



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Αποκατάσταση χώρου διάθεσης μεταλλευτικών
απορριμμάτων στη θέση Καβοδόκανος, στην περιοχή
του Λαυρίου**

Διπλωματική Εργασία

Μπαλατσούκας Ηλίας

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Μαρία Μενεγάκη, Αν. Καθηγήτρια

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Αποκατάσταση χώρου διάθεσης μεταλλευτικών
απορριμμάτων στη θέση Καβοδόκανος, στην περιοχή
του Λαυρίου**

Διπλωματική Εργασία

Μπαλατσούκας Ηλίας

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Μαρία Μενεγάκη, Αν. Καθηγήτρια

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 2/10/2019

Δ. Καλιαμπάκος, Καθηγητής(Υπογραφή)

Δ. Δαμίγος, Καθηγητής(Υπογραφή)

Μ. Μενεγάκη, Αν. Καθηγήτρια(Υπογραφή)

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	10
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	12
ABSTRACT	12
Κεφάλαιο 1. Περιοχή Εξέτασης – Ιστορική Καταγραφή	13
1.1 Περιοχή εξέτασης.....	13
1.2 Ιστορική αναδρομή	17
1.2.1 Το Αρχαίο Λαύριο.....	17
1.2.2 Η Σύγχρονη Εποχή.....	17
1.3 Απόβλητα της Μεταλλουργικής Διαδικασίας	19
1.3.1 Απόβλητα Εμπλουτισμού/Επίπλευσης.....	20
1.3.2 Πυριτιούχα Απόβλητα.....	22
1.3.3 Σκωρίες.....	22
Κεφάλαιο 2. Καταγραφή του προβλήματος- Χαρακτηρισμός/Ταυτοποίηση των αποβλήτων	24
2.1 Ιστορικά/Βιβλιογραφικά Στοιχεία.....	24
2.2 Γεωφυσικές διασκοπήσεις	29
2.2.1 Γεωηλεκτρικές τομές	29
2.3 Δειγματοληψία	33
2.4 Επεξεργασία Δειγμάτων και Χημικές Αναλύσεις.....	33
2.5 Όρια και Πρότυπα	35
2.6 Χαρακτηρισμός/Ταυτοποίηση Αποβλήτων εντός της περιοχής ενδιαφέροντος ..	36
2.6.1 Πολυμορφία Μετάλλων.....	36
2.6.2 Χαρακτηρισμός αποβλήτων	37
Κεφάλαιο 3. Τεχνολογίες Εξυγίανσης - Αποκατάστασης Εδαφών	41
3.1 Γενικά-Ορισμοί.....	41
3.2 Κριτήρια Επιλογής Μεθοδολογιών - Προεργασία Εξυγίανσης.....	42
3.3 Βασικά Χαρακτηριστικά Τεχνολογιών Εξυγίανσης – Αποκατάστασης Εδαφών.....	43
3.3.1 Φυσικές Μέθοδοι.....	43
3.3.2 Χημικές Μέθοδοι	44
3.3.3 Βιολογικές Μέθοδοι	45

