

Ο ρόλος του βιοαερίου στη διερεύνηση ανεξέλεγκτων χωματερών

Περίληψη

του
Αντ. Μαυρόπουλου
Υ.Δ. Τμ. Χημικών
Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Ένα από τα σοβαρότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της Ελλάδας είναι οι χιλιάδες χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης στερεών αποβλήτων. Η αποκατάσταση αυτών των χώρων είναι ένα πολύ δύσκολο επιστημονικό και τεχνικό πρόβλημα, κυρίως λόγω της συχνής απουσίας βασικών σχεδιαστικών δεδομένων που χαρακτηρίζει αυτούς τους χώρους. Στην εργασία που ακολουθεί παρουσιάζεται μία μεθοδολογία αντιμετώπισης του προβλήματος της έλλειψης των απαιτούμενων πληροφοριών που έχει ως κορμό ένα πρόγραμμα μετρήσεων βιοαερίου, σχετικά εύκολο και φθινό. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόστηκε με επιτυχία στην περίπτωση της αποκατάστασης της παλαιάς χωματερές του Δήμου Ηρακλείου της Κρήτης, στη θέση Σκαφιδαράς και τα αποτελέσματά της αναμόρφωσαν το αρχικό σχέδιο αποκατάστασης.

1. Εισαγωγή.

Η αποκατάσταση ενός χώρου ανεξέλεγκτης απόθεσης απορριμμάτων παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες και προβλήματα. Οι κυριότερες από αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι, συνήθως, δεν υπάρχουν οι απαραίτητες πληροφορίες για να γίνει ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός. Παράμετροι που είναι απαραίτητοι για να σχεδιαστεί ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα αποκατάστασης, όπως το είδος και οι ποσότητες των απορριμμάτων που έχουν ταφεί, η ηλικιακή κατανομή τους, η ποιότητα και ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων, ο τρόπος ταφής των απορριμμάτων, είναι συνήθως άγνωστοι σε ένα χώρο ανεξέλεγκτης διάθεσης στερεών αποβλήτων.

Οι χώροι απόθεσης έχουν την ιδιαιτερότητα ότι ο όγκος, η μάζα, το σχήμα, οι αέριες εκπομπές και τα υγρά απόβλητα μεταβάλλονται διαρκώς όσο λειτουργούν και προστίθενται νέα απόβλητα, αλλά ακόμα και μετά το πέρας της λειτουργίας τους. Συνεπώς το κύριο χαρακτηριστικό ενός χώρου απόθεσης είναι ότι πρόκειται για έναν «ζωντανό», διαρκώς μεταβαλλόμενο βιοαντιδραστήρα, ο οποίος:

- όσο λειτουργεί ταυτόχρονα «κατασκευάζεται» (με την έννοια ότι οικοδομείται το ανάγλυφο και ταυτόχρονα αποδομείται το σώμα των απορριμμάτων),
- και όσο «κατασκευάζεται» (αλλά και κατόπιν) ταυτόχρονα λειτουργεί (με την έννοια ότι είναι «ζωντανός»).

Η παραπάνω θεώρηση τροποποιεί

και την αντίληψη περί αποκαταστάσεων. Με τη σειρά τους και οι αποκατεστημένοι χώροι θεωρούνται γηρασμένα μεν, ζωντανά δε, σώματα απορριμμάτων [1] και αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι σύγχρονες νομοθετικές και θεσμικές ρυθμίσεις [2] προβλέπουν την παρακολούθησή τους για πολλά χρόνια.

2. Βήμα πρώτο: Θέτοντας τα σωστά ερωτήματα.

Είναι γνωστό ότι η πιο ολοκληρωμένη - και ταυτόχρονα πραγματική - θεώρηση ενός χώρου απόθεσης, από την άποψη του σχεδιασμού - είναι αυτή που είναι γνωστή ως μοντέλο των πολλαπλών φραγμών [3]. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο των πολλαπλών φραγμών, συμπυκνώνεται στις ακόλουθες παραδοχές:

Ο χώρος απόθεσης θεωρείται ως ένα κλειστό σύστημα στο οποίο εισέρχονται (είσοδοι του συστήματος):

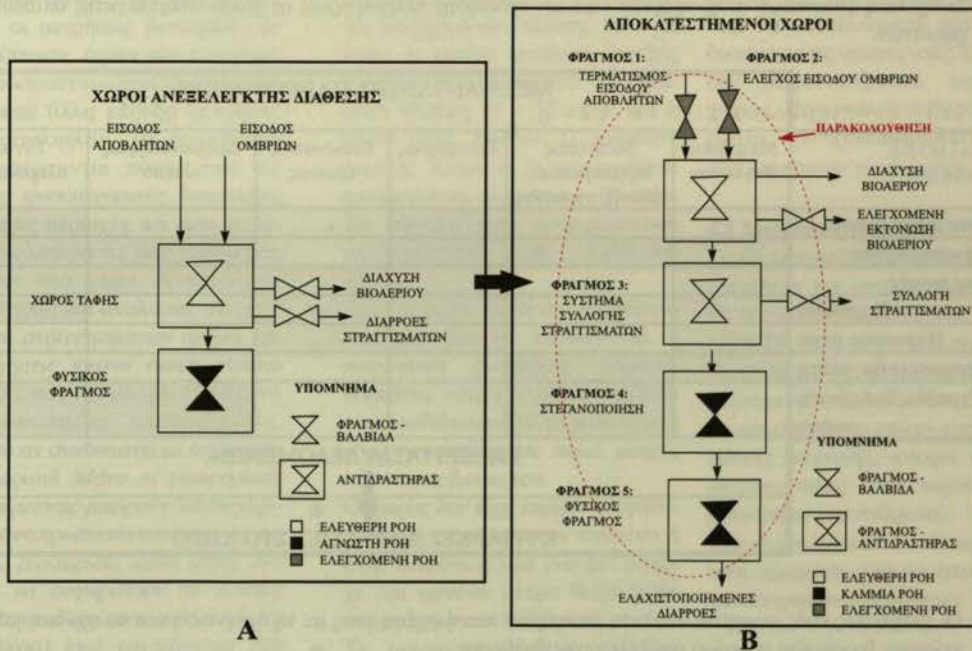
1. απορρίμματα
 2. όμβρια
- Από αυτό το κλειστό σύστημα, οι έξοδοι είναι:
1. στραγγίσματα
 2. βιοαέριο.

