



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων

Ενότητα 6: Υγειονομική Ταφή Αστικών Στερεών
Απορριμμάτων

Κορνάρος Μιχαήλ
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Διαχείριση στερεών αποβλήτων - ορισμοί

- **"Απόβλητα"**: στερεά ή ημιστερεά υλικά, τα οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες είναι ανεπιθύμητα για τον κάτοχό τους επειδή δεν έχουν αρκετή οικονομική αξία ή χρησιμότητα. Ο κάτοχός τους θέλει, πρέπει ή υποχρεούται να τα απορρίψει καθώς το κόστος απόρριψής τους είναι μικρότερο από το κόστος διατήρησής τους.
- Αντικρουόμενα συμφέροντα :
 - Οι κάτοχοι προσπαθούν να απαλλαγούν από τα απόβλητα με τον φθηνότερο δυνατό τρόπο
 - Οι αποδέκτες των αποβλήτων προσπαθούν να αποφύγουν τη διάθεση των αποβλήτων στην περιοχή τους



Μοντέλο ιεράρχησης βασικών αρχών

- Υπέρ
 - Καθορίζει τη βέλτιστη μεθοδολογία διαχείρισης με βάση προκαθορισμένη ιεράρχηση διεργασιών
- Κατά
 - Δεν λαμβάνει υπόψη την παράμετρο του κόστους καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε διεργασίας



Τελική διάθεση ΑΣΑ ή υπολειμμάτων

- Η ανάγκη για τελική διάθεση των υπολειμμάτων από τις προηγούμενες διεργασίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη λειτουργία κάθε συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ.
- Προς τελική διάθεση με ταφή οδηγούνται:
 - υπολείμματα από τον μηχανικό διαχωρισμό
 - υπολείμματα καύσης (τέφρα, αδρανή κ.λ.π.)
 - υπολείμματα από βιοσταθεροποίηση ή αδιάθετο compost



Ορισμοί

- Χωματερή (Χ.Α.Δ.Α.) ονομάζεται ο χώρος ανεξέλεγκτης διάθεσης των υπολειμμάτων των στερεών απορριμμάτων ή των ανάμικτων ΑΣΑ
- Υγειονομική ταφή ονομάζεται η διαδικασία ταφής των απορριμμάτων με την οποία ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία.



Διάθεση ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ

- Πλεονεκτήματα :
 - Μικρό κόστος κατασκευής
 - Σχετικά απλή τεχνολογία
 - Παραγωγή βιοαερίου (ανάκτηση ενέργειας)
 - Επαναχρησιμοποίηση χώρου μετά την πλήρωση
- Μειονεκτήματα :
 - Παραγωγή μεθανίου (εφόσον δεν καίγεται το βιοαέριο)
 - Παραγωγή CO₂ (εφόσον καίγεται το βιοαέριο)
 - Δυσχερής η εύρεση χώρων για την ταφή των απορριμμάτων
 - Σχετικά υψηλό κόστος μεταφοράς
 - Ανάγκη παρακολούθησης της συμπεριφοράς έναντι διαφυγής ρύπων
 - Κατάληψη μεγάλης έκτασης
 - Κοινωνική αντίδραση για τη χωροθέτηση και τη μεταφορά των ΑΣΑ
 - Μεγάλος όγκος απορριμμάτων



Χωροθέτηση ΧΥΤΑ

- Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόφαση είναι οι εξής:
 - Απόσταση μεταφοράς
 - Περιορισμοί χωροθέτησης όπως κοντά σε αεροδρόμια, βιότοπους, σεισμικές περιοχές και ασταθείς περιοχές (καθιζήσεις κλπ.)
 - Διαθέσιμη γη
 - Προσβασιμότητα θέσεως
 - Κατάσταση εδάφους και τοπογραφία
 - Κλιματολογικές συνθήκες (βροχές, άνεμοι κλπ)
 - Υδρολογία επιφανειακού νερού
 - Γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες (το πιο σημαντικό)
 - Τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες
 - Τελική χρήση περατωμένων ΧΥΤΑ



Χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ

- Το υγρό που συλλέγεται στον βυθό (ή και σε ενδιάμεσα σημεία για βαθιές χωματερές) ονομάζεται διήθημα ή στράγγισμα (leachate). Προέρχεται από την διήθηση βροχών και νερών αρδεύσεων και περιλαμβάνει και την αρχική υγρασία των απορριμμάτων.
- Στον ΧΥΤΑ παράγεται βιοαέριο (μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα) με κάποια περιεκτικότητα σε άζωτο, οξυγόνο, αμμωνία και πτητικά οργανικά.
- Ο πυθμένας και τα πλευρικά τοιχώματα του ΧΥΤΑ απαιτούν στεγανοποίηση με στρώμα πηλού ή γεωμεμβρανών για αποφυγή διήθησης.



Στάδια ανάπτυξης ΧΥΤΑ – εκσκαφή και προετοιμασία

- Προετοιμασία χώρου υγειονομικής ταφής (εξασφάλιση απορροής υγρών, περίφραξη και δημιουργία οδών πρόσβασης).
- Εκσκαφή και προετοιμασία του πυθμένα (διαδοχικά κατά τμήματα).
- Τα χώματα χρησιμοποιούνται αργότερα για κάλυψη.
- Πραγματοποιείται κατάλληλη στεγανοποίηση του πυθμένα.
- Το σύστημα συλλογής αποστραγγισμάτων τοποθετείται μέσα ή πάνω στον πυθμένα.
- Μπορεί να τοποθετηθούν και οριζόντια χαντάκια ανάληψης βιοαερίου στον πυθμένα, αν αναμένονται πολλά οργανικά πτητικά, τα οποία λαμβάνονται με φύσημα αέρα και καίγονται.

Τοποθετούνται περιμετρικοί αισθητήρες μεταξύ του πυθμένα και του



Στεγανοποίηση πυθμένα ΧΥΤΑ

- Στάδια στεγανοποίησης του πυθμένα ενός ΧΥΤΑ:
- κατώτερη στεγανωτική στρώση από άργιλο, συμπυκνωμένου πάχους 0,3 μέτρων,
- η γεωμεμβράνη προστατεύεται από αποστραγγιστικό γεώφασμα πολυπροπυλενίου.
- Η σύνθετη στεγανοποιητική στρώση καλύπτεται από προστατευτική - αποστραγγιστική στρώση εδάφους, πάχους 0,4 μέτρων.



Κύτταρο (cell)

- Κύτταρο (cell) ονομάζεται ο όγκος του υλικού που τοποθετείται σε κάθε προκαθορισμένη λειτουργική περίοδο (αντίστοιχη φάση λειτουργίας), συνήθως μία μέρα.
- Κάθε κύτταρο έχει ίδιο διαμορφωμένο και στεγανοποιημένο πυθμένα με σαφή υδραυλικά όρια από το προηγούμενο και το επόμενο και ίδιο σύστημα συλλογής διηθημάτων.
- Πληρούται εξ' ολοκλήρου πριν την αρχή πλήρωσης του επομένου.
- Το κύτταρο αποτελείται από τα απορρίμματα και το υλικό κάλυψης.
- Η ημερήσια κάλυψη είναι 15-30 cm χώματος ή εδαφοβελτιωτικού που τοποθετείται στο τέλος κάθε μέρας, προκειμένου να αποφευχθεί η διασπορά των απορριμμάτων και να ελεγχθεί η εισροή νερού στα ΑΣΑ.



