

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΩΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ- ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

#### 6.1 Γενικά

Η ορθολογική διαχείριση των στερεών αποβλήτων εντάσσεται στην επιταγή του άρθρου 24 του Συντάγματος για την προστασία του περιβάλλοντος, με σύγχρονη εξυπηρέτηση του δημοσίου συμφέροντος, που στην περίπτωση αυτή είναι η υγεία των πολιτών. Ως **στερεό μη επικίνδυνο απόβλητο** θεωρείται κάθε ουσία που μπορεί να απορριφθεί και είναι:

- τα αστικά απορρίμματα
- τα αδρανή οικοδομικά υλικά
- τα μη επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα (μεταχειρισμένα ελαστικά, απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, κ.ά)
- τα γαιώδη υλικά που έχουν υποστεί ρύπανση και ιλύς από βιολογικούς καθαρισμούς

*Επικίνδυνα απόβλητα* είναι: αγροχημικά, λάσπες του πυθμένα δεξαμενών, απόβλητα από βιομηχανίες δέρματος, συντήρησης ξύλου, σκωρίες από επεξεργασία μεταλλευμάτων κ.ά. Η διάθεση των αποβλήτων αυτών γίνεται με ειδικές διατάξεις (ΚΥΑ 19396/1546/97, ΦΕΚ 604B/18-7-1997), ώστε να μην προκαλείται κίνδυνος στη δημόσια υγεία (υγειονομική ταφή, επεξεργασία στο έδαφος, έκχυση σε βάθος, απόρριψη στη θάλασσα ή ταφή στο θαλάσσιο βυθό, αποτέφρωση στο έδαφος ή στη θάλασσα, βιολογική επεξεργασία κ.λπ).

Κάθε χρόνο παράγονται στην Ελλάδα 4.500.000 τόνοι αστικών αποβλήτων (στοιχεία 2001) με συνεχή τάση αύξησης (3.900.000 τόνοι το έτος 1997). Τα απορριπτόμενα υλικά συσκευασίας αποτελούν περίπου το 20% κ.β. με σύνθεση: χαρτί-χαρτόνι 42%, πλαστικά 26%, γυαλί 18%, μέταλλα 8% και ξύλο 6%.

Με βάση τον πληθυσμό της Ελλάδας η ημερήσια ποσότητα των παραγόμενων αστικών αποβλήτων (απορριμμάτων) ανέρχεται, με στοιχεία του 2004, σε 1,4 kg/άτομο (από 0,9 kg/άτομο το έτος 1997). Για τη διάθεσή τους υπάρχουν χώροι:

- Ελεγχόμενης απόθεσης (έχουν στεγανοποιημένη βάση)
- Χώροι ημιελεγχόμενης απόθεσης (απουσία στεγανοποιημένης βάσης) και
- Ανεξέλεγκτοι χώροι απόρριψης ή χωματερές ή Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων, Χ.Α.Δ.Α. (απουσία συστημάτων διαχείρισης στραγγισμάτων, βιοαερίου κ.λπ.).

Μέχρι τη δεκαετία του 1960 το σύνολο των στερεών αποβλήτων διετίθετο σε χωματερές, χωρίς ιδιαίτερα μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την πρόκληση ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων, την εκδήλωση πυρκαγιών και γενικότερα την ποιοτική υποβάθμιση των περιοχών. Με την ευαισθητοποίηση των πολιτών σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος, καθώς και την ανάπτυξη της τεχνολογίας άρχισε η χωροθέτηση χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ).

Οι σύγχρονες τάσεις στη διαχείριση των αποβλήτων, σύμφωνα και με την ευρωπαϊκή νομοθεσία (ψήφισμα του Συμβουλίου της Ε.Ε. της 7<sup>ης</sup> Μαΐου 1990- 90/c122/02) είναι:

- Η ελαχιστοποίηση των στερεών αποβλήτων
- Η επανάκτηση με ανακύκλωση χρήσιμων υλικών
- Η εναλλακτική διαχείριση επικίνδυνων και ειδικών αποβλήτων
- Η βελτιστοποίηση της τελικής διάθεσης των αποβλήτων και
- Η βελτίωση και εξυγίανση των υφιστάμενων χώρων απόθεσης.

Από τα ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτί, μέταλλα, γυαλί και πλαστικό) μόνο ένα ποσοστό 21% ανακυκλώνεται, αντιπροσωπεύοντας το 9% του συνόλου των αστικών απορριμμάτων, ενώ το υπόλοιπο καταλήγει σε ΧΥΤΑ ή χωματερές.

Παρακάτω δίνεται έμφαση στη διαχείριση των αστικών απορριμμάτων που αποτελούν το 85% του συνόλου των στερεών αποβλήτων και επιπλέον ένα πολύπλοκο πρόβλημα με περιβαλλοντικές και κοινωνικές προεκτάσεις. Παρόλη την ενημέρωση των πολιτών είναι ισχυρό ακόμα το σύνδρομο «not in my back yard» (μακριά από την πόρτα μου), που καθιστά τη διαχείριση των απορριμμάτων ένα δημόσιο πρόβλημα πρώτου μεγέθους.

## **6.2. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων**

Η σύσταση των αστικών απορριμμάτων διαφέρει από χώρα σε χώρα και από εποχή σε εποχή. Η μέση ποιοτική σύσταση των απορριμμάτων στη χώρα μας, με βάση τα στοιχεία του ΕΣΔΚ Νομού Αττικής, του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και του Δήμου Κω φαίνεται στον Πίν. 6.1. Ένα μεγάλο ποσοστό (75-85%) των ουσιών που περιέχονται στα αστικά απορρίμματα είναι οργανικές (κυτταρίνη, πρωτεΐνες, άμυλο, λιγνίνη, σάκχαρα) και μπορεί να αποδομηθούν. Το άζωτο βρίσκεται σε αναλογία περίπου 0,5%, το κάλιο και ο φωσφόρος (σε μορφή  $P_2O_5$ ) σε ποσοστό 0,3-0,4%, το ασβέστιο 5%, το θείο 0,5-2%, το μαγνήσιο 0,6% και το πυρίτιο σε αναλογία 10-30%.

Οι κυριότερες αλλαγές στη σύσταση των απορριμμάτων τα τελευταία χρόνια είναι: η ελάττωση της στάχτης, η μείωση των φυτικών υλών, η αύξηση των υλικών συσκευασίας

(χαρτιά, πλαστικά), η σχετική αύξηση των πλαστικών έναντι του γυαλιού, η αύξηση επικίνδυνων χημικών (υγρά καθαρισμού, ορυκτέλαια κ.λπ.).

Η υγρασία των απορριμμάτων κυμαίνεται από 25% έως 60% και μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή και είναι πιο μεγάλη το καλοκαίρι, λόγω της μεγάλης αναλογίας λαχανικών και φρούτων. Η περιεχόμενη υγρασία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Περιεχόμενη υγρασία (\%)} = [(\alpha - \beta) / \alpha] \times 100$$

όπου:  $\alpha$  = το αρχικό βάρος των απορριμμάτων και

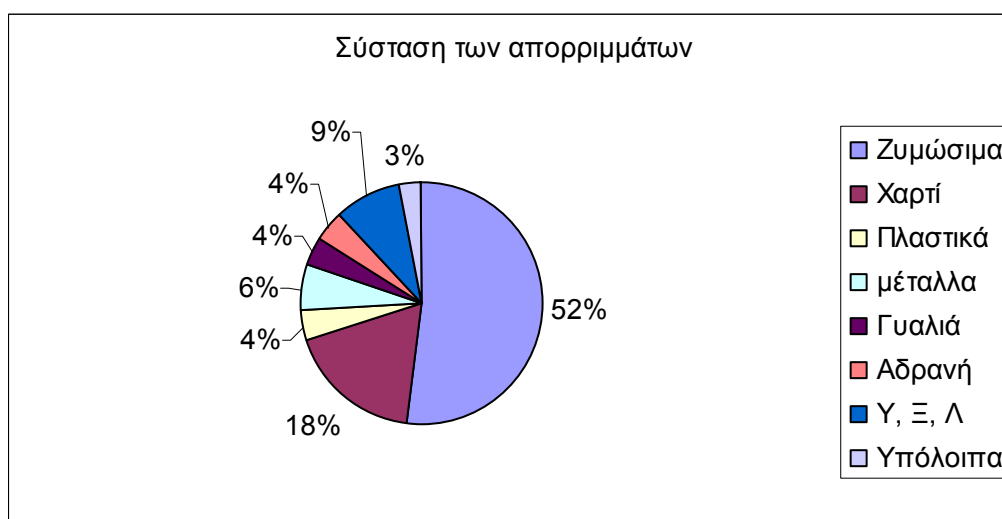
$\beta$  = το βάρος του δείγματος μετά την πλήρη ξήρανση.

Τα υπολείμματα των τροφών περιέχουν υψηλό ποσοστό υγρασίας 50-80%, η φυτική ύλη 30-80%, το ξύλο 15-40%, το χαρτί 4-10%.

Η πυκνότητα των απορριμμάτων είναι της τάξης των 185-250 kg/m<sup>3</sup>. Η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται από 1.200 έως 2.000 kcal/kg και αυξάνεται τα τελευταία χρόνια.

**Πίνακας 6.1:** Μέση σύσταση (%) των αστικών απορριμμάτων.

A/α	Υλικό	ΕΣΔΚ Νομού Αττικής	Δήμος Κω	Πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης	Μέση τιμή Ελλάδας
1	Ζυμώσιμα	48,5	37,1	52,0	49,0
2	Χαρτί	22,0	25,0	18,0	20,0
3	Υφάσματα, ξύλα, λάστιχα	3,5	4,6	9,0	5,0
4	Πλαστικά	10,5	10,9	4,0	8,5
5	Μέταλλα	4,2	5,4	6,0	4,5
6	Γυαλιά	3,5	12,3	4,0	4,5
7	Αδρανή υλικά	3,3	3,2	4,0	3,0
8	Υπόλοιπα	4,5	1,5	3,0	5,5



**Σχήμα 6.1:** Ποσοστιαία σύσταση κατά βάρος των απορριμμάτων του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (Υ, Ξ, Λ= υφάσματα, ξύλα, λάστιχα).

### 6.3. Μέθοδοι διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων

Οι βασικές μέθοδοι διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων είναι οι κάτωθι:

#### 1) Βιολογική επεξεργασία

Το οργανικό ποσοστό των αστικών απορριμμάτων είναι υψηλό και μετά από μια **αερόβια** βιολογική επεξεργασία (**κομποστοποίηση**) παράγει ένα προϊόν που ονομάζεται **compost**. Το προϊόν αυτό περιέχει θρεπτικά συστατικά (K, P, ιχνοστοιχεία) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό (λιπασματοποίηση) ή ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται μικρή περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, υψηλό ποσοστό ζυμώσιμων υλικών και υγρασίας και ο λόγος C/N να είναι μικρότερος από 30. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να προστεθεί άζωτο, το οποίο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Η λιπασματοποίηση γίνεται είτε σε σωρούς με φυσικό αερισμό, είτε σε βιοαντιδραστήρα, όπου η διεργασία επιταχύνεται σημαντικά. Η μέθοδος συνδυάζεται με συστήματα μηχανικού διαχωρισμού για την ανάκτηση υλικών όπως γυαλί, πλαστικά, σίδηρος κ.λπ. Ακολούθως τα υπόλοιπα υλικά που απομένουν κατατεμαχίζονται και μετατρέπονται σε μια ομογενή μάζα, διευκολύνοντας τη δράση των μικροοργανισμών. Η μέθοδος είναι φιλική στο περιβάλλον και δίνει περαιτέρω περιθώρια εφαρμογής της ανακύκλωσης στα υπόλοιπα υλικά (χαρτικά, μέταλλα, γυαλιά). Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η πιθανή ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, η περιεκτικότητα σε μικρά τεμάχια γυαλιού, πλαστικών κ.λπ, που δυσχεραίνει την εφαρμογή της και η παρουσία βαρέων μετάλλων. Επιπλέον ο μεγάλος χρόνος ωρίμανσης που απαιτείται για τη μετατροπή των απορριμμάτων σε εδαφοβελτιωτικό, το υψηλό κόστος μεταφοράς του υλικού στις καλλιέργειες, η καχυποψία των αγροτών για την καταλληλότητά του καθιστούν τη μέθοδο μη εφαρμόσιμη σε ευρεία κλίμακα.

Κατά την **αναερόβια** βιολογική ζύμωση παράγεται αέριο (CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub>) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Η αναερόβια βιολογική επεξεργασία έχει χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία της λυματολάσπης των βιολογικών καθαρισμών και μπορεί να εφαρμοσθεί και στην επεξεργασία των αστικών απορριμμάτων σε συνδυασμό με τη χρήση λυματολάσπης (Φάττα, 2005).

#### 2) Θερμική επεξεργασία

Τα υλικά οδηγούνται σε κλιβάνους και καίγονται παρουσία οξυγόνου (**καύση-αποτέφρωση**, incineration), αφού πρώτα γίνει ανάκτηση χρήσιμων υλικών. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου παράγεται θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια και μειώνεται σημαντικά ο όγκος των απορριμμάτων από 65% έως 90%. Εκπέμπονται όμως αέριοι ρύποι (διοξίνες,

φουράνια, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, βαρέα μέταλλα, κ.ά) και παράγονται κατάλοιπα (10-30%) που απαιτούν υγειονομική ταφή. Επιπλέον μειονέκτημα της θερμικής επεξεργασίας είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας, γιατί απαιτεί μονάδα αφαίρεσης του οργανικού κλάσματος, μονάδα βιοσταθεροποίησης του διαχωριζόμενου οργανικού κλάσματος, χώρο υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (XYTY) και μονάδα διαχωρισμού και επεξεργασίας των τοξικών αερίων προϊόντων. Στην Ελλάδα δεν λειτουργούν μονάδες ελεγχόμενης καύσης, εκτός των νοσοκομειακών αποβλήτων που καίγονται, λόγω του μικροβιακού τους φορτίου.

Κατά την **πυρόλυση** (pyrolysis), που είναι ενδόθερμη, γίνεται θερμική αποσύνθεση των οργανικών υλικών, απουσία O<sub>2</sub>. Η **αεριοποίηση** (gasification) είναι μέθοδος θερμικής επεξεργασίας, κατά την οποία μέσω ελεγχόμενης καύσης παράγεται καύσιμο αέριο (κυρίως CH<sub>4</sub> και H<sub>2</sub>).

### **3) Υγειονομική ταφή**

Αποτελεί την πλέον ολοκληρωμένη, οικονομική, συμβατή με τον εθνικό σχεδιασμό και περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδο διαχείρισης των απορριμμάτων (50% των παγκοσμίως παραγόμενων απορριμμάτων διατίθεται με αυτόν τον τρόπο). Η λειτουργικότητα των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (XYTA) εξαρτάται από:

- την ικανή έκταση για να καλύψει τις ανάγκες σε ορισμένο χρονικό διάστημα και την εύκολη πρόσβαση
- τη μικρή απόσταση από τον τόπο παραγωγής και συλλογής των απορριμμάτων
- την πρόσβαση σε δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος και υδρευτικό δίκτυο
- την ύπαρξη υδροφόρων οριζόντων
- την ύπαρξη σε μικρή απόσταση υλικού κατάλληλου για επικάλυψη
- την καταλληλότητα της τοπογραφίας και την ευστάθεια των πρανών
- τις καλές γεωτεχνικές ιδιότητες του χώρου
- την τεκτονική κατάσταση της ευρύτερης περιοχής
- τη σεισμικότητα
- την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών απορροών

Η σωστή εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί:

1. Χωροθέτηση κατάλληλου χώρου
2. Καθημερινή συμπίεση και επικάλυψη των αποτιθέμενων απορριμμάτων
3. Έλεγχο και συλλογή του παραγόμενου στραγγίσματος
4. Απομάκρυνση του παραγόμενου βιοαερίου
5. Αποκατάσταση του χώρου μετά το τέλος των εργασιών απόθεσης (~25 έτη).