Στο Σχήμα 1, παρουσιάζεται η βασική λογική του μοντέλου των πολλαπλών φραγμών για την αποκατάσταση χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης. Η λογική αυτή έχει ως αφετηρία την ανάγκη να ελέγχεται κάθε πιθανή πορεία ενός ρύπου μέσα στον χώρο απόθεσης. Στο Σχήμα 1 διακρίνονται δύο είδη φραγμού: ο φραγμός τύπου βαλβίδας, που σημαίνει ότι πρόκειται για φραγμό που δεν αλλοιώνει το περιεχόμενο της εισόδου και ο φραγμός τύπου αντιδραστήρα, στον οποίο

αλλοιώνεται το περιεχόμενο (υπάρχουν απώλειες μάζας, ενέργειας και μετασχηματισμός χημικών ενώσεων). Το γκρι χρώμα σε κάποιο φραγμό σημαίνει (βλ. Σχήμα 1) ότι ο συγκεκριμένος αυτός φραγμός έχει τη δυνατότητα να αυξομειώνει τη ροή (σε αντίθεση με το άσπρο χρώμα που σημαίνει ελεύθερη ροή και το μαύρο που σημαίνει καμμία ροή). Κανένας φραγμός δεν μπορεί να είναι 100% αποτελεσματικός, σε ολόκληρη τη διάρκεια λειτουργίας του χώρου. Για αυτό το λόγο είναι σκόπιμος ο διαρκής έλεγχος της αποτελεσματικότητας των φραγμών.

Σε έναν προς αποκατάσταση χώρο επιδιώκεται ο έλεγχος των δύο εισόδων (με έλεγχο εισερχόμενων αποβλήτων - ή ακόμα καλύτερα τερματισμό - και σύστημα διαχείρισης των ομβρίων). Ακολουθεί ο φραγμός - αντιδραστήρας της απόθεσης των απορριμμάτων: εντός αυτού συμβαίνουν φυσικοχημικές διεργασίες που αλλοιώνουν τις εισόδους του, με αποτέλεσμα να παράγεται βιοαέριο και στραγγίσματα. Επιδιώκεται ακόμα, ένα μέρος του βιοαερίου να διαχέεται στην ατμόσφαιρα και ένα άλλο συλλέγεται ελεγχόμενα στο σύστημα άντλησης. Τέλος, όσον αφορά τα στραγγίσματα, ένα μέρος παραμένει εντός του όγκου των απορριμμάτων, ενώ ένα άλλο μέρος συλλέγεται από το σύστημα συλλογής στραγγισμάτων. Μικρό μέρος των στραγγισμάτων διαπερνά - αναπόφευκτα - τη στεγανοποίηση και διοχετεύεται στον υπέδαφος κ.ο.κ.

Έτσι λοιπόν, το πρόβλημα του προσδιορισμού των εργασιών αποκα-



A

B

Σχήμα 1: Η αποκατάσταση ενός χώρου ως μετάβαση από την ανεξέλεγκτη κατάσταση στο μοντέλο των πολλαπλών φραγμών.

τάστασης, μπορεί να εντοπιστεί ως πρόβλημα μετάβασης από την κατάσταση A στην κατάσταση B. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να προσδιοριστεί ως πρόβλημα ελέγχου των υφιστάμενων φραγμών και τοποθέτησης καινούργιων, όπου αυτό χρειάζεται, με στόχο να υπάρξει μία περιβαλλοντικά ασφαλής διαχείριση της εκπεμπόμενης ρύπανσης.

Για να ελεγχθούν οι υφιστάμενοι φραγμοί και να τοποθετηθούν οι καινούργιοι, είναι αναγκαίο να απαντηθούν μία σειρά από κρίσιμα ερωτήματα, έτσι ώστε, να γίνει μία σωστή διάγνωση της κατάστασης του χώρου. Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας που προτείνεται είναι η διατύπωση των σωστών ερωτημάτων. Η διάγνωση πρέπει να περιλαμβάνει οπωσδήποτε απαντήσεις στα ακόλουθα ερωτήματα [4]:

- Ποιά είναι η σύνθεση των απορριμμάτων που έχουν αποθεθεί στο χώρο και τί ηλικία έχουν αυτά;
- Τί συνθήκες επικρατούν στο χώρο ταφής; Ποιός είναι ο βαθμός

συμπίεσης; Υπάρχει κυκλοφορία αέρα ή όχι;

- Ποιές είναι οι κυρίαρχες διαδικασίες αποδόμησης των απορριμμάτων, οι αερόβιες ή οι αναερόβιες;
- Σε ποιά επίπεδα κυμαίνεται η υγρασία, η θερμοκρασία και η πίεση εντός του χώρου ταφής;
- Πώς μεταναστεύει το βιοαέριο;
- Πού συσσωρεύονται και πώς κινούνται τα σπραγγίσματα;
- Ποιά είναι η δομή του αναγλύφου και ποιά η ευστάθειά του;

Οι απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό της αποκατάστασης του χώρου και τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για να επιτευχθεί η μετάβαση του Σχήματος 1. Η σωστή και ολοκληρωμένη *διαγνωστική χαρτογράφηση* του χώρου, αποτελεί την πρώτη προϋπόθεση για το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων συλλογής και διαχείρισης βιοαερίου και σπραγγισμάτων και την ασφαλή χωροθέτηση νέων δραστηριοτήτων σε αποκατεστημένους χώρους. Πολύ περισσότερο, αποτελεί το ουσια-

στικώτερο βήμα για την εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης των αποκατεστημένων χώρων.

Σε αυτό ακριβώς το σημείο εντοπίζεται η αναγκαιότητα μιάς μεθοδολογίας διερεύνησης χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων, που θα έχει σχετικά μικρό οικονομικό κόστος και θα προσφέρει, τουλάχιστον, απαντήσεις στα ερωτήματα που προαναφέρθηκαν.

3. Βήμα δέντερο: Αναζητώντας τις σωστές απαντήσεις.