Ταμπάνι (lift)

- Ταμπάνι (lift) ονομάζεται ένα πλήρες στρώμα κυττάρων σε όλη την έκταση του ΧΥΤΑ. Όταν το ύψος υπερβαίνει τα 16-25 m, χρησιμοποιούνται "τοιχία" (benches) για να διατηρηθεί η κλίση των πρανών, για να τοποθετηθούν κανάλια για τα υγρά διηθήματα και για την τοποθέτηση αγωγών βιοαερίου.
- Το "τελικό ταμπάνι" (final lift) περιλαμβάνει το στρώμα κάλυψης. Το τελικό στρώμα κάλυψης εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια κάθε κυττάρου αφού συμπληρωθούν όλες οι λειτουργίες.



Τελικό κάλυμμα

Το τελικό κάλυμμα συνήθως αποτελείται από πολλαπλά στρώματα χώματος ή/ και υλικών γεωμεμβρανών σχεδιασμένων με σκοπό:

- την αύξηση των επιφανειακών απορροών,
- την παρεμπόδιση εισροής νερού και
- την υποστήριξη επιφανειακής βλάστησης φυτών.



Διάθεση στερεών απορριμμάτων

- Κάθε ημερήσιο φορτίο τοποθετείται συμπιεσμένο σε στρώμα 2.5 - 4 m.
- Τυπικό ύψος κάθε κυττάρου: 3-10 m.
- Κάλυμμα χώματος στο τέλος κάθε μέρας: 15-30 cm.
- Στο τέλος με το κλείσιμο του κυττάρου τοποθετούνται κατακόρυφοι αγωγοί αερίου.



Κλείσιμο ενός ΧΥΤΑ

- Χρειάζεται διαρκής έλεγχος και χειρισμός ενός ΧΥΤΑ μια και με τις αντιδράσεις ο χώρος καθιζάνει.
- Η παρακολούθηση και συντήρηση εξακολουθεί για 30-50 χρόνια μετά το κλείσιμο.
- Μέσα στον χώρο λαμβάνουν χώρα βιολογικές αντιδράσεις (αρχικά αερόβιες, έπειτα αναερόβιες) και χημικές και φυσικές μετατροπές (διαλυτοποίηση κ.ο.κ.) που οδηγούν στην παραγωγή διαφόρων συστατικών τόσο στα υγρά όσο και στα αέρια απόβλητα.



Κλείσιμο ενός ΧΥΤΑ

- Ο πυθμένας που αποτελείται από πολλαπλές στρώσεις συμπυκνωμένου πηλού και πλαστικών μεγάλης πυκνότητας.
- Στα ενδιάμεσα των στρώσεων είναι τοποθετημένο ένα σύστημα διάτρητων σωλήνων που χρησιμεύουν για να συλλέγουν τα υγρά που διηθούνται μέσα από τα απορρίμματα και να τα διοχετεύουν σε μονάδα επεξεργασίας.
- Γύρω στη χωματερή υπάρχουν γεωτρήσεις, από τις οποίες ελέγχεται ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής δεν έχουν μολυνθεί.
- Μετά την εκφόρτωση τα απορρίμματα διαστρώνονται και συμπυκνώνονται και κατόπιν σκεπάζονται με χώμα, που εμποδίζει τη διαφυγή οσμών και αποθαρρύνει τα ζώα (π.χ. τους γλάρους).
- Μέσα στη μάζα των απορριμμάτων είναι τοποθετημένοι σωλήνες, που συλλέγουν το μεθάνιο που παράγεται κατά την αποσύνθεση.
- Σε μερικές χωματερές το μεθάνιο καίγεται για να μη μολύνει την ατμόσφαιρα, αλλά επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Όταν η χωματερή γεμίσει, σφραγίζεται με μια συνεχή στρώση αργίλου, ενώ ένας περιμετρικός στραγγιστήρας απομακρύνει τα νερά της βροχής.
- Η σκεπασμένη χωματερή μπορεί να χρησιμεύσει για αθλητικές εγκαταστάσεις αεροδρόμια και πάρκα (Περιοδικό Experiment, Μάρτιος – Απρίλιος, 1995).



