της γης, τις απαιτήσεις ενέργειας και τους περιβαλλοντολογικούς κανονισμούς. Επομένως ο βαθμός στον οποίο κάθε επιλογή διαχείρισης χρησιμοποιείται σε μια χώρα, μπορεί να διαφέρει σημαντικά.

Παρά την έμφαση που δίνεται στην ελαχιστοποίηση και την ανακύκλωση των απορριμμάτων, αναγνωρίζεται ότι η κοινωνία θα συνεχίσει να παράγει απορρίμματα που απαιτούν είτε αποτέφρωση είτε υγειονομική ταφή στο προβλεπόμενο μέλλον. Σαν αποτέλεσμα, χρήση της αποτέφρωσης με εξοικονόμηση ενέργειας, αναμένεται να αυξηθεί σε πολλές χώρες την επομένη δεκαετία, ειδικά ως αποτέλεσμα κανονισμών που περιορίζουν το οργανικό περιεχόμενο των απορριμμάτων που προορίζονται για υγειονομική ταφή.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

«Θερμική Επεξεργασία Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (Α.Σ.Α.) και Ιλύων»,  
Ανδρεαδάκης Α. (2001)

«Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων»,  
Γιδαράκος Ε. , Αϊβαλιώτη Μ. (2007)

«Το Ενεργειακό Δυναμικό της Βιομάζας Γεωργικών και Δασικών Υποπροϊόντων»,  
Αποστολάκης Κ. , Κυρίτσης Σ. , Σούτερ Χ. (1987)

«Προστασία του Περιβάλλοντος από τις Βιομηχανικές Δραστηριότητες – Πρόληψη  
Βιομηχανικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης – Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων»,  
Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.)

«Διαχείριση και Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων»,  
Γιδαράκος Ε. (2007)

«Τεχνολογίες Διάθεσης Απορριμμάτων»,  
Σκορδίλης Α. (1993)

«Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων/Προβλήματα Εθνικού σχεδιασμού και  
Ορθολογικές Λύσεις»,  
Οικονομόπουλος Π. Αλέξ. (2007)

Περιοδικό «ECOTEC», Σεπτέμβριος 2009, Τεύχος Ν° 48

Περιοδικό «ΟΙΚΟΠΟΛΙΣ», Σεπτέμβριος 2009, Τεύχος Ν° 2

Περιοδικό «ECON<sup>3</sup>», Απρίλιος 2008, Τεύχος Ν° 2

[www.wtert.gr](http://www.wtert.gr)

[www.tee.gr](http://www.tee.gr)

[www.kedke.gr](http://www.kedke.gr)

[www.kepe.gr](http://www.kepe.gr)

[www.ecorec.gr](http://www.ecorec.gr)

[www.recycle.gr](http://www.recycle.gr)

[www.hachp.gr](http://www.hachp.gr)

[www.safewasteandpower.com](http://www.safewasteandpower.com)

[www.recoveredenergy.com](http://www.recoveredenergy.com)

[www.e.s.d.k.n.a.gr](http://www.e.s.d.k.n.a.gr)

[www.biomass.org](http://www.biomass.org)



**Αθήνα**

**Οκτώβριος - 2011**