Το πρακτικό λοιπόν ερώτημα είναι: Πώς θα αντληθούν οι περισσότερες πληροφορίες, δαπανώντας τα λιγότερα κονδύλια; Διότι με τα σημερινά τεχνολογικά μέσα, η διερεύνηση ενός χώρου ταφής είναι εφικτή αλλά κοστίζει πολύ. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται το δεύτερο βήμα της προτεινόμενης μεθοδολογίας: μία συσχέτιση αναγκαίων πληροφοριών (που ουσιαστικά αποτελούν τις απαντήσεις των προαναφερθέντων ερωτημάτων) με τα μέσα άντλησης πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η μεθοδο-

Πίνακας 1: Συσχέτιση αναγκαίων πληροφοριών - μέσων άντλησης πληροφορίας σε χώρο ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων.

ΜΕΣΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ						
ΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΠΡΟΦΟΡΙΕΣ	Μετρήσεις βιοαερίου	Μετρήσεις θερμοκρασίας, πίεσης, υγρασίας	Γεωτρήσεις	Γεωφυσικές έρευνες	Δειγματοληψίες υλικού	Γενικές πληροφορίες
<i>Ποσότητα αποβλήτων</i>						
<i>Σύνθεση αποβλήτων</i>						
<i>Συνθήκες ταφής</i>						
Συμπίεση						
Παρουσία αέρα						
Θερμοκρασία, πίεση						
Υγρασία, διείδυση νερού						
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ						
↓						
ΚΥΡΙΑΡΧΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ						

Πίνακας 2: Οι μετρήσεις ενός φορητού αναλυτή βιοαερίου και η σχέση τους με τη διάγνωση και το σχεδιασμό της διαχείρισης βιοαερίου σε χώρο ανεξέλεγκτης διάθεσης.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	ΕΙΔΟΣ - ΦΑΣΗ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ	ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΦΡΕΑΤΙΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΣΗΣ	ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ
CH_4				
CO_2				
CO				
O_2				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				
ΠΙΕΣΗ				

λογία που φαίνεται στον Πίνακα 1 υλοποιήθηκε για πρώτη φορά στο ερευνητικό πρόγραμμα της αποκατάστασης του ανενεργού λατομείου του Καρέα [4,5] και τυποποιήθηκε καλύτερα στην περίπτωση του Σκαφιδαρά. Τα σκιασμένα κελιά υποδεικνύουν τη συσχέτιση μεταξύ των αναγκαίων πληροφοριών και των μέσων άντλησης πληροφορίας. Έτσι για παράδειγμα, κοιτάζοντας κάποιος μία γραμμή μπορεί να βρει αμέσως από ποια μέσα άντλησης μπορεί να πάρει χρήσιμες πληροφορίες για κάθε ερώτημα, ενώ κοιτάζοντας μία στήλη μπορεί να δει αμέσως, που αξιοποιούνται τα στοιχεία που προκύπτουν από κάθε μέσο άντλησης.

Μία παρατήρηση σχετικά με τον Πίνακα 1 αφορά τη στήλη «Γενικές

πληροφορίες». Με τον όρο αυτό εννοούνται όλες οι πληροφορίες που συνήθως υπάρχουν για έναν χώρο, όπως η μορφολογία του εδάφους και του αναγλύφου των απορριμμάτων, τα κλιματολογικά στοιχεία, οι γεωλογικοί σχηματισμοί κλπ. Η κωδικοποίηση του Πίνακα 1 είναι πολύ χρήσιμη στην επεξεργασία των στοιχείων που προκύπτουν από τη διερεύνηση ενός χώρου. Για να φανεί αμέσως η ιδιαίτερη σημασία των μετρήσεων βιοαερίου, μαπατά στον Πίνακα 2 είναι αρκετή. Στον Πίνακα 2 τα σκιασμένα κελιά παρουσιάζουν τη συσχέτιση μεταξύ των πληροφοριών που παρέχει ένας απλός φορητός αναλυτής βιοαερίου και της αξιοποίησής τους στη διάγνωση και το σχέδιο αποκατάστασης ενός χώρου.

Με μία απλή σύγκριση των Πινάκων 1 και 2 προκύπτει ότι ένα από τα βασικότερα ερωτήματα της διάγνωσης, που αφορά στο είδος των διεργασιών αποδόμησης και στο βαθμό γήρανσης του σώματος των απορριμμάτων - από τον οποίο εξαρτάται το ρυπαντικό φορτίο που απομένει στην μάζα των αποβλήτων - μπορεί σε μεγάλο βαθμό να απαντηθεί από τις μετρήσεις βιοαερίου. Ας σημειωθεί ότι από την απάντηση που θα δοθεί εξαρτώνται όχι μόνο το σχέδιο διαχείρισης στραγγισμάτων και βιοαερίου αλλά και οι καθιζήσεις που απομένουν να συμβούν, η ευστάθεια του αναγλύφου των απορριμμάτων κλπ.

Ο λόγος για τον οποίο οι μετρήσεις βιοαερίου παίζουν τόσο κεντρικό ρόλο [4] είναι η μετανάστευση του βιοαερίου μέσα στο σώμα των απορριμμάτων.

Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι ότι οι μετρήσεις βιοαερίου, σε κάθε περίπτωση, έχουν μία *ενισχυμένη αντιπροσωπευτικότητα* σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο μέτρησης και δειγματοληψίας. Τα μετρούμενα αέρια προέρχονται πάντα από τις κυρίαρχες φυσικοχημικές διεργασίες σε ευρύτερες περιοχές και άρα αντανακλούν καλύτερα τις διεργασίες που κυριαρχούν στο χώρο. Αντίθετα, οι δειγματοληψίες και αναλύσεις στερεού υλικού και στραγγισμάτων ακόμα και οι γεωτρήσεις έχουν σαφή τοπικό χαρακτήρα, που δεν μπορεί εύκολα να δώσει γενικευμένα αποτελέσματα, παρά μόνο αν συνδυαστεί με τις μετρήσεις βιοαερίου! *Μόνο οι γεωφυσικές μέθοδοι έρευνας μπορούν να συγκριθούν σε αντιπροσωπευτικότητα με τις μετρήσεις βιοαερίου, αλλά αυτές δεν μπορούν να συγκριθούν σε κόστος (κοστίζουν τουλάχιστον πέντε φορές περισσότερο) ενώ ταυτόχρονα δεν μπορούν να δώσουν στοιχεία για τις φυσικοχημικές διεργασίες που κυριαρχούν στο χώρο.*

4. Αποτελέσματα στην περίπτωση του Σκαφιδαρά.

