



ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ

**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**“ Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και  
Αειφόρος Ανάπτυξη”**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Τρόποι Διάθεσης Αστικών Στερεών Αποβλήτων  
με έμφαση στα ΧΥΤΑ»**

Μεταπτυχιακός Φοιτητής

**Κούτσης Γρηγόρης**



Επιβλέπουσα

**Παραλικά Μαρία, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός  
Καθηγήτρια ΤΕΙ Αθήνας**

Αθήνα , Μάρτιος 2017



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:** «Τρόποι Διάθεσης Αστικών Στερεών Αποβλήτων  
με έμφαση στα ΧΥΤΑ»

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ:** Κούτσης Γρηγόρης

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:** Παραλίκα Μαρία, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός,  
Καθηγήτρια ΤΕΙ Αθήνας

**ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:** 2016-17

### **ΣΥΝΟΨΗ**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει το ρόλο των Χώρων Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ) στο γενικότερο σχέδιο Περιβαλλοντικής Διαχείρισης και ιδιαίτερα στον τομέα διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), καθώς και να δώσει σημαντικές πληροφορίες Γεωτεχνικής φύσης για τον ασφαλέστερο και αποδοτικότερο σχεδιασμό του έργου. Δύο είναι οι κύριες διαστάσεις του θέματος, η περιβαλλοντική και η τεχνοοικονομική. Αρχικά παρατίθενται στοιχεία που καλύπτουν το ήδη υπάρχον ευρύ γνωστικό πεδίο σε όλο του το φάσμα, συμπεριλαμβανομένων και των μεθόδων εκτροπής, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται στοιχεία ερευνών αναφορικά με την Σεισμική Τρωτότητα των ΧΥΤΑ (ως γεωτεχνικό έργο), η οποία εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη Δυναμική Απόκριση της Απορριμματικής μάζας. Η απόκριση της Απορριμματικής μάζας κατά τη διάρκεια του σεισμικού γεγονότος, καθώς και η επίδραση αυτής στην ευστάθεια των Απορριμματικών Πρανών (Αναχωμάτων), αποτελεί ένα ανοιχτό προς έρευνα πεδίο, με τις πρώτες μελέτες να έχουν εκπονηθεί κυρίως μετά το σεισμό του Northridge το 1994, για λογαριασμό του ΧΥΤΑ ΟΠ (Operating Industries, Inc) στην πολιτεία της Καλιφόρνια. Η Ελλάδα είναι μια χώρα που χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική δραστηριότητα, ειδικά στην περιοχή του Ιονίου, με τον τελευταίο μεγάλο σεισμό του 2014 στην περιοχή Παλική της Κεφαλονιάς (έως και 0,65g), να έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον επιστημόνων, τόσο σε ότι αφορά την Τεκτονική δομή της περιοχής, αλλά και αναφορικά με την συμπεριφορά των Κατασκευών. Προς το τέλος της παρούσας εργασίας, γίνεται μια συνοπτική περιγραφή των εγκαταστάσεων του ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς, σε μια προσπάθεια να προκληθεί ενδιαφέρον για την πραγματοποίηση ερευνών και μετρήσεων Πεδίου σχετικά με τη δυναμική συμπεριφορά των Απορριμμάτων, κάτι το οποίο βέβαια είναι αρκετά φιλόδοξο και αν γινόταν θα αποτελούσε πρωτοτυπία για την Ευρώπη. Ένα τέτοιο εγχείρημα απαιτεί πρώτα απ' όλα επιστημονικό ενδιαφέρον και την ύπαρξη των κατάλληλων υποδομών, όπως τοποθέτηση επιταχυνσιογράφων στο συγκεκριμένο ΧΥΤΑ.

## Περίληψη

Το ζήτημα της Διαχείρισης των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), είναι αρκετά επίκαιρο στην Ελλάδα, εφόσον οι αρμόδιοι φορείς καλούνται πλέον να δράσουν άμεσα προς συμμόρφωση με τις Βασικές Αρχές και τις Επιταγές της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ιδιαίτερα μετά το συμβούλιο της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου του 2016 όπου το Ευρωπαϊκό δικαστήριο επέβαλε στην Ελλάδα το κατ' αποκοπήν ποσό των 10.000.000 ευρώ και ημερήσιο πρόστιμο 30.0000 ευρώ, καθώς αγνοήθηκαν ή ερμηνεύτηκαν κατά το δοκούν οι Οδηγίες του 2009, κάθε φορέας περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι υποχρεωμένος να δημοσιεύει Εκθέσεις για την πρόοδο και την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων, οι οποίες κρίνονται και ελέγχονται από επιτροπές της κοινότητας. Όπως γίνεται αντιληπτό, δεν υπάρχουν άλλα χρονικά περιθώρια και πρέπει να αντιμετωπιστούν άμεσα πλέον, διαχρονικά προβλήματα που ταλανίζουν την Ελληνική Κοινωνία, όπως η Εδαφική Διάθεση Στερεών Αποβλήτων και η μη ύπαρξη κατάλληλων εγκαταστάσεων για το σκοπό αυτό.

Πρόκειται πολύ σύντομα να αρχίσει η αποκατάσταση αρκετών χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) και η μετατροπή αυτών σε σύγχρονους ΧΥΤΑ που θα καλύπτουν τις ανάγκες και θα πληρούν τις προδιαγραφές που θέτει η ΕΕ. Επιπλέον το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΕΣΔΑ), προβλέπει την κατασκευή νέων ΧΥΤΑ που θα περιλαμβάνουν στο ευρύτερο χώρο τους μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, προς εκτροπή ποσοστού απορριμματικής μάζας από την εδαφική διάθεση και αξιοποίηση αυτής για ανάκτηση Υλικών ή ακόμα και Ενέργειας.

Επειδή η Ελλάδα είναι χώρα που παρουσιάζει μεγάλο τεκτονικό ενδιαφέρον και έντονη σεισμική δραστηριότητα, κρίνεται απαραίτητο στην παρούσα εργασία, το ζήτημα των ΧΥΤΑ να συσχετιστεί με αυτό της σεισμικής τρωτότητας κατασκευών. Είναι γεγονός πως ο σεισμικός παράγοντας δε μπορεί να αγνοηθεί στην Ελλάδα σε ότι αφορά Κτιριακές αλλά και Γεωτεχνικές Κατασκευές, πόσο μάλλον όταν οι συνέπειες από την αστοχία αυτών μπορεί να συνεπάγονται πολλαπλά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η κατασκευή ενός ΧΥΤΑ είναι ένα αρκετά σύνθετο Γεωτεχνικό Έργο, που κοστολογείται αρκετά ψηλά και η όποια αστοχία προκληθεί εντός αυτού, αποκαθίσταται πολύ δύσκολα, με μεγάλο περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος. Γίνεται επομένως σαφές πως κάθε παράγοντας που μπορεί να προκαλέσει βλάβη, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από το στάδιο της μελέτης. Αστοχία σε έναν ΧΥΤΑ μπορεί να προκληθεί από διαφορικές καθιζήσεις οι οποίες οφείλονται συνήθως στον κορεσμό του εδάφους, λόγω μη επαρκούς συστήματος απορροής των Ομβρίων και στη διάδοση διατμητικού κύματος προκαλούμενο από σεισμό.

Η εργασία αυτή επιχειρεί σε πρώτο στάδιο να περιγράψει την έννοια της Αειφόρου Ανάπτυξης και της Βιωσιμότητας Τεχνικών Συστημάτων, καθώς και να προσεγγίσει πρακτικές όπως η Συστημική Θεώρηση και η Πολυκριτηριακή Ανάλυση, που εφαρμόζονται για την επίλυση δύσκολων και πολυσύνθετων προβλημάτων όπως είναι εν προκειμένω το περιβαλλοντικό. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι επίσης μια πρακτική που βοηθά τον μελετητή να διακρίνει την βέλτιστη από περιβαλλοντικής άποψης λύση ενός προβλήματος, υπολογίζοντας το ισοζύγιο ενέργειας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub> ενός οποιουδήποτε προϊόντος από τη φάση της εξόρυξης πρώτων υλών για την παρασκευή του, μέχρι την τελική διάθεση αυτού. Επίσης η χρήση μετρήσιμων δεικτών δύναται να βοηθήσει στην αξιολόγηση και στην βελτίωση μεθόδων επίλυσης περιβαλλοντικών προβλημάτων καθώς και να προάγει τη διαφάνεια εφόσον οι δείκτες αυτοί συσχετίζονται και ερμηνεύονται ορθά.

Η Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΔΑΣΑ) αφορά μεθόδους επεξεργασίας απορριμμάτων (της πόλης) και αποτελεί ένα σύνθετο περιβαλλοντικό ζήτημα στο οποίο εμπλέκονται πολλοί φορείς κρατικοί και ιδιωτικοί. Στόχος της ΔΑΣΑ είναι η όσο το δυνατό καλύτερη εκμετάλλευση της χωρητικότητας του φυσικού περιβάλλοντος, το οποίο καλείται να απορροφήσει απόβλητα χωρίς να γίνει υπέρβαση των κοινωνικά αποδεκτών ορίων για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το κόστος. Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται εκτενής περιγραφή των μεθόδων και πρακτικών διαχείρισης, από την Πρόληψη έως την Εδαφική Διάθεση, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων εκτροπής όπως είναι η Ανακύκλωση, η Βιολογική (Κομποστοποίηση), αλλά και η Χημική Επεξεργασία (Καύση, Πυρόλυση κλπ) και γίνεται μια προσπάθεια σύγκρισης αυτών, ανάλογα πάντα με τις συνθήκες και τα οικονομικά δεδομένα κάθε τύπου.

Κεντρικό θέμα της εργασίας είναι η μελέτη των Χώρων Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ), θέμα το οποίο απασχολεί εδώ και κάποια χρόνια τους Φορείς Διαχείρισης Απορριμμάτων και θα συνεχίσει να προκαλεί το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον, τόσο μελετητών, όσο και επιχειρηματιών καθώς αναμένεται μεγάλη εισροή ιδιωτικού κεφαλαίου και συμπράξεις δημοσίου και ιδιωτικού φορέα. Στην εργασία αναφέρονται κυρίως κατασκευαστικά ζητήματα των ΧΥΤΑ, όπως είναι το σύστημα μόνωσης, ενώ καλύπτονται πλήρως, με εκτενή περιγραφή, η διαδικασία βιοσταθεροποίησης των αποβλήτων εντός του χώρου και ο σχεδιασμός των συστημάτων Διαχείρισης Στραγγισμάτων και Βιοαερίου. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζονται δεδομένα από εργασίες για λογαριασμό πανεπιστημίων του εξωτερικού, αλλά και ελληνικών (Πολυτεχνείο Κρήτης), σχετικά με τη Σεισμική Τρωτότητα των ΧΥΤΑ και τη συμπεριφορά της απορριμματικής μάζας κατά την επίδραση ενός σεισμικού γεγονότος. Σύμφωνα με εργασίες που έχουν εκπονηθεί, οι περισσότερες έχοντας ως αντικείμενο μελέτης τον ΧΥΤΑ ΟΠ (Operating Industries, Inc) της Καλιφόρνια, η συμπεριφορά της απορριμματικής μάζας κατά τη διάδοση του διατμητικού κύματος και η τοπογραφία – γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής του έργου, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη συμπεριφορά του όλου συστήματος. Η μελέτη της ευστάθειας των Εδαφικών Αναχωμάτων είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τα περισσότερα Γεωτεχνικά Έργα και κρίνεται επαρκής, όπως μαρτυρούν όμως οι έρευνες πεδίου στον ΧΥΤΑ ΟΠ (Operating Industries, Inc) και αρκετές μελέτες εργαστηρίου, όπως και οι εργασίες Ελλήνων Επιστημόνων για λογαριασμό του Πολυτεχνείου Κρήτης, στην περίπτωση των ΧΥΤΑ το πρόβλημα είναι αρκετά πολυπλοκότερο και απαιτεί περαιτέρω έρευνα, ειδικά σε ότι αφορά το θέμα της δυναμικής συμπεριφοράς των αποβλήτων σε συνδυασμό με το ποσοστό υγρασίας σε αυτά.

Στο τέλος της εργασίας και με αφορμή το μεγάλο σεισμό που έλαβε χώρα το Φεβρουάριο του 2014 στην περιοχή Παλική της Κεφαλονιάς παρουσιάζονται δεδομένα σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση του ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς και τις προγραμματισμένες μελλοντικές επεμβάσεις στον ευρύτερο χώρο αυτού. Επειδή πρόκειται για έναν αρκετά καλά οργανωμένο ΧΥΤΑ σε μια έντονα σεισμογενή περιοχή, προτείνεται προσθήκη επιταχυνσιογράφων στα μελλοντικά έργα, ούτως ώστε να υπάρξει δυνατότητα για έρευνες με μετρήσεις Πεδίου σχετικά με τη δυναμική συμπεριφορά των απορριμμάτων.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΕΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία έγινε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. των ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ. με τίτλο «*Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος Ανάπτυξη*», με στόχο να αναδείξει το ρόλο των Χώρων Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ) στον Εθνικό Περιβαλλοντικό Σχεδιασμό και να δώσει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη Σεισμική Τρωτότητα των εν λόγω κατασκευών. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Μ. Παραλίκα, Καθηγήτρια ΤΕΙ Αθήνας, για τις χρήσιμες πληροφορίες που μου παρείχε, τις υποδείξεις και την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής, τον κ. Κ. Δημάκο, Διευθυντή του Μεταπτυχιακού Προγράμματος και πρόεδρο του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. των ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ., καθώς και τον κ. Ν. Πνευματικό, Επίκουρο καθηγητή των ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ, για το εύρος της γνώσης που παρείχε στα πλαίσια του μαθήματος «Σεισμική Τρωτότητα Κατασκευών».

Κούτσης Α. Γρηγόρης

Αθήνα, Μάρτιος 2017

**POST – GRADUATE THESIS:** “Management of Municipal Solid Waste with Emphasis on Landfills”

**STUDENT:** Koutsis Grigorios

**SUPERVISOR:** Paralika Maria, Dr. Civil Engineer AUTH,  
TEI of Athens Professor

**ACADEMIC YEAR:** 2016 – 17

### **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to point out the role of Services Sanitary Landfill in the overall project Environmental Management and especially in Municipal Solid Waste management and provide important geotechnical information for safer and more efficient project planning. There are two main dimensions of the issue, the environmental and techno-economic. At first listed items adequately cover the existing wide field of knowledge, including all methods of municipal solid waste management and then presented research data on the Seismic Vulnerability of landfills which depends largely on the seismic response of the volume of waste. The response of the volume of waste, during the earthquake and its impact on the stability of the slopes is an open field for research, for which preliminary studies have drawn mainly after the Northridge earthquake in 1994 in Landfill OII (Operating Industries, Inc) in California. Greece is a country characterized by intense seismic activity, especially in the Ionian Sea, where the last great earthquake occurred in Kefallinia (Paliki region) which had accelerated to 0,65g, fact that aroused the interest of scientists, both in terms of tectonic structure of the area, but also with regard to the behavior of Structures. Towards the end of this study, is a brief description of the premises of the landfill Kefallinia, in an effort to generate interest in carrying out research and field measurements about seismic behavior of waste, something which of course is quite ambitious and a novelty for Europe. Such an undertaking requires first and foremost scientific interest and the existence of adequate infrastructure, such as placing accelerometer in this landfill.

## SUMMARY

The issue of Municipal Solid Waste Management is quite topical in Greece, where the competent institutions are invited now to act immediately to comply with the Core Principles of the European Union. Especially after the Council of 7 September 2016 in which the European court imposed in Greece EUR 10 million and a daily penalty of EUR 30.0000 as ignored or incorrectly interpreted the 2009 Guidelines, each environmental management organization is obliged to publish reports on the progress and achieve specific objectives, which are judged and controlled by the European community committees. As can be seen, there are no time limits and should be addressed more directly, temporal problems afflicting the Greek society, such as the Landfill Solid Waste and the lack of appropriate facilities for this purpose.

It is too soon to begin the restoration of several sites uncontrolled waste disposal and converted into modern landfill that will cover the needs and meet the requirements set by the European Union. Moreover, the National Waste Management Plan provides for the construction of new landfills will include in the wider area of waste treatment plants, in order to exploit them for material recovery or even Energy.

Greece is a country of great tectonic interest and intense seismic activity, so it's necessary in this thesis, the issue of landfills to be assigned to the seismic vulnerability of structures. The fact is that the seismic factor can't be ignored in Greece, in terms Building and Geotechnical Constructions, especially when the consequences of the failure of these, may involve multiple environmental problems. The construction of a landfill is a fairly complex Geotechnical Project, which is priced quite high and any failure that may occur in this, restored very difficult, with great environmental and economic costs. It is therefore clear that any factor that can cause failure should be taken into account from the design stage. Failure in a landfill can be caused by precipitations, which are usually due to soil saturation due to insufficient drainage system of Stormwater and exercised shear stress caused by an earthquake.

This thesis attempts initially to describe the concept of Sustainable Development and Sustainability Systems Engineering and to approach practices as Systemic Consideration and Multicriteria Analysis, applied to solve difficult and complex problems such as in this case environmental. The LCA is also a practice that helps the designer to discern the optimal solution of a problem from an environmental perspective, taking into account the energy balance and CO<sub>2</sub> emissions, of any product from the stage of extraction of raw materials for its preparation, to final Disposal of this. Also the use of measurable indicators can assist in the evaluation and improvement of methods of solving environmental problems and to promote transparency where these indicators are correlated and interpreted correctly. The Municipal Solid Waste Management regards their processing methods and is a complex environmental issue that involved several government and private organizations. The aim of MSW management is the optimal utilization of capacity of the natural environment, which must be able to absorb waste without exceeding the socially acceptable limits for the environmental impact and cost. Then thesis describes in detail the waste management practices, from Prevention to the Landfilling, including practices such as Recycling, Organic (Composting) and Chemical Treatment (Incineration, Pyrolysis, etc.) and made a comparison attempt these, always depending on the conditions and the economics of each place.



The central theme of this thesis is the study of Sanitary Landfill Sites. This issue is troubling for some years the waste management organizations, provided that it will continue to cause the growing interest, both scholars and entrepreneurs as expected large inflow of private capital – public and private sector partnerships. In this thesis referred mainly structural issues of landfills, such as the insulation system. Moreover is fully covered the Biological degradation process of waste and design of Leachate and Biogas Management Systems. Also presented data from dissertations prepared in Universities abroad, as Greek universities (Technical University of Crete), on the Seismic Vulnerability of the landfill and the behavior of waste in the effect of a seismic event. According many theses which developed, most having as object of study the landfill OII (Operating Industries, Inc) at California, the behavior of waste in the propagation of shear wave and the topography of the wider area of the project, can significantly affect the behavior of whole system. The study of stability of Soil Slope is a method used for most Geotechnical structures deemed sufficient, but as shown by field research in landfills OII (Operating Industries, Inc) and several laboratory studies, in the case of landfills, the problem is quite complex and requires further research, especially regarding the issue of the dynamic behavior of waste in conjunction with the moisture content in them.

At the end of this study, on the occasion of the earthquake which occurred in February 2014 in (Paliki) of Kefallinia region, presented data on the current situation of the Kefallinia landfill and planned future interventions in the wider area of this. Also this is a fairly well organized landfill in a highly seismic area, for the reason proposed adding accelerometer in future projects, so as to allow for investigations with Field measurements on the dynamic behavior of the waste.

## Πίνακας Περιεχομένων

Σύνοψη .....	3
Περίληψη.....	4
Ευχαριστίες .....	6
Abstract.....	7
Summary.....	8
Πίνακας Σχημάτων.....	14

### Κεφάλαιο 1

<i>Αειφόρος Ανάπτυξη και Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων (ΔΑΣΑ)</i> .....	18
--	----

1.1. Εισαγωγή στην Έννοια της Αειφόρου Ανάπτυξης.....	18
1.2. Η Αειφόρος Ανάπτυξη ως έννοια Κεφαλαίου.....	19
1.3. Προβληματισμοί πάνω στην εφαρμογή της Αειφορίας.....	21
1.3.1 Γενικοί προβληματισμοί σε παγκόσμια κλίμακα.....	21
1.3.2 Αρχές Πολιτικής Αειφόρου Ανάπτυξης στα πλαίσια της Ε.Ε.....	21
1.3.3 Κύρια Προβλήματα Διαχείρισης σε Εθνικό επίπεδο.....	22
<b>1.4. Βιωσιμότητα Τεχνικών Συστημάτων.....</b>	<b>22</b>
1.4.1 Συστημική Θεώρηση.....	22
1.4.1.1 Μεθοδολογία και Πολυκριτηριακή Ανάλυση.....	22
1.4.1.2 Δείκτες Επίδοσης.....	23
1.4.2 Βιωσιμότητα έργων (Αειφορική Διάσταση) και Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	24
1.4.2.1. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ).....	24
1.4.2.2. Βιωσιμότητα ενός έργου.....	25
1.4.3. Η Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων ως εξελισσόμενο σύστημα.....	25
<b>1.5. Σύστημα Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων.....</b>	<b>26</b>
1.5.1. Εισαγωγή στη ΔΑΣΑ.....	26
1.5.2. Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ).....	29
1.5.2.1. Γενικά για ΑΣΑ και Διαχείριση.....	29
1.5.2.2. Φυσικά Χαρακτηριστικά ΑΣΑ.....	31
1.5.2.3. Βιολογικά Χαρακτηριστικά ΑΣΑ.....	32
1.5.2.4. Χημικά Χαρακτηριστικά ΑΣΑ.....	33
1.5.3. Μετατροπή Φυσικών – Βιολογικών – Χημικών Χαρακτηριστικών (ΑΣΑ).....	34
1.5.3.1. Μετατροπή Φυσικών Χαρακτηριστικών.....	34
1.5.3.2. Μετατροπή Βιολογικών Χαρακτηριστικών.....	36
1.5.3.3. Μετατροπή Χημικών Χαρακτηριστικών.....	36

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

<i>Κύριες Μέθοδοι Διαχείρισης ΑΣΑ</i> .....	<b>38</b>
---	-----------

2.1. Πρόληψη.....	38
2.2. Επαναχρησιμοποίηση.....	40
2.3. Ανακύκλωση και Εγκαταστάσεις Ανάκτησης Υλικών και Ενέργειας (ΕΑΥ/Ε).....	42
2.3.1. Στόχοι και Σχεδιασμός Ανακύκλωσης.....	42

2.3.2. Ανακύκλωση με Διαχωρισμό στην Πηγή (ΔσΠ).....	44
2.3.3. Ανακύκλωση από ρεύμα σύμμεικτων απορριμμάτων.....	45
2.3.4. Μηχανικές Διεργασίες για ανάκτηση και Ανακύκλωση Υλικών.....	45
2.3.4.1. Διαλογή ΑΣΑ.....	45
2.3.4.2. Μείωση Μεγέθους.....	48
2.3.5. Εγκαταστάσεις Μηχανικού Διαχωρισμού (ΕΜΔ).....	50
2.3.5.1. Στόχοι και υποσυστήματα μιας ΕΜΔ.....	50
2.3.5.2. Θετικά και Αρνητικά ΕΜΔ.....	51
2.3.6. Εγκαταστάσεις Ανάκτησης Υλικών και Ενέργειας.....	52
2.3.6.1. Κατηγορίες και Παράγωγα ΕΑΥ/Ε.....	52
2.3.6.2. Κριτήρια αξιολόγησης.....	53
<b>2.4. Βιολογική Επεξεργασία ΑΣΑ.....</b>	<b>53</b>
2.4.1. Εισαγωγή.....	53
2.4.2. Αερόβια Επεξεργασία ή Κομποστοποίηση.....	54
2.4.3. Αναερόβια Επεξεργασία (χώνευση) _ Παραγωγή Βιοαερίου.....	56
<b>2.5. Θερμική Επεξεργασία ΑΣΑ.....</b>	<b>58</b>
2.5.1. Εισαγωγή.....	58
2.5.2. Καύση.....	59
2.5.2.1. Φυσικές και Χημικές διεργασίες – προϊόντα.....	59
2.5.2.2. Σχεδιασμός Συστήματος Επεξεργασίας μέσω Καύσης (περιγραφή).....	60
2.5.2.3. Θετικά και Αρνητικά συστήματος Καύσης.....	63
2.5.3. Πυρόλυση.....	64
2.5.3.1. Εισαγωγή.....	64
2.5.3.2. Συνοπτική Περιγραφή.....	64
2.5.4. Αεριοποίηση.....	65
2.5.4.1. Εισαγωγή.....	65
2.5.4.2. Συνοπτική Περιγραφή.....	65
<b>2.6. Εδαφική Διάθεση και Εισαγωγή στους ΧΥΤΑ.....</b>	<b>66</b>
2.6.1. Εδαφική Διάθεση (Γενικά).....	66
2.6.2. Εισαγωγή στους ΧΥΤΑ.....	66
<b>2.7. Διαχείριση Αποβλήτων Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ).....</b>	<b>68</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

<b>Χώροι Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ).....</b>	<b>72</b>
3.1. Εισαγωγή.....	72
<b>3.2. Κατηγοριοποίηση ΧΥΤΑ με βάση το ανάγλυφο και Χωροθέτηση.....</b>	<b>74</b>
3.2.1. Κατηγοριοποίηση ΧΥΤΑ με βάση το ανάγλυφο.....	74
3.2.2. Χωροθέτηση ΧΥΤΑ.....	76
3.2.2.1 Προεπιλογή θέσης ΧΥΤΑ.....	77
3.2.2.2. Κριτήρια συγκριτικής αξιολόγησης και επιλογής τελικής θέσης ΧΥΤΑ.....	78
<b>3.3. Μόνωση Βάσης και Πρανών ΧΥΤΑ.....</b>	<b>79</b>
3.3.1. Εισαγωγή.....	79
3.3.2. Είδη Μόνωσης με βάση το Υλικό.....	80
3.3.2.1. Αργιλική μόνωση και μόνωση με ορυκτά υλικά.....	80
3.3.2.2. Μόνωση με Γεωμεμβράνες και Σύνθετη μόνωση.....	82
<b>3.4. Διαμόρφωση στρώσεων ΑΣΑ και Διεργασίες στο Κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ.....</b>	<b>86</b>
3.4.1. Διαμόρφωση Κυττάρων και Καλύψεις.....	86

3.4.2. Συμπύκνωση και Καθιζήσεις .....	87
3.4.3. Είδη Μηχανημάτων που Χρησιμοποιούνται στους ΧΥΤΑ.....	89
3.4.4. Διεργασίες στο Κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ.....	92
3.4.5. Ο ΧΥΤΑ ως Βιοαντιδραστήρας.....	93
<b>3.5. Σύστημα Συλλογής και Διαχείρισης Στραγγισμάτων ΧΥΤΑ.....</b>	<b>94</b>
3.5.1. Παραγωγή Στραγγισμάτων .....	94
3.5.2. Έλεγχος και διαχείριση στραγγισμάτων.....	96
3.5.2.1. Σύστημα Αποστράγγισης και Συλλογής .....	97
3.5.2.2. Επεξεργασία Στραγγισμάτων.....	100
<b>3.6. Έλεγχος και διαχείριση Βιοαερίου.....</b>	<b>102</b>
3.6.1. Παραγωγή Βιοαερίου.....	102
3.6.2. Συστήματα άντλησης βιοαερίου.....	106
3.6.3. Συστήματα μεταφοράς και ρύθμισης βιοαερίου.....	110
3.6.4. Καθαρισμός - επεξεργασία και χρήση βιοαερίου.....	111
3.6.4.1. Βιολογική επεξεργασία.....	112
3.6.4.2. Καύση βιοαερίου σε χώρους ελεγχόμενης διάθεσης.....	112
3.6.4.3. Καθαρισμός βιοαερίου για περαιτέρω χρήση.....	113
3.6.4.4. Ανάκτηση ενέργειας μέσω βιοαερίου.....	114
<b>3.7. Τελική Κάλυψη (στεγανοποίηση) και Αποκατάσταση ΧΥΤΑ.....</b>	<b>114</b>
3.7.1. Εισαγωγή.....	114
3.7.2. Τελική Κάλυψη.....	115
3.7.3. Αποκατάσταση ΧΥΤΑ.....	116
<b>3.8. Λειτουργία και Παρακολούθηση ΧΥΤΑ.....</b>	<b>117</b>
3.8.1. Λειτουργία ΧΥΤΑ.....	117
3.8.2. Παρακολούθηση ΧΥΤΑ.....	120
3.8.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ΧΥΤΑ.....	122

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

<i>Νομοθετικό Πλαίσιο</i> .....	123
---------------------------------	-----

<b>4.1. Περιβαλλοντική Πολιτική Ευρωπαϊκής Ένωσης.....</b>	<b>123</b>
4.1.1 Βασικές Αρχές.....	123
4.1.2 Περιβαλλοντικές Δράσεις Ε.Ε.....	125
4.1.3. Από την Οδηγία (75/442/ΕΟΚ) στον νέο Νόμο Πλαίσιο για τ' απόβλητα, Οδηγία 2008/98/ΕΚ.....	128
<b>4.2. Ελληνική Περιβαλλοντική Πολιτική.....</b>	<b>130</b>
4.2.1. Βασικές Αρχές και Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων .....	130
4.2.2. Βασική Περιβαλλοντική Νομοθεσία.....	132
4.2.3. Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων.....	133
4.2.5. Εδαφική Διάθεση Αποβλήτων.....	133
4.2.6. Κυρώσεις Ε.Ε και Πρόγραμμα Εθνικών μελλοντικών Δράσεων.....	134

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### ***Δυναμική Απόκριση ΧΥΤΑ.....136***

5.1. Εισαγωγή και Σεισμική Τρωτότητα ΧΥΤΑ.....	136
5.2. Έρευνες σχετικές με τη Σεισμική απόκριση ΧΥΤΑ.....	138
5.3. Μέθοδοι υπολογισμού σεισμικής απόκρισης ΧΥΤΑ (Γενικά).....	142
5.4. Παράδειγμα Αστοχίας ΧΥΤΑ υπό Δυναμική καταπόνηση.....	144
<b>5.5. Ανάλυση Σεισμικής Απόκρισης ΧΥΤΑ.....</b>	<b>149</b>
5.5.1 Ευστάθεια Απορριμματικών Πρανών (Ψευδοστατική Μέθοδος).....	149
5.5.2 Μηχανικές και Δυναμικές Ιδιότητες Απορριμμάτων.....	151
<b>5.6. Ο Ρόλος των συστημάτων στεγάνωσης στη Σεισμική απόκριση ΧΥΤΑ.....</b>	<b>157</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

### ***Πρόβλημα Αποκατάστασης ΧΑΔΑ στην Ελλάδα και παράδειγμα ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς (περιοχή Παλλοστής) .....160***

6.1. Συνοπτική Παρουσίαση του προβλήματος ΧΑΔΑ – ΧΥΤΑ στην Ελλάδα.....	160
6.2. ΧΥΤΑ Παλλοστής (Θηνιάς) και Εξέλιξη Διαχείρισης ΑΣΑ στο Δήμο Κεφαλονιάς & Ιθάκης.....	163
6.2.1. Υφιστάμενη Κατάσταση και Περιβαλλοντικά Δεδομένα.....	163
6.2.2. Υφιστάμενες Υποδομές στο ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς και μελλοντικοί στόχοι.....	166

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

### ***Συμπεράσματα.....170***

### ***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....174***

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1. Βασικές διαστάσεις Αειφορίας (φαίνονται τα επί μέρους κεφάλαια διαχείρισης, Ανθρωπογενές ή Οικονομικό – Κοινωνικό – Φυσικό – Ανθρώπινο που εκφράζεται ως πολιτικό και παρουσιάζεται ως το κυρίαρχο) « <a href="https://www.slideshare.net/IrisLoterte/sustainable-development-and-transdisciplinarity">https://www.slideshare.net/IrisLoterte/sustainable-development-and-transdisciplinarity</a> ».....	20
Εικόνα1.2_Ιδανική Πολιτική Διαχείρισης ΑΣΑ σύμφωνα με την Ε.Ε. « <a href="http://educationalhall.blogspot.gr/2015/12/our-environment.html">http://educationalhall.blogspot.gr/2015/12/our-environment.html</a> ».....	28
Εικόνα 1.3_Διαχείριση ΑΣΑ σε χώρες της Ε.Ε. όπου φαίνεται η εξάρτηση της Ελλάδας από την Υ.Τ. , (Eurostat, ΕΕΑ, Copenhagen 2007).....	29
Εικόνα 1.4_ Ποιοτική Σύσταση Απορριμμάτων ανά Περιφέρεια (ΜΠΟΥΡΤΣΑΛΛΑΣ, ΘΕΜΕΛΗΣ, ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ, 2011, Earth Engineering Center, Columbia University).....	31
Εικόνα1.5_ Μηχανήματα μείωσης μεγέθους και διαλογής (Κόπτες - Μύλοι - Κόσκινα), (Νταρακάς, 2014).....	34
Εικόνα 2.6_Ιεράρχηση Μεθόδων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων « <a href="http://educationalhall.blogspot.gr/2015/12/our-environment.html">http://educationalhall.blogspot.gr/2015/12/our-environment.html</a> » .....	39
Εικόνα 2.2_ Περίπτερο Ανακύκλωσης « <a href="http://www.voreini.gr/featured">http://www.voreini.gr/featured</a> ».....	42
Εικόνα 2.3_ Σταδιακή μείωση αερίων θερμοκηπίου και συμβολή ανακύκλωσης (Νταρακάς, 2014) .....	43
Εικόνα 2.4_ Διαχωρισμός στην Πηγή « <a href="http://www.activistis.gr/2017/01/blog-post_539.html">http://www.activistis.gr/2017/01/blog-post_539.html</a> » .....	44
Εικόνα 2.5_ Μέθοδοι μηχανικής διαλογής με βάση το μέγεθος « <a href="http://www.gyratory-crusher.com/News/Vibrating-Screens-Used-Worldwidely.html">http://www.gyratory-crusher.com/News/Vibrating-Screens-Used-Worldwidely.html</a> ».....	46
Εικόνα 2.6_ Περιστρεφόμενη εσχάρα Τυμπάνου (drum screen) και Δονούμενη εσχάρα (bar screen) « <a href="http://www.netplasmak.com/solid-waste-sorting-machines.html">http://www.netplasmak.com/solid-waste-sorting-machines.html</a> ».....	47
Εικόνα 2.7_ Μέθοδοι Μαγνητικού Διαχωρισμού (Νταρακάς, 2014).....	47
Εικόνα 2.8_ Τεμαχιστές (shear shredders) « <a href="http://www.fil-eco.gr/products.asp?cat_id=3">http://www.fil-eco.gr/products.asp?cat_id=3</a> ».....	49
Εικόνα 2.9_ Σφυρόμυλος (hammer mill) « <a href="http://nett21.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_2/html/Doc_363_1.html">http://nett21.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_2/html/Doc_363_1.html</a> ».....	49
Εικόνα 2.10_ Υδραυλικός Σπειροειδής Διαχωριστής (Νταρακάς, 2014).....	51
Εικόνα 2.11_ Σύστημα Ανοιχτής Κομποστοποίησης « <a href="http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e07.htm">http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e07.htm</a> ».....	55
Εικόνα 2.12_ Εγκαταστάσεις Αναερόβιας Επεξεργασίας « <a href="http://www.ecc.com.gr/el/ta-genika-tis-anaerovias-epexergasias-ton-apovliton">http://www.ecc.com.gr/el/ta-genika-tis-anaerovias-epexergasias-ton-apovliton</a> ».....	57
Εικόνα 2.73_ Εγκατάσταση Καύσης με Ανάκτηση Ενέργειας Spittelau_ Βιέννη (Παναγιωτακόπουλος, 2008).....	58
Εικόνα 8.14_ Θερμική επεξεργασία ΑΣΑ (καύση), (Φελεσκούρα & Παπαϊωάννου,2004).....	61

Εικόνα 2.15_ Διαδικασία Καύσης και παραγωγή Ενέργειας « <a href="http://slideplayer.com/slide/7856762/">http://slideplayer.com/slide/7856762/</a> ».....	62
Εικόνα 2.96_ Τυπική Σύσταση Αποβλήτων Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (Γαλετάκης, 2014) .....	68
Εικόνα 10.17_ Στάδια Κύκλου Οικοδομικού Έργου (Γαλετάκης, 2014).....	70
Εικόνα 2.18_ Τεχνικές Διαχείρισης Αποβλήτων Οικοδομής (Γαλετάκης, 2014).....	71
Εικόνα 3.11_ Μορφές ΧΥΤΑ σχετικά με το ανάγλυφο (Καραμπάτσος, 2006).....	76
Εικόνα 3.2_ Κατασκευή σύνθετης μόνωσης με Γεωμεμβράνες και γεφυφάσματα « <a href="http://limes-luene.de/">http://limes-luene.de/</a> ».....	79
Εικόνα 3.3_ Τομή ΧΥΤΑ όπου φαίνεται η διάταξη των στρώσεων μόνωσης βάσης – πρανών και επιφάνειας « <a href="https://www.nap.edu/read/11930/chapter/3#7">https://www.nap.edu/read/11930/chapter/3#7</a> ».....	82
Εικόνα 3.4_ Συνδυασμός φυσικής και τεχνητής μόνωσης με σύστημα αποστράγγισης (Σκορδίλης, 2006).....	83
Εικόνα 3.5_ Διπλό σύστημα φυσικής - τεχνητής μόνωσης και αποστράγγισης (Σκορδίλης, 2006).....	84
Εικόνα 3.6_ Διαμόρφωση περιοδικών Κυττάρων « <a href="http://www.ben-harvey.org/UNHCR/WASH-Manual/Wiki/index.php/Chapter_6">http://www.ben-harvey.org/UNHCR/WASH-Manual/Wiki/index.php/Chapter_6</a> ».....	86
Εικόνα 3.7_ Μηχανήματα στο χώρο του ΧΥΤΑ « <a href="http://www.halkidikifocus.gr/2014/index.php?option=com">http://www.halkidikifocus.gr/2014/index.php?option=com</a> ».....	89
Εικόνα 12.8_ Μηχάνημα Συμπίεσης και Προώθησης ΑΣΑ (φέρει δόντια στη θέση των τροχών) « <a href="http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34">http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34</a> ».....	90
Εικόνα 3.9_ Συμπιεστής που φέρει δόντια (κατάλληλος για διάστρωση μπαζών) « <a href="http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34">http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34</a> ».....	90
Εικόνα 3.10_ Προωθητές και Ερπυστριόφοροι Φορτωτές « <a href="http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34">http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34</a> ».....	91
Εικόνα 3.11_ Δημιουργία διασταλαγμάτων στον ΧΥΤΑ (Παναγιωτακόπουλος, 2008).....	95
Εικόνα 3.12_ Θέση αγωγού σε τομή και διάταξη στρώσεων ΧΥΤΑ (Σκορδίλης, 2006).....	99
Εικόνα 3.13_ Μορφές διάταξης αγωγών αποστράγγισης στο επίπεδο (Σκορδίλης, 2006).....	99
Εικόνα 3.14_ Σύστημα συλλογής στραγγισμάτων (σπονδυλικής στήλης), (Σκορδίλης, 2006) .....	100
Εικόνα 3.15_ Φάσεις παραγωγής βιοαερίου στον ΧΥΤΑ (Νταρακάς, 2014).....	103
Εικόνα 3.16_ Κάθετος συλλέκτης βιοαερίου, όπου διακρίνεται ο διάτρητος αγωγός στη μέση, το υλικό πλήρωσης, η σύνδεση αγωγού μεταφοράς (πάνω δεξιά) και το σύστημα ελέγχου (Σκορδίλης, 2006).....	108

Εικόνα 13.17_ Φρεάτιο συλλογής αερίων και στραγγισμάτων, όπου υπάρχει ειδική βαλβίδα ρύθμισης της ροής (Σκορδίλης, 2006).....	109
Εικόνα 3.18_ Τομή ΧΥΤΑ όπου διακρίνονται κυρίως τα φρεάτια άντλησης βιοαερίου και το σύστημα μεταφοράς και διαχείρισης « <a href="http://slideplayer.com/slide/7856762/">http://slideplayer.com/slide/7856762/</a> ».....	111
Εικόνα 3.19_ Τυπική διάταξη καυστήρα αερίων (Σκορδίλης, 2006).....	113
Εικόνα 3.20_ Διάταξη στρώσεων τελικής κάλυψης (Παναγιωτακόπουλος, 2008).....	115
Εικόνα 3.21_ Λειτουργία ΧΥΤΑ και Τομή όπου διακρίνονται οι στρώσεις των κυψελών και τα συστήματα μόνωσης και διαχείρισης στραγγισμάτων και βιοαερίου « <a href="http://www.nabpasmand.com/en-english/index.php/news/compost-news/150-nab-andish-pasmand-varna-services">http://www.nabpasmand.com/en-english/index.php/news/compost-news/150-nab-andish-pasmand-varna-services</a> ».....	118
Εικόνα 3.22_ Μηχάνημα Προώθησης και Τεμαχισμού - Συμπίεσης (φέρει δόντια στους τροχούς) « <a href="http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34">http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34</a> ».....	119
Εικόνα 5.14_ Προσομοίωση ιδιαίτερων χαρακτηριστικών ΧΥΤΑ και μελέτη Σεισμικής Απόκρισης στο εργαστήριο (πειραματική διαδικασία N.I. Thusyanthan & S.P.G. Madabhushi, University of Cambridge 2005).....	138
Εικόνα 5.15_ Σχέδια ΧΥΤΑ OII μετά από ερευνητικά προγράμματα 1995 (φαίνεται εγκάρσια τομή και κλίσεις πρανών καθώς και σημεία τοποθέτησης επιταχυνσιογράφων), (Augello, A.J., Matasovic, N., Bray, J.D., Kavazanjian, Jr., E., and Seed, R.B., 1995).....	139
Εικόνα 5.16_ ΧΥΤΑ OII, Monterey Park, California (βορειοδυτική άποψη), (E.J. Kavazanjian, 1999).....	140
Εικόνα 5.17_ Καμπύλες που δείχνουν την απομείωση του μέτρου διάτμησης G της απορριμματικής μάζας συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης σύμφωνα με τους Kavazanjian & Matasovic και Augello et al (1998).....	144
Εικόνα 5.18_ Καμπύλες όπου φαίνεται η αύξηση της απόσβεσης ξ της απορριμματικής μάζας συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης σύμφωνα με τους Kavazanjian & Matasovic και Augello et al (1998).....	144
Εικόνα 5.19_ Φάσμα Απόκρισης, όπως προέκυψε από το σύστημα επιταχυνσιογράφων του ΧΥΤΑ OII για σεισμό Northridge 1994, (Augello, A.J., Matasovic, N., Bray, J.D., Kavazanjian, Jr., E., and Seed, R.B., 1994).....	145
Εικόνα 5.20_ Κάτοψη και τομή ΧΥΤΑ Chiquita Canyon, όπου φαίνονται οι θέσεις αστοχίας της γεωμεμβράνης επί των τομών (C1 - C1') και (D2 – D2'), (E.J. Kavazanjian, Mohamed Arab, N. Matasovic, 2013).....	147
Εικόνα 5.21_ Σχισμές γεωμεμβράνης στην τομή: C1 - C1' (αριστερά) και στην τομή: D2 – D2' (δεξιά) του ΧΥΤΑ Chiquita Canyon, (E.J. Kavazanjian, Mohamed Arab, N. Matasovic, 2013).....	147
Εικόνα 5.22_ Σχισμή στο Canyon C, όπου διακρίνονται τα σημεία στα οποία είχε αφαιρεθεί δείγμα γεωμεμβράνης για εργαστηριακό έλεγχο και η αστοχία της διπλής συγκόλλησης (EMCON Associates 1994).....	148



Εικόνα 5.23_ Canyon D όπου φαίνονται οι τρεις παράλληλες σχισμές της γεωμεμβράνης στην επιφάνεια των πρανών (κόκκινο), οι συγκολλήσεις μεμβρανών που αστόχησαν και τα σημεία απ' όπου αφαιρέθηκαν δείγματα γεωμεμβράνης για εργαστηριακό έλεγχο (EMCON Associates 1994).....	148
Εικόνα 5.24_ Ψευδοστατική Ανάλυση Σφήνας Πρανούς « <a href="http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/geot_earthquake_eng_Ch8-SLOPES-10.pdf">http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/geot_earthquake_eng_Ch8-SLOPES-10.pdf</a> ».....	149
Εικόνα 5.25_ Μεταβολή Ειδικού Βάρους Απορριμμάτων συναρτήσει του Βάθους, σύμφωνα με Kavazanjian & Matasovic (1995).....	152
Εικόνα 5.26_ Μεταβολή Ταχύτητας $V_s$ (m/s) διατμητικού κύματος συναρτήσει του Βάθους D (m) σύμφωνα με Kavazanjian & Matasovic (αριστερά) και σύμφωνα με τις μετρήσεις των Idriss et al. (δεξιά).....	153
Εικόνα 5.27_ Καμπύλες απομείωσης μέτρου Διάτμησης και αύξησης Απόσβεσης όπως προτάθηκαν από διάφορους επιστήμονες (N.I. Thusyanthan, S.P.G. Madabhushi, 2005) .....	155
Εικόνα 5.28_ Σύγκριση των Καμπύλων $G/G_{max} - \gamma_s$ και $\xi - \gamma_s$ που προτάθηκαν από διάφορες επιστημονικές ομάδες (Καραμπάτσος, 2006).....	156
Εικόνα 6.29_ Κατολίσθηση ΧΑΔΑ Άνδρου (περιοχή Σχοινιά) « <a href="http://tvxs.gr/news/">http://tvxs.gr/news/</a> ».....	161
Εικόνα 6.30_ Απορρίμματα στην παραλία Σχοινιά της Άνδρου, έπειτα από κατολίσθηση « <a href="http://tvxs.gr/news/">http://tvxs.gr/news/</a> ».....	161
Εικόνα 6.31_ ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς πανοραμική άποψη (Αλεξανδρόπουλος & Φιλιππάτος, 2016) .....	163
Εικόνα 6.32_ Ύψος Υετού σε Δήμο Κεφαλονιάς ανά μήνα (mm), (Αλεξανδρόπουλος & Φιλιππάτος, 2016).....	164
Εικόνα 6.33_ Χάρτης με Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας (Αλεξανδρόπουλος & Φιλιππάτος, 2016).....	165
Εικόνα 6.34_ Κελιά Κομποστοποίησης στον ευρύτερο χώρο του ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς (Αλεξανδρόπουλος & Φιλιππάτος, 2016).....	167
Εικόνα 6.35_ Εγκαταστάσεις Μηχανικής Διαλογής και Επεξεργασίας (ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς) (Αλεξανδρόπουλος & Φιλιππάτος, 2016).....	167

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

### **Αειφόρος Ανάπτυξη και Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων (ΔΑΣΑ)**

#### **1.1. Εισαγωγή στην Έννοια της Αειφόρου Ανάπτυξης**

Η Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων (ΔΑΣΑ), καθώς και κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα που αποσκοπεί στην ανάπτυξη της τεχνολογίας συναρτήσκει της επίδρασης που αυτή έχει στο περιβάλλον, εντάσσεται σήμερα σε ένα ενιαίο πρόγραμμα, το οποίο καλείται Αειφόρος Ανάπτυξη. Η έννοια της Αειφορίας δεν είναι εύκολο να γίνει ακριβώς αντιληπτή από τον σύγχρονο άνθρωπο (καταναλωτή), λόγω πλειάδας παραγόντων.

Είναι σαφές, πως η αύξηση του πληθυσμού, η κατανάλωση και η τεχνολογία παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών, είναι παράγοντες που επιβαρύνουν το φυσικό περιβάλλον και κατ' επέκταση δημιουργούν προβληματισμούς για το μέλλον της ανθρωπότητας. Επίσης υπάρχουν οι μελέτες των περιβαλλοντικών επιστημόνων που προειδοποιούν για τις άμεσες και έμμεσες συνέπειες της τεχνολογικής ανάπτυξης, πολλές μελέτες από τις οποίες είναι μάλιστα και αρκετά συγκεκριμένες, καταδεικνύοντας ακριβώς τους πιθανούς κινδύνους και τα χρονικά περιθώρια που έχει η ανθρωπότητα για να προληφθούν. Λόγω όμως της μικροσκοπικής αντίληψης των πραγμάτων που έχει ο άνθρωπος και λόγω της άμεσης εξάρτησης της καθημερινότητάς του από την τεχνολογία και την οικονομική ανάπτυξη, πολλές από τις μελέτες χαρακτηρίζονται ως υπερβολικές ή κινδυνολογίες.

Αυτό που προάγει η Αειφορία, είναι το δικαίωμα όλων, ατόμων και λαών στην ευημερία, και παρουσιάζεται ως ένα μοντέλο διαχείρισης των φυσικών πόρων σύμφωνα με το οποίο, η παρούσα ανθρώπινη δραστηριότητα κάθε είδους, δε θα πρέπει να υπονομεύει το μέλλον των επερχόμενων γενεών, ενώ θα πρέπει παράλληλα να αποσκοπεί σε μια σταθερή περιβαλλοντική ποιότητα και ισορροπία. Γίνεται αντιληπτό πως η Αειφόρος Ανάπτυξη δεν επιχειρεί να περιορίσει την ανθρώπινη εξέλιξη σε οποιονδήποτε τομέα (Κοινωνικό, Οικονομικό, Τεχνολογικό ή Επιστημονικό), αλλά προσπαθεί να εναρμονίσει το κοινωνικό και ανθρωπογενές κεφάλαιο με το φυσικό. Σύμφωνα μ' αυτή τη λογική ο άνθρωπος για κάθε πρόβλημα, που η όποια δραστηριότητά του προκαλεί στο περιβάλλον, πρέπει να έχει έτοιμη και τη λύση και όχι να την εναποθέτει στο μέλλον και στα χέρια των επερχόμενων γενεών, ακόμα κι αν η λύση αυτή εκτιμάται για βάθος χρόνου. Ο άνθρωπος χρειάζεται κάθε φορά να είναι σε θέση να ελέγχει ό,τι δημιουργεί.

## 1.2. Η Αειφόρος Ανάπτυξη ως έννοια Κεφαλαίου

Για να μπορέσουν οι επιστήμονες κάθε συμβαλλόμενου κλάδου να δουλέψουν πάνω στην αειφόρο ανάπτυξη και να πάρουν κάποιους μετρήσιμους δείκτες, κρίθηκε αναγκαία η χρησιμοποίηση όρων που είδη χρησιμοποιούνται από τους οικονομολόγους. Έτσι λοιπόν η αειφόρος ανάπτυξη περιγράφεται ως ένα σύστημα το οποίο εξαρτάται από τη ροή συγκεκριμένων κεφαλαίων. Και σαν Κεφάλαιο ορίζεται πάντα ένα απόθεμα, το οποίο έχει τη δυνατότητα να αυξομειώνεται και να δημιουργεί ροές αγαθών ή υπηρεσιών.

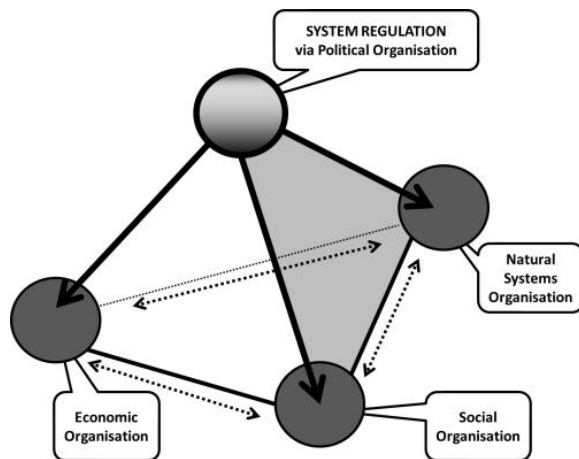
Θεωρώντας τώρα τρεις διαστάσεις για την αειφορία, την περιβαλλοντική διάσταση, την οικονομική και την κοινωνική, το συνολικό κεφάλαιο μπορεί να αναχθεί σε πέντε επιμέρους μορφές κεφαλαίων.

Ως προς την περιβαλλοντική διάσταση δημιουργήθηκε η έννοια του Φυσικού Κεφαλαίου (έδαφος, υπέδαφος, υδάτινοι πόροι, αέρας, θάλασσα, ενέργεια, ζωικά και φυτικά οικοσυστήματα).

Ως προς την κοινωνική διάσταση, υπάρχουν δύο μορφές κεφαλαίου: Το Ανθρώπινο Κεφάλαιο ( το οποίο αναφέρεται στη βιωσιμότητα του ανθρώπινου είδους και που είναι το σημαντικότερο λόγω της ανθρωποκεντρικής αντίληψης) και το Κοινωνικό Κεφάλαιο (Σύστημα διακυβέρνησης και κοινωνικής οργάνωσης, από την οικογένεια μέχρι το θεσμικό πλαίσιο του κράτους)

Έπειτα ως προς την οικονομική διάσταση διακρίνεται το Ανθρωπογενές Κεφάλαιο, το οποίο αναφέρεται σε ότι ο άνθρωπος δημιουργεί δια μέσου του φυσικού κεφαλαίου (Υποδομές, Κατασκευές, Τεχνολογία, Πληροφορία κτλ.) και το Χρηματικό Κεφάλαιο, που δεν είναι τίποτα άλλο από τη ροή του χρήματος.

Ο διαχωρισμός στις παραπάνω μορφές κεφαλαίου γίνεται για καθαρά πρακτικούς λόγους, όπως έχει αναφερθεί και δεν είναι εύκολο να οριστεί ο τρόπος με τον οποίο αυτά σχετίζονται μεταξύ τους, λόγω πάντα του υποκειμενικού παράγοντα. Δεν υπάρχουν διαφωνίες πάντως στο πως το Ανθρώπινο Κεφάλαιο πρέπει να διαχωριστεί και να τεθεί πάνω από τ' άλλα.



Εικόνα 36.1\_Βασικές διαστάσεις Αειφορίας (φαίνονται τα επί μέρους κεφάλαια διαχείρισης, Ανθρωπογενές ή Οικονομικό – Κοινωνικό – Φυσικό – Ανθρώπινο που εκφράζεται ως πολιτικό και παρουσιάζεται ως το κυρίαρχο) [37]

Όπως επίσης αναφέρθηκε και παραπάνω η αειφόρος ανάπτυξη ορίζεται ως ένα σύστημα το οποίο εξαρτάται από τη ροή των πέντε κεφαλαίων στα οποία ανάγεται, δηλαδή από την υποκατάσταση ή αναπλήρωση της μιας μορφής κεφαλαίου από την άλλη. Όταν υπάρχει μεγάλη ανοχή σε αυτή την υποκατάσταση ή αναπλήρωση, η ανάπτυξη χαρακτηρίζεται ως Ασθενώς Αειφορική. Δηλαδή μπορεί για παράδειγμα η διαχρονική κατανομή του συνολικού κεφαλαίου να γίνεται έτσι ώστε να διασφαλίζονται ίσες ευκαιρίες για την παρούσα και τις μελλοντικές γενιές, χωρίς τη σταδιακή μείωση της ευημερίας και αυτό να επιτυγχάνεται με μερική υποκατάσταση του φυσικού κεφαλαίου από το ανθρωπογενές. Η δημιουργία έργων υποδομής ή οποιονδήποτε άλλων κατασκευών, οι οποίες διευκολύνουν και κάνουν πιο άνετη τη ζωή του ανθρώπου, χαρακτηρίζεται ως αειφορική όταν δεν ξεπερνά κάποια επιτρεπτά όρια (κύριος στόχος είναι η διατήρηση της ευημερίας και της περιβαλλοντικής ισορροπίας). Όσο περισσότερο όμως επεμβαίνει ο άνθρωπος στο περιβάλλον τόσο πιο ασθενής χαρακτηρίζεται η αειφορία.

Αντιστρόφως αν τεθούν στο μοντέλο της ανάπτυξης σχετικά αυστηρά όρια στην υποκατάσταση του ενός κεφαλαίου από το άλλο και οριστεί για κάθε κεφάλαιο ένα ελάχιστο επίπεδο το οποίο όχι μόνο δεν επιτρέπεται να παραβιαστεί, αλλά επιβάλλεται και η διαχρονική διατήρησή του, τότε η ανάπτυξη αυτή χαρακτηρίζεται Ισχυρώς Αειφορική. Όσο πιο αυστηρά είναι αυτά τα όρια τόσο πιο ισχυρή είναι και η αειφορία.

### **1.3. Προβληματισμοί πάνω στην εφαρμογή της Αειφορίας**

#### **1.3.1 Γενικοί προβληματισμοί σε παγκόσμια κλίμακα**

Η Αειφόρος Ανάπτυξη στην πράξη συναντά αρκετά εμπόδια και για την εφαρμογή της απαιτείται εξαιρετικά καλή ανάλυση των πολύπλοκων προβλημάτων που παρουσιάζονται και εύρεση της καταλληλότερης λύσης που θα ικανοποιεί την Αειφορία και τα επί μέρους συστήματα αυτής (συστημική θεώρηση). Υπάρχουν μάλιστα αρκετοί που διατείνονται ότι το θέμα της Αειφορίας μπορεί να μελετηθεί κυρίως σε θεωρητική βάση. Είναι αλήθεια πάλι πως κοινωνική δικαιοσύνη και περιβαλλοντική προστασία δεν ευδοκίμουν εύκολα σε ένα σύστημα που έχει ως κινητήρια δύναμη το κέρδος. Και για παράδειγμα παρατίθεται το γεγονός πως το 80% και το 60% των αποβλήτων ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού της Β. Αμερικής και της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντίστοιχα, καταλήγει σε μολυσματικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην Ασία. Ενώ πολλά από τα επικίνδυνα Ευρωπαϊκά Απόβλητα καταλήγουν στην Αφρική σε χώρους κάθε άλλο παρά ελεγχόμενους.

Υπάρχει επίσης η λογική του «αυτός που ρυπαίνει πληρώνει κιόλας» σε μια προσπάθεια μεταφοράς κατά κάποιο τρόπο του κεφαλαίου (από το περιβαλλοντικό στο οικονομικό), προς διατήρηση μιας έστω ασθενούς αειφορίας. Όμως και αυτό μεταφράστηκε ως «αυτός που μπορεί να πληρώσει έχει και το δικαίωμα να ρυπαίνει». Εδώ πρέπει να τονιστεί πως ασχέτως του φαινομένου της εξωτερικότητας ( μολύνω – μεταβιβάζω – πληρώνει άλλος), που είναι αρκετά συχνό, δεν είναι πάντα δυνατή και ηθικά αποδεκτή η αντικατάσταση του φυσικού κεφαλαίου με το χρηματικό, μέσω αποζημιώσεων.

Επομένως πρέπει να γίνουν αρκετά φιλότιμες προσπάθειες από ανθρώπους και κρατικούς ή κοινωνικούς μηχανισμούς κατ' επέκταση, ούτως ώστε η Αειφόρος Ανάπτυξη να μην είναι πολυτέλεια μόνο των οικονομικά αναπτυγμένων κρατών. Γιατί σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε επίλυση του προβλήματος, αλλά μεταφορά αυτού. Το Συμβούλιο της Επικρατείας (ΣτΕ) είναι ένας δικαστικός θεσμός που μεταξύ άλλων προσπαθεί να εντάξει την Αειφόρο Ανάπτυξη (όπως αυτή ορίζεται) στην σύγχρονη κοινωνία.

#### **1.3.2 Αρχές Πολιτικής Αειφόρου Ανάπτυξης στα πλαίσια της Ε.Ε**

Θέση της Ε.Ε είναι ότι παρεμβαίνοντας με τον κατάλληλο τρόπο στους θεσμούς της αγοράς, μπορεί να επιτευχθεί κοινωνικά αποδεκτή ισορροπία μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής ποιότητας. Έτσι λοιπόν έχουν οριστεί συγκεκριμένες αρχές που θέτουν περιορισμούς στην αγορά, μερικές από τις οποίες είναι:

- Για κάθε νέο προϊόν ή δραστηριότητα πρέπει να είναι τεκμηριωμένη η μη ύπαρξη αρνητικών επιπτώσεων, πριν αυτό εισέλθει στην αγορά.

- Κάθε παραγωγός έχει και την ευθύνη των αρνητικών επιπτώσεων του προϊόντος ή της υπηρεσίας που εισάγει στο σύστημα των αγορών και υποχρεούται προς αποκατάσταση ή αποζημίωση.
- Η επεξεργασία και η τελική διάθεση των αποβλήτων γίνεται, αν είναι περιβαλλοντικά και οικονομικά εφικτό, όσο το δυνατό κοντινότερα στην περιοχή της παραγωγής και σε εγκαταστάσεις που πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές.
- Τα κράτη μέλη έχουν το δικαίωμα της επικουρικότητας και κάποια περιθώρια διαφοροποίησης σύμφωνα με τις υπάρχουσες συνθήκες.

Η Ε.Ε δίνει τη δυνατότητα στα κράτη μέλη να μετατρέψουν τις γενικές οδηγίες Πλαίσιο που εκδίδει, σε πρακτικά μέτρα υλοποίησης με τη δική τους ευθύνη (δικαίωμα Επικουρικότητας), ωστόσο η ίδια διατηρεί το δικαίωμα επιβολής οικονομικών κυρώσεων προς τα κράτη μέλη, ως μέτρο ελέγχου.

### **1.3.3 Κύρια Προβλήματα Διαχείρισης σε Εθνικό επίπεδο**

Σε εθνικό επίπεδο εντοπίζονται αρκετά κενά ως προς την Διαχείριση του ζητήματος της Αειφορίας. Υπάρχει πρώτα απ' όλα έλλειψη ικανού σχεδιασμού σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο (πρόβλημα αποκατάστασης ΧΑΔΑ), οι έλεγχοι που γίνονται είναι ανεπαρκείς, η ενημέρωση και η προσπάθεια ευαισθητοποίησης του πολίτη, δεν είναι ακόμα οργανωμένη και χαρακτηρίζεται ελλιπής. Τέλος οι αποφάσεις του συμβουλίου της επικρατείας (ΣτΕ) δείχνουν να ερμηνεύονται από τους κρατικούς θεσμούς κατά το δοκούν και έτσι τα ιδιωτικά συμφέροντα αντί να αξιοποιούνται, δείχνουν να αποτελούν εμπόδιο για την Αειφόρο Ανάπτυξη.

## **1.4. Βιωσιμότητα Τεχνικών Συστημάτων**

### **1.4.1 Συστημική Θεώρηση**

#### **1.4.1.1 Μεθοδολογία και Πολυκριτηριακή Ανάλυση**

Για κάθε σημαντικό έργο που σχετίζεται με την αειφορία, είναι απαραίτητο να γίνει πολύ καλή ανάλυση του προβλήματος και όλων των παραμέτρων που καθιστούν αυτό δυσεπίλυτο. Ένας γενικός κανόνας είναι πως πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητός ο στόχος και να ληφθούν υπόψη οι ανάγκες που το έργο (βάσει συγκεκριμένου σχεδιασμού) πρόκειται να καλύψει. Στη συνέχεια πρέπει να εξετάζονται όλες οι δυνατές επιλογές και να αξιολογούνται με τα κατάλληλα κριτήρια. Αφού γίνει η σωστή αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών, στο τέλος προκρίνεται η βέλτιστη λύση που θα ικανοποιεί τη φύση του προβλήματος, όλους τους φορείς που συμμετέχουν στο έργο και που φυσικά θα είναι εφικτή και

κοινωνικά αποδεκτή. Ο γενικός αυτός κανόνας, ονομάζεται Συστημική Θεώρηση και εφαρμόζεται σε όλους τους τομείς, όπου υπάρχουν σύνθετα προβλήματα.

Για να είναι η μελέτη ενός έργου σωστή πρέπει να ληφθεί υπόψη ένα πλαίσιο περιορισμών διαφορετικής φύσης (οικονομικοί, νομοθετικοί, διοικητικοί, περιβαλλοντικοί, τεχνικοί, γεωγραφικοί κλπ). Μια λύση που χαρακτηρίζεται βέλτιστη ως προς τον π.χ. περιβαλλοντικό τομέα, δε σημαίνει ότι θα είναι αποδεκτή σε ότι αφορά τον οικονομικό, αλλά και το αντίστροφο. Επειδή υπάρχουν τόσοι πολλοί περιορισμοί και αντικρουόμενα συμφέροντα, που ένας μελετητής πρέπει να είναι σε θέση να αξιολογήσει για την εύρεση της βέλτιστης λύσης, εν τέλει καταλήγει στην μέθοδο της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης. Κατ' αυτή τη μέθοδο, οι αποδεκτές λύσεις κατατάσσονται ως προς τη συνολική σταθμισμένη επίδοση τους αναφορικά με τα προκαθορισμένα κριτήρια επίδοσης. Για την κατάταξη αυτή, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο βαθμός σημαντικότητας κάθε κριτηρίου και να γίνεται βαθμολόγηση της κάθε λύσης για όλα τα κριτήρια ξεχωριστά. Ο μελετητής θα ψάξει μέσω μιας πολύπλοκης διαδικασίας τη λύση που αυτός κρίνει βέλτιστη, αλλά τον τελευταίο λόγο για την επιλογή τον έχει πάντα αυτός για λογαριασμό του οποίου γίνεται η μελέτη, δηλαδή αυτός που έχει ορίσει το πρόβλημα και που θα είναι υπεύθυνος για τις όποιες αρνητικές συνέπειες της τελικής επιλογής.

#### **1.4.1.2 Δείκτες Επίδοσης**

*Δείκτης επίδοσης είναι το μέτρο μιας παραμέτρου ή μιας εκροής δια του οποίου αποτιμάται η επίδοση ενός συστήματος ως προς ένα στόχο ή ως προς ένα κριτήριο αποκλεισμού ή ως προς ένα κριτήριο αξιολόγησης [4].* Κάθε σύστημα και κάθε υποσύστημα αυτού, έχει ξεχωριστούς δείκτες επίδοσης αφού έχει δικό του στόχο και διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης. Όμως το σύνολο των δεικτών όλων των υποσυστημάτων, αποτελεί δείκτη επίδοσης του ευρύτερου συστήματος στο οποίο ανήκουν.

Ένας δείκτης δεν έχει νόημα αν δε μπορεί να συγκριθεί με άλλους δείκτες και δε μπορεί να συσχετισθεί η αυξομείωσή του με την επίδοση του συστήματος στο οποίο αναφέρεται.