#### 6.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις-

##### Διαδικασίες έγκρισης και έκδοσης άδειας λειτουργίας ΧΥΤΑ

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων σχετίζονται με:

- Παραγωγή διασταλαζόντων υγρών και πιθανή ρύπανση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και του εδάφους (βλ. παράγραφο 6.8)
- Ρύπανση επιφανειακών νερών
- Εκπομπή αερίων (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S κ.ά)
- Εμφάνιση διαφόρων ζωικών ειδών (ποντίκια, έντομα, πτηνά)
- Επιπτώσεις στην πανίδα και ειδικά σε ευαίσθητα φυτά και δένδρα
- Αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και αισθητική όχληση
- Δυσοσμία, Σκόνη, Διασπορά μικρών αντικειμένων με τον άνεμο
- Θόρυβοι από τη λειτουργία μηχανημάτων μεταφοράς και συμπίεσης
- Κίνδυνοι ανάφλεξης
- Κίνδυνος κατολίσθησης
- Κίνδυνος καθίζησης και διάβρωσης του υλικού επικάλυψης.

Για να κατανοηθούν οι μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον αναφέρουμε ότι, η αυτανάφλεξη της χωματερής στην περιοχή Ταγαράδων Θεσσαλονίκης τον Ιούλιο του 2006, είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή διοξινών στο περιβάλλον, που ανιχνεύθηκαν στο έδαφος και τα ζώα σε απόσταση 3-5 km για χρονικό διάστημα 10-15 ημερών.

Η διαδικασία έγκρισης και έκδοσης άδειας λειτουργίας ΧΥΤ Απορριμμάτων καθορίζεται από την υφιστάμενη νομοθεσία και είναι η κάτωθι:

- Καταγραφή των υποψήφιων χώρων
- Συγκρότηση από τον Νομάρχη γνωμοδοτικής επιτροπής
- Σύνταξη μελέτης προέγκρισης χωροθέτησης
- Εκπόνηση Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.)
- Απόφαση έγκρισης μελέτης περιβαλλοντικών όρων
- Εκπόνηση τεχνικής μελέτης κατασκευής
- Κατασκευή του ΧΥΤΑ και άδεια λειτουργίας

Η κοινοτική οδηγία 1991/156/EU θέτει τις βάσεις για την αποτελεσματική και βιώσιμη διαχείριση των απορριμμάτων, δίνοντας έμφαση στη μείωση αυτών στην πηγή παραγωγής και στην υγειονομική ταφή. Η οδηγία 99/31/EU θέτει τα «τεχνικά πρότυπα υγειονομικής ταφής» για όλη τη διάρκεια ζωής ενός ΧΥΤΑ.

Η ελληνική νομοθεσία που διέπει τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, καθώς και τα κριτήρια επιλογής θέσεων εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων καθορίζεται από τις:

1. ΚΥΑ 50910/2727 (ΦΕΚ 1909/22-12-2003) «Μέτρα και όροι για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης». Περιλαμβάνει τις κατηγορίες αποβλήτων και τις τεχνικές προδιαγραφές σύνταξης των περιφερειακών σχεδίων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.
2. ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572B/16-12-2002) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή αποβλήτων».
3. ΚΥΑ 114218/97 (ΦΕΚ 1016 Β/17-11-97) «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων». Περιλαμβάνει το πλαίσιο τεχνικών προδιαγραφών διαχείρισης στερεών αποβλήτων, τους όρους και τα κριτήρια καταλληλότητας και επιλογής θέσεων εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων.
4. ΚΥΑ 49541/1424/86 (ΦΕΚ 358B'/17-5-1996) «Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την οδηγία 75/422/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 15<sup>ης</sup> Ιουλίου 1975». Ορίζει τις διαδικασίες για την έγκριση της λειτουργίας ενός χώρου διάθεσης απορριμμάτων.
5. ΚΥΑ 69269/5387/90 (ΦΕΚ 678B'/25-10-1990) «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μ.Π.Ε. και λοιπές συναφείς διατάξεις σύμφωνα με τον Ν. 1650/1986». Αναφέρεται στις Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων σε ΧΥΤΑ.
6. Νόμος 1650/1986 (ΦΕΚ 160 Α'/18-10-86) «Για την προστασία του περιβάλλοντος».

Σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων δεν γίνονται δεκτά τα ακόλουθα απόβλητα:

- Υγρά απόβλητα
- Απόβλητα που είναι διαβρωτικά, εκρηκτικά, οξειδωτικά ή εύφλεκτα
- Απόβλητα νοσοκομείων και συναφή που είναι μολυσματικά
- Ολόκληρα ή τεμαχισμένα μεταχειρισμένα ελαστικά αυτοκινήτων
- Απόβλητα που εκπέμπουν ενοχλητικές οσμές
- Χημικά απόβλητα που έχουν χαρακτηριστεί ως επικίνδυνα

Πρέπει να τονισθεί ότι επιβάλλεται ο περιορισμός τόσο της ποσότητας όσο και του επικίνδυνου χαρακτήρα των απορριμμάτων που προορίζονται για υγειονομική ταφή. Οι πρόσφατες προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιτάσσουν τον διαχωρισμό και την ειδική επεξεργασία των επικίνδυνων απορριμμάτων όπως, τα ραδιενεργά, τα νοσοκομειακά, τα ελαστικά αυτοκινήτων, οι μπαταρίες, τοξικά στερεά απόβλητα, κ.ά. Επίσης η οδηγία 199/31/ΕΚ της Ε.Ε. επιτάσσει ότι στους ΧΥΤΑ θα πραγματοποιείται διάθεση μόνο

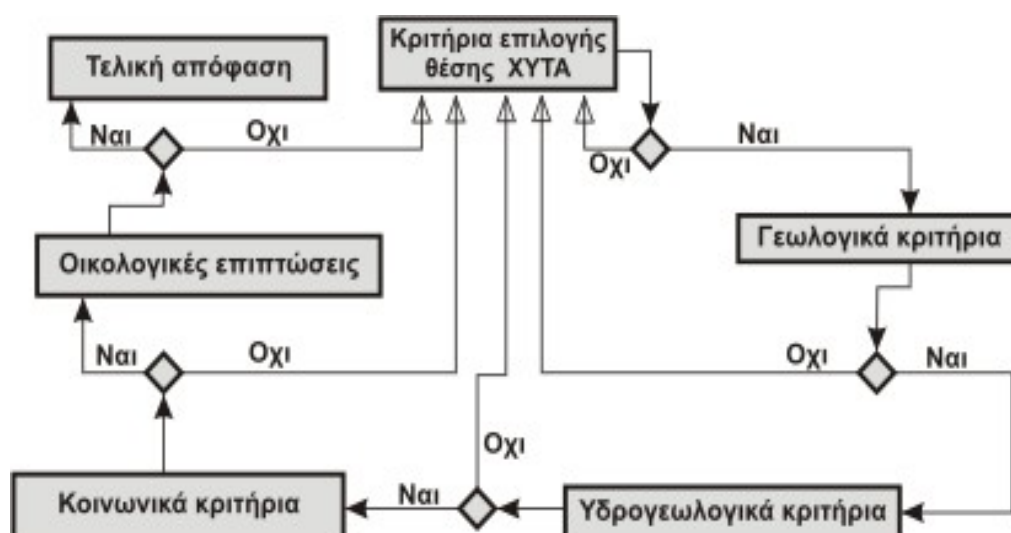
των αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία. Τα επικίνδυνα απόβλητα και τα αδρανή διατίθενται σε ειδικούς χώρους.

Κάθε χώρος υγειονομικής ταφής αποβλήτων κατατάσσεται σε: ΧΥΤ μη επικίνδυνων αποβλήτων, ΧΥΤ επικίνδυνων αποβλήτων και ΧΥΤ αδρανών.

### 6.5. Κριτήρια επιλογής της θέσης

Ένας σωστά σχεδιασμένος ΧΥΤΑ πρέπει να εξασφαλίζει στεγανότητα, σταθερότητα των γεωλογικών σχηματισμών, να μην επηρεάζει τους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής, να είναι μακριά από αρχαιολογικούς χώρους, βιότοπους, αεροδρόμια κ.λπ.

Για την επιλογή της θέσης υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες όπως, το κλίμα, μορφολογία, η απόσταση από την πηγή γένεσης των απορριμμάτων, οι υδρογεωλογικές συνθήκες, η σεισμικότητα της περιοχής και η κοινωνική αποδοχή (Σχ. 6.2).



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα ροής των διαδικασιών επιλογής θέσης ΧΥΤΑ (Καλλέργης, 2000).

Η επιλογή της κατάλληλης θέσης για τη δημιουργία ΧΥΤΑ πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα κάτωθι κριτήρια (Πίν. 6.2):

#### **Γεωλογικά κριτήρια**

Εξετάζεται η λιθολογία και στρωματογραφία (σύνθεση και ποιότητα εδάφους, φύση υποβάθρου, βάθος από τον πυθμένα του αποδέκτη, πάχος αποσαθρωμένου μανδύα, ύπαρξη καρστικών εγκοίλων), καθώς και η τεκτονική (ρήγματα, σεισμικότητα).

Απαγορευτικές συνθήκες από γεωλογική άποψη είναι: η παρουσία ασβεστολίθων και διαρρηγμένων πετρωμάτων σε μικρό βάθος από τον πυθμένα και η ύπαρξη ενεργών ρηξιγενών ζωνών (λόγω αυξημένης διαπερατότητας και πιθανών μετακινήσεων).



### ***Υδρογεωλογικά κριτήρια***

Το γεωλογικό υπόβαθρο θεωρείται κατάλληλο για ΧΥΤΑ, όταν ο συντελεστής υδροπερατότητάς του είναι  $k \leq 10^{-7}$  m/s, ώστε μετά την επεξεργασία να πάρει την επιθυμητή τιμή  $k \leq 10^{-9}$  m/s. Το πάχος της ακόρεστης ζώνης πρέπει να έχει ένα ελάχιστο πάχος 5 m για τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών αυτοκαθαρισμού και αποτροπή πιθανής ρύπανσης. Το βάθος και οι διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού από τον πυθμένα του ΧΥΤΑ πρέπει να εξετάζονται πριν τη χωροθέτησή του. Ελέγχονται επίσης οι υδραυλικές παράμετροι των υδροφόρων, η γεωμετρία τους, οι πιθανές εισροές από γειτονικές λεκάνες, οι ζώνες προστασίας υδροληπτικών έργων και ιαματικών νερών, η ποιότητα των υπόγειων νερών και το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής.

Η παρουσία υδροφορέων σε μικρό βάθος, ειδικά στην περίπτωση που εκμεταλλεύονται για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών αποτελεί απαγορευτικό παράγοντα για την εγκατάσταση ΧΥΤΑ. Προτιμούνται κύρια περιοχές στις οποίες η στάθμη του υπόγειου νερού είναι σε μεγάλο βάθος, με μικρή διακύμανση της στάθμης και ποιοτικά υποβαθμισμένες (π.χ. λόγω υφαλμύρινσης). Επιπλέον προτιμούνται σχηματισμοί με μικρή υδροπερατότητα (στεγανοί), με υψηλό pH (μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων) και μεγάλη ικανότητα κατιοανταλλαγής (εξασθενεί τους ρύπους μέσω προσρόφησης και ανταλλαγής κατιόντων).

### ***Γεωτεχνικά κριτήρια***

Ελέγχονται: η ευστάθεια, η διαβρωσιμότητα του εδάφους, η πιθανότητα εκδήλωσης καθιζήσεων και φαινομένων ερπυσμού (creep), καθώς και τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφών (βλ. κεφάλαιο 2). Ο έλεγχος της ευστάθειας γίνεται με την εκτίμηση των εξής παραμέτρων: τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του υποστρώματος έδρασης, τις κλίσεις των πρανών, το βάρος των απορριμμάτων, το είδος της επιφανειακής κάλυψης. Γενικά προτιμούνται περιοχές οριζόντιες ή με μικρές κλίσεις (<15%) και γενικά αποφεύγονται ασταθείς περιοχές, που είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις, με φτωχές συνθήκες θεμελίωσης, καθώς και σεισμικά ευάλωτες περιοχές.

### ***Κριτήρια χωροταξίας***

Αποστάσεις από οικισμούς και απόκρυψη. Απόσταση από πηγές, οδούς, μνημεία, χώρους αναψυχής, αρχαιολογικούς χώρους, πολιτιστικούς χώρους και δραστηριότητες κ.λπ.

Γενικά απαγορεύεται η εγκατάσταση ΧΥΤΑ σε περιοχές:

- αρχαιολογικού και πολιτιστικού ενδιαφέροντος, δηλ. κηρυγμένοι αρχαιολογικοί χώροι.
- παραδοσιακούς οικισμούς

- οικιστικές περιοχές, που περιλαμβάνει περιοχές εντός ορίων σχεδίου πόλης και εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό κάτω των 2.000 κατοίκων, περιοχές εντός ορίων οικοδομικών συνεταιρισμών Α ή και Β κατοικίας, περιοχές ιδιωτικής πολεοδόμησης του Ν. 1947/91 για οικιστική χρήση.

Η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση από ποταμούς είναι 100 m, από λίμνες 300 m, από εθνικές οδούς 300 m, από αεροδρόμια 3.000 m και από υδρευτικές γεωτρήσεις 400 m.

### ***Περιβαλλοντικά κριτήρια***

Αξιολογούνται οι επιδράσεις στην πανίδα και χλωρίδα και η αισθητική κατάσταση του κυρίως χώρου του ΧΥΤΑ, σε σχέση με τη δυνατότητα αναβάθμισής του. Τηρούνται οι αποστάσεις από υπάρχοντες βιότοπους ή υγροβιότοπους.

Δεν είναι επιλέξιμες θέσεις για την κατασκευή ΧΥΤΑ οι υγροβιότοποι. Σε νησιά, σύμφωνα με κοινή απόφαση των Υπουργείων ΠΕΧΩΔΕ και Οικονομίας (2006), θα μπορούν να δημιουργηθούν μικροί ΧΥΤΑ και σε προστατευόμενες περιοχές (δίκτυο NATURA, Ramsar) με αυστηρούς περιβαλλοντικούς όρους.

### ***Κλιματικά-υδρολογικά κριτήρια***

Εξετάζονται και αξιολογούνται τα παρακάτω:

- Η ένταση και διεύθυνση του ανέμου γιατί ρυθμίζουν τη μεταφορά των οσμών
- Μέγεθος λεκάνης απορροής, επιφανειακή απορροή
- Η ένταση και κατανομή των βροχοπτώσεων (πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας και ανάγκη αποστράγγισης).
- Η εξατμισοδιαπνοή. Περιοχές με έντονη εξάτμιση ξηραίνουν και ρηγματώνουν τις αργιλικές μεμβράνες.
- Στοιχεία μικροκλίματος της περιοχής (π.χ. συχνότητα και διάρκεια θερμοκρασιακών αναστροφών, συχνότητα και διεύθυνση μεταβατικών ρευμάτων).

### ***Οικονομικά κριτήρια***

Από οικονομική άποψη πρέπει να προσμετρηθούν και συνεκτιμηθούν τα εξής κόστη:

Κόστος μεταφοράς των απορριμμάτων

Αγορά (αξία γης) και διαμόρφωση του χώρου

Έργα για τη στεγανοποίηση του πυθμένα και των πρανών και συλλογής στραγγισμάτων

Διαθεσιμότητα δικτύων (ύδρευση, ηλεκτρική ενέργεια κ.ά).

Ευχέρεια εκτέλεσης έργων υποδομής (τάφος ομβρίων υδάτων, οδοποιία κ.ά).

Ο απαιτούμενος χώρος ταφής των απορριμμάτων σχετίζεται με τον πληθυσμό, την παραγόμενη ποσότητα ανά κάτοικο, την πυκνότητα, τον αριθμό των στρωμάτων (ταμπάνια) και το λόγο συμπίεσης (βλ. εφαρμογή 6.3).

### **Λειτουργικά κριτήρια**

Λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω δεδομένα:

Χωρητικότητα (δηλ. διάρκεια ζωής) του ΧΥΤΑ

Ευχέρεια απόκτησης του χώρου, σε σχέση με τον χαρακτήρα της περιοχής και το ιδιοκτησιακό του καθεστώς

Διαθεσιμότητα υλικού επικάλυψης.

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2000) η διερεύνηση για την επιλογή της κατάλληλης θέσης για ΧΥΤΑ περιλαμβάνει τρία στάδια:

Το **πρώτο** στάδιο διερεύνησης περιλαμβάνει τον ακριβή καθορισμό:

- της απαιτούμενης επιφάνειας, για τη διάθεση των απορριμμάτων και της επάρκειας του διαθέσιμου χώρου
- της μέγιστης, οικονομικά και τεχνικά, επιτρεπόμενης απόστασης από την πηγή παραγωγής των απορριμμάτων
- χωρικοί περιορισμοί (αρχαιολογικοί, δασολογικοί, οικιστικοί κ.λπ.) και συμβατότητα με τα υφιστάμενα τοπικά σχέδια χρήσης γης.