Το έργο της αποκατάστασης της παλαιάς χωματερής του Δήμου Ηρακλείου Κρήτης στη θέση Σκαφιδαράς, υλοποιείται από την κοινοπραξία ΠΕΡΚΑΤ-ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗ-Χατζηηλιού με περιβαλλοντικούς συμβούλους την ΕΠΕΜ ΕΠΕ. και την ΠΕΡΜΕΑ. Τα δεδομένα (γενικές πληροφορίες), ήσαν τα εξής:

- Ο χώρος εξυπηρετούσε την πόλη του Ηρακλείου και κάποια γειτονικά χωριά από το 1966 έως το 1992. Ωστόσο μέχρι το 1972, γινόταν συστηματική καύση των απορριμμάτων, με αποτέλεσμα να θεωρούνται ενεργά τα απορρίμματα που αποτέθηκαν από το 1973 και ύστερα. Η έκταση του χώρου φτάνει τα 90 στρέμματα.
- Η απόθεση χωρίζεται σε τρεις διακριτές φάσεις, κάθε μία εκ των οποίων ολοκληρώθηκε σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο Σχέδιο 1, η μεγαλύτερη (στο πάνω μέρος του Σχεδίου 1) απόθε-

ση (εφεξής Κυψέλη 1) περιλαμβάνει απορρίμματα ηλικίας 16 - 25 ετών, η μεσαία απόθεση (εφεξής Κυψέλη 2) περιλαμβάνει απορρίμματα ηλικίας 11 - 15 ετών και η κάτω (στο Σχέδιο 1) απόθεση (εφεξής Κυψέλη 3) περιλαμβάνει απορρίμματα ηλικίας 6 - 10 ετών. Το σύνολο των απορριμμάτων υπολογίζονται σε 1.000.000 τόνους.

- Δεν υπήρχε κανένα διαθέσιμο στοιχείο για να υπολογιστεί η παραγωγή βιοαερίου σήμερα. Αντίθετα υπήρχαν σαφή σημάδια που υποδείκνυαν ότι το πιθανότερο είναι να υπάρχουν πολύ μικρές ποσότητες βιοαερίου.
- Ο χώρος δεν είχε καμμία στεγανοποιητική στρώση, στον πυθμένα ή στην επιφάνειά του, ενώ δεν υπήρχε και κανένα μέτρο διαχείρισης στραγγισμάτων ή ομβρίων.
- Σε ορισμένα κοντινά πηγάδια είχαν βρεθεί σαφή ίχνη διαρροών στραγγισμάτων.
- Δεν υπήρχε κανένα στοιχείο σχετικά με τη γεωτεχνική συμπεριφορά και δομή του χώρου.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, διαμορφώθηκε ένα πρόγραμμα ερευνητικών εργασιών που περιελάμβανε:

1. Διάνοξη δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Διανοίχτηκαν 4 μεγάλες γεωτρήσεις, με στόχο να διερευνηθεί η στρωματογραφία του εδάφους και του όγκου των αποβλήτων. Οι γεωτρήσεις αυτές παρουσιάζονται στο Σχέδιο 1.
2. Εδαφοτεχνικές αναλύσεις δειγμάτων από τις γεωτρήσεις.
3. Χημικές αναλύσεις δειγμάτων από τις γεωτρήσεις.
4. Μετρήσεις βιοαερίου, με φορητό πολυκαναλικό αναλυτή. Οι μετρήσεις βιοαερίου διήρκεσαν περίπου 1 μήνα και έγιναν:

- στις 4 μεγάλες γεωτρήσεις που προαναφέρθηκαν,
- σε 16 φρεάτια monitoring, βάθους μέχρι και 6 μέτρων, που διανοίχτηκαν ειδικά για αυτό το σκοπό (βλ. μικρούς κύκλους στο Σχέδιο 1).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένα από τα αποτελέ-

σματα του ερευνητικού προγράμματος. Τα αποτελέσματα αυτά, σε συνδυασμό με τις γεωτεχνικές έρευνες που δεν παρουσιάζονται για λόγους χώρου, οδήγησαν σε σοβαρά συμπεράσματα, που τροποποίησαν την εικόνα των μελετητών για το χώρο.

4.1 Μετρήσεις βιοαερίου.

Οι μετρήσεις του βιοαερίου εκτελέστηκαν με τον αναλυτή βιοαερίου GA 94 της GEOTECHNICAL INSTRUMENTS. Ο GA 94, έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης συγκεντρώσεων μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου, ενώ με την προσθήκη ειδικής κεφαλής, μπορεί επίσης να μετράει, όπως στην περίπτωση μας, μονοξείδιο του άνθρακα. Στα διαγράμματα 1 - 5 παρουσιάζονται ορισμένα από τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων.

4.2 Χημικές αναλύσεις στερεών δειγμάτων.

Πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις σε δείγματα σκουπιδιών, τα οποία ελήφθησαν από διαφορετικά βάθη. Αναλύθηκαν 16 δείγματα, 4 από κάθε γεώτρηση. Σε κάθε δείγμα μετρήθηκαν οι παράμετροι του Πίνακα 3. Μαζί με κάθε δείγμα, δίδεται και το βάθος της δειγματοληψίας.

4.3 Αναλύσεις στραγγισμάτων.