Βασικά στοιχεία ενός χρήσιμου και αποτελεσματικού δείκτη είναι:

- Μονάδα μέτρησης (π.χ. τόνοι/έτος, €/m, Kg/m<sup>3</sup>, κτλ)
- Μέθοδος μέτρησης καθώς και φορέας που πραγματοποιεί τη μέτρηση
- Συσχέτιση με συγκεκριμένο ιεραρχικό επίπεδο, στόχο και κριτήριο (τίνας πράγματος εκφράζει την επίδοση και ως προς τι)
- Αποσαφήνιση αν αύξηση του μέτρου του σημαίνει βελτίωση της επίδοσης ή όχι

- Όρια ισχύος και εφαρμογής του δείκτη (κάτω από ποιες προϋποθέσεις και σε τι διακυμάνσεις έχει νόημα ο δείκτης)
- Σχέση με άλλους δείκτες (ποιοι άλλοι δείκτες πρέπει να εξεταστούν μέχρι το τελικό συμπέρασμα)

*Οι δείκτες επίδοσης εφόσον δημοσιοποιούνται οι τιμές τους, διευκολύνουν ως προς την αποτελεσματικότητα δράσεων και συστημάτων, προάγουν τη διαφάνεια και επιβάλλουν απόδοση λογαριασμού[4]. Σε αντίθεση όμως με την ευρέως χρησιμοποιούμενη ύπαρξη οικονομικών δεικτών και δεικτών ποιότητας περιβάλλοντος, δεν είναι εύκολο γενικά να γίνει χρήση δεικτών για την περιβαλλοντική επίδοση ή την κοινωνική αποδοχή ενός έργου. Τέτοιοι δείκτες είναι κάπως δύσκολο να οριστούν και να συγκριθούν.*

Ως προς την επίδοση ενός συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ μπορούν να διακριθούν δύο σημαντικές κατηγορίες δεικτών, οι δείκτες που αναφέρονται στην ανάκτηση υλικών και αυτοί που αναφέρονται στην ανάκτηση ενέργειας. Τέτοιοι δείκτες προκύπτουν λόγω της εκτροπής μέρους των αποβλήτων (διαχωρισμός αυτών των οποίων δεν κρίνεται απαραίτητη η εδαφική διάθεση) και λόγω των διεργασιών μετατροπής των χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών τους (διεργασίες που θα παρουσιαστούν αναλυτικά στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο).

#### **1.4.2 Βιωσιμότητα έργων (Αειφορική Διάσταση) και Ανάλυση Κύκλου Ζωής**

##### **1.4.2.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ)**

*Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι ένα εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων, το οποίο συνεπάγεται την καταγραφή και αποτίμηση των ενεργειακών ισοζυγίων και των ισοζυγίων μάζας, καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συσχετίζονται με αυτά, για όλες τις φάσεις δημιουργίας, εξέλιξης, χρήσης και τελικής αποβολής ενός προϊόντος, μιας υπηρεσίας ή ενός συστήματος, από την εξόρυξη των πρώτων υλών για την παραγωγή μέχρι την απόρριψη του στο (και την απορρόφησή του από το περιβάλλον. Με τη θεώρηση αυτή, μπορεί να επιτευχθεί ορθολογικότερη χρήση υλικών και ενέργειας, ενώ με την ΑΚΖ ανταγωνιστικών συστημάτων ή προϊόντων, διευκολύνεται η επιλογή των λιγότερο επιβλαβών[4].*

Για την ΑΚΖ χρησιμοποιούνται οικονομικοί και περιβαλλοντικοί δείκτες και έτσι είναι δυνατή η ανάλυση για παράδειγμα, ενός κτιρίου ή οποιασδήποτε κατασκευής ως σύστημα και να παρθούν αποφάσεις σχετικά με τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με την αειφορική διάσταση του προβλήματος. Για παράδειγμα, γνωρίζοντας την περιοχή η οποία έχει οριστεί για την κατασκευή ενός κτιρίου, τις υπάρχουσες συνθήκες (οικονομικές, περιβαλλοντικές, διοικητικές,



κλιματολογικές, κλπ), η ΑΚΖ δίνει τη δυνατότητα να μελετηθεί η επίδραση που θα χει το κτίριο αυτό στο περιβάλλον, από τη φάση έναρξης της κατασκευής μέχρι ένα διάστημα π.χ. 50 χρόνων μετά το τέλος αυτής. Αν θεωρηθεί το κτίριο ως σύστημα, τότε υποσυστήματα αυτού αποτελούν το υλικό κατασκευής του φέροντα οργανισμού ή ολόκληρης της κατασκευής (οπλισμένο σκυρόδεμα, πέτρα, ξύλο), το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των κουφωμάτων (αλουμίνιο, ξύλο, PVC), κ.α. Είναι δυνατό λοιπόν να δοθεί μια εικόνα της συμπεριφοράς του όλου κτιρίου εξετάζοντας και λαμβάνοντας σχετικούς δείκτες για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του. Μπορούν να εξεταστούν οικονομικοί και περιβαλλοντικοί δείκτες από τη στιγμή της εξόρυξης των πρώτων υλών για την παρασκευή των υλικών, μέχρι τη στιγμή που αυτά θα απορροφηθούν από τη φύση ή θα διατεθούν, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς και της χρήσης. Οι σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί δείκτες είναι αυτοί που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Έτσι λοιπόν μια κατασκευή για την οποία έχει μελετηθεί ο Κύκλος Ζωής μπορεί να χαρακτηρίζεται ως Αειφορική Κατασκευή, καθώς ο μελετητής δύναται να καταλήξει σε αξιόπιστα συμπεράσματα και να εντοπίσει τα στάδια κατά τα οποία με κατάλληλη παρέμβαση, μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις.

Για κάθε τεχνικό έργο μπορούν να θεωρηθούν δύο μορφές κύκλου ζωής, ο εσωτερικός που αρχίζει με τη σύλληψη της ιδέας για το έργο και κλείνει με το τέλος λειτουργίας των εγκαταστάσεων που το εξυπηρετούν, και ο εξωτερικός που αρχίζει με την εξόρυξη των πρώτων υλών από τη φύση, προς παραγωγή των δομικών υλικών και τελειώνει με τη απορρόφηση των υπολειμμάτων και της πάσης φύσης επιπτώσεών του, από το περιβάλλον και την κοινωνία. Στην πάνω παράγραφο έγινε μια νύξη στη μελέτη του εξωτερικού κύκλου ζωής ενός κτιρίου.

#### **1.4.2.2 Βιωσιμότητα ενός έργου**

Ένα τεχνικό σύστημα πρέπει να είναι βιώσιμο και κοινωνικά αποδεκτό. Για να είναι οικονομικά βιώσιμο ένα σύστημα πρέπει το σύνολο των δαπανών που προκύπτουν από αυτό, να καλύπτονται από τα έσοδα που το ίδιο εξασφαλίζει μέσω της παραγωγής ή να καλύπτονται με τρόπο που είναι κοινωνικά αποδεκτός (εξωσυστημικές πηγές). Ενώ για να είναι κοινωνικά αποδεκτό το σύνολο του έργου, πρέπει παράλληλα με την επίτευξη προκαθορισμένων στόχων (περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών) από τους εμπλεκόμενους φορείς, να εξασφαλίζεται η γενικότερη αποδοχή αυτού, μέσω ενημέρωσης και συγκατάθεσης όλων των ενδιαφερομένων.

#### **1.4.3. Η Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων ως εξελισσόμενο σύστημα**

Η Διαχείριση Αστικών αποβλήτων αποτελεί ένα ενιαίο σύστημα στο οποίο υπεισέρχονται πολλοί αλληλοεξαρτώμενοι ως προς τη δράση τους και συνάμα

αυτόνομοι φορείς (ιδιωτικοί και κρατικοί). Το σύστημα αυτό εξελίσσεται ανάλογα με τα στοιχεία που προκύπτουν για μια περιοχή σε δεδομένο χρόνο και ανάλογα με τις επιπλέον ανάγκες που φέρνει η εξέλιξη. Συνεπώς γίνεται λόγος για ένα «έργο» το οποίο βρίσκεται υπό συνεχή μελέτη και υφίσταται τροποποιήσεις ανάλογα με τα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά δεδομένα, ούτως ώστε να παραμένει βιώσιμο και κοινωνικά αποδεκτό.

Ο κάθε οργανισμός που επεμβαίνει στο έργο έχει τους δικούς του σκοπούς, στόχους, ευθύνες και άρα διαμορφώνει τους δικούς του δείκτες επίδοσης. Έτσι ως προς τη γενική πολιτική διαχείρισης ΑΣΑ, δείκτες μπορεί να αποτελούν: α) η ποιοτική διακύμανση των χαρακτηριστικών των απορριμμάτων, β) οι μεταβαλλόμενες ποσότητες ΑΣΑ ανά περιοχή / νοικοκυριό / άτομο σε βάθος χρόνου, αλλά ανάλογα και με την εποχή, γ) τα ποσοστά απορριμμάτων που βαίνουν προς ορισμένη μέθοδο επεξεργασίας ( π.χ. ποσοστό βιοαποδομήσιμου κλάσματος που οδηγείται σε υγειονομική ταφή ή ποσοστό που εκτρέπεται προς βιολογική ή θερμική επεξεργασία), δ) το ποσοστό ανακτώμενων υλικών από ανακύκλωση και ποσοστό ανάκτησης ενέργειας.

Παρομοίως ως προς τα κοινωνικά κριτήρια μπορούν να υπάρχουν δείκτες αναφορικά με: τη δημιουργία θέσεων εργασίας, τις συνθήκες εργασίας, την αποτελεσματικότητα και τις όποιες εκροές του συστήματος τις οποίες εισπράττει άμεσα η κοινωνία, τις οσμές, τους θορύβους, καθώς και το κατά πόσο το σύστημα είναι μελετημένο ούτως ώστε να διευκολύνει την ενεργό συμμετοχή των πολιτών σε αυτό.

## **1.5. Σύστημα Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων**

### **1.5.1. Εισαγωγή στη ΔΑΣΑ**

Η Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων (ΔΑΣΑ) περιλαμβάνει ένα σύνολο διεργασιών (φυσικών, χημικών, βιολογικών) το οποίο διαμορφώνεται με τρόπο ώστε να γίνει εφικτή η όσο το δυνατό καλύτερη εκμετάλλευση της χωρητικότητας του φυσικού περιβάλλοντος, το οποίο καλείται να απορροφήσει απόβλητα χωρίς να υπάρξει υπέρβαση των κοινωνικά αποδεκτών ορίων αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα οικονομικά δεδομένα. Με άλλα λόγια, στόχος είναι η παραγωγή χωρίς εκροές προς το περιβάλλον, της όσο το δυνατό μικρότερης μη βιοαποδομήσιμης αδρανειακής μάζας, η οποία πρόκειται να διατεθεί σε χώρους που πληρούν τις κατάλληλες προδιαγραφές (π.χ. ΧΥΤΑ), όπως επίσης και η διαφύλαξη του περιβάλλοντος και του κοινωνικού συνόλου από τις αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τη μη ελεγχόμενη διάθεση των αστικών αποβλήτων. Δεν είναι λίγες οι ανεπανόρθωτες φυσικές καταστροφές που έχουν

προκληθεί από αστοχία Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ). Ένας επιπλέον στόχος είναι η αξιοποίηση ορισμένων μεθόδων διαχείρισης προς ανάκτηση ενός ποσοστού ενέργειας που μπορεί να μετατραπεί είτε σε ηλεκτρική είτε απευθείας σε θερμική.

Οι βασικοί τρόποι Τελικής Διάθεσης Αστικών Αποβλήτων και οι οποίοι θα αναλυθούν στη συνέχεια διεξοδικά, είναι οι ακόλουθοι: α) Ανακύκλωση, β) Βιολογική Επεξεργασία, γ) Θερμική επεξεργασία και δ) Υγειονομική ταφή, ενώ δεν πρέπει (στο σημείο αυτό) να παραληφθεί η Αρχή της Πρόληψης η οποία έχει αναχθεί σε βασική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κρίνεται απαραίτητο να κατευθύνει κάθε περιβαλλοντική δράση. Κάθε μέθοδος από τις προαναφερθείσες, εκφράζει και μια διαφορετική πολιτική διαχείρισης, ως προς ένα βιώσιμο και περιβαλλοντικά – κοινωνικά αποδεκτό σύστημα, σύμφωνα με τα αντίστοιχα δεδομένα της περιοχής που ενδιαφέρει το μελετητή. Ανεξάρτητα πάντως από το ποιες μέθοδοι διάθεσης εφαρμόζονται στην πράξη, πλειάδα μακροχρόνιων επιστημονικών ερευνών και οικονομοτεχνικών αναλύσεων, έχει οδηγήσει σε μία ιεράρχηση των στόχων (υποσυστημάτων) που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο της διαχείρισης απορριμμάτων, προς την εύρεση του αποδοτικότερου συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης. Η ιεράρχηση αυτή που αναδείχθηκε από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα, υιοθετήθηκε και συμπεριλαμβάνεται στη νομολογία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των υπόλοιπων αναπτυγμένων χωρών (Οδηγία Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ).

Σύμφωνα με την παραπάνω λογική πρώτος και κυριότερος στόχος ενός συστήματος διαχείρισης θα πρέπει να είναι η διαμόρφωση της παραγωγής και κατανάλωσης αγαθών με τρόπο ώστε να ενθαρρύνεται η μείωση των παραγόμενων αποβλήτων και η μείωση των εισροών – εκροών, από και προς το περιβάλλον. Στην ουσία πρόκειται για το πρώτο βήμα (πρόληψη) και τον έλεγχο της παραγωγής των αποβλήτων, μέσω του ελέγχου του τρόπου παραγωγής και χρήσης των προϊόντων, πράγμα που ενδέχεται να διευκολύνει και την εφαρμογή των ακόλουθων σταδίων διαχείρισης.

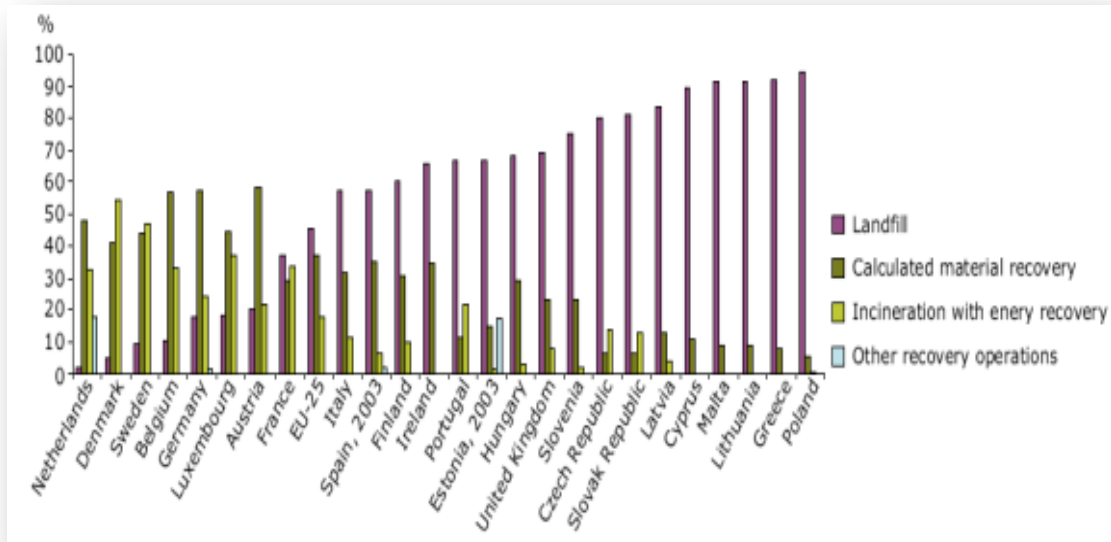
Η ιεράρχηση των στόχων για μια αποτελεσματική διαχείριση απορριμμάτων μπορεί να είναι:

- 1) Πρόληψη
- 2) Ελαχιστοποίηση εκροών
- 3) Επαναχρησιμοποίηση
- 4) Ανακύκλωση
- 5) Ανάκτηση ενέργειας
- 6) Εδαφική διάθεση



Εικόνα1.37\_Ιδανική Πολιτική Διαχείρισης ΑΣΑ σύμφωνα με την Ε.Ε. [38]

Μέχρι σήμερα στην Ελλάδα οι αρμόδιοι φορείς κατέφευγαν πρόχειρα στη λύση της Εδαφικής Διάθεσης, κυρίως σε χώρους μη ελεγχόμενης διάθεσης (ΧΑΔΑ), γεγονός που έχει οδηγήσει (πλέον) σε αδιέξοδα ως προς τη διατήρηση της περιβαλλοντικής ισορροπίας και την κοινωνική αποδοχή. Η Ελλάδα μέχρι πρόσφατα δεν έδειχνε να εναρμονίζεται με τους βασικούς κανόνες της Ε.Ε. γεγονός που πλην των άλλων αρνητικών επιπτώσεων, οδηγεί σήμερα το κράτος σε καταβολή υψηλών οικονομικών προστίμων (κυρίως μετά την απόφαση της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου του 2016). Η έννοια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης μέσω του συνδυασμού διαφορετικών μεθόδων επεξεργασίας φάνταζε μέχρι πρότινος πολυτέλεια για την Ελλάδα, πλέον όμως συστήματα που αφορούν τη διαχείριση απορριμμάτων, όπως ο διαχωρισμός, η ανάκτηση υλικών, η μηχανική διαλογή και η βιολογική επεξεργασία εμφανίζονται με αυξανόμενο ρυθμό, ενώ γίνεται επίσης λόγος για τη δημιουργία μονάδας θερμικής επεξεργασίας στη περιφέρεια Αττικής.



Εικόνα 1.38\_ Διαχείριση ΑΣΑ σε χώρες της Ε.Ε. όπου φαίνεται η εξάρτηση της Ελλάδας από την Υ.Τ. , (Eurostat, EEA, Copenhagen 2007) [26]

Δεδομένης της ποικιλίας των εναλλακτικών επεξεργασιών, ένα σύστημα διαχείρισης μπορεί να αποτελεί συνδυασμό διαφόρων υποσυστημάτων, των οποίων η καταλληλότητα κρίνεται από τη συμβολή που έχουν στο όλο σύστημα. Τα δύο βασικά κριτήρια αξιολόγησης της επίδοσης του κάθε συστήματος ξεχωριστά είναι το κόστος και η επίδραση που έχει η εφαρμογή του στο περιβάλλον.

## 1.5.2. Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

### 1.5.2.1. Γενικά για ΑΣΑ και Διαχείριση

Ως Αστικά Στερεά Απόβλητα ορίζονται κυρίως τα οικιακά απόβλητα (όσα παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών) και όσα λόγω φύσης ή σύνθεσης προσομοιάζουν με τα οικιακά, όπως για παράδειγμα είναι τα δημοτικά απόβλητα κ.α. Στην κατηγορία των αστικών αποβλήτων δε μπορούν να συμπεριληφθούν οι ιλύες των βιολογικών καθαρισμών, τα απόβλητα οικοδομικών εργασιών, τα γεωργικά απόβλητα και ιδιαίτερα τα Βιομηχανικά και τα Εξορυκτικά Στερεά Απόβλητα, όπως επίσης και τα μολυσματικά απόβλητα από διάφορες νοσοκομειακές εγκαταστάσεις.

Γενικά η έννοια του αποβλήτου είναι κάπως σχετική και εξαρτάται κυρίως από το σκοπό και τον τρόπο χρήσης ενός προϊόντος, αλλά και από την κρίση του χρήστη ή ιδιοκτήτη αυτού, για το κατά πόσο συνεχίζει να εξυπηρετεί τον αρχικό του σκοπό. Ένα προϊόν για παράδειγμα που μπορεί να χαρακτηριστεί απόβλητο από κάποιο

χρήστη και ως προς ένα συγκεκριμένο σκοπό, μπορεί να συνεχίσει να είναι χρήσιμο για κάποιον άλλον χρήστη ή σκοπό (επαναχρησιμοποίηση προϊόντος). Επομένως ως στερεά απόβλητα λογίζονται τα στερεά ή ημιστερεά αντικείμενα κάθε είδους τα οποία, κάτω από ορισμένες συνθήκες, δεν έχουν επαρκή αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους και επίσης τα στερεά ή ημιστερεά υλικά που ανακύπτουν ως ανεπιθύμητα από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών, των εμπορικών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων κλπ.

Με τον όρο διαχείριση αποβλήτων εννοείται το σύνολο των δραστηριοτήτων προσωρινής αποθήκευσης, συλλογής, μεταφοράς, μεταφόρτωσης, επεξεργασίας, αξιοποίησης, επαναχρησιμοποίησης ή τελικής διάθεσης των αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες, συμπεριλαμβανομένης και της εποπτείας των παραπάνω δραστηριοτήτων, καθώς και της μετέπειτα φροντίδας των χώρων διάθεσης[3]. Για να επιτευχθεί σωστή διαχείριση αποβλήτων είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός ενιαίου πλαισίου αναφοράς, ώστε να μπορούν να γίνονται αναλύσεις, προβλέψεις και συγκρίσεις αλλά και να είναι σε θέση ο εκάστοτε αναλυτής να στηρίξει και να παρουσιάσει στους αρμόδιους φορείς τη μέθοδο διάθεσης που προτείνει. Για ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης, μεταβλητές όπως είναι η ποσότητα και η σύσταση των απορριμμάτων, πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και να προβλέπεται επίσης μια εκτίμηση αυτών για βάθος χρόνου.

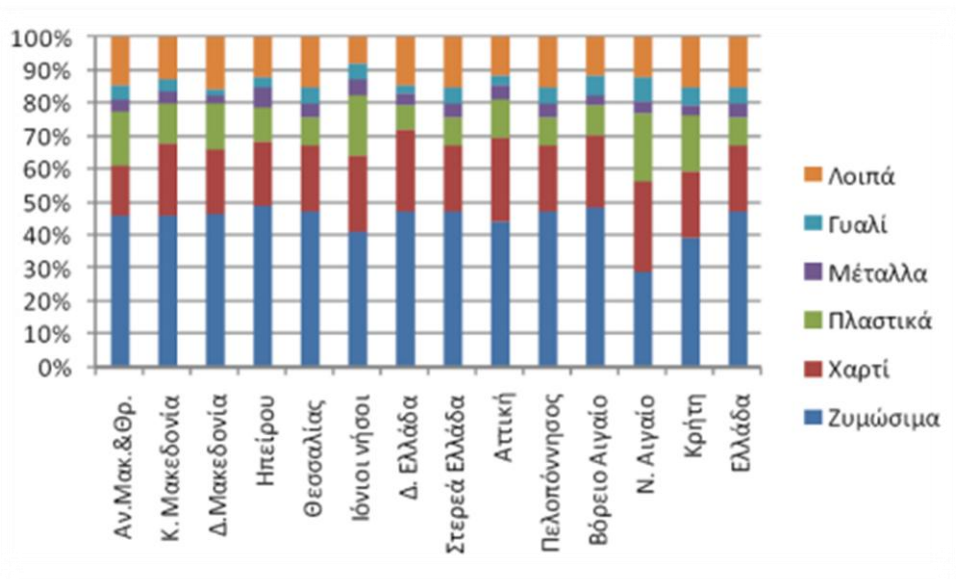
Γενικά σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει για λογαριασμό των αρμόδιων κρατικών φορέων (ΚΥΑ 50910/2727/2003), τα Αστικά Απόβλητα αποτελούνται κυρίως από:

Σε ότι αναφορά την οργανική ύλη:

- Τροφικά υπολείμματα (46%)
- Χαρτί – Χαρτόνι (20%)
- Πλαστικά (8,5%)
- Υφάσματα, Λάστιχα, Ξύλα (5%)

Και σε ότι αφορά τα ανόργανα υλικά:

- Γυαλί (4,5%)
- Κουτιά Κασσιτέρου και Αλουμινίου + Άλλα Μέταλλα (5,0%)
- Άλλα Αδρανή, όπως χώμα και τέφρα (3,0%)
- Υπόλοιπα (6,5%)



Εικόνα 1.39\_Ποιοτική Σύσταση Απορριμμάτων ανά Περιφέρεια (ΜΠΟΥΡΤΣΑΛΑΣ, ΘΕΜΕΛΗΣ, ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ, 2011, Earth Engineering Center, Columbia University) [26]

### 1.5.2.2. Φυσικά Χαρακτηριστικά ΑΣΑ

Προκειμένου να βρεθεί η ιδανικότερη μέθοδος επεξεργασίας ΑΣΑ, είναι απαραίτητο να μελετώνται, εκτός των άλλων και κάποια από τα φυσικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων, όπως για παράδειγμα είναι: 1) το ειδικό βάρος, 2) η υγρασία, 3) η υδροαπορροφητικότητα, 4) η υδραυλική αγωγιμότητα και 5) το μέγεθος των τεμαχίων στο σώμα των ΑΣΑ κλπ.

1) Ειδικό βάρος ( $\rho$ ) ενός υλικού ονομάζεται ο λόγος του βάρους αυτού (εκφρασμένο σε μονάδες μάζας) και του αντίστοιχου όγκου ( $\text{kg/m}^3$ ). Το ειδικό βάρος των ΑΣΑ διαφοροποιείται ανάλογα με τη φάση της διαχείρισης. Για παράδειγμα, για οικιακά ΑΣΑ πριν τη συμπίεση τους (όσο βρίσκονται στην πηγή), εκτιμάται ένα ειδικό βάρος περίπου  $130 \text{ kg/m}^3$ , ενώ μετά τη συμπίεση και την εκφόρτωση τους από το απορριμματοφόρο όχημα, το ειδικό βάρος εκτιμάται περίπου  $180 \text{ kg/m}^3$ . Μέσα στο σώμα του ΧΥΤΑ μετά από καλή συμπίεση, το ειδικό βάρος μπορεί να φτάσει ακόμα και τα  $1500 \text{ kg/m}^3$ .

2) Η Υγρασία αποτελεί ένα καθοριστικό παράγοντα σε ότι αφορά την ικανότητα καύσης των ΑΣΑ για παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας και σε ότι αφορά τη συμπεριφορά αυτών στην επεξεργασία υπό αναερόβιες συνθήκες (Κομποστοποίηση). Ο προσδιορισμός της υγρασίας επιτυγχάνεται με μέτρηση του βάρους ενός υγρού κλάσματος ΑΣΑ και στη συνέχεια μετά από διαδικασία ξήρανσης αυτού, μετράται το ξηρό βάρος.

3) Ως υδροαπορροφητικότητα των ΑΣΑ ορίζεται η μέγιστη υγρασία (%) που μπορεί να απορροφήσει ένα ξηρό κλάσμα σε κανονικές συνθήκες. Η υδροαπορροφητικότητα του σώματος των απορριμμάτων είναι ένας σημαντικότερος παράγοντας, καθώς από αυτήν εξαρτάται η δημιουργία στραγγισμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής. Ροή στραγγισμάτων μέσα στους ΧΥΤΑ, δημιουργείται εφόσον η υγρασία σε αυτούς, υπερβεί την υδροαπορροφητικότητα των αποβλήτων που έχουν διατεθεί.

Η υδροαπορροφητικότητα των ΑΣΑ εξαρτάται από μεταβλητούς παράγοντες, όπως είναι η σύνθεση των αποβλήτων, ο βαθμός συμπίεσης αυτών και το στάδιο εξέλιξης της βιοαποδόμησης των οργανικών συστατικών.

4) Η Υδραυλική αγωγιμότητα ενός υλικού μετριέται στο εργαστήριο υπό συγκεκριμένες συνθήκες και ορίζεται ως η ικανότητα που έχει το εξεταζόμενο υλικό να διαπερνάται από το νερό. Με άλλα λόγια, ως υδραυλική αγωγιμότητα υλικού χαρακτηρίζεται το μέτρο της ταχύτητας του νερού, καθώς ρέει μέσω αυτού υπό την επίδραση της βαρύτητας.

5) Το μέγεθος τεμαχίων των ΑΣΑ (αλλιώς κοκκομετρία) αποτελεί σημαντικό παράγοντα σε ότι αφορά την αποτελεσματικότητα των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας (π.χ. καύση ή κομποστοποίηση), αλλά κυρίως σε ότι αφορά τη διαδικασία της μηχανικής διαλογής και της ανάκτησης υλικών. Για τον προσδιορισμό του μεγέθους των τεμαχίων χρησιμοποιούνται κόσκινα συγκεκριμένων διαστάσεων ανοιγμάτων.

### **1.5.2.3. Βιολογικά Χαρακτηριστικά ΑΣΑ**

Η βιοαποδόμηση είναι μια διεργασία που λαμβάνει χώρα στο σώμα των ΑΣΑ και αφορά το οργανικό μέρος αυτών. Πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία το οργανικό κλάσμα μέσω βιολογικών διεργασιών (κυρίως μικροβιακών), μετατρέπεται σε αέρια και σχετικώς αδρανή οργανική και ανόργανη ύλη.

Τα οργανικά υλικά που εμπεριέχονται στο οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων, έχουν διαφορετικό δείκτη βιοαποδομησιμότητας (βιοαποδομούνται με διαφορετικό ρυθμό το καθένα) και ορισμένα μάλιστα οργανικά – πολυμερή όπως το πλαστικό, διάφορα ελαστικά και δέρματα, βιοαποδομούνται με τόσο αργό ρυθμό που μπορούν να χαρακτηριστούν ως μη βιοαποδομήσιμα.

Διακρίνονται δύο είδη βιολογικής επεξεργασίας: α) αυτή που πραγματοποιείται απουσία αέρα και ευνοεί την δημιουργία παρασίτων και μικροοργανισμών (αναερόβια επεξεργασία) και β) αυτή που πραγματοποιείται παρουσία αέρα (οξυγόνου) μέσω της οποίας παράγεται ένα σταθερό και πλούσιο σε οργανική ύλη υλικό, το κομπόστ (αερόβια επεξεργασία ή Κομποστοποίηση)



#### 1.5. 2.4. Χημικά Χαρακτηριστικά ΑΣΑ

Τα χημικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ όπως και τα φυσικά, λαμβάνονται υπόψη ως προς τη μέθοδο επεξεργασίας που θα προτιμηθεί. Για να γίνει μελέτη της επίδρασης των χημικών χαρακτηριστικών των απορριμμάτων στις μεθόδους Κομποστοποίησης και Καύσης, είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν: 1) η χημική τους σύσταση, 2) το ποσοστό ύπαρξης συγκεκριμένων χημικών στοιχείων σε αυτά (στοιχειακή ανάλυση), 3) η καταλληλότητα αυτών για καύση και 4) η θερμογόνο δύναμη.

##### 1) Κατηγορίες Χημικών Ενώσεων που συναντώνται στα ΑΣΑ (Χημική Σύσταση):

Στο σώμα της απορριμματικής μάζας εμπεριέχονται οργανικά και ανόργανα συστατικά τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη σύνθεσή τους σε: α) Λιπίδια, β) Υδατάνθρακες και Πρωτεΐνες, γ) Συνθετικά Οργανικά Υλικά – Πολυμερή (διάφορα Πλαστικά), δ) Ανόργανα Υλικά (όπως γυαλιά, μέταλλα και Ορυκτά πετρώματα) και ε) Φυσικές και Τεχνικές ίνες (διάφορα υφάσματα και δέρματα)

Από τα παραπάνω ξεχωρίζουν ως προς τη θερμογόνο δύναμη, τα λιπίδια (40000 kJ/kg) και τα Πολυμερή (53000 kJ/kg). Αστικά απόβλητα δηλαδή που περιέχουν μεγάλες ποσότητες λιπιδίων και πολυμερών είναι εύκολο να οδηγηθούν προς καύση. Ενώ η μεγάλη περιεκτικότητα των ΑΣΑ σε υδατάνθρακες (σάκχαρα, άμυλο κ.α.), που παρουσιάζουν υψηλό ρυθμό βιοαποδόμησης, βοηθάει στην εκτροπή αυτών προς Κομποστοποίηση.

##### 2) Στοιχειακή Ανάλυση

Η στοιχειακή ανάλυση γενικά αποσκοπεί στον προσδιορισμό του ποσοστού καθενός από τα χημικά στοιχεία που συνθέτουν μια ουσία. Συγκεκριμένα για τα ΑΣΑ, τα κυριότερα χημικά στοιχεία που συναντώνται είναι: ο άνθρακας, το οξυγόνο, το υδρογόνο, η τέφρα, το άζωτο και το θείο. Με βάση τα ποσοστά των παραπάνω χημικών στοιχείων χαρακτηρίζεται η χημική σύνθεση της οργανικής ύλης που εμπεριέχεται στα ΑΣΑ και εκτιμάται ο λόγος C/N, από την τιμή του οποίου εξαρτάται η αποτελεσματικότητα των βιολογικών διεργασιών. Τα ανόργανα υλικά αποτελούνται κυρίως από τέφρα σε ποσοστό (68 – 98%).

##### 3) Παράγοντες που ευνοούν (ή όχι), την εκτροπή σε Καύση:

- Η Υγρασία είναι ένας καθοριστικός παράγοντας, που σε ποσοστό άνω του 50% (επί του ξηρού βάρους των ΑΣΑ) αποτρέπει την εκτροπή απευθείας σε καύση, εφόσον μειώνει σημαντικά τη θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων
- Η ύπαρξη Τέφρας (ανόργανα υλικά όπως γυαλί, μέταλλο, αδρανή) είναι ένας άλλος ανασταλτικός παράγοντας, εφόσον όπως και η υγρασία μειώνει τη

θερμογόνο δύναμη από τη στιγμή που αποτελεί μη αναφλέξιμη ύλη. Δεν πρέπει να ξεπερνά το 30% επί του ξηρού βάρους των ΑΣΑ

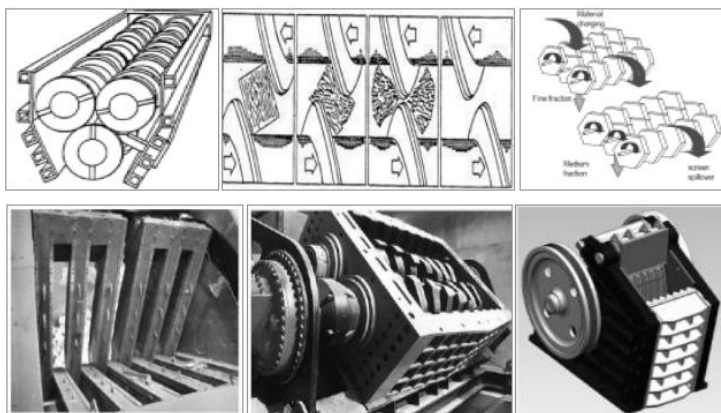
- Πτητική καύσιμη ύλη ονομάζεται το ποσοστό (%) του βάρους των ΑΣΑ που μετατρέπεται σε αέρια μάζα στους 550 °C. Πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ του 30 με 60% για να είναι τα απόβλητα κατάλληλα προς καύση.
- Μη Πτητικός Άνθρακας είναι η οργανική ύλη που απομένει από την καύση των ΑΣΑ (εντός κλιβάνου) και αναφλέγεται μόνο σε θερμοκρασίες άνω των 1200 °C. Δεν πρέπει να υπερβαίνει το 15% του βάρους.

#### 4) Θερμογόνος Δύναμη

Ο όρος θερμογόνος δύναμη χρησιμοποιήθηκε παραπάνω για να δείξει την καταλληλότητα (ή όχι) των ΑΣΑ για καύση. Συγκεκριμένα ως θερμογόνος δύναμη ενός κλάσματος αποβλήτων χαρακτηρίζεται η θερμότητα (μονάδα ενέργειας) που εκλύεται, όταν το οργανικό αυτό κλάσμα καίγεται πλήρως. Το υλικό που απομένει της καύσης ως αδρανές, αποτελεί την τέφρα.

### 1.5.3. Μετατροπή Φυσικών – Βιολογικών – Χημικών Χαρακτηριστικών (ΑΣΑ)

#### 1.5.3.1. Μετατροπή Φυσικών Χαρακτηριστικών



Εικόνα1.40\_ Μηχανήματα μείωσης μεγέθους και διαλογής (Κόπτες - Μύλοι - Κόσκινα) [26]

Οι φυσικές μετατροπές που (εν προκειμένω) εξυπηρετούν τη Διαχείριση ΑΣΑ είναι: η Διαλογή, δηλαδή ο διαχωρισμός αυτών σε επιμέρους ομοιογενή συστατικά, η συμπίεση με σκοπό τη μείωση του συνολικού όγκου των απορριμμάτων προς καλύτερη εκμετάλλευση του διατιθέμενου χώρου και η μείωση του μεγέθους των τεμαχίων, που επιτυγχάνεται με μηχανικό τεμαχισμό. Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια απλή αναφορά στις διεργασίες διαλογής και μείωσης μεγέθους, οι οποίες θα παρουσιαστούν με περισσότερες λεπτομέρειες στο κεφάλαιο της ανακύκλωσης.

## Διαλογή

Η διαλογή επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους όπως:

- Μέθοδος μηχανικής διαλογής με βάση το μέγεθος
- Μαγνητική μέθοδος διαλογής (διαχωρισμός μετάλλων)
- Διαχωρισμός με Χρήση ρεύματος αέρα
- Διαχωρισμός (κυρίως μετάλλων) μέσα σε δεξαμενή
- Διαλογή με το χέρι

Κύριοι στόχοι της διαλογής είναι:

- Η απομάκρυνση επικίνδυνων υλικών που τυχόν να βρίσκονται στα ΑΣΑ, καθώς και διαφόρων ογκωδών αντικειμένων, με σκοπό την εκτροπή αυτών από την υγειονομική ταφή.
- Ο διαχωρισμός υλικών που μπορούν να ανακτηθούν σχετικά άμεσα, μέσω επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης, από υλικά που πρέπει να διατεθούν. Επιπλέον κάποια υλικά δύναται να διαχωριστούν από την απορριμματική μάζα και να αποθηκευθούν προσωρινά σε εγκαταστάσεις μέχρι να διατεθούν, ανάλογα με τη μέθοδο που θα επιλεγεί.
- Η απομάκρυνση υλικών που έχουν αρνητική επίδραση στην προβλεπόμενη μέθοδο επεξεργασίας, π.χ. υλικά που εμποδίζουν την ομαλή Καύση ή τη βιολογική επεξεργασία σε ειδικές εγκαταστάσεις ή την βιοαποδόμηση μέσω ταφής (Υ.Τ.)

## Συμπίεση

Με τη μηχανική συμπίεση επιδιώκεται η αύξηση της αποτελεσματικότητας μιας μεθόδου. Η μηχανική συμπίεση λαμβάνει χώρα κατά το στάδιο της μεταφοράς στα απορριμματοφόρα οχήματα (Α/Φ) , σε εγκαταστάσεις προσωρινής αποθήκευσης για εξοικονόμηση χώρου, είτε στους διάφορους ΧΥΤΑ επίσης για καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου, όπως επίσης και για αύξηση της ικανότητας βιοαποδόμησης και περιορισμό της ροής στραγγιδίων στο εσωτερικό αυτού.

## Μείωση Μεγέθους

Με τη μείωση μεγέθους επιδιώκεται η απόκτηση ενός πιο ομοιόμορφου, βάσει μεγέθους, υλικού και καταλληλότερου για περαιτέρω επεξεργασία. Η μείωση μεγέθους των υλικών δεν πρέπει να ταυτίζεται με τη μείωση του όγκου που καταλαμβάνουν (π.χ. μείωση μεγέθους – κονιορτοποίηση χαρτιού, συνεπάγεται αύξηση του όγκου του).

Η απόκτηση μικρότερων τεμαχίων, επιτυγχάνεται με διάφορα είδη μηχανημάτων όπως θρυματιστών, θραυστήρων, σφυρόμυλων κ.α. Πιο αναλυτικά, η όλη διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει τις εξής διεργασίες:

- Κοπή
- Τεμαχισμός
- Θρυμματισμός
- Κοκκοποίηση και Κονιορτοποίηση

### **1.5.3.2. Μετατροπή Βιολογικών Χαρακτηριστικών**

Η μετατροπή των Βιολογικών χαρακτηριστικών κατά τη διαδικασία διαχείρισης των Αστικών αποβλήτων, επιτυγχάνεται κυρίως με δύο μεθόδους, την αερόβια μέθοδο βιοαποδόμησης (αερόβια επεξεργασία οργανικού κλάσματος ΑΣΑ, αλλιώς Κομποστοποίηση) και την αναερόβια μέθοδο βιοαποδόμησης (Χώνευση). Τα κύρια προϊόντα της αερόβιας επεξεργασίας είναι: α) το γνωστό κομπόστ, το οποίο αποτελεί οργανική ύλη πλούσια σε πρωτεΐνες και υδατάνθρακες κατάλληλη ως εδαφοβελτιωτικό, β) διοξείδιο του άνθρακα, γ) νερό, δ) αμμωνία και ε) θειικά ιόντα. Ενώ τα κύρια προϊόντα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι: α) διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο που αποτελούν το 99% του παραγόμενου αερίου (το υπόλοιπο 1% αποτελείται από Αμμωνία – Υδρόθειο) και β) σταθεροποιημένη ιλύς, η οποία μετά την αφύγρανσή της προορίζεται για τελική εδαφική διάθεση. Είναι δυνατό όμως η σταθεροποιημένη ιλύς αφού υποστεί επιπλέον αερόβια επεξεργασία να μετατραπεί σε κομπόστ ακόμα καλύτερης ποιότητας απ' αυτό που παράγεται από την απευθείας αερόβια επεξεργασία.

Οι βιολογικές μετατροπές που υφίσταται το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ έχουν ως στόχο τη σχετική αδρανοποίηση του υλικού, το οποίο μπορεί έπειτα να οδηγηθεί σε χώρους υγειονομικής ταφής, έχοντας παράλληλα επιτευχθεί μείωση του όγκου και του βάρους αυτού, και επιπλέον παράγεται μεθάνιο το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί για ανάκτηση ενέργειας, όπως και κομπόστ (πλούσια σε χουμικό περιεχόμενο ύλη) που χρησιμεύει ως εδαφοβελτιωτικό.

### **1.5.3.3. Μετατροπή Χημικών Χαρακτηριστικών**

Χημικές μετατροπές χαρακτηρίζονται γενικά οι διεργασίες που επιφέρουν αλλαγή της κατάστασης ενός υλικού, αναφορικά με τη μοριακή δομή του. Στην περίπτωση της διαχείρισης ΑΣΑ, η χημική μετατροπή συνεπάγεται αλλαγή κατάστασης της μάζας, από στερεή σε υγρή ή αέρια μορφή, με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας (μέσω εξώθερμων αντιδράσεων), αλλά κυρίως τη μείωση του αρχικού όγκου, αφήνοντας ένα ελάχιστο αδρανές στερεό υπόλειμμα για εδαφική διάθεση (που είναι και το ζητούμενο). Οι μετατροπές αυτές αναφέρονται ως Θερμικές

επεξεργασίες και διακρίνονται στην Καύση, την Πυρόλυση και στην Αεριοποίηση. Παρακάτω δίνονται οι γενικοί ορισμοί των θερμικών διεργασιών που αναφέρονται στη διαχείριση απορριμμάτων, ενώ θα υπάρξει λεπτομερής περιγραφή αυτών στο επόμενο κεφάλαιο όπου αναλύονται οι μέθοδοι ΔΑΣΑ.

*Καύση είναι η χημική αντίδραση οξυγόνου με οργανική ύλη κατά την οποία παράγονται οξυγονωμένες ενώσεις ενώ εκλύεται παράλληλα ενέργεια (εξώθερμη αντίδραση)[4].*

Η Πυρόλυση (αλλιώς καταστρεπτική απόσπαση) είναι μια εξαιρετικά ενδόθερμη διεργασία που λαμβάνει χώρα πλήρης απουσίας οξυγόνου κατά την οποία η οργανική ύλη διασπάται σε στερεά, υγρά και αέρια προϊόντα.

*Η αεριοποίηση (μετατροπή των ΑΣΑ σε αέριο) είναι η καύση με ποσότητα οξυγόνου μικρότερη της στοιχειομετρικής (μερική Καύση), κατά την οποία παράγεται καύσιμο αέριο που περιέχει CO, H<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub> (μεθάνιο)[4].*

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η παραγωγή ενέργειας προκύπτει ως επιπλέον όφελος της Θερμικής επεξεργασίας και για την αξιοποίησή της (μετατροπή σε ηλεκτρική) απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις. Πρόκειται πάντως για μια πρακτική που εφαρμόζεται με επιτυχία σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, τόσο από περιβαλλοντική, όσο και από οικονομική σκοπιά.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **Κύριες Μέθοδοι Διαχείρισης ΑΣΑ**

#### **2.1. Πρόληψη**

Σύμφωνα με τη διαχρονική περιβαλλοντική πολιτική της Ε.Ε, η Πρόληψη είναι μια μέθοδος διαχείρισης η οποία πρέπει να αποτελεί βασική αρχή κάθε περιβαλλοντικής δράσης. Ο όρος Πρόληψη, παραπέμπει κυρίως στη μείωση της ποσότητας των παραγόμενων αποβλήτων και στον περιορισμό της βλαπτικότητας αυτών, ως προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Στην πραγματικότητα όμως, είναι ένας τρόπος δράσης που μπορεί να κατευθύνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος και μπορεί να διασφαλίσει στο μέτρο που αυτό είναι δυνατό, περιβαλλοντική ποιότητα και ισορροπία, μέσω του τρόπου διαχείρισης από το στάδιο εξόρυξης των πρώτων υλών, μέχρι την τελική διάθεση του προϊόντος. Με βάση την αρχή της Πρόληψης, έχει δομηθεί η πολιτική της Αειφόρου Ανάπτυξης και σε ότι αφορά την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) και την Εκτίμηση Περιβαλλοντικού Κινδύνου (ΕΠΚ), μεθόδους για τις οποίες έχει γίνει λόγος, αποτελούν χρήσιμα όργανα για την εξυπηρέτηση αυτής ακριβώς της αρχής.

Ως Πρόληψη Αποβλήτων ορίζεται το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται προτού μια ουσία – υλικό – προϊόν, μετατραπεί σε απόβλητο και αφορούν ενέργειες, που αποσκοπούν στη μείωση της ποσότητας των αποβλήτων, της περιεκτικότητας αυτών σε βλαβερές ενώσεις, αλλά και στη μείωση του ενεργειακού περιεχομένου των προϊόντων, προτού αυτά καταστούν απόβλητα (ΟΟΣΑ, 2000). Σκοπός της Πρόληψης, συν τοις άλλοις, είναι και ο έλεγχος, της μέχρι πρόσφατα, άμετρης εξόρυξης πρώτων υλών για την παρασκευή των προϊόντων. Μάλιστα σε αρκετές προηγμένες χώρες, η Πρόληψη χαρακτηρίζεται περισσότερο ως δράση διαχείρισης πόρων και λιγότερο αποβλήτων, άποψη σωστή αν ληφθεί υπόψη το γεγονός, πως οι πόροι σταδιακά εξαντλούνται και δεν είναι δυνατή η ανάκτησή πρώτων υλών, παρά μόνο κατ' ελάχιστο.

Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάζει η Πρόληψη ως τρόπος διαχείρισης, είναι η δυσκολία ποσοτικοποίησης και εύρεσης κατάλληλων δεικτών, για τον έλεγχο της πορείας της μεθόδου και δεικτών που θα εξυπηρετούν την αποτελεσματική εφαρμογή αυτής. Παραμένει ακόμα σαν έννοια, αρκετά γενική, είναι αρκετά ευρύ το φάσμα που καλύπτει και επιπλέον υπάρχει ελάχιστη πληροφόρηση σχετικά με τις ακριβείς μεθόδους που δύναται να εφαρμοστούν για το σκοπό αυτό. Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο (2008/98/ΕΚ), η Ευρωπαϊκή Ένωση οφείλει να εξελιχθεί σε μια κοινωνία Πρόληψης και Ανακύκλωσης και αρχές όπως «ο ρυπαίνων πληρώνει»,

η αρχή της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού» όπως και μέτρα σχετικά με τη φορολόγηση της χρήσης πόρων ή δράσεις ευαισθητοποίησης και πληροφόρησης του κοινού, στοχεύουν έμμεσα στη δημιουργία μιας τέτοιας κοινωνίας. Μέσα στα επόμενα χρόνια η Ευρωπαϊκή Ένωση σκοπεύει να δώσει συγκεκριμένες οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές που θα προάγουν την Πρόληψη και θα την ενσωματώσουν σε όλους τους τομείς της ανάπτυξης και σε κάθε πολιτική δράση.

Πέρα από τον έλεγχο της αλόγιστης χρήσης πόρων, είναι εξίσου σημαντικός και ο έλεγχος της υπερκατανάλωσης προϊόντων. Αυτά τα δύο είναι αλληλένδετα, όσο κι αν χρησιμοποιούνται αποδοτικότερες και φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες, αν δεν περιοριστεί η υπερκατανάλωση προϊόντων, δε θα υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σχετικά με την ελεγχόμενη εξόρυξη πρώτων υλών. Σε αυτό το σημείο είναι σκόπιμο να αναφερθεί το γεγονός της ολοένα και αυξανόμενης ζήτησης προϊόντων, λόγω πληθυσμιακής αύξησης, αλλά και λόγω του ότι η παγκόσμια οικονομία δείχνει να εξαρτάται από αυτή ακριβώς την τάση της «υπερκατανάλωσης». Στο συγκεκριμένο πρόβλημα ίσως θα μπορούσε να δοθεί μια ικανοποιητική λύση μέσω της «επαναχρησιμοποίησης προϊόντων», που αποτελεί δεύτερη μέριμνα της Ευρωπαϊκής Περιβαλλοντικής Πολιτικής μαζί με την Ελαχιστοποίηση (η οποία σε πολλά σημεία ταυτίζεται με την Πρόληψη).



Εικόνα 2.41\_Ιεράρχηση Μεθόδων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων [38]

Πιο συνοπτικά , μπορεί να ειπωθεί πως η Πρόληψη γενικά προσβλέπει στους εξής στόχους:

- Στον έλεγχο της Κατανάλωσης Φυσικών Πόρων και Ενέργειας (ελαχιστοποίηση)
- Στη μείωση δημιουργίας Αποβλήτων
- Στη σωστή Αξιοποίηση των Προϊόντων (ο ορισμός σχετικών εννοιών, όπως προϊόν και απόβλητο, αλλάζει με κάθε νέα οδηγία της Κοινότητας, ούτως ώστε να εξυπηρετείται η αρχή της Πρόληψης)
- Στη μείωση της περιεκτικότητας των αποβλήτων σε βλαβερές ενώσεις

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι της πρόληψης, οι σημαντικότερες δράσεις έχουν να κάνουν με:

- Την Επικοινωνία, που αφορά στην ενημέρωση και ευαισθητοποίηση κοινωνικών ομάδων – στόχων, μέσω διαφήμισης και ειδικών προγραμμάτων ενημέρωσης και κατάρτισης
- Την Προώθηση, μέσω της οποίας παροτρύνονται όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς να συμμετάσχουν ενεργά στην υλοποίηση των μέτρων, κάθε Περιβαλλοντικού Σχεδίου, δίνοντας κίνητρα για τη χρησιμοποίηση κατάλληλου υλικοτεχνικού εξοπλισμού, τη προώθηση φιλικότερων προς το περιβάλλον προϊόντων από υλικά που ευνοούν την επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση και είναι πολλαπλής χρήσης
- Το Κανονιστικό Πλαίσιο, το οποίο σχετίζεται με τη θέσπιση κανόνων και τη δημιουργία κατευθυντήριων γραμμών, με σκοπό να βοηθήσουν στη σωστή εφαρμογή των νόμων και στη μέγιστη απόδοση των περιβαλλοντικών προγραμμάτων

## **2.2. Επαναχρησιμοποίηση**

Η μέθοδος της Επαναχρησιμοποίησης, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω κρίνεται αναγκαία, ως δράση που μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό της εξόρυξης πρώτων υλών, δίνοντας εκ νέου προϊόντα κατόπιν ελάχιστης επεξεργασίας (επισκευής κλπ). Με άλλα λόγια παρατείνεται με τον ένα ή τον άλλο τρόπο ο χρόνος χρήσης ενός προϊόντος, πράγμα που συνεπάγεται πολλαπλά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.

Η Επαναχρησιμοποίηση αποτελεί μια πιο άμεση διαδικασία διαχείρισης, σε σχέση με την Ανακύκλωση και στο βαθμό που κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί, ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς και τη νοοτροπία κάθε κοινωνίας, προηγείται αυτής. Αναφέρεται περισσότερο στη διαχείριση προϊόντων, παρά αποβλήτων και αφορά είτε τα ίδια τα προϊόντα, είτε τις συσκευασίες αυτών (γυάλινα μπουκάλια μύρας



κλπ). Όταν μια συσκευασία ή ένα προϊόν, δε δύναται να επαναχρησιμοποιηθεί, τότε είτε ανακυκλώνεται, είτε εκτρέπεται για ανάκτηση υλικών και ενέργειας, είτε εν τέλει διατίθεται στο έδαφος.

Στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη γενικότερα η Επαναχρησιμοποίηση δεν είναι κάτι το ξένο, απλά σήμερα υπάρχει σχέδιο για συστηματοποίηση αυτής της γνωστής μεθόδου. Υλικά όπως το ύφασμα, το δέρμα ή το ξύλο, δε θεωρούνται απόβλητα, παρά μόνο αν αυτά είναι εντελώς ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση και προϊόντα όπως παλιοί δίσκοι (βινύλιο), πικάπ κ.α., μπορούν εύκολα να βρεθούν σε παλαιοπωλεία. Είναι επίσης γνωστό ότι «παλιά» ρούχα ή παπούτσια, δεν πετάγονται αν μπορούν να ξαναφορεθούν, παρά χαρίζονται σε συγγενείς ή φίλους (κυρίως παιδικά ρούχα που έχουν φορεθεί ελάχιστα), διαφορετικά μπορούν να δοθούν σαν πράξη φιλανθρωπίας ή να πωληθούν. Επιπλέον σε ότι αφορά το «χαρτί» δεν είναι λίγα τα παλαιοβιβλιοπωλεία στην Ελλάδα και σε ολόκληρο τον κόσμο. Γενικά, σε ατομικό επίπεδο και επίπεδο οικογενείας, η σωστή διαχείριση προϊόντων (όπως είναι και η τροφή) δείχνει ευσυνειδησία και είναι δείγμα πολιτισμού.

Η Επαναχρησιμοποίηση τις περισσότερες φορές και ανάλογα με το προϊόν απαιτεί τις παρακάτω δράσεις:

- Επισκευή (π.χ. οικιακές συσκευές)
- Αναβάθμιση (π.χ. Υπολογιστές)
- Αντικατάσταση τμημάτων (π.χ. στο αυτοκίνητο)

Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετά δομικά υλικά χρήζουν επαναχρησιμοποίησης καλύπτοντας ανάγκες επισκευών, ανέγερσης νέων οικοδομών ή έργων οδοποιίας. Περισσότερα για την επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών, αναφέρονται στη σχετική ενότητα για τη Διαχείριση «Οικοδομικών Απορριμμάτων».

## 2.3. Ανακύκλωση και Εγκαταστάσεις Ανάκτησης Υλικών και Ενέργειας (ΕΑΥ/Ε)

### 2.3.1. Στόχοι και Σχεδιασμός Ανακύκλωσης

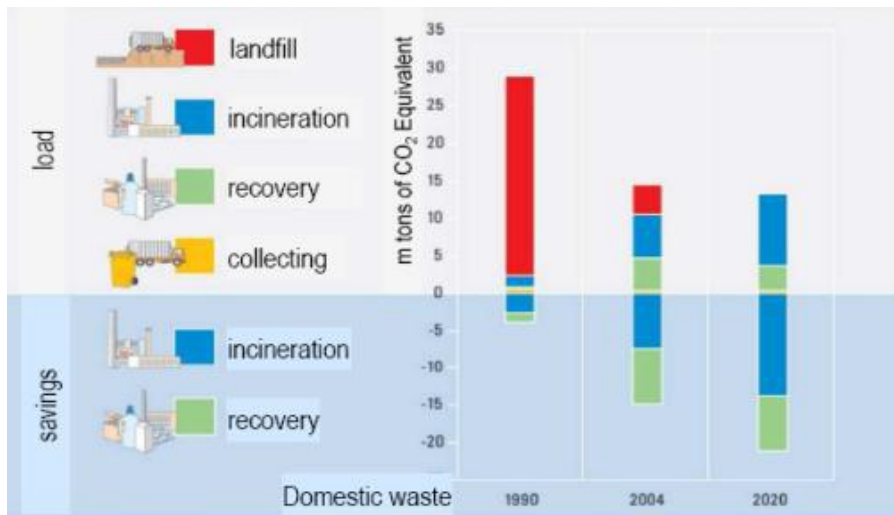


Εικόνα 2.2\_Περίπτερο Ανακύκλωσης [39]

Η Ανακύκλωση ως γενικότερη έννοια συνεπάγεται διαχωρισμό των ΑΣΑ σε ομοιογενείς κατηγορίες των συστατικών τους, ανάκτηση των υλικών και επαναχρησιμοποίησή τους είτε άμεσα, είτε κατόπιν επεξεργασίας[4]. Για να είναι πιο σαφής η έννοια της ανακύκλωσης, πρέπει εξ αρχής να είναι προκαθορισμένος ο στόχος αυτής, αλλά και η σκοπιά υπό την οποία αναλύεται.

Για παράδειγμα σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο, πιθανοί στόχοι της ανακύκλωσης είναι:

- Η μείωση της παραγωγής καταναλωτικών αγαθών, απευθείας απ' τη φύση, πράγμα που συνεπάγεται μείωση της παραγωγής πρώτων υλών και φυσικά εξοικονόμηση ενέργειας
- Η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον (μείωση αποβλήτων)
- Η μείωση των αερίων θερμοκηπίου
- Η εκτροπή συγκεκριμένων υλών, που δεν προορίζονται για εδαφική διάθεση
- Η περιβαλλοντική διαπαιδαγώγηση (οι άνθρωποι μαθαίνουν τη σημασία του διαχωρισμού των υλικών στην πηγή)



Εικόνα 2.3\_Σταδιακή μείωση αερίων θερμοκηπίου και συμβολή ανακύκλωσης [26]

Για το σχεδιασμό ενός προγράμματος ανακύκλωσης, το οποίο θα αφορά ένα γεωγραφικό διαμέρισμα, με συγκεκριμένους κοινωνικούς και πολεοδομικούς περιορισμούς, είναι απαραίτητο να υπάρχουν στοιχεία σε ότι αναφορά τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ συμπεριλαμβανομένης και της εξέλιξης αυτών σε ορισμένο χρονικό ορίζοντα.

Πιο αναλυτικά ο σχεδιασμός ενός προγράμματος περιλαμβάνει τα εξής:

- Προσδιορισμό των στόχων του προγράμματος
- Επιλογή της περιοχής που θα εφαρμοστεί το πρόγραμμα και ορισμός φορέα διαχείρισης
- Επιλογή υλικών – στόχων (υλικά που θα διαχωριστούν και θα ανακτηθούν)
- Εκτίμηση ποσοτήτων ανακυκλώσιμων υλικών (συγκεκριμένος χρονικός ορίζοντας)
- Χρηματοδότηση προγράμματος από εξωτερικούς φορείς και ορισμός οικονομικών κινήτρων.

Πρέπει να αναφερθεί πως δύσκολα ένα πρόγραμμα ανακύκλωσης χαρακτηρίζεται ως οικονομικά αυτοδύναμο, καθώς είναι αρκετά μεγάλος ο κύκλος των διεργασιών από τις οποίες πρέπει να περάσουν τα ανακυκλώσιμα απορρίμματα και πολλοί οι φορείς που εμπλέκονται σε αυτόν, ώστε να εισέλθουν και πάλι στην αγορά ως προϊόντα. Δεν είναι εύκολο λοιπόν να μοντελοποιηθεί και να μελετηθεί η ανακύκλωση ως ένα ενιαίο σύστημα με συγκεκριμένα οικονομικά οφέλη (τουλάχιστον όχι σε τοπικό επίπεδο).

Ο διαχειριστής είναι αυτός που ρυθμίζει παράγοντες όπως ο αριθμός, το μέγεθος, ο τύπος και η χωρική κατανομή των κάδων, καθώς και ο αριθμός – τύπος των

οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια κόστους, αισθητικής και αποτελεσματικότητας. Ενώ ως προς τη λειτουργία του προγράμματος είναι απαραίτητη η διαμόρφωση συστήματος ελέγχου και συστήματος προσαρμογής στις εξελισσόμενες συνθήκες. Είναι διαπιστωμένο επίσης πως η ανακύκλωση έχει θετικό ισοζύγιο όταν πραγματοποιείται διαχωρισμός στην πηγή (από αυτόν δηλ. ο οποίος παράγει το απόβλητο).

Προκειμένου να γίνει σωστή αξιολόγηση της επίδοσης των συστημάτων ανακύκλωσης χρησιμοποιούνται κυρίως, ο δείκτης εκτροπής (απόβλητα που δεν καταλήγουν σε εδαφική διάθεση) και ο δείκτης ανάκτησης (αφορά είτε ανάκτηση υλικών, είτε ανάκτηση ενέργειας). Πάντως είναι γεγονός πως η σταθερότητα στην αγορά των ανακτώμενων υλικών με προβλέψιμες διακυμάνσεις της ζήτησης και των τιμών, αποτελούν σημαντικές προϋποθέσεις επιτυχίας των προγραμμάτων ανακύκλωσης.

### 2.3.2. Ανακύκλωση με Διαχωρισμό στην Πηγή (ΔσΠ)



Εικόνα 2.4\_ Διαχωρισμός στην Πηγή [40]

Η ανακύκλωση με διαχωρισμό στην πηγή ξεκινά πρώτα απ' όλα με τη σωστή ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του πολίτη. Διεθνείς εμπειρίες έχουν δείξει ότι ο διαχωρισμός των βιοαποδομήσιμων υλικών στην πηγή, ακόμα και όταν απαιτείται για το σκοπό αυτό επιπρόσθετη δαπάνη για ειδικές σακούλες και κάδους, ενδέχεται να οδηγεί σε μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος συλλογής και μεταφοράς μια περιοχής. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους:

- Τα οχήματα για την καθημερινή συλλογή των απορριμμάτων (βιοαποδομήσιμα ΑΣΑ), δε είναι απαραίτητο να έχουν σύστημα συμπίεσης (άρα είναι φθηνότερα)

- Η συχνότητα συλλογής των υπόλοιπων απορριμμάτων που δεν υφίστανται βιοαποδόμηση μπορεί να μειωθεί σημαντικά (π.χ. ανά 15 μέρες), πράγμα που σημαίνει πραγματοποίηση για το σκοπό αυτό λίγων διαδρομών.

### **2.3.3. Ανακύκλωση από ρεύμα σύμμεικτων απορριμμάτων**

Σε περιπτώσεις όπου δεν υφίσταται διαχωρισμός στην πηγή, η Ανακύκλωση επιτυγχάνεται μέσω του διαχωρισμού σύμμεικτων απορριμμάτων (χειροδιαλογή ή μηχανικός διαχωρισμός) σε ειδικές εγκαταστάσεις, στις οποίες πέρα από ανάκτηση υλικών μπορεί να επιτευχθεί και ανάκτηση μέρους της ενέργειας χρησιμοποιώντας βιολογικές και χημικές μεθόδους εκτροπής, όπως η καύση και η βιοεπεξεργασία.

Σε ότι αφορά τις απλές εγκαταστάσεις ανακύκλωσης σύμμεικτων απορριμμάτων (χωρίς προέκταση καύσης ή βιοεπεξεργασίας), ο εξοπλισμός που απαιτείται καλύπτει μόνο τις ανάγκες μετατροπής των φυσικών χαρακτηριστικών αυτών και κατά περίπτωση το σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μηχανικές διεργασίες τεμαχισμού, μείωσης μεγέθους τεμαχίων και διαχωρισμού των επί μέρους ανακυκλώσιμων υλικών κατά είδος και μέγεθος.

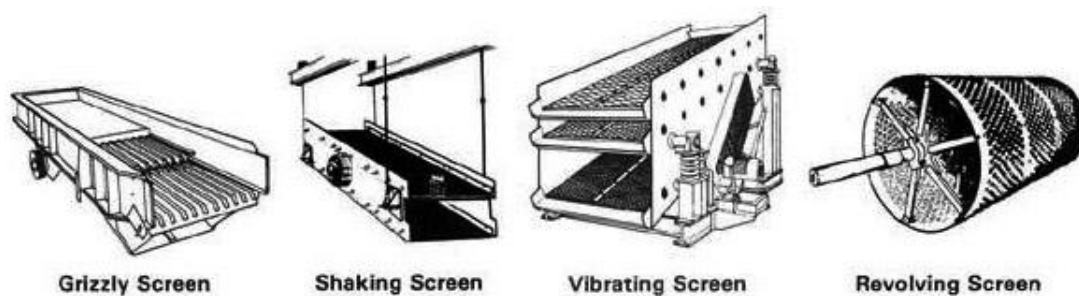
Θα αναφερθεί και πιο κάτω το γεγονός πως τα ανακτώμενα προϊόντα που προκύπτουν αποκλειστικά, έπειτα από μηχανικό διαχωρισμό είναι χαμηλότερης ποιότητας από αυτά των οποίων ο διαχωρισμός έχει αρχίσει από την πηγή.

### **2.3.4. Μηχανικές Διεργασίες για ανάκτηση και Ανακύκλωση Υλικών**

#### **2.3.4.1. Διαλογή ΑΣΑ**

Με το διαχωρισμό (διαλογή), επιδιώκεται η μετατροπή ενός ανομοιογενούς σώματος ΑΣΑ σε επιμέρους ομοιογενή συστατικά. Κύριοι στόχοι του διαχωρισμού είναι: 1) η ανάκτηση κάποιων υλών που συνεπάγεται (έμμεσα) και ανάκτηση ενέργειας (π.χ. ανάκτηση διαφόρων μετάλλων, χαρτιού, υαλικών κλπ), 2) η απομάκρυνση ορισμένων υλικών, είτε αρκετά ογκωδών, είτε επικίνδυνων για τις περαιτέρω επεξεργασίες εκτροπής, όπως η Κομποστοποίηση και η Καύση, είτε αδρανών ως προς αυτές.