Το **δεύτερο** στάδιο διερεύνησης συνίσταται στην εξέταση των υποψήφιων θέσεων που προκρίθηκαν από γεωλογική και κοινωνική άποψη, λαμβάνοντας υπόψη τα εξής κριτήρια:

- ◆ **Χωροταξικά.** Ευκολία πρόσβασης, γειτνίαση με επιφανειακά σώματα νερού (ποτάμια, χείμαρροι, λίμνες), καθώς και εγκαταστάσεις και μέσα υποστήριξης για την ανάπτυξη ΧΥΤΑ και διαθεσιμότητά τους (δρόμοι, δίκτυα).
- ◆ **Γεωλογικά.** Στρωματογραφική και τεκτονική δομή των πιθανών θέσεων, γεωλογική ταξινόμηση των υλικών του πυθμένα της μελλοντικής χωματερής, εκσκαψιμότητα των υλικών, γεωτεχνικές ιδιότητες, επάρκεια υλικών επικάλυψης των απορριμμάτων, σεισμικότητα της περιοχής και σύνδεσή της με την τοπική τεκτονική (ενεργά ρήγματα, ζώνες διάρρηξης κ.λπ.), γεωμορφολογία των πιθανών θέσεων (κλίσεις πρανών, ασταθείς μάζες κ.λπ.).
- ◆ **Υδρογεωλογικά.** Το πάχος και η λιθολογία της κορεσμένης και της ακόρεστης ζώνης, οι υδραυλικές παράμετροι (υδροπερατότητα, μεταβιβαστικότητα, διαχυτικότητα T/S), ο τύπος των υδροφόρων και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους, το υδραυλικό καθεστώς, οι περιοχές τροφοδοσίας και εκφόρτισης των υδροφόρων, τα υφιστάμενα έργα υδροληψίας, η ποιότητα του υπόγειου νερού και οι χρήσεις του.
- ◆ **Κοινωνικά.** Η προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

Το **τρίτο** στάδιο διερεύνησης περιλαμβάνει λεπτομερείς έρευνες πεδίου, όπως γεωτεχνική επάρκεια του πυθμένα του ΧΥΤΑ για τον περιορισμό των ρυπογόνων στραγγισμάτων, η ικανότητα αυτοκαθαρισμού του κ.λπ. Επιπλέον ποσοτικοποίηση των πληροφοριών που αναφέρονται στα εξής χαρακτηριστικά:

- ✓ λιθοφασική σύσταση, εκσκαψιμότητα, υδροπερατότητα, αντοχή, συμπιεστότητα
- ✓ ικανότητα συγκράτησης ή παραπέρα διοχέτευσης των ρύπων
- ✓ πάχος και φύση της ακόρεστης ζώνης
- ✓ τυχόν παρουσία του υποβάθρου και το βάθος του
- ✓ πιθανότητα υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων νερών
- ✓ τρωτότητα της θέσης απέναντι σε εξωτερική ρύπανση, που είναι ενδεχόμενο να δημιουργηθεί από την εγκατάσταση του ΧΥΤΑ.

Στο επίπεδο αυτό ποσοτικοποιούνται επίσης, όσες από τις πληροφορίες του δεύτερου σταδίου παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας.

**Πίν. 6. 2:** Κριτήρια επιλογής θέσεων ΧΥΤΑ (Καλλέργης, 2000).

<i>Περιοριστικός παράγοντας</i>	<i>Αποκλεισμός ή σοβαρός περιορισμός</i>	<i>Μέτριος περιορισμός</i>	<i>Καθόλου ή μικρός περιορισμός</i>
<b>Κλίση πρανών</b>	>15%	3-15%	< 3%
<b>Επιφανειακές αποθέσεις</b>	Καθαρό αμμοχάλικο οργανική άργιλος	Αμμοχάλικο αναμειγμένο με ιλύ, πάχους <15 m	Ιλύες, άργιλοι
<b>Βάθος υποβάθρου</b>	< 3,5 m	3,5-15 m	> 15 m
<b>Πέτρωμα υποβάθρου</b>	Καρστικά ανθρακικά πετρώματα	Ψαμμίτες ασβεστιτικοί χονδρόκοκκοι	
<b>Πάχος ακόρεστης ζώνης</b>	< 3,5 m	3,5- 7,5 m	> 7,5 m
<b>Απόσταση από:</b>			
-Περιοχή υδροληψίας	< 15m	15-350 m	> 350 m
-Όριο πλημμύρας κοιλιάδας	100 m	100-350 m	>350 m
-Υδρόρευμα	100 m	100-350 m	>350 m
-Λίμνη	<350 m	-	>350 m
-Οδικό δίκτυο	<350 m	-	>350 m
-Υγροβιότοπος	<15 m	-	-
-Αεροδρόμια	≤3.000 m ή 1500 m	-	-

Για την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου διαχείρισης των απορριμμάτων σε επίπεδο Νομού ή περιφέρειας και τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ εφαρμόζονται επιπλέον μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης επί των κριτηρίων αξιολόγησης (Karagiannidis et al., 2003, Κοντός κ.ά., 2004). Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα κριτήρια για την επιλογή θέσεων ΧΥΤΑ. Η επιλογή της κατάλληλης θέσης χωροθέτησης ΧΥΤΑ μπορεί να γίνει με την αλληλεπίθεση χαρτών, που απεικονίζουν περιοχές αποκλεισμού ή περιοχές επιλογής πάνω στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής (Σχ. 6.3).



**Σχ. 6.3:** Δημιουργία σύνθετου χάρτη επιλογής θέσεων ΧΥΤΑ, από την αλληλεπίθεση διαφανών χαρτών πάνω στο τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής, ίδιας κλίμακας (Καλλέργης, 2001).

Τα κριτήρια επιλεξιμότητας ενός χώρου ΧΥΤΑ ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες (Δημόπουλος, 2001):

- 1) κριτήρια λειτουργικότητας
- 2) κριτήρια χωροταξίας
- 3) κριτήρια περιβαλλοντικής προστασίας
- 4) κριτήρια κόστους

Τα κριτήρια βαθμονομούνται με βάση το ειδικό βάρος, τόσο της ενότητας που ανήκει, όσο και αυτού του κριτηρίου μεμονωμένα. Η αξιολόγηση συνήθως γίνεται από τους ΟΤΑ και το Υπουργείο Περιβάλλοντος.

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα βαθμονόμησης κριτηρίων επιλεξιμότητας ΧΥΤΑ.

**Οι εργασίες πεδίου περιλαμβάνουν:**

- Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Ο αριθμός των γεωτρήσεων πρέπει να είναι 5 για έκταση της χωματερής μέχρι 8 στρέμματα, ενώ προστίθεται μία γεώτρηση για κάθε επιπλέον δύο στρέμματα. Οι γεωτρήσεις πρέπει να φθάνουν 7 m βαθύτερα από τον πυθμένα του χώρου που προτίθεται να γίνει χωματερή.
- Γεωφυσικές διασκοπήσεις για τη διερεύνηση της στρωματογραφίας
- Διαγραφίες (logging)
- Μικροσεισμικές έρευνες
- Δοκιμές υδροπερατότητας (Luggeon, Maag, Le Franc)
- Μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού
- Δειγματοληψία υπόγειου νερού για τον καθορισμό της ποιότητας
- Δοκιμαστικές αντλήσεις για τον προσδιορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών
- Καθορισμός του υδρογεωλογικού μοντέλου του χώρου (γεωμετρία υδροφορέα, είδος υδροφορέα, συνθήκες τροφοδοσίας, διεύθυνση κίνησης του υπόγειου νερού).

**Οι εργασίες εργαστηρίου περιλαμβάνουν:**

- Χημικές αναλύσεις για τον καθορισμό της ποιότητας των υπόγειων νερών
- Κοκκομετρικές αναλύσεις
- Δοκιμές μηχανικής αντοχής
- Προσδιορισμός των ορίων Atterberg
- Δοκιμές συμπιεστότητας
- Δοκιμές περατότητας
- Προσδιορισμός υγρασίας εδάφους
- Πυκνότητα κατά Proctor
- Προσδιορισμός της διαλυτότητας και διαβρωσιμότητας

**Πίνακας 6.3:** Αξιολόγηση κριτηρίων επιλεξιμότητας Χ.Υ.Τ.Α.

a/a	Ειδικό βάρος ομάδας κριτηρίων (%)	Κριτήρια επιλεξιμότητας ΧΥΤΑ		Ειδικό βάρος κριτηρίου στην ομάδα (%)		Ειδικό βάρος κριτηρίου στο σύνολο (%)	
1		Κριτήρια Λειτουργικό-τητας	Κλιματικές συνθήκες	10		3,0	
2			Χωρητικότητα	25		7,5	
3	<b>30</b>		Απορροή-Συλλογή ομβρίων υδάτων	10		3,0	
4			Πρόσληψη υλικού επικάλυψης	10		3,0	
5			Ευχέρεια απόκτησης του χώρου	25		7,5	
6			Κεντροβαρικότητα	20	<b>100</b>	6,0	<b>30</b>
7		Κριτήρια Χωροταξίας	Απόσταση από οικισμούς και απόκρυψη	40		10,0	
8			Επιδράσεις σε τουριστικές περιοχές χώρους αναψυχής, πολιτιστικές δραστηριότητες	30		7,5	
9	<b>25</b>		Επιδράσεις στην οικονομική δραστηριότητα (γεωργία, κτηνοτροφία, βιομηχανία)	25		6,25	
10			Παρακαμπτήρια προσπέλαση	5	<b>100</b>	1,25	<b>25</b>
11			Κριτήρια Περιβαλλοντικής Προστασίας	Μορφολογία χώρου	20		6,0
12		Επίδραση στο φυσικό «μικρό» τοπίο		10		3,0	
13	<b>30</b>	Επιπτώσεις στα ζώα και τα φυτά		5		1,5	
14		Φυσική προστασία υπόγειων νερών		40		12,0	
15		Άνεμοι-Οσμές-Αέριοι Ρύποι		10		3,0	
16		Υφιστάμενη κατάσταση στην ευρύτερη περιοχή	15	<b>100</b>	4,5	<b>30</b>	
17		Κριτήρια Κόστους	Έργα υποδομής	60		9,0	
18	<b>15</b>		Κόστος μεταφοράς	40	<b>100</b>	6,0	<b>15</b>

## 6.6 Βαθμονόμηση των κριτηρίων επιλεξιμότητας

Αναλυτικά τα κριτήρια επιλεξιμότητας για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ, καθώς και μια προτεινόμενη κλίμακα βαθμονόμησης αυτών περιγράφονται κατωτέρω:

### A. Κριτήρια λειτουργικότητας

#### A1. Κλιματικές συνθήκες

Λαμβάνονται υπόψη το ύψος βροχόπτωσης (A1α), οι ημέρες παγετού (A1β), η ένταση του ανέμου (A1γ), το μέσο υψόμετρο του ΧΥΤΑ (A1δ) και η διεύθυνση των ανέμων (A1ε).

Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:

**A1α)** Βροχόπτωση <300 mm: Βαθμοί 10

Βροχόπτωση >1100 mm: Βαθμοί 1

Κάθε αύξηση της βροχής ανά 100 mm συνεπάγεται μείωση της βαθμολογίας κατά 1 βαθμό, δηλ. βροχή 400-500 mm: Βαθμοί 9, 500-600 mm: Βαθμοί 8 κ.ο.κ.

**A1β)** Αριθμός ημερών παγετού  $\leq 3$ : Βαθμοί 10

Αύξηση αριθμού ημερών παγετού κατά 2 συνεπάγεται μείωση κατά 1 βαθμό

**A1γ)** Ένταση του ανέμου >6B (B=Beaufort) για διάρκεια <5 ημερών: Βαθμοί 10

Ένταση του ανέμου >6B για διάρκεια <15 ημερών: Βαθμοί 5

**A1δ)** Μέσο υψόμετρο ΧΥΤΑ <200 m: Βαθμοί 10

Αύξηση του μέσου υψομέτρου κατά 60 m συνεπάγεται μείωση κατά 1 βαθμό.

**A1ε)** Συχνότητα ανέμων >5B προς την εκτιθέμενη διεύθυνση του ΧΥΤΑ <1%: Βαθμοί 10.

Συχνότητα ανέμων >5B προς την εκτιθέμενη διεύθυνση του ΧΥΤΑ 2%: Βαθμοί 5.

Ενδιάμεσες τιμές βαθμονομούνται με γραμμική αναγωγή.

Η τελική τιμή προκύπτει από την κάτωθι σχέση:

$$A1=0,4 (0,4 A1\alpha +0,4 A1\beta+0,2 A1\gamma)+ 0,4 A1\delta+0,2 A1\epsilon$$

#### A2. Χωρητικότητα

Διάρκεια ζωής >25 έτη: Βαθμοί 10

Μείωση της διάρκειας ζωής κατά 1 έτος συνεπάγεται μείωση κατά 1 βαθμό.

Δεν αποκλείεται και αρνητική βαθμολογία.

#### A3. Επιφανειακή απορροή-Ροή ομβρίων υδάτων

Σχετίζεται με την απορροή επιφανειακών νερών στην υδρολογική λεκάνη του ΧΥΤΑ.

Περιοχές με καρστικούς σχηματισμούς και πλήρη φυτοκάλυψη (>90%) δεν ευνοούν την επιφανειακή απορροή και βαθμολογούνται με 10. Περιοχές με αδιαπέρατους γεωλογικούς



σηματισμούς και απουσία φυτοκάλυψης (<20%) ευνοούν σημαντικά την απορροή και βαθμολογούνται με 1. Λαμβάνεται υπόψη η έκταση της λεκάνης απορροής (A3α) και η γεωλογική σύσταση και βλάστηση (A3β), που καθορίζουν την επιφανειακή απορροή και τη συλλογή των ομβρίων υδάτων. Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:

**A3α)** Μεγάλη έκταση της λεκάνης απορροής : Βαθμοί 10

Μέτρια έκταση: Βαθμοί 5

Μικρή έκταση: Βαθμοί 1

Μέτρια έκταση της λεκάνης απορροής θεωρείται ίση με το 8-πλάσιο της έκτασης του ΧΥΤΑ.

**A3β)** Η βαθμονόμηση του κριτηρίου διέλευσης και συλλογής ομβρίων υδάτων γίνεται με βάση τον Πίνακα 6.4.

Η τελική τιμή προκύπτει από τη σχέση:  $A3=0,6 A3\alpha +0,4 A3\beta$

**Πίν. 6.4:** Βαθμονόμηση κριτηρίου επιφανειακής απορροής και ροής ομβρίων υδάτων.

Βλάστηση	Καρστικό	Διαπερατό	Ημι-διαπερατό	Αδιαπέρατο
Φυτοκάλυψη >90%	10	9	7	5
Φυτοκάλυψη 60-90%	9	8	6	4
Φυτοκάλυψη 40-60%	8	7	5	3
Φυτοκάλυψη 20-40%	7	6	4	2
Φυτοκάλυψη <20%	6	5	3	1

#### **A4. Υλικό επικάλυψης**

Ικανότητα πρόσληψης υλικού επικάλυψης

Πολύ μεγάλη: Βαθμοί 10

Μεγάλη: Βαθμοί 7

Μέτρια: Βαθμοί 5

Μικρή: Βαθμοί 3

Πολύ μικρή: Βαθμοί 1

#### **A5. Ευχέρεια απόκτησης του χώρου**

Η βαθμονόμηση γίνεται με τον κάτωθι Πίνακα 6.5.

**Πίν. 6.5:** Βαθμονόμηση κριτηρίου ευχέρειας απόκτησης του χώρου

Χαρακτήρας	Χωρίς ειδική χρήση	Βοσκότοπος	Καλλιέργειες	Δασική
Δημόσιος	10	9	8	7
Δημοτικός	9	8	7	5
Ιδιωτικός	7	6	5	3
Δημοτικός οικείου ΟΤΑ	5	3	2	0

## **A6. Κεντροβαρικότητα**

Η κεντροβαρική απόσταση κάθε υποψήφιου χώρου από την κύρια πηγή απορριμμάτων υπολογίζεται από τη σχέση:  $L=(B_1L_1+B_2L_2+\dots+B_nL_n) / B_{ολ}$ .