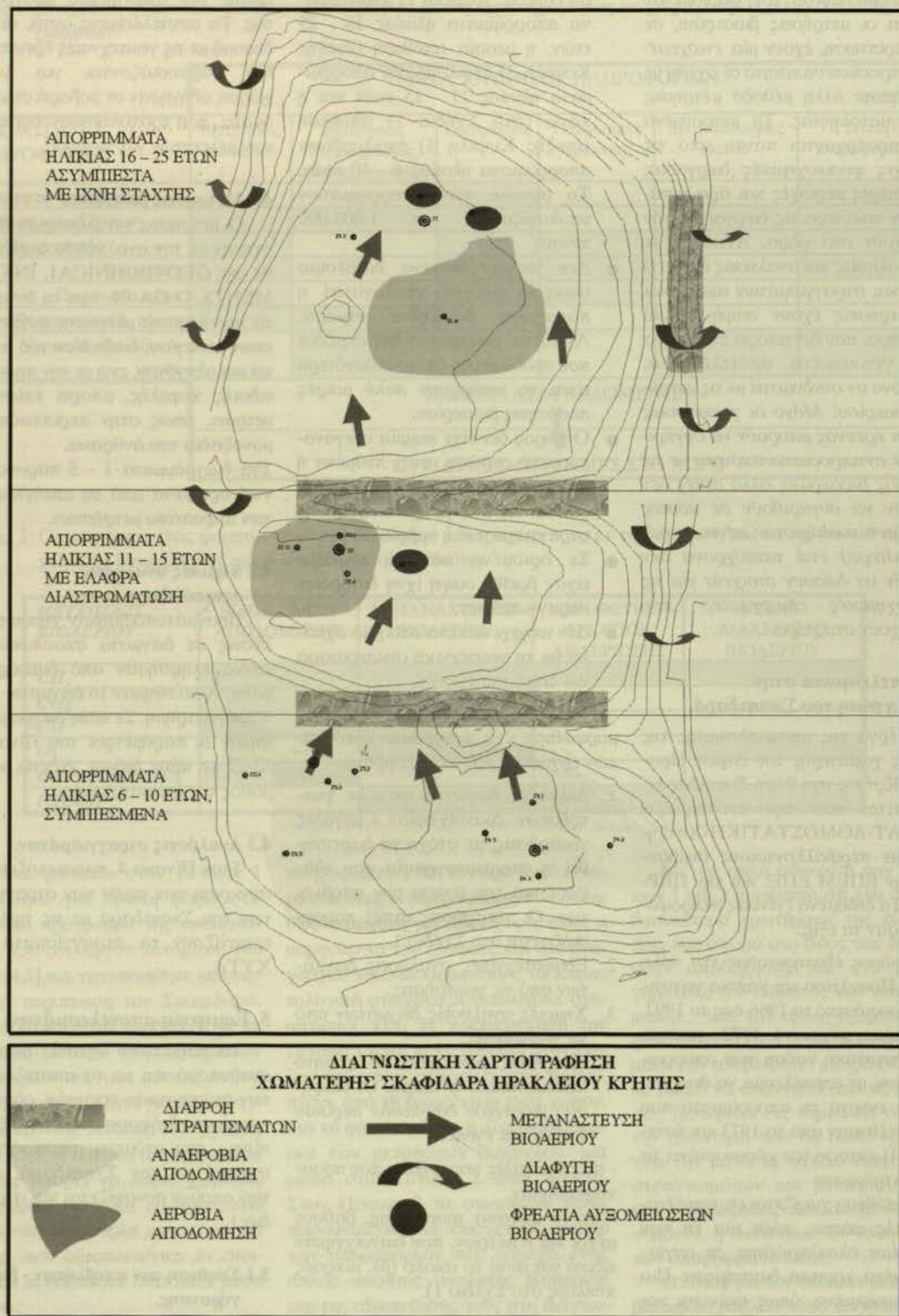
Στον Πίνακα 4, παρουσιάζεται μια σύγκριση των τιμών των στραγγισμάτων του Σκαφιδαρά με τις τιμές που εμφανίζουν τα στραγγίσματα ενός ΧΥΤΑ.

5. Ερμηνεία αποτελεσμάτων.

Τα παραπάνω αποτελέσματα, σε συνδυασμό και με τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών, οδήγησαν - μετά από διάφορα στάδια επεξεργασίας - στα επόμενα συμπεράσματα, σχετικά με τον Σκαφιδαρά, μέρος των οποίων συνοψίζεται και στο Σχέδιο 1.

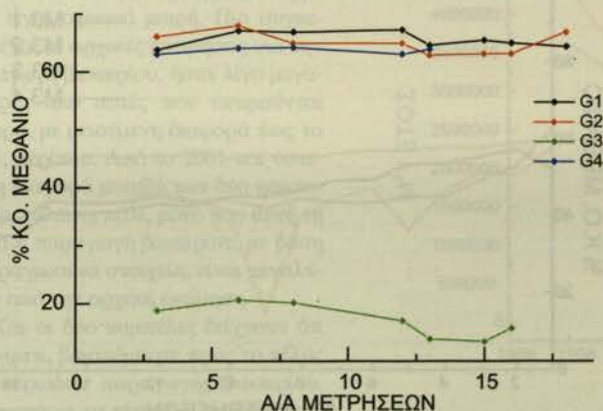
5.1 Σύνθεση των αποβλήτων - βαθμός γήρανσης.

Το ποσοστό του οργανικού άνθρακα, με βάση τη στατιστική επεξεργα-



Σχέδιο 1: Διαγνωστική χαρτογράφηση χωματερής Σκαφιδάρα.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΣΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ 1-4



Διάγραμμα 1: Συγκεντρώσεις μεθανίου στην γεώτρηση G1.

σία των χημικών αναλύσεων, δεν μπορεί να ξεπερνά το 6 - 7%. Επόμενο, ο βαθμός αποσύνθεσης των απορροφμάτων είναι σχετικά προχωρημένος σε όλο τον χώρο του Σκαφιδάρ (σε πρόσφατα απόβλητα το ποσοστό αυτό είναι περίπου 30%). Αυτό αποδεικνύεται, τόσο από τις χημικές αναλύσεις στερεών δειγμάτων (χαμηλός οργανικός άνθρακας, υψηλός λόγος άνθρακα / αζώτου), όσο και από τις αναλύσεις των στραγγισμάτων (χαμηλός λόγος BOD/COD, άνοδος της τιμής του pH). Το ίδιο επίσης αποδεικνύει και η ελεύθερη κυκλοφορία οξυγόνου, σε ορισμένες περιοχές, σε συνδυασμό με τα χαμηλά ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα, που δείχνουν αερόβια διεργασία που ολοκληρώνεται. Ο κύκλος αποδόμησης βαδίζει προς το τέλος του.

5.2 Ποιές είναι οι διεργασίες που κυριαρχούν στον χώρο;

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, προκύπτει ότι στον χώρο μπορούν να διακριθούν εύκολα δύο περιοχές. *Πρώτον, περιοχές στις οποίες κυριαρχεί η αναερόβια αποσύνθεση (Κυψέλη 3).* Ταυτόχρονα, στην περιοχή της G3 εμφανίζεται και μία ισχυρή, τοπική ανομοιομορφία, εφόσον σε κανένα από τα περιμετρικά φρεάτια δεν εντοπίστηκαν σημάδια αερόβιας διεργασίας. Η

χαμηλή υγρασία της G3, ενισχύει την πεποίθηση ότι τοπικά έχουμε μία αερόβια διεργασία, ενώ στη γύρω περιοχή αναερόβια.