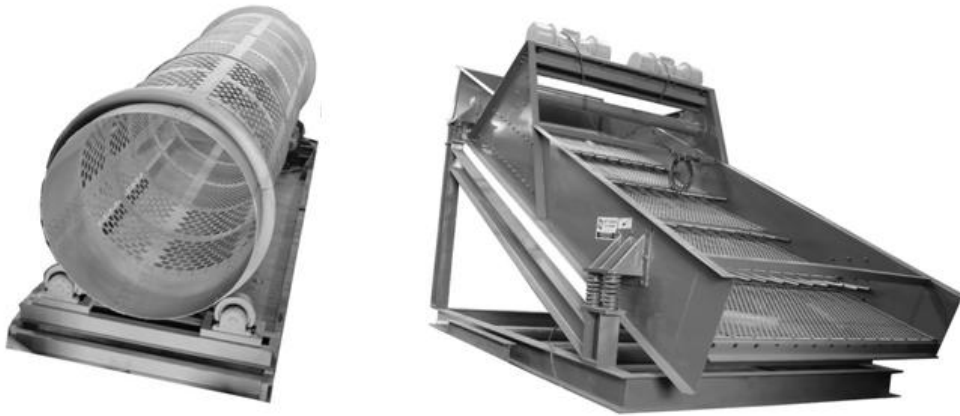
α) Μέθοδοι μηχανικής διαλογής με Βάση το μέγεθος



Εικόνα 2.5\_ Μέθοδοι μηχανικής διαλογής με βάση το μέγεθος [41]

Μια μέθοδος διαχωρισμού ανά μέγεθος είναι ο εσχαρισμός (screening), κατά την οποία τα υλικά διαχωρίζονται περνώντας μέσα από τις οπές σειρών εσχάρων. Οι συνηθέστεροι τύποι είναι:

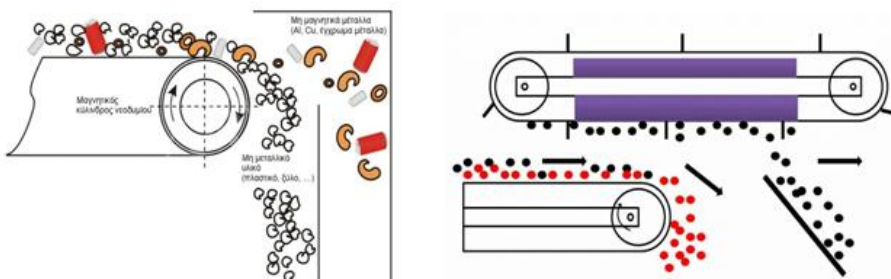
- Η δονούμενη εσχάρα, η οποία είναι συνήθως διώροφη και προκαλεί μέσω δόνησης το διαχωρισμό των διαφόρου μεγέθους υλικών τα οποία τοποθετούνται στην επάνω εσχάρα που είναι και αυτή που έχει τις βροχίδες με τη μεγαλύτερη διάσταση. Τα διερχόμενα υλικά πέφτουν στις κάτω εσχάρες οι οποίες είναι τοποθετημένες κατά αύξουσα διάσταση βροχίδων. Στο πρώτο τμήμα διέρχονται και συλλέγονται τα τεμάχια μικρότερων διαστάσεων, ενώ τα υπόλοιπα μετακινούνται με τη βοήθεια της δόνησης στο επόμενο τμήμα όπου διέρχονται και συλλέγονται τα τεμάχια με τις μεγαλύτερες διαστάσεις. Τα υπερμεγέθη τεμάχια, που δεν είναι δυνατό να διέλθουν από τις εσχάρες, συλλέγονται και οδηγούνται για περαιτέρω μείωση των διαστάσεών τους στους τεμαχιστές και στους μύλους.
- Η περιστρεφόμενη εσχάρα τυμπάνου, η οποία βρίσκεται υπό κλίση και αποτελείται από ένα διάτρητο τύμπανο το οποίο καθώς περιστρέφεται ωθεί τα υλικά που εισέρχονται σ' αυτό να περάσουν, αρχικά από οπές μικρής διαμέτρου όπου συλλέγονται τα τεμάχια με τη μικρότερη διάσταση. Τα εναπομείναντα τεμάχια (μεγάλης διαμέτρου) διέρχονται και συλλέγονται από το τελευταίο τμήμα του τυμπάνου όπου υπάρχουν οπές μεγαλύτερης διάστασης, ενώ τα υπερμεγέθη τεμάχια συλλέγονται στην έξοδο του τυμπάνου και οδηγούνται για περαιτέρω μείωση των διαστάσεων.



Εικόνα 2.6\_ Περιστρεφόμενη εσχάρα Τυμπάνου (drum screen) και Δονούμενη εσχάρα (bar screen) [42]

β) Μαγνητικοί μέθοδοι μηχανικής διαλογής (Διαχωρισμός Μετάλλων):

- Ο Ηλεκτροστατικός διαχωρισμός χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των μετάλλων από τα αμέταλλα και λειτουργεί με τη δημιουργία ισχυρού μαγνητικού πεδίου το οποίο έλκει τα υλικά που είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, ενώ δεν επηρεάζει κατά τη διέλευσή τους, τα υπόλοιπα υλικά.
- Μαγνητικός διαχωρισμός είναι η μέθοδος που επιτρέπει τη διαλογή σιδηρούχων μετάλλων (τα οποία μαγνητίζονται) από ένα μείγμα μετάλλων. Η διάταξη με την οποία γίνεται ο μαγνητικός διαχωρισμός αποτελείται από έναν ατέρμονα κυλιόμενο διάδρομο, εφοδιασμένο με τρεις μαγνήτες στην κάτω πλευρά του. Ο πρώτος μαγνήτης έλκει τα σιδηρούχα μέταλλα από το ρεύμα των αποβλήτων, ο δεύτερος διευκολύνει τη μεταφορά τους πάνω στον κυλιόμενο διάδρομο και ο τρίτος επιτρέπει τη συλλογή τους[30].
- Πιο απλή μορφή της παραπάνω διεργασίας αποτελεί ένας κυλιόμενος διάδρομος ο οποίος είναι εφοδιασμένος με μαγνήτη στο άκρο του. Τα μη σιδηρούχα υλικά φεύγουν απ' το διάδρομο καθώς αυτός κινείται, ενώ τα σιδηρούχα συλλέγονται στην περιοχή όπου βρίσκεται ο μαγνήτης.



Εικόνα 2.7\_ Μέθοδοι Μαγνητικού Διαχωρισμού [26]

γ) Διαχωρισμός με Χρήση ρεύματος αέρα (ως προς τη μάζα των υλικών)

Η μέθοδος αυτή διαχωρισμού στηρίζεται στη βαρύτητα και ουσιαστικά επιτυγχάνεται μέσω ενός κατακόρυφου σωλήνα, από το πάνω μέρος του οποίου εισέρχονται τα προς διαχωρισμό υλικά ενώ από το κάτω εισέρχεται ρεύμα αέρα με ρυθμιζόμενη ταχύτητα. Έτσι τα ελαφρά υλικά αιωρούνται και ωθούνται προς την κορυφή, ενώ τα βαρύτερα καθιζάνουν και συλλέγονται στον πυθμένα.

Στη βιομηχανική παραλλαγή της συγκεκριμένης μεθόδου, δύο κατακόρυφοι σωλήνες συνδέονται με μια κεκλιμένη δονούμενη κλίνη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται πιο ακριβής διαχωρισμός. Γνωστή επίσης βιομηχανική εφαρμογή είναι η χρήση ρεύματος κυκλώνα που διευκολύνει το διαχωρισμό με τη βοήθεια της φυγόκεντρης δύναμης.

δ) Διαχωρισμός (κυρίως μετάλλων) μέσα σε δεξαμενή

Μέσα σε δεξαμενές που περιέχουν υγρό συγκεκριμένης πυκνότητας, μπορεί να επιτευχθεί διαχωρισμός με βάση τη βαρύτητα, καθώς κατά την ανάδευση του υλικού τα βαριά υλικά καθιζάνουν στον πυθμένα, ενώ τα ελαφρότερα συνεχίζουν να επιπλέουν. Εναλλακτικά χρησιμοποιείται σειρά δεξαμενών με σταδιακά ελαττούμενη πυκνότητα υγρών από δεξαμενή σε δεξαμενή, όπου τα υλικά κάθε φορά καθιζάνουν στον πυθμένα, από τα βαρύτερα στα ελαφρότερα κατά σειρά.

ε) Διαλογή με το χέρι

Ο ανθρώπινος παράγοντας δε λείπει σε καμιά από τις παραπάνω διεργασίες και τελικά η διαλογή με το χέρι είναι λίγο – πολύ αναπόφευκτη. Επιβάλλεται ιδιαίτερη προσοχή για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων. Οι χώροι εργασίας πρέπει να είναι άνετοι, με καλό φωτισμό και αερισμό και όλα τα μέτρα ασφαλείας πρέπει να λαμβάνονται και να ελέγχονται σχολαστικά.

#### **2.3.4.2. Μείωση Μεγέθους**

α) Κοπή

Η κοπή είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις υπερμεγέθων υλικών, όταν για παράδειγμα το υλικό είναι σύνθετο και απαιτείται αποσυναρμολόγησή του.

β) Τεμαχισμός

Ο τεμαχισμός ακολουθεί τη διαδικασία της κοπής των υλικών και χρησιμοποιείται προκειμένου να αποδοθούν μικρότερα τεμάχια των συνήθως ανακυκλώσιμων υλικών όπως τα μεταλλικά κουτιά αναψυκτικών, τα γυάλινα ή πλαστικά αντικείμενα κ.α. Οι τελικές διαστάσεις των τεμαχίων δεν υπερβαίνουν τα 15 cm.



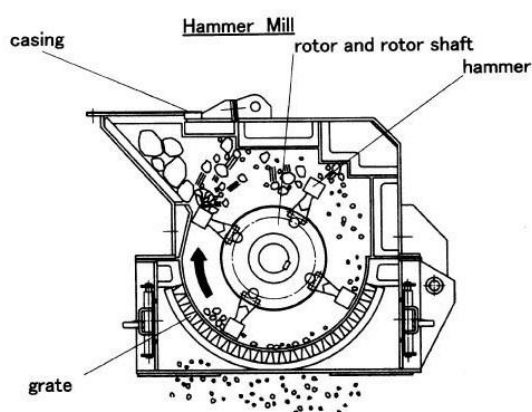
Οι τεμαχιστές είναι συσκευές που αποτελούνται από σειρά δίσκων εφοδιασμένων με αιχμηρά άγκιστρα στην περιμέτρώ τους , οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε περιστρεφόμενο άξονα. Ανάλογα με το υλικό που τεμαχίζεται χρησιμοποιούνται συσκευές δύο, τριών ή τεσσάρων αξόνων[30].



Εικόνα 2.8\_ Τεμαχιστές (shear shredders) [43]

#### δ) Θρυμματισμός

Ο θρυμματισμός αποτελεί το επόμενο βήμα του τεμαχισμού και αποσκοπεί στη δημιουργία ακόμα μικρότερων τεμαχίων. Κατά τη διαδικασία του θρυμματισμού χρησιμοποιούνται μύλοι, οι οποίοι ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας διακρίνονται σε σφυρόμυλους, όπου ο θρυμματισμός πραγματοποιείται με τη δράση σφυριών επί περιστρεφόμενου άξονα και κοπανόμυλους όπου η διαδικασία του θρυμματισμού επιτυγχάνεται με την περιστροφή ειδικών ροπάλων.



Εικόνα 2.9\_ Σφυρόμυλος (hammer mill) [44]

#### ε) Κοκκοποίηση και Κονιορτοποίηση

Κατά το στάδιο της κοκκοποίησης το υλικό μετατρέπεται σε κόκκους διαμέτρου 5-6mm με τη χρήση συσκευών παρόμοιων με τους τεμαχιστές και τους μύλους, οι

οποίες φέρουν πλάκες στις πλευρές τους υπό μορφή αμονιού. Τα υλικά κατά την περιστροφή συμπιέζονται μεταξύ σφυρών και αμονιού και μετατρέπονται σε μικρούς κόκκους.

*Τελικό στάδιο της μείωσης του μεγέθους αποτελεί η κονιορτοποίηση του υλικού η οποία πραγματοποιείται σε συσκευές παρόμοιες με τους μύλους οι οποίες περιέχουν στο εσωτερικό τους πλήθος μεταλλικών σφαιριδίων. Τα μεταλλικά σφαιρίδια προσκρούουν στο υλικό κατά την περιστροφή του μύλου και μ' αυτό τον τρόπο, δια της κρούσης το μετατρέπουν σε σκόνη (κονία)[30].*

### **2.3.5. Εγκαταστάσεις Μηχανικού Διαχωρισμού (EMΔ)**

#### **2.3.5.1 Στόχοι και υποσυστήματα μιας EMΔ**

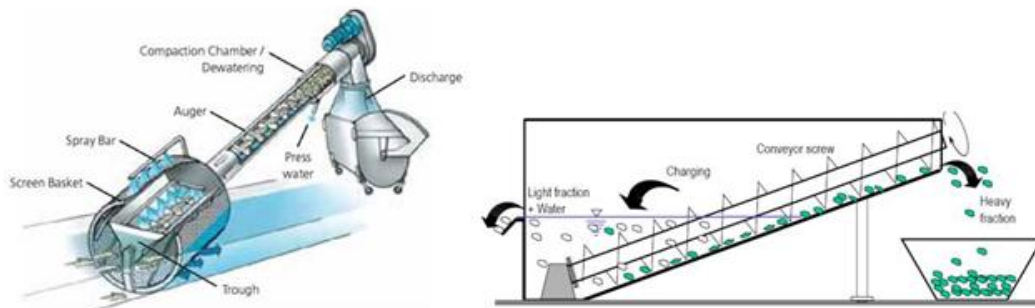
Στις εγκαταστάσεις μηχανικού διαχωρισμού, οι οποίες ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των εγκαταστάσεων ανάκτησης υλικών και ενέργειας (EAY/E), για τις οποίες θα γίνει αναφορά στην επόμενη ενότητα, τα ΑΣΑ χωρίζονται κυρίως με μηχανικές διεργασίες και η χειροδιαλογή περιορίζεται στο ελάχιστο. Οι κύριοι στόχοι μιας EMΔ είναι:

- Η ανάκτηση υλικών
- Η παραγωγή κομπόστ
- Η παραγωγή RDF
- Η συλλογή και η αξιοποίηση του βιοαερίου

Δηλαδή με άλλα λόγια στόχος των EMΔ είναι η ανάκτηση ύλης και η εκτροπή του οργανικού κλάσματος από την απευθείας εδαφική διάθεση στα ΧΥΤΑ. Γενικά η μέθοδος επεξεργασίας σε EMΔ κρίνεται πιο αποδοτική από αυτή της εδαφικής διάθεσης, όμως αρκετά πιο ακριβή όταν αυτή μάλιστα χρησιμοποιείται και για παραγωγή βιοαερίου.

Οι στόχοι που αναφέρθηκαν πιο πάνω επιτυγχάνονται καθώς οι εγκαταστάσεις μηχανικού διαχωρισμού είναι δυνατό να περιλαμβάνουν κάποια ή ακόμα και όλα τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- Μονάδα παραγωγής RDF (μείγμα χαρτιού και πλαστικών, ιδανικό ως καύσιμη ύλη), με τεχνικές ξήρανσης και πελλετοποίησης (συγχώνευσης)
- Μονάδα Κομποστοποίησης και Χώνευσης
- Μονάδα καθαρισμού σιδηρούχων μετάλλων και αλουμινίου από προσμίξεις



Εικόνα 2.10\_ Υδραυλικός Σπειροειδής Διαχωριστής [26]

### 2.3.5.2. Θετικά και Αρνητικά ΕΜΔ

Μεταξύ των πλεονεκτημάτων της ΕΜΔ είναι:

- Δεν απαιτείται διαχωρισμός στην πηγή, εφόσον η διαλογή είναι το πρώτο και σημαντικότερο στάδιο της ΕΜΔ
- Το υψηλό ποσοστό ανάκτησης υλικών (μέχρι 70% του βάρους των ΑΣΑ)
- Η εξασφάλιση μεγάλου ποσοστού ζυμώσιμου κλάσματος από τα απορρίμματα, το οποίο μπορεί να περάσει απευθείας στο στάδιο της βιοεπεξεργασίας
- Η παραγωγή RDF (καύσιμη ύλη)

Τα μειονεκτήματα αυτής, είναι:

- Η χαμηλή ποιότητα των ανακτώμενων υλικών και του παραγόμενου κομπόστ, καθώς τα ΑΣΑ δεν είναι διαχωρισμένα από την πηγή (για να επιτευχθεί ο καλύτερος δυνατός διαχωρισμός χρειάζεται συνδυασμός των τριών μεθόδων διαλογής)
- Το υψηλό κόστος
- Παρουσιάζονται αρκετά προβλήματα ως προς τη λειτουργικότητα των ΕΜΔ καθώς εμφανίζονται συχνά αστοχίες στα πολύπλοκα μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά συστήματα
- Η αδυναμία προγραμματισμού και προσαρμογής της μεθόδου σε συνθήκες που αποκλίνουν από αυτές για τις οποίες σχεδιάστηκε
- Η έλλειψη ικανών στελεχών για τη λειτουργία και συντήρηση των εγκαταστάσεων

## 2.3.6. Εγκαταστάσεις Ανάκτησης Υλικών και Ενέργειας

### 2.3.6.1 Κατηγορίες και Παράγωγα EAY/E

Για την ανάκτηση υλικών ή ενέργειας από προγράμματα εκτροπής (όποιας μορφής) και ανακύκλωσης, απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις οι οποίες ταξινομούνται ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας στην οποία υπόκεινται τα απορρίμματα. Πιο αναλυτικά, μπορεί να ειπωθεί πως οι εγκαταστάσεις κατηγοριοποιούνται βάσει παραγόντων όπως:

- Ο βαθμός διαχωρισμού των εισερχόμενων στις εγκαταστάσεις αποβλήτων
- Η έκταση της χειροδιαλογής (υπάρχουν εγκαταστάσεις όπου η διαλογή πραγματοποιείται αποκλειστικά χειρωνακτικά και άλλες όπου η διαλογή επιτυγχάνεται κυρίως με μηχανικό διαχωρισμό)
- Η ύπαρξης (ή όχι) εντός των εγκαταστάσεων μονάδας βιοεπεξεργασίας και το είδος αυτής (αερόβια ή αναερόβια)
- Το αν πραγματοποιείται θερμική επεξεργασία (κυρίως Καύση) με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας.

Άρα λοιπόν σαν εγκατάσταση ανάκτησης υλικών και ενέργειας (EAY/E) μπορεί να χαρακτηριστεί :

- Ένας χώρος απόθεσης ΑΣΑ που αποσκοπεί στην ανάκτηση υλικών κυρίως με χειροδιαλογή
- Ένας ειδικός χώρος διαλογής, στον ευρύτερο χώρο ενός σταθμού μεταφόρτωσης αποβλήτων (ΣΜΑ) ή ενός (ΧΕΔΥ).
- Μια εγκατάσταση ανάκτησης υλικών μέσω μηχανικού διαχωρισμού, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει ειδικές εγκαταστάσεις βιοεπεξεργασίας και ανάκτησης ενέργειας

Τα παράγωγα των παραπάνω εγκαταστάσεων, τα οποία βαίνουν είτε προς συγκεκριμένη χρήση, είτε προς τελική διάθεση μπορεί να είναι:

- Διαχωρισμένα σε κατηγορίες υλικά που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν
- Κομπόστ και θερμική ενέργεια, εφόσον γίνεται λόγος για εγκατάσταση βιολογικής ή θερμικής επεξεργασίας
- Συμπιεσμένα δεμάτια αδρανούς ύλης, τα οποία καταλήγουν σε χώρους μόνιμης διάθεσης
- Στερεά υπολείμματα διαφόρων διεργασιών (βιοαποδόμησης και καύσης)
- Υγρά ή Αέρια Απόβλητα διεργασιών βιοαποδόμησης και καύσης, η εκροή των οποίων ελέγχεται μέσω ειδικών συστημάτων

### 2.3.6.2 Κριτήρια αξιολόγησης

Τα κυριότερα κριτήρια αξιολόγησης των ΕΑΥ/Ε, πέρα από την κοινωνική αποδοχή είναι [4]:

- Η περιβαλλοντική επίδοση
- Η χρηματοδοτική ικανότητα
- Η οικονομική βιωσιμότητα (κατά πόσο το σύστημα μπορεί να προσαρμόζεται σύμφωνα με τη χρηματική δυνατότητα)
- Η λειτουργικότητα δηλ. το κατά πόσο το σύστημα παραμένει λειτουργικό στην όποια αλλαγή της σύστασης των ΑΣΑ, στη δυνατότητα συνεπεξεργασίας αυτών με άλλα απόβλητα και στην ευκολία της συντήρησής του
- Η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος
- Η δημιουργία θέσεων εργασίας

## 2.4. Βιολογική Επεξεργασία ΑΣΑ

### 2.4.1. Εισαγωγή

Η βιολογική επεξεργασία αποτελεί μια από τις σημαντικότερες και ευρέως διαδεδομένες μεθόδους διαχείρισης ΑΣΑ, πριν την τελική εδαφική διάθεση. Κύριο προϊόν της βιολογικής επεξεργασίας είναι το κομπόστ, ένα πλούσιο σε οργανική ουσία υλικό με υψηλό χουμικό περιεχόμενο (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια, κυτταρίνη και λινίνη) το οποίο αν πληροί τις προβλεπόμενες ποιοτικές προδιαγραφές, χρησιμεύει ως εδαφοβελτιωτικό ή ως υπόστρωμα στις καλλιέργειες.

Στόχος της βιολογικής επεξεργασίας είναι πάντα η δημιουργία αδρανούς μάζας η οποία βαίνει προς εδαφική διάθεση, η δημιουργία κομπόστ (όπως αναφέρθηκε στην πάνω παράγραφο) και η ανάκτηση ενέργειας. Ανάλογα με τις συνθήκες, διακρίνονται δύο είδη βιολογικής επεξεργασίας: α) η αερόβια, από την οποία προκύπτει το κομπόστ (κομποστοποίηση) και β) η αναερόβια (αλλιώς χώνευση), από της οποία παράγεται κυρίως βιοαέριο. Σε αναερόβια επεξεργασία υπόκεινται κυρίως τα ΑΣΑ που διατίθενται στο έδαφος, π.χ. σε χώρους Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ), λόγω της μη ύπαρξης αρκετού αέρα. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, πως ενδεχόμενη εκτροπή των ΑΣΑ σε απευθείας αναερόβια επεξεργασία, μειώνει σημαντικά τα παράγωγα αυτής στο χώρο εδαφικής διάθεσης (βιοαέριο και στραγγίσματα), για τον έλεγχο των οποίων απαιτείται ο σχεδιασμός ειδικής διάταξης αγωγών (όπως θα αναφερθεί στο ειδικό κεφάλαιο για τα ΧΥΤΑ).

Προϋπόθεση για τη βιολογική επεξεργασία είναι ο διαχωρισμός του βιοαποδομήσιμου κλάσματος από το υπόλοιπο σώμα των ΑΣΑ. Ο διαχωρισμός

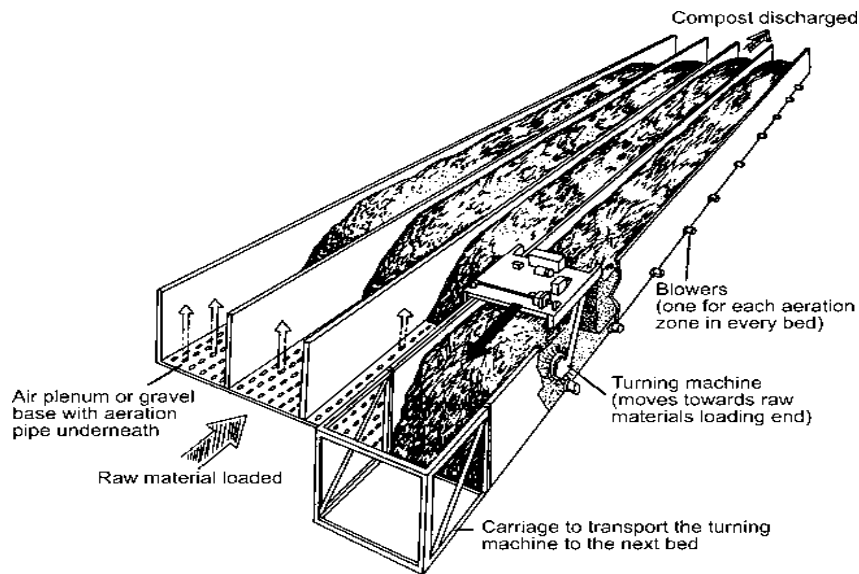
αυτός επιτυγχάνεται είτε με διαλογή στην πηγή, οπότε οι εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας είναι αυτοδύναμες και αφορούν αποκλειστικά τη διαδικασία της βιοαποδόμησης, είτε σε πιο σύνθετες εγκαταστάσεις όπου η βιοαποδόμηση πραγματοποιείται κατόπιν μηχανικού διαχωρισμού (ΕΜΔ).

#### **2.4.2. Αερόβια Επεξεργασία ή Κομποστοποίηση**

*Η Κομποστοποίηση είναι μια ελεγχόμενη (ως προς τον αερισμό, την υγρασία, το λόγο C/N, το pH και τη θερμοκρασία) διεργασία βιοξείδωσης οργανικών υλών, όπου ετερογενείς και ετερότροφοι μικροοργανισμοί (βακτήρια και μύκητες) βιοαποδομούν οργανικές ενώσεις[4]. Προϊόντα αυτής είναι το νερό, το CO<sub>2</sub>, και το κομπόστ (πλούσιο σε οργανική ουσία υλικό). Η δυνατότητα χρήσης του κομπόστ ως εδαφοβελτιωτικό και ως είδος λιπάσματος για τις καλλιέργειες, αναφέρθηκε και πιο πάνω. Άλλες χρήσεις αυτού είναι: ως βιοφίλτρο κυρίως σε χώρους εδαφικής διάθεσης (δεσμεύει ρύπους βιοαερίου), ως ηχομονωτικό υλικό, χρησιμοποιείται επίσης για αναπλάσεις τοπίων, για αποκατάσταση λατομείων κ.α.*

Κατά τη διεργασία της Κομποστοποίησης επιτυγχάνεται μείωση μάζας της τάξης του 50%.

Τα συστήματα Αερόβιας Επεξεργασίας διακρίνονται στα Ανοιχτά, όπου η βιοαποδόμηση εξελίσσεται με βραδείς ρυθμούς, στα Κλειστά όπου επιτυγχάνεται ταχεία βιοαποδόμηση και στα Μεικτά. Τα ανοικτά λειτουργούν κυρίως κάτω από υπόστεγο, μπορούν όμως να λειτουργήσουν και σε υπαίθριο χώρο με δυνατότητα κάλυψης του υλικού με μεμβράνες. Τα ανοικτά συστήματα επεξεργασίας διακρίνονται ανάλογα με τις συνθήκες αερισμού (δυναμικές, στατικές, μεικτές). Ο δυναμικός αερισμός επιτυγχάνεται είτε με εμφύσηση αέρα, είτε με αναρρόφηση, είτε με εναλλαγή των δύο μεθόδων. Στις στατικές συνθήκες ο αερισμός γίνεται με περιοδική ανάδευση του υποστρώματος, το οποίο τοποθετείται σε διάφορους γεωμετρικούς σχηματισμούς ύψους μέχρι και 2,5 m είτε σε ειδικά κανάλια, είτε ελεύθερα (ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες και τον μηχανισμό ανάδευσης). Ο αναγκαίος χρόνος παραμονής του υλικού στο χώρο αεριοποίησης κυμαίνεται από 3 – 4 εβδομάδες.



Εικόνα 2.11\_ Σύστημα Ανοιχτής Κομποστοποίησης [45]

Στα κλειστά (ταχείας βιοαποδόμησης) συστήματα, η επεξεργασία γίνεται μέσα σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες όπου το υλικό βιοαποδομείται υπό πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες, με συνεχή ανάδευση και υπό δυναμικές συνθήκες αερισμού. Χρησιμοποιούνται πολυώροφα σιλό ύψους περίπου 20m όπου τα ΑΣΑ διατρέχουν τους ορόφους οι οποίοι διατηρούν διαφορετικές συνθήκες υγρασίας και αερισμού. Ο χρόνος παραμονής στους βιοαντιδραστήρες ποικίλει ανάλογα με την τεχνολογία και κυμαίνεται μεταξύ 7 – 14 ημερών. Το τελικό προϊόν μετά και τη διαδικασία της ωρίμανσης (θα εξηγηθεί παρακάτω), είναι αρκετά πιο ποιοτικό σχετικά με τα ανοιχτά συστήματα, πλην όμως η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι πολυπλοκότερη και φυσικά το σύστημα κρίνεται πιο ακριβό.

Στα Μεικτά συστήματα το υλικό παραμένει αρχικά σε κλειστό βιοαντιδραστήρα λίγες μέρες και στη συνέχεια εκτίθεται σε ανοιχτό χώρο, με παράλληλη εφαρμογή διαφόρων μεθόδων αερισμού. Ο χρόνος μέχρι την βιοσταθεροποίηση καθώς και το κόστος της επεξεργασίας κυμαίνεται μεταξύ των δύο παραπάνω μεθόδων.

Αφού επιτευχθεί η βιοσταθεροποίηση (τέλος διεργασιών βιοαποδόμησης), για την παραγωγή του τελικού προϊόντος (κομπόστ) ακολουθούν δύο απαραίτητα στάδια επεξεργασίας:

α) Το στάδιο της ωρίμανσης (4 – 6 εβδομάδες για αερόβια επεξεργασία), το οποίο πραγματοποιείται σε μονάδες όπου λαμβάνουν χώρα διεργασίες χουμποποίησης κατά τις οποίες το υλικό παραμένει τοποθετημένο είτε σε υπόστεγο, είτε σε σωρούς ή σειράδια ύψους μέχρι 6m, έως ότου να αποκτήσει ιδιότητες εμφάνισης και οσμής

που θα το καθιστούν αποδεχτό για τις όποιες χρήσεις (κυρίως γεωργικές). Το στάδιο της ωρίμανσης απαιτεί επιπλέον χρόνο 4 – 8 εβδομάδων περίπου.

β) Το στάδιο του εξευγενισμού κατά το οποίο το υλικό καθαρίζεται με χρήση μηχανικών διαχωριστών από ξένες προσμίξεις που τυχόν έχουν ξεφύγει της αρχικής διαλογής (π.χ. αδρανή, χαρτί, πλαστικά κ.α.), καθώς και από υλικά που δεν έχουν προλάβει να διασπαστούν, είτε χαρακτηρίζονται μη βιοαποδομήσιμα (λάστιχα, μη επαρκώς τεμαχισμένο χαρτί, συνθετικές ίνες από υφάσματα) η απομάκρυνση των οποίων λόγω μεγέθους και άλλων φυσικών ιδιοτήτων είναι αρκετά δύσκολη.

Πρέπει να τονιστεί πως προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το κομπόστ στις γεωργικές καλλιέργειες πρέπει να πληροί πολύ αυστηρές προδιαγραφές ως προς την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα και τοξικές ουσίες.

Στα θετικά της Κομποστοποίησης είναι το σχετικά χαμηλό κόστος σε σύγκριση με την αναερόβια επεξεργασία και το γεγονός ότι είναι μια αρκετά δοκιμασμένη μέθοδος, ενώ στα αρνητικά συγκαταλέγονται, οι μεγάλοι χώροι που απαιτούνται (δεσμεύονται) για κάλυψη με το υλικό και το αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα που είναι απαραίτητο για την ολοκλήρωση της ωρίμανσης.

#### **2.4.3. Αναερόβια Επεξεργασία (χώνευση) \_Παραγωγή Βιοαερίου**

Η Αναερόβια Επεξεργασία των ΑΣΑ (ή αλλιώς Χώνευση), είναι μια διεργασία που λαμβάνει χώρα σε κλειστούς αντιδραστήρες και έχει αυξανόμενη εφαρμογή εδώ και 15 χρόνια όπου άρχισε να χρησιμοποιείται για την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων. Σήμερα στην Ευρώπη λειτουργούν αρκετές εγκαταστάσεις Χώνευσης που αφορούν κυρίως την επεξεργασία ΑΣΑ ήδη διαχωρισμένων στην πηγή, ενώ πρόσφατα άρχισε να εφαρμόζεται και για μη διαχωρισμένα απόβλητα.

Κατά την Αναερόβια επεξεργασία, το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ που προκύπτει μετά τη μηχανική διαλογή, εισέρχεται στον αντιδραστήρα είτε όπως είναι (ξηρή μέθοδος), είτε αναμειγμένο με νερό και ιλύ (από εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού), οπότε η μέθοδος χώνευσης ονομάζεται υγρή μέθοδος.

Τα προϊόντα της Αναερόβιας Επεξεργασίας είναι, Βιοαέριο και ιλύς. Το Βιοαέριο αποτελείται κυρίως από  $\text{CH}_4$  (μεθάνιο) και  $\text{CO}_2$ . Η ύπαρξη του μεθανίου σε αυτό κυμαίνεται από 55 – 70%, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα συναντάται σε ποσοστό 30 – 45%. Άλλα αέρια, τα οποία όμως βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες είναι το  $\text{CO}$ , η Αμμωνία ( $\text{NH}_4$ ) το Άζωτο (N) και το Υδροθείο ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Το Βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί (ως καύσιμο) για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, εφόσον είναι απαλλαγμένο από το υδροθείο και την υγρασία, μέσω προεπεξεργασίας στην οποία υπόκειται. Ένα ποσοστό της τάξης του



20 με 40% της παραγόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων αφήνοντας περίπου 100 – 200 KW/t (οργανικού κλάσματος), για άλλες χρήσεις.



Εικόνα 2.12\_ Εγκαταστάσεις Αναερόβιας Επεξεργασίας [46]

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της Αναερόβιας μεθόδου είναι:

- Ο μικρότερος απαιτούμενος χώρος (σχεδόν ο μισός από τα συστήματα Κομποστοποίησης)
- Η παραγωγή ενέργειας από το Βιοαέριο
- Η αποφυγή δημιουργίας Στραγγισμάτων
- Η συλλογή της μέγιστης δυνατής ποσότητας Βιοαερίου (δεν υπάρχουν απώλειες, όπως πιθανό να υπάρξουν κατά τη βιοαποδόμηση στα ΧΥΤΑ)
- Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου, όπως μεθάνιο και άζωτο
- Επιπλέον η παραγόμενη (χωνεμένη) ιλύς, περνώντας στη συνέχεια από αερόβια επεξεργασία, μετατρέπεται σε κομπόστ, το οποίο είναι αρκετά πιο ποιοτικό από το παραγόμενο με χρήση μόνο της αερόβιας μεθόδου, δεδομένου ότι μέσω της χώνευσης, η ιλύς απαλλάσσεται πλήρως από τις όποιες επιβλαβείς προσμίξεις (βαρέα μέταλλα, διοξίνες κτλ.). Το γεγονός αυτό καθιστά το κομπόστ που παράγεται με τη μέθοδο της Χώνευσης, πολύ πιο προσφιλές στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων (λιπάσματα κ.α.)

Τα μειονεκτήματα της Αναερόβιας μεθόδου έχουν να κάνουν κυρίως με τη χρήση σχετικά νέας τεχνολογίας (άρχισε να εφαρμόζεται τα τελευταία 15 χρόνια, στη

ΔΑΣΑ) και τη μη ύπαρξη ταξινομημένων δεικτών, για σύγκριση με άλλες μεθόδους. Αρά, λοιπόν τα κυριότερα προβλήματα είναι:

- Σχετικά υψηλό κόστος
- Νέα Τεχνολογία ( δεν υπάρχουν ακόμα δείκτες αξιοπιστίας)
- Η επεξεργασία ανάμεικτων αποβλήτων, αποτελεί τελευταία εξέλιξη και δεν υπάρχουν ακόμα σαφείς μετρήσεις που θα κρίνουν αξιόπιστη τη συγκεκριμένη μέθοδο, αναφορικά με τη μεταβαλλόμενη σύνθεση των ΑΣΑ.

## 2.5. Θερμική Επεξεργασία ΑΣΑ



Εικόνα 2.423\_ Εγκατάσταση Καύσης με Ανάκτηση Ενέργειας Spittelau\_ Βιέννη [4]

### 2.5.1. Εισαγωγή

Η Θερμική Επεξεργασία είναι ένας τρόπος τελικής διάθεσης απορριμμάτων που λαμβάνει χώρα σε ειδικούς αντιδραστήρες και αποσκοπεί κυρίως στην ελάττωση του όγκου των ΑΣΑ, στην αναγωγή αυτών σε λιγότερο επιβλαβή υλικά και στην ανάκτηση του ενεργειακού περιεχομένου τους. Ανάλογα με την ύπαρξη του απαραίτητου ποσοστού οξυγόνου κατά την εφαρμογή της, διακρίνονται τρία είδη θερμικής επεξεργασίας:

1) Η Καύση, που είναι η πλέον διαδεδομένη από τις τρεις μεθόδους και πραγματοποιείται με περίσσια οξυγόνου.

2) Η Πυρόλυση που λαμβάνει χώρα απουσίας οξυγόνου

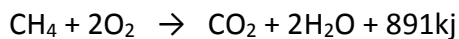
3) Η Αεριοποίηση η οποία αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση των δύο προηγούμενων.

Σε χώρες όπως η Δανία, η Ελβετία, και η Ιαπωνία, η Καύση που συνοδεύεται με ανάκτηση ενέργειας (ΚΑΕ) είναι η κύρια μέθοδος επεξεργασίας των ΑΣΑ. Εκτιμάται για τις παραπάνω χώρες ένα ποσοστό 60% των ΑΣΑ το οποίο οδεύει προς καύση, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στη Σουηδία μέχρι προσφάτως υπολογιζόταν περίπου στο 40% και συνεχίζει να αυξάνεται, αν συνεκτιμηθεί πως η Σουηδία κάνει και εισαγωγή ΑΣΑ από χώρες που δεν έχουν τις κατάλληλες υποδομές για το σκοπό αυτό. Παγκοσμίως λειτουργούν πάνω από 600 εγκαταστάσεις ΚΑΕ, ενώ ως προς την αποτελεσματικότητά τους, αναφέρεται το παράδειγμα της Βιέννης όπου οι τρεις εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε λειτουργία, μπορούν και τηλεθερμαίνουν ένα ποσοστό 28% των νοικοκυριών της πόλης.

## 2.5.2 Καύση

### 2.5.2.1 Φυσικές και Χημικές διεργασίες – προϊόντα

Γενικά ως Καύση ορίζεται η χημική αντίδραση μιας οποιασδήποτε ουσίας με το οξυγόνο. Η αντίδραση αυτή είναι εξώθερμη και παράγει κυρίως ενέργεια και CO<sub>2</sub>. Ένα απλό παράδειγμα καύσης, αλλά πάρα πολύ σημαντικό στην παρούσα εργασία, είναι η καύση του μεθανίου, το οποίο αποτελεί κύριο συστατικό του βιοαερίου:



Κατά τη διαδικασία της καύσης αναλυτικά λαμβάνουν χώρα οι εξής φυσικές και χημικές διεργασίες[4]:

- Ξήρανση του υλικού σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100 °C (εξάτμιση νερού)
- Εξαερίωση, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 250 °C (απομάκρυνση των πτητικών υλών)
- Έναυση, σε θερμοκρασίες 500 – 600 °C (ενίοτε είναι απαραίτητη και η χρήση πετρελαίου για διατήρηση της καύσης, αν η θερμογόνος δύναμη των ΑΣΑ δεν είναι επαρκής)
- Αποτέφρωση, σε θερμοκρασία 850 – 1100 °C, όπου τα αέρια των προηγούμενων φάσεων οξειδώνονται πλήρως.

Γενικά τα προϊόντα της καύσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Αέριες εκπομπές στις οποίες περιλαμβάνονται: τα μη όξινα αέρια όπως είναι το CO, τα όξινα αέρια όπως (CO<sub>2</sub>, οξείδια του αζώτου, διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου, υδροθείο, υδροχλώριο) και άλλες επιβλαβείς ουσίες,

όπως είναι κυρίως οι διοξίνες, τα βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, κάδμιο, υδράργυρος κ.α.), και τέλος καπνός και ιπτάμενη τέφρα.

- Στερεά υπολείμματα, όπως είναι οι σκωρίες, η τέφρα των λεβήτων, υπολείμματα καθαρισμού των καπναερίων, που περιέχουν βαρέα μέταλλα και άλλες τοξικές ουσίες.

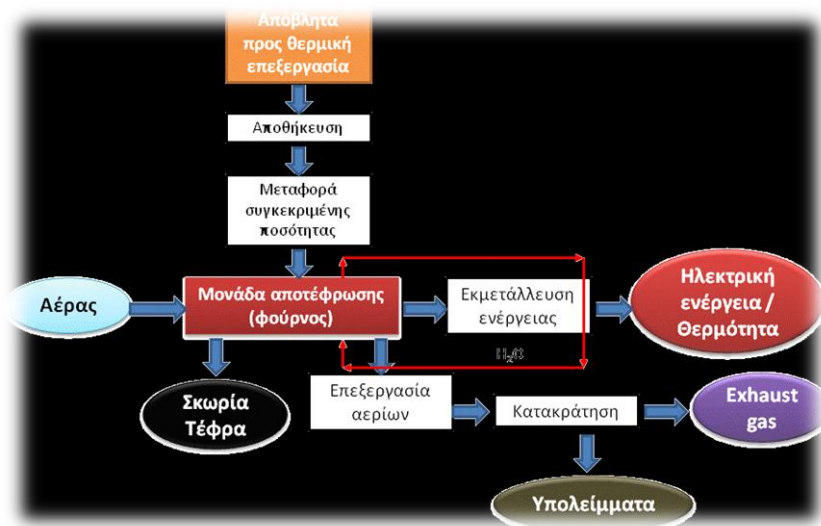
Τα προϊόντα της καύσης, πριν την τελική τους διάθεση, ελέγχονται και υφίστανται επεξεργασία έτσι ώστε οι εκπομπές να μην ξεφεύγουν από τα επιτρεπόμενα όρια. Ενώ η ανάκτηση ενέργειας επιτυγχάνεται καθώς τα αέρια οδηγούνται σε ειδικό εναλλάκτη θερμότητας για παραγωγή ατμού και στη συνέχεια για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα τα στερεά υπολείμματα είναι δυνατό να περιοριστούν στο 20 – 35 % του αρχικού βάρους των ΑΣΑ, ανάλογα πάντα με τη σύνθεσή τους και την τεχνολογία καύσης του κάθε συστήματος (για παράδειγμα στην Ιαπωνία είναι δυνατό τα στερεά υπολείμματα να περιοριστούν στο 10% του αρχικού βάρους).

Τα ΑΣΑ οδηγούνται σε καύση είτε ανάμεικτα, είτε κατόπιν διαχωρισμού. Στην πρώτη περίπτωση μετά από έναν υποτυπώδη διαχωρισμό, καύσιμη ύλη αποτελεί όλο το σώμα των ΑΣΑ, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται το απορριμματογενές καύσιμο RDF, το οποίο είναι μείγμα χαρτιού και πλαστικών. Η καταλληλότητα του RDF (ως καύσιμη ύλη), χαρακτηρίζεται από τη θερμογόνο δύναμη, την υπάρχουσα υγρασία και την τέφρα που παράγεται κατά την καύση του. Οι μονάδες καύσης που χρησιμοποιούν το RDF ως καύσιμη ύλη, είναι μικρότερες σε μέγεθος και είναι αποτελεσματικότερες ως προς τον έλεγχο των εκπομπών. Το γεγονός αυτό καθιστά την καύση ως μια αποδοτική και κοινωνικά αποδεκτή μέθοδο επεξεργασίας ΑΣΑ, που μπορεί να ληφθεί υπόψη ως εναλλακτική επιλογή, εφόσον υπάρχουν πάντα οι κατάλληλες εγκαταστάσεις.

#### **2.5.2.2. Σχεδιασμός Συστήματος Επεξεργασίας μέσω Καύσης (περιγραφή)**

Για το Σχεδιασμό ενός σύγχρονου αποτεφρωτήρα τα επί μέρους συστήματα που πρέπει κυρίως να ληφθούν υπόψη είναι:

- Το σύστημα Καύσης
- Το σύστημα Ελέγχου των προϊόντων της Καύσης
- Το σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας



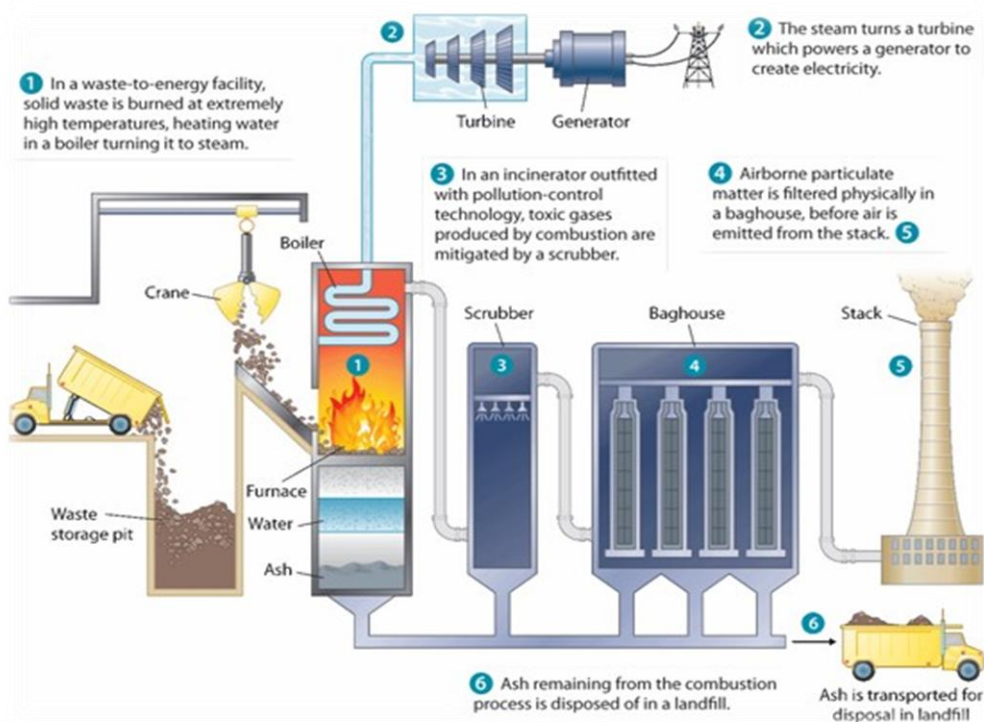
Εικόνα 43.14 \_ Θερμική επεξεργασία ΑΣΑ (καύση) [10]

Η διαδικασία της Καύσης ξεκινά με την εκφόρτωση των ΑΣΑ από τα απορριμματοφόρα στον χώρο αποθήκευσης (σιλό). Από το σιλό μέσω γερανογέφυρας με μηχανισμό αρπάγης τα απορρίμματα εισέρχονται στη χοάνη παροχής, η οποία ρυθμίζει τη συνεχή ροή απορριμμάτων στις κινούμενες εσχάρες. Εκεί επιτυγχάνεται παροχή θερμού αέρα καύσης, μέσω ενός φυσητήρα που είναι τοποθετημένος κάτω από την εσχάρα μεταφοράς, με αποτέλεσμα την αφαίρεση ενός μεγάλου μέρους από την υγρασία των απορριμμάτων που οδεύουν προς Αποτέφρωση (Καύση), συμβαλλομένης και της θερμικής ακτινοβολίας από τα αντανakλαστικά τοιχώματα του κλιβάνου (φάση ξήρανσης σε θερμοκρασία 100°C). Ακολουθεί η φάση της εξαερίωσης των πτητικών αερίων σε θερμοκρασία 250°C. Εν συνεχεία, μέσω των κινούμενων σχαρών τα απορρίμματα οδηγούνται προς την εστία όπου αναμειγμένα με την κατάλληλη ποσότητα αέρα, αναφλέγονται (σε θερμοκρασίες 500 - 600 °C). Συνήθως για να πραγματοποιηθεί τέλεια Καύση χρειάζεται μεγάλη περίσσεια αέρα (με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται και η διάβρωση του λέβητα). Λόγω της υψηλής θερμογόνου δύναμης των απορριμμάτων, η διαδικασία της καύσης μπορεί και συντηρείται από μόνη της. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό, η καύση επιτυγχάνεται και με την προσθήκη μικρής ποσότητας βοηθητικού καυσίμου (π.χ. πετρέλαιο).

Η θερμοκρασία στο χώρο καύσης συνήθως κυμαίνεται από 300 έως και 1200 °C. Σε περίπτωση ανάπτυξης μεγαλύτερων θερμοκρασιών, υπάρχει ενδεχόμενο να προκληθεί μερική τήξη της στάχτης, η οποία επικολλάται στα τοιχώματα του αποτεφρωτήρα (κλιβάνου), δημιουργώντας προβλήματα σκωρίας. Παρ' όλο που (συνήθως) η εστία του κλιβάνου αποτελείται από ανθεκτικά πυρίμαχα ανακλαστικά τοιχώματα, θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 1200 °C, καλό είναι να αποφεύγονται. Νεότεροι τύποι κλιβάνου επίσης, διαθέτουν υδάτινα τοιχώματα (σύστημα

ρευστοποιημένης κλίνης), όπου επιτυγχάνεται άμεση μεταφορά της θερμότητας από το χώρο καύσης στο νερό των σωληνώσεων. Σε περίπτωση που το σύστημα της ρευστοποιημένης κλίνης δεν υφίσταται, μετά την πυρίμαχη εστία προβλέπεται ατμολέβητας μέσω του οποίου τα αέρια της καύσης αποδίδουν ένα μεγάλο μέρος της θερμότητάς τους, κατά την παραγωγή ατμών.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, τα παράγωγα της Καύσης, πριν αυτά αποβληθούν στην ατμόσφαιρα ή διατεθούν στο έδαφος, υφίστανται επεξεργασία έτσι ώστε να ικανοποιούνται τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών. Οι ρύποι συλλέγονται σε φίλτρα, σε συσκευές έκπλυσης ή κατακάθισης, ή προχωρούν προς τελική διάθεση μαζί με τη στάχτη. Τα παραγόμενα αέρια διέρχονται από το σύστημα καθαρισμού και ψύξης (κατακράτηση της σκόνης, του καπνού και των αέριων ρύπων). Η ψύξη μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη αέρα ή νερού, ή με εναλλάκτη θερμότητας. Για ανάκτηση της θερμότητας τοποθετούνται αγωγοί με νερό στα τοιχώματα του καυστήρα έτσι ώστε το νερό να απορροφά θερμότητα και να παράγεται ατμός. Ο ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε στροβίλους, ενώ το ζεστό νερό για θέρμανση χώρων και συστημάτων διεργασιών.



Εικόνα 2.15\_ Διαδικασία Καύσης και παραγωγή Ενέργειας [50]

Ανάλογα με τη σύνθεση των στερεών αποβλήτων και τον τρόπο καύσης τους (μαζική καύση ή καύση κατόπιν διαλογής με χρήση RDF), μπορεί να επιτευχθεί ανάκτηση ενέργειας μέχρι 650 kWh ανά τόνο ΑΣΑ. Για τις ελληνικές συνθήκες μια αντίστοιχη θεωρητική τιμή είναι 300 kWh/t ΑΣΑ κατ' ελάχιστον. Ενώ το κόστος μιας εγκατάστασης ΚΑΕ εξαρτάται από την αξία της καλυπτόμενης έκτασης γης, το μέγεθος της εγκατάστασης, τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης, το βαθμό εκμετάλλευσης της δυναμικότητας της εγκατάστασης και την περιβαλλοντική επίδοση αυτής.

### **2.5.2.3 Θετικά και Αρνητικά συστήματος Καύσης**

Τα κύρια πλεονεκτήματα της Καύσης προς Ανάκτηση Ενέργειας (ΚΑΕ) είναι:

- Η ταχύτητα της επεξεργασίας
- Η μείωση του όγκου των ΑΣΑ μέχρι 90% και του βάτους τους μέχρι 80%
- Η ανάκτηση ενέργειας (μέχρι και 650 kWh ανά τόνο ΑΣΑ)
- Η δυνατότητα καύσης της ύλης που προκύπτει από τη βιολογική επεξεργασία
- Σε σχέση με την Υγειονομική Ταφή υπερέχει ως προς τον περιορισμό των αερίων θερμοκηπίου και τη μικρότερη δέσμευση χώρου

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της ΚΑΕ είναι :

- Το υψηλό Κόστος (Κατασκευής – Λειτουργίας – Συντήρησης), πράγμα που καθιστά τη λειτουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης απαγορευτική για τα ελληνικά δεδομένα
- Η περίπλοκη τεχνολογία
- Ο αυξημένος κίνδυνος διαφυγής τοξικών ρύπων (κυρίως διοξινών και τα βαρέων μετάλλων)
- Η παρουσία τοξικών στοιχείων στην τέφρα και ανάγκη ειδικής μέριμνας για τη διάθεσή της)
- Η εξάρτηση από τη σύνθεση και τα χαρακτηριστικά των ΑΣΑ (πράγμα που συναντάται λίγο – πολύ σε όλες τις σύγχρονες μεθόδους Διαχείρισης)
- Η ρύπανση νερών (στη θέση εξαγωγής των σκωρίων, καθώς και των νερών της διήθησης και του καθαρισμού των αερίων)
- Η ανάγκη για συνεχόμενη εισροή αποβλήτων ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερή λειτουργία της μονάδας ΚΑΕ

### 2.5.3. Πυρόλυση

#### 2.5.3.1. Εισαγωγή

*Πυρόλυση είναι η μέθοδος ανάκτησης ενέργειας με την παραγωγή αερίου καυσίμου, κατά την οποία λαμβάνει χώρα φυσική και χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών που βρίσκονται στα απορρίμματα υπό την επίδραση θερμότητας σε περιβάλλον απουσίας αέρα ή οξυγόνου[10].*

Η πυρόλυση αποτελεί μια σχετικά πιο νέα (από την Καύση) θερμική διεργασία, η οποία αν και άρχισε να αναπτύσσεται στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, μόλις τα τελευταία 20 – 30 χρόνια βρίσκει εφαρμογή στην επεξεργασία ΑΣΑ. Σε ότι αναφορά τις Ευρωπαϊκές χώρες η Πυρόλυση ως θερμική μέθοδος κρίνεται ασύμφορη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητάς της, οπότε δεν είναι ευρέως διαδεδομένη. Σε αντίθεση με την υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρώπη, χώρες όπως για παράδειγμα η Ιαπωνία, διαθέτουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης, οι οποίες λειτουργούν μάλιστα αποδοτικά εδώ και πολλά χρόνια, γεγονός το οποίο είναι πολύ πιθανό να έγκειται στις διαφορές των ποιοτικών αλλά και ποσοτικών χαρακτηριστικών των ΑΣΑ (π.χ. ως προς το ποσοστό του οργανικού κλάσματος και τη θερμογόνο δύναμή τους), σε σχέση με εκείνα των Ευρωπαϊκών χωρών. Παρ' όλο που δεν έχει καταγραφεί επίσημα ως συμπέρασμα, θα μπορούσε να γίνει η υπόθεση, λαμβάνοντας υπόψη τα πληθυσμιακά δεδομένα της Ιαπωνίας, πως η Πυρόλυση προκειμένου να χαρακτηριστεί αποδοτικότερη και πιο συμφέρουσα από την Καύση, απαιτεί πρώτον καλύτερη οργάνωση των εγκαταστάσεων διαλογής και επιπλέον μεγαλύτερη συνέπεια ως προς την τροφοδοσία των κλιβάνων σε ΑΣΑ, πράγμα που μπορεί να περιορίσει και τη χρήση βοηθητικού καυσίμου.

#### 2.5.3.2. Συνοπτική Περιγραφή

*Η πυρόλυση ως θερμική μέθοδος, βασίζεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς και κατά τη θέρμανσή τους απουσία οξυγόνου, διαχωρίζονται μέσω ενός συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα[26]. Η πυρόλυση σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση είναι ισχυρά ενδόθερμη μέθοδος και για τη διεξαγωγή της είναι απαραίτητη, όπως αναφέρθηκε η συμπλήρωση βοηθητικού καυσίμου. Ενδείκνυται περισσότερο για την επεξεργασία ήδη διαχωρισμένων ΑΣΑ, ενώ δεν κρίνεται αποδοτική στη επεξεργασία σύμμεικτων αποβλήτων.*

Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της αποτελούν:

- η σύσταση των ΑΣΑ
- η θερμογόνος δύναμή τους



- η περιεχόμενη υγρασία

Τα κύρια προϊόντα που παράγονται κατά την πυρόλυση είναι:

- Αέρια, αποτελούμενα κυρίως από  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  κ.α. αέρια, των οποίων η περιεκτικότητα παρουσιάζει διακύμανση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων.
- Υγρό κλάσμα, που περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (ακετόνη), αλκοόλες (όπως μεθανόλη) και το οποίο είναι ελαιώδες με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες. Με περαιτέρω επεξεργασία το κλάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως συνθετικό καύσιμο.
- Στερεά: Το στερεό υπόλειμμα περιέχει κυρίως καθαρό άνθρακα και αδρανή υλικά που τυχόν να εμπεριέχονται στα στερεά απόβλητα.

#### **2.5.4. Αεριοποίηση**

##### **2.5.4.1 Εισαγωγή**

Η αεριοποίηση είναι μια διαδικασία που συνδυάζει το μετασχηματισμό πολύπλοκων οργανικών μορίων (σε υγρή ή στερεή κατάσταση) και άνθρακα, σε ενώσεις αερίων απλής μορφής. Ενώ κατά την πυρόλυση επιτυγχάνεται παραγωγή θερμότητας χωρίς παρουσία οξυγόνου, κατά την αεριοποίηση τα προς επεξεργασία απορρίμματα θερμαίνονται παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απελευθέρωση μείγματος  $CO$  και  $H_2$ , το οποίο είναι γνωστό σαν αέριο σύνθεσης (Syngas).

##### **2.5.4.2. Συνοπτική Περιγραφή**

*Η Αεριοποίηση είναι σχετικά νέα και μη ευρέως διαδεδομένη, στην Ευρώπη, μέθοδος θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ. Πρόκειται για μετατροπή του οργανικού κλάσματος σε ένα μείγμα καυσίμων αερίων μέσω μερικής οξειδωσης αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες[26].*

Κατά την αεριοποίηση παράγεται:

- Αέριο το οποίο είναι πλούσιο σε  $CO$  και  $CO_2$ ,  $H_2$  και κορεσμένους υδρογονάνθρακες ( $CH_4$ ) που χρησιμεύει ως καύσιμο
- Υγρό υπόλειμμα, του οποίου η σύσταση δε διαφέρει σημαντικά απ' του υγρού κλάσματος που παράγεται με τη μέθοδο της πυρόλυσης
- Στερεό υπόλειμμα αποτελούμενο από άνθρακα και αδρανή ύλη

Η αεριοποίηση προσομοιάζει στην πυρόλυση, ως προς τη μετατροπή των ΑΣΑ σε αέρια, στερεά και υγρά. Η διαφορά τους όμως έγκειται στον τρόπο που αυτό

επιτυγχάνεται, εφόσον στην αεριοποίηση χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή θερμότητας προκειμένου να ενεργοποιηθούν οι ενδόθερμες αντιδράσεις για την θερμική διάσπαση των απορριμμάτων, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Επιπλέον η αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη από το στάδιο της ανάφλεξης και μετά, ενώ χρησιμοποιείται πρόσθετο αέριο καύσιμο για την περαιτέρω μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα. Η απαιτούμενη ενέργεια για την αεριοποίηση, παράγεται με καύση μέρους του οργανικού κλάσματος που βρίσκεται στον αντιδραστήρα αεριοποίησης. Μέσω αυτής της διαδικασίας, μπορεί να παραχθεί καύσιμο αέριο, πλούσιο σε  $H_2$  και κορεσμένους υδρογονάνθρακες ( $CH_4$ ).

## **2.6. Εδαφική Διάθεση και Εισαγωγή στους ΧΥΤΑ**

### **2.6.1. Εδαφική Διάθεση (Γενικά)**

Η εδαφική διάθεση είναι αρκετά γνωστή, εφόσον στην Ελλάδα αποτελεί την κύρια μέθοδο διαχείρισης των ΑΣΑ. Γενικά πάντως, είναι ένα αναπόφευκτο υποσύστημα κάθε τύπου διαχείρισης ΑΣΑ, από τη στιγμή που τα υπολείμματα όλων των διεργασιών, είτε αυτά αποτελούνται από αδρανή ύλη, είτε από κάθε είδους απόβλητα, καταλήγουν να αποθηκεύονται στο έδαφος στους γνωστούς ΧΕΔΥ (χώροι εδαφικής διάθεσης υπολειμμάτων).

Το ζητούμενο είναι, η Εδαφική Διάθεση να μπορεί να χαρακτηριστεί ως Υγειονομική και Αειφορική. Προς αυτή την κατεύθυνση κινείται η πολιτεία, αντικαθιστώντας σταδιακά τους Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ) με τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ).

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, διακρίνονται τρεις κατηγορίες ΧΕΔΥ: α) Αυτοί που δέχονται επικίνδυνα απόβλητα, β) Αυτοί που δέχονται αστικά απόβλητα και γ) οι ΧΕΔΥ που δέχονται αδρανή μάζα. Οι ΧΥΤΑ καλύπτουν τις δύο τελευταίες κατηγορίες.

Πριν την απόθεση των αποβλήτων στο έδαφος είναι υποχρεωτική η προεπεξεργασία (τεμαχισμός, καύση, κομποστοποίηση) ενώ στην ίδια περιοχή ενός ΧΕΔΥ είναι δυνατόν να υπάρχουν και ανεξάρτητοι χώροι διάθεσης για διαφορετικά απόβλητα (τοξικά και μη), με διαφορετικές προδιαγραφές κατασκευής και λειτουργίας.

### **2.6.2. Εισαγωγή στους ΧΥΤΑ**

Ο ΧΥΤΑ είναι ένας χώρος υπεδάφιος ή υπερεδάφιος κατάλληλα διαμορφωμένος, ώστε να αποτίθενται σε αυτόν στερεά απόβλητα και να ελέγχονται τα προϊόντα της αποσύνθεσής τους, έως ότου αυτά καταστούν μη επικίνδυνα για το περιβάλλον και την υγεία. Τα κύρια μέρη ενός ΧΥΤΑ είναι: α) το υπόστρωμα το οποίο επιτυγχάνεται

με φυσική μόνωση (αργιλική) ή τεχνητή (συνθετικά υλικά) της βάσης του πυθμένα και των πλευρών της υπεδάφιας διαμόρφωσης (πρανών), β) Το σώμα των απορριμμάτων τα οποία στοιβάζονται (σε κυψέλες) και συμπιέζονται, γ) τις ενδιάμεσες στρώσεις κάλυψης των απορριμμάτων, δ) την επιφανειακή κάλυψη που περιλαμβάνει μια στρώση μόνωσης και στρώση κανονικού εδάφους κατάλληλο για βλάστηση. Τα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας, στραγγισμάτων και βιοαερίου που πιθανό να υπάρχουν, θα εξεταστούν και θα αναλυθούν διεξοδικά στο ειδικό κεφάλαιο για τα ΧΥΤΑ.

Ένας ΧΥΤΑ μπορεί να θεωρηθεί βιώσιμος και αειφορικός αν εντός 30 ετών από την απόθεση των ΑΣΑ, επιτυγχάνεται κατάσταση οριστικής τελικής διάθεσης. Αυτό σημαίνει πως η εναπομείνασα μάζα στο σώμα του ΧΥΤΑ, καθώς και οι όποιες εκροές – εκπομπές προκύπτουν απ' αυτόν, μπορούν να χαρακτηριστούν περιβαλλοντικά αποδεκτές, χωρίς να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία. Η επίτευξη του στόχου αυτού επιδιώκεται με συνδυασμό προεπεξεργασίας των αποβλήτων (εκτροπή μέρους αυτών) και ελέγχου της διαδικασίας της βιοαποδόμησης. Οι ΧΥΤΑ κατηγοριοποιούνται επίσης και ανάλογα με την υπάρχουσα υγρασία σε αυτούς (η οποία μπορεί να ελεγχθεί) σε ξηρούς και υγρούς ΧΥΤΑ.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της υγειονομικής ταφής έναντι των άλλων μεθόδων επεξεργασίας και διάθεσης είναι:

- Η σχετικά εύκολη τεχνολογία
- Η μικρότερη δαπάνη υποδομής και λειτουργίας
- Η αξιοποίηση του χώρου μετά το τέλος της λειτουργίας του ως βιοαντιδραστήρας
- Η αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου

Τα βασικότερα μειονεκτήματα της υγειονομικής ταφής είναι:

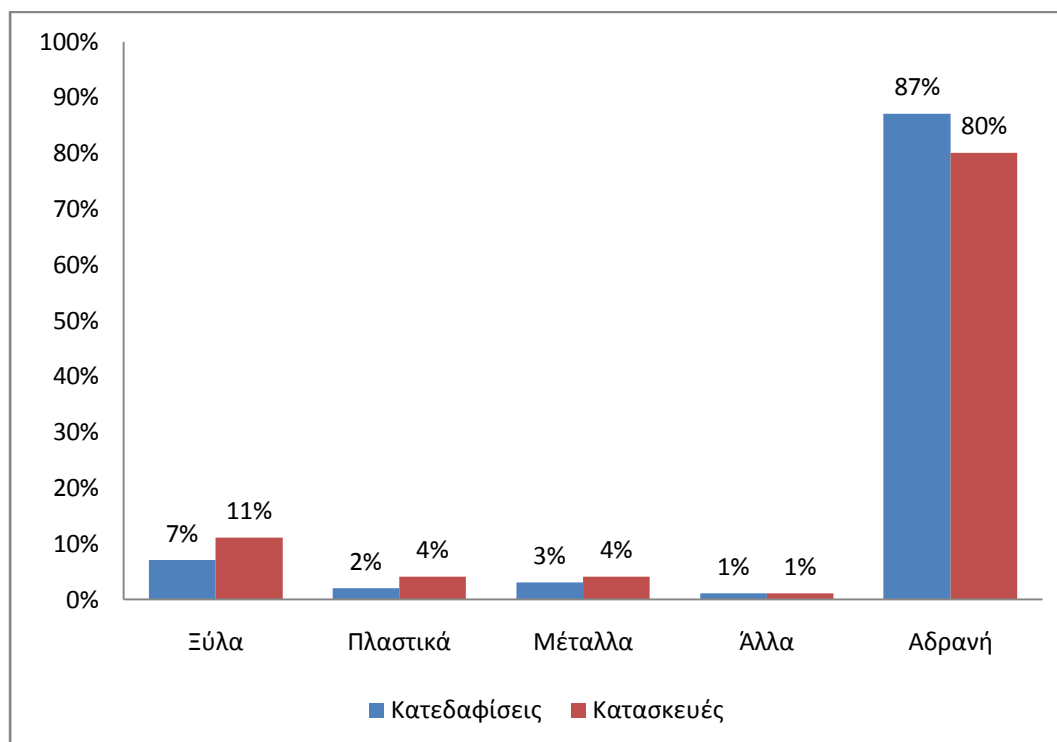
- Η δέσμευση μεγάλης έκτασης γης
- Οι κοινωνικές αντιδράσεις σε ότι αφορά τη χωροθέτηση της εγκατάστασης (φόβος υποβάθμισης ευρύτερης περιοχής)
- Η έκλυση αερίων θερμοκηπίου εφόσον δεν έχει προβλεφτεί η ύπαρξη συστήματος ελέγχου του βιοαερίου και συγκεκριμένα CH<sub>4</sub> (μεθάνιο), CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>4</sub> (αμμωνία)
- Η μεγάλη περίοδος μεταφροντίδας

Πιθανές αστοχίες κατά την κατασκευή και τη λειτουργία, καλό είναι να αποφεύγονται, γιατί σ' αυτή την περίπτωση οι περιβαλλοντικές ζημιές είναι

πολλαπλές και αφορούν τόσο τη μόλυνση της ατμόσφαιρας (κυρίως από μεθάνιο), όσο του εδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα, από εκροές στραγγισμάτων τα οποία μπορεί να εμπεριέχουν διάφορα βαρέα μέταλλα και διοξίνες. Όσο για τους χώρους ανεξέλεγκτης απόθεσης αποβλήτων (ΧΑΔΑ) , δεν γίνεται λόγος για το ότι πρέπει σταδιακά να καταργηθούν, εφόσον είναι οι κύριες πηγές εκπομπής μεθανίου, ενώ δεν είναι λίγες οι φυσικές καταστροφές που έχουν προκληθεί, από πυρκαγιές και κατολισθήσεις πρανών (από στατικές ή δυναμικές φορτίσεις, όπως και από απότομη αύξηση υγρασίας του εδάφους) συμπαρασύροντας τόνους απορριμμάτων προς κατοικημένες περιοχές ή προς τη θάλασσα.

