



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας & Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής

**Εξυγίανση εδαφών στο Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο
Λαυρίου: Ένα πρωτοποριακό εγχείρημα του Ε.Μ.Π.**



Δ. Καλιαμπάκος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αντικείμενο

Παρουσίαση των έργων εξυγίανσης των ρυπασμένων εδαφών στο
Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου

- Μέθοδος αποκατάστασης
- Τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου
- Περιβαλλοντικός έλεγχος
- Κόστος

Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου (Τ.Π.Π.Λ.)

- Τοποθεσία: Λαύριο
- Έκταση: 245 στρέμματα
- 7ος αιώνας π.Χ.: αρχαία μεταλλεία αργύρου
- 5ος αιώνας π.Χ.: Χρυσός αιώνας του Περικλή- «αργυρός» αιώνας του Λαυρίου
- 19ος αιώνας: μεταλλουργικό συγκρότημα. Η σημαντικότερη βιομηχανική μονάδα της εποχής στην Ελλάδα

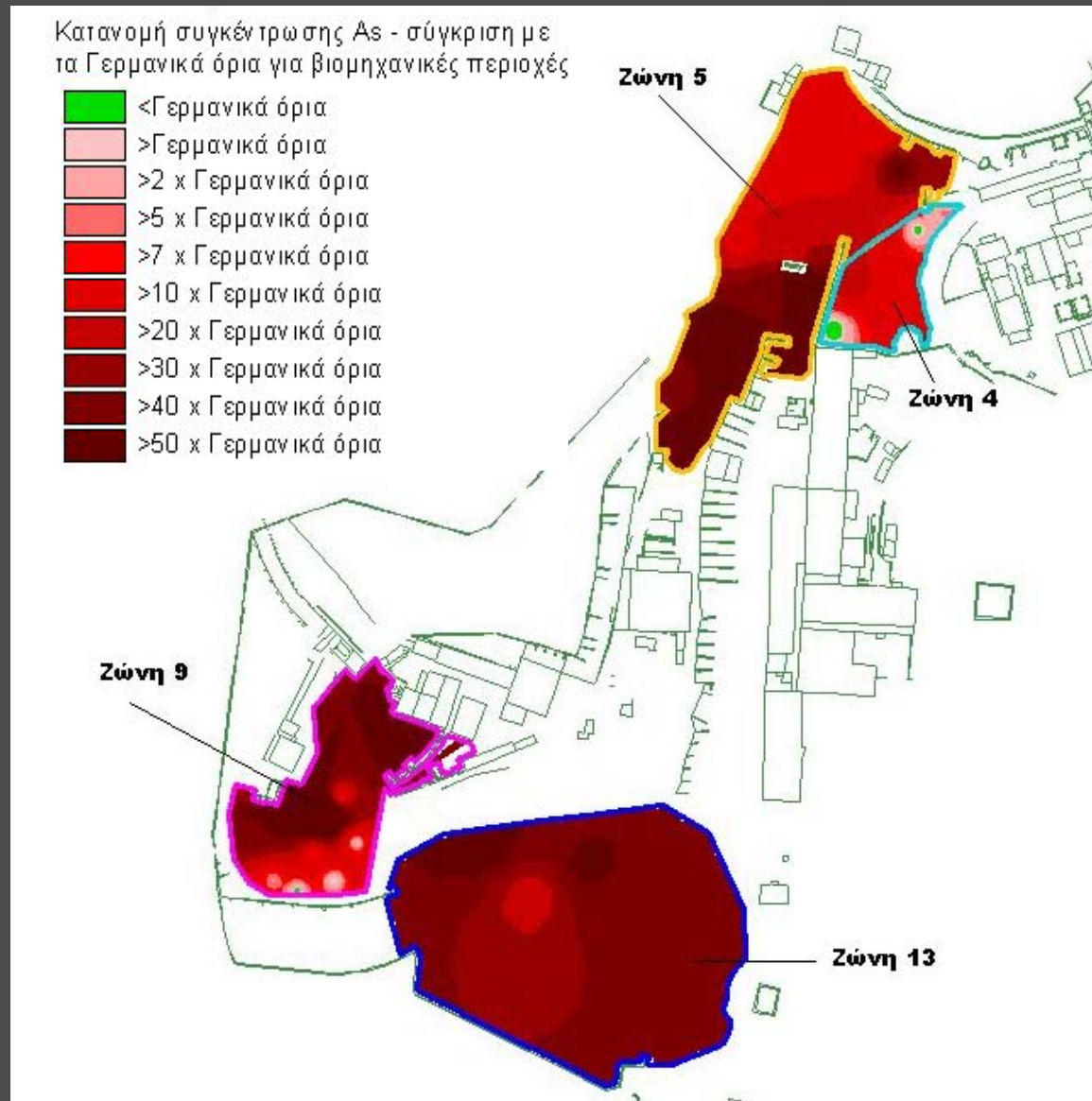


Το περιβαλλοντικό πρόβλημα

Ρύπος	As	Cd	Pb	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn
Μέση τιμή (95% UCL)	8.539	621	47.261	249	3.253	11.980	199	51.644
Γερμανικά όρια για βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές	140	60	2000	1.000	-	-	900	-

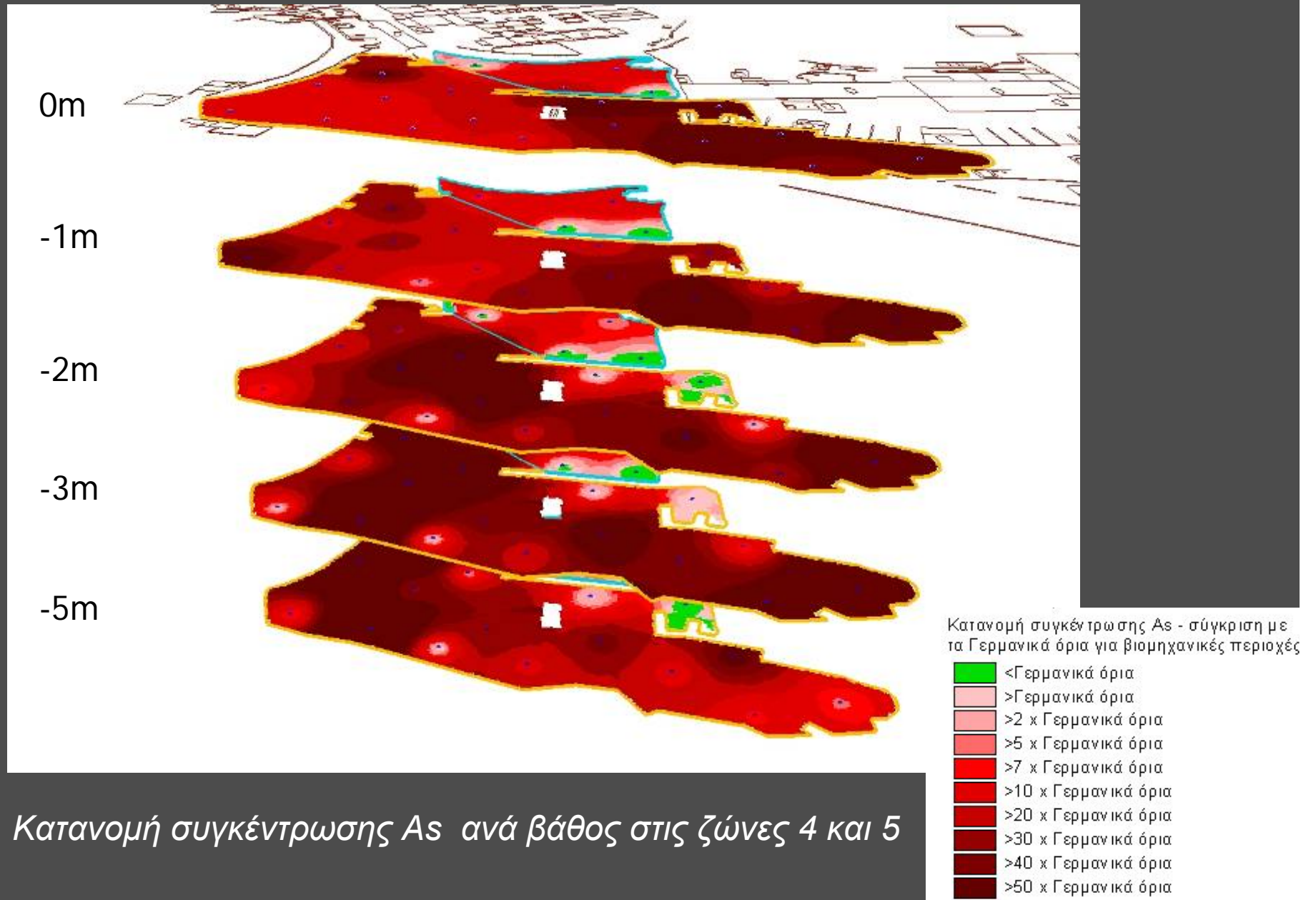
Ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση τοξικών ρύπων