Δεύτερον, περιοχές που επικρατούν αερόβιες διεργασίες (βλ. Σχέδιο 1). Στον υπόλοιπο χώρο συνυπάρχουν και οι δύο κατηγορίες διεργασιών, χωρίς καμία ιδιαίτερη ένδειξη για το ποιά είναι η επικρατέστερη. Σε πολλές πάντως περιπτώσεις, ιδιαίτερα στις Κυψέλες 1 και 2, τα ποσοστά του διοξειδίου του άνθρακα δείχνουν ότι οι αερόβιες διεργασίες οδεύουν προς το τέλος τους. Εντοπίζεται βέβαια ένα παράδοξο: πολύ υψηλές ποσότητες μεθανίου στις γεωτρήσεις G1 και G2, στις οποίες τα απορρίμματα έχουν ηλικία από 11 έως 25 χρόνια και άρα θα έπρεπε να εμφανίζονται αμελητέες ποσότητες μεθανίου. Το παράδοξο αυτό ερμηνεύεται στη συνέχεια.

5.3 Πώς μεταναστεύει το βιοαέριο;

Πρακτικά, στις γεωτρήσεις G1 (Κυψέλη 1) και G2 (Κυψέλη 2), τα φρεάτια monitoring «γεμίζουν» και «αδειάζουν» από μεθάνιο, επαναλαμβανόμενα, ενώ στις γεωτρήσεις G3 και G4, εμφανίζουν μία σχετικά σταθερή συγκέντρωση μεθανίου. Αυτό σημαίνει ότι το μεθάνιο, που ανιχνεύεται στα φρεάτια των Κυψελών 1 και 2, δεν παράγεται από κάποια διεργασία,

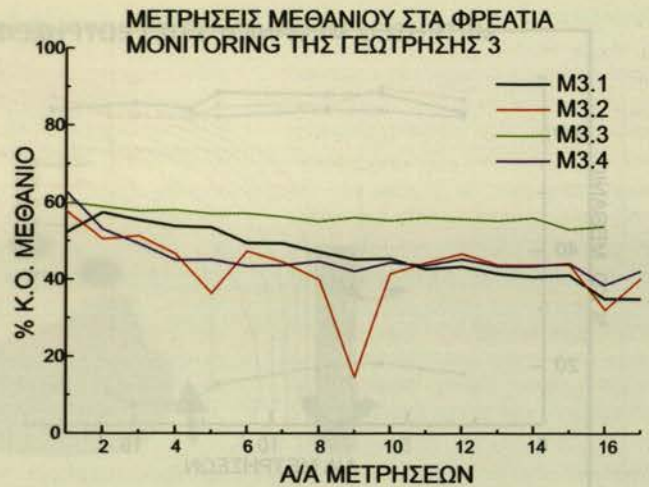
αλλά μεταναστεύει από άλλα σημεία του χώρου. Αντίθετα, στις γεωτρήσεις της Κυψέλης 3 (G3, G4), στην οποία υπάρχουν και τα πιο πρόσφατα απορρίμματα, τα φρεάτια παρουσιάζουν σταθερή, σχετικά, συγκέντρωση μεθανίου, γιατί στην Κυψέλη 1 οι διεργασίες αποδόμησης συνεχίζονται και θα συνεχίζονται για μερικά ακόμα χρόνια.

Όσον αφορά τις G1 και G2, το παράδοξο των τόσο υψηλών συγκεντρώσεων μεθανίου, μπορεί να εξηγηθεί με τη βοήθεια της μετανάστευσης του βιοαερίου, που είναι τόσο συνηθισμένη σε όλους τους χώρους απόθεσης απορροφμάτων. Η υγρασία της G2 είναι απαγορευτική για αναερόβια αποσύνθεση απορροφμάτων, παρά το γεγονός ότι ηλικιακά, τα απορρίμματα της Κυψέλης 2, ενδέχεται να παράγουν ακόμα βιοαέριο. Ωστόσο, η περατή χωματοκάλυψη, η απουσία διαστρωμάτωσης και συμπίεσης των απορροφμάτων και ο εντοπισμός περιοχών με σχετικά ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα και κυρίως, η εικόνα που παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις μεθανίου στα φρεάτια monitoring, κάνουν σχεδόν απίθανη τη μεθανοπαράγωγή σε αυτές τις γεωτρήσεις. Πολύ περισσότερο, αν συνδυαστούν με την σχετικά μεγάλη ηλικία των απορροφμάτων και την εκτεταμένη καύση οργανικών που συνόδευε την ταφή τους. Επομένως το βιοαέριο συσσωρεύεται κυρίως λόγω μετανάστευσης και δευτερευόντως λόγω παραγωγής μικρών ποσοτήτων στην Κυψέλη 2 και αμελητέων στην Κυψέλη 1. Παράλληλα, το γεγονός ότι οι διαφορές της πίεσης μέσα στις γεωτρήσεις, σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση, είναι ελάχιστες και όχι σταθερές, έχει ως αποτέλεσμα, μία πολύ αργή διαδικασία εκτόνωσης. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο δημιουργήθηκαν θύλακες, παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποια αδιαπέραστη στρώση που να εμποδίζει την εκτόνωση του βιοαερίου.

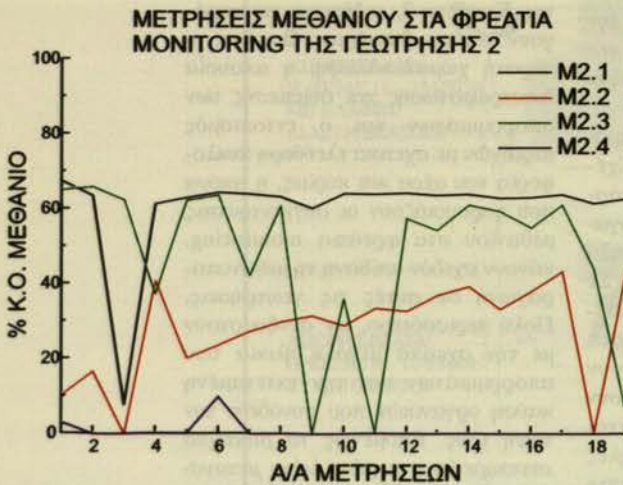
Το μόνο ερώτημα, λοιπόν, που μένει προς απάντηση, είναι ποιά είναι τα μονοπάτια της μετανάστευσης του βιοαερίου. Στο Σχέδιο 1, παρουσιάζεται μία πιθανή οδός μετανάστευσης