## 2.7. Διαχείριση Αποβλήτων Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ)

Τα υλικά κατεδάφισης εντάσσονται στην ευρύτερη κατηγορία των Στερεών Αποβλήτων και προέρχονται κυρίως από κατεδαφίσεις κτιρίων και από εργασίες αποκατάστασης έργων οδοποιίας. Συγκεκριμένα τα υλικά που προκύπτουν από κατεδαφίσεις ή από εργασίες συντήρησης οικοδομών (ως απόβλητα) , αποτελούνται: από τούβλα σε ποσοστό (20 – 40%), από διάφορα αδρανή (άμμος, χαλίκια) και από μπετό σε ένα ποσοστό της τάξης του (50%), από ξύλο αποτελείται ένα (10 – 20%), ενώ το ποσοστό των υπολοίπων κυμαίνεται μεταξύ του (0 – 20%).



Εικόνα 2.446\_Τυπική Σύσταση Αποβλήτων Κατασκευών και Κατεδαφίσεων [28]

Τα υλικά κατεδάφισης είναι δυνατό να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα σε τη σύσταση και την περαιτέρω χρήση ή επεξεργασία αυτών.

α) Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα σιδηρούχα και άλλα μεταλλικά υλικά, όπως για παράδειγμα είναι ο χάλυβας και ο σίδηρος, που χρησιμοποιούνται για τον οπλισμό του φέροντα οργανισμού των κτιρίων.

Επειδή τα σιδηρούχα και γενικά τα μεταλλικά υλικά υπόκεινται σε αυστηρούς κανονισμούς, που αφορούν την αντοχή, την ευθραυστότητα, την οξείδωση και την παραμόρφωση, σπάνια επαναχρησιμοποιούνται χωρίς να υποστούν επεξεργασία. Συνήθως καταλήγουν στην αγορά των σιδηρούχων υπολειμμάτων, για να αποσταλούν εν συνεχεία στα χαλυβουργεία όπου κατόπιν επεξεργασίας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέων προϊόντων. Σε ότι αφορά τα μη σιδηρούχα υλικά όπως ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος και ο μόλυβδος, μπορούν να διαχωριστούν από τα υπόλοιπα υλικά κατεδάφισης, αλλά όχι μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει πως τα προερχόμενα από διαδικασία κοσκινίσματος μεταλλικά υλικά, διατηρούν χαρακτηριστικά ανομοιογένειας (λαμβάνοντας υπόψη την ποικιλία των κραμάτων), γεγονός που καθιστά δύσκολή την άμεση επαναχρησιμοποίησή τους και οδηγεί στην ανάκτηση αυτών μέσω των απαραίτητων χημικών διεργασιών.

β) Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν όλα τα ανακυκλωμένα υλικά τα οποία είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν άμεσα, είτε αντί των νέων (μη χρησιμοποιημένων) προϊόντων, είτε σε συνδυασμό με αυτά (ως συμπλήρωμα) για τις ίδιες εφαρμογές. Η κατηγορία των υλικών αυτών αφορά ανακυκλωμένα υλικά τα οποία προέρχονται από σκυρόδεμα (απλό ή οπλισμένο) και τα οποία μετά από μηχανική επεξεργασία (θρυμματισμός, κοκκομετρική διαβάθμιση κλπ), χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οδικών υποστρωμάτων, στην παραγωγή σκυροδέματος και στην παραγωγή τούβλων από πυριτικό ασβέστιο.

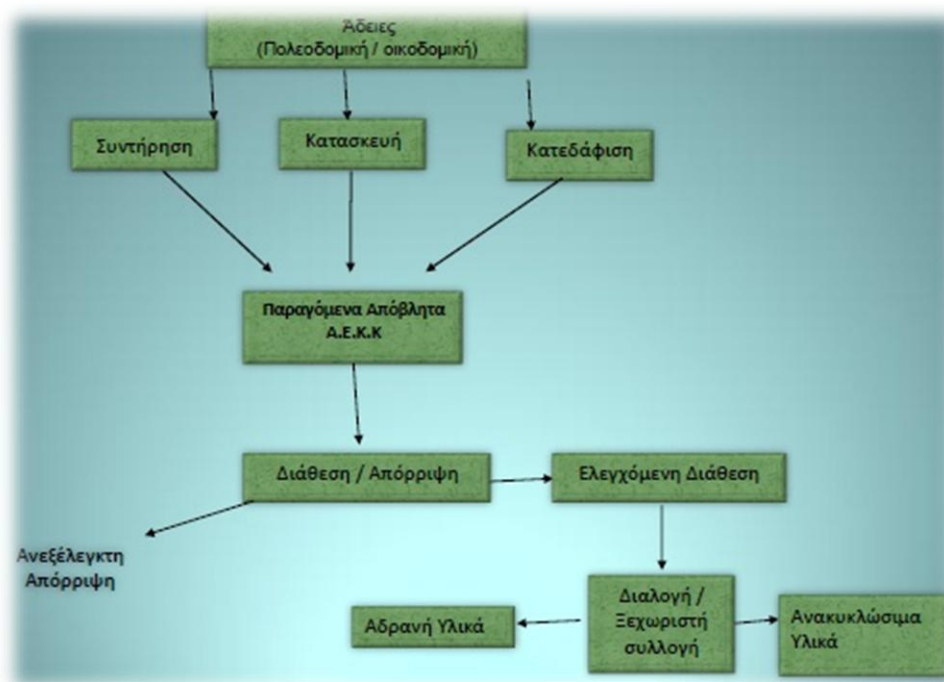
Στη δεύτερη κατηγορία οικοδομικών αποβλήτων ανήκουν και τα προερχόμενα από ασφατικά οδοστρώματα ανακυκλωμένα υλικά, τα οποία μετά την τήξη τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συντήρηση ή την ανακατασκευή ενός οδοστρώματος. Ενώ στην ίδια κατηγορία εντάσσονται και οι δευτερογενείς πρώτες ύλες, που προερχόμενες από τη διαδικασία ανακύκλωσης των οικοδομικών υλικών, προωθούνται στον παραγωγικό κύκλο αγαθών προς διαφορετικές από τις αρχικές χρήσεις, ακόμα κι εκτός του οικοδομικού τομέα.

γ) Στην τρίτη κατηγορία ανήκει το μεγαλύτερο μέρος των δευτερογενών πρώτων υλών, που προέρχονται από οικοδομικά απόβλητα, όπως είναι τα πλίνθινα προϊόντα, τα κεραμίδια και τα τούβλα, το γυαλί, το ξύλο, τα διάφορα πλαστικά και κυρίως το PVC το οποίο είναι ευρέως διαδεδομένο στην κατασκευή κουφωμάτων και υδρορροών.

Ακόμα, τα υλικά κατεδάφισης περιέχουν ένα χαμηλό ποσοστό επικίνδυνων συστατικών και γι αυτό μπορούν μεν να διατεθούν σε χώρους ελεγχόμενης εναπόθεσης, όμως οι μεγάλες ποσότητες αυτών παραμένουν ένα μεγάλο πρόβλημα.

Να σημειωθεί τέλος, πως για την εφαρμογή της ανακύκλωσης – επαναχρησιμοποίησης των οικοδομικών απορριμμάτων, είναι πολύ σημαντικό να απομακρυνθούν τα επικίνδυνα απόβλητα πριν την κατεδάφιση ενός κτιρίου ή την καταστροφή κάποιας κατασκευής. Αυτό εξασφαλίζει ότι δεν θα ρυπανθούν όλα τα υπόλοιπα απορρίμματα που θα ανακυκλωθούν και ότι θα γίνει κατάλληλη επεξεργασία των επικίνδυνων ουσιών. Η σημασία της διαλογής είναι μεγάλη ακόμα και στην περίπτωση των μη επικίνδυνων απορριμμάτων προκειμένου να παραχθούν ανακυκλωμένα προϊόντα καλής ποιότητας με εμπορική αξία. Η επιλογή κατάλληλων τεχνικών διαλογής (π.χ. επιλεκτική κατεδάφιση) είχε ως αποτέλεσμα σε πολλές χώρες της Ε.Ε. να υπάρξει σημαντική αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης των οικοδομικών αποβλήτων.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται: α) τα στάδια κύκλου ενός οικοδομικού έργου και β) οι τεχνικές διαχείρισης των αποβλήτων αυτού



Εικόνα 45.17\_Στάδια Κύκλου Οικοδομικού Έργου [28]



Εικόνα 2.18\_Τεχνικές Διαχείρισης Αποβλήτων Οικοδομής [28]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **Χώροι Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ)**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Ο όρος Υγειονομική Ταφή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1930, στην πολιτεία της Καλιφόρνια, για να περιγράψει μια απλή δραστηριότητα διάστρωσης, συμπίεσης και κάλυψης αστικών αποβλήτων με εδαφικό υλικό σε ημερήσια βάση. Αυτό δηλαδή που ξεχώρισε την Υγειονομική Ταφή στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής της από τις προηγούμενες μεθόδους εδαφικής διάθεσης, ήταν η συμπίεση των απορριμμάτων στον τόπο εναπόθεσης και η ημερήσια κάλυψη αυτών προκειμένου να αποφευχθεί η διάδοση παθογόνων μικροοργανισμών. Μέχρι το 1950, που άρχισε να εφαρμόζεται η μέθοδος της υγειονομικής ταφής (πρώτα στις ΗΠΑ), τα απορρίμματα κατέληγαν σε περιαστικές περιοχές χαμηλής αξίας όπου και αποτίθεντο χωρίς να λαμβάνεται κανένα μέτρο προστασίας του περιβάλλοντος. Συνήθης πρακτική επίσης τα χρόνια εκείνα ήταν και η καύση των απορριμμάτων στους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης, πρακτική που συνεχίζεται μέχρι και σήμερα σε υπανάπτυκτες περιοχές του πλανήτη.

Οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ) αποτελούν μια ειδική περίπτωση Χώρων Εδαφικής Διάθεσης Υπολειμμάτων (ΧΕΔΥ) και συνήθως αφορούν μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα που περιέχουν βιοαποδομήσιμα υλικά. Αν και η Κοινοτική και Εθνική στρατηγική στοχεύουν στον περιορισμό των βιοαποδομήσιμων υλικών που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ, οι οποίοι σταδιακά τείνουν να αντικατασταθούν από τους ΧΥΤΥ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων), οι πρώτοι συνεχίζουν να αποτελούν μια από τις πιο συμφέρουσες οικονομικά και αποτελεσματικές λύσεις διαχείρισης αστικών αποβλήτων.

Κάτι που πρέπει εξ αρχής να σημειωθεί είναι πως οι χώροι υγειονομικής ταφής δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να συγχέονται με τους χώρους ανεξέλεγκτης απόρριψης (ΧΑΔΑ), 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 και ένας άριστος τρόπος για την αξιοποίηση ήδη υποβαθμισμένων χώρων που είναι ακατάλληλοι για οποιαδήποτε χρήση καθώς 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.



Σε ότι αναφορά στα πρώτα στάδια κατασκευής του ΧΥΤΑ, η επιφάνεια του χώρου πάνω στην οποία θα διαστρωθούν σε επάλληλες στρώσεις τα ΑΣΑ, μπορεί να είναι είτε στο ίδιο αρχικό ανάγλυφο της επιφάνειας ή πολύ χαμηλότερα αυτού, έχοντας προκύψει από εκσκαφή τραπεζοειδούς τμήματος εδάφους, αποκτώντας μορφή «σκάφης». Το πιο σύνηθες είναι ο συνδυασμός των δύο. Η επιφάνεια αυτή του εδάφους, πριν αρχίσει η εναπόθεση των ΑΣΑ, μονώνεται είτε με φυσικό (αργιλική μόνωση), είτε με τεχνητό τρόπο, ούτως ώστε να αποφεύγεται η ροή των στραγγισμάτων που προκύπτουν από τα απορρίμματα προς τον υδροφόρο ορίζοντα.

Το κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ, το οποίο αποτελείται από την απορριμματική μάζα, σχεδιάζεται και εξελίσσεται ούτως ώστε να ελέγχεται η παραγωγή και ροή των στραγγισμάτων και του βιοαερίου. Τα στραγγίδια ρέουν ελεύθερα προς τον πυθμένα του ΧΥΤΑ και καταλήγουν στο σύστημα συλλογής αυτού. *Το βιοαέριο ρέει παθητικά ή ενεργητικά (με βοήθεια αντλιών) προς ένα σύστημα συλλογής ή διεξόδου, απ' όπου είτε αποβάλλεται υπό ελεγχόμενες συνθήκες, είτε ανακτάται προς καύση και ανάκτηση ενέργειας. Η ελεύθερη αποβολή του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα δεν είναι εν γένει επιτρεπτή*[4]. Ένας ΧΥΤΑ μπορεί να χαρακτηριστεί «κλειστός» από τη στιγμή που θα σταματήσει η εισροή και εναπόθεση αποβλήτων, γεγονός που σηματοδοτεί το τέλος της λειτουργίας και την έναρξη της φάσης της μεταφροντίδας.

*Βασικά πλεονεκτήματα της υγειονομικής ταφής είναι η υποτιθέμενη τελική διάθεση, η ευελιξία σχετικά με την προσαρμογή σε διαφοροποιούμενες ποσότητες εισερχόμενων ΑΣΑ, η δυνατότητα αξιοποίησης της τελικής καλυμμένης επιφάνειας και η σχετικώς μικρή αρχική και λειτουργική δαπάνη*[4].

Από την άλλη, έχει αποδειχθεί ότι οι μέχρι σήμερα τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε ΧΥΤΑ, αν και μειώνουν σημαντικά το ρυπαντικό φορτίο που διαφεύγει στο περιβάλλον, δεν μπορούν να οδηγήσουν σε πλήρη αποφυγή διαρροών ρυπαντών προς το περιβάλλον. Ατέλειες στην κατασκευή, ατυχήματα, γήρανση των μονωτικών υλικών είναι μερικά μόνο από τα αίτια που μπορούν να οδηγήσουν σε διαφυγή ρυπαντών. Επίσης περιβαλλοντική επιβάρυνση προκαλείται και από την ίδια τη λειτουργία των ΧΥΤΑ. Επιπλέον, ακόμα κι αν μπορούσε να μελετηθεί και να κατασκευαστεί ένας ΧΥΤΑ με ακρίβεια ώστε οι εκροές προς το περιβάλλον να είναι μηδενικές, η ανάγκη της κατασκευής όλο και περισσότερων χώρων απόθεσης απορριμμάτων, εξαιτίας της συνεχούς αύξησης του όγκου τους και του ρυπαντικού φορτίου που τα συνοδεύουν, θα συνέχιζε να αποτελεί πρόβλημα.

Προκειμένου λοιπόν να αντιμετωπισθεί το περιβαλλοντικό ζήτημα που σχετίζεται με τα απορρίμματα, είναι ανάγκη ταυτόχρονα με την προσπάθεια βελτιστοποίησης των τεχνολογιών που αφορούν την διαχείριση των απορριμμάτων, να υιοθετηθεί και ένα εναλλακτικό μοντέλο κοινωνικής οργάνωσης, το οποίο δεν θα βασίζεται

στον ανεξέλεγκτο καταναλωτισμό και θα ευνοεί την παραγωγή ανθεκτικότερων προϊόντων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί επίσης, οι διάφορες μέθοδοι εκτροπής όπως για παράδειγμα η καύση και η βιολογική επεξεργασία σε ξεχωριστές μονάδες, είναι ικανές να μειώσουν σημαντικά την ποσότητα των αποβλήτων προς τελική διάθεση στους ΧΥΤΑ και να δώσουν λύσεις κυρίως στις ιδιαίτερα ανεπτυγμένες περιοχές, όπου η απορριμματική μάζα αυξάνεται με εκθετικούς ρυθμούς από χρόνο σε χρόνο.

## **3.2. Κατηγοριοποίηση ΧΥΤΑ με βάση το ανάγλυφο και Χωροθέτηση**

### **3.2.1. Κατηγοριοποίηση ΧΥΤΑ με βάση το ανάγλυφο**

Γενικά ένας ΧΥΤΑ μπορεί να είναι υπεδάφιος (μέσα σε φυσικό ή τεχνητό όρυγμα), υπερεδάφιος ή να αποτελεί συνδυασμό των δύο. Επίσης δύναται η εναπόθεση των αποβλήτων να γίνεται σε πλαγιά μικρής ή σχετικά μεγάλης κλίσης, ανάλογα πάντα με το είδος και τον τρόπο διαχείρισης αυτών.

#### Υπεδάφιος ΧΥΤΑ:

Σε αυτή την περίπτωση, το τελικό ανάγλυφο, μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, επανέρχεται περίπου στο αρχικό ανάγλυφο του εδάφους. Ο χώρος (όρυγμα) μέσα στον οποίο τοποθετούνται τα απόβλητα προκύπτει από εκσκαφή, ενώ τα στραγγίδια συλλέγονται στην επιφάνεια με άντληση.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ένας υπεδάφιος ΧΥΤΑ είναι:

- Δεν επιφέρει σχεδόν καμιά αλλαγή στο τοπίο της περιοχής
- Δε δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στατικής

Ενώ τα μειονεκτήματα του υπεδάφιου ΧΥΤΑ είναι:

- Η διαδικασία μόνωσης των πρανών είναι αρκετά δύσκολη με αποτέλεσμα την όχι καλή εφαρμογή της και την ενδεχόμενη δημιουργία αστοχιών (διαρροή βιοαερίου και στραγγισμάτων)
- Τα στραγγίσματα πρέπει να αντλούνται συνεχώς από ειδικά φρεάτια

#### Υπερεδάφιος ΧΥΤΑ:

Σε αυτή την περίπτωση ο ΧΥΤΑ αναπτύσσεται εξ ολοκλήρου πάνω από το αρχικό ανάγλυφο, διαφορετικά αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση που προκύπτει από περιορισμένες εκσκαφές του εδάφους. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του υπερεδάφιου ΧΥΤΑ είναι: τα παραγόμενα στραγγίσματα συλλέγονται με ελεύθερη ροή σε χώρους επισκέψιμους, το τελικό ανάγλυφο είναι σαφώς διακριτό, μια τουλάχιστον πλευρά είναι εκτεθειμένη και δεν είναι απαραίτητη η εκσκαφή.

Επιπλέον, ο υπερεδάφιος ΧΥΤΑ μπορεί να τοποθετηθεί σε μισγάγγειες ή φαράγγια ούτως ώστε να μένει εκτεθειμένος μόνο από μία ή δύο πλευρές.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ένας υπερεδάφιος ΧΥΤΑ είναι:

- Η εύκολη διαμόρφωση της υπόβασης στις επιθυμητές προδιαγραφές
- Ο αποτελεσματικότερος έλεγχος των στραγγισμάτων
- Ο αποτελεσματικότερος έλεγχος της ροής του βιοαερίου
- Η σχετική ευκολία ως προς την πραγματοποίηση μελέτης και ως προς τη λειτουργία
- Τα όποια προβλήματα ή αστοχίες καθίστανται άμεσα ορατά

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει ένας υπερεδάφιος ΧΥΤΑ είναι:

- Δημιουργία προβλημάτων που αφορούν τον υδροφόρο ορίζοντα, αν αυτός δεν βρίσκεται σε μεγάλο βάθος
- Δημιουργία μεγάλων καθιζήσεων, λόγω κατανομής των φορτίων
- Υπάρχει δυσκολία στους στατικούς υπολογισμούς για ύψος μεγαλύτερο των 50m
- Αυξημένες πιθανότητες αστοχίας της βάσης λόγω φορτίων
- Προβλήματα αισθητικής στην ευρύτερη περιοχή
- Ανάγκη μεταφοράς υλικού κάλυψης από άλλες περιοχές
- Δυσκολία στην εκμετάλλευση του χώρου, προς άλλη χρήση, μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ

#### ΧΥΤΑ τοποθετημένος σε πλαγιά:

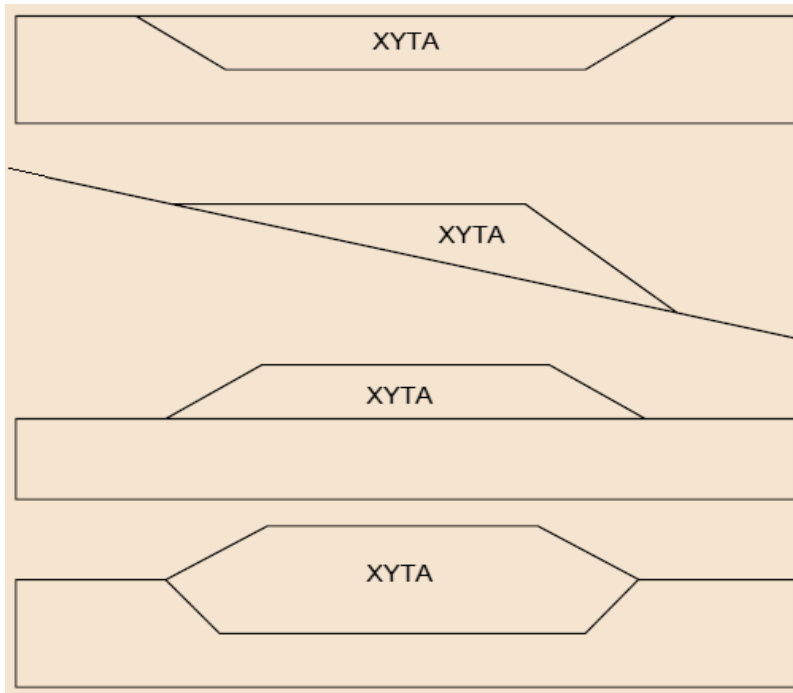
Ενδέχεται ένας ΧΥΤΑ να είναι τοποθετημένος σε πλαγιά. Πρόκειται για μια πιο απλή και πρόχειρη λύση που χρησιμοποιήθηκε ευρέως κατά το παρελθόν για διάφορους ΧΕΔΥ ή ΧΑΔΑ, σε μια προσπάθεια εξοικονόμησης χώρου και απόθεσης των ΑΣΑ μακριά από κατοικημένες περιοχές.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η απόθεση των ΑΣΑ σε πλαγιά είναι:

- Η ροή των στραγγισμάτων προς το σύστημα συλλογής είναι φυσική
- Η μόνωση αν δεν είναι απότομη η πλαγιά, είναι σχετικά εύκολη στην κατασκευή

Ενώ τα μειονεκτήματα είναι:

- Η δυσκολία κατά τη στατική μελέτη
- Ο κίνδυνος από ενδεχόμενη κατολίσθηση



Εικόνα 3.46\_Μορφές ΧΥΤΑ σχετικά με το ανάγλυφο [15]

### 3.2.2. Χωροθέτηση ΧΥΤΑ

Η επιλογή χώρου για την κατασκευή ΧΥΤΑ είναι από τα πρώτα και σημαντικότερα προβλήματα που θα κλιθεί να λύσει ο μελετητής του έργου. Είναι πλέον επιτακτική ανάγκη να αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της διαχείρισης ΑΣΑ σε επίπεδο νομού ή περιφέρειας και να επιλέγονται οι χώροι διάθεσης των στερεών μη επικίνδυνων αποβλήτων (ΣΜΕΑ) με αντικειμενικά κριτήρια. Ο προσδιορισμός του χώρου πρέπει να συνοδεύεται από στοιχεία που θα αποδεικνύουν ότι πράγματι δεν υπάρχει καταλληλότερος χώρος.

Η επιλογή των περιοχών δημιουργίας οποιασδήποτε μορφής ΧΕΔΥ συνήθως γίνεται σε δύο στάδια:

- Την προεπιλογή
- Την επιλογή μετά από συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών θέσεων

*Η συλλογή, κωδικοποίηση και αξιολόγηση των στοιχείων (πολυκριτηριακή ανάλυση), είναι από τις πλέον βασικές μεθόδους για την εξεύρεση και επιλογή των χώρων διάθεσης. Από τη σωστή συλλογή και αξιοπιστία των στοιχείων εξαρτάται και η ορθότερη τελική απόφαση σχετικά με την επιλογή χώρου[3].*

Κανονικά η επιλογή θέσης για έναν π.χ. ΧΥΤΑ, ξεκινάει με τη διαδικασία της χαρτογράφησης υπό περιορισμούς, οι οποίοι μπορεί να είναι: γεωλογικοί και υδρογεωλογικοί περιορισμοί, χρήσεις γης, αποστάσεις από κατοικημένες ή

προστατευόμενες περιοχές (π.χ. αρχαιολογικούς χώρους, οικολογικά ευαίσθητες περιοχές) οι οποίες δεν πρέπει να είναι μικρότερες από 10 km. Χρήσιμες επίσης είναι οι εναέριες φωτογραφίες και βεβαίως τα προγράμματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Έτσι με βάση τα κριτήρια αποκλεισμού, δημιουργούνται χάρτες που υποδεικνύουν ζώνες αποδοχής και ζώνες απόρριψης.

### 3.2.2.1 Προεπιλογή θέσης ΧΥΤΑ

Πιο αναλυτικά για να γίνει η προεπιλογή των καταλληλότερων χώρων θα πρέπει να συγκεντρωθούν στοιχεία σχετικά με την υπάρχουσα κατάσταση και τις απαιτήσεις του έργου, όπως:

- Δημογραφικά στοιχεία
- Ποσότητες και σύνθεση αποβλήτων
- Υπάρχον σύστημα συλλογής, μεταφοράς και διάθεσης

Επιπλέον θα πρέπει να προσκομιστούν από το μελετητή προς την αρμόδια αρχή τα ακόλουθα:

- Γενικός χάρτης της προς εξέταση περιοχής
- Αεροφωτογραφίες
- Τοπογραφικός χάρτης
- Γεωλογικός χάρτης
- Υδρογεωλογικές μελέτες σχετικές με την περιοχή
- Σχέδιο Ανάπτυξης περιοχής

Από τη διαδικασία της προεπιλογής θα πρέπει να αποκλείονται:

- Περιοχές Αρχαιολογικού και πολιτιστικού ενδιαφέροντος
- Παραδοσιακοί οικισμοί
- Φυσικά οικοσυστήματα που προστατεύονται από το νόμο
- Οικιστικές περιοχές
- Περιοχές εντός ορίων σχεδίου πόλης και εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό κάτω από 2000 κατοίκους
- Περιοχές ιδιωτικής πολεοδόμησης
- Περιοχές κοντά σε αεροδρόμια
- Περιοχές για τις οποίες ισχύει απαγορευτική διάταξη σχετικά με θέματα εθνικής άμυνας και ασφάλειας

### 3.2.2.2. Κριτήρια συγκριτικής αξιολόγησης και επιλογής τελικής θέσης ΧΥΤΑ

Η συγκριτική αξιολόγηση και επιλογή της βέλτιστης θέσης ΧΥΤΑ, από τις εναλλακτικές θέσεις που έχουν προκύψει της προεπιλογής, γίνεται στα πλαίσια της ίδιας μελέτης σύμφωνα με τους όρους καταλληλότητας και τα κριτήρια αξιολόγησης που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων σε περιφερειακό επίπεδο. Τα οποία είναι τα εξής:

1. Γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδρολογικά κριτήρια τα οποία αναφέρονται κυρίως στην προστασία των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων σε περίπτωση αστοχίας του συστήματος μόνωσης και στεγάνωσης του ΧΥΤΑ. Τον μελετητή τον ενδιαφέρουν στοιχεία σχετικά με τη σύνθεση την ποιότητα και τη περατότητα του εδάφους καθώς και τα τεκτονικά χαρακτηριστικά και η σεισμικότητα της περιοχής. Ακόμα, παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν είναι η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα, το μέγεθος της λεκάνης απορροής, οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις καθώς και τα υπόγεια ρεύματα που πιθανό να οδηγούν σε περιοχές ιδιαίτερης σπουδαιότητας (π.χ. λίμνες)
2. Περιβαλλοντικά κριτήρια, όπως η απόσταση από ευαίσθητα οικοσυστήματα (και η σπουδαιότητα αυτών), η σπουδαιότητα της υπάρχουσας στην περιοχή χλωρίδας και πανίδας καθώς και κριτήρια που αφορούν στον αισθητικό παράγοντα.
3. Χωροταξικά κριτήρια τα οποία αφορούν στις ενδεχόμενες επιπτώσεις που θα έχει ο ΧΥΤΑ σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες που βρίσκονται σε ακτίνα επιρροής απ' αυτόν.
4. Κοινωνικά και λειτουργικά κριτήρια όπως είναι: δυνατότητα κοινωνικής αποδοχής, ιδιοκτησιακό καθεστώς, καθώς και βροχοπτώσεις – κατακρημνίσεις, άνεμοι, μεταβολή θερμοκρασίας, επιφάνεια χώρου και δυνατότητα μεταφοράς υλικού επικάλυψης.
5. Οικονομικά κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία εξετάζονται παράμετροι όπως είναι: η αξία της γης, η διαθεσιμότητα δικτύων ύδρευσης και ηλεκτρικής ενέργειας, το εκτιμώμενο κόστος μεταφοράς υλικών και η ευχέρεια εκτέλεσης του έργου στη συγκεκριμένη περιοχή, το μέγεθος και η τεχνική απλότητα των απαιτούμενων έργων υποδομής και προστασίας περιβάλλοντος, καθώς και η ανάγκη τελικής αποκατάστασης και μεταφροντίδας.

Ανάλογα με τη σπουδαιότητα του κάθε κριτηρίου ξεχωριστά, απ' όσα πληρούν οι εξεταζόμενοι χώροι και αυτών που τυχόν να μην πληρούνται επαρκώς, ο μελετητής καλείται να ξεχωρίσει την πλέον συμφέρουσα και αποδεκτή κοινωνικά και περιβαλλοντικά λύση.

### 3.3. Μόνωση Βάσης και Πρανών ΧΥΤΑ

#### 3.3.1. Εισαγωγή

Η Μόνωση ενός ΧΥΤΑ προς αποφυγή εκροών, αποτελεί έναν απ' τους σημαντικότερους παράγοντες σωστής λειτουργίας και προστασίας του περιβάλλοντος. Το σύστημα μόνωσης διακρίνεται σε τρία μέρη:

- Μόνωση Βάσης
- Μόνωση της Επιφάνειας
- Μόνωση των πρανών

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να διαμορφωθεί το σύστημα μόνωσης ποικίλουν και είναι στην ευχέρεια και κρίση του μελετητή να καθορίσει ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες (οικονομικές, περιβαλλοντικές κ.α.), τις διαστάσεις (πάχος), τον αριθμό και τη διάταξη των στρώσεων, καθώς και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν.

Γενικά ως προς τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της, διακρίνονται τρία είδη μόνωσης:

- Μόνωση με Φυσικά Υλικά (αργιλική μόνωση)
- Μόνωση με Συνθετικά Υλικά
- Σύνθετη Μόνωση (συνδυασμός φυσικών και συνθετικών υλικών)



Εικόνα 3.2\_Κατασκευή σύνθετης μόνωσης με Γεωμεμβράνες και γεωφάσματα [47]

Ένα σύστημα μόνωσης είτε πρόκειται για μόνωση βάσης και πρανών, είτε για στεγάνωση της επιφάνειας ενός ΧΥΤΑ, πρέπει να είναι ικανό για τα ακόλουθα:

- Να προστατεύει το χώρο από βροχοπτώσεις και όμβρια ύδατα
- Να αντέχει σε θερμοκρασίες τουλάχιστον 70 °C
- Να στεγανοποιεί τα παραγόμενα αέρια - στραγγίσματα
- Να αντέχει στις τυχόν καθιζήσεις και διαβρώσεις
- Να είναι ανθεκτικό στην επίδραση μικροοργανισμών
- Να είναι απλό σε ότι αφορά την τοποθέτησή του
- Να είναι εφικτό να ελεγχθεί τόσο κατά το στάδιο της κατασκευής όσο και της λειτουργίας
- Να μπορεί εύκολα να επιδιορθωθεί
- Το κόστος του να μην ξεπερνά κάποια σχετικά όρια, με βάση τη σπουδαιότητα του έργου

### **3.3.2. Είδη Μόνωσης με βάση το Υλικό**

Η μόνωση όπως προαναφέρθηκε μπορεί να επιτευχθεί είτε με φυσικό (άργιλος ή άργιλος + ορυκτά υλικά), είτε με τεχνητό τρόπο (γεωμεμβράνες).

#### **3.3.2.1. Αργιλική μόνωση και μόνωση με ορυκτά υλικά**

Η μόνωση αυτή γίνεται κυρίως με αργιλικά εδαφικά υλικά τα οποία μπορεί να μεταφέρονται από άλλη περιοχή προς το χώρο του έργου. Τα ζητήματα σχεδίασης που αντιμετωπίζει ο μελετητής έχουν να κάνουν με:

- Τον αριθμό στρώσεων
- Το τελικό πάχος κάθε στρώσης μετά και τη συμπίεση
- Την τελική πυκνότητα του υλικού κάθε στρώσης και άρα την υδροαπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα αυτού (υδραυλική αγωγιμότητα)

Σχετικά με τα παραπάνω υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές ανάλογα με την περίπτωση κάθε έργου. Για παράδειγμα, μπορεί να απαιτείται μόνωση με τρεις στρώσεις των 30 cm και με υδραυλική αγωγιμότητα όχι πάνω από  $10^{-9}$  m/sec.

Επιπλέον παράγοντες που είναι καθοριστικοί για την αποτελεσματικότητα της μόνωσης, πλην της υδροπερατότητας, της χωροταξικής κατανομής των σωματιδίων του υλικού και της ικανότητας φιλτραρίσματος, είναι: η δυνατότητα καθίζησης των βαρέων μετάλλων, η προσροφητικότητα και απορροφητικότητα των επικίνδυνων ουσιών και η καταλυτική αντίδραση των διαφόρων οργανικών στο υλικό μόνωσης. Γι αυτό και η άργιλος που χρησιμοποιείται, πέρα από το βαθμό μόνωσης που μπορεί να προσφέρει, πρέπει να παραμένει αδρανής και στις διάφορες χημικές ουσίες που βρίσκονται στα στραγγίσματα, όπως επίσης και να επιδεικνύει μεγάλη δυνατότητα προσρόφησης των επιβλαβών ουσιών. Γενικά, οι αντιδράσεις της αργίλου με τις διάφορες χημικές ενώσεις ενδιαφέρουν περισσότερο την αντοχή της



μόνωσης και τη φθορά της στο χρόνο, ενώ δε δείχνουν να επηρεάζουν, τουλάχιστον άμεσα, την αποτελεσματικότητα αυτής ως προς την περατότητα.

Η αργιλική μόνωση κατασκευάζεται αφού πρώτα καθαριστεί, εξομαλυνθεί και συμπιεστεί η φυσική επιφάνεια του εδάφους. Οι εργασίες εξομάλυνσης γίνονται ούτως ώστε το έδαφος να πάρει μια πιο ομοιογενή και συμπαγή μορφή καθώς και για να ρυθμιστούν οι επιθυμητές κλίσεις της επιφάνειας πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί η μόνωση. Η σπουδαιότερη παράμετρος στην κατασκευή της αργιλικής μόνωσης είναι η σωστή συμπίεση των στρώσεων, που ανάγεται: σε ορισμένη περιεκτικότητα υγρασίας στους κόκκους, στον τρόπο που επιτυγχάνεται η συμπίεση, στο μέγεθος των κόκκων και στη σύνδεση των στρωμάτων μεταξύ τους. Όταν η άργιλος δεν έχει την κατάλληλη υγρασία μπορεί να σχηματιστούν σβώλοι (χαλάει δηλαδή η ομοιογένεια της επιφάνειας), με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών κατά τη διαδικασία της συμπίεσης.

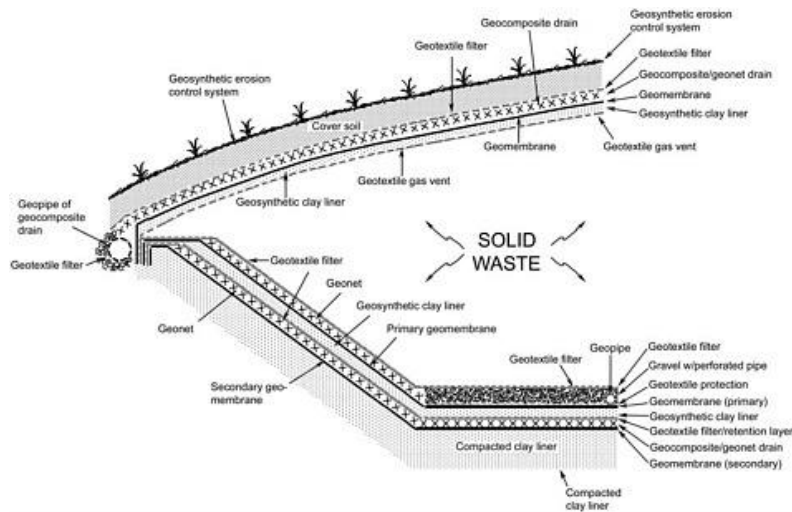
Η άργιλος πριν γίνει η τοποθέτησή της σε στρώσεις, ομογενοποιείται έτσι ώστε να μην εμπεριέχονται σε αυτή κόκκοι μεγαλύτεροι των 32mm. Κατά την τοποθέτηση της μόνωσης η υγρασία προβλέπεται να είναι κατά τι μεγαλύτερη από την υγρασία του υλικού σύμφωνα με τις προδιαγραφές Proctor, ενώ η συμπίεση επιτυγχάνεται είτε με έμβολο, είτε με χρήση κυλινδρικού στρωτήρα, ο οποίος απαιτείται να περάσει τουλάχιστον 6 φορές πάνω από την κάθε στρώση. Κατά τη συμπίεση, τεμάχια άνω των 10mm που παραμένουν στην επιφάνεια, απομακρύνονται.

Για τη μόνωση του πυθμένα απαιτούνται τουλάχιστον δύο οριζόντιες στρώσεις αργίλου, κυμαινόμενου πάχους μεταξύ 50 με 100 cm. Για καλύτερη συνοχή μεταξύ των στρώσεων προβλέπεται ή επιφάνεια της κάτω στρώσης να είναι κάπως τραχιά. Επιπλέον η όλη διαδικασία της επίστρωσης και συμπίεσης πρέπει να γίνεται κάτω από καλές καιρικές συνθήκες και να αποφεύγονται οι ιδιαίτερα θερμοί περίοδοι και περίοδοι με βροχοπτώσεις ή παγετό.

Σε ότι αφορά τα πρανή, οι στρώσεις μπορεί να γίνονται παράλληλα με την επιφάνεια αυτών, σύμφωνα με την αρχική κλίση ή να διαστρώνονται οριζόντιες επάλληλες στρώσεις οι οποίες όμως απαιτούν μεγάλη προσοχή κατά την κατασκευή τους, εφόσον είναι εύκολο να δημιουργηθούν οριζόντιες ασυνέχειες (παράθυρα) λόγω κακής συνοχής.

Για τη φυσική μόνωση του πυθμένα εκτός από άργιλο είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και διάφορα ορυκτά υλικά όπως μπετονίτης, ιπτάμενη τέφρα, θηραϊκή γη ή υδρύαλος, σε συνδυασμό με άργιλο ή άμμο.

### 3.3.2.2 Μόνωση με Γεωμεμβράνες και Σύνθετη μόνωση



Εικόνα 3.3\_Τομή ΧΥΤΑ όπου φαίνεται η διάταξη των στρώσεων μόνωσης βάσης – πρανών και επιφάνειας [48]

Εκτός της αργίλου και άλλων εδαφικών υλικών, για τη μόνωση ενός ΧΥΤΑ χρήζουν ευρείας εφαρμογής και τα γεωσυνθετικά υλικά. Τα γεωσυνθετικά είναι κυρίως πολυμερή με πολύ υψηλό μοριακό βάρος όπως: θερμοπλαστικά (PVC), υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE), χλωριωμένο πολυαιθυλένιο (CPE) και ελαστομερή. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη βελτίωση της μόνωσης σε συνδυασμό με τα εδαφικά υλικά ή αντικαθιστώντας τα. Διακρίνονται οι εξής κατηγορίες γεωσυνθετικών υλικών: οι γεωμεμβράνες (που αποτελούν βασικό παράγοντα μόνωσης), τα γεωυφάσματα, τα γεωπλέγματα και οι γεωσυνθετικοί αργιλοκοί φραγμοί.

Οι Γεωμεμβράνες είναι εύκαμπτα φύλλα (πάχους 1,5 mm) από πολυμερή υλικά με εξαιρετικά χαμηλή περατότητα, τα οποία τοποθετούνται στον πυθμένα του ΧΥΤΑ και στην επιφάνεια των πρανών, ως εναλλακτική λύση της φυσικής μόνωσης ή σε συνδυασμό με αυτή. Ο σχεδιασμός της μόνωσης εξαρτάται πάντα από τις απαιτήσεις και τη φύση του έργου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου απαιτείται σύνθετη μόνωση διπλής μορφής. Για παράδειγμα συνηθίζεται η τοποθέτηση δύο σειρών αργιλικής ή ορυκτής μόνωσης συνολικού πάχους 1m και στη συνέχεια η εφαρμογή γεωμεμβράνης πάνω σε αυτές.

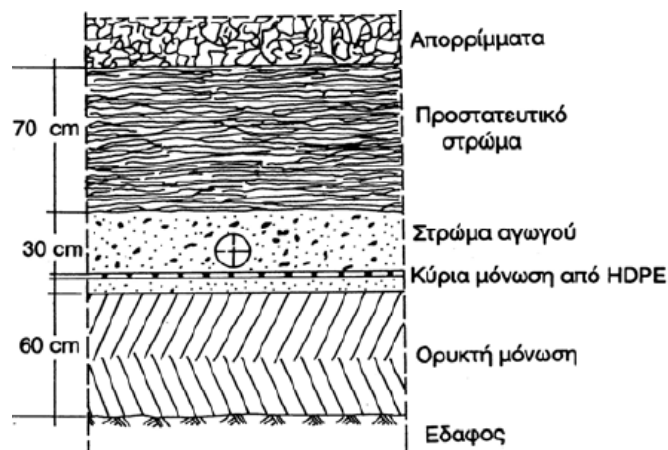
Πριν την τοποθέτηση της μεμβράνης, είτε πρόκειται για σύνθετη μόνωση, είτε όχι, η επιφάνεια που θα καλυφθεί θα πρέπει να είναι απαλλαγμένη από πέτρες ή άλλα υλικά και ο βαθμός συμπίεσής της να είναι 95% του οργάνου proctor. Επίσης τα ρολά των γεωμεμβρανών που πρόκειται να τοποθετηθούν απαιτείται να έχουν μήκος τουλάχιστον 150 m, πλάτος 5 m και πάχος 1,5 mm καθώς και να

φυλάσσονται σε χώρους όπου δεν θα είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία η οποία προκαλεί γήρανση της μεμβράνης.

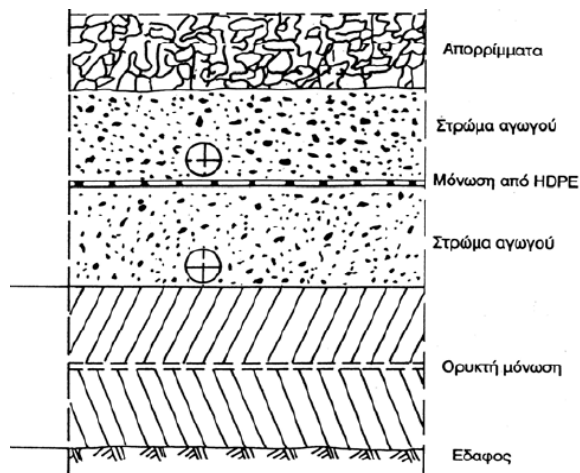
Κοιτώντας έναν ΧΥΤΑ σε πλάγια τομή, εκτός από τη μόνωση της βάσης και των πρηνών (στρώσεις αργίλου και γεωμεμβράνες), καθώς και το σώμα της απορριμματικής μάζας υπό μορφή κυψελών, το σύστημα συλλογής στραγγισμάτων κλπ, μπορούν να διακριθούν δύο επιπλέον ζώνες: η ζώνη αποστράγγισης και η ζώνη προστασίας της μόνωσης, οι οποίες παρεμβάλλονται μεταξύ αποβλήτων και μόνωσης πυθμένα. Η ζώνη αποστράγγισης αποτελείται από άμμο ή ψιλό χαλίκι και πρόκειται ουσιαστικά για ένα διαπερατό στρώμα πάχους τουλάχιστον 50 cm το οποίο διευκολύνει την κίνηση του υγρού προς τους συλλεκτήριους αγωγούς (εφόσον υπάρχουν) οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε ένα επίπεδο λίγο πάνω από τη μόνωση. Η ζώνη προστασίας αποτελείται από το γεωύφασμα (ίνες πολυμερούς) και από μια στρώση πάχους τουλάχιστον 10 cm από θραυστό υλικό (διάμετρος 8 mm) που τοποθετείται μεταξύ γεωυφάσματος και αποστραγγιστικής ζώνης.

Γενικά στους ΧΥΤΑ συναντώνται τα εξής συστήματα σύνθετης μόνωσης:

- Συνδυασμός φυσικής μόνωσης και γεωμεμβράνης χωρίς σύστημα συλλογής στραγγισμάτων
- Συνδυασμός φυσικής μόνωσης και γεωμεμβράνης μαζί με σύστημα συλλογής στραγγισμάτων
- Διπλό σύστημα μόνωσης με διπλούς αγωγούς συλλογής στραγγισμάτων



Εικόνα 3.4\_ Συνδυασμός φυσικής και τεχνητής μόνωσης με σύστημα αποστράγγισης [3]



Εικόνα 3.5\_ Διπλό σύστημα φυσικής - τεχνητής μόνωσης και αποστράγγισης [3]

Τα γεωσυνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται για μόνωση δύναται να παρουσιάσουν αστοχίες που έχουν σχέση με:

- Τις ενώσεις μεταξύ διαδοχικών φύλλων (ραφές)
- Τυχόν διατρήσεις
- Χημικές αλλοιώσεις

Σε ότι αφορά τη διαδικασία τοποθέτησης της γεωμεμβράνης πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή κατά τη συγκόλληση των διαδοχικών φύλλων η οποία γίνεται σε διεύθυνση παράλληλη με τη μεγαλύτερη κλίση που παρουσιάζει το επίπεδο στο οποίο γίνεται η τοποθέτηση. Τα φύλλα ενώνονται με δύο παράλληλες ραφές που έχουν απόσταση η μια από την άλλη τουλάχιστον 5 mm. Η ταχύτητα συγκόλλησης είναι 0,3 – 2 m/min και η θερμοκρασία στην επιφάνεια της συγκόλλησης είναι περίπου 230 °C [3].

Οι κυριότεροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί συγκόλληση είναι:

- Με θερμοστοιχείο, όπου ένα σφηνοειδές δίχαλο λιώνει το πλαστικό των μεμβρανών κατά τη διεύθυνση της συγκόλλησης και στη συνέχεια ακολουθεί συμπίεση αυτών.
- Με εξέλαση, όπου χρησιμοποιείται υλικό το οποίο λιώνει στα σημεία ραφής επιτυγχάνοντας τη συγκόλληση των δύο επιφανειών της μεμβράνης.

Η διαδικασία συγκόλλησης των μεμβρανών αποτελεί σημαντικότερο στάδιο της κατασκευής της μόνωσης, αφού στα σημεία συγκόλλησης κυρίως, είναι πιθανό να παρουσιαστούν αστοχίες κατά τη λειτουργία. Συνεπώς απαιτούνται διάφοροι έλεγχοι ως προς την απαιτούμενη πυκνότητα του υλικού στα σημεία ραφής και ως προς τη αντοχή. Ο έλεγχος της πυκνότητας της συγκόλλησης γίνεται με πεπιεσμένο αέρα και σε ότι αφορά τον έλεγχο της αντοχής, γεωμετρίας και ομοιογένειας της

συγκόλλησης, λαμβάνεται δείγμα το οποίο εξετάζεται στο εργαστήριο με τη μέθοδο των υπερήχων.

Γενικά τα σημεία στα οποία η τεχνητή μόνωση παρουσιάζει αδυναμία και αυτά που απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή κατά τη διαδικασία τοποθέτησης, είναι:

- Οι ενώσεις των φύλλων, ειδικά στα πρανή που η συγκόλληση γίνεται υπό κλίση
- Τα σημεία όπου υπάρχει κακή διάστρωση του εδάφους (παραμόρφωση μεμβράνης)
- Τα σημεία τοποθέτησης των φρεατίων και των συλλεκτήριων αγωγών στραγγισμάτων και αερίων
- Στα σημεία όπου αγκυρώνονται οι γεωμεμβράνες (πρανή, όπου μπορεί να παρουσιαστεί ολίσθηση)

Σε ότι αφορά τη μελέτη της μόνωσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης τα μηχανικά χαρακτηριστικά της γεωμεμβράνης, τα οποία παρέχονται από τον κατασκευαστή και πρέπει να συγκρίνονται με τις αναμενόμενες στατικές και δυναμικές φορτίσεις στον πυθμένα και στα πρανή. Η εφελκυστική τάση που αναμένεται να ασκηθεί στη μεμβράνη λόγω καθίζησης εξαρτάται από: το βάθος της καθίζησης, από την ακτίνα της περιοχής καθίζησης, το ύψος εναπόθεσης των απορριμμάτων στο σώμα του ΧΥΤΑ, το ειδικό βάρος των αποβλήτων. Η απαιτούμενη εφελκυστική, καθώς και διατμητική τάση, συγκρίνονται με την εφελκυστική τάση διαρροής που δίνει ο κατασκευαστής της μεμβράνης η οποία είναι πάντα σε συνάρτηση με το πάχος της.

Τα κύρια μηχανικά χαρακτηριστικά μιας γεωμεμβράνης πάχους 1,5 mm είναι:

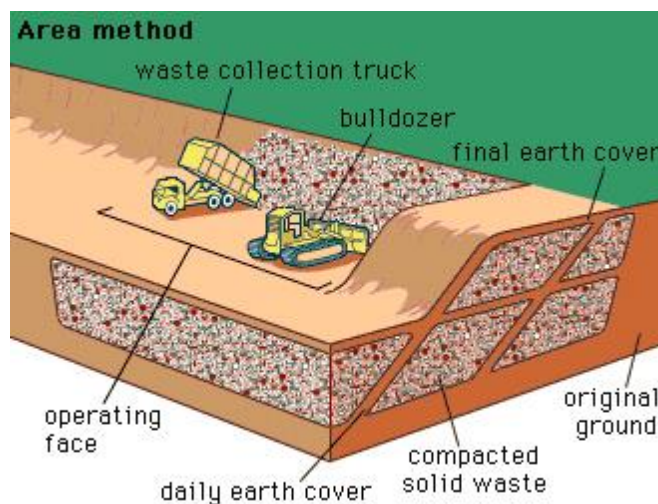
**Πίνακας 3.1\_Μηχανικά χαρακτηριστικά γεωμεμβράνης**

Εφελκυστική αντοχή θραύσης	>24 N/mm <sup>2</sup>
Εφελκυστική αντοχή διαρροής	>15 N/mm <sup>2</sup>
Επιμήκυνση σε θραύση	>600%
Επιμήκυνση σε διαρροή	>8%
Αντοχή σε διάτρηση	>300 N/mm <sup>2</sup>
Αντοχή σε εφελκυσμό κατά τη θραύση	>120 N/mm <sup>2</sup>

Όριο σχισίματος	>500 N
Πολυαξονική επιμήκυνση σε θραύση	>15%

### 3.4. Διαμόρφωση στρώσεων ΑΣΑ και Διεργασίες στο Κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ

#### 3.4.1. Διαμόρφωση Κυττάρων και Καλύψεις



Εικόνα 3.6\_ Διαμόρφωση περιοδικών Κυττάρων [53]

Το βασικό δομικό στοιχείο και χαρακτηριστικό της υγειονομικής ταφής είναι το «Κύτταρο», το οποίο αποτελείται από τα απόβλητα μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (π.χ. μιας μέρας), συμπιεσμένα και καλυμμένα με λεπτή στρώση εδαφικού υλικού[4]. Μια οριζόντια σειρά από κύτταρα που βρίσκονται στο ίδιο ύψος ονομάζεται στρώση. Ο Κυρίως ΧΥΤΑ, δηλαδή το σύνολο της απορριμματικής μάζας, οργανώνεται κατά αυτόν τον τρόπο από επάλληλες στρώσεις κυττάρων όπου το εμβαδό αυτών βαίνει (από κάτω προς τα πάνω) αυξανόμενο στο υπεδάφιο τμήμα του ΧΥΤΑ και ελαττούμενο στο υπερεδάφιο. Ένας από τους λόγους που γίνεται με αυτόν τον τρόπο η διάταξη των στρώσεων είναι ο καλύτερος έλεγχος των στραγγισμάτων, η αποφυγή συσσώρευσης αυτών στον πυθμένα και η αποτελεσματικότερη απορρόφηση τους από το σύστημα συλλογής.

Τα απορρίμματα που εισέρχονται με τα ειδικά οχήματα (Α/Φ) στο μέτωπο εργασίας του ΧΥΤΑ, διαστρώνονται σε χαμηλές κλίσεις (όχι πάνω από 1:3) πάνω στην ανοικτή πλευρά του ενεργού κυττάρου και στη συνέχεια συμπιέζονται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να καλυφθεί πλήρως το απαιτούμενο ύψος του κυττάρου.

Η ημερήσια κάλυψη με χώμα (ή με άλλο υλικό που πληροί τις προδιαγραφές) του κυττάρου η οποία είναι περίπου 15 – 20 cm, δεν πρέπει να παραμένει εκτεθειμένη για περισσότερο από μια βδομάδα πριν τοποθετηθεί πάνω της νέα στρώση αποβλήτων. Στόχοι της ημερήσιας κάλυψης είναι ο έλεγχος των οσμών και της διασποράς ελαφρών υλικών στον αέρα, η αποφυγή ανάφλεξης των απορριμμάτων και ο περιορισμός της διάδοσης παθογόνων μικροοργανισμών. Η οριζόντια κάλυψη του κυττάρου που αποτελεί κάλυψη ολόκληρης της στρώσης και μπορεί να παραμείνει εκτεθειμένη ακόμα και για μερικούς μήνες, έχει μεγαλύτερο πάχος (20 – 30cm).

Οι καλύψεις σχεδιάζονται με τρόπο ώστε να ελέγχεται η ροή του βιοαερίου και των στραγγισμάτων, είτε αφήνοντας κενά μεταξύ των στρώσεων, είτε αποτελούμενες από υλικό υψηλής διαπερατότητας. *Το υλικό κάλυψης μπορεί να είναι χώμα, προϊόντα κομποστοποίησης, παλιά χωνεμένα απόβλητα, αδρανή υλικά ή ακόμα και συνθετική μεμβράνη η οποία αποσύρεται πριν την απόθεση νέας στρώσης ΑΣΑ[4].* Οι επικαλύψεις αντιστοιχούν σε ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού όγκου του σώματος του ΧΥΤΑ (15 – 25%). Στην περίπτωση που η ημερήσια κάλυψη γίνεται με εδαφικό υλικό, αυτό θα πρέπει να συμπιέζεται με τα κατάλληλα μηχανήματα και να μην περιέχει υψηλό ποσοστό αργίλου, ώστε να είναι σχετικά διαπερατό.

Οι διαστάσεις των κυττάρων καθορίζονται από τον όγκο των συμπιεσμένων ΑΣΑ που εισέρχονται ανά περίοδο στον ΧΥΤΑ. Η τελική πυκνότητα των ΑΣΑ κυμαίνεται μεταξύ 300 με 1200 kg/m<sup>3</sup>, ανάλογα με τη σύσταση και το σύστημα συμπίεσης. Στην περίπτωση που οι ημερήσιες ποσότητες είναι μεγάλες, για την αποφυγή δημιουργίας υπερβολικά μεγάλων κυττάρων, μπορεί να υπάρχουν δύο ή και περισσότερα ενεργά κύτταρα, με άλλα λόγια δύο ή και περισσότερα μέτωπα εργασίας, σε διαφορετικά σημεία εντός του ευρύτερου χώρου του ΧΥΤΑ. Πάντως, ένα συνήθως προτεινόμενο μέγιστο ύψος περιοδικού κυττάρου είναι περίπου 2,5 – 3m.

#### **3.4.2. Συμπύκνωση και Καθιζήσεις**

Η τελική πυκνότητα των αποβλήτων σε έναν ΧΥΤΑ είναι μια εξαιρετικά κρίσιμη παράμετρος, καθώς επηρεάζει τον διαθέσιμο όγκο για διάθεση ΑΣΑ, το κόστος λειτουργίας, αλλά και το ρυθμό αποδόμησης του οργανικού κλάσματος .

Όταν το κόστος λειτουργίας πρέπει να κρατηθεί χαμηλό, η συμπύκνωση μπορεί να επιτευχθεί με απλούς ερπυστριοφόρους φορτωτές ή προωθητές οι οποίοι φέρουν στο εμπρόσθιο μέρος λεπίδα για προώθηση απορριμμάτων και υλικών κάλυψης. Όταν το έργο του ΧΥΤΑ είναι μεγαλύτερο, τότε είναι απαραίτητο να υπάρχουν ειδικοί συμπιεστές που φέρουν στη θέση των τροχών προεξοχές (λέγονται κατσικοπόδαρα) ή που φέρουν μαχαίρια τεμαχισμού, επιτυγχάνοντας πυκνότητα μέχρι  $1,20 \text{ t/m}^3$ .

Γενικά ο βαθμός συμπύκνωσης εξαρτάται από:

- Την κατανομή μεγέθους των υλικών
- Τη σύνθεση των ΑΣΑ
- Το πάχος των διαδοχικών λεπτών στρώσεων μέχρι το ύψος του κυττάρου
- Την ένταση της διαδικασίας συμπύκνωσης, που είναι συνισταμένη του στατικού βάρους των ΑΣΑ και της δύναμης του συμπιεστή (ένταση δόνησης) και του αριθμού συμπιέσεων (περασμάτων συμπιεστή).

Καθώς αυξάνει ο αριθμός των στρώσεων, το φορτίο των υπερκείμενων ΑΣΑ αποτελεί παράγοντα επιπλέον συμπύκνωσης. Επιπλέον η βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης όπως και η συσσώρευση των ΑΣΑ, δημιουργεί συνθήκες διαφορικών καθιζήσεων, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν αστοχίες στο σύστημα συλλογής στραγγισμάτων, στην επιφάνεια της τελικής κάλυψης, στα φρεάτια συλλογής βιοαερίου, στη μόνωση του πυθμένα κ.α.

*Ο βαθμός καθίζησης εξαρτάται από το βαθμό τελικής συμπύκνωσης, το ρυθμό της βιοαποδόμησης και το ύψος του κυττάρου. Η καθίζηση εξελίσσεται βαθμιαία, επί μακρύ χρονικό διάστημα, ακόμα και μετά το «κλείσιμο» του ΧΥΤΑ. Από διάφορες μελέτες προκύπτει πως το 90% της ολικής καθίζησης γίνεται εντός των πρώτων πέντε ετών, ενώ η ολική καθίζηση μπορεί να κυμανθεί από 20 έως 50% του αρχικού ύψους για ΧΥΤΑ με μέσο βαθμό συμπύκνωσης. Σε ΧΥΤΑ που το ζυμώσιμο κλάσμα των αποβλήτων είναι πάνω από 40% και συνολικού ύψους 20m, έχουν καταγραφεί καθιζήσεις ρυθμού 30 έως 50cm ανά έτος[4].*



### 3.4.3. Είδη Μηχανημάτων που Χρησιμοποιούνται στους ΧΥΤΑ



Εικόνα 3.7\_Μηχανήματα στο χώρο του ΧΥΤΑ [51]

Για την επιλογή του κατάλληλου τεχνικού εξοπλισμού για τις διάφορες εργασίες στους ΧΥΤΑ είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι εξής παράγοντες:

- Οι ποσότητες των στερεών αποβλήτων
- Οι ποσότητες και το είδος του υλικού επικάλυψης
- Η απόσταση από την οποία το υλικό επικάλυψης θα πρέπει να μεταφερθεί
- Η μορφή του χώρου διάθεσης
- Η προβλεπόμενη συμπίεση
- Οι κλιματολογικές συνθήκες
- Το προβλεπόμενο τελικό ανάγλυφο του χώρου

Ως προς τη απόσταση μεταφοράς του υλικού επικάλυψης, για την επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος υπάρχουν τα εξής δεδομένα:

προωθητήρας	0 – 100 m
φορτωτής	0 – 150 m
Συμπιεστής	0 – 60 m
Εκσκαφέας (τροχοφόρος)	> 200 m

#### Συμπιεστής:

Σκοπός του Συμπιεστή είναι να διαστρώνει, να συμπιέζει και να καλύπτει τα απόβλητα στους χώρους διάθεσης. Κρίνεται γρηγορότερος και πιο ευκίνητος στο μέτωπο εργασίας συγκριτικά με έναν προωθητήρα και επιτυγχάνει μεγαλύτερες πυκνότητες στην συμπίεση.

Μεγάλοι συμπιεστές με βάρος λειτουργίας περισσότερο από 20 τόνους, επιτυγχάνουν τις μεγαλύτερες δυνατές συμπίεσεις από 700 μέχρι 1000 kg/m<sup>3</sup>. Για την επίτευξη της μέγιστης πυκνότητας, ο συμπιεστής θα πρέπει να λειτουργεί σε επίπεδες επιφάνειες όπου δύναται να εφαρμόσει όλο το βάρος του επί των αποβλήτων. Σε κλίσεις μεγαλύτερες από 1:4 η απόδοσή του όσον αφορά τη συμπίεση μειώνεται[3].

Οι συμπιεστές είναι σχεδιασμένοι ώστε να αφήνουν λιγότερα κενά και να ελαττώνουν το απαιτούμενο εμβαδόν του χώρου. Φέρουν είτε μαχαίρια, είτε δόντια και έχουν βάρος 50 τόνους.



Εικόνα 47.8\_Μηχάνημα Συμπίεσης και Προώθησης ΑΣΑ (φέρει δόντια στη θέση των τροχών) [52]



Εικόνα 3.9\_Συμπιεστής που φέρει δόντια (κατάλληλος για διάστρωση μπαζών) [52]

### Πρωθητήρες:

Ο πρωθητήρας είναι το μηχάνημα με τη μεγαλύτερη χρήση στους χώρους ταφής των αποβλήτων. Οι πρωθητήρες προετοιμάζουν τους χώρους για να υποδεχτούν τα απόβλητα, χρησιμοποιούνται στις οδούς προσπέλασης και μεταφοράς και είναι ικανοί να διαστρώσουν και να συμπιέσουν τα απόβλητα καθώς και το υλικό επικάλυψης. Λειτουργούν κάτω απ' όλες τις καιρικές συνθήκες και είναι κατάλληλοι για όλες τις μεθόδους ελεγχόμενης εδαφικής διάθεσης (επιφανειακής, τάφρου και ράμπας). Ακόμα επιτυγχάνουν πυκνότητα συμπίεσης  $500 - 600 \text{ kg/m}^3$  και αποδίδουν για κλίση εδάφους μέχρι και 1:3, ενώ είναι δυνατό να μετακινήσουν υλικά οικονομικά σε απόσταση 100 m.



Εικόνα 3.10\_ Πρωθητές και Ερπυστριοφόροι Φορτωτές [52]

### Ερπυστριοφόρος φορτωτής:

Ο ερπυστριοφόρος φορτωτής είναι ένα μηχάνημα για όλες τις δουλειές, σε χώρους που χρησιμοποιείται ένα μόνο μηχάνημα. Χρησιμοποιώντας ένα γενικού ή πολλαπλού τύπου κάδο, δύναται να πραγματοποιήσει εκσκαφές, να συμπιέσει και να μεταφέρει υλικό επικάλυψης στο μέτωπο εργασίας. Η συμπίεση που επιτυγχάνει είναι ίση με αυτή των πρωθητήρων ( $500 - 600 \text{ kg/m}^3$ ).