όπου  $B_1, B_2, B_n$  είναι το ημερήσιο διακινούμενο φορτίο από κάθε πηγή (δημοτικό διαμέρισμα) και  $L_1, L_2, L_n$  είναι οι ανηγμένες αποστάσεις.

Αν η θέση είναι κεντροβαρής βαθμονομείται με 10, ενώ αν βρίσκεται στην πλέον απομακρυσμένη θέση βαθμονομείται με 1. Ενδιάμεσες περιπτώσεις βαθμονομούνται κατάλληλα κάνοντας γραμμική αναγωγή.

## **B. Κριτήρια χωροταξίας**

### **B1. Απόσταση και απόκρυψη από τους οικισμούς**

Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:

Απόσταση από οικισμούς

> 2.000 m: Βαθμοί 10

1.500-2.000 m: Βαθμοί 7

1.000-1.500 m: Βαθμοί 5

500-1.000 m: Βαθμοί 3

<500 m: Βαθμοί 1

### **B2. Απόσταση από τουριστικές περιοχές, χώρους αναψυχής, περιβαλλοντικά πάρκα, χώρους πολιτιστικών εκδηλώσεων κ.λπ.**

Η βαθμονόμηση γίνεται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση.

### **B3. Επιδράσεις στην οικονομική δραστηριότητα**

Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:

Καμία επίδραση: Βαθμοί 10

Επίδραση στην κτηνοτροφία: Βαθμοί 9

Επίδραση στη γεωργία μόνο λόγω προσπέλασης: Βαθμοί 9

Επίδραση στη γεωργία, λόγω διασταλαζόντων υγρών: Βαθμοί 6

Επίδραση στην οικονομική αξία των γειτονικών εκτάσεων: Βαθμοί 3

Σε περιπτώσεις συνύπαρξης δύο ή περισσότερων επιδράσεων, η βαθμολογία προκύπτει από το γινόμενο των αντίστοιχων βαθμολογιών.

### **B4. Παρακαμπτήρια προσπέλαση**

Σε περίπτωση ύπαρξης παρακαμπτήριου δρόμου: Βαθμοί 10

Απουσία παράκαμψης και χρήση του οδικού δικτύου: Βαθμοί 5

## **Γ. Κριτήρια περιβαλλοντικής προστασίας**

### **Γ1. Μορφολογία χώρου**

Είναι συνάρτηση της κλίσης του δαπέδου του ΧΥΤΑ (Γ1α) και του χώρου (Γ1β).

**Γ1α)** Για κλίση δαπέδου 0-3%: Βαθμοί 10

Για κλίση δαπέδου 3-5%: Βαθμοί 7

Για κλίση δαπέδου 5-10%: Βαθμοί 4

Για κλίση δαπέδου 10-15%: Βαθμοί 1-3

**Γ1β)** Για κλειστή λεκάνη κατά τα 3/4: Βαθμοί 10

Για κλειστή λεκάνη κατά το 1/2: Βαθμοί 7

Για κλειστή λεκάνη κατά το 1/4: Βαθμοί 4

Για ανοικτή λεκάνη από παντού: Βαθμοί 2

Η τελική τιμή προκύπτει από τη σχέση:  $G1=0,7 G1α +0,6 G1β$

### **Γ2. Επίδραση στο φυσικό μικροτοπίο του ΧΥΤΑ**

Για εγκαταλειμμένο λατομείο, γυμνή εδαφική κοιλότητα: Βαθμοί 10

Αναπτυγμένη (ευρεία βάση και ήπια πρανή) εδαφική λεκάνη, γυμνή: Βαθμοί 9

Αναπτυγμένη εδαφική λεκάνη με αραιή θαμνοκάλυψη: Βαθμοί 8

Εδαφική λεκάνη με πυκνή και χαμηλή θαμνοκάλυψη: Βαθμοί 6

Εδαφική λεκάνη με πυκνή και υψηλή θαμνοκάλυψη: Βαθμοί 4

Εδαφική λεκάνη με αραιή δενδροκάλυψη: Βαθμοί 1

Εδαφική λεκάνη με πυκνή δενδροκάλυψη: Βαθμοί -5

### **Γ3. Επιπτώσεις στην πανίδα (Γ3α) και χλωρίδα (Γ3β)**

**Γ3α)** Μη ύπαρξη πανίδας: Βαθμοί 10

Μέτρια πανίδα: Βαθμοί 8

Ποικιλία πανίδας: Βαθμοί 6

Αξιόλογη πανίδα και θηράματα: Βαθμοί 4

Ύπαρξη σε απόσταση <3 km καταφυγίου θηραμάτων: Βαθμοί 1

Ύπαρξη σε απόσταση <3 km υγροβιότοπου: Βαθμοί 0

**Γ3β)** Πολύ μικρή βλάστηση: Βαθμοί 10

Μικρή βλάστηση: Βαθμοί 7

Μέτρια βλάστηση: Βαθμοί 5

Πυκνή βλάστηση: Βαθμοί 3

Πολύ πυκνή βλάστηση: Βαθμοί 1

Η τελική τιμή προκύπτει από τη σχέση:  $G3=0,8 G3a +0,2 G3b$

#### **Γ4. Προστασία των υπόγειων νερών**

Λαμβάνεται υπόψη η υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών (Γ4α) και η διαβρωσιμότητα του εδάφους και υπεδάφους (Γ4β).

**Γ4α)** Πολύ μικρή υδροπερατότητα  $k < 10^{-9}$  m/s: Βαθμοί 10

Μικρή υδροπερατότητα  $10^{-7} < k < 10^{-9}$  m/s: Βαθμοί 7

Μέτρια υδροπερατότητα  $10^{-7} < k < 10^{-5}$  m/s: Βαθμοί 5

Μεγάλη υδροπερατότητα  $10^{-5} < k < 10^{-2}$  m/s: Βαθμοί 3

Πολύ μεγάλη υδροπερατότητα  $k > 10^{-2}$  m/s: Βαθμοί 1

**Γ4β)** Μικρή διαβρωσιμότητα: Βαθμοί 10

Διαβρωμένο, αλλά συνεκτικό έδαφος: Βαθμοί 7

Εναλλαγές διαβρωμένων και μη υλικών: Βαθμοί 5

Διαβρωμένα μη συνεκτικά εδάφη: Βαθμοί 3

Έντονη διαβρωσιμότητα: Βαθμοί 1

Η τελική τιμή προκύπτει από τη σχέση:  $G4=0,5 G4a +0,5 G4b$

#### **Γ5. Οσμές-Αέριοι Ρύποι-Θόρυβος**

Λαμβάνονται υπόψη η πιθανότητα εκπομπής αερίων υδρόθειου (H<sub>2</sub>S) και οργανικού θείου (S) που παράγουν οσμές (Γ5α), συμβάλλουν στη δημιουργία σκόνης (Γ5β) και θορύβου (Γ5γ), ως εξής:

**Γ5α)** Πολύ μικρή εκπομπή αερίων: Βαθμοί 10

Μικρή εκπομπή: Βαθμοί 7

Μέτρια εκπομπή: Βαθμοί 5

Μεγάλη εκπομπή: Βαθμοί 3

Πολύ μεγάλη εκπομπή: Βαθμοί 1

Με την ίδια κλίμακα βαθμονομείται και η πιθανότητα δημιουργίας σκόνης και θορύβου. Ο τελικός βαθμός προκύπτει από τη σχέση:  $G5=0,4 G5a +0,3 G5b +0,3 G5g$

#### **Γ6. Προστασία εδάφους**

Πολύ μικρή πιθανότητα διαρροής αερίων και αποβλήτων: Βαθμοί 10

Μικρή πιθανότητα: Βαθμοί 7

Μέτρια πιθανότητα: Βαθμοί 5

Μεγάλη πιθανότητα: Βαθμοί 3

Πολύ μεγάλη πιθανότητα: Βαθμοί 1

#### **Δ. Οικονομικά κριτήρια**

##### **Δ1. Έργα υποδομής**

Σχετίζεται με το κόστος κατασκευής έργων, όπως: στεγανοποίηση του πυθμένα, αγωγοί αποστράγγισης, συλλεκτήριοι τάφροι ομβρίων υδάτων, αγορά του χώρου, χωματουργικά, δρόμοι πρόσβασης, υλικό επικάλυψης, γεωτρήσεις ελέγχου και έργα τελικής αποκατάστασης.

Πολύ μικρό κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 10

Μικρό κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 8

Μέτριο κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 5

Μεγάλο κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 3

Πολύ μεγάλο κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 1

##### **Δ2. Κόστος μεταφοράς και λειτουργίας**

Είναι συνάρτηση του κόστους μεταφοράς των απορριμμάτων (Δ2α) και λειτουργίας του ΧΥΤΑ (Δ2β).

**Δ2α)** Απόσταση από την κύρια πηγή απορριμμάτων <10 km: Βαθμοί 10

Απόσταση 10-15 km: Βαθμοί 7

Απόσταση 15-30 km: Βαθμοί 5

Απόσταση 30-50 km: Βαθμοί 3

Απόσταση >50 km: Βαθμοί 1

Για περισσότερη ακρίβεια υπεισέρχεται ένας παράγοντας που σχετίζεται με τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δρόμου (πλάτος, στροφές κ.λπ).

**Δ2β)** Μικρό κόστος λειτουργίας: Βαθμοί 10

Μέτριο κόστος λειτουργίας: Βαθμοί 8

Μεγάλο κόστος λειτουργίας: Βαθμοί 5

Πολύ μεγάλο κόστος λειτουργίας: Βαθμοί 2

Η συνολική βαθμολογία προκύπτει αν η τιμή κάθε βαθμονομημένου κριτηρίου πολλαπλασιασθεί με το ειδικό βάρος του, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3. Οι υποψήφιοι χώροι ΧΥΤΑ, που πληρούν τις προϋποθέσεις κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά και η τελική θέση επιλογής είναι πλέον θέμα πολιτικής απόφασης.

## 6.7. Δομή και τρόποι απόθεσης στους ΧΥΤΑ

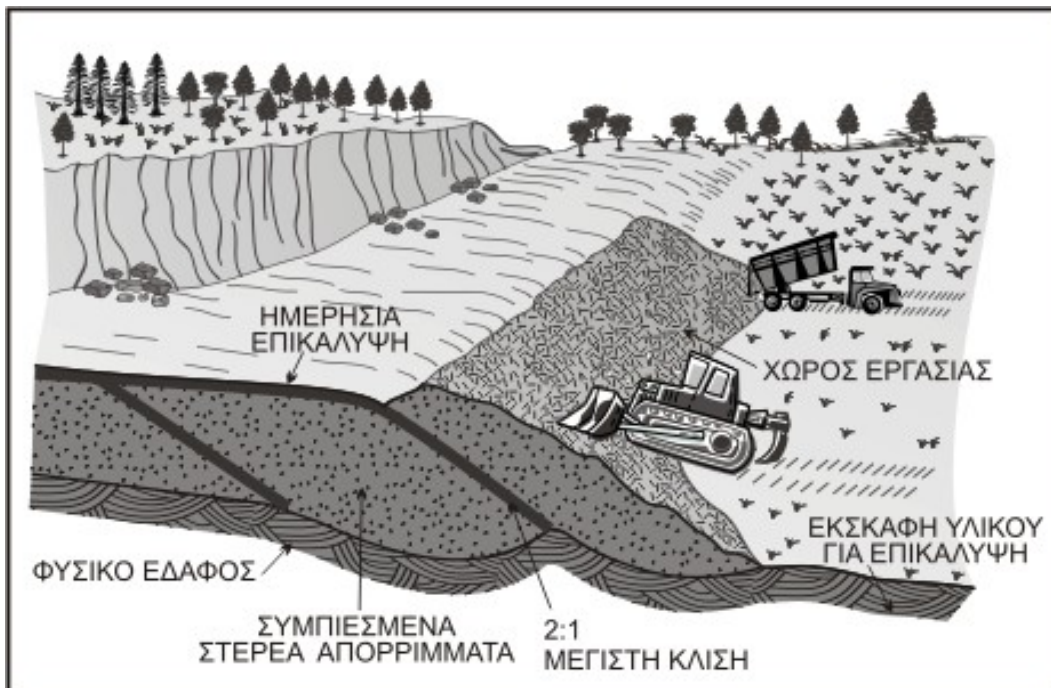
Η απόθεση των απορριμμάτων στους ΧΥΤΑ γίνεται σε μορφή στρώσεων, οι οποίες συμπιέζονται με τη βοήθεια μηχανημάτων. Κάθε στρώση (ταμπάνι) χωρίζεται σε κελιά (κύτταρα) ημερησίας επικάλυψης δηλ. τμήματα στα οποία αποτίθενται η ημερήσια ποσότητα των απορριμμάτων που φθάνουν στον ΧΥΤΑ και στο τέλος της ημέρας επικάλυπτεται με λεπτό στρώμα υλικού για την προστασία από αυτοανάφλεξη, περιορισμό της δυσοσμίας, της διείσδυσης νερού και της παρουσίας εντόμων. Το πάχος της ημερησίας επικάλυψης είναι περίπου 0,15 m με υλικό αμμώδες ή αμμοχαλικώδες.

Διακρίνονται τρεις τρόποι απόθεσης απορριμμάτων:

### 1) Μέθοδος σε επίπεδες περιοχές

Εφαρμόζεται σε χώρο με επίπεδη μορφολογία. Τα απορρίμματα απλώνονται σε λεπτές λωρίδες και επάλληλα στρώματα και συμπαγοποιούνται. Η απόθεση των απορριμμάτων συνεχίζεται μέχρι το επιθυμητό ύψος του κελιού. Στο τέλος κάθε ημέρας το κελί καλύπτεται με υλικό προσωρινής επικάλυψης (γαιώδη υλικά, πάχους 15 cm).

Αν δεν υπάρχουν στην περιοχή δανειοθάλαμοι για υλικό επικάλυψης, τότε εφαρμόζεται μια παραλλαγή της μεθόδου, η μέθοδος της ράμπας (Σχ. 6.4). Στη μέθοδο αυτή ως υλικό επικάλυψης χρησιμοποιείται το υλικό εκσκαφής που λαμβάνεται από τη βάση του επόμενου κελιού. Το μέγιστο ύψος του απορριμματικού αναγλύφου πρέπει να είναι <20 m.



Σχήμα 6.4: Μέθοδος απόθεσης με τη μέθοδο της ράμπας.

## 2) Μέθοδος τάφρων

Εφαρμόζεται σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλο πάχος υλικού επικάλυψης, κάτω από το χώρο απόθεσης και υψηλός υδροφόρος ορίζοντας. Η απόθεση των απορριμμάτων γίνεται μέσα σε τάφρους. Η έναρξη γίνεται με εκσκαφή της πρώτης τάφρου με το υλικό εκσκαφής της οποίας κατασκευάζεται επίχωμα στην πλευρά αντίθετα από το μέτωπο προχώρησης της απόθεσης. Μετά την ολοκλήρωση της απόθεσης στην πρώτη τάφρο, ως υλικό επικάλυψης χρησιμοποιείται το υλικό εκσκαφής της επόμενης τάφρου.

## 3) Μέθοδος τοπογραφικών ταπεινώσεων

Ενδείκνυται για περιοχές τοπογραφικών ταπεινώσεων όπως, φαράγγια, λατομεία, ρέματα κ.λπ. Ως υλικά επικάλυψης χρησιμοποιούνται υλικά από τα φυσικά πρηνή της περιοχής με αποτέλεσμα και την επιθυμητή ελάττωση των κλίσεων. Σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή της μεθόδου αυτής παίζει η επιφανειακή αποστράγγιση και η παροχέτευση των επιφανειακών απορροών.

Επισημαίνεται η ανάγκη περίφραξης του ΧΥΤΑ με γαλβανισμένους από μορφοσίδηρο πασσάλους, ύψους τουλάχιστον 2,5 m από το έδαφος, σε απόσταση μεταξύ τους 3 m, στερεωμένους σε μπετόν και συρματόπλεγμα με αντηρίδα. Για λόγους οπτικής και ηχητικής απομόνωσης του ΧΥΤΑ κατασκευάζεται εσωτερικά της περίφραξης περιμετρική δενδροφύτευση. Επιπλέον σε ΧΥΤΑ που γειτνιάζουν με δασικές εκτάσεις κατασκευάζεται και αντιπυρική ζώνη ελάχιστου πλάτους 8 m και γίνεται εξοπλισμός με δεξαμενές πυρόσβεσης, συσκευών πυρόσβεσης και αποθήκες εδαφικού υλικού.