3.3.4 Θερμικές Μέθοδοι	45
3.3.5 Τεχνολογίες Κάλυψης / Απομόνωσης	47
3.3.6 Άλλες Μέθοδοι	52
3.4 Σύγκριση Τεχνολογιών Εξυγίανσης με Βάση το Εκτιμώμενο Κόστος	53
3.5 Παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων που εξετάστηκαν για τον χώρο - Προτεινόμενες παρεμβάσεις.....	55
3.5.1 Αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων για την εξυγίανση της περιοχής μελέτης	55
3.5.2 Εναλλακτικό σενάριο 1: Καμία επέμβαση στο χώρο (Μηδενική λύση).....	56
3.5.3 Εναλλακτικό σενάριο 2: Εφαρμογή τεχνικής κάλυψης των μεταλλουργικών αποβλήτων	56
3.5.4 Εναλλακτικό σενάριο 3: Εφαρμογή τεχνικής απομόνωσης των μεταλλουργικών αποβλήτων (Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε.).....	58
Κεφάλαιο 4. Σχεδιασμός σκάφης- τελικής διαμόρφωσης, ογκομετρήσεις.....	58
4.1 Εισαγωγή: Βασικές πληροφορίες για το πρόγραμμα σχεδίασης.....	58
4.2 Εκκίνηση σχεδιασμού	59
4.3 Εναλλακτικά σχέδια κατασκευής Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. και επιλογή του κατάλληλου	61
4.4 Σχεδιασμός τελικής διαμόρφωσης	68
4.5 Δημιουργία οπτικογραφήματος (video) των διεργασιών του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε.....	71
Κεφάλαιο 5. Εκτίμηση κόστους εργασιών	74
5.1 Έργα τελικής κάλυψης πλατειών	76
5.1.1 Στρώση εξομάλυνσης	76
5.1.2 Στρώση Στεγανοποίησης.....	76
5.1.3 Στρώση αποστράγγισης ομβρίων	79
5.1.4 Γεώφασμα διαχωρισμού – Συγκράτησης λεπτόκοκκων	79
5.1.5 Στρώση επιφανείας	80
5.2 Έργα τελικής κάλυψης πρανών με κλίση >1:3.....	80
5.2.1 Γεωσυνθετική στρώση μπετονίτη GCL.....	81
5.2.2 Γεωμεμβράνη	81
5.2.3 Γεώφασμα προστασίας	84
5.2.4 Γεωσυνθετική Αποστραγγιστική Στρώση	84
5.3 Κόστος εκσκαφών- μεταφοράς- Συνολικό κόστος.....	89
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα	91

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	93
Ξενόγλωσση	93
Ελληνική.....	94
Ιστοσελίδες.....	94

“Pain and suffering are always inevitable
for a large intelligence and a deep heart.
The really great men must,
I think,
have great sadness on earth.”

— Fyodor Dostoevsky, Crime and Punishment

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα Μαρία Μενεγάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π., για το ενδιαφέρον θέμα διπλωματικής εργασίας που μου εμπιστεύτηκε, αλλά πρωτίστως για την διαρκή της επιστημονική καθοδήγηση, για την αμέριστη υποστήριξή και την υπομονή που επέδειξε σε κάθε επίπεδο και βήμα μέχρι την περαίωση της προσπάθειάς μου και την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Κατόπιν, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Τάσο Καλλιανιώτη, από το εργαστήριο περιβαλλοντικών μελετών, για την τεράστια βοήθεια που μου παρείχε στο κομμάτι της διπλωματικής, αναφορικά με το 3d studio max. Οι συμβουλές και οι γνώσεις του, συνέβαλαν άμεσα στην δημιουργία ενός βίντεο υψηλής αισθητικής, που ικανοποιεί και τον πιο απαιτητικό θεατή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο Βασίλη Πρωτονοτάριο, ο οποίος με τη σειρά του βοήθησε στην περαίωση της διπλωματικής εργασίας, με τις πολύτιμες συμβουλές του και τα στοιχεία που μου παρείχε, όσον αφορά της τεχνικές μελέτες και τις νομοθεσίες που τις αφορούν.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για όσα μου έχει προσφέρει με τεράστια αυταπάρνηση, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και της ζωής μου, για τις αξίες, το ήθος και την αξιοπρέπεια που την χαρακτηρίζει. Ευχαριστώ επίσης και τους φίλους εκείνους που βοήθησαν εν τελεί, με τον τρόπο τους, να είμαι κάτι για το οποίο να νιώθω στο ελάχιστο περήφανος.