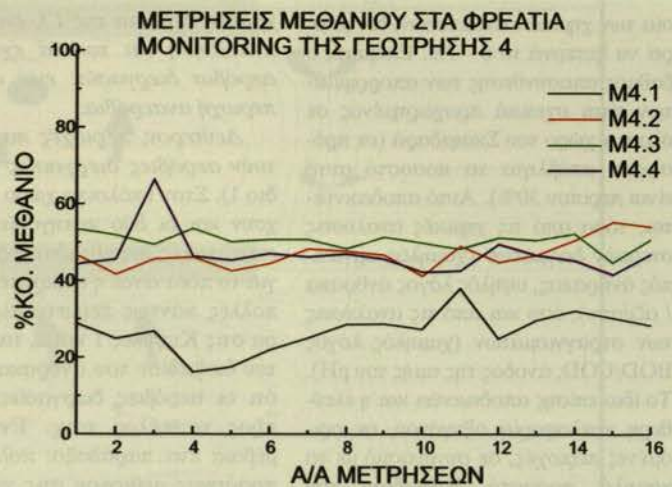
Διάγραμμα 2: Συγκεντρώσεις μεθανίου στα φρεάτια monitoring της Γ1.



Διάγραμμα 3: Συγκεντρώσεις μεθανίου στα φρεάτια monitoring της Γ3.



Διάγραμμα 4: Συγκεντρώσεις μεθανίου στα φρεάτια monitoring της Γ2.



Διάγραμμα 5: Συγκεντρώσεις μεθανίου στα φρεάτια monitoring της Γ4.

του βιοαερίου, βασισμένη σε όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Ο εντοπισμός ημπερατών πετρωμάτων στο υπόβαθρο του χώρου, καθώς και η ελαφρά ανοδική (από την Κυψέλη 3 προς την Κυψέλη 1) κλίση του ευρύτερου χώρου, διαμορφώνει προϋποθέσεις μετανάστευσης του μεθανίου μέσω του υποβάθρου.

Ταυτόχρονα, η σχετικά μεγαλύτερη συμπίεση και διαστρωμάτωση των απορρομμάτων της Κυψέλης 3, σε συνδυασμό με την πιο χαλαρή απόθεση των απορρομμάτων στις Κυψέλες 2 και 1, πολλαπλασιάζουν την πιθανότητα

μετανάστευσης, μέσω του υποβάθρου ή της κατώτατης στρώσης απορρομμάτων, από την Κυψέλη 3 προς τις 2 και 1.

5.4 Πού συσσωρεύονται στραγγίσματα;

Η επεξεργασία όλων των διαθέσιμων στοιχείων, οδήγησε στον εντοπισμό τριών περιοχών συσσώρευσης στραγγισμάτων. Η συσσώρευση αυτή επιβεβαιώθηκε στη συνέχεια και από μετρήσεις πεδίου. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται στο Σχέδιο 1.

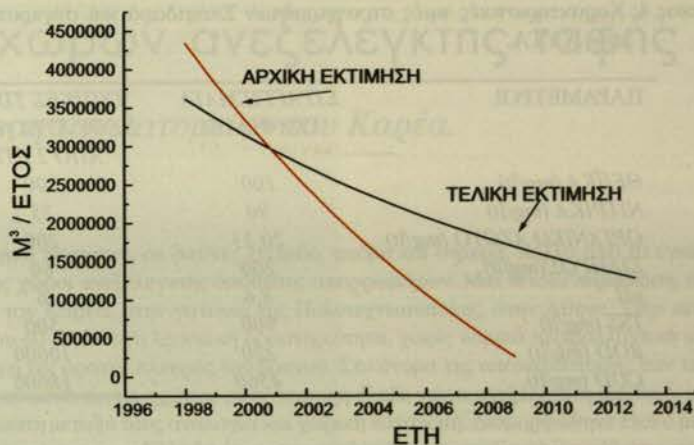
5.5 Πόσο βιοαέριο παράγεται στο χώρο και για πόσα χρόνια θα παράγεται ακόμα;

Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η σύγκριση των υπολογισμών βιοαερίου, με βάση το θεωρητικό μοντέλο του Tabasagan, πριν και μετά την διερεύνηση του χώρου. Η αξιοποίηση των στοιχείων που προέκυψαν από την διερεύνηση, έδωσε μία πολύ πιο αξιόπιστη προσέγγιση, του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου.

Όπως είναι προφανές, η διαφορά μεταξύ της θεωρητικής πρόβλεψης, που βασίστηκε σε γενικά στοιχεία

όσον αφορά τη σύσταση των απορριμμάτων, και της τωρινής προσέγγισης, είναι σχετικά μικρή. Πιο συγκεκριμένα, οι αρχικές εκτιμήσεις για την παραγωγή βιοαερίου, ήσαν λίγο μεγαλύτερες από αυτές που εκτιμούνται σήμερα, με μειούμενη διαφορά έως το 2001, περίπου. Από το 2001 και ύστερα, η διαφορά μεταξύ των δύο καμπυλών μεγαλώνει πάλι, μόνο που αυτή τη φορά η παραγωγή βιοαερίου, με βάση τα πραγματικά στοιχεία, είναι μεγαλύτερη από την αρχική εκτίμηση.

Και οι δύο καμπύλες δείχνουν ότι πράγματι, βρισκόμαστε προς το τέλος της περιόδου παραγωγής βιοαερίου. Σύμφωνα με τα νεότερα στοιχεία που προέκυψαν, το βιοαέριο θα παράγεται για τέσσερα παραπάνω χρόνια, σε σχέση με τον αρχικό υπολογισμό και η συνολική αναμενόμενη ποσότητα είναι μεγαλύτερη, περίπου κατά 50% (36 εκ. κυβικά μέτρα για την επόμενη 15ετία, έναντι 24 εκ. κυβικά μέτρων που υπολογίστηκαν αρχικά). Σε κάθε περίπτωση, οι ποσότητες είναι ελάχιστες, εφόσον πρακτικά σημαίνουν από 24 - 36 κυβικά μέτρα βιοαερίου ανά τόνο απορριμμάτων για τα επό-



Διάγραμμα 6: Σύγκριση πρόβλεψης οριστικής μελέτης και μελέτης προσφοράς για τις παραγόμενες ποσότητες βιοαερίου

μενα δεκαπέντε χρόνια (μέση τιμή), επόμενα σε ετήσια βάση από 1,6 - 2,4 κυβικά μέτρα βιοαερίου ανά τόνο απορριμμάτων (μέση τιμή).