### Λαστιχοφόρος Φορτωτής:

Αν και ο λαστιχοφόρος φορτωτής δεν συνίσταται για συμπίεση σε χώρους ταφής αποβλήτων μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο μηχάνημα για αρκετές από τις διεργασίες διάθεσης. Λόγω του ότι είναι πολλαπλής χρήσεως δύναται να φορτώσει τα οχήματα μεταφοράς με υλικό επικάλυψης ή ανακυκλώσιμα, να μεταφέρει απόβλητα καθώς και να χρησιμοποιηθεί σε γενικές εργασίες καθαριότητας[3]. Εφοδιασμένος με κάδο γενικού τύπου μπορεί να μεταφέρει υλικά και χώμα επικάλυψης σε αποστάσεις μέχρι και 200 m.

Ο βαθμός συμπίεσης που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση λαστιχοφόρου φορτωτή κυμαίνεται μεταξύ 500 – 700 kg/m<sup>3</sup>.

#### **3.4.4. Διεργασίες στο Κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ**

Ο ΧΥΤΑ μπορεί να χαρακτηριστεί και ως βιοαντιδραστήρας, καθώς το οργανικό κλάσμα στο εσωτερικό αυτού, μπορεί και βιοδιασπάται δια μέσου μικροβιακών οργανισμών, με αποτέλεσμα την παραγωγή στραγγισμάτων, βιοαερίου και νέας βιομάζας, ενώ παράλληλα εκλύεται θερμότητα και εν τέλει απομένει ένα αποδομημένο υπόλειμμα αστικών αποβλήτων, το οποίο είναι αδρανές. Ο ρυθμός παραγωγής εξαρτάται από τη φύση των ΑΣΑ, την υγρασία, το pH, τη θερμοκρασία, ευνοείται από την παρουσία θρεπτικών συστατικών, ενώ ανασταλτικό παράγοντα αποτελεί η παρουσία τοξικών ουσιών.

Ο χρόνος ενεργού ζωής ενός ΧΥΤΑ εξαρτάται από το ρυθμό βιοαποδόμησης ο οποίος είναι επιθυμητό να ελέγχεται. Γι αυτό δίνεται ιδιαίτερη σημασία στα χαρακτηριστικά των ΑΣΑ, στην προεπεξεργασία τους, στον έλεγχο της υγρασίας μέσα στο σώμα του ΧΥΤΑ, στη συλλογή και διαχείριση των παραγόμενων στραγγισμάτων και βιοαερίου. Πρέπει δηλαδή να ελέγχονται τα προϊόντα της βιοαποδόμησης στο σώμα του ΧΥΤΑ, μέχρι τα ΑΣΑ να μετατραπούν σε αδρανή μάζα και να μην αποτελούν πλέον κίνδυνο για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ προς αδρανοποίηση των ΑΣΑ, είναι είτε φυσικές, είτε χημικές και βιολογικές.

##### Φυσικές διεργασίες

Οι κύριες φυσικές διεργασίες είναι:

- Η συμπύκνωση των ΑΣΑ, η οποία επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ για όλους τους λόγους που έχουν προαναφερθεί (εξασφάλιση χώρου, έλεγχος στραγγιδίων, κλπ) και επιπλέον η συμπύκνωση αποτελεί ευνοϊκό παράγοντα ως προς τη στατικότητα και την αποφυγή αστοχιών στο κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ, που μπορεί να προκληθούν είτε από απότομη αύξηση της υγρασίας (αστοχίες λόγω βροχοπτώσεων), είτε από ενδεχόμενη σεισμική φόρτιση (οι παράγοντες αυτοί θα αναλυθούν στο ειδικό κεφάλαιο).
- Η διάλυση ευδιάλυτων υλικών, από το νερό, το οποίο μεταφέρει ουσίες μη αντιδρούσες
- Συναγωγή (απλή μεταφορά)
- Απορρόφηση διαλυμένων ρύπων (οι ρύποι δεσμεύονται – απορροφώνται από άλλα υλικά)
- Προσρόφηση (δέσμευση των ρύπων στην επιφάνεια άλλων υλικών)

## Χημικές διεργασίες

Στο σώμα των ΧΥΤΑ λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις οξειδοαναγωγής όπως[4]:

- Οξείδωση από το παγιδευμένο οξυγόνο, το οποίο σύντομα εξαντλείται.
- Αντιδράσεις οξέων – μετάλλων, εξαιτίας της παρουσίας οργανικών οξέων και  $CO_2$ . Οι αντιδράσεις αυτές ελευθερώνουν μεταλλικά ιόντα και άλατα τα οποία είναι δυνητικοί ρύποι.
- Αντιδράσεις αναγωγής που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της μεθανιογένεσης.

## Βιολογικές διεργασίες

Οι βιολογικές διεργασίες έχουν να κάνουν με τη βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης κυρίως υπό αναερόβιες συνθήκες (απουσία οξυγόνου) και τα παράγωγα είναι κυρίως:

- Βιοαέριο το οποίο αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα  $CO_2$  και μεθάνιο  $CH_4$  το οποίο πρέπει να ελέγχεται, εφόσον αποτελεί αέριο θερμοκηπίου.
- Ιλύς (λάσπη, υγρά απόβλητα) μέρος της οποίας μπορεί να παρασυρθεί από τα στραγγίδια και να εισχωρήσει στο σύστημα συλλογής.

### **3.4.5. Ο ΧΥΤΑ ως Βιοαντιδραστήρας**

Ένας ΧΥΤΑ όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω μπορεί να ληφθεί και ως βιοαντιδραστήρας ελεγχόμενης επίδοσης, καθώς η διαρροή υγρών από την απορριμματική μάζα ελέγχεται διαμέσου μόνωσης χαμηλής διαπερατότητας και τα στραγγίσματα, που προκύπτουν από τη βιοδιάσπαση, συλλέγονται μέσω αγωγών και ακολούθως υφίστανται επεξεργασία. Παρά το ότι οι διεργασίες στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ ελέγχονται, ο κίνδυνος ρύπανσης παραμένει υπαρκτός και εξαρτάται από τη συμπεριφορά της μόνωσης σε βάθος χρόνου, όπως και από την αποτελεσματικότητα του συστήματος συλλογής των στραγγισμάτων.

Ως προς τον τρόπο λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ, σχετικά με τη διαχείριση των στραγγιδίων μπορούν να διακριθούν δύο κατηγορίες: ο ξηρός και ο υγρός ΧΥΤΑ (τεχνολογία υγρού και ξηρού κυττάρου). Η διαφοροποίηση έγκειται στο επιδιωκόμενο επίπεδο υγρασίας στην απορριμματική μάζα. Παρ' όλο που αστάθμητοι παράγοντες όπως η βροχόπτωση και το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής, αλλά και η φύση των ΑΣΑ καθιστούν αδύνατο τον ορισμό μιας βέλτιστης τιμής υγρασίας, ο βαθμός στεγάνωσης της κάλυψης επιτρέπει τον έλεγχο αυτής.

Στην περίπτωση του ξηρού ΧΥΤΑ αποφεύγεται ή ελαχιστοποιείται η εισροή νερού στην απορριμματική μάζα, με στόχο την μείωση της πιθανότητας διαρροής στραγγισμάτων. Ενώ στους υγρούς ΧΥΤΑ στόχος είναι η ταχύτερη αδρανοποίηση της απορριμματικής μάζας, οπότε ενδείκνυται ένα προκαθορισμένο επίπεδο υγρασίας. Τα παραγόμενα στραγγίδια που συλλέγονται, είναι δυνατό να επανέρχονται με ράντισμα στο εσωτερικό περιοδικών κυττάρων που δεν έχουν αποδομηθεί πλήρως και επί των οποίων δεν έχει τοποθετηθεί τελική κάλυψη. Με αυτόν τον τρόπο, μέσω της επανακυκλοφορίας των, είναι δυνατό να επιτευχθεί περαιτέρω βιοαποδόμηση του εναπομείναντος οργανικού κλάσματος σε αυτά, καθώς και να φιλτραριστούν εκ νέου τα ανόργανα συστατικά.

### **3.5. Σύστημα Συλλογής και Διαχείρισης Στραγγισμάτων ΧΥΤΑ**

#### **3.5.1. Παραγωγή Στραγγισμάτων**

Η δημιουργία στραγγισμάτων (ή στραγγιδίων) στο εσωτερικό ενός ΧΥΤΑ είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες, που μπορούν να οδηγήσουν σε εκροές προς το περιβάλλον και αποτελούν ίσως το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κίνδυνο της υγειονομικής ταφής, καθώς είναι πολύ εύκολο χωρίς τη λήψη των κατάλληλων μέτρων (μόνωση, σύστημα συλλογής) να υπάρξει μόλυνση του υπόγειου υδάτινου ορίζοντα. Γενικά σαν στραγγίσματα ενός ΧΥΤΑ, λαμβάνονται υπόψη τα υγρά που διαπερνούν την απορριμματική μάζα και κατευθύνονται προς τον πυθμένα αυτού. Τα στραγγίσματα συνήθως ανακύπτουν από:

- Τα επιφανειακά νερά (νερά βροχοπτώσεων) που εισέρχονται εντός του ΧΥΤΑ
- Την υγρασία που περιέχουν τα ίδια τα ΑΣΑ ή άλλα πρόσθετα (π.χ. ιλύες) η οποία διαφεύγει προς τον πυθμένα λόγω συμπίεσής τους, μέσω των καναλιών που δημιουργούνται
- Την υγρασία που περιέχεται στο υλικό των επικαλύψεων

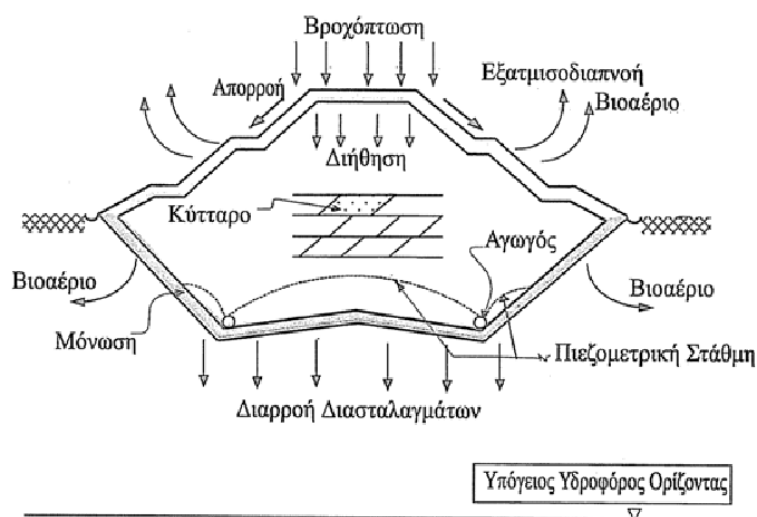
Ο υπολογισμός των στραγγισμάτων που ενδέχεται να δημιουργηθούν στο εσωτερικό ενός ΧΥΤΑ κατευθυνόμενα προς τον πυθμένα, είναι μια αρκετά δύσκολη και πολυσύνθετη διαδικασία, καθώς εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες για τους οποίους είναι επίσης δύσκολο να υπάρξουν ασφαλή δεδομένα. Μερικοί απ' αυτούς είναι: η συχνότητα των βροχοπτώσεων, οι ακριβείς συνθήκες στο σώμα του ΧΥΤΑ, η διακύμανση της θερμοκρασίας, ο ρυθμός βιοαποδόμησης του οργανικού κλάσματος, η υδατοπερατότητα – υδροαπορροφητικότητα καθώς και η σύνθεση των ΑΣΑ (η οποία δεν είναι πάντα η ίδια). Παρ' όλα αυτά, μια απλή μέθοδος (όχι όμως ασφαλής) για τον υπολογισμό της ποσότητας των στραγγισμάτων είναι αυτή του Υδατικού Ισοζυγίου, κατά την οποία προστίθενται όλες οι ποσότητες υγρών που εισέρχονται στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ ή που δημιουργούνται μέσα σε αυτόν μέσω

των διαφόρων βιοχημικών διεργασιών και αφαιρούνται οι ποσότητες που διαφεύγουν ως υδρατμοί (φαινόμενο εξατμισοδιαπνοής) και αυτές που κατακρατούνται (απορροφούνται) από το σώμα των ΑΣΑ και τις στρώσεις των επικαλύψεων καθώς και αυτές που απαιτούνται για την αναερόβια βιοαποδόμηση.

Τελικά τα στραγγίσματα εμφανίζονται στον πυθμένα όταν υπερνικηθεί η ικανότητα κατακράτησης υγρασίας των απορριμμάτων (όταν δηλαδή αυτά κορεστούν)

Καθώς το νερό κινείται στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ δια μέσω των απορριμμάτων, παρασύρει ευδιάλυτες χημικές ουσίες που έχουν προκύψει από την αποσάθρωση των ΑΣΑ και προϊόντα αποδόμησης λόγω των βιολογικών διεργασιών (βιολογική αποσύνθεση). Γίνεται επομένως αντιληπτό πως η χημική σύσταση των στραγγισμάτων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των ΑΣΑ, την ταχύτητα ροής και τη δομή (βαθμό συμπίεσης στρώσεων), τη λειτουργία καθώς και την ηλικία του ΧΥΤΑ (με την πάροδο του χρόνου οι οργανικές ενώσεις παρουσιάζουν μείωση).

Τα στραγγίσματα φέρουν ιδιαίτερα επιβλαβείς χημικές ενώσεις για το περιβάλλον, οπότε μόλις φτάσουν στο επίπεδο του πυθμένα, ανακύπτει η ανάγκη συλλογής και διαχείρισης αυτών. Αν δεν υπάρχει σύστημα συλλεκτήριων αγωγών και αγωγών μεταφοράς για τα στραγγίσματα, πρέπει τουλάχιστον να προβλέπεται σύστημα απομάκρυνσης (απορροής) αυτών προς κάποιο φρεάτιο συλλογής, ούτως ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε αστοχία του πυθμένα ή ολίσθηση μέρους των ΑΣΑ, ακόμα και η ολίσθηση των πρανών που συνεπάγεται πλήρη αστοχία του σώματος του ΧΥΤΑ.



Εικόνα 3.11\_ Δημιουργία διασταλαγμάτων στον ΧΥΤΑ [4]

Η ακριβής σύσταση και οι φυσικοχημικές ιδιότητες των στραγγισμάτων είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Δεδομένων όμως των διεργασιών βιοαποδόμησης που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ, οι οποίες έχουν ανάγκη οξυγόνου, αναμένεται στα στραγγίσματα να υπάρχει υψηλή χημική και βιοχημική απαίτηση σε

οξυγόνο (BOD,COD) που οδηγεί σε μείωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου των υδάτων που θα έρθουν σε επαφή με τα στραγγίσματα. Οι οργανικές χημικές ενώσεις που υπάρχουν στα στραγγίδια και ευθύνονται για τη δέσμευση μέρους του οξυγόνου των υδάτων, εμφανίζονται ως ευδιάλυτα ή αιωρούμενα προϊόντα βιοαποδόμησης, αλλά και ως οργανικές ενώσεις που έχουν αποβληθεί μαζί με τα υπόλοιπα ΑΣΑ όπως είναι: οι αιθέρες, οι διοξίνες, οι αλκοόλες, το βενζόλιο κλπ.

Εκτός από τις διάφορες επιβλαβείς οργανικές ενώσεις, στα στραγγίσματα των ΧΥΤΑ εμπριέχεται και ένα ποσοστό βαρέων μετάλλων όπως: υδράργυρος, μόλυβδος, κάδμιο, χαλκός, ψευδάργυρος κ.α. Η ποσότητα αυτών εξαρτάται από το pH και από την ταχύτητα ροής των στραγγισμάτων.

Όπως προαναφέρθηκε είναι αρκετά δύσκολο να προσομοιωθούν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες δημιουργούνται και ρέουν τα στραγγίδια στους ΧΥΤΑ και έχει παρατηρηθεί πως στην πράξη αυτά εμφανίζονται στον πυθμένα πολύ ταχύτερα απ' ότι υποδεικνύουν οι διάφοροι υπολογισμοί, καθώς διατρέχουν μέσα από κανάλια διέλευσης που δημιουργούνται λόγω ανομοιογένειας των υλικών των διαφόρων στρώσεων. Επιπλέον είναι πιθανό να υπάρξει και το ακριβώς αντίθετο, δηλαδή πλευρική εκροή μέρους των στραγγισμάτων, λόγω χαμηλής περατότητας του υλικού των επικαλύψεων και του σώματος των συμπιεσμένων ΑΣΑ, που καθιστά αρκετά δύσκολη την πορεία των στραγγισμάτων προς τον πυθμένα, τα οποία μόλις συσσωρευτούν σε ένα επίπεδο και λόγω της πίεσης που υφίστανται, δεν έχουν άλλο τρόπο ροής παρά μόνο μέσω δημιουργίας οριζοντίων καναλιών.

### **3.5.2. Έλεγχος και διαχείριση στραγγισμάτων**

Ο έλεγχος η μεταφορά και η διαχείριση των στραγγισμάτων είναι μια αρκετά σημαντική διαδικασία, εφόσον έχει αποδειχτεί στην πράξη πως χωρίς σύστημα συλλογής και απομάκρυνσης αυτών, η μόνωση της βάσης σε ένα ΧΥΤΑ πιο πολύ βλάπτει παρά ωφελεί. Η συλλογή και μεταφορά πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνεται η ροή των στραγγισμάτων προς τα φρεάτια και κατόπιν να οδηγούνται στη μονάδα επεξεργασίας.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης στραγγισμάτων αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- Σύστημα εκτροπής επιφανειακών νερών
- Τελική κάλυψη του ΧΥΤΑ (σύνθεση και κλίση)
- Σύστημα φυσικής μόνωσης στον πυθμένα και στα πρηνή
- Σύστημα συλλεκτήριων αγωγών και αποστράγγισης, στη βάση του ΧΥΤΑ
- Σύστημα τεχνητής μόνωσης του πυθμένα και των πρηνών, ούτως ώστε η ποσότητα των στραγγιδίων που δεν είναι δυνατό να συλλεχθεί από τους



αγωγούς να μη βρίσκει διέξοδο προς το υπέδαφος και κατ' επέκταση προς τον υπόγειο υδάτινο ορίζοντα

- Σύστημα ανίχνευσης ροής στραγγισμάτων

Η διαχείριση των στραγγισμάτων μπορεί να γίνει είτε επιτόπου, με επανακυκλοφορία τους στο απορριμματικό ανάγλυφο του ΧΥΤΑ, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες που επικρατεί ξηρό κλίμα, είτε με προώθησή τους σε ειδικές εγκαταστάσεις καθαρισμού εντός ή εκτός του ΧΥΤΑ.

### **3.5.2.1. Σύστημα Αποστράγγισης και Συλλογής**

Το σύστημα συλλογής και αποστράγγισης αποτελείται: α) από ένα σύνολο διάτρητων αγωγών οι οποίοι τοποθετούνται σε επίπεδο λίγο πιο πάνω από τη μόνωση του πυθμένα του ΧΥΤΑ και β) από τη ζώνη αποστράγγισης η οποία τοποθετείται μεταξύ μόνωσης βάσης και αποβλήτων. Η ζώνη αποστράγγισης είναι μια στρώση πάχους τουλάχιστον 50 cm η οποία αποτελείται από χαλίκι ή άμμο (χρησιμοποιείται κυρίως υλικό διαμέτρου 6/32) και ο ρόλος της είναι να διευκολύνει την κίνηση των υγρών προς τους συλλεκτήριους αγωγούς αλλά και να προστατεύει αυτούς και το σύστημα μόνωσης που πυθμένα από τα χονδρόκοκκα υλικά που τυχόν να περιέχονται στα ΑΣΑ.

Το υλικό της αποστραγγιστικής ζώνης απαιτείται να είναι μηχανικώς και χημικώς σταθερό και η περιεκτικότητά του σε ανθρακικό ασβέστιο να είναι το πολύ ίση με το 20% του συνολικού βάρους, προς αποφυγή δημιουργίας σβόλων που ενδέχεται να καλύψουν (φράξουν) τις οπές των αγωγών ή να μειώσουν την υδροπερατότητα της ζώνης, η οποία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ των  $10^{-2}$  και  $10^{-3}$  m/sec.

Μεταξύ της ζώνης αποστράγγισης και της μόνωσης της βάσης, όπως έχει προαναφερθεί μπορεί να παρεμβάλλεται μια επιπλέον ζώνη προστασίας πάχους περίπου 10 cm από θραυστό υλικό διαμέτρου 8 mm, αλλά και γεωύφασμα πάχους 1,5 mm.

Σε ότι αφορά το σύστημα των συλλεκτήριων αγωγών τα ζητήματα σχεδίασης που καλείται να αντιμετωπίσει ο μηχανικός έχουν να κάνουν με τα εξής:

- Το είδος και το υλικό των αγωγών
- Το μέγεθος και την κλίση των αγωγών
- Την απόσταση μεταξύ αυτών
- Το μέγεθος της δεξαμενής συλλογής
- Το πάχος της ζώνης αποστράγγισης, το οποίο είναι συνήθως τουλάχιστον 50 cm

Οι αγωγοί πρέπει να έχουν κυκλική διατομή, να είναι σταθεροί και υδραυλικά αποδοτικοί καθώς και ανθεκτικοί σε χημικές ουσίες. Οι οπές των αγωγών συνήθως

καλύπτουν περίπου τα 2/3 της επιφάνειας και η ελάχιστη εσωτερική διάμετρος τους είναι 150 mm. Επιπλέον οι σωλήνες αυτοί θα πρέπει να είναι από στατικής άποψης σχεδιασμένοι ούτως ώστε να μην υφίστανται καμία στρέβλωση τόσο κατά το στάδιο κατασκευής, όσο και κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ. Το πιο σύνηθες υλικό στην κατασκευή των αγωγών και το οποίο πληροί τις παραπάνω προϋποθέσεις είναι το PVC ή το HDPE. Πρόκειται για πολυμερή πλαστικά τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες αντοχές και δεν φθείρονται εύκολα από χημικές ουσίες ενώ τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές τους παραμένουν σταθερά στο χρόνο.

Για το σχεδιασμό των αγωγών, ο οποίος ανάγεται στη διάταξη και στην απόσταση που θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους, αλλά και στη διαστασιολόγηση αυτών (πάχος και εσωτερική διάμετρος) ούτως ώστε να διασφαλίζεται: α) ικανοποιητική ροή των στραγγισμάτων στο εσωτερικό τους αλλά και β) αντοχή στις υπερκείμενες φορτίσεις, πρέπει να γίνουν τα ακόλουθα:

- Εκτίμηση της ποσότητας των στραγγισμάτων που ρέουν προς τους αγωγούς (προς τον κάθε αγωγό ξεχωριστά), βάση των συνθηκών στο σώμα των απορριμμάτων (υγρασία, θερμοκρασία και ταχύτητα βιοαποδόμησης) και της απόστασης που έχουν μεταξύ τους
- Ο υπολογισμός της απαιτούμενης εσωτερικής διαμέτρου κάθε αγωγού με βάση την αναμενόμενη ροή στραγγισμάτων προς αυτόν.
- Ο υπολογισμός της παροχής  $Q$  (ροή σε  $m^3/sec$ ) των στραγγισμάτων στο εσωτερικό του αγωγού, βάση της εσωτερικής ακτίνα αυτού (υδραυλική ακτίνα), της κλίσης και του εμβαδού της υγρής διατομής
- Ο προσδιορισμός της δυνατής ευελιξίας (όριο αντοχής θραύσης) σε οποιαδήποτε καταπόνηση, στατική ή δυναμική

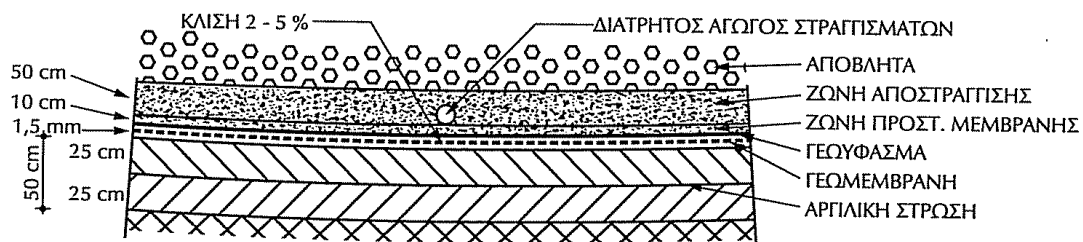
Τελικά η διαστασιολόγηση των αγωγών, εφόσον το πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι η εκτίμηση της ροής των υγρών προς αυτούς, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που προκύπτουν, παίρνοντας ως μέτρο τη βροχόπτωση μέγιστης διάρκειας και έντασης που καταγράφηκε την τελευταία εικοσαετία, λαμβανομένης υπόψη και της μορφολογίας του εδάφους της περιοχής (λεκάνη απορροής, κλπ).

Ένα σύστημα συλλογής στραγγισμάτων αποτελείται από τους αγωγούς απορρόφησης και από τους αγωγούς συλλογής και μεταφοράς προς τα φρεάτια. Οι αγωγοί αυτοί διαθέτουν οπές και η ελάχιστη εσωτερική διάμετρος είναι περίπου 100 με 150 mm. Πιο συγκεκριμένα οι διάτρητοι αγωγοί απορρόφησης, θα πρέπει να έχουν ελάχιστη διάμετρο  $\Phi=100mm$ , ενώ οι αγωγοί συλλογής στους οποίους οδηγούν τα στραγγίσματα οι αγωγοί απορρόφησης, θα πρέπει να έχουν ελάχιστη διάμετρο  $\Phi=300mm$  και μέγιστο μήκος 300m. Γενικά συνίσταται η τελική κλίση των αγωγών, να είναι τουλάχιστον 5% (σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΚΥΑ) και επιπλέον οι αποστάσεις μεταξύ αυτών, δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 40 m, ενώ ανά διαστήματα τουλάχιστον 300 m πρέπει να τοποθετείται φρεάτιο ελέγχου. Ιδιαίτερη

προσοχή πρέπει να δίνεται στις ενώσεις των αγωγών, έτσι ώστε να μην υπάρξουν διαρροές ή πιθανές αστοχίες.

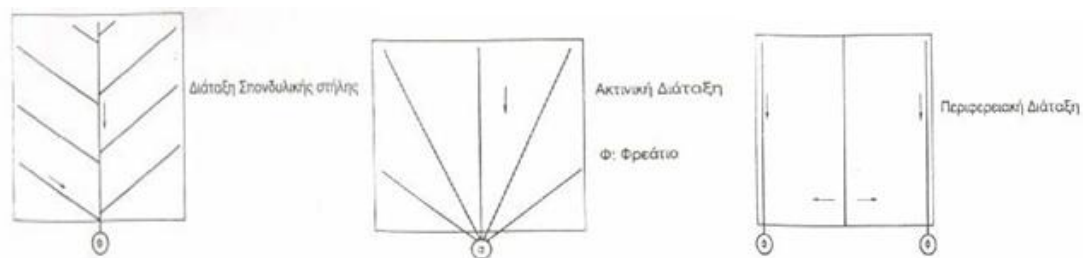
Ένα σύστημα συλλογής στραγγισμάτων μπορεί να αστοχήσει είτε από πλευράς στατικής καταπόνησης, είτε λόγω ανάπτυξης μικροοργανισμών στο εσωτερικό των σωλήνων, είτε λόγω καθίζησης εδαφικού υλικού σε αυτούς. Η αποφυγή κατακράτησης υλικού είναι ένας από τους λόγους που μελετάται η κλίση των αγωγών αλλά και η παροχή (ταχύτητα ροής) σε αυτούς. Ένα επιπλέον μέτρο προστασίας, προς αποφυγή εισροής εδαφικού υλικού στους σωλήνες είναι η τοποθέτηση γεωυφάσματος περιμετρικά αυτών και σε ορισμένη απόσταση ούτως ώστε να λειτουργεί ως φίλτρο. Περιμετρικά των αγωγών και μεταξύ αυτών και του φίλτρου μπορεί να τοποθετούνται σκύρα ως επιπλέον προστασία από τις φορτίσεις.

Οι αγωγοί αφού τοποθετηθούν (με ή χωρίς μόνωση) και ρυθμιστεί η διάταξή τους, οι προβλεπόμενες αποστάσεις και κλίσεις αυτών και αφού ολοκληρωθεί και η τοποθέτηση των φρεατίων, περιβάλλονται από το λεπτόκοκκο υλικό (χαλίκι και άμμος) της ζώνης αποστράγγισης, η οποία όπως προαναφέρθηκε διευκολύνει τη ροή των στραγγισμάτων και προστατεύει τους αγωγούς φιλτράροντας τα μεγαλύτερα τεμάχια ΑΣΑ που συμπαρασύρουν τα στραγγίσματα.



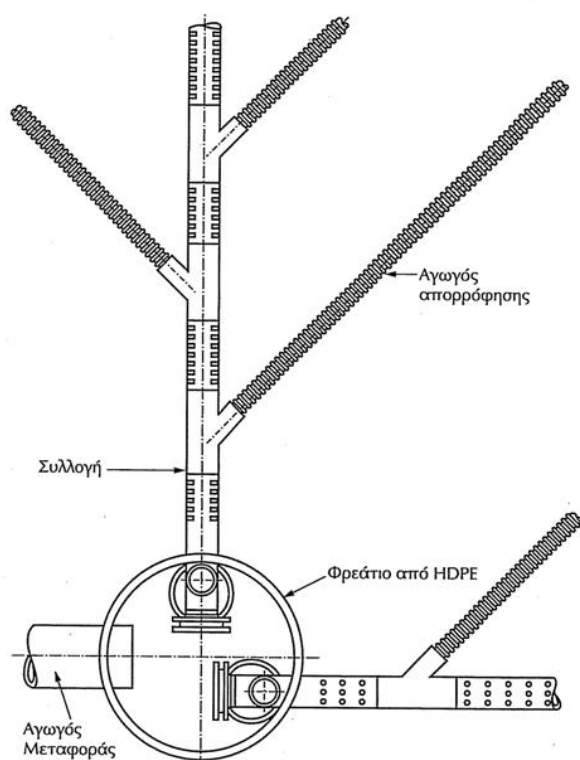
Εικόνα 3.12\_ Θέση αγωγού σε τομή και διάταξη στρώσεων ΧΥΤΑ [3]

Η διάταξη των αγωγών στο επίπεδο μπορεί να είναι είτε σε σχήμα (σπονδυλικής στήλης), είτε ακτινική, είτε περιφερειακή.



Εικόνα 3.13\_μορφές διάταξης αγωγών αποστράγγισης στο επίπεδο [3]

Οι αγωγοί απορρόφησης οδηγούν τα στραγγίσματα στους σωλήνες συλλογής και αυτοί καταλήγουν στα φρεάτια περισυλλογής όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 3.14\_ Σύστημα συλλογής στραγγισμάτων (σπονδυλικής στήλης) [3]

### 3.5.2.2. Επεξεργασία Στραγγισμάτων

Σύμφωνα με δειγματοληπτικούς ελέγχους για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των στραγγισμάτων, προκύπτει πως το ρυπαντικό φορτίο που περιέχουν είναι δέκα φορές μεγαλύτερο απ' αυτό που υπάρχει στα συνήθη αστικά λύματα. Η παρουσία τοξικών ουσιών στα στραγγίσματα δυσχεραίνει τη βιολογική τους επεξεργασία και η διακύμανση τόσο των ποσοτικών όσο και των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους, καθιστά δύσκολη την εύρεση ενός αποδοτικού συστήματος επεξεργασίας.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι επεξεργασίας στραγγισμάτων που χρησιμοποιούνται, διακρίνονται στις βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου βασίζεται ουσιαστικά σε μια σειρά περιβαλλοντικών, τεχνολογικών και οικονομικών κριτηρίων, ενώ δεν είναι σπάνια η περίπτωση συνδυασμού διεργασιών.

Βιολογικές διεργασίες ονομάζονται οι ακόλουθες:

- Χρήση αεριζόμενων δεξαμενών

- Σύστημα ενεργού ιλύος
- Βιολογικά φίλτρα

Αναφορικά με τις βιολογικές διεργασίες, αυτές βασίζονται στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών που αιωρούνται στα στραγγίσματα με τη βοήθεια μικροοργανισμών, κάτω από αερόβιες συνθήκες (χρήση αεριζόμενων δεξαμενών) ή αναερόβιες συνθήκες (απουσία οξυγόνου). Ως επί το πλείστον εφαρμόζονται οι μέθοδοι ενεργού ιλύος και βιολογικών φίλτρων. Υπάρχει η δυνατότητα επίσης, τα στραγγίσματα μετά από μια προεπεξεργασία να διατεθούν σε μονάδα βιολογικού καθαρισμού και να επεξεργαστούν μαζί με τα λύματα, αν βέβαια κάτι τέτοιο προβλέπεται στη μελέτη του βιολογικού καθαρισμού, εφόσον συγκριτικά με τα λύματα, τα στραγγίσματα είναι πολύ πιο τοξικά και παρουσιάζουν υψηλές τιμές σε χλώριο, κάλιο, νάτριο και μαγνήσιο.

*Φυσικοχημικές ονομάζονται οι ακόλουθες διεργασίες[4]:*

- Μέθοδος Καθίζησης
- Προσρόφηση με ενεργό άνθρακα
- Εξάτμιση (χρήση εναλλάκτη θερμότητας)
- Χημική οξείδωση
- Επεξεργασία με μεμβράνες (αντίστροφη όσμωση)

1) Η 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) Η προσρόφηση σε φίλτρα ενεργού άνθρακα αποτελεί συνήθως μέρος της επεξεργασίας των στραγγισμάτων. Η όλη μέθοδος βασίζεται στις φυσικοχημικές ιδιότητες του ενεργού άνθρακα, χάρις στις οποίες επιτυγχάνεται μείωση του δείκτη COD (χημική απαίτηση σε οξυγόνο) και των οργανικών αλογονούχων ενώσεων. Επιπλέον η μέθοδος αυτή συμφέρει οικονομικά λόγω της αναγέννησης του ενεργού άνθρακα. Σε περίπτωση που δε μπορούν να αναγεννηθούν τα φίλτρα από ενεργό άνθρακα, τότε αυτά διατίθενται με τη μέθοδο ελεγχόμενης εναπόθεσης σε μονάδες επικίνδυνων αποβλήτων, διαφορετικά καίγονται σε εγκεκριμένες μονάδες καύσης. Η τελική διάθεση των φίλτρων ενεργού άνθρακα και η αντικατάσταση με καινούρια δεν αποφεύγεται αργά ή γρήγορα, εφόσον κατά την αναγέννησή αυτών, χάνεται τουλάχιστον το 20% του ενεργού άνθρακα.

3) Η μέθοδος της εξάτμισης είναι αρκετά δαπανηρή και χρησιμοποιείται μόνο όταν η περιεκτικότητα των στραγγισμάτων σε άλατα είναι πάρα πολύ μεγάλη.

4) Η χημική οξείδωση (Φωτοκατάλυση) επιτυγχάνεται με χρήση καταλυτών, όπως ιόντα του Fe<sup>+3</sup> και οξαλικό άλας (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ο συνδυασμός των οποίων παρουσία φωτός αποτελεί δραστικό οξειδωτικό παράγοντα με τη βοήθεια του οποίου μπορεί να

επιτευχθεί σημαντική μείωση του COD. Η μέθοδος της οξείδωσης διεξάγεται σε συνθήκες χαμηλού pH (3-4). Τα αντιδραστήρια δεν πρέπει να έρθουν σε επαφή με το φως πριν την ανάμειξή τους με τα στραγγίσματα.

5) Η επεξεργασία με μεμβράνες ή αντίστροφη όσμωση βασίζεται στην περατότητα και την ικανότητα φιλτραρίσματος των μεμβρανών. Κανονικά σε ένα σύστημα επεξεργασίας, όταν μεταξύ στραγγισμάτων και νερού υπάρχει μια ημιπερατή μεμβράνη, λόγω διαφορετικής πυκνότητας και επομένως υδροστατικής πίεσης, θα παρατηρηθεί μετακίνηση των μορίων του νερού προς τα στραγγίσματα μέχρις ότου η υδροστατική πίεση να εξισωθεί με την οσμωτική. Στην περίπτωση όμως που από τη μεριά των στραγγισμάτων υπάρξει πρόσθετη πίεση (3 έως 90 bar), τότε η ροή παρατηρείται από τα στραγγίσματα προς το νερό (αντίστροφη όσμωση).

Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μεν απαλλαγή των στραγγισμάτων από επιβλαβείς ενώσεις, παραμένει όμως μια ποσότητα 15 – 25% του όγκου των στραγγισμάτων, η οποία έχει μέχρι και δέκα φορές μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άλατα και η οποία πρέπει να διατεθεί.

#### Συνδυασμός φυσικοχημικής και βιολογικής επεξεργασίας

Η επεξεργασία των στραγγισμάτων μπορεί να επιτευχθεί και με συνδυασμό φυσικοχημικής και βιολογικής επεξεργασίας. Σε αυτή την περίπτωση η εγκατάσταση θα πρέπει να αποτελείται από μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας και μια μονάδα φυσικής και χημικής επεξεργασίας η οποία προβλέπεται να περιλαμβάνει: μονάδα προσρόφησης με ενεργό άνθρακα, μονάδες καθίζησης με άλατα σιδήρου και πολυμερή, καθώς και μονάδα εξουδετέρωσης με ασβέστη.

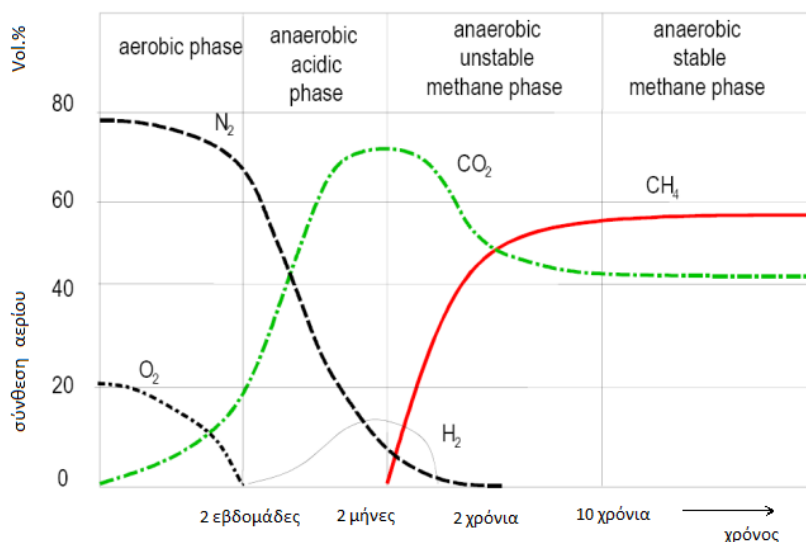
### **3.6. Έλεγχος και διαχείριση Βιοαερίου**

#### **3.6.1. Παραγωγή Βιοαερίου**

Στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ παρατηρούνται βιολογικές, φυσικές και χημικές διεργασίες οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα την γήρανση, την αποσάθρωση των ΑΣΑ, αλλά και τη δημιουργία στραγγισμάτων και αερίων (βιοαέριο) καθώς το οργανικό κλάσμα σιγά – σιγά βιοδιασπάται.

Γενικά το βιοαέριο και τα στραγγίσματα είναι οι κυριότεροι ρυπαντικοί παράγοντες που απασχολούν την διαχείριση ΑΣΑ μέσω υγειονομικής ταφής και για τους οποίους προκύπτει η ανάγκη να ελεγχθούν. Σε ότι αφορά το βιοαέριο, μετά τη συλλογή και μεταφορά σε ειδικές μονάδες, είναι δυνατή η αξιοποίησή του για παραγωγή ενέργειας, μετά από ορισμένη επεξεργασία.

Η διαδικασία μέσω της οποίας τα οργανικά υλικά βιοαποδομούνται στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ παράγοντας αέρια μπορεί να διακριθεί σε πέντε φάσεις: 1) στη φάση αερόβιας αποδόμησης, 2) στη μεταβατική φάση, 3) στη φάση όξινης ζύμωσης (αναερόβια φάση), 4) στη φάση της μεθανιογένεσης και 5) στη φάση της ωρίμανσης.



Εικόνα 3.15\_Φάσεις παραγωγής βιοαερίου στον ΧΥΤΑ [26]

### 1) Φάση αερόβιας αποδόμησης

Κατά τη φάση της αερόβιας αποδόμησης, η οργανική ύλη που εμπεριέχεται στα ΑΣΑ, υφίσταται βιολογική αποδόμηση υπό συνθήκες παρουσίας οξυγόνου. Το οξυγόνο προέρχεται από τη μικρή σχετικά ποσότητα παγιδευμένου αέρα που βρίσκεται στην απορριμματική μάζα, ενώ κύρια πηγή των μικροοργανισμών που συντελούν στη βιοαποδόμηση, είναι το υλικό κάλυψης των στρώσεων και τα υγρά που ρέουν δια μέσω των αποβλήτων. Κατά το τέλος της αερόβιας φάσης παράγεται αέριο που έχει αρκετά υψηλό ποσοστό CO<sub>2</sub> και το οποίο καθώς διαλύεται στα ρέοντα υγρά, τα μετατρέπει σε όξινα.

### 2) Μεταβατική Φάση

Κατά τη φάση αυτή το οξυγόνο που βρίσκεται στην απορριμματική μάζα εξαντλείται σταδιακά καθώς χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς μέσω των οποίων η οργανική ύλη διασπάται σε CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> και σε διάφορα πτητικά οξέα.

### 3) Φάση όξινης ζύμωσης (αναερόβια φάση)

Κατά τη φάση αυτή, τα πολυμερή (λιπίδια, πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες) της οργανικής ύλης, μετατρέπονται σε προϊόντα με χαμηλό μοριακό βάρος (αμινοξέα,

λίπη, υδρογονάνθρακες) με τη δράση βακτηριδίων (υδρόλυση) και την ταυτόχρονη παρουσία ενζύμων. Στη συνέχεια μέσω της διαδικασίας της ζύμωσης (αναγωγή) παράγονται ενώσεις όπως είναι το οξικό οξύ, οι οποίες αποτελούν πρόδρομες ενώσεις του μεθανίου, όπως επίσης CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, και αλκοόλες.

#### 4) Φάση μεθανιογένεσης

Η μεθανιογένεση λαμβάνει χώρα κατά τη μετατροπή του οξικού οξέος, του CO<sub>2</sub> και του H<sub>2</sub>, υπό αναερόβιες συνθήκες με τη βοήθεια μικροβίων, σε CH<sub>4</sub> (μεθάνιο) και CO<sub>2</sub>. Η αναλογία διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου κατά το τέλος αυτής της φάσης είναι 45/55.

#### 5) Φάση Ωρίμανσης

Η διαδικασία της μεθανιογένεσης συνεχίζεται καθώς η κυκλοφορία του νερού στην απορριμματική μάζα, καθιστά δυνατή τη διάθεση της οργανικής ύλης και τη μετατροπή μέρους αυτής σε CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub> που αποτελούν και τα κύρια συστατικά του βιοαερίου. Καθώς προχωράει η διαδικασία της βιοαποδόμησης, η παραγωγή βιοαερίου σταδιακά μειώνεται λόγω εξάντλησης των θρεπτικών ενώσεων (που έχουν συμμετάσχει στις αντιδράσεις) ή απομάκρυνση αυτών, καθώς διαλύονται στα στραγγίσματα που κυλούν προς τον πυθμένα όπου και συλλέγονται. Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει την άμεση βιοαποδόμηση της απομένουσας οργανικής ύλης, εκτός κι αν προβλέπεται ράντισμα της απορριμματικής μάζας με τα στραγγίσματα που έχουν ήδη συλλεχθεί, διεργασία που αποτελεί τρόπο επεξεργασίας των στραγγισμάτων και επιπλέον βοηθά στη γρηγορότερη ολοκλήρωση της βιοαποδόμησης του οργανικού κλάσματος.

#### Πίνακας 3.2\_Σύνθεση αερίων ΧΥΤΑ

Συστατικό	Περιεκτικότητα (% ξηρού όγκου)
Μεθάνιο	45 – 60
Διοξείδιο του άνθρακα	40 – 60
Άζωτο	2,0 – 5,0
Οξυγόνο	0,10 – 1,0
Αμμωνία	0,10 – 1,0
Υδρογόνο	0 – 0,20
Μονοξείδιο του άνθρακα	0 – 0,20

#### Βιοαέριο

Θεωρητικά από έναν τόνο ΑΣΑ, ανάλογα και με τη σύνθεσή τους, μπορούν να παραχθούν από 120 μέχρι 400 m<sup>3</sup> βιοαερίου. Η συλλογή και αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τους μελετητές, όμως



ακόμα και σε πολύ καλά οργανωμένους ΧΥΤΑ μόλις το 35% αυτού μπορεί να αντληθεί. Η θερμοκρασία του βιοαερίου κυμαίνεται μεταξύ 38 και 50 °C, ενώ η θερμογόνος δύναμη αυτού φτάνει ακόμα και τα 20000 KJ/m<sup>3</sup>, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για την παραγωγή ενέργειας και την αξιοποίησή της ως θερμική ή ηλεκτρική.

Η άντληση του βιοαερίου μπορεί να συνεχίζεται για κάποια χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, μέχρι την ολοκλήρωση της διαδικασίας της βιοαποδόμησης, όπου καθίσταται και πλήρη αδρανοποίηση της απορριμματικής μάζας. Σταδιακά με την πάροδο των χρόνων η παραγωγή του βιοαερίου φθίνει, είναι αρκετά δύσκολο όμως να προσδιοριστεί κατ' ακρίβεια ο χρόνος που θα σταματήσει εντελώς η παραγωγή.

Γενικά τα οργανικά υλικά που εμπεριέχονται στα ΑΣΑ, διακρίνονται σε ταχέως και βραδέως βιοαποδομήσιμα. Στα πρώτα ανήκουν κυρίως τα τροφικά υπολείμματα, το χαρτί και τα υπολείμματα από διάφορες οικιακές εργασίες, ενώ ως βραδέως βιοαποδομήσιμα υλικά θεωρούνται τα υφάσματα, τα λάστιχα και τα ξύλα. Τα ταχέως βιοαποδομήσιμα υλικά αποσυντίθενται πλήρως εντός μερικών ετών από τη στιγμή της διάθεσής τους (περίπου 6 χρόνια). Η παραγωγή βιοαερίου από τα TB (ταχέως βιοαποδομήσιμα) αρχίζει μέσα στον πρώτο χρόνο της διάθεσής τους, ενώ φθάνει τη μέγιστη τιμή της, περίπου ένα χρόνο μετά την έναρξη της παραγωγής. Μπορεί να υποθεθεί πως χρειάζονται περίπου έξι χρόνια για να σταματήσει η παραγωγή μεθανίου.

Σε ότι αφορά τώρα τα BB (βραδέως βιοαποδομήσιμα), η παραγωγή μεθανίου αγγίζει τη μέγιστη τιμή της περίπου στα 5 – 7 χρόνια από τη στιγμή της διάθεσης, ενώ σταματάει περίπου μετά από 20 ή και περισσότερα χρόνια.

Αναφορικά με τη σύστασή του τώρα, το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, και οι αναλογίες που αυτά συνήθως συναντώνται είναι: 35 – 65% CH<sub>4</sub> και 65 – 35% CO<sub>2</sub>, ενώ το ποσοστό του περιεχόμενου O<sub>2</sub> κυμαίνεται μεταξύ 3,5 – 5,5%.

**Πίνακας 3.3\_ Διακύμανση βασικότερων στοιχείων βιοαερίου**

Στοιχείο	Περιεκτικότητα
Μεθάνιο	0 – 85% (κατ' όγκο)
Διοξείδιο του άνθρακα	0 – 88% (κατ' όγκο)
Μονοξείδιο του άνθρακα	0 – 3% (κατ' όγκο)
Υδρογόνο	0 – 3,6% (κατ' όγκο)
Οξυγόνο	0 – 32% (κατ' όγκο)
Άζωτο	0 – 83% (κατ' όγκο)
Αμμωνία	100 ppm

Στο βιοαέριο επίσης περιέχονται και διάφορες θειικές ενώσεις, αλλά σε πολύ μικρό ποσοστό. Σε περίπτωση που η περιεκτικότητα σε θειικά είναι μεγαλύτερη, αυτό αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για τη μεθανιογένεση. Γενικά οι ιδανικές συνθήκες για τη δημιουργία μεθανίου είναι: pH (6 – 8) και αλκαλικότητα 2000mg CaCO<sub>3</sub>/l (kotze). Ενώ η ιδανική θερμοκρασία στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ, για παραγωγή βιοαερίου είναι 30 – 40 °C.

Σε ότι αφορά τη διαμόρφωση του ΧΥΤΑ και τη δυνατότητα παρέμβασης του μηχανικού στη διαδικασία παραγωγής αερίων, οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν περισσότερο την μεθανιογένεση είναι:

- Η τελική κάλυψη και ο βαθμός ελέγχου ροής του νερού στο σώμα των απορριμμάτων
- Το ύψος της απορριμματικής μάζας, συμβάλει θετικά στην παραγωγή μεθανίου
- Η επανακυκλοφορία της υγρασίας, μέσω ραντίσματος των ΑΣΑ με τα στραγγίσματα που έχουν ήδη συλλεχθεί, συμβάλει θετικά στην παραγωγή μεθανίου (έτσι η διαδικασία της μεθανιογένεσης δε διακόπτεται κατά την πέμπτη φάση, αλλά αρχίζει εκ νέου από τη στιγμή του ραντίσματος).

### **3.6.2. Συστήματα άντλησης βιοαερίου**

Το μεθάνιο που αποτελεί κύριο συστατικό του βιοαερίου και ένα από τα κυριότερα αέρια θερμοκηπίου, έχει μικρότερη πυκνότητα από τον αέρα, με αποτέλεσμα σε περίπτωση διαφυγής από το σύστημα μόνωσης του ΧΥΤΑ, καθώς ρέει οριζοντίως, να είναι εύκολη η εξάπλωσή του είτε μέσω της ατμόσφαιρας, είτε μέσω του εδάφους, μολύνοντας τις γύρω περιοχές ακόμα και σε ακτίνα χιλιομέτρων. Στόχος του συστήματος διαχείρισης βιοαερίου είναι σε πρώτη φάση ο έλεγχος των επιβλαβών αερίων (όπως είναι το μεθάνιο) και σε δεύτερη η μεταφορά και επεξεργασία αυτού προς ανάκτηση ενέργειας. Για τους παραπάνω λόγους, στην όλη διαδικασία διαχείρισης βιοαερίου, καθοριστικοί είναι παράγοντες όπως: η αποτελεσματική μόνωση πυθμένα και πρανών, η σωστή μελέτη – κατασκευή και λειτουργία του συστήματος συλλογής και μεταφοράς και η δυνατότητα τακτικών ελέγχων και συντήρησης του όλου συστήματος απαερίωσης.

Μπορούν να διακριθούν δύο συστήματα συλλογής και μεταφοράς βιοαερίου: το παθητικό σύστημα, στο οποίο η απαερίωση βασίζεται στις υπάρχουσες στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ συνθήκες πίεσης και στο ενεργητικό σύστημα, όπου στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων δημιουργούνται συνθήκες υποπίεσης με διάφορους τρόπους, για ταχύτερη και πιο αποτελεσματική άντληση και μεταφορά.

Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής και μεταφοράς βιοαερίου είναι απαραίτητο εκτός από τους συλλεκτήριους αγωγούς και τους αγωγούς μεταφοράς, να εμπεριέχονται και συστήματα αφύγρανσης και επεξεργασίας ή συστήματα καύσης (εφόσον η αξιοποίηση του βιοαερίου δεν αποτελεί στόχο), αλλά και συστήματα παρακολούθησης και ρύθμισης της λειτουργίας, για περίπτωση εκροών.

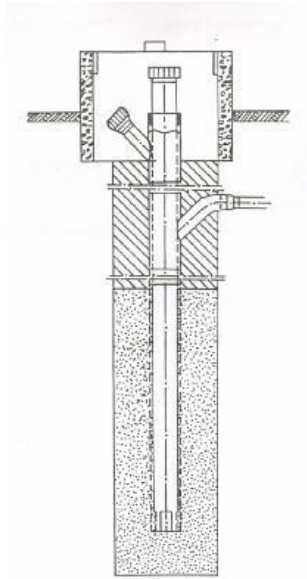
Ένα σύστημα συλλογής βιοαερίου μπορεί να αποτελείται από:

- Θύλακες άντλησης, που είναι στην ουσία φρεάτια γεμάτα από χονδρόκοκκο υλικό τα οποία μετά το «κλείσιμο» του ΧΥΤΑ, ανοίγονται και με τη βοήθεια αντλιών συλλέγεται το βιοαέριο.
- Τις οριζόντιες τάφρους, οι οποίες είναι οριζόντιες στρώσεις χονδρόκοκκου υλικού που τοποθετούνται συνήθως πριν τη μόνωση της επιφάνειας, με σκοπό να εγκλωβίσουν μέρος του παραγόμενου βιοαερίου.
- Κάθετους και οριζόντιους συλλεκτήριους αγωγούς αερίων
- Συνδυασμό δύο ή περισσότερων μεθόδων συλλογής βιοαερίου

#### Κάθετοι (κατακόρυφοι) συλλέκτες αερίων

Οι κάθετοι συλλέκτες αερίων εμφανίζονται υπό μορφή φρεατίου ή στήλης από χαλίκι, που λόγω της οριζόντιας ροής του βιοαερίου με κατάλληλη διάταξη αυτών (ορισμός αποστάσεων), είναι δυνατή η άντληση των παραγόμενων αερίων απ' όλο το σώμα του ΧΥΤΑ. Τα κατακόρυφα αυτά στοιχεία εκτείνονται από το επίπεδο της βάσης μέχρι την επιφάνεια των εγκαταστάσεων, λαμβανομένων υπόψη και των μέτρων προφύλαξης της γεωμεμβράνης πυθμένα, αλλά και των μέτρων για αποφυγή διασκορπισμού αερίου από την επιφάνεια και δημιουργίας οσμών. Σε ότι αφορά τη διάταξη των συλλεκτήριων αγωγών και τον ορισμό των κατάλληλων αποστάσεων για πιο αποτελεσματική συλλογή βιοαερίου, σε καμία περίπτωση η ακτίνα επιρροής αυτών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 30m.

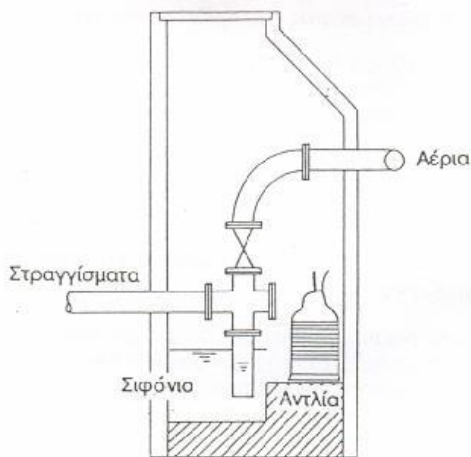
Στο κέντρο κάθε στήλης από χονδρόκοκκο υλικό, που συνήθως είναι χαλίκι διαμέτρου 32/64, βρίσκεται τοποθετημένος κατακόρυφος διάτρητος αγωγός από πλαστικό (PVC ή HDPE) διαμέτρου τουλάχιστον 150 mm. Οι συλλέκτες αυτοί συνεχίζουν να λειτουργούν ακόμα και χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ. Συνήθως για πρακτικούς λόγους και λόγους ελέγχου καθιζήσεων, χρησιμοποιούνται αγωγοί μορφής «τηλεσκοπίου».



Εικόνα 3.16\_ Κάθετος συλλέκτης βιοαερίου, όπου διακρίνεται ο διάτρητος αγωγός στη μέση, το υλικό πλήρωσης, η σύνδεση αγωγού μεταφοράς (πάνω δεξιά) και το σύστημα ελέγχου [3]

Σε υφιστάμενους χώρους ταφής αποβλήτων, που δεν έχει προβλεφθεί σύστημα διαχείρισης βιοαερίου, για το σκοπό αυτό γίνονται γεωτρήσεις και ακολουθεί τοποθέτηση του αγωγού συλλογής, με προσοχή ούτως ώστε να μην υπάρξει διάτρηση της μόνωσης του πυθμένα. Σε περίπτωση επίσης που ο ΧΥΤΑ δε διαθέτει ούτε σύστημα συλλογής στραγγισμάτων, το φρεάτιο θα πρέπει να έχει ικανή διάμετρο ώστε να μπορεί να συμπεριληφθεί και σύστημα συλλογής στραγγισμάτων με αντλία.

Στα φρεάτια συλλογής, είτε αυτά γίνονται εκ των υστέρων με γεωτρήσεις, είτε έχουν προβλεφθεί από τη μελέτη, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση ο αγωγός συλλογής αερίων να έρχεται σε επαφή με το σύστημα συλλογής στραγγισμάτων στη βάση του χώρου, γιατί δημιουργούνται συνθήκες που επηρεάζουν τη ροή των στραγγισμάτων και το ισοζύγιο ασβεστίου – ανθρακικού οξέος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σβόλων που φράζουν τους αγωγούς στραγγισμάτων.



Εικόνα 48.17\_ Φρεάτιο συλλογής αερίων και στραγγισμάτων, όπου υπάρχει ειδική βαλβίδα ρύθμισης της ροής [3]

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιοχές άντλησης βιοαερίου και να λαμβάνονται οι απαραίτητοι περιορισμοί, έτσι ώστε να αποφεύγονται πιθανές εκρήξεις λόγω διαρροής μεθανίου.

#### Οριζόντιοι αγωγοί συλλογής αερίων

Εκτός από τους κάθετους συλλεκτήριους αγωγούς, μπορεί να εφαρμοστεί και σύστημα οριζόντιων διάτρητων αγωγών συλλογής αερίων, οι οποίοι περιβάλλονται και αυτοί από χονδρόκοκκο υλικό διαμέτρου 32/64 και έχουν κλίση τουλάχιστον 5%. Κοντά στα πρηνή οι οριζόντιοι αγωγοί δε διαθέτουν σπές, γιατί υπάρχει ο κίνδυνος άντλησης αέρα, κάτι που πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγεται.

#### Συνδυασμός συστημάτων συλλογής βιοαερίου

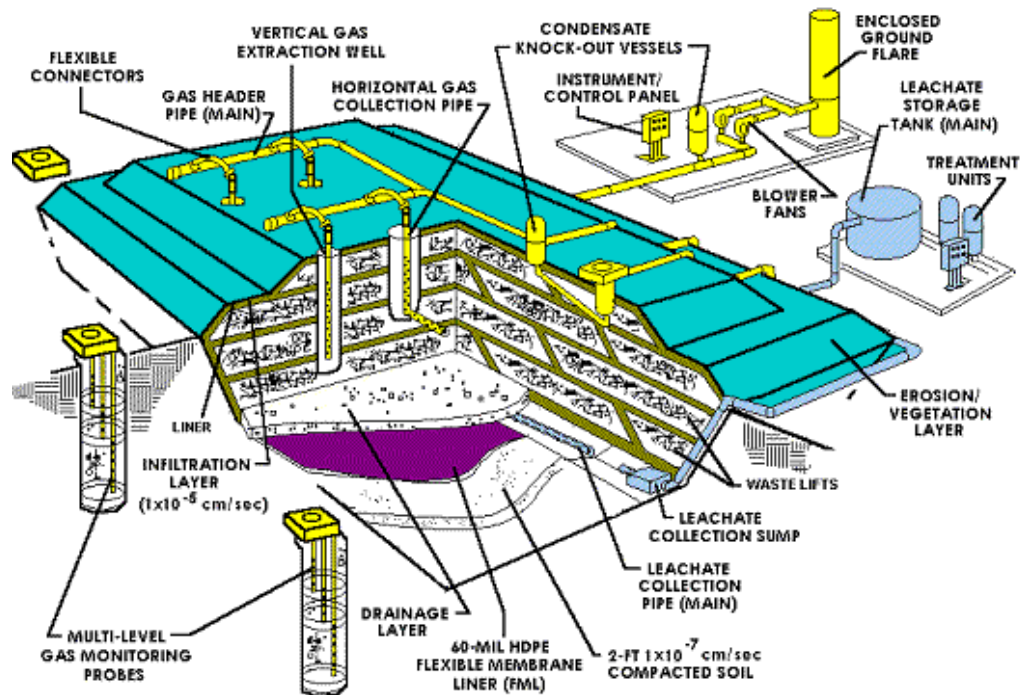
Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων συστημάτων συλλογής (συμπεριλαμβανομένων των κατακόρυφων στοιχείων) είναι και ο πλέον ενδεδειγμένος και αποτελεσματικός. Είναι στην ευχέρεια του μηχανικού να επιλέξει τον κατάλληλο συνδυασμό συστημάτων, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του χώρου και τις απαιτήσεις του έργου. Επιπλέον ένα πολύ σημαντικό υποσύστημα της διαχείρισης βιοαερίου, είναι αυτό της εξαερίωσης προς αποφυγή συγκέντρωσης θυλάκων αερίου στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ. Για το λόγο αυτό κατασκευάζονται ανοίγματα των 2m (μήκος) τα οποία καλύπτονται με βιοφίλτρο (κομπόστ), μέσω των οποίων μπορούν να διαφύγουν τα αέρια που δεν έχουν αντληθεί από το σύστημα, περνώντας παράλληλα από σύστημα βιολογικής επεξεργασίας, καθώς το βιοφίλτρο παγιδεύει τα επικίνδυνα στοιχεία.

### 3.6.3. Συστήματα μεταφοράς και ρύθμισης βιοαερίου

Τα αέρια που αντλούνται και ρέουν στους αγωγούς κατά τη μεταφορά τους, δημιουργούν εναλλαγές στη θερμοκρασία οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υδρατμών και συμπυκνωμάτων μέσα σε αυτούς. Γενικά τα συμπυκνώματα προκύπτουν λόγω ψύξης της αέριας μάζας και καθιζάνουν στις ενώσεις των αγωγών (όπου σχηματίζονται γωνίες) και στα σημεία όπου οι αγωγοί έχουν λυγίσει λόγω καθιζήσεων. Εκτιμάται πως κατά τη συλλογή και μεταφορά, για κάθε (m<sup>3</sup>) βιοαερίου, παράγονται 100g υγρού (100g/m<sup>3</sup>). Γίνεται επομένως αντιληπτό, πως για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς βιοαερίου, ενδέχεται να προβλέπονται ειδικά αποστραγγιστικά συστήματα. Σε διαφορετική περίπτωση, τα συμπυκνώματα και τα υπόλοιπα υγρά καθιζάνουν κυρίως μέσα στα φρεάτια άντλησης.

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος που μπορεί να προκύψει κατά τη μεταφορά του βιοαερίου μέσω των αγωγών, είναι μια ενδεχόμενη έκρηξη λόγω διαφυγής βιοαερίου στην ατμόσφαιρα. Έκρηξη μπορεί να δημιουργηθεί, είτε εξαιτίας ύπαρξης ανοιχτής φλόγας στην περιοχή της διαρροής, είτε σε περίπτωση δημιουργίας εκρηκτικού μείγματος μεθανίου – αέρα, καθώς το μεθάνιο αν βρεθεί σε αναλογία μεταξύ 5 – 15% κατ' όγκο στον αέρα ,αναφλέγεται απότομα. Επιπλέον είναι πιθανό να προκληθεί έκρηξη εξαιτίας καθίζησης και εισροής αέρα στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ, μέσω ρηγματώσεων. Οι αγωγοί μεταφοράς βιοαερίου συνίσταται να είναι υπόγειοι, ενώ κατά την κατασκευή του δικτύου, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα σημεία σύνδεσης, όπου εκεί είναι πιθανότερο να προκύψει διαρροή. Σε περίπτωση που είναι αδύνατη η κατασκευή υπόγειου δικτύου μεταφοράς, τότε οι υπέργειοι αγωγοί θα πρέπει οπωσδήποτε να καλύπτονται.

Για την αποφυγή ατυχημάτων, πρέπει να υπάρχει σύστημα παρακολούθησης και ρύθμισης της ροής του βιοαερίου, έτσι ώστε να είναι δυνατό να σταματήσει η λειτουργία της εγκατάστασης πριν δημιουργηθεί εκρηκτικό μείγμα μεθανίου – αέρα. Συνήθως στην κεφαλή των συστημάτων άντλησης υπάρχει μια βαλβίδα ή δικλείδα για το σκοπό αυτό, ενώ το σύστημα παρακολούθησης δύναται να παρέχει πληροφορίες μέσω δειγματοληψιών, για την ποιοτική σύσταση του βιοαερίου, που αφορά κυρίως την περιεκτικότητά του σε μεθάνιο, οξυγόνο, άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα. Για παράδειγμα όταν η αναλογία οξυγόνου/αζώτου στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ μετρηθεί ίδια με αυτή της ατμόσφαιρας, αυτό σημαίνει ότι κάπου υπάρχει αστοχία του συστήματος μεταφοράς και εισροή αέρα. Ενώ όταν το ποσοστό του οξυγόνου μετρηθεί αρκετά μικρότερο από το αναμενόμενο, αυτό μπορεί να σημαίνει αστοχία στο σύστημα μόνωσης της επιφάνειας και δημιουργία συνθηκών αερόβιας αποδόμησης (χρησιμοποιείται οξυγόνο) λόγω εισροής αέρα στο εσωτερικό της απορριμματικής μάζας.



Εικόνα 3.18\_ Τομή ΧΥΤΑ όπου διακρίνονται κυρίως τα φρεάτια άντλησης βιοαερίου και το σύστημα μεταφοράς και διαχείρισης [50]

Οι αγωγοί μεταφοράς προβλέπεται να έχουν πάχος τουλάχιστον 10 mm και η εσωτερική τους διάμετρος να υπερβαίνει τα 100 mm, ενώ συνιστάται να είναι τοποθετημένοι υπό κλίση μεγαλύτερη από 5%. Το υλικό κατασκευής αυτών, είναι συνήθως πλαστικό πολυμερές (PVC ή HDPE) το οποίο παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα στην επίδραση διαφόρων διαβρωτικών χημικών ενώσεων. Η μεταφορά του βιοαερίου στις κεντρικές εγκαταστάσεις συλλογής και επεξεργασίας ή καύσης, γίνεται κυρίως με τρεις τρόπους: α) με μεμονωμένους αγωγούς που μεταφέρουν απευθείας τα αέρια, από το φρεάτιο άντλησης στις εγκαταστάσεις συλλογής, β) με διάταξη αγωγών που μεταφέρει το βιοαέριο πρώτα σε ενδιάμεσους σταθμούς και γ) με σύστημα μορφής δακτυλίου, όπου το βιοαέριο αντλείται από τα φρεάτια και ρέει σε σύστημα αγωγών περιμετρικά αυτών, προς τις εγκαταστάσεις συλλογής.