Ιδιαίτερη μνεία, αξίζει στους ανθρώπους της σχολής εκείνους, που περάσαμε μαζί τα χρόνια αυτά, ανταλλάξαμε ιδέες, γελάσαμε και με βοηθήσανε επίσης με τον τρόπο τους. Τους ευχαριστώ και ελπίζω να μπορούν να πουν το ίδιο.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες το πρόβλημα των ρυπασμένων εδαφών που προέρχονται από παρελθούσες, ως επί το πλείστον, μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες είναι μεγάλο. Η αστική εξάπλωση, η αύξηση του πληθυσμού αλλά και το υψηλό κόστος της γης, οδηγεί στην ανάγκη χρήσης ιδιαίτερα ρυπασμένων εκτάσεων για οικιστικούς σκοπούς αλλά και σκοπούς αναψυχής, γεγονός που δημιουργεί τεράστιους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, υποβαθμίζοντας παράλληλα το επίπεδο ζωής. Η περιοχή του Καβοδόκανου, που βρίσκεται στο Δήμο Λαυρεωτικής, αλλά και η ευρύτερη της Λαυρεωτικής, συνιστούν μία κλασική περίπτωση ρύπανσης από συγκεκριμένη μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα του παρελθόντος και αποτελούν πεδίο μελέτης αναφορικά με τη δυνατότητα εφαρμογής πρακτικών και μεθοδολογιών εξυγίανσης - αποκατάστασης των εδαφών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής της τεχνικής απομόνωσης των ρυπασμένων εδαφών στη συγκεκριμένη περιοχή με τη δημιουργία ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής Ρυπασμένων Εδαφών (X.Y.T.P.E.).

Στο πρώτο κεφάλαιο παραγματοποιείται μία ιστορική αναδρομή σχετικά με τη δραστηριότητα που έλαβε χώρα στην περιοχή από την αρχαιότητα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η έκταση του προβλήματος και δίνεται ο χαρακτηρισμός των αποβλήτων που έχουν αποθεθεί στην περιοχή με βάση σχετική μελέτη του Εργαστηρίου Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται οι τεχνικές εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών σε διεθνές επίπεδο και περιγράφονται τα εναλλακτικά σενάρια εξυγίανσης για τη περιοχή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η προτεινόμενη διαμόρφωση του χώρου για την εφαρμογή της τεχνικής απομόνωσης με βάση το σχεδιασμό που πραγματοποιήθηκε στο μεταλλευτικό πρόγραμμα SURPAC. Ακολούθησε η δημιουργία οπτικογραφήματος (video) των προτεινόμενων εργασιών με χρήση του λογισμικού 3D Studio Max.

Στο πέμπτο κεφάλαιο δίνεται η κοστολόγηση του έργου.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο αξιολογείται η δυνατότητα εφαρμογής της συγκεκριμένης λύσης σε σχέση και με τα υπόλοιπα σενάρια που έχουν εξετασθεί σε σχετική μελέτη του Εργαστηρίου Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής της τεχνικής απομόνωσης των ρυπασμένων εδαφών στην περιοχή θέση «Καβοδόκανος», του Δήμου Λαυρεωτική.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, μετά από μια σύντομη παρουσίαση της ιστορίας της περιοχής, των προβλημάτων που αντιμετωπίζει λόγω των ρύπων και των πρακτικών και μεθοδολογιών εξυγίανσης- αποκατάστασης των εδαφών που εφαρμόζονται διεθνώς, εξετάζεται ως προς την δυνατότητα της εφαρμογής της, η τεχνική απομόνωσης των ρυπασμένων εδαφών στη συγκεκριμένη περιοχή με τη δημιουργία ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής Ρυπασμένων Εδαφών (Χ.Υ.Τ.Π.Ε.).

Με την χρήση ειδικού μεταλλευτικού λογισμικού, του SURPAC σχεδιάστηκε η προτεινόμενη διαμόρφωση του χώρου και δημιουργήθηκε τρισδιάστατο μοντέλο του χώρου το οποίο στη συνέχεια οπτικοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού 3D Studio Max, καθιστώντας ευκολότερη τη σύλληψη του όλου εγχειρήματος. Ακολούθησε η κοστολόγηση του έργου. Τέλος παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου, εν συγκρίσει με εναλλακτικούς τρόπους εξυγίανσης.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to investigate the feasibility of applying the technical isolation of contaminated soils in the area of "Kavodokanos", Municipality of Lavreotiki.