Το περιβαλλοντικό πρόβλημα



Κατανομή συγκέντρωσης As στην επιφάνεια του Τ.Π.Π.Λ.

Το περιβαλλοντικό πρόβλημα



Κατανομή συγκέντρωσης As ανά βάθος στις ζώνες 4 και 5

Εκτίμηση κινδύνου

Ομάδα πληθυσμού	Κίνδυνος	Ντετερμινιστικό	Πιθανοτικό (πιθανότητα υπέρβασης επιτρεπόμενων ορίων)
Εργαζόμενοι σε εσωτερικούς χώρους	<i>Καρκινογένεσης</i>	4,5E-04	99,7%
	<i>Μη καρκινογένεσης</i>	2,91	63,5%
Εργαζόμενοι σε εξωτερικούς χώρους	<i>Καρκινογένεσης</i>	2,8E-03	99,9%
	<i>Μη καρκινογένεσης</i>	14,81	96,7%

Εκτίμηση κινδύνου σε εργαζόμενους εσωτερικών και εξωτερικών χώρων στο Τ.Π.Π.Λ. μέσω εισπνοής, κατάποσης και δερματικής επαφής

Το έργο αποκατάστασης

Εκσκαφή, μεταφορά και απόθεση των ρυπασμένων εδαφών σε ένα ειδικά διαμορφωμένο, υδατοστεγανό χώρο απόθεσης εντός του Τ.Π.Α. με χρήση της μεθόδου «ξηρού τάφου» και πλήρωση των κενών με υγιές έδαφος



Έκταση 18.500 m²
με δυνατότητα
απόθεσης 113.000
m³ ρυπασμένων
εδαφών

Ζώνες εκσκαφής



Κατασκευή του Χώρου Υγειονομικής Ταφής Ρυπασμένων Εδαφών (ΧΥΤΡΕ)

- Διαμόρφωση του πυθμένα και κατασκευή της βάσης στεγανοποίησης του ΧΥΤΡΕ
- Μεταφορά και απόθεση των ρυπασμένων εδαφών
- Κατασκευή της άνω επιφάνειας στεγανοποίησης
- Εγκατάσταση του συστήματος περιβαλλοντικού ελέγχου

Διαμόρφωση πυθμένα

- Εκσκαφή πυθμένα: μέσο βάθος 3 μέτρα
- Συνολικός όγκος εκσκαφής: 54.850 m³



Κατασκευή της βάσης στεγανοποίησης του ΧΥΤΡΕ

- Προστατευτικό, μη υφαντό γεωύφασμα πολυπροπυλενίου πάχους 4,5 mm (βάρους 800 gr/m²)
- Γεωσυνθετικός φραγμός πάχους 8/10 mm (dry/wet) (Geosynthetic Clay Liner, GCL) υδραυλικής αγωγιμότητας 1,0×10⁻¹³ m/s
- Γεωμεμβράνη πολυαιθυλενίου (HDPE), τραχεία και στις δύο όψεις, πάχους 2,5 mm