6. Συμπεράσματα.

Με τη χρήση της μεθοδολογίας που

προαναφέρθηκε, κατέστη δυνατόν, να γίνει μία ολοκληρωμένη διάγνωση του μελετώμενου χώρου και να επανασχεδιαστούν οι εργασίες αποκατάστασής του. Ο επανασχεδιασμός αφορούσε:

- την χωροθέτηση των φρεατίων άντλησης βιοαερίου,

Πίνακας 3: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ					
α/α και βάθος (m) δείγματος	Υγρασία	Αμμωνιακό Αζωτο	Ολικό Αζωτο	Οργανικός Άνθρακας	Άνθρακας / Αζωτο
G1-1: 2,30:3,15	52,5 %	0,08%	0,29%	6,9%	23,8
G1-2: 7,45:9,00	45,9%	0,36%	2,41%	4,4%	1,8
G1-3: 13,45:15,00	56,3%	0,37%	0,59%	8,2%	13,9
G1-4: 17,65:19,00	59,6%	0,21%	0,27%	2,9%	10,7
G2-1: 3,40:4,15	27,4%	0,01%	0,09%	3,1%	34,4
G2-2: 5,95:7,00	22,0%	0,02%	0,04%	0,7%	17,5
G2-3: 8,00:9,00	26,8%	0,13%	0,28%	4,9%	17,5
G2-4: 10,00:11,00	26,3%	0,11%	0,22%	5,5%	25,0
G3-1: 4,20:5,00	35,9%	0,06%	0,17%	5,8%	34,1
G3-2: 6,00:7,00	30,4%	0,13%	0,23%	5,3%	23,0
G3-3: 7,45:8,50	25,7%	0,12%	0,43%	2,6%	6,0
G3-4: 8,95:10,50	32,1%	0,14%	0,31%	2,3%	7,4
G4-1: 3,95:5,50	41,8%	0,13%	0,27%	5,5%	20,4
G4-2: 5,95:7,50	60,4%	0,11%	0,23%	4,9%	21,3
G4-3: 7,95:9,00	59,0%	0,01%	0,04%	11,3%	282,5
G4-4: 16,50:17,50	62,1%	0,20%	0,43%	3,3%	7,7

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικές τιμές στραγγισμάτων Σκαφιδάρα και σύγκριση με τις τυπικές τιμές [6] στραγγισμάτων ενός ΧΥΤΑ.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΑ ΣΚΑΦΙΔΑΡΑ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΝΕΟΥ ΧΥΤΑ (ΚΑΤΩ ΑΠΟ 2 ΕΤΗ)	ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΩΡΙΜΟΥ ΧΥΤΑ (ΠΑΝΩ ΑΠΟ 10 ΕΤΗ)
ΘΕΙΪΚΑ (mg/l)	100	300	20-50
ΝΙΤΡΙΚΑ (mg/l)	90	25	5-10
ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΑΖΩΤΟ (mg/l)	20,23	200	80-120
ΣΙΔΗΡΟΣ(mg/l)	200	60	20-200
pH	8,6	6	6,6-7,5
TSS (mg/l)	900	500	100-400
BOD (mg/l)	220	10000	100-200
COD (mg/l)	4560	18000	100-500

- το σχέδιο διαχείρισης των στραγγισμάτων.
- τη διαμόρφωση της τελικής κάλυψης.
- τη χωροθέτηση των εγκαταστάσεων.
- το σύστημα monitoring του χώρου.

Η μεθοδολογία αυτή, με σχετικά μικρό κόστος, έδωσε μία σαφή εικόνα της πραγματικής εικόνας του χώρου και είχε άμεση συνέπεια, την βελτίωση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των εργασιών αποκατάστασης. Το κόστος αυτής της μεθοδολο-

γίας εξαρτάται, κυρίως, από τις γεωτρήσεις, ενώ τα υπόλοιπα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι σχετικά φθηνά. Σε κάθε περίπτωση, το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 50.000 - 120.000 δρχ. ανά στρέμμα, ποσό αμελητέο όταν το κόστος αποκατάστασης φτάνει περίπου στα 12 εκατομμύρια δραχμές ανά στρέμμα (με βάση πρόσφατες δημοπρασίες έργων). Πρακτικά, το κόστος διερεύνησης του χώρου, φτάνει το 1% του συνολικού κόστους αποκατάστασης, αλλά τα οφέλη που προκύπτουν είναι αναμφίβολα πολλαπλάσια

και κυρίως ποιοτικού χαρακτήρα.

Το σχετικά μικρό κόστος της μεθοδολογίας και η δυνατότητα σαφούς απεικόνισης της πραγματικής κατάστασης του χώρου, οφείλεται κυρίως, στην ευκολία, την αναπροσωπευτικότητα και το μικρό κόστος των μετρήσεων βιοαερίου. Η μεθοδολογία που περιγράφηκε, αποτελεί αναμφίβολα ένα ισχυρό εργαλείο διερεύνησης χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης και είναι δυνατόν να προσαρμοστεί κατάλληλα, ανάλογα με τις απαιτήσεις διερεύνησης και τα διαθέσιμα κονδύλια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Little R.H., Torres C, Towler P.A., Simon I., Aguero A. «Long term environmental impacts of landfills using safety assessment comparison methodology», σελ.443, Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, CISA, 1995
2. Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/97, ΦΕΚ 17/11/97, σελ. 12957 - 12960
3. R. Cossu «The multi - barrier landfill and related engineering problems», σελ. 3, Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, CISA, 1995
4. Mavropoulos Antonis, Kaliampakos Dimitrios «Uncontrolled landfill investigation: a case study in Athens», υπό δημοσίευση στο Waste Research & Management της ISWA, 1998.
5. Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας «Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αποκατάσταση ανενεργού λατομείου περιοχής Καρέα», Μέρος II σελ. 69-76, 1996
6. G. Tchobanoglous - H. Theisen - S. Vigil «Solid Waste Management», σελ. 418, Mc Graw Hill International, 1993