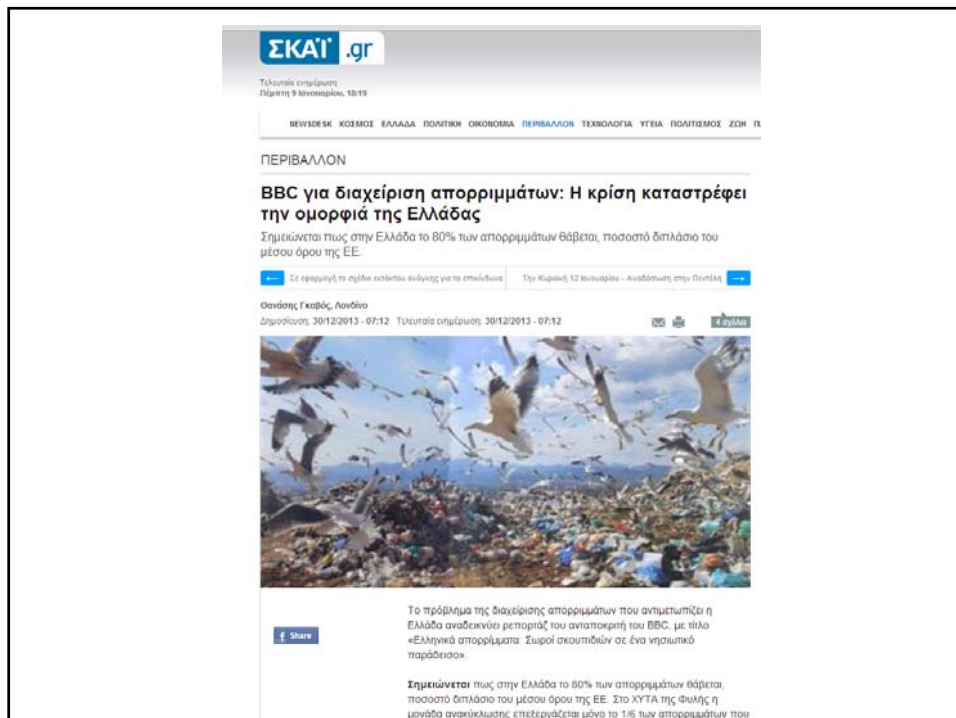


Ορυκτολογικά φράγματα σε Χ.Υ.Τ.Α.

Ιωάννης Ηλιόπουλος
Πάτρα, Φεβρουάριος 2022

1



2

- ❖ Η παροχή των υγρών αστικών αποβλήτων μιας περιοχής καθορίζεται από την πυκνότητα των κατοίκων της.
- ❖ Στην Ελλάδα η μέση ημερήσια παροχή των λυμάτων κυμαίνεται από 150-350 L/άτομο.

3

- ❖ Τα λύματα που καταλήγουν στην Ψυττάλεια από το λεκανοπέδιο Αττικής ανέρχονται σε 750.000 m³/ημέρα με προοπτική το 1.000.000 m³/ημέρα.



4

Οι μέσες τιμές των παραμέτρων (mg/L) των αστικών λυμάτων, όπως μετρήθηκαν σε τέσσερις μονάδες βιολογικού καθαρισμού της χώρας μας

Πίνακας 8.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά αστικών λυμάτων (Λέκκας, 2001 με τροποποιήσεις).

| Παράμετροι (mg/L) | Ηράκλειο | Λάρισα | Κόρινθος | Μυτιλήνη |
|-------------------|----------|--------|----------|----------|
| BOD ₅ | 334 | 288 | 280 | 420 |
| COD | 733 | 483 | 460 | 925 |
| Λιωρούμενα στερεά | 302 | 192 | 322 | 450 |
| Ολικό άζωτο | 67 | 70 | 45 | 84 |
| Ολικός φωσφόρος | | | 16 | 74 |

5

Βιοχημικά και χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD, COD)

- ❖ Τα απόβλητα που απαιτούν οξυγόνο (Oxygen - demanding wastes) αποτελούνται από συστατικά που οξειδώνονται στο νερό του τελικού φυσικού αποδέκτη, μειώνοντας έτσι τη διαθέσιμη ποσότητα διαλελυμένου οξυγόνου.
- ❖ Αν το διαλελυμένο οξυγόνο μειωθεί, οι υδρόβιοι οργανισμοί απειλούνται και σε ακραίες περιπτώσεις παρατηρείται ακόμη και θάνατος.
- ❖ Επί πλέον, καθώς το διαλελυμένο οξυγόνο μειώνεται, ανεπιθύμητες οσμές, γεύση και χρώμα μειώνουν την δυνατότητα εκμετάλλευσης του νερού για κάποιες χρήσεις όπως π.χ. για ψυχαγωγία (κολύμβηση) ή για ύδρευση.

6

Βιοχημικά και χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD, COD)

- ❖ Τα απόβλητα που απαιτούν οξυγόνο αποτελούνται συνήθως από βιοαποικοδομήσιμα οργανικά συστατικά τα οποία περιέχονται στα υγρά αστικά λύματα ή σε εκροές βιομηχανικών αποβλήτων, όπως αυτά που προκύπτουν από τις βιομηχανίες τροφίμων ή επεξεργασίας χαρτιού.
- ❖ Η οξείδωση ορισμένων ανόργανων ενώσεων μπορεί επίσης να συμβάλλει στην απαίτηση οξυγόνου. Ακόμα και οργανική ύλη φυσικής προελεύσεως, όπως φύλλα φυτών ή περιττώματα ζώων που καταλήγουν σε επιφανειακά νερά, συμβάλλουν στη μείωση του διαλελυμένου οξυγόνου.

7

Βιοχημικά και χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD, COD)

- ❖ Η απαίτηση σε οξυγόνο μπορεί να μετρηθεί και εκφράζεται με διάφορους τρόπους.
- ❖ Οι σημαντικότεροι και ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι βασίζονται στη μέτρηση του **BOD** και του **COD**.
- ❖ Η χημική απαίτηση οξυγόνου ή το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των αποβλήτων.
- ❖ Η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου ή το **βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο** (Biochemical Oxygen Demand, BOD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από μικροοργανισμούς παρακειμένου να αποικοδομήσουν βιολογικά τα απόβλητα.

8

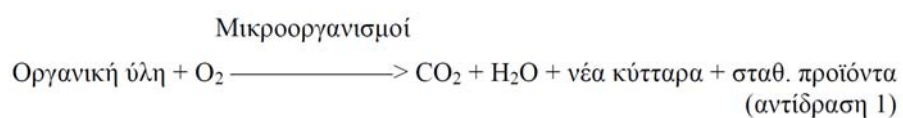
Βιοχημικά και χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD, COD)

- ❖ Το BOD είναι παραδοσιακά πλέον η σημαντικότερη παράμετρος μέτρησης της ισχύος της οργανικής ρύπανσης. Η ποσότητα της μείωσης του BOD ή απλά το BOD σε μία μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι ένας από τους δείκτες-κλειδιά προκειμένου να εκτιμηθεί η απόδοση της επεξεργασίας

9

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

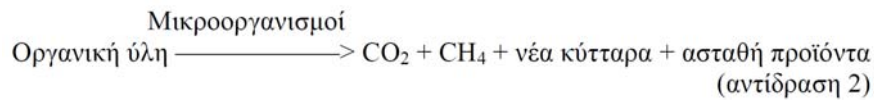
- ❖ Όταν βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη απορρίπτεται στο νερό, οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο απόβλητο, και ειδικότερα τα βακτήρια, την αποικοδομούν σε απλούστερα οργανικά και ανόργανα συστατικά.
- ❖ Όταν η αποσύνθεση αυτή της οργανικής ύλης λαμβάνει χώρα υπό αερόβιες συνθήκες, δηλαδή παρουσία οξυγόνου, τα προϊόντα της αποικοδόμησης είναι αβλαβή και σταθερά όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα θειικά (SO₄), τα φωσφορικά (PO₄) και τα νιτρικά (NO₃). Μία απλουστευμένη αναπαράσταση αερόβιας αποσύνθεσης δίνεται από την αντίδραση (1):



10

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

- ❖ Όταν το διαθέσιμο οξυγόνο είναι ανεπαρκές, λαμβάνει χώρα αναερόβια αποσύνθεση και γίνεται από εντελώς διαφορετικούς μικροοργανισμούς.
- ❖ Αυτοί παράγουν τελικά προϊόντα που είναι επιβλαβή και ανεπιθύμητα, όπως το υδρόθειο (H_2S), η αμμωνία (NH_4) και το μεθάνιο (CH_4). Η αναερόβια αποσύνθεση δίνεται από την αντίδραση (2):



11

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

- ❖ Το μεθάνιο που παράγεται είναι σταθερό, και είναι ένα από τα δραστικά αέρια που συνεισφέρουν στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- ❖ Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για να οξειδώσουν αερόβια τα οργανικά απόβλητα, όπως ήδη αναφέρθηκε, ονομάζεται **βιοχημική απαίτηση οξυγόνου** ή **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD**.

12

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

- ❖ Το BOD συνήθως εκφράζεται σε χιλιοστογραμμάρια απαιτούμενου οξυγόνου ανά λίτρο αποβλήτου (mg/l) ή σε ισοδύναμες μονάδες: γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (g/m³).

| BOD Level <i>(in ppm)</i> | Water Quality |
|-------------------------------------|--|
| 1 - 2 | Very Good There will not be much organic waste present in the water supply. |
| 3 - 5 | Fair: Moderately Clean |
| 6 - 9 | Poor: Somewhat Polluted Usually indicates organic matter is present and bacteria are decomposing this waste. |
| 100 or greater | Very Poor: Very Polluted Contains organic waste. |

<https://www.micsias.in/2018/05/05/biochemical-oxygen-demand/>

13

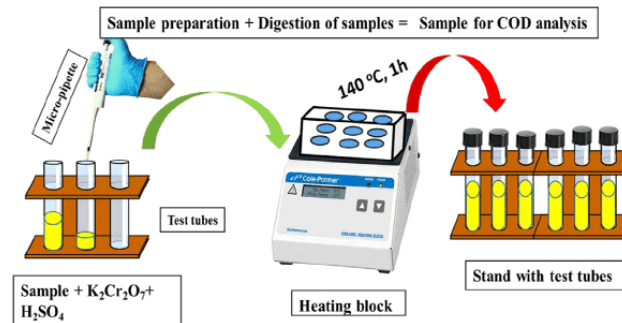
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

- ❖ Ορισμένες οργανικές ενώσεις όπως η κυτταρίνη, οι φαινόλες, το βενζόλιο, οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, το ταννικό οξύ κ.α. είναι ανθεκτικές στη βιοαποικοδόμηση.
- ❖ Άλλες, όπως τα ζιζανιοκτόνα και πολλές ενώσεις που έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για ορισμένες βιομηχανικές χρήσεις δεν είναι βιοαποικοδομήσιμες διότι είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς.
- ❖ Το **COD** είναι μία μετρήσιμη ποσότητα η οποία δεν εξαρτάται ούτε από την ικανότητα βιοαποικοδόμησης των μικροοργανισμών ούτε από την γνώση της χημικής σύστασης και δομής των μορίων που υπάρχουν σε ένα απόβλητο.

14

Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

- ❖ Κατά τη μέτρηση του COD, χρησιμοποιείται ένα ισχυρό οξειδωτικό αντιδραστήριο για να οξειδώσει ποσοτικά την οργανική ύλη.
- ❖ Η μέθοδος μέτρησης του COD είναι αρκετά γρηγορότερη από αυτήν του BOD και διαρκεί μόνο λίγες ώρες.



15

Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

- ❖ Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη μέτρηση του COD αναφέρεται στην συνολική απαίτηση του αποβλήτου σε οξυγόνο.
- ❖ Με το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ των βιοαποικοδομήσιμων και μη ενώσεων που περιέχονται σε ένα απόβλητο.
- ❖ Η μέτρηση του δεν δίνει επίσης πληροφορίες για την ταχύτητα οξείδωσης των ενώσεων.

16

Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

- ❖ Η τιμή του COD ενός αποβλήτου είναι πάντα μεγαλύτερη από αυτήν του BOD.
- ❖ Στην περίπτωση που το σύνολο των ενώσεων του αποβλήτου είναι βιοαποικοδομήσιμες, το COD αντιπροσωπεύει την τελική απαίτηση του αποβλήτου σε οξυγόνο και παρουσιάζει ελαφρά μεγαλύτερη τιμή από αυτήν που αντιστοιχεί στο BOD.
- ❖ Στην περίπτωση που το απόβλητο περιέχει σημαντικές ποσότητες δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων ή μη βιοαποικοδομήσιμων (τοξικών), το COD είναι σημαντικά μεγαλύτερο από BOD.
- ❖ Η **διαφορά COD-BOD** δίνει μια καλή εκτίμηση του μη βιοαποικοδομήσιμου οργανικού φορτίου των αποβλήτων.

17

Οι μέσες τιμές των παραμέτρων (mg/L) των αστικών λυμάτων, όπως μετρήθηκαν σε τέσσερις μονάδες βιολογικού καθαρισμού της χώρας μας

Πίνακας 8.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά αστικών λυμάτων (Λέκκας, 2001 με τροποποιήσεις).

| Παράμετροι (mg/L) | Ηράκλειο | Λάρισα | Κόρινθος | Μυτιλήνη |
|-------------------|----------|--------|----------|----------|
| BOD ₅ | 334 | 288 | 280 | 420 |
| COD | 733 | 483 | 460 | 925 |
| Αιωρούμενα στερεά | 302 | 192 | 322 | 450 |
| Ολικό άζωτο | 67 | 70 | 45 | 84 |
| Ολικός φωσφόρος | | | 16 | 74 |

18

- ❖ >90% των 33 εκατ. τόνων οικιακών και βιομηχανικών απορριμμάτων/έτος στο U.K. εναποτίθενται στους ΧΥΤΑ
- ❖ Πριν από τη δημιουργία του ΧΥΤΑ γίνεται έρευνα και αξιολόγηση του χώρου

19

Περιλαμβάνει:

- ✓ τεχνική και επιστημονική αξιολόγηση των υδρολογικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών
- ✓ τις εδαφικές συνθήκες
- ✓ τους φυσικούς, τους χημικούς και τους βιολογικούς παράγοντες που σχετίζονται με την ικανότητα της θέσης να δεχθεί τα απορρίμματα
- ✓ καθώς και την πιθανή επίδραση της λειτουργίας του ΧΥΤΑ στο περιβάλλον και την τοπική κοινωνία

20

- Η πρόσφατη νομοθεσία προβλέπει συλλογή των στραγγισμάτων και όχι ελεύθερη διάθεσή τους στο γειτονικό περιβάλλον.
- 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.

21

Στραγγίσματα ή εκκρίματα ή διασταλάζοντα υγρά (leachate)



Gurgaon: Villagers raise concerns over leachate at Bandhwari plant
The water that has percolated through the waste and leaked out, also known as leachate, has formed a pool just outside the wall of the dumping site

22

- ❖ 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.

23

Τυπική σύσταση του στραγγίσματος

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 ₅ | 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 ₃ | 1.000-10.000 | 3.000 |
| Ολική σκληρότητα ως CaCO ₃ | 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 |

24

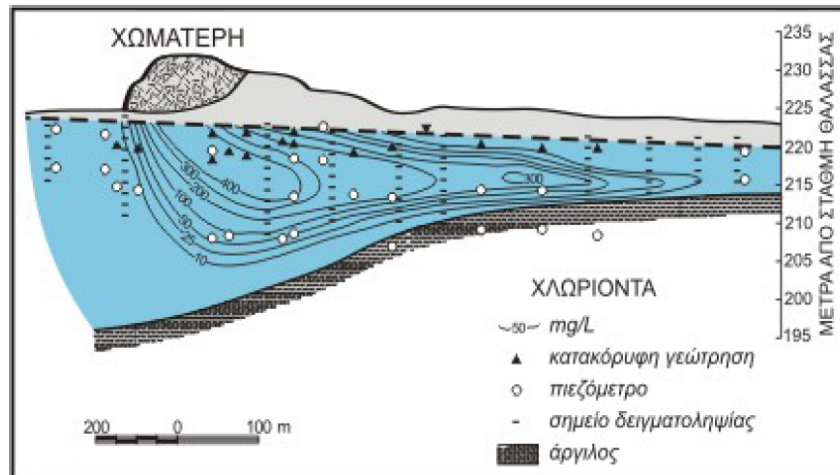
- ❖ Η παρουσία κατιόντων **Ca, Mg, Na, K** οφείλεται στη διάλυση χλωριούχων και θειούχων αλάτων των στοιχείων αυτών. Επίσης συνεισφέρει σημαντικά και η διάλυση ορυκτών από το υλικό επικάλυψης, το οποίο περιέχει συνήθως αργιλικά ορυκτά και ανθρακικό ασβέστιο.
- ❖ Η παρουσία SO_4^{2-} οφείλεται στη μικροβιακή δράση που ανάγει τα θειούχα σε θειϊκά και αφετέρου στην καθίζηση θείου με τη μορφή μεταλλικών σουλφιδίων.
- ❖ Η κύρια πηγή αζωτούχων ενώσεων (**NH₄, NO₃**) στο στράγγισμα οφείλεται στην παρουσία οργανικού αζώτου στα υπολείμματα των τροφών.
- ❖ Τα στοιχεία **Fe, Mn, Al, 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, Hg**.

25

- ❖ Οι ΧΥΤΑ θεωρούνται ως σημειακές πηγές ρύπανσης.
- ❖ Η διαφυγή του στραγγίσματος από τον χώρο απόθεσης έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση 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 πλούμιο αυτό μπορεί να φθάσει σε οριζόντια απόσταση 2 έως 3 km και σε βάθος 50 m.

26

Το σχήμα και η έκταση του πλούμιου ρύπανσης από μια χωματερή

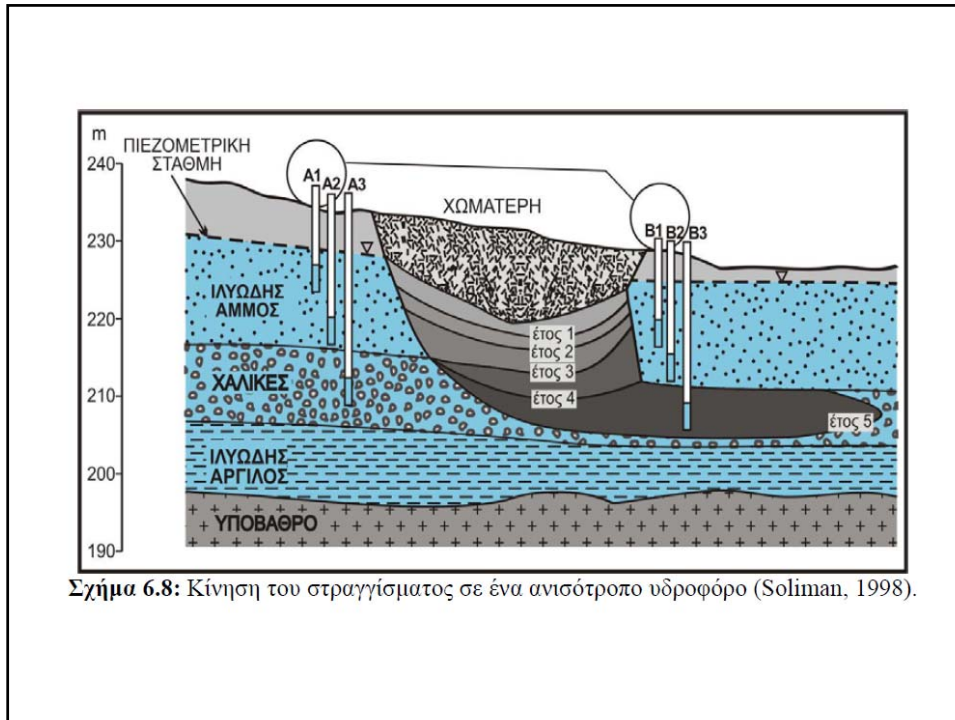


Σχήμα 6.7: Ισογλῶριες καμπύλες του πλούμιου ρύπανσης μιας χωματερής (Soliman, 1998)

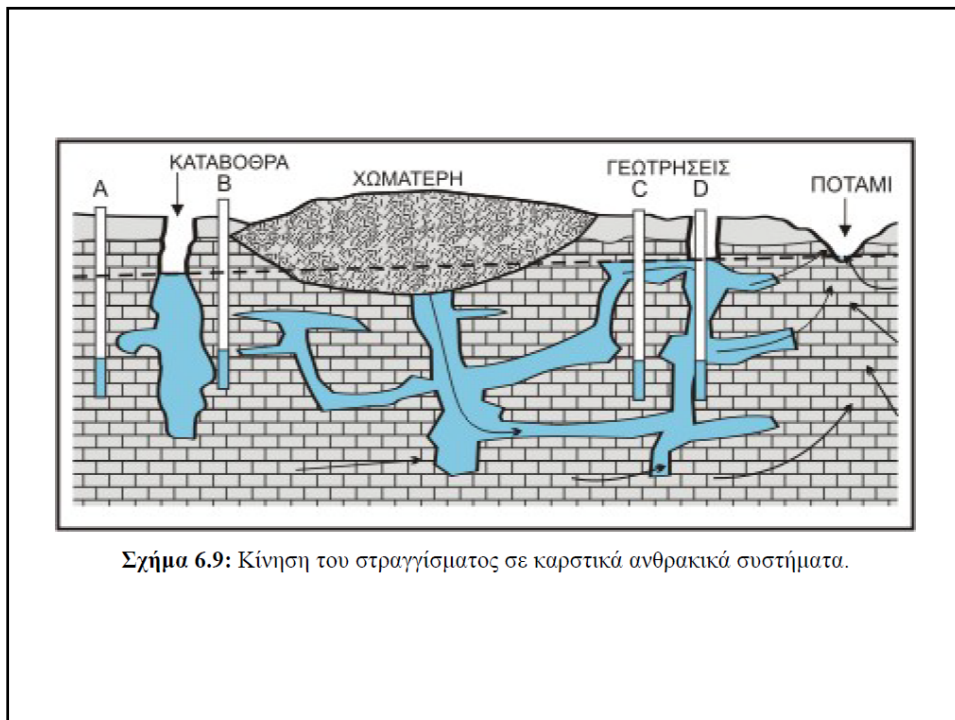
27

- ❖ 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 οξείδωση 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.

28



29



30

- ❖ 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 αυτού τα στραγγίσματα κινούνται με ελεύθερη ροή και
 - καταλήγουν σε δεξαμενή αποθήκευσης στραγγισμάτων, κατάντη του ΧΥΤΑ.

31

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

- Παραγωγή διασταλαζόντων υγρών και πιθανή ρύπανση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και του εδάφους
- Ρύπανση επιφανειακών νερών
- Εκπομπή αερίων (CH_4 , CO_2 , SO_2 , NH_3 , H_2S 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
- Δυσσομία. 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.

32

- περιοχή Ταγαράδων Θεσσαλονίκης (Ιούλιος 2006): Αυτανάφλεξη της χωματερής → εκπομπή διοξινών στο περιβάλλον, που ανιχνεύθηκαν στο έδαφος και τα ζώα σε απόσταση 35 km για χρονικό διάστημα 10-15 ημερών.



33

Το παρόν νομοθετικό πλαίσιο

- Από τη δεκαετία του 1990 ο νόμος προστασίας του περιβάλλοντος της Ε.Ε. και η οδηγία της Ε.Ε. για το υπεδαφικό νερό οδήγησαν σε σημαντική βελτίωση των standards για την λειτουργία των ΧΥΤΑ.
- 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.

34

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

35

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.

36

4. ΚΥΑ 49541/1424/86 (ΦΕΚ 358Β' /17-5-1996) «Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την οδηγία 75/422/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 15^{ης} Ιουλίου 1975». Ορίζει τις διαδικασίες για την έγκριση της λειτουργίας ενός χώρου διάθεσης απορριμμάτων.
5. ΚΥΑ 69269/5387/90 (ΦΕΚ 678Β' /25-10-1990) «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μ.Π.Ε. και λουπές 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».

37

- Τα ορυκτά φράγματα αποτελούν την πιο συνήθη επένδυση για τις θέσεις ΧΥΤΑ.
- Οι γενικές προδιαγραφές για τις ορυκτολογικές επενδύσεις απαιτούν από το υλικό
 - να επιτυγχάνει μέγιστη υδραυλική αγωγιμότητα 1×10^{-9} m/s σε μέτωπο υγρού 1 m και
 - να έχει περιεκτικότητα σε άργιλο τουλάχιστον 20%.
- Κανένας όμως κανονισμός δε δίνει οδηγίες για τις ορυκτολογικές ή φυσικές ιδιότητες για το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί ως επενδυτικό φράγμα.

38

- Τα στραγγίσματα των ΧΥΤΑ είναι ετερογενή, πολύπλοκα υδατικά διαλύματα ανοργάνων και οργανικών χημικών.
- Η αλληλεπίδραση μεταξύ ορυκτών φραγμάτων και των ρευστών είναι δύσκολο να προβλεφθεί αλλά πρέπει να κατανοηθεί ώστε να προβλεφθεί η αντοχή του φράγματος σε βάθος χρόνου.

39

- Από τη δεκαετία του 1990 ο νόμος προστασίας του περιβάλλοντος της Ε.Ε. και η οδηγία της Ε.Ε. για το υπεδαφικό νερό οδήγησαν σε σημαντική βελτίωση των standards για την λειτουργία των ΧΥΤΑ.
- Ο κύριος στόχος, για τον οποίο απαιτείται σήμερα άδεια λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ και επομένως η αξιολόγηση του χώρου βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, είναι η προστασία της υγείας του ανθρώπου, του περιβάλλοντος και τοπικού κάλους από δυσμενείς επιπτώσεις λόγω της ανάπτυξης του ΧΥΤΑ.

40

- Με την παρούσα νομοθεσία μη χρησιμοποιούμενοι υδροφορείς προστατεύονται όπως και οι χρησιμοποιούμενοι.
- Το δυναμικό και οι προοπτικές μελλοντικής χρήσης ενός υδροφορέα δεν αποτελούν πλέον στοιχεία που απλά ήταν ανάγκη να τα λάβει κανείς υπόψη όταν έπρεπε να αποφασίσει για την έκδοση άδειας λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ.

41

- Θέσεις αραίωσης και διασποράς επιτρέπουν την αποδέσμευση των στραγγισμάτων από τον ΧΥΤΑ.
- Στηρίζονται σε διάφορους βελτιωτικούς μηχανισμούς που λειτουργούν σε κορεσμένες και ακόρεστες ζώνες εντός των απορριμμάτων για την μείωση και την αραίωση των ρυπαντικών συστατικών των στραγγισμάτων.
- Η αρχή στην οποία στηρίζονται οι ΧΥΤΑ είναι η απομόνωση των απορριμμάτων και των στραγγισμάτων από το περιβάλλον για σημαντικές χρονικές περιόδους χρησιμοποιώντας μηχανικά φράγματα.

42

Σχεδιασμός των 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.

43

Σχεδιασμός των ΧΥΤΑ

- 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 >0.95 .
- Η συμπύκνωση 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 συμπύκνωσης μετά από έντονη βροχόπτωση και παγετό.

44

Κατηγορίες στεγανών υποστρωμάτων

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

45

1. Άκαμπτα

Σκυρόδεμα (εκτοξευόμενο ή σπλισμένο)

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 σπλισμένο 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 σπλισμένο 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.

46

2. Εύκαμπτα φυσικά υλικά – Ορυκτολογικά φράγματα

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 $<10^{-9}$ m/s.

Χημικά επεξεργασμένο έδαφος

Συνήθως προστίθενται στο έδαφος πολυφωσφορικά οξέα ή βιτουμειούχα 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 και μειώνει περισσότερο, την έτσι και αλλιώς χαμηλή υδροπερατότητα του μπεντονίτη.

47

3. Συνθετικά υλικά

Συνθετικές μεμβράνες (γεωμεμβράνες)

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 υλικά αυτά κατεργάζονται με διάφορες προσμίξεις και διατίθενται στην αγορά με εμπορικά ονόματα και με μορφή φύλλων πάχους 3 mm.

48

Γεωμεμβράνες

- Οι κυριότερες ιδιότητές τους: 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 συμπυκνωμένης αργιλικής στρώσης.

49

Γεωμεμβράνες

- Γεωσυνθετικές αργιλικές μεμβράνες (Geosynthetic Clay Liners, GCL): αποτελούνται από μια αργιλική στρώση (μπεντονίτης) που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο συνθετικών μεμβρανών ή μια αργιλική στρώση συγκολλημένη σε μια συνθετική μεμβράνη.
- Κατασκευάζονται βιομηχανικά και διατίθενται έτοιμες στο εμπόριο, επιτυγχάνοντας μικρές τιμές της υδροπερατότητας και μειωμένη πιθανότητα διαρροής των στραγγισμάτων.

50

Χωροθέτηση των ΧΥΤΑ

- Οι ΧΥΤΑ συχνά τοποθετούνται:
 - ✓ σε εγκαταλελειμμένα λατομεία,
 - ✓ σε περιοχές απόληψης άμμων και χαλικιών
 - ✓ σε περιοχές απόληψης αργίλων βιομηχανιών τούβλων.
- Εκσκαφές αργίλων τουβλοποιΐας προσφέρουν πλεονεκτήματα για την απόρριψη των απορριμμάτων αφού οι σχηματισμοί αυτοί έχουν από τη φύση τους μικρή διαπερατότητα και επιπλέον πληροφορίες που αφορούν το ιστορικό των εξορυκτικών δεδομένων της περιοχής.

51

- Τα απορρίμματα είναι το μόνο υλικό που υπάρχει σε επαρκείς ποσότητες για την ανάπλαση πολλών θέσεων που έχουν υποστεί υποβάθμιση από παλαιές εξορύξεις ορυκτών.
- Πολυαιθυλενικές μεμβράνες υψηλής πυκνότητας χρησιμοποιούνται για την επένδυση εκσκαφών απόληψης άμμων και χαλικιών όταν άλλα υλικά δεν είναι διαθέσιμα.
- Αυτά τα επενδυτικά υλικά είναι ακριβά, απαιτούν ειδική τοποθέτηση και η αντίστασή τους στα χημικά δεν είναι προβλέψιμη σε βάθος χρόνου.

52

Ορυκτολογικά φράγματα - επενδύσεις

- Η χρήση των ορυκτολογικών φραγμάτων ελαττώνει τον κίνδυνο των περιβαλλοντικών βλαβών που προκύπτουν από την μετακίνηση και διασπορά των υγρών ρύπων.
- Φυσική άργιλος ή μπεντονίτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρωτογενής επένδυση ή σε πιο σύνθετες γεωμεμβράνες.

53

Ορυκτολογικά φράγματα - επενδύσεις

- Συνήθη ορυκτολογικά φράγματα που χρησιμοποιούνται είναι:
 - Επεξεργασμένα τοπικά αργιλικά πετρώματα, μάργες, σχιστοί άργιλοι, ιλυόλιθοι
 - Εισαγόμενος και αναμεμιγμένος μπεντονίτης
 - Συνθετικές γεωμεμβράνες
 - Κονιοποιημένη τέφρα ανθράκων και ανθρακούχος σχιστή άργιλος

54

Απαιτούμενο πάχος Ο.Φ. - επενδύσεων

- Προσδιορίζεται ένα minimum πάχος για τα ορυκτολογικά φράγματα καθώς υπάρχει ένα συγκεκριμένο πάχος που μπορεί να κατασκευαστεί με ασφάλεια τέτοια ώστε οι επιφάνειες να μην υποστούν βλάβη λόγω της αφύγρανσης, της διαφορικής διευθέτησης και της μηχανικής καταπόνησης.
- Το πάχος που απαιτείται για την αποτελεσματική συγκράτηση (περιορισμός) εξαρτάται από τη μέθοδο κατασκευής και τον κίνδυνο μόλυνσης.

55

Εκτίμηση αποτελεσματικότητας Ο.Φ.

- Η αποτελεσματικότητα ενός Ο.Φ. μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τους τρεις μηχανισμούς που επιτρέπουν σε αυτό:
 - α) να εμποδίσει τη ροή ενός ρυπαντή ή μεταφορέα ρυπαντή στο υπέδαφος
 - β) να απορροφήσει ή να ελαττώσει αιωρούμενους ή διαλελυμένους ρυπαντές
 - γ) να εμποδίσει την είσοδο του υπεδαφικού υγρού ώστε να ελαχιστοποιήσει την παραγωγή των στραγγισμάτων.

56

Κριτήρια καταλληλότητας Ο.Φ.

- Η υδραυλική αγωγιμότητα είναι το βασικό κριτήριο για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας ενός Ο.Φ. για τον περιορισμό της ρύπανσης.
- Οι προδιαγραφές που έχουν θεσπιστεί απαιτούν το Ο.Φ.
 - να έχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνει maximum υδραυλική αγωγιμότητα 1×10^{-9} m/s σε υγρό μέτωπο 1m και
 - ότι το υλικό θα πρέπει να έχει minimum περιεκτικότητα σε αργιλικό κλάσμα (particle size $< 0,002\text{mm}$) 20%.

57

- Η υδραυλική αγωγιμότητα των Ο.Φ. εξαρτάται από:
 - ✓ Την κατανομή των πόρων
 - ✓ την ορυκτολογία των αργίλων
 - ✓ την περιεκτικότητα σε νερό υπό συμπίεση, και
 - ✓ την μέθοδο της συμπύκνωσης

58

- Η αργιλική μονωτική στρώση να έχει χαμηλά όρια Atterberg 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.

59

- Η διαφυγή υγρών από τα Ο.Φ. γίνεται διαμέσου πόρων μεταξύ σβόλων, γι'αυτό κατά τη διάρκεια της συμπίεσης, θα πρέπει να θρυμματίζονται υπάρχοντες σβόλοι.
- In situ μετρήσεις υδραυλικής αγωγιμότητας είναι δύσκολο να γίνουν με τα λύματα, και συνήθως υπολογίζονται με διεισδύον νερό.
- Πολλοί ΧΥΤΑ κατασκευάζονται σε παλαιές εκσκαφές για την απόληψη πηλού κεραμικής.
- Πάντοτε, ανεξάρτητα από το αν ο σχηματισμός του υποβάθρου είναι στεγανός λόγω ύπαρξης αργίλων ή πολύ μικρού μεγέθους κόκκων, απαιτείται προστασία από μόλυνση λόγω της εγγύτητάς του προς χώρους υγειονομικής ταφής, ιδίως όταν οι χώροι βρίσκονται κοντά σε ποταμούς ή υδροφορείς πόσιμου νερού.

60

Ορυκτολογική σύσταση μερικών φυσικών επενδυτικών υλικών

- Ιλυόλιθοι και μάργες αποτελούνται κυρίως από αργιλικά ορυκτά αλλά συχνά περιέχουν Qz – Cc και άλλα συνοδά ορυκτά.
- Στις **2:1 αργίλους** ανάμεσα στα TOT στρώματα μπορούν να φιλοξενοούνται κατιόντα Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , οργανικά μόρια και H_2O .
- Η αντικατάσταση π.χ. Al^{3+} από Mg στις οκταεδρικές θέσεις δημιουργεί αρνητικό φορτίο.

61

- Στις 1:1 δομές (**καολινίτης**) υπάρχει περιορισμένη αντικατάσταση.
- Τα διαδοχικά στρώματα συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου και δεν φιλοξενούν ενδοστρωματομένα κατιόντα (interlayer cations) ενώ εξισορροπούν το αρνητικό φορτίο.
- Οι καολινίτες έχουν μικρή CEC (1 10 meq/100gr)

62

- Στους **ιλλίτες** έχουμε δι- ή τρι- οκταεδρικές 2:1 δομές.
- Τα κατιόντα που δεσμεύονται μεταξύ των TOT στρωμάτων είναι K^+ και δεν επιτρέπουν τη δέσμευση H_2O μεταξύ των.
- Αντικαθίστανται μόνο ιόντα που βρίσκονται στη μορφολογική επιφάνεια των σωματιδίων ιλλίτη.
- Η CEC του ιλλίτη είναι 10-40 meq/100gr.

63

- Οι **σμηκτίτες** έχουν επίσης δι- ή τρι- οκταεδρικές 2:1 δομές που ευνοούν την ισόμορφο αντικατάσταση και την δημιουργία ισχυρώς αρνητικού φορτίου.
- Η παρουσία του ενδοστρωματομένου H_2O διευκολύνει την αντικατάσταση κατιόντων από την επιφάνεια των κρυστάλλων.
- CEC: 80-150 meq/100gr

64

- Ο χημισμός ιλυόλιθων προσδιορίζεται με ICP/AES ή XRF.
- Ο ορυκτολογικός προσδιορισμός γίνεται με XRD σε κονιοποιημένα δείγματα.
- Ο υπολογισμός της CEC, της ειδικής επιφάνειας και της κοκκομετρίας γίνεται με τις γνωστές μεθόδους της ιζηματολογίας.
- Υπό ανάπτυξη νέες ειδικές τεχνικές για την απλοποίηση της ποσοτικοποίησης φάσεων για αργιλικά δείγματα με ανάμιξη αργιλικών ορυκτών

65

- Κάθε υλικό αργίλου έχει τις ιδιαιτερότητές του αφού οι γεωλογικοί σχηματισμοί συχνά δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια και διαφέρουν από θέση σε θέση.
- Διαφοροποιήσεις στην ιζηματολογική δομή, την ορυκτολογική σύσταση και στο βαθμό εξαλλοίωσης θα πρέπει να ερευνώνται προ της επιλογής μιας περιοχής για την κατασκευή ΧΥΤΑ.
- Ύπαρξη κροκάλων, ψαμμιτών, μικρές διαφοροποιήσεις στην ορυκτολογία των αργίλων μπορούν να επηρεάσουν τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Ο.Φ. σημαντικά, όπως και την ικανότητά του να συγκρατήσει τα λύματα για μεγάλες χρονικές περιόδους.

66

Table 1. Typical compositions (wt%) and cation exchange capacities (CEC) of *in situ* mudrock liners (Oxford Clay from Stewartby, Beds. UK; Ruabon Marl from Ruabon, Clywd, UK; Gault from Arlesey, Beds. UK)

| Mineral | Oxford Clay | Ruabon Marl | Gault |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------|
| kaolinite | 17 | 28 | 17 |
| illite (and mixed layer IS) | 39 | 14 | 15 |
| smectite | | | 13 |
| chlorite | 3 | | |
| quartz | 26 | 51 | 34 |
| calcite | 13 | 3 | 21 |
| hematite | | 4 | |
| pyrite | 2 | | |
| | | | |
| CEC (meq/100 g) | 19 | 10 | 28 |

67

- Γεωμεμβράνες βασισμένες σε μπεντονίτη ή επενδύσεις Na-μπεντονίτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν δεν υπάρχουν σε μια περιοχή ή κοντά σε αυτή άργιλοι για Ο.Φ. σε ΧΥΤΑ.
- Συνήθως ο Na-μπεντονίτης αναμιγνύεται με χώμα (έδαφος) ή χαλαζιακή άμμο ή σταθεροποιητικά πολυμερή πριν τοποθετηθούν αυτές οι επενδύσεις
- Οι μπεντονίτες συχνά περιέχουν Qz – χριστοβαλίτη – αστρίους – ζεολίθους.

68

- Όταν αναμιχθούν με ποσότητα H₂O και συμπιεστούν, οι μπεντονίτες σχηματίζουν εύκαμπτες επενδύσεις με πολύ μικρή υδραυλική αγωγιμότητα και μεγάλη CEC (80-100 meq/100gr).
- Δεν αποτελεί κατάλληλο υλικό επένδυσης σε κλίσεις εδάφους μεγαλύτερες από λίγες μοίρες.
- Η χημική σταθερότητα του μπεντονίτη δεν μπορεί να προβλεφθεί για μακρές χρονικές περιόδους.

69

Συμβατότητα στραγγισμάτων ορυκτολογικών επενδυτικών φραγμάτων

- Τα λύματα είναι υδατικά διαλύματα ανόργανων και οργανικών ενώσεων
- Οι συγκεντρώσεις των συστατικών τους διαφέρουν με τον χρόνο αλλά και μέσα στο ίδιο το χώρο του ΧΥΤΑ, και η αλληλεπίδραση λυμάτων – επένδυσης δεν είναι εύκολο να μοντελοποιηθεί.
- Αρχικά στον ΧΥΤΑ το pH είναι ~5, όταν επικρατήσουν μεθανογενετικές συνθήκες το pH αυξάνεται σε περίπου 8.

70

- Μελέτες για την επίδραση των διαφόρων διαλυμάτων στις αργίλους έχουν γίνει για αρκετές δεκαετίες (Grim, 1953).
- Οξέα και βάσεις μπορούν να προκαλέσουν διασπάσεις των αργίλων:
 - ✓ Τα οξέα διαλύουν το Al, Fe, Alkali metals, και τις αλκαλικές γαίες από τις αργίλους
 - ✓ ενώ οι βάσεις διαλύουν το SiO₂.
- Η αντικατάσταση του φυσικού νερού των πόρων από λύματα αλλάζει την γεωχημεία του ρευστού των πόρων, και επηρεάζει την μικροδομή, το πορώδες και την περατότητα της επένδυσης.

71

- Ο ιλλίτης και ο καολινίτης είναι σχετικά σταθεροί στις αναμενόμενες τιμές pH.
- Όμως αν οι τιμές του pH γίνουν πολύ όξινης ή βασικής (5 ή 8) τα αργιλικά ορυκτά μπορεί να διαλυθούν ή να μετασχηματισθούν με σύγχρονες αλλαγές στην υδραυλική τους αγωγιμότητα και την αντοχή τους σε τάση και διάτμηση.
- Μπεντονίτες και ιλυόλιθοι με μεγάλη περιεκτικότητα σε σμηκτίτη μπορούν να αραιώνουν την περιεκτικότητα των διαλυμάτων σε ιόντα K⁺, Na⁺ και NH₄⁺ με ιοντοανταλλαγή, απελευθερώνοντας άλλα κατιόντα όπως Ca.

72

- Μερικοί ερευνητές θεωρούν ότι οι μπεντονίτες συρρικνούνται καθώς τα σωματίδια των σμηκτιτών κροκιδώνονται εφόσον εκτεθούν σε πυκνά ιοντικά διαλύματα όπως αυτά των λυμάτων των ΧΥΤΑ.
- Ο σμηκτίτης και τα σμηκτιτικά στρώματα του ιλλίτη είναι δυνατόν να μετατρέπονται σε ιλλίτη σε ορισμένες χημικές και θερμοκρασιακές συνθήκες.
- Εφόσον τα διαλύματα είναι πλούσια σε K^+ και σε $T > 35 \text{ }^\circ\text{C}$, μετά από συνεχείς κύκλους ενυδάτωσης και ξήρανσης, ο σμηκτίτης υφίσταται **ιλλιτιοποίηση**.

73

Ιλλιτιοποίηση

- Αυτό οδηγεί στην ελάττωση του όγκου διόγκωσης λόγω της προσρόφησης των ιόντων K και της συμπύκνωσης του διπλού στρώματος της αργίλου.
- Το αποτέλεσμα είναι:
 - ✓ η κροκίδωση

74

Τι είναι η κροκίδωση; (1)

- Η διεργασία κατά την οποία επιτυγχάνεται η αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων.
- Κατά το στάδιο της κροκίδωσης τα χημικά κροκιδωτικά (κυρίως άλατα του τρισθενούς αργιλίου και του τρισθενούς σιδήρου) οδηγούν στη μείωση των δυνάμεων που παρεμποδίζουν την προσέγγιση και συνένωση των κολλοειδών σωματιδίων.
- Συχνά, χρησιμοποιούνται και διάφορα πολυμερή ώστε να επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερη αφαίρεση υλικού.

75

Τι είναι η κροκίδωση; (2)

- Σαν κολλοειδή (διαλύματα) χαρακτηρίζονται τα υλικά (στερεά, υγρά ή αέρια), που έχουν διαχυθεί σε πολύ λεπτό καταμερισμό μέσα σ' ένα μέσο, π.χ. νερό.
- Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι συσσωματώματα ατόμων ή μορίων ή ανάμικτα τεμάχια, που είναι μεγαλύτερα από τα μεμονωμένα άτομα ή μόρια, αλλά πάντως πολύ μικρά, ώστε να παρουσιάζουν μεγάλη ειδική επιφάνεια.

76

Τι είναι η κροκίδωση; (3)

- Τα κολλοειδή, όπως και τα άλλα αιωρούμενα υλικά, προσελκύουν στην επιφάνεια τους (προσρόφηση) διάφορα ιόντα (π.χ. υδροξυλίου OH^-), κατά τρόπο εκλεκτικό, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται στην πράξη ομόσημα ηλεκτρισμένα με ένα δυναμικό πεδίο γύρω τους
- Τα κολλοειδή που αιωρούνται στο νερό συνήθως είναι φορτισμένα με αρνητικό φορτίο, με αποτέλεσμα να απωθούνται μεταξύ τους.

77

Τι είναι η κροκίδωση; (4)

- Η αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων γίνεται με προσθήκη αλάτων του τρισθενούς σιδήρου και τρισθενούς αργιλίου, ή διάφορα πολυμερή τα οποία ονομάζουμε κροκιδωτικά (coagulants) (συνήθως άλατα του αργιλίου ή του σιδήρου).
- Ταχεία ανάδευση του νερού επιτυγχάνει ομοιόμορφη μίξη των κροκιδωτικών και τη δημιουργία μικρών συσσωματωμάτων τα οποία ονομάζονται κροκίδες.

78

Τι είναι η κροκίδωση; (5)

- Ωστόσο, οι κροκίδες που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία, λόγω μικρού μεγέθους δεν μπορούν ακόμα να αφαιρεθούν με καθίζηση.
- Γι'αυτό το σκοπό ακολουθεί η θρόμβωση (flocculation), διεργασία κατά την οποία σχηματίζονται συσσωματώματα μεγαλύτερου μεγέθους (θρόμβοι).

79

Ιλλιτιοποίηση

- Αυτό οδηγεί στην ελάττωση του όγκου διόγκωσης λόγω της προσρόφησης των ιόντων Κ και της συμπύκνωσης του διπλού στρώματος της αργίλου.
- Το αποτέλεσμα είναι:
 - ✓ η κροκίδωση,
 - ✓ η συρρίκνωση,
 - ✓ η αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας, και
 - ✓ η ελάττωση της ικανότητας των αργίλων να προσροφούν ιόντα,
 και επομένως η ακεραιότητα της επένδυσης διακυβεύεται.

80

- Αν πολυφασικές ιλυολιθικές επενδύσεις εκτεθούν σε όξινα λύματα για παρατεταμένο χρόνο, τα μη αργιλικά ορυκτά θα υποστούν επίσης διάφορες αντιδράσεις.
- Διάλυση του ασβεστίτη και άλλων ευδιάλυτων φάσεων θα γίνει έως ότου τα λύματα αποκτήσουν σχεδόν ουδέτερο pH.
- Το σχηματιζόμενο υλικό, μπορεί να μεταναστεύσει με τα ρευστά και είναι πιθανό να ελαττώσει την υδραυλική αγωγιμότητα μπλοκάροντας πόρους.
- Είναι επίσης δυνατόν να παρατηρηθεί σχηματισμός και καθίζηση αλάτων, κυρίως γύψου και αλίτη, εφόσον τα λύματα γίνουν υπέρκορα σε Ca_2^+ , Na^+ , SO_4^+ ή Cl^- .

81

- Η διεργασία αυτή μπορεί να είναι αντιστρεπτή εφ' όσον υπάρξουν αλλαγές στην T, το pH ή την συγκέντρωση του διαλύματος.
- Αν το pH του διαλύματος αυξηθεί, ή με διάλυση του CaCO_3 ή φυσικά λόγω μεθανογένεσης, θα παρατηρηθεί καθίζηση βαρέων μετάλλων στα ανώτερα λίγα εκατοστά της επένδυσης.
- Η παρουσία οργανικής ύλης στους φυσικούς ιλύολιθους μπορεί επίσης να οδηγήσει σε ελάττωση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο διάλυμα λόγω συμπλοκοποίησης.

82

- Η αλληλεπίδραση μεταξύ ιλυολιθικών επενδύσεων και λυμάτων δεν έχει συχνά ως αποτέλεσμα την έντονη συρρίκνωση που παρατηρείται όταν ο μπεντονίτης εκτίθεται στην επίδραση των λυμάτων ΧΥΤΑ στο εργαστήριο, επειδή ο αριθμός των ορυκτών φάσεων που υπάρχουν σ'αυτούς είναι μεγάλος και λόγω των χαμηλών περιεκτικότητων σε διογκούμενες αργίλους

83

- Οι αντιδράσεις μεταξύ της επένδυσης και των λυμάτων εξαρτώνται κυρίως από
 - ✓ την αρχική ορυκτολογική σύσταση της επένδυσης,
 - ✓ τη σύσταση και
 - ✓ την συγκέντρωση των διαφόρων ειδών ιόντων στα λύματα και την T στον ΧΥΤΑ.
- Η απόδραση (μετακίνηση) των λυμάτων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με επενδύσεις χαμηλής υδραυλικής περατότητας και με την συλλογή των λυμάτων.

84

Επιπτώσεις στους Χ.Υ.Τ.Α.

- Η ποσοτικοποίηση των αναλογιών των φάσεων σε μία ορυκτολογική επένδυση ενός ΧΥΤΑ θα επέτρεπε τον προσδιορισμό της σταθερότητας της επένδυσης στην μακροχρόνιο επίδραση των διαλυμάτων.
- Παρότι η σύσταση των διαλυμάτων των ΧΥΤΑ διαφέρει, τα γενικά στοιχεία για τον σχηματισμό των διαλυμάτων και η συστασιακή τους ανάπτυξη είναι σε γενικές γραμμές γνωστή.
- Η ορυκτολογική διαφοροποίηση μεταξύ ΧΥΤΑ αλλά και εντός του ΧΥΤΑ θα πρέπει να αποτιμάται, αφού μικρές διαφοροποιήσεις στην ορυκτολογία των αργίλων επιδρούν στην σταθερότητα των πρανών και το δυναμικό της διόγκωσης και στην χημική σταθερότητα της επένδυσης στα λύματα.

85

- Οι σχέσεις μεταξύ διαπερατότητας, περιεκτικότητας σε υγρασία και μεγέθους κόκκων είναι πράγματι σημαντικές για την επιλογή του υλικού επένδυσης. Ωστόσο μπορεί να υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες εξίσου σημαντικοί.
- Η αγωγιμότητα του διαλύματος είναι περισσότερο σχετική από την υδραυλική αγωγιμότητα καθώς τα ορυκτά της επένδυσης θα αντιδράσουν στο νέο χημικό και θερμικό περιβάλλον.
- Απαιτούνται περισσότερες έρευνες για να κατανοήσουμε την κινητική και την θερμοδυναμική των αντιδράσεων σε ορυκτολογικές επενδύσεις ΧΥΤΑ όταν αυτές εκτίθενται στα διαλύματα.

86

- Αν υπάρχουν in situ ιλυόλιθοι, αυτοί δεν αποτελούν μόνο οικονομική λύση αλλά έχουν επίσης την δυνατότητα να ρυθμίζουν όξινα διαλύματα και συνήθως δεν υφίστανται σημαντικές αλλαγές στην ικανότητά τους να διογκώνονται όταν εκτεθούν στα λύματα.
- Η συρρίκνωση που οφείλεται στην κατάρρευση των διογκούμενων αργιλικών ορυκτών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι πολύ σημαντική η γνώση και της ορυκτολογικής επένδυσης αλλά και η συμβατότητα επένδυσης λυμάτων, σε διάφορες θέσεις του ΧΥΤΑ, πριν αρχίσει η πλήρωσή του.

87

- Προσθετικά όπως ο CaCO_3 και ο μπεντονίτης, μπορεί να αυξάνουν την ρυθμιστική ικανότητα της επένδυσης και να ελαττώνουν την διαπερατότητα ενώ συγχρόνως αυξάνουν την δυνατότητα ελάττωσης της περιεκτικότητας των διαλυμάτων προσθέτοντας ιοντοανταλλακτικούς παράγοντες αλλά και καθίζηση των βαρέων μετάλλων.
- Αντίθετα, η ιλλιτιοποίηση του σμηκτίτη μπορεί να οδηγήσει σε αυξήσεις της διαπερατότητας σε κυρίως μόνο-ορυκτολογικές μπεντονιτικές επενδύσεις.

88

- Οι περισσότεροι ΧΥΤΑ δεν έχουν ακόμη αδρανοποιηθεί και η αξιοπιστία των επιλογών θέσης δεν έχει ακόμη αξιολογηθεί.
- Η χρήση μια ορυκτολογικής επένδυσης στους ΧΥΤΑ μπορεί να ελαττώνει την άμεση πιθανότητα μόλυνσης των υδροφορέων και των ποταμών αλλά δεν μπορούμε ποτέ να περιμένουμε να βρούμε έναν 100% ασφαλή χώρο.