Κατασκευή της βάσης στεγανοποίησης του ΧΥΤΡΕ



Κατασκευή της βάσης στεγανοποίησης του ΧΥΤΡΕ

Το σύστημα αποστράγγισης αποτελείται από ένα αποστραγγιστικό γεωσύνθετο 100% HDPE, πάχους 16mm και ένα γεωύφασμα μη υφαντό, διαχωρισμού των ρυπασμένων εδαφών από το σύστημα συλλογής στραγγισμάτων, βάρους 250gr/m²



Μεταφορά και απόθεση ρυπασμένων εδαφών

Εκσκαφή, μεταφορά και απόθεση περίπου 2.500 m³ ρυπασμένων εδαφών ανά μέρα



Μεταφορά και απόθεση ρυπασμένων εδαφών



Συνολικά στο ΧΥΤΡΕ αποτέθηκαν 113.000 m³ εδαφών

Κατασκευή της άνω επιφάνειας στεγανοποίησης

- Μη υφαντό γεώφασμα πολυπροπυλενίου πάχους 4,5 mm (βάρους 800 gr/m²)
- Γεωσυνθετικός φραγμός GCL πάχους 8/10 mm (dry/wet)
- Γεωμεμβράνη πολυαιθυλενίου (HDPE), τραχεία και στις δύο όψεις, πάχους 1.0 mm
- Αποστραγγιστικό γεωσύνθετο 100% HDPE, πάχους 10 mm
- Γεώφασμα μη υφαντό βάρους 250 gr/m²
- Επικάλυψη με φυτόχωμα πάχους 1 m



Ο ΧΥΤΡΕ πριν την τελική επιχωμάτωση



Ο ΧΥΤΡΕ στην τελική ευθεία...



Σύστημα περιβαλλοντικού ελέγχου

- Μετεωρολογικός σταθμός: κλιματολογικά δεδομένα
- 2 PM-10 μετρητές και ένα PM-10 TEOM real-time continuous monitor: ποιότητα αέρα-εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων
- 6 γεωτρήσεις παρακολούθησης: ποιότητα επιφανειακών και υπόγειων υδάτων (pH, περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα κ.α.)
- Κατακόρυφο φρέαρ, σωλήνας συλλογής και υπόγειο σύστημα συλλογής κάτω από τον ΧΥΤΡΕ: στραγγισματα (όγκος, χημική σύσταση κ.α.)
- Δίκτυο 18 μαρτύρων καθιζήσεων