#### 3.6.4. Καθαρισμός - επεξεργασία και χρήση βιοαερίου

Ένα από τα χαρακτηριστικά του βιοαερίου που το καθιστούν κατάλληλο για παραγωγή ενέργειας είναι η μεγάλη θερμογόνο δύναμη που αυτό έχει. Για να επιτευχθεί οποιαδήποτε αξιοποίηση του βιοαερίου ή να διατεθεί αυτό στην ατμόσφαιρα εκτός από μείωση της υπάρχουσας σε υγρασίας, είναι απαραίτητο πρώτον να απαλλαγεί από διάφορες επιβλαβείς ενώσεις όπως είναι: το υδρόθειο ( $H_2S$ ), οι υδρογονάνθρακες (ιδιαίτερα οι χλωριωμένοι και φθοριωμένοι) και δεύτερο να διαχωριστεί το μεθάνιο από το διοξείδιο του άνθρακα.

Αν ενδιαφέρει το μελετητή η αξιοποίηση του βιοαερίου για ανάκτηση ενέργειας, τότε θα πρέπει να προβλέπεται επεξεργασία αυτού με συστήματα όπως: α) προσρόφηση με ενεργό άνθρακα και β) απορρόφηση με νερό ή άλλα διαλύματα. Σε περίπτωση που στόχος είναι μόνο ο περιορισμός της μόλυνσης της ατμόσφαιρας από τις ρυπαντικές ενώσεις του βιοαερίου, τότε αρκεί η βιολογική επεξεργασία αυτού ή η καύση του σε χώρους ελεγχόμενης εναπόθεσης.

#### **3.6.4.1. Βιολογική επεξεργασία**

Η βιολογική επεξεργασία του βιοαερίου και η απομάκρυνση κάθε ρυπογόνου ένωσης, βασίζεται στην αποδόμηση μέσω μικροοργανισμών. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται, όταν κυρίως για οικονομικούς λόγους, δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις αξιοποίησης προς ανάκτηση ενέργειας. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας είναι αυτή των βιοφίλτρων. Πρόκειται για μια απλή μέθοδο κατά την οποία το αέριο περνάει στο εσωτερικό του βιοφίλτρου, που είναι συνήθως κομπόστ, μέσω οπών που υπάρχουν στο κάτω μέρος αυτού. Το υλικό (κομπόστ) πρέπει να έχει την κατάλληλη υγρασία, η οποία κυμαίνεται σε ποσοστό 40 – 60%.

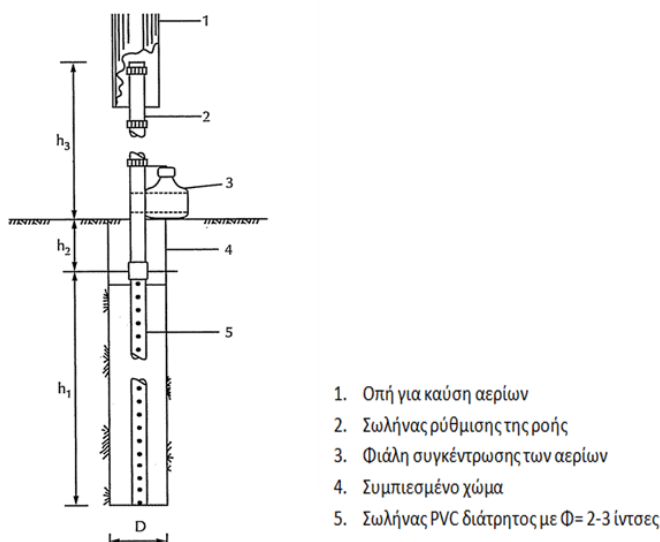
Το βιολογικά επεξεργασμένο βιοαέριο μπορεί είτε να διατεθεί στην ατμόσφαιρα, είτε να απορροφηθεί μέσω της καύσης σε ειδικές εγκαταστάσεις.

#### **3.6.4.2. Καύση βιοαερίου σε χώρους ελεγχόμενης διάθεσης**

Η ανάφλεξη του βιοαερίου σε ειδικούς πυρσούς καύσης, κατόπιν προεπεξεργασίας, αποτελεί μέθοδο διάθεσης σε περίπτωση που δεν προβλέπεται περαιτέρω χρήση και αξιοποίηση αυτού. Κατά τη διάρκεια της καύσης, η οποία πραγματοποιείται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 850 °C και για χρόνο παραμονής του αερίου 0,3 sec, απομακρύνονται όλες οι ουσίες που προκαλούν οσμές.

Η διαδικασία της καύσης σε πυρσούς είναι σχετικά απλή και πραγματοποιείται καθώς το βιοαέριο εισέρχεται σε αυτούς μέσω των κύριων αγωγών μεταφοράς και στη συνέχεια αναμειγνύεται με ποσότητα αέρα σε ειδικό αγωγό ανάμειξης. Τη διαδικασία ανάμειξης ακολουθεί η καύση του μείγματος βιοαερίου – αέρα, μέσω ενός συστήματος ανάφλεξης στους πυρσούς. Οι εκπομπές ρύπων μετά την καύση του βιοαερίου είναι αρκετά μικρές και δεν αποτελούν πρόβλημα για το περιβάλλον.





1. Οπή για καύση αερίων
2. Σωλήνας ρύθμισης της ροής
3. Φιάλη συγκέντρωσης των αερίων
4. Συμπιεσμένο χρώμα
5. Σωλήνας PVC διάτρητος με  $\Phi=2-3$  ίντσες

Εικόνα 3.149\_ Τυπική διάταξη καυστήρα αερίων [3]

### 3.6.4.3. Καθαρισμός βιοαερίου για περεταίρω χρήση

Ο καθαρισμός του βιοαερίου με απώτερο σκοπό την ανάκτηση ενέργειας, επιτυγχάνεται με: α) προσρόφηση με ενεργό άνθρακα και β) απορρόφηση με νερό ή άλλα διαλύματα.

Κυρίως αυτό που ενδιαφέρει στη διαδικασία καθαρισμού, πέρα από το διαχωρισμό μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, είναι η απομάκρυνση του υδροθείου ( $H_2S$ ) από το βιοαέριο. Το υδρόθειο, καθώς το αέριο περνά μέσα από ειδικά φίλτρα, διασπάται με τη βοήθεια του ενεργού άνθρακα, καθώς αντιδρά με οξυγόνο δίνοντας  $SO_2$  και νερό, ενώ στη συνέχεια ο άνθρακας δεσμεύει το οξυγόνο ( $CO$ ) απομονώνοντας το θείο. Το ίδιο συμβαίνει και με τις διάφορες οργανικές ενώσεις του θείου που εμπεριέχονται στο βιοαέριο, καθώς σε πρώτη φάση δεσμεύεται το θείο και στη συνέχεια ακολουθεί η προσρόφηση των οργανικών ενώσεων μέσω του ενεργού άνθρακα.

Ο διαχωρισμός του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα επιτυγχάνεται με προσρόφηση υπό πίεση, καθώς το βιοαέριο αφού υποστεί συμπίεση μεταφέρεται σε διαδοχικές αντλίες κενού αέρος, όπου το μεθάνιο διαχωρίζεται από το διοξείδιο λόγω διαφορετικού μοριακού βάρους. Σε άλλες περιπτώσεις επιλέγεται χρήση φυσικών και χημικών μεθόδων, κατά τις οποίες ο διαχωρισμός προκύπτει έπειτα από επεξεργασία του βιοαερίου σε πλυντηρίδες, όπου γίνεται έκπλυση με νερό ή άλλο υγρό.

#### **3.6.4.4. Ανάκτηση ενέργειας μέσω βιοαερίου**

Έχει ήδη αναφερθεί, πως ένα καθοριστικό για την περαιτέρω χρήση του βιοαερίου χαρακτηριστικό, είναι η υψηλή θερμογόνος δύναμη, που μπορεί να φτάσει έως και τα 20000 KJ/m<sup>3</sup> τα οποία αντιστοιχούν σε 5 kWh/m<sup>3</sup>. Το προεπεξεργασμένο και απαλλαγμένο από υδρόθειο, χλωριωμένους και φθοριωμένους υδρογονάνθρακες βιοαέριο που προκύπτει από ένα χώρο ΧΥΤΑ, μπορεί να χρησιμεύσει για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, ικανής να καλύψει μέρος της απαιτούμενης για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων ενέργειας (έως και 30%), αλλά μπορεί επίσης να χρησιμεύσει και ως καύσιμη ύλη για μηχανήματα που λειτουργούν εντός του χώρου, όπως είναι οι συμπιεστές αποβλήτων.

Για τη χρήση βιοαερίου σε μια εγκατάσταση, πρέπει να προβλέπεται: α) σύστημα καθαρισμού του βιοαερίου, β) αποθηκευτικός χώρος για την καύσιμη ύλη, γ) συμπιεστής υψηλής πίεσης και δ) ειδικά σχεδιασμένος κινητήρας του συμπιεστή ο οποίος θα είναι ικανός να λειτουργεί τόσο με αέριο, όσο και με πετρέλαιο. Για να λειτουργήσει ένας κινητήρας αερίου(μεθάνιο), χρειάζεται για την ανάφλεξη να χρησιμοποιήσει πρώτα ένα 10 με 20% καύσιμο ντίζελ, λόγω εξάρτησης του αριθμού στροφών.

### **3.7. Τελική Κάλυψη (στεγανοποίηση) και Αποκατάσταση ΧΥΤΑ**

#### **3.7.1. Εισαγωγή**

Η διάστρωση της τελικής κάλυψης του χώρου, ακολουθεί μετά την ολοκλήρωση των έργων στο κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ, όταν δηλαδή οι επάλληλες στρώσεις αποβλήτων φτάσουν στο επιθυμητό όριο σύμφωνα με το προβλεπόμενο τελικό ανάγλυφο. Ο χώρος πρέπει πρώτα απ' όλα να μονωθεί ούτως ώστε να μην υπάρχουν εκροές, αλλά και να διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να αφομοιωθεί (οπτικά τουλάχιστον) από το περιβάλλον.

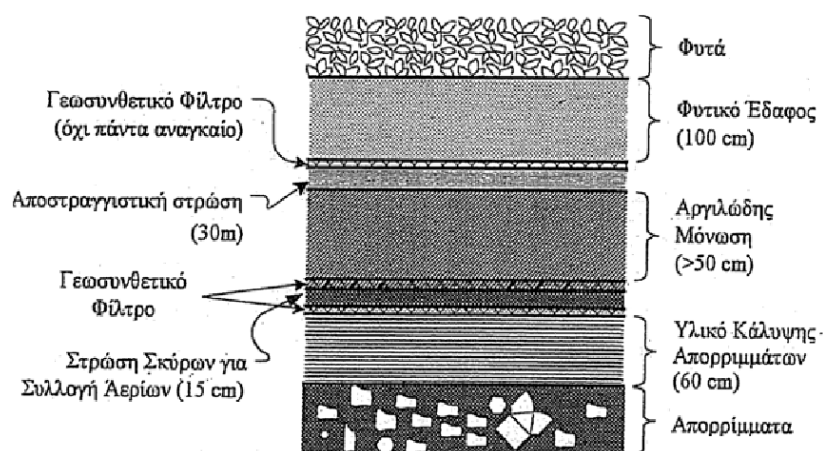
Ο τρόπος που θα επιλέξει ο μηχανικός να μονώσει την επιφάνεια ενός ΧΥΤΑ είναι καθοριστικός για την ταχύτητα και την πορεία των διεργασιών αποδόμησης στο σώμα των αποβλήτων. Ανάλογα με βαθμό περατότητας των βρόχινων νερών προς το εσωτερικό, ένας ΧΥΤΑ μπορεί να χαρακτηριστεί ως υγρός ή ξηρός. Η στεγανοποίηση σε υπέργειους ΧΥΤΑ γίνεται σταδιακά καθώς διαμορφώνεται το ανάγλυφο της απορριμματικής μάζας, ενώ τα έργα κάλυψης και επανένταξης του χώρου στο περιβάλλον μπορεί να συνεχίζονται ακόμα και δύο χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, καθώς ενδέχεται να εμφανιστούν καθιζήσεις, κυρίως λόγω των διεργασιών αποδόμησης στο εσωτερικό αυτού. Να σημειωθεί πως το 90% της συνολικής καθίζησης, λαμβάνει χώρα μέσα στα πρώτα πέντε χρόνια από το κλείσιμο του ΧΥΤΑ.

### 3.7.2. Τελική Κάλυψη

Η μόνωση της επιφάνειας, ως προς τις μηχανικές, χημικές και βιολογικές προϋποθέσεις, δε διαφέρει σημαντικά από τη μόνωση του πυθμένα. Δύο παράγοντες που διαφοροποιούν κάπως την όλη διαδικασία κάλυψης, είναι οι ενδεχόμενες καθιζήσεις λόγω σταδιακής μείωσης του όγκου των απορριμμάτων που αποδομούνται και το σύστημα άντλησης βιοαερίου, το οποίο εκτείνεται πάνω από τη απορριμματική μάζα.

Επομένως σε ένα σύστημα τελικής κάλυψης, από την επιφάνεια των αποβλήτων μέχρι το τελικό ανάγλυφο του χώρου, μπορούν να διακριθούν οι εξής στρώσεις:

- Υλικό κάλυψης απορριμμάτων
- Η στρώση συλλογής βιοαερίου
- Η μόνωση επιφάνειας (αργιλική ή σύνθετη)
- Η ζώνη αποστράγγισης των βρόχινων υδάτων
- Η ζώνη προστασίας (στρώση συμπυκνωμένου εδάφους)
- Επιφανειακή στρώση εδάφους κατάλληλο για φύτευση



Εικόνα 3.20\_ Διάταξη στρώσεων τελικής κάλυψης [4]

Η στρώση συλλογής βιοαερίου έχει πάχος 30 cm και αποτελείται από σκύρα διαμέτρου 4/16, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο, πρέπει να είναι ίση με το 10% του συνολικού βάρους.

Σε ότι αφορά την κατασκευή της ορυκτής μόνωσης της επιφάνειας και την κάλυψη αυτής με γεωμεμβράνες, ισχύει ότι και κατά τη διαμόρφωση της μόνωσης του πυθμένα. Συνοπτικά αναφέρεται πως, η τοποθέτηση της μόνωσης πρέπει να γίνεται κάτω από σχετικά καλές καιρικές συνθήκες, να αποφεύγονται συνθήκες βροχόπτωσης, παγετού ή αρκετά υψηλής θερμοκρασίας. Το πάχος της αργιλικής

στρώσης πρέπει να είναι περίπου 50cm, να είναι καλά συμπυκνωμένη, να αποτελείται κυρίως από άργιλο (τουλάχιστον 50%) και η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο να μην ξεπερνά το 20% της μάζας, προς αποφυγή δημιουργίας σβόλων. Επιπλέον η συμπύκνωση της μόνωσης πρέπει να γίνεται με περιεκτικότητα υγρασίας στην άργιλο κατά τι μεγαλύτερη από την κανονική. Η γεωμεμβράνη (πάχος 1,5mm) τοποθετείται πάνω από την ορυκτή μόνωση και προστατεύεται από το υπερκείμενο στρώμα αποστράγγισης, με μια στρώση σκύρων και με γεωύφασμα.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στη μόνωση των πρανών, στην περίπτωση του υπέργειου ΧΥΤΑ, πράγμα που σημαίνει κλίση όχι μεγαλύτερη από 1/3 και καλή αγκύρωση της γεωμεμβράνης.

Η ζώνη αποστράγγισης θα πρέπει να έχει πάχος κοντά στα 30 cm και να αποτελείται από λεπτόκοκκο υλικό, ενώ το εδαφικό υλικό για φύτευση πρέπει να έχει πάχος περίπου 1,5 m. Μεταξύ του υλικού για φύτευση και της ζώνης αποστράγγισης μπορεί να παρεμβάλλεται είτε φίλτρο από γεωσυνθετικό υλικό, είτε εδαφική στρώση πάχους 20 cm.

### **3.7.3. Αποκατάσταση ΧΥΤΑ**

Το «κλείσιμο» του ΧΥΤΑ δε σημαίνει και παύση των διεργασιών εντός αυτού και της ανάγκης παρακολούθησης. Τα στραγγίσματα και τα διάφορα αέρια συνεχίζουν να αποτελούν κίνδυνο για πολλά χρόνια μετά το τέλος της λειτουργίας των εγκαταστάσεων και αυτοί είναι δύο παράγοντες που αφορούν άμεσα τον τρόπο επανένταξης του ΧΥΤΑ στο περιβάλλον. Επιπλέον ο σχεδιασμός της αποκατάστασης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής και του τοπίου, το μικροκλίμα και την ανάγκη προστασίας των βιοτόπων και της γεωργίας.

Η πλήρης επανένταξη του χώρου, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση του σχεδιασμού και είναι αναγκαία για οικολογικούς και οικονομικούς λόγους καθώς, και για λόγους αισθητικής. Οι διεθνείς εμπειρίες δείχνουν ως επικρατέστερα συστήματα αποκατάστασης και αξιοποίησης, τα εξής:

α) Το σύστημα «καλυμμένης επιφάνειας», κατά το οποίο πριν την επίστρωση των αποβλήτων κατασκευάζεται εξωτερικά ένα τοίχωμα με υλικό φύτευσης που δενδροφυτεύεται με γρήγορα αναπτυσσόμενα δέντρα. Στη συνέχεια η επικάλυψη των στρωμάτων με χώμα (ύψους τουλάχιστον 1,5 m) και η ανάκτηση του χώρου, ακολουθούν σταδιακά την εναπόθεση των αποβλήτων.

β) Το σύστημα του «κυκλικού αναχώματος» το οποίο εφαρμόζεται όλο και περισσότερο στις νέες εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με αυτό, η συνολική κάλυψη του εδάφους γίνεται σε μορφή αναχωμάτων που κάθε φορά κατασκευάζονται πριν την επίστρωση νέου στρώματος αποβλήτων. Η δημιουργία πρασίνου ακολουθεί σταδιακά και άμεσα τη διαδικασία της επίστρωσης.

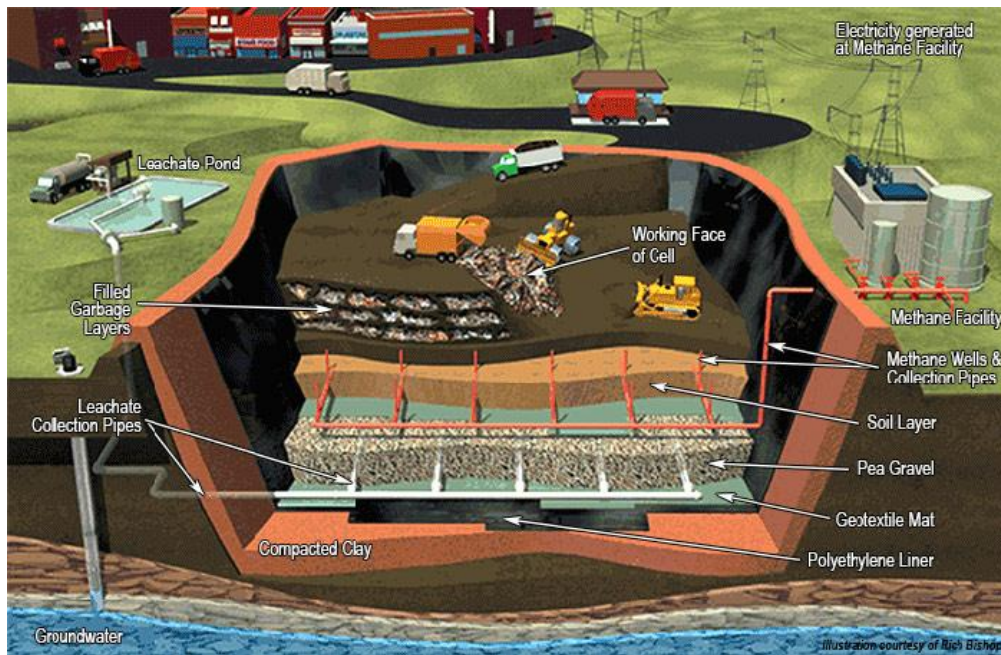
γ) Το σύστημα «ελεγχόμενης εναπόθεσης με μόνωση στο τελικό στρώμα», όπου η δεντροφύτευση αρχίζει αμέσως μετά τη μόνωση του τελικού στρώματος με άργιλο ή πλαστικά φύλλα και την επικάλυψη αυτής με χώμα βλάστησης. Αν η μόνωση του τελικού στρώματος λειτουργεί σωστά, τα δέντρα δεν επηρεάζονται από τυχόν εκροές αερίων, ενώ αποτελούν ένα είδος ελέγχου της ροής των βρόχινων νερών και κατ' επέκταση των στραγγισμάτων. Στο πρώτο και δεύτερο σύστημα η δεντροφύτευση και η διαμόρφωση της επιφάνειας του χώρου γίνεται σταδιακά, παράλληλα με τα έργα επίστρωσης και συμπίεσης απορριμμάτων στα ανοιχτά μέτωπα εργασίας στον ευρύτερο χώρο του ΧΥΤΑ, ενώ με αυτό το σύστημα οι εργασίες επανένταξης του χώρου, αρχίζουν μόνο αφού σταματήσει η λειτουργία όλης της εγκατάστασης.

Τις περισσότερες φορές η αποκατάσταση ενός χώρου υγειονομικής ταφής μπορεί να σημαίνει, μετατροπή της επιφάνειας σε χώρο αναψυχής (πάρκο). Για να γίνει σωστή επιλογή του είδους βλάστησης της επιφάνειας πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι όπως: η δυνατότητα ανάπτυξης φυτών, η μορφή της χλωρίδας της γύρω περιοχής, οι κλιματολογικές συνθήκες, η ευκολία ανάπτυξης και η διαθεσιμότητα των ειδών βλάστησης.

### **3.8. Λειτουργία και Παρακολούθηση ΧΥΤΑ**

#### **3.8.1. Λειτουργία ΧΥΤΑ**

Στόχος ενός χώρου υγειονομικής ταφής είναι η οικονομική, και εύκολα ελεγχόμενη, σε σχέση με άλλες μορφές τελικής διάθεσης (π.χ. καύση), απόθεση οικιακών αποβλήτων και η αποφυγή εκροών προς το περιβάλλον. Στο σχέδιο λειτουργίας πρέπει να καθορίζεται με βάση τις απαιτήσεις του έργου, ο τρόπος διάστρωσης των απορριμμάτων, το πάχος των στρωμάτων και ο βαθμός συμπίεσης αυτών, το πάχος και το υλικό των επικαλύψεων, καθώς και η μορφή των συστημάτων μόνωσης, συλλογής και επεξεργασίας στραγγισμάτων, συλλογής και διαχείρισης βιοαερίου.



Εικόνα 3.21\_Λειτουργία ΧΥΤΑ και Τομή όπου διακρίνονται οι στρώσεις των κυψελών και τα συστήματα μόνωσης και διαχείρισης στραγγισμάτων και βιοαερίου [49]

Έχει γίνει ήδη αναφορά στις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός ΧΥΤΑ, στη διαμόρφωση του περιοδικού κυττάρου και στον τρόπο διάστρωσης και επικάλυψης των αποβλήτων, στον τεχνικό εξοπλισμό του μετώπου εργασίας (μηχανήματα), καθώς και τη συμπεριφορά του ΧΥΤΑ ως βιοαντιδραστήρα. Για να υπάρξει μια γενική εικόνα των εργασιών μέσα στο χώρο (ως εργοτάξιο), παρατίθενται επιγραμματικά οι ακόλουθες:

#### Απόθεση ή Εκφόρτωση

Απόθεση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία τα απορρίμματα μετατίθενται από το μέσο μεταφοράς (π.χ. φορτηγό όχημα, Α/Φ) σε κάποιο σημείο του ΧΥΤΑ τελικό ή ενδιάμεσο (ενδιάμεση απόθεση). Τελικό θεωρείται το σημείο που βρίσκεται κοντά στο μέτωπο εργασίας, εντός του οποίου το απορριμματικό φορτίο παραλαμβάνεται από τα μηχανήματα μεταφοράς και διάστρωσης που χρησιμοποιούνται στο χώρο (ερπυστριοφόροι – τροχοφόροι φορτωτές κλπ). Ενδιάμεσο θεωρείται το σημείο απόθεσης που βρίσκεται σε ορισμένη απόσταση από το μέτωπο εργασίας και εντός του οποίου τα απορρίμματα, μετά την απόθεσή τους, παραλαμβάνονται από φορτηγά οχήματα ή άλλο εξοπλισμό εσωτερικής μεταφόρτωσης ή μετακίνησης (π.χ. εσωτερικούς ελκυστήρες ή συρμούς για μεμονωμένους γεραμούς μεταφοράς, containers από ΣΜΑ κλπ), προκειμένου να μεταφερθούν και να τεθούν στο σημείο τελικής απόθεσης.

### Διασπορά – Θρυμματισμός

Είναι η ενέργεια κατά την οποία το φορτίο απόρριψης από σωρός, μετατρέπεται με μηχανικό μέσο, σε επίπεδες στρώσεις μικρού πάχους (διασπορά) και ταυτόχρονα τεμαχίζεται κάτω από το βάρος μηχανήματος συμπίεσης και εν συνεχεία θρυμματίζεται υπό τη δυναμική δράση των τροχών του (θρυμματισμός). Εφαρμόζεται συνήθως στην υγειονομική ταφή με συμπίεση, όταν αυτή γίνεται σε επιφάνεια πρανούς, με τη χρήση ερπυστριοφόρου μηχανήματος.

Ενδέχεται τα απορρίμματα που μεταφέρονται και αποτίθενται προς συμπίεση και ταφή να έχουν υποστεί προεπεξεργασία θρυμματισμού μέσω αντίστοιχης τεχνολογίας σταθμών μεταφόρτωσης. Ειδική περίπτωση αποτελεί ο θρυμματισμός σε μύλους μέσα ή κοντά στον ΧΥΤΑ με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της διαδικασίας διάστρωσης που σημαίνει μείωση του απαραίτητου αριθμού επικαλύψεων.

### Πρώθηση

Πρώθηση είναι η ενέργεια κατά την οποία το φορτίο, μετά την απόθεσή, τη διασπορά και τον τεμαχισμό του, μετατοπίζεται στο σημείο της τελικής του παραμονής και διάθεσης. Η πρώθηση επιτυγχάνεται κυρίως με ερπυστριοφόρους ή λαστιχοφόρους προωθητήρες.



Εικόνα 3.22\_Μηχάνημα Πρώθησης και Τεμαχισμού - Συμπίεσης (φέρει δόντια στους τροχούς) [52]

### Διάστρωση (ή ενσωμάτωση) και 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 τα οποία είναι κατάλληλα συμπιεσμένα[10]. Με τη σωστή διάστρωση και συμπίεση αποφεύγεται η διασπορά μικρών τεμαχίων, εκμεταλλεύεται πλήρως ο διαθέσιμος χώρος και εξασφαλίζονται οι ιδανικές συνθήκες αποδόμησης και ροής των στραγγισμάτων.*

Η διάστρωση επιτυγχάνεται κυρίως με την χρήση του κάδου πολλαπλής χρήσης ή της λεπίδας προώθησης του μηχανήματος, ενώ ο θρυμματισμός επιτυγχάνεται περισσότερο με τις ειδικές προεξοχές των οδοντωτών τροχών. Τέλος ο υψηλός βαθμός συμπίεσης οφείλεται στο βάρος (μέχρι και 50 τόνους) του μηχανήματος, αλλά και στην ειδική διάταξη των δοντιών που φέρουν οι τροχοί.

### **3.8.2. Παρακολούθηση ΧΥΤΑ**

Με τις διαδικασίες παρακολούθησης επιδιώκεται κυρίως ο έλεγχος: α) της πορείας των εργασιών εντός του χώρου του ΧΥΤΑ, β) των συστημάτων προστασίας του περιβάλλοντος και γ) του κατά πόσο πληρούνται οι εγκεκριμένοι περιβαλλοντικοί όροι. Επομένως το ζήτημα της παρακολούθησης δεν επαφίεται αποκλειστικά στην εταιρία διαχείρισης του έργου, αλλά συμμετέχουν και οι αρμόδιοι κρατικοί ή άλλοι φορείς.

Οι παράμετροι που παρακολουθούνται και προσδιορίζουν το βαθμό επικινδυνότητας μιας εγκατάστασης, είτε κατά την περίοδο της λειτουργίας, είτε σε βάθος χρόνου μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ είναι:

- Η ροή και η ποιότητα των στραγγισμάτων
- Το βιοαέριο (οι εκπομπές μεθανίου προς την ατμόσφαιρα και η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που κατακάθεται στον πυθμένα και παρασύρεται από τα στραγγίσματα)
- Η ευστάθεια του χώρου, δηλαδή η μελέτη επικινδυνότητας ως προς τη δημιουργία καθιζήσεων, που μπορούν να προκαλέσουν από διάφορες εκροές προς το περιβάλλον, μέχρι και ολίσθηση τμήματος της εγκατάστασης.
- Το μέγεθος της ρύπανσης του εδάφους από τυχόν διαρροή βιοαερίου ή στραγγισμάτων.

Ο έλεγχος και η παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός ΧΥΤΑ, επιτυγχάνεται με διάφορες αναλύσεις και δειγματοληψίες. Πρέπει να υπάρχει δυνατότητα συλλογής δειγμάτων από: τα στραγγίσματα, τα επιφανειακά νερά, τον



υπόγειο υδάτινο ορίζοντα και από τα αέρια που εκλύονται από το κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ. Σε ό,τι αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων, των επιφανειακών καθώς και των υπόγειων υδάτων, στην αρχή της λειτουργίας των εγκαταστάσεων, γίνονται έλεγχοι ανά τρίμηνο για διάστημα ενός έτους περίπου. Ενώ κατά το πέρας αυτού, οι έλεγχοι μπορούν να αραιώσουν, εφόσον βέβαια δεν υπάρξει αλλαγή στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εισερχόμενων προς διάθεση ΑΣΑ. Οι ποσότητες των στραγγισμάτων, κατά τον πρώτο χρόνο της λειτουργίας, πρέπει να ελέγχονται μηνιαίως.

Οι κυριότεροι παράμετροι προσδιορισμού της ποιότητας των στραγγισμάτων και των υπόγειων νερών, καθώς και αυτών που απορρέουν, είναι: η θερμοκρασία, η οσμή, η οπτική εμφάνιση, η μέτρηση του pH, όπως και η περιεκτικότητα σε τέφρα, σε άζωτο, οξυγόνο, αμμωνία, διάφορα νιτρικά και νιτρώδη, υδρόθειο, BOD, COD, φαινόλες κ.α.

Ο προσδιορισμός της σύνθεσης του βιοαερίου διενεργείται συνήθως κατά το πέρας ενός μήνα δοκιμαστικής λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης, ενώ τα δείγματα είναι δυνατό να ληφθούν από τα φρεάτια άντλησης, καθώς και μέσω του συστήματος καύσης ή επεξεργασίας του αερίου. Ανά μήνα ενδείκνυται να γίνονται μετρήσεις για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, χλώριο, θείο, βενζόλιο, υδρογόνο, αμμωνία, υδρόθειο και την ανίχνευση πτητικών οργανικών ενώσεων.

Πολύ σημαντικός παράγοντας επίσης για την ασφαλή λειτουργία ενός ΧΥΤΑ, είναι ο έλεγχος των καθιζήσεων. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζονται δύο είδη συστημάτων: το κάθετο και το οριζόντιο σύστημα. Κατά τα πρώτα χρόνια μετά την τοποθέτηση της τελικής κάλυψης, απαιτούνται μετρήσεις των καθιζήσεων ανά τέσσερις μήνες. Στη συνέχεια, η διεξαγωγή μετρήσεων μια φορά ανά έτος κρίνεται αρκετή.

Ως προς το κάθετο σύστημα μέτρησης καθιζήσεων, αυτό αποτελείται: α) από τους δείκτες βάθους, που στη ουσία είναι κατακόρυφοι μεταλλικοί αγωγοί, οι οποίοι καλύπτουν περίπου τα 2/3 καθ' ύψος, από την επιφάνεια του χώρου προς τον πυθμένα και β) από τους επιφανειακούς δείκτες, που αποτελούν ουσιαστικά ένα σύστημα βοηθητικών – κύριων και επίπεδων δεικτών καθίζησης, οι οποίοι τοποθετούνται επιφανειακά στα όρια των κυψελών, σε κατάλληλη διάταξη, ούτως ώστε να παρέχονται ασφαλή συμπεράσματα. Το δε οριζόντιο σύστημα μέτρησης καθιζήσεων, δίνει πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά του πυθμένα ενός ΧΥΤΑ. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των οριζόντιων αγωγών μεταφοράς στραγγισμάτων, καθώς μια υδροστατική κεφαλή μετρά τις αλλαγές πίεσης στους αγωγούς, φανερώνοντας τις όποιες καθ' ύψος διαφοροποιήσεις.

### 3.8.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ΧΥΤΑ

Η επίδραση που μπορεί να έχουν οι μη καλά οργανωμένοι χώροι υγειονομικής ταφής στο περιβάλλον, αφορά κυρίως τις όποιες εκροές στραγγισμάτων ή βιοαερίου, αλλά και τη δημιουργία αναφλέξεων στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων, που δημιουργούν πολλαπλούς κινδύνους για τους εργαζόμενους στο χώρο και τους περιοίκους. Άλλοι παράγοντες που ευθύνονται για την επιβάρυνση του περιβάλλοντος είναι: η κυκλοφορία των οχημάτων μέσα στους χώρους, ο θόρυβος, η διασπορά των αποβλήτων, οι δυσάρεστες οσμές λόγω της αποδόμησης κ.α. καθώς και η αντιαισθητική θέα.

Αναφορικά με το βιοαέριο έχει ήδη ειπωθεί, πως το μεθάνιο που παράγεται από τους χώρους ταφής απορριμμάτων, ευθύνεται κατά πολύ για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα που αποτελεί το άλλο κύριο συστατικό του βιοαερίου, ευθύνεται πλην των άλλων και για την οξίνιση των στραγγισμάτων τα οποία αποτελούν κίνδυνο για τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **Νομοθετικό Πλαίσιο**

#### **4.1. Περιβαλλοντική Πολιτική Ευρωπαϊκής Ένωσης**

##### **4.1.1 Βασικές Αρχές**

Η Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Πολιτική βασίζεται στις αρχές της πρόληψης και του ελέγχου της ρύπανσης στην πηγή. Κάθε παραγωγός είναι υπεύθυνος για τις εισροές και εκροές του προϊόντος που διαθέτει στην αγορά, από και προς το περιβάλλον και οφείλει να σέβεται τις βασικές αρχές μιας ισχυρής Αειφορίας (οποιαδήποτε χρηματική αποζημίωση δεν μπορεί να υποκαταστήσει το περιβαλλοντικό κεφάλαιο). Τα πολυετή προγράμματα περιβαλλοντικής δράσης ορίζουν το πλαίσιο των μελλοντικών ενεργειών σε όλους τους τομείς της περιβαλλοντικής πολιτικής και αποσκοπούν επιπροσθέτως μέσω της διαρκούς ενημέρωσης στην ευαισθητοποίηση των πολιτών.

Σύμφωνα με τα άρθρα 11, 191, 192 και 193 της Συνθήκης για τη Λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΣΛΕΕ), που αποτελούν τη νομική βάση κάθε περιβαλλοντικής δράσης, η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι αρμόδια να ενεργεί σε όλους τους τομείς της περιβαλλοντικής πολιτικής αναφορικά με τη ρύπανση του αέρα και των υδάτων, τη διαχείριση των αποβλήτων, τις κλιματικές αλλαγές κ.α. Κάθε κράτος μέλος από την πλευρά του διατηρεί το δικαίωμα της επικουρικότητας, δηλαδή δύναται να διαχειριστεί τα όποια περιβαλλοντικά ζητήματα θεσπίζοντας τους δικούς του νόμους, δεδομένων των συνθηκών και της πλειάδας των παραγόντων που καθορίζουν μια περιβαλλοντική πολιτική. Η Ευρωπαϊκή Ένωση όμως έχει το δικαίωμα της επιβολής οικονομικών κυρώσεων σε περίπτωση μη εναρμόνισης του κράτους μέλους με τη γενική Ευρωπαϊκή πολιτική. Με αυτό τον τρόπο επιδιώκεται η αποτροπή της παράνομης εκπομπής ή απόρριψης ρυπογόνων ουσιών στον αέρα, στα ύδατα και στο έδαφος, όπως και της παράνομης εμπορίας αποβλήτων και επιβλαβών ουσιών για τη στιβάδα του όζοντος και της τελικής διάθεσης αποβλήτων σε χώρους μη κατάλληλους, στους οποίους δεν πληρούνται οι απαραίτητες προδιαγραφές προστασίας περιβάλλοντος και των περίοικων κατοίκων (ανάλογα πάντα με το είδος των αποβλήτων).

Το 1972 στο Παρίσι (μετά την πρώτη διάσκεψη του ΟΗΕ για το περιβάλλον), στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο των αρχηγών κρατών εκφράστηκε η ανάγκη ενός κοινού σχεδίου δράσης προστασίας του περιβάλλοντος, το οποίο θα πλαισίωνε την οικονομική πολιτική της κοινότητας και θα έθετε κάποιους περιορισμούς. Το 1987 εισήχθη η έννοια του «περιβαλλοντικού Κεφαλαίου» που αποτέλεσε την πρώτη

νομική βάση της κοινής περιβαλλοντικής πολιτικής, καθώς η «περιβαλλοντική ποιότητα και ισορροπία» άρχισε να λογαριάζεται ως καθοριστικός δείκτης για το γενικότερο «ανθρώπινο κεφάλαιο». Οι πρώτοι γενικοί στόχοι της Ευρωπαϊκής κοινότητας ήταν:

- η διαφύλαξη της ποιότητας του περιβάλλοντος
- η προστασία της ανθρώπινης υγείας
- και η ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων

Με τη συνθήκη του Μάαστριχτ το 1993, το περιβάλλον ως επίσημο πεδίο πλέον της Ευρωπαϊκής πολιτικής, άρχισε να αποτελεί αντικείμενο για τη θέσπιση κανονισμών μέσω συναπόφασης, ενώ εισήχθη ο κανόνας της ειδικής πλειοψηφίας (λαμβάνεται υπόψη και ο πληθυσμός των κρατών που ψηφίζουν) στο ευρωπαϊκό συμβούλιο. Η Συνθήκη του Άμστερνταμ το 1999 επέβαλλε την ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής προστασίας σε όλους τους τομείς της ανάπτυξης, προάγοντας έτσι την έννοια της «βιώσιμης ανάπτυξης». Στη Συνθήκη της Λισαβόνας το 2009 ο έλεγχος των «κλιματικών αλλαγών» έγινε ειδικός στόχος της Κοινότητας, ενώ παρουσιάστηκε η «βιώσιμη ανάπτυξη» ως πολιτική που διαφυλάσσει τα συμφέροντα των τρίτων χωρών. Η νομική υπόσταση επιτρέπει πλέον στην ΕΕ να συνάπτει διεθνείς συμφωνίες.

Οι βασικές αρχές που απορρέουν από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τη Διαχείριση Αποβλήτων είναι:

- Η προστασία της Υγείας και η εξασφάλιση ευημερίας με ταυτόχρονη διατήρηση περιβαλλοντικής ισορροπίας και ποιότητας
- Η Ιεράρχηση πολιτικών Διαχείρισης του περιβαλλοντικού ζητήματος κατά την οποία δίνεται προτεραιότητα στην πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων, ακολουθεί η Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση με ανάκτηση ή όχι ενέργειας, ενώ η μέθοδος της εδαφικής διάθεσης είναι η λιγότερο επιθυμητή (όπου μπορεί να υπάρξει εκτροπή)
- Η αρχή της εγγύτητας (γενικά), σύμφωνα με την οποία τα απόβλητα θα πρέπει να διατίθενται όσο το δυνατό πλησιέστερα στον τόπο παραγωγής τους και να αποτρέπεται η μεταφορά αυτών σε μεγάλες αποστάσεις
- Η αρχή της διάθεσης των αποβλήτων εντός του κράτους που τα παράγει και η απαγόρευση μεταφοράς αυτών προς τρίτες χώρες (αρχή εγγύτητας)
- Η Αποκατάσταση των όποιων περιβαλλοντικών προβλημάτων ανακύπτουν από ένα προϊόν ή δράση, από τον παραγωγό ή οποιονδήποτε φορέα διαχείρισης που αποσκοπεί στο κέρδος ( αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»)
- Η αρχή πρόβλεψης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, ούτως ώστε να υπάρχει ειδική μέριμνα από το στάδιο της εξόρυξης των πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεση

#### 4.1.2 Περιβαλλοντικές Δράσεις Ε.Ε

Το «Βασικό Πλαίσιο» της Ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέσα:

- Προγράμματα δράσης για το περιβάλλον
- Οριζόντιες Στρατηγικές
- Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και συμμετοχή κοινού
- Διεθνής συνεργασία σε περιβαλλοντικά θέματα
- Εποπτεία για την Εφαρμογή των κανονισμών

Πιο αναλυτικά σχετικά με τα προγράμματα δράσης για το περιβάλλον (ΕΑΡ), πρόκειται για πολυετή προγράμματα που εκδίδει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή από το 1973 και τα οποία καθορίζουν τις μελλοντικές νομοθετικές προτάσεις και θέτουν στόχους που δύναται να επιτευχθούν εντός κάποιου χρονικού ορίζοντα. Το τρέχον πρόγραμμα δράσης εγκρίθηκε από το κοινοβούλιο το 2013 και πρόκειται για το 7ο Πρόγραμμα δράσης που φέρει τον τίτλο «Ευημερία εντός των ορίων του πλανήτη» το οποίο αποβλέπει στην επίτευξη ορισμένων στόχων σε ορίζοντα μέχρι το 2020.

#### 7<sup>ο</sup> Πρόγραμμα Δράσης «Ευημερία εντός των ορίων του πλανήτη»

Το 7<sup>ο</sup> Πρόγραμμα Δράσης ορίζει τους ακόλουθους στόχους για τα κράτη μέλη μέχρι το 2020:

- Προστασία, διατήρηση και ενίσχυση της ποιότητας του περιβάλλοντος (περιβαλλοντικού κεφαλαίου – Ισχυρή Αειφορία)
- μετατροπή της Ένωσης σε μια οικολογική και ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών και αποδοτικής χρήσης πόρων
- προστασία των πολιτών της Ένωσης από περιβαλλοντικούς κινδύνους για την υγεία και την ευημερία
- μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, μέσω βελτίωσης της εφαρμογής
- βελτίωση της βάσης γνώσεων - πληροφόρησης και διαφάνειας δράσεων για την περιβαλλοντική πολιτική της Ένωσης
- διασφάλιση των επενδύσεων στην περιβαλλοντική και την κλιματική πολιτική και αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού εξωτερικού κόστους
- βελτίωση της ενσωμάτωσης της περιβαλλοντικής διάστασης και της συνοχής των πολιτικών δράσης
- ενίσχυση της αειφορίας των πόλεων της Κοινότητας
- αποτελεσματικότερη δράση της Κοινότητας όσον αφορά στην αντιμετώπιση διεθνών περιβαλλοντικών και κλιματικών προκλήσεων

Οι τομείς στους οποίους δίνει προτεραιότητα το 7<sup>ο</sup> Πρόγραμμα Δράσης αφορούν το Φυσικό κεφάλαιο και σε ότι αυτό ανάγεται (καθαρός αέρας, γόνιμα εδάφη, διατήρηση της βιοποικιλότητας, καθαρές θαλάσσιες και χερσαίες εκτάσεις κλπ.), επίσης δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον περιορισμό των αερίων θερμοκηπίου και ειδικότερα του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα, μέσω της ορθότερης και αποδοτικότερης χρήσης των πόρων. Ειδικά για το θέμα της Βιοποικιλότητας και της διαφύλαξης των υδάτινων πόρων το τρέχον πρόγραμμα εκφράζει τη δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για επίτευξη συγκεκριμένων στόχων μέχρι το 2020. Ο τρίτος τομέας στον οποίο δίνεται ιδιαίτερη σημασία, είναι η διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας σε ολόκληρο τον πλανήτη και όχι μόνο στις οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες, μέσω του ελέγχου των εκπεμπόμενων ρυπογόνων ουσιών, παρακολούθησης της κλιματικής αλλαγής και φροντίζοντας για τον ορθότερο τρόπο τελικής διάθεσης των αποβλήτων.

Η μετατροπή των αποβλήτων σε πόρους μέσω της ανακύκλωσης, της επαναχρησιμοποίησης ή άλλων μεθόδων εκτροπής, όπως είναι η Κομποστοποίηση ή ακόμα και η Καύση με ανάκτηση ενέργειας (όπου μπορεί να εφαρμοστεί), είναι ένας έξυπνος τρόπος διαχείρισης που αφήνει τα λιγότερα δυνατά αδρανή κατάλοιπα, ενώ ότι χρίζει επεξεργασίας, εφόσον αυτή γίνει με τις σωστές μεθόδους, μπορεί να δώσει προϊόντα ή ακόμα και ενέργεια, χωρίς περεταίρω μόλυνση της ατμόσφαιρας με διοξείδιο του άνθρακα. Οι μέθοδοι επεξεργασίας με ανάκτηση υλικών και ενέργειας είναι δυνατό να περιορίσουν την εδαφική διάθεση στο ελάχιστο δυνατό. Πρόκειται για ένα σύστημα Οικονομικής και Τεχνολογικής Ανάπτυξης που θα σέβεται τις αρχές της Αειφορίας και θα είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Η παγκόσμια αγορά οικολογικών βιομηχανιών σήμερα αποτιμάται σε ένα τρισεκατομμύριο ευρώ και αναμένεται να διπλασιαστεί μέσα στην επόμενη δεκαετία. Αυτό και μόνο δείχνει την πρόοδο και την προοπτική των Ευρωπαϊκών Εταιριών σε ότι αναφορά την ανάκτηση υλικών και ενέργειας.

Σε ότι αφορά την ανθρώπινη υγεία και ευημερία, αυτή είναι συνδεδεμένη με τη περιβαλλοντική ποιότητα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει για το άμεσο μέλλον υψηλά πρότυπα για την ποιότητα του αέρα, όμως παρόλο που αρκετοί στόχοι έχουν επιτευχθεί μέχρι σήμερα, σε αρκετές πόλεις η ατμοσφαιρική ρύπανση εξακολουθεί να μένει σε υψηλά επίπεδα. Αυτό ουσιαστικά παραπέμπει στη μη σωστή εφαρμογή της υφιστάμενης νομοθεσίας, που αποτελεί κι ένα από τα θέματα που χρήζουν περεταίρω ανάλυσης και προβληματισμού από την πλευρά της επιτροπής αλλά κι απ' την πλευρά των κρατών μελών, εφόσον η καταβολή προστίμου δεν αποτελεί μέρος της λύσης.

Το έβδομο πρόγραμμα δράσης πέρα από τους στόχους και τις προτεραιότητες που έχει θέσει, περιλαμβάνει και ένα πλαίσιο υλοποίησης που θα βοηθήσει τα κράτη μέλη, αλλά και την ευρωπαϊκή οικονομία γενικότερα, να δραστηριοποιηθούν με

τρόπο ώστε να στοχεύουν στο κέρδος μέσα από επενδύσεις για το περιβάλλον. Το πλαίσιο αυτό αναφέρεται ειδικότερα, στα εξής θέματα:

- Βελτίωση του τρόπου εφαρμογής της νομοθεσίας
- Καλύτερη πληροφόρηση του κοινωνικού συνόλου
- Καλύτερες και πιο αποδοτικές επενδύσεις για την προστασία του περιβάλλοντος
- Προσπάθεια πλήρους ενσωμάτωσης των περιβαλλοντικών θεμάτων σε άλλες πολιτικές

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως για να υπάρξουν καλύτερες και πιο αποδοτικές επενδύσεις πάνω σε περιβαλλοντικά ζητήματα είτε από δημόσιους, είτε από ιδιωτικούς φορείς, θα πρέπει να υπάρχει καλύτερη πληροφόρηση και μεγαλύτερη διαφάνεια ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κάθε επιχειρηματικής δράσης. Αυτό συνεπάγεται καλύτερη και ορθότερη εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει». Έχει αναφερθεί και στο σχετικό για την Αειφορία Κεφάλαιο, πως συνηθίζεται το «ο ρυπαίνων πληρώνει» να εφαρμόζεται ως «αυτός που έχει τη δυνατότητα να πληρώσει, έχει και το δικαίωμα να ρυπαίνει» και είναι αλήθεια πως λόγω της ρευστότητας του οικονομικού συστήματος και των συνεχόμενων αλλαγών που το καθορίζουν, σε αρκετές περιπτώσεις πληρώνει τρίτος.

Επιπλέον παράλληλα με την ορθότερη εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» πρέπει να παρθούν και μέτρα όπως:

- Η σταδιακή κατάργηση των περιβαλλοντικά επιβλαβών επιχορηγήσεων (επιδότησεις που προκαλούν υπέρμετρη εκμετάλλευση πόρων)
- Ένα σύστημα φορολόγησης που θα αποθαρρύνει την άμετρη εκμετάλλευση πόρων και θα ωθεί τον παραγωγό σε φιλικότερες προς το περιβάλλον πρακτικές

Αξίζει να αναφερθεί επίσης, πως μέσω χρηματοδοτήσεων από το ταμείο της ΕΕ, γίνεται προσπάθεια να διασφαλιστεί πως έως το 2020 οι περισσότερες πόλεις των κρατών μελών θα εφαρμόζουν περιβαλλοντικές πολιτικές πολεοδομικού σχεδιασμού και προγραμματισμού. Τέλος η Ευρωπαϊκή Ένωση καλείται σε συνεργασία όχι μόνο εντός των ορίων των κρατών μελών, αλλά και με άλλους διεθνείς εταίρους, προς υιοθέτηση μιας γενικότερης Αειφορικής πολιτικής, όπως προέκυψε από τη σύσκεψη του «Ρίο + 20» το 2012 σε μια προσπάθεια παγκόσμιας προσέγγισης του περιβαλλοντικού ζητήματος.

#### **4.1.3. Από την Οδηγία (75/442/ΕΟΚ) στον νέο Νόμο Πλαίσιο για τ' απόβλητα, Οδηγία 2008/98/ΕΚ**

Η πρώτη Οδηγία Πλαίσιο που υιοθετήθηκε από τα κράτη μέλη και προέκυψε από το συμβούλιο της 15<sup>ης</sup> Ιουλίου του 1975 (Οδηγία 75/442/ΕΟΚ), εξέφρασε την ανάγκη εναρμόνισης των νομοθεσιών των κρατών μελών σε μια ενιαία κοινοτική δράση για το περιβάλλον. Η Οδηγία αυτή (75/442/ΕΟΚ) αποτέλεσε τη βάση στην οποία στηρίχτηκε η Κοινότητα προς αντιμετώπιση το μεγάλων περιβαλλοντικών προβλημάτων, που έγιναν ορατά ειδικότερα μέσα στη δεκαετία του 70 – 80 και όρισε τις αρχές γύρω από τις οποίες η Ε.Ε χάραξε μια ευρύτερη πολιτική και θέσπισε το οριζόντιο και κάθετο νομοθετικό πλαίσιο για τα στερεά απόβλητα.

Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο(75/442/ΕΟΚ), τα κράτη μέλη υποχρεώθηκαν για πρώτη φορά να λάβουν συγκεκριμένα μέτρα αναφορικά με τη διαχείριση των αποβλήτων ,με σκοπό:

- Τον περιορισμό των απορριμμάτων, την Ανακύκλωση και τις Μεθόδους Επεξεργασίας με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας (άρθρο 3)
- Την ασφάλη για τον άνθρωπο και το περιβάλλον τελική διάθεση στερεών αποβλήτων (άρθρο 4)
- Τη σύνταξη από κάθε κράτος μέλος ενός συγκεκριμένου Σχεδίου Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (άρθρα 5 και 6)
- Τον ορισμό διαδικασιών Αδειοδότησης επιχειρήσεων ή εγκαταστάσεων, σχετικών με τη ΔΑΣΑ (άρθρο 8)
- Την εισαγωγή της ευθύνης του παραγωγού, μέσω της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» (άρθρο 11)

Από το 1975 που θεσπίστηκε η οδηγία πλαίσιο για λογαριασμό της ΕΕ, υπέστη αρκετές τροποποιήσεις χωρίς φυσικά να αλλάζει το νόημα και οι βασικές της αρχές. Οι τροποποιήσεις οφείλονται κυρίως στην εξέλιξη της τεχνολογίας (η οποία δίνει νέες λύσεις), στα νέα επιστημονικά δεδομένα τα οποία ορίζουν νέες προτεραιότητες, στην ανάγκη για καλύτερη εφαρμογή των νόμων και στην προοδευτική ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής πολιτικής στις άλλες πολιτικές δράσεις.

Για παράδειγμα, την Οδηγία (75/442/ΕΟΚ), ακολούθησε η Οδηγία (92/156/ΕΟΚ) που θεσπίστηκε από το Συμβούλιο της 18<sup>ης</sup> Μαρτίου, 1991 με σκοπό την καλύτερη και πιο σαφή ιεράρχηση των μεθόδων διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Έτσι σύμφωνα με το (άρθρο 3) της εν λόγω οδηγίας, αποσαφηνίζεται η ιεράρχηση των μεθόδων διαχείρισης ΑΣΑ και δίνεται προτεραιότητα στην πρόληψη, τον περιορισμό και τη μείωση της παραγωγής των αποβλήτων και της βλαπτικότητας αυτών και στη συνέχεια ακολουθούν πρακτικές όπως αυτή της αξιοποίησης των παραγόμενων αποβλήτων, μέσω της ανακύκλωσης, της επαναχρησιμοποίησης και



γενικά μέσω της ανάκτησης υλικών και ενέργειας. Ενώ σύμφωνα με το (άρθρο 5) της Οδηγίας (92/156/ΕΟΚ), προβλέπεται η δημιουργία χώρων Τελικής Διάθεσης σε κάθε κράτος μέλος, που θα πληρούν τις κατάλληλες προδιαγραφές και θα ευκολύνουν μια πολιτική διαχείρισης απορριμμάτων σύμφωνη με τις αρχές της Αυτάρκειας και της Εγγύτητας.

Το 2006 θεσπίστηκε η Οδηγία 2006/12/ΕΚ, «περί στερεών αποβλήτων», με σκοπό να συγκεντρώσει όλες τις τροποποιήσεις και αποσαφηνίσεις που ακολούθησαν την Οδηγία (75/442/ΕΟΚ) και να τις εντάξει σε ένα νέο πλαίσιο. Πλέον η Ευρωπαϊκή Ένωση καλείται να γίνει μια κοινωνία σωστής χρήσης πόρων και ανακύκλωσης.

Παρόλα αυτά όμως το 2008 επισημάνθηκαν τρία βασικά προβλήματα, τα οποία απασχολούν την κοινότητα μέχρι και σήμερα και θα συνεχίσουν να την απασχολούν για τα επόμενα χρόνια, τα οποία έχουν να κάνουν με:

- Τη διαρκώς αυξανόμενη ποσότητα των απορριμμάτων (ΑΣΑ), γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την πολιτική της πρόληψης και μείωσης της παραγωγής και οφείλεται στις μη ελεγχόμενες συνέπειες της οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης (πράγμα που παραπέμπει στη μη σωστή εφαρμογή των νόμων)
- Το γεγονός ότι παρ' όλη την εξέλιξη των μεθόδων εκτροπής απορριμμάτων (Ανακύκλωση, Αποτέφρωση κλπ), δε δείχνει να μειώνεται η ποσότητα των απορριμμάτων που καταλήγει σε εδαφική διάθεση
- Τη μη σωστή εφαρμογή των νόμων από τα κράτη μέλη και τις μη αποτελεσματικές μεθόδους ελέγχου

Από τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη εκσυγχρονισμού του νομικού πλαισίου με σκοπό την αποτελεσματικότερη εφαρμογή των κανονισμών και την καλύτερη πληροφόρηση των πολιτών και των επιχειρήσεων, ούτως ώστε να εισαχθεί σε όλες τις δράσεις η Ανάλυση Κύκλου Ζωής και η Εκτίμηση Περιβαλλοντικού Κινδύνου.

Η Οδηγία 2008/98/ΕΚ που αποτελεί και αυτή συνέχεια της αρχικής Οδηγίας Πλαίσιο του 1975 τέθηκε σε εφαρμογή στις 12/12/2010 και ισχύει μέχρι και σήμερα. Οι Βασικές αρχές που υποστηρίζονται και εδώ είναι:

- Αρχή της Επικουρικότητας, σύμφωνα με την οποία κάθε κράτος μέλος έχει το δικό του νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με το περιβάλλον
- Αρχή της Αναλογικότητας, σύμφωνα με την οποία η Ευρωπαϊκή Επιτροπή περιορίζεται μόνο στην έκδοση γενικών Οδηγιών (Οδηγία Πλαίσιο) και στη δημιουργία προγραμμάτων δράσης
- Αρχή της Αυτάρκειας, σύμφωνα με την οποία η επεξεργασία και η τελική διάθεση των αποβλήτων πρέπει να γίνεται εντός της πόλης – νομού – περιφέρειας που παράγονται

- Αρχή της Εγγύτητας, σύμφωνα με την οποία τα απόβλητα θα πρέπει να διατίθενται όσο το δυνατό κοντινότερα στην περιοχή παραγωγής τους, προκειμένου να αποφεύγεται η μεταφορά αυτών σε μεγάλες αποστάσεις.
- Αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», σύμφωνα με την οποία αυτός που προκαλεί τη ρύπανση, υποχρεούται σε αποκατάσταση των όποιων περιβαλλοντικών απωλειών

Οι σημαντικότερες προτάσεις της Οδηγίας Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ, είναι οι εξής:

- Αποσαφήνιση του ορισμού που έχει δοθεί σε συγκεκριμένες έννοιες, όπως είναι αυτή του «αποβλήτου», της «ανακύκλωσης», της «ανάκτησης» και της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει»
- Εισαγωγή περιβαλλοντικού στόχου
- Εισαγωγή της «διευρυμένης ευθύνης παραγωγού»
- Αποσαφήνιση προϋποθέσεων για την ανάμειξη επικίνδυνων αποβλήτων
- Εισαγωγή ελάχιστων προτύπων για διαδικασίες διαχείρισης στερεών αποβλήτων
- Εισαγωγή προγραμμάτων κατάρτισης προς αποφυγή της δημιουργίας αποβλήτων
- Απλοποίηση του ισχύοντος νομικού πλαισίου
- Ενίσχυση των διαδικασιών Βιολογικής Επεξεργασίας
- Αυστηρότερη Ιεράρχηση των μεθόδων διαχείρισης

Αξίζει να σημειωθεί επίσης πως η Οδηγία Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ, συν τοις άλλοις ενθαρρύνει την παραγωγή και εμπορία προϊόντων ή υλικών που είναι ικανά για πολλαπλές χρήσεις και κατάλληλα για μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων, όπως η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση.

Επιπλέον η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατευθύνεται προς τη διαμόρφωση δεικτών των μέτρων πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων, εισάγοντας νέες προτάσεις και κατευθυντήριες γραμμές. Οι δείκτες αυτοί θα βοηθήσουν τα κράτη μέλη στην προσπάθεια για σωστή ιεράρχηση των πολιτικών διαχείρισης (πρόληψη).

## **4.2. Ελληνική Περιβαλλοντική Πολιτική**

### **4.2.1. Βασικές Αρχές και Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων**

Η Ελλάδα ως κράτος μέλος, υποχρεούται προς εναρμόνιση με τις βασικές αρχές και τις οδηγίες που δίνονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σύμφωνα με κάθε νέα Οδηγία πλαίσιο που συντάσσεται. Με άλλα λόγια η Ελλάδα όπως και κάθε κράτος μέλος της ΕΕ οφείλει να προσαρμόζει, σύμφωνα με την αρχή της εγγύτητας, το

νομοθετικό της πλαίσιο, εισάγοντας νέους νόμους ή εκδίδοντας τροποποιήσεις σχετικά με τους υπάρχοντες.

Εκτός των Ευρωπαϊκών κανονισμών, η περιβαλλοντική δράση στην Ελλάδα βασίζεται στο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) και εφαρμόζεται σύμφωνα με το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο, τις διάφορες υπουργικές αποφάσεις και τα προεδρικά διατάγματα, που στοχεύουν στη ορθολογική διαχείριση των στερεών αποβλήτων, κατά την επιταγή του άρθρου 24 του συντάγματος, για την προστασία του περιβάλλοντος. Οι βασικές αρχές της Ελληνικής περιβαλλοντικής πολιτικής δε θα μπορούσαν να αποκλίνουν από αυτές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οπότε είναι σκόπιμο να αναφερθούν και σ' αυτό το σημείο κάποιες από τις αρχές που έχουν ήδη αναφερθεί πιο πάνω:

- Αρχή της Πρόληψης και αποφυγής παραγωγής αποβλήτων
- Αρχή της διευρυμένης ευθύνης του Παραγωγού
- Η Αρχή του «ο ρυπαίνων πληρώνει»
- Αρχή της Εγγύτητας και της Αυτάρκειας
- Αρχή της σωστής Ιεράρχησης δράσεων και Χρησιμοποίησης των βέλτιστων διαθέσιμων Τεχνικών διάθεσης (Επαναχρησιμοποίηση – Ανακύκλωση – Ανάκτηση Υλικών και Ενέργειας – Ασφαλής Διάθεσης σε κατάλληλα διαμορφωμένους ΧΥΤΑ ή ΧΥΤΥ)

Κατόπιν θεσπίσεως του Νόμου (4042/2012), καθορίζονται συγκεκριμένα Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων (ΣΔΑ) τα οποία εκπονούνται από το ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος – Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής) σε συνεργασία με το αρμόδιο σε κάθε περίπτωση υπουργείο. Σύμφωνα με το άρθρο 35 του Ν. 4042/2012, ορίζονται τρία είδη Σχεδίων Διαχείρισης, τα οποία αναφέρονται σε όλες τις κατηγορίες αποβλήτων και καλύπτουν το σύνολο της επικράτειας. Έτσι λοιπόν διακρίνονται:

- Το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), το οποίο καθορίζει γενικά τους στόχους και τις πολιτικές δράσης για ολόκληρη την επικράτεια και εκπονείται από το ΥΠΕΚΑ
- Τα Ειδικά Εθνικά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων, τα οποία αφορούν ορισμένα ρεύματα αποβλήτων όπως Αμίαντος, Υδράργυρος, απόβλητα Υγειονομικών Μονάδων κλπ.
- Το Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΠΣΔΑ), το οποίο καταρτίζεται ξεχωριστά για κάθε Περιφέρεια, προσαρμόζοντας ανάλογα τις γενικές οδηγίες του ΕΣΔΑ. Υπεύθυνος για την πορεία και την υλοποίηση του ΠΕΣΔΑ είναι ο οικείος περιφερειακός Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦΟΔΣΑ) ο οποίος υπάγεται στην οικεία Περιφέρεια.

#### 4.2.2. Βασική Περιβαλλοντική Νομοθεσία

Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά οι βασικότερες νομοθετικές ρυθμίσεις, όπως υπάρχουν στο ειδικό τεύχος *«Διαχείριση Αποβλήτων: Θεσμικό Πλαίσιο – Ρόλοι και Αρμοδιότητες Εμπλεκόμενων φορέων, Υπ. Δημοσίας Τάξης και Προστασίας του Πολίτη, Αθήνα 2013»*

- Ν. 4071/2012 (ΦΕΚ 85/Α) «Ρυθμίσεις για την τοπική ανάπτυξη, την Αυτοδιοίκηση και την Αποκεντρωμένη Διοίκηση»
- Ν. 3852/2010 (ΦΕΚ 87/Α) «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης»
- Ν. 4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α) «Ποινική προστασία του περιβάλλοντος-Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ-Ρύθμιση θεμάτων ΥΠΕΚΑ»
- Ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160/Α) «Για την Προστασίας του Περιβάλλοντος», όπως τροποποιήθηκε με το Ν. 3010/2002 (ΦΕΚ 1016/Β)
- Ν. 2939/2001 (ΦΕΚ 179/Α) «Συσκευασίες και Εναλλακτική Διαχείριση των Συσκευασιών και άλλων Προϊόντων- Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.)», όπως τροποποιήθηκε από το Ν. 3854/10 (ΦΕΚ 94/Α), και τις Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις 9268/469/07 (ΦΕΚ 286/Β) - 9269/470/07 (ΦΕΚ 286/Β) - 104826/2004 (ΦΕΚ 849/Β) και τα σχετικά Προεδρικά Διατάγματα.
- ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909/Β) «Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων - Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», όπως τροποποιήθηκε από το Ν. 3982/2011 (ΦΕΚ 143/Α)
- ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572/Β) «Μέτρα και όροι για την Υγειονομική Ταφή των Αποβλήτων»
- ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ 1016/Β) «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων».