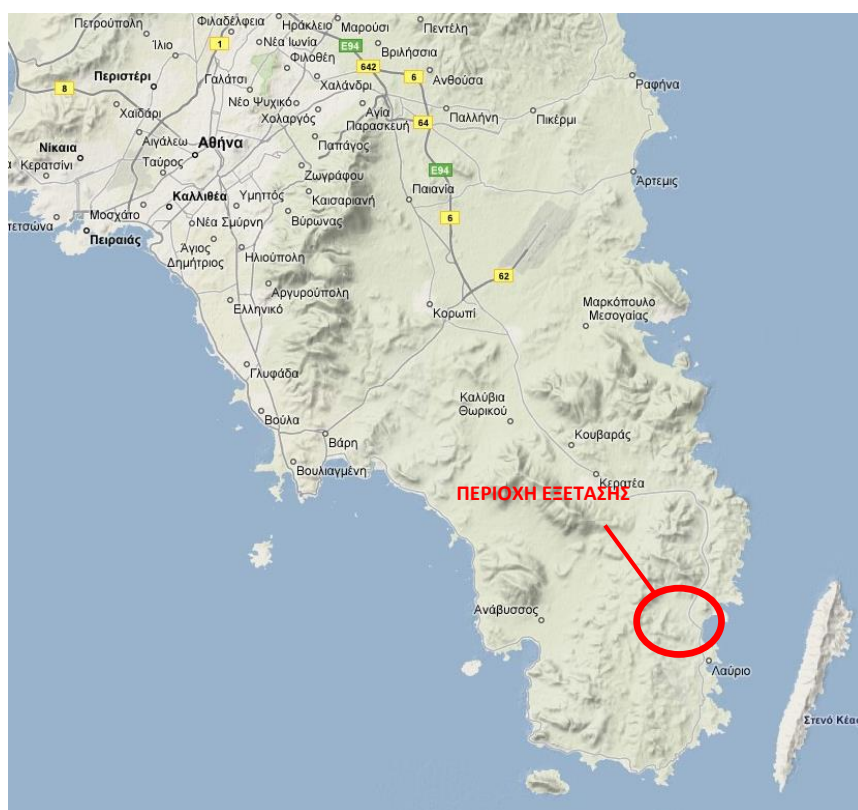
In the context of the thesis, after a brief presentation of the history of the area, the problems it faces due to pollutants and the practices and methodologies of land remediation-restoration that are applied internationally, the potential for the isolation of contaminated soils in the area is examined through the development of a Contaminated Soil Sanitary Landfill.

By the use of the specialized mining software, SURPAC, the proposed area configuration has been designed. Then a three-dimensional space model has been created which was then visualized using 3D Studio Max software, making it easier to comprehend the whole project. The cost analysis of the project followed. Finally, the advantages and disadvantages of this method are presented, compared to alternative ways of remediation.

Κεφάλαιο 1. Περιοχή Εξέτασης – Ιστορική Καταγραφή

1.1 Περιοχή εξέτασης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη θέση «Καβοδόκανος», της Δημοτικής Ενότητας Λαυρίου, του Δήμου Λαυρεωτικής, της Περιφερειακής Ενότητας Ανατολικής Αττικής, της Περιφέρειας Αττικής (Σχήμα 1). Στην εν λόγω περιοχή, η οποία είναι ιδιοκτησία του Δήμου Λαυρεωτικής υφίσταται μια εκτεταμένη απόθεση μεταλλουργικών σκωριών και αποβλήτων (Σχήμα 2).