*PM-10
Hi-Vol*



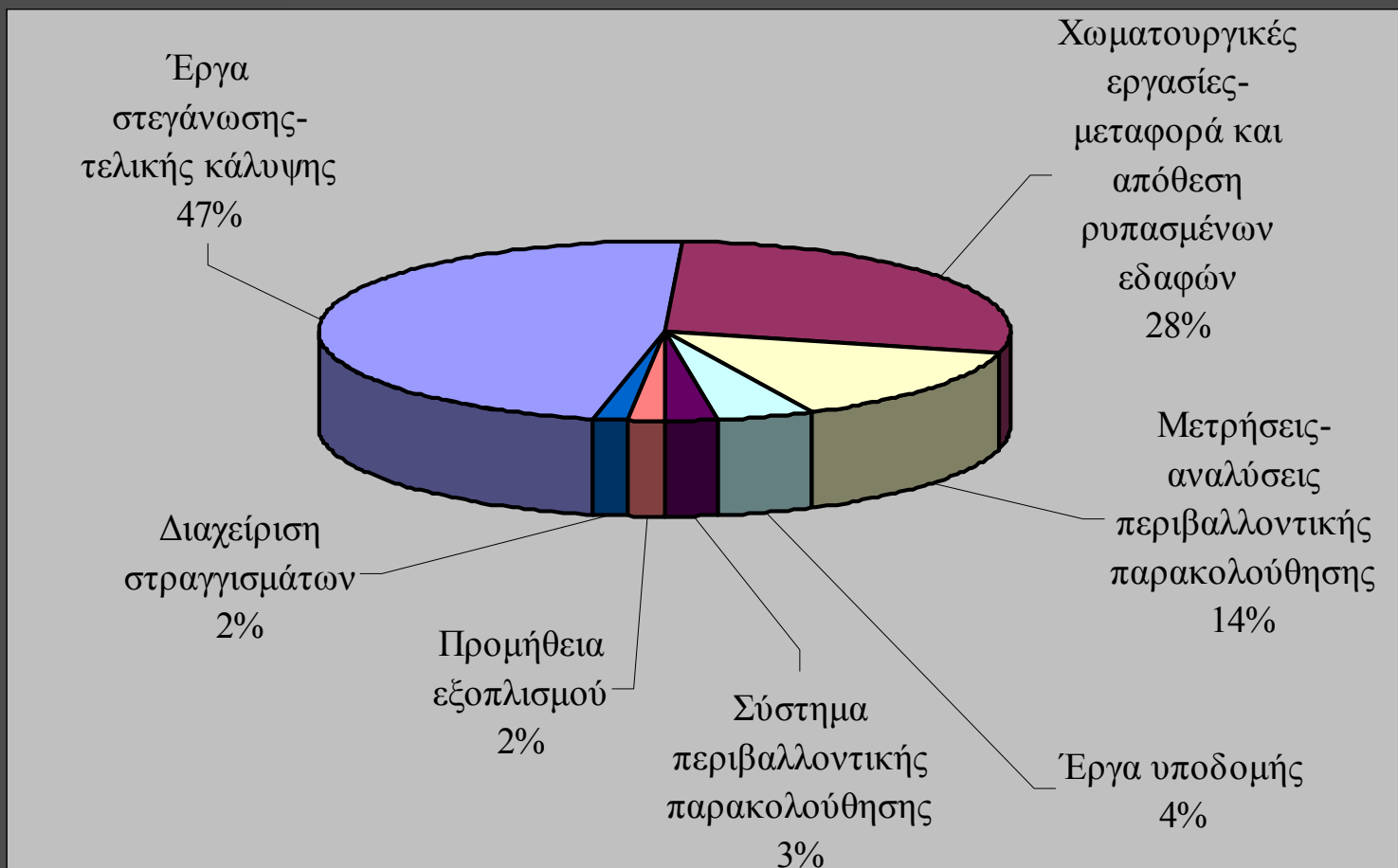
*PM-10
TEOM*

Ασφάλεια εργαζομένων



Κόστος ΧΥΤΡΕ

- Συνολικό κόστος έργου: € 3.5 εκ.
- Περίπου 31 €/ m³ ή 16 €/ τ. ρυπασμένου εδάφους



Κόστος εναλλακτικών μεθόδων αποκατάστασης

Γενική κατηγορία	Μέθοδος	Ενδεικτική τιμή κόστους (€)
Εκσκαφή και εγκιβωτισμός	Εκσκαφή και απόθεση σε ΧΥΤΡΕ	€ 74/m ³
Επιτόπου περιορισμός με χρήση μηχανικών μέσων	Κάλυψη της επιφάνειας με μηχανικά μέσα	€ 22-44/ m ²
	Ενθυλάκωση/ καψυλίωση (shallow cut-off wall)	€ 59-89/ m ²
	Ενθυλάκωση (deep cut-off wall)	€ 104- 178/ m ²
Ενεργητική απορρύπανση	Βιολογική αποκατάσταση	€ 52- 67/ τ.
	Υαλοποίηση εδάφους	€ 59/ τ.
	Υαλοποίηση χωρίς εκσκαφή (5t/hr)	€ 225- 319/ τ.
	Έκπλυση εδάφους	€ 45-52/ τ.
	Οξείδωση	€ 59- 119/ m ³
	Εκσκαφή και έκπλυση εδάφους	€ 43-171/ τ.
	Σταθεροποίηση/στερεοποίηση με εκσκαφή	€ 45-170/ τ.
	Τεχνολογία αποκατάστασης μέ καλλιέργειες (landfarming)	€ 48/ τ.
	Αντληση και απορρύπανση διαλελυμένων και αιωρούμενων ρύπων (pump and treat)	€ 30-120/ τ.

Ειδικό πλεονέκτημα της εφαρμογής «ξηρού τάφου» στο Τ.Π.Π.Λ.

Εφαρμογή *ex situ*
αλλά *on site*