Σε κάθε ΧΥΤΑ προβλέπεται οι εξής εγκαταστάσεις: χώρος αναμονής απορριμματοφόρων, ζυγιστήριο, χώρος εκφόρτωσης για δειγματοληψία (οπτικός-μακροσκοπικός έλεγχος), εγκατάσταση έκπλυσης των τροχών των απορριμματοφόρων, οικίσκος ελέγχου, αποθήκη υλικών απαραίτητων για την ασφαλή λειτουργία του ΧΥΤΑ.

Εντός του ΧΥΤΑ κι ανάλογα με το μέγεθός του μπορούν να κατασκευασθούν: συνεργείο για συντήρηση και επισκευή των οχημάτων, χώρος καθαρισμού των οχημάτων και μηχανημάτων, καθώς και τάφρος με ανυψωτικό μηχανισμό.

## 6.8. Παραγωγή και μετανάστευση του βιοαερίου

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη διάρκεια λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ είναι: βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών (αερόβια ή αναερόβια), χημική οξείδωση των υλικών, διάλυση των ρυπαντών, διαφυγή αερίων από τον χώρο, καθίζηση λόγω της

συμπύκνωσης των υλικών και κίνηση των διαλυμένων ουσιών. Οι διεργασίες αυτές αναφέρονται ως διαδικασίες γήρανσης-αποσάθρωσης-αποστράγγισης (Δημόπουλος, 2001).

Κατά το στάδιο της γήρανσης με αναερόβια βιολογική αποσύνθεση η οργανική ύλη μετατρέπεται σε humus και συγχρόνως γίνεται ορυκτοποίηση με μετατροπή των υδροξειδίων των μετάλλων σε άλατα και σουλφίδια. Κατά το στάδιο της αποσάθρωσης (φυσική, χημική, βιολογική) διαβρώνεται το υλικό και σχηματίζονται πολλές ευδιάλυτες ουσίες. Τα στραγγίσματα περιλαμβάνουν όλες τις ευδιάλυτες ουσίες του σταδίου της γήρανσης και τα διαλυτά προϊόντα της γήρανσης και αποσάθρωσης (βλ. παρ. 6.8).

Το **βιοαέριο** (biogas) παράγεται από την αναερόβια ζύμωση των οργανικών και βιοαποικοδομήσιμων υλικών των απορριμμάτων (75-85% του συνολικού βάρους των αστικών απορριμμάτων). Είναι μίγμα διαφόρων αερίων με κυρίαρχα το CH<sub>4</sub> (50-70%) και CO<sub>2</sub> (30-40%). Αέρια σε μικρά ποσοστά είναι: H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, βινυλοχλωρίδια κ.ά. (Πίν. 6.6). Οι φθοριούχοι υδρογονάνθρακες (freons) διαφεύγουν εύκολα στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στη διάσπαση του όζοντος.

**Πίν. 6.6:** Αέρια που παράγονται σε χώρους απόθεσης απορριμμάτων (Tchobanoglous, 1977).

Αέριο	Χημικός τύπος	Μοριακό βάρος	Πυκνότητα (g/L)
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	16,03	0,7167
Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	44,00	1,9768
Μονοξείδιο του άνθρακα	CO	28,00	1,2501
Υδρογόνο	H <sub>2</sub>	2,01	0,0898
Άζωτο	N <sub>2</sub>	28,02	1,2507
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	32,00	1,4289
Αμμωνία	NH <sub>3</sub>	17,03	0,7708
Υδρόθειο	H <sub>2</sub> S	34,08	1,5392

Η βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών γίνεται από αερόβια (παρουσία O<sub>2</sub>), αναερόβια (απουσία O<sub>2</sub>), και επαμφοτερίζοντα (επιβιώνουν παρουσία ή απουσία O<sub>2</sub>) βακτηρίδια. Η διαδικασία της αποσύνθεσης ξεκινά από την αερόβια φάση, διάρκειας μερικών ημερών και καταλήγει στην αναερόβια επιβραδυνόμενη μεθανογενετική φάση, διάρκειας μερικών ετών. Ενδιάμεσα λαμβάνουν χώρα η αναερόβια όξινη και η αναερόβια επιταχυνόμενη μεθανογενετική φάση (Πίν. 6.7).

Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζεται το χρονοδιάγραμμα παραγωγής αερίων στους χώρους απόθεσης. Σε όλες τις φάσεις της αποσύνθεσης παράγεται νερό που συνεισφέρει στον όγκο του στραγγίσματος.

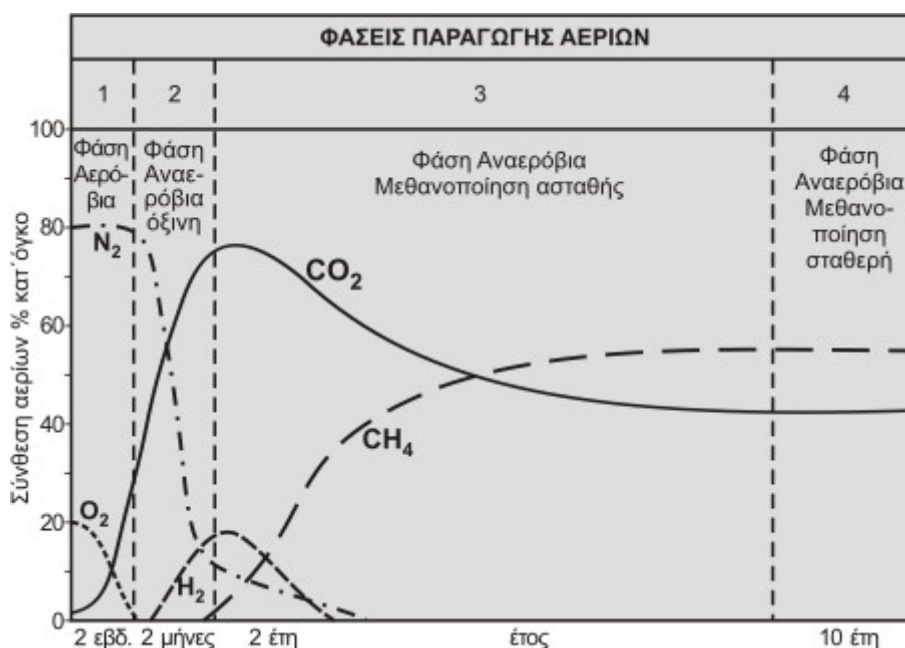
Η θερμογόνο δύναμη του παραγόμενου βιοαερίου εξαρτάται από τη σύσταση των απορριμμάτων και τις συνθήκες που επικρατούν στο ΧΥΤΑ.



Το CH<sub>4</sub> (ελαφρύτερο του αέρα) κινείται προς τα πάνω και φθάνοντας στην επιφάνεια ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, ενώ το CO<sub>2</sub> (βαρύτερο του αέρα) τείνει να συσσωρευθεί στον πυθμένα του χώρου απόθεσης.

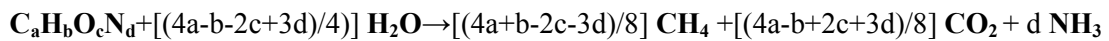
**Πίν. 6.7:** Φάσεις της αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών (Καββαδάς, 1996).

Φάση	Ιδιότητες
Αερόβια αποσύνθεση	Οξείδωση μέσω αερόβιων βακτηριδίων Παραγωγή CO <sub>2</sub> , Έντονη θερμότητα Διάρκεια: μερικές ημέρες
Αναερόβια όξινη	Υδρόλυση κυτταρίνης και σακχάρων σε αλκοόλες και καρβοξυλικά οξέα Δεν παράγεται CH <sub>4</sub> λόγω χαμηλού pH (5,5-6) Παραγωγή CO <sub>2</sub> και H <sub>2</sub> Διάρκεια: αρκετοί μήνες έως λίγα έτη
Αναερόβια Επιταχυνόμενη Μεθανογενετική	Κατανάλωση των καρβοξυλικών οξέων Έντονη παραγωγή CH <sub>4</sub> Μέσες τιμές του pH (6,8-7,4) Διάρκεια: έως δέκα έτη
Αναερόβια Επιβραδυνόμενη Μεθανογενετική	Σταθεροποίηση παραγωγής CH <sub>4</sub> Αύξηση του pH (7,5-8,0) Διάρκεια: μερικά έτη



**Σχήμα 6.5:** Χρονοδιάγραμμα παραγωγής αερίων από XYTA (Farguhar & Rovers, 1973).

Η διαφυγή του αερίου προκαλεί δυσοσμία και είναι επικίνδυνο για έκρηξη και ανάφλεξη. Μίγμα CH<sub>4</sub> και αέρα σε ποσοστό 15% CH<sub>4</sub> είναι εκρηκτικό μίγμα. Ο μέσος ρυθμός παραγωγής CH<sub>4</sub> είναι 5-10 L/kg απορριμμάτων. Η γενική εξίσωση που εκφράζει την παραγωγή αερίων σε ένα χώρο διάθεσης απορριμμάτων είναι:



Στην περίπτωση ΧΥΤΑ, όπου υπάρχει αδιαπέρατο κάλυμμα, το CH<sub>4</sub> μεταναστεύει πλευρικά. Η πλευρική μετανάστευση μπορεί να ελεγχθεί με τη δημιουργία διόδων προς την ατμόσφαιρα, μέσω υλικών υψηλής διαπερατότητας, αφού πρώτα ληφθούν μέτρα προστασίας από τις αρνητικές συνέπειες (οσμές, πυρκαγιές, εκρήξεις κ.λπ). Για το λόγο αυτόν κατασκευάζονται συλλεκτήριοι αγωγοί με τους οποίους το βιοαέριο μεταφέρεται στην επιφάνεια του ΧΥΤΑ, όπου καίγεται ή εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα μέσω βιοφίλτρων ή αξιοποιείται ενεργειακά ως καύσιμο.

Το CO<sub>2</sub> συσσωρεύεται και μπορεί να παραμείνει για πολλά χρόνια στον πυθμένα του χώρου απόθεσης, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας. Λόγω του γεγονότος αυτού δημιουργεί υψηλές πιέσεις  $P_{CO_2}$ , αυξάνοντας τη διαλυτότητά του στο νερό με αποτέλεσμα την αύξηση του H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να διαλυθούν και τα υπόλοιπα αέρια που παράγονται στους χώρους απόθεσης. Η συγκέντρωσή τους στο νερό καθορίζεται από το νόμο του Henry:

$$C_s = k_s P_i$$

Όπου  $C_s$  είναι η συγκέντρωση κορεσμού του αερίου στο νερό,  $k_s$  ο συντελεστής προσρόφησης και  $P_i$  η μερική πίεση του αερίου (εκφρασμένη ως λόγος).

Το σύστημα απαγωγής του βιοαερίου αποτελείται από βαθιές γεωτρήσεις που διατρύουν όλο το βάθος μέχρι τον πυθμένα του ΧΥΤΑ. Οι γεωτρήσεις είναι εφοδιασμένες με διάτρητους σωλήνες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με οριζόντιους αγωγούς, που καταλήγουν στο αντλητικό συγκρότημα. Με την υποπίεση που εφαρμόζεται, το βιοαέριο αντλείται και οδηγείται για παραγωγή ενέργειας ή καύση.

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω η διαχείριση του βιοαερίου στους ΧΥΤΑ αποσκοπεί:

- στην ασφάλεια του ΧΥΤΑ, τόσο στο εσωτερικό όσο και στην ευρύτερη περιοχή και την αποτροπή κινδύνου
- στην αποτροπή των οσμών
- στη μείωση των εκπομπών CH<sub>4</sub>, που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- στην προστασία της χλωρίδας

Υπάρχουν τρεις τρόποι διαχείρισης του βιοαερίου:

1. Παθητικός εξαερισμός διαμέσου της επιφάνειας (καθοδηγούμενος εξαερισμός)

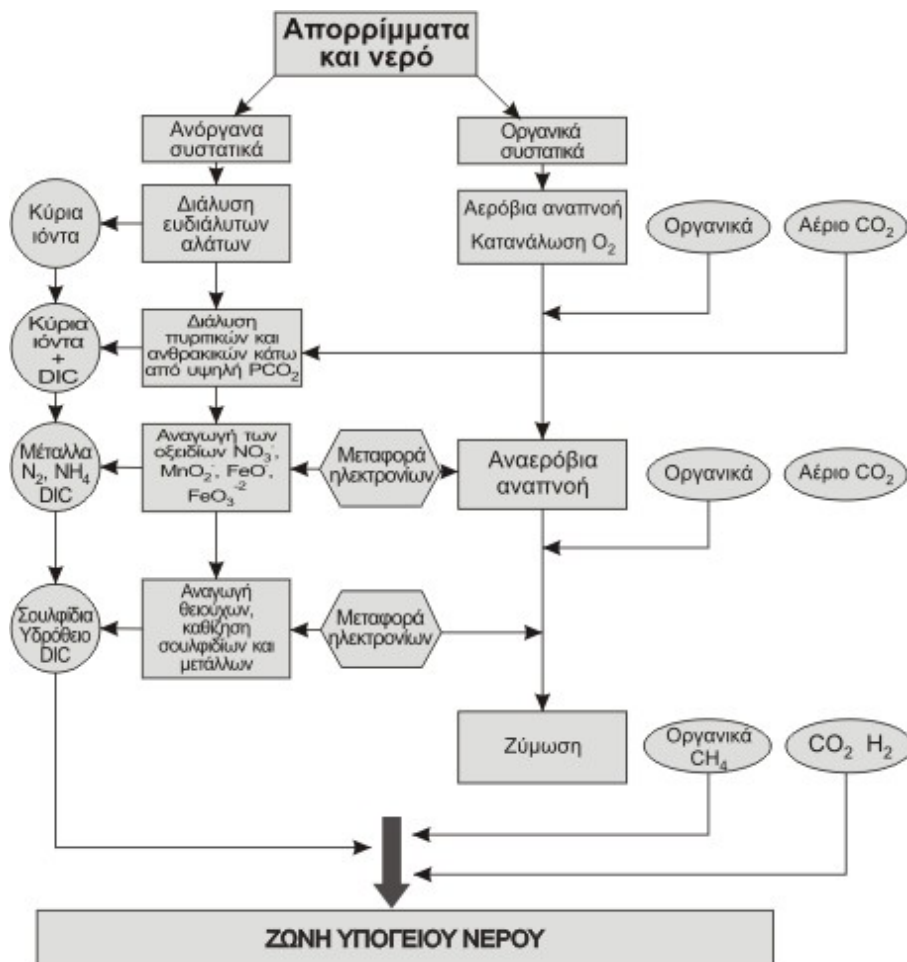
2. Άντληση με κατακόρυφα ή οριζόντια φρεάτια (για περιπτώσεις που οι ποσότητες βιοαερίου είναι μεγάλες και προβλέπεται ενεργειακή αξιοποίηση)

3. Ενεργητική απαγωγή βιοαερίου (κατασκευή δικτύου συλλογής).

Οι πιθανές διαρροές ελέγχονται με τη βοήθεια γεωτρήσεων παρακολούθησης, εξωτερικά της επιφάνειας διάθεσης. Στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζονται συνοπτικά οι βιοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους ΧΥΤΑ.

### 6.9. Παραγωγή στραγγισμάτων

Τα *στραγγίσματα* ή *εκκρίματα* ή *διασταλάζοντα υγρά* (*leachate*) παράγονται κατά την αποσύνθεση των απορριμμάτων και τον εμπλουτισμό τους με νερό από τη φυσική υγρασία των απορριμμάτων και την πιθανή διήθηση νερού βροχής. Η παραγωγή στραγγίσματος (απόπλυμα) είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς χημικών και βιοχημικών διεργασιών, κυριότερες των οποίων είναι η διάλυση των ευδιάλυτων αλάτων και η αποδόμηση του οργανικού υλικού. Μια τυπική σύσταση του στραγγίσματος παρουσιάζεται στον Πίν. 6.8.



Σχ. 6.6: Βιολογικές και χημικές διεργασίες στους ΧΥΤΑ (DIC=Dissolved Inorganic Carbon).

**Πίν. 6.8:** Χημική σύσταση των διασταλαζόντων υγρών που παράγονται σε χώρους απόθεσης απορριμμάτων (Tchobanoglous, 1977).

