

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« Έρευνα της κατακόρυφης μεταβολής της ειδικής αντίστασης –
τρόποι αποκατάστασης στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του
Μεσομυρίου»

ΤΣΑΚΝΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ
Α.Μ. 2001.05.0025

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΓΚΕΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Πρόλογος	5
Περίληψη	6
Abstract	7
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή στα στερεά απόβλητα και περιγραφή του χώρου	8
1.1 Γενικά για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων	8
1.1.1 Αστικά απορρίμματα	12
1.1.2 Ιλύς (λυματολάσπη)	15
1.2 Γενικά για την περιοχή	17
1.3 Τεκτονικά και σεισμολογικά στοιχεία	19
1.3.1 Γεωμορφολογικά και Γεωλογικά στοιχεία	19
1.3.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες του Ακρωτηρίου Χανίων	20
1.3.3 Γεωλογική δομή της περιοχής	22
1.3.4 Σεισμοτεκτονικά στοιχεία	27
1.3.4.1 Τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής	27
1.3.4.2 Σεισμικότητα	29
1.3.5 Καρστικά φαινόμενα	32
1.4 Χλωρίδα της ευρύτερης περιοχής	34
1.4.1 Βλάστηση και χλωρίδα στην περιοχή του έργου	35
1.5 Πανίδα στην ευρύτερη περιοχή του έργου	40
1.6 Ιστορικό Μεσομυριού	43
1.7 Παρούσα κατάσταση του Μεσομυριού	50
1.7.1 Κτιριακές εγκαταστάσεις	50
1.7.2 Χώρος εναπόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων:	52
1.7.2.1 Περίφραξη	52
1.7.2.2 Ακάλυπτα δέματα	56
1.7.2.3 Λυματολάσπη	60
1.7.2.4 Στραγγίσματα	64
1.8 Ποσότητες απορριμμάτων και λυματολάσπης	66
1.8.1 Ποσότητες απορριμμάτων	66
1.8.2 Ποσότητες λυματολάσπης	68
Κεφάλαιο 2 – Μετρήσεις εδάφους	71
2.1 Γενικά για τις μετρήσεις εδάφους	71
2.2 Η ηλεκτρική μέθοδο διασκόπησης	71
2.2.1 Ενεργητικές και Παθητικές Γεωφυσικές διασκοπήσεις	71
2.2.2 Ηλεκτρικές Μέθοδοι	72
2.2.3 Αντίσταση και Ειδική αντίσταση	74
2.2.4 Η Ειδική Αντίσταση των Υλικών της Γης	76
2.2.5 Το δυναμικό γραμμικών πηγών σε ομογενή ημιχώρο	78
2.2.6 Η μέτρηση της φαινόμενης ειδικής αντίστασης - Εξοπλισμός	80
2.2.7 Το κύκλωμα ρεύματος AB	81
2.2.8 Το κύκλωμα δυναμικού MN	84
2.2.9 Βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης	85

2.2.10 Σύζευξη των κυκλωμάτων ρεύματος και δυναμικού	86
2.2.11 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.....	86
2.2.12 Διαρροή.....	86
2.2.13 Η Μέτρηση της διαφοράς δυναμικού ΔV	88
2.2.14 Η Μέτρηση του Ρεύματος Εκπομπής I.....	89
2.2.15 Η Μέτρηση του Γεωμετρικού Παράγοντα K	90
2.2.16 Το σφάλμα στο προσδιορισμό της ρ_a	91
2.2.17 Πηγές Θορύβου.....	92
2.2.18 Ροή του ρεύματος σε μέσο με στρώση και απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων.....	95
2.2.19 Τύποι διασκοπήσεων: Κατακόρυφες και πλευρικές έρευνες ειδικής αντίστασης	99
2.2.20 Έρευνα Κατακόρυφης Μεταβολής της Ειδικής Αντίστασης: (Ηλεκτρικές Βυθοσκοπήσεις).....	101
2.2.21 Έρευνα Οριζόντιας Μεταβολής της Ειδικής Αντίστασης	102
2.2.22 Προφίλ Ειδικής Αντίστασης	103
2.2.23 Διάταξη δίπολου	103
2.2.24 Διατάξεις χωρικής μετρήσης της βαθμίδας του πεδίου.....	104
2.2.25 Μεθοδοί έρευνας.....	105
2.2.26 Ηλεκτρική Τομογραφία	107
2.2.27 Ερμηνεία με ψευδοτομή	109
2.2.28 Προγραμματισμός και λήψη μετρήσεων γεωηλεκτρικών τομογραφιών.....	109
2.2.29 Επεξεργασία δεδομένων γεωηλεκτρικών τομογραφιών.....	111
2.2.30 Διεξαγωγή μετρήσεων	112
2.2.30.1 Εξοπλισμός	112
2.2.30.2 Διαδικασία μετρήσεων.....	113
2.2.30.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων	117
2.2.30.4 Συμπεράσματα	122
2.3 Ποιοτική σύσταση του εδάφους	125
2.3.1 Συμπεράσματα	127
2.4 Ποιοτική σύσταση ιλύος.....	127
2.4.1 Συμπεράσματα	130
Κεφάλαιο 3 – Τρόποι αποκατάστασης	133
3.1 Ανάγκη για αποκατάσταση.....	133
3.2 Νομοθετικές κατευθύνσεις και τεχνικές προδιαγραφές για την αποκατάσταση των χώρων διάθεσης απορριμμάτων	134
3.3 Προτεινόμενες λύσεις αποκατάστασης.....	140
3.3.1 Η μηδενική λύση.....	140
3.3.2 Μεταφορά των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Κορακιάς.....	141
3.3.3 Διαχείριση βιοαερίου και στραγγισμάτων (Πρόταση της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.).....	141
3.3.3.1 Διαχείριση βιοαερίου	141
3.3.3.2 Διαχείριση στραγγισμάτων	143
3.3.3.3 Τελική κάλυψη και φύτευση του χώρου	144
3.3.4 Αποκατάσταση με ταυτόχρονη χρησιμοποίηση του κομπόστ από το εργοστάσιο της Κορακιάς.....	151

3.3.4.1 Γενικά για την βιοεπεξεργασία των ΑΣΑ.....	151
3.3.4.2 Γενικά για την αερόβια επεξεργασία (κομποστοποίηση) των ΑΣΑ.....	151
3.3.4.3 Ποιοτική ανάλυση του κομπόστ της Κορακιάς.....	153
3.3.4.4 Εναλλακτική πρόταση αποκατάστασης.....	156
3.4 Βιβλιογραφία	159

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε σε συνεργασία με τον καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος κ. Ευάγγελο Γιδάρako έχει ως θέμα την έρευνα της κατακόρυφης μεταβολής της ειδικής αντίστασης – τρόποι αποκατάστασης του χώρου εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων της περιοχής του Μεσομουρίου του νομού Χανίων.

Ευχαριστούμε ιδιαίτερα τον καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Χανίων στο τμήμα Φυσικών Πόρων κ. Παντελή Σουπιό για την πολύτιμη βοήθεια του στην εκτέλεση των μετρήσεων υπαίθρου καθώς και για την καθοδήγηση και το υλικό που μας παρείχε. Επίσης ευχαριστούμε όλα τα μέλη του εργαστηρίου “Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων αποβλήτων” του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης για τη βοήθεια που μας παρείχαν σε εργαστηριακές αναλύσεις. Τέλος ευχαριστούμε Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων και ιδιαίτερα τους κυρίους Μαρινάκη Δημήτριο και Βαρδάκη Εμμανουήλ για τη βοήθεια αλλά και για την άδεια εισόδου που μας παρείχαν στο χώρο του Μεσομουρίου.

Περίληψη

Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η εκτίμηση της επικρατούσας κατάστασης στο χώρο εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων της περιοχής του Μεσομουρίου στο νομό Χανίων και η εύρεση κατάλληλων τρόπων αποκατάστασης του με συνδυαστική χρήση, βιβλιογραφικών στοιχείων και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από εργαστηριακές μετρήσεις.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου και της γύρω περιοχής, ενώ επίσης αναφέρονται μερικά γενικά στοιχεία για τα στερεά απορρίμματα και για την λάσπη που προέρχεται από βιολογικούς καθαρισμούς. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται η μόλυνση του χώρου όσον αφορά τα στερεά χαρακτηριστικά του (έδαφος και υπέδαφος). Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκαν γνωστές μέθοδοι, δηλαδή δειγματοληψία και ανάλυση δειγμάτων εδάφους και κομπόστ καθώς και μια πρότυπη μέθοδος, αυτή της ηλεκτρικής διασκόπησης για την ανάλυση του υπεδάφους. Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται ένας συνολικός σχολιασμός της επικρατούσας στο χώρο κατάστασης και παρουσιάζονται οι τρόποι αποκατάστασής του.

Abstract

The main objective of this work is to estimate the prevailing situation in the area, formerly used as a landfill in the region of Mesomouri in the prefecture of Chania and the determination of suitable ways of re-establishment of the area, by combining the use of bibliographic data and the results from the analysis, that took place in the laboratory.

Apart from the description of the area that was used for the deposition of litter at Mesomouri and the surroundings, there are also references for certain general elements for the solid litter and for the mud that emanates from waste water management plants. Furthermore, the contamination of the area is described regarding the characteristics of the ground. In order to achieve this, standard methods were used, such as sampling and analysis of waste waters from the area, the soil and the compost.

Concluding, a detailed characterisation of the area is presented, as long as methods that might be helpful for the area's rehabilitation. By combining the above, the best method for re-establish the area is determined.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή στα στερεά απόβλητα και περιγραφή του χώρου

1.1 Γενικά για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων

Ξεκινώντας την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πρέπει να δοθούν κάποιοι ορισμοί σχετικά με ορισμένες λέξεις που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε αυτή. Έτσι λοιπόν ρύποι είναι ουσίες, οργανισμοί ή ενέργεια που διατίθεται στο περιβάλλον σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια ανώτερη από την αφομοιωτική του ικανότητα με συνέπεια μετρήσιμη τροποποίηση του φυσικού οικοσυστήματος. Η διαδικασία διάθεσης ρύπων στο περιβάλλον ονομάζεται ρύπανση και το αίτιο που την προκαλεί ρυπαντής. Όταν δε η ρύπανση οφείλεται σε παθογόνους μικροοργανισμούς μιλάμε για μόλυνση. Τοξικοί είναι οι ρύποι που μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε οργανισμούς, όταν η ποσότητα, η συγκέντρωση ή η διάρκειά τους υπερβαίνει κάποιο όριο (όριο τοξικότητας – Lethal dosage LD50). Ωστόσο ένας ρύπος μπορεί να είναι τοξικός για κάποιους οργανισμούς και μη τοξικός (ακόμη και να αποτελεί τροφή) για κάποιους άλλους.

Στερεά απόβλητα είναι τα στερεά ή ημιστερεά υλικά τα οποία, κάτω από κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες, δεν έχουν αρκετή αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους ώστε αυτός να συνεχίσει να υφίσταται τη δαπάνη, τη μέριμνα ή το βάρος της διατήρησής τους. Είναι τα στερεά υλικά που ανακύπτουν ως παραπροϊόντα από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών, των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, των εμπορικών εγκαταστάσεων, των γεωργικών και εξορυκτικών δραστηριοτήτων, κτλ. Τα στερεά απόβλητα ομαδοποιούνται γενικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- τα αστικά απόβλητα (απορρίμματα) και
- τα ειδικά απόβλητα που χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:
 1. Επικίνδυνα απόβλητα
 2. Μη επικίνδυνα ειδικά
 3. Ιατρικά απόβλητα

Αναλυτικότερα τα στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν:

- Αστικά απορρίμματα (οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά, οδοκαθαρισμού κλπ.)
- Στερεά ή υδαρή (με αξιόλογο ποσοστό αιωρούμενων ουσιών) απόβλητα που δε μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά (ορισμένα βιομηχανικά, τοξικά ή αδρανή και απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας)
- Πετρελαιοειδή απόβλητα (προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ναυπηγία κλπ.)
- Απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων
- Απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων
- Απόβλητα εκσκαφών (από ξηρά και θάλασσα).
- Απόβλητα οικοδομικών κατεδαφίσεων
- Ιλύς από την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων
- Απόβλητα εμπορικών δραστηριοτήτων
- Ιατρικά απόβλητα
- Ελαστικά
- Σκράπ (π.χ. αποσυρθέντων αυτοκινήτων, παλαιών ηλεκτρονικών υπολογιστών κλπ.).

Στον παρακάτω πίνακα δείχνονται οι συνήθεις πηγές και τα είδη των αστικών απορριμμάτων. Επισημαίνεται η διαφοροποίηση μεταξύ οικιακών και αστικών αποβλήτων. Κατά κανόνα, η ιλύς βιολογικών καθαρισμών, τα υπολείμματα της καύσης, τα υπολείμματα των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και των κατεδαφίσεων και τα απόβλητα των νοσοκομείων δεν περιλαμβάνονται στα ΑΣΑ, δεδομένου ότι δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα οικιακά απόβλητα. Βέβαια τα απόβλητα αυτά είναι πιο εύκολο να αναλυθούν, από την άποψη ότι, ανά κατηγορία αποβλήτων, έχουν μεγαλύτερο βαθμό ομοιομορφίας από ότι τα οικιακά απόβλητα.

Χαρακτηρισμός πηγής αποβλήτων	Τυπικές δραστηριότητες ή εγκαταστάσεις όπου παράγονται	Τύποι και συστατικά αποβλήτων
Οικιακά απόβλητα	Μονοκατοικίες, πολυκατοικίες	Τροφικά υπολείμματα, χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, ύφασμα, δέρμα, απορρίμματα κήπου, ξύλο, γυαλί, τενεκέδες, αλουμίνιο, άλλα μέταλλα, στάχτη, απορρίμματα από τους δρόμους, ειδικά απορρίμματα (μαζί με ογκώδη αντικείμενα, αναλώσιμα ηλεκτρονικά, «λευκές συσκευές» που συλλέγονται ξεχωριστά), οικιακά επικίνδυνα απορρίμματα.
Εμπορικά απόβλητα	Καταστήματα, εστιατόρια, αγορές, εργασιακά κτήρια, ξενοδοχεία, συνεργεία αυτοκινήτων, κ.ά.	Χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, ξύλο, τροφικά υπολείμματα, γυαλί, μέταλλα, ειδικά απορρίμματα (όπως παραπάνω), επικίνδυνα απορρίμματα, κ.ά.
Απόβλητα ιδρυμάτων	Σχολεία, νοσοκομεία, φυλακές, κυβερνητικά κέντρα.	Όπως τα εμπορικά παραπάνω.
Απόβλητα κατασκευών	Περιοχές που	Ξύλο, χάλυβας, τσιμέντα, κ.ά.

και κατεδαφίσεων	κατασκευάζονται, επισκευές ή ανακαίνιση δρόμων, κατεδάφιση κτηρίων, σπασμένα πεζοδρόμια.	
Απόβλητα καθαρισμού κοινόχρηστων χώρων	Καθαρισμός δρόμων, διαμόρφωση εξωτερικών χώρων, πάρκα και ακτές, άλλες ψυχαγωγικές περιοχές.	Ειδικά απορρίμματα, απορρίμματα από τους δρόμους, κλάδεμα δέντρων, απορρίμματα από πάρκα, ακτές και ψυχαγωγικές περιοχές.
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων	Νερό, λύματα και απόβλητα βιομηχανικών διαδικασιών.	
Α.Σ.Α.	Όλα τα παραπάνω	Όλα τα παραπάνω
Βιομηχανικά	Κατασκευαστικές, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ενεργειακά εργοστάσια, κατεδαφίσεις.	Απορρίμματα από βιομηχανικές διαδικασίες, μη – βιομηχανικά απορρίμματα μαζί με τροφικά υπολείμματα, στάχτη, μπάζα, ειδικά απορρίμματα, επικίνδυνα απορρίμματα.
Γεωργικά	αγροτικές περιοχές, γαλακτοκομεία, μέρη πάχυνσης ζώων, κ.ά.	Χαλασμένα τροφικά απορρίμματα, γεωργικά, επικίνδυνα απορρίμματα.

Πίνακας 1: Πηγές στερεών απορριμμάτων σε μια κοινότητα

Στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομυρίου υπάρχουν όλα τα είδη των στερεών αποβλήτων εκτός ίσως από τα πετρελαιοειδή και τα απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων. Ωστόσο η πλειονότητα των αποβλήτων αποτελείται από αστικά απόβλητα (ή απορρίμματα) και από Ιλύς από την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων γι αυτό θα αναφερθούμε σε αυτά εκτενέστερα παρακάτω.

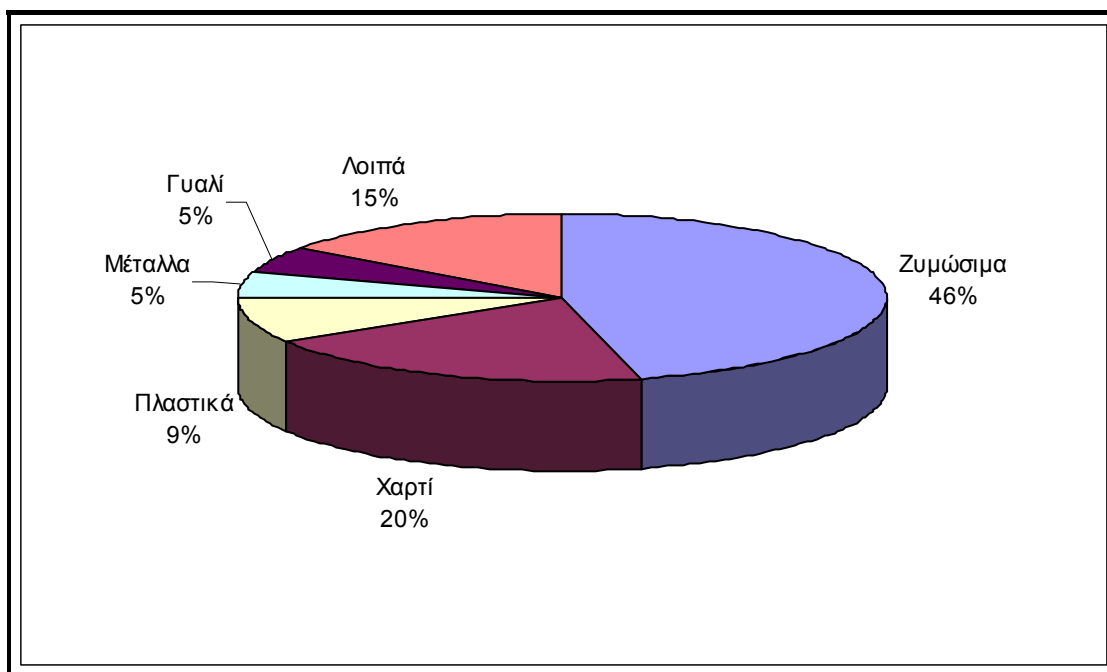
1.1.1 Αστικά απορρίμματα

Τα Α.Σ.Α. είναι τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά στερεά απορρίμματα), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά στερεά απορρίμματα), τον καθαρισμό δρόμων και άλλων κοινόχρηστων χώρων, καθώς και άλλα στερεά απόβλητα (από ιδρύματα, επιχειρήσεις, κλπ.) τα οποία μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απορρίμματα. Εξαίρεση αποτελούν τα απόβλητα εκσκαφών και οικοδομικών κατεδαφίσεων, οι ιλύες βιολογικών καθαρισμών, τα υπολείμματα της καύσης, όπως επίσης και τα κατεστραμμένα αυτοκίνητα και τα απόβλητα των νοσοκομείων, εφόσον δεν έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα οικιακά απορρίμματα. Σε γενικές γραμμές πάντως το τι είναι ή δεν είναι Α.Σ.Α. είναι θέμα ορισμού ή σύμβασης.

Τα οικιακά απορρίμματα παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια ως προς τη σύστασή τους. Η ποιοτική ανάλυση αποσκοπεί στο να προσδιορίσει βασικές ποσοστιαίες κατηγορίες υλικών σε αυτά, προκειμένου να προσδιοριστούν πληροφορίες απαραίτητες για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης, επεξεργασίας και αξιοποίησής τους. Η πιο συνηθισμένη κατηγοριοποίηση των απορριμμάτων, όπως προέκυψε από σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων, περιλαμβάνει τα εξής κλάσματα:

- Ζυμώσιμα: τροφικά υπολείμματα και κήπου
- Χαρτί: κάθε είδους χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων

- **Μέταλλα:** περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών που απαντώνται στα απορρίμματα. Είναι δόκιμος ένας διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων), με τα τελευταία να έχουν ως κυριότερο αντιπρόσωπο το αλουμίνιο. Σε ορισμένες αναλύσεις έχουν εξετασθεί ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.
- **Γυαλί:** η διαχείριση αποβλήτου γυαλιού στη χώρα μας πάσχει κυρίως από την έλλειψη υαλουργιών, κυρίως σε περιοχές μακριά από την Αττική. Είναι δόκιμος ο διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, όσον αφορά την ανακύκλωση, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού γυαλιού απαιτεί υαλότριμα μόνο του ίδιου χρώματος.
- **Πλαστικό:** περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών απορριμμάτων. Η κατηγορία αυτή γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη κατά τα τελευταία χρόνια και στη χώρα μας ως συνέπεια της αλλαγής των καταναλωτικών συνηθειών (στροφή σε συσκευασμένα προϊόντα, κ.λπ.). Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λπ.).
- **Δέρμα, Ξύλο, Ύφασμα, Λάστιχο:** χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα (Δ.Ξ.Υ.Λ.)
- **Αδρανή:** στην κατηγορία αυτή ανήκουν χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα, όπως πέτρες, χώματα κλπ.
- **Λοιπά:** εδώ ανήκουν τα υλικά που δεν μπορούν να κατανεμηθούν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες.



Εικόνα 1: Μέση ποσοστιαία σύσταση οικιακών απορριμμάτων για το 1997

Τα οικιακά απορρίμματα έχουν ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Τα ποσοτικά έχουν να κάνουν με την ποσότητα των απορριμμάτων, η οποία εξαρτάται από το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων και τη γενικότερη ανάπτυξη της χώρας. Έτσι η παραγωγή απορριμμάτων αυξάνεται όσο αυξάνεται το εισόδημα των πολιτών και ανάπτυξη της χώρας. Στην Ελλάδα ύστερα από μελέτες έχει βρεθεί ότι ο κάθε άνθρωπος παράγει κατά μέσο όρο 0,8 – 1,0 κιλά απορριμμάτων την ημέρα μια μέτρια ποσότητα αν αναλογιστούμε ότι στον Καναδά για παράδειγμα το αντίστοιχο ποσοστό είναι 2,5 κιλά την ημέρα. Τα ποιοτικά διαχωρίζονται στα φυσικά, τα χημικά, τα μικροβιολογικά και τα βιολογικά. Τα φυσικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό της φυσικής σύστασης των απορριμμάτων, το ειδικό τους βάρος, το μέγεθος, τη διαπερατότητα και την πυκνότητά τους. Τα χημικά έχουν να κάνουν με τον

προσδιορισμό της υγρασίας, της χωρητικότητας της υγρασίας, των πτητικών στερεών, τη στοιχειακή ανάλυση, τη θερμογόνο δύναμη και τη θερμοκρασία τήξης τέφρας των απορριμμάτων. Τέλος τα βιολογικά χαρακτηριστικά μας πληροφορούν για τη δυνατότητα αποικοδόμησης των απορριμμάτων και για το κατά πόσο εκλύουν οσμές, ενώ τα μικροβιολογικά για το ποσοστό των μολυσματικών αποβλήτων στην παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων.

1.1.2 Ιλύς (λυματολάσπη)

Κατά την επεξεργασία καθαρισμού των αποβλήτων, μαζί με την τελική απορροή, που πρέπει να διατεθεί κατάλληλα, παράγονται ταυτόχρονα και παραπροϊόντα όπως: σχαρίσματα, άμμος, ξαφρίσματα και λάσπη από τις δεξαμενές καθίζησης. Από τα παραπροϊόντα το σημαντικότερο σε όγκο και δυσκολότερο σε χειρισμό και διάθεση είναι η λάσπη ή ιλύς. Η λάσπη είναι ένα παχύρρευστο υγρό που περιέχει 40 περίπου φορές περισσότερες στερεές ουσίες από τα αστικά λύματα. Μετά την επεξεργασία της συμπύκνωσης, της χώνευσης και της αφυδάτωσης η λάσπη παίρνει μια σχετικά στερεή μορφή αν και διατηρεί αρκετή υγρασία (60%). Οι ιλείς παράγονται από τις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού τόσο των αστικών όσο και των βιομηχανικών λυμάτων. Σημαντική παράμετρος για την περαιτέρω αξιοποίηση της λάσπης είναι η περιεκτικότητά της σε βαρέα μέταλλα και άλλους ρύπους, η οποία καθορίζεται από τη φύση των λυμάτων και το είδος της εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού. Η φύση της λυματολάσπης βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με το βιοτικό επίπεδο των

ανθρώπων ενώ η ποσότητά της έχει να κάνει με τον πληθυσμό τους και την ύπαρξη ή όχι βιομηχανικών εγκαταστάσεων.



Εικόνα 2: Λυματολάσπη που έχει αποτεθεί στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου

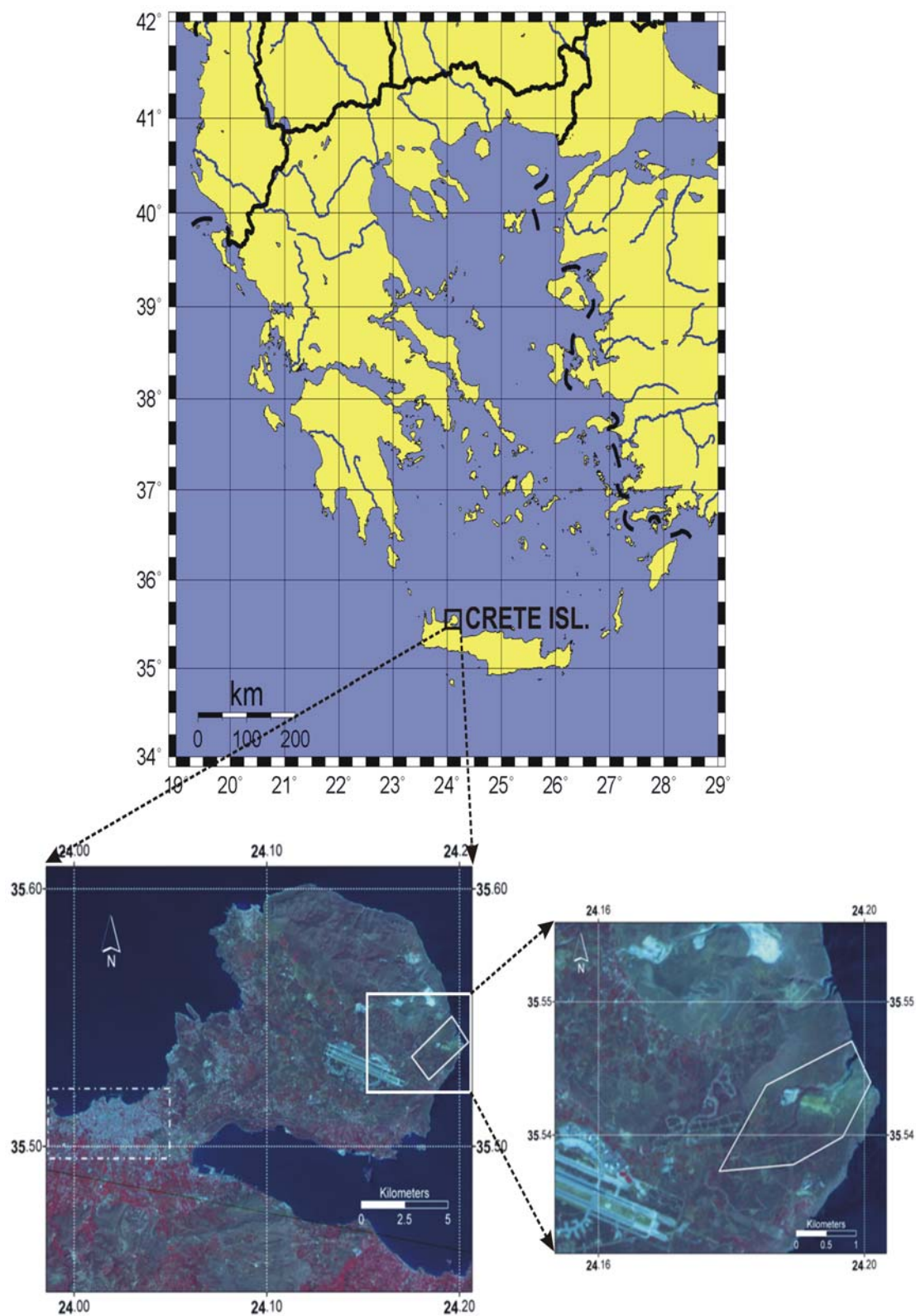
1.2 Γενικά για την περιοχή

Στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού των Χανίων και ανατολικά της πόλεως των Χανίων βρίσκεται η χερσόνησος του Ακρωτηρίου. Ενώνεται με το υπόλοιπο νησί με ένα «λαιμό» πλάτους περίπου 3 Km διαμορφώνοντας έτσι Βόρεια τον κόλπο των Χανίων και Νότια τον κόλπο της Σούδας.

Η θέση «Μεσομούρι» βρίσκεται στον μυχό των απολήξεων της χαράδρας του Κουρουπητού, στο ανατολικό άκρο του Ακρωτηρίου Χανίων, σε ευθεία απόσταση 15 χλμ. ανατολικά από την πόλη των Χανίων και 3,5 χλμ., ανατολικά από τον οικισμό Μουζουρά.

Η περιοχή γύρω από το Μεσομούρι ανήκει στη χαμηλή ζώνη του Ακρωτηρίου και υπόκειται διοικητικά στον ομώνυμο δήμο και στη νομαρχία Χανίων. Οι ακτές που σχηματίζονται βορειοανατολικά του Μεσομουρίου είναι απότομες και βραχώδεις και οδηγούν στο Κρητικό πέλαγος. Μορφολογικά η περιοχή αναπτύσσεται σε χαμηλά υψόμετρα (από 120 m ως 160 m) και οι κλίσεις είναι γενικά ήπιες και κυμαίνονται κατά μέσο όρο από 6 % ως 7 %.

Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο και η γεωλογική σύσταση του Ακρωτηρίου έχουν ευνοήσει τη δημιουργία πολλών χαραδρώσεων και σπηλαίων. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι στην εδαφική περιφέρεια του Ακρωτηρίου υπάρχουν 100 περίπου αξιόλογα σπήλαια πολλά από τα οποία παρουσιάζουν αρχαιολογικό, ιστορικό και βιολογικό ενδιαφέρον.



Εικόνα 3: Ακρωτήριο – Χανιά

1.3 Τεκτονικά και σεισμολογικά στοιχεία

1.3.1 Γεωμορφολογικά και Γεωλογικά στοιχεία

Η μελέτη των γεωλογικών δεδομένων της ευρύτερης περιοχής, βασίστηκε στην αξιολόγηση των στοιχείων που προέκυψαν κυρίως από τις ακόλουθες εργασίες:

- Γεωλογικές εργασίες πεδίου.
- Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων της Δυτικής Κρήτης των δορυφόρων Landsat και Spot 2 της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας.
- Επεξεργασία των γεωλογικών και τεκτονικών χαρτών της περιοχής Ακρωτηρίου Χανίων και συγκεκριμένα των ακόλουθων:
 - Γεωλογικός χάρτης κλίμακα 1/50.000, φύλλο Χανιά, Ι.Γ.Μ.Ε.
 - Γεωλογικός χάρτης κλίμακα 1/200.000 της Νήσου Κρήτης, Ν. Creytdurg et.al, 1978.
 - Γεωλογικός χάρτης κλίμακα 1/725.000 της ευρύτερης περιοχής «Στρογγυλό Κεφάλι» Ακρωτηρίου Χανίων, Μαριολάκος κ.ά., 1996.
 - Χάρτης τεκτονικών ασυνεχειών με υδρολογικά στοιχεία κλ.1/50.000, φύλλο Χανιά, Δεμίρης, Μελαδιώτης, Παυλάκης, 1994.
 - Σεισμοτεκτονικός χάρτης Νήσου Κρήτης κλίμακα 1/250.000, Δρακόπουλος κ.ά., 1983.

Από την επεξεργασία όλων των παραπάνω στοιχείων που έγινε στα πλαίσια της Μελέτης Προέγκρισης Χωροθέτησης του έργου «Μονάδα Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρος Υγειονομικής Ταφής

στη θέση «Κορακιά» νοτίως της χαράδρας του Κουρουπητού Ακρωτηρίου Χανίων», εκπονήθηκαν και παρουσιάζονται:

- Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1/25.000, της ευρύτερης περιοχής του έργου.
- Δύο γεωλογικές τομές κλίμακας 1/25.000.
- Οι γεωμορφολογικές, γεωλογικές, τεκτονικές και σεισμοτεκτονικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής σε ακτίνα περίπου 5 χλμ.

1.3.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες του Ακρωτηρίου Χανίων

Η σημερινή γεωμορφολογική εικόνα που παρουσιάζει το Ακρωτήριο Χανίων οφείλεται σε διάφορα γεωλογικά φαινόμενα, κυρίως όμως στην έντονη επίδραση των τεκτονικών γεγονότων που έλαβαν χώρα κατά τη χρονική περίοδο του Μειόκαινου έως σήμερα. Από τη δράση των τεκτονικών αυτών γεγονότων διαμορφώθηκαν οι μακρομορφολογικοί χαρακτήρες της περιοχής ενώ η λεπτομερέστερη μορφολογική της υφή έχει διαμορφωθεί από τις διαδικασίες της διάβρωσης και της αποσάθρωσης των πετρωμάτων της.

Αποτέλεσμα των γεωλογικών αυτών διαδικασιών είναι η διαμόρφωση της σημερινής γεωμορφολογικής δομής του Ακρωτηρίου που χαρακτηρίζεται, από ποικιλομορφίες και αντιθέσεις. Στη μικρή συγκριτικά έκτασή του αναπτύσσονται τόσο η ορεινή όσο και η χαμηλή ζώνη που παρουσιάζονται με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η ορεινή ζώνη χαρακτηρίζεται από ένα εκτεταμένο ορεινό όγκο που αναπτύσσεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, καταλαμβάνοντας το

βορειοανατολικό τμήμα του Ακρωτηρίου. Δομείται εξ ολοκλήρου από ανθρακικά πετρώματα και παρουσιάζεται με πολυάριθμες βουνοκορφές υψομέτρων συνήθως 350 – 420 μέτρα με υψηλότερη τη «Σκλόκα» που με υψόμετρο 529 μέτρα δεσπόζει στο ανατολικό του τμήμα. Ο ορεινός όγκος διασχίζεται κατά θέσεις από μικρά ως επί το πλείστον φαράγγια και ρέματα που έχουν δημιουργηθεί από το συνδυασμό ρηξιγενούς τεκτονικής και γρήγορων ανυψωτικών κινήσεων που επιτάχυναν τη διαδικασία της διάβρωσης. Το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από εξαιρετική τραχύτητα και παντού επικρατεί η εικόνα του ορεινού βραχώδους τοπίου με τα πολύμορφα πρηνή που χαρακτηρίζονται από ισχυρές κλίσεις και με τις πολυάριθμες καρστικές δομές που έχουν σχηματίσει ποικίλου μεγέθους και μορφής έγκοιλα, σπήλαια, δολίνες, δακτυλογλυφές κ.α.

- Μέσω μεταπτωτικών ρηγμάτων διευθύνσεων κυρίως ΒΔ-ΝΑ ο ορεινός όγκος μεταβαίνει στη χαμηλή ζώνη υψομέτρων 0 - 220 μέτρα περίπου, που καταλαμβάνει το δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα του Ακρωτηρίου που δομείται κυρίως από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μάργες, και αλλουβιακούς σχηματισμούς. Στο κεντρικό τμήμα δεσπόζει το τεκτονικό βύθισμα του Ακρωτηρίου που αναπτύσσεται με υψόμετρα 110 - 150 μέτρα περίπου. Η μορφολογία της χαμηλής ζώνης παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές αρκετά ομαλή και το ανάγλυφο της χαρακτηρίζεται γενικά ήπιο δημιουργώντας έτσι ισχυρή αντίθεση με αυτό της ορεινής ζώνης. Εξάιρεση αποτελούν οι λόφοι υψομέτρων

έως 220 μέτρα περίπου που αναπτύσσονται στη νότια περιοχή του Ακρωτηρίου (λόφος Βίγλες κ.α.) και που κατά θέσεις χαρακτηρίζονται από έντονες μορφολογικές κλίσεις.

- Η παραθαλάσσια ζώνη αναπτύσσεται περιμετρικά του Ακρωτηρίου και παρουσιάζεται με εξαιρετικές ποικιλομορφίες. Στο βόρειο - βορειοανατολικό τμήμα του ο ορεινός όγκος βυθίζεται κυριολεκτικά στη θάλασσα του Κρητικού πελάγους διαμορφώνοντας έτσι ισχυρών κλίσεων απότομες βραχώδεις ακτές. Αντίθετα στο βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα του Ακρωτηρίου, δημιουργούνται μικροί κόλποι και παραλίες κατάλληλες για χρήσεις αναψυχής - τουρισμού όπως είναι οι περιοχές Σταυρού, Καλαθά, Μαράθι, κ.α.