Ενώ οι πιο πρόσφατες νομοθετικές ρυθμίσεις αφορούν κυρίως την Πρόληψη και τον περιορισμό της δημιουργίας αποβλήτων, όπως παρατίθενται:

- ΚΥΑ 51373/4684/25.11.2015 (ΦΕΚ 2706/Β') και Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 49/15.12.2015 (ΦΕΚ 174/ Α') «για τροποποίηση και έγκριση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) και του Εθνικού Στρατηγικού Σχεδίου Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων»
- Ν. 4342/2015 «αναφορικά με την έγκριση και κύρωση των Περιφερειακών Σχεδίων Διαχείρισης Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ)»
- Τροποποίηση του άρθ. 38 παρ.6 του Ν.4042/2012 με το άρθ. 42 του Ν. 4409/2016 (ΦΕΚ136/ Α') « όπου προβλέπεται η έκδοση ΚΥΑ αναφορικά με τους ορισμούς, τις κατηγορίες και τις προδιαγραφές των Πράσινων Σημείων

και των Κέντρων Ανακύκλωσης, Εκπαίδευσης και Διαλογής στην Πηγή (ΚΑΕΔΙΣΠ)»

- Υπουργική απόφαση οικ. 181504/9.8.2016 «για Κατάρτιση, περιεχόμενο και σύστημα διαχείρισης του Εθνικού Μητρώου Παραγωγών - Καθορισμός διαδικασίας εγγραφής των παραγωγών, στο πλαίσιο της εναλλακτικής διαχείρισης των συσκευασιών και άλλων προϊόντων, σύμφωνα με τα άρθ. 7 και 17 του Ν. 2939/2001»

#### **4.2.3. Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων**

Σύμφωνα με το νόμο (Ν. 3536/2007), υπεύθυνοι για την ολοκληρωμένη διαχείριση των στερεών αποβλήτων κάθε περιφέρειας είναι οι ΦΟΔΣΑ (Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων). Πρόκειται για συνδέσμους ή Α.Ε. των Δήμων μιας περιφέρειας, που βάση του νόμου (Ν. 4071/2012) λειτουργούν για όλες τις Περιφέρειες πλην της Αττικής ως ΝΠΔΔ (Νομικό Πρόσωπο Δημοσίου Δικαίου) εντός των διοικητικών ορίων κάθε περιφέρειας. Στην περίπτωση της Αττικής, το ρόλο του ΝΠΔΔ παίζει ο Ειδικός Διαβαθμικός Σύνδεσμος Νομού Αττικής (ΕΔΣΝΑ) που έχει την έδρα του στην Αθήνα (Ν. 3852/2010).

Στην αρμοδιότητα ενός περιφερειακού συνδέσμου ΦΟΔΣΑ υπάγεται υποχρεωτικά ο τομέας διαχείρισης των μονάδων προσωρινής αποθήκευσης, μεταφόρτωσης, επεξεργασίας, Ανάκτησης και Τελικής Διάθεσης, όπως και η θαλάσσια μεταφορά των Αστικών Αποβλήτων των Δήμων της Περιφέρειας (ΚΥΑ 2527/2009).

Αναφορικά με το νομό Αττικής, ο Ειδικός Διαβαθμικός Σύνδεσμος Αττικής (ΕΔΣΝΑ), ο οποίος λειτουργεί όπως αναφέρθηκε ως ΝΠΔΔ και στον οποίο μετέχουν όλοι οι Δήμοι του νομού καθώς και η μητροπολιτική περιφέρεια Αττικής, στοχεύει σύμφωνα με το νόμο (Ν. 3852/2010) στην:

- Προσωρινή Αποθήκευση, Ανακύκλωση, Ανάκτηση και Τελική Διάθεση των Στερεών Αποβλήτων
- Σωστή λειτουργία όλων των εγκαταστάσεων
- Κατασκευή νέων μονάδων Επεξεργασία και Ανάκτησης
- Αποκατάσταση των υφιστάμενων Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) και η σταδιακή αντικατάστασή τους με νέους ΧΥΤΑ

#### **4.2.5. Εδαφική Διάθεση Αποβλήτων**

Η ανεξέλεγκτη Διάθεση στερεών αποβλήτων στους γνωστούς ΧΑΔΑ έχει απαγορευτεί σύμφωνα με την ΚΥΑ 50910/2727/2003 και τιμωρείται με πρόστιμο σύμφωνα με το Ν. 4042/2012, προς του οικείου Δήμου και άλλους νομικούς

φορείς και πρόσωπα. Οι υπεύθυνοι φορείς υποχρεούνται από το κράτος προς αποκατάσταση των ΧΑΔΑ, αφού λάβουν πρώτα ειδική άδεια.

Σχετικά με τους χώρους Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ), για την έκδοση άδειας λειτουργίας αρμόδια αρχή είναι η Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωρικού Σχεδιασμού της κάθε περιφέρειας (Ν. 4042/2012), ενώ την ευθύνη της λειτουργίας, όπως έχει αναφερθεί, την έχουν ανάλογα με την περιφέρεια, οι οικείοι Δήμοι ή οι περιφερειακοί ΦΟΔΣΑ (ΚΥΑ 29407/3508/2002).

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 4641/232/2006, σε έναν ΧΥΤΑ θα πρέπει να προβλέπεται η ύπαρξη των εξής:

- Ολοκληρωμένου Σχεδιασμού σε ότι αφορά την ασφαλή λειτουργία και το σύστημα παρακολούθησης
- Προγράμματος μελλοντικών επεμβάσεων (π.χ. χωματουργικά έργα για πιθανή επέκταση – άνοιγμα νέου φατνώματος)
- Προγράμματος αποκατάστασης ποιότητας των υπόγειων υδάτων, σε περίπτωση που παρατηρηθεί ρύπανση αυτών από το σύστημα παρακολούθησης
- Προγράμματος επέμβασης προς αποκατάσταση πιθανών αστοχιών κυρίως του συστήματος στεγάνωσης
- Προγράμματος αντιμετώπισης έκρηξης ή πυρκαγιάς

#### **4.2.6. Κυρώσεις Ε.Ε και Πρόγραμμα Εθνικών μελλοντικών Δράσεων**

Κατ' απόφαση της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 2016, το Δικαστήριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης επέβαλε στην Ελλάδα πρόστιμο και ημερήσια χρηματική ποινή για μη συμμόρφωση σύμφωνα με προηγούμενη απόφασή του (10ης Σεπτεμβρίου 2009), με την οποία είχε διαπιστωθεί ότι η Ελλάδα δεν εφάρμοζε, στον τομέα διαχείρισης αποβλήτων, τις κοινοτικές οδηγίες αναφορικά με:

- Τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων
- Τη Διαχείριση Επικίνδυνων Αποβλήτων
- Την Υγειονομική Ταφή Αποβλήτων

Με την απόφαση αυτή, η Ε.Ε επιβάλλει στην Ελλάδα χρηματική ποινή ύψους 30.000 ευρώ ανά ημέρα καθυστέρησης εφαρμογής της απόφασης του 2009, καθώς και το κατ' αποκοπήν ποσό, ύψους 10 εκατομμυρίων ευρώ.

Όπως γίνεται αντιληπτό η Ελλάδα πρέπει να δράσει το συντομότερο δυνατό, προς εναρμόνιση με τους κανονισμούς της Ε.Ε και ενδεικτικά αναφέρεται το μελλοντικό Σχέδιο Δράσης που αφορά την Περιφέρειας Αττικής, το οποίο μεταξύ άλλων περιλαμβάνει:

- Ξεχωριστή συλλογή έντυπου χαρτιού
- Πέντε ΧΥΤΑ και τη μελλοντική μετατροπή τους σε ΧΥΤΥ
- Τρεις Μονάδες Κομποστοποίησης
- Τρία Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμου Υλικού (ΚΔΑΥ)
- Τέσσερεις σταθμούς Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ)
- Μονάδα Θερμικής Αξιοποίησης του RDF που παράγεται στο εργοστάσιο Μηχανικής Επεξεργασίας – Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης των Λιοσίων

Κεντρικός στόχος του Περιβαλλοντικού Σχεδίου Αττικής, για τα επόμενα χρόνια, είναι η εκτροπή από την Εδαφική Διάθεση ενός ποσοστού της τάξης του 70% των παραγόμενων απορριμμάτων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### **Δυναμική Απόκριση ΧΥΤΑ**

#### **5.1. Εισαγωγή και Σεισμική Τρωτότητα ΧΥΤΑ**

Οι ΧΥΤΑ (όπως και άλλες μορφές ΧΕΔΥ) αποτελούν αντικείμενο μελέτης στον ελλαδικό χώρο εδώ και κάποια χρόνια, κυρίως λόγω των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προέκυψαν από τους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ). Γενικά η μελέτη ειδικών εγκαταστάσεων υγειονομικής ταφής αποτελεί ένα επίκαιρο θέμα περιβαλλοντικής και γεωτεχνικής φύσης. Έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια οι πολλαπλοί κίνδυνοι για το περιβάλλον και τους περίοικους κατοίκους, από πιθανές αστοχίες της μόνωσης και των συστημάτων μεταφοράς στραγγισμάτων ή βιοαερίου, οι οποίες μπορεί να προκύψουν είτε από κακό σχεδιασμό, είτε από ελλιπή παρακολούθηση κατά το στάδιο της λειτουργίας αλλά και μετέπειτα αυτής. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στην πρόκληση οποιονδήποτε αστοχιών ενός γεωτεχνικού έργου (π.χ. ΧΥΤΑ), είναι οι πιθανές καθιζήσεις του εδάφους λόγω κορεσμού αυτού σε συνδυασμό με τις επιβαλλόμενες στατικές και δυναμικές φορτίσεις.

Η Ελλάδα από τεκτονικής φύσης παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς είναι χώρα με αρκετά υψηλή σεισμική δραστηριότητα, ειδικά σε περιοχές όπως αυτή του Ιονίου, και είναι απαραίτητη η μελέτη της συμπεριφοράς στο σεισμό όχι μόνο των κτιρίων αλλά και οποιουδήποτε γεωτεχνικού έργου. Στο εξωτερικό έχουν γίνει κατά το παρελθόν μελέτες για τη συμπεριφορά των χώρων εδαφικής διάθεσης απορριμμάτων κατά το σεισμό, όμως οι περισσότερες βασίστηκαν αποκλειστικά στη μελέτη της ευστάθειας των εδαφικών αναχωμάτων. Ωστόσο έχει αποδειχτεί πως τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός ΧΥΤΑ καθώς και η συμπεριφορά της απορριμματικής μάζας και του συστήματος μόνωσης (συμπεριφορά γεωμεμβρανών), διαφοροποιούν σημαντικά τη συμπεριφορά τους από αυτή των πρανών.

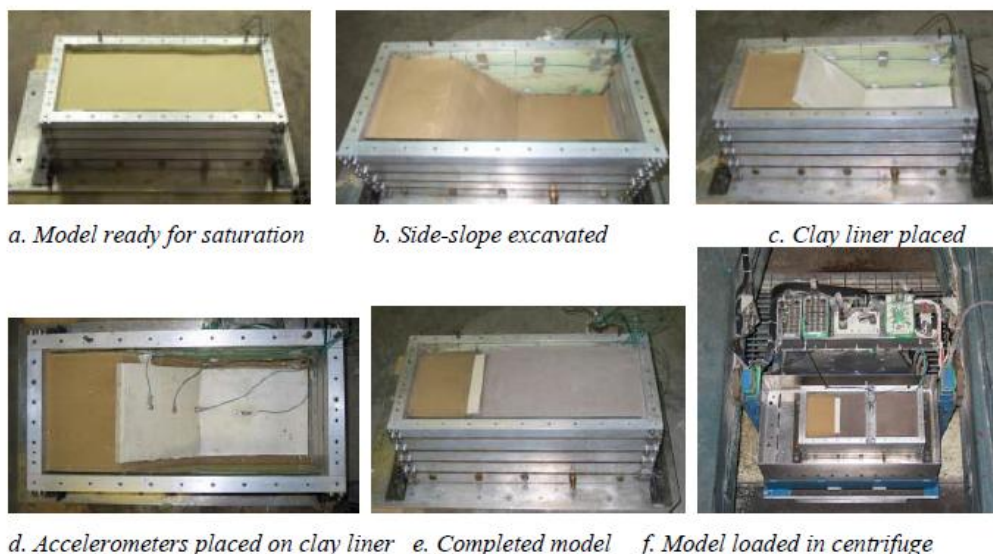
Η καταπόνηση ενός ΧΥΤΑ υπό στατικές και δυναμικές φορτίσεις είναι πιθανό να προκαλέσει εκτεταμένες ζημιές στα συστήματα μόνωσης, και διαχείρισης βιοαερίου και στραγγισμάτων καθώς και ολίσθηση των πρανών (μεγάλου ύψους) εκατέρωθεν της απορριμματικής μάζας. Όπως γίνεται αντιληπτό, τέτοιες αστοχίες δεν είναι δυνατό να επιδιορθωθούν εύκολα, αλλά ούτε είναι δόκιμο απλά να παρθούν πρόχειρα μέτρα κάλυψης αυτών και μερικού περιορισμού των ρύπων. Ανάλογα λοιπόν με τη σπουδαιότητα και την έκταση του έργου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράμετροι αστοχίας από το στάδιο της μελέτης, διαφορετικά οι περιβαλλοντικές και οικονομικές συνέπειες ενδέχεται να είναι αρκετά μεγάλες.



Αναφορικά με τη σεισμική τρωτότητα των ΧΥΤΑ, η κατηγοριοποίηση των βλαβών εντός των εγκαταστάσεων, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση, κατ' αντιστοιχία με την Ευρωπαϊκή Κλίμακα εντάσεων (European E.M.S. – 1992) έχει ως εξής:

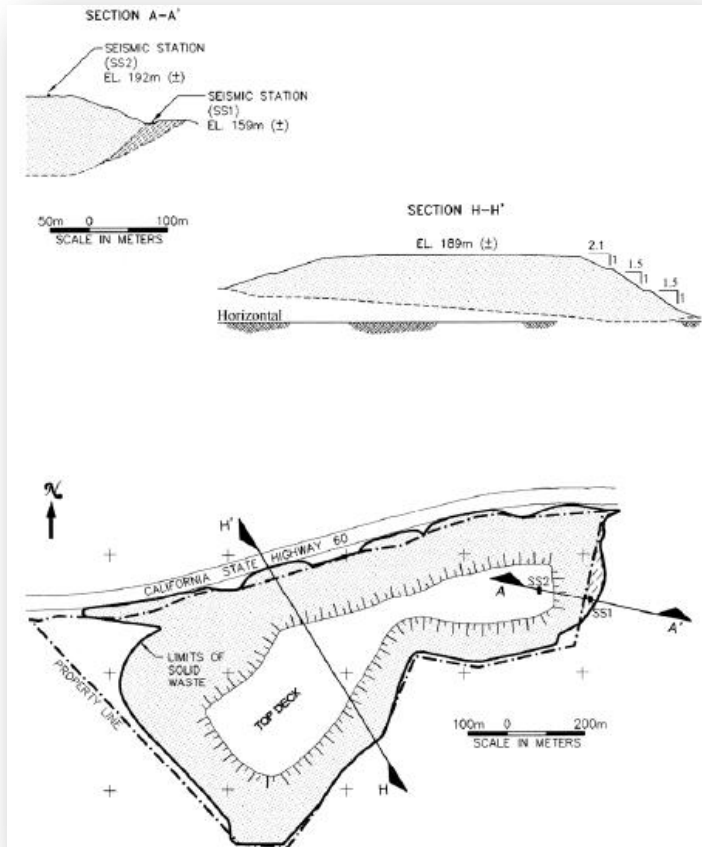
- Α) Ασήμαντες Βλάβες: χαρακτηρίζονται οι ανεπαίσθητες καθιζήσεις της επιφάνειας, οι οποίες συχνά δεν γίνονται αντιληπτές. Το σύστημα κάλυψης παραμένει ανέπαφο και η λειτουργία του χώρου συνεχίζεται κανονικά.
- Β) Μικρές βλάβες: χαρακτηρίζονται οι περιπτώσεις όπου στην ελεύθερη επιφάνεια κάλυψης του ΧΥΤΑ παρατηρούνται ασήμαντες παραμορφώσεις και μικρές διαρρήξεις, ενώ παραμένουν ανέπαφα τα συστήματα στεγανοποίησης, συλλογής βιοαερίου και στραγγισμάτων. Η λειτουργία του χώρου δεν επηρεάζεται.
- Γ) Μέτριες Βλάβες: χαρακτηρίζονται οι περιπτώσεις αστοχίας όπου στην ελεύθερη επιφάνεια κάλυψης του ΧΥΤΑ παρατηρούνται μικρές παραμορφώσεις και διαρρήξεις, ενώ στο χώρο απόθεσης διακρίνονται μικροκαθιζήσεις και κατολισθήσεις. Το σύστημα στεγανοποίησης παραμένει ανέπαφο, όμως ενδέχεται να υπάρχουν μικρές βλάβες στο σύστημα συλλογής των αερίων, χωρίς να παρατηρείται διαφυγή ρυπαντών. Ο χώρος λειτουργεί κανονικά.
- Δ) Σημαντικές Βλάβες: σε αυτή την κατηγορία παρατηρούνται σημαντικές παραμορφώσεις στην ελεύθερη επιφάνεια κάλυψης, ενώ αναπτύσσονται ταυτόχρονα καθιζήσεις και κατολισθήσεις στον χώρο των απορριμμάτων. Παράλληλα το σύστημα στεγανοποίησης υφίσταται μικρές διαρρήξεις, ενώ παρατηρείται και σχετική αποκόλληση του κυρίως σώματος από την υπόβαση. Το σύστημα συλλογής και μεταφοράς αστοχεί μερικώς και παρατηρούνται εκροές προς το περιβάλλον. Οι βλάβες είναι επισκευάσιμες, ενώ ο χώρος εξακολουθεί να λειτουργεί.
- Ε) Μερική Καταστροφή: σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται οι περιπτώσεις όπου εμφανίζονται σημαντικές παραμορφώσεις στην επιφάνεια κάλυψης, κατολισθήσεις και καθιζήσεις στην περιοχή των συγκεντρωμένων απορριμμάτων, κατολισθήσεις πρανών, διάρρηξη του συστήματος στεγανοποίησης καθώς και αποκόλλησή του από την υπόβαση. Μεγάλες ζημιές επίσης σημειώνονται στα συστήματα συγκέντρωσης αερίων και στραγγισμάτων με σημαντική διαφυγή ρυπαντών προς το περιβάλλον. Οι βλάβες χαρακτηρίζονται δύσκολα επισκευάσιμες και τίθεται πλέον υπό αμφισβήτηση η συνέχιση λειτουργίας του χώρου.
- ΣΤ) Ολική Καταστροφή: Ο ΧΥΤΑ δεν επιδέχεται πλέον καμία επισκευή, καθώς ο χώρος υποδοχής απορριμμάτων και τα έργα περιμετρικά αυτού, καταστρέφονται σχεδόν ολοσχερώς και παρατηρείται ανεξέλεγκτη διαφυγή ρυπαντών στο περιβάλλον

## 5.2. Έρευνες σχετικές με τη Σεισμική απόκριση ΧΥΤΑ



Εικόνα 5.50\_ Προσομοίωση ιδιαίτερων χαρακτηριστικών ΧΥΤΑ και μελέτη Σεισμικής Απόκρισης στο εργαστήριο (πειραματική διαδικασία N.I. Thusyanthan & S.P.G. Madabhushi, University of Cambridge 2005) [11]

Στο εξωτερικό έχουν γίνει αρκετές μελέτες σχετικά με το ζήτημα της απόκρισης των ΧΥΤΑ στη σεισμική διέγερση και αρκετές δημοσιεύσεις έχουν γίνει για λογαριασμό σεισμογενών περιοχών των ΗΠΑ. Ειδικά για την πολιτεία της Καλιφόρνια, όπου έχουν καταγραφεί και οι μεγαλύτερες βλάβες ΧΥΤΑ που κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τις σύγχρονες προδιαγραφές, μετά το σεισμό του Northridge το 1994, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες, οι περισσότερες των οποίων έγιναν για λογαριασμό του ΧΥΤΑ ΟΙΙ (Operating Industries, Inc), που είναι ο πρώτος ΧΥΤΑ ο οποίος αποτέλεσε αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης, σχετικά με τη σεισμική τρωτότητα (το 1987 τοποθετήθηκε σύστημα καταγραφής σεισμικών μεγεθών, αποτελούμενο από δύο επιταχυνσιογράφους).



Εικόνα 5.51\_ Σχέδια ΧΥΤΑ ΟΙΙ μετά από ερευνητικά προγράμματα 1995 (φαίνεται εγκάρσια τομή και κλίσεις πρανών καθώς και σημεία τοποθέτησης επιταχυνσιογράφων) [6]

Η λειτουργία του ΧΥΤΑ ΟΙΙ (Operating Industries, Inc) ξεκίνησε το 1948 χωρίς να έχουν παρθεί αρχικά τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης που χαρακτηρίζουν ένα ΧΥΤΑ με τη σημερινή έννοια (όπως μόνωση βάσης). Το 1984 η λειτουργία του ΧΥΤΑ διακόπηκε λόγω αστοχιών, κυρίως εξαιτίας των μεγάλων στατικών φορτίσεων σε συνδυασμό με τον κορεσμό του εδάφους και άρχισαν εργασίες αποκατάστασης και παρακολούθησης. Ο συγκεκριμένος ΧΥΤΑ αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης λόγω της γεωγραφικής του θέσης, που παρουσιάζει ισχυρή σεισμική δραστηριότητα και λόγω της έκτασης του όλου έργου (συνολικό μέγεθος 760000 m<sup>2</sup> και ύψος απορριμματικής μάζας που φθάνει περίπου τα 100 m). Η μελέτες που έγιναν κυρίως μετά και την τοποθέτηση του συστήματος επιταχυνσιογράφων το 1987, αφορούν περισσότερο τη δυναμική συμπεριφορά των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα μέσω καταγραφής περιστατικών ισχυρής σεισμικής δόνησης στη βάση και στην κορυφή της απορριμματικής μάζας του εν λόγω ΧΥΤΑ, μελετήθηκε η μη γραμμική συμπεριφορά των αποβλήτων στη σεισμική διέγερση, από τους Singh & Murphy (1990) και Kanazanjian & Matasovic (1995), ενώ την ίδια χρονιά μελετήθηκε η μεταβολή της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων στο εσωτερικό της

απορριμματικής μάζας, συναρτήσει του βάθους αυτής ( I.M. Idriss, G.L. Fiegel, M.B. Hudson, P.K. Mundy, R. Herzig).



Εικόνα 5.52\_ΧΥΤΑ ΟΙΙ, Monterey Park, California (βορειοδυτική άποψη) [8]

Στην Ιαπωνία επίσης πραγματοποιήθηκαν μελέτες σχετικά με την αντισεισμική απόκριση των ΧΥΤΑ, ιδιαίτερα μετά το σεισμό του 1995 στο Kobe, ο οποίος προκάλεσε αρκετές αστοχίες μεταξύ άλλων και σε πολλά γεωτεχνικά έργα. Αντίθετα στην Ευρώπη δεν υπάρχουν παραδείγματα τέτοιων μελετών, εφόσον οι προηγμένες οικονομικά και τεχνολογικά χώρες δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη σεισμική δραστηριότητα, ενώ χώρες όπως η Ελλάδα και η Ιταλία που πλήττονται από σεισμούς δεν έχουν δείξει το απαραίτητο ενδιαφέρον με εξαίρεση κάποιες έρευνες περισσότερο από το Πανεπιστήμιο της Μπολόνια, ενώ στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκαν για λογαριασμό κυρίως του Πολυτεχνείου Κρήτης εργασίες σχετικές με την σεισμική τρωτότητα των ΧΥΤΑ και στο 3<sup>ο</sup> πανελλήνιο συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας παρουσιάστηκε εργασία σχετικά με τη επίδραση των συστημάτων στεγάνωσης στη σεισμική συμπεριφορά των ΧΥΤΑ (ZANIA B., ΨΑΡΡΟΠΟΥΛΟΣ Π., ΤΣΟΜΠΑΝΑΚΗΣ Γ, 2008).

Οι έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα δείχνουν την ανάγκη συνδυασμένης μελέτης της αδρανειακής απόκρισης των αναχωμάτων αλλά και των τοπικών εδαφικών συνθηκών, για τον καθορισμό της σεισμικής τρωτότητας ενός ΧΥΤΑ, καθώς φυσικά και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του σεισμικού γεγονότος. Η έννοια «τοπικές εδαφικές συνθήκες» περιλαμβάνει τη γεωμορφολογία της ευρύτερης

περιοχής στην οποία βρίσκεται ο ΧΥΤΑ, καθώς και τα γεωμετρικά – μηχανικά χαρακτηριστικά της ίδιας της γεωκατασκευής, αλλά και τη συμπεριφορά της απορριμματικής μάζας υπό την επίδραση σεισμού. Παρ' όλα αυτά η μελέτη των μηχανικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της απορριμματικής μάζας είναι ένα ανοιχτό προς μελέτη πεδίο είτε μέσω εργαστηριακών δοκιμών, είτε μέσω καταγραφών επιτόπου σε κατάλληλα εξοπλισμένους ΧΥΤΑ κατά τη διάρκεια του σεισμικού γεγονότος.

Με δεδομένο ότι τα δυναμικά χαρακτηριστικά της απορριμματικής μάζας επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά της όλης γεωκατασκευής, αλλά και το γεγονός ότι η μελέτη αυτών βρίσκεται υπό συνεχή εξέλιξη, η αδρανειακή απόκριση των αναχωμάτων υπό την επίδραση σεισμού, εξακολουθεί να αποτελεί σημείο αναφοράς για τη συμπεριφορά του όλου συστήματος και για αυτό είναι απαραίτητο να υπολογίζεται με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και λαμβάνοντας υπόψη όλες τις συνιστώσες. Είναι εύλογο λοιπόν ότι η μελέτη των τοπικών εδαφικών συνθηκών πρέπει να προηγείται αυτής των αναχωμάτων προς επιλογή του καταλληλότερου συντελεστή ασφαλείας για τις ψευδοστατικές μεθόδους ή την εφαρμογή οποιασδήποτε άλλης μεθόδου επιλεγεί (μέθοδος μετατοπίσεων κλπ).

Άρα λοιπόν, οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η δυναμική απόκριση ενός ΧΥΤΑ έχουν να κάνουν κυρίως με:

- Τα Χαρακτηριστικά του Σεισμού (συχνότητα – διάρκεια – μέγιστο πλάτος)
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ, όπως το ύψος της απορριμματικής μάζας, το ύψος και η κλίση των πρανών καθώς και τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (π.χ. ιδιότητες γεωμεμβράνης)
- Τις μηχανικές και δυναμικές ιδιότητες των απορριμμάτων οι οποίες είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστούν, πράγμα που καθιστά δύσκολη την προσομοίωση και μελέτη αυτών στο εργαστήριο ή με τη χρήση κάποιου προγράμματος Η/Υ.
- Τα χαρακτηριστικά και το είδος του εδάφους θεμελίωσης καθώς και η συμπεριφορά αυτού υπό σεισμική διέγερση.
- Την ευρύτερη τοπογραφία και γεωμορφολογία της περιοχής που βρίσκεται ο ΧΥΤΑ

Και για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς όλης της γεωκατασκευής (ΧΥΤΑ), υπό σεισμική καταπόνηση, πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες αναλύσεις:

- Ανάλυση ευστάθειας των αναχωμάτων (στο παρελθόν το πρόβλημα της συμπεριφοράς των ΧΥΤΑ, προσεγγιζόταν αποκλειστικά μ' αυτόν τον τρόπο).
- Ανάλυση σεισμικής απόκρισης του εδάφους

- Ανάλυση των μηχανικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της απορριμματικής μάζας και της επίδρασης αυτών στη συμπεριφορά του όλου συστήματος.

### 5.3. Μέθοδοι υπολογισμού σεισμικής απόκρισης ΧΥΤΑ (Γενικά)

Ανάλογα με τον τρόπο και την επιθυμητή ακρίβεια προσομοίωσης της εδαφικής κίνησης ο μελετητής μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε τρεις κύριες μεθόδους δυναμικής ανάλυσης και ευστάθειας πρανών:

- Οι μέθοδοι Τάσεων – Παραμορφώσεων (stress – deformation) χρησιμοποιούνται σε εξεζητημένες περιπτώσεις όπου είναι ανάγκη να περιγραφεί με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια η μη γραμμική συμπεριφορά των υλικών. Πραγματοποιείται με δυναμική ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Στην περίπτωση των ΧΥΤΑ όμως λόγω της πολυπλοκότητας της όλης κατασκευής και των διαφορετικής φύσης εξεταζόμενων για τη δυναμική συμπεριφορά τους υλικών (υπέδαφος, πρανή, απορριμματική μάζα, γεωσυνθετικά υλικά μόνωσης), η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται αρκετά δύσκολη και σχεδόν απαγορευτική.
- Οι ψευδοστατικές μέθοδοι, δύναται στα πλαίσια μιας οριακής αστοχίας (limit equilibrium analysis) να προσεγγίσουν με σχετικά απλό τρόπο ένα Συντελεστή Ασφαλείας, ο οποίος θα αποτελεί ένα προσαυξημένο δείκτη της σεισμικής απόκρισης των αναχωμάτων.
- Οι μέθοδοι των μετατοπίσεων αποτελούν εναλλακτικές μεθόδους, οι οποίες προσβλέπουν στην αποτύπωση της αδρανειακής συμπεριφοράς των αναχωμάτων μέσω του υπολογισμού των μόνιμων παραμορφώσεων που προκαλεί σε αυτά η σεισμική δράση.

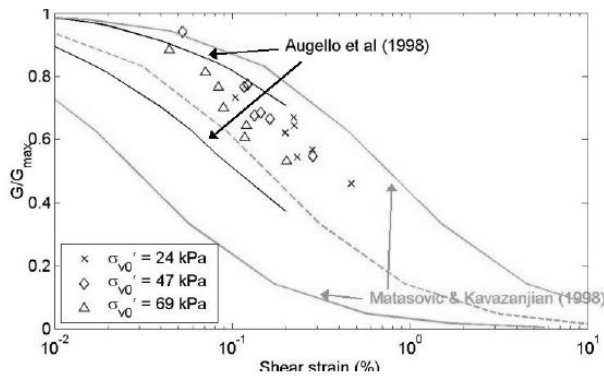
Συνήθως η ευστάθεια των απορριμματικών πρανών εκτιμάται μέσω ψευδοστατικών αναλύσεων ή με μεθόδους μετατοπίσεων και όπως έχει προαναφερθεί η ανάλυση της συμπεριφοράς των τοπικών εδαφικών συνθηκών καλό είναι να προηγείται της ψευδοστατικής ανάλυσης πρανών, με σκοπό την επιλογή του καταλληλότερου συντελεστή ασφαλείας μέσω του οποίου θα λαμβάνονται υπόψη τα ακριβή επίπεδα επιτάχυνσης από όλο το σώμα του ΧΥΤΑ. Σκοπός είναι να δοθεί η δυνατότητα, κατά την διεξαγωγή των ψευδοστατικών αναλύσεων των απορριμματικών πρανών, συνυπολογισμού και των χαρακτηριστικών της σεισμικής διέγερσης, όπως και των ιδιοτεροτήτων της κυματικής διάδοσης σε ένα ανομοιογενές υλικό, π.χ. φαινόμενα ανάκλασης – διάθλασης των σεισμικών κυμάτων κλπ.

## Τοπικές Εδαφικές Συνθήκες

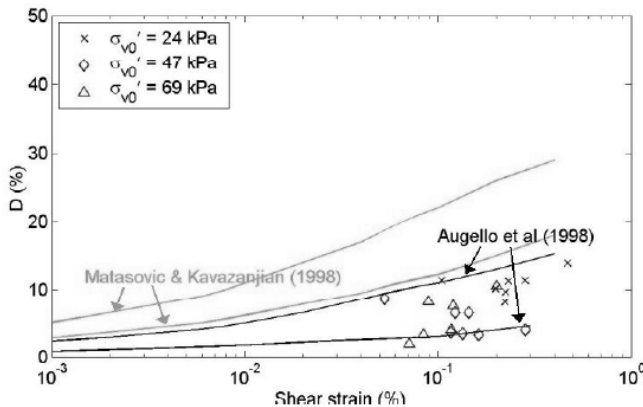
Στις τοπικές εδαφικές συνθήκες λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο η γεωμορφολογία (τοπογραφία, στρωματογραφία κλπ) της περιοχής, αλλά και τα μηχανικά – δυναμικά χαρακτηριστικά της απορριμματικής μάζας, καθώς και η γεωμετρία της κατασκευής συν την συμπεριφορά των συστημάτων μόνωσης (γεωσυνθετικά υλικά) ή οποία χαρακτηρίζεται ευνοϊκή, καθώς ένα μέρος της σεισμικής δράσης απομειώνεται χάρη στην εφελκυστική αντοχή της γεωμεμβράνης.

Αναφορικά με το έδαφος θεμελίωσης της γεωκατασκευής (ΧΥΤΑ), εφόσον αυτό είναι βράχος τα επίπεδα της σεισμικής διέγερσης στη βάση προσδιορίζονται σύμφωνα με τους υπάρχοντες αντισεισμικούς κανονισμούς για γεωτεχνικά έργα. Στην περίπτωση όμως θεμελίωσης σε αργιλώδες – μαλακό έδαφος ή έδαφος η στρωματογραφία του οποίου παρουσιάζει ανομοιογένεια, οι γενικοί αντισεισμικοί κανονισμοί δεν επαρκούν ώστε να δώσουν ακριβείς προβλέψεις για τη συμπεριφορά ενός ΧΥΤΑ. Σε αυτή την περίπτωση οι πιο απλουστευμένες Αναλύσεις Εδαφικής Απόκρισης της θεμελίωσης του ΧΥΤΑ, βασίζονται στη θεώρηση της κατακόρυφης διάδοσης των διατμητικών σεισμικών κυμάτων (μονοδιάστατες αναλύσεις), αναλύσεις που είναι και οι επικρατέστερες ως προς την εφαρμογή τους ακόμα και για ιδιαίτερες μορφές υπεδάφους, λόγω της πολυπλοκότητας των δισδιάστατων ή τρισδιάστατων αναλύσεων.

Σε ότι αφορά τώρα την απόκριση της απορριμματικής μάζας υπό την επίδραση ενός σεισμικού γεγονότος, πολλές μελέτες έγιναν από διάφορους επιστήμονες (όπως έχει ήδη αναφερθεί πιο πάνω) μέσω επιτόπου μετρήσεων από τοποθετημένους σε ΧΥΤΑ επιταχυνσιογράφους ή μέσω εργαστηριακών δοκιμών (προσομοιώνοντας χαρακτηριστικά της απορριμματικής μάζας με χρήση μείγματος άμμου και αργίλου), μελέτες οι οποίες παρόλο που αποκλίνουν σε ένα ποσοστό, δείχνουν να επαληθεύονται δεδομένων και των διαφορετικών συνθηκών της κάθε πειραματικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα οι Idriss et al (1995) όπως και οι Augello et al (1998), Kanazanjian & Matasovic (1998) προχώρησαν σε ανάλυση των καταγραφών με σκοπό τη δημιουργία διαγραμμάτων, μέσω των οποίων θα αποτυπώνεται η απομείωση του μέτρου διάτμησης  $G$  και η αύξηση της απόσβεσης ( $\xi$ ) συναρτήσει της οριζόντιας διατμητικής παραμόρφωσης (μη γραμμικής συμπεριφοράς των απορριμμάτων κατά τη διάδοση των οριζόντιων διατμητικών κυμάτων).



Εικόνα 5.53\_ Καμπύλες που δείχνουν την απομείωση του μέτρου διάτμησης  $G$  της απορριμματικής μάζας συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης σύμφωνα με τους Kavazanjian & Matasovic και Augello et al (1998) [15]



Εικόνα 5.54\_ Καμπύλες όπου φαίνεται η αύξηση της απόσβεσης  $\xi$  της απορριμματικής μάζας συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης σύμφωνα με τους Kavazanjian & Matasovic και Augello et al (1998) [15]

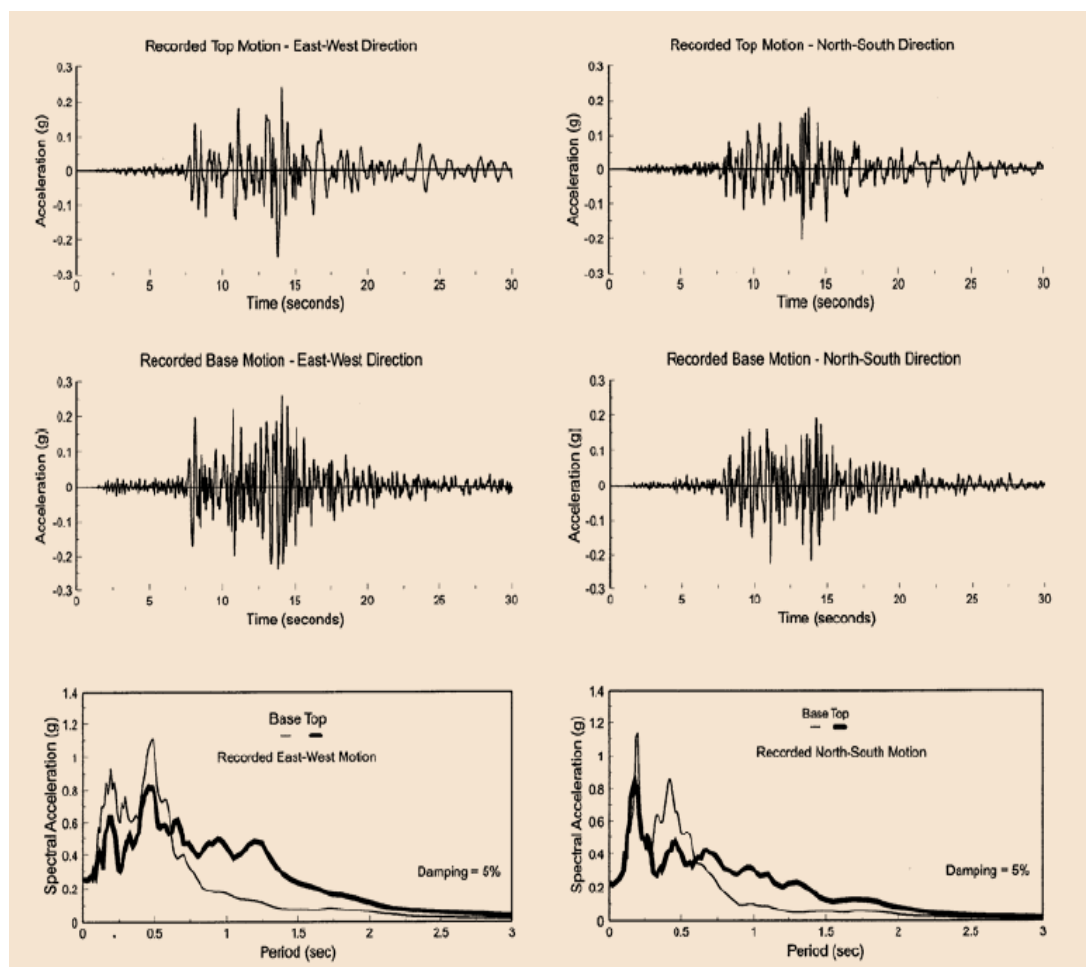
## 5.4. Παράδειγμα Αστοχίας ΧΥΤΑ υπό Δυναμική καταπόνηση

### ΧΥΤΑ ΟΙΙ (Operating Industries, Inc)

Ο σεισμός του Northridge (1994), εξαιτίας του οποίου κατεγράφησαν πολλαπλές αστοχίες σε ΧΥΤΑ και σε μεγάλη ακτίνα (μέχρι και 100 Km) από το επίκεντρο αυτού, αποτελεί σημείο αναφοράς σχετικά με τη διερεύνηση της σεισμικής τρωτότητας των εν λόγω έργων. Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του σεισμού του Northridge που σημειώθηκε στις 17/1/1994, αυτός είχε μέγεθος σεισμικής ροπής ( $M_w$ )  $M_w = 6,7$  και εστιακό βάθος που εκτιμήθηκε κοντά στα 18,4 Km. Σύμφωνα με συστηματικές μελέτες που έγιναν για λογαριασμό του οργανισμού IWMB (Intergrated Waste Management Board) σε αρκετούς ΧΥΤΑ της ευρύτερης περιοχής, υπολογίστηκαν για το συγκεκριμένο γεγονός οριζόντιες σεισμικές επιταχύνσεις (PHGA) στη βάση κάθε γεωκατασκευής, που κυμαίνονταν περίπου από 0,24 έως 0,38g (μεγέθη ανοιγμένα



στην επιτάχυνση της βαρύτητας). Παρακάτω φαίνονται οι Χρονοϊστορίες και τα Φάσμα Απόκρισης επιτάχυνσης του σεισμικού γεγονότος όπως κατεγράφη από το σύστημα των επιταχυνσιογράφων που τοποθετήθηκε στον ΧΥΤΑ ΟΙΙ (Operating Industries, Inc) το 1987, όπου φαίνεται η μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση (PHGA) στη βάση και στην κορυφή 0,26g και 0,25g αντίστοιχα, για τη μία διεύθυνση, ενώ ως προς τη διεύθυνση Βορρά – Νότου η οριζόντια επιτάχυνση δε φαίνεται να ξεπερνά τα 0,2g σε βάση και κορυφή.



Εικόνα 5.55\_Φάσμα Απόκρισης, όπως προέκυψε από το σύστημα επιταχυνσιογράφων του ΧΥΤΑ ΟΙΙ για σεισμό Northridge 1994 [6]

Ο σεισμός του Northridge φανέρωσε την όχι σωστή τοποθέτηση των επιταχυνσιογράφων, καθώς η εκτιμώμενη σεισμική επιτάχυνση με βάση υπολογισμούς από ειδικούς επιστήμονες, ήταν PHGA = 0,10g. Η λάθος μέτρηση του σεισμικού μεγέθους από τους επιταχυνσιογράφους τελικά αποδόθηκε στη λάθος

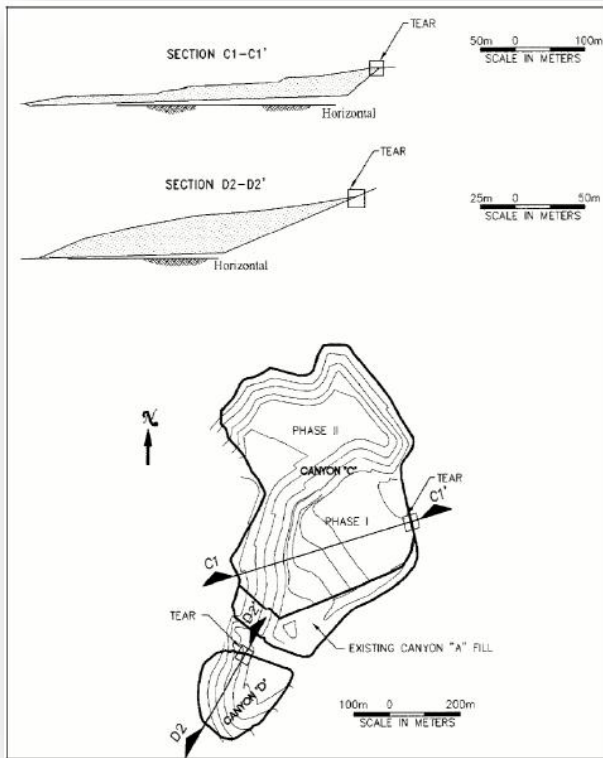
εκτίμηση της σύστασης του υπεδάφους επί του οποίου ήταν τοποθετημένο το σύστημα των επιταχυνσιογράφων.

Στον συγκεκριμένο ΧΥΤΑ που απείχε 43km από το επίκεντρο, δεν παρατηρήθηκαν βλάβες που να σχετίζονται άμεσα με το σεισμικό γεγονός, παρά μόνο κάποιες ρηγματώσεις στην επιφάνεια και σε θέσεις που λίγο – πολύ δικαιολογούνταν και λόγω καθιζήσεων που συνήθως οφείλονται σε στατικές φορτίσεις.

#### ΧΥΤΑ Chiquita Canyon

Ο ΧΥΤΑ που έπαθε τις μεγαλύτερες βλάβες από το σεισμό του Northridge και που είναι αρκετά σημαντικό να αναφερθεί σ' αυτό το σημείο, ήταν ο ΧΥΤΑ Chiquita Canyon στον οποίο μετρήθηκε μια μέγιστη σεισμική επιτάχυνση PHGA = 0,33g και οι αστοχίες που υπέστη είχαν να κάνουν κυρίως με το σύστημα στεγάνωσης γεωμεμβρανών και ειδικότερα κοντά στις θέσεις αγκύρωσης, θέσεις που ούτως ή άλλως καταπονούνται περισσότερο λόγω των συγκεντρωμένων τάσεων από την αναμενόμενη σε βάθος χρόνου καθίζηση του εδάφους (συρρίκνωση βιοαποδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων).

Ο ΧΥΤΑ Chiquita Canyon του οποίου η λειτουργία ξεκίνησε το 1972, κατέχει σήμερα μια έκταση περίπου 1,54km<sup>2</sup> και το ύψος των απορριμματικών πρανών φτάνει τα 30m. Το 1972 που άρχισε η λειτουργία του ΧΥΤΑ δεν είχε προβλεφθεί μόνωση πυθμένα, ωστόσο στις επεκτάσεις που έγιναν με τον καιρό, κατά τη σταδιακή ανάπτυξη του έργου το οποίο βρισκόταν ακόμα σε λειτουργία το 1994, τοποθετήθηκε σύστημα μόνωσης με γεωμεμβράνες από υλικό HDPE πάχους 1,5 mm, ακριβώς όπως προέβλεπαν οι νέοι κανονισμοί. Το σύστημα μόνωσης ήταν αυτό που φανέρωσε την τρωτότητα της γεωκατασκευής και μάλιστα, όπως αναφέρθηκε ήδη, κοντά στα σημεία αγκυρώσεων, που καταπονούνται σε σημαντικό βαθμό και από στατικές φορτίσεις. Πιο συγκεκριμένα υπήρξαν στη μόνωση της επιφάνειας του ΧΥΤΑ, δύο θέσεις αστοχίας (Chiquita Canyon C και Chiquita Canyon D) στις οποίες παρατηρήθηκαν επιμήκεις σχισμές της γεωμεμβράνης όπως παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα, η μία (θέση: C1 – C1') είχε μήκος 4,0m και πλάτος 0,24m, ενώ στη θέση (D2 – D2') παρατηρήθηκαν τρεις σχισμές ανάλογου περίπου μεγέθους. Εκτός αυτών των αστοχιών, σημειώθηκε σημαντική καθίζηση των απορριμματικών πρανών, αλλά και ρηγματώσεις στο εδαφικό υλικό κάλυψης των απορριμμάτων.

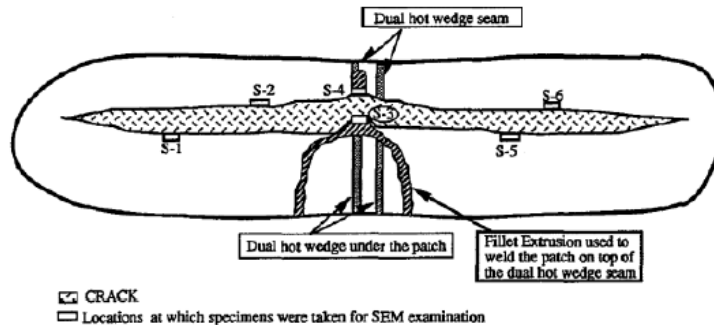


Εικόνα 5.56\_ Κάτοψη και τομή ΧΥΤΑ Chiquita Canyon, όπου φαίνονται οι θέσεις αστοχίας της γεωμεμβράνης επί των τομών (C1 - C1') και (D2 - D2') [23]



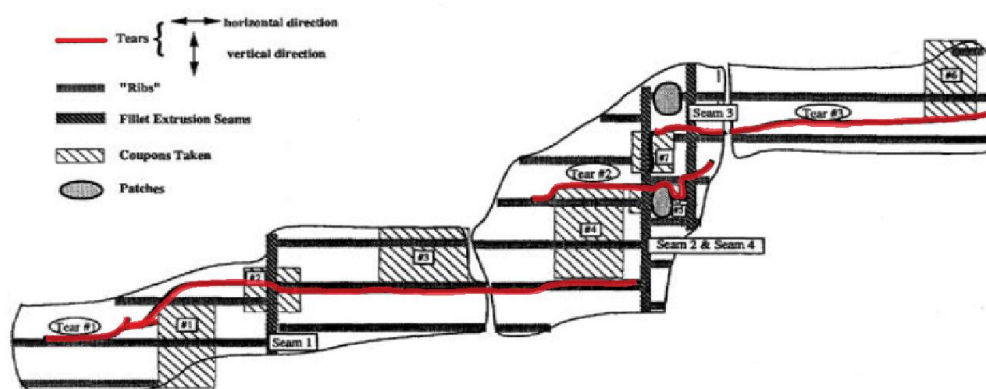
Εικόνα 5.57\_ Σχισμές γεωμεμβράνης στην τομή: C1 - C1' (αριστερά) και στην τομή: D2 - D2' (δεξιά) του ΧΥΤΑ Chiquita Canyon [23]

Αξίζει να σημειωθεί πως σε όλες τις περιπτώσεις αστοχίας, οι σχισμές ξεκινούσαν από τα σημεία όπου είχε αφαιρεθεί, πριν το σεισμό, τμήμα της γεωμεμβράνης για εργαστηριακό έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού και της ποιότητας συγκόλλησης.



Εικόνα 5.58\_ Σχισμή στο Canyon C, όπου διακρίνονται τα σημεία στα οποία είχε αφαιρεθεί δείγμα γεωμεμβράνης για εργαστηριακό έλεγχο και η αστοχία της διπλής συγκόλλησης (EMCON Associates 1994) [23]

Αναφορικά με τις τρεις σχισμές της γεωμεμβράνης που παρατηρήθηκαν στον τομέα D' του ΧΥΤΑ αυτές ήταν μεταξύ τους παράλληλες, συνολικού μήκους 23m και σχηματίστηκαν στην κορυφή των απορριμματικών αναχωμάτων κατά τη διεύθυνση των ειδικά κατασκευασμένων τάφρων για τη συγκύρωση της γεωμεμβράνης, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5.59\_ Canyon D όπου φαίνονται οι τρεις παράλληλες σχισμές της γεωμεμβράνης στην επιφάνεια των πρανών (κόκκινο), οι συγκολλήσεις μεμβρανών που αστόχησαν και τα σημεία απ' όπου αφαιρέθηκαν δείγματα γεωμεμβράνης για εργαστηριακό έλεγχο (EMCON Associates 1994) [23]

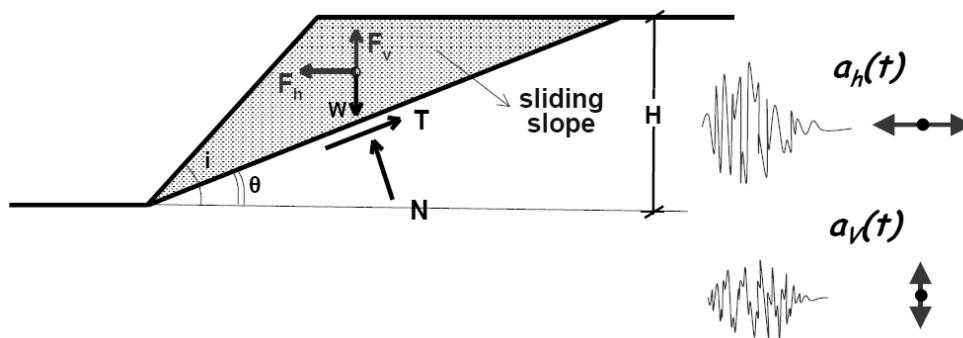
Από το σεισμό του Northridge παρουσιάστηκαν αστοχίες επιπλέον και στα συστήματα μεταφοράς βιοαερίου και στραγγισμάτων, σε ορισμένους ΧΥΤΑ εντός ακτίνας 22 km από το επίκεντρο του σεισμού (Toyon Canyon – Sunshine Canyon)

## 5.5. Ανάλυση Σεισμικής Απόκρισης ΧΥΤΑ

### 5.5.1 Ευστάθεια Απορριμματικών Πρανών (Ψευδοστατική Μέθοδος)

Στόχος της ψευδοστατικής ανάλυσης αναχωμάτων είναι ο υπολογισμός ενός συντελεστή ασφαλείας (FS), ενάντια στην αστοχία (ολίσθηση) του πρανού υπό την επίδραση του σεισμού. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό μιας οριζόντιας και κατακόρυφης ψευδοεπιτάχυνσης ( $a_h$ ,  $a_v$ ) μέσω των οποίων υπολογίζονται οι δυνάμεις που τείνουν να θέσουν το σώμα του πρανού, εκτός ισορροπίας. Βασική παραδοχή της ψευδοστατικής μεθόδου είναι ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ως πλαστικό υλικό, πράγμα που σημαίνει πως σε κάθε σημείο της διεπιφάνειας ολίσθησης, η διατμητική αντοχή παραμένει η ίδια. Η συντηρητική προσέγγιση της ψευδοστατικής ανάλυσης αναχωμάτων έγκειται σε παραδοχές που έχουν να κάνουν με τη διάδοση του σεισμικού κύματος, αλλά και με τα χαρακτηριστικά του σεισμικού γεγονότος (παραδοχή εφαρμογής μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης καθ' όλη τη διάρκεια του σεισμικού γεγονότος και εντός ολόκληρης της επιφάνειας αστοχίας).

Οι δυνάμεις που προκύπτουν από τις ψευδοεπιταχύνσεις ( $F_h$ ,  $F_v$ ) ασκούνται στο κέντρο μάζας του τεμάχους που τείνει να ολισθήσει και τίθενται σε μια ανάλυση οριακής ισορροπίας συνυπολογιζομένου του βάρους ( $W$ ) του τεμάχους, της δύναμης τριβής ( $T$ ) της διεπιφάνειας και της ορθής τάσης ( $N$ ), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5.60\_ Ψευδοστατική Ανάλυση Σφήνας Πρανούς [36]

Για την ανάλυση ισορροπίας είναι γνωστοί οι παρακάτω τύποι:

$$K_h = \alpha_h / g \quad (1) \quad \text{και} \quad K_v = \alpha_v / g \quad (2)$$

$$\text{Όπως και μέσω των (1,2)} \rightarrow F_h = \frac{\alpha_h \times W}{g} = K_h W \quad (3) \quad \text{και} \quad F_v = \frac{\alpha_v \times W}{g} = K_v W \quad (4)$$

όπου:

$\alpha_h$  = οριζόντια ψευδοεπιτάχυνση

$\alpha_v$  = κατακόρυφη ψευδοεπιτάχυνση

$K_h$  = αδιάστατος σεισμικός συντελεστής οριζόντιας κίνησης

$K_v$  = αδιάστατος σεισμικός συντελεστής κατακόρυφης κίνησης

$W$  = βάρος Σφήνας

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας

Από το παραπάνω σχήμα, γίνεται αντιληπτό πως για να υπάρχει ισορροπία στο πρανές θα πρέπει η διατμητική αντοχή του εδάφους να είναι μεγαλύτερη ή ίση (υπόθεση οριακής ισορροπίας) με την διατμητική τάση η οποία προκύπτει από το σεισμό. Άρα ο συντελεστής Ασφαλείας ( $FS_d$ ) στην κατάσταση οριακής ισορροπίας θα είναι ίσος με το λόγο της Δύναμης Αντίστασης του εδάφους προς την Ώθηση εξαιτίας της σεισμικής δράσης.

Επιπλέον σύμφωνα με το κριτήριο Αστοχίας Συνεκτικών Εδαφών των Mohr – Coulomb, ισχύει:

$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi \quad (5)$$

όπου:

$\tau$  = διατμητική αντοχή του εδάφους

$\sigma'$  = ενεργός ορθή τάση

$c$  = πραγματική συνοχή υλικού (εδάφους)

$\varphi$  = γωνία τριβής υλικού

Οπότε λαμβάνοντας υπόψη και τη σχέση (5) ο λόγος από τον οποίο θα προκύψει ο συντελεστής ασφαλείας ( $FS_d$ ) παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$FS = \frac{cL + [(W - F_v) \cos \theta - F_h \sin \theta] \tan \varphi}{(W - F_v) \sin \theta + F_h \cos \theta} \quad (6)$$

όπου ( $L$ ) είναι το μήκος της επιφάνειας ολίσθησης

Γενικά η τιμή της ψευδοστατικής δύναμης ( $F_v$ ) δε λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, διότι επηρεάζει κατά τον ίδιο τρόπο και τη δύναμη Ωθησης και τη δύναμη Αντίστασης. Επομένως κρισιμότερη παράμετρος της όλης διαδικασίας, είναι ο προσδιορισμός του ψευδοστατικού συντελεστή ( $K_h$ ). Αρκετές έρευνες έχουν γίνει για την όσο το δυνατό ακριβέστερη προσέγγιση του σεισμικού συντελεστή, με τις πιο πρόσφατες Stewart et al. (2003) και Παπαδημητρίου (2008) να εκτιμούν το σεισμικό συντελεστή συναρτήσει: α) της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) στο έδαφος θεμελίωσης, β) της δεσπόζουσας περιόδου ( $T_e$ ) του σεισμού, γ) της πρώτης ιδιοπεριόδου ( $T_o$ ) των αναχωμάτων και δ) της σχέσης του μέγιστου βάρους ( $z$ ) της επιφάνειας ολίσθησης ως προς το ύψος ( $H$ ) του αναχώματος.

Τελικά μια ασφαλής προσέγγιση του σεισμικού συντελεστή μπορεί να γίνει μέσω της σχέσης:

$$K_h = 0,5 \frac{PGA}{g} \quad (7)$$

Η ψευδοστατική Ανάλυση, λόγω των πολλών απλουστεύσεων που έχει, παρουσιάζει αδυναμία ως προς την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και δε λαμβάνει υπόψη παράγοντες που μπορεί να είναι καθοριστικοί, όπως η υδροστατική πίεση των πόρων του εδάφους (υγρασία) και η απομείωση της αντοχής του εδάφους λόγω της σεισμικής φόρτισης.

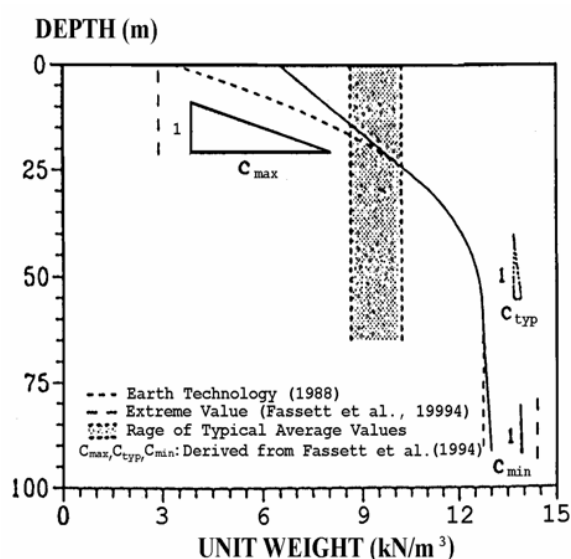
### 5.5.2. Μηχανικές και Δυναμικές Ιδιότητες Απορριμμάτων

Η μέθοδος μελέτης της δυναμικής απόκρισης αναχωμάτων, όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω επαρκεί για τη μελέτη της συμπεριφοράς απλών γεωτεχνικών έργων, στην περίπτωση των ΧΥΤΑ όμως είναι πολλοί οι παράγοντες που υπεισέρχονται στην συμπεριφορά της όλης γεωκατασκευής υπό την επίδραση σεισμού, γεγονός που καθιστά το πρόβλημα σύνθετο και αρκετά δύσκολο να προσομοιωθεί σε συνθήκες εργαστηρίου. Μελέτες έχουν δείξει πως η συμπεριφορά της απορριμματικής μάζας κατά τη σεισμική φόρτιση, το σύστημα μόνωσης γεωμεμβρανών και η τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής, είναι παράγοντες που επηρεάζουν και διαφοροποιούν σημαντικά τη συμπεριφορά των ΧΥΤΑ από αυτή των απλών εδαφικών αναχωμάτων και μάλιστα συνίσταται να μελετώνται πριν από αυτά, για την ακριβέστερη προσέγγιση του σεισμικού συντελεστή.

Η συμπεριφορά της απορριμματικής μάζας υπό δυναμική καταπόνηση καθώς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά αυτής, αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης αρκετών

επιστημόνων και κυρίως στην περιοχή της Καλιφόρνια, με τον ΧΥΤΑ ΟΙΙ (Operating Industries, Inc) να βρίσκεται στο επίκεντρο των περισσότερων ερευνών. Ένα θέμα που απασχόλησε αρκετούς επιστήμονες ήταν το αν η απορριμματική μάζα πρέπει να εκλαμβάνεται ως συνεκτικό ή μη συνεκτικό υλικό. Εν τέλει λόγω της ινώδους φύσης των περισσότερων αποβλήτων η επιστημονική κοινότητα συμφώνησε στη θεώρηση της απορριμματικής μάζας ως συνεκτικό υλικό.

Φυσικά χαρακτηριστικά όπως η πυκνότητα και η υγρασία στο σώμα των απορριμμάτων, μελετήθηκαν με επιτόπου μετρήσεις σε διάφορους ΧΥΤΑ, ενώ οι Kavazanjian & Matasovic έδωσαν τη γραφική παράσταση της μεταβολής του ειδικού βάρους των απορριμμάτων συναρτήσει του βάθους, όπως φαίνεται παρακάτω.

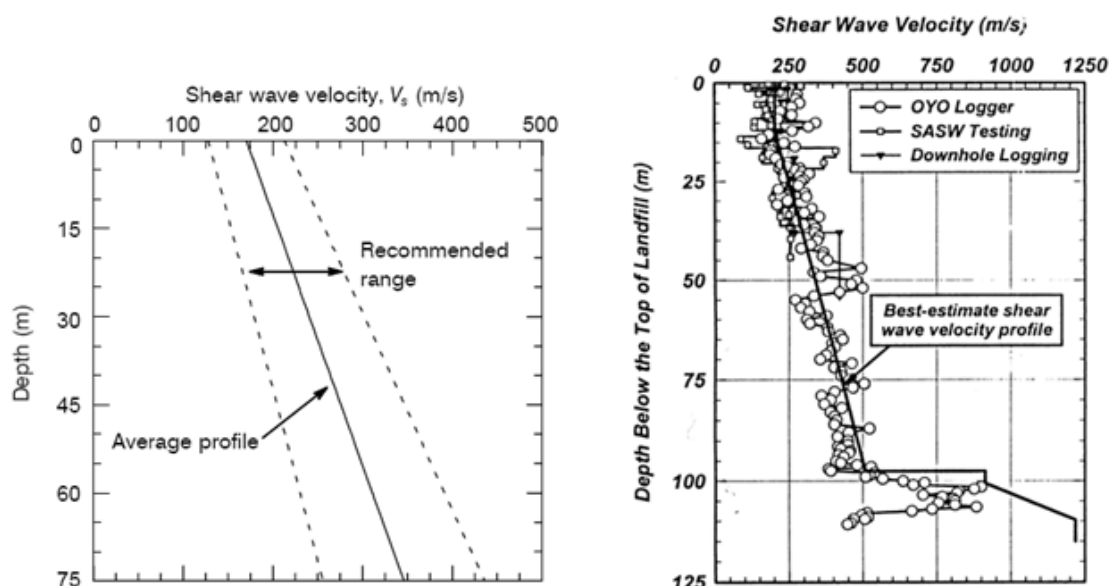


Εικόνα 5.61\_Μεταβολή Ειδικού Βάρους Απορριμμάτων συναρτήσει του Βάθους, σύμφωνα με Kavazanjian & Matasovic (1995) [15]

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως σύμφωνα με τις μετρήσεις που διεξήχθησαν και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προέκυψαν απ' αυτές, οι ιδιότητες της απορριμματικής μάζας παρουσιάζουν διαφορές συγκριτικά με αυτές των συνεκτικών εδαφικών υλικών, ιδιαίτερα ως προς το ποσοστό της υπάρχουσας υγρασίας, αλλά και ως προς τις θερμοκρασιακές μεταβολές στο εσωτερικό της μάζας. Η αυξημένη υγρασία αλλά και η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στο εσωτερικό των απορριμματικών υλικών οφείλεται στις διεργασίες βιοαποδόμησης του οργανικού κλάσματος, σε αντίθεση με τα ομοιογενή εδαφικά υλικά που παραμένουν αδρανή και σχετικά αμετάβλητα. Από την άλλη, η απορριμματική μάζα δεν αποκλίνει σημαντικά από τα εδαφικά υλικά σε ότι αφορά τη συνοχή αλλά και τη γωνία τριβής.



Αναφορικά με τις δυναμικές ιδιότητες των απορριμματικών υλικών, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσίασε η μεταβολή του μέτρου της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων ανάλογα με το βάθος του ΧΥΤΑ. Το θέμα αυτό απασχόλησε αρκετούς επιστήμονες, με τους Idriss et al. να πραγματοποιούν έρευνες πεδίου στον ΧΥΤΑ ΟΙΙ (Operating Industries, Inc) με διάφορες μεθόδους και να προτείνουν διαγράμματα τα οποία αποτυπώνουν τη μεταβολή της ταχύτητας του κύματος για καθεμία από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Οι θέσεις στις οποίες πάρθηκαν οι μετρήσεις ήταν κοντά στη βάση και στη στέψη των απορριμματικών πρανών, με το ύψος των απορριμμάτων να ξεπερνά τα 40 m. Παρακάτω φαίνεται η πρόταση των Idriss et al. και των Kavazanjian & Matasovic για τη μεταβολή της ταχύτητας του διατμητικού κύματος συναρτήσει του βάθους.



Εικόνα 5.62\_ Μεταβολή Ταχύτητας  $V_s$  (m/s) διατμητικού κύματος συναρτήσει του Βάθους  $D$  (m) σύμφωνα με Kavazanjian & Matasovic (αριστερά) και σύμφωνα με τις μετρήσεις των Idriss et al. (δεξιά) [15]

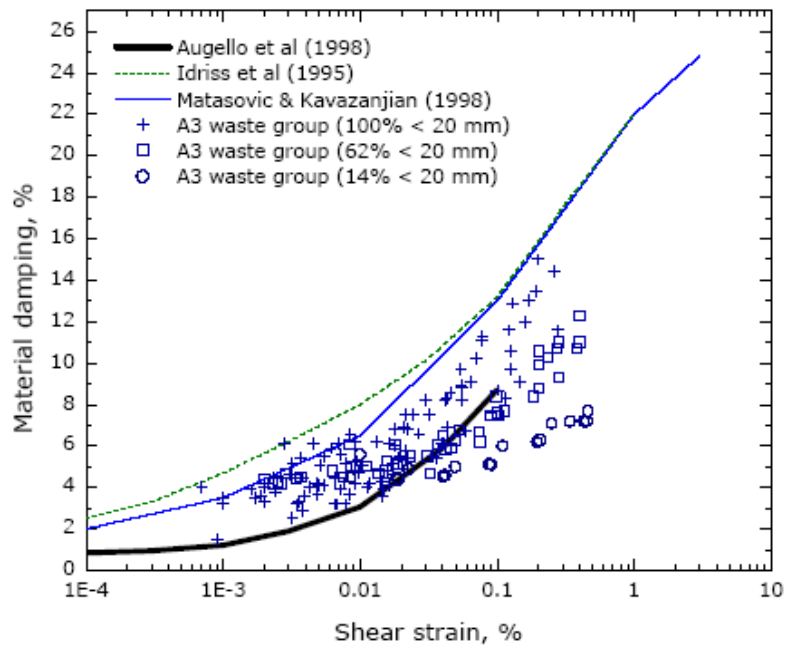
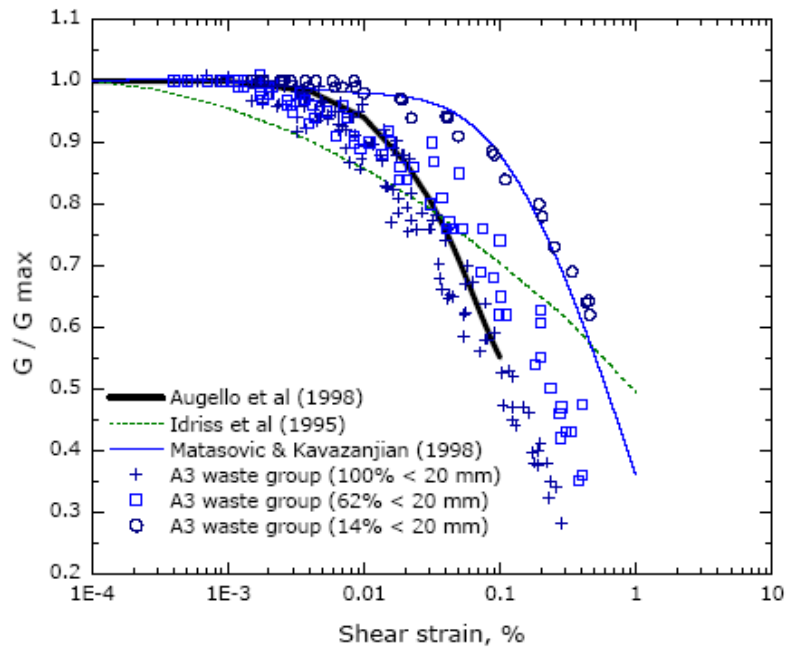
Παρατηρώντας το διάγραμμα των Kavazanjian & Matasovic το οποίο υποδεικνύει τα όρια των τιμών που έχουν προκύψει από τις διάφορες μετρήσεις (43 μετρήσεις σε 6 διαφορετικούς ΧΥΤΑ), καθώς και μια μέση διακύμανση, γίνεται αντιληπτό πως η γραμμικότητα της μεταβαλλόμενης ταχύτητας του κύματος δεν αλλάζει σημαντικά καθ' ύψος της απορριμματικής μάζας. Ενώ στο διάγραμμα των Idriss et al. αν μπορεί να υποθεθεί μια γραμμική μεταβολή της ταχύτητας μέχρι ενός σημείου, σε βάθος 100m από τη στέψη των απορριμματικών πρανών παρουσιάζεται απότομη αύξηση της ταχύτητας του διατμητικού κύματος πράγμα που πιθανό να οφείλεται στα χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης του ΧΥΤΑ ΟΙΙ (Operating Industries, Inc) στον οποίο πραγματοποιήθηκε η μελέτη. Επίσης προκύπτει και από τα δύο

διαγράμματα πως η ταχύτητα του διατμητικού κύματος αυξάνει με το βάθος, ενώ στο ύψος της απορριμματικής μάζας υπάρχει μια διακύμανση από 150 μέχρι 350 m/s.

Ένα άλλο πρόβλημα που απασχόλησε τους επιστήμονες και το οποίο παραμένει ακόμα ανοιχτό προς μελέτη είναι η απομείωση του μέτρου διάτμησης και η αύξηση της απόσβεσης, συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης στο σώμα των αποβλήτων. Πολλές μελέτες πραγματοποιήθηκαν έχοντας και δω ως σημείο αναφοράς τον ΧΥΤΑ ΟΠ, με αποτέλεσμα να προταθούν από διάφορες επιστημονικές ομάδες διαγράμματα (καμπύλες) που αποτυπώνουν τη μεταβολή αυτών των μεγεθών. Η επιστημονική ομάδα των Idriss et al. χρησιμοποίησε τα δεδομένα τεσσάρων καταγεγραμμένων σεισμικών γεγονότων στο ΧΥΤΑ ΟΠ και κάνοντας έρευνες πεδίου (σε πραγματικό χρόνο και κάτω από κανονικές συνθήκες) μελέτησε τη μη γραμμική συμπεριφορά των απορριμμάτων έχοντας αρχικά ως δεδομένο τη μεταβολή της ταχύτητας του διατμητικού κύματος όπως είχε προκύψει από τις καταγραφές. Στη συνέχεια έγινε μια πρώτη εκτίμηση του ποσοστού της διατμητικής παραμόρφωσης ( $\gamma_s$ ) μέσω του λόγου της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας PGV (Peak Ground Velocity) για κάθε σεισμικό γεγονός και της μέσης ταχύτητας διατμητικού κύματος ( $v_{s, avg}$ ).

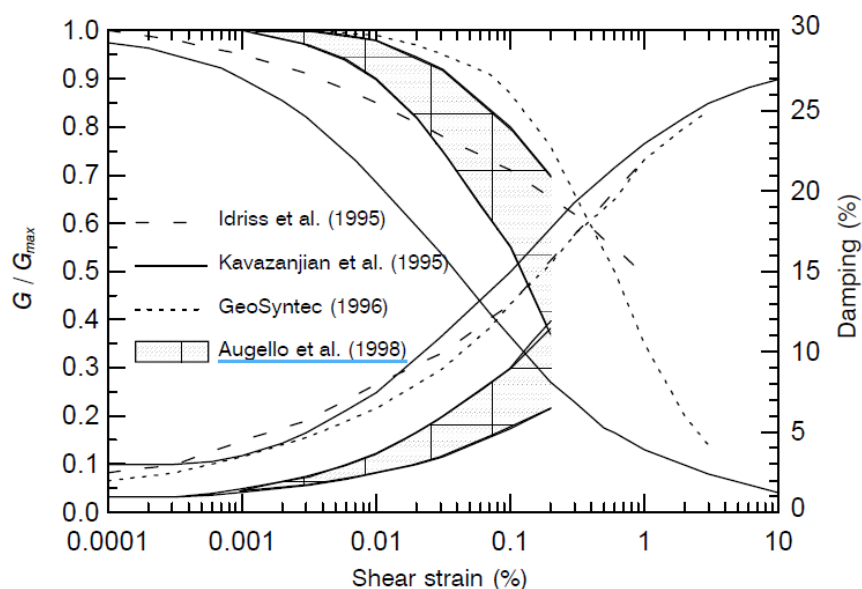
Τελικά χρησιμοποιώντας τις μέσες και μέγιστες ταχύτητες διάδοσης του διατμητικού κύματος, υπολογίστηκαν το μέτρο διάτμησης (G) και το μέγιστο μέτρο διατμητικής αντοχής ( $G_{max}$ ), αντίστοιχα. Συσχετίζοντας τις τιμές του λόγου  $G/G_{max}$  με το ποσοστό διατμητικής παραμόρφωσης  $\gamma_s$  προέκυψαν οι καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης  $G/G_{max} - \gamma_s$ .

Με τον ίδιο τρόπο προσδιορίστηκε η αύξηση της απόσβεσης ( $\xi$ ) συναρτήσει του ποσοστού διατμητικής παραμόρφωσης και προτάθηκαν οι καμπύλες  $\xi - \gamma_s$ . Στα παρακάτω διαγράμματα αποτυπώνονται οι καμπύλες  $G/G_{max} - \gamma_s$  και  $\xi - \gamma_s$  όπως προτάθηκαν από τους Idriss et al. (1995), Kavazanjian & Matasovic (1998), Augello et al (1995) καθώς και άλλες έρευνες για απορρίμματα διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης (100% < 20mm, 62% < 20mm, 14% < 20mm) που πραγματοποιήθηκαν για λογαριασμό του πανεπιστημίου US Berkeley California (Zekkos, 1995).



Εικόνα 5.63\_ Καμπύλες απομείωσης μέτρου Διάτμησης και αύξησης Απόσβεσης όπως προτάθηκαν από διάφορους επιστήμονες [11]

Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωτικά οι καμπύλες όπως προτάθηκαν από τις κυριότερες επιστημονικές ομάδες.



Εικόνα 5.64\_ Σύγκριση των Καμπύλων  $G/G_{max} - \gamma_s$  και  $\xi - \gamma_s$  που προτάθηκαν από διάφορες επιστημονικές ομάδες [15]

Τα αποτελέσματα όλων αυτών των παραμετρικών αναλύσεων οδηγούν στο συμπέρασμα πως η εδαφική κίνηση ενισχύεται σημαντικά καθώς το σεισμικό κύμα διέρχεται μέσα από την απορριμματική μάζα και πως οι μηχανικές και δυναμικές ιδιότητες των απορριμματικών υλικών βελτιώνονται με το πέρασμα του χρόνου μέσα από τις διαδικασίες γήρανσης και αποδόμησης του οργανικού κλάσματος. Γεγονός που μαρτυρά η αύξηση της ταχύτητας ( $V_s$ ) του διατμητικού κύματος σε μεταγενέστερες μετρήσεις στις ίδιες θέσεις για λογαριασμό συγκεκριμένων ΧΥΤΑ. Για το λόγο αυτό οι Kavazanjian et al πρότειναν ένα μοντέλο προσομοίωσης κατά το οποίο θα λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή των χαρακτηριστικών σε βάθος χρόνου, μέσω μιας βαθμωτής προσαύξησης της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων και του ειδικού βάρους ανάλογα με το βάθος της απορριμματικής μάζας[15].

## 5.6. Ο Ρόλος των συστημάτων στεγάνωσης στη Σεισμική απόκριση ΧΥΤΑ

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, ο ρόλος των συστημάτων στεγάνωσης στη σεισμική συμπεριφορά των ΧΥΤΑ, εντάσσεται στη γενικότερη επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών συμπεριλαμβανομένης της τοπογραφίας και των χαρακτηριστικών του εδάφους θεμελίωσης. Γίνεται όμως αντιληπτό πως τα χαρακτηριστικά της στεγάνωσης και συγκεκριμένα οι μηχανικές και δυναμικές ιδιότητες των γεωμεμβρανών που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό, μπορούν να αποτελέσουν ένα ξεχωριστό αντικείμενο μελέτης.

Οι πιθανότερες θέσεις αστοχίας στο κυρίως σώμα ενός ΧΥΤΑ λόγω δυναμικής καταπόνησης, είναι αυτές που ούτως ή άλλως καταπονούνται από μεγάλα στατικά φορτία (π.χ. θέσεις αγκύρωσης γεωμεμβρανών, ΧΥΤΑ Chiquita Canyon 1994), αλλά και αυτές που παρουσιάζουν χαμηλή διατμητική αντοχή λόγω ανομοιογένειας των υλικών. Οι κρίσιμες διεπιφάνειες ή διεπιφάνειες χαμηλής διατμητικής αντοχής στις οποίες μπορεί να εμφανιστεί αστοχία, είναι κυρίως αυτές των διακριτών στρώσεων στο σύστημα στεγάνωσης. Στις εν λόγω διεπιφάνειες χαμηλής διατμητικής αντοχής, έχει παρατηρηθεί και καταγραφεί από διάφορους επιστήμονες το φαινόμενο της ολίσθησης στο εσωτερικό ενός ΧΥΤΑ. Αναφορικά με τη συμπεριφορά της απορριμματικής μάζας κατά τη διάδοση του σεισμικού κύματος και τις πιθανές παραμορφώσεις που δύναται να εμφανιστούν εντός αυτής, μεγάλο ρόλο παίζει η δυσκαμψία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων, που όπως αναφέρθηκε παραπάνω βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου, αλλά και ανάλογα με το βαθμό συμπίεσης αυτών.

Το θέμα της ολίσθησης μεταξύ διεπιφανειών χαμηλής διατμητικής αντοχής μελετήθηκε πρώτα, υιοθετώντας την αρχή του ολισθαίνοντος τεμάχους όπως διατυπώθηκε από τον Newmark το 1965, για την εκτίμηση της ευστάθειας αναχωμάτων, σύμφωνα με την οποία το υλικό εκατέρωθεν της επιφάνειας ολίσθησης θεωρείται απαραμόρφωτο. Πιο μετά οι Kramer & Smith (1997) σε μία προσπάθεια ακριβέστερης προσέγγισης των πραγματικών εδαφικών συνθηκών, μελέτησαν το φαινόμενο της διατμητικής παραμόρφωσης εντός εύκαμπτων συστημάτων. Οι Rathge & Bray (1999) προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους, πρότειναν ένα γενικευμένο μονοβάθμιο σύστημα με κατανεμημένα καθ' ύψος δυσκαμψία και μάζα, ενώ οι ίδιοι επιστήμονες ένα χρόνο μετά (2000) επισήμαναν το σημαντικό ρόλο των συχνοτικών χαρακτηριστικών του σεισμικού γεγονότος, ως προς τη ευστάθεια μιας γεωκατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη στους υπολογισμούς τους το λόγο της ιδιοπεριόδου ( $T$ ) του συστήματος, προς τη δεσπόζουσα περίοδο ( $T_e$ ) του σεισμού.

Το 2008 πραγματοποιήθηκε από τους Zania et al (πολυτεχνείο Κρήτης), μελέτη αναφορικά με την επίδραση του συστήματος στεγάνωσης στη συμπεριφορά των ΧΥΤΑ υπό σεισμική καταπόνηση. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν ο προσδιορισμός της κρίσιμης μορφής αστοχίας εντός του επιπέδου μόνωσης, αλλά και η εξέταση του βαθμού καταπόνησης (αναπτυσσόμενες τάσεις) των γεωμεμβρανών του όλου συστήματος και της συμμετοχής αυτών μέσω της εφελκυστικής τους αντοχής, στη σεισμική ευστάθεια της κατασκευής. Για το σκοπό αυτό, μέσω μιας απλής προσομοίωσης βασισμένης στην αρχή του ολισθαίνοντος απαραμόρφωτου τεμάχους (Newmark), πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές δισδιάστατες αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων, οι οποίες ενσωματώνοντας τις βασικές παραμέτρους σεισμικής ευστάθειας ΧΥΤΑ και λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο το φαινόμενο ολίσθησης της διεπιφάνειας αλλά και την εφελκυστική αντοχή των γεωμεμβρανών, παρείχαν αποτελέσματα σχετικά με τη δυναμική απόκριση της γεωκατασκευής. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συσχετίστηκαν με τα δεδομένα της ολίσθησης διεπιφάνειας και της εφελκυστικής τάσης των γεωσυνθετικών και ανέδειξαν το ρόλο αυτών ως προς την ευστάθεια του ΧΥΤΑ.

Ένα θέμα που απασχόλησε τους Zania et al στη συγκεκριμένη μελέτη, ήταν το ενδεχόμενο εμφάνισης ολίσθησης σε περισσότερες από μία διεπιφάνειες επί της μόνωσης του ΧΥΤΑ. Έτσι λοιπόν αφού προσδιορίστηκαν οι κρίσιμες παράμετροι που ορίζουν την αλληλεπίδραση της ολίσθησης με τη δυναμική συμπεριφορά ενός εύκαμπτου συστήματος (ρεαλιστική προσέγγιση), έγινε η υπόθεση δύο διεπιφανειών ολίσθησης σε διαφορετικό επίπεδο η καθεμία. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη αυτών των διεπιφανειών ήταν οι γωνίες τριβής  $\phi_1$  και  $\phi_2$  (γωνίες ολίσθησης), οι κρίσιμες επιταχύνσεις  $a_{crit1}$  και  $a_{crit2}$ , για τις οποίες παρουσιάζεται έναρξη της ολίσθησης στο σύστημα στεγάνωσης, και οι μάζες  $m_1$ ,  $m_2$  των τεμάχων που ολισθαίνουν σε διαφορετικό επίπεδο του συστήματος στεγάνωσης.

Είναι προφανές πως στην περίπτωση αστοχίας δύο διεπιφανειών, αυτή που θα αστοχήσει πρώτα θα είναι η διεπιφάνεια με τη χαμηλότερη διατμητική αντοχή. Στην περίπτωση που η κατώτερη διεπιφάνεια παρουσιάζει χαμηλότερη διατμητική αντοχή τότε είναι σίγουρο πως η αστοχία (ολίσθηση) θα αρχίσει από αυτή, ενώ το σεισμικό κύμα που θα συνεχίσει να διαδίδεται εντός του συστήματος στεγάνωσης δεν είναι δυνατό να υπερβεί τη διατμητική αντοχή της υποτιθέμενης ανώτερης διεπιφάνειας. Άρα λοιπόν η μελέτη του ενδεχομένου ύπαρξης ή όχι δύο διεπιφανειών ολίσθησης, περιορίζεται στην περίπτωση που η άνω διεπιφάνεια είναι αυτή με τη χαμηλότερη διατμητική αντοχή. Με δεδομένη λοιπόν την ολίσθηση της πάνω διεπιφάνειας, προέκυψε μέσω υπολογισμού διαφόρων περιπτώσεων (για διαφορετικές τιμές της  $\phi_1$ ), πως όσο αυξάνει η συνοχή της πάνω τόσο πιο εύκολα υφίσταται διάρρηξη και η κάτω διεπιφάνεια (το γεγονός αυτό θέτει κάποιους περιορισμούς, αλλά δεν είναι καθοριστικό). Σε αυτή την περίπτωση καθοριστικός παράγοντας είναι ο λόγος των δύο μαζών που ολισθαίνουν ( $m_1$ ,  $m_2$ ). Σύμφωνα με

τους υπολογισμούς που έγιναν, για λόγους μαζών  $m_1/m_2 = (1, 20, 45)$ , η ελάχιστη τιμή της απαιτούμενης κρίσιμης επιτάχυνσης για να παρουσιαστεί ολίσθηση και στις δύο διεπιφάνειες είναι 0,12g , 0,30g , 1g αντίστοιχα. Με δεδομένο ότι η απορριμματική μάζα στους ΧΥΤΑ μπορεί να είναι κατά πολύ μεγαλύτερη αυτής του συστήματος μόνωσης, ο λόγος  $m_1/m_2$  συνήθως υπερβαίνει το 45, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για να υπάρξει αστοχία σε δύο διεπιφάνειες καθ' ύψος του συστήματος μόνωσης ενός ΧΥΤΑ, θα πρέπει η σεισμική επιτάχυνση να υπερβαίνει το 1g, πράγμα αρκετά δύσκολο από τη στιγμή που ο αντισεισμικός κανονισμός δίνει ένα ανώτερο όριο σεισμικής επιτάχυνσης 0,35g.

Οι Zania et al κατέληξαν στο συμπέρασμα πως είναι σχεδόν απίθανο να εμφανιστεί αστοχία (ολίσθηση) σε δύο θέσεις καθ' ύψος του συστήματος μόνωσης βάσης ενός ΧΥΤΑ, για το ίδιο σεισμικό γεγονός και πως η κρίσιμη διεπιφάνεια κατά την οποία παρατηρείται ολίσθηση είναι αυτή με τη χαμηλότερη διατμητική αντοχή. Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση αστοχίας σε διεπιφάνεια κατώτερη της γεωμεμβράνης, καθώς το γεωσυνθετικό καταπονείται περισσότερο και είναι πιθανό να αστοχήσει.

Γενικά, αναφορικά με τα γεωσυνθετικά έχει παρατηρηθεί από μελέτες (Thusyanthan et al, 2006) πως η σεισμική δράση μπορεί να προκαλέσει αύξηση της μέγιστης εφελκυστικής τάσης κατά 25 – 40% , και αύξηση 15 – 25% της παραμένουσας τιμής αυτής, λόγω μόνιμης παραμόρφωσης του γεωσυνθετικού (παραμένουσα μετακίνηση διεπιφάνειας).

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να ενισχυθεί ένας ΧΥΤΑ, ούτως ώστε να προληφθεί ενδεχόμενη διάρρηξη του συστήματος στεγάνωσης (συνήθως λόγω ενεργοποίησης υποκείμενου ρήγματος) αφορούν κυρίως:

α) την ενίσχυση της Αργιλικής εδαφικής στρώσης του πυθμένα (κατά 4m), μέτρο το οποίο μπορεί να επιτύχει μείωση των αναπτυσσόμενων επιφανειακών παραμορφώσεων.

β) την ενίσχυση της Γεωμεμβράνης Στεγάνωσης, η οποία μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη χρησιμοποίηση Γεωμεμβράνης μεγαλύτερου πάχους (από 1,5 σε 3mm), είτε με την εφαρμογή διπλής στρώσης γεωμεμβρανών.

γ) επιπλέον μια μέθοδος ενίσχυσης, η αποτελεσματικότητα της οποίας στην περίπτωση των ΧΥΤΑ μελετάται, είναι η εφαρμογή Οπλισμένης γης (οπλισμένο τεχνητό επίχωμα), που επιτυγχάνεται με προσθήκη γεωσυνθετικών οπλισμών στα πρανή, όπως Γεωπλέγματα με μέτρο ελαστικότητας 500, 1000 ακόμα και 1900Μpa.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

### **Πρόβλημα Αποκατάστασης ΧΑΔΑ στην Ελλάδα και παράδειγμα ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς (περιοχή Παλλοστής)**

#### **6.1. Συνοπτική Παρουσίαση του προβλήματος ΧΑΔΑ – ΧΥΤΑ στην Ελλάδα**

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα Κεφάλαια και ιδιαίτερα στο Κεφάλαιο περί Νομοθεσίας, γίνεται αντιληπτό πως η Ελλάδα, ως κράτος μέλος, δεν έχει πλέον άλλα περιθώρια να αγνοεί τα σχέδια δράσης και τις γενικές αρχές της Ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής, ούτε να αποκλίνει από αυτές ερμηνεύοντάς τες κατά το δοκούν. Υπάρχει πλέον διαρκής έλεγχος από Ευρωπαϊκές Επιτροπές, ενώ κάθε ΦΟΔΣΑ (Φορέας Διαχείρισης Απορριμμάτων) καλείται να κοινοποιεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα εκθέσεις σχετικές με την υλοποίηση συγκεκριμένων στόχων.

Μπορεί μια από τις βασικότερες αρχές της Ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής να είναι η σωστή ιεράρχηση των μεθόδων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, δίνοντας πρωτεύοντα ρόλο στην Πρόληψη και ακολούθως στην Ανάκτηση Υλικών και Ενέργειας, θεωρώντας παράλληλα την Εδαφική Διάθεση ως ύστατη λύση του προβλήματος, στην Ελλάδα όμως σε ότι αφορά το προσεχές μέλλον, υπάρχουν ακόμα ζητήματα τα οποία πρέπει να λυθούν άπαξ δια παντός, ταυτόχρονα πάντα και με την εφαρμογή των γενικών κατευθυντήριων γραμμών της Ε.Ε που έχουν να κάνουν όπως αναφέρθηκε με την Πρόληψη και την Ανάκτηση (τουλάχιστον Υλικών – Ανακύκλωση). Το πρόβλημα το οποίο χρήζει άμεσης αντιμετώπισης, αφορά στην εφαρμογή μέτρων με σκοπό τη διακοπή της λειτουργίας των ενεργών ΧΑΔΑ, την αποκατάσταση αυτών και την αντικατάστασή τους με σύγχρονους ΧΥΤΑ οι οποίοι θα δύναται να μετατραπούν σε ΧΥΤΥ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων).

Κάνοντας λόγο για Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) και για τις αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να έχουν στο Περιβάλλον και στον άνθρωπο, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί η περίπτωση του ΧΑΔΑ Άνδρου η οποία είναι και σχετικά πρόσφατη, καθώς το Φεβρουάριο του 2011 υπήρξε κατολίσθηση τόνων απορριμματικής μάζας προς την θάλασσα στην περιοχή του Σχοινιά, η οποία προκλήθηκε ύστερα από δυνατή νεροποντή που σημειώθηκε στις Κυκλάδες.





Εικόνα 6.65\_ Κατολίσθηση ΧΑΔΑ Άνδρου (περιοχή Σχοινιά) [54]



Εικόνα 6.66\_ Απορρίμματα στην παραλία Σχοινιά της Άνδρου, έπειτα από κατολίσθηση [54]

Η αποκατάσταση του εν λόγω ΧΑΔΑ αποτέλεσε κύριο θέμα Εθνικής και Περιφερειακής περιβαλλοντικής πολιτικής και τον Νοέμβριο του 2015 δημοπρατήθηκε το έργο με τίτλο «Αποκατάσταση ΧΑΔΑ στη θέση Σταυροπέδα του Δήμου Άνδρου» με προϋπολογισμό που φθάνει περίπου το 1.267.000 ευρώ. Η όλη διαδικασία της αποκατάστασης θα περιλαμβάνει Υδραυλικά Έργα (π.χ. διαχείριση Ομβρίων) και έργα Υποδομής και Οδοποιίας όπως χωματουργικές εργασίες

συλλογής απορριμμάτων και διαμόρφωσης – εξομάλυνσης του ανάγλυφου, τεχνικά έργα αντιστήριξης με «οπλισμένη γη», έργα τελικής Κάλυψης κλπ.

Σύμφωνα με έρευνα που έγινε για λογαριασμό του ΥΠΕΚΑ το έτος 2013, στον ελλαδικό χώρο υπάρχουν ακόμα 78 ενεργοί ΧΑΔΑ, ενώ ο συνολικός αριθμός των υπό αποκατάσταση χώρων, για το ίδιο έτος, ανέρχεται συνολικά στους 396 ΧΑΔΑ. Από τους 78 ενεργούς ΧΑΔΑ, περίπου οι 30 εξυπηρετούν μικρά νησιά της Ελλάδας.

Αναφορικά με τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ) παρουσιάζεται πολύ μεγάλη έλλειψη στις περιφέρειες Πελοποννήσου και Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης όπως και σε ορισμένα νησιά του Νοτίου Αιγαίου. Ιδιαίτερα η Περιφέρεια της Πελοποννήσου παρουσιάζει παντελή έλλειψη υποδομών τελικής διάθεσης ΑΣΑ. Ενώ αντιθέτως, οι παράκτιες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας καθώς και μεγάλα νησιά όπως η Ρόδος, η Κεφαλονιά (για την οποία θα γίνει λόγος), η Κρήτη, η Μυτιλήνη, η Κως κλπ, καλύπτονται πλήρως από άποψη Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων. Σε αυτό το σημείο καλό είναι να αναφερθεί πως πολλά έργα (ΧΥΤΑ) που ξεκίνησαν ως συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, γύρω στο 2010, δεν ολοκληρώθηκαν ποτέ ή έμειναν σε αρχικό στάδιο, όπως για παράδειγμα το Πάρκο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης ΑΣΑ στην Κέρκυρα, με αποτέλεσμα να παραμένουν άλυτα περιβαλλοντικά προβλήματα (περιοχή Τεμπλονίου Κέρκυρας), ενώ άλλες εγκαταστάσεις δε λειτουργούν επαρκώς ή παρουσιάζουν αστοχίες με αποτέλεσμα την ανάγκη μεταφοράς απορριμμάτων σε άλλες περιοχές εγγύτερα αυτής που παρουσιάζει το πρόβλημα (π.χ. μεταφορά απορριμμάτων από τη Ζάκυνθο στην Κεφαλονιά λόγω συνεχόμενων προβλημάτων στον ΧΥΤΑ Ζακύνθου).

Σήμερα σε ολόκληρη την Ελλάδα υπάρχουν 79 κατασκευασμένοι ΧΥΤΑ εκ των οποίων οι 75 βρίσκονται ήδη σε λειτουργία ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν 4 Μονάδες Επεξεργασίας (Εγκαταστάσεις Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης) στις περιοχές των Λιοσίων, των Χανίων και Ηρακλείου Κρήτης και στην Κεφαλονιά.

## 6.2. ΧΥΤΑ Παλλοστής (Θηνιάς) και Εξέλιξη Διαχείρισης ΑΣΑ στο Δήμο Κεφαλονιάς & Ιθάκης



Εικόνα 6.67\_ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς πανοραμική άποψη [35]

### 6.2.1. Υφιστάμενη Κατάσταση και Περιβαλλοντικά Δεδομένα

Για την πραγματοποίηση οποιασδήποτε μελέτης σχετικά με τη διαχείριση Αστικών Αποβλήτων ή ενός Γεωτεχνικού έργου, όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι απαραίτητη η συλλογή στοιχείων αναφορικά με την γεωμορφολογία της περιοχής, τις κλιματολογικές συνθήκες, την τεκτονικότητα και σεισμική δραστηριότητα, τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, τη ροή και τη στάθμη των υπόγειων ρευμάτων, καθώς και συλλογή δημογραφικών στοιχείων (εξυπηρετούμενος πληθυσμός), ποσότητα και ποιοτική ανάλυση απορριμμάτων κλπ.

Σύμφωνα με την απογραφή ΕΣΥΕ του 2011, ο πληθυσμός του Δήμου Κεφαλονιάς υπολογίζεται στους 35.801 κατοίκους, ενώ λόγω του ότι ο τόπος αποτελεί τουριστικό προορισμό κατά τους θερινούς μήνες, ο πληθυσμός μπορεί να ανέλθει (ειδικά το μήνα Αύγουστο) και στους 80.000 κατοίκους.

Αναφορικά με τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά το ρυθμό βιοαποδόμησης των απορριμμάτων αλλά και τη δημιουργία στραγγισμάτων εντός του ΧΥΤΑ, κρίνεται σημαντικό να παρατεθούν

στοιχεία σχετικά με την υγρασία και τη συχνότητα των βροχοπτώσεων (τα θερμοκρασιακά δεδομένα δεν αποκλίνουν ιδιαίτερα από αυτά της Αθήνας) . Το ετήσιο ύψος βροχοπτώσεων στην Κεφαλονιά είναι αρκετά υψηλό για τα ελληνικά δεδομένα και αθροιστικά μέσα σε ένα χρόνο, το ύψος του υετού μπορεί να ανέλθει στα 833mm. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η διακύμανση του υετού ανά μήνα:



Εικόνα 6.68\_ Ύψος Υετού σε Δήμο Κεφαλονιάς ανά μήνα (mm) [35]

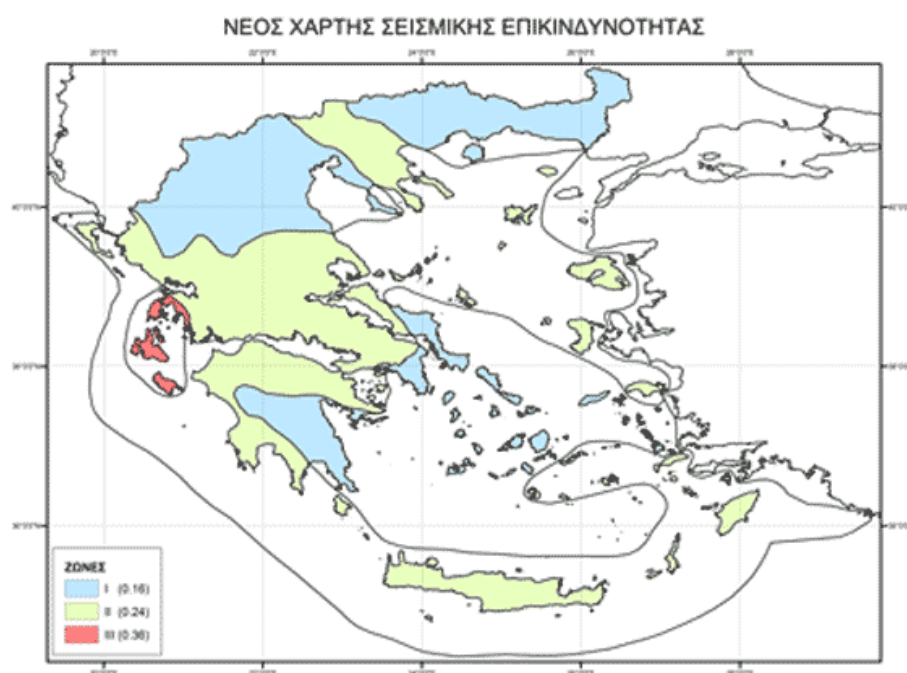
Είναι ιδιαίτερα ευκρινής, παρατηρώντας το διάγραμμα, η κατακόρυφη αύξηση του υετού από τον μήνα Οκτώβριο έως και τα τέλη Φεβρουαρίου. Το δεδομένο αυτό κρίνεται αρκετά σημαντικό σε ότι αφορά τη διαχείριση των Ομβρίων Υδάτων αλλά και των στραγγισμάτων στο χώρο Διάθεσης των αποβλήτων.

Σε ότι αφορά τα Γεωλογικά και Υδρογεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του ΧΥΤΑ, παρατηρείται ύπαρξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων (Κρητιδικοί και Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι) στο υπέδαφος, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από αρκετά μεγάλη διακύμανση της Υδροπερατότητας. Για παράδειγμα ενώ οι μεγάλοι όγκοι συμπαγείς βραχομάζες των πετρωμάτων αυτών παρουσιάζουν αρκετά χαμηλή υδροπερατότητα, μπορεί εξαιτίας του σχηματισμού μεγάλων καρστικών αγωγών (λόγω τεκτονισμού και καρστικής διεργασίας) να παρατηρηθεί αρκετά μεγάλη υδροπερατότητα του υπεδάφους, μιας και η υδροαπορροφητικότητα της συμπαγούς αυτής μάζας είναι μηδενική. Από την άλλη τα υπόγεια υδάτινα ρεύματα της περιοχής αποστραγγίζονται στη θάλασσα ή σε διάφορες διάσπαρτες πηγές που υπάρχουν κυρίως στην παράκτια ζώνη. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το έλος της περιοχής του Λιβαδιού το οποίο δέχεται τις αποστραγγίσεις των ασβεστολιθικών μαζών που βρίσκονται βόρεια αυτού.

Επίσης σε μία μελέτη πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ο ρυθμός παραγωγής αποβλήτων, καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά αυτών. Συγκεκριμένα δεδομένα για κάτι τέτοιο δεν υπάρχουν ακόμα, οπότε στη μελέτη του εν λόγω ΧΥΤΑ χρησιμοποιήθηκαν τα καταγεγραμμένα δεδομένα αναφορικά με τη σύσταση των αποβλήτων για ολόκληρη την ελληνική επικράτεια. Η δε ποσότητα των αποβλήτων παρουσιάζει διακύμανση και εξαρτάται φυσικά από τα δημογραφικά δεδομένα. Εκτιμάται μια ετήσια παραγωγή αποβλήτων κοντά στους 20.000 τόνους.

Τέλος ένας παράγοντας που δεν πρέπει να αγνοείται όχι μόνο όταν πρόκειται για κτιριακές κατασκευές, αλλά και στην περίπτωση των γεωτεχνικών έργων είναι η σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής. Ειδικά για την ευρύτερη περιοχή της Παλικής (Δήμος Κεφαλονιάς), η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική δραστηριότητα και η οποία έδωσε το Φεβρουάριο του 2014 σεισμό με εκτιμώμενη επιτάχυνση έως και 0,65g, η σεισμική επικινδυνότητα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη για οποιαδήποτε κατασκευή.

Με βάση την αναθεώρηση που υπέστη ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός του 2000 (ΕΑΚ 2000), η Ελλάδα διαιρείται σε τρεις σεισμικές ζώνες επικινδυνότητας, όπως φαίνεται στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα 6.69\_Χάρτης με Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας [35]

Όπως μπορεί εύκολα να διακριθεί, η ευρύτερη περιοχή του Ιονίου και ιδιαίτερα τα νησιά Ζάκυνθος, Κεφαλονιά και Λευκάδα ανήκουν στη ζώνη με την υψηλότερη

σεισμική επικινδυνότητα, για την η οποία προσεγγιστικά δίνεται μια επιτάχυνση 0,36g (ο σεισμός του 2014 στην περιοχή της Παλικής βέβαια υπερέβη κατά πολύ το συγκεκριμένο όριο).

### **6.2.2. Υφιστάμενες Υποδομές στο ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς και μελλοντικοί στόχοι**

Ο ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς βρίσκεται στην περιοχή Παλλοστή (της Θηνιάς) και εξυπηρετεί τις ανάγκες ολόκληρου του δήμου Κεφαλονιάς. Πρόκειται για ένα χώρο ο οποίος έπειτα από ειδική μελέτη που έγινε το 1980 και κατόπιν εγκρίσεως από τον τότε Νομάρχη Κεφαλονιάς, λειτούργησε αρχικά ως ΧΑΔΑ χωρίς να έχει παρθεί κανένα μέτρο περιβαλλοντικής προστασίας (τα απορρίμματα κατά καιρούς καλύπτονταν με αδρανή υλικά). Όπως σε όλες τις περιπτώσεις ΧΑΔΑ, τα περιβαλλοντικά προβλήματα ήταν εξ αρχής αντιληπτά από τους περίοικους κατοίκους, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αντιδράσεις επί σειρά ετών, μέχρι το 1997 οπότε και αποφασίστηκε (μέσα στα πλαίσια των γενικότερων πιέσεων από την ΕΕ) η κατασκευή ενός ΧΥΤΑ στο ίδιο μέρος αφού πάρθηκαν πρώτα σχετικά μέτρα αποκατάστασης της περιοχής.

Ο ΧΥΤΑ άρχισε να κατασκευάζεται πληρώντας τις προδιαγραφές ενός σύγχρονου χώρου εδαφικής διάθεσης, καθώς πάρθηκαν μέτρα στεγανοποίησης του πυθμένα και επιπροσθέτως έγιναν υδραυλικά έργα για την απορροή των Όμβριων υδάτων, όπως και για τη συλλογή των στραγγισμάτων. Πιο συγκεκριμένα το Α΄ Κύτταρο (φάτνωμα ή μέτωπο εργασιών) κατασκευάστηκε με κλίση πρανών 1/3 και καλύπτει μια έκταση 27 στρεμμάτων περίπου, ενώ μέχρι το 2008 που σταμάτησε η λειτουργία του και άρχισε η απόθεση των αποβλήτων στο Β΄ Κύτταρο, ο όγκος της απορριμματικής μάζας σε αυτό υπολογιζόταν στα 360.000m<sup>3</sup>.

Στον ευρύτερο χώρο του ΧΥΤΑ συμπεριλαμβάνεται Μονάδα επεξεργασίας Στραγγισμάτων, ενώ από το 2009 άρχισε η λειτουργία Εγκαταστάσεων Μηχανικής Διαλογής (ΕΜΔ) και Βιολογικής Επεξεργασίας (Κομποστοποίησης), η οποία λαμβάνει χώρα (όπως είναι γνωστό από το σχετικό κεφάλαιο) υπό αερόβιες συνθήκες σε ειδικά κελιά με ελεγχόμενο αερισμό, μέχρι να επέλθει βιοσταθεροποίηση της απορριμματικής μάζας. Αξίζει να αναφερθεί, πως η αερόβια επεξεργασία έχει ως παράγωγο το κομπόστ, ενώ επιτυγχάνεται μείωση της απορριμματικής μάζας που οδεύει προς εδαφική διάθεση, έως και 50%.



Εικόνα 6.70\_Κελιά Κομποστοποίησης στον ευρύτερο χώρο του ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς [35]



Εικόνα 6.71\_ Εγκαταστάσεις Μηχανικής Διαλογής και Επεξεργασίας (ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς) [35]

Ο Συγκεκριμένος ΧΥΤΑ λειτουργεί μέχρι σήμερα χωρίς να έχουν υπάρξει προβλήματα στις υποδομές, ενώ το Β΄ Κύτταρο υπολογίζεται πως θα καλύπτει τις ανάγκες του Δήμου Κεφαλονιάς μέχρι και το 2018. Ένα ζήτημα που αφορά γενικά το Δήμο πλέον, είναι η εκλογή μόνιμου τόπου διάθεσης των Οικοδομικών αποβλήτων και αποβλήτων Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ), που κατόπιν της έναρξης των εργασιών αποκατάστασης των πληγέντων απ' το σεισμό του 2014 οικοδομών και έργων

υποδομής, παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση. Προς το παρόν τα απόβλητα αυτά διατίθενται σε ειδικά διαμορφωμένο φάτνωμα του ΧΥΤΑ, μένει να οριστικοποιηθεί η όποια απόφαση και το αν θα υπάρξει επεξεργασία των ΑΕΚΚ, ούτως ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν κυρίως ως αδρανή για την Οδοποιία. Για το λόγο αυτό, ήδη έχει προταθεί η εγκατάσταση κινητής μονάδας Επεξεργασίας στον ευρύτερο χώρο του ΧΥΤΑ, η οποία αναμένεται εφόσον το σχέδιο αυτό υλοποιηθεί, να κοστίζει περίπου 340.000 ευρώ. Τα προϊόντα που θα ανακτώνται θα είναι κυρίως αδρανή τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιχώσεις, στην παρασκευή σκυροδέματος αλλά και (όπως προαναφέρθηκε) στα έργα Οδοποιίας.

Σε ότι αφορά την Περιβαλλοντική αναβάθμιση του ΧΥΤΑ (ή τη δυνατότητα μετατροπής του σε ΧΥΤΥ), υπάρχουν σχέδια για το άμεσο μέλλον τα οποία περιλαμβάνουν:

- Αναβάθμιση και διαμόρφωση κλίσεων υφιστάμενου κυττάρου που βρίσκεται σε λειτουργία
- Αναβάθμιση συστήματος συλλογής και επέκταση μονάδας Επεξεργασίας Στραγγισμάτων
- Αναβάθμιση συστήματος συλλογής Βιοαερίου, αλλά και δημιουργία μονάδας επεξεργασίας και αξιοποίησης αυτού (σε ότι αφορά το Α' κύτταρο προς το παρόν)
- Σύστημα περιβαλλοντικής Παρακολούθησης
- Αναβάθμιση Εγκατάστασης Μηχανικής Διαλογής και Επεξεργασίας

Τα έργα αυτά εφόσον πραγματοποιηθούν θα συμβάλουν, συν τοις άλλοις, στην επέκταση της ζωής του ενεργού κυττάρου, μειώνοντας σημαντικά τα προς εδαφική διάθεση απόβλητα και θα βοηθήσουν στην καλύτερη διαχείριση των ΑΣΑ από κάθε άποψη (όχι μόνο περιβαλλοντική αλλά και οικονομική), αυξάνοντας ταυτόχρονα και το ποσοστό ανακτώμενης ύλης.

Σχετικά με τη διαδικασία της Κομποστοποίησης, προκειμένου να υπάρχει παραγωγή «Κομπόστ» υψηλής ποιότητας, τα προδιαλεγμένα οργανικά δεν πρέπει να αναμειγνύονται με τα σύμμεικτα. Αυτό προϋποθέτει τις εξής προσθήκες στην υφιστάμενη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας:

- Κατασκευή χώρου απόθεσης προδιαλεγμένων οργανικών
- Εγκατάσταση αντιδραστήρων Κομποστοποίησης προδιαλεγμένων υλικών

Μια πρακτική λύση, η οποία έχει προταθεί είναι η εγκατάσταση συστήματος Κομποστοποίησης με container, το οποίο θα συνδυάζει σχεδιαστική απλότητα, χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, θα μπορεί να επεκταθεί ούτως ώστε να δύναται να καλύψει τις όποιες διακυμάνσεις στη παραγωγή ΑΣΑ (χειμερινοί και θερινοί



μήνες) και θα μπορεί να προσφέρει τα βέλτιστα αποτελέσματα με απλό και εφικτό τεχνοοικονομικό τρόπο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

### **Συμπεράσματα**

Η Αειφόρος και Βιώσιμη Ανάπτυξη είναι έννοιες που εισήχθησαν σχετικά πρόσφατα στον Περιβαλλοντικό σχεδιασμό και καλούνται να πλαισιώσουν τη γενικότερη πολιτική δράση, σε ότι αφορά και την τεχνοοικονομική διάσταση. Είναι σχετικά δύσκολο παρ' όλα αυτά, να εφαρμοστεί επαρκώς και να υλοποιηθεί με τη λήψη απλών μέτρων μια τέτοια περιβαλλοντική πολιτική, σε ένα σύστημα που βασίζεται στην υπέρμετρη κατανάλωση αγαθών. Ωστόσο σε ότι αφορά την ΕΕ γίνονται προσπάθειες μέσω πρακτικών Διαχείρισης, όπως είναι κυρίως η Πρόληψη, να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα και να βρεθούν βιώσιμες για το περιβάλλον και κατ' επέκταση τον άνθρωπο λύσεις, χωρίς αυτό να επηρεάζει σε βάθος τη δομή του οικονομικού συστήματος. Κάτι τέτοιο δε είναι εφικτό να γίνει από τη μια στιγμή στην άλλη και οποιαδήποτε αλλαγή απαιτεί λήψη συγκεκριμένων καθώς και υλοποιήσιμων μέτρων, που θα σέβονται τις βασικές αρχές της Αειφορίας, πράγμα που σημαίνει (συν τοις άλλοις) πως κάθε δράση πρέπει να έχει θετικά περιβαλλοντικά επακόλουθα σε παγκόσμια κλίμακα και οπωσδήποτε δε θα πρέπει η περιβαλλοντική ποιότητα των προηγμένων χωρών, να επιτυγχάνεται σε βάρος των τρίτων, διότι σ' αυτή την περίπτωση δεν έχουμε επίλυση, αλλά απλή μετάθεση του προβλήματος.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος Διαχείρισης ΑΣΑ είναι κάτι αρκετά πολύπλοκο, καθώς υπάρχουν αντικρουόμενα συμφέροντα, θέματα εγγύτητας ως προς την τοποθέτηση των εγκαταστάσεων, καθώς και αντιδράσεις των περίοικων κατοίκων πριν ακόμα αρχίσουν τα έργα. Οι όποιες αντιδράσεις είναι κατανοητές και δικαιολογημένες καθώς η επιλογή μιας περιοχής για την κατασκευή π.χ. ΧΥΤΑ, σημαίνει αυτόματα υποβάθμιση αυτής, αντίληψη που είναι πρόκληση να ανατραπεί μελλοντικά με την κατασκευή σύγχρονων, ασφαλών εγκαταστάσεων, που δε θα αλλοιώνουν την φυσιογνωμία ενός τόπου. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι διαχείρισης ΑΣΑ, με την ΕΕ να ιεραρχεί ως σημαντικότερες αυτή της Πρόληψης και Ανακύκλωσης, θέτοντας παράλληλα ως στόχο τον περιορισμό της Εδαφικής Διάθεσης. Από τις μεθόδους διαχείρισης ΑΣΑ όπως για παράδειγμα, η Υγειονομική Ταφή, η Βιολογική και Θερμική Επεξεργασία, δε μπορεί να χαρακτηριστεί κάποια ως ιδανικότερη καθώς η εφαρμογή αυτών, εξαρτάται από τα οικονομικά δεδομένα και τον διατιθέμενο σε κάθε περιοχή τεχνολογικό εξοπλισμό. Μια πρακτική που συνηθίζεται είναι ο συνδυασμός δύο ή και περισσότερων μεθόδων Διαχείρισης, ακόμα και στον ίδιο χώρο (Πάρκα ολοκληρωμένης Διαχείρισης ΑΣΑ).

Είναι γεγονός πως η μέθοδος της Καύσης Απορριμμάτων (πρακτική που εφαρμόζεται κυρίως σε Ευρωπαϊκές Χώρες όπως η Δανία, η Σουηδία, η Αυστρία)

μπορεί να μειώσει στο ελάχιστο το αδρανές υπόλειμμα που χρήζει εδαφικής διάθεσης και να επιτύχει ανάκτηση μεγάλου ποσοστού ενέργειας, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική. Πρέπει να σημειωθεί όμως, πως μια τέτοια πρακτική αν και σε βάθος χρόνου μπορεί να έχει οικονομικά οφέλη (παράδειγμα Σουηδίας όπου γίνεται εισαγωγή ΑΣΑ από άλλες χώρες), αφενός μεν σε πρώτο στάδιο χρειάζεται αρκετά μεγάλο κεφάλαιο για τη δημιουργία ασφαλών εγκαταστάσεων και κατάλληλων υποδομών, αφετέρου δε απαιτεί άψογο προγραμματισμό και συνέπεια, σ' ότι αφορά την τροφοδοσία των εγκαταστάσεων με ΑΣΑ, για την ομαλή λειτουργία αυτών. Επιπλέον για την σωστή εφαρμογή οποιασδήποτε Θερμικής μεθόδου Επεξεργασίας, προαπαιτείται η ύπαρξη τεχνογνωσίας και ειδικά καταρτισμένου προσωπικού, ενώ σε περίπτωση που κάποιο τμήμα των εγκαταστάσεων χρειαστεί επισκευή, αυτή θα είναι αρκετά δαπανηρή.

Στο Εθνικό Περιβαλλοντικό Σχέδιο προβλέπεται η κατασκευή μονάδας Θερμικής Επεξεργασίας (Καύση υλικού RDF) στην περιφέρεια Αττικής, πρώτα απ' όλα όμως πρέπει να διευθετηθεί το ζήτημα αποκατάστασης των υφιστάμενων ΧΑΔΑ και της κατασκευής (αντί αυτών) ΧΥΤΑ που θα δύναται να μετατραπούν σε ΧΥΤΥ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων). Στην Ελλάδα αναμένεται η έναρξη έργων για την κατασκευή ΧΥΤΑ ειδικά στις Περιφέρειες Πελοποννήσου, Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και σε ορισμένα νησιά του Νοτίου Αιγαίου, όπου υπάρχει μεγάλη έλλειψη υποδομών. Επίσης πολλά έργα που είχαν αρχίσει ως σύμπραξη δημόσιου και ιδιωτικού τομέα και τα οποία διεκόπησαν, λόγω της οικονομικής αστάθειας που επικρατεί στην Ελλάδα, πρόκειται να ξεκινήσουν εκ νέου λόγω των πιέσεων που δέχεται η χώρα από την Ευρωπαϊκή κοινότητα, πιέσεις που έχουν πλέον τη μορφή αρκετά υψηλών προστίμων για κάθε μέρα που η Ελλάδα δε συμμορφώνεται με τις Οδηγίες που εξέδωσε η ΕΕ το 2009.

Αναφορικά με την Εδαφική Διάθεση, προς το παρόν, είναι μια μέθοδος που δε μπορεί να αποφευχθεί στην Ελλάδα, τουλάχιστον όχι στο βαθμό που αυτό επιτυγχάνεται σε άλλες χώρες της ΕΕ. Μακροπρόθεσμος στόχος βέβαια, σύμφωνα με την αρχή της Πρόληψης, είναι η εκτροπή μεγαλύτερου ποσοστού ΑΣΑ (ως και 50%) από την Εδαφική Διάθεση και η Ανάκτηση (κυρίως) Υλικών, αλλά και Ενέργειας μέσω Ανακύκλωσης, Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας. Στην παρούσα φάση όμως προτεραιότητα δίνεται στην κατασκευή σύγχρονων Εγκαταστάσεων ΧΥΤΑ που θα εμπεριέχουν σύστημα Διαχείρισης Στραγγισμάτων και Βιοαερίου, θα είναι σωστά στεγανοποιημένοι ούτως ώστε να αποφεύγονται οι εκροές προς το περιβάλλον και θα διαθέτουν σύστημα ελέγχου καθιζήσεων και συστήματα ελέγχου περιβαλλοντικής ποιότητας (μέσω δειγματοληψιών). Συνήθως παρά την ύπαρξη τέτοιων συστημάτων, οι αστοχίες στο εσωτερικό ενός ΧΥΤΑ εντοπίζονται και αποκαθίστανται δύσκολα και γι αυτό το λόγο, κάθε παράγοντας κινδύνου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από το στάδιο της μελέτης.

Αστοχίες σε ένα ΧΥΤΑ μπορούν να υπάρξουν στο σύστημα μόνωσης, καθώς και στα συστήματα συλλογής και μεταφοράς στραγγισμάτων και βιοαερίου, ενώ ειδικά όπου είναι τοποθετημένα φρεάτια συλλογής Βιοαερίου, υπάρχει και κίνδυνος ανάφλεξης από ενδεχόμενη διαρροή μεθανίου. Ο Κυριότερος παράγοντας αστοχίας ενός ΧΥΤΑ είναι οι διαφορικές καθιζήσεις, που κάποιες είναι αναμενόμενες λόγω της βιοαποδόμησης και κάποιες προέρχονται από την απότομη αύξηση της υγρασίας του εδάφους, λόγω ανεπαρκούς συστήματος διαχείρισης Ομβρίων ή κακής στεγάνωσης της επιφάνειας. Σε καμία περίπτωση επίσης, δεν πρέπει να αγνοείται ο σεισμικός παράγοντας ειδικά σε χώρες όπως η Ελλάδα και η Ιταλία που έχουν έντονη σεισμική δραστηριότητα, διότι οι αστοχίες που μπορεί να προκληθούν, σε συνδυασμό με το ποσοστό υγρασίας στο έδαφος, μπορεί να επιφέρουν στο ΧΥΤΑ, από περιορισμένη διάρρηξη του συστήματος στεγάνωσης έως και κατολίθωση των Απορριμματικών Πρανών, πράγμα που σημαίνει διαφυγή σημαντικής ποσότητας ρυπαντών και μερική ή ολική καταστροφή των υποδομών.

Ο ΧΥΤΑ είναι ένα πολύπλοκο Γεωτεχνικό έργο και η μελέτη της σεισμικής Τρωτότητας αυτού, μέσω υπολογισμού της συμπεριφοράς (αποκλειστικά) των εδαφικών αναχωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε εντελώς λανθασμένα αποτελέσματα. Έρευνες βασισμένες σε μετρήσεις πεδίου αλλά και σε αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών, αποδεικνύουν πως η Τρωτότητα ενός ΧΥΤΑ στο σεισμό, εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Τα Χαρακτηριστικά του Σεισμού (συχνότητα – διάρκεια – μέγιστο πλάτος)
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ, όπως το ύψος της απορριμματικής μάζας, το ύψος και η κλίση των πρανών καθώς και τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (π.χ. ιδιότητες γεωμεμβράνης)
- Οι μηχανικές και δυναμικές ιδιότητες των απορριμμάτων οι οποίες είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστούν, πράγμα που καθιστά δύσκολη την προσομοίωση και μελέτη αυτών στο εργαστήριο ή με τη χρήση κάποιου προγράμματος Η/Υ.
- Τα χαρακτηριστικά και το είδος του εδάφους θεμελίωσης καθώς και η συμπεριφορά αυτού υπό σεισμική διέγερση.
- Η τοπογραφία και γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής που βρίσκεται ο ΧΥΤΑ

Επιπλέον, ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς ολόκληρης της γεωκατασκευής, απαιτεί να γίνουν από το στάδιο της μελέτης οι ακόλουθες αναλύσεις:

- Ανάλυση ευστάθειας των αναχωμάτων (στο παρελθόν το πρόβλημα της συμπεριφοράς των ΧΥΤΑ, προσεγγιζόταν αποκλειστικά μ' αυτόν τον τρόπο).
- Ανάλυση σεισμικής απόκρισης του εδάφους

- Ανάλυση των μηχανικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της απορριμματικής μάζας και της επίδρασης αυτών στη συμπεριφορά του όλου συστήματος.

Μέσω παραμετρικών αριθμητικών προσομοιώσεων (με χρήση Η/Υ) μπορούν να εξαχθούν κάποια ασφαλή συμπεράσματα. Μεταξύ άλλων, τέτοιες μελέτες έχουν γίνει κι από Έλληνες επιστήμονες για λογαριασμό του πολυτεχνείου Κρήτης, έχουν δημοσιευθεί και παρουσιαστεί σε Συνέδρια Αντισεισμικής Τεχνολογίας. Παρ' όλα αυτά, είναι τόσοι οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης, που καθιστούν τη δημιουργία ενός απόλυτα ρεαλιστικού μοντέλου αρκετά δύσκολη, ως και αδύνατη. Για το λόγο αυτό προτείνεται, εφόσον υπάρχει επιστημονικό ενδιαφέρον και είναι δυνατό, να χρησιμοποιηθούν οι εγκαταστάσεις του ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς για έρευνες Πεδίου, καθώς ο εν λόγω ΧΥΤΑ βρίσκεται σε μια περιοχή που δίνει διαρκώς σεισμούς, το μέγεθος των οποίων είναι επαρκές για έρευνα πάνω στη σεισμική τρωτότητα των ΧΥΤΑ.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Σκορδίλης, Α.Δ., «Τεχνολογίες Διάθεσης Απορριμμάτων», Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 1993.
2. Σκορδίλης, Α. Δ., «Ανακύκλωση Υλικών», Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 1994.
3. Σκορδίλης, Α.Δ., «Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων Αποβλήτων», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2006.
4. Παναγιωτακόπουλος, Δ. Χ., «Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων», Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2008.
5. Κατσικαδέλης, Ι.Θ., «Δυναμική Ανάλυση των Κατασκευών», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2012.
6. Augello, A.J., Matasovic, N., Bray, J.D., Kavazanjian, Jr., E., and Seed, R.B., «*Evaluation of Solid Waste Landfill Performance During the Northridge Earthquake*», Earthquake Design and Performance of Solid Waste Landfills, ASCE Geotechnical Special Publication No.54, pp 17 – 50, San Diego, 1995.
7. E.J. Kavazanjian, N. Matasovic, J. Caldwell, «*Seismic design and performance criteria for Landfills*», Sixth U.S. National Conference of Earthquake Engineering Seattle, Washington, Paper No. 245, June, 1998.
8. E.J. Kavazanjian, «*Seismic Design of Solid Waste Containment Facilities*», Eight Canadian Conference on Earthquake Engineering, pp 51 – 89, June, 1999.
9. Καβουκλής, Π.Λ., «Ανάλυση Σεισμικής Απόκρισης Χώρων Υγειονομικής Ταφής», Πτυχιακή Εργασία, Αθήνα, 1999.
10. Χ. Φελεσκούρα, Ε. Παπαϊωάννου, «Διαχείριση και Ενεργειακή Αξιοποίηση Απορριμμάτων», Πτυχιακή Εργασία, Χαλκίδα, Μάιος, 2004.
11. N.I. Thusyanthan, S.P.G. Madabhushi, «*Seismic behaviour of Municipal Solid Waste – Data report on centrifuge tests IT02, IT03 and IT09*», University of Cambridge, CUED/D-SOILS/TR337, 2005.
12. Π. Ψαρρόπουλος, Ι. Τσομπανάκης, «*Εδαφικές Συνθήκες & Αντισεισμικός Σχεδιασμός ΧΥΤΑ*», Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα, Φεβρουάριος, 2005.
13. Αγγελίδης, Θ.Ν., «*Μαθηματική Προσομοίωση Υδραυλικής Συμπεριφοράς Στραγγισμάτων σε ΧΥΤΑ*», Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα, Οκτώβριος, 2006
14. Μπουκοβάλας, Γ.Δ., «*Υπολογιστικές Μέθοδοι στη Γεωτεχνική*», ΕΜΠ, Αθήνα, Νοέμβριος, 2006.
15. Καραμπάτσος, Ι.Α., «Ανάλυση Σεισμικής Απόκρισης Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων», Μεταπτυχιακή Εργασία, Χανιά, Φεβρουάριος, 2006.
16. Π. Ψαρρόπουλος, Ι. Τσομπανάκης, Ι. Καραμπάτσος, Β. Ζανιά, «*Ο Ρόλος Της Δυναμικής Αλληλεπίδρασης Εδάφους – Κατασκευής στην Αδρανειακή Καταπόνηση Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων*», 5<sup>ο</sup> Πανελλήνιο

- Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Ξάνθη, Ιούνιος, 2006.
17. Β. Ζαλιά, Ι. Τσομπανάκης, Π. Ψαρρόπουλος, «*Ο Ρόλος των Συστημάτων Στεγάνωσης στη Σεισμική Συμπεριφορά των ΧΥΤΑ*», 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Νοέμβριος, 2008.
  18. Β. Ζαλιά, Ι. Τσομπανάκης, Π. Ψαρρόπουλος, «*Καταπόνηση Χ.Υ.Τ.Α. από επιβαλλόμενες Μόνιμες Μετακινήσεις Ενεργών Ρηγμάτων*», 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Νοέμβριος, 2008.
  19. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, «*Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων Οδηγιών*», Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 312, σελ. 3 – 30, Νοέμβριος, 2008.
  20. Ζαλιά, Β., «*Σεισμική Καταπόνηση ΧΥΤΑ: Μηχανισμοί Αστοχία και μέθοδοι Ενίσχυσης*», Διδακτορική Διατριβή, Χανιά, Ιούλιος, 2009.
  21. Καλλία – Αντωνίου, Α., «*Το Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Διαχείρισης και η Εφαρμογή του στην Ελλάδα*», ΠερΔικ, Τεύχος 4, σελ. 662 – 676, 2009
  22. E.J. Kavazanjian, Mohamed Arab, N. Matasovic, «*Performance Based Design for Seismic Design of Geosynthetics – Lined Waste Containment Systems*», Second International Conference Performance – Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, lecture No.19, Taormina (Italy), May 2012.
  23. E.J. Kavazanjian, Mohamed Arab, N. Matasovic, «*Performance of two Geosynthetics – Lined Landfills in the Northridge Earthquake*», Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, paper No. SOAP – 5, Chicago, May 2013.
  24. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, «*Απόφαση αριθ. 1386/2013/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 20<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2013 σχετικά με γενικό ενωσιακό πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον έως το 2020, Ευημερία εντός των ορίων του πλανήτη μας*», Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 354, σελ. 171 – 200, Δεκέμβριος, 2013.
  25. Τζαβάρα, Ι.Β., «*Μελέτη της Σεισμικής Συμπεριφοράς των Σύγχρονων Τεχνικών Ενίσχυσης Εδαφικών Πρανών*», Διδακτορική Διατριβή, Χανιά, Οκτώβριος, 2015.
  26. Νταρακάς, Ε., «*Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*», Τ.Π.Μ. – Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος, 2014.
  27. Διεύθυνση Σχεδιασμού & Αντιμετώπισης Εκτάκτων Αναγκών, «*Διαχείριση Αποβλήτων: Θεσμικό Πλαίσιο – Ρόλοι και Αρμοδιότητες Εμπλεκόμενων Φορέων*», Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας – Υπουργείο Δημόσιας Τάξης και Προστασίας του Πολίτη, Αθήνα, Απρίλιος, 2013.

28. Γαλετάκης, Μ., «Επαναχρησιμοποίηση Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων», ΤΕΕ – Τμήμα Δυτικής Κρήτης, Χανιά, Ιούνιος, 2014.  
2.16, 2.17, 2.18
29. Ψυχάρης, Ι.Ν., «Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Τεύχη 1&2», ΕΜΠ, Αθήνα, 2015.
30. Παραλίκα, Μ., «Ανάλυση Κύκλου Ζωής των Υλικών», Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. – Τ.Π.Μ, Αθήνα, 2015.
31. Γιαρλέλης, Χ., «Αποτίμηση και Ανασχεδιασμός Υφιστάμενων Κατασκευών – Εισαγωγή στον ΚΑΝ.ΕΠΕ», Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. – Τ.Π.Μ., Αθήνα, Οκτώβριος, 2015.
32. Ρεπαπής, Κ., «Αποτίμηση και Ανασχεδιασμός Υφιστάμενων Κατασκευών», Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. – Τ.Π.Μ., Αθήνα, Δεκέμβριος, 2015.
33. WWF Ελλάς, «Νόμος και Περιβάλλον στην Ελλάδα», Έκθεση 2016 για την εφαρμογή της Περιβαλλοντικής Νομοθεσίας, 2016.
34. Ρεπαπής, Κ., «Αποτίμηση και Ανασχεδιασμός Υφιστάμενων Κατασκευών – Προσδιορισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης», Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. – Τ.Π.Μ., Αθήνα, Ιανουάριος, 2016.
35. Ε. Αλεξανδρόπουλος, Γ. Φιλιππάτος, «Τοπικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων Δήμου Κεφαλονιάς», Περιφέρεια Ιονίων Νήσων – Δήμος Κεφαλονιάς, σελ. 14 – 27 & 51 – 56, Αργοστόλι, Απρίλιος, 2016.
36. ΝΤΥΑ, «*Seismic Analysis of Slopes*»,  
«[http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/geot\\_earthquake\\_eng\\_Ch8-SLOPES-10.pdf](http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/geot_earthquake_eng_Ch8-SLOPES-10.pdf)», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
37. «<https://www.slideshare.net/IrisLoterte/sustainable-development-and-transdisciplinarity>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
38. «<http://educationalhall.blogspot.gr/2015/12/our-environment.html>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
39. «<http://www.voreini.gr/featured>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
40. «[http://www.activistis.gr/2017/01/blog-post\\_539.html](http://www.activistis.gr/2017/01/blog-post_539.html)», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
41. «<http://www.gyratory-crusher.com/News/Vibrating-Screens-Used-Worldwidely.html>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
42. «<http://www.netplasmak.com/solid-waste-sorting-machines.html>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
43. «[http://www.fil-eco.gr/products.asp?cat\\_id=3](http://www.fil-eco.gr/products.asp?cat_id=3)», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
44. «[http://nett21.gec.jp/JSIM\\_DATA/WASTE/WASTE\\_2/html/Doc\\_363\\_1.html](http://nett21.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_2/html/Doc_363_1.html)», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
45. «<http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e07.htm>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017. , τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
46. «<http://www.ecc.com.gr/el/ta-genika-tis-anaerovias-epexergasias-ton-apovliton>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.



47. «<http://limes-luene.de/>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
48. «<https://www.nap.edu/read/11930/chapter/3#7>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
49. «<http://www.nabpasmand.com/en-english/index.php/news/compost-news/150-nab-andish-pasmand-varna-services>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
50. «<http://slideplayer.com/slide/7856762/>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
51. «<http://www.halkidikifocus.gr/2014/index.php?option=com>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
52. «<http://tucsonohio.com/TucsonProjectsPage.php?34>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
53. «[http://www.ben-harvey.org/UNHCR/WASH-Manual/Wiki/index.php/Chapter\\_6](http://www.ben-harvey.org/UNHCR/WASH-Manual/Wiki/index.php/Chapter_6)», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.
54. «<http://tvxs.gr/news/>», τελευταία επίσκεψη 16/3/2017.