Γήρανση Χώρου Υγειονομικής Ταφής

- **I) αρχική προσαρμογή** (αερόβια)
- **II) μεταβατική φάση** (απονιτροποίηση, αποθείωση, μεταβατική αναερόβια)
- **III) όξινη φάση**
 - (οξειογένεση, διαλυτοποίηση Fe, Zn κλπ.)
- **IV) μεθανογένεση**
 - (παραγωγή μεθανίου)
- **V) ωρίμανση**
 - (παραγωγή δύσκολα αποδομήσιμων χουμικού και φουλβικού οξέος).



Γήρανση Χώρου Υγειονομικής Ταφής

- Η διάρκεια των φάσεων εξαρτάται από:
 - την κατανομή οργανικών,
 - τη διαθεσιμότητα θρεπτικών,
 - την υγρασία (αν δεν είναι αρκετή περιορίζεται η αποδόμηση)
 - το βαθμό αρχικής συμπίεσης.
- Η αναερόβια αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος παράγει βιοαέριο.
$$C_aH_bO_cN_d + (4a-b-2c+3d)/4 H_2O \rightarrow (4a+b-2c-3d)/8 CH_4 + (4a-b+2c+3d)/8 CO_2 + d NH_3$$
- Τα οργανικά διακρίνονται σε γρήγορα αποδομήσιμα (3 μήνες - 5 χρόνια) και αργά αποδομήσιμα (έως 50 χρόνια).



Συλλογή βιοαερίου

- Το βιοαέριο μεταφέρεται με μεταφορά και διάχυση. Ο πρώτος μηχανισμός υπερσχύει όταν έχουμε μεγάλη παραγωγή ενώ ο δεύτερος όταν έχει μειωθεί η παραγωγή αερίου.
- Το βιοαέριο μπορεί να συλλεχθεί είτε παθητικά (κυρίως όταν έχουμε μεγάλη παραγωγή) είτε ενεργητικά (αντλίες).
- Ο σχηματισμός του βιοαερίου στο χώρο της υγειονομικής ταφής και οι ανεξέλεγκτες εκλύσεις του είναι δυνατόν να προξενήσουν πυρκαγιές, εκρήξεις, επικίνδυνες συγκεντρώσεις αερίων, οσμές κλπ.
 - Όταν το μεθάνιο είναι μεταξύ 5-15 %, το αέριο είναι εκρηκτικό.



Σύσταση βιοαερίου (% σε ξηρή βάση)

• CH ₄	45-60
• CO ₂	40-60
• N ₂	2-5
• O ₂	0.1-1
• σουλφίδια, δισουλφίδια, μερκαπτάνες	0-1
• NH ₃	0.1-1
• H ₂	0-0.2
• CO	0-0.2
• Ιχνοστοιχεία (περίπου 150 ενώσεις)	0.01-0.6
• Θερμοκρασία (°F)	100-120
• Ειδική βαρύτητα	1.02-1.06
• Υγρασία	κορεσμένο
• Θερμογόνα δύναμη (Btu/sft ³)	400-550



Σχηματισμός, σύσταση, κίνηση και ρύθμιση στραγγισμάτων

- Τα στραγγίσματα συλλέγονται στον πυθμένα του ΧΥΤΑ και στην συνέχεια διηθούνται στο έδαφος εκτός εάν υπάρχει στρώση από πηλό ή άλλο υλικό που να έχει χαμηλή διαπερατότητα.
- Τα στραγγίσματα μπορούν να ανακυκλοφορηθούν στον ΧΥΤΑ βελτιώνοντας την βιολογική δραστηριότητα.
- Εναλλακτικά μπορούν :
 - να εξατμίζονται σε κατάλληλες δεξαμενές,
 - να τυγχάνουν βιολογικής επεξεργασίας, ή
 - να εκβάλλονται στο αποχετευτικό δίκτυο.



Τυποποιημένη σύσταση στραγγισμάτων

Συστατικό	Νέος ΧΥΤΑ (< 2 έτη)		Ωριμος ΧΥΤΑ (> 2 έτη)
	Φάσμα	Τυπικά	
BOD5	2000 - 3000	10.000	100 - 200
TOC	1500 - 20000	6.000	80 - 160
COD	3000 - 60000	18.000	100 - 500
TSS	200 - 2000	500	100 - 400
Οργ. Ν	10 - 800	200	80 - 120
NH ⁴⁺ - Ν	10 - 800	200	20 - 40
NO ₃ ⁻	5 - 40	25	5 - 10
ολικός Ρ	5 - 100	30	5 - 10
ορθοφωσφορικά	4 - 80	20	4 - 8
αλκαλικότητα	1000 - 10000	3.000	200 - 1000
pH	4.5 - 7.5	6	6.6 - 7.5
σκληρότητα	300 - 10000	3.500	200 - 500
Ca	200 - 3000	1000	100 - 400
Mg	50 - 1500	250	50 - 200
K	200 - 1000	300	50 - 400
Na	200 - 2500	500	100 - 200
Cl ⁻	200 - 3000	500	100 - 400
SO ₄ ²⁻	50 - 1000	300	20 - 150
ολ.σίδηρος	50 - 1200	60	20 - 200



ΚΥΑ 29407/2002 (εναρμόνιση με οδηγία 1999/31)

- Εθνικοί στόχοι μείωσης βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ με βάση τις ποσότητες που είχαν παραχθεί το 1995 :
 - Μέχρι το 2010 μείωση στο 75%
 - Μέχρι το 2013 μείωση στο 50%
 - Μέχρι το 2020 μείωση στο 35%
- Κάθε χώρος ΧΥΤΑ κατατάσσεται σε μία από τις κατηγορίες :
 - ΧΥΤ επικινδύνων αποβλήτων
 - ΧΥΤ μη επικινδύνων αποβλήτων
 - ΧΥΤ αδρανών αποβλήτων



Συγκριτικά στοιχεία εφαρμογής τεχνολογιών διαχείρισης ΑΣΑ :

- Από τις θερμικές μεθόδους επικρατεί σήμερα η καύση με μερική αξιοποίηση ενέργειας είτε ηλεκτρικής είτε θερμικής (Σκανδιναβικές χώρες).
- Δεν υπάρχουν διεθνώς επαρκή τεχνικοοικονομικά στοιχεία και εμπειρία για την ικανοποιητική εφαρμογή των μεθόδων της πυρόλυσης και της αεριοποίησης σε πλήρη κλίμακα.
- Τα τελευταία χρόνια κερδίζει έδαφος η εφαρμογή της αναερόβιας βιοσταθεροποίησης με ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου.
- Η αερόβια βιοσταθεροποίηση παρουσιάζει ενδιαφέρον ως προς την εφαρμογή της μόνο στην περίπτωση επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ μετά από διαλογή στην πηγή.
- Η επιλογή ΧΥΤΑ ως μεθόδου τελικής διάθεσης των ΑΣΑ συνεχίζει να υπερισχύει έναντι των άλλων μεθόδων με τεχνικοοικονομικά κριτήρια καθώς το κόστος εφαρμογής της είναι σημαντικά χαμηλότερο.



Κόστος ΧΥΤΑ

Συστατικό κόστους	Κόστος (€/τόννο)*	Ποσοστό (%)
Ανάπτυξη	0.35	2.6%
Κατασκευή	2.74	20.1%
Λειτουργία	8.48	62.4%
Κλείσιμο	0.66	4.9%
Μεταφροντίδα	1.36	10.0%
Σύνολο	13.60	100.0%

* World Bank (2003)



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0.0**.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών. Αναπληρωτής Καθηγητής, Μιχαήλ Κορνάρος. «Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων, Υγειονομική Ταφή Αστικών Στερεών Απορριμμάτων». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2144>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.