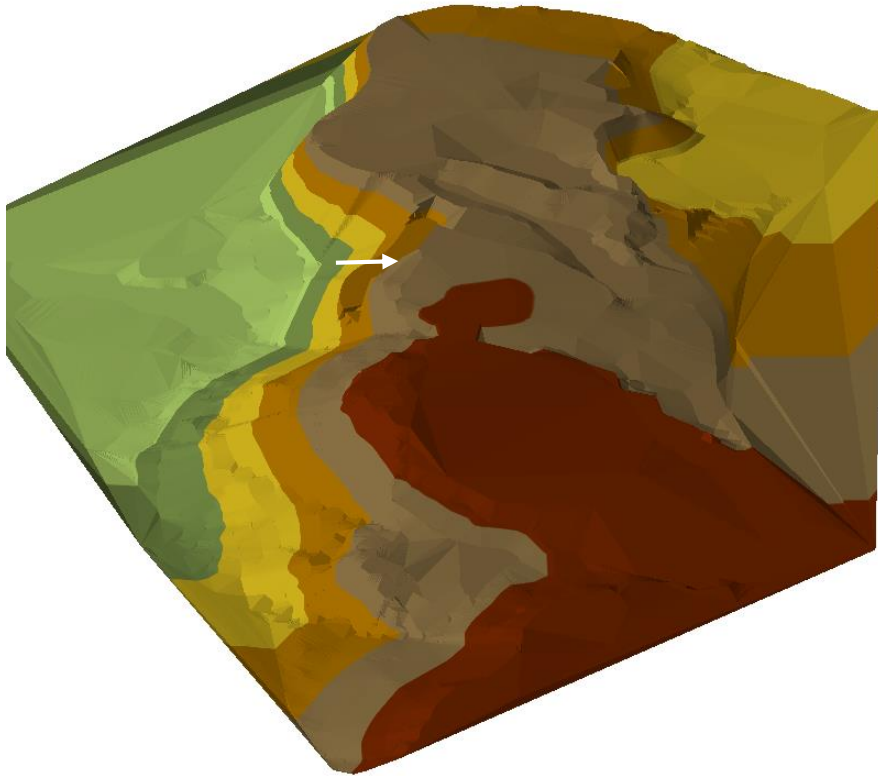


Σχήμα 1. Χάρτης της ευρύτερης περιοχής εξέτασης

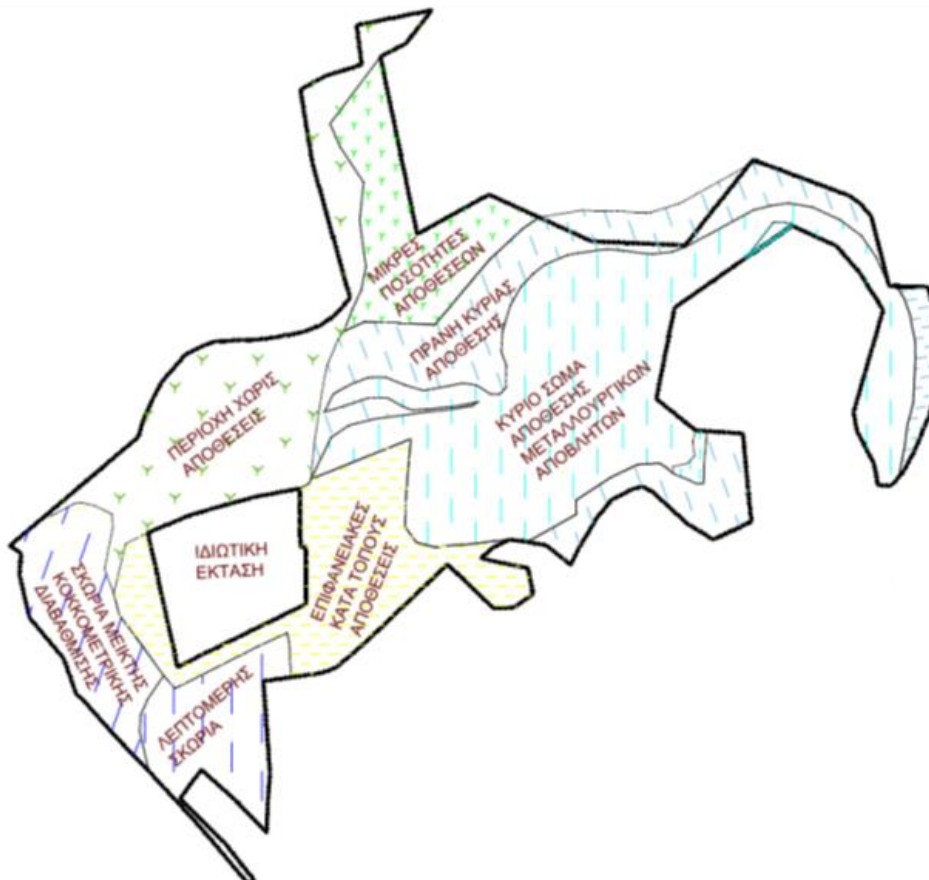


Σχήμα 2. Άποψη της υπό μελέτη περιοχής

Η έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος είναι περίπου 104 στρέμματα, από τα οποία τα 50 περίπου καταλαμβάνονται από το κύριο σώμα της απόθεσης των μεταλλουργικών αποβλήτων. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η υφιστάμενη μορφή του χώρου σε ψευδο-τριδιάστατη απεικόνιση. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των αποθέσεων των μεταλλουργικών αποβλήτων εντός της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 3. Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση της υφιστάμενης μορφή του χώρου



Σχήμα 4. Χωροταξική κατανομή των μεταλλουργικών αποβλήτων εντός της περιοχής μελέτης

Η περιοχή του Καβοδόκανου, αλλά και η ευρύτερη της Λαυρεωτικής, συνιστούν μία κλασική περίπτωση ρύπανσης από συγκεκριμένη μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα του παρελθόντος και αποτελούν πεδίο μελέτης αναφορικά με τη δυνατότητα εφαρμογής πρακτικών και μεθοδολογιών εξυγίανσης - αποκατάστασης των εδαφών. Η μελέτη για την εξυγίανση της εν λόγω περιοχής παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους κάτωθι λόγους:

- Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες το πρόβλημα των ρυπασμένων εδαφών που προέρχονται από παρελθούσες, ως επί το πλείστον, μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες είναι οξύτατο. Η αστική εξάπλωση, η αύξηση του πληθυσμού αλλά και το υψηλό κόστος της γης, οδηγεί στην ανάγκη χρήσης ιδιαίτερα ρυπασμένων εκτάσεων για οικιστικούς σκοπούς αλλά και σκοπούς αναψυχής, γεγονός που δημιουργεί τεράστιους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, υποβαθμίζοντας παράλληλα το επίπεδο ζωής. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και στην περιοχή του Λαυρίου αλλά και του οικισμού του Καβοδόκανου, όπου κανείς συναντά κατοικίες κτισμένες πλάι σε σωρούς σκωριών και πυριτών.
- Η μεταλλουργική και μεταλλευτική βιομηχανία, όπως αυτή αναπτύχθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Λαυρεωτικής, θεωρείται, σε παγκόσμια κλίμακα, ίσως η σημαντικότερη πηγή ρύπανσης των εδαφών, ιδιαίτερα αναφορικά με τα βαρέα μέταλλα.
- Το μεγάλο κόστος που σχετίζεται με την απορρύπανση των εδαφών είτε διαιωνίζει το πρόβλημα είτε οδηγεί σε προσωρινές και αμφιβόλου ποιότητας και αποτελεσματικότητας λύσεις. Είναι μάλλον επιτακτική η ανάγκη για διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων αποκατάστασης/εξυγίανσης των εδαφών, με τελικό στόχο την αποτελεσματικότητα αλλά και την μείωση του κόστους.
- Το Λαύριο αποτελεί μια περιοχή που πληρώνει βαρύ το τίμημα της ανεξέλεγκτης εκβιομηχάνισης και της μη πρόνοιας προστασίας του περιβάλλοντος. Επιπλέον, το είδος και τα επίπεδα της ρύπανσης που απαντώνται στην περιοχή θεωρούνται τυπικά εκείνων που αφήνει πίσω της μια βαριά μεταλλευτική-μεταλλουργική βιομηχανία (σκωρίες, θειούχα και οξειδωμένα απόβλητα, φτωχά συμυκνώματα κ.λπ.). Σε κάθε περίπτωση, η μελέτη και υλοποίηση νέων αλλά και κλασικών τεχνολογιών αποκατάστασης/εξυγίανσης μπορεί να είναι εφαρμόσιμη σε πολλές περιοχές με παρεμφερή επίπεδα και είδη ρυπαντών.
- Τα περισσότερα από τα μέταλλα και μεταλλοειδή που απαντώνται στα εδάφη του Λαυρίου συμπεριλαμβανομένης της περιοχής μελέτης, είναι υψηλού «οικολογικού κινδύνου» εξαιτίας της τοξικότητάς τους, αναφορικά με τα θηλαστικά, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, αλλά και της συσσωρευτικής τους δράσης.
- Πλησίον της περιοχής μελέτης βρίσκεται ο χώρος των εγκαταστάσεων της παλιάς Γαλλικής Εταιρείας Μεταλλείων Λαυρίου, ο οποίος χρησιμοποιείται στις μέρες μας ως Τεχνολογικό Πάρκο. Το γεγονός αυτό αναβαθμίζει σημαντικότερα την εν λόγω περιοχή αλλά και καθιστά ακόμη πιο επιτακτική την ανάγκη για την απορρύπανση και αποκατάσταση των εδαφών της.
- Όπως καταδεικνύεται από μελέτες ποιότητας της ατμόσφαιρας (Protonotarios et al, 2002) αλλά και την εφαρμογή μοντέλων εκτίμησης κινδύνου για την εν λόγω

περιοχή, το έδαφος της περιοχής μελέτης συνιστά επιπλέον κινδύνους για την ασφάλεια και την ποιότητα ζωής των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα ορυκτά στην ευρύτερη περιοχή της Λαυρεωτικής είναι ο *γαληνίτης* (PbS/87% μόλυβδος), ο *σφαλερίτης* (ZnS/55-67% Ψευδάργυρος), ο *κερουσίτης* (PbCO₃/73% μόλυβδος) και ο *σμιθσονίτης* (ZnCO₃/55% Ψευδάργυρος) και ο *σιδηροπυρίτης* (FeS₂). Το σύνολο των μικτών θειούχων μεταλλευμάτων καλείται και B.P.G. από τα αρχικά γράμματα των *blende* (σφαλερίτης), *pyrite* (σιδηροπυρίτης), *galena* (γαληνίτης).

Η μεταλλοφορία αναπτύσσεται κύρια στις επαφές μαρμάρων και σχιστόλιθων. Οι σημαντικότερες μεταλλοφόρες επαφές είναι τρεις:

- Η πρώτη στην επαφή ανώτερου μαρμάρου και επωθημένου συστήματος
- Η δεύτερη στην επαφή ανώτερου μαρμάρου και σχιστόλιθου Καισαριανής
- Η τρίτη στην επαφή κατώτερου μαρμάρου και σχιστόλιθου Καισαριανής

1.2.1 Το Αρχαίο Λαύριο

Η Λαυρεωτική στην αρχαιότητα ανήκε στην πόλη – κράτος των Αθηνών, από τον καιρό που το κράτος αυτό άρχισε να δημιουργείται (Κονοφάγος, 1980). Τα μεταλλεύματα αργυρούχου μολύβδου της Λαυρεωτικής είναι μεταλλεύματα οξειδωμένου μολύβδου ή θειούχου μολύβδου. Η περιεκτικότητα του αργύρου στο εν λόγω μέταλλευμα κυμαίνεται από 1 έως 4 kg/t περιεχόμενου μολύβδου. Εκτός από τον άργυρο, οι αρχαίοι παρήγαγαν και μεταλλικό μόλυβδο για το εμπόριο. Ο άργυρος αποτελούσε το 80% και ο μόλυβδος το 20% της αξίας της παραγωγής. Δευτερεύουσας σημασίας προϊόντα αποτελούσαν η ώχρα και το μίνιο. Συνεπώς, ο βασικός σκοπός της εργασίας των αρχαίων στη Λαυρεωτική ήταν η παραγωγή αργύρου και για το λόγο αυτό, το αργυρούχο μέταλλευμα μολύβδου της Λαυρεωτικής το ονόμαζαν «αργυρίτη». Η μεγαλύτερη ποσότητα του αργύρου χρησιμοποιείτο για την κοπή νομισμάτων, ενώ ο μόλυβδος έβρισκε κυρίως εφαρμογή στην οικοδομική.

Οι αρχαίοι εκμεταλλεύτηκαν το Λαύριο από τα προϊστορικά χρόνια, εντατικοποιώντας την παραγωγή τον 6^ο αι. π.Χ., με τις μεγαλύτερες δραστηριότητες να σημειώνονται από τον 5^ο ως τον 3^ο αι. π.Χ. (Κονοφάγος, 1980, Δερμάτης, 2004). Κατά τους αιώνες αυτούς παρήχθησαν, κατ' ελάχιστο 3.500 τόνοι αργύρου και 1.400.000 τόνοι μολύβδου. Στα τέλη του 2^{ου} αι. π.Χ. τα μεταλλεία κλείνουν και η περιοχή αρχίζει να χάνει τη σημασία της. Κατά τον 1^ο αι. π.Χ. ο Στράβωνας επιχείρησε μία νέα επεξεργασία των πλούσιων σκωριών και αυτή ήταν η τελευταία αναλαμπή του Λαυρίου. Ακολούθησαν περισσότεροι από 18 αιώνες σιωπής.

1.2.2 Η Σύγχρονη Εποχή

Το Λαύριο υπήρξε μια από τις πιο σημαντικές νέες πόλεις στην Ελλάδα του περασμένου αιώνα, με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον διεθνή χώρο (Δερμάτης κ.ά., 1997, Δερμάτης, 1999). Η ίδρυση του Λαυρίου και η εκμετάλλευση του πλούσιου υπεδάφους του, συνδέεται άμεσα με την προσπάθεια του νέου ελληνικού κράτους του 19^{ου} αιώνα να αναπτύξει τις πλούσιες πλουτοπαραγωγικές του πηγές και την βιομηχανία του.

Το 1864 ο νεαρός μεταλλειολόγος Α. Κορδέλλας ιδρύει στην θέση Εργαστηριάκια την Ιταλογαλλική εταιρεία “Hilarion Roux et Cie”. Η εταιρεία αναλαμβάνει την εκμετάλλευση των αρχαίων σκωριών και την εξαγωγή αργυρούχου μολύβδου. Η εταιρεία εγκαινίασε το 1856 πλήρες εργοστάσιο με 18 καμίνοους, μικρά μεταλλοπλύσια, μηχανουργείο και σιδηρόδρομο. Το 1875 ιδρύθηκε από τον J.B. Serpieri η “Compagnie Francaise des Mines du Laurium” που διαδέχθηκε τα “Μεταλλεία Καμάριζας”. Το εργοστάσιο κατασκευάστηκε στην θέση Κυπριανός (Δερμάτης κ.ά., 1997).

Η Γαλλική Εταιρεία Μεταλλείων Λαυρίου

Α΄ Περίοδος (1875 – 1904): Στο διάστημα αυτό η εταιρεία κατασκευάζει τον βασικό πυρήνα των εγκαταστάσεων (Κονοφάγος, 1980, Δερμάτης κ.ά., 1997). Μέχρι το 1895 το οργανωμένο πλέον σύνολο περιλαμβάνει κτίρια διοίκησης και εγκαταστάσεις μηχανικής επεξεργασίας και υδρομηχανικού εμπλουτισμού των μεταλλευμάτων και αναγωγής μολύβδου. Τα εξορυσσόμενα μεταλλεύματα υφίστανται επί τόπου έναν πρώτο εμπλουτισμό. Από τα μεταλλεύματα αυτά τα μολυβδούχα, τα ψευδαργυρούχα και τα μεικτά θειούχα οδεύουν προς τις διαδικασίες μηχανικής προπαρασκευής σε θραυστήρες και “πλυντήρια” που βρίσκονται στον Κυπριανό. Στη συνέχεια της παραγωγικής αλυσίδας τα μεταλλεύματα υφίστανται τη μεταλλουργική κατεργασία. Διακρίνονται 2 ξεