

«Περιβαλλοντική Μηχανική»

Διδάσκοντες Καθηγητές
Γκαϊντατζής Γεώργιος
Δούναβης Αθανάσιος

Ξάνθη, Εαρινό Εξάμηνο 2025

Χώροι υγειονομικής ταφής

Εξέλιξη Ταφής (στην Ελλάδα)

- Λιγότερη επιθυμητή επιλογή στην ιεραρχία διαχείρισης
- Χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) ή χωματερές (αρχικά)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ ή ΧΥΤ) (υπάρχουσα κατάσταση)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ) (υπάρχουσα και μελλοντική κατάσταση)

Χώροι υγειονομικής ταφής



Αποκατάσταση χωματερής στον
Κουρουπητό Χανίων: το περίφημο
φαράγγι ανεξέλεγκτης διάθεσης ΑΣΑ

Χώροι υγειονομικής ταφής

Κατηγορίες χώρων ταφής στην Ευρώπη (οδηγία 1999/31/ΕΚ)

Μη επικίνδυνων αποβλήτων: Εδώ περιλαμβάνονται και τα αστικά/δημοτικά στερεά απόβλητα της κατηγορίας 20 του ΕΚΑ, που δεν έχουν επικίνδυνες ιδιότητες. Επίσης, περιλαμβάνονται και επικίνδυνα απόβλητα που μετά από κάποια επεξεργασία έχουν καταστεί μη επικίνδυνα (έχει μειωθεί η επικινδυνότητά τους κάτω από κάποια όρια).

Επικίνδυνων αποβλήτων: Δέχονται μόνο επικίνδυνα απόβλητα.

Αδρανών αποβλήτων: Δέχονται αδρανή απόβλητα, που είναι τα λιγότερο «επιβαρυντικά» σε σχέση με τα προηγούμενα απόβλητα.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Στόχοι μείωσης βιοαποδομήσιμων αποβλήτων στην Ευρώπη (οδηγία 1999/31/ΕΚ)

«Έως 16/7/2010, 16/7/2013 και 16/7/2020 τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που οδηγούνται για υγειονομική ταφή να μειωθούν στο 75%, 50% και 35% της συνολικής (κατά βάρος) ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995 (ή νωρίτερα αν υπήρχαν παλαιότερα έγκυρα δεδομένα της Eurostat), αντίστοιχα»

- Στην Ελλάδα, οι στόχοι αυτοί δεν έχουν επιτευχθεί.

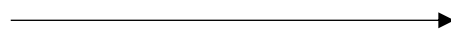
Χώροι υγειονομικής ταφής

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες οδηγίας 1999/31/ΕΚ που αφορούν το φυσικό φραγμό κάτω από το ΧΥΤΑ

- ΧΥΤ μη επικινδύνων: $K \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s, πάχος ≥ 1 m
- ΧΥΤ επικινδύνων: $K \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s, πάχος ≥ 5 m
- ΧΥΤ αδρανών: $K \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s, πάχος ≥ 1 m

Αν δεν πληρούνται τα παραπάνω, τότε απαιτείται τεχνητός φραγμός που να οδηγεί στα ίδια χαρακτηριστικά κατ'ελάχιστο

Συχνότητα ελέγχου εκπομπών



Έλεγχος παραμέτρων	Φάση λειτουργίας	Φάση μεταφροντίδας
Όγκος εκχυλισμάτων	Μηνιαίως	Ανά εξάμηνο
Σύσταση εκχυλισμάτων*	Ανά τρίμηνο	Ανά εξάμηνο
Όγκος και σύσταση επιφανειακών υδάτων	Ανά τρίμηνο	Ανά εξάμηνο
Δυνητικές εκπομπές αερίων και ατμοσφαιρική πίεση (CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S, H ₂ , κ.λπ.)	Μηνιαίως	Ανά εξάμηνο

*: Οι παράμετροι που μετρούνται εξαρτώνται από τη σύνθεση των αποβλήτων.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Χωροθέτηση ΧΥΤ - Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία χωροθέτησης ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- Αναπτύσσεται μια επιστημονική προσέγγιση χωροθέτησης,
- Παρουσιάζονται οι υποψήφιες περιοχές στο κοινό / πολιτικούς,
- Εκφράζεται η κοινωνική αντίδραση που μπορεί να οδηγήσει στην απόρριψη κάποιων ή ίσως και όλων των υποψήφιων περιοχών, ακόμα και αυτών που επιστημονικά υπερτερούν.

Βήμα 1 Αποκλείονται εξ αρχής κάποιες περιοχές που δεν μπορούν να δεχθούν έναν ΧΥΤΑ (π.χ. δίπλα σε έναν οικισμό, μέσα σε μια αρχαιολογική περιοχή, πάνω σε ένα έλος).

Βήμα 2 Γίνεται έρευνα πεδίου κατά τη οποία προσδιορίζονται οι υποψήφιες για χωροθέτηση περιοχές.

Βήμα 3 Στις εναπομένουσες περιοχές, γίνεται ιεράρχηση βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων ιεράρχησης, καθένα από τα οποία έχει συγκεκριμένη βαρύτητα.

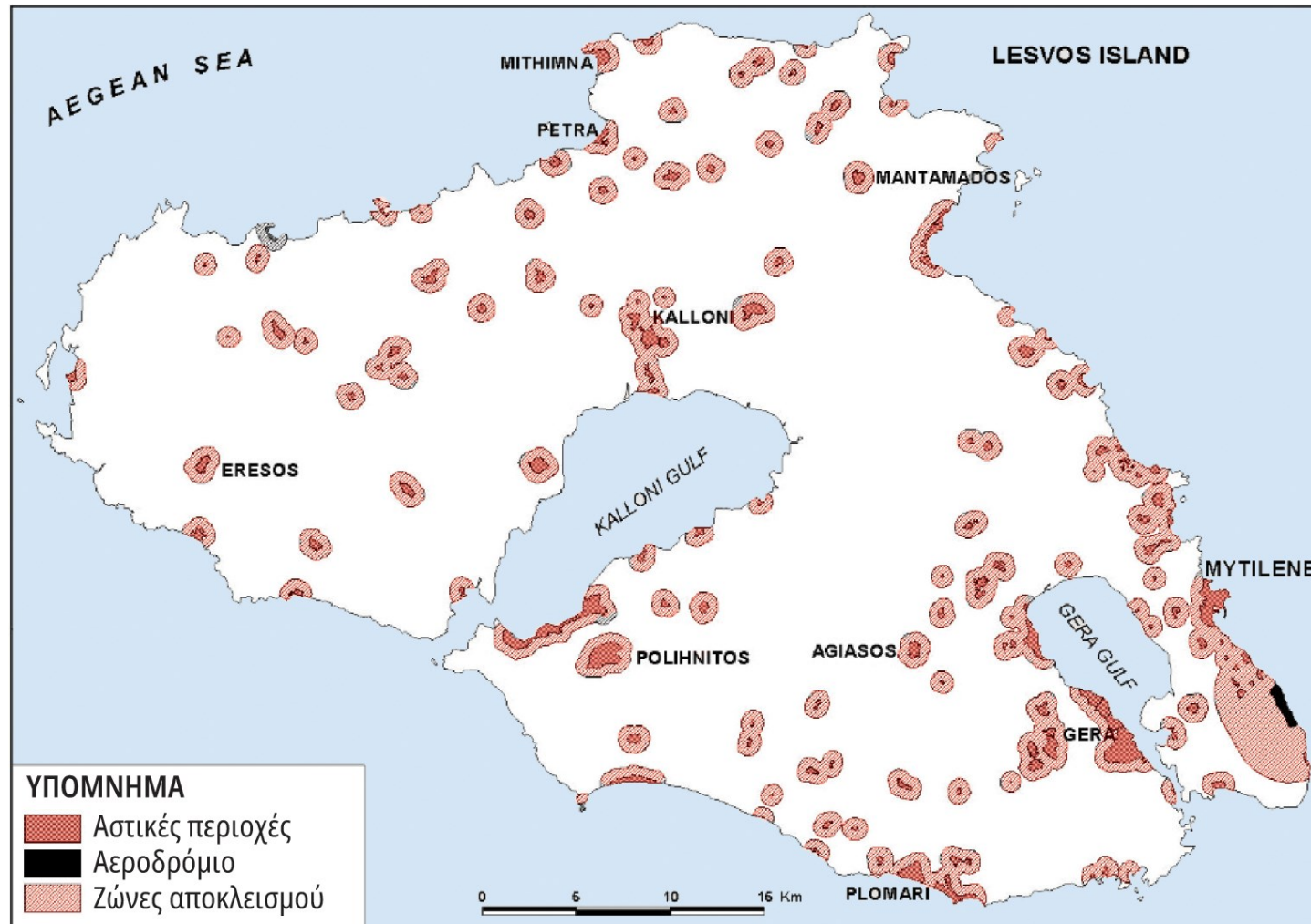
Χώροι υγειονομικής ταφής

Κριτήρια χωροθέτησης ΧΥΤΑ στη Λέσβο

Κριτήριο	Περιοχές που αποκλείονται με τις αποστάσεις προστασίας σε m (buffer zones)
Αστικές περιοχές (οικισμοί και στρατόπεδα)	< 500
Αεροδρόμια	< 3.000
Σημεία υδροληψίας από υπόγεια νερά (πηγές, πηγάδια)	< 500
Επιφανειακά νερά	< 500 (από σημεία υψηλών ποσοτήτων επιφανειακού νερού) και πλήρης αποκλεισμός εντός υγροτόπων
Οικολογικά ευαίσθητες περιοχές	< 500 από υγροτόπους και εντός περιοχών που έχουν χαρακτηριστεί «NATURA 2000»
Αρχαιολογικές περιοχές και μελλοντικά θεσμοθετημένες αρχαιολογικές περιοχές	Πλήρης αποκλεισμός εντός των ορίων αυτών
Ζώνες ανάπτυξης	Πλήρης αποκλεισμός εντός των ορίων αυτών
Φυσικά μνημεία και πάρκα	< 500
Υδρογεωλογία	Αποκλείονται καταρχάς οι περιοχές με υψηλή και μέτρια υδροπερατότητα καθώς και τα γεωθερμικά πεδία
Φυσική βλάστηση	Αποκλείονται περιοχές υπό αναδάσωση, δάση καρυδιάς, βελανιδιάς και κωνοφόρων, καλλιεργήσιμη γη, υγρότοποι
Καλλιέργειες	Αποκλείεται καλλιεργήσιμη γη, < 500 από αρδευόμενες περιοχές και από λεκάνες πλημμύρας (σε χρονικό ορίζοντα 100 ετών)

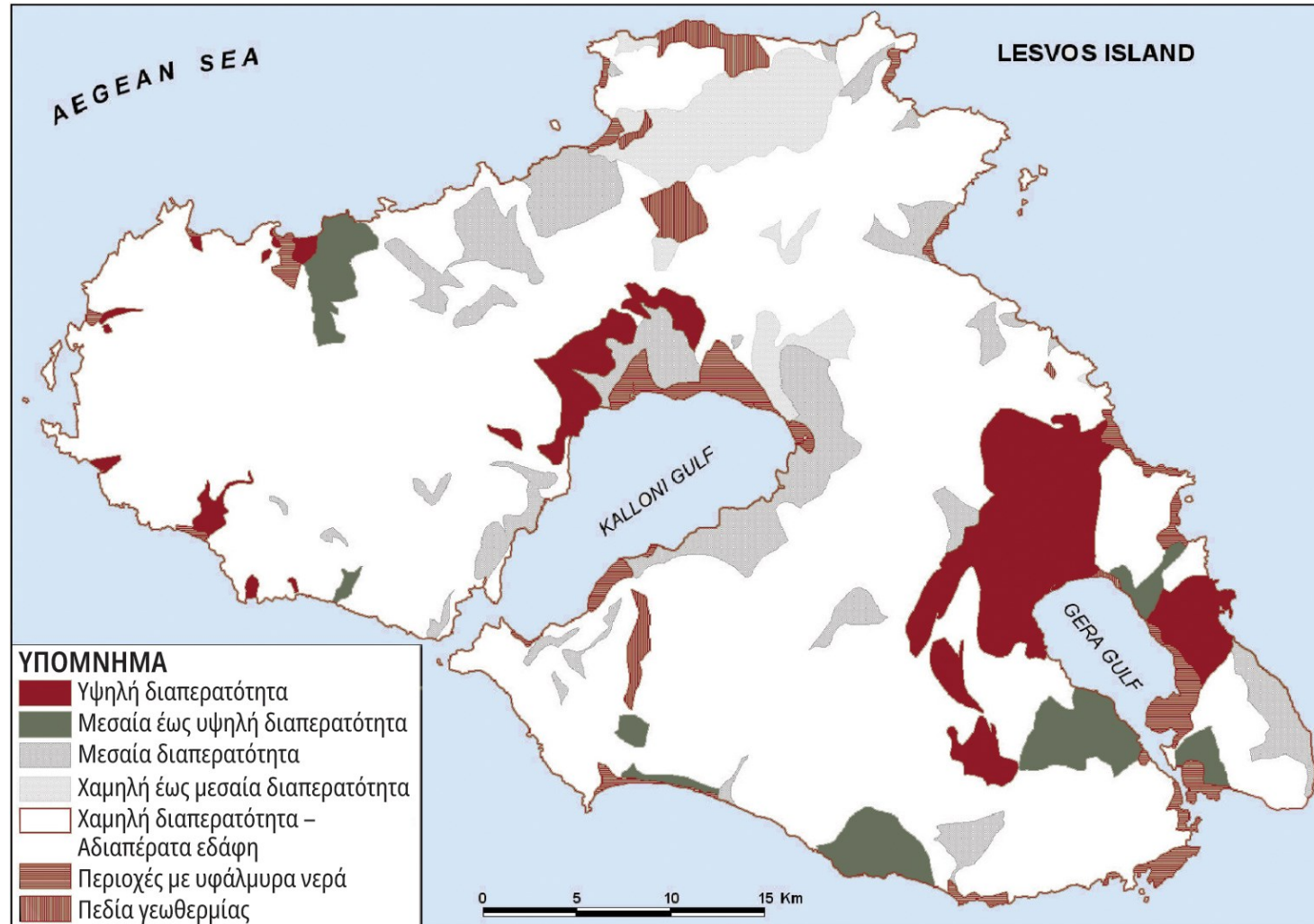
Χώροι υγειονομικής ταφής

Παράδειγμα χωροθέτησης ΧΥΤ στη Λέσβο – Ζώνες αποκλεισμού



Χώροι υγειονομικής ταφής

Παράδειγμα χωροθέτησης ΧΥΤ στη Λέσβο – Υδρογεωλογικό κριτήριο



Χώροι υγειονομικής ταφής

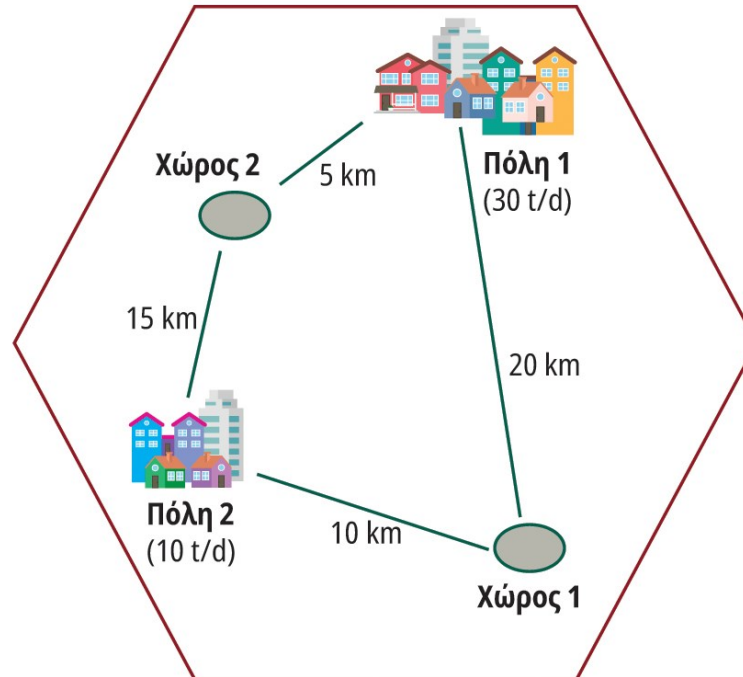
Βαθμός	Υδρογεωλογία	Απόσταση από πηγές νερού (km)	Βλάστηση περιοχής	Διαθεσιμότητα υλικού κάλυψης (βάθος εκσκαφής σε m και απόσταση μεταφοράς αυτού σε km)	Μέσο βάθος ΧΥΤΑ (m ³ αποβλ. ανά m ²)
10	Χαμηλής περατότητας πέτρωμα· βάθος σε υδροφορέα > 50 m	>2 km κατάντη, >0,5 km ανάντη	Λιβάδια	>3 m	>25
9			Φρύγανα χωρίς την παρουσία δέντρων	2–3 m	22,5–25,0
8		1–2 km κατάντη, <0,5 km ανάντη	Λιβάδια ή φρύγανα με την παρουσία μακίας βλάστησης		20,0–22,5
7	Χαμηλής περατότητας πέτρωμα· βάθος σε υδροφορέα 30–50 m		Λιβάδια ή φρύγανα με αραιά καλλιεργήσιμα δένδρα	1–2 m	17,5–20,0
6		0,5–1 km κατάντη	Υγιές σύστημα μακίας βλάστησης ή υποβαθμισμένος ελαιώνας		15,0–17,5
5	Χαμηλής περατότητας πέτρωμα· βάθος σε υδροφορέα < 30 m		Διάσπαρτα κωνοφόρα ή βελανιδιές	0,5–1 m· απόσταση μεταφοράς < 1,5 km	12,5–15,0
4			Διάσπαρτα μαύρα κωνοφόρα ή καρυδιές	0,5–1 m· απόσταση μεταφοράς > 1,5 km	10,5–12,5
3	Χαμηλής έως μέτριας περατότητας πέτρωμα ανεξαρτήτου βάθους	0,2–0,5 km κατάντη	Νεαρά κωνοφόρα δέντρα (φυσική αναδάσωση)		7,5–10,0
2			Δάση κωνοφόρων ή βελανιδιών	<0,5 m· απόσταση μεταφοράς < 1,5 km	5,0–7,5
1				<0,5 m· απόσταση μεταφοράς > 1,5 km	2,5–5,0
0	Περατά πετρώματα	<0,2 km κατάντη			<2,5

Βαθμός	Απόσταση από αστικές περιοχές (σε km) με συγκεκριμένο πληθυσμό	Ορατότητα από κατοικημένες περιοχές και οδικό δίκτυο	Διακίνηση απορριμματοφόρων μέσω κατοικημένων περιοχών	Χρόνος ζωής ΧΥΤΑ (σε έτη)	Χρήσεις γης στην εγγύτητα του υποψήφιου χώρου
10	>2 km ανεξάρτητα πληθυσμού	Καθόλου ορατότητα	Δεν παρατηρείται	>20	Καμία δραστηριότητα σε ακτίνα 1,5 km
9	1–2 km, <50 κάτοικοι			17,5–20	Αγροτικές ή κτηνοτροφικές δραστηριότητες σε ακτίνα 0,5–1,5 km
8	0,5–1 km, <50 κάτοικοι	>2 km από εθνικό ή αγροτικό δίκτυο	Μέσω πόλεων σε κεντρικό εθνικό δίκτυο	15–17,5	Τουριστικές δραστηριότητες σε απόσταση 0,5–1,5 km
7	1–2 km, 50–1.000 κάτοικοι	>2 km από αστικό κέντρο		12,5–15,0	Κατοικίες σε ακτίνα 0,5–1,5 km
6	0,5–1 km, 50–1.000 κάτοικοι	0,5–2 km από εθνικό ή αγροτικό δίκτυο	Μέσω μίας πόλης σε αγροτικό οδικό δίκτυο	10,0–12,5	Αγροτικές ή κτηνοτροφικές δραστηριότητες σε ακτίνα μικρότερη των 0,5 km (χωρίς οπτική επαφή)
5	1–2 km, 1.000–5.000 κάτοικοι	<0,5 km από εθνικό ή αγροτικό δίκτυο		7,5–10,0	Αγροτικές ή κτηνοτροφικές δραστηριότητες σε ακτίνα μικρότερη των 0,5 km (με οπτική επαφή)
4	0,5–1 km, 1.000–5.000 κάτοικοι	0,5–2 km από αστική περιοχή		5,0–7,5	Τουριστικές δραστηριότητες σε ακτίνα μικρότερη των 0,5 km (χωρίς οπτική επαφή)
3	1–2 km, >5.000 κάτοικοι	<0,5 km από αστική περιοχή	Μέσω περισσότερων της μίας πόλης σε αγροτικό δίκτυο	2,5–5,0	Τουριστικές δραστηριότητες σε ακτίνα μικρότερη των 0,5 km (με οπτική επαφή)
2	0,5–1 km, >5.000 κάτοικοι				
1					Οικίες εντός 0,5 km
0	<0,5 km ανεξάρτητα πληθυσμού			<2,5	

Χώροι υγειονομικής ταφής

Κεντροβαρικότητα

Παράδειγμα ποσοτικοποίησης κεντροβαρικότητας



Πόλη 1: Παράγει 30 t/d
Πόλη 2: Παράγει 10 t/d

Κεντροβαρικότητα Χώρου 1: $20 \times 30 + 10 \times 10 = 700 \text{ t-km/d}$
Κεντροβαρικότητα Χώρου 2: $5 \times 30 + 10 \times 15 = 300 \text{ t-km/d}$

Χώροι υγειονομικής ταφής

Βαθμός	Χαρακτηριστικά κατάντη υδρολογικής λεκάνης			Απόσταση από ευαίσθητα οικοσυστήματα (οικολογία περιοχής)	Ιδιοκτησιακό καθεστώς
	Απόσταση από σώμα νερού	Σημαντικό-τητα σώμα-τος νερού	Σημαντικό-τητα γειτονικής λεκάνης		
10	> 200 m	Οποιοδή-ποτε σώμα νερού		>3 km, διαφορετικές υδρολογικές λεκάνες	Δημοτική γη χωρίς περιορισμούς εγκα-τάστασης ΧΥΤΑ
9	100–200 m	Χείμαρρος* γειτονικής λεκάνης	Υποβαθμισμέ-νη‡ λεκάνη – ουδέτερη περιοχή	>3 km, κοινή υδρολογική λεκάνη	Δημοτική γη – δασική έκταση
8	100–200 m	Χείμαρρος γειτονικής λεκάνης	Σημαντική§ περιοχή	2–3 km, διαφορε-τικές υδρολογικές λεκάνες	
7	100–200 m	Ρέμα† ευρύτερης περιοχής	Υποβαθμισμένη λεκάνη	2–3 km, κοινή υδρολογική λεκάνη	
6	100–200 m	Ρέμα ευρύτερης περιοχής	Ουδέτερη περιοχή	1–2 km, διαφορε-τικές υδρολογικές λεκάνες	
5	100–200 m	Ρέμα ευρύτερης περιοχής	Σημαντική περιοχή	1–2 km, κοινή υδρολογική λεκάνη	Δημοτική γη που χρησιμοποιείται από τον στρατό· ιδιωτική γη με κτηνοτροφική χρήση· καλλιεργημέ-νη ιδιωτική γη
4	<100 m	Χείμαρρος γειτονικής λεκάνης	Υποβαθμισμένη λεκάνη – ουδέ-τερη περιοχή	0,5–1 km, διαφορε-τικές υδρολογικές λεκάνες	
3	<100 m	Χείμαρρος γειτονικής λεκάνης	Σημαντική περιοχή	0,5–1 km, κοινή υδρολογική λεκάνη	
2	<100 m	Ρέμα ευρύτερης περιοχής	Υποβαθμισμένη λεκάνη	0,2–0,5 km, διαφο-ρετικές υδρολογικές λεκάνες	
1	<100 m	Ρέμα ευρύτερης περιοχής	Ουδέτερη περιοχή	0,2–0,5 km, κοινή υδρολογική λεκάνη	Περιοχή αναδάσωσης
0	<100 m	Ρέμα ευρύτερης περιοχής	Σημαντική περιοχή	<0,2 km, κοινή υδρολογική λεκάνη	

*: Σώμα νερού με περιστασιακή ροή νερού κατά τη διάρκεια του χειμώνα;

†: Σώμα νερού με συνεχή ροή νερού κατά τη διάρκεια του χειμώνα

‡: Υποβαθμισμένες λεκάνες είναι αποδέκτες αστικών λυμάτων, ελαιο-λυμάτων, στερεών αποβλήτων

§: Σημαντικές περιοχές περιλαμβάνουν κατοικήσιμες περιοχές, υγροτόπους, αρδευόμενη γη κ.λπ.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Αναλυτική Διαδικασία Ιεράρχησης (ΑΗΡ) (παράδειγμα με 3 κριτήρια)

Κριτήρια	1	2	3
1	1	4	2
2	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$
3	$\frac{1}{2}$	4	1
Άθροισμα στήλης	1,75	9	3,25

Κριτήρια	1	2	3	Μέση τιμή
1	0,57	0,44	0,62	0,54 ή 54%
2	0,14	0,11	0,08	0,11 ή 11%
3	0,29	0,44	0,31	0,35 ή 35%

- Απαιτείται πάνελ ειδικών από διαφορετικούς χώρους (πολιτικοί, επιστήμονες, πολίτες, κ.α.)
- Η βαθμολόγηση είναι σχετική ανά ζεύγη
- Λαμβάνεται η μέση τιμή ή η διάμεσος ανά ζεύγος

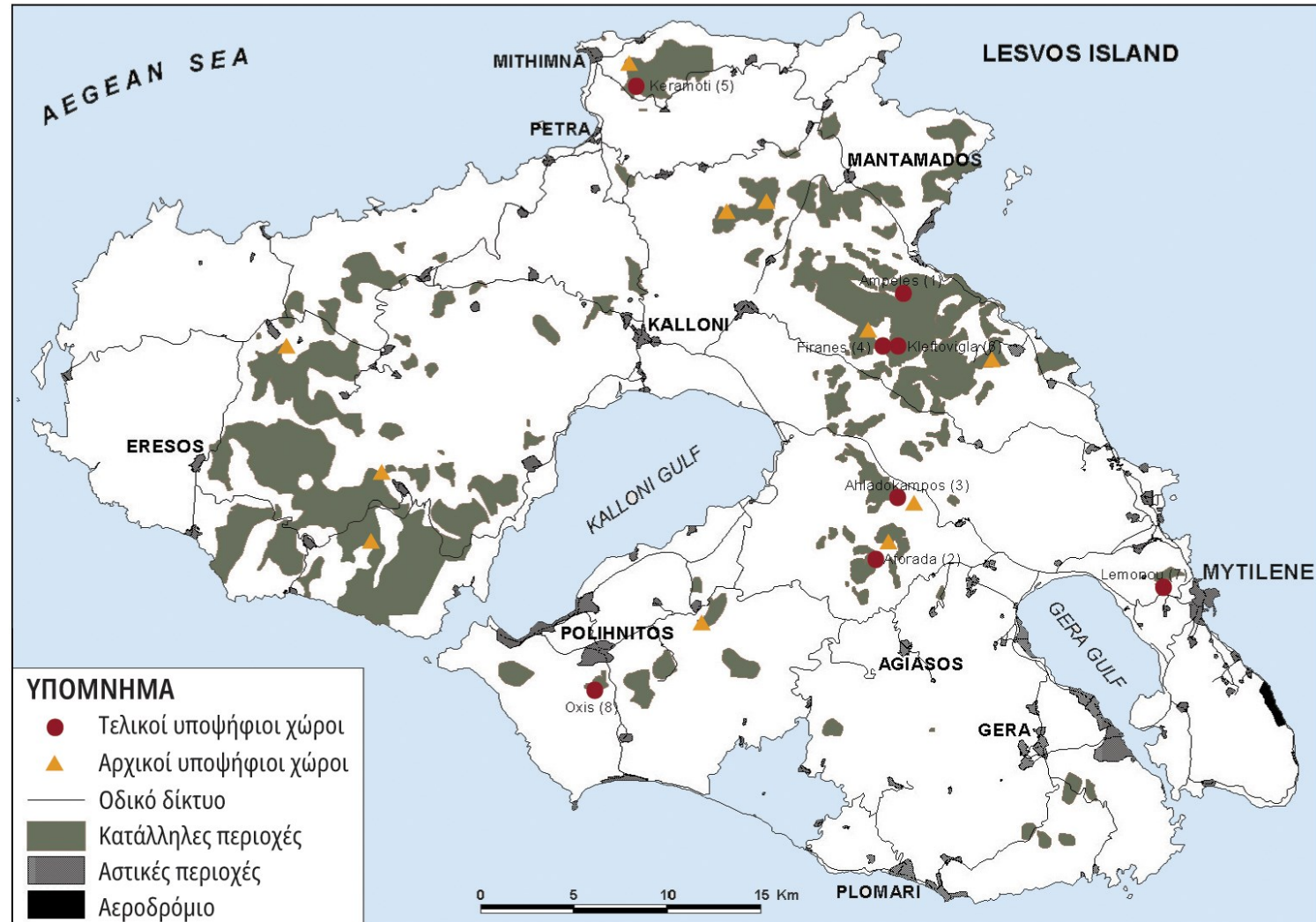
Χώροι υγειονομικής ταφής

Βαθμολόγηση χώρων και συντελεστές βαρύτητας

Κριτήρια	Συντελεστής βαρύτητας (w _i)	Βαθμοί των οκτώ υποψήφιων χώρων (v _{ij})							
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Υδρογεωλογία	7,5%	10	10	10	5	10	10	10	10
Γειτνίαση με πηγές νερού	7,5%	8	10	10	3	8	10	8	10
Φυσική βλάστηση	4,2%	7	3	8	7	9	8	7	7
Χώμα ημερήσιας κάλυψης	8,3%	10	2	10	10	1	2	2	5
Βάθος ΧΥΤΑ	5,0%	6	6	6	7	7	6	5	8
Γειτνίαση με αστικές περιοχές	5,8%	9	10	10	10	5	10	3	5
Ορατότητα	3,3%	10	10	10	10	4	10	10	7
Διακίνηση οχημάτων μέσω κατοικημένων περιοχών	5,8%	8	8	8	8	6	8	10	3
Χρόνος ζωής υποψήφιου ΧΥΤΑ	5,0%	10	10	10	10	10	10	5	10
Χρήση γης	5,8%	5	10	10	1	5	7	1	5
Χαρακτηριστικά κατάντη λεκάνης	5,8%	4	9	10	4	3	10	3	10
Οικολογία περιοχής	2,5%	10	6	5	10	10	10	10	10
Ιδιοκτησία γης	7,5%	4	2	5	3	6	8	3	4
Χαρακτηριστικά ανάντη υδρολογικής λεκάνης	3,3%	9	9	5	6	7	10	2	8
Προσανατολισμός χώρου	4,2%	10	2	10	8	6	1	2	4
Πρόσβαση	5,0%	0	8	8	2	10	0	10	10
Παρουσία δικτύων	1,8%	8	8	9	5	9	2	10	9
Κεντροβαρικότητα χώρου	7,5%	5	7	8	5	0	6	4	0
Υπάρχουσα περιβαλλοντική υποβάθμιση	4,2%	0	0	4	0	4	0	10	8
Τελικ. βαθμός ιεράρχησης (RI _i)		6,90	6,82	8,42	5,81	5,91	6,87	5,65	6,65

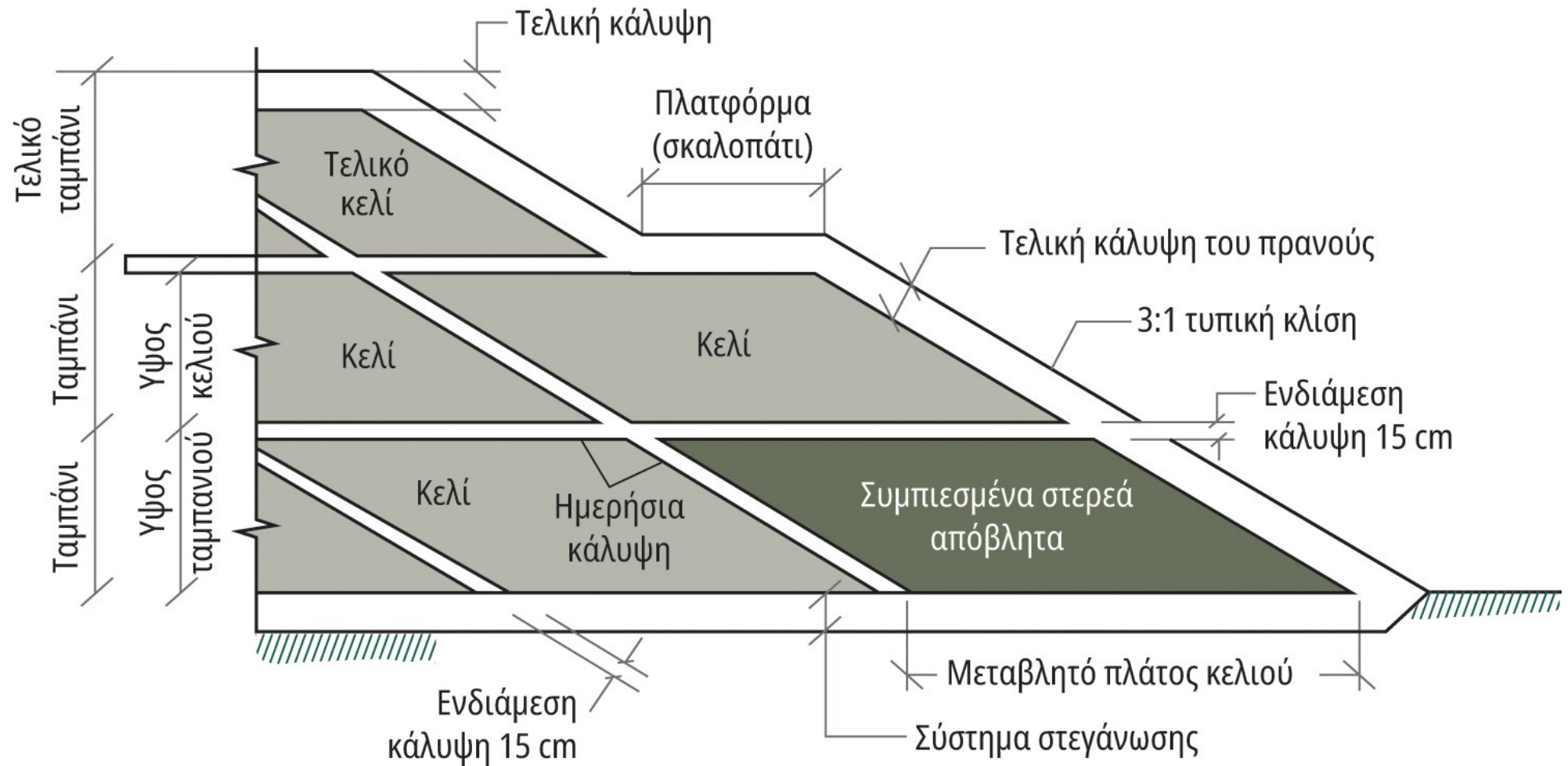
Χώροι υγειονομικής ταφής

Τελικοί υποψήφιοι χώροι



Χώροι υγειονομικής ταφής

Βασικοί σχεδιαστικοί όροι σε ένα ΧΥΤ



Χώροι υγειονομικής ταφής

Διαδοχή στρωμάτων σε ένα ΧΥΤ

	Είδος στρώσης	Ελάχιστο πάχος	Περιγραφή	Προτεινόμενη υδραυλική αγωγιμότητα
Στεγάνωση κορυφής ΧΥΤΑ	Χωμάτινο κάλυμμα	1 m	Να είναι κατάλληλο για ανάπτυξη φυτών. Περιλαμβάνει και έδαφος προστασίας.	Δεν καθορίζεται.
	Γεώφασμα	Λίγα χιλιοστά		
	Αποστραγγιστική στρώση	50 cm	Χαλίκι, Αμμώδες χαλίκι	$>10^{-4}$ m/s
	Αδιαπέρατη στρώση	60 cm	Αργιλικό υλικό	$<10^{-9}$ m/s
	Γεώφασμα	Λίγα χιλιοστά		
	Στρώση εκτόνωσης-συλλογής βιοαερίου	30 cm	Χαλίκι	$>10^{-4}$ m/s
Στεγάνωση πυθμένα	Συμπίεσμένα απορρίμματα + ημερήσια και ενδιάμεση χωματοκάλυψη (βάθος ανάλογα με γεωμετρία και διαστάσεις ΧΥΤΑ)			
	Προστατευτικό χώμα	45–60 cm		
	Γεώφασμα	Λίγα χιλιοστά		
	Στρώση αποστράγγισης	50 cm	Αμμοχάλικο	$10^{-2} - 10^{-3}$ m/s
	Γεώφασμα και στρώση άμμου θαλάσσης (προαιρετικό)	10 cm	Άμμος	
	Εύκαπτη πλαστική μεμβράνη (γεωμεμβράνη)	1,5 mm ή 60 mil	Σύνθετος μήκος 150 m και πλάτος ρολών 5 m	
> 3 m	Τεχνητή αργιλική στρώση (εφόσον απαιτείται)	5cm	Άργιλος συμπίεσμένη	$<10^{-9}$ m/s
				Υδροφόρος ορίζοντας

Χώροι υγειονομικής ταφής

Βασικοί όροι ταφής

- Κελλί (cell)
- Μέτωπο εργασίας
- Κάλυψη (cover)
- Ταμπάνι (Lift)
- Πλατφόρμα
- Πρανή (slope)
- Εκχυλίσματα (leachate)
- Βιοαέριο (biogas)
- Μόνωση ή φραγμός (barrier)
- Γεωμεμβράνες (FML – Flexible Membrane Liner)
- Συμπιεσμένη άργιλος (compacted clay)
- Γεωυφάσματα (geotextile)
- Γεωσυνθετική αργιλική μόνωση (GCL)
- Γεωδίκτυα (geonet)
- Τελικό ταμπάνι (final lift)
- Τελική κάλυψη (final cover)
- Περιβαλλοντικός έλεγχος (monitoring)
- Κλείσιμο ΧΥΤ (closure)
- Μεταφροντίδα (post-closure monitoring)



Χώροι υγειονομικής ταφής

Βασική διαστασιολόγηση ΧΥΤ

$$V = \frac{T}{d} \cdot n \cdot \left(1 + \frac{c}{100}\right) \cdot (1 - \theta)$$

V: Απαιτούμενη χωρητικότητα ΧΥΤΑ (m³)

T: Ετήσιες ποσότητες απορριμμάτων που φτάνουν στο ΧΥΤΑ (t/y)

d: Φαινομενική πυκνότητα των απορριμμάτων (t/m³)

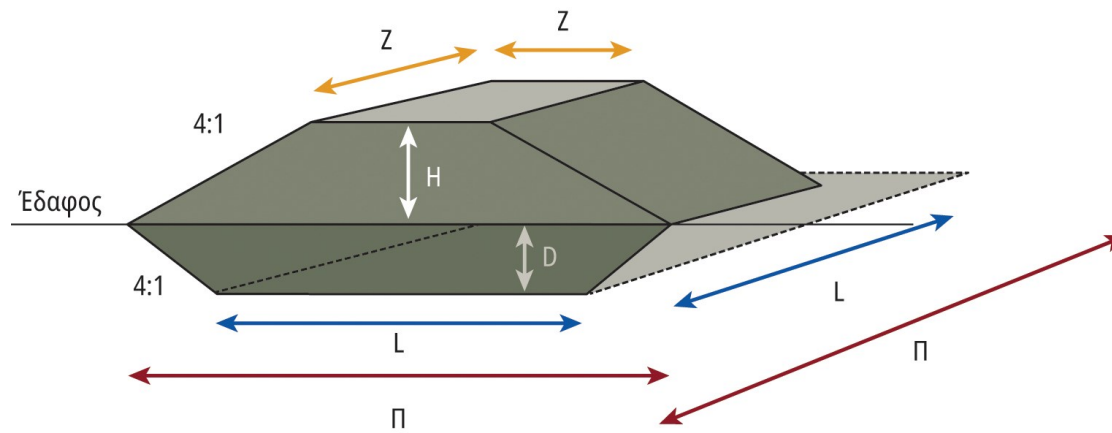
n: Χρόνια λειτουργίας του ΧΥΤΑ (y)

c: Κατ' όγκο ποσοστό του υλικού επικάλυψης επί του όγκου απορριμμάτων (20-25%)

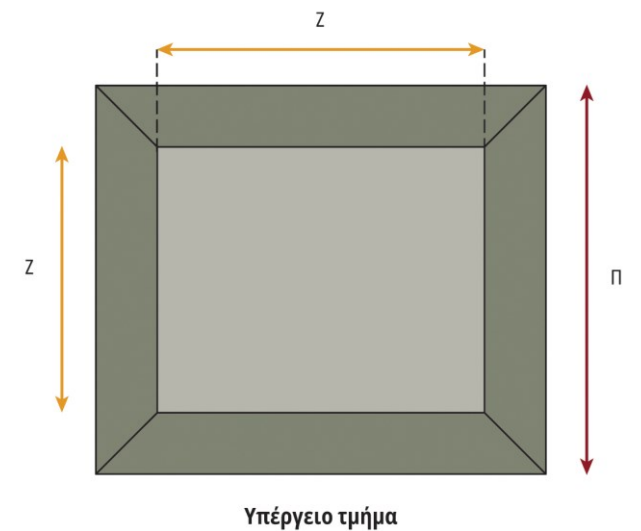
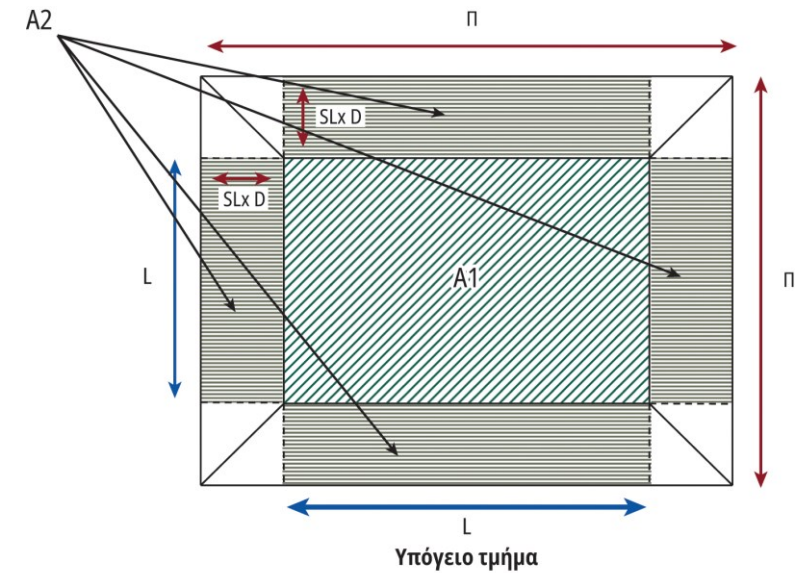
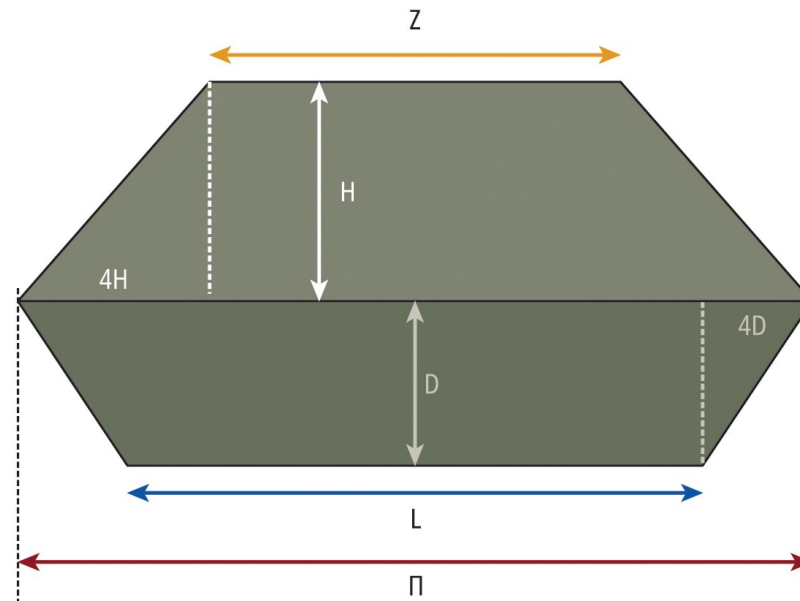
θ: Συνολική καθίζηση των απορριμμάτων (ως ποσοστό του συνολικού όγκου στο σύνολο του χρόνου ζωής του ΧΥΤΑ), συνήθως 25–50%

Χώροι υγειονομικής ταφής

Πιο λεπτομερής
διαστασιολόγηση
ΧΥΤ



Πλάγια τομή με κλίση πρανών 4:1



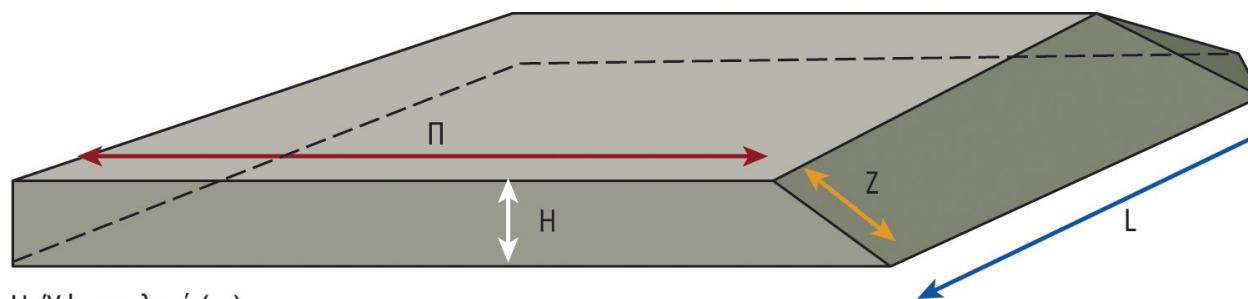
Χώροι υγειονομικής ταφής

Πιο λεπτομερής
διαστασιολόγηση
ΧΥΤ

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΥΤΑ					
Πυκνότητα συμπιεσμένων ΑΣΑ	0.80	t/m³			
Καθίζηση μετά από Χ έτη	25%				
Συνολική υγρή μάζα μετά από Χ έτη	1,835,499	t			
Όγκος συμπιεσμένων απορριμμάτων	2,294,374	m³			
Όγκος μετά από καθίζηση	1,720,780	m³			
Ποσοστό χώματος	20%	n/v του ολικού όγκου του ΧΥΤΑ	Αλλαγή μεταβλητών		
Ολικός όγκος (ΑΣΑ+χώμα)	2,150,975	m³	Περιορισμοί		
Απαιτήσεις σε χώμα	430,195	m³	Ημερήσια, ενδιάμεση, τελική κάλυψη		
				ΥΠΟΘΕΣΗ ΓΙΑ ΤΕΤΡΑΓ.	
Υπόγειο τμήμα					
Κλίση πρανών SL	4	to 1	4 οριζόντια 1 κατακόρυφα		
Βάθος εκσκαφής D	10	m	Μέγιστο βάθος εκσκαφής από επιφάνεια εδάφους (ΠΡΟΣΟΧΗ: περιορίζεται από το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή)		
Πάχος στεγάνωσης πυθμένα	1	m	Περιλαμβάνει αργιλικό φραγμό, στρώμα αποστράγγισης και ζώνη προστασίας (έως 1.5 m)		
Μήκος πυθμένα L	260	m	Αλλάξε την τιμή αυτή		
A1	67,600	m²	L * L		
V1 χωρίς γωνίες (υπολογισμοί για χώμα)	884,000	m³			
V1 γωνιών (υπολογισμοί για χώμα)	21,333	m³			
V1 ολικό (υπολογισμοί εδάφους)	905,333	m³	Επιθυμητό >=	430,195	m³
Περίσσεια εδάφους	475,138	m³	Περίσσεια εδάφους		
V1 χωρίς γωνίες (για διάθεση ΑΣΑ)	776,880	m³	Όγκος όπου τα απορρίμματα θα τοποθετηθούν άνω της στεγάνωσης		
V1 των γωνιών (για διάθεση ΑΣΑ)	15,552	m³			
V1 ολικό (διάθεση ΑΣΑ)	792,432	m³			
Μήκος της κάθε πλευράς (Π)	340	m			
Ολική επιφάνεια ΧΥΤΑ (Π*Π)	115,600	m²	Θεωρεί τετράγωνο ΧΥΤΑ		
Υπέργειος όγκος					
Κλίση πρανών SL	4	to 1			
Υψος H άνω του εδάφους (με τελική χωματοκάλυψη)	20	m	Αλλάξε την τιμή αυτή ώστε να πετύχεις περιορισμό D+H < 53 (περιλαμβάνει το πάχος της τελικής κάλυψης, 1-1,5 m)		
Πλευρά Z	180	m	Ελάχιστη τιμή 10 για να επιτρέπει στροφές οχημάτων στην κορυφή		
A2 (Z * Z)	32,400	m²			
V άνω	648,000	m³			
V πλευρά άνω	576,000	m³			
V γωνιών άνω	170,667	m³			
V ολικό άνω	1,394,667	m³	Ισο με (=)	1,358,543	m³

Χώροι υγειονομικής ταφής

Υπολογισμοί ημερήσιας χωματοκάλυψης βάσει διαστάσεων ημερήσιου κελιού



H: Ύψος κελιού (m)

P: Πλάτος κελιού (m)

L: Μήκος ημερήσιου μετώπου κελιού ή μετώπου εργασίας (m)

Z: Πλάτος πρανούς (m)

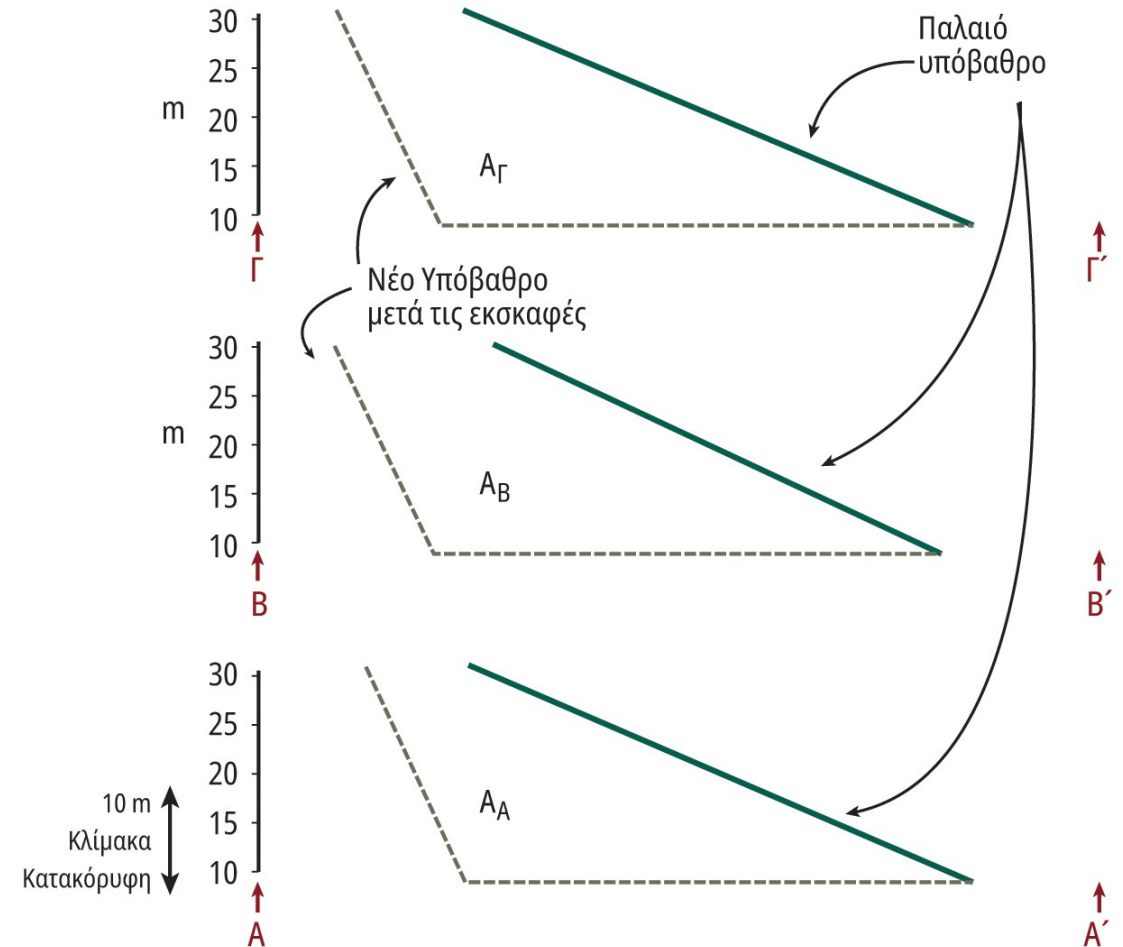
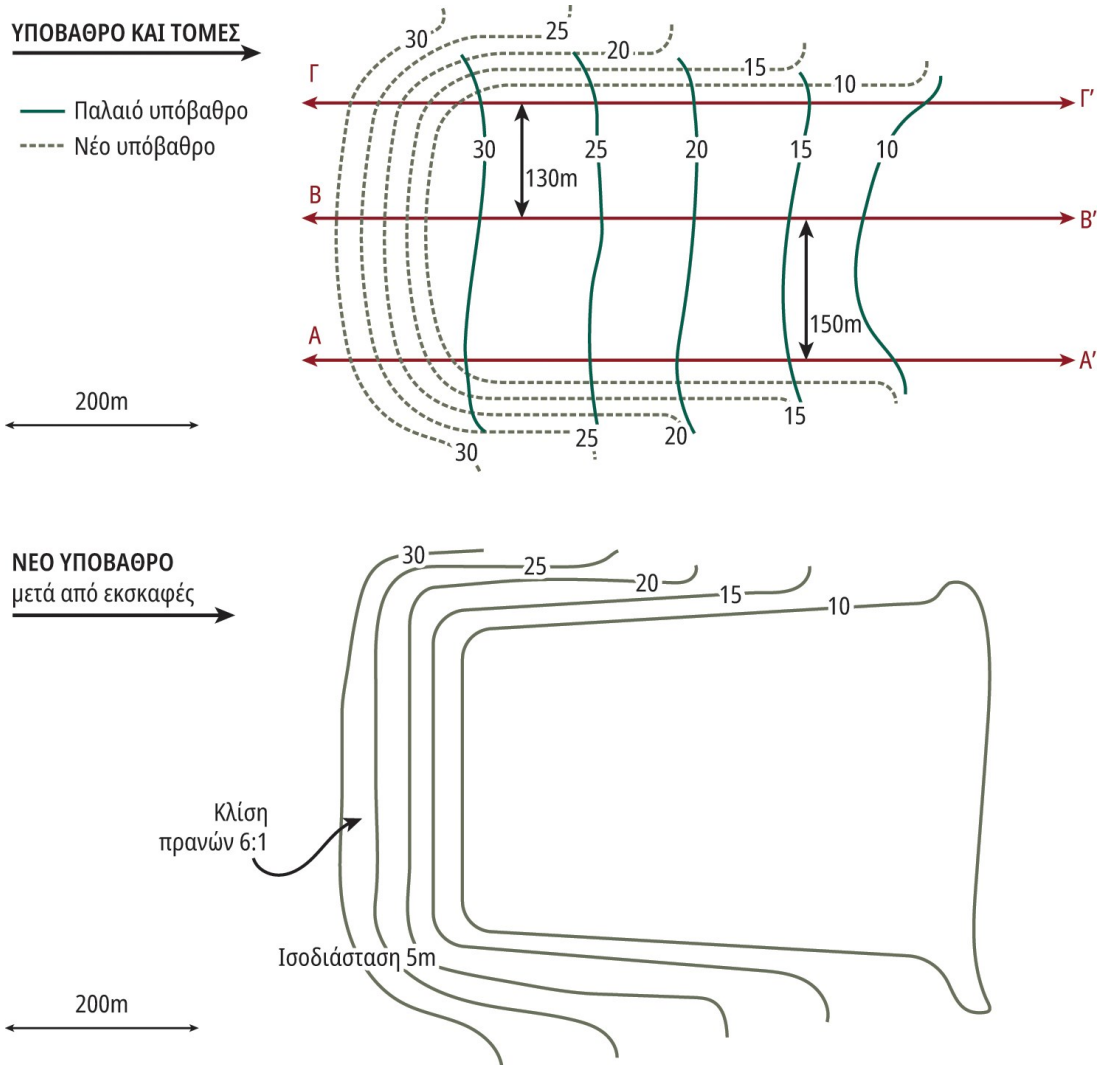
Εισροή απορριμμάτων (t/d)	Μήκος μετώπου L (m)
20–50	8
25–130	10
130–250	12
250–500	15

Ημερήσια είσοδος απορριμμάτων (ton*)	Ημερήσια ποσότητα συμπιεσμένων απορριμμάτων βάσει πυκνότητας 593 kg/m ³ (m ³)	Ημερήσιες απαιτήσεις εδαφικού υλικού (m ³) Βάθος κελιού 1,8 m	Ημερήσιες απαιτήσεις εδαφικού υλικού (m ³) Βάθος κελιού 2,4 m	Ημερήσιες απαιτήσεις εδαφικού υλικού (m ³) Βάθος κελιού 3,0 m	m ³ εδάφους / t εισερχόμενου υλικού			m ³ εδάφους / m ³ ημερήσιων συμπιεσμένων απορριμμάτων		
25	43	4	3	2	0,16	0,12	0,08	9%	7%	5%
51	86	7	5	5	0,14	0,10	0,10	8%	6%	6%
102	171	15	11	8	0,15	0,11	0,08	9%	6%	5%
203	343	28	21	17	0,14	0,10	0,08	8%	6%	5%
508	857	72	54	43	0,14	0,11	0,08	8%	6%	5%
762	1.285	107	80	64	0,14	0,10	0,08	8%	6%	5%
1.016	1.713	143	107	86	0,14	0,11	0,08	8%	6%	5%

*: Βασίζεται σε χωματοκάλυψη 15 cm επί των εναποτιθέμενων και συμπιεσμένων απορριμμάτων και πυκνότητα συμπιεσμένων απορριμμάτων ίση με 593 kg/m³.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Πιο λεπτομερής διαστασιολόγηση ΧΥΤ – Μέθοδος ισοϋψών και τομών



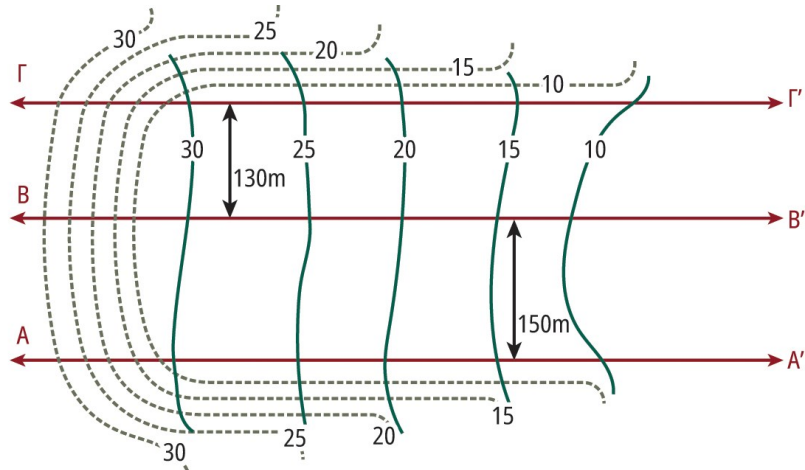
$$V_{\text{εκσ}} = \frac{A_A + A_B}{2} \cdot 150 \text{ m} + \frac{A_B + A_{\Gamma}}{2} \cdot 130 \text{ m}$$

Χώροι υγειονομικής ταφής

Πιο λεπτομερής διαστασιολόγηση ΧΥΤ – Μέθοδος ισοϋψών και τομών

ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΤΟΜΕΣ

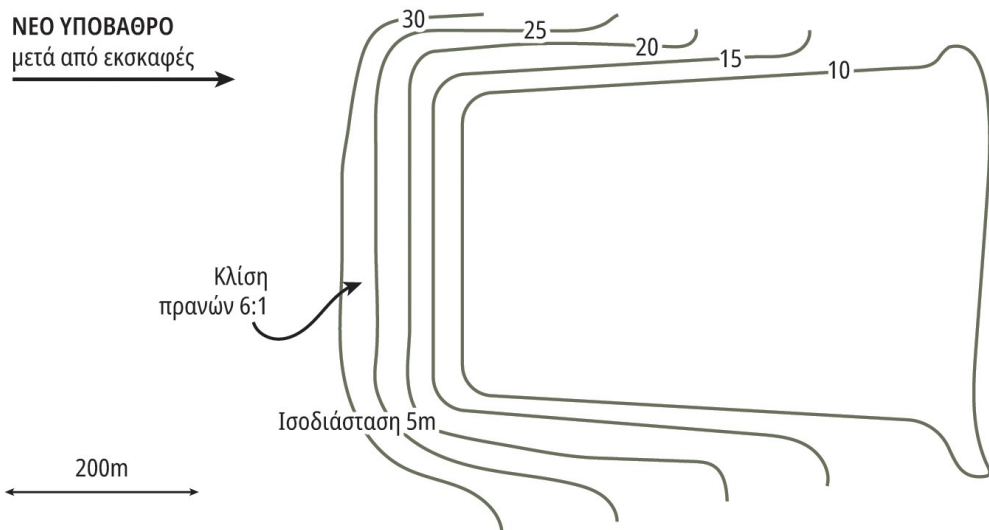
— Παλιό υπόβαθρο
--- Νέο υπόβαθρο



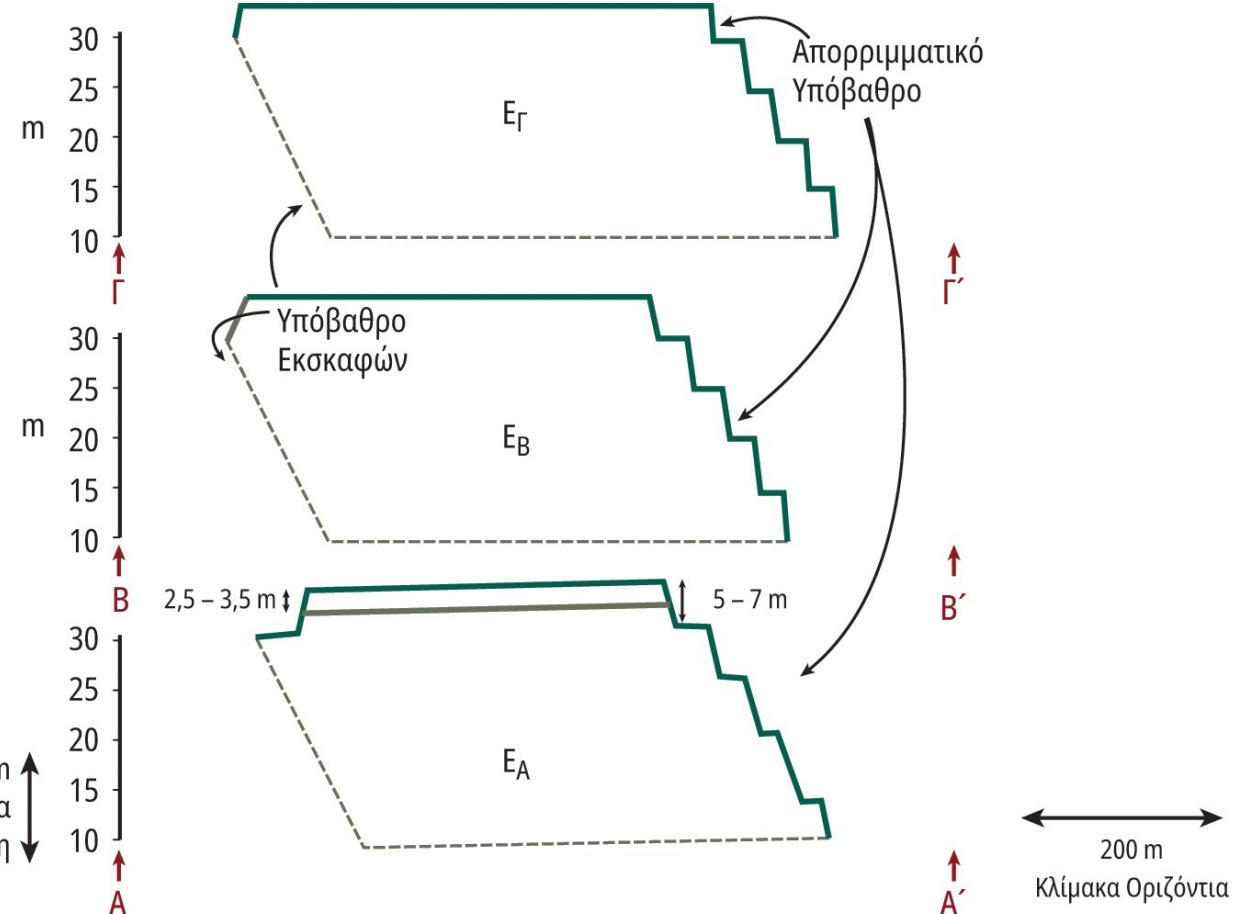
ΝΕΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ
μετά από εκσκαφές

Κλίση
πρανών 6:1

Ισοδιάσταση 5m



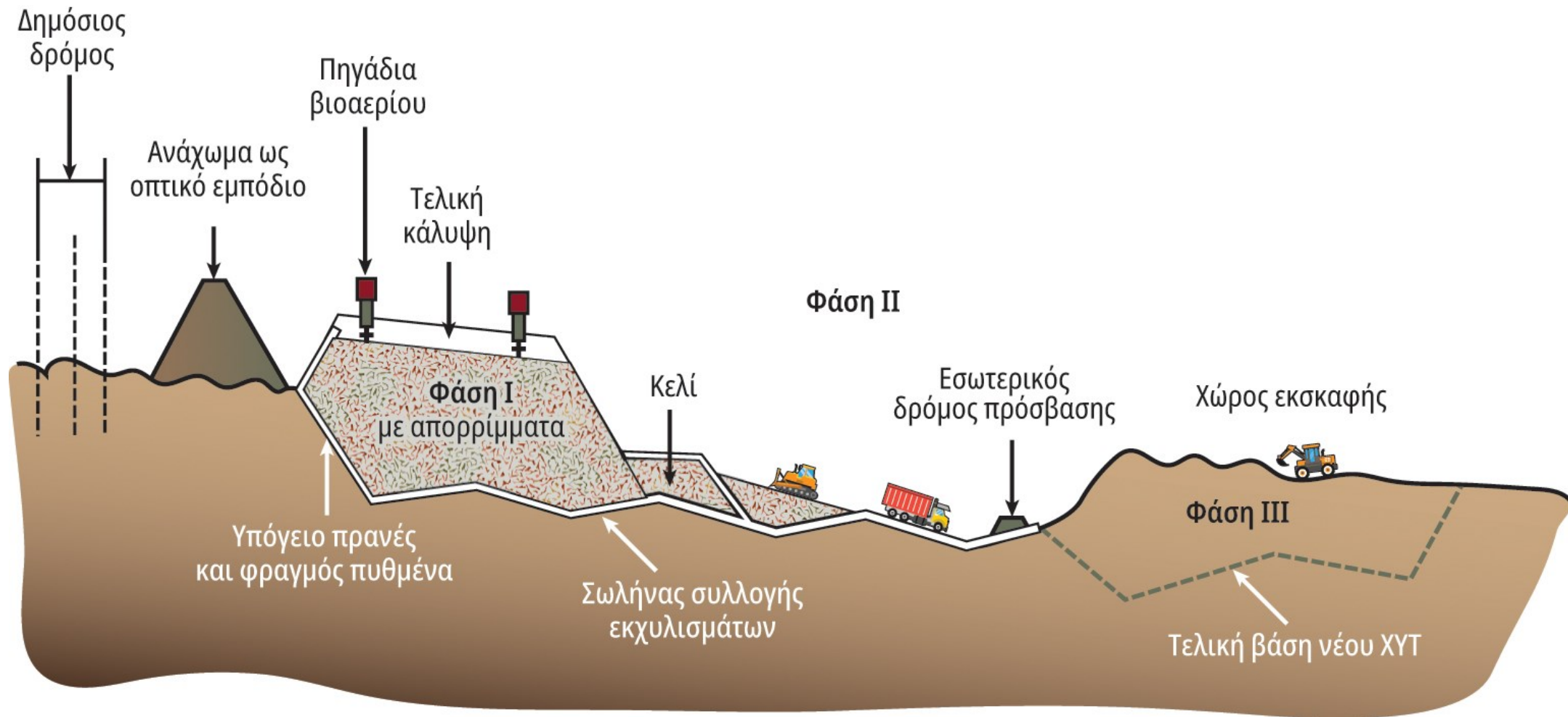
10 m
Κλίμακα
Κατακόρυφη



$$V_{\text{απορρ}} = \frac{E_A + E_B}{2} \cdot 150 \text{ m} + \frac{E_B + E_\Gamma}{2} \cdot 130 \text{ m}$$

Χώροι υγειονομικής ταφής

Ανάπτυξη
ΧΥΤ σε
φάσεις



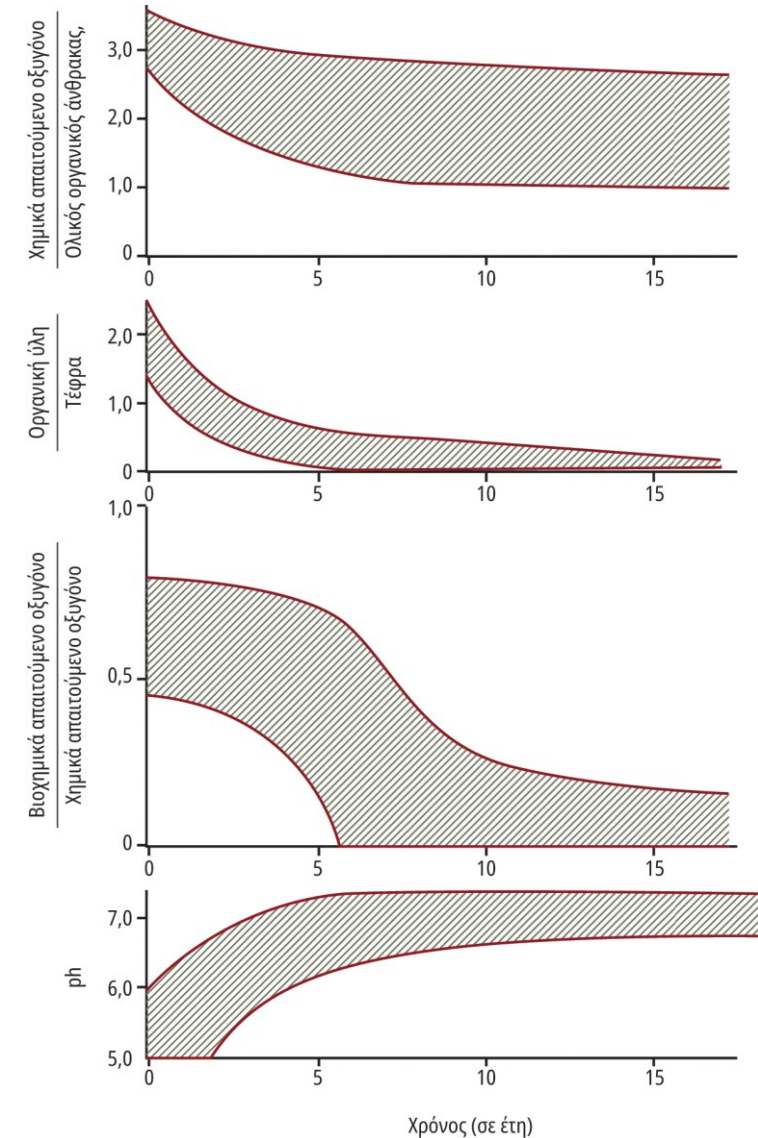
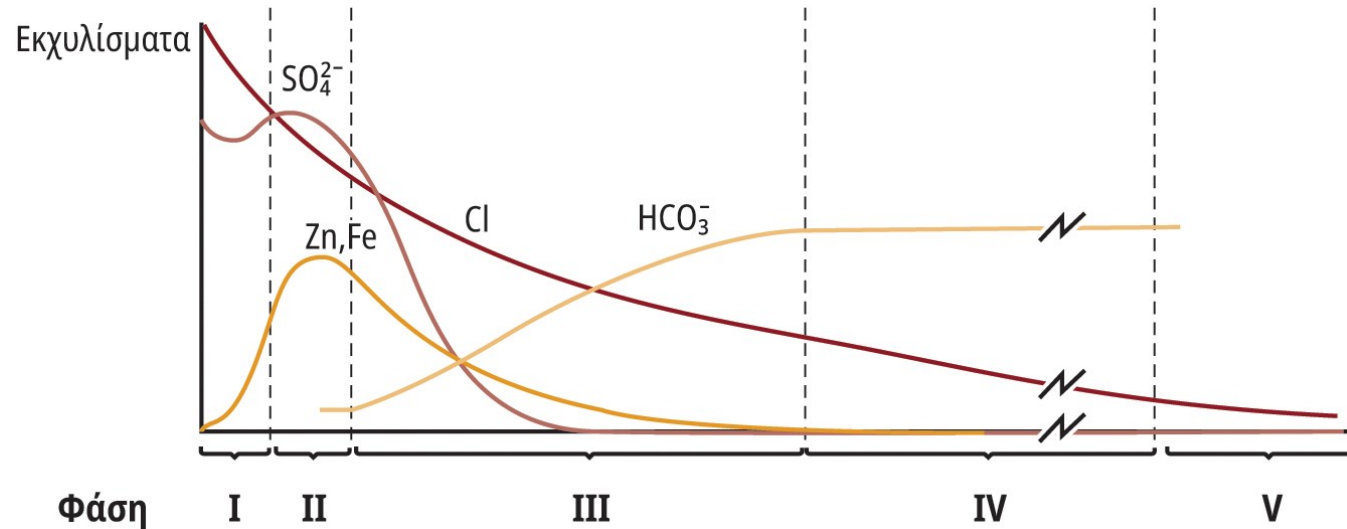
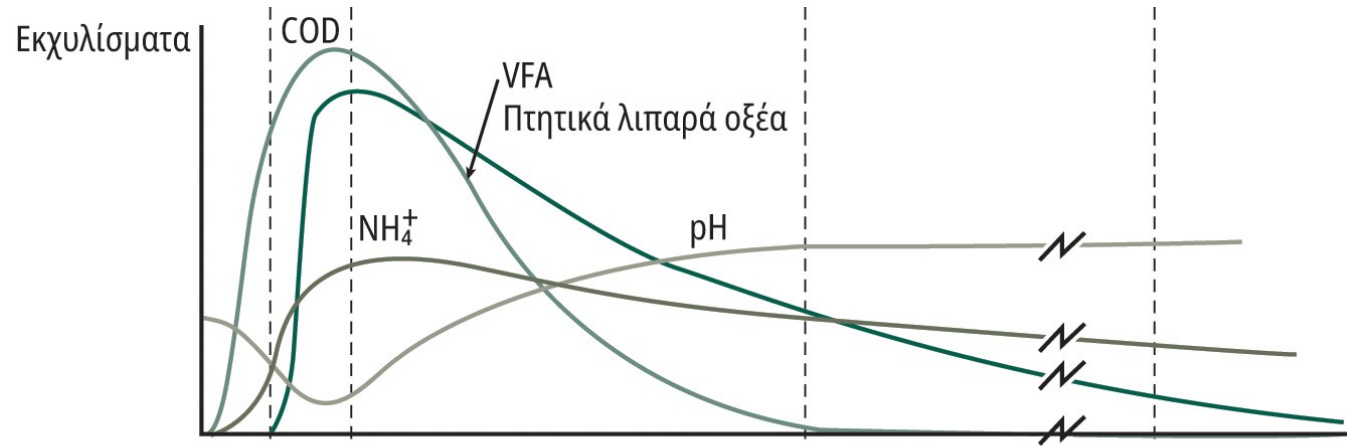
Χώροι υγειονομικής ταφής

Ανάπτυξη
ΧΥΤ Λέσβου
– Μέτωπο
εργασίας



Χώροι υγειονομικής ταφής

Εκχυλίσματα – Εξέλιξη σύστασης με το χρόνο



Χώροι υγειονομικής ταφής

Εκχυλίσματα
– Σύνθεση
συναρτήσεως
ηλικίας ΧΥΤ

Παράμετροι	Νέος	Μέσης Ηλικίας	Παλαιός
Ηλικία (έτη)	<5	5–10	>10
pH	6,5	6,5–7,5	>7,5
COD (mg/L)	>10.000	4.000–10.000	<4.000
BOD ₅ /COD	0,4–0,8	0,1–0,4	<0,1
BOD ₅	>2.000 mg/L και περιέχει VFA	100–2.000	<150 mg/L
BOD ₅ /NH ₃ -N	>1,0	NH ₃ -N αυξάνεται BOD ₅ μειώνεται	NH ₃ -N αυξάνεται BOD ₅ μειώνεται
Οργανικές ενώσεις	80% πτητικά οργανικά οξέα (VFA)	5–30% VFA + χουμικά και φουλβικά οξέα	Χουμικά και φουλβικά οξέα καθώς και ρύποι προ- τεραιότητας (π.χ. BTEX)
Βαρέα μέταλλα	Χαμηλά	Μέτρια	Χαμηλά
Βιοαποδομησιμότητα	Σημαντική	Μέτρια	Χαμηλή

Βασισμένο σε McBean et al. (1995) και Tchobanoglous et al. (1993)

Χώροι υγειονομικής ταφής

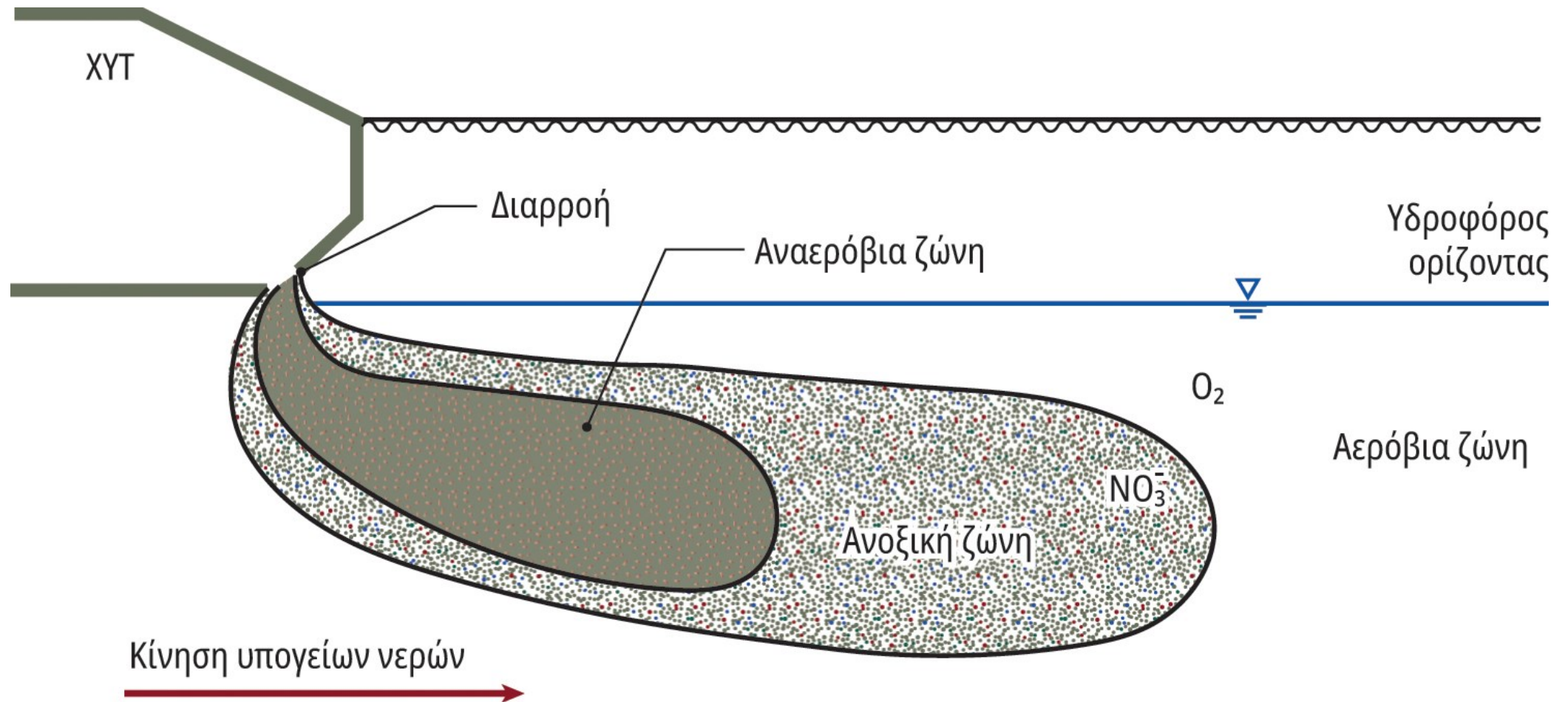
Εκχυλίσματα
– Σύνθεση
συναρτήσεως
φάσης ΧΥΤΑ

Παράμετρος	Οξεογενής φάση	Μεθανιογενής φάση
pH	4,5–7,5	7,5–9
BOD ₅ (mg/L)	4.000–40.000	20–550
COD (mg/L)	6.000–60.000	500–4.500
BOD ₅ /COD	0,4–0,6	<0,1
SO ₄ ⁼	70–1.750	10–420
Ca (mg/L)	10–2.500	20–600
Mg (mg/L)	50–1.150	40–350
Fe (mg/L)	20–2.100	3–280
Mn (mg/L)	0,3–65	0,03–45
Zn (mg/L)	0,1–120	0,03–4
Παράμετρος	Ανεξαρτήτου φάσης βιοαποδόμησης	
Cl (mg/L)	100–5.000	
Na (mg/L)	50–4.000	
K (mg/L)	10–2.500	
NH ₄ ⁺ (mg N/L)	30–3.000	
Οργανικό N (mg N/L)	10–4.250	
Ολικό N (mg N/L)	50–5.000	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,1–50	
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0–25	
Total P (mg P/L)	0,1–30	
CN ⁻ (mg/L)	0,04–90	
Φαινόλες (mg/L)	0,04–44	
As (μg/L)	5–1.600	
Cd (μg/L)	0,5–140	
Ni (μg/L)	20–2.050	
Pb (μg/L)	8–1.020	
Cr (μg/L)	30–1.600	
Cu (μg/L)	4–1.400	
Hg (μg/L)	0,2–50	

Πηγή: Ehrig (1989)

Χώροι υγειονομικής ταφής

Διαρροή εκχυλισμάτων από πυθμένα ΧΥΤ



Χώροι υγειονομικής ταφής

Συντελεστές πρόβλεψης παραγωγής εκχυλισμάτων

11-14 m³/ha/d κατά τη λειτουργία των ΧΥΤΑ σε Β.Α. ΗΠΑ

<1 m³/ha/d μετά το τελικό κλείσιμο του ΧΥΤΑ σε Β.Α. ΗΠΑ

9-60 L/ha/d σε ξηρά μέρη με ελάχιστη βροχόπτωση

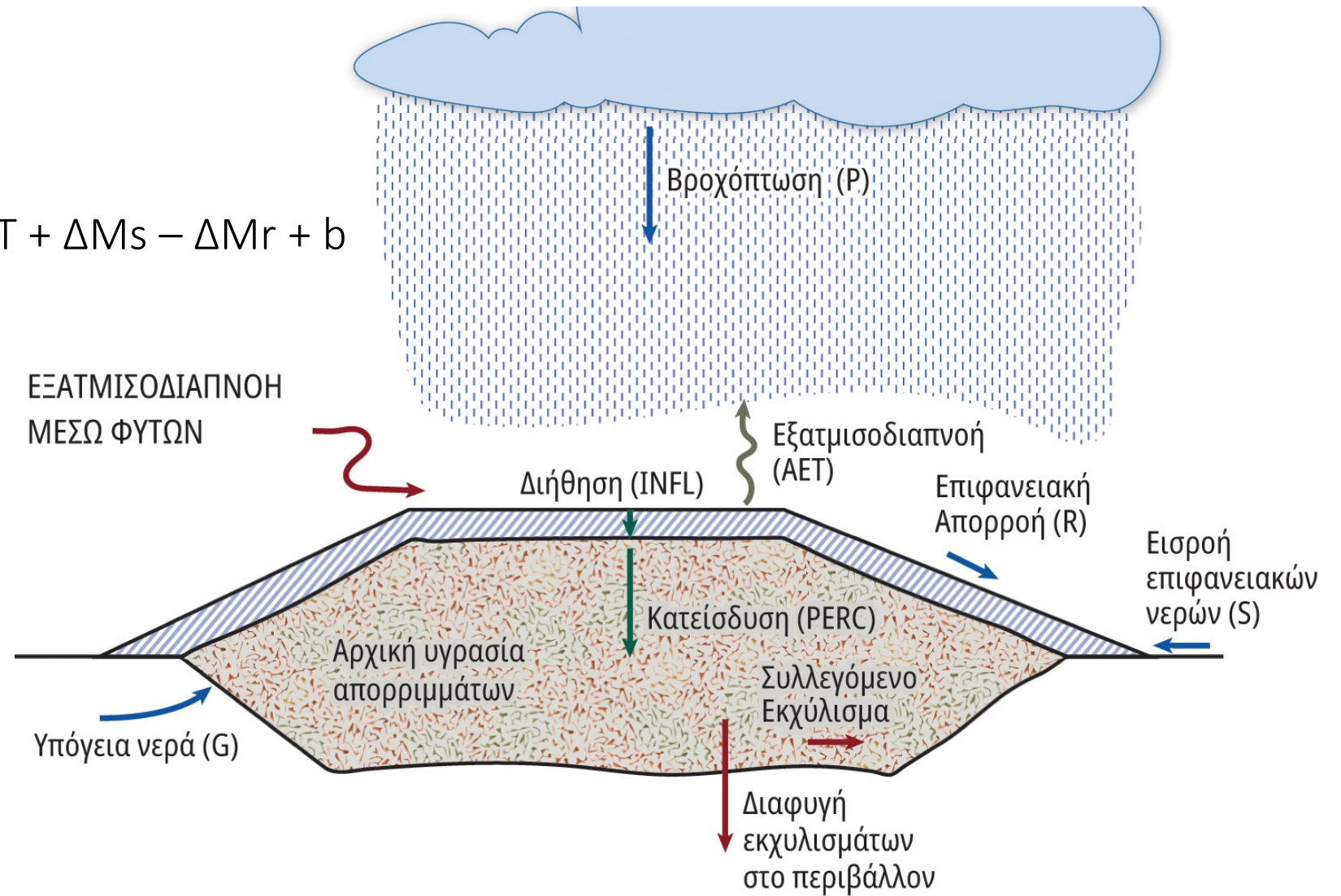
- Υδατικό ισοζύγιο (η πιο λογική προσέγγιση)
 - ✓ Αναπτύχθηκε για κλειστούς ΧΥΤΑ
 - ✓ Μπορεί να εφαρμοστεί σε υπό εξέλιξη ΧΥΤ με τροποποιήσεις

1 ha = 10.000 m²

Χώροι υγειονομικής ταφής

Υδατικό ισοζύγιο

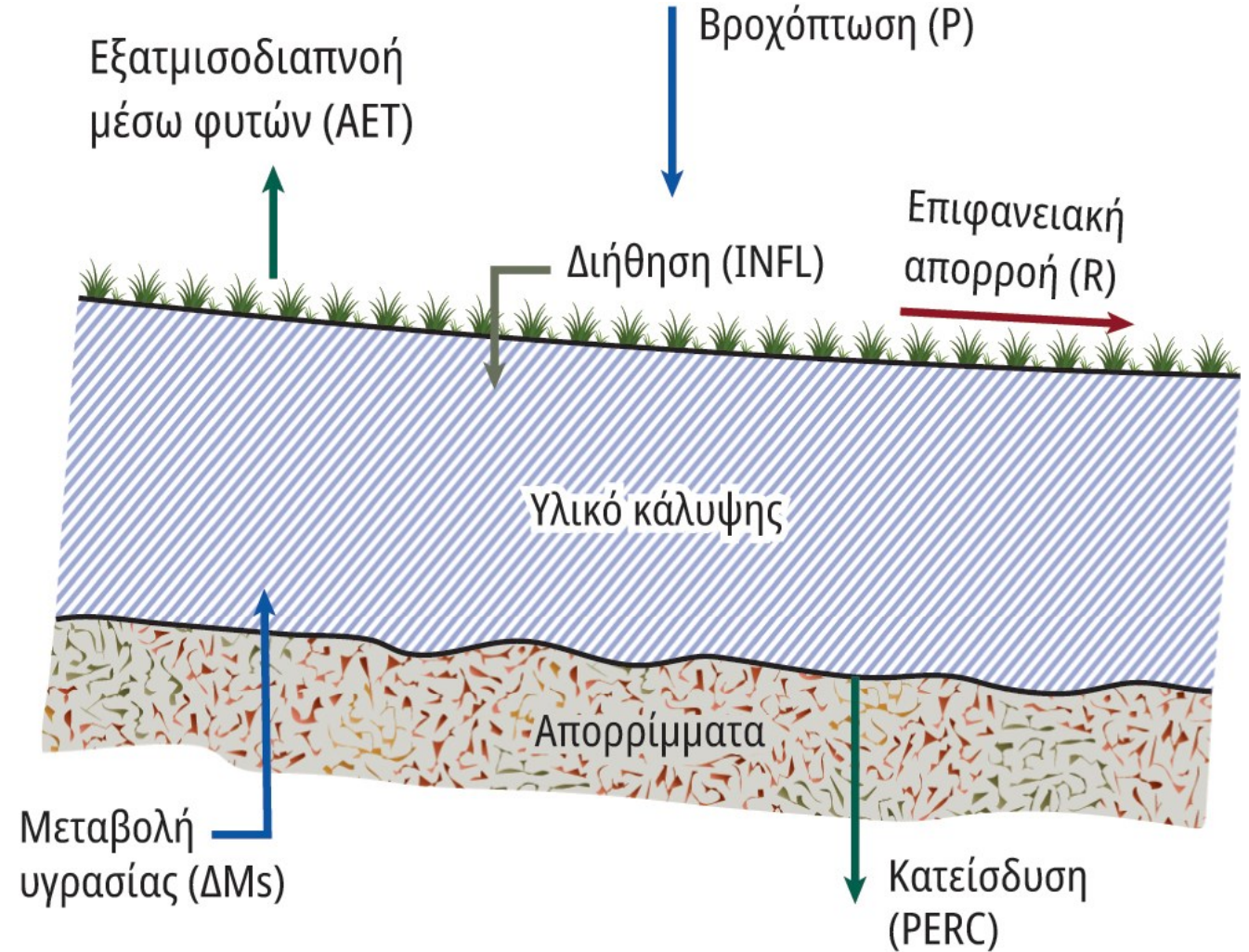
$$\text{PERC (ή L)} = P + S + G - R - \text{AET} + \Delta M_s - \Delta M_r + b$$



Χώροι υγειονομικής ταφής

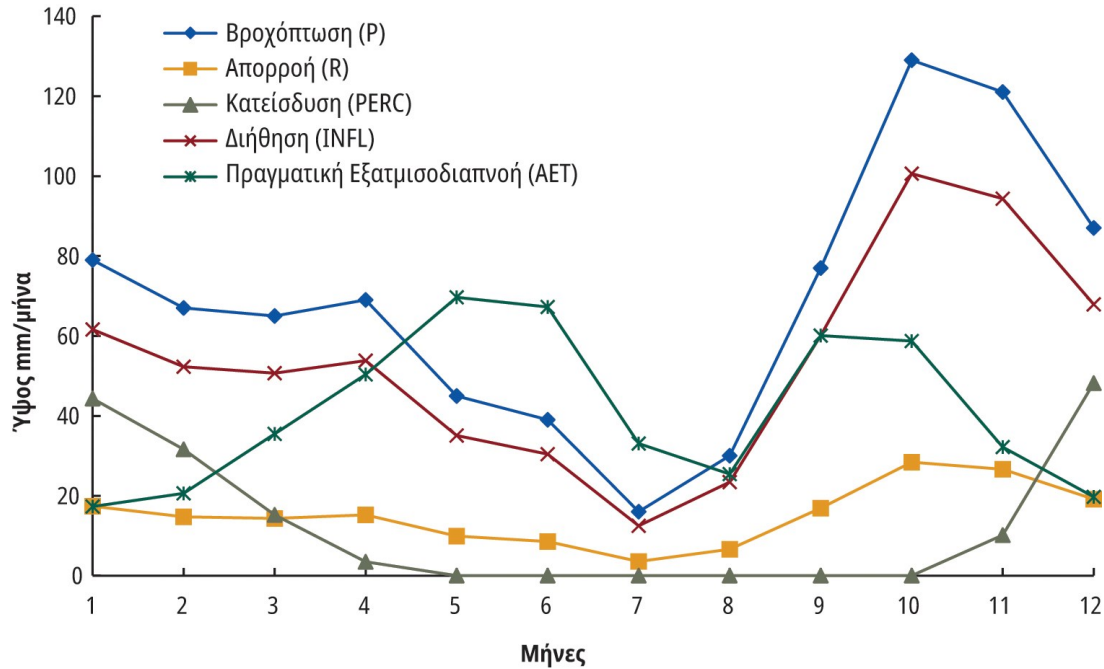
Υδατικό ισοζύγιο

$$\text{PERC (ή L)} = P + S + G - R - \text{AET} + \Delta M_s - \Delta M_r + b$$



Χώροι υγειονομικής ταφής

Υδατικό ισοζύγιο – Παράδειγμα σε λογιστικό φύλλο



	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
P (mm)	79	67	65	69	45	39	16	30	77	129	121	87
T (C)	8	9	11	13	16	20	23	23	20	16	12	9
Δείκτης θερμोट.	2.04	2.43	3.30	4.25	5.82	8.16	10.08	10.08	8.16	5.82	3.76	2.43
a	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
UPET (mm)	21.33	25.56	34.78	44.95	61.82	87.08	107.92	107.92	87.08	61.82	39.75	25.56
Διάρκεια ημερ.	24.3	24.2	30.6	33.6	38.03	38.6	38.7	36.41	31.2	28.5	24.3	23.1
Συντελ. Διόρθ.	0.81	0.81	1.02	1.12	1.27	1.29	1.29	1.21	1.04	0.95	0.81	0.77
Διορθωμένη PET (APET mm)	17.3	20.6	35.5	50.3	78.4	112.0	139.2	131.0	90.6	58.7	32.2	19.7
c R	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%
R (mm)	17.38	14.74	14.3	15.18	9.9	8.58	3.52	6.6	16.94	28.38	26.62	19.14
INFL (mm)	61.6	52.3	50.7	53.8	35.1	30.4	12.5	23.4	60.1	100.6	94.4	67.9
INFL - APET (mm)	44.3	31.6	15.2	3.5	-43.3	-81.6	-126.7	-107.6	-30.5	41.89	62.2	48.2
ACCWL (mm)	0	0	0	0.0	-43.3	-124.9	-251.6	-359.2	-389.7			
ACCWL (in)	0.0	0.0	0.0	0.00	-1.70	-4.92	-9.91	-14.14	-15.34			
ST (in) - βλέπε σχετικό πίνακα	4	4	4	4	2.58	1.13	0.32	0.24	0.24			
ST (mm)	100	100	100	100	65.5	28.7	8.1	6.1	6.1	48.0	100.0	100.0
DST (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	-34.54	-36.83	-20.57	-2.03	0.00	41.89	52.02	0.00
AET (mm)	17	21	35	50	70	67	33	25	60	59	32	20
PERC (mm)	44.3	31.6	15.2	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	48.2

Χώροι υγειονομικής ταφής

Υδατικό ισοζύγιο –
Μοντέλο HELP της
USEPA – Πολλαπλά
στρώματα

Στρώματα όπως εισήχθησαν στο μοντέλο HELP (κορυφή προς πυθμένα)	Βασικά χαρακτηριστικά
Ενδιάμεσο κάλυμμα κορυφής	Πηλώδες έδαφος, 0,5 m, $k: 3,7 \times 10^{-4}$ cm/sec, χωρίς απορροή
ΑΣΑ με βραχυκυκλώματα* (ταμπάνι 3)	Πάχος: 2,9 m, αρχική υγρασία: 0,40 v/v, υδατοχωρητικότητα: 0,073 v/v
Ενδιάμεση χωματοκάλυψη	Πηλώδες έδαφος, 0,32 m, $k: 3,7 \times 10^{-4}$ cm/sec
ΑΣΑ με βραχυκυκλώματα (ταμπάνι 2)	Πάχος: 2,9 m, αρχική υγρασία: 0,37 v/v, υδατοχωρητικότητα: 0,073 v/v
Ενδιάμεση χωματοκάλυψη	Πηλώδες έδαφος, 0,24 m, $k: 3,7 \times 10^{-4}$ cm/sec
ΑΣΑ με βραχυκυκλώματα (ταμπάνι 1)	Πάχος: 2,2 m, αρχική υγρασία: 0,28 v/v, υδατοχωρητικότητα: 0,073 v/v
Γεωδίκτυο αποστράγγισης πυθμένα	Πάχος: 0,5 cm, κλίση = 2%, μήκος κλίσης = 30 m
Στρώμα αποστράγγισης πυθμένα	Χαλίκι 0,5 m, κλίση = 2%, μήκος κλίσης = 30 m
Γεωμεμβράνη πυθμένα	HDPE, $k = 2 \times 10^{-13}$ cm/sec, 4 οπές/ha λόγω ζημιών
Στρώμα φραγμού πυθμένα	Μέτρια συμπιεσμένη ιλυούχα άργιλος, 0,5 m

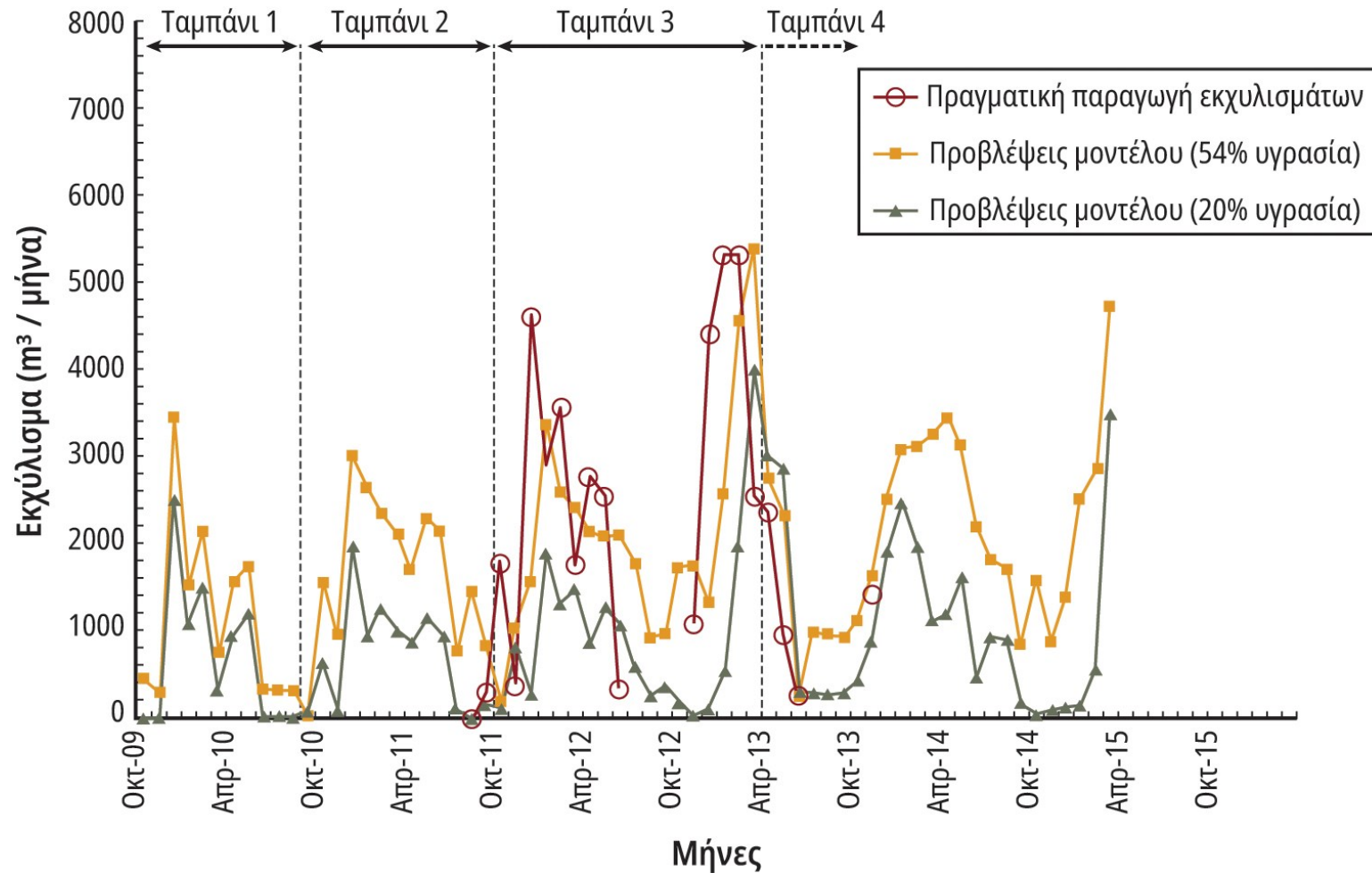
*: Η έννοια βραχυκυκλώματα (short-circuit) σημαίνει τα στενά μακριά κανάλια εντός του ΧΥΤ μέσω των οποίων γίνεται κίνηση των εκχυλισμάτων, χωρίς αυτά να διαπερνούν το πορώδες μέσο.

k: υδραυλική αγωγιμότητα (cm/sec)

1 ha = 10.000 m²

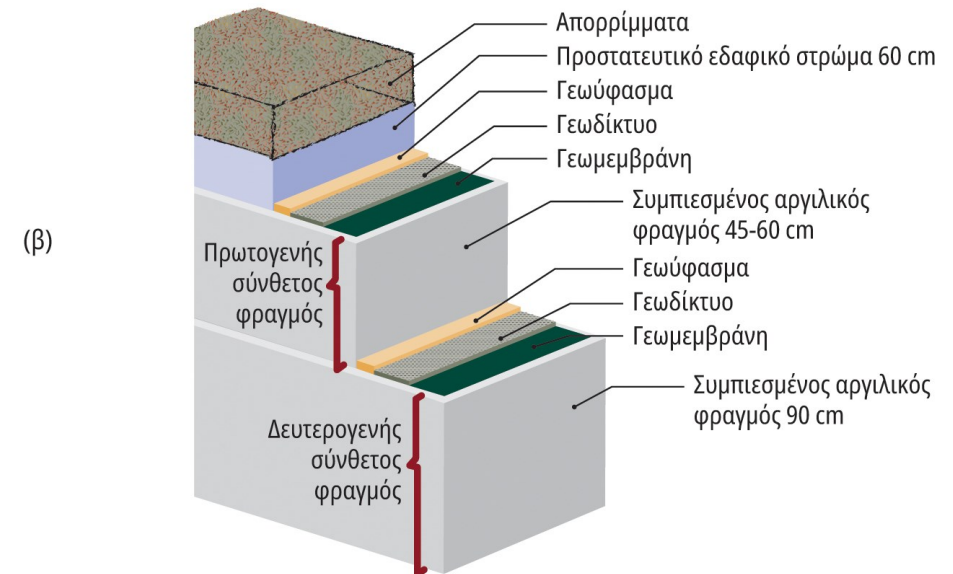
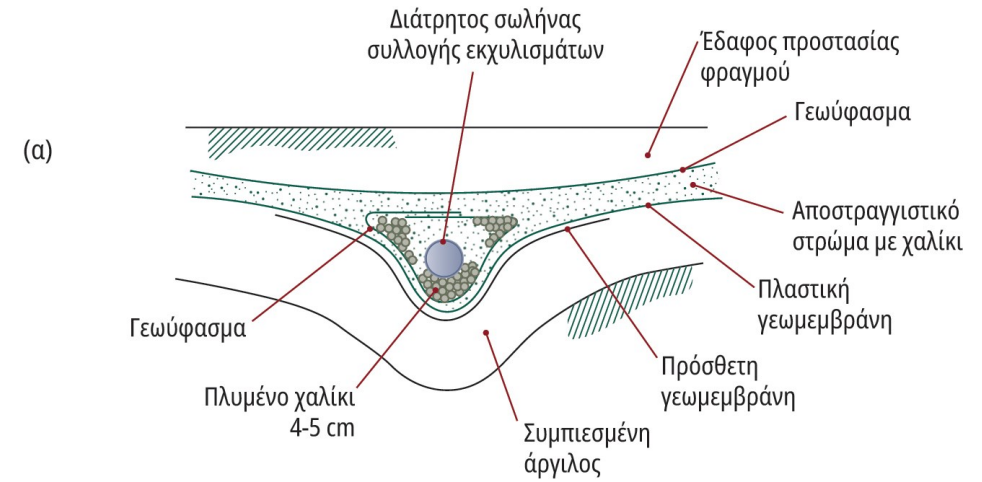
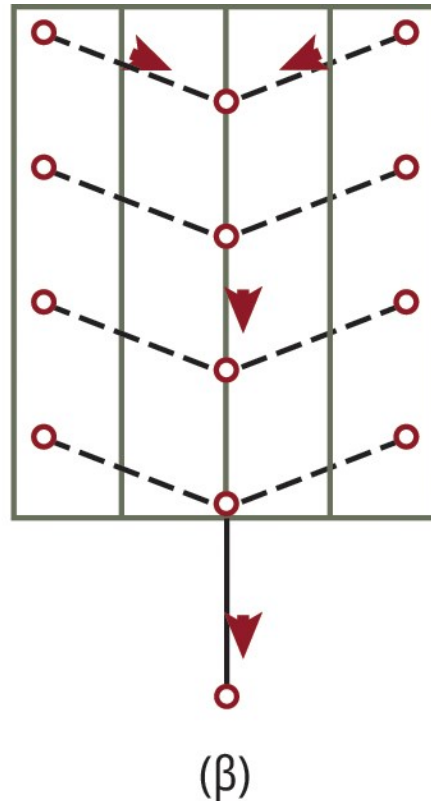
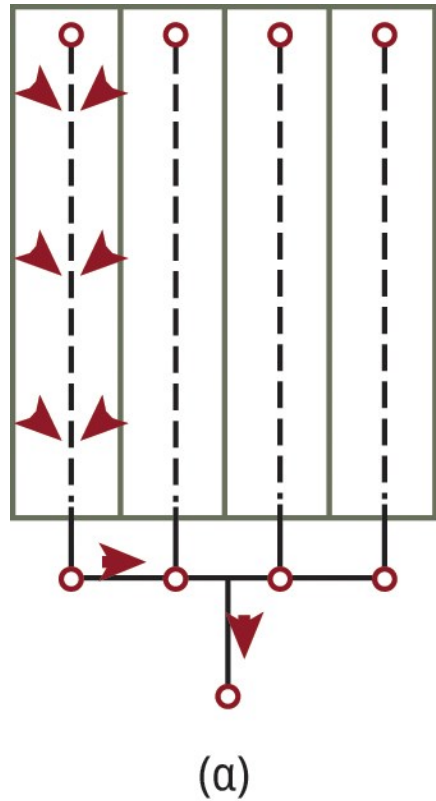
Χώροι υγειονομικής ταφής

Υδατικό ισοζύγιο σε υπό εξέλιξη ΧΥΤ (δεδομένα από ΧΥΤ Λέσβου)



Χώροι υγειονομικής ταφής

Συστήματα συλλογής εκχυλισμάτων

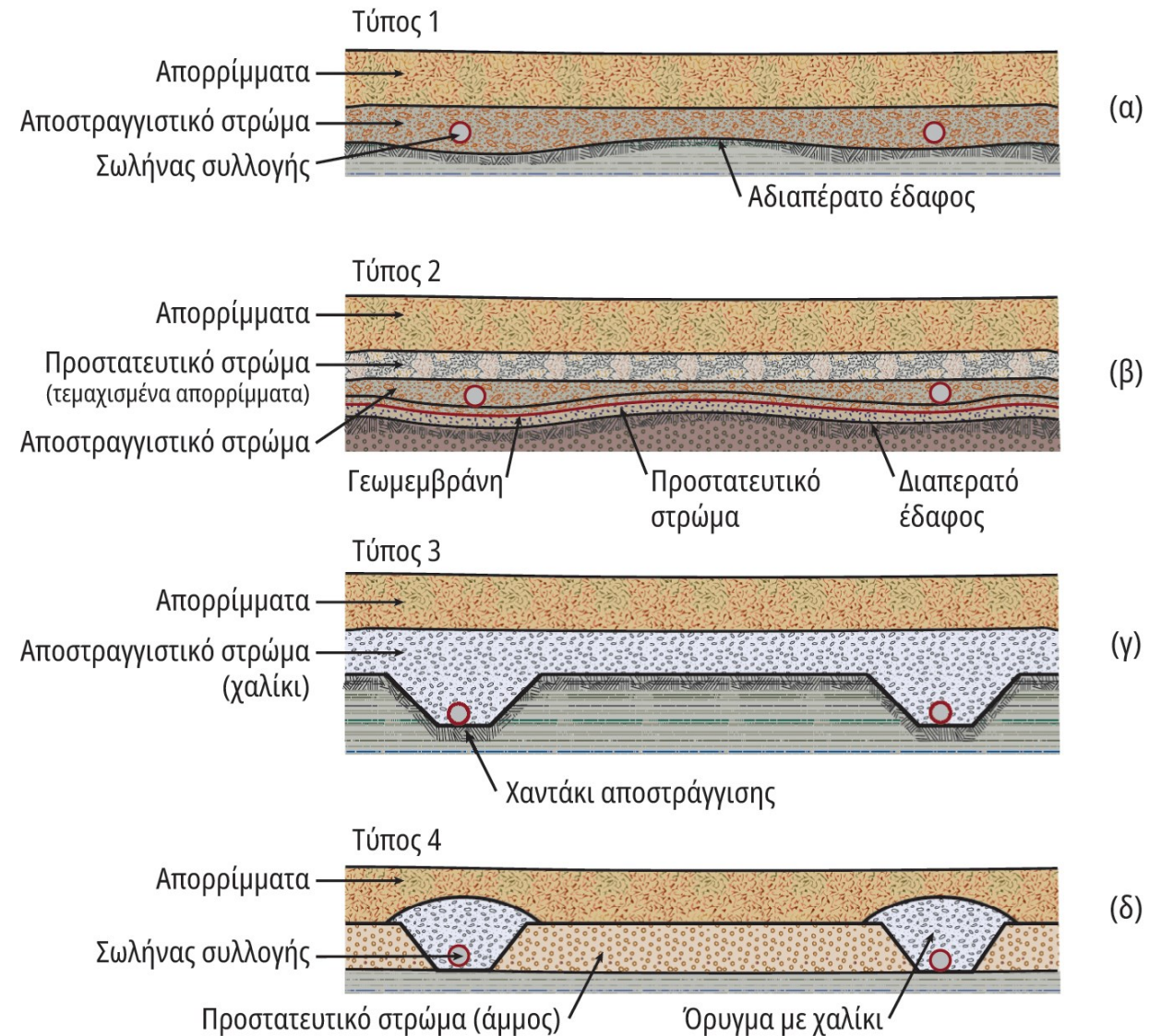


Χώροι υγειονομικής ταφής

Συστήματα συλλογής εκχυλισμάτων – Τύποι πυθμένα

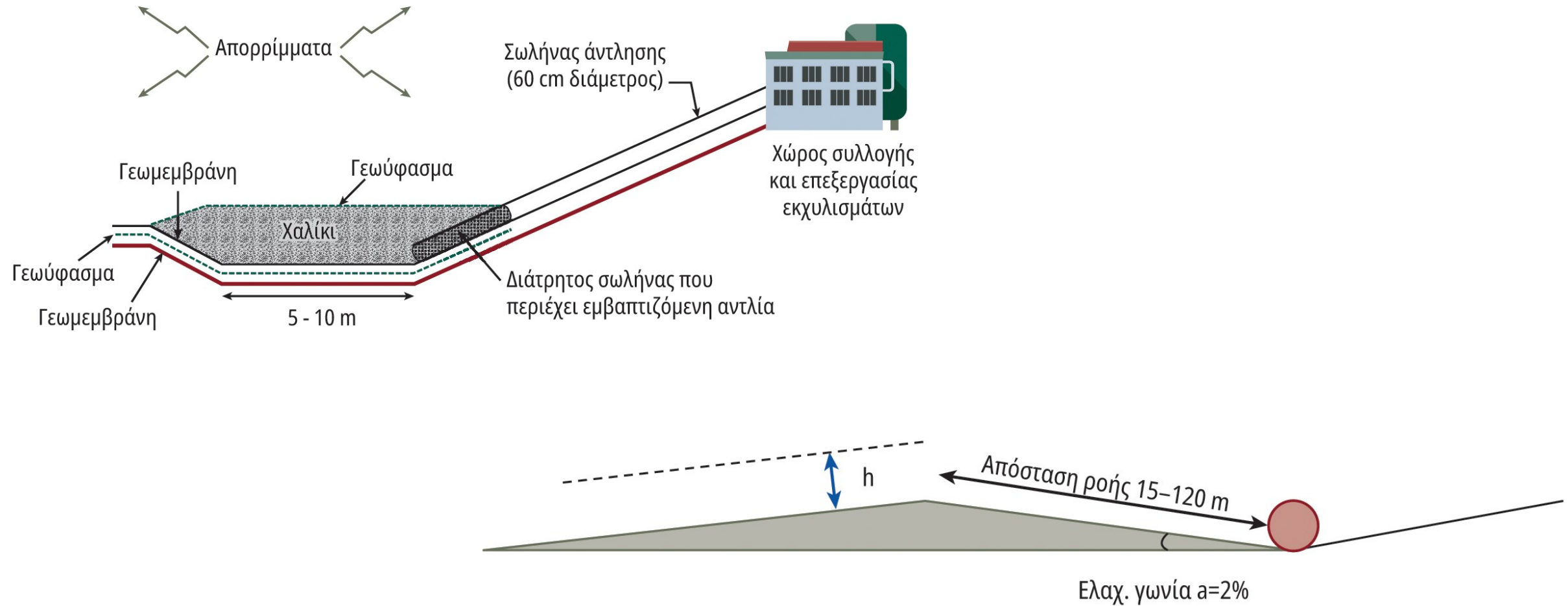
Πυθμένας υπό κλίση (sloped bottom). Είναι η πιο κοινή διάταξη πυθμένα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 9.21 (α, β).

Επίπεδος πυθμένας με σωλήνες σε ορύγματα (ripped bottom). Ο πυθμένας είναι επίπεδος και οι σωλήνες συλλογής τοποθετούνται μέσα σε ορύγματα (Σχήμα 9.21γ,δ).



Χώροι υγειονομικής ταφής

Συστήματα συλλογής εκχυλισμάτων – Γεωμετρία πυθμένα



Χώροι υγειονομικής ταφής

Διαρροές εκχυλισμάτων από φραγμούς πυθμένα – Νόμος Darcy

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{dh}{dl}$$

Q: Ρυθμός διαφυγής εκχυλισμάτων από πυθμένα φραγμού (m^3/sec).

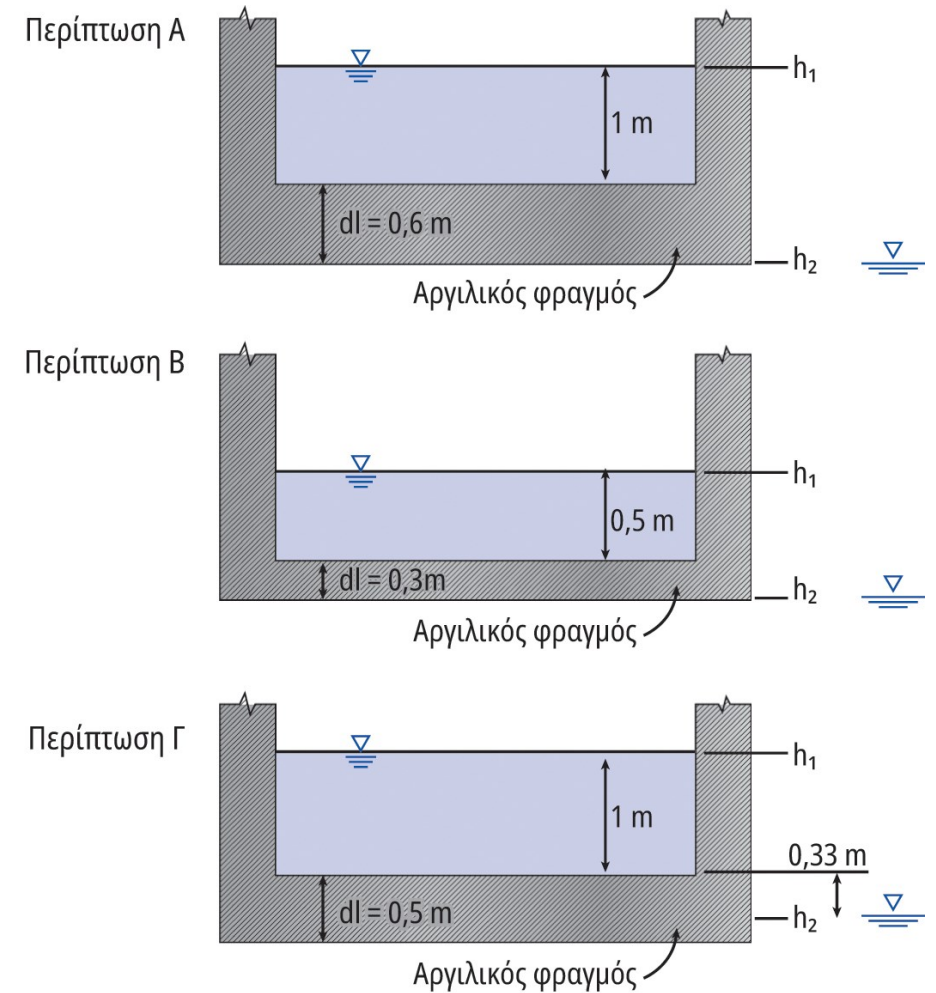
K: Υδραυλική αγωγιμότητα του φραγμού (m/sec), που είναι το συνολικό/συνδυαστικό K που επιτυγχάνεται μέσω και των δύο στρωμάτων που εφάπτονται (γεωμεμβράνη, αργιλικός φραγμός).

A: Εμβαδό κάτοψης μέσα από την οποία θα έχουμε ροή των εκχυλισμάτων (εμβαδό πυθμένα σε m^2).

dh/dl : Κατακόρυφη υδραυλική κλίση (m/m).

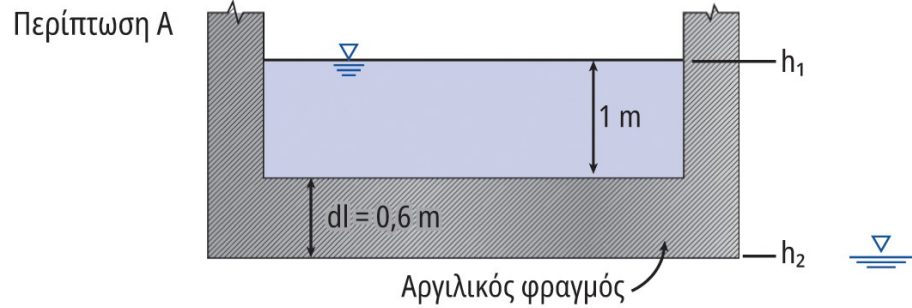
dh : Πτώση πίεσης ή η διαφορά του ύψους των εκχυλισμάτων άνω του φραγμού και τους ύψους του ανώτερου σημείου του υδροφόρου ορίζοντα (m).

dl : Κατακόρυφο μήκος ροής ή πάχος φραγμού (m).

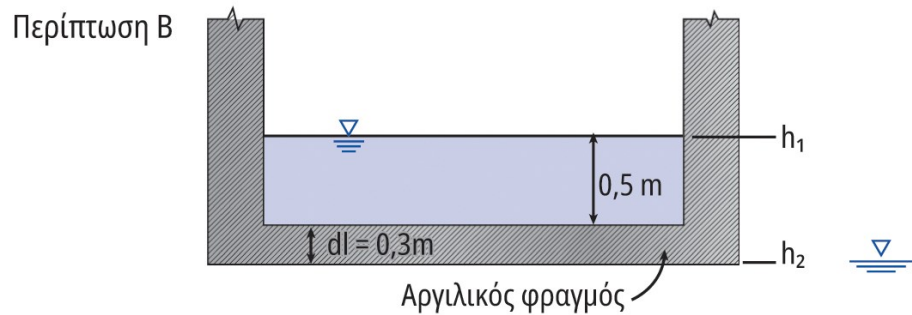


Χώροι υγειονομικής ταφής

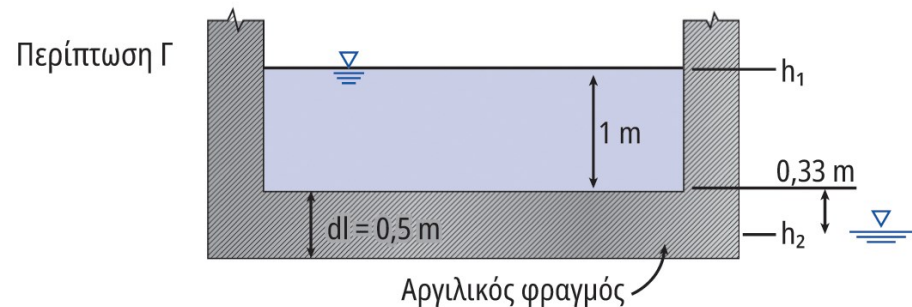
Διαρροές εκχυλισμάτων από φραγμούς πυθμένα – Νόμος Darcy



$$Q = -10^{-9} \times 1 \times \frac{-(1 + 0,6)}{0,6} = 2,7 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sec} = 0,084 \text{ m}^3/\text{y}$$



$$Q = -10^{-9} \times 1 \times \frac{-(0,5 + 0,3)}{0,3} = 2,7 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sec} = 0,084 \text{ m}^3/\text{y}$$



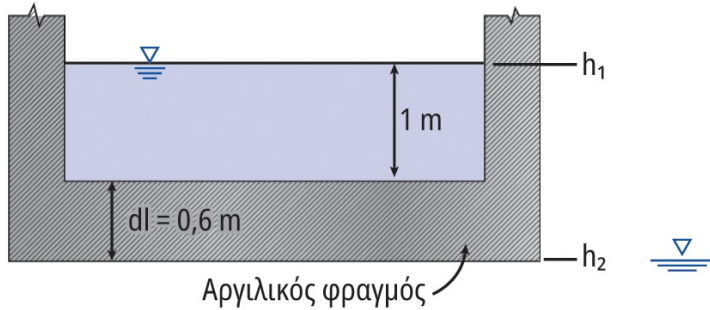
$$Q = -10^{-9} \times 1 \times \frac{-(1 + 0,33)}{0,5} = 2,7 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sec} = 0,084 \text{ m}^3/\text{y}$$

Χώροι υγειονομικής ταφής

Διαρροές εκχυλισμάτων – Νόμος Darcy και χρόνος πρώτης εμφάνισης

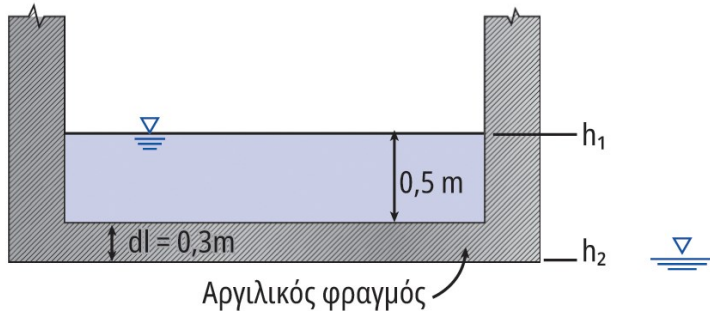
$$t = \frac{dl^2 \cdot e}{K \cdot (dl + h_d)}$$

Περίπτωση Α



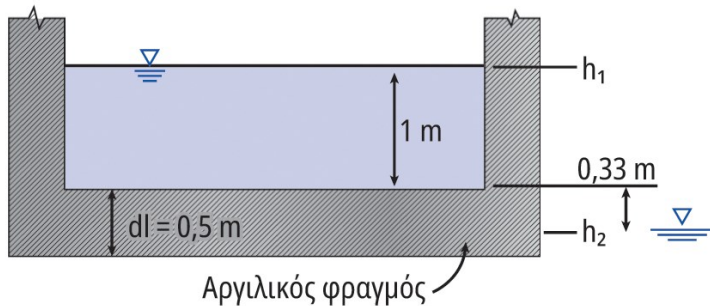
$$t = \frac{0,6^2 \times 0,1}{10^{-9} \times (0,6 + 1,6)} = 16.363.636 \text{ sec} = 0,52 \text{ y}$$

Περίπτωση Β



$$t = \frac{0,3^2 \times 0,1}{10^{-9} \times (0,3 + 0,8)} = 8.181.818 \text{ sec} = 0,26 \text{ y}$$

Περίπτωση Γ



$$t = \frac{0,5^2 \times 0,1}{10^{-9} \times (0,5 + 1,33)} = 13.661.202 \text{ sec} = 0,43 \text{ y}$$

Χώροι υγειονομικής ταφής

Επεξεργασία εκχυλισμάτων - Προβλήματα

- Υψηλές τιμές διαλυτών στερεών ($>50.000 \text{ mg/L}$) που παρεμποδίζουν τις βιολογικές διεργασίες.
- Χαμηλές τιμές BOD_5/COD (ειδικά σε παλαιούς ΧΥΤ) που μπορούν να ευνοήσουν αναερόβιες διεργασίες, αφού η χρήση αερόβιας επεξεργασίας μπορεί να καταστεί ενεργοβόρα.
- Υψηλές τιμές SO_4^- που, στην περίπτωση αναερόβιας επεξεργασίας, μπορούν να οδηγήσουν σε οσμές λόγω της αναγωγής τους σε θειώδη.
- Ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων που μπορούν να παρεμποδίσουν τις βιολογικές διεργασίες.
- Ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων N ως αμμωνιακών, που μπορούν να παρεμποδίσουν τις αναερόβιες διεργασίες.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Επεξεργασία εκχυλισμάτων – Συνήθεις μέθοδοι

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.15

Συνήθεις μέθοδοι επεξεργασίας εκχυλισμάτων από ΧΥΤΑ

Διεργασία/επεξεργασία	Σχόλια
Συν-διαχείριση με αστικά λύματα σε μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (ΜΕΥΑ)	Προϋποθέτει την προσθήκη του εκχυλίσματος σε δόσεις ώστε να μην αυξηθεί απότομα και σε σύντομο χρονικό διάστημα το οργανικό φορτίο στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων (ΜΕΥΑ). Μπορεί να υλοποιηθεί με διάθεση σε γειτονικό αποχετευτικό δίκτυο, αν υπάρχει, ή με μεταφορά των εκχυλισμάτων στη ΜΕΥΑ με χρήση βυτιοφόρων. Μπορεί να έχει προηγηθεί μια αρχική επιτόπια (στο ΧΥΤ) χημική καθίζηση για μείωση του οργανικού φορτίου και των μετάλλων πριν τη συνεπεξεργασία στη ΜΕΥΑ. Λόγω του μεταφορικού κόστους μπορεί να καταστεί ακριβή.
Αερόβια επεξεργασία τύπου ενεργής ιλύος με δεξαμενή καθίζησης	Απαιτεί προσθήκης ρυθμιστικών διαλυμάτων. Πρέπει να προηγείται δεξαμενή εξισορρόπησης, ενώ μπορεί να προηγείται και κάποια φυσικοχημική καθίζηση για απομάκρυνση μετάλλων (π.χ. προσθήκη ασβέστη ή κροκιδωτικών. Η λάσπη από την καθίζηση συνήθως διατίθεται εντός του ΧΥΤ.

Δεξαμενή αερισμού εκχυλισμάτων στο ΧΥΤ Λέσβου (Φωτογραφία: Δ. Κομίλης, 2012)

Διεργασία /επεξεργασία	Σχόλια
Αναερόβια χώνευση	Προϋποθέτει φυσικοχημική προεπεξεργασία για απομάκρυνση μετάλλων και οργανικών στερεών με μορφή λάσπης. Είναι κατάλληλη όταν το BOD ₅ των εκχυλισμάτων είναι υψηλό (π.χ. >1.000 mg/L). Σχετικά ακριβή τεχνολογία.
Αερόβια επεξεργασία με νιτροποίηση/απονιτροποίησης με χρήση αντιδραστήρα SBR (δεξαμενή διαλείποντος έργου με περιοδική λειτουργία)	Αρκετά διαδεδομένο σύστημα, αφού επιτρέπει όλες τις βιοχημικές διεργασίες, καθώς και τις (φυσικές) διεργασίες καθίζησης να λάβουν χώρα στον ίδιο αντιδραστήρα. Βασίζεται στη διαδοχή αερόβιων και ανοξικών συνθηκών.
Αντίστροφη ώσμωση	Αρκετά διαδεδομένη τεχνολογία, κατά τη συγγραφή του παρόντος, στην Ευρώπη. Έχει υψηλό ενεργειακό κόστος, αλλά επιτυγχάνει χαμηλές τιμές στερεών και COD. Προϋποθέτει σχετικά αραιή συγκέντρωση ανόργανων συστατικών. Το στερεό υπόλειμμα (concentrate), που συνήθως είναι το 30% κατ'όγκο των εισερχόμενων εκχυλισμάτων, ανακυκλώνεται εντός του ΧΥΤ. Εύρος κόστους λειτουργίας: 15–40 €/m ³ .
Απλή ανακυκλοφορία στον ίδιο το ΧΥΤ	Παλαιότερα ήταν δυνατή. Ο ΧΥΤ ο ίδιος αποτελούσε ένα σύστημα βιολογικού αντιδραστήρα. Η ανακυκλοφορία στην Ευρώπη δεν επιτρέπεται πλέον χωρίς να έχει προηγηθεί επεξεργασία, όπως αυτές που αναφέρονται παραπάνω. Το αρνητικό της πλήρους ανακυκλοφορίας είναι η συνεχώς αυξανόμενη ποσότητα των εκχυλισμάτων κατά τη φάση λειτουργίας του ΧΥΤ.
Λίμνες εξάτμισης	Παλαιότερα ήταν διαδεδομένο, ειδικά σε μέρη με ηλιοφάνεια. Πλέον δεν χρησιμοποιείται στην Ευρώπη.
Καθίζηση με προσθήκη χημικών κροκιδωτικών	Μπορεί να προηγηθεί μιας βιολογικής αερόβιας διεργασίας ώστε να μειωθούν τα στερεά και το COD στο υπερκείμενο υγρό. Η χημική λάσπη διατίθεται εντός του ΧΥΤ, ενώ το υπερκείμενο υγρό μπορεί να οδηγηθεί σε σύστημα ενεργής ιλύος.
Αεροδιαχωρισμός (air stripping)	Ιδανικός για απομάκρυνση αμμωνίας και πτητικών οργανικών ενώσεων. Απαιτεί όμως ρύθμιση του pH (αύξηση) ώστε να επιτευχθεί η απομάκρυνση της αμμωνίας ως αέρια εκπομπή που διαφεύγει. Πρέπει να συνοδευτεί ιδανικά με συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης. Στη συνέχεια, το εκχύλισμα μπορεί να επεξεργαστεί με βιοχημικές μεθόδους.
Ρόφηση	Χημική μέθοδος που βασίζεται σε χρήση ενεργού άνθρακα. Μεταφέρει οργανικές ενώσεις και μέταλλα από την υδατική φάση στον ενεργό άνθρακα ο οποίος πρέπει στη συνέχεια να διαχειριστεί. Δεν είναι πλέον κοινή μέθοδος διαχείρισης για εκχυλίσματα και η διαχείριση του χρησιμοποιημένου ενεργού άνθρακα την καθιστά σχετικά υψηλού κόστους.
Υγρότοποι	Από μόνοι τους δεν μπορούν να επεξεργαστούν το υψηλό φορτίο, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μετέπειτα στάδιο για την επεξεργασία των εκροών από αερόβια μηχανικά συστήματα επεξεργασίας.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Επεξεργασία εκχυλισμάτων – Ένα ολοκληρωμένο σύστημα στον Καναδά και αποδόσεις

Πιθανά συστήματα επεξεργασίας	BOD ₅ (mg/L)	TKN (mg/L)	Fe (mg/L)	VOC (mg/L)	pH
Ανεπεξέργαστα εκχυλίσματα	10.000	500	400	3	6,0
Μετά από καθίζηση μετάλλων	10.000	500	50	2	8,0
Μετά από βιολογική επεξεργασία με νιτροποίηση	50	20	5	0,01	7,5
Μετά από φιλτράρισμα εκροής	20	10	3	0,01	7,5
Μετά από απολύμανση	10	5	3		7,5
Μετά από υγροτόπους	5	3	1		7,5
Διάθεση σε φυσικό αποδέκτη (ρέμα)					

Χώροι υγειονομικής ταφής

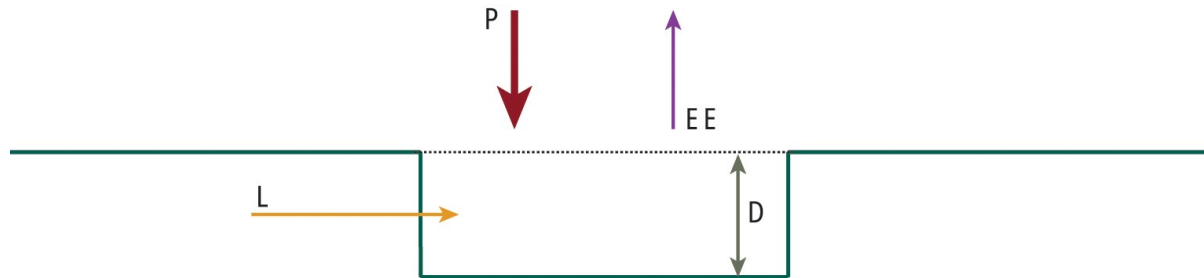
Επεξεργασία εκχυλισμάτων – Η δημοφιλής **αντίστροφη ώσμωση** (€15-40 / m³)

Παράμετρος	Εκχύλισμα	Υγρό κλάσμα (permeate) μετά τον διαχωρισμό	Στερεό κλάσμα μετά τον διαχωρισμό (concentrate)
Παροχή (L/min)	583	450	132
COD (mg/L)	2.860		15.000
BOD (mg/L)	217	2	1.000
TKN (mg/L)	955	5	4.100
Cl ⁻ (mg/L)	3.160	7	15.500
Zn (mg/L)	0,63	0,03	3,0
Cu (mg/L)	0,17	0,02	0,7
Ni (mg/L)	1,22	0,51	3,5
AOX* (μg/L)	4,9	0,6	

*: Αλογωνομένες οργανικές ενώσεις

Χώροι υγειονομικής ταφής

Επεξεργασία εκχυλισμάτων – Λίμνες εξάτμισης (σχεδιασμός)



	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.
Βροχόπ. P (mm)	136,6	124,6	98,1	66,7	37	14,1	9,2	19	81,3	137,7	187,4	185,6
Ελεύθ. εξάτμ. EE (mm)	0	0	0	155,2	176,0	247,7	218,9	133,3	98,6	0	0	0
Εκχυλ. L (mm)	91,3	79,9	46,3	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,3	84,0	66,9
Αθροιστ. P + L - EE (mm)	228	432	577	490	351	117	0	0	0	177	448	701

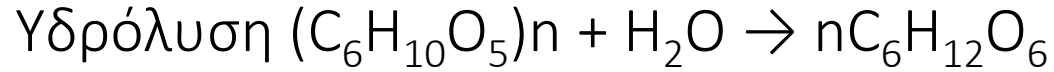
Επιφάνεια λίμνης: A_{lake} m² (άγνωστη τιμή αρχικά).

	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.
$(P - EE) \times A_{lake}$ (m ³)	410	374	294	-265	-417	-701	-629	-343	-52	413	562	557
$L \times 5.000 \text{ m}^2$ (m ³)	457	399	232	9	0	0	0	0	0	196	420	335
Μηνιαίος προσθετικός όγκος (m ³)	866	1.640	2.165	1.909	1.492	791	162	0	0	610	1.592	2.483

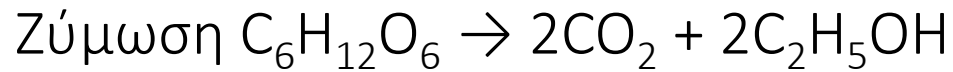
Χώροι υγειονομικής ταφής

Φάσεις αναερόβιας χώνευσης

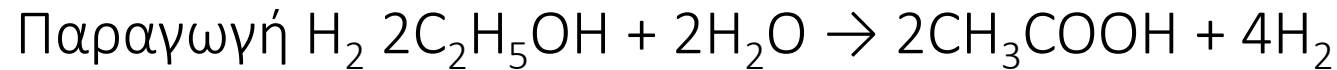
Βήμα 1



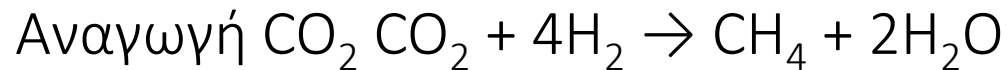
Βήμα 2



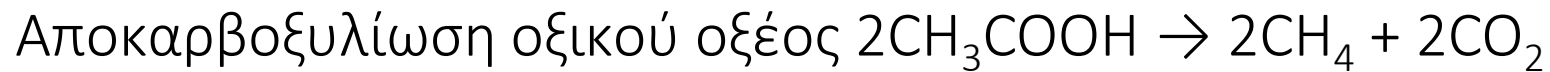
Βήμα 3



Βήμα 4



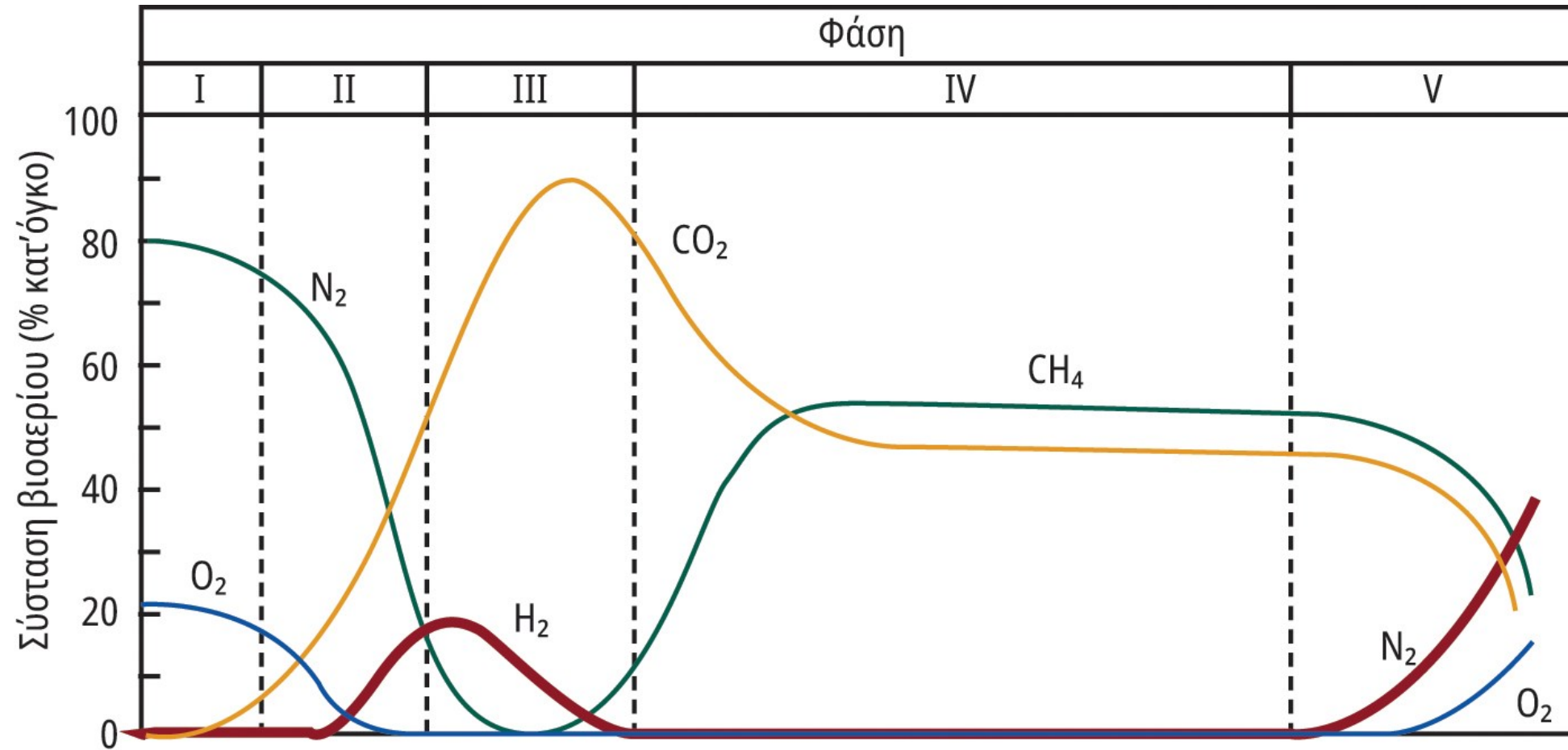
(παράγει το 30% του CH_4)



(παράγει το 70% του CH_4)

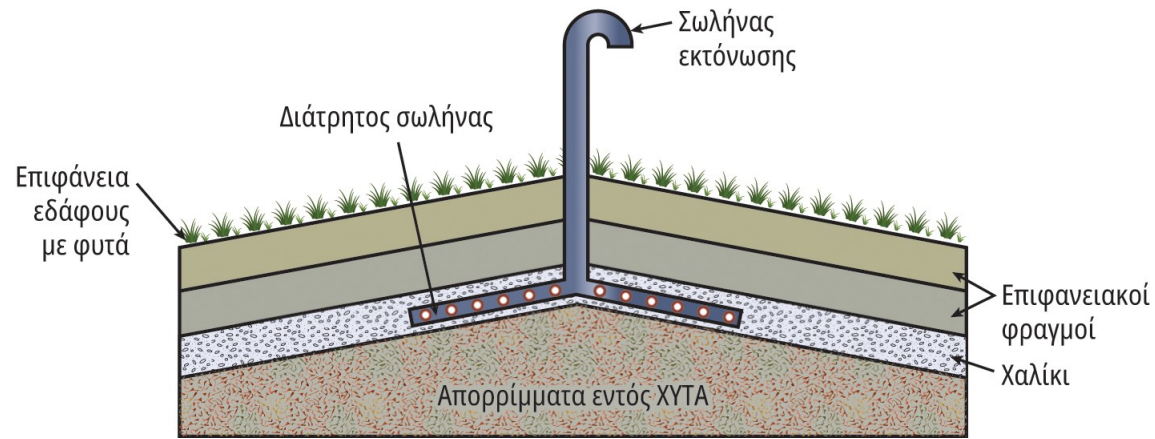
Χώροι υγειονομικής ταφής

Ανάκτηση και αξιοποίηση βιοαερίου - Εξέλιξη συστατικών βιοαερίου και φάσεις ΧΥΤ

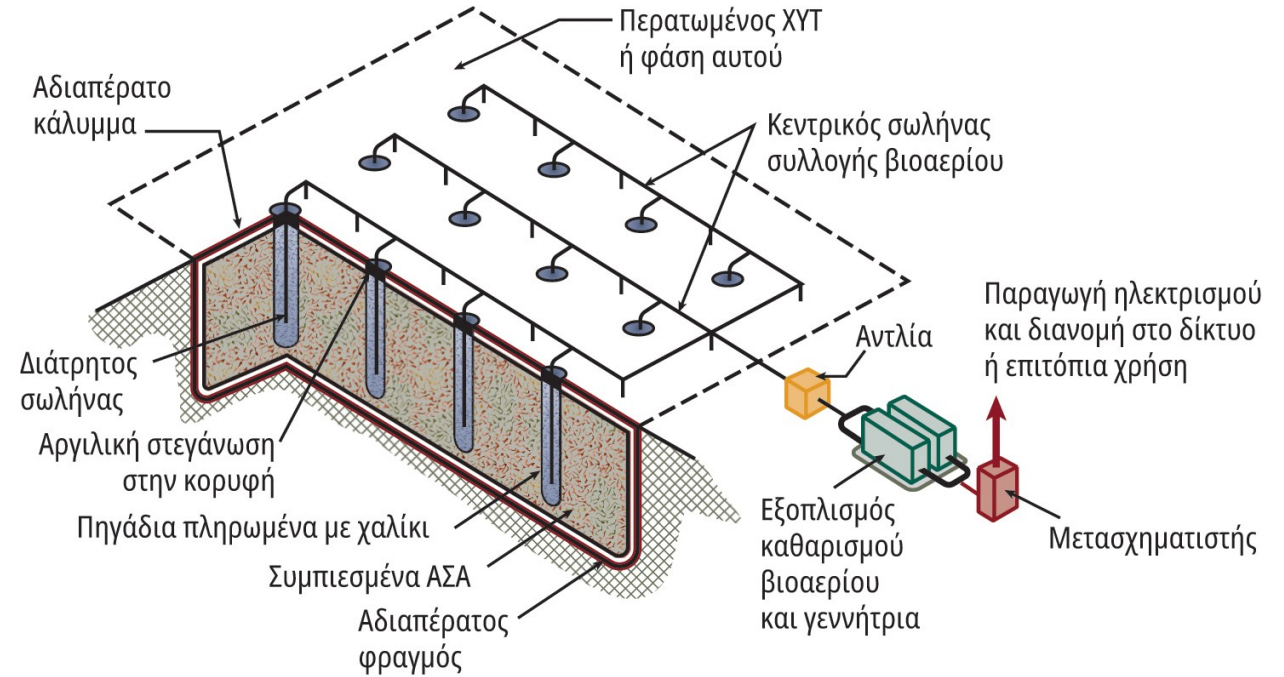


Χώροι υγειονομικής ταφής

Συστήματα ανάκτησης βιοαερίου



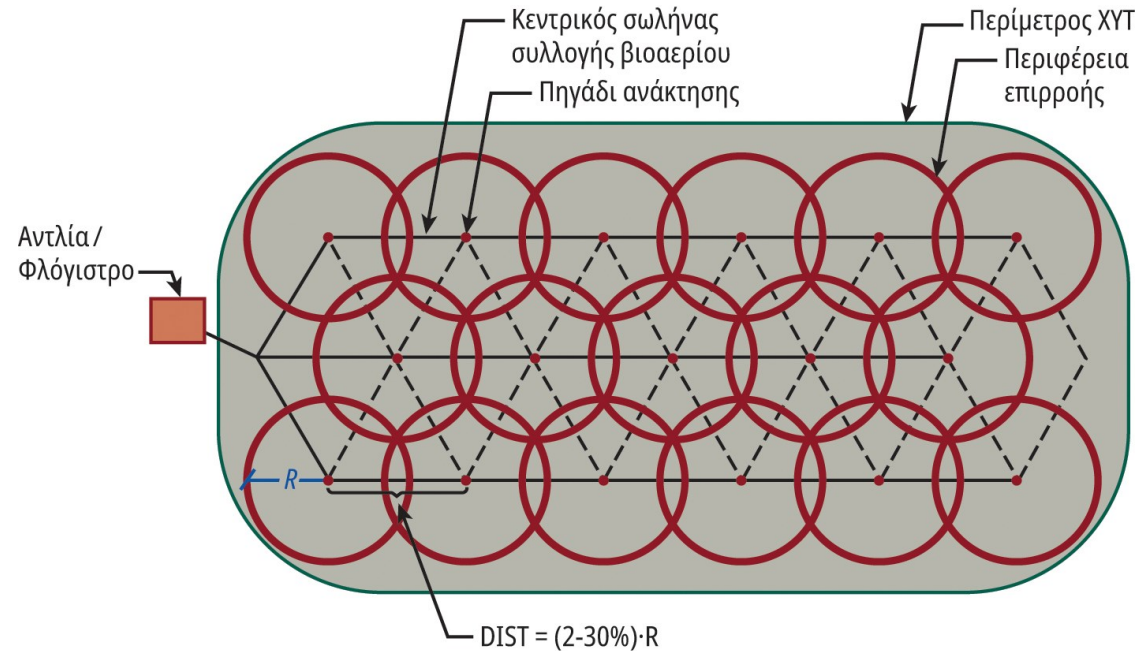
Παθητικό σύστημα



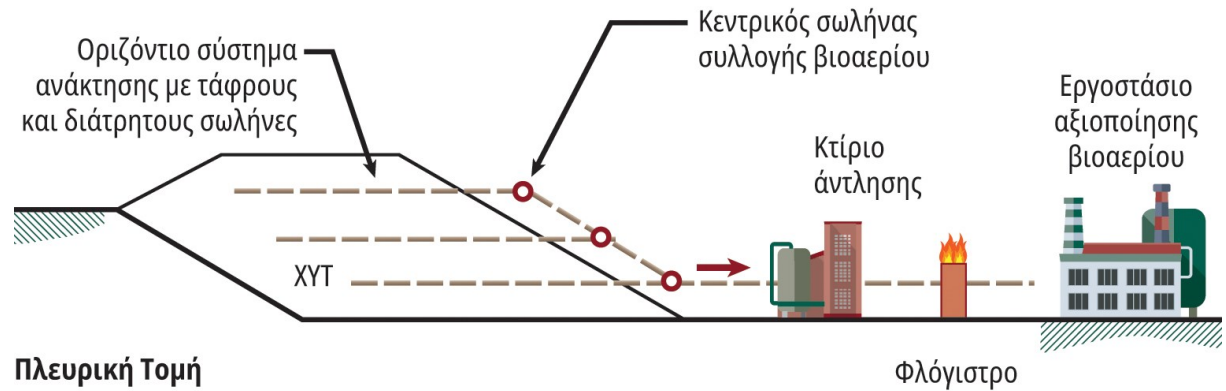
Ενεργητικό σύστημα

Χώροι υγειονομικής ταφής

Συστήματα ανάκτησης βιοαερίου – Ακτίνες επιρροής κατακόρυφων πηγαδιών



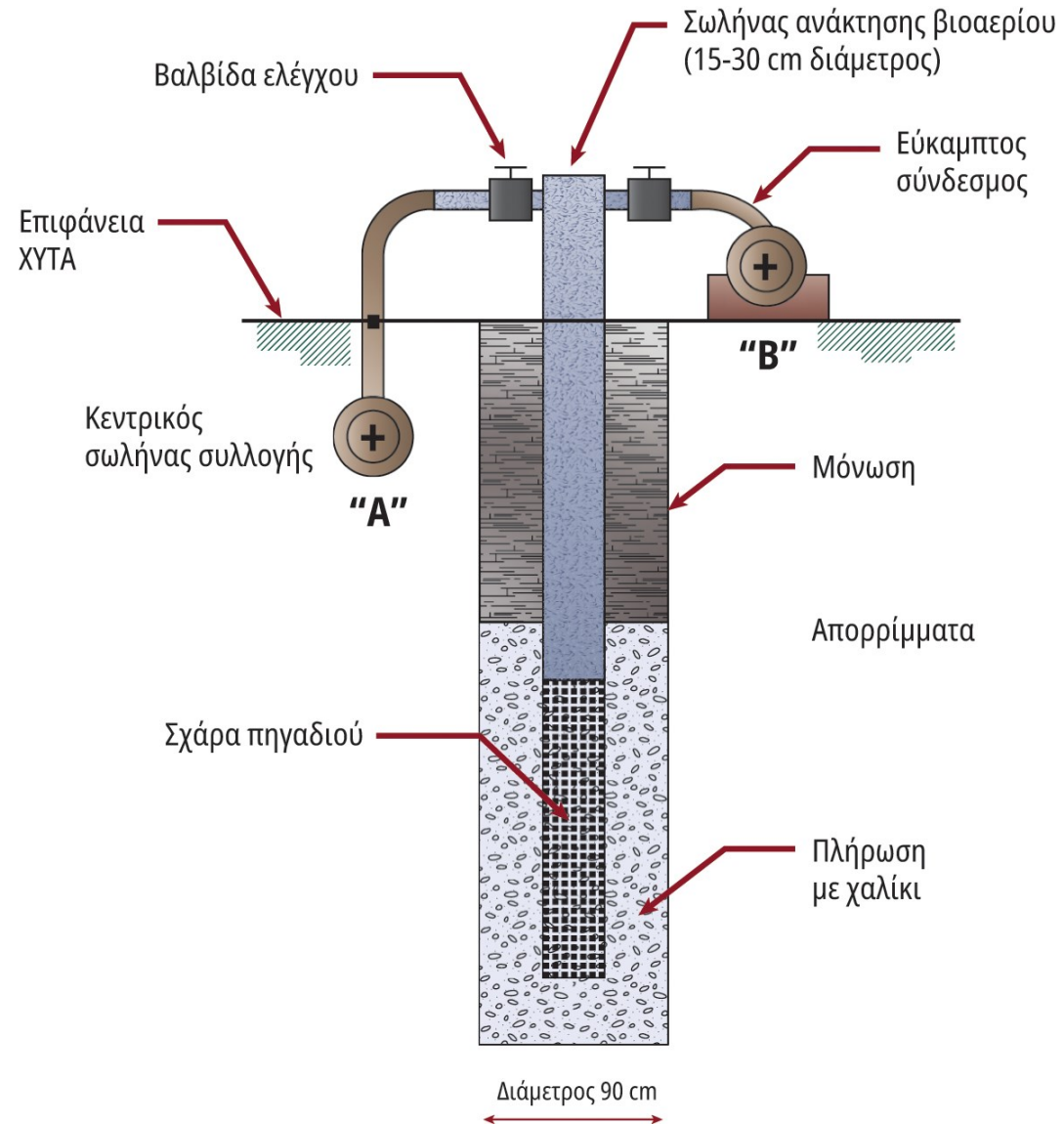
Κατακόρυφα πηγάδια



Οριζόντιες τάφροι

Χώροι υγειονομικής ταφής

Κατακόρυφο πηγάδι ανάκτησης



Χώροι υγειονομικής ταφής

Βασικές σχέσεις διαστασιολόγησης αντλίας ανάκτησης

$$\text{DIST} = \left(2 - \frac{\text{OVL}}{100} \right) \cdot R$$

Απόσταση πηγαδιών βάσει αλληλοεπικάλυψης ΑΕ

$$Q_w = \pi \cdot (R^2 - r_w^2) \cdot t \cdot D \cdot F_g$$

Ρυθμός άντλησης ανά πηγάδι

$$\Delta p_i = \frac{\mu \cdot F_g \cdot D}{2 \cdot k_s} \cdot \left[R^2 \cdot \ln \left(\frac{R}{r_w} \right) + \frac{r_w^2}{2} - \frac{R^2}{2} \right]$$

Πτώση πίεσης ανά πηγάδι

$$\text{Ισχύς (W)} = \text{Πτώση (Pa)} \times \text{Παροχή άντλησης (m}^3\text{/sec)}$$

Χώροι υγειονομικής ταφής

Ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου

- Εργαστήριο
- ΧΥΤΑ - πεδίο
- Θεωρητικές προσεγγίσεις

Είδος αποβλήτου	Αποδόσεις (L/ξηρό kg)	Ρυθμός παραγωγής (L/ξηρό kg/yr)	Ρυθμός παραγωγής F_g (m ³ /υγρό kg ⁺ /sec)
Τυπικό απόρριμμα ΗΠΑ βάσει θεωρητικής εξίσωσης (Εξ. 1, Κεφ. 7)*	660		
Οργανικά συστατικά απορριμμάτων βάσει θεωρητικής εξίσωσης (Εξ. 1, Κεφ. 7)*	130–380		
Εκτιμήσεις από υπό λειτουργία ΧΥΤ στις ΗΠΑ†		3,1–17,9 (1,6–9,5 CH ₄)	$7,78 \times 10^{-11}$ έως $4,49 \times 10^{-10}$ $4,12 \times 10^{-11}$ έως $2,38 \times 10^{-10}$ (CH ₄)
Πραγματικοί ΧΥΤΑ στις ΗΠΑ*	65–500	1,0–50 (τυπικά 12–25)	$2,5 \times 10^{-11}$ έως $1,25 \times 10^{-9}$
Πιλοτικοί ΧΥΤΑ (δοκιμαστικά κελιά)*		20–75	5×10^{-10} έως $1,9 \times 10^{-9}$
Εργαστηριακές μετρή- σεις μιγμάτων λάσσης με απορρίμματα*	270–330		
Λυσίμετρα για διάστημα 1–3 έτη*	0,6–50	0,001–40	$2,5 \times 10^{-14}$ έως 1×10^{-9}

Συστατικά ΑΣΑ	Απόδοση μεθανίου L CH ₄ /kg ΟΥ	Σταθερά κινητικής πρώτου βαθμού k (d ⁻¹)
Σύμμεικτα ΑΣΑ‡	45–222	0,039–0,090
Υπολείμματα κήπου‡	123–209	0,035–0,129
Χαρτί γραφείου‡	369	0,136
Εφημερίδα‡	84–100	0,069–0,084
Περιοδικά‡	203	0,116
Συσκευασίες φαγητών‡	318–349	0,083–0,141

*: Οι τιμές υπολογίστηκαν θεωρώντας σύσταση μεθανίου 53% v/v και υγρασία απορριμμάτων 21% υβ (τυπική τιμή υγρασίας για απορρίμματα των ΗΠΑ). Η στοιχειακή σύσταση των απορριμμάτων των ΗΠΑ λήφθηκε ίση (επί ξηρού βάρους) με C 35,4%, H 4,4%, O 28,4%, N 0,42%, τέφρα 31,6%. Η μετατροπή σε υγρή βάση βασίστηκε σε υγρασία 21% (Ham & Barlaz, 1989).

ΟΥ: Οργανική ύλη (πτητικά στερεά)

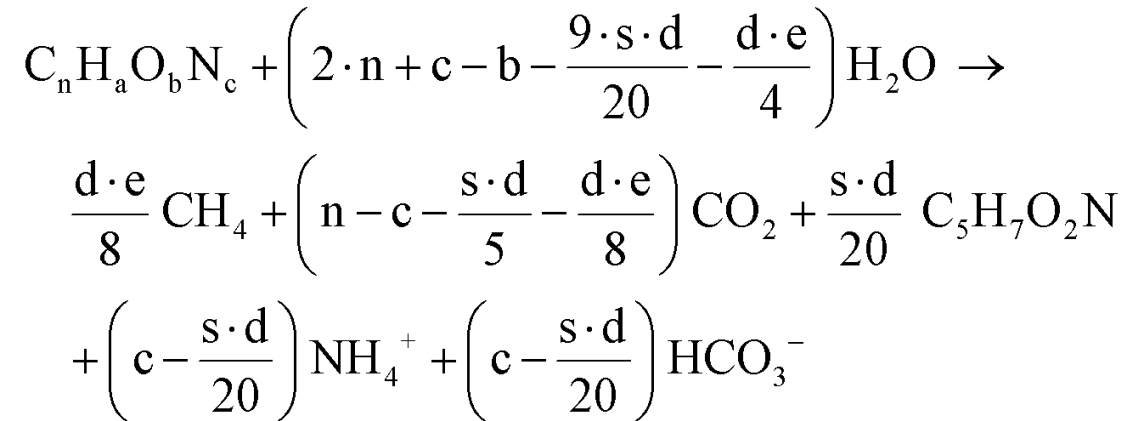
†: EMCON, (1980)

‡: Πειράματα BMP (Owens & Chynoweth, 1993)

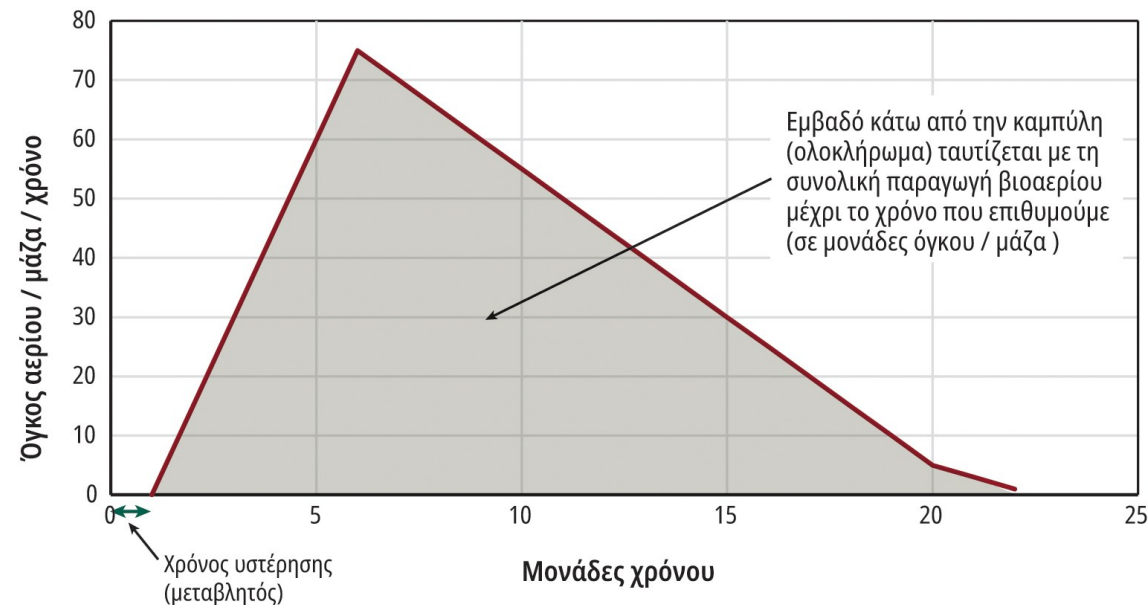
Χώροι υγειονομικής ταφής

Παραγωγή βιοαερίου – Απόδοση και ρυθμός

Εξίσωση παραγωγής



Ρυθμός παραγωγής



$$s = a_e \cdot \left(\frac{1 + 0,2 \cdot f \cdot \theta_c}{1 + f \cdot \theta_c} \right)$$

Υπόστρωμα	Χημικός τύπος	a_e
Υδατάνθρακες	$C_6H_{10}O_5$	0,28
Πρωτεΐνες	$C_{16}H_{24}O_5N_4$	0,08
Λιπαρά οξέα	$C_{16}H_{32}O_2$	0,06
Ιλύς αστικών λυμάτων	$C_{10}H_{19}O_3N$	0,11
Αιθανόλη	C_2H_6O	0,11
Μεθανόλη	CH_4O	0,15
Βενζοϊκό οξύ	$C_7H_6O_2$	0,11

Χώροι υγειονομικής ταφής

Μοντελοποίηση παραγωγής βιοαερίου - Κινητικές

$$-\frac{dC}{dt} = k$$

Μηδενικού βαθμού (μονάδες k: μάζα × χρόνος⁻¹)

$$-\frac{dC}{dt} = k \cdot C$$

Πρώτου βαθμού (μονάδες k: χρόνος⁻¹)

Χρόνοι ημίσειας ζωής

Ταχέως βιοαποδομήσιμα: 0,5–1,5 γ

Μετρίως βιοαποδομήσιμα: 5–25 γ

$$-\frac{dC}{dt} = k \cdot C^2$$

Δευτέρου βαθμού (μονάδες k: μάζα⁻¹ × χρόνος⁻¹)

Χώροι υγειονομικής ταφής

Μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης ρυθμού παραγωγής βιοαερίου

Μοντέλο Tabasaran (αθροιστικός όγκος)

$$G_t = 1,868 \cdot C_{\text{org}} \cdot (0,014 \cdot \theta + 0,28) \left(1 - 10^{-k \cdot t}\right) \cdot \text{ΕΠΑ}_t$$

Μοντέλο USEPA – LandGEM (ετήσιος ρυθμός παραγωγής)

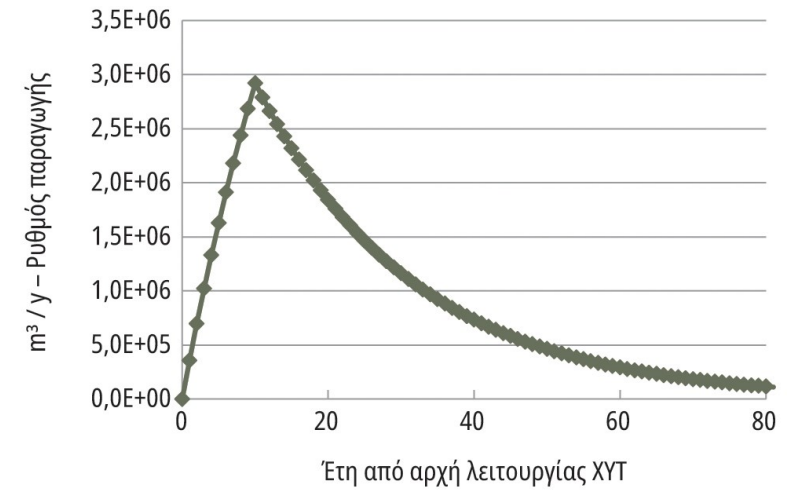
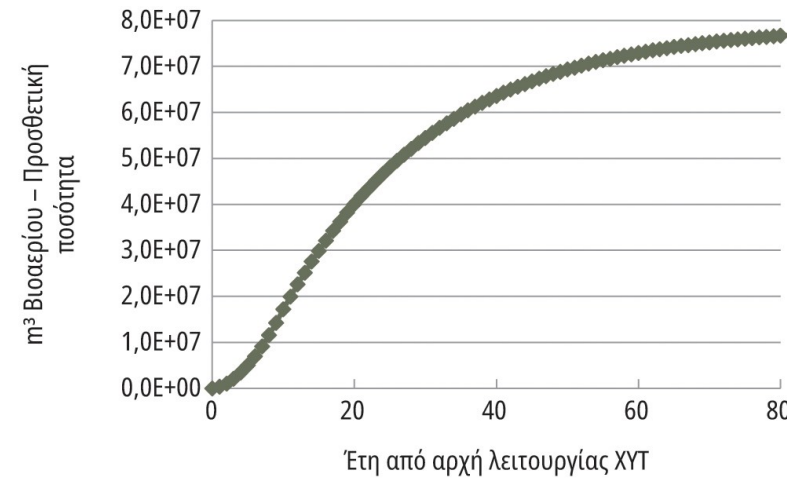
$$Q_{\text{tcalc}} = \sum_{i=1}^n k \cdot L_0 \cdot M_i \cdot e^{-k \cdot t_i}$$

Μοντέλο Gompertz (δημοφιλές τελευταία – αθροιστικός όγκος)

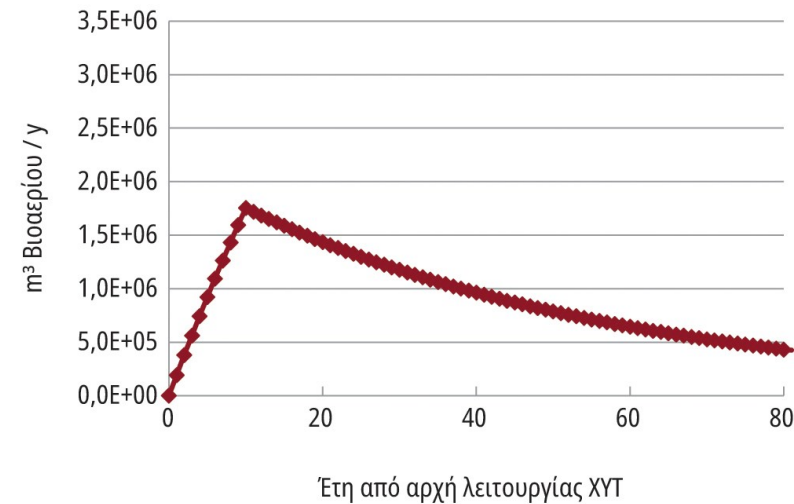
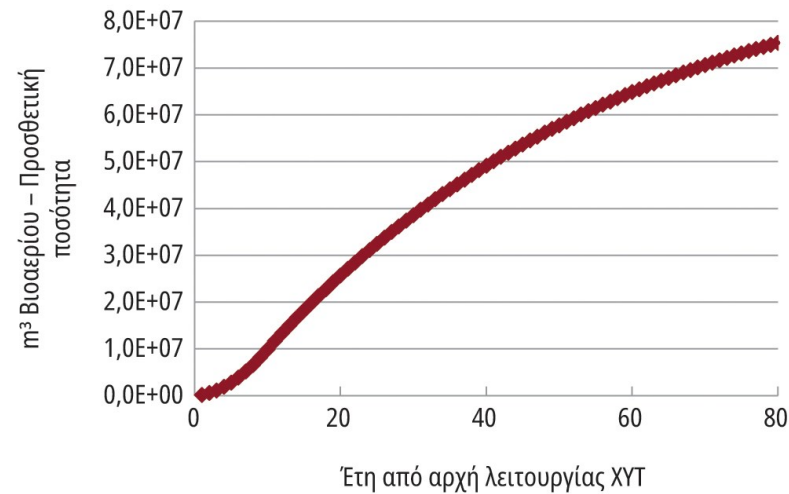
$$G_{(t)} = G_0 \cdot e^{-e^{-\frac{R_{\text{max}} \cdot 2,718}{G_0} \cdot (\lambda - t) + 1}}$$

Χώροι υγειονομικής ταφής

Σύγκριση μοντέλων με
ίδια αρχικά δεδομένα



Προβλέψεις βιοαερίου με μοντέλο Tabasaran



Προβλέψεις βιοαερίου με μοντέλο USEPA

Χώροι υγειονομικής ταφής

Κατηγορίες βιοαποδομήσιμων συστατικών

Ταχέως βιοαποδομήσιμα (π.χ. υπολείμματα φαγητών)

Σταθερά πρώτου βαθμού: k_r σε εύρος 0,1–0,4 y^{-1}

Ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου: 4–10 L/wet kg/y

Μέτρια βιοαποδομήσιμα (π.χ. χαρτιά, απόβλητα υγιεινής, υπολείμματα κήπων)

Σταθερά πρώτου βαθμού: k_m σε εύρος 0,01–0,1 y^{-1}

Ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου: 1,5–3 L/wet kg/y

Πολύ αργά (refractory) βιοαποδομήσιμα (π.χ. υφάσματα, δέρμα, ξύλα)

Σταθερά πρώτου βαθμού: k_s σε εύρος 0,001–0,01 y^{-1}

Ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου: 0,7–1,5 L/wet kg/y

Χώροι υγειονομικής ταφής

Παράδειγμα υπολογισμού Βιοαποδομήσιμου Οργανικού Άνθρακα (BOA)

Σε μια δοκιμή μέτρησης παραγωγής μεθανίου (δοκιμή βιοχημικού δυναμικού μεθανίου ή biochemical methane potential test – BMP), κάνουμε χρήση 10 g ξηρών λαχανικών στα οποία προσθέτουμε αρκετό νερό, εμβόλιο (λάσπη από αναερόβιο χωνευτή) και θρεπτικά συστατικά ώστε να ξεκινήσει άμεσα η αναερόβια βιοαποδόμηση. Η στοιχειακή σύσταση (επί ξηρού βάρους) υποδεικνύει ότι τα TOC, H, N, O για το συγκεκριμένο υλικό είναι: 42%, 5%, 1.5%, 25%, αντίστοιχα, και η τέφρα (ξβ) αποτελούσε το 20%. Η δε οργανική ύλη (πτητικά στερεά όπως μετρήθηκαν στους 550 °C) ήταν 74% ξβ. Βλέπουμε, όπως έχουμε αναφέρει και σε άλλο κεφάλαιο, ότι το άθροισμα των ποσοστών των τεσσάρων στοιχείων αθροίζει περίπου στο ποσοστό πτητικών στερεών, αφού η τέφρα δεν είναι πτητική στους 550 °C (μάλιστα αυτό μας βοηθάει να υπολογίζουμε έμμεσα το %O, που προκύπτει από τη διαφορά του αθροίσματος των C,H,N από τα πτητικά στερεά). Στη συνέχεια διεξάγουμε μια δοκιμή BMP (εργαστηριακή μέτρηση παραγωγής μεθανίου) με διάρκεια είκοσι μία ημέρες. Η δοκιμή μας δίνει 2 L CH₄ παραγόμενα από τα 10 g (ξβ) λαχανικών. Υπολογίστε τον βιοαποδομήσιμο άνθρακα από τις τιμές αυτές, καθώς και τη μοναδιαία παραγωγή μεθανίου και βιοαερίου. Το πείραμα διεξήχθη στους 37°C και η μέση σύσταση μεθανίου στο βιοαέριο ήταν 55% κ.ο.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Λύση παραδείγματος υπολογισμού ΒΟΑ

Μεθάνιο

$2 \text{ L} / 10 \text{ dry g} = 0,2 \text{ L/dry g} = 200 \text{ L CH}_4 / \text{dry kg}$ (λογική τιμή)

$200 \text{ L/dry kg} / 0,74 \text{ kg OY} / \text{dry kg} = 270 \text{ L CH}_4 / \text{kg OY}$

Βιοαέριο

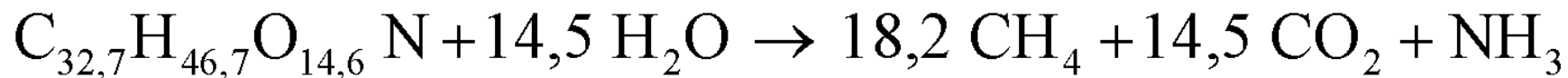
$200 \text{ L CH}_4 / 0,55 = 363 \text{ L βιοαερίου} / \text{dry kg}$ (λογική τιμή)

$270 \text{ L CH}_4 / 0,55 = 491 \text{ L βιοαερίου} / \text{kg OY}$

1^η προσέγγιση: TOC: $10 \text{ g} \times 42\% = 4,2 \text{ g C}$

$22,4 \text{ L} \times [(273 + 37) / 273] \times (4,2 / 12) = 8,9 \text{ L βιοαερίου}$ ή $8,9 \times 55\% = 4,9 \text{ L CH}_4$

2^η προσέγγιση:



Χώροι υγειονομικής ταφής

Λύση παραδείγματος υπολογισμού ΒΟΑ

Παραγωγή	L CH ₄ /dry kg	L CH ₄ /kg ΟΥ
Θεωρητική	499	674,2
Πειραματική	200	270
Αναερόβια βιοαποδομήσιμος οργανικός C (ΒΟΑ) (% επί του TOC)	40%	

Χοντρικά κριτήρια για ενεργειακή αξιοποίηση βιοαερίου σε ΗΠΑ

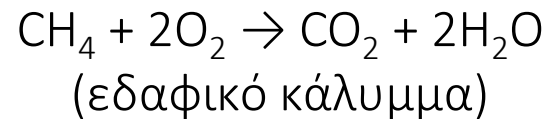
- Ελάχιστη θαμμένη ποσότητα απορριμμάτων: 0,5–1 εκατ. τόνοι
- Ελάχιστο βάθος ΧΥΤΑ: 12–15 m
- Απόσταση δικτύου για μεταφορά του βιοαερίου: 1,5–3 km

Αν δεν ισχύουν τα παραπάνω, τότε απλή καύση σε φλόγιστρο

Χώροι υγειονομικής ταφής

Ισοζύγια μάζας μεθανίου – Διαφυγή στην ατμόσφαιρα

$$\text{CH}_{4\text{emitted}} = \text{CH}_{4\text{generated}} - \text{CH}_{4\text{oxidCO}_2} - \text{CH}_{4\text{recovered}} - \text{CH}_{4\text{migrated}} + \Delta\text{CH}_{4\text{storage}}$$



Εύρος ρυθμών οξείδωσης μεθανίου από μεθανότροφους ΜΟ: 0,0004 έως
4.000 g/m² εδάφους/d

Εκτιμάται ότι το 10% του παραγόμενου CH₄ σε ένα ΧΥΤΑ οξειδώνεται από το
εδαφικό κάλυμμα στην κορυφή

Χώροι υγειονομικής ταφής

Βιώσιμοι ΧΥΤ

- Ξηροί τάφοι (μη βιώσιμος ΧΥΤ) - dry tomb
- ΜΒΤ ΧΥΤΥ ή ΧΥΤ χαμηλών εκπομπών (βιώσιμος ΧΥΤΑ) – ΜΒΤ landfill
- ΧΥΤΑ ως βιοαντιδραστήρας (βιώσιμος ΧΥΤ) – bioreactor landfill

Χώροι υγειονομικής ταφής

Βιώσιμοι ΧΥΤ

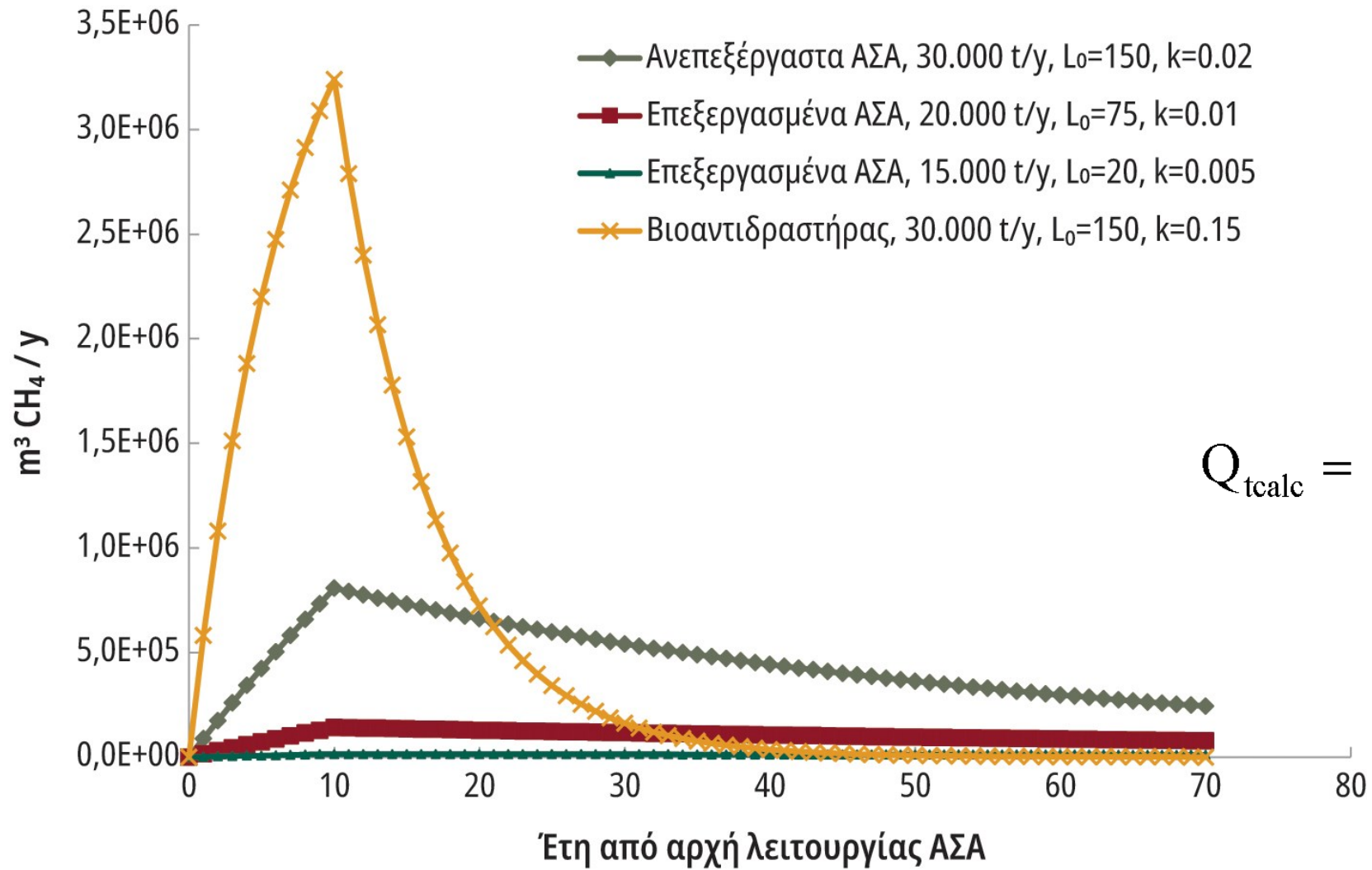
Σενάριο 1: Παραγωγή ΑΣΑ με ρυθμό 30.000 t/y και με $L_0 = 150 \text{ L CH}_4/\text{wet kg}$, $k = 0,02 \text{ y}^{-1}$.

Σενάριο 2: Παραγωγή ΑΣΑ με ρυθμό 30.000 t/y που οδηγούνται πρώτα σε αερόβια κομποστοποίηση (μονάδα MBT), η οποία τελικά οδηγεί προς ταφή 20.000 t/y MBT, υλικό που είναι μερικώς σταθεροποιημένο με $L_0 = 75 \text{ L CH}_4/\text{wet kg}$ και $k = 0,01 \text{ y}^{-1}$.

Σενάριο 3: Παραγωγή ΑΣΑ με ρυθμό 30.000 t/y που οδηγούνται σε εντατική αερόβια κομποστοποίηση (μονάδα MBT), που τελικά οδηγεί προς ταφή 15.000 t/y MBT υλικό με χαρακτηριστικά $L_0 = 20 \text{ L CH}_4/\text{wet kg}$, $k = 0,005 \text{ y}^{-1}$.

Σενάριο 4: Σενάριο λειτουργίας ΧΥΤ ως βιοαντιδραστήρα (bioreactor landfill) με προσθήκη ύδατος και θρεπτικών συστατικών και έλεγχο του pH με προσθήκη CaCO_3 σε περίπτωση πτώσης του pH. Παραγωγή ΑΣΑ με ρυθμό 30.000 t/y και με $L_0 = 150 \text{ L CH}_4/\text{wet kg}$, $k = 0,15 \text{ y}^{-1}$.

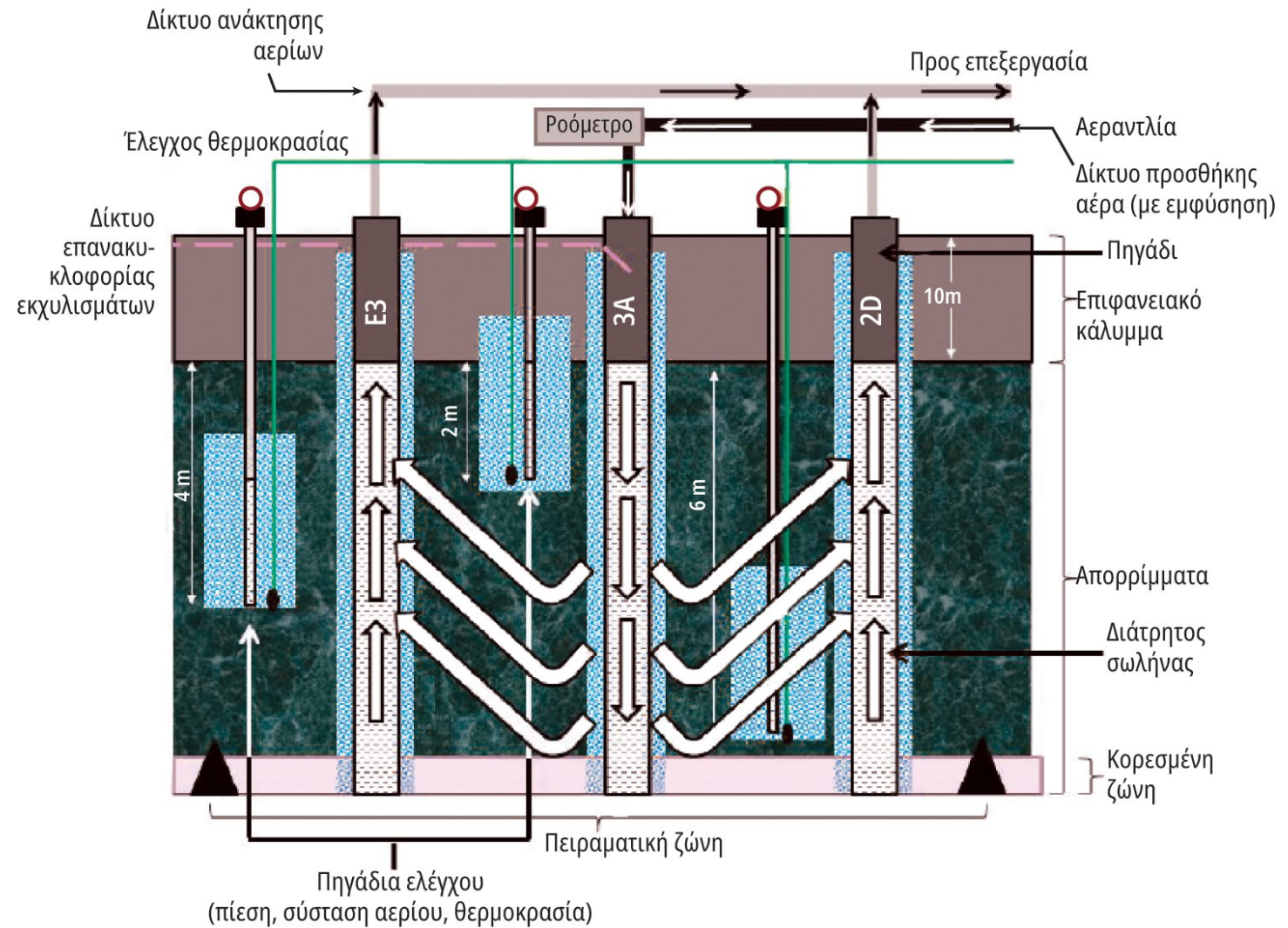
Χώροι υγειονομικής ταφής



$$Q_{\text{tcalc}} = \sum_{i=1}^n k \cdot L_0 \cdot M_i \cdot e^{-k \cdot t_i}$$

Χώροι υγειονομικής ταφής

Αερόβιος ΧΥΤΑ



Χώροι υγειονομικής ταφής

Βιώσιμοι ΧΥΤΑ

- ΧΥΤ που δέχονται σταθεροποιημένο υλικό (ΧΥΤΑ MBT, MBT landfills) και άρα έχουν εξαρχής χαμηλές έως μηδενικές εκπομπές,
- ΧΥΤ που λειτουργούν ως αναερόβιοι βιοαντιδραστήρες (bioreactor landfills) και έχουν στόχο την ταχεία αναερόβια βιοαποδόμηση του υλικού, τη μεγιστοποίηση της παραγωγής του μεθανίου και την ενεργειακή αξιοποίηση αυτού. Ως αποτέλεσμα της ενίσχυσης των ρυθμών βιοαποδόμησης (προσθήκη νερού αρχικά, ανακύκλωση εκχυλισμάτων, προσθήκη ιλύος ή/και θρεπτικών), ο ΧΥΤ μπορεί να σταθεροποιηθεί πολύ συντομότερα από έναν συμβατικό ΧΥΤ τύπου «ξηρού τάφου»,
- ΧΥΤ που μετατρέπονται σε αερόβιους (ή ημι-αερόβιους) με ενεργητική ή παθητική παροχέτευση αέρα στο εσωτερικό τους, καθώς και ανακύκλωση εκχυλισμάτων, ώστε τα ΑΣΑ να σταθεροποιηθούν με ταχείς αερόβιους ρυθμούς. Ο αερόβιος ΧΥΤ έχει σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις BOD_5 , COD , NH_4^+ στα εκχυλίσματα, και εκπομπές μεθανίου, σε σχέση με έναν συμβατικό ΧΥΤ.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Μεταφροντίδα (10-20 έτη)

- Ποιότητα και στάθμη υπογείων νερών στην περιοχή του ΧΥΤ. Όσον αφορά τα υπόγεια νερά, η ελάχιστη απαίτηση είναι η παρακολούθηση της ποιότητας συγκεκριμένων παραμέτρων με χρήση μίας γεώτρησης ανάντη του χώρου (ως σημείο αναφοράς) και τουλάχιστον δύο γεωτρήσεων (στις ΗΠΑ απαιτούνται τουλάχιστον τρεις) κατάντη του χώρου (το ανάντη και κατάντη βασίζεται στην κίνηση των υπογείων νερών της περιοχής). Τυπικές παράμετροι μέτρησης είναι: pH, TOC, φαινόλες, μέταλλα, φθόριο, αρσενικό, πετρέλαιο/υδρογονάνθρακες, Cl^- , COD, αγωγιμότητα, N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Fe, Mn, Zn.
- Ποιότητα γειτονικών επιφανειακών νερών, αν υπάρχουν, σε αντιπροσωπευτικά σημεία. Εδώ απαιτείται τουλάχιστον ένα σημείο ανάντη (σημείο αναφοράς) και ένα κατάντη του ΧΥΤΑ.
- Ποιότητα εκχυλισμάτων στα σημεία που αυτά εκρέουν από τον ΧΥΤΑ.
- Μετρήσεις αερίων (CO_2 , CH_4 , O_2 , H_2S , H_2) του ανακτώμενου βιοαερίου αλλά και περιμετρικά του χώρου, ώστε να ελεγχθεί η κατάσταση της βιοαποδόμησης του ΧΥΤ, αλλά και η πιθανή διαφυγή αερίων.
- Μετεωρολογικά στοιχεία (ύψος βροχής, θερμοκρασία, διεύθυνση και ένταση ανέμου, εξάτμιση, ατμοσφαιρική υγρασία).
- Καθίζηση του φορτίου των αποβλήτων.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Φόρος ταφής, τέλος εισόδου

- Τέλος εισόδου ΧΥΤ (€/t) → έσοδο για τον διαχειριστή του χώρου που αφορά κάθε είδος στερεών αποβλήτων που εισέρχονται στον χώρο.
- Φόρος ταφής (€/t) → έσοδο για τα δημόσια ταμεία που αφορά συνήθως τα ανεπεξέργαστα σύμμεικτα ΑΣΑ αλλά και διάφορα άλλα ρεύματα (βιοαποδομήσιμα ΣΑ, καύσιμα ΣΑ).

Χώροι υγειονομικής ταφής

Φόρος ταφής, τέλος εισόδου

Κράτος μέλος	Μέσο τέ-λος εισό-δου (2013)	Φόρος ταφής για το έτος 2017*	Σχόλια
Αυστρία	70	87 (από το 2006)	- Ο φόρος υφίσταται από το 1999. - Ο φόρος υγειονομικής ταφής αυξήθηκε πάνω από 50% από το 2001 έως το 2010. - Τα υπολείμματα αποτέφρωσης ΑΣΑ δεν υπο-κεινται σε φόρο ταφής. - Απαγόρευση ταφής για ΑΣΑ με TOC > 5% με εξαίρεση των επεξεργασμένων ΑΣΑ από MBT.
Βέλγιο (Φλαμανδία)	50	101,91 για καύσι-μα απόβλητα 56,05 για μη καύ-σιμα απόβλητα	- Ποικίλλει λόγω των ζωνών BE/FL και BE/WAL. - Δεν έχει ΧΥΤ στην περιοχή των Βρυξελλών. - Το κράτος απαγορεύει ταφή για καύσιμα και βιοαποδομήσιμα απόβλητα.
Βέλγιο (Βαλλονία)	50	113,01 για γενικά απόβλητα 62,16 για μη καύ-σιμα απόβλητα	Απαγόρευση ταφής καυσίμων αποβλήτων
Βουλγαρία	Μ/Δ	20 (2017) 23 (2018) 30 (2019) 50 (2020-)	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Γαλλία	60,50	15–40 για εγκε-κριμένους ΧΥΤ 150 για μη εγκε-κριμένους χώρους ταφής	- Στους εγκεκριμένους χώρους ταφής η διαφο-ροποίηση φόρου γίνεται με βάση το ποσοστό επιθυμητής ανάκτησης ενέργειας. - Απαγορεύεται η ταφή για ανεπεξέργαστα ΑΣΑ και σε ΑΣΑ από δήμους που δεν έχουν χωριστή συλλογή.
Γερμανία*	140	Δεν έχει φόρο ταφής	- Το κράτος απαγορεύει ταφή για απόβλητα με TOC > 3% εκτός των επεξεργασμένων απο-βλήτων από MBT. - Η σύνθετη γερμανική νομοθεσία αντικατα-στάθηκε από μια απλουστευμένη νομοθετική ρύθμιση, η οποία επικαιροποιήθηκε και τέθη-κε σε ισχύ από το 2016.
Δανία	44	79 (από το 2010)	- Από το 1997 απαγόρευση ταφής ανακυκλώσι-μων και καυσίμων αποβλήτων. - Ο φόρος υφίσταται, ως θεσμός, από το 1987.
Ελλάδα	23,5	35 (2014) με αύξηση 5€/t ανά έτος έως τα 60€/t.	- Ορίστηκε με τον νόμο 4042/2012 (Άρθρο 43) και αφορούσε ανεπεξέργαστα σύμμεικτα ΑΣΑ. Δεν εφαρμόστηκε ποτέ. - Ανεστάλη η εφαρμογή του το 2017. - Επαναπροσδιορίστηκε στα 10 €/t με Νομοθε-τική Ρύθμιση που αφορά στην Κυκλική Οικο-νομία (2019), και ονομάζεται πλέον «εισφορά υπέρ κυκλικής οικονομίας».

Κράτος μέλος	Μέσο τέ-λος εισό-δου (2013)	Φόρος ταφής για το έτος 2017*	Σχόλια
Εσθονία	40	29,84	Φόρος υφίσταται από το 1990, απαγόρευση ταφής για ανεπεξέργαστα ΑΣΑ από το 2004.
Ηνωμένο Βασίλειο	26,80	104,7 (2018)	- Ο φόρος υφίσταται από το 1996. - Απαγόρευση ταφής για διαφορετικά ρεύματα ΑΣΑ σε Σκωτία, Ουαλία, Β. Ιρλανδία.
Ιρλανδία	70	75 (από το 2013)	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Ισπανία	32,75	7–47,1 (2020)	- Ποικίλλει λόγω των διαφορετικών πολιτικών που ακολουθούνται από τις επιμέρους τοπι-κές κυβερνήσεις. - Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Ιταλία	90	5,2–25,82	- Ποικίλλει λόγω διαφορετικών πολιτικών που ακολουθούνται στις επιμέρους περιφέρειες. - Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Κροατία*		Δεν έχει φόρο ταφής	Ένα τέλος ταφής σχεδιάστηκε για 2017–2022, χωρίς να εφαρμοστεί ακόμη.
Κύπρος*	56	Δεν έχει φόρο ταφής	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Λετονία	30	25 (2017) 35 (2018) 43 (2019) 50 (2020)	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Λιθουανία	16,25	3 (2017) 5 (2018) 21,7 (2019) 27,5 (2020)	Απαγόρευση ταφής για το 2013.
Λουξεμ-βούργο	149,48	8	- Ο φόρος είναι δημοτικός και όχι εθνικός. - Απαγορεύεται η ταφή και υπάρχει ένας ΧΥΤ στη χώρα.
Μάλτα*	20	Δεν έχει φόρο ταφής	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Ολλανδία	25	13,1 (επανα-προσδιορίζεται ετησίως)	- Ο φόρος υφίσταται από το 1995, καταργήθη-κε το 2012 και επανήλθε το 2015. - Απαγόρευση ταφής για 60 ρεύματα αποβλή-των.
Ουγγαρία	35	19,35	- Ο φόρος υφίσταται από το 2013. - Απαγορεύεται η ταφή για ανεπεξέργαστα ΑΣΑ και επικίνδυνα απόβλητα.
Πολωνία	69,5	33 (2018) 40 (2019) 64 (2020)	Απαγορεύεται η ταφή για βιοαποδομήσιμα απόβλητα και καύσιμα απόβλητα.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Φόρος ταφής, τέλος εισόδου

Κράτος μέλος	Μέσο τέ-λος εισό-δου (2013)	Φόρος ταφής για το έτος 2017*	Σχόλια
Αυστρία	70	87 (από το 2006)	- Ο φόρος υφίσταται από το 1999. - Ο φόρος υγειονομικής ταφής αυξήθηκε πάνω από 50% από το 2001 έως το 2010. - Τα υπολείμματα αποτέφρωσης ΑΣΑ δεν υπο-κεινται σε φόρο ταφής. - Απαγόρευση ταφής για ΑΣΑ με TOC > 5% με εξαίρεση των επεξεργασμένων ΑΣΑ από MBT.
Βέλγιο (Φλαμανδία)	50	101,91 για καύσι-μα απόβλητα 56,05 για μη καύ-σιμα απόβλητα	- Ποικίλλει λόγω των ζωνών BE/FL και BE/WAL. - Δεν έχει ΧΥΤ στην περιοχή των Βρυξελλών. - Το κράτος απαγορεύει ταφή για καύσιμα και βιοαποδομήσιμα απόβλητα.
Βέλγιο (Βαλλονία)	50	113,01 για γενικά απόβλητα 62,16 για μη καύ-σιμα απόβλητα	Απαγόρευση ταφής καυσίμων αποβλήτων
Βουλγαρία	Μ/Δ	20 (2017) 23 (2018) 30 (2019) 50 (2020-)	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Γαλλία	60,50	15–40 για εγκε-κριμένους ΧΥΤ 150 για μη εγκε-κριμένους χώρους ταφής	- Στους εγκεκριμένους χώρους ταφής η διαφο-ροποίηση φόρου γίνεται με βάση το ποσοστό επιθυμητής ανάκτησης ενέργειας. - Απαγορεύεται η ταφή για ανεπεξέργαστα ΑΣΑ και σε ΑΣΑ από δήμους που δεν έχουν χωριστή συλλογή.
Γερμανία*	140	Δεν έχει φόρο ταφής	- Το κράτος απαγορεύει ταφή για απόβλητα με TOC > 3% εκτός των επεξεργασμένων απο-βλήτων από MBT. - Η σύνθετη γερμανική νομοθεσία αντικατα-στάθηκε από μια απλουστευμένη νομοθετική ρύθμιση, η οποία επικαιροποιήθηκε και τέθη-κε σε ισχύ από το 2016.
Δανία	44	79 (από το 2010)	- Από το 1997 απαγόρευση ταφής ανακυκλώσι-μων και καυσίμων αποβλήτων. - Ο φόρος υφίσταται, ως θεσμός, από το 1987.
Ελλάδα	23,5	35 (2014) με αύξηση 5€/t ανά έτος έως τα 60€/t.	- Ορίστηκε με τον νόμο 4042/2012 (Άρθρο 43) και αφορούσε ανεπεξέργαστα σύμμεικτα ΑΣΑ. Δεν εφαρμόστηκε ποτέ. - Ανεστάλη η εφαρμογή του το 2017. - Επαναπροσδιορίστηκε στα 10 €/t με Νομοθε-τική Ρύθμιση που αφορά στην Κυκλική Οικο-νομία (2019), και ονομάζεται πλέον «εισφορά υπέρ κυκλικής οικονομίας».

Κράτος μέλος	Μέσο τέ-λος εισό-δου (2013)	Φόρος ταφής για το έτος 2017*	Σχόλια
Εσθονία	40	29,84	Φόρος υφίσταται από το 1990, απαγόρευση ταφής για ανεπεξέργαστα ΑΣΑ από το 2004.
Ηνωμένο Βασίλειο	26,80	104,7 (2018)	- Ο φόρος υφίσταται από το 1996. - Απαγόρευση ταφής για διαφορετικά ρεύματα ΑΣΑ σε Σκωτία, Ουαλία, Β. Ιρλανδία.
Ιρλανδία	70	75 (από το 2013)	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Ισπανία	32,75	7–47,1 (2020)	- Ποικίλλει λόγω των διαφορετικών πολιτικών που ακολουθούνται από τις επιμέρους τοπι-κές κυβερνήσεις. - Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Ιταλία	90	5,2–25,82	- Ποικίλλει λόγω διαφορετικών πολιτικών που ακολουθούνται στις επιμέρους περιφέρειες. - Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Κροατία*		Δεν έχει φόρο ταφής	Ένα τέλος ταφής σχεδιάστηκε για 2017–2022, χωρίς να εφαρμοστεί ακόμη.
Κύπρος*	56	Δεν έχει φόρο ταφής	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Λετονία	30	25 (2017) 35 (2018) 43 (2019) 50 (2020)	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Λιθουανία	16,25	3 (2017) 5 (2018) 21,7 (2019) 27,5 (2020)	Απαγόρευση ταφής για το 2013.
Λουξεμ-βούργο	149,48	8	- Ο φόρος είναι δημοτικός και όχι εθνικός. - Απαγορεύεται η ταφή και υπάρχει ένας ΧΥΤ στη χώρα.
Μάλτα*	20	Δεν έχει φόρο ταφής	Δεν απαγορεύεται η ταφή.
Ολλανδία	25	13,1 (επανα-προσδιορίζεται ετησίως)	- Ο φόρος υφίσταται από το 1995, καταργήθη-κε το 2012 και επανήλθε το 2015. - Απαγόρευση ταφής για 60 ρεύματα αποβλή-των.
Ουγγαρία	35	19,35	- Ο φόρος υφίσταται από το 2013. - Απαγορεύεται η ταφή για ανεπεξέργαστα ΑΣΑ και επικίνδυνα απόβλητα.
Πολωνία	69,5	33 (2018) 40 (2019) 64 (2020)	Απαγορεύεται η ταφή για βιοαποδομήσιμα απόβλητα και καύσιμα απόβλητα.

Χώροι υγειονομικής ταφής

Εξόρυξη ΧΥΤ (landfill mining)

- πηγή ανακυκλώσιμων υλικών (κυρίως μετάλλων),
- πηγή απορριμματογενούς καυσίμου,
- μέθοδο επέκτασης της ζωής ενός ΧΥΤΑ και της αποφυγής δημιουργίας νέων χώρων ταφής.

Κατά Krook et al. (2012):

- Ανάπτυξη κατάλληλης τεχνολογίας για εξόρυξη και ανάκτηση συγκεκριμένων υλικών, ώστε τελικά τα κέρδη του συνολικού έργου να υπερβαίνουν τα κόστη. Σε αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το υψηλό κόστος των εκσκαφών.
- Βάσει θεωρητικών εκτιμήσεων, η ποσότητα του χαλκού που είναι θαμμένη σε ΧΥΤ σε παγκόσμιο επίπεδο (393 εκατ. τόνοι) είναι συγκρίσιμη με την ποσότητα του χαλκού που χρησιμοποιείται στην τεχνόσφαιρα (330 εκατ. τόνοι).
- Στη Σουηδία εκτιμάται ότι η ποσότητα των καύσιμων απορριμμάτων που είναι θαμμένη στους εκεί ΧΥΤΑ μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της χώρας για 10 έτη.
- Υπάρχει σημαντική έλλειψη έργων εξόρυξης ΧΥΤΑ σε μεγάλη κλίμακα, κάτι που αποτελεί ένδειξη ότι ακόμα η τεχνολογία αυτή δεν είναι οικονομικά βιώσιμη.
- Στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1990, κάποιες πρωτοβουλίες εξόρυξης ΧΥΤ αποδείχθηκαν κερδοφόρες μόνο λαμβάνοντας υπόψη ότι έτσι δεν απαιτείται κατασκευή νέων ΧΥΤ.