Χημική παράμετρος	Εύρος κύμανσης (mg/L)	Τυπική τιμή (mg/L)
BOD <sub>5</sub>	2.000-30.000	10.000
COD	3.000-45.000	18.000
TDS (συνολικά διαλυμένα στερεά)	200-1.000	500
TOC (ολικός οργανικός άνθρακας)	1.500-20.000	6.000
pH	5,3-8,5	6
Αλκαλικότητα ως CaCO <sub>3</sub>	1.000-10.000	3.000
Ολική σκληρότητα ως CaCO <sub>3</sub>	300-10.000	3.500
Οργανικό άζωτο	10-600	200
Αμμωνία	10-800	200
Νιτρικά	5-40	25
Ολικός φωσφόρος	1-70	30
Ορθοφώσφορος	1-50	20
Ολικός σίδηρος	50-600	60
Ασβέστιο	200-3.000	1.000
Μαγνήσιο	50-1.500	250
Κάλιο	200-2.000	300
Νάτριο	200-2.000	500
Χλώριο	100-3.000	500
Θειικά	100-1.500	300

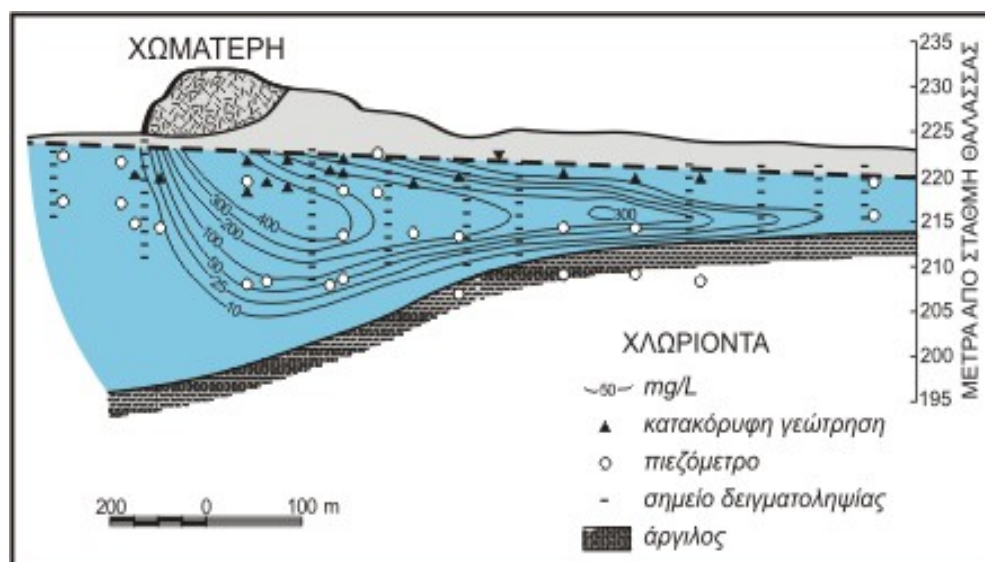
Η παρουσία κατιόντων Ca, Mg, Na, K οφείλεται στη διάλυση χλωριούχων και θειούχων αλάτων των στοιχείων αυτών. Επίσης συνεισφέρει σημαντικά και η διάλυση ορυκτών από το υλικό επικάλυψης, το οποίο περιέχει συνήθως αργιλικά ορυκτά και ανθρακικό ασβέστιο.

Η παρουσία SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> οφείλεται στη μικροβιακή δράση που ανάγει τα θειούχα σε θειικά και αφετέρου στην καθίζηση θείου με τη μορφή μεταλλικών σουλφιδίων. Η κύρια πηγή αζωτούχων ενώσεων (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) στο στράγγισμα οφείλεται στην παρουσία οργανικού αζώτου στα υπολείμματα των τροφών.

Τα στοιχεία Fe, Mn, Al και Zn προέρχονται από τη μερική διάλυση των μεταλλικών αντικειμένων από το ισχυρά διαβρωτικό στράγγισμα. Σε μικρές συγκεντρώσεις απαντώνται τα μέταλλα Cu, Ni, Co, Cr, Cd και Hg.

Οι ΧΥΤΑ θεωρούνται ως σημειακές πηγές ρύπανσης. Η διαφυγή του στραγγίσματος από τον χώρο απόθεσης έχει ως αποτέλεσμα την κίνησή του αρχικά κατακόρυφα στην ακόρεστη ζώνη και στη συνέχεια την εισαγωγή του στην κορεσμένη ζώνη, δημιουργώντας το πλούμιο ρύπανσης. Η κίνηση του στραγγίσματος στην κορεσμένη ζώνη καθορίζεται από την υδραυλική αγωγιμότητα και την υδραυλική κλίση. Το σχήμα και η έκταση του πλούμιου ρύπανσης από μια χωματερή φαίνεται στο Σχήμα 6.7. Το πλούμιο αυτό μπορεί να φθάσει σε οριζόντια απόσταση 2-3 km και σε βάθος 50 m.

Επιπλέον διεργασίες που επηρεάζουν τη μεταφορά των ρύπων είναι: η διάχυση, η υδροδυναμική διασπορά, η ιοντοανταλλαγή, η προσρόφηση, η διάλυση και η απόθεση ορυκτών, η οξειδωση και αναγωγή, οι αντιδράσεις οξέων και βάσεων και οι βιοχημικές αντιδράσεις (βλ. κεφάλαιο 5). Η υψηλή συγκέντρωση  $Cl^-$  είναι ένδειξη της παρουσίας στραγγισμάτων στο υπόγειο νερό.

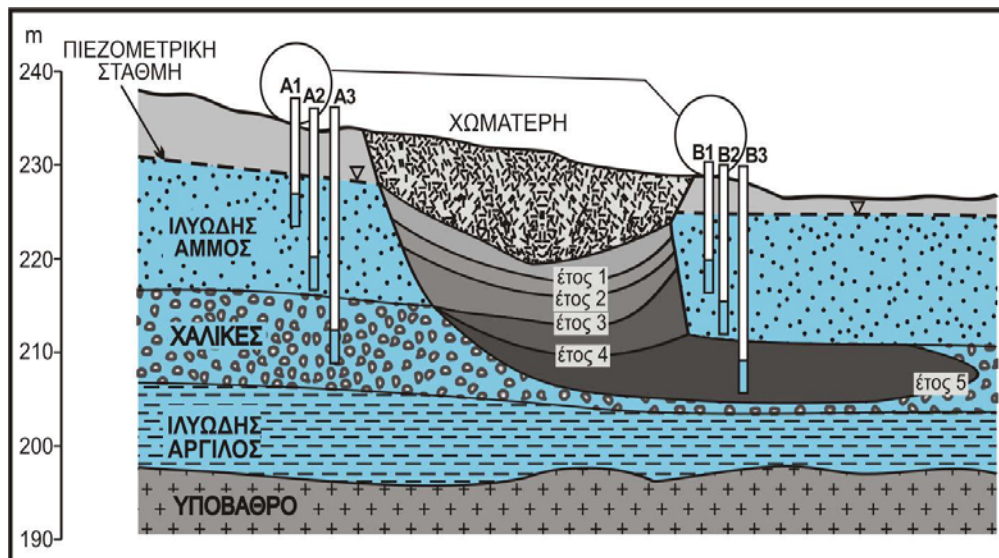


**Σχήμα 6.7:** Ισοχλώριες καμπύλες του πλούμιου ρύπανσης μιας χωματεράς (Soliman, 1998).

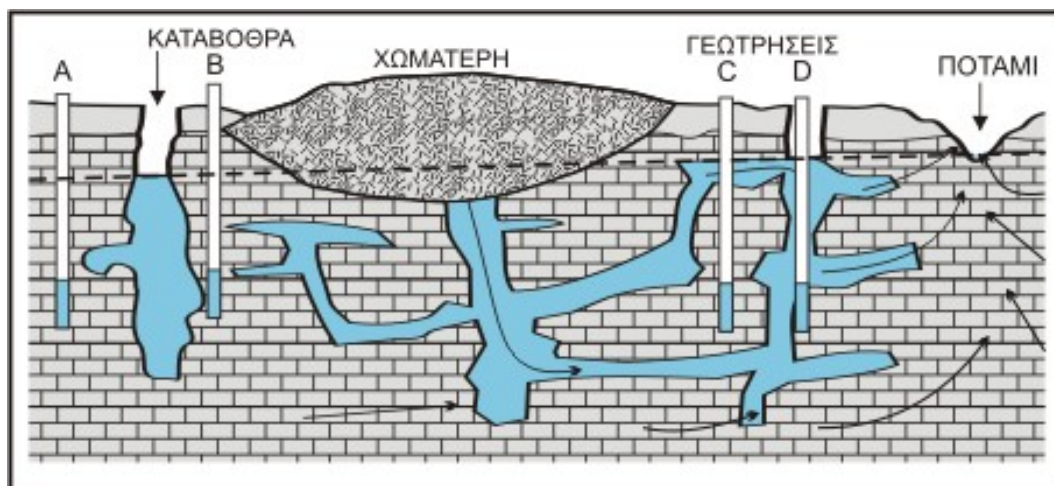
Ο έλεγχος διαρροής των στραγγισμάτων γίνεται σε κατάλληλες θέσεις (γεωτρήσεις) που προκύπτουν από την υδρογεωλογική έρευνα. Οι παράμετροι ελέγχου είναι: pH, BOD<sub>5</sub>, COD, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>-N, Cl, F, TOC, αρσενικό, οργανικό N, φαινόλες, φωσφορικά, βαρέα μέταλλα και υδρογονάνθρακες. Η παρακολούθηση της ποιοτικής σύστασης των στραγγισμάτων γίνεται ανά τρίμηνο στη φάση λειτουργίας. Επίσης η στάθμη των υπόγειων υδάτων πρέπει να παρακολουθείται ανά εξάμηνο στη φάση λειτουργίας.

Στο Σχήμα 6.8 φαίνεται η κίνηση σε ένα ανισότροπο υδροφόρο σύστημα σε συνάρτηση με τον χρόνο. Στα καρστικά ανθρακικά πετρώματα η κίνηση των στραγγισμάτων ελέγχεται από τις διακλάσεις και τα κανάλια διάλυσης και η κίνηση του πλούμιου γίνεται κατά μήκος ασυνεχειών (Σχ. 6.9).

Τα στραγγίσματα έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο (υψηλές τιμές BOD, TOC) και αποτελούν πιθανή πηγή ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτείται στεγανοποίηση του πυθμένα του ΧΥΤΑ και κατασκευή δικτύου στραγγιστηρίων για την απομάκρυνση των στραγγισμάτων. Το σύστημα συλλογής κατασκευάζεται πάνω από τον στεγανό πυθμένα του ΧΥΤΑ, διαμέσου του οποίου τα στραγγίσματα κινούνται με ελεύθερη ροή και καταλήγουν σε δεξαμενή αποθήκευσης στραγγισμάτων, κατόπιν του ΧΥΤΑ.



Σχήμα 6.8: Κίνηση του στραγγίσματος σε ένα ανισότροπο υδροφόρο (Soliman, 1998).



Σχήμα 6.9: Κίνηση του στραγγίσματος σε καρστικά ανθρακικά συστήματα.

Για την αποφυγή επιφανειακών εισροών στο χώρο του ΧΥΤΑ απαιτείται η κατασκευή περιμετρικής αποστράγγισης, καθώς και αγωγών για την απομάκρυνση των ομβρίων. Τα συλλεγόμενα όμβρια διατίθενται σε ειδικά κατασκευασμένη δεξαμενή κατάντη του χώρου απόθεσης ή σε κατάλληλο αποδέκτη που θα κριθεί κατάλληλος.

Η καθημερινή επικάλυψη των απορριμμάτων μειώνει τον όγκο του νερού που κατεισδύει και συνεπώς τον όγκο των στραγγισμάτων. Τα στραγγίσματα μετά τη συλλογή τους οδηγούνται σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού για επεξεργασία.

Η ποσότητα των παραγόμενων διασταλαζόντων υγρών ( $Q_L$ ) δίνεται από τη σχέση:

$$Q_L = I - Q_g$$

όπου:  $I$  = η κατεισδυση και  $Q_g$  = το νερό που απορροφάται από τα απορρίμματα

Η ποσότητα  $Q_g$  είναι η διαφορά της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας ( $Y_{αρχ}$ ) στα απορρίμματα από την ικανότητα συγκράτησης πεδίου (field capacity,  $F$ ), που προσδιορίζεται εργαστηριακά:

$$Q_g = F - Y_{αρχ}$$

Η κατακόρυφη κίνηση του στραγγίσματος ακολουθεί τον νόμο του Darcy. Η ποσότητα που ρέει κατακόρυφα μέσω ενός εδαφικού-αργιλικού στεγανού υποστρώματος πάχους  $D$  και υδροπερατότητας  $k$  ισούται με:

$$Q = k (D+h) / D$$

όπου  $h$  είναι το κορεσμένο πάχος πάνω από το στεγανό υπόστρωμα.

Ο χρόνος που χρειάζεται για να περάσει το στράγγισμα την εδαφική-αργιλική επένδυση πάχους  $D$  βρίσκεται από τη σχέση:

$$t = D^2 \theta / k(D+h)$$

όπου  $\theta$  είναι το πορώδες, και  $h$  το υδραυλικό φορτίο. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος διαφυγής (breakthrough time)

Για την αποφυγή απόφραξης (clogging) των συστημάτων συλλογής των στραγγισμάτων (λόγω ανάπτυξης μικροοργανισμών, συγκράτησης αιωρούμενων κ.λπ.) θα πρέπει τα υλικά της στραγγιστικής στρώσης να είναι αδρομερή (χάλικες, χονδρόκοκκη άμμος), πάχους  $>0,3$  m, με υψηλή υδροπερατότητα και να τοποθετηθούν φίλτρα στην ανώτερη επιφάνεια.

Η επεξεργασία των στραγγισμάτων περιλαμβάνει την κροκίδωση με διάφορες κροκιδωτικές ουσίες (άλατα Fe και Al, οργανικά πολυμερή, CaO), οι οποίες δεσμεύουν τα αιωρούμενα σωματίδια και τα κολλοειδή, προσροφούν τις οργανικές ουσίες και κατακρημνίζουν τα μέταλλα με τη μορφή υδροξειδίων. Η χημική οξείδωση με ισχυρό οξειδωτικό ( $O_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $Cl_2$ ) επιφέρει μείωση του COD κατά 15-35%. Η προσρόφηση με ενεργό άνθρακα κατακρατεί τις σύμπλοκες οργανικές ενώσεις, αλλά απαιτεί μεγάλο κόστος. Επιπλέον εφαρμόζονται και βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας τόσο αερόβιες, όσο και αναερόβιες. Τα επεξεργασμένα στραγγίσματα μπορεί να οδηγηθούν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων ή για ανακυκλοφορία στον ΧΥΤΑ.

#### **6.10. Το πρόβλημα της στεγανότητας στους ΧΥΤΑ**

Ο σωστός σχεδιασμός ενός σύγχρονου ΧΥΤΑ προβλέπει τη στεγανότητα του πυθμένα και των περιμετρικών πρανών, για να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα διαφυγής του στραγγίσματος προς το υπέδαφος. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της μόνωσης αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση ή και πρακτικά μηδενισμό της διαφυγής διασταλαζόντων



(στραγγισμάτων) και διαρροής ή μετανάστευσης βιοαερίου από τη βάση και τα πλευρικά τοιχώματα του ΧΥΤΑ.

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές ΧΥΤΑ (ΚΥΑ 114218/97/ΦΕΚ 1010Β/17-11-97) το σύστημα μόνωσης του πυθμένα πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις υδροπερατότητας και πάχους, οι οποίες αντιστοιχούν σε στρώμα αργίλου με  $k=10^{-9}$  m/s και πάχος  $D=1$  m. Αποκλείονται τα εδάφη στα οποία μετά τη συμπίεση ο συντελεστής υδροπερατότητας  $k$  είναι της τάξεως των  $10^{-6}$  m/s. Ο συντελεστής υδροπερατότητας πρέπει να ελέγχεται πριν την κατασκευή με επαρκή αριθμό δοκιμών. Οι ελάχιστες απαιτήσεις ως προς τα εδαφικά υλικά προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω συντελεστής είναι:

- Το ποσοστό του λεπτόκοκκου υλικού (άργιλος, διάμετρος κόκκων  $<2$  mm) να αντιστοιχεί κατ' ελάχιστον στο 20% της μάζας.
- Η αργλική μονωτική στρώση να έχει χαμηλά όρια Atterberg (βλ. παράγραφο 2.4) με σκοπό τον κατά το δυνατόν περιορισμό της ρηγμάτωσης. Το όριο υδαρότητας της αργίλου να μην υπερβαίνει το 40% και ο δείκτης πλαστικότητας να κυμαίνεται μεταξύ 10-25%.
- Το ποσοστό του χονδρόκοκκου υλικού της στρώσης, η διάμετρος του οποίου δεν θα υπερβαίνει τα 32 mm, πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο με 40% επί του ολικού όγκου.