1.3.3 Γεωλογική δομή της περιοχής

Από την επεξεργασία των στοιχείων της γεωλογικής χαρτογράφησης που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της μελέτης που αναφέρθηκε ανωτέρω, στην ευρύτερη περιοχή του έργου και σε ακτίνα 5 χλμ., προκύπτει ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος αντιστοιχούν στα κατώτερα καλύμματα της Κρήτης και στα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς. Αναλυτικότερα, η γεωλογική δομή σε σειρά όμοια με αυτή της στρωματογραφικής διάταξης, δηλαδή από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη, είναι:

1. Ενότητα Πλακωδών Ασβεστόλιθων. Αποτελεί μία από τις πλέον γνωστές γεωλογικές ενότητες της Κρήτης που ανήκει στα κατώτερα καλύμματα και δομεί μεγάλο μέρος των Λευκών Ορέων. Στην περιοχή μελέτης αποτελεί τη βαθύτερη εμφανιζόμενη ενότητα και συνιστά το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου.

Αποκαλύπτεται με την μορφή τεκτονικού παράθυρου, με μικρές σχετικά εμφανίσεις στην ορεινή περιοχή της Σκλόκας και σε αυτήν ανατολικά του χωριού Χωρδάκι.

Η εν λόγω ενότητα εμφανίζεται στην περιοχή ενδιαφέροντος με τη χαρακτηριστική λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη ανάπτυξη, τεφρόμαυρων ισχυρά ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων, που έχουν μεταμορφωθεί σε συνθήκες, υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας και παρουσιάζονται κυριολεκτικά με την μορφή μαρμάρων. Παρουσιάζουν δε ένα χαρακτηριστικό αποχωρισμό σε «πλάκες», πάχους 10 - 30 cm ή και παραπάνω, απ' όπου και πήραν την ονομασία τους, ενώ προς τους ανώτερους ορίζοντες οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι εξελίσσονται σε παχυστρωματώδεις. Κατά θέσεις, και σε πολύ περιορισμένη σχετικά κλίμακα παρατηρούνται οι γνωστές για την ενότητα υπόλευκες πυριτολιθικές παρεμβολές που παρουσιάζονται με την μορφή φακών και βολβών.

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι στην περιοχή μελέτης, αναπτύσσονται με μικρές σχετικά γωνίες κλίσεις των στρωσιγενών τους επιπέδων (100-300) και με επικρατέστερες διευθύνσεις νοτιοδυτικές.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιγράψαμε, χαρακτηρίζονται από τη σταθερή και ομοιόμορφη λιθοφασική τους εξέλιξη, αποτελώντας πελαγικά ιζήματα που σχηματίστηκαν σε ήρεμο περιβάλλον μεγάλου βάθους κατά τη χρονική περίοδο του Ιουρασικού και νεότερα (Φυτρολάκης, 1980).

2. Ενότητα Τρυπαλίου. Πάνω στην ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων μέσω κυρίως τεκτονικών επαφών εμφανίζεται επωθημένη η ανθρακική ενότητα του Τρυπαλίου που αναπτύσσεται και στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, με τα γνωστά σε όλους γκριζότεφρα και βραχώδη πετρώματα της, που χαρακτηρίζονται από το έντονο τραχύ τους ανάγλυφο και από τις πολυάριθμες καρστικές δομές.

Τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας αυτής δομούν όλο το βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα την εκτεταμένη ορεινή μάζα από την περιοχή της Αγίας Τριάδας προς την ορεινή περιοχή Χωρδάκι - Μουζουρά - Σκλόκα, μέχρι και την ανατολική περιοχή του κάμπου (τεκτονικό βύθισμα) Ακρωτηρίου (Αεροδρόμιο, Κουμαρές - Κουρουπητός), όπου μέσω τεκτονικής επαφής συνδέονται πλέον με τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του νεογενούς.

Στην περιοχή του Κουρουπητού η ενότητα Τρυπαλίου παρουσιάζεται με κυμαινόμενα πάχη γεγονός που οφείλεται στον επωθητικό της χαρακτήρα. Αποτελείται από μία σειρά ανθρακικών πετρωμάτων ηλικίας Ιουρασικής και νεότερης, που έχουν υποστεί ισχυρή τεκτονική καταπόνηση, με αποτέλεσμα τον έντονο κατακερματισμό τους και την ανασυγκόλλησή

τους σε διάφορα στάδια. Αναλυτικότερα, στη σύσταση τους μετέχουν οι ακόλουθοι σχηματισμοί:

- Κατώτερα στρωματογραφικά τμήματα: Λεπτοπλακώδεις έως στρωματώδεις υπόλευκοι, λευκότεφροι και σκοτεινότεφροι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, που κατά θέσεις μοιάζουν με τους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους, με τη διαφορά ότι δεν φέρουν πυριτόλιθους (Παυλάκη Κ., 1990).
- Μεσαία και ανώτερα στρωματογραφικά τμήματα: Λευκότεφροι έως τεφροί ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι που παρουσιάζονται ανακρυσταλλωμένοι και βιτουμενούχοι και ανθρακικά κροκαλολατυποπαγή που παρουσιάζονται σε μαζώδη ανάπτυξη και χαρακτηρίζουν την εν λόγω ενότητα (Παυλάκη Κ., 1990). Τα πετρώματα της ενότητας Τρυπαλίου και ειδικότερα οι ανώτεροι ορίζοντες παρουσιάζουν ισχυρά φαινόμενα καρστικοποίησης.

3. Νεότερα ιζήματα Νεογενούς. Πάνω στους προορογενετικούς σχηματισμούς που ήδη περιγράψαμε επικάθονται με στρωματογραφική ασυμφωνία ή συνδέονται με τεκτονικές επαφές, τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς που αναπτύσσονται στο νότιο τμήμα της περιοχής του Ακρωτηρίου, με χαρακτηριστικές εμφανίσεις στις περιοχές Στέρνες, Περβολίτσα και Μαράθι. Ανάλογα με τα λιθοφασικά τους χαρακτηριστικά τα κατατάσσουμε στα ακόλουθα μέλη που περιγράφουμε με σειρά όμοια της στρωματογραφικής τους διάταξης από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη:

- Ασβεστομαργαϊκή σειρά. Πρόκειται για σχηματισμό ηλικίας Άνω Μειόκαινου έως Κάτω Πλειόκαινου, που αποτελείται κυρίως από συμπαγείς λευκοκίτρινους έως λευκόφαιους, υφαλογενείς και βιοκλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ασβεστολιθικές ψαμιτομάργες. Παρουσιάζονται με χαρακτηριστική παχυστρωματώδη ανάπτυξη, με μικρές γωνίες κλίσεων των στρωσιγενών τους επιπέδων που έχουν διευθύνσεις βορειοανατολικές-ανατολικές.
 - Μαργαϊκή σειρά. Η σειρά αυτή αποτελείται στο σύνολο της σχεδόν από Πλειοκαινικής ηλικίας άσπρες - κιτρινωπές παχυστρωματώδεις και μαζώδεις μάργες που στους ανώτερους ορίζοντες μεταπίπτουν σε λευκοκίτρινες ψαμιτομάργες.
4. Πρόσφατες αποθέσεις Τεταρτογενούς. Επιφανειακά, κατά θέσεις, εμφανίζεται ο αλλουβιακός μανδύας που αποτελείται από καστανέρυθρες αργίλους, ερυθρογή και διάσπαρτες ασβεστολιθικές λατύπες. Δημιουργήθηκε από τα προϊόντα διάβρωσης των ανθρακικών πετρωμάτων και αναπτύσσεται με μικρά πάχη που κυμαίνονται από λίγα εκατοστά έως λίγα μέτρα.

1.3.4 Σεισμοτεκτονικά στοιχεία

1.3.4.1 Τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής

Η γεωμορφολογική δομή της ευρύτερης περιοχής του έργου, όπως αυτή παρουσιάζεται σήμερα με τα ημιορεινά συγκροτήματα, τις απότομες βραχώδεις ακτές, τις έντονες χαραδρώσεις και τις τεκτονικές λεκάνες, οφείλεται σε διάφορα γεωλογικά φαινόμενα, κυρίως όμως στην επίδραση της Αλπικής και της Νεοτεκτονικής τεκτονικής που συνέβαλλαν στην εκδήλωση των ποικίλων παραμορφωτικών φάσεων που εκφράζονται στα πετρώματα με την μορφή της πτυχογόνου και της ρηξιγενούς τεκτονικής. Η πτυχογόνος τεκτονική εκδηλώνεται με την μορφή ποικίλων πτυχών που εμφανίζονται κυρίως στους στρωματώδεις σχηματισμούς της ενότητας των Πλακωδών ασβεστόλιθων. Η ρηξιγενής τεκτονική είναι ιδιαίτερα έκδηλη στην περιοχή και εκδηλώνεται με πλήθος τεκτονικών ασυνεχειών που αντιπροσωπεύονται από πλήθος ρηγμάτων, ρωγματώσεων και διακλάσεων που λόγω του συμπαγούς χαρακτήρα των ανθρακικών πετρωμάτων, δημιουργούν χαρακτηριστικές και εμφανείς θραυσιγενείς επιφάνειες. Οι ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής του Κουρουπητού ακολουθούν τρεις κύριες διευθύνσεις: ΒΔ - ΝΑ, ΒΑ - ΝΔ και Α - Δ. Οι κυριότερες τεκτονικές ασυνέχειες της περιοχής είναι:

- Οι μεγάλες ρηξινενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ, που οριοθετούν τη δυτική πλευρά του ορεινού όγκου του Ακρωτηρίου και αντιπροσωπεύονται από δύο μεγάλα ρήγματα, που έχουν δημιουργήσει κατά μήκος τους τα δύο χαρακτηριστικά ορεινά επίπεδα. Το ένα αναπτύσσεται κατά μήκος

αυτής της διεύθυνσης (διεύθυνση κλίσης $220^{\circ}\text{N}\Delta/85^{\circ}$) στο ύψος της περιοχής Χωρδακίου. Σε θέση ανατολικά του Χωρδακίου στο ύψος του δρόμου, παρουσιάζονται χαρακτηριστικοί καθρέπτες με μυλωνιτιοποιημένο υλικό. Το δεύτερο αναπτύσσεται με την ίδια διεύθυνση, παράλληλα και χαμηλότερα στο ύψος της περιοχής Μουζουρά, και έχει συμβάλει στη δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος του Ακρωτηρίου, που εκτείνεται νοτιοδυτικά.

- Οι ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ, που οριοθετούν το ανατολικό τμήμα της ορεινής μάζας του Ακρωτηρίου και έχουν συμβάλει στη δημιουργία των απόκρημνων βραχωδών ακτών που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά πρηνή με ισχυρές κλίσεις.
- Οι ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΑ - ΝΔ, που οριοθετούν το νότιο τμήμα της ορεινής μάζας του Ακρωτηρίου και έχουν συμβάλει στη δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος που εκτείνεται νοτιότερα.
- Η ρηξιγενής ζώνη διεύθυνσης ομοίως ΒΑ - ΝΔ που διασχίζει την καρδιά του ορεινού όγκου και παρουσιάζει στην περιοχή ανατολικά του Καλόρουμα χαρακτηριστικούς καθρέπτες με διεύθυνση της επιφάνειας κλίσης $325^{\circ}\text{B}\Delta/25^{\circ}$.
- Η ρηξιγενής ζώνη διεύθυνσης ομοίως ΒΑ - ΝΔ που διασχίζει το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης (Μαράθι - Περβολίτσα) και φέρνει σε τεκτονική επαφή τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας του Τρυπαλίου με τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς.
- Οι διακλάσεις που κατακερματίζουν τα ανθρακικά πετρώματα και

παρουσιάζονται με πυκνά δίκτυα ποικίλων διευθύνσεων με επικρατέστερες διευθύνσεις ανάλογες των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών. Σε ισχυρών κλίσεων πρηνή που διατρέχονται από διακλάσεις με ομόρροπες με αυτά επιφάνειες, επικρατούν συνθήκες αστάθειας με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καταπτώσεις μικρών ή μεγάλων τεμαχίων βράχων από τις αποκολλήσεις των κερματισμένων πετρωμάτων.

Επισημαίνεται ότι από τις ρηξιγενείς ζώνες της ευρύτερης περιοχής Ακρωτηρίου ορισμένες πιθανόν είναι ενεργές, γεγονός όμως που προσδιορίζεται μόνον από την εκπόνηση ειδικής νεοτεκτονικής μελέτης. Σήμερα η περιοχή βρίσκεται υπό την επίδραση ευστατικών και τεκτονικών κινήσεων που προκαλούν κυρίως ανυψωτικές μετατοπίσεις.

1.3.4.2 Σεισμικότητα

Η ευρύτερη περιοχή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από έντονη ρηξιγενή τεκτονική που είναι άμεσα συνδεδεμένη με σεισμική δραστηριότητα. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην ενεργό τεκτονική του χώρου αυτού που χαρακτηρίζεται από δύο σημαντικές μεγάλες γεωλογικές διαδικασίες:

Η μία σχετίζεται με τη γνωστή αμφιθεατρική υποβύθιση της Αφρικάνικης Πλάκας κάτω από την Ευρασιατική που συντελείται με ρυθμό 1,5 cm το χρόνο και λαμβάνει χώρα κατά μήκος της ελληνικής τάφρου που διέρχεται νότια της Κρήτης. Η δεύτερη σχετίζεται με την μετακίνηση της πλάκας της Ανατολίας που συντελείται κατά μήκος του μεγάλου ομώνυμου ρήγματος προς την περιοχή του Αιγαίου με ρυθμό 2,5 cm το χρόνο.

Αποτέλεσμα αυτών είναι ότι στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου η σχετική μετακίνηση των πλακών αναπτύσσεται με ρυθμό πέραν των 4 cm το χρόνο, γεγονός που έχει σαν άμεσο επακόλουθο την ανάπτυξη του ορογενούς της Κρήτης και ενός ισχυρού πεδίου τάσεων στην ευρύτερη περιοχή που προκαλεί σεισμούς μικρού και μεγάλου βάθους.

Η Κρήτη κατά τη διάρκεια των παραπάνω σύγχρονων τεκτονικών κινήσεων δε συμπεριφέρεται σαν μία ενιαία συμπαγής και άκαμπτη μάζα, αλλά σαν ένα σύστημα τεκτονικών τεμαχίων που χωρίζονται από μεγάλα ρήγματα. Κάθε τέμαχος αποκτά διαφορετικά μεγέθη κίνησης. Η μέγιστη τιμή ανύψωσης παρατηρήθηκε σε νότιες ακτές της δυτικής Κρήτης και ανέρχεται σε 7,8 m. Υπολογίζεται ότι η μέγιστη ετήσια ανύψωση στη Δυτική Κρήτη ανέρχεται σε 4,5 mm.

Με βάση την εργασία «Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Κρήτης» (Δρακόπουλος κ.α. 1983) και εργασίες του κ. Β. Παπαζάχου (1980,1996) σχετικές με τη σεισμική δραστηριότητα της Κρήτης επισημαίνονται τα ακόλουθα:

- Στη περιοχή της Κρήτης και στο ευρύτερο θαλάσσιο χώρο δύο κατηγορίες σεισμών λαμβάνουν χώρα. Οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους (βάθος εστίας μεγαλύτερο των 60 χλμ. και μικρότερο των 180 χλμ.) που τοποθετούνται στο θαλάσσιο χώρο βόρεια του νησιού, και οι επιφανειακοί σεισμοί (βάθος εστίας μικρότερο των 60 χλμ.) που τα επίκεντρα τους τοποθετούνται πάνω στο νησί ή στο νότιο γειτονικό θαλάσσιο χώρο.
- Οι μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες που έχουν επισημανθεί τόσο στον ηπειρωτικό

όσο και στο θαλάσσιο χώρο δυτικά - βορειοδυτικά και νότια του νησιού είναι σεισμικά ενεργές.

- Τα περισσότερα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών "βρίσκονται στη θαλάσσια περιοχή νότια της Νήσου, όπου κυριαρχούν οι μεγάλες τεκτονικές τάφροι.
- Ο μεγαλύτερος σεισμός του αιώνα μας που έγινε το 1903 στα Κύθηρα, βορειοδυτικά και σε μικρή απόσταση από την Κρήτη, είχε μέγεθος 8,0 βαθμούς της κλίμακας Richter, με αποτέλεσμα να έχει επιδράσει αποφασιστικά στην κατανομή του σεισμικού κινδύνου από άποψη μέγιστου μεγέθους στην περιοχή Δυτικής Κρήτης.
- Συμπερασματικά καταλήγουμε ότι με βάση όλα τα παραπάνω στοιχεία που παρουσιάστηκαν, η περιοχή του έργου όπως και η ευρύτερη περιοχή της Κρήτης ανήκει σε μία ιδιαίτερα ευπαθή σεισμική ζώνη με υψηλό σεισμικό κίνδυνο. Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στο σχεδιασμό των έργων.
- Με βάση τα στοιχεία από την εργασία «Σεισμοτεκτονικός Χάρτης της Κρήτης», Δρακόπουλος κ.α 1983, προέκυπτε ότι:
 - Αναμενόμενη μέγιστη τιμή μεγέθους σεισμού για την περιοχή Κουρουπητού είναι 7,2 βαθμοί στην κλίμακα Richter, με πιθανότητα 70% να μη σημειωθούν μεγαλύτερες τιμές στα επόμενα 100 χρόνια.
 - Αναμενόμενη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση για την περιοχή Κουρουπητού, με πιθανότητα 90% να μη σημειωθούν μεγαλύτερες τιμές τα επόμενα 50 χρόνια είναι $60 - 80 \text{ cm/sec}^2$.

- Μέγιστη σεισμική ένταση που παρατηρήθηκε τη χρονική περίοδο 1900-1981, στην περιοχή Κουρουπητού ήταν 6 - 7 βαθμοί της κλίμακας Mercalli.

1.3.5 Καρστικά φαινόμενα

Η ευρύτερη περιοχή του έργου δομείται από ανθρακικά πετρώματα με έκδηλη ρηξιγενή τεκτονική, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει έντονα φαινόμενα καρστικής διάβρωσης που αντιπροσωπεύονται από ποικίλες καρστικές μορφές. Όπως είναι γνωστό η καρστικοποίηση οφείλεται στη χημική διεργασία που αναπτύσσεται κατά τη σταδιακή χημική διάλυση των ανθρακικών κυρίως πετρωμάτων από το νερό και έχει σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση τους και τη δημιουργία διάφορων χαρακτηριστικών μορφών τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια. Αντιπροσωπευτικές καρστικές μορφές είναι οι δολίνες, οι πόλγες, τα ποικίλου μεγέθους έγκοιλα, τα σπήλαια, οι καταβόθρες, τα δαιδαλώδη υπόγεια καρστικά δίκτυα κλπ. Η ρηξιγενής τεκτονική μιας περιοχής, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην όλη διεργασία της καρστικοποίησης. Η κίνηση του νερού και κατ' επέκταση η διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων συνδέεται άμεσα με επιφάνειες ρηγμάτων, διακλάσεων, σχιστότητας και γενικά ποικίλης φύσεως και μεγέθους τεκτονικών ασυνεχειών, που υποβοηθούν την ταχύτερη ανάπτυξη της καρστικής διαβρώσεως.

Η ανάπτυξη της καρστικοποίησης συνδέεται άμεσα με τις επιφάνειες τεκτονικών ασυνεχειών ιδιαίτερα στα προορογενετικά ανθρακικά πετρώματα

της ενότητας του Τρυπαλίου που παρουσιάζουν ισχυρή ρηξιγενή τεκτονική και με επιφάνειες στρώσεων ιδιαίτερα στους νεογενείς μαργαικούς ασβεστόλιθους. Οι αντιπροσωπευτικότερες καρστικές μορφές που συναντάμε είναι:

- Καρστικό ανάγλυφο που αναπτύσσεται καθ' όλη την έκταση των ανθρακικών πετρωμάτων και χαρακτηρίζεται απότραχείες επιφάνειες διάσπαρτες από μικροεγκοιλώδεις οπές που ακολουθούν τις διευρύνσεις των ρωγματώσεων και διακλάσεων.
- Πολυάριθμες δολίνες ποικίλου μεγέθους και βάθους που αναπτύσσονται διάσπαρτες καθ' όλη την έκταση του τεκτονικού βυθίσματος του Ακρωτηρίου, που διαμορφώνεται κατόπιν των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών. Συνήθως καλύπτονται από ερυθρά αργιλικά υλικά που προέρχονται από τη διάβρωση των μητρικών τους πετρωμάτων και που κατά θέσεις αποκτούν πάχος πέραν των 5 μέτρων.
- Καρστικά έγκοιλα που αναπτύσσονται κατά μήκος των επιφανειών των μικρών ή μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών και παρουσιάζονται με μεγάλη ποικιλία μορφών. Οι πιο συνηθισμένες είναι οι κατακόρυφες κοιλότητες ενώ μεμονωμένα συναντάμε και μεγαλύτερα σπηλαιώδη έγκοιλα.
- Φαράγγια. Πρόκειται για μεμονωμένες εικόνες μικρών φαραγγιών που αναπτύσσονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης του Ακρωτηρίου προς τη θάλασσα. Αυτά έχουν σχηματιστεί λόγω των

ταχέων ανυψωτικών κινήσεων που επικράτησαν στην περιοχή κατά τη διάρκεια των νεότερων γεωλογικών χρόνων και που προκάλεσαν την ταχεία διάβρωση του εδάφους κατά προτίμηση σε ζώνες τεκτονικών ασυνεχειών.

Ειδικότερα, στην περιοχή του Κουρουπητού η διάβρωση του εδάφους, λόγω της φύσης των γεωλογικών της σχηματισμών που αποτελούνται αποκλειστικά από τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας του Τρυπαλίου, αναπτύσσεται με την μορφή της καρστικοποίησης των ανθρακικών της πετρωμάτων, που όπως αναφέρθηκε οφείλεται στη σταδιακή χημική τους διάλυση από το νερό.

1.4 Χλωρίδα της ευρύτερης περιοχής

Οι συνηθέστεροι τύποι οικοτόπων στο Ακρωτήρι και στην ευρύτερη περιοχή του έργου είναι οι εξής:

- Μακία ελιάς - χαρουπιάς (*Oleo - ceratonion*)
- Φρύγανα
- Πρωτογενής βλάστηση βραχωδών επιφανειών
- Σπήλαια

Οι τύποι αυτοί είναι γενικότερα χαρακτηριστικοί για την Κρήτη. Στην ευρύτερη περιοχή του έργου κυριαρχούν τα είδη *Olea europea* (ελιά και αγριελιά), *Pistacia lentiscus* (σκίνος) και *Ceratonia siliqua* (χαρουπιά). Αυτά συνοδεύονται από διάφορα είδη φρυγανών στα οποία συγκύριαρχούν τα είδη *Coridothymus capitatus* (θύμος), *Cistus salicifolius* (λαδανιά) και *Genista acanthoclada* (αχινοπόδι). Συνοδεύονται και από άλλα φυτά της φρυγανικής

βλάστησης όπως *Salvia fruticosa* (φασκομηλιά), *Salvia pommifera* (σγουρή φασκομηλιά), *Satureja thymbra* (θρούμποι), *Sarcopoterium spinosum* (αστοιβίδα), *Drimia maritima* (ασκελετούρα) κ.α. Η πρωτογενής βλάστηση των βραχωδών επιφανειών, που αποτελείται κυρίως από είδη του γένους *Sedum*, βρύα και λειχήνες, περιορίζεται στα σημεία που υπάρχουν μεγάλοι βράχοι, ενώ τα σπήλαια δε συμμετέχουν στην κάλυψη. Το ποσοστό που καλύπτεται από τα φρύγανα θεωρείται μεγάλο και οφείλεται στην μακροχρόνια βόσκηση με παράλληλη χρήση φωτιάς. Αυτό τεκμηριώνεται και από την αυξημένη παρουσία της *Drimia maritima* (ασκελετούρας) που αποτελεί δείκτη υπερβόσκησης.

1.4.1 Βλάστηση και χλωρίδα στην περιοχή του έργου

Οι οικότοποι που συνθέτουν την περιοχή είναι φρύγανα με κωδικό 5420 και καλύπτουν σχεδόν το 80% της περιοχής ενδιαφέροντος. Στα φρύγανα κυρίαρχο είδος είναι τα *Sarcopoterium spinosum* (αστοιβίδα), και *Coridothymus capitatus* (θυμάρι). Σε μικρότερο ποσοστό εμφανίζεται διάσπαρτη Μακία βλάστηση ελιάς -χαρουπιάς (*Olea ceratonia*). Ανατολικά της περιοχής του έργου η φρυγανώδης βλάστηση έχει υποβαθμιστεί και σε πολλά σημεία αντικατασταθεί από τα είδη *Asphodelus aestivus* (ασφόδελος) και *Drimia maritima* (ασκελετούρα), εξαιτίας κυρίως της καύσης των απορριμμάτων στον Κουρουπητό κατά το παρελθόν. Νοτιότερα εμφανίζονται φρύγανα με *Sarcopoterium spinosum* (αστοιβίδα), ελάχιστα *Coridothymus capitatus* (θυμάρια) και *Phlomis cretica* (αγκαραθιές). Ένα άλλο είδος που

κυριαρχεί είναι η *Cynara cornigera* (άγρια αγκινάρα) με αρκετά μεγάλο πληθυσμό, που εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της περιοχής. Δυτικότερα τα φρύγανα είναι καλά ανεπτυγμένα με κυρίαρχο είδος την αστοιβίδα και διάσπαρτα θυμάρια.

Το βόρειο τμήμα της περιοχής έχει δεχθεί τις λιγότερες επιπτώσεις από την ανεξέλεγκτη απόρριψη των σκουπιδιών στο φαράγγι του Κουρουπητού. Εδώ η φρυγανώδης βλάστηση χαρακτηρίζεται από τα είδη *Coridothymus capitatus* (θυμάρι) και *Calicome villosa* (ασπάλαθος). Σε αυτό το σημείο το φαράγγι του Κουρουπητού, με το οποίο γειτονεύει άμεσα, είναι καθαρό και η βλάστηση, κυρίως χασμοφυτική, είναι καλά ανεπτυγμένη όπως φαίνεται από το βορειοδυτικό σημείο της εξεταζόμενης περιοχής. Όσον αφορά τα σπάνια και απειλούμενα είδη που υπάρχουν στην περιοχή, σημειώνονται τα ακόλουθα:

- Πληθυσμοί του *Origamum dictamnus* L (Δίκταμος, απειλούμενο είδος, παραρτήματα II/IV της Οδηγίας 92/43/ΕΕΟ) έχουν βρεθεί και σε άλλες περιοχές του βόρειου Ακρωτηρίου.
- Το άγριο κρεμμύδι *allium circinatum* subsp. *circinatum* είναι σπάνιο και έχει περιορισμένο αριθμό πληθυσμών σε όλη την Κρήτη. Στην περιοχή του βόρειου Ακρωτηρίου συναντάται ευρέως και έχουν καταγραφεί τουλάχιστον τέσσερις (4) πληθυσμοί (Βάση Δεδομένων Βοτανικού Μουσείου Μ.Α.Ι.Χ.).
- το είδος *Hypericum aegypticum* L. το οποίο αντιπροσωπεύεται στην Κρήτη από δύο πληθυσμούς. Ο ένας βρίσκεται στην περιοχή της

Σητείας και ο άλλος στην περιοχή του Κουρουπητού - Περβολίτσας. Σύμφωνα με τον Greuter et al. (1984) το φυτό εξαφανίστηκε από τη δεύτερη περιοχή εξαιτίας της λειτουργίας του Κουρουπητού. Ευτυχώς το φυτό βρέθηκε στην περιοχή της Περβολίτσας πριν δύο χρόνια (Βάση Δεδομένων Βοτανικού Μουσείου Μ.Α.Ι.Χ.). Το συγκεκριμένο είδος πιθανόν να ευνοηθεί από τη διακοπή της λειτουργίας του Κουρουπητού, αφού αποτελεί το βιότοπο του, που είναι βραχώδη μέρη κοντά στην θάλασσα, και επανακάμψει στην περιοχή. Το ίδιο ίσως ισχύει και για το Δίκταμο, αν βέβαια βρίσκεται σε σχισμές κάθετων βράχων μέσα στο φαράγγι του Κουρουπητού.

- αξιοσημείωτο είναι το είδος *Nicotiana glauca* με κοινή ονομασία tobacco tree το οποίο άρχισε να φύεται πάνω από τα απορρίμματα στο υλικό επικάλυψης.

Το τελευταίο φυτό προκάλεσε ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς όπως φαίνεται και από τις φωτογραφίες φύεται σε αρκετά μεγάλη έκταση του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου και μάλιστα παρουσιάζει ιδιαίτερη ανάπτυξη. Έτσι αποφασίστηκε να αναζητηθούν περισσότερα στοιχεία για το συγκεκριμένο φυτό καθώς και να γίνει μια ανάλυσή του αναφορικά με την παρουσία βαρέων μετάλλων.

Το είδος ***Nicotiana glauca*** με κοινή ονομασία **tobacco tree** φύεται συνήθως σε ξηρές και διαβρωμένες περιοχές, σε φαράγγια και σε περιοχές αποβλήτων με υψόμετρο κάτω από 3000 πόδια (990 μέτρα). Είναι υπεραιονόβιο φυτό με διακλαδώσεις, θάμνος ή μικρό δέντρο που μπορεί να φτάσει τα 20 πόδια

(6,5 μέτρα) ύψος. Τα φύλλα του είναι γαλαζοπράσινα, έχει μακριούς μήσκους οι οποίοι είναι ωοειδείς και απαλοί με μήκος μέχρι 7 ίντσες (18 εκατοστά). Τα λουλούδια του είναι κίτρινα με πέντε απολήξεις και με σχήμα σωληνοειδές. Όλα τα ζώα που έρχονται σε επαφή μαζί του επηρεάζονται λόγω της τοξικότητάς του η οποία οφείλεται στην νικοτίνη, το anabasine και τα πολλά άλλα αλκαλοειδή που είναι παρούσες σε όλα τα είδη *nicotiana*. Η νικοτίνη είναι δηλητηριώδης σε όλα τα ζώα, αλλά τα μηρυκαστικά είναι πιο ανεκτικά στο αλκαλοειδές από ότι είναι τα ζώα με συνηθισμένο στομάχι. Η νικοτίνη απορροφάται εύκολα μέσω των χωνευτικών και αναπνευστικών οδών και έχει μια γρήγορη επίδραση στο νευρικό σύστημα ζώων προκαλώντας συχνά τις δονήσεις μυών, τον ενθουσιασμό, την αταξία, τη ταχεία καρδιακή και αναπνευστική μέχρι και κώμα. Θάνατος μπορεί να προέλθει από την αναπνευστική παράλυση. Ο καπνός περιέχει επίσης το αλκαλοειδές, anabasine, το οποίο είναι αιτία τερατογέννεσης στους χοίρους, τα αρνιά και τους μόσχους. Ποσοτικά, το anabasine διαμορφώνει το 99% της περιεκτικότητας σε αλκαλοειδή του *glaucia N.*, και έχει αποδειχθεί ότι είναι υπεύθυνο για σοβαρής σκελετικές παραμορφώσεις στα αρνιά και τους μόσχους οι οποίοι γεννήθηκαν κοντά σε φράγματα και κατανάλωσαν τις εγκαταστάσεις κατά τη διάρκεια της 30 - 60ης ημέρας της κύησης.

Από τα παραπάνω στοιχεία διαπιστώνεται ότι οι συνθήκες στην περιοχή του Μεσομουρίου είναι οι κατάλληλες για την ανάπτυξη του *tobacco tree*. Επίσης διαπιστώθηκε και η τοξικότητά του που οφείλεται αποκλειστικά στην παρουσία νικοτίνης, anabasine και άλλων αλκαλοειδών που περιέχονται σε όλα τα είδη *nicotiana*. Η πιθανότητα να αυξάνεται η τοξικότητά του λόγω της παρουσίας

βαρέων μετάλλων που θα μπορούσε ίσως να λάβει από τα απορρίμματα, αποκλείστηκε από τις εργαστηριακές αναλύσεις που έγιναν σε δείγμα του εν λόγω φυτού. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που παρατίθενται παρακάτω δείχνουν ότι τα βαρέα μέταλλα απουσιάζουν ή υπάρχουν σε πολύ μικρή περιεκτικότητα, αφού βρίσκονται κάτω από το όριο ανίχνευσης.

Βαρέα Μέταλλα	Αποτέλεσμα σε mg/Kg	Όριο ανίχνευσης	Μέθοδος
Μόλυβδος Pb	< 10	10	EN ISO 11885
Κάδμιο Cd	< 0,5	0,5	EN ISO 11885
Υδράργυρος Hg	< 0,3	0,3	EN 1483



Εικόνα 4: Το tobacco tree φύεται στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων



Εικόνα 5: Δείγμα του tobacco tree στο εργαστήριο

1.5 Πανίδα στην ευρύτερη περιοχή του έργου

Η πανίδα της περιοχής δεν διαφέρει ουσιαστικά από την πανίδα της ευρύτερης περιοχής του Ακρωτηρίου, που γενικά είναι πλούσια σε:

Σπονδυλωτά

- Ερπετά (λιακόνι, σιαμαμίθι, πράσινη σαύρα, κολισαύρα).
- Θηλαστικά (διάφορα είδη νυχτερίδας, σκαντζόχοιρος, τρωκτικά, άρκαλος, ζουρίδα, καλιγιαννού, αγριόγατος).

Πουλιά

- Μεγάλη ποικιλία αποδημητικών και μόνιμων πληθυσμών ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται και ορισμένα σπάνια και προστατευόμενα είδη όπως είναι ο χρυσαετός κ.α.

Χερσαία

Μαλάκια

Αρθρόποδα

- Μεγάλη ποικιλία από διάφορα είδη αράχνης, κολεοπτέρων, υμενοπτέρων, λεπιδοπτέρων, σκορπιών και ψευδοσκορπιών κλπ.

Πρέπει βέβαια να επισημανθεί ότι ορισμένα από τα παραπάνω αναφερόμενα είδη και συγκεκριμένα εκείνα που απαιτούν σχετικά αδιατάρακτα περιβάλλοντα (π.χ. χρυσαετός) δεν υπάρχουν ή εμφανίζονται σπάνια στην περιοχή, αφενός λόγω της μέχρι πρότινος ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπητού και αφετέρου λόγω των έργων που εκτελούνται σήμερα στην περιοχή της «Κορακιάς».

Στα παραπάνω πρέπει να προσθέσουμε τα αιγοπρόβατα που παρότι δεν αποτελούσαν στοιχείο της πανίδας της περιοχής, η παρουσία τους είναι έντονη λόγω των πολλών κτηνοτροφικών μονάδων στην περιοχή. Αυτό επιδεινώνει την είδη επιβαρημένη από τον Κουρουπητό και το Μεσομούρι κατάσταση καθώς η ελεύθερη βοσκή τους καταστρέφει ολοκληρωτικά την χλωρίδα της περιοχής. Το πιο ανησυχητικό όμως όλων είναι η εισβολή τους στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου από όπου πιθανόν να καταναλώσουν τα τοξικής φύσης φυτά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο της χλωρίδας και που φύονται εκεί, με κίνδυνο να υποστούν ή να μεταδώσουν σε

όποιον τα καταναλώσει όλες τις πιθανές παρενέργειες που επίσης αναφέρθησαν. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες φωτογραφίες των αιγοπροβάτων:



Εικόνα 6: Τα αιγοπρόβατα στο χώρο του μεσομουρίου



Εικόνα 7: Τα αιγοπρόβατα στο Μεσομούρι προς αναζήτηση τροφής

Συνολικά, όσον αφορά την πανίδα, με τη διακοπή της ανεξέλεγκτης λειτουργίας του Κουρουπητού και την αποκατάσταση του, αλλά και μετά την αποκατάσταση στο «Μεσομούρι», αναμένεται να προκύψουν θετικές επιπτώσεις και συγκεκριμένα:

- Να μειωθούν οι πληθυσμοί των ειδών που εκμεταλλεύονται τα σκουπίδια, με αποτέλεσμα την μείωση των πιθανών κινδύνων που αυτά προκαλούν στον άνθρωπο ως φορείς ασθενειών.
- Να μειωθεί η πίεση που αυτά τα είδη ασκούν στα υπόλοιπα είδη τις πανίδας, αφού ο ανταγωνισμός μεταξύ τους θα γίνεται χωρίς το πλεονέκτημα της περίσσειας της τροφής που μέχρι τώρα είχαν τα ανθρωπόφιλα. Με λίγα λόγια η πανίδα θα έρθει σε μια σχετική ισορροπία.
- Να εξαλειφθεί η μόλυνση από τοξικές ουσίες σε διάφορα είδη που ζουν στην περιοχή και κατά συνέπεια η μεταφορά τους μέσα στην τροφική αλυσίδα, στην κορυφή της οποίας (άρα και τελικός αποδέκτης) συχνά είναι ο άνθρωπος.
- Να αυξηθεί η βιοποικιλότητα της περιοχής αφού θα αναβαθμιστεί συνολικά το περιβάλλον με αποτέλεσμα να επανακάμψουν είδη τα οποία είχαν εκτοπιστεί.

1.6 Ιστορικό Μεσομυρίου

Από το έτος 1965 μέχρι και το 2000 τα αστικά απορρίμματα του δήμου Χανίων και της ευρύτερης περιοχής διατίθονταν ανεξέλεγκτα σε μια περιοχή του γειτονικού δήμου Ακρωτηρίου με την ονομασία 'Κουρουπητός', η οποία όσον

αφορά την μορφολογία του εδάφους έχει την μορφολογία χαράδρας. Τα απορρίμματα πολλές φορές αναφλέγονταν με αποτέλεσμα την αέρια και στερεή ρύπανση των γύρω περιοχών αλλά ίσως και μακρινών περιοχών εφόσον υπήρχε άνεμος την ώρα που διενεργείτο η καύση (πράγμα πολύ σύνηθες στην συγκεκριμένη περιοχή). Η ρύπανση αυτή φυσικά επιβεβαιώθηκε από τα αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων που έγιναν πάνω σε δείγματα που πάρθηκαν από την ευρύτερη περιοχή. Η ανεξέλεγκτη διάθεση και ανάφλεξη των απορριμμάτων για ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα, δημιούργησε μεγάλη επιβάρυνση στο περιβάλλον αλλά και στην υγεία των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής των Χανίων, σε σημείο που να μιλάμε για μια από τις μεγαλύτερες πηγές περιβαλλοντικής επιβαρύνσεις στην Κρήτη και από τις μεγαλύτερες σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Λογικό αποτέλεσμα αυτής της συνεχιζόμενης αντιπεριβαλλοντικής συμπεριφοράς ήταν η καταδίκη της Ελλάδας από το ευρωπαϊκό δικαστήριο τον Ιούλιο του 2000, η οποία καταδίκη υποχρέωνε την Ελληνική Δημοκρατία στην καταβολή χρηματικής ποινής ύψους 20.000 € ημερησίως.

Όπως είναι φυσικό, το ύψος του προστίμου έκανε το κράτος με τους αρμόδιους φορείς του σε συνεργασία με τους τοπικούς φορείς να σκύψουν πάνω από το πρόβλημα του 'Κουρουπητού' και να ασχοληθούν με την λύση του. Έτσι το υπουργείο περιβάλλοντος, χωροταξίας και δημοσίων έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.) σε συνεργασία με τη Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων, την τοπική ένωση δήμων και κοινοτήτων νομού Χανίων (Τ.Ε.Δ.Κ.) και την διαδημοτική επιχείρηση διαχείρισης στερεών αποβλήτων Χανίων (Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.) αποφάσισαν την διακοπή

της ανεξέλεγκτης διάθεσης και καύσης στον 'Κουρουπητό' και τη δημιουργία ενός σύγχρονου χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) ο οποίος αποφασίστηκε μάλιστα να πλαισιωθεί με την εγκατάσταση και τη λειτουργία ενός εργοστασίου μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Παρά την εύρεση και έναρξη διεκπεραίωσης της λύσης παρέμενε το πρόβλημα της καταβολής του προστίμου, το οποίο θα συνέχιζε μέχρι να σταματήσει η ανεξέλεγκτη διάθεση και καύση στον 'Κουρουπητό' δεδομένου ότι μέχρι την ολοκλήρωση των εργασιών για τη δημιουργία του Χ.Υ.Τ.Α. τα απορρίμματα των Χανίων και της ευρύτερης περιοχής έπρεπε να διατίθενται σε κάποιο χώρο. Για αυτό αποφασίστηκε η εγκατάσταση και λειτουργία ενός συγκροτήματος συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων, φυσικά τα δεματοποιημένα απορρίμματα μετά την αποπεράτωση του Χ.Υ.Τ.Α. θα μεταφέρονταν εκεί.

Μάλιστα για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ταχύτητα στην πραγμάτωση του παραπάνω προγράμματος αλλά και για να είναι οι αναγκαίες ενέργειες από τους διάφορους φορείς συντονισμένες, υπογράφηκε μια προγραμματική σύμβαση ανάμεσα στη Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων, στο Τ.Ε.Δ.Κ. και την Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.

Έτσι τον Ιούλιο του 1999 η Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων διενήργησε διεθνή ανοιχτό διαγωνισμό για την προμήθεια του αναγκαίου μηχανολογικού εξοπλισμού για το συγκρότημα συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων ενώ προηγουμένως είχε εγκριθεί από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. η αναγκαία πίστωση. Παράλληλα η Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. μίσθωσε οικοπεδική έκταση 50

περίπου στρεμμάτων στη θέση 'Μεσομούρι' που ανήκει στα όρια του δήμου Ακρωτηρίου. Η συγκεκριμένη περιοχή κρίθηκε κατάλληλη λόγω της τοποθεσίας της, αφού αφενός βρίσκεται στις παρυφές της χαράδρας του 'Κουρουπητού' και επομένως ήταν ήδη υποβαθμισμένη λόγω της μακρόχρονης ανεξέλεγκτης λειτουργίας του 'Κουρουπητού' και αφετέρου βρίσκεται δίπλα στη θέση 'Κορακιά', η οποία είχε επιλεγεί για την εγκατάσταση του Χ.Υ.Τ.Α. και του εργοστασίου μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης πράγμα που θα βοηθούσε στην πιο εύκολη μεταφορά των δεματοποιημένων απορριμμάτων στο Χ.Υ.Τ.Α.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι όσον αφορά το ιδιοκτησιακό καθεστώς της περιοχής του 'Μεσομουρίου', η έκταση αυτή απαλλοτριώθηκε με την από 30-6-2000 πράξη νομοθετικού περιεχομένου την οποία υπόγραψε ο Πρόεδρος της Ελληνικής δημοκρατίας, γεγονός που αποτελεί πανελλήνια πρωτοτυπία και επομένως δείχνει την σοβαρότητα της κατάστασης και το πόσο ήθελε το κράτος να βρεθεί μια λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Σήμερα η κυριότητα του χώρου ανήκει στην νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων.

Οι εργασίες για την εγκατάσταση του συγκροτήματος συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων ξεκίνησαν τον Οκτώβριο του 2000 και ολοκληρώθηκαν το Φεβρουάριο του 2001, οπότε και διακόπηκε οριστικά η λειτουργία του 'Κουρουπητού'.

Από το Φεβρουάριο του 2001, άρχισε η συμπίεση και στη συνέχεια δεματοποίηση των οικιακών απορριμμάτων των δήμων Χανίων, Ακρωτηρίου, Σούδας, Κεραμείων, Ελ. Βενιζέλου, Θερίσσου, Ν. Κυδωνίας, Πλατανιά και Μουσούρων που αποτελούν την Διαχειριστική Ενότητα Ε' σύμφωνα με το

εγκεκριμένο πλαίσιο σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων νομού Χανίων. Η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων αυτής της Διαχειριστικής Ενότητας είχε εκτιμηθεί από την μελέτη του σχεδίου διαχείρισης νομού Χανίων ότι θα ήταν 41.100 τόνοι ετησίως.

Ο χώρος εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων σχεδιάστηκε να δεχτεί τα δέματα από την λειτουργία του συγκροτήματος για χρονικό διάστημα 18 μηνών, αφού είχε εκτιμηθεί ότι ο χρόνος αυτός θα επαρκούσε για τη δημιουργία του Χ.Υ.Τ.Α. στην θέση 'Κορακιά' και επίσης με την προοπτική ότι στη συνέχεια τα δεματοποιημένα απορρίμματα θα μεταφέρονταν στο Χ.Υ.Τ.Α..

Στην πράξη τα πράγματα ήταν λίγο διαφορετικά. Το συγκρότημα συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων στο 'Μεσομύρι' σταμάτησε την λειτουργία του τον Ιανουάριο του 2003, δηλαδή λειτούργησε για 23 μήνες αντί για 18, ενώ στο χώρο αυτό προσκόμιζαν τα απορρίμματά τους και δήμοι που δεν ανήκαν στη Διαχειριστική Ενότητα Ε', άρα η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων που μεταφέρθηκε εκεί ήταν μεγαλύτερη. Τέλος, μετά την παύση της λειτουργίας του 'Μεσομυρίου' και την έναρξη λειτουργίας του Χ.Υ.Τ.Α. στην γειτονική 'Κορακιά', δε μεταφέρθηκε εκεί το σύνολο των δεματοποιημένων απορριμμάτων, όπως ήταν στο αρχικό σχέδιο, αλλά μόνο αυτά που ήταν σε θέση να επαναφορτωθούν και να μεταφερθούν χωρίς πρόβλημα και συνολικά μόνο ένα μικρό ποσοστό των απορριμμάτων του 'Μεσομυρίου'. Αυτό έγινε γιατί όταν μετά την ολοκλήρωση των εργασιών στο Χ.Υ.Τ.Α. της 'Κορακιάς' άρχισε η μεταφορά των δεματοποιημένων απορριμμάτων, διαπιστώθηκε ότι αν μεταφέρονταν το σύνολό τους θα

επέρχονταν σημαντική πλήρωση του Χ.Υ.Τ.Α.. Έτσι σταμάτησε η μεταφορά και το Φεβρουάριο του 2003, πραγματοποιήθηκε επιφανειακή χωματοκάλυψη του μεγαλύτερου μέρους του απορριμματικού όγκου, ώστε να αποφευχθούν κατά το δυνατόν οι οχλήσεις στο περιβάλλον μέχρι την τελική αποκατάσταση του χώρου.

Επιπρόσθετα, στην ήδη επιβαρημένη κατάσταση όσον αφορά το περιβαλλοντικό μέρος ήρθε να προστεθεί ένα ακόμα πρόβλημα. Μετά την επιφανειακή χωματοκάλυψη η Δ.Ε.Υ.Α. Χανίων χωρίς προηγουμένως να υπάρχει στη μελέτη απόθεσε λυματολάσπη προερχόμενη από το βιολογικό καθαρισμό Χανίων χωρίς να υπάρχουν στοιχεία για την ποσότητα. Το μόνο σίγουρο είναι ότι πρόκειται για μια αρκετά μεγάλη ποσότητα δεδομένων των στοιχείων που παραθέτονται παρακάτω στη παρούσα μελέτη. Αυτή είναι η κατάσταση του 'Μεσομουρίου' μέχρι σήμερα και όπως είναι αυτονόητο είναι επιτακτική ανάγκη να γίνει αποκατάσταση του χώρου, πράγμα στο οποίο ευελπιστεί η παρούσα μελέτη να βοηθήσει.



Εικόνα 8: Οι κτιριακές εγκαταστάσεις του συγκροτήματος συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων στη θέση 'Μεσομούρι'



Εικόνα 9: Για να επέλθει λύση στο πρόβλημα του ‘Κουρουπητού’ συνεργάστηκαν το (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.), με τη Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων, την τοπική ένωση δήμων και κοινοτήτων νομού Χανίων (Τ.Ε.Δ.Κ.) και την διαδημοτική επιχείρηση διαχείρισης στερεών αποβλήτων Χανίων (Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.)



Εικόνα 10: Το εργοστάσιο μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης στη θέση ‘Κορακιά’ είναι η οριστική λύση του προβλήματος που αφορά την διάθεση των απορριμμάτων του δήμου Χανίων και των όμορων δήμων

1.7 Παρούσα κατάσταση του Μεσομυρίου

1.7.1 Κτιριακές εγκαταστάσεις

Το εργοστάσιο συμπίεσης και δεματοποίησης έχει τεθεί εκτός λειτουργίας από τον Ιανουάριο του 2003. Ο περισσότερος εξοπλισμός έχει μεταφερθεί, ενώ οι σταθερές μονάδες όπως η πρέσα και το σύστημα μεταφοράς των απορριμμάτων και κατόπιν των δεμάτων βρίσκεται ακόμα στον χώρο και είναι προς πώληση. Το κτίριο που στέγαζε το εργοστάσιο συμπίεσης και δεματοποίησης είναι λυόμενο και έχει υποστεί ζημιές, παρόλα αυτά με κάποιες επισκευές και τροποποιήσεις ίσως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον. Μερικές φωτογραφίες από την παρούσα κατάσταση του κτιριακών εγκαταστάσεων στην περιοχή του 'Μεσομυρίου' φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 11: Σταθμός υποδοχής και τροφοδοσίας των απορριμμάτων



Εικόνα 12: Μηχανή συμπίεσης των απορριμμάτων (πρέσα)



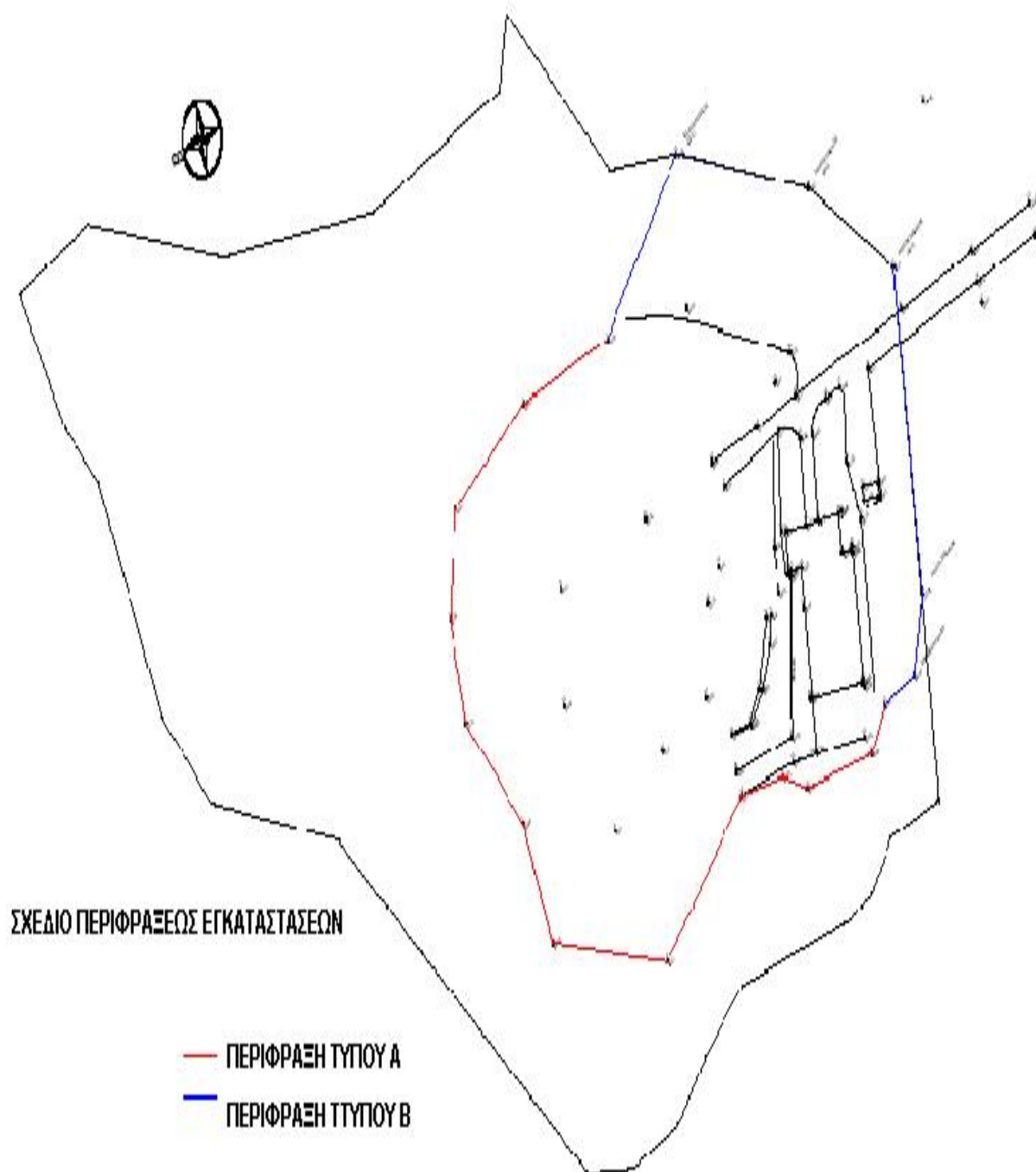
Εικόνα 13: Σύστημα παραλαβής δεματοποιημένων απορριμμάτων

1.7.2 Χώρος εναπόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων

1.7.2.1 Περίφραξη

Αρχικά ο χώρος εναπόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων και των κτιριακών εγκαταστάσεων είχε περιφραχτεί με ανοξείδωτο σύρμα και πάσσαλους ύψους περίπου 1,8 μέτρων. Μετά το κλείσιμο του εργοστασίου έγιναν προσπάθειες επικάλυψης των εναπομεινάντων δεμάτων και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την υποχώρηση και την προξένηση σημαντικών βλαβών στην περίφραξη, ενώ σε μερικά σημεία υπήρξε η πλήρης επικάλυψη της που είχε ως αποτέλεσμα την κατάπτωση απορριμμάτων στην γύρο περιοχή και στη χαράδρα που περιβάλλει το Μεσομούρι.

Για το λόγο κατασκευάστηκε και μια δεύτερη περίφραξη σχεδόν παράλληλα με την παλαιά αλλά λίγο πιο μέσα, όπως φαίνεται στο συνημμένο τοπογραφικό και στις φωτογραφίες. Η δεύτερη περίφραξη είναι προχειρότερη, κατώτερων υλικών κατασκευής και ακατάλληλη για τον χώρο του Μεσομουρίου. Το ύψος της είναι λίγο χαμηλότερο από την πρώτη και φτάνει περίπου στο ύψος του 1,5 μέτρου, οι πάσσαλοι και το σύρμα είναι σίδερα που χρησιμοποιούνται ως υλικά οικοδομών και είναι ακατάλληλα για αυτήν την χρήση. Αυτό διαπιστώνεται από την οξείδωση και την υποχώρηση σε μερικά σημεία με αποτέλεσμα την είσοδο αιγοπροβάτων στην περιοχή. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές φωτογραφίες της περίφραξης:



Εικόνα 14: Τοπογραφικό Μεσομυρίου



Εικόνα 15: Νέα και παλιά περίφραξη. Και οι δυο έχουν υποστεί ζημιές



Εικόνα 16: Η παλιά περίφραξη υπέστη ζημιές από την προσπάθεια επικάλυψης των δεματοποιημένων απορριμμάτων



Εικόνα 17: Μια γενική άποψη της επικρατούσας κατάστασης. Η περίφραξη επικαλυμμένη από δεματοποιημένα απορρίμματα και υλικό επικάλυψης. Τα απορρίμματα με την βοήθεια της επιφανειακής απορροής ή του αέρα μπορούν να ‘κυλήσουν’ ελεύθερα στην χαράδρα που περιβάλλει το ‘Μεσομούρι’



Εικόνα 18: Δεματοποιημένα απορρίμματα καταπλακώνουν την περίφραξη



Εικόνα 19: Είσοδος των αιγοπροβάτων στην περιοχή του ‘Μεσομουρίου’

1.7.2.2 Ακάλυπτα δέματα

Μετά το κλείσιμο του εργοστασίου συμπίεσης και δεματοποίησης και τη μεταφορά μέρους δερμάτων (περίπου 40% των συνολικών δερμάτων) στον ΧΥΤΑ της Κορακιάς, αποφασίσθηκε η παραμονή των υπόλοιπων δερμάτων στο χώρο του Μεσομουρίου και η επικάλυψη τους ώστε να αποφευχθεί η εισχώρηση των υδάτων από τα κατακρημνίσματα και να επιτευχθεί η αισθητική αναβάθμιση του χώρου. Αυτή όμως η επικάλυψη δεν ήταν επαρκής καθώς σε αρκετά σημεία υπάρχουν μεγάλες ποσότητες δερμάτων ακάλυπτες που δημιουργούν πολλά προβλήματα περιβαλλοντικά και αισθητικά. Τα ακάλυπτα αυτά δέματα είναι κυρίως της δεύτερης στρώσης και βρίσκονται στα άκρα του χώρου εναπόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων. Ακόμα λόγω των έντονων καιρικών φαινομένων (κυρίως των υψηλών θερμοκρασιών) η ταινία περιτύλιξης των

δεμάτων έχει καταστραφεί πλήρως και τα δέματα συγκρατούν την συνοχή τους λόγω συμπίεσης. Τέλος και πιο σημαντικό, όσον αφορά την περιβαλλοντική επιβάρυνση, είναι ότι πολλά δέματα καθώς και μερικά μη δεματοποιημένα απορρίμματα ή απορρίμματα αποκολλημένα από τα διαλυμένα δέματα, που ήταν τοποθετημένα στην άκρη του χώρου εναπόθεσης των δεμάτων, έχουν παρασυρθεί από τα κατακρημνίσματα και έχουν κυλήσει στην χαράδρα του Μεσομουρίου και επομένως μερικά από αυτά έφτασαν μέχρι τη θάλασσα. Παρακάτω υπάρχουν μερικές φωτογραφίες που παρουσιάζουν τα ακάλυπτα δέματα:



Εικόνα 20: Μερικά ακάλυπτα δεματοποιημένα απορρίμματα. Η ταινία περιτύλιξης όπως φαίνεται έχει καταστραφεί τελείως



Εικόνα 21: Μια στρώση ολόκληρη από ακάλυπτα δεματοποιημένα απορρίμματα. Η περιτύλιξη κατεστραμμένη ολοσχερώς



Εικόνα 22: Η επιφανειακή απορροή παρασύρει πολλά απορρίμματα, που πέφτουν στην χαράδρα του Μεσομουρίου



Εικόνα 23: Δεματοποιημένα απορρίμματα με κατεστραμμένο το υλικό περιτύλιξης ή απορρίμματα αποκολλημένα από τα δέματα ‘κυλούν’ στην χαράδρα του Μεσομουρίου



Εικόνα 24: Η χαράδρα του Μεσομουρίου γεμάτη από απορρίμματα

1.7.2.3 Λυματολάσπη

Όπως έδειξε η ηλεκτρική τομογραφία του Μεσομουρίου, λυματολάσπη υπάρχει σε όλο το χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων. Μάλιστα η μεγαλύτερη ποσότητα δεν φαίνεται αλλά βρίσκεται στο υπέδαφος μαζί με τα απορρίμματα. Η λυματολάσπη προήλθε από το βιολογικό καθαρισμό του δήμου Χανίων. Η εναπόθεσή της έγινε χωρίς κάποιο σχέδιο. Έτσι μπορεί να βρεθεί σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου. Επιπρόσθετο πρόβλημα δημιουργεί η λυματολάσπη που τοποθετήθηκε στην επιφάνεια του χώρου, αφού έτσι το έδαφος έγινε πολύ ασταθές κάνοντας την πρόσβαση στο χώρο να είναι δύσκολη και επικίνδυνη. Τέλος η λάσπη που εναποτέθηκε κοντά στην περίφραξη έχει μερικώς παρασυρθεί από την επιφανειακή απορροή με αποτέλεσμα να καταλήγει όπως και μερικά από τα ακάλυπτα απορρίμματα στη χαράδρα του Μεσομουρίου και στη συνέχεια πιθανόν στη θάλασσα. Μερικές φωτογραφίες από την λυματολάσπη και την άναρχη εναπόθεσή της φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 25: Πάνω στο υλικό επικάλυψης δημιουργήθηκαν μεγάλες τρύπες κωνικού περίπου σχήματος που χρησιμοποιήθηκαν σαν δεξαμενές λυματολάσπης



Εικόνα 26: Μια από τις δεξαμενές λυματολάσπης



Εικόνα 27: Άλλη μια από τις δεξαμενές λυματολάσπης



Εικόνα 28: Λυματολάσπη εναποτέθηκε εκτός από τις δεξαμενές και σε διάφορα σημεία του χώρου ακόμα και κοντά στην περίφραξη χωρίς ορισμένο σχέδιο



Εικόνα 29: Η λυματολάσπη που εναποτέθηκε κοντά στην περίφραξη παρασύρθηκε σε ορισμένα σημεία από την επιφανειακή απορροή με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν χείμαρροι λυματολάσπης που καταλήγουν στην χαράδρα του Μεσομουρίου



Εικόνα 30: Μεγάλη ποσότητα λυματολάσπης παρασυρμένης από την επιφανειακή απορροή έχει διαπεράσει την περίφραξη



Εικόνα 31: Η εναπόθεση της λυματολάσπης στην επιφάνεια του χώρου έκανε το έδαφος να είναι πολύ ασταθές κάνοντας έτσι την πρόσβαση στο χώρο να είναι δύσκολη και επικίνδυνη. Στη φωτογραφία διακρίνονται λείψανα από αιγοπρόβατα που παγιδεύτηκαν στη λάσπη

1.7.2.4 Στραγγίσματα

Λόγω της κακής επικάλυψης όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, πολλά δεματοποιημένα απορρίμματα έμειναν εκτός της περιοχής επικάλυψης με αποτέλεσμα η δεματοποίηση να καταστραφεί (λόγω της έκθεσης τους στα διάφορα καιρικά φαινόμενα) και τα απορρίμματα να είναι εκτεθειμένα στα παντός τύπου κατακρημνίσματα. Αυτό έχει ως συνέπεια αφενός την αύξηση της σχετικής υγρασίας των απορριμμάτων και αφετέρου την δημιουργία στραγγισμάτων. Τα στραγγίσματα κατά τους χειμερινούς μήνες παρασύρονται από την επιφανειακή απορροή στη παρακείμενη χαράδρα και πιθανόν μέσω της συμεταφοράς τους, από τον χείμαρρο που σχηματίζεται, να καταλήξουν στην θάλασσα. Οι επιπτώσεις που πιθανόν να επιφέρουν τα στραγγίσματα στο θαλάσσιο οικοσύστημα εφόσον καταλήξουν στη θάλασσα είναι πολλές και ποικίλες. Δεν έχουν γίνει ακόμα οι κατάλληλες αναλύσεις, αλλά είναι πιθανόν να προκαλέσουν εφόσον καταλήξουν εκεί σημαντική διαταραχή της ομαλής λειτουργίας της τροφικής αλυσίδας, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε οργανικό υλικό. Έτσι συμβάλλουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού και προκαλούν βραχυπρόθεσμες αλλά κυρίως μακροπρόθεσμες επιπτώσεις λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των στραγγισμάτων σε ουσίες τοξικής φύσης. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που η βροχόπτωση είναι σχεδόν μηδενική και επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, σχηματίζονται και πάλι στραγγίσματα λόγω της υψηλής υγρασίας των απορριμμάτων. Τα στραγγίσματα βρίσκουν διέξοδο από τις διάφορες τρύπες των δεμάτων και από τα διάκενα που σχηματίζονται μεταξύ των

δεμάτων μολύνοντας το έδαφος λόγω της απορρόφησης τους από αυτό.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές φωτογραφίες από στραγγίσματα:



Εικόνα 32: Εξαιτίας της καταστροφής του περιτυλίγματος των δεματοποιημένων απορριμμάτων αλλά και της μη επικάλυψής τους, τα απορρίμματα έμειναν εκτεθειμένα στα κατακρημνίσματα με αποτέλεσμα την αύξηση της σχετικής υγρασίας των απορριμμάτων και την δημιουργία στραγγισμάτων



Εικόνα 33: Κατά τους χειμερινούς μήνες, κατακρημνίσματα παγιδεύονται στις διάφορες τρύπες που υπάρχουν στο χώρο

1.8 Ποσότητες απορριμμάτων και λυματολάσσης

‘ Τα δεδομένα με βάση τα οποία έγιναν οι παρακάτω υπολογισμοί για τις ποσότητες των απορριμμάτων και της λυματολάσσης στηρίζονται σε προφορικές μαρτυρίες υπαλλήλων της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Χανίων, του δήμου Χανίων και κυρίως της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. καθώς επίσημα γραπτά στοιχεία δεν υπάρχουν. Γι αυτό οι υπολογιζόμενες τιμές παρεκκλίνουν από τις αληθινές, οι οποίες όπως μας φανερώνει η εξέταση του χώρου μάλλον είναι μεγαλύτερες. ’

1.8.1 Ποσότητες απορριμμάτων

Όπως αναφέρθηκε στο ιστορικό, στη θέση Μεσομούρι, είχε αποφασιστεί να εναποτεθούν τα απορρίμματα της Ε' Διαχειριστικής Ενότητας δηλαδή τα απορρίμματα των δήμων Χανίων, Ακρωτηρίου, Σούδας, Κεραμείων, Ελ. Βενιζέλου, Θερίσσου, Ν. Κυδωνίας, Πλατανιά και Μουσούρων. Η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων αυτής της Διαχειριστικής Ενότητας είχε εκτιμηθεί από την μελέτη του σχεδίου διαχείρισης νομού Χανίων ότι θα ήταν 41.100 τόνοι ετησίως.

Ο χώρος εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων σχεδιάστηκε να δεχτεί τα δέματα από την λειτουργία του συγκροτήματος για χρονικό διάστημα 18 μηνών. Στην πράξη τα πράγματα ήταν λίγο διαφορετικά. Το συγκρότημα συμπίεσης, δεματοποίησης και αποθήκευσης των απορριμμάτων στο Μεσομούρι σταμάτησε την λειτουργία του τον Ιανουάριο του 2003 δηλαδή λειτούργησε για 23 μήνες αντί για 18 ενώ στο χώρο αυτό προσκόμιζαν τα απορρίμματά τους και δήμοι που δεν ανήκαν στη Διαχειριστική Ενότητα Ε' άρα η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων που μεταφέρθηκε εκεί ήταν μεγαλύτερη.

Οι δήμοι που δεν ανήκαν στη Διαχειριστική Ενότητα Ε' και εναπόθεταν τα απορρίμματά τους στη θέση Μεσομούρι δεν είναι μεγάλοι πληθυσμιακά οπότε μπορεί να θεωρηθεί ότι η συνολική ποσότητα των απορριμμάτων είναι περίπου 45.500 τόνοι ετησίως άρα: 45.500 τόνοι ετησίως X 2 έτη περίπου = **91.000 * 0,6 (αφού το 40% μεταφέρθηκε) = 54.600 τόνοι περίπου.**

Για την εναπόθεση των δεματοποιημένων απορριμμάτων διαμορφώθηκε κατάλληλα επίπεδη έκταση συνολικής επιφάνειας 16 στρεμμάτων, η οποία διαστρώθηκε με αργιλικό υλικό πάχους 20 έως 30 cm. Επίσης εγκαταστάθηκε σύστημα πυρόσβεσης και περιφράχθηκε ο χώρος. Αρχικά είχαν διαμορφωθεί περιφερειακός αλλά και εσωτερικοί διάδρομοι που όμως λόγω της επιμήκυνσης του χρόνου εναπόθεσης κατά περίπου 4 μήνες καλύφθηκαν με δεματοποιημένα απορρίμματα.

Τα δέματα έχουν διαστάσεις: μήκος από 1,4 μέχρι 2 μέτρα

πλάτος από 1,1 μέχρι 1,3 μέτρα

ύψος περίπου 0,75 μέτρα

και βάρος έως 1,5 τόνοι

Τα δέματα τοποθετούνταν το ένα δίπλα στο άλλο και στη συνέχεια όταν γέμιζε ο χώρος, τοποθετούνταν η δεύτερη στρώση πάνω από τα πρώτα δέματα. Έτσι δημιουργήθηκαν 'πατάρια' που το καθένα έχει ύψος 3 με 4 δέματα, καθώς το κάθε πατάρι δεν έχει ομοιόμορφο ύψος, λόγω της μορφολογίας του εδάφους και του χώρου γενικότερα. Όταν συμπληρώνονταν το κάθε πατάρι σκεπαζόταν με μια στρώση υλικού επικάλυψης που συνήθως ήταν χώμα. Συνολικά υπάρχουν 3 με 4 πατάρια. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι εκτός από τα δεματοποιημένα

απορρίμματα στο χώρο του Μεσομουρίου εναποτέθηκαν και απορρίμματα μη δεματοποιημένα. Ο κύριος όγκος των χύμα απορριμμάτων βρίσκεται στη μέση του χώρου και δημιουργούν ένα ύψωμα.

1.8.2 Ποσότητες λυματολάσπης

Μετά το κλείσιμο του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου και χωρίς την απαραίτητη μελέτη μεγάλες ποσότητες λυματολάσπης, του σταθμού βιολογικού καθαρισμού Χανίων, εναποτέθηκαν στην περιοχή του Μεσομουρίου. Ακριβή στοιχεία για την ποσότητα που εναποτέθηκε δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα, για τον λόγο αυτό υπολογίστηκε η ποσότητα της λυματολάσπης με βάση στοιχεία που συλλέχθηκαν προφορικά από τους εμπλεκόμενους φορείς. Τα στοιχεία αυτά, όπως είναι ευνόητο, δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια καθώς προέρχονται από προφορικές μαρτυρίες.

Ο σταθμός βιολογικού καθαρισμού Χανίων μετέφερε και κατόπιν χωρίς κάποιο συγκεκριμένο σχέδιο ή πρόγραμμα εναπόθεται τη λυματολάσπη στο χώρο. Από την επιτόπια εξέταση που έγινε βρέθηκαν μεγάλες ποσότητες λυματολάσπης στο χώρο από τις οποίες άλλες ήταν ακάλυπτες και άλλες καλυμμένες από χώμα. Η συνολική ποσότητα μπορεί να υπολογιστεί εάν πολλαπλασιάσουμε την χρονική διάρκεια που μεταφέρονταν η λάσπη με τον αριθμό των οχημάτων που την μετέφεραν και με την χωρητικότητα τους σε λάσπη. Τα στοιχεία που συλλέξαμε είναι τα εξής:

Χρονική διάρκεια εναπόθεσης : Ένας χρόνος και έξη μήνες = 547 ημέρες

Από τις 547 ημέρες πρέπει να αφαιρέσουμε 1 ημέρα κάθε εβδομάδα (συνολικά 78 ημέρες) για κάθε Κυριακή της εβδομάδας που ήταν αργία οπότε έχουμε: $547 - 78 = 469$ ημέρες. Αν τώρα συνυπολογίσουμε και τις λοιπές αργίες του έτους τότε η συνολική διάρκεια εναπόθεσης προκύπτει περίπου **400 ημέρες**.

Οχήματα: Καθημερινά 2 οχήματα μετέφεραν την λάσπη χωρητικότητας 15 m^3 περίπου.

Το ειδικό βάρος της λάσπης είναι $1,02 \text{ tn/m}^3$ το οποίο αν το πολλαπλασιάσουμε με την χωρητικότητα κάθε φορτηγού αυτοκινήτου προκύπτει ότι κάθε αυτοκίνητο μετέφερε **15,3 τόνους** λυματολάσπης περίπου.

Συνολικός όγκος λυματολάσπης :

$$\begin{aligned} &\text{Χρονική διάρκεια εναπόθεσης} * \text{αριθμό οχημάτων} * \text{χωρητικότητα} = \\ &400 \text{ ημέρες} * 2 \text{ οχήματα /ημέρα} * 15 \text{ m}^3/\text{όχημα} = \mathbf{12000 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

Συνολικό βάρος λυματολάσπης:

$$\begin{aligned} &\text{Χρονική διάρκεια εναπόθεσης} * \text{αριθμός οχημάτων} * \text{χωρητικότητα} * \text{ειδικό βάρος} \\ &\text{λυματολάσπης} = 400 \text{ ημέρες} * 2 \text{ οχήματα /ημέρα} * 15 \text{ m}^3/\text{όχημα} * 1,02 \text{ tn/ m}^3 = \\ &\mathbf{12240 \text{ τόνοι}} \text{ λυματολάσπης.} \end{aligned}$$

Στο κέντρο περίπου του χώρου εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομυρίου υπάρχει ένα ύψωμα πάνω στο οποίο έχουν δημιουργηθεί δεξαμενές στις οποίες εναποτήθονταν η λυματολάσπη. Μια από τις δεξαμενές αυτές ήταν άδεια και μετρήσαμε τις διαστάσεις της για να έχουμε μια εικόνα για τον τρόπο και την ποσότητα της λάσπης που μεταφέρθηκε στο ύψωμα αυτό. Η δεξαμενή είχε σχήμα ανεστραμμένου κόλουρου κώνου με βάση μικρή = 8 m ,

βάση μεγάλη = 12 m και ύψος = 3,5 m. Ο συνολικός όγκος της δεξαμενής με :
βάση μικρή = 20 m , βάση μεγάλη = 26 m και ύψος = 3,5 m. είναι:

$$\text{Όγκος } V = \frac{1}{3} * \pi * h * (a^2 + a * b + b^2)$$

όπου α η ακτίνα της μεγάλης βάσης = 26/2 = 13 m και b η ακτίνα της μικρής βάσης = 20/2 = 10 m άρα: $V = 1/3 * \pi * 3,5 * (10^2 + 10 * 13 + 13^2) \rightarrow V = 1462 \text{ m}^3$.

Με βάση την χωρητικότητα της δεξαμενής αυτής μπορούμε να υπολογίσουμε την χωρητικότητα και των άλλων δεξαμενών που βρίσκονται στο ύψωμα αυτό και κατόπιν να βρούμε την συνολική ποσότητα λάσπης που μεταφέρθηκε σε αυτό το ύψωμα. Στο χώρο αυτό υπάρχουν 4 γεμάτες δεξαμενές περίπου μισής χωρητικότητας της άδειας. Άρα η λάσπη που βρίσκεται στο ύψωμα είναι περίπου **3000 m³**. Δηλαδή στον υπόλοιπο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομυρίου θα υπάρχουν τουλάχιστον 9000 m³ ή 9180 τόνοι λυματολάσπης διασκορπισμένα σε διάφορα σημεία.

Κεφάλαιο 2 – Μετρήσεις εδάφους

2.1 Γενικά για τις μετρήσεις εδάφους

Οι μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν στο έδαφος αφορούν δύο παραμέτρους του, την ποιότητα και την στατική του. Για να προσδιορίσουμε την ποιότητα του εδάφους πρέπει να μετρήσουμε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του και τις προσμίξεις ουσιών οι οποίες είναι ξένες προς αυτό, δηλαδή ουσιαστικά να μετρήσουμε κατά πόσο, και αν έχει μολυνθεί το έδαφος. Σε αυτή την περίπτωση εκείνο που είναι περισσότερο σημαντικό να γνωρίζουμε είναι αν υπάρχει ή όχι συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο χώμα και στην ιλύς. Για να μετρήσουμε την στατική του εδάφους θα κάνουμε αυτοψία στο χώρο η οποία αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο και στην ενότητα 1.7.2 καθώς και την ηλεκτρική μέθοδο διασκόπησης.

2.2 Η ηλεκτρική μέθοδο διασκόπησης

2.2.1 Ενεργητικές και Παθητικές Γεωφυσικές διασκοπήσεις

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, τις ενεργητικές και τις παθητικές. Οι παθητικές γεωφυσικές διασκοπήσεις συμπεριλαμβάνουν μετρήσεις φυσικών πεδίων ή ιδιοτήτων της γης. Στις παθητικές διασκοπήσεις ανήκουν οι βαρυτομετρικές και οι μαγνητικές διασκοπήσεις. Στις δύο αυτές περιπτώσεις, φυσικά πεδία είναι το βαρυτικό και το

μαγνητικό. Σε αυτά τα πεδία απλά μετρούμε τις χωρικές μεταβολές στην προσπάθεια μας να βγάλουμε συμπεράσματα για την υπεδαφική γεωλογία. Τα πεδία και οι ιδιότητες που μετρούμε σε αυτή την κατηγορία πειραμάτων υπάρχουν στη γη ανεξάρτητα με τη γεωφυσική μας διασκόπηση. Παραδείγματα άλλων ιδιοτήτων της γης που μπορούν να μετρηθούν παθητικά περιλαμβάνουν προϊόντα ραδιομετρικής διάσπασης, ορισμένα ηλεκτρικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Κατά την διεξαγωγή των ενεργών γεωφυσικών διασκοπήσεων, από την άλλη, ένα σήμα εισάγεται στη γη και εμείς μετρούμε πώς η γη αποκρίνεται στο σήμα αυτό. Τα σήματα αυτά μπορούν να έχουν μια πληθώρα μορφών όπως μετατόπιση, ηλεκτρικό ρεύμα ή ενεργή ραδιομετρική πηγή. Οι τελευταίες δύο μέθοδοι διασκόπησης που θα εξεταστούν, δηλαδή η ειδική αντίσταση συνεχούς ρεύματος και η σεισμική διάθλαση, είναι παραδείγματα ενεργών γεωφυσικών πειραμάτων.

2.2.2 Ηλεκτρικές Μέθοδοι

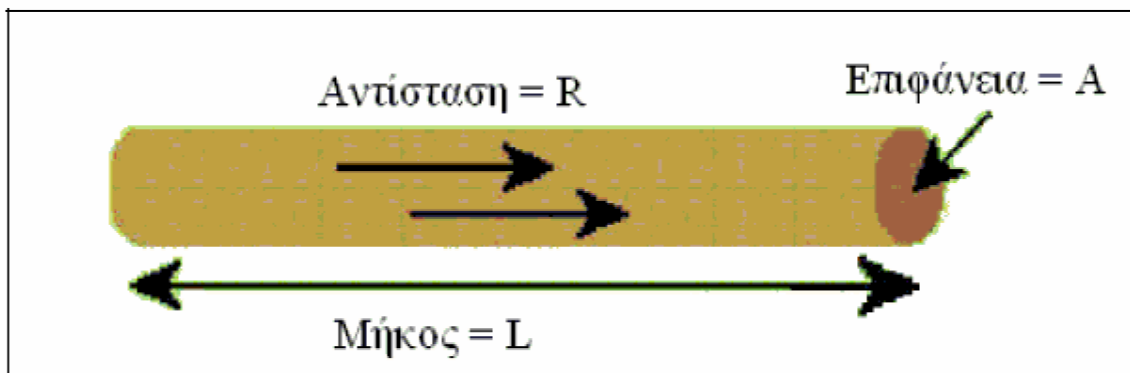
Η υποδιαίρεση των γεωφυσικών τεχνικών σε παθητικές και ενεργητικές μεθόδους γεφυρώνεται από τις ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους. Στο σύνολο τους, οι ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι αντιπροσωπεύουν τη μεγαλύτερη τάξη γεωφυσικών μεθόδων, κάποιες από τις οποίες καταγράφουν παθητικά τα φυσικά σήματα ενώ άλλες χρησιμοποιούν ενεργές πηγές. Επιπρόσθετα στην μεγάλη τους ποικιλία, αυτή η ομάδα γεωφυσικών τεχνικών αντιπροσωπεύει ορισμένα από τα παλαιότερα μέσα εξερεύνησης του εσωτερικού της Γης. Για παράδειγμα, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού που περιγράφεται

παρακάτω χρονολογείται από το 1830, οπότε χρησιμοποιήθηκε στην Κορνουάλη της Αγγλίας από τον Robert Fox για την εύρεση της προέκτασης γνωστών κοιτασμάτων χαλκού. Φυσικά ηλεκτρικά ρεύματα μέσα στη Γη, τα οποία καλούνται τελλουρικά ρεύματα (telluric currents), αναγνωρίστηκαν για πρώτη φορά από τον Peter Barlow το 1847. Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος αναπτύχθηκε το 1920 για την έρευνα αποθεμάτων μετάλλων. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούν ποικίλες μετρήσεις των αποτελεσμάτων της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη Γη. Τα φαινόμενα που μπορούν να μετρηθούν περιλαμβάνουν τη ροή του ρεύματος, το ηλεκτρικό δυναμικό (τάση) και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Οι πιο γνωστές ηλεκτρικές μέθοδοι είναι η μέθοδος της ειδικής αντίστασης συνεχούς ρεύματος, η επαγόμενη πολικότητα, το φυσικό δυναμικό, ο ηλεκτρομαγνητισμός και η μαγνητοτελλουρική μέθοδος. Στην μελέτη που πραγματοποιησάμε χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο της **ειδικής αντίστασης συνεχούς ρεύματος**.

Η ειδική Αντίσταση συνεχούς ρεύματος (DC resistivity) είναι μια ενεργητική μέθοδο που χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δυναμικό που σχετίζεται με την υπόγεια ροή ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από πηγή συνεχούς, ή εναλλασσόμενου ρεύματος χαμηλής συχνότητας. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το μετρούμενο δυναμικό και μπορούν επομένως να χαρτογραφηθούν με χρήση της μεθόδου, περιλαμβάνουν την παρουσία και ποιότητα των ρευστών, των πόρων και των αργίλων.

2.2.3 Αντίσταση και Ειδική αντίσταση

Η χρήση των μετρήσεων της ωμικής αντίστασης παρουσιάζει πρόβλημα καθώς αυτή δεν εξαρτάται μόνο από το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το συρμάτινο καλώδιο, αλλά από την γεωμετρία του καλωδίου. Αν, για παράδειγμα, μεγαλώναμε το μήκος του συρμάτινου καλωδίου, τότε θα αυξανόταν και η μετρούμενη αντίσταση. Επίσης αν μειώναμε τη διάμετρο του συρμάτινου καλωδίου (εικόνα 34), η μετρούμενη αντίσταση θα αυξανόταν. Έτσι λοιπόν ορίζεται μια ιδιότητα η οποία περιγράφει την ικανότητα του υλικού να διαβιβάζει ηλεκτρικό ρεύμα και να είναι ανεξάρτητη των γεωμετρικών παραγόντων. Η γεωμετρικά ανεξάρτητη ποσότητα που χρησιμοποιούμε ονομάζεται ειδική αντίσταση (resistivity) και συνήθως συμβολίζεται με ρ .



Εικόνα 34: Τρόπος υπολογισμού της ωμικής αντίστασης

Στην περίπτωση του συρμάτινου καλωδίου, η ειδική αντίσταση, ρ , ορίζεται ως η ωμική αντίσταση του καλωδίου, R , επί την επιφάνεια διατομής του, A , δια το μήκος, L , του καλωδίου.

$$\rho = \frac{R * A}{L}$$

Επομένως μονάδα της ειδικής αντίστασης είναι το $\Omega \cdot m$.

Επειδή η ωμική αντίσταση R ισούται με $R = \frac{\Delta V}{I}$, η ειδική αντίσταση ρ σύμφωνα με τη προηγούμενη σχέση θα είναι:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{A}{L} \rightarrow \frac{\Delta V}{L} = \rho * \frac{I}{A} \quad (1)$$

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, E , είναι η βαθμίδα δυναμικού, $\frac{\partial V}{\partial r}$ και ορίζεται ως η διαφορά δυναμικού ΔV ανά μονάδα μήκους L . Η πυκνότητα του ρεύματος, J , είναι το πηλίκιο $\frac{I}{A}$. Κατόπιν αυτών η σχέση (1) γράφεται:

$$E = \rho * J \quad (2)$$

όπου E και J είναι ανύσματα. Η παραπάνω σχέση είναι η ανυσματική έκφραση του νόμου του Ohm. Η ειδική αντίσταση είναι μια θεμελιώδης παράμετρος που χαρακτηρίζει το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το συρμάτινο καλώδιο, και περιγράφει πόσο εύκολα μπορεί το καλώδιο να διαβιβάσει ηλεκτρικό ρεύμα. Υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης υποδηλώνουν ότι το υλικό είναι πολύ ανθεκτικό στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος (αντιστατικό υλικό). Χαμηλές τιμές υποδηλώνουν ότι το υλικό μεταδίδει το ηλεκτρικό ρεύμα πολύ εύκολα (αγώγιμο υλικό).

2.2.4 Η Ειδική Αντίσταση των Υλικών της Γης

Αν και μερικά αμιγή μέταλλα καθώς και ο γραφίτης άγουν τον ηλεκτρισμό, τα περισσότερα πετρογενετικά ορυκτά είναι μονωτές. Η μετρούμενη ειδική αντίσταση των ορυκτών της γης ελέγχεται κατά κύριο λόγο από την κίνηση των φορτισμένων ιόντων στα ρευστά των πόρων. Αν και το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, το εδαφικό νερό περιέχει διαλυμένες ενώσεις οι οποίες αυξάνουν σημαντικά την ικανότητα του να άγει τον ηλεκτρισμό. Επομένως, το πορώδες και ο κορεσμός σε ρευστά παίζουν καθοριστικό ρόλο στις μετρήσεις της ειδικής αντίστασης. Εκτός από το πορώδες, και οι ρωγμές εντός του πετρώματος μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλές ειδικές αντιστάσεις αν γεμίσουν με ρευστά. Οι ειδικές αντιστάσεις διαφόρων υλικών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Υλικό	Ειδική αντίσταση (Ohm*m)
Αέρας	∞
Σιδηροπυρίτης	$3 * 10^{-1}$
Γαληνίτης	$2 * 10^{-3}$
Χαλαζίας	$4 * 10^{10} - 2 * 10^{14}$
Ασβεστίτης	$1 * 10^{12} - 1 * 10^{13}$
Ορυκτό άλας	$30 - 1 * 10^{13}$
Μαρμαρυγίας	$9 * 10^{12} - 1 * 10^{14}$
Γρανίτης	$100 - 1 * 10^6$

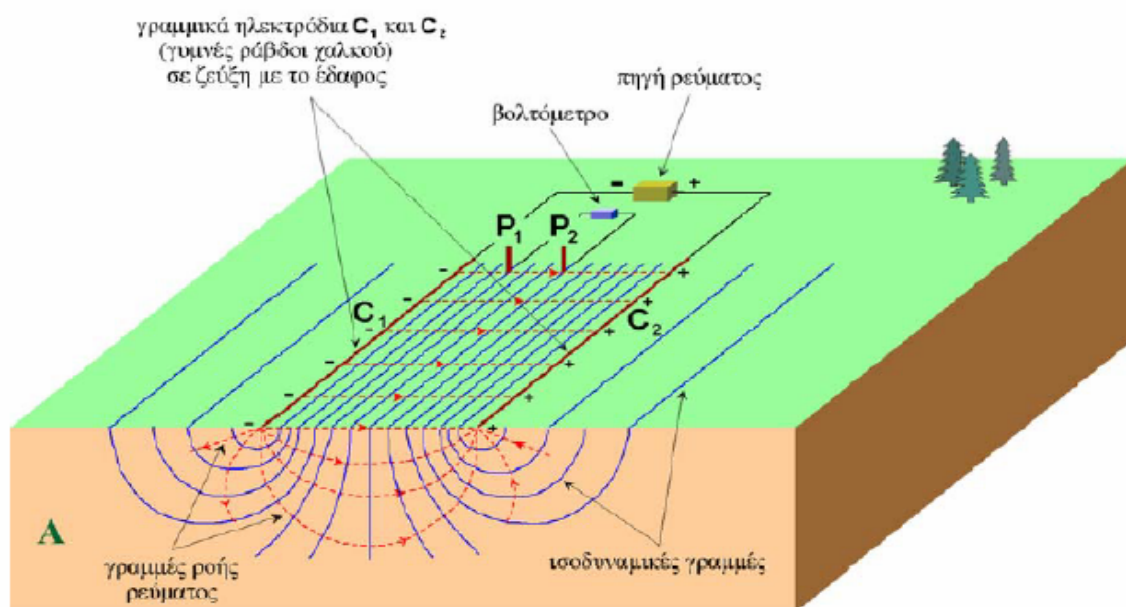
Γάββρος	$1 * 10^3 - 1 * 10^6$
Βασάλτης	$10 - 1 * 10^7$
Ασβεστόλιθος	$50 - 1 * 10^7$
Ψαμμίτης	$1 - 1 * 10^8$
Σχιστόλιθος	$20 - 2 * 10^3$
Δολομίτης	$100 - 10.000$
Άμμος	$1 - 1000$
Άργιλος	$1 - 100$
Εδαφικό νερό	$0,5 - 300$
Θαλασσινό νερό	$0,2$

Πίνακας 1: Οι ειδικές αντιστάσεις διαφόρων υλικών

Όπως και με την μαγνητική επιδεκτικότητα, υπάρχει ένα μεγάλο εύρος τιμών ειδικής αντίστασης, όχι μόνο μεταξύ πετρωμάτων και ορυκτών αλλά και μεταξύ πετρωμάτων του ίδιου τύπου. Το εύρος αυτό εξαρτάται πρωταρχικά από το περιεχόμενο ρευστό. Συνεπώς, ένας συνήθης στόχος για μία ηλεκτρική διασκόπηση είναι η αναγνώριση των ζωνών κορεσμού σε ρευστά. Για παράδειγμα, οι μέθοδοι της ειδικής αντίστασης χρησιμοποιούνται συχνά στις μηχανικές και περιβαλλοντικές μελέτες για τον προσδιορισμό του υδροφόρου ορίζοντα.

2.2.5 Το δυναμικό γραμμικών πηγών σε ομογενή ημιχώρο

Για την είσοδο του ρεύματος στο υπέδαφος και την ενεργοποίηση του χώρου, εκτός από τις σημειακές πηγές (σημειακά ηλεκτρόδια) που εξετάσαμε μέχρι τώρα, χρησιμοποιούνται και οι γραμμικές πηγές ρεύματος (γραμμικά ηλεκτρόδια). Οι γραμμικές πηγές ρεύματος C_1 και C_2 υλοποιούνται στη πράξη με τη τοποθέτηση δύο μεγάλου μήκους γυμνών ράβδων χαλκού στο έδαφος οι οποίες είναι σε σύζευξη με τη γη σε ολόκληρο το μήκος τους (εικόνα 35). Τα γραμμικά ηλεκτρόδια C_1 και C_2 συνδέονται μέσω καλωδίων με μια ηλεκτρική πηγή, πχ. ένα συσσωρευτή. Η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού ΔV γίνεται στην επιφάνεια του εδάφους που παρεμβάλλεται μεταξύ των γραμμικών ηλεκτροδίων και υλοποιείται στη πράξη με τη τοποθέτηση δύο μεταλλικών ηλεκτροδίων P_1 και P_2 στο έδαφος και τη σύνδεση τους με ένα βολτόμετρο.



Εικόνα 35: Στην περίπτωση που έχουμε γραμμικές πηγές

Τα γραμμικά ηλεκτρόδια παρότι στο παρελθόν υπήρξαν μία αρκετά δημοφιλής τεχνική για τη δημιουργία ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου σήμερα δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά κυρίως λόγω της ανεπιθύμητης παραμόρφωσης των δυναμικών γραμμών του πεδίου στη στενή ζώνη των ηλεκτροδίων που προκαλούν ο διαφορετικός βαθμός υγρασίας και η διαφορετική σύσταση του επιφανειακού εδάφους κατά μήκος των γραμμικών αγωγών. Οι γραμμές ροής του ρεύματος ξεκινούν ακτινικά (κατακόρυφη τομή Α στην εικόνα 35) από το ένα ηλεκτρόδιο και καταλήγουν στο άλλο. Στην επιφάνεια του εδάφους οι γραμμές ροής είναι ευθείες κάθετες στα ηλεκτρόδια. Οι ισοδυναμικές επιφάνειες ως κάθετες στις γραμμές ροής θα είναι ημικυλινδρικές επιφάνειες. Στην κατακόρυφη τομή Α της εικόνας 2 βλέπουμε τις ισοδυναμικές γραμμές που είναι οι τομές των ημικυλινδρικών ισοδυναμικών επιφανειών με το κατακόρυφο επίπεδο Α. Στην επιφάνεια του εδάφους οι τομές των ημικυλινδρικών επιφανειών είναι ευθείες παράλληλες προς τα γραμμικά ηλεκτρόδια C1 και C2. Η εικόνα 36 παρουσιάζει μία κάτοψη της εικόνας 35 με τις γραμμές ροής ρεύματος και τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργούν οι γραμμικές πηγές ρεύματος C1 και C2.

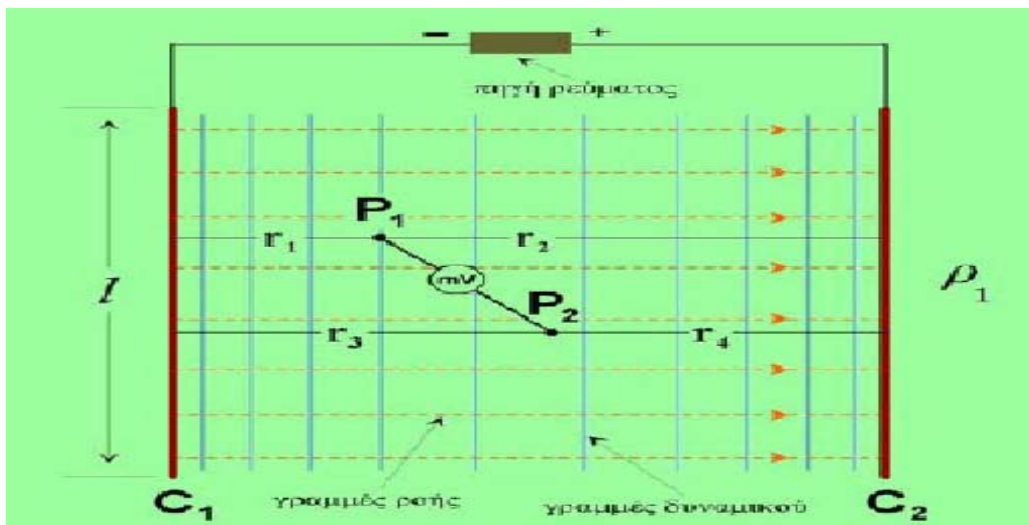
Η διαφορά δυναμικού ΔV μεταξύ δύο σημείων P1 και P2 που ευρίσκονται στο ομογενές πεδίο μεταξύ των γραμμικών ηλεκτροδίων (εικόνα 36) προκύπτει από την απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης του Laplace σε κυλινδρικές συντεταγμένες,

$$\nabla^2 * V = \frac{1}{r} * \frac{d}{dr} * \left(\frac{r * dV}{dr} \right) = 0 \quad (3)$$

της οποίας η τελική λύση δίδει ότι η διαφορά δυναμικού ΔV μεταξύ δύο σημείων P_1 και P_2 δίδεται από τη σχέση:

$$\Delta V = \frac{I * \rho}{\pi * l} * \log\left(\frac{r_1 * r_4}{r_2 * r_3}\right) \quad (4)$$

όπου i είναι το ρεύμα της πηγής, l το μήκος των γραμμικών ηλεκτροδίων και r_1 , r_2 , r_3 και r_4 οι αποστάσεις των σημείων P_1 και P_2 από τα γραμμικά ηλεκτρόδια.



Εικόνα 36: Πανοραμική άποψη στην περίπτωση που έχουμε γραμμικές πηγές

2.2.6 Η μέτρηση της φαινόμενης ειδικής αντίστασης - Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την ηλεκτρική διασκόπηση με τη μέθοδο της ειδικής αντίστασης συνεχούς ρεύματος περιλαμβάνει μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, το κύκλωμα ρεύματος AB το οποίο εισάγει στο έδαφος μιας ελεγχόμενης έντασης ρεύμα, το κύκλωμα δυναμικού MN το οποίο μετρά τη διαφορά δυναμικού (πτώση τάσης) μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού, καλώδια

και ηλεκτρόδια. Για καλύτερα αποτελέσματα τα δύο αυτά κυκλώματα θα πρέπει να είναι ανεξάρτητα και σε απόσταση μεταξύ τους.

2.2.7 Το κύκλωμα ρεύματος AB

Το κύκλωμα που παρέχει ρεύμα στα ηλεκτρόδια ρεύματος AB αποτελείται από την πηγή ρεύματος, μια μονάδα ελέγχου η οποία περιλαμβάνει ένα αμπερόμετρο για την μέτρηση του ρεύματος εκπομπής και ένα διακόπτη, καλώδια και ηλεκτρόδια.

Πηγή Ρεύματος (Current Source)

Απαιτείται μία πηγή συνεχούς ρεύματος η οποία ποικίλει ανάλογα με το είδος του υπό διερεύνηση προβλήματος (στόχου). Γενικά οι μπαταρίες δεν είναι ικανές να παράγουν το απαιτούμενο συνεχές ρεύμα, έτσι αν χρησιμοποιηθεί πηγή καθαρά συνεχούς ρεύματος αυτή πρέπει να είναι μία ηλεκτρική γεννήτρια. Για συνήθη αναπτύγματα ηλεκτροδίων ρεύματος ($AB < 1000\text{m}$) οι κατεξοχήν πηγές είναι οι συσσωρευτές. Για μεγαλύτερα αναπτύγματα χρησιμοποιούνται πηγές μεγάλης ισχύος όπως είναι οι βενζινοκίνητες γεννήτριες ρεύματος.

Αμπερόμετρο (Ammeter)

Για τη μέτρηση του ρεύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα απλό αμπερόμετρο. Ο μοναδικός περιορισμός είναι να μπορεί το όργανο να μετρήσει ποσότητα ρεύματος από λίγα mA έως περίπου 0.5A με ακρίβεια καλύτερη του 2% στη πλήρη κλίμακα. Πολλά από τα σύγχρονα όργανα ρυθμίζονται έτσι ώστε να ο χειριστής να καθορίζει την ποσότητα ρεύματος που διοχετεύεται στο έδαφος και το όργανο να επιχειρεί να την αποδώσει. Αν το όργανο δεν μπορεί να αποδώσει την καθορισμένη ποσότητα, είτε γιατί το υπέδαφος κοντά στην επιφάνεια έχει πολύ μεγάλη αντίσταση ή επειδή τα ηλεκτρόδια είναι πολύ απομακρυσμένα, το όργανο προειδοποιεί τον χειριστή.

Καλώδια

Για να συνδέσουμε τα ηλεκτρόδια με τα διάφορα ηλεκτρικά εξαρτήματα, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε καλώδια. Αν και είναι πιθανό να πρέπει να χρησιμοποιηθούν καλώδια πολύ μεγάλου μήκους, συγκριτικά με την πολύ υψηλή ειδική αντίσταση του εδάφους, η αντίσταση των καλωδίων θεωρείται κατά κανόνα αμελητέα. Για εύκολη τοποθέτηση, τα καλώδια συνήθως τυλίγονται σε καρούλια. Τα καλώδια παροχής ρεύματος θα πρέπει να επιλεγούν με προσοχή έτσι ώστε να εξασφαλίζουν την μέγιστη παροχή ισχύος της πηγής στα ηλεκτρόδια A και B ή αλλιώς να ελαχιστοποιούν την απώλεια ισχύος λόγω μετατροπής μέρους της ενέργειας της πηγής σε άλλες μορφές ενέργειας (θερμότητα). Επιπλέον θα

πρέπει να παρέχουν υψηλή μόνωση εξασφαλίζοντας κατ' αυτό το τρόπο αξιοπιστία των μετρήσεων δυναμικού στο κύκλωμα δυναμικού MN. Για την εξασφάλιση των παραπάνω συνθηκών θα πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω συχνά αντικρουόμενες απαιτήσεις:

1. η ωμική αντίσταση των καλωδίων να είναι χαμηλή ιδιαίτερα για τα μεγάλα αναπτύγματα. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση πολύκλωνων καλωδίων και με την αύξηση των συρμάτων κλώνων χαλκού εις βάρος όμως της ευκινησίας τους κατά το άπλωμα και την έλξη τους δεδομένου ότι καθίστανται βαρύτερα.
2. η μηχανική αντοχή τους στις έλξεις να είναι μεγάλη. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη συρμάτων κλώνων από ατσάλι.
3. η μόνωση τους ισχυρή
4. να είναι ελαφρά διευκολύνοντας έτσι τον χειρισμό τους στο πεδίο.

Ηλεκτρόδια

Για να αποφευχθούν προβλήματα ψευδών δυναμικών που σχετίζονται με τα ηλεκτρόδια δυναμικού, χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα ηλεκτρόδια γνωστά ως πορώδη δοχεία (porous pots). Όμως, επειδή τα ψευδή δυναμικά μπορούν να μετριάσουν με χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος χαμηλής συχνότητας, τα ηλεκτρόδια αυτά συνήθως δεν χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις ειδικής αντίστασης συνεχούς ρεύματος. Αν οι συνθήκες της διασκόπησης είναι υπερβολικά ξηρές και η επαφή του ηλεκτροδίου με το έδαφος δεν μπορεί να

διατηρηθεί, τότε μπορεί κανείς να επιλέξει να χρησιμοποιήσει τα πορώδη δοχεία. Για τις διασκοπήσεις ειδικής αντίστασης, τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται συνήθως, δεν είναι τίποτε περισσότερο από ράβδους αλουμινίου, χαλκού ή ατσάλινες μήκους περίπου 60cm. Οι ράβδοι αυτές καρφώνονται στο έδαφος και συνδέονται με καλώδια με την πηγή του ρεύματος ή το βολτόμετρο. Κάτω από ξηρές συνθήκες, η επαφή μεταξύ της ράβδου και του εδάφους μπορεί να ενισχυθεί αν διαβρέξουμε το έδαφος που περιβάλλει το ηλεκτρόδιο.

2.2.8 Το κύκλωμα δυναμικού MN

Το κύκλωμα MN αποτελείται από ένα υψηλής εμπέδησης βολτόμετρο, συζευγμένο με ένα καταγραφικό σύστημα στις περιπτώσεις που το μετρούμενο δυναμικό ΔV καθίσταται πολύ μικρό, ένα σύστημα αντιστάθμισης, καλώδια και ηλεκτρόδια. Τα σύγχρονα υψηλής ακρίβειας βολτόμετρα έχουν αντιστάσεις εισόδου της τάξης των 10 ή και περισσότερων Ohm και είναι ικανά να μετρούν δυναμικά από 10μV μικρά έως μερικά Volts. Ο αντισταθμιστής συνδέεται σε σειρά με το βολτόμετρο και χρησιμοποιείται για την αντιστάθμιση ανεπιθύμητων φυσικών δυναμικών προερχόμενων από άλλες φυσικές ή τεχνητές πηγές τα οποία υπεισέρχονται σαν θόρυβος στις μετρήσεις. Τα κριτήρια επιλογής των καλωδίων για το κύκλωμα δυναμικού MN είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά των καλωδίων του κυκλώματος ρεύματος.

2.2.9 Βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης

Τόσο το αμπερόμετρο στο κύκλωμα ρεύματος όσο και το βολτόμετρο στο κύκλωμα δυναμικού είναι απαραίτητο να βαθμονομούνται επειδή οι ενδείξεις τους είναι δυνατόν να αλλάξουν είτε λόγω παλαιότητας ή λόγω μεταβολών της θερμοκρασίας ή εξαιτίας κακομεταχείρισης τους. Γενικά το αμπερόμετρο είναι εκείνο που υφίσταται τη μεγαλύτερη κακομεταχείριση. Για καλύτερα αποτελέσματα οι ενδείξεις του αμπερομέτρου και του βολτομέτρου θα πρέπει να συγκρίνονται με γνωστές τιμές ρεύματος και τάσης αντίστοιχα σε όλες τις κλίμακες μέτρησης των οργάνων. Εντούτοις, επειδή στις μετρήσεις μας αυτό που τελικά ενδιαφέρει είναι ο λόγος ($\Delta V/I$) της τάσης ΔV προς το ρεύμα I , μας είναι αρκετό να μετρήσουμε με ακρίβεια τον παραπάνω λόγο. Επειδή ο παραπάνω λόγος εκφράζει την ωμική αντίσταση R του εδάφους (νόμος του Ohm) είναι περισσότερο βολικό να βαθμονομήσουμε τα δύο όργανα συνδέοντας τα άκρα τους με ωμικές αντιστάσεις των οποίων η τιμή είναι γνωστή. Επειδή οι μετρούμενες ωμικές αντιστάσεις της γης γίνονται πάρα πολύ μικρές στα μεγάλα αναπτύγματα των ηλεκτροδίων ρεύματος AB (μεγάλα βάθη έρευνας) οι χρησιμοποιούμενες για την βαθμονόμηση αντιστάσεις είναι πολύ μικρές οι τιμές των οποίων έχουν μετρηθεί με ακρίβεια σε εργαστήρια (πρότυπες αντιστάσεις). Εάν και τα δύο όργανα μετρούν σωστά τότε ο λόγος των ενδείξεων τους $\Delta V/I = R_1$ θα πρέπει να ισούται με τη μετρούμενη πρότυπη αντίσταση R . Εάν $R_1 \neq R$ τότε, στο λόγο $\Delta V/I$ που μετράμε στο πεδίο θα πρέπει να επιφέρουμε αλγεβρικά την διόρθωση $\frac{R - R_1}{R}$

2.2.10 Σύζευξη των κυκλωμάτων ρεύματος και δυναμικού

Η σύζευξη μεταξύ των κυκλωμάτων ρεύματος και δυναμικού είναι η πιο σοβαρή αιτία σφαλμάτων στις μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Με τον όρο σύζευξη εννοούμε την επαγωγή του ρεύματος στα καλώδια που πηγαίνουν στα ηλεκτρόδια ρεύματος. Για καλύτερα αποτελέσματα τα αντίστοιχα καλωδιακά κυκλώματα θα πρέπει να είναι διαχωρισμένα τόσο από φυσική όσο και από ηλεκτρική άποψη. Η μόνη επιτρεπτή σύζευξη πρέπει να γίνεται απευθείας από τη γη μέσω των ηλεκτροδίων. Τα δύο κυριότερα είδη σύζευξης που μπορεί να επηρεάσουν τις μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης είναι η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και η διαρροή.

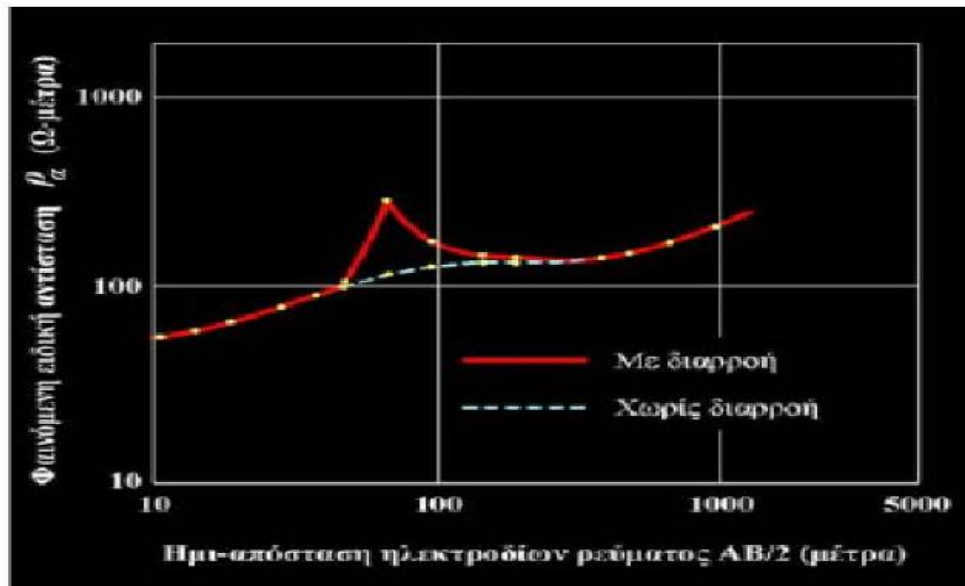
2.2.11 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή παρατηρείται μεταξύ του κυκλώματος ρεύματος και δυναμικού. Εξαρτάται από τη γεωμετρία των δύο κυκλωμάτων και εν γένει μειώνεται καθώς η απόσταση μεταξύ των δύο κυκλωμάτων αυξάνει.

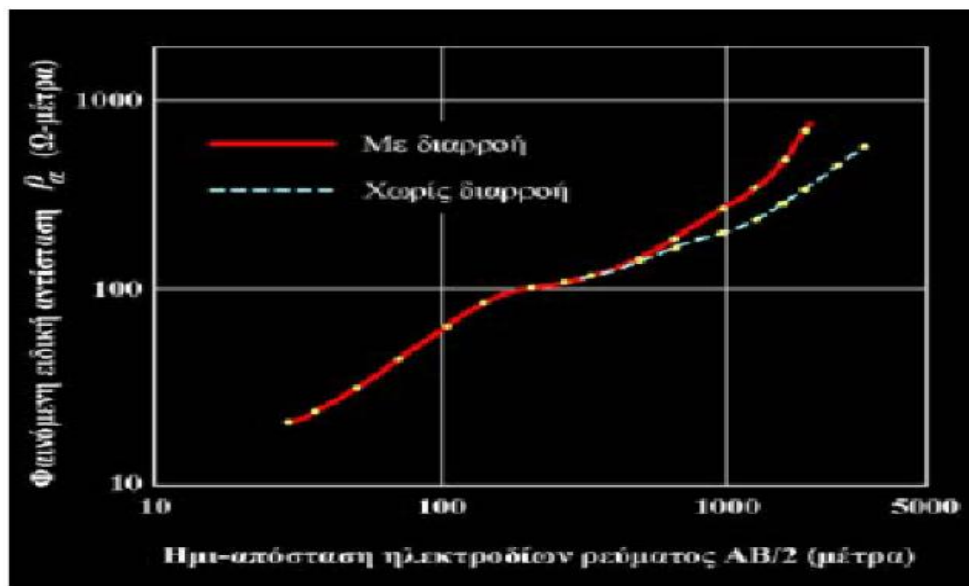
2.2.12 Διαρροή

Κάθε διαρροή του κυκλώματος AB στο κύκλωμα MN προκαλεί εσφαλμένες αναγνώσεις. Η διαρροή είναι αναμφίβολα η πιο σημαντική μοναδική αιτία για χαμηλής ποιότητας αποτελέσματα και θα πρέπει να εντοπίζεται πάντοτε. Διαρροή μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε κύκλωμα κυρίως όμως συμβαίνει στα καλώδια του κυκλώματος ρεύματος στα οποία παρατηρούνται συνηθέστερα

εκδορές λόγω της κακομεταχείρισης τους κυρίως κατά την έλξη τους. Η διαρροή μπορεί να δημιουργήσει απότομες πτυχές στις γεωηλεκτρικές καμπύλες των βυθομετρήσεων (εικόνα 37) ή γενικά παραμορφώσεις αυτών (εικόνα 38) ανάλογα με την θέση που συμβαίνει η διαρροή κατά μήκος της γραμμής.



Εικόνα 37: Πτυχή της γεωηλεκτρικής καμπύλης



Εικόνα 38: Παραμόρφωση της γεωηλεκτρικής καμπύλης

Ακόμα και μια ελάχιστη διαρροή είναι ικανή να επηρεάσει τις αναγνώσεις του δυναμικού ΔV όταν αυτή εντοπίζεται πλησίον των ηλεκτροδίων M ή N. Για να αποφύγουμε τις διαρροές οι πηγές (συσσωρευτές, γεννήτριες κλπ.) καθώς και τα καρούλια των καλωδίων ρεύματος θα πρέπει να απομονωθούν από το έδαφος με παρεμβολή μεταξύ αυτών και του εδάφους κάποιου μονωτικού υλικού. Ευνοϊκές εδαφικές συνθήκες για την δημιουργία διαρροών είναι οι υψηλές τιμές των αντιστάσεων επαφής στα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού που συνήθως παρατηρούνται στα στεγνά και ξηρά εδάφη. Στη περίπτωση αυτή επειδή το ρεύμα δυσκολεύεται να εισέλθει στο έδαφος από τη θέση του ηλεκτροδίου λόγω της υψηλής αντίστασης επαφής όλα τα φθαρμένα σημεία του καλωδίου από τη πηγή μέχρι το ηλεκτρόδιο αποτελούν ευνοϊκές συνθήκες διαρροής ρεύματος. Η περίπτωση υγρών εδαφών κυρίως μετά από πρόσφατη βροχόπτωση ή όταν τα καλώδια παραμένουν απλωμένα στο πεδίο νύχτες με υγρασία είναι επίσης ευνοϊκές συνθήκες για διαρροή. Οι υψηλές αντιστάσεις επαφής βελτιώνονται θεαματικά διαποτίζοντας την στενή περιοχή επαφής ηλεκτρόδιο-έδαφος με αγωγίμο διάλυμα χλωριούχου νατρίου.

2.2.13 Η Μέτρηση της διαφοράς δυναμικού ΔV

Είναι γνωστό ότι ΔV είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού M και N λόγω της ροής ρεύματος στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων ρεύματος A και B. Στην απουσία θορύβων το ΔV παρέχεται από την ανάγνωση του βολτομέτρου. Όταν έχουμε παρουσία θορύβου, που προέρχεται από Τελλουρικά ρεύματα που διαρρέουν τη γη ή βιομηχανικά

ρεύματα από διαρροές λόγω της γειννίας της περιοχής έρευνας με βιομηχανικές εγκαταστάσεις, δεν είναι δυνατό να προσδιορίσουμε το δυναμικό ΔV με μια μόνο απλή μέτρηση διότι δεν θα είναι αντιπροσωπευτική δεδομένου ότι στο μετρούμενο σήμα (ΔV) επικάθεται θόρυβος και το παραμορφώνει. Εδώ λοιπόν υπεισέρχεται η παράμετρος S/N που σημαίνει τον λόγο του σήματος προς τον θόρυβο (Signal to Noise ratio). Όταν ο λόγος είναι μεγάλος, όπως συμβαίνει στα μικρά αναπτύγματα AB, τόσο επικρατέστερο (ισχυρότερο) είναι το σήμα του θορύβου οπότε η μέση τιμή μερικών αναγνώσεων του βολτομέτρου παρέχει μια αξιόπιστη μέτρηση του δυναμικού. Καθώς όμως ο λόγος εκφυλίζεται, όπως συμβαίνει στα μεγάλα συνήθως αναπτύγματα AB, καθίσταται απαραίτητη η χρησιμοποίηση καταγραφικού συστήματος για την καταγραφή αρκετών μεταβολών του δυναμικού για περαιτέρω ανάλυση τους μετά το πέρας των μετρήσεων. Αυτό που προσδιορίζεται στη περίπτωση αυτή είναι η μέση τιμή των αναγνώσεων του δυναμικού καθώς και η τυπική απόκλιση τους από τη μέση τιμή.

2.2.14 Η Μέτρηση του Ρεύματος Εκπομπής I

Όταν οι θέσεις τοποθέτησης των ηλεκτροδίων ρεύματος έχουν καλά προετοιμασθεί έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την χαμηλότερη αντίσταση επαφής τότε ένα σταθερό ρεύμα έντασης I εισέρχεται στο έδαφος οπότε είναι εύκολη η ανάγνωση του από το αμπερόμετρο. Στα μεγάλα αναπτύγματα ηλεκτροδίων A και B ο παράγων θόρυβος δημιουργεί ένα χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο

οπότε είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση καταγραφέα για την μέτρηση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης του ρεύματος.

2.2.15 Η Μέτρηση του Γεωμετρικού Παράγοντα K

Το δυναμικό ΔV στη περίπτωση των σημειακών πηγών ρεύματος δίδεται από τη σχέση

$$\Delta V = V_{p_1} - V_{p_2} = \frac{\rho_\alpha * I}{2 * \pi} * \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (5)$$

λύνοντας ως προς ρ_α λαμβάνουμε:

$$\rho_\alpha = \frac{\Delta V}{I} * K \quad (6)$$

όπου η παράσταση

$$K = \frac{2 * \pi}{1 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)} \quad (7)$$

ονομάζεται γεωμετρικός παράγοντας.

Μια μέτρηση της ειδικής αντίστασης περιλαμβάνει το προσδιορισμό του λόγου της διαφοράς δυναμικού ΔV μεταξύ των ηλεκτροδίων M, N προς το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα AB και πολλαπλασιασμό του λόγου με τον γεωμετρικό παράγοντα K που αντιστοιχεί στη διάταξη ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούμε. Στην περίπτωση της ομογενούς ηλεκτρικά γης, ανεξάρτητα από τη θέση των τεσσάρων ηλεκτροδίων, η ρ_α θα είναι ακριβώς ίση με την ειδική αντίσταση του μέσου. Η ειδική αντίσταση που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση καλείται φαινόμενη ειδική αντίσταση (apparent resistivity). Την ονομάζουμε φαινόμενη για τον εξής λόγο. Μπορούμε πάντα να υπολογίσουμε την ρ_α , και

χρειάζεται να γνωρίζουμε μόνο τις θέσεις των ηλεκτροδίων και να μετρήσουμε το ρεύμα και την τάση. Αν, όμως, η γη δεν είναι ηλεκτρικά ομογενής, δηλαδή δεν έχει σταθερή ειδική αντίσταση (η ειδική αντίσταση μεταβάλλεται με το βάθος ή οριζόντια), η ειδική αντίσταση που υπολογίζουμε με την πιο πάνω εξίσωση δεν θα αντιπροσωπεύει την πραγματική ειδική αντίσταση της γης. Στην περίπτωση αυτή η ειδική αντίσταση που μετράμε είναι ισοδύναμη με την ειδική αντίσταση μίας ομογενούς ηλεκτρικά γης τέτοιας που να δημιουργεί στα ηλεκτρόδια δυναμικού πτώση τάσης ίση με αυτή που μετράμε στο πείραμα που διεξάγουμε. Την μετρούμενη στη περίπτωση αυτή ειδική αντίσταση θα την αναφέρουμε ως φαινόμενη ειδική αντίσταση. Επειδή η τιμή του K εξαρτάται από τις μεταξύ των ηλεκτροδίων αποστάσεις είναι δυνατό να μετρήσουμε τον K με μεγάλη ακρίβεια. Ένα σφάλμα $\varepsilon\%$ στην μέτρηση της απόστασης OA ή OB οδηγεί σε ένα σφάλμα $\varepsilon\%$ στη μέτρηση της ρ_a . Εάν το σφάλμα είναι και στις δύο αποστάσεις OA και OB τότε το σφάλμα της ρ_a θα είναι $2\varepsilon\%$. Σφάλμα $\varepsilon\%$ στη μέτρηση της απόστασης MN απαιτεί αντίθετης φοράς ($-\varepsilon\%$) διόρθωση στην μετρούμενη ρ_a . Κατά κανόνα μια τυπική απόκλιση 3% στη μέτρηση του δυναμικού οδηγεί σε ένα αντίστοιχο σφάλμα 3% στη μέτρηση της ρ_a .

2.2.16 Το σφάλμα στο προσδιορισμό της ρ_a

Αναφερόμενοι στη προηγούμενη σχέση, που παρέχει τη τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης ρ_a έχουμε ήδη συζητήσει τον τρόπο μέτρησης κάθε μίας από τις παραμέτρους του δεύτερου μέλους της εξίσωσης και αυτό που απομένει είναι η εκτίμηση του σφάλματος προσδιορισμού της ρ_a . Γενικά το

σφάλμα στο προσδιορισμό της διαφοράς δυναμικού ΔV υπερβαίνει κατά πολύ τα σφάλματα προσδιορισμού των υπόλοιπων παραμέτρων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εάν η τυπική απόκλιση της μέσης τιμής του ΔV είναι για παράδειγμα 3%, το σφάλμα της ρ_a θα είναι επίσης 3%. Αυτό σημαίνει ότι με βεβαιότητα 67% η υπολογιζόμενη τιμή της ρ_a δεν θα βρίσκεται έξω από τα όρια του $\rho_a \pm 3\%$, ενώ είναι σχεδόν 95% βέβαιο ότι η ρ_a θα βρίσκεται μέσα στα όρια του $\rho_a \pm 6\%$.

2.2.17 Πηγές Θορύβου

Ακόμα και στην περίπτωση του απλού παραδείγματος του προηγούμενου κεφαλαίου, υπάρχει ένα πλήθος πηγών θορύβου που μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις της τάσης και του ρεύματος, από τις οποίες θα υπολογίσουμε την φαινόμενη ειδική αντίσταση.

- Πόλωση των Ηλεκτροδίων (Electrode Polarization) – ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο, όπως μία χάλκινη ή ατσάλινη ράβδος, σε επαφή με κάποιον ηλεκτρολύτη (εκτός από διάλυμα κορεσμένο με τα δικά της άλατα), όπως το εδαφικό νερό, θα δημιουργήσει ένα μετρήσιμο δυναμικό επαφής. Σε εφαρμογές όπως είναι η μέθοδος του φυσικού δυναμικού, αυτά τα δυναμικά επαφής μπορεί να είναι μεγαλύτερα από το φυσικό δυναμικό που προσπαθούμε να καταγράψουμε. Ακόμα με τις μεθόδους συνεχούς ρεύματος που περιγράφουμε εδώ, τα δυναμικά αυτά μπορεί να αποτελούν ένα σημαντικό κλάσμα του δυναμικού που μετράμε. Για εργασία με συνεχές ρεύμα, υπάρχουν δύο δυνατές λύσεις για το πρόβλημα αυτό:

1. Χρήση μη πολωτικών ηλεκτροδίων (nonpolarizing electrodes). Πρόκειται για ηλεκτρόδια που περιέχουν μια μεταλλική αγωγίμη ράβδο σε επαφή με κορεσμένο διάλυμα των δικών της αλάτων. Συνήθως χρησιμοποιείται ο χαλκός και ένα διάλυμα θειικού χαλκού. Η ράβδος και το διάλυμα τοποθετούνται σε ένα πορώδες κεραμικό δοχείο, το οποίο επιτρέπει στο κορεσμένο διάλυμα να διαρρέυσει αργά και να κάνει επαφή με το έδαφος. Επειδή τα διαλύματα αυτά είναι μάλλον βλαβερά για το περιβάλλον, και επειδή η μέθοδος που θα περιγράψουμε στη συνέχεια είναι πιο εύκολη στην εφαρμογή της, τα ηλεκτρόδια πορώδους δοχείου σπάνια χρησιμοποιούνται σε εργασίες με συνεχές ρεύμα. Χρησιμοποιούνται όμως ευρέως στις διασκοπήσεις με τη μέθοδο του φυσικού δυναμικού και της επαγόμενης πολικότητας.

2. Μια απλή μέθοδος για να αποφύγουμε την επίδραση των δυναμικών επαφής είναι να αντιστρέφουμε περιοδικά τη ροή του ρεύματος στα ηλεκτρόδια ρεύματος ή να χρησιμοποιούμε ένα χαμηλής συχνότητας, λίγων κύκλων ανά λεπτό, εναλλασσόμενο ρεύμα. Καθώς το ρεύμα αντιστρέφεται, η πόλωση σε κάθε ηλεκτρόδιο διακόπτεται κι αρχίζει να αντιστρέφεται. Πραγματοποιώντας μετρήσεις για αρκετούς κύκλους μπορούμε να πάρουμε μετρήσεις με αμελητέες επιδράσεις πόλωσης.

- Τελλουρικά Ρεύματα (Telluric Currents) – όπως περιγράφηκε και προηγουμένως, μέσα στη γη ρέουν φυσικά ηλεκτρικά ρεύματα. Τα ρεύματα αυτά καλούνται τελλουρικά ρεύματα. Η παρουσία αυτών των ρευμάτων μπορεί να παράγει μια μετρήσιμη τάση στα ηλεκτρόδια δυναμικού ακόμα και όταν αυτά δεν διαρρέονται από ρεύμα. Με περιοδική αντιστροφή του ρεύματος στα ηλεκτρόδια

ρεύματος ή χρησιμοποιώντας εναλλασσόμενο ρεύμα χαμηλής συχνότητας, η επίδραση των τελλουρικών ρευμάτων στην μετρούμενη τάση μπορεί να καταργηθεί.

- Παρουσία γειτονικών αγωγών – οι ηλεκτρικές διασκοπήσεις δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν κοντά σε αγωγούς που κάνουν επαφή με το έδαφος, όπως για παράδειγμα, η παρουσία θαμμένων σωλήνων ή φρακτών που λειτουργούν ως απορροφητές ρεύματος (καταβόθρες). Λόγω της μικρής τους ειδικής αντίστασης, το ρεύμα θα ρέει κατά προτίμηση κατά μήκος αυτών των δομών, παρά μέσα στη γη. Η παρουσία αυτών των γειτονικών αγωγών στην ουσία λειτουργεί ως ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα στο σύστημα (η αγωγιμότητα (conductivity) είναι το αντίθετο της ειδικής αντίστασης. Τα μέσα υψηλής αγωγιμότητας μεταδίδουν το ηλεκτρικό ρεύμα με μεγάλη ευκολία, έχουν επομένως χαμηλή ειδική αντίσταση. Μαθηματικά, η αγωγιμότητα είναι το αντίστροφο της ειδικής αντίστασης και μετριέται σε μονάδες $1/\Omega\text{m}$. Ένα siemen (S) ισούται με $1/\Omega$. Επομένως, μονάδα αγωγιμότητας είναι το 1 S/m).

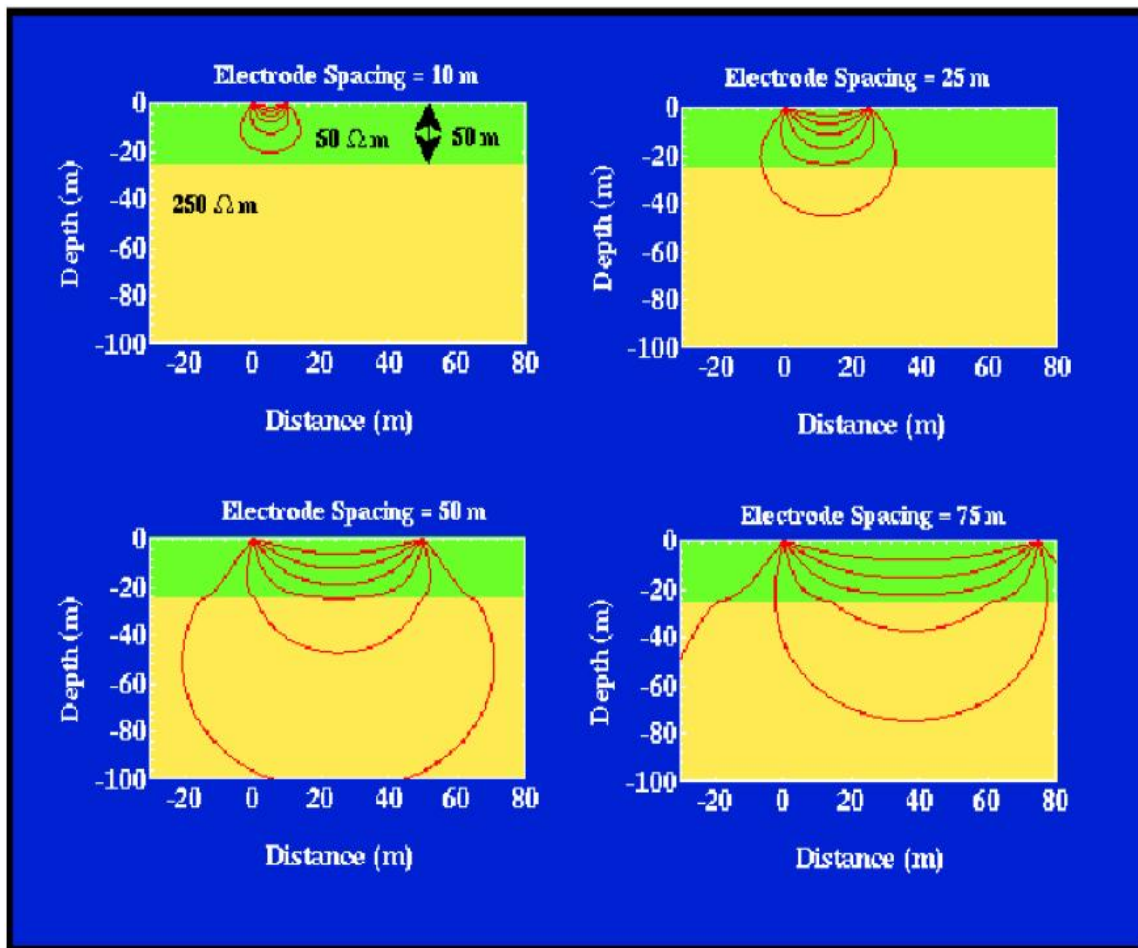
- Μικρή ειδική αντίσταση κοντά στην επιφάνεια – όπως οι γειτονικοί αγωγοί λειτουργούν ως καταβόθρες που βραχυκυκλώνουν το πείραμα της ειδικής αντίστασης, έτσι και η επιφανειακή ειδική αντίσταση, αν είναι χαμηλή, το ρεύμα δυσκολεύεται να κινηθεί προς τα βαθύτερα πετρώματα της γης. Επομένως, ένα στρώμα υψηλής αγωγιμότητας κοντά στην επιφάνεια, όπως για παράδειγμα ένα στρώμα νερού, μπορεί να εμποδίσει το ρεύμα να διεισδύσει βαθύτερα μέσα στη γη.

- Γεωλογία και τοπογραφία κοντά στα ηλεκτρόδια – κάθε μεταβολή στη γεωλογία ή στο περιεχόμενο νερό γύρω από ένα ηλεκτρόδιο, η οποία προκαλεί μεταβολές στην ειδική αντίσταση κοντά στην επιφάνεια, θα επηρεάσει σημαντικά τις μετρήσεις της ειδικής αντίστασης. Επιπλέον, η ανώμαλη τοπογραφία, θα συγκεντρώσει τη ροή του ρεύματος στις κοιλάδες και θα την διασκορπίσει στους λόφους, επίσης επηρεάζοντας έτσι τις μετρήσεις.
- Επαγωγή του ρεύματος και καλώδια ρεύματος – το ρεύμα, το οποίο διαρρέει τα καλώδια που συνδέουν την πηγή του ρεύματος με τα ηλεκτρόδια ρεύματος, μπορεί να παράγει ένα επαγόμενο ρεύμα στα καλώδια που συνδέουν το βολτόμετρο με τα ηλεκτρόδια τάσης, δημιουργώντας έτσι μια ψευδή καταγραφή. Αυτή η πηγή θορύβου μπορεί να ελαχιστοποιηθεί αν διατηρήσουμε μια απόσταση ενός, δύο μέτρων μεταξύ των καλωδίων ρεύματος και των καλωδίων τάσης.

2.2.18 Ροή του ρεύματος σε μέσο με στρώση και απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων

Φανταζόμαστε ότι πραγματοποιούμε μία σειρά πειραμάτων με τέσσερα ηλεκτρόδια, κάθε ένα από τα οποία επικεντρώνεται στο ίδιο περίπου σημείο. Ας θεωρήσουμε ότι τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος και ότι η απόστασή τους διατηρείται σταθερή. Αρχικά, τα ηλεκτρόδια ρεύματος τοποθετούνται κοντά μεταξύ τους και μετράμε το ρεύμα και την τάση, από τα οποία υπολογίζουμε την φαινόμενη ειδική αντίσταση. Στην συνέχεια πραγματοποιούμε το ίδιο πείραμα, αλλά αυξάνουμε συστηματικά την απόσταση

των ηλεκτροδίων ρεύματος ενώ διατηρούμε την απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού σταθερή. Τι θα συμβεί τότε; Θεωρούμε το μοντέλο της γης που δείχνεται παρακάτω. Ένα στρώμα υψηλής ειδικής αντίστασης βρίσκεται πάνω από ένα στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης.

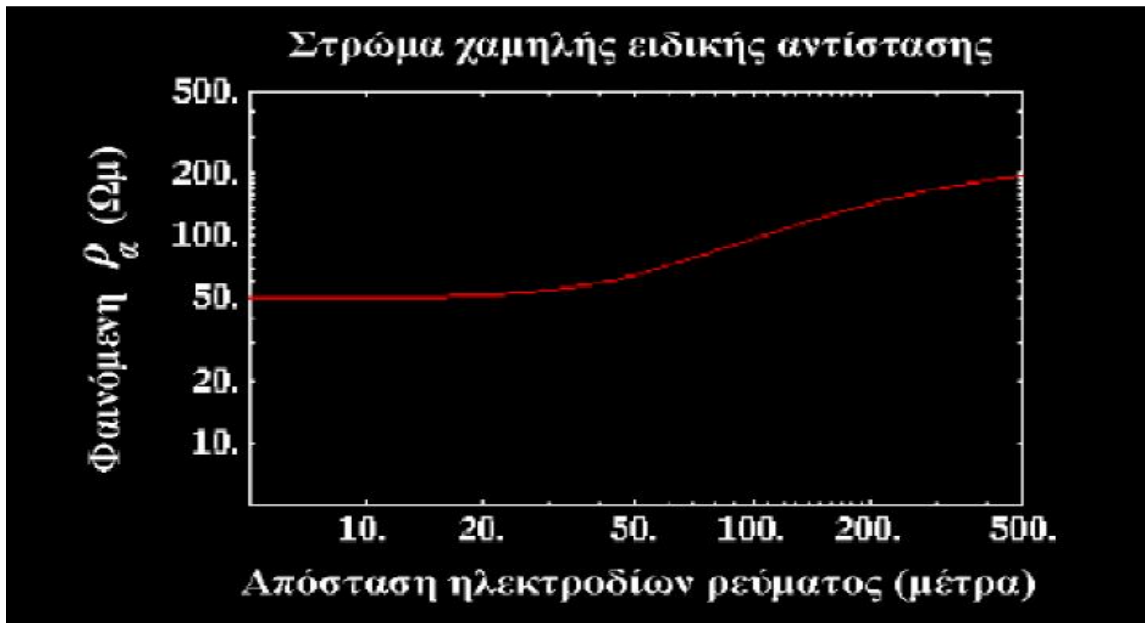


Εικόνα 39: Στις παραπάνω φωτογραφίες βλέπουμε την συμπεριφορά των γραμμών ροής όταν αυξάνεται η απόσταση των ηλεκτροδίων και έχουμε ένα στρώμα με μεγαλύτερη ωμική αντίστασή πάνω από ένα άλλο με μικρότερη αντίσταση

Όταν τα ηλεκτρόδια ρεύματος βρίσκονται κοντά, στην περιοχή που περιβάλλει τις θέσεις των ηλεκτροδίων δυναμικού (μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος), το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος ρέει δια μέσου του ανώτερου στρώματος κατά

μήκος διαδρομών που βρίσκονται κοντά σε αυτές που θα ακολουθούσε το ρεύμα αν το μοντέλο ήταν ομογενές. Δηλαδή, σε αυτή την διάταξη των ηλεκτροδίων, η ροή του ρεύματος δεν διαταράσσεται αρκετά κοντά στα ηλεκτρόδια δυναμικού, ώστε να μπορέσουμε εμείς να τα διακρίνουμε μεταξύ του μοντέλου με τα στρώματα και του μοντέλου της ομογενούς Γης με ειδική αντίσταση ίση με την ειδική αντίσταση του ανώτερου στρώματος. Συνεπώς, η μετρούμενη φαινόμενη ειδική αντίσταση θα είναι παρόμοια με την ειδική αντίσταση του ανώτερου στρώματος, 250 Ωm. Τώρα, θα αυξήσουμε την απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος και θα επαναλάβουμε το ίδιο πείραμα. Για μεγαλύτερες αποστάσεις ηλεκτροδίων ρεύματος, η ροή ρεύματος κοντά στα ηλεκτρόδια δυναμικού είναι σημαντικά αλλαγμένη από την παρουσία της υπόγειας ασυνέχειας. Στην περίπτωση αυτή, το ρεύμα έλκεται κατά προτίμηση προς τα κάτω μέσα στο στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης, μειώνοντας την πυκνότητα ρεύματος μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος όπου θα μετρήσουμε την τάση με τα δύο ηλεκτρόδια δυναμικού. Η μείωση αυτή της πυκνότητας ρεύματος θα έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η τιμή της ειδικής αντίστασης που υπολογίζουμε κάτω από τα 250 Ωm. Για πολύ μεγάλες αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος, κάτω από τα ηλεκτρόδια δυναμικού, η μορφή της ροής του ρεύματος είναι και πάλι παρόμοια με αυτή που θα παρατηρούσαμε στο μοντέλο της ομογενούς Γης. Στην περίπτωση αυτή, όμως, το μέσο έχει ειδική αντίσταση ίση με 50 Ωm, και όχι 250 Ωm. Επομένως, αν θέλαμε να υπολογίσουμε και να σχεδιάσουμε την φαινόμενη ειδική αντίσταση για διάφορες αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος ενώ

διατηρούμε την απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού σταθερή, θα παίρναμε ένα διάγραμμα παρόμοιο με αυτό της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 40: Γεωηλεκτρική καμπύλη

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για ένα δι-λογαριθμικό διάγραμμα το οποίο είναι σύνηθες για τις καμπύλες αυτού του τύπου. Αντί να σχεδιάζουμε την φαινόμενη ειδική αντίσταση συναρτήσει της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος, σχεδιάσαμε την καταγραφή του λογάριθμου (με βάση 10) της φαινόμενης ειδικής αντίστασης συναρτήσει της καταγραφής του λογάριθμου (με βάση 10) της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος. Αυτό συμβαίνει διότι, στην πράξη, θα δούμε ότι τόσο οι φαινόμενες ειδικές αντιστάσεις, όσο και οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος μπορεί να κυμαίνονται έως και δύο ή τρεις τάξεις μεγέθους (π.χ. οι αποστάσεις μπορούν αυξηθούν από 0.25m στα 250m). Η χρήση των λογαριθμικών διαγραμμάτων μας παρέχει το μέσο ώστε να συμπίεσουμε τη σχετική πληροφορία σε ένα μόνο γράφημα. Στο παραπάνω παράδειγμα, παρατηρούμε ότι η φαινόμενη ειδική αντίσταση δεν προσεγγίζει την

ειδική αντίσταση του κατώτερου στρώματος μέχρι που η απόσταση των ηλεκτροδίων προσεγγίζει τα 500m! Επομένως, για να δούμε μια βαθιά δομή απαιτούνται μεγάλες αποστάσεις των ηλεκτροδίων. Ένας καλός εμπειρικός κανόνας είναι ότι η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος πρέπει να είναι 10 φορές μεγαλύτερη από το βάθος το οποίο θέλουμε να δούμε.

2.2.19 Τύποι διασκοπήσεων: Κατακόρυφες και πλευρικές έρευνες ειδικής αντίστασης

Μέχρι στιγμής, έχουμε δει πώς η γεωλογική δομή μπορεί να επηρεάσει τη ροή του ρεύματος και τις μετρήσεις της τάσης στην επιφάνεια της Γης. Έχουμε περιγράψει πώς οι μεταβολές της ειδικής αντίστασης με το βάθος μπορούν να ανιχνευθούν με αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος, υπολογίζοντας τη φαινόμενη ειδική αντίσταση για διάφορες αποστάσεις των ηλεκτροδίων. Δεν έχουμε όμως περιγράψει τις τεχνικές που εφαρμόζουμε στην ύπαιθρο για την ηλεκτρική διασκόπηση.

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή αυτών των διαδικασιών, υπάρχει ένα σημαντικό σημείο που πρέπει να επισημάνουμε όσον αφορά στις γεωλογικές δομές που έχουμε εξετάσει μέχρι στιγμής. Η μέθοδος της ειδικής αντίστασης αντιπροσωπεύει την πρώτη μέθοδο που έχουμε περιγράψει, η οποία μπορεί να ανιχνεύσει μεταβολές με το βάθος μιας σχετικής με τη γεωλογία παραμέτρου. Για παράδειγμα, αν εκτελούσαμε μια βαρυτομετρική ή μαγνητική διασκόπηση πάνω από δομές των οποίων η πυκνότητα ή η μαγνητική επιδεκτικότητα μεταβάλλονται μόνο με το βάθος, δεν θα παρατηρούσαμε μεταβολές στο γήινο βαρυτικό ή

μαγνητικό πεδίο. Επομένως, οι μέθοδοι αυτές δεν είναι ευαίσθητες σε μεταβολές που σχετίζονται μόνο με το βάθος.

- Βυθοσκοπήσεις ειδικής αντίστασης (Resistivity Soundings) – Όπως έχουμε ήδη δείξει, η μέθοδος της ειδικής αντίστασης μπορεί να εντοπίσει μεταβολές στην ειδική αντίσταση που συμβαίνουν μόνο με το βάθος. Μάλιστα, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται περισσότερο από όλες όταν θέλουμε να δούμε τις μεταβολές της ειδικής αντίστασης με το βάθος. Οι διασκοπήσεις που σχεδιάζονται για τον προσδιορισμό των μεταβολών της ειδικής αντίστασης με το βάθος πάνω από ένα καθορισμένο σημείο στην επιφάνεια καλούνται βυθοσκοπήσεις ειδικής αντίστασης. Κατά κανόνα, τα πειράματα με τα δύο ηλεκτρόδια που περιγράφηκαν προηγουμένως, αποτελούν παραδείγματα βυθοσκοπήσεων. Στα πειράματα αυτά, η απόσταση των ηλεκτροδίων μεταβάλλεται για κάθε μέτρηση. Το κέντρο της διάταξης όμως, όπου μετριέται το ηλεκτρικό δυναμικό, παραμένει σταθερό. Ένα παράδειγμα προβλήματος, για την επίλυση του οποίου μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει την βυθοσκόπηση ειδικής αντίστασης, είναι ο προσδιορισμός του υδροφόρου ορίζοντα.

- Προφίλ ειδικής αντίστασης (Resistivity Profiling) – Όπως και με τις βαρυτομετρικές και μαγνητικές μεθόδους, η διασκόπηση ειδικής αντίστασης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των πλευρικών μεταβολών της ειδικής αντίστασης. Σε αντίθεση με τις βυθοσκοπήσεις, στα προφίλ χρησιμοποιούνται σταθερές αποστάσεις ηλεκτροδίων, και το κέντρο του απλώματος των ηλεκτροδίων μεταφέρεται σε κάθε μέτρηση. Τα πειράματα

αυτά επομένως παρέχουν μετρήσεις της χωρικής μεταβολής της ειδικής αντίστασης για καθορισμένη απόσταση ηλεκτροδίων. Οι διασκοπήσεις που σχεδιάζονται για τον προσδιορισμό των πλευρικών μεταβολών της ειδικής αντίστασης καλούνται προφίλ ειδικής αντίστασης. Ένα παράδειγμα προβλήματος, για την επίλυση του οποίου μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει προφίλ ειδικής αντίστασης είναι για τον προσδιορισμό ενός κατακόρυφου ρήγματος.

2.2.20 Έρευνα Κατακόρυφης Μεταβολής της Ειδικής Αντίστασης: (Ηλεκτρικές Βυθοσκοπήσεις)

Στις ηλεκτρικές βυθομετρήσεις (Resistivity Soundings) μεταβάλλονται οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού διατηρούμενης της συμμετρίας τους ως προς το κέντρο της διάταξης (κέντρο της βυθομέτρησης). Εφ' όσον το βάθος της έρευνας αυξάνει εν γένει με την αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων οι ηλεκτρικές βυθομετρήσεις χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να μάθουμε πώς η ειδική αντίσταση μεταβάλλεται με το βάθος. Όταν πραγματοποιούμε βυθοσκοπήσεις ειδικής αντίστασης, δύο τύποι διασκόπησης χρησιμοποιούνται περισσότερο. Και για τους δύο τύπους, τα ηλεκτρόδια κατανέμονται κατά μήκος μια γραμμής, το κέντρο της οποίας αποτελεί τη θέση της βυθοσκόπησης. Η πιο απλή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, από άποψη γεωμετρίας, καλείται μέθοδος Wenner. Η πιο οικονομική σε χρόνο εργασιών υπαίθρου καλείται μέθοδος Schlumberger.

2.2.21 Έρευνα Οριζόντιας Μεταβολής της Ειδικής Αντίστασης

Οι διατάξεις ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού που χρησιμοποιούνται στις έρευνες οριζόντιας ή πλευρικής μεταβολής της ειδικής αντίστασης διακρίνονται στις γραμμικές διατάξεις ή προφίλ ειδικής αντίστασης και στις διατάξεις χωρικής μέτρησης της βαθμίδας του πεδίου με σταθερές πηγές ρεύματος. Οι περισσότερες διαδεδομένες γραμμικές διατάξεις είναι οι διατάξεις Wenner, και Schlumberger καθώς και οι διάφορες παραλλαγές της διάταξης των δίπολων ρεύματος και δυναμικού. Στις διατάξεις χωρικής μέτρησης της βαθμίδας ανήκουν η διάταξη σταθερών σημειακών πηγών A, B (AB rectangle array) και η διάταξη γραμμικών πηγών. Η κάθε μία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή της εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος για το οποίο προορίζεται.

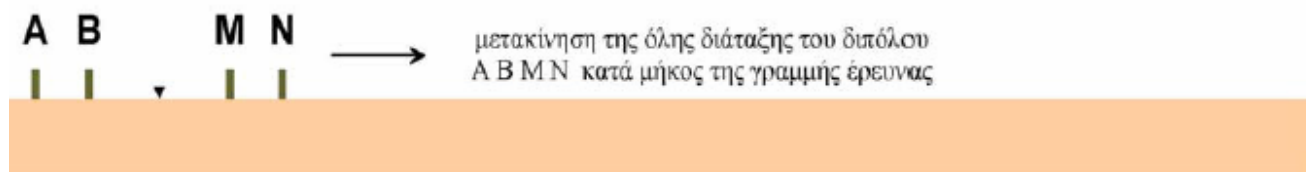
Όλες οι διατάξεις έχουν ως σκοπό την διερεύνηση της οριζόντιας ή πλευρικής μεταβολής της ειδικής αντίστασης μέσα σε υπεδαφική ζώνη σταθερού περιόδου πάχους. Ειδικότερα, με τις τεχνικές αυτές αναζητούνται, μέσα σε σταθερού πάχους υπεδαφικές ζώνες, δομές με πεπερασμένες πλευρικές διαστάσεις. Τέτοιες δομές μπορεί να είναι τα φυσικά ή τεχνητά έγκοιλα (σπήλαια, υπόγεια τούνελ ή γαλαρίες ορυχείων) στην τεχνική γεωλογία, οι υδροφόροι ή μη σχηματισμοί άμμων και χαλίκων (φακοί) στην υδρογεωλογία, τα υπεδαφικά υπολείμματα οικισμών ή ταφικών μνημείων στην αρχαιολογική έρευνα, οι ρηγματογόνες ζώνες, οι φλέβες μεταλλοφορίας κλπ.

2.2.22 Προφίλ Ειδικής Αντίστασης

Μεταξύ των διαφόρων διατάξεων οι περισσότερες διαδεδομένες που είναι οι διατάξεις δίπολου, Wenner και Schlumberger. Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η διάταξη διπόλου που περιγράφεται παρακάτω.

2.2.23 Διάταξη δίπολου

Στη διάταξη δίπολου τα ηλεκτρόδια ρεύματος A, B και δυναμικού M, N διατάσσονται κατά τη σειρά ABMN κατά μήκος της διεύθυνσης (γραμμής) που πρόκειται να ερευνηθεί (εικόνα 41). Εν γένει τα μήκη AB και MN είναι ίσα μεταξύ τους.



Εικόνα 41: Διάταξη δίπολου

Η απόσταση BM επιλέγεται να είναι είτε ίση με την απόσταση MN ή με κάποιο πολλαπλάσιο αυτής. Εφόσον η διάταξη είναι συμμετρική το σημείο μέτρησης (κέντρο διάταξης) θεωρείται ότι είναι το μέσον της απόστασης BM. Εφόσον διερευνούμε πλευρικές μεταβολές της ειδικής αντίστασης των σχηματισμών σε μία ζώνη συγκεκριμένου πάχους η διάταξη ABMN κινείται ως έχει κατά μήκος της διεύθυνσης που διερευνούμε χωρίς να μεταβάλλονται οι μεταξύ των A, B, M, N αποστάσεις. Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών κέντρων της διάταξης είναι συνήθως ίση με την απόσταση MN.

Σε κάθε θέση της διάταξης μετράται η διαφορά δυναμικού ΔV μεταξύ των M, N και η φαινόμενη ειδική αντίσταση ρ_a υπολογίζεται από την σχέση (8) όπου η ποσότητα K είναι ο γεωμετρικός παράγοντας για την διάταξη του δίπολου. Εφόσον επιθυμούμε να διερευνήσουμε πλευρικές μεταβολές της ρ για ζώνες μεγαλύτερου πάχους επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία αυξάνοντας την απόσταση BM διότι, όπως είναι γνωστό, το βάθος έρευνας αυξάνει καθώς αυξάνει η απόσταση BM.

Το κύριο πλεονέκτημα της τεχνικής του δίπολου είναι η ελαχιστοποίηση του κινδύνου εμφάνισης σύζευξης ή διαρροής στα κυκλώματα ρεύματος (AB) και δυναμικού (MN) καθόσον είναι πλήρως απομακρυσμένα μεταξύ τους.

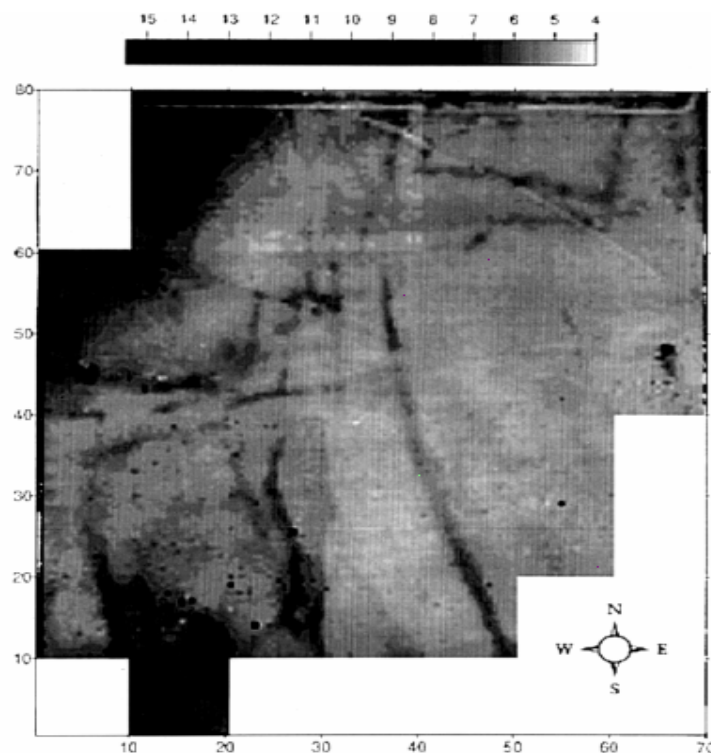
2.2.24 Διατάξεις χωρικής μετρήσης της βαθμίδας του πεδίου

Στις διατάξεις αυτές τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B παραμένουν σταθερά και οι μετρήσεις διενεργούνται μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού M και N τα οποία μετακινούνται κατά μήκος παράλληλων γραμμών μέσα σε οριοθετημένη περιοχή της επιφάνειας του εδάφους. Διακρίνουμε δύο διατάξεις: την διάταξη όπου τα ηλεκτρόδια A και B είναι σημειακές πηγές ρεύματος και την περίπτωση των γραμμικών ηλεκτροδίων ρεύματος A και B.

2.2.25 Μεθοδοι έρευνας

Βυθοσκόπηση (Sounding). Σκοπός αυτής της μεθόδου είναι να καθοριστεί η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε συνάρτηση με το βάθος. Το κέντρο της διάταξης παραμένει σταθερό και με την συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος, αυξάνεται και το βάθος διείσδυσης του ρεύματος και διαρρέονται βαθύτεροι σχηματισμοί. Στην περίπτωση των βυθοσκοπήσεων χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η διάταξη Schlumberger. Έτσι, μετράται η κατακόρυφη κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων. Η ερμηνεία των βυθοσκοπήσεων γίνεται θεωρώντας ύπαρξη οριζόντιων στρωμάτων για αυτό και εφαρμόζεται κυρίως σε ιζηματογενείς λεκάνες (μονοδιάστατη γεωηλεκτρική δομή). Κλασικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής αποτελεί η έρευνα για τον εντοπισμό υδροφόρων σχηματισμών.

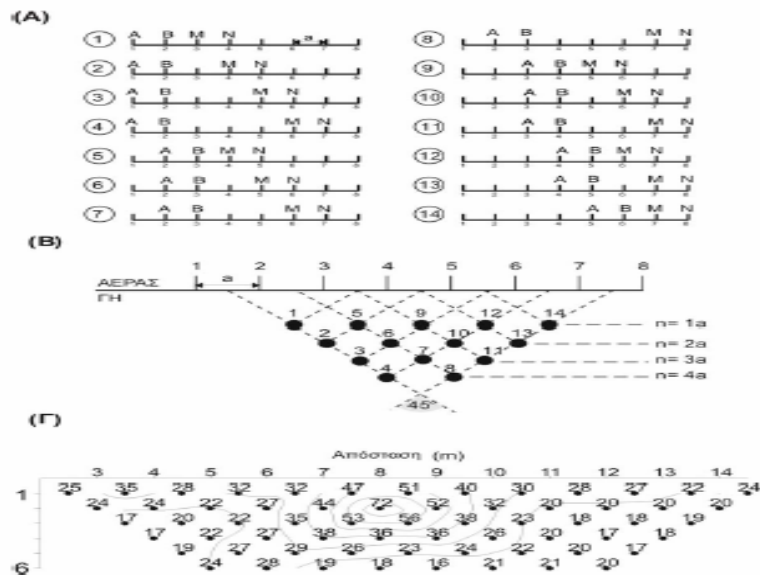
Όδευση (Profiling). Χρησιμοποιείται για να εντοπίζει πλευρικές μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αντίθετα με τη βυθοσκόπηση, οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων παραμένουν σταθερές και λαμβάνεται μια σειρά μετρήσεων με πλευρική μετακίνηση της διάταξης των ηλεκτροδίων ως συνόλου με σταθερό βήμα. Έτσι, χαρτογραφούνται οι μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε σταθερό βάθος κατά μήκος μιας όδευσης και εντοπίζονται δομές που παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση με το περιβάλλον τους. Στη γεωλογία χρησιμοποιείται στον εντοπισμό ρηγμάτων, φακών άμμου ή χαλικιών, επαφών, κενών κ.α., ενώ η χρήση της είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη στην αρχαιομετρία (εικόνα 42).



Εικόνα 42: Οριζόντια κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στη περιοχή του ιερού της Εύκλειας στην ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου της Βεργίνας. Παρατηρούνται διάφορα γραμμικά στοιχεία που αποτελούν ίχνη θεμελίων (Tsokas et al., 1999)

Δισδιάστατη διασκόπηση (Συνδυασμός sounding και profiling). Με την ηλεκτρική τομογραφία, (συνδυασμός όδευσης και βυθοσκόπησης), είναι δυνατό να πάρουμε πληροφορίες τόσο για την πλευρική όσο και για την σε βάθος μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό γίνεται για παράδειγμα, με διαδοχικές οδεύσεις πάνω από την περιοχή μελέτης, με συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε μια δισδιάστατη εικόνα της ερευνηθείσας περιοχής. Σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνικές, η ηλεκτρική τομογραφία απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων, επομένως αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και η ανάλυση της ηλεκτρικής μεθόδου.

Παράδειγμα εφαρμογής της δισδιάστατης διασκόπησης με τη μέθοδο διπόλου-διπόλου, φαίνεται στο εικόνα 43 (Tsourlos 1995).



Εικόνα 43: Δυσδιάστατη διασκόπηση με τη μέθοδο διπόλου-διπόλου (α) Τρόπος διάταξης ηλεκτροδίων κατά τη συλλογή των δεδομένων με 8 ηλεκτρόδια και μέγιστο $n=4$ (β) Τρόπος τοποθέτηση των μετρήσεων κατά την απεικόνιση με τη μέθοδο της ψευδοτομής (γ) Ψευδοτομή δεδομένων από τον αρχαιολογικό χώρο της Ευρωπού (Tsourlos 1995)

2.2.26 Ηλεκτρική Τομογραφία

Ο όρος ηλεκτρική τομογραφία (ΗΤ) περιγράφει γενικά έναν τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο “παραδοσιακών” τεχνικών μέτρησης: της όδευσης και της βυθοσκόπησης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί ως μία σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον

τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη “εικόνα” του υπεδάφους.

Πρόδρομος της HT είναι η μέθοδος της “ψευδοτομής” που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards 1977) αλλά και σε διάφορες άλλες εφαρμογές (π.χ. υδρογεωλογικές, Griffiths et al. 1990). Στην διαδικασία της “ψευδοτομής” μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου). Η HT όμως είναι πιό γενικευμένος όρος που περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις.

Ενα από τα κύρια χαρακτηριστικά της HT είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων (άρα και χρήσιμης πληροφορίας). Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, οι μετρήσεις είναι δύσκολο να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων, και γι’ αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών. Πολλά τέτοια εμπορικά συστήματα (τουλάχιστον έξι) έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορούν στην αγορά από το 1990 και μετά, γεγονός ενδεικτικό της ανάπτυξης της HT. Βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι χρήση αυτών των οργάνων αυξάνει αναπόφευκτα το κόστος εφαρμογής της μεθόδου.

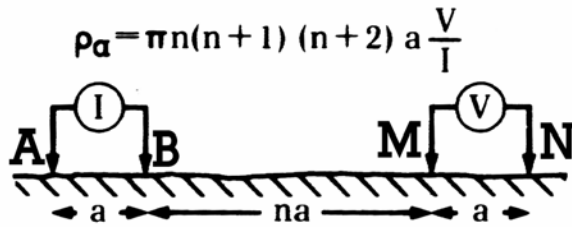
2.2.27 Ερμηνεία με ψευδοτομή

Η ερμηνεία των μετρήσεων σε πρώτο στάδιο γίνεται με τη μέθοδο της ψευδοτομής. Αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ των διπόλων ρεύματος και δυναμικού, η τιμή της διαφοράς δυναμικού που μετράται επηρεάζεται από βαθύτερα στρώματα. Έτσι, στην περίπτωση της διάταξης διπόλου-διπόλου (η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη) κάθε μέτρηση της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται, κατά προσέγγιση, στο σημείο τομής των δύο ευθειών που ξεκινάνε με γωνία 45° από το μέσο της απόστασης AB και το μέσο της απόστασης MN. Η ερμηνεία όμως με τη μέθοδο της ψευδοτομής είναι ιδιαίτερα δύσκολη και επισφαλής γιατί η εικόνα της κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια παραμορφωμένη εικόνα της πραγματικής κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή έρευνας. Ένα παράδειγμα της πολυπλοκότητας της εικόνας που προκύπτει με τη μέθοδο της ψευδοτομής παρουσιάζεται στο σχήμα 45.

2.2.28 Προγραμματισμός και λήψη μετρήσεων γεωηλεκτρικών τομογραφιών

Το πρόγραμμα εκτέλεσης γεωηλεκτρικών τομογραφιών προβλέπει την κάλυψη της περιοχής έρευνας με τρόπο τέτοιο ώστε να γίνει έλεγχος της πιθανότητας ύπαρξης εγκοίλων και κατά δεύτερο λόγο να ελεγχθεί η πιθανότητα της περιβαλλοντικής υποβάθμισης της περιοχής του έργου. Έτσι, σκοπός των μετρήσεων ήταν να βρεθούν θέσεις επικίνδυνες για δόμηση, θέσεις με πιθανές διαρροές ρύπων στο υπέδαφος και να υπολογιστεί κατ' εκτίμηση ο όγκος των

απορριμμάτων που έχουν κατ' επανάληψη αποτεθεί κατά το παρελθόν στη χαράδρα του Μεσομουρίου.



Για την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης επιλέχθηκε η εφαρμογή της διάταξης διπόλου-διπόλου (dipole-dipole). Κατά την λήψη

των μετρήσεων η απόσταση, a , μεταξύ των ηλεκτροδίων των διπόλων (ρεύματος AB και δυναμικού MN) παραμένει σταθερή και η ίδια όδευση επαναλαμβάνεται αυξάνοντας κάθε φορά την απόσταση $n \cdot a$ μεταξύ B και M (ο n είναι ακέραιος). Η μέγιστη απόσταση $n_{\max} \cdot a$ εξαρτάται από τη μέγιστη ένταση που μπορεί να δώσει η πηγή μας και από τη γεωλογία (γεωηλεκτρικές αντιστάσεις) της περιοχής σε συνάρτηση με το επιθυμητό βάθος έρευνας.

Οι παράμετροι σχεδιασμού της γεωηλεκτρικής τομογραφίας καθορίστηκαν με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χώρου έρευνας και των αναμενόμενων άλλων δομών (πάχος απορριμμάτων και δεμάτων), όπως αυτά καθορίστηκαν από τις ανάγκες του ερευνητικού προγράμματος. Έτσι αποφασίστηκε:

1. **Απόσταση ηλεκτροδίων (a) 5 μέτρα** που αντιστοιχούν περίπου και στους αναμενόμενους στόχους.
2. **Απόσταση δίπολου ρεύματος – δίπολου μέτρησης δυναμικού ($n \cdot a$) με μέγιστο n ίσο με 13** που αντιστοιχεί σε βάθος έρευνας περίπου 32m.

Πραγματοποιήθηκε η τομογραφία με διεύθυνση BA/ND.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο εξής:

- Όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης SYSCAL της εταιρείας IRIS.
- Αυτόματος πολυπλέκτης 48 καναλιών της εταιρείας IRIS.
- 2 καλώδια των 24 καναλιών
- 52 μεταλλικά (ατσάλινα με επένδυση χαλκού) ηλεκτρόδια

2.2.29 Επεξεργασία δεδομένων γεωηλεκτρικών τομογραφιών.

Για την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Τα δεδομένα, υποβλήθηκαν σε διδιάστατη αντιστροφή. Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Res2DInv. Πρόκειται για αλγόριθμο που συνδυάζει την τεχνική quasi-Newton όπως αυτή τροποποιήθηκε από τον Broyden με την μέθοδο αντιστροφής του Occam (Constable, 1987) για την 2-διαστάσεων αντιστροφή γεωηλεκτρικών δεδομένων. Ο αλγόριθμος είναι επαναληπτικός και σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για να επιλύσει το ευθύ πρόβλημα.
- Τα αποτελέσματα της αντιστροφής χαρακτηρίζονται ως αξιόπιστα καθώς το % λάθος (RMS) για κάθε αντιστροφή (με ελάχιστες εξαιρέσεις) κυμάνθηκε μεταξύ 38,4 %. Πρέπει να τονιστεί ότι σε πολλές τομογραφίες η αντιστροφή επαναλήφθηκε αρκετές φορές με διαφορετικούς παραμέτρους ώστε να επιτευχθεί μια σχετική ομοιομορφία στις μέγιστες τιμές και να διευκολυνθούν έτσι οι συγκρίσεις μεταξύ τομών.

Οι θέσεις των τομών είναι επιλεγμένες έτσι ώστε με την κατάλληλη αξιολόγηση και την αντίστοιχη ερμηνεία να είναι δυνατή η τρισδιάστατη απεικόνιση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους. Έτσι, ακολούθως έγινε συνδυασμός των διδιάστατων αποτελεσμάτων έτσι ώστε να μπορεί να παρουσιαστεί και η τρισδιάστατη εικόνα της δομής του υπεδάφους

2.2.30 Διεξαγωγή μετρήσεων

Το πείραμα διεξήχθη στις 19 Ιουνίου του 2006 στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων των Μεσομουρίου του νομού Χανίων. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο εντοπισμός εγκοίλων στο χώρο που έχει οικοδομηθεί το εργοστάσιο συμπίεσης και δεματοποίησης των απορριμμάτων, οι τυχόν διαρροές από το χώρο απόθεσης των δεματοποιημένων απορριμμάτων καθώς και ο εντοπισμός του αρχικού σημείου που βρίσκεται ο βράχος της χαράδρας του Μεσομουρίου. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γεωηλεκτρικής τομογραφίας, η οποία έχει τη δυνατότητα της διςδιάστατης απεικόνισης της κατανομής της γεωηλεκτρικής αντίστασης με μεγάλη διακριτική ικανότητα.

2.2.30.1 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα πλήρες σύστημα εκτέλεσης γεωηλεκτρικής τομογραφίας 29 καναλιών με σκοπό την απεικόνιση της γεωηλεκτρικής δομής (Όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης SYSCAL της εταιρείας IRIS), μια μεγάλη δωδεκάβολτη μπαταρία, από δύο καρούλια όπου

είναι τυλιγμένα τα καλώδια, 29 μεταλλικά ηλεκτρόδια, και τους συνδετήρες καλωδίων και ηλεκτροδίων.

2.2.30.2 Διαδικασία μετρήσεων

Αρχικά επιλέχθηκε η κατεύθυνση κατά την οποία θα διεξαγόταν η μέτρηση. Αυτή έπρεπε να αντιπροσωπεύει το χώρο όσο το δυνατό καλύτερα. Έτσι αποφασίστηκε η βορειανατολική (B - A) κατεύθυνση η οποία θα κάλυπτε όλο το χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου. Αρχικά απλώθηκε η κορδέλα για την καταμέτρηση του χώρου. Η απόσταση ήταν **140 m**. Δίπλα στην κορδέλα τοποθετήθηκαν ανά 5 m ηλεκτρόδια δηλαδή $\frac{140}{5} = 28$ ηλεκτρόδια συν 1 για το σημείο 0 σύνολο **29 ηλεκτρόδια**. Το σημείο 0 βρίσκεται προς τη μεριά της θάλασσας βορειανατολικά του εργοστασίου δεματοποίησης. Πλευρικά της μετροταινίας και των ηλεκτροδίων απλώθηκαν τα καλώδια με τους ακροδέκτες. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά το ένα καλώδιο και τμήμα του άλλου. Στη συνέχεια συνδέθηκαν τα ηλεκτρόδια με τους ακροδέκτες μέσω ειδικών συνδέσμων (κροκοδιλάκια). Τέλος συνδέθηκε το όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης SYSCAL της εταιρείας IRIS στο οποίο προηγουμένως είχαν φορτωθεί μέσω ενός φορητού υπολογιστή και του προγράμματος Res2DInv τα δεδομένα της μέτρησης, δηλαδή ότι περιλαμβάνει 29 ηλεκτρόδια, το μέγιστο βάθος που θα έφτανε η μέτρηση (ορίστηκε στα 32 m) και το πλήθος των επαναλήψεων (ορίστηκε στις 5). Το παραπάνω όργανο συνδέθηκε με μια

μπαταρία για να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ισχύ. Παρακάτω υπάρχουν φωτογραφίες με την διαδικασία.



Εικόνα 44: Απλώθηκε η κορδέλα και το καλώδια



Εικόνα 45: Εγκαταστάθηκαν τα ηλεκτρόδια και συνδέθηκαν με τους ακροδέκτες



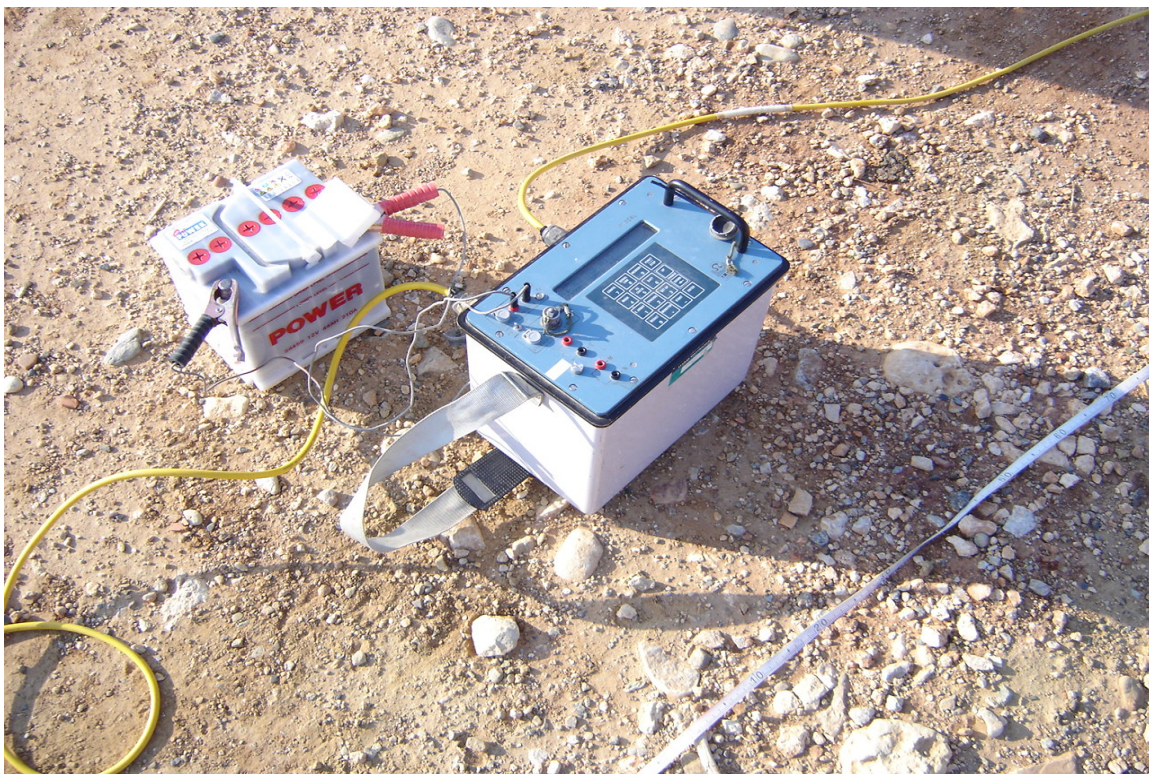
Εικόνα 46: Το σημείο 0 το οποίο ορίστηκε να είναι B-A του εργοστασίου δεματοποίησης



Εικόνα 47: Το σημείο που κατέληγε η μετροταινία και τα καλώδια το οποίο απέιχε 140 m από το σημείο 0



Εικόνα 48: Εισήχθησαν τα αρχεία με τα δεδομένα της μέτρησης στο όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης



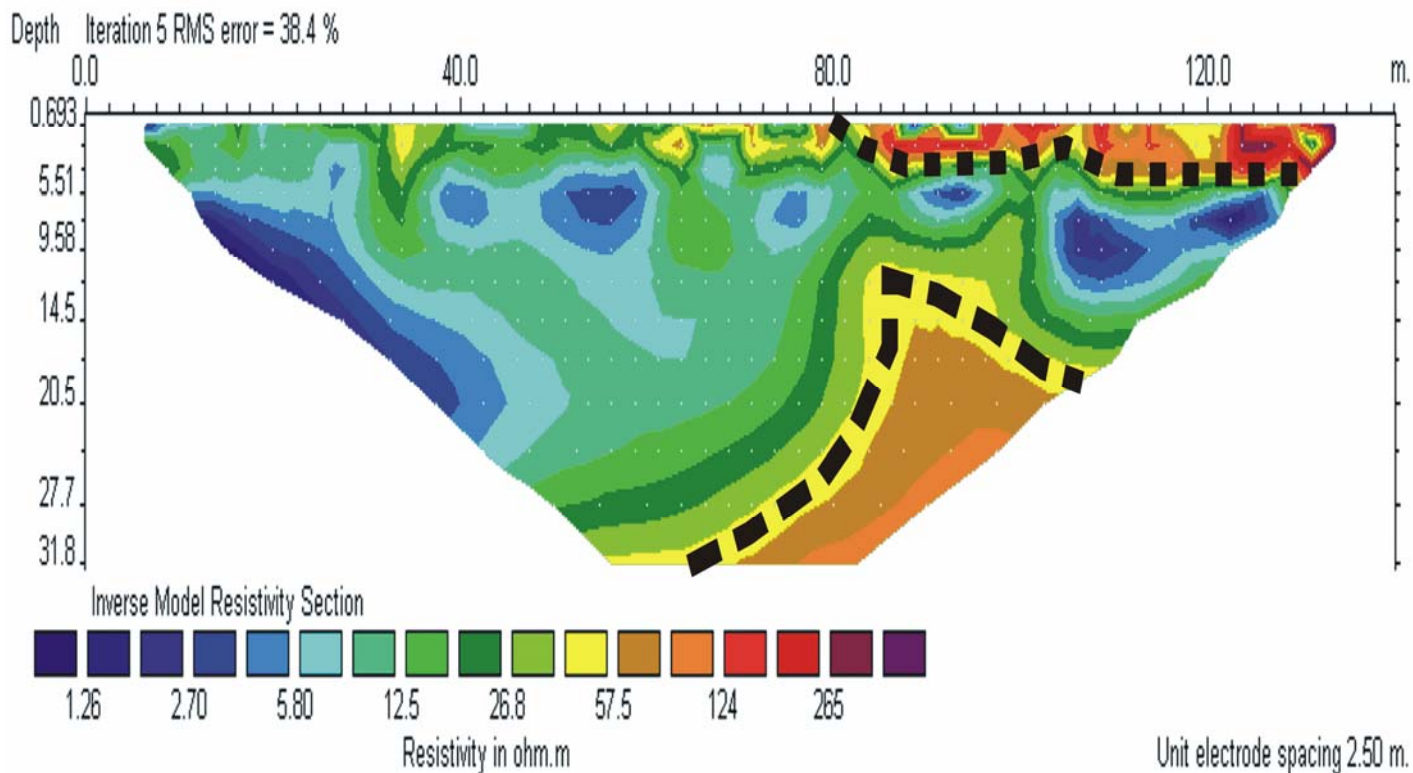
Εικόνα 49: Συνδέθηκε το όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με την μπαταρία και τα καλώδια



Εικόνα 50: Το όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης syscal junior κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

2.2.30.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Αφού διεξήχθησαν οι μετρήσεις, τα αποτελέσματα από το όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης syscal junior εισήχθησαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για να γίνει η επεξεργασία τους μέσω του προγράμματος Res2DInv. Αυτό έκανε μια γραφική παρουσίαση των μετρήσεων μέσω της οποίας διεξήχθησαν τα συμπεράσματα που παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 51: Γραφική απεικόνιση του υπεδάφους του Μεσομυρίου

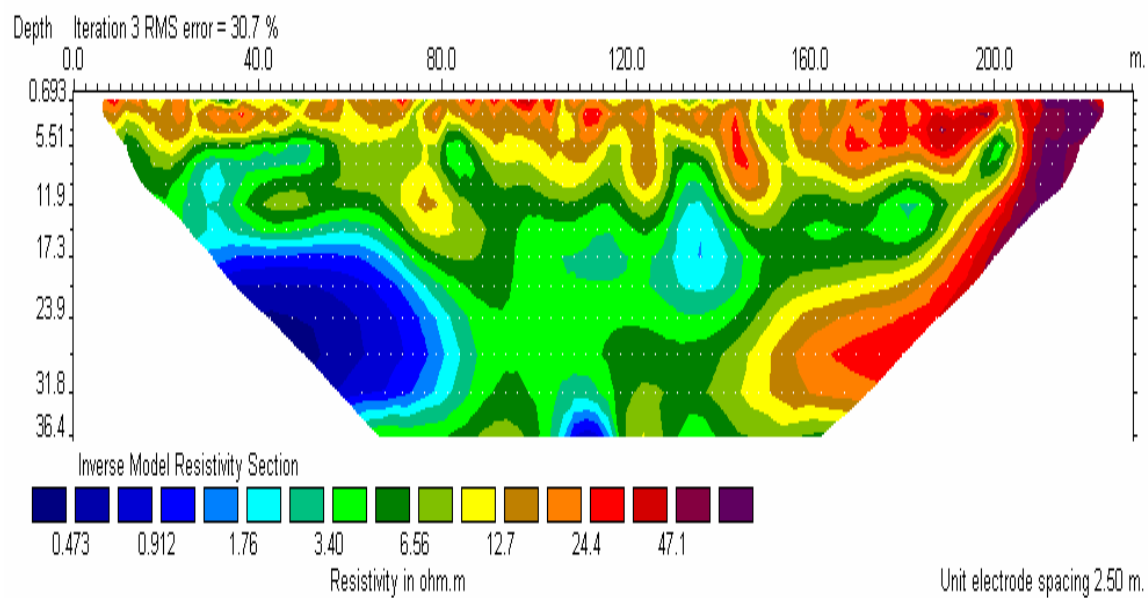
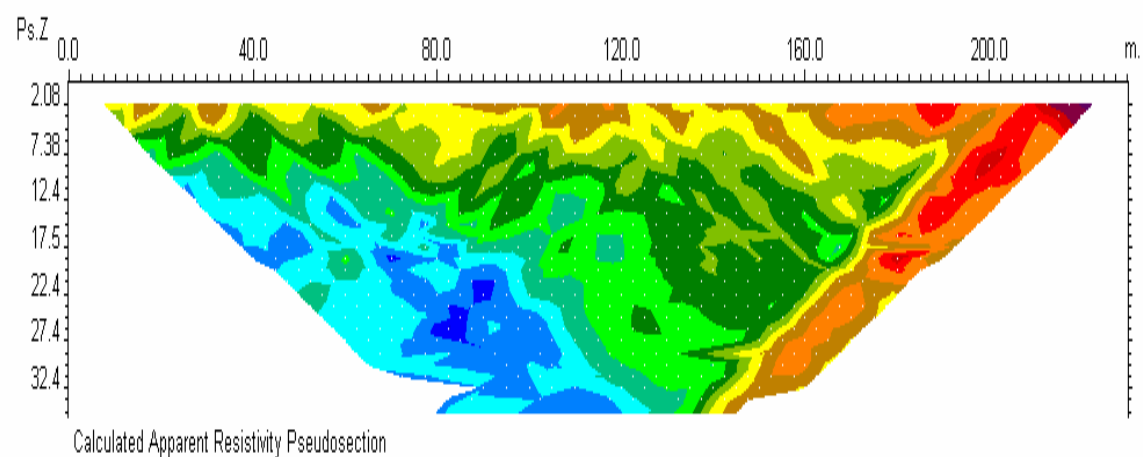
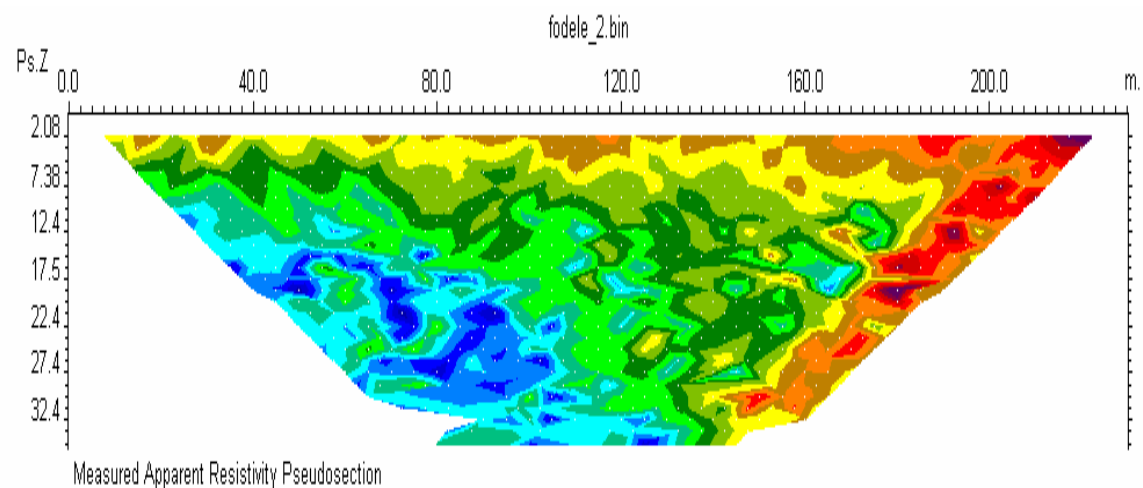
Το παραπάνω διάγραμμα δίνει μια δισδιάστατη καθαρή και ακριβής εικόνα για την τωρινή κατάσταση στην οποία βρίσκεται το υπέδαφος του Μεσομυρίου. Ο καρτεσιανός άξονας x αντιπροσωπεύει την οριζόντια απόσταση στην από την αρχή περίπου του εργοστασίου δεματοποίησης έως σχεδόν το τέλος της περιοχής, δηλαδή την αρχή της χαράδρας, ενώ ο άξονας y αντιπροσωπεύει την κάθετη απόσταση, δηλαδή το βάθος μέχρι το οποίο έφτασε η μέτρηση. Ο άξονας κάτω από την γραφική απεικόνιση του υπεδάφους, στον οποίο εμφανίζονται τα χρώματα της ίριδας, είναι ο άξονας της ωμικής αντίστασης των διαφόρων στρωμάτων του εδάφους. Όσο κινούμαστε από τα αριστερά (σκούρο μπλε) προς

τα δεξιά (μοβ) αυξάνεται η ωμική αντίσταση πράγμα που σημαίνει ότι η διαπερατότητα του εδάφους μειώνεται ενώ αυξάνεται η συνεκτικότητα του.

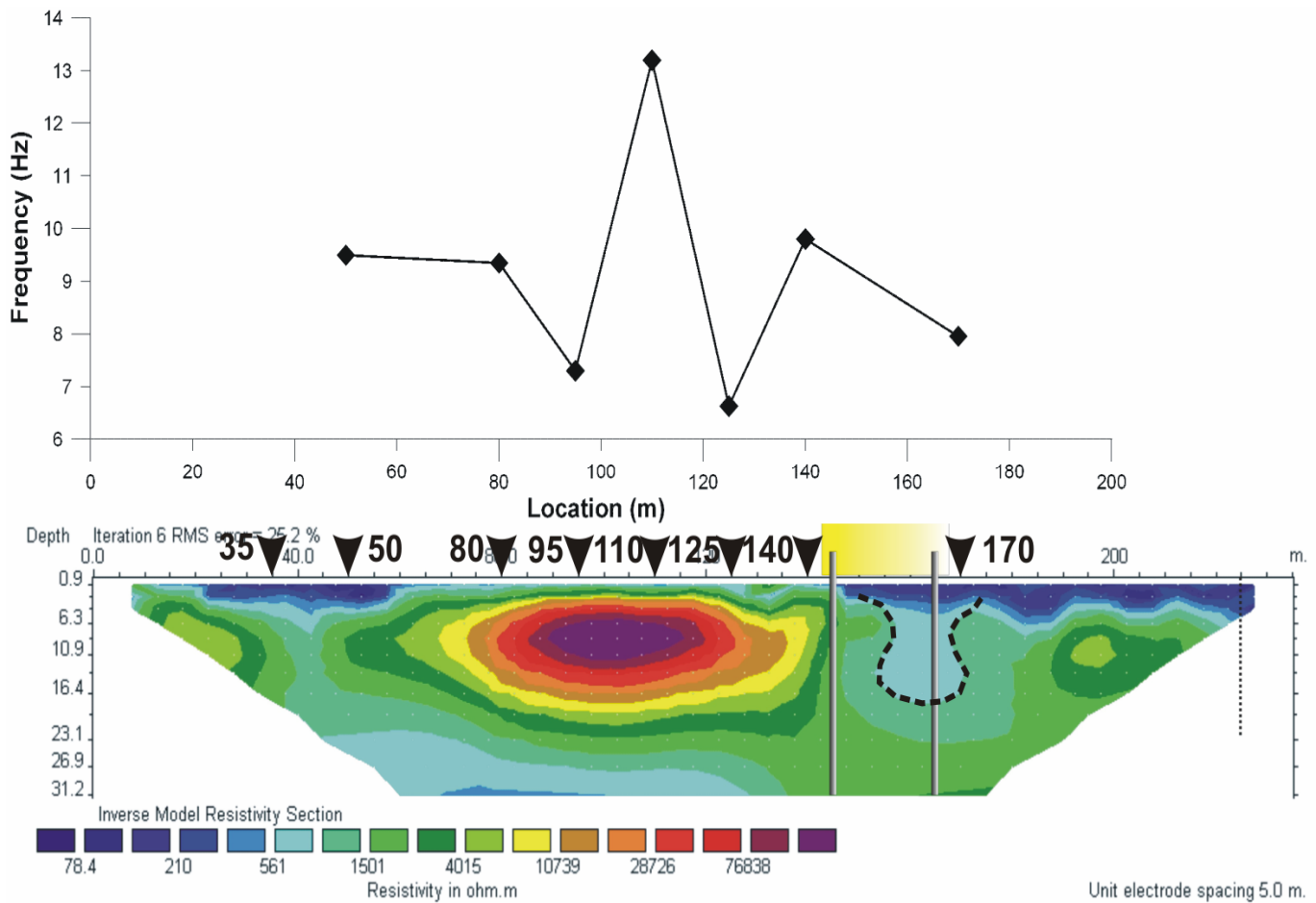
Γενικά με αποχρώσεις του μπλε απεικονίζονται οι πολύ κορεσμένες περιοχές σε υγρασία, οι οποίες βάση της ωμικής αντίστασης πιθανότατα περιέχουν λιματολάσπη. Με αποχρώσεις του πράσινου συμβολίζονται τα δεματοποιημένα και μη απορρίμματα, που έχουν αποτεθεί στο χώρο κατά την διάρκεια λειτουργίας του εργοστασίου του Μεσομουρίου. Με κίτρινο και αποχρώσεις πορφυρού χρώματος συμβολίζονται τα λιγότερο διαπερατά ή αδιαπέρατα μέρη του υπεδάφους, τα οποία είναι είτε υλικό επικάλυψης (μπάζα ή χώμα) είτε βράχος.

Το σφάλμα στη μέτρηση ήταν 38,4 %, σφάλμα που αν το εξετάσει κανείς επιφανειακά είναι μεγάλο. Ωστόσο για τις μετρήσεις αυτού του είδους είναι αρκετά μικρό δεδομένου ότι η μέθοδος της ηλεκτρικής διασκόπησης αποτελεί ένα φυσικό μοντέλο δηλαδή ένα μοντέλο που κατασκευάστηκε με βάση κανόνες που ισχύουν σε ένα φυσικό περιβάλλον ενώ ο χώρος εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου αποτελεί ένα τεχνητά κατασκευασμένο περιβάλλον.

Για την απόκτηση μεγαλύτερης εξοικείωσης με την μέθοδο ηλεκτρικής διασκόπησης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με την ίδια μέθοδο στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων στην περιοχή του Φόδελε του νομού Ηρακλείου ενώ ταυτόχρονα μελετήθηκε παρόμοιο πείραμα που διεξήχθη στην περιοχή του Κουρουπητού του νομού Χανίων. Τα αποτελέσματα των ηλεκτρικών διασκοπήσεων των προαναφερθέντων μετρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 52: Αποτελέσματα Φόδελε



Εικόνα 53: Αποτελέσματα Κουρουπητού

Από τις παραπάνω μετρήσεις συμπεραίνουμε ότι στην περιοχή του Μεσομυρίου δεν εμφανίζονται σπηλαιώσεις ούτε διάκενα μεταξύ των εναποτεθειμένων απορριμμάτων. Αυτό διαπιστώθηκε από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων του Κουρουπητού στα οποία εμφανίζεται μια σπηλαιώση στο κέντρο περίπου της περιοχής μέτρησης με αγωγιμότητα παρά πολύ χαμηλή με αντίσταση της τάξης των χιλιάδων ομόμετρων (περίπου 80,000 ohm.m) σε αντίθεση με την περιοχή του Μεσομυρίου όπου η αντίσταση είναι τάξης των μερικών εκατοντάδων ομόμετρων.

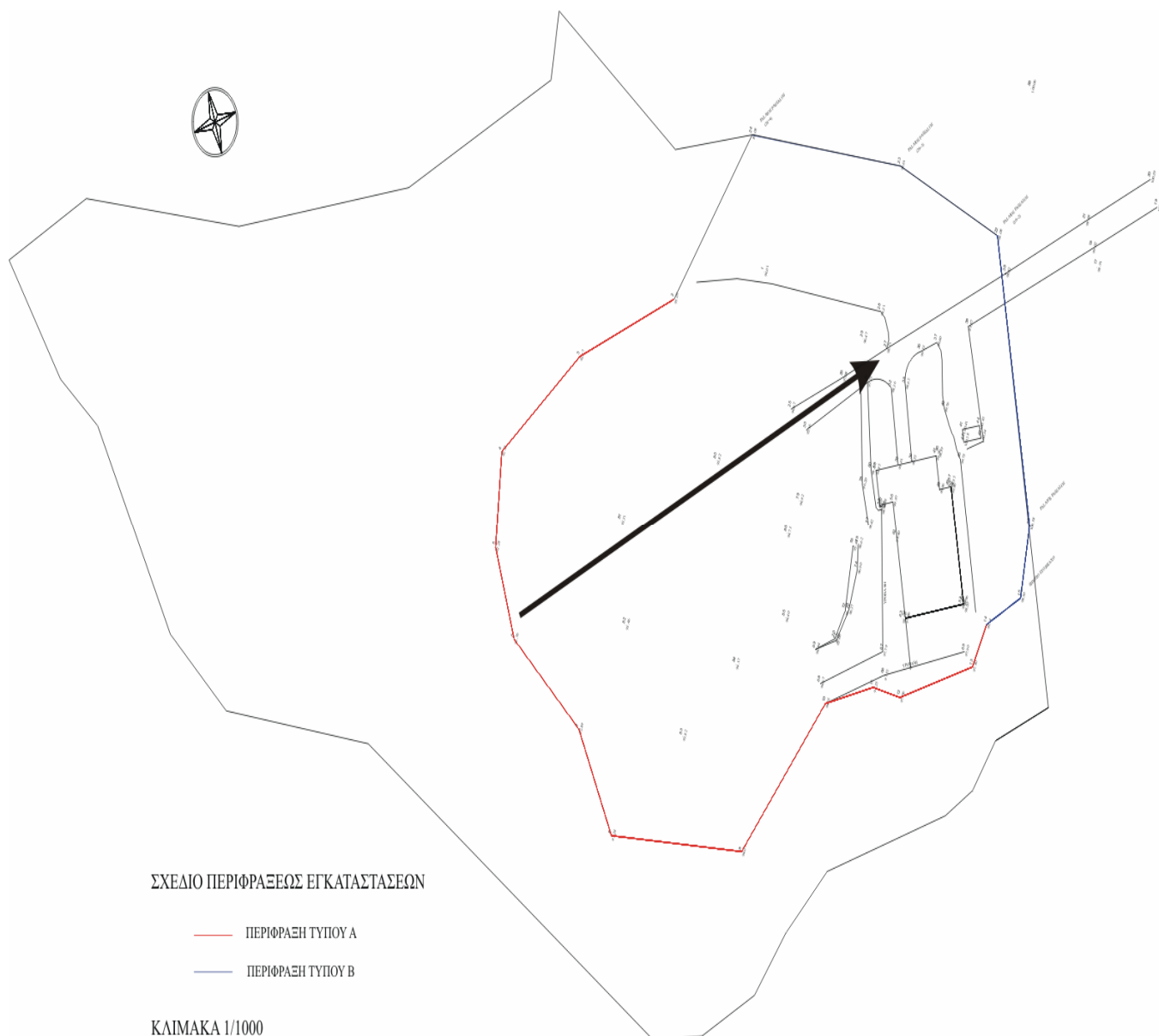
Επίσης διαπιστώνεται η απουσία υγρών διασταλαγμάτων και η εμφάνιση μόνο κορεσμένου εδάφους. Αυτό αποδεικνύεται από το μέγεθος της μικρότερης εμφανιζόμενης αντίστασης, που είναι 1,26 ohm.m, σε αντίθεση με την μικρότερη εμφανιζόμενη αντίσταση της περιοχής του Φόδελε, που είναι 0,473 ohm.m, στην οποία τιμή έχει διαπιστωθεί η παρουσία υγρών διασταλαγμάτων.

2.2.30.4 Συμπεράσματα

Για την περιοχή του Μεσομουρίου και με αφετηρία το μεταίχμιο του εργοστασίου δεματοποίησης με τον χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων και τέλος το σημείο 0 της μέτρησης καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

Στην αρχή έχουμε την παρουσία μιας ράμπας που δημιουργήθηκε για την καλύτερη πρόσβαση των απορριμματοφόρων στον χώρο και αποτελείται από συμπιεσμένα μπάζα και χώμα που όπως φαίνεται από τον χρωματισμό (κίτρινο και κόκκινο) έχουν καλή συνεκτικότητα και είναι επί το πλείστον αδιαπέρατα στα κατακρημνίσματα και στο βιοαέριο. Κάτω από την ράμπα υπάρχει μεγάλη ποσότητα κορεσμένης λυματολάσπης (αποχρώσεις του μπλε) ανάμεσα σε μικρή ποσότητα απορριμμάτων (πράσινο χρώμα) μέχρι το βάθος των 15 m περίπου οπότε και ξεκινάει το υπόβαθρο (κίτρινο και πορτοκαλί χρώμα) της χαράδρας του Κουρουπητού πάνω στην οποία εγκαταστάθηκε το εργοστάσιο δεματοποίησης του Μεσομουρίου. Μέχρι την απόσταση των 60 m επικρατεί παρόμοια κατάσταση με τη διαφορά ότι υπάρχουν μικρότερες ποσότητες απορριμμάτων και λυματολάσπης λόγω της ανύψωσης του υποβάθρου το οποίο στα 60 m κατά μήκος της τομής, βρίσκεται στα 10 m κάτω από την επιφάνεια. Μετά τα 60 m η

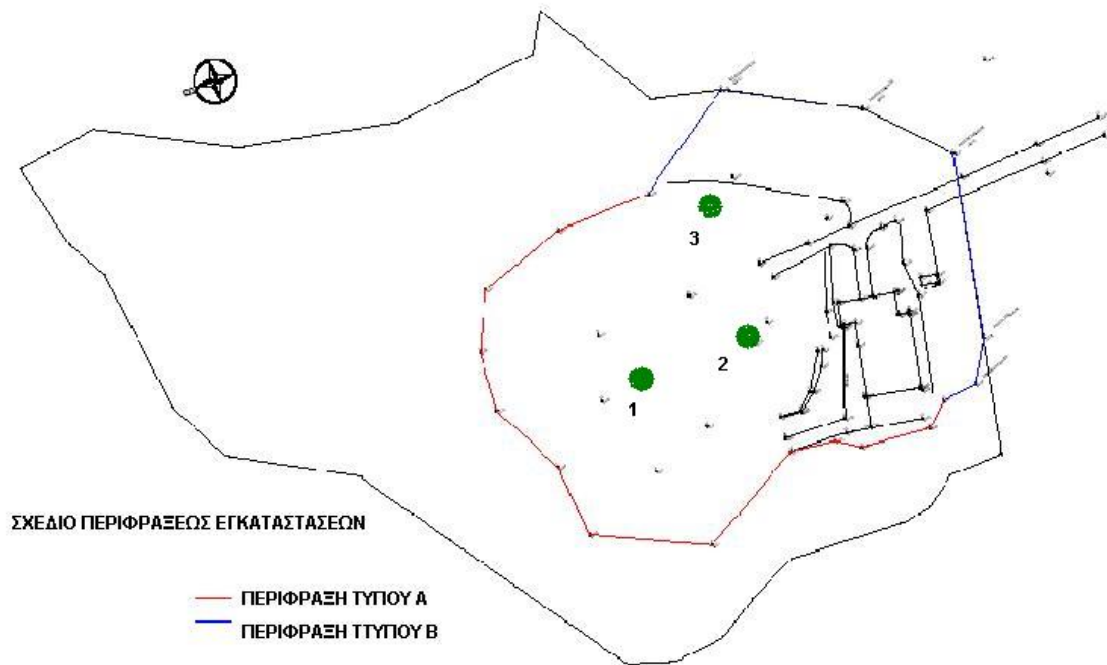
κάλυψη είναι πολύ μικρή με συνέπεια την κακή συνεκτικότητα του εδάφους και τη μη προσβασιμότητα αυτού σε θέσεις στις οποίες έχει γίνει απόθεση μόνο λυματολάσπης. Επίσης διαπιστώνεται θετική κλίση του υποβάθρου, όπου στο μήκος των 80 m φτάνει μέχρι και το βάθος των 32 μέτρων με πιθανότητα η αύξηση αυτή να συνεχίζεται σε μεγαλύτερα βάθη. Η κλίση αυτή με δεδομένη την υπάρχουσα οριζόντια επιφάνεια του χώρου σημαίνει μεγάλη αύξηση των εναποτηθέμενων απορριμμάτων (στερεών υπολλειμάτων και λυματολάσπης), όπως διαπιστώνεται από το σχήμα. Έχει επίσης ως αποτέλεσμα την πιθανή συλλογή και τελικά διαφυγή των όποιων στραγγισμάτων εντός του χώρου απόθεσης, στην χαράδρα του Κουρουπητού και εν συνεχεία στη θάλασσα. Στην αρχή της γεωηλεκτρικής τομής, όπως φαίνεται και από την εικόνα 21, παρατηρούμε λυματολάσπη εν μέσω απορριμμάτων με συνεχή αύξηση της λυματολάσπης. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι όσο πλησιάζουμε στο βράχο αυξάνεται η συνεκτικότητα των στρωμάτων λόγω της βαρυτικής δύναμης με συνέπεια τη μείωση του κορεσμού τους.



Εικόνα 54: Η γεωηλεκτρική τομή που έγινε στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομουρίου

2.3 Ποιοτική σύσταση του εδάφους

Για την εκτίμηση της ποιοτικής σύστασης του εδάφους πάρθηκαν δείγματα από τρία διαφορετικά σημεία του χώρου εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων του Μεσομουρίου που φαίνονται σχηματικά στο παρακάτω τοπογραφικό διάγραμμα με πράσινο χρώμα.



Εικόνα 55: Σημεία δειγματοληψίας χώματος

Τα δείγματα χώματος πάρθηκαν από περιοχές κοντινές σε σημεία όπου υπήρχαν στραγγίσματα, λυματολάσπη και απορρίμματα ώστε να βρεθεί κατά πόσο και εάν επηρεάζεται η σύσταση του χώματος από τα στραγγίσματα, τη λυματολάσπη και τα απορρίμματα. Στα δείγματα έγινε μέτρηση της αγωγιμότητας και του pH τους (με μεθόδους που αναφέρονται στη διπλωματική εργασία του Φωτείνη Σπύρου). Επίσης έγινε στοιχειακή ανάλυση των χωμάτων με εφαρμογή

της μεθόδου XRF από το εργαστήριο αναλυτικής χημείας με υπεύθυνο τον κ. Νίκο Καλλίθρακα τον οποίο και ευχαριστώ ιδιαίτερα. Τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων μετρήσεων παρατίθενται παρακάτω.

Μέτρηση	Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 3
Αγωγιμότητα (mS/cm)	4,18	6,72	5,77
pH	7,24	8,54	8,04
Μαγγάνιο Mn (mg/l)	118	230	143
Σίδηρος Fe (%)	0,9 %	1,15 %	0,8 %
Νικέλιο Ni (mg/l)	17	21	14
Χαλκός Cu (mg/l)	43	37	24
Ψευδάργυρος Zn (mg/l)	22	33	10
Μόλυβδος Pb (mg/l)	14	12	7
Βρόμιο Br (mg/l)	12	7	5
Ρουβίδιο Rb (mg/l)	14	18	10
Αρσενικό As	3	1	1

Σημείωση: Το αρσενικό As βρίσκεται κατω από το όριο ανίχνευσης και δίνεται ενδεικτικά.

Πίνακας 2: Στοιχειακή ανάλυση δειγμάτων χώματος

Πρέπει να αναφερθεί ότι έγινε η υπόθεση πως η μήτρα, τα ελαφριά στοιχεία (από πυρίτιο και κάτω) είναι κυρίως οργανικά και ανθρακικά. Αν η μήτρα είναι κυρίως οξείδια αλουμινίου – πυριτίου – μαγνησίου οι παραπάνω τιμές αυξανονται περίπου κατά 30 %.

2.3.1 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων έδωσαν τιμές που κυμαίνονται σε φυσιολογικά όρια με βάση την εμπειρική γνώση για τη σύσταση των εδαφών, εφόσον συγκεκριμένα όρια για εδάφη δεν υπάρχουν. Το μόνο στοιχείο με σχετικά αυξημένη τιμή είναι το μαγγάνιο (Mn) όπως φαίνεται από τον πίνακα 2. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη σύσταση αποβλήτων που βρίσκονται κοντά στο σημείο δειγματοληψίας ή το είδος των πετρωμάτων της περιοχής.

Δεδομένου του γεγονότος ότι θα υπάρξει σωστή επικάλυψη του χώρου εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων του Μεσομυρίου για την αποφυγή ή την ελαχιστοποίηση των στραγγισμάτων και επίσης τα όποια στραγγίσματα θα συλλέγονται και κατόπιν θα μεταφέρονται σε μονάδα βιολογικού καθαρισμού για περαιτέρω επεξεργασία, δεν ανακύπτει κάποιος κίνδυνος από την ποιοτική σύσταση του εδάφους.

2.4 Ποιοτική σύσταση ιλύος

Οι ποσότητες της ιλύος που εναποτέθηκαν στο χώρο εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων του Μεσομυρίου αναφέρονται στο πρώτο κεφάλαιο και είναι περίπου 12.240 τόνοι. Από αυτή την ποσότητα αφυδατωμένης λάσπης το 35% αντιστοιχεί σε αναερόβια χωνευμένη λάσπη (80% λάσπη πρωτοβάθμιας επεξεργασίας και 20% λάσπη δευτεροβάθμιας επεξεργασίας) και το 65% σε αχώνευτη λάσπη (80% λάσπη δευτεροβάθμιας επεξεργασίας). Οι αναλύσεις της ποιοτικής σύστασης της ιλύος έγιναν από την φοιτήτρια του

Πολυτεχνείου Κρήτης στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Τσάκωνα Μαρία και έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

	Τιμές			Μέθοδος
Θερμοκρασία	17°C			
pH	6.9			EPA 4500-HB
Υγρασία	84.35%			EPA 2540 B
DS (Στερεά)	15.65%			EPA 2540 B
VS (Πτητικά Στερεά)	72.07%			EPA 2540 E
Λίπη/Ελαια	-			
Βαρέα Μέταλλα	mg/kg (DS)			
Κάδμιο (Cd)	4.47			EPA 3030F
Χαλκός (Cu)	258.96			EPA 3030F
Νικέλιο (Ni)	21.38			EPA 3030F
Μόλυβδος (Pb)	168.41			EPA 3030F
Χρώμιο Ολικό (Cr)	54.04			EPA 3030F
Ψευδάργυρος (Zn)	725.35			EPA 3030F
Αρσενικό (As)	<5			EPA 3030F
Υδράργυρος (Hg)	2.0			EN 1483
Θρεπτικά Συστατικά				
C/N/P	C	N	P	Για τον προσδιορισμό C/N: EuroEA3000 CHNS-O Analyser
	34.35%	4.32%	0.57%	Για τον προσδιορισμό P: EPA 4500-P B-Merck Test Kit 086
Μικροβιακό Φορτίο				
E. Coli	39 CFUs/gr			ATCC 8739 (MacCONKEY Agar & LEVINE EMB Agar)
Salmonella	0 CFUs/gr			ATCC 14028 (MacCONKEY Agar & LEVINE EMB Agar)
Οργανικά	mg/kg (DS)			
AOX (Cl)	230			DIN 38414-18
LAS	360			Extraction, HPLC-FLD
DEHP	7.0			Extraction, GC-MS
NP	3.0			Extraction, GC-MS
NPEO	28			Extraction, GC-MS

PAH (sum) ¹	1.44	EPA 8270
PCBs (sum) ²	0.04	DIN 38414-20
PCDD/F	3.835 TE ng/kg	DIN 38414-24

Πίνακας 3: Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Αχώνευτης Αφυδατωμένης Ιλύος”

Παράμετροι	Τιμές			Μέθοδος
Θερμοκρασία	18°C			
pH	6.83			EPA 4500- HB
Υγρασία	74.09%			EPA 2540B
DS (Στερεά)	25.91%			EPA 2540B
VS (Πτητικά Στερεά)	87.85%			EPA 2540E
Λίπη/Ελαια	-			
Βαρέα Μέταλλα	mg/kg (DS)			
Κάδμιο (Cd)	5.0039			EPA 3030F
Χαλκός (Cu)	301.66			EPA 3030F
Νικέλιο (Ni)	37.89			EPA 3030F
Μόλυβδος (Pb)	235.18			EPA 3030F
Χρώμιο Ολικό (Cr)	64.34			EPA 3030F
Ψευδάργυρος (Zn)	969.69			EPA 3030F
Αρσενικό (As)	<5			EPA 3030F
Υδράργυρος (Hg)	4.1			EN 1483
Θρεπτικά Συστατικά				
C/N/P	C	N	P	Για τον προσδιορισμό C/N: EuroEA3000 CHNS-O Analyser
	35.65%	7.01%	0.09%	Για τον προσδιορισμό P: EPA 4500-P B-Merck Test Kit 086
Μικροβιακό Φορτίο				
E. Coli	440 CFUs/gr			ATCC 8739 (MacCONKEY Agar & LEVINE EMB Agar)
Salmonella	0 CFUs/gr			ATCC 14028 (MacCONKEY Agar & LEVINE EMB Agar)

Οργανικά	mg/kg (DS)	
AOX (Cl)	260	DIN 38414-18
LAS	26,000	Extraction, HPLC-FLD
DEHP	24	Extraction, GC-MS
NP	80	Extraction, GC-MS
NPEO	220	Extraction, GC-MS
PAH (sum) ³	14.07	EPA 8270
PCBs (sum) ⁴	0.07	DIN 38414-20

Πίνακας 4: Ποιοτικά χαρακτηριστικά “Χωνευμένης Αφυδατωμένης Ιλύος”

2.4.1 Συμπεράσματα

Βαρέα μέταλλα: Ως προς την συγκέντρωση των δειγμάτων, αχώνευτης αφυδατωμένης ιλύος, χωνευμένης αφυδατωμένης ιλύος και εισερχόμενου υλικού προς κομποστοποίηση (οργανικό κλάσμα & ξένες προσμίξεις αστικών απορριμμάτων) πληρούνται πλήρως τα όρια που θέτει η αναμενόμενη αναθεώρηση της οδηγίας 86/278/EE και τα οποία είναι πιο αυστηρά από τα όρια της ισχύουσας οδηγίας 86/278/EE. Δεδομένου ότι τα βαρέα μέταλλα δεν βιοαποδομούνται κατά την αερόβια διεργασία της κομποστοποίησης, πραγματοποιείται σύγκριση των τιμών των συγκεντρώσεων των τριών προαναφερόμενων δειγμάτων ως προς τα όρια που θέτει η ΚΥΑ 114218/97 για τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο παραγόμενο κομπόστ. Και σε αυτή την περίπτωση τα δείγματα πληρούν τα όρια που θέτει η εν λόγω οδηγία. Συνεπώς όσον αφορά την συν-κομποστοποίηση της παραγόμενης αφυδατωμένη

ιλύος (χωνευμένης και αχώνευτης) με το εισερχόμενο οργανικό κλάσμα δεν τίθεται πρόβλημα ως προς την συγκέντρωση του υλικού προς κομποστοποίηση με βαρέα μέταλλα.

Οργανικοί Ρύποι: Όσον αφορά τους οργανικούς ρύπους ισχύουν για κάθε δείγμα τα ακόλουθα:

Αχώνευτη αφυδατωμένη ιλύς: Πληρεί τα όρια που θέτει η αναμενόμενη αναθεώρηση της οδηγίας 86/278/EE για όλους τους προσδιοριζόμενους οργανικούς ρύπους.

Χωνευμένη αφυδατωμένη ιλύς: Πληρεί τα όρια που θέτει η αναμενόμενη αναθεώρηση της οδηγίας 86/278/EE για τους οργανικούς ρύπους: PCDD/Fs, AOX, DEHP & PCBs ενώ ξεπερνά τα όρια για τους οργανικούς ρύπους: LAS, NP, NPEO & PAHs.

Το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως στα LAS όπου το μετρούμενο δείγμα χωνευμένης αφυδατωμένης ιλύος έδωσε τιμή πολύ υψηλή (26000mg/kg w/w) σε σύγκριση με τα όρια διάθεσης της ιλύος στο έδαφος (2600mg/kg w/w). Ωστόσο, αυτό που ενδιαφέρει είναι η συγκέντρωση των LAS και NPE στο τελικό προϊόν κομπόστ. Δεδομένου ότι έχει παρατηρηθεί χρόνος ημιζωής των LAS που κυμαίνεται από 5 ως 33 μέρες αναμένεται ότι στο τέλος της διεργασίας της κομποστοποίησης, διάρκειας 6 εβδομάδων (42 μέρες), να έχει αποδομηθεί ένα μεγάλο μέρος των LAS, κάτω από τις αερόβιες συνθήκες της κομποστοποίησης. Παρά ταύτα δε δύναται να εξασφαλιστεί πλήρως ότι η προσθήκη της εν λόγω χωνευμένης αφυδατωμένης ιλύος είναι ασφαλής. Όσο αφορά τα PAHs που παρουσιάζουν μεγαλύτερη εμμονή στο περιβάλλον έχει παρατηρηθεί μείωση της

συγκέντρωσης αυτών σε δείγματα υλικού που έχουν υποστεί κομποστοποίηση. Συγκεκριμένα σε έδαφος ρυπασμένο με PAHs, στο οποίο εφαρμόστηκε η διεργασία της κομποστοποίησης, παρατηρήθηκε μείωση της αρχικής συγκέντρωσης από τα 500 mg PAHs/kg εδάφους σε λιγότερο από 20 mg PAHs/kg εδάφους σε διάρκεια 7 εβδομάδων.

Κεφάλαιο 3 – Τρόποι αποκατάστασης

3.1 Ανάγκη για αποκατάσταση

Από τις μετρήσεις που έγιναν στα υγρά διασταλάγματα, το βιοαέριο και το έδαφος αλλά και από την αυτοψία στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομυρίου, διαπιστώνεται ότι είναι επιτακτική ανάγκη να γίνει αποκατάσταση του χώρου. Αυτό άλλωστε προστάζει και η νομοθεσία όπως φαίνεται παρακάτω. Συγκεκριμένα, τα υγρά διασταλάγματα από τις μετρήσεις και κυρίως από τη μελέτη τοξικότητας LC50 βρέθηκε ότι είναι ιδιαίτερα τοξικά. Αυτό που ανησυχεί περισσότερο σε αυτή την περίπτωση, έγκειται στο ότι είναι τελείως ανεξέλεγκτη η πορεία τους με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος για πιθανή μόλυνση του υπόγειου υδροφορέα. Ωστόσο πιο πιθανό λόγω της κλίσης του βράχου του Μεσομυρίου είναι να καταλήγουν στη θάλασσα, διαταράσσοντας έτσι την ομαλή λειτουργία του οικοσυστήματός της, δεδομένου ότι τα διασταλάγματα είναι πλούσια σε οργανικό υλικό, ιδιαίτερα τοξικά και περιέχουν μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων. Και στις δυο περιπτώσεις γίνεται κατανοητό ότι οι κίνδυνοι είναι πολλαπλοί για τον άνθρωπο, αφού στην πρώτη μπορεί να καταναλώσει το νερό του υπόγειου υδροφορέα με δυσάρεστα αποτελέσματα, όπως θα είναι και τα αντίστοιχα αποτελέσματα στη δεύτερη για τους λουόμενους των παρακείμενων περιοχών και ακόμα πιο δυσάρεστα για αυτούς που θα καταναλώσουν ψάρια που τράφηκαν από την συγκεκριμένη περιοχή. Όσον αφορά το βιοαέριο, οι μετρήσεις που έγιναν με τον φορητό αναλυτή, έδειξαν ότι βρίσκεται σε πολλές περιοχές μέσα στο όριο εκρηξιμότητας, πράγμα που σημαίνει ότι είναι δυνατόν στην περιοχή να

προκληθούν πυρκαγιές λόγω αυτανάφλεξης του βιοαερίου είτε ακόμα και εκρήξεις αν υπάρχει εγκλωβισμένη κάποια ποσότητα βιοαερίου στο υπέδαφος, Τέλος η μέτρηση της ηλεκτρικής διασκόπησης έδειξε ότι το έδαφος δεν είναι συμπαγές εφόσον στο υπέδαφος εκτός από απορρίμματα υπάρχουν και μεγάλες ποσότητες λυματολάσπης άναρχα τοποθετημένης. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητή η περιβαλλοντική καταστροφή που έχει συντελεστεί και η ανάγκη που υπάρχει για αποκατάσταση του χώρου.

3.2 Νομοθετικές κατευθύνσεις και τεχνικές προδιαγραφές για την αποκατάσταση των χώρων διάθεσης απορριμμάτων

Για την αποκατάσταση των Χώρων Διάθεσης Απορριμμάτων ισχύουν οι τεχνικές προδιαγραφές της ΚΥΑ 114218/97 «Κατάρτιση Πλαισίου Προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων» που αναφέρει ότι με το πέρας λειτουργίας ή και με την ολοκλήρωση επί μέρους τμημάτων ενός χώρου υγειονομικής ταφής αρχίζουν οι εργασίες και τα έργα (τα πρώτα στάδια των έργων για την περίπτωση της τμηματικής αποκατάστασης για τον έλεγχο των καθιζήσεων που θα επέλθουν στα πρώτα δύο χρόνια μετά τη λήξη λειτουργίας ενός τμήματος) τελικής κάλυψης και επανένταξης του χώρου στο φυσικό περιβάλλον, Η τμηματική αποκατάσταση του χώρου, εφόσον την επιτρέπει το πρόγραμμα εκμετάλλευσης του, προτιμάται γιατί ελαχιστοποιεί περαιτέρω τις δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις και διευκολύνει την κοινωνική αποδοχή παρόμοιων εγκαταστάσεων. Τα έργα τελικής κάλυψης είναι αναπόσπαστο τμήμα της διαχείρισης του ΧΥΤΑ και έχουν στόχους:

α. Τη δραστική μείωση και τον έλεγχο όλων των εκπεμπόμενων ρύπων από το σώμα των απορριμμάτων δεδομένου ότι οι διεργασίες αποδόμησης και παραγωγής ρυπογόνων ουσιών συνεχίζονται για δεκαετίες μετά το πέρας λειτουργίας του χώρου. Προς τούτο θα πρέπει να εξασφαλίζουν:

- Ελαχιστοποίηση της εισροής ομβρίων από τον περιβάλλοντα χώρο, ικανοποιητική απορροή των τελικών επιφανειών του ανάγλυφου.
- Αποτροπή κατείσδυσης ομβρίων στα απορρίμματα.
- Αποτροπή διαρροών στραγγισμάτων προς τον υδροφόρο ορίζοντα και πλευροδιηθήσεων στα πρανή.
- Διαχωρισμό του σώματος των απορριμμάτων από την φυτοκάλυψη αλλά και οποιαδήποτε πρόσβαση ζώων.
- Ελεγχόμενη εκπομπή βιοαερίου.

β. Την επανένταξη του χώρου στο φυσικό περιβάλλον και την κατά το δυνατό εγκατάσταση σ' αυτόν νέων χρήσεων.

Η «τελική κάλυψη» είναι ένα προστατευτικό και πολλαπλής λειτουργίας στρώμα σύνθετης διατομής από φυσικά ή/και συνθετικά υλικά, και καταλλήλων κλίσεων, το οποίο καλύπτει εξ ολοκλήρου τη λειτουργική κάλυψη του Χ.Υ.Τ.Α. και ελέγχει την είσοδο (μειώνει δραστικά ή και αποκλείει την είσοδο) ουσιών στο σώμα των απορριμμάτων όσο και την εκπομπή (κυρίως βιοαερίου και στραγγισμάτων) ρύπων από αυτό. Ειδικότερα η τελική επικάλυψη ενός Χ.Υ.Τ.Α. αποσκοπεί στα εξής:

- Προστατεύει τον όγκο των απορριμμάτων από την ανεξέλεγκτη εισροή επιφανειακών υδάτων, για αποτροπή ή δραστική μείωση παραγωγής και νέων

όγκων στραγγισμάτων μετά το πέρας λειτουργίας του.

- Επιτρέπει την ελεγχόμενη άντληση και ροή του παραγόμενου βιοαερίου μόνο προς τις εγκαταστάσεις διαχείρισης του.
- Αποτρέπει την ανεξέλεγκτη διαφυγή και διάχυση του βιοαερίου προς τα ανώτερα στρώματα και τις ρίζες της φυτοκάλυψης.
- Αποτρέπει την οποιαδήποτε εκπομπή οσμών.
- Δημιουργεί το κατάλληλο υπόστρωμα που επιτρέπει την ανάπτυξη κατάλληλης βλάστησης.
- Δημιουργεί σταθερό σχετικό έδαφος για στήριξη ενδεχομένως ελαφρών κατασκευών που μπορεί να περιλαμβάνουν οι νέες χρήσεις.

Ο σχεδιασμός της τελικής κάλυψης πρέπει να συνεκτιμά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ, τα ειδικότερα περιβαλλοντικά δεδομένα, τις προβλεπόμενες νέες χρήσεις, τεχνοοικονομικά στοιχεία ώστε να εφαρμοστεί η βέλτιστη λύση.

Σύμφωνα με την ίδια ΚΥΑ, προ της έναρξης των εργασιών τελικής επικάλυψης, στο ολοκληρωμένο τμήμα ή σε ολόκληρο το ΧΥΤΑ, λαμβάνεται υπόψη η ανάγκη για διαμόρφωση και σταθεροποίηση της τελικής επιφάνειας του απορριμματικού ανάγλυφου η οποία και φέρει, για τις δεκαετίες που θα ακολουθήσουν τον αδιαπέρατο (σε ορισμένο επιθυμητό βαθμό) μανδύα της επικάλυψης.

Οι διεργασίες αποδόμησης των απορριμμάτων οδηγούν, υπό την επίδραση κυρίως του βάρους των επαλλήλων στρώσεων, σε σημαντικές κατά κανόνα διαφορικές καθιζήσεις της άνω τελικής επιφανείας του απορριμματικού

ανάγλυφου. Για την αντιμετώπιση των σχετικών προβλημάτων, στις εργασίες της τελικής επικάλυψης πρέπει να περιλαμβάνονται δύο στάδια, προσωρινό και μόνιμο το οποίο κατασκευάζεται μετά την εξέλιξη των καθιζήσεων (δύο χρόνια τουλάχιστον) και στα οποία περιλαμβάνονται και τα εξής:

- Έλεγχος ευστάθειας των πρανών του τελειωμένου απορριμματικού ανάγλυφου.
- Προφόρτιση άνω πλατώματος με αδρανή συμπιεσμένα (αναλόγου ύψους) για ένα χρονικό διάστημα επαρκές για τη σταθεροποίηση της επιφάνειας.

Για ΧΥΤΑ ή για τμήματα ΧΥΤΑ με σχετικά μικρό ύψος, ή κατασκευή του μανδύα τελικής επικάλυψης μπορεί να αρχίζει αμέσως μετά την ολοκλήρωση του ανάγλυφου απορριμμάτων, με βάση πάντα εγκεκριμένες μελέτες εφαρμογής.

Όσον αφορά τις κλίσεις για το άνω πλάτωμα και εν γένει τις επίπεδες επιφάνειες του τελικού ανάγλυφου, άρα και του στρώματος τελικής κάλυψης, οι κλίσεις πρέπει να είναι της τάξεως του 3 ~ 5% για την αποστράγγιση των όμβριων και την αποφυγή διαβρώσεων. Για τα πρανή οι κλίσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 1/3. Το σύστημα τελικής κάλυψης που εφαρμόζεται συνήθως αποτελείται από:

- Επιφανειακό χώμα φυτέψεων
- Έδαφος προστασίας
- Ζώνη αποστράγγισης
- Στρώση φραγμού
- Στρώση εκτόνωσης βιοαερίου.

Επισημαίνεται ότι δεν είναι απαραίτητο για κάθε ΧΥΤΑ να περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω στοιχεία και η τεκμηρίωση των τελικών επιλογών αποτελεί στοιχείο της μελέτης του έργου ανάλογα με τις επικρατούσες στο χώρο συνθήκες και τις ανάγκες του φορέα του. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των επιμέρους τμημάτων μπορεί να είναι φυσικά ή τεχνητά ή συνδυασμός και των δύο.

Σχετικά με τη στρώση φραγμού και το εδαφικό υλικό φυτοκάλυψης, βασικό στοιχείο αποτελεί το αδιαπέρατο στρώμα από κατάλληλα συμπιεσμένη άργιλο ή μίγματος αργιλομπετονίτη ή τεχνητής μόνωσης με συντελεστή διαπερατότητας $K=10^{-9}$ m/sec. Η στρώση αυτή, αφού εκτελεσθούν, αν είναι αναγκαίες, οι εργασίες σταθεροποίησης του ανάγλυφου κατασκευάζεται κατά την τμηματική αποκατάσταση μετά το πέρας λειτουργίας του αντιστοίχου τμήματος. Απαιτείται ακόμη στρώμα εδαφικού υλικού κατάλληλου για φύτευση πάχους περί το 1,5 μέτρο, ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης. Το στρώμα φυτοκάλυψης μπορεί να κατασκευαστεί με το πέρας λειτουργίας ολόκληρου του χώρου, αφού έχουν γίνει ενδεχομένως αναγκαίες πληρώσεις του αδιαπέρατου στρώματος σε σημεία καθιζήσεων. Τα παραπάνω είναι τα ελάχιστα απαιτούμενα. Η οριστική μελέτη της τελικής επικάλυψης θα πρέπει να περιγράφει την για κάθε χώρο αναλυτική εφαρμογή ή και συμπλήρωση τους π.χ. με ισοπεδωτική στρώση υλικού επικάλυψης σε περίπτωση μη ομαλού τελειωμένου ανάγλυφου. Με βάση τα παραπάνω, ο σχεδιασμός του προγράμματος αποκατάστασης ενός χώρου διάθεσης απορριμμάτων, πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Την εκτίμηση των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων των απορριμμάτων που έχουν διατεθεί
- Την περιγραφή των απαιτούμενων εργασιών για την προετοιμασία - αρχική ή σταδιακή αποκατάσταση - και τελική αποκατάσταση του χώρου. Την περιγραφή της τελικής κάλυψης που θα απαιτηθεί συνολικά ή ανά τμήματα.
- Το σχεδιασμό των αναγκαίων λειτουργιών (στραγγίσματα, βιοαέριο κλπ) για τα προς αποκατάσταση τμήματα.

Οι γενικοί αντικειμενικοί στόχοι ανάκτησης του χώρου διάθεσης είναι:

- Η αποκατάσταση ενός υγιούς και γόνιμου ανάγλυφου, όχι κατ' ανάγκη στο ίδιο επίπεδο με το αρχικό.
- Η δημιουργία ενός ευέλικτου σχήματος νέων χρήσεων.
- Ένα ανάγλυφο οπτικά αποδεκτό σε σχέση με το ευρύτερο ανάγλυφο της περιοχής.
- Η δημιουργία ενός κατάλληλου περιβάλλοντος για την ανάπτυξη της χλωρίδας και της πανίδας.
- Η οικονομικότερη επαναφορά από τη νέα χρήση

3.3 Προτεινόμενες λύσεις αποκατάστασης

Σύμφωνα με όλα όσα ειπώθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, ο σχεδιασμός της αποκατάστασης του χώρου επιβάλλεται να επικεντρωθεί στα ακόλουθα κατά σειρά προτεραιότητας ζητήματα:

- την ασφαλή διαχείριση του βιοαερίου
- την αποτελεσματική διαχείριση των στραγγισμάτων και
- την τελική κάλυψη και φύτευση του χώρου, με στόχο την επανένταξη του στο περιβάλλον της περιοχής.

Πρέπει βέβαια, να ληφθούν και τα υπόλοιπα αναγκαία μέτρα για την ολοκλήρωση και προστασία των εργασιών αποκατάστασης (βελτίωση της υφιστάμενης περίφραξης, έλεγχος των καθιζήσεων) και να υιοθετηθεί πρόγραμμα παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραμέτρων (monitoring). Οι προτεινόμενες λύσεις αποκατάστασης για το χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομυρίου είναι τέσσερις και παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

3.3.1 Η μηδενική λύση

Αυτή η λύση είναι η οικονομικότερη και η πιο εύκολο να επέλθει. Σε αυτή την περίπτωση δεν θα αλλάξει τίποτα στο χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων του Μεσομυρίου. Το μόνο ίσως που πρέπει να γίνει, είναι η απαγόρευση από τους αρμόδιους φορείς της πρόσβασης στο χώρο και η λήψη μέτρων που να το επιτυγχάνουν αυτό, όπως καλή περίφραξη κτλ.

Οι συνέπειες αυτής της λύσης θα είναι η ακόμα μεγαλύτερη επιβάρυνση του χώρου και του περιβάλλοντος γενικότερα και ίσως η επιβολή προστίμου από κάποιο αρμόδιο φορέα του εσωτερικού ή της Ευρωπαϊκής ένωσης

3.3.2 Μεταφορά των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Κορακιάς

Η λύση αυτή έχει τα καλύτερα αποτελέσματα από περιβαλλοντική άποψη αλλά δεν μπορεί επιτευχθεί καθώς ο χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) της Κορακιάς δεν χωράει ένα τόσο μεγάλο όγκο απορριμμάτων. Η μεταφορά του συνόλου των απορριμμάτων θα γέμιζε σύμφωνα με ανθρώπους της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. όλο το ΧΥΤΑ μην αφήνοντας μέρος για την εναπόθεση των απορριμμάτων που καθημερινά συλλέγονται στο δήμο Χανίων.

3.3.3 Διαχείριση βιοαερίου και στραγγισμάτων (Πρόταση της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.)

3.3.3.1 Διαχείριση βιοαερίου

Η παραγωγή του βιοαερίου κατά το πρώτο διάστημα είναι μικρή, συνεχίζεται όμως να παράγεται με σχετικά σταθερό ρυθμό για περίοδο μεγαλύτερη από 10 χρόνια. Για τον υπολογισμό των ποσοτήτων βιοαερίου που παράγονται από ένα χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι και μοντέλα, που παίρνουν υπόψη τους τη σύσταση των απορριμμάτων, την αρχική συμπίεση, την περιεχόμενη υγρασία, τη θερμοκρασία, καθώς και την ηλικία των απορριμμάτων. Όταν πρόκειται για συμπιεσμένα οικιακού τύπου απορρίμματα με μέση σύσταση αντίστοιχη των απορριμμάτων των Χανίων, η

συνολική παραγωγή μεθανίου αναμένεται να είναι της τάξεως των 100 m³ ανά τόνο συμπιεσμένων απορριμμάτων. Έτσι, στο Μεσομούρι αναμένεται συνολικά η παραγωγή:

$$91.000 \text{ τόνοι απορριμμάτων} \times 100 \text{ m}^3 \text{ μεθανίου} / \text{τόνο} = 9.100.000 \text{ m}^3 \text{ μεθανίου}$$

Πρόκειται επομένως, για μία σημαντική ποσότητα που χωρίς αμφιβολία θα δημιουργήσει προβλήματα εάν δεν ελεγχθεί με ασφάλεια η διαχείριση της, όχι όμως και αρκετή ώστε να είναι σκόπιμη η ενεργειακή αξιοποίηση της. Επιβάλλεται επομένως, η δημιουργία ενός ενεργητικού συστήματος άντλησης του από το χώρο και η ασφαλής καύση του. Όσον αφορά τη διαστασιολόγηση των κατακόρυφων διάτρητων αγωγών συλλογής που πρέπει να τοποθετηθούν εντός των απορριμμάτων, καθώς και τη διαστασιολόγηση του πυρσού καύσης, βασική παράμετρος είναι η αναμενόμενη ωριαία παραγωγή βιοαερίου κατά τα πρώτα χρόνια παραγωγής που αναμένονται και οι μέγιστες παροχές. Λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα, τη σύσταση και τη συμπίεση των απορριμμάτων που βρίσκονται στο Μεσομούρι, δεν θα πρέπει να αναμένονται συνολικές παροχές μεγαλύτερες των 60 m³ / ώρα. Για τη συλλογή και ασφαλή διαχείριση της παροχής αυτής, μία εγκατάσταση κατακόρυφων διάτρητων αγωγών διαμέτρου Φ75 με ελάχιστες μεταξύ τους αποστάσεις 30 m θεωρείται ικανοποιητική. Οι αγωγοί θα τοποθετηθούν σε φρέατα, η διάνοιξη των οποίων θα γίνει με γεωτρύπανο πριν την εφαρμογή των συνθετικών στρώσεων στεγάνωσης στο οριζόντιο πλατό της απόθεσης και θα πληρωθούν με αδρανές υλικό κατάλληλης κοκκομετρίας. Στο συνημμένο σχέδιο φαίνεται μία τυπική τομή γεώτρησης απαγωγής βιοαερίου. Όσον αφορά τη διαστασιολόγηση του πυρσού καύσης,

λαμβάνοντας υπόψη την μέγιστη ωριαία παροχή ($60 \text{ m}^3 / \text{ώρα}$) και με συντελεστή ασφαλείας που σύμφωνα με την ΚΥΑ 114218/97 είναι 1,5 προκύπτει ότι απαιτείται πυρσός ελάχιστης δυναμικότητας $Q = 90 \text{ m}^3 / \text{ώρα}$. Σημαντικό ρόλο για τη διαχείριση του βιοαερίου έχει και η σωστή επιλογή της χωροθέτησης της μονάδας καύσης του. Ειδικότερα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

α. Πρέπει να υπάρχει άμεση πρόσβαση (δίπλα σε δρόμο) προκειμένου να μπορεί να υπάρξει άμεση επέμβαση σε περίπτωση έκρηξης ή πυρκαγιάς και να βρίσκεται σε απόσταση ασφαλείας από δέντρα και κτίρια ή άλλα αναφλέξιμα υλικά

β. Πρέπει να τοποθετηθεί σε φυσικό, υγιές έδαφος. Η τοποθέτηση του πάνω στην επιφάνεια τελικής κάλυψης των απορριμμάτων είναι επικίνδυνη εξαιτίας των καθιζήσεων που αναμένονται

γ. Τέλος, πρέπει να είναι απομακρυσμένος κατά το δυνατόν από το χώρο εργασίας εξαιτίας της ενόχλησης που μπορεί να δημιουργεί λόγω οσμών και θορύβων.

3.3.3.2 Διαχείριση στραγγισμάτων

Για τη συλλογή και διαχείριση της όχι και τόσο μεγάλης ποσότητας των στραγγισμάτων, δεν κρίνεται σκόπιμο να εγκατασταθεί περιμετρικός διάτρητος συλλεκτήριος αγωγός ή πολύ περισσότερο περιμετρική συλλεκτήρια τάφρος, τόσο για οικονομικούς όσο και για τεχνικούς λόγους, δεδομένου ότι η πλήρης κάλυψη της πλατείας με απορρίμματα δημιουργεί πρόσθετη τεχνική δυσκολία για την κατασκευή των παραπάνω.

Η κύρια ποσότητα των στραγγισμάτων μπορεί εύκολα να συλλεχθεί, επειδή λόγω των κλίσεων που έχουν δοθεί στην πλατεία τα στραγγίσματα οδηγούνται με φυσική ροή και απομακρύνονται από τρία έως τέσσερα συγκεκριμένα σημεία, που έχουν εντοπιστεί. Στα σημεία αυτά, προτείνεται να κατασκευαστούν μικρά στεγανά φρεάτια για να οδηγούνται σε αυτά τα στραγγίσματα μέσω μικρών συλλεκτήριων αγωγών. Από εκεί τα στραγγίσματα που έχουν συλλεχτεί προτείνεται να απομακρύνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (εβδομαδιαία) και να οδηγούνται για επεξεργασία στην εγκατάσταση βιολογικής επεξεργασίας των στραγγισμάτων που έχει κατασκευαστεί στην «Κορακιά».

3.3.3.3 Τελική κάλυψη και φύτεψη του χώρου

Στο κεφάλαιο 3.2 αναφέρθηκαν οι νομοθετικές κατευθύνσεις, σύμφωνα με την ΚΥΑ 114218/97 «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων», για την αποκατάσταση των χώρων διάθεσης απορριμμάτων, σύμφωνα με τις οποίες η τελική κάλυψη αποσκοπεί:

- α. στην προστασία του όγκου των απορριμμάτων από την ανεξέλεγκτη εισροή επιφανειακών υδάτων,
- β. στον έλεγχο και την άντληση του παραγόμενου βιοαερίου προς την εγκατάσταση διαχείρισης του και την αποτροπή της οποιασδήποτε εκπομπής οσμών και

γ. στη δημιουργία του κατάλληλου υποστρώματος για την ανάπτυξη βλάστησης ή ενδεχομένως και τη δημιουργία ελαφρών κατασκευών εάν προβλέπονται από τις προτεινόμενες χρήσεις.

Τα παραπάνω μπορούν να επιτευχθούν με τη βοήθεια συνδυασμού τεχνικών και φυσικών υλικών, η επιλογή των οποίων είναι συνάρτηση των περιβαλλοντικών, τεχνικών και οικονομικών δεδομένων της κάθε περίπτωσης.

Όσον αφορά το Μεσομύρι, σύμφωνα με τα ποσοτικά και μορφολογικά δεδομένα που έχουν ήδη αναφερθεί, προτείνεται η ακόλουθη τεχνική τελικής κάλυψης που εκτιμούμε ότι είναι τεχνικά εφικτή, αντιμετωπίζει τα περιβαλλοντικά ζητήματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω και ανταποκρίνεται στο οικονομικό μέγεθος του έργου όπως περιγράφεται στο Τεχνικό Δελτίο που έχει υποβληθεί.

Αρχικά, σε όλη την επιφάνεια, επίπεδη και κεκλιμένη, πρέπει να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες εξομαλυντικές εργασίες, με τη βοήθεια προωθητήρα και τη χρήση υλικών επίχωσης ώστε στις τελικές επιφάνειες του απορριμματικού όγκου να μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν τα κατάλληλα τεχνικά και φυσικά υλικά. Για το άνω πλατώ της απόθεσης, εκτιμώμενης επιφάνειας περίπου 13.000 m² προτείνεται να κατασκευασθούν οι παρακάτω στρώσεις σύνθετου συστήματος στεγάνωσης που από κάτω προς τα πάνω είναι οι ακόλουθες, βλέπε Σχήμα 1 που ακολουθεί:

- Ζώνη εκτόνωσης βιοαερίου με χαλίκι 16-32 πάχους 30 cm.
- Γεώφασμα διαχωρισμού 300 gr/m².
- Αργιλική στρώση χαμηλής διαπερατότητας $K \leq 1 \times 10^{-9}$ m/sec, πάχους από 30 έως 50 cm.

- Μεμβράνη στεγάνωσης HDPE πάχους 1 mm (κατ' επιλογή).
- Γεωύφασμα διαχωρισμού προστασίας μεμβράνης 200 gr/m².
- Στρώση αποστράγγισης ομβρίων πάχους ≥ 30 cm από χαλίκι 16-32.
- Χωμάτινο κάλυμμα από δάνεια υλικά κατάλληλα για δενδροφύτευση πάχους από 1 έως 1,5m.

Στην περιμετρική επιφάνεια πρανών της απόθεσης, που έχουν κλίσεις της τάξεως του 1:1, δεν είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί το σύστημα στεγανώσεως που περιγράφεται ανωτέρω διότι υπάρχει πρόβλημα ευστάθειας των υλικών λόγω των γωνιών τριβής που υφίστανται στις μεταξύ των διεπιφάνειες και ειδικότερα της αργιλικής μονωτικής στρώσης που απαιτεί επιμελημένη συμπίεση με ειδικό εξοπλισμό. Για τα πρανή της απόθεσης που καταλαμβάνουν επιφάνεια της τάξεως των 4.500 m² προβλέπονται τα παρακάτω:

- Πάνω από την εξομαλυντική στρώση χωματοκάλυψης θα τοποθετηθεί γεωύφασμα διαχωρισμού προστασίας των 200 gr/m².
- Ειδική συνθετική στρώση συλλογής βιοαερίου GEONET από HDPE πάχους τουλάχιστον 4,5 mm.
- Στρώση Γεωσυνθετικού αργιλικού φραγμού G.C.L με διαπερατότητα $K \leq 5 \times 10^{-11}$ m/sec.
- Μεμβράνη στεγάνωσης HDPE πάχους 1 mm (κατ' επιλογή).
- Αποστραγγιστική στρώση των ομβρίων του τελικού απορριμματικού ανάγλυφου με GEONET πάχους 4,5 mm.
- Γεωύφασμα διαχωρισμού προστασίας βάρους 200 gr/m².
- Χωμάτινο κάλυμμα πάχους από 1 έως 1,5 m από δάνεια υλικά κατάλληλα

για φυτοκάλυψη.

Ενδεικτική τομή του συστήματος στεγάνωσης εμφανίζεται στο Σχήμα 2. Μέσω του συστήματος που περιγράφεται ανωτέρω εξασφαλίζεται καθ' ολοκληρία το ενδεχόμενο της όποιας διαρροής ρύπων στο περιβάλλον.

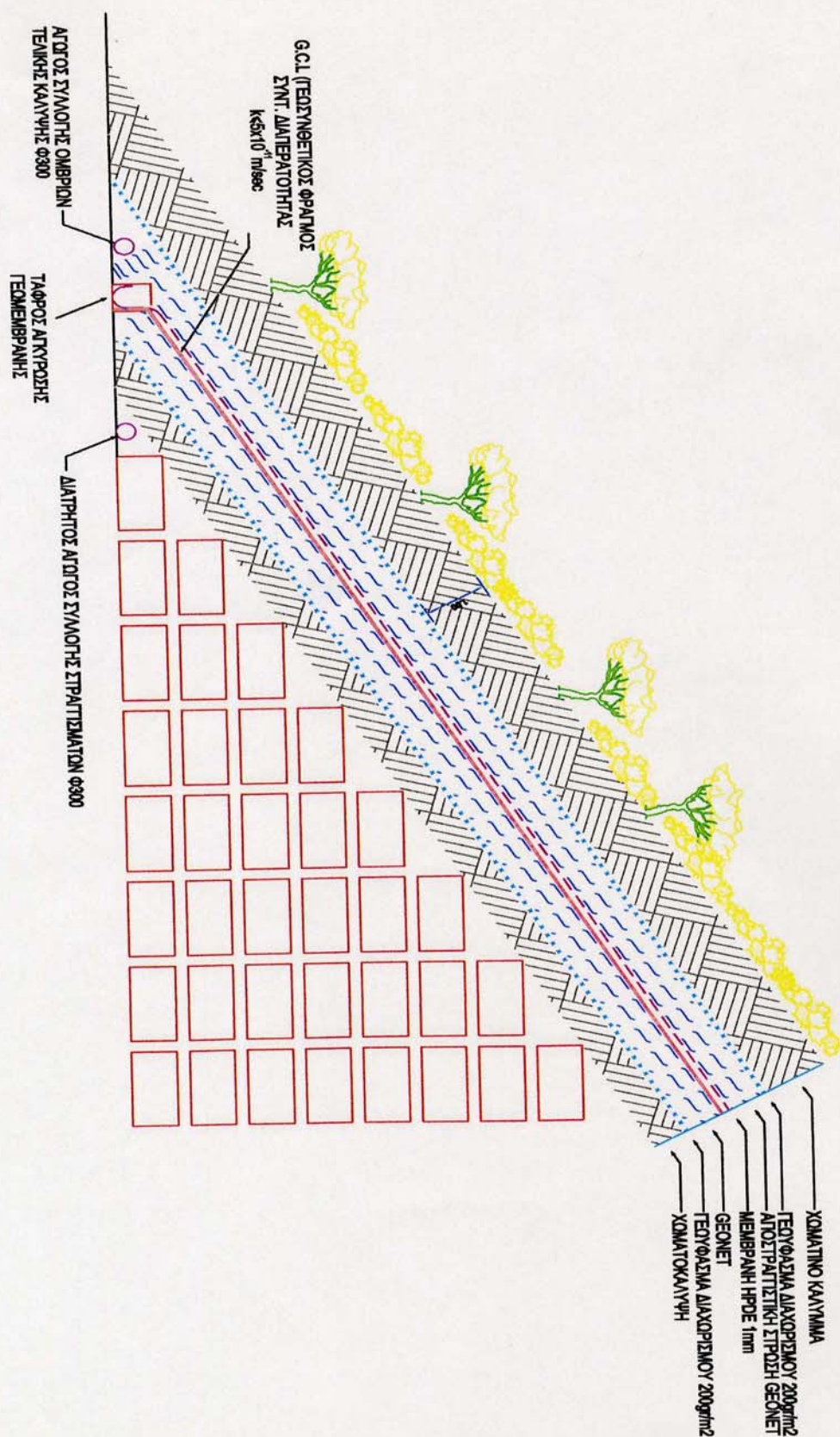
Οι φυτεύσεις έχουν ιδιαίτερη σημασία, επειδή συμβάλλουν στην αισθητική αποκατάσταση του χώρου και στην επανένταξη του στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής. Δεν αρκεί όμως η επιλογή των κατάλληλων φυτικών ειδών επειδή υπάρχουν αρκετοί αρνητικοί παράγοντες που εμποδίζουν την ανάπτυξη των φυτών πάνω σε έναν παλαιό χώρο διάθεσης απορριμμάτων. Οι κυριότεροι από τους παράγοντες αυτούς είναι:

- Η μειωμένη συγκέντρωση οξυγόνου στο έδαφος. Τόσο το μεθάνιο όσο και το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι τα κύρια συστατικά του βιοαερίου, δεν είναι μεν τοξικά, εκτοπίζουν όμως το οξυγόνο από το χώμα, εμποδίζοντας έτσι τα φυτά να αναπτυχθούν.
- Η παρουσία τοξικών αερίων, όπως είναι το υδρόθειο και το μονοξείδιο του άνθρακα, που δηλητηριάζουν τα φυτά ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις.
- Η υψηλή θερμοκρασία.
- Η μεγάλη συμπίεση και τα αμφιβόλου ποιότητας χώματα.

Έτσι, για να μπορέσουν να αναπτυχθούν τα φυτά, πρέπει να αντιμετωπιστούν οι αρνητικοί αυτοί παράγοντες. Μεγάλης σημασίας επομένως ζήτημα είναι η πλήρης και αποτελεσματική κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας των απορριμμάτων, ούτως ώστε το φυτικό υπόστρωμα να μην επηρεάζεται

από τα αέρια και τη θερμοκρασία των απορριμμάτων. Επίσης σημαντική είναι η επιλογή του κατάλληλου φυτοχώματος και η διάστρωση του κατά τρόπο ώστε να ευνοείται η ανάπτυξη των φυτών. Όσον αφορά την επιλογή των φυτικών ειδών, είναι αυτονόητο ότι πρέπει να επιλεγούν τόσο δένδρōδη όσο και θαμνōδη είδη που ευδοκιμούν στην περιοχή, όπως είναι η χαρουπιά, η αγριελιά, το κυπαρίσσι και η δάφνη, ο σχίνος, το θυμάρι, η κουμαριά, η φασκομηλιά αντίστοιχα.

Β. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΠΡΑΝΟΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ



ΣΧΗΜΑ 2

3.3.4 Αποκατάσταση με ταυτόχρονη χρησιμοποίηση του κομπόστ από το εργοστάσιο της Κορακιάς

3.3.4.1 Γενικά για την βιοεπεξεργασία των ΑΣΑ

Τα αστικά απορρίμματα αμέσως μετά την εκφόρτωση τους στη μονάδα υποδοχής των απορριμμάτων εισέρχονται στο χώρο του μηχανικού διαχωρισμού. Στη μονάδα αυτή απομακρύνονται το χαρτί, τα πλαστικά, τα μέταλλα και το γυαλί. Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα καταλήγει στην μονάδα βιολογικής επεξεργασίας που είναι το τελευταίο στάδιο πριν από την τελική τους εδαφική διάθεση και αποτελεί μια βασική εναλλακτική επιλογή στο σύστημα διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων.

Η βιοεπεξεργασία αποσκοπεί στη εκτροπή ή/και στην ανάκτηση κομπόστ (compost) και/ή ενέργειας. Διακρίνεται σε αερόβια (κομποστοποίηση), από την οποία προκύπτει το κομπόστ και σε αναερόβια (χώνευση), από την οποία ανακτάται το βιοαέριο. Στο εργοστάσιο επεξεργασίας απορριμμάτων της Κορακιάς τα απορρίμματα υπόκεινται σε αερόβια επεξεργασία (κομποστοποίηση).

3.3.4.2 Γενικά για την αερόβια επεξεργασία (κομποστοποίηση) των ΑΣΑ

Κομποστοποίηση είναι η ελεγχόμενη (ως προς τον αερισμό, την υγρασία, το λόγο άνθρακα προς άζωτο (C/N), το pH και τη θερμοκρασία) βιοξειδωση ετερογενών οργανικών υλικών, όπου ετερογενείς και κυρίως ετερότροφοι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες) βιοαποδομούν οργανικές ενώσεις. Κύρια

προϊόντα της κομποστοποίησης είναι νερό, διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), αλλά κυρίως το κόμποστ: ένα πλούσιο σε οργανική ουσία υλικό, με υψηλό χουμικό περιεχόμενο. Ανεπιθύμητα παραπροϊόντα είναι οι οσμές, ο θόρυβος, οι σκόνες, παθογόνοι μικροοργανισμοί πτητική οργανική ύλη, στραγγίσματα κ.α. Το κόμποστ χρησιμοποιείται (εφόσον πληροί τις προβλεπόμενες από τη νομοθεσία ποιοτικές προδιαγραφές) ως εδαφοβελτιωτικό (ιδιαίτερα για αμμώδη, αργιλώδη, όξινα, πορώδη και ασβεστώδη εδάφη) ή ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών. Χρησιμοποιείται επίσης ως βιόφιλτρο, ως ηχομονωτικό υλικό, για αναπλάσεις τοπίων, για αποκατάσταση λατομείων, για έλεγχο της διάβρωσης των πρανών κ.τ.λ. Αν στόχος της βιοεπεξεργασίας είναι απλώς η μείωση των ποσοτήτων στο ΧΥΤΑ χωρίς άλλη χρήση για το προϊόν, τότε αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάλυψη των ημερησίων κελιών του ΧΥΤΑ (οπότε η ποιότητά του δεν έχει σημασία). Κατά την διεργασία κομποστοποίησης, έχουμε απώλεια μάζας της τάξης του 50%.

Όσον αφορά τα στάδια της κομποστοποίησης, το πρώτο στάδιο αφορά τη βιοσταθεροποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος και γίνεται με προσθήκη ειδικών υλικών (συνήθως ιλύος που προέρχεται από βιολογικούς καθαρισμούς και κλαδιά). Στη συνέχεια το μίγμα αναδεύεται περιοδικά για τέσσερις (4) έως έξι (6) βδομάδες. Η προσθήκη των ειδικών υλικών γίνεται με στόχο τη διατήρηση του λόγου άνθρακα / αζώτου (C/N). Μετά την βιοσταθεροποίηση ακολουθούν δυο ακόμα αναγκαία στάδια για την παραγωγή του τελικού προϊόντος: η ωρίμανση και το στάδιο του εξευγενισμού. Στη μονάδα της ωρίμανσης λαμβάνουν χώρα διεργασίες χουμοποίησης, όπου το υλικό, τοποθετημένο σε

υπόστεγο, σε σωρούς, ή σειράδια (όπως γίνεται στο εργοστάσιο κομποστοποίησης στην Κορακιά) ύψους μέχρι έξι (6) μέτρων, αποκτά ιδιότητες εμφάνισης και οσμής που διευκολύνουν την αποδοχή του για γεωργικές χρήσεις. Στη μονάδα εξευγενισμού, το προϊόν καθαρίζεται με μηχανικούς διαχωριστές από ξένες προσμίξεις (αδρανή, χαρτί, χαλίκια, πλαστικά κ.α.) καθώς και από μη αποδομημένα οργανικά (πλαστικά, λάστιχα, συνθετικές ίνες από υφάσματα, μη επαρκώς τεμαχισμένο χαρτί κ.τ.λ.), η απομάκρυνση των οποίων αποτελεί σημαντικό πρακτικό πρόβλημα. Στο εργοστάσιο κομποστοποίησης στην Κορακιά ο εξευγενισμός γίνεται με κόσκινα τύπου flip-flop και διάταξη συνδυασμένου αεροδυναμικού και βαλιστικού διαχωρισμού. Στη συνέχεια το κόμποστ αποθηκεύεται ή συσκευάζεται ώστε να οδηγηθεί στην αγορά.

3.3.4.3 Ποιοτική ανάλυση του κόμποστ της Κορακιάς

Το κόμποστ για να μπορεί σύμφωνα με τη νομοθεσία (ΚΥΑ 114218/31.10.97) να είναι διαθέσιμο για οποιαδήποτε χρήση πρέπει να πληρεί ορισμένες ποιοτικές προϋποθέσεις. Για το λόγο αυτό έγιναν αναλύσεις σε δυο δείγματα κόμποστ που βρίσκονταν στο στάδιο της ωρίμανσης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι αναλύσεις αυτές είναι οι standar αναλύσεις που γίνονται στο κόμποστ σύμφωνα με τη νομοθεσία και είναι η αγωγιμότητα, η στοιχειακή ανάλυση (περιεχόμενος άνθρακας, άζωτο, υδρογόνο και θείο) και η περιεκτικότητά του σε βαρέα μέταλλα. Οι εργαστηριακές αναλύσεις που αφορούσαν την αγωγιμότητα και το pH έγιναν με τις μεθόδους που περιγράφονται στην διπλωματική του Φωτεινή Σπύρου. Η στοιχειακή ανάλυση

του κόμποστ έγινε με το στοιχειακό αναλυτή. Η διαδικασία συνοπτικά έχει ως εξής: αφού το δείγμα ξηρανθεί στους 100 °C για μια μέρα και αλεθεί με το μύλο ζυγίζεται ποσότητα 1 mg που τοποθετείται σε ειδική κάψα από κασσίτερο. Η κάψα με τη σειρά της τοποθετείται στον στοιχειακό αναλυτή ο οποίος βασισμένος στη θεωρία της αρχής της αέριας χρωματογραφίας δίνει τα αποτελέσματα. Τέλος έγιναν μετρήσεις των βαρέων μετάλλων στο εργαστήριο αναλυτικής χημείας (μέθοδος XRF) με υπεύθυνο τον κ. Νίκο Καλλίθρακα. Τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων αναλύσεων δίνονται παρακάτω.

Μέτρηση	Δείγμα Δ	Δείγμα Σ7
pH	8,54	8,25
Αγωγιμότητα (mS/cm)	5,03	7,94
Άζωτο N %	2,22	1,79
Ανθρακας C %	24,02	30,92
Υδρογόνο H %	2,80	3,89
Θείο S %	Πολύ μικρό	Πολύ μικρό
Νικέλιο (mg/kg)	17	18
Χαλκός (mg/kg)	47	50
Μόλυβδος (mg/kg)	40	35
Ψευδάργυρος (mg/Kg)	91	68
Σίδηρος %	0,13	0,09
Βρώμιο (mg/kg)	4	6
Μαγγάνιο (mg/kg)	8	7

Πίνακας 5: Αποτελέσματα αναλύσεων κόμποστ

Μέτρηση	Ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά
Κάδμιο (mg/Kg)	10
Χαλκός (mg/Kg)	500
Νικέλιο (mg/Kg)	200
Μόλυβδος (mg/Kg)	500
Χρώμιο 3 (mg/Kg)	500
Χρώμιο 4 (mg/Kg)	10
Ψευδάργυρος (mg/Kg)	2000
Αρσενικό (mg/Kg)	15
Υδράργυρος (mg/Kg)	5
pH	6 – 8
Κοκκομετρική διαβάθμιση για το 90 % κατά βάρος μέγεθος	< 10 mm

Πίνακας 6: Ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής – κομποστοποίησης

Από τα αποτελέσματα και τη σύγκρισή τους με τα ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής – κομποστοποίησης διαπιστώνεται ότι το παραγόμενο από το εργοστάσιο της Κορακιάς κόμπποστ τηρεί τα απαιτούμενα αφού:

- ως προς την κοκκομετρία του, το ώριμο κομπόστ είναι εξαιρετικά λεπτόκοκκο < 6,3 mm σε ποσοστό 80% περίπου κατά βάρος
- το ώριμο κομπόστ είναι πλούσιο σε οργανική ουσία (στερεά πτητικά)

- η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) διαμορφώνεται σε χαμηλά σχετικά επίπεδα για κομπόστ απορριμμάτων
- η σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N) είναι αρκετά χαμηλή
- η περιεκτικότητά του σε βαριά μέταλλα βρίσκεται κάτω των επιτρεπτών ορίων

Άρα το κόμποστ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην πρόταση αποκατάστασης που αναφέρεται παρακάτω.

3.3.4.4 Εναλλακτική πρόταση αποκατάστασης

Η βέλτιστη πρόταση από οικονομικής και περιβαλλοντικής σκοπιάς κατά την άποψη των συντακτών συμβαδίζει με τα πρότυπα που οριοθετεί η ΚΥΑ 114218/31.10.97 και είναι η ακόλουθη:

- Αρχικά θα πρέπει να γίνει η εξομάλυνση του υπάρχοντος απορριμματικού ανάγλυφου. Η κλίση πρέπει να είναι τουλάχιστον 3% με κατεύθυνση προς την παρακείμενη χαράδρα. Οι συγκεντρωμένες ποσότητες λυματολάσπης θα πρέπει να αναμειχθούν με υπάρχον ή αν κριθεί απαραίτητο με επιπλέον χώμα. Με αυτό τον τρόπο θα επιτευχθεί η αύξηση της συνεκτικότητας του εδάφους και θα αποφευχθεί ο τοπικός κορεσμός του εδάφους που οφείλεται στη συγκεντρωμένη κατά τόπους λυματολάσπη.
- Διαχείριση στραγγισμάτων και βιοαερίου. Η διαχείριση θα γίνει με τον τρόπο που αναφέρθηκε στην πρόταση της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α.
- Η κατασκευή μονωτικής στρώσης. Η μονωτική στρώση είναι απαραίτητη για την αποφυγή ή την ελαχιστοποίηση των στραγγισμάτων που δύναται

να παραχθούν από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις. Η καινοτομία της πρότασης αυτής συνίσταται στο γεγονός ότι προτείνεται να χρησιμοποιηθεί σαν μονωτική στρώση ένα μίγμα κόμποστ και χώματος. Το κόμποστ που θα χρησιμοποιηθεί προέρχεται από το παρακείμενο εργοστάσιο επεξεργασίας και ανακύκλωσης απορρίμματα της Κορακιάς. Έχει ελεγχθεί και βρέθηκε κατάλληλο για χρήση όπως αναφέρεται παραπάνω, ενώ και από οικονομικής πλευράς είναι η βέλτιστη λύση. Η χρήση του αναφερθέντος μίγματος έχει τα εξής πλεονεκτήματα: α) αυξάνει τη γονιμότητα του στρώματος γιατί αφενός το μίγμα αυτό είναι πλούσιο σε οργανικό υλικό και αφετέρου η υδροχωριτικότητα του είναι αυξημένη, παράγοντες που είναι απαραίτητοι που απαιτείται για την ανάπτυξη βλάστησης β) το μίγμα αυτό σύμφωνα με ενδείξεις από πειραματικές διατάξεις που βρίσκονται σε εξέλιξη στη χωματερή του νομού Ηρακλείου (Φόδελε) είναι πιθανό να περιέχει μικροοργανισμούς που καταναλώνουν ποσότητα βιοαερίου. Η ακριβής αναλογία του μίγματος χώματος – κόμποστ θα καθοριστεί μετά το πέρας των πειραμάτων που αναφέρθησαν παραπάνω.

- Η απαγωγή των όμβριων. Εφόσον έχει κατασκευαστεί η κατάλληλη μονωτική στρώση που ελαχιστοποιεί ή εκμηδενίζει τις εισαγωγές κατακρημνισμάτων στο εσωτερικό του απορριμματικού χώρου τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μπορούν να οδηγηθούν με φυσικό τρόπο, λόγω βαρύτητας, εξαιτίας της δοθείσας κλίσης στην παρακείμενη χαράδρα.

- Η στρώση ανάπτυξης πρασίνου, η οποία θα επιτευχθεί μέσω της φυσικής επανένταξης του χώρου.
- Τέλος θα πρέπει να γίνει κατάλληλη περιφράξη και σήμανση του χώρου.

3.4 Βιβλιογραφία

1. ‘ Μελέτη αποκατάστασης του χώρου εναπόθεσης δεματοποιημένων απορριμμάτων στη θέση Μεσομούρι Ακρωτηρίου Χανίων ’ του τμήματος μελετών & τεκμηρίωσης και της διεύθυνσης προγραμματισμού & Δ.Π.Ε. της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Χανίων.
2. Σημειώσεις του μαθήματος ‘ Έλεγχος ρύπανσης νερών ’ του κ. Αλέξανδρου Π. Οικονομόπουλου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
3. Σημειώσεις του μαθήματος ‘ Χημεία και έλεγχος ρύπανσης ατμόσφαιρας ’ του κ. Αλέξανδρου Π. Οικονομόπουλου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
4. Σημειώσεις του μαθήματος ‘ Διαχείριση και επεξεργασία αστικών απορριμμάτων ’ του κ. Ευάγγελου Γιδαράκου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
5. Σημειώσεις του μαθήματος ‘ Σχεδιασμός σταθμών μεταφόρτωσης και χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ’ του κ. Ευάγγελου Γιδαράκου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
6. ‘ Επικίνδυνα απόβλητα: διαχείριση, επεξεργασία και διάθεση ’ του κ. Ευάγγελου Γιδαράκου (καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης).
7. ‘ Βιώσιμη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων ’ του Δημήτριου Χ. Παναγιωτακόπουλου (καθηγητής Πανεπιστημίου Θράκης).

8. Διπλωματική εργασία του Κ. Μαυρόπουλου με επιβλέπων τον κ. Παντελή Σουπιό (καθηγητής του Τ.Ε.Ι. Χανίων στο τμήμα Φυσικών Πόρων) με θέμα ' Ανάπτυξη σύγχρονων μεθοδολογιών σε Χ.Υ.Τ.Α. '.
9. 'Ατμοσφαιρική ρύπανση: επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες' του Ιωάννη Β. Γεντεκάκη.
10. Διαδίκτιο (internet).
11. Σκορδίλης Α., 2001, «Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων Αποβλήτων».
12. Μανιός Θ., 2001, «Σημειώσεις στο μάθημα Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων».
13. Γενειατάκης Μ, 2004, «In situ μετρήσεις βιοαερίου και εκτίμηση ανεξέλεγκτων εκπομπών CH₄ στο χώρο διάθεσης απορριμμάτων (Χ.Δ.Α.) Πέρα Γαλήνων Ηρακλείου».
14. G.Tsokas, P.Soupios, P.Tsourlos, G. Vargemezis, A. Savvaidis, C. Paliadeli- Saatsoglou, S.Drougou, 1999, Geophysical investigations in the area between Eukleia's temple and the theater in ancient Aegae (Verghina) using various methods, Physics in Culture, Ed. K. Paraskevopoulos, An Aristotle University Publication ISBN 960-243-573-9.
15. Tsourlos P.(1995). Modeling interpretation and inversion of multielectrode earth resistivity data-sets. D.Phil. Thesis. University of York.
16. Tsourlos P., and Szymanski J. (1995). Self-correcting approaches to the inversion of resistive tomography field survey data. Poster presented at

the Archaeological Prospection Conference, University of Bradford, U.K.,
12-13 September, 1995.

17. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., κλπ (1996): «Γεωλογική και Υδρογεωλογική έκθεση του υποψήφιου ΧΥΤΑ της Ν. Α. Χανίων, στη θέση Στρογγυλό Κεφάλι». Ν. Α. Χανίων.
18. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., κλπ (1997): «Γεωλογική και Υδρογεωλογική έρευνα για την προστασία των ρευμάτων και των υπογείων υδροφορέων από τις πιθανές επιπτώσεις λόγω λειτουργίας του ΧΥΤΑ στη θέση Στρογγυλό Κεφάλι». Ν. Α. Χανίων.
19. Μελέτη διαχείρισης διασταλαγμάτων Χ.Υ.Τ.Α / Μάχος Γεώργιος, Αποστολόπουλος Σπυρίδων.
20. Αναλυτική χημεία / Καλλίθρακας – Κόντος Νικόλαος
21. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων: αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα / Γρηγόριος Π. Μαρκαντωνάτος.
22. Οδηγία 86/278/ΕΕ
23. ΚΥΑ 114218/31.10.97