Σε περίπτωση που τα διαθέσιμα υλικά δεν κρίνονται κατάλληλα, τότε μπορεί να γίνει ανάμειξή τους με επεξεργασμένα υλικά, όπως π.χ. ο μπεντονίτης ή να χρησιμοποιηθούν συνθετικά (πολυμερή). Πριν την κατασκευή της στεγανής στρώσης συνιστάται ο καθαρισμός και η εξομάλυνση της φυσικής επιφάνειας του εδάφους. Ο βαθμός συμπίεσης για όλη την επιφάνεια εξομάλυνσης πρέπει να είναι  $\geq 0,95$ . Η συμπίκνωση των επάλληλων στρώσεων πρέπει να γίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα, ώστε να αποφευχθεί η παρατεταμένη έκθεση της μονωτικής επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία. Δεν επιτρέπονται εργασίες συμπίκνωσης μετά από έντονη βροχόπτωση και παγετό.

Ο εργαστηριακός έλεγχος καταλληλότητας των υλικών της αργλικής στρώσης περιλαμβάνει: κοκκομετρική διαβάθμιση, περιεχόμενη υγρασία, ποσοστά αργλικού και οργανικού υλικού, όρια πυκνότητας, συντελεστής υδροπερατότητας, μέτρο συμπίεσης, διατμητική αντοχή, πυκνότητα κατά Proctor.

Αναλυτικά ο πυθμένας και τα πρανή του ΧΥΤΑ πρέπει να πληρούν τα εξής:

- ΧΥΤ μη επικίνδυνων αποβλήτων: υδροπερατότητα  $k \leq 10^{-9}$  m/s, πάχος  $\geq 1$  m.
- ΧΥΤ επικίνδυνων αποβλήτων:  $k \leq 10^{-9}$  m/s, πάχος  $\geq 5$  m.
- ΧΥΤ αδρανών αποβλήτων:  $k \leq 10^{-7}$  m/s, πάχος  $\geq 1$  m.



Τα στεγανά υποστρώματα κατασκευάζονται από μια ποικιλία φυσικών και τεχνητών υλικών και διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

### **1. Άκαμπτα**

- Σκυρόδεμα (εκτοξευόμενο ή οπλισμένο)

Το εκτοξευόμενο αποτελείται από μίγμα τσιμέντου, άμμου και νερού, που εκτοξεύεται με πίεση πάνω στο προετοιμασμένο έδαφος. Στα μαλακά εδάφη δεν ενδείκνυται η χρήση του, λόγω της μικρής αντοχής στη θραύση. Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι πιο ανθεκτικό, αλλά έχει προβλήματα διαρροής από τις ρωγμές διαστολής-συστολής.

- Τσιμέντο

Εάν στην περιοχή του χώρου απόθεσης υπάρχει αμμοχάλικο, τότε προστίθεται τσιμέντο και νερό και συμπαγοποιείται. Είναι πιο οικονομική μέθοδος από το οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά δεν εξασφαλίζει ομοιογένεια του υλικού.

- Άσφαλτος

Κατασκευάζεται όπως τα εύκαμπτα οδοστρώματα και η τοποθέτησή του γίνεται σε επάλληλα στρώματα. Δεν είναι πολύ ανθεκτικό υλικό στην επίδραση των πολύ ενεργών και διαβρωτικών διασταλαζόντων υγρών.

### **2. Εύκαμπτα φυσικά υλικά**

- Συμπαγές έδαφος

Η καταλληλότητα ενός φυσικού εδάφους μετά από κάποια συμπαγοποίηση, ως στεγανό υπόστρωμα εξαρτάται από την υδροπερατότητά του (υδραυλική αγωγιμότητα,  $k$ ). Αποδεκτές τιμές του  $k$  είναι  $\leq 10^{-9}$  m/s. Η τιμή αυτή, εφαρμόζοντας το νόμο του Darcy για συνηθισμένες τιμές της υδραυλικής κλίσης δίνει ταχύτητες ροής που κυμαίνονται από  $10^{-3}$  έως  $10^{-4}$  m/day. Οι τιμές αυτές είναι μικρές, δεδομένου ότι ένας ρύπος για να διανύσει μια απόσταση 10 m θα χρειαζόταν 27 έτη. Έτσι το φυσικό έδαφος πρέπει να έχει  $k=10^{-7}$  m/s, ώστε μετά τη συμπαγοποίηση να πάρει την επιθυμητή τιμή  $10^{-9}$  m/s.

- Χημικά επεξεργασμένο έδαφος

Συνήθως προστίθενται στο έδαφος πολυφωσφορικά οξέα ή βιτουμινούχα υγρά.

- Μπεντονίτης

Ο μπεντονίτης ή νατριούχος μοντμοριλονιτική άργιλος έχει φυλλώδη δομή και το νερό προσροφάται εύκολα στην επιφάνεια των κρυστάλλων. Το νερό παγιδεύεται λόγω ηλεκτροστατικών δυνάμεων (φαινόμενο διπλής στοιβάδας, βλ. παράγραφο 5.6) και μειώνει περισσότερο, την έτσι και αλλιώς χαμηλή υδροπερατότητα του μπεντονίτη.

Η χρήση του μπεντονίτη ως στεγανό υπόστρωμα έτυχε ευρείας αποδοχής, λόγω του μικρού κόστους και της ευκολίας τοποθέτησης. Τα στραγγίσματα που περιέχουν οργανικούς διαλύτες ή υψηλές συγκεντρώσεις οξέων και βάσεων μειώνουν την υδροπερατότητα του μπεντονίτη κατά δύο τάξεις μεγέθους. Εκτός από αμιγή μπεντονίτη χρησιμοποιείται συνήθως μείγμα φυσικού εδάφους με μπεντονίτη. Η μείξη αυτή μειώνει σημαντικά την υδροπερατότητα των εδαφών.

### **3. Συνθετικά υλικά**

- Συνθετικές μεμβράνες

Κατασκευάζονται από πλαστικό ή καουτσούκ σε διάφορους τύπους και παραλλαγές. Τα κυριότερα είδη υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γεωμεμβρανών είναι: το πολυαιθυλένιο (PE), το χλωριωμένο πολυαιθυλένιο (CPE), το χλωροθειωμένο πολυαιθυλένιο (CSPE), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το βουτύλιο (Butil), το πολυχλωροπροπάνιο (Neoprene), η πολυολεφίνη (Πίν. 6.9). Τα ανωτέρω υλικά κατεργάζονται με διάφορες προσμείξεις και διατίθενται στην αγορά με εμπορικά ονόματα και με μορφή φύλλων πάχους 3 mm.

Οι κυριότερες ιδιότητες των γεωμεμβρανών είναι: το πάχος, η υδροπερατότητα, το ειδικό βάρος, η περιεκτικότητα σε άνθρακα, η αντοχή (στη ρηγμάτωση, γήρανση, θερμοκρασία, ανάπτυξη βακτηρίων κ.λπ). Τα ασθενέστερα σημεία των γεωμεμβρανών για διαρροή των στραγγισμάτων είναι οι συρραφές, γι' αυτό χρειάζεται έλεγχος των συγκολλήσεων. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση σύνθετων μεμβρανών δηλ. μια συνθετική μεμβράνη, που τοποθετείται στην οροφή μιας συμπακνωμένης αργιλικής στρώσης.

Τελευταία χρησιμοποιούνται οι γεωσυνθετικές αργιλικές μεμβράνες (Geosynthetic Clay Liners, GCL), που αποτελούνται από μια αργιλική στρώση (μπεντονίτης), η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ δύο συνθετικών μεμβρανών ή μια αργιλική στρώση συγκολλημένη πάνω σε μια συνθετική μεμβράνη. Οι μεμβράνες GCL κατασκευάζονται βιομηχανικά και διατίθενται έτοιμες στο εμπόριο, επιτυγχάνοντας μικρές τιμές της υδροπερατότητας και συνεπώς μειωμένη πιθανότητα διαρροής των στραγγισμάτων.

Οι προδιαγραφές των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού των γεωμεμβρανών και οι αντίστοιχες τυπικές τιμές κατά DIN είναι:

1. Εφελκυστική αντοχή θραύσης >24 N mm (DIN 53455)
2. Εφελκυστική αντοχή διαρροής >15 N mm<sup>2</sup> (DIN 53455)
3. Επιμήκυνση σε θραύση >600% (DIN 53455)
4. Επιμήκυνση σε διαρροή >8% (DIN 53455)

5. Αντοχή σε σχίσσιμο  $>500 \text{ N mm}^2$  (DIN 53457)
6. Αντοχή σε διάτρηση  $>300 \text{ mm}^2$  (DIN 16726)
7. Αντοχή σε εφελκυσμό κατά θραύση  $>120 \text{ N/mm}$  (DIN 53515)
8. Όριο σχισίματος  $>500 \text{ N}$  (DIN 53363)
9. Πολυαξονική επιμήκυνση σε θραύση  $>15\%$  (DIN 53861).

### 6.11. Τελική επικάλυψη και αποκατάσταση των ΧΥΤΑ

Η τελική αποκατάσταση ενός ΧΥΤΑ μετά το πέρας των εργασιών απόθεσης ( $>20$  έτη) και την τοποθέτηση της τελικής επικάλυψης πρέπει να είναι συμβατή με το περιβάλλον.

Η **τελική επικάλυψη** έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της κατείδυσης και συνεπώς τον περιορισμό του παραγόμενου στραγγίσματος. Συνήθως προτιμούνται εδαφικά υλικά ή μπεντονίτης ή μείγμα φυσικού εδάφους και μπεντονίτη. Το πάχος του στεγανού καλύμματος καθορίζεται από τις υδρολογικές συνθήκες της περιοχής του χώρου απόθεσης των απορριμμάτων και τις πιθανές χρήσεις του χώρου μετά την τελική αποκατάστασή του.

Επιπλέον η τελική επικάλυψη αποτρέπει τη διαφυγή του βιοαερίου προς τα ανώτερα στρώματα, καθώς και την εκπομπή ανεπιθύμητων οσμών. Δημιουργεί δε το κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη κατάλληλης βλάστησης και σταθερό σχετικά έδαφος για τη στήριξη ελαφρών κατασκευών που μπορεί να περιλαμβάνουν οι νέες χρήσεις.

Ο σχεδιασμός της τελικής επικάλυψης πρέπει να συνεκτιμά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ, τις προβλεπόμενες νέες χρήσεις και τεχνικοοικονομικά στοιχεία, ώστε να εφαρμοσθεί η βέλτιστη λύση.

Η τελική επικάλυψη αποτελείται από τις εξής στρώσεις από κάτω προς επάνω (Σχ. 6.10):

Η **πρώτη** στρώση πάχους 0,15-0,60 m αποτελείται από χονδρόκοκκα υλικά (αμμοχάλικες) και αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία “κάθεται” η στεγανή στρώση.

Η στεγανή **δεύτερη** στρώση αποτελείται από μπεντονίτη ή συνθετική γεωμεμβράνη, πάχους 0,5 m και  $k \leq 10^{-9} \text{ m/s}$ .

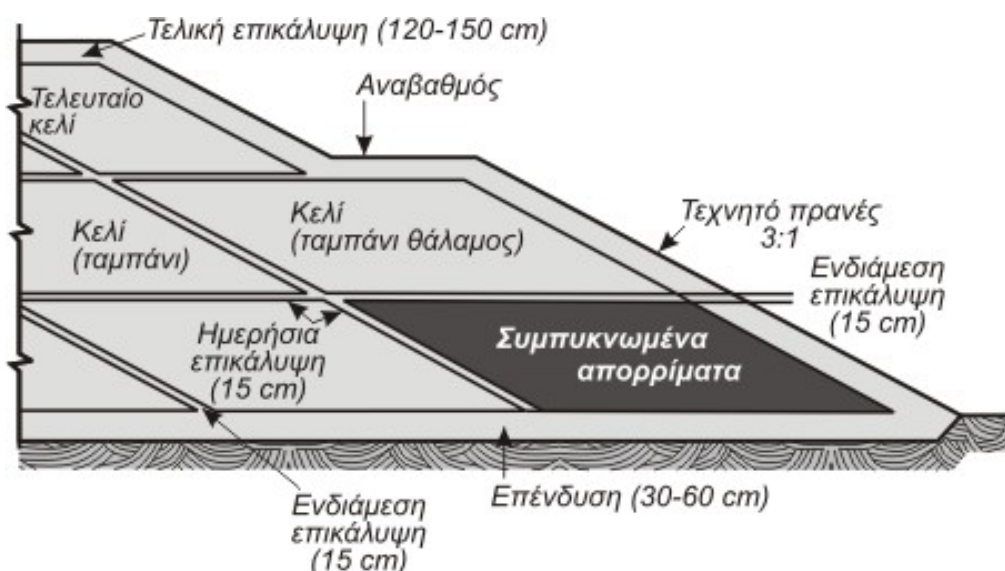
Η **τρίτη** στρώση έχει πάχος 0,3-1 m, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και προστατεύει το δεύτερο στρώμα. Τέλος η τελική επικάλυψη περιλαμβάνει και ένα επιφανειακό εδαφικό στρώμα πάχους 0,1-0,3 m για την ανάπτυξη της χλωρίδας.

Το αδρανές υλικό, που απαιτείται συνολικά για την κάλυψη των απορριμμάτων, ανέρχεται στο 20-25% του συνολικού τους όγκου.

**Πίνακας 6.9:** Συμπεριφορά και αντοχή των κυριότερων τύπων γεωμεμβρανών (από Kumar et.al., 1973).

Ιδιότητα	Πολυαιθυλένιο		Πολυβινυλο- χλωρίδιο	Χλωριωμένο πολυαιθυλένιο	ETM	Πολύ- ολεφίνη	Βουτύλιο	EPDM	Πολυ- χλωροπρένιο
	Υψηλής πυκνότητας	Χαμηλής πυκνότητας							
Ειδικό βάρος	0,92-0,94	0,94-0,96	1,20-1,50	1,35-1,39	0,90-0,91	1,08-1,40	0,92-1,25	0,91-1,25	-
Διατμητική αντοχή (lb/in <sup>2</sup> )	1300-2500	2400-4800	3500-10000	1800min	4000-32000	9000-11000	1000-4000	1000-3500	1000-2000
Δυνατότητα επιμήκυνσης χωρίς θραύση (%)	200-800	10-650	60-200	375-575	40-400	250-450	-	-	-
Θερμοκρασιακό εύρος αντοχής σε °C	-70 έως 180	-70 έως 240	-60 έως 200	-40 έως 200	-60 έως 220	-60 έως 380	-50 έως 325	-70 έως 250	-45 έως 250
Αντοχή σε οξέα	Πτωχή έως καλή	Καλή	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Πτωχή	-	-	Καλή
Αντοχή σε βάσεις	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως Εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Εξαιρετική	-	-	Καλή έως εξαιρετική
Αντοχή σε οξυγονωμένους διαλύτες	Πτωχή έως καλή	Πτωχή έως καλή	Καλή	Πτωχή	-	-	-	-	Καλή
Αντοχή σε αρωματικούς διαλύτες	Μέτρια	Μέτρια	Καλή	Πτωχή	Καλή	Καλή	Πτωχή	Πτωχή	Μέτρια
Αντοχή σε αλειφατικούς διαλύτες	Πτωχή έως μέτρια	Πτωχή έως καλή	Καλή	Καλή	Καλή	Εξαιρετική	Πτωχή	Πτωχή	Καλή
Αντοχή σε αποσύνθεση	Πτωχή	Πτωχή	Καλή	Εξαιρετική	Πτωχή	Μέτρια		Μέτρια	Εξαιρετική

Μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ συνιστάται η υδρογεωλογική παρακολούθησή του για 30 χρόνια μέχρις ότου δηλαδή μειωθεί σημαντικά το ρυπαντικό φορτίο των στραγγισμάτων. Στόχος της παρακολούθησης είναι ο ποιοτικός έλεγχος για την πρόληψη της ρύπανσης των υπόγειων νερών. Η παρακολούθηση γίνεται μέσω αριθμού γεωτρήσεων (συνήθως μία ανάντη και 4 κατάντη της χωματερής), από τις οποίες λαμβάνονται δείγματα νερού από τον πιο ρηχό υδροφόρο και αναλύονται ποιοτικά, τουλάχιστον δύο φορές το χρόνο.



**Σχήμα 6.10:** Πάχη επένδυσης, ενδιάμεσης και τελικής επικάλυψης ΧΥΤΑ από γαιώδη υλικά (Tchobanoglous et. al., 1993, από Καλλέργη, 2000).

Η μελέτη αποκατάστασης πρέπει να αποτελεί μέρος ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού της λειτουργίας του ΧΥΤΑ και να λαμβάνει υπόψη τα περιβαλλοντικά δεδομένα της περιοχής.

Η εκπόνηση της μελέτης αποκατάστασης γίνεται με τη συνεργασία επιστημόνων πολλών ειδικοτήτων (αρχιτέκτονα τοπίου, δασολόγου, γεωπόνου, υδρογεωλόγου, πολιτικού μηχανικού) και αποβλέπει (Κόλλιας, 1993):

- στην αισθητική αποκατάσταση του τοπίου σε συμφωνία με το περιβάλλον
- στην ανάπτυξη πανίδας και χλωρίδας
- στη δημιουργία ευελιξίας για μελλοντικές χρήσεις γης.

Εκτός της βλάστησης διαμορφώνονται δρόμοι προσπέλασης, χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων και ελαφρές κατασκευές. Αποφεύγονται κτήρια από σκυρόδεμα και πολυόροφα κτήρια.

Παρόμοια η αποκατάσταση ανεξέλεγκτων χωματερών επιτυγχάνεται με απλές τεχνικές, συμβατές με το περιβάλλον και κυρίως με: εξομάλυνση του υπάρχοντος απορριμματικού ανάγλυφου, αποκλεισμό περαιτέρω ανεξέλεγκτων απορρίψεων και χωματουργικές εργασίες εξομάλυνσης του ανάγλυφου. Επιπλέον λαμβάνονται μέτρα για τη διαχείριση των στραγγισμάτων, ειδικά όπου έχει εντοπισθεί επιφανειακή ροή αυτών. Δημιουργούνται για τον λόγο αυτόν τοπικοί λάκκοι ή τάφροι συλλογής των στραγγισμάτων.

Πάνω στο εξομαλυσμένο ανάγλυφο κατασκευάζεται συμπιεσμένη στρώση εδαφικού υλικού χαμηλής υδροπερατότητας. Ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής λαμβάνονται μέτρα για την αποτροπή της εισόδου των ομβρίων της ευρύτερης λεκάνης απορροής. Επίσης στη στεγανή επιφάνεια τοποθετείται κατάλληλο χόμα για τη φυσική ανάπτυξη πρασίνου.

Για την παραγωγή του βιοαερίου συνιστάται η ανόρυξη γεωτρήσεων στη μάζα των απορριμμάτων. Το βιοαέριο πρέπει να καίγεται επιτόπου ή σε κεντρικό σημείο με ειδική διάταξη. Σε περιπτώσεις που έχει παρατηρηθεί αυτανάφλεξη πρέπει να αποφεύγεται η κατασκευή έργων συλλογής και απαγωγής του βιοαερίου, επειδή αυτά μπορεί να λειτουργήσουν ως συστήματα οξυγόνωσης και αναζωπύρωσης των λανθανουσών εστιών καύσης.

Τέλος απαραίτητη είναι η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του αναπλασθέντος αναγλύφου για καθιζήσεις, μετατοπίσεις, διαβρώσεις, διαρρήξεις. Επιπλέον ο περιβαλλοντικός έλεγχος (monitoring) σε τακτά χρονικά διαστήματα των :

- φυσικοχημικών παραμέτρων των στραγγισμάτων
- φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού σε σημεία κατάντη του χώρου
- φυσικοχημικών παραμέτρων του βιοαερίου και της ποσότητάς του.

## **6.12. ΧΥΤ αδρανών και επικίνδυνων αποβλήτων**

Στους ΧΥΤ αδρανών διατίθενται μόνο αδρανή υλικά (οικοδομικά απορρίμματα), που προέρχονται κυρίως από έργα δόμησης ή από έργα κατεδάφισης κτηρίων λόγω γήρανσης, βλαβών από σεισμούς και ανακαίνισης. Σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κατάλογο τα δομικά απορρίμματα διακρίνονται σε κεραμικά, τούβλα, πλακάκια, σκυρόδεμα (κωδικός 1701) και σε ξύλο, γυαλί και πλαστικά (κωδικός 1702). Στην Ελλάδα παράγονται ετησίως  $5,5 \times 10^6$  τόνοι δομικών απορριμμάτων που συνήθως καταλήγουν στους ΧΥΤΑ. Ένα μέρος των υλικών θα μπορούσε να ανακυκλωθεί και να χρησιμοποιηθεί ως υλικό επίχωσης, ως υλικό αποκατάστασης ανεξέλεγκτων χωματερών, ως δευτερογενές υλικό για έργα

οδοποιίας και ως αδρανή για την παραγωγή σκυροδέματος. Στην περιοχή Θεσσαλονίκης λειτουργεί ήδη μονάδα ανακύκλωσης δομικών απορριμμάτων και το παραγόμενο υλικό χρησιμοποιείται ως υλικό βάσης και υπόβασης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές (Οικονόμου κ.ά., 2006). Νομοθετικά προωθείται προς ψήφιση Προεδρικό Διάταγμα για την εναλλακτική διαχείριση των απορριμμάτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις.

Η χωροθέτηση ενός ΧΥΤ αδρανών ακολουθεί παρόμοια διαδικασία με αυτήν ενός ΧΥΤ απορριμμάτων. Η γεωλογική έρευνα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών, την ευστάθεια των πρανών, την πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων, τη σεισμικότητα, τη γεωμορφολογία, την παρουσία υδροφορέων κ.ά. Επιπλέον εξετάζεται η φέρουσα ικανότητα του εδάφους στα φορτία του ανάγλυφου που θα δημιουργηθεί, καθώς και οι γεωτεχνικές ιδιότητες των αδρανών υλικών στα στρώματα απόθεσης.

Κατασκευάζονται τα απαραίτητα έργα αποστράγγισης, ώστε να μειωθούν οι εισροές ομβρίων υδάτων από τον περιβάλλοντα χώρο. Επίσης με τη διαμόρφωση κατάλληλων κλίσεων γίνεται προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί η κατείσδυση των ομβρίων υδάτων στον ΧΥΤΑ.

Ο πυθμένας και τα πρανή μονώνονται, κατά προτίμηση με φυσικά υλικά, ώστε να επιτευχθεί συντελεστής υδροπερατότητας ισοδύναμος με στρώση αδρανούς υλικού, πάχους τουλάχιστον 1 m με συντελεστή υδροπερατότητας  $k=10^{-7}$  m/s.

Στα μεταφερόμενα αδρανή γίνεται μακροσκοπικός έλεγχος και πρέπει να τηρούνται στοιχεία για τον εισερχόμενο όγκο των υλικών. Όπως προαναφέρθηκε η διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων γίνεται με διάφορους τρόπους, όπως υγειονομική ταφή, έκχυση σε βάθος, απόρριψη στη θάλασσα ή ταφή στο θαλάσσιο βυθό, βιολογική επεξεργασία κ.λπ., ώστε να διασφαλίζεται η υγεία του ανθρώπου και η προστασία του περιβάλλοντος.

Ο Εθνικός Σχεδιασμός διαχείρισης των επικίνδυνων αποβλήτων εκπονείται από το ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία με τα συναρμόδια Υπουργεία. Η επιλογή θέσεων υγειονομικής ταφής επικίνδυνων αποβλήτων ακολουθεί τη διαδικασία που αναφέρθηκε για τα μη επικίνδυνα απόβλητα με μεγαλύτερη αυστηρότητα. Ο πυθμένας και τα πρανή πρέπει να έχουν συντελεστή υδροπερατότητας  $k \leq 10^{-9}$  m/s και πάχος  $D \geq 5$  m. Απαιτείται επίσης τεχνητή μεμβράνη στεγανοποίησης και στρώμα αποστράγγισης  $\geq 0,5$  m. Κατά περίπτωση, αν υπάρχει ενδεχόμενος κίνδυνος για το περιβάλλον, γίνεται και επιφανειακή στεγανοποίηση.

Για την προστασία των υπόγειων νερών γίνεται συστηματικός έλεγχος της ποιότητας αυτών από γεωτρήσεις κατάντη του ΧΥΤΑ. Η παρακολούθηση των επιφανειακών νερών, εάν υπάρχουν, γίνεται σε δύο τουλάχιστον σημεία, ένα ανάντη και ένα κατάντη.

### Εφαρμογή 6.1

Να υπολογισθεί ο χρόνος που χρειάζεται το στράγγισμα να περάσει μια εδαφική-αργιλική επένδυση πάχους  $D=0,5$  m, με συντελεστή υδροπερατότητας  $k=10^{-7}$  cm/s και πορώδες  $\theta=25\%$ , όταν το υδραυλικό φορτίο είναι 2 m.

**Λύση:** Από τον τύπο  $t = D^2\theta / k(D+h)$  αντικαθιστώ και έχω:  
 $t = 0,5^2 \cdot 0,25 / 10^{-9} (0,5+2) \approx 0,8$  έτη.

### Εφαρμογή 6.2

Ένας υδροφόρος ορίζοντας με πάχος  $b=50$  m ρυπαίνεται από μια χωματερή. Ο ρύπος έχει αρχική συγκέντρωση  $C_0=100$  mg/L. Αν το εύρος του υδροφόρου είναι  $w=300$  m και αυτός εκφορτίζεται μέσω πηγής επαφής με λεπτόκοκκα υλικά με παροχή  $Q=9600$  m<sup>3</sup>/day, να υπολογισθεί η συγκέντρωση  $C$  του ρύπου μετά από χρόνο 2 έτη σε απόσταση 600 m από την εισαγωγή του ρύπου στον υδροφόρο, θεωρώντας προσεγγιστικά ότι:  $C=C_0 \exp(-L/v.t)$

όπου:  $C$  είναι η συγκέντρωση του ρύπου μετά από χρόνο  $t$  σε απόσταση  $L$ ,  $C_0$ =η αρχική συγκέντρωση,  $v$ =η ειδική παροχή (ταχύτητα διήθησης),  $L$ =η απόσταση από την πηγή ρύπανσης και  $t$ =ο χρόνος από την έναρξη της ρύπανσης.

**Λύση:** Υπολογίζω την ειδική παροχή  $v = Q/(w \cdot b) = 9600/(300 \cdot 40) = 0,8$  m/day  
Εφαρμόζω τη σχέση  $C = C_0 \exp(-L/v.t)$  και έχω  
 $C = 100 \exp(-600/0,8 \times 2 \times 365) = 9,4$  mg/L.

### Εφαρμογή 6.3

Να υπολογισθεί η επιφάνεια ταφής που απαιτείται για τη δημιουργία ΧΥΤΑ σε μια πόλη 70.000 κατοίκων με δεδομένο ότι κάθε κάτοικος παράγει απορρίμματα μάζας  $m=1,2$  kg/ημέρα. Η πυκνότητα  $\rho$  των απορριμμάτων είναι 250 kg/m<sup>3</sup>, ο λόγος συμπίεσης 1:2 και το υλικό επικάλυψης 25% του όγκου των συμπιεσμένων απορριμμάτων.

Να θεωρηθεί ότι η ταφή θα γίνει σε δύο στρώματα (ταμπάνια) ύψους 2,5 m το καθένα και η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του ΧΥΤΑ είναι ίση με 20 χρόνια.

**Λύση:** Από τη σχέση  $V=m/\rho$  υπολογίζω τον ετήσιο όγκο των απορριμμάτων ανά κάτοικο μετά τη συμπίεση:  $V = 1,2/250 = 0,0048$ ;  $0,0048 \times 365 \text{ ημέρες} = 0,876$  m<sup>3</sup>/κάτοικο/έτος  
Επιπλέον το υλικό επικάλυψης προκύπτει  $0,876 + (25\% \times 0,876) = 1,095$  m<sup>3</sup>/κάτοικο/έτος.  
Για 70.000 κατοίκους έχω  $V = 70.000 \times 1,095 = 76.650$  m<sup>3</sup>/έτος.

Διαιρώντας με 5 m προκύπτουν περίπου 15,3 στρέμματα. Οπότε για 20 χρόνια θα απαιτηθεί για την ταφή των απορριμμάτων έκταση ίση με  $15,3 \times 20 = 306$  στρέμματα.





**Εικ. 6.1:** Λίμνη συλλογής ομβρίων στη χωματερή Ταγαράδων (φωτ. Αθ. Παύλου).



**Εικ. 6.2:** Μέτωπο απόθεσης απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ Δυτικής Μακεδονίας (φωτ. Κ. Βουδούρης).



**Εικ. 6.3:** Δημιουργία νέου κυττάρου στο ΧΥΤΑ Δ/κής Μακεδονίας (φωτ. Κ. Βουδούρης).

## Ερωτήσεις

- 6.1. Επιπτώσεις των ΧΥΤΑ στο περιβάλλον
- 6.2. Ποια είναι τα υδρογεωλογικά και γεωτεχνικά κριτήρια για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ;
- 6.3. Ποιες είναι οι απαραίτητες εργασίες πεδίου και εργαστηρίου για τη χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ;
- 6.4. Πως αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της στεγανότητας στους ΧΥΤΑ;
- 6.5. Πως ανιχνεύεται η παρουσία στραγγισμάτων στο υπόγειο νερό;
- 6.6. Ποια είναι η σύσταση του βιοαερίου και πως απάγεται;
- 6.7. Από τι εξαρτάται η λειτουργικότητα ενός ΧΥΤΑ;
- 6.8. Σε τι στοχεύει και πόσες στρώσεις περιλαμβάνει η τελική επικάλυψη;

## Ασκήσεις

- 6.1. Μια εδαφική-αργιλική επένδυση έχει πάχος  $D=0,35$  m, συντελεστή υδροπερατότητας  $k=10^{-7}$  cm/s και πορώδες  $\theta=28\%$ .  
Να υπολογισθεί ο χρόνος που χρειάζεται το στράγγισμα να περάσει την επένδυση, όταν το υδραυλικό φορτίο είναι 1,5 m.
- 6.2. Μια πόλη σχεδιάζει ΧΥΤΑ για τη διάθεση των απορριμμάτων της. Κάθε κάτοικος παράγει ημερησίως απορρίμματα μάζας  $m=1,2$  kg. Η πυκνότητα των απορριμμάτων είναι  $220$  kg/m<sup>3</sup>, ο λόγος συμπίεσης 1:2 και το υλικό επικάλυψης ανέρχεται σε 20% του όγκου των συμπιεσμένων απορριμμάτων.  
Να υπολογισθεί η επιφάνεια ταφής που απαιτείται για τη δημιουργία του ΧΥΤΑ της πόλης με δεδομένο ότι έχει πληθυσμό 50000 κατοίκους με πρόβλεψη 25-ετίας.  
Να θεωρηθεί ότι η ταφή θα γίνει σε δύο στρώματα (ταμπάνια) ύψους 2,5 m το καθένα.
- 6.3. Να υπολογισθεί το πάχος της εδαφικής επένδυσης ενός ΧΥΤΑ, ώστε ο χρόνος διαφυγής του στραγγίσματος να είναι  $10^8$  s (3,17 years).  
Δίνονται: το υδραυλικό φορτίο  $h=10$  m, ο συντελεστής υδροπερατότητας  $k=10^{-9}$  m/s και το πορώδες  $\theta=10^{-1}$ .
- 6.4. Ο πυθμένας μιας χωματερής έχει ορθογώνιο σχήμα με διαστάσεις 40 m x 50 m. Αν ο συντελεστής υδροπερατότητας των υλικών είναι  $10^{-7}$  cm/s και το πορώδες 20% να υπολογισθεί η παροχή του στραγγίσματος σε m<sup>3</sup>/year.
- 6.5. Ο όγκος του στραγγίσματος που μπορεί να διαρρέει από το δάπεδο μιας χωματερής είναι 0,44 m<sup>3</sup>/day/στρέμμα. Αν το πορώδες των υλικών είναι 10% και η κίνηση θεωρηθεί κατακόρυφη, να υπολογισθεί η υδροπερατότητα  $k$  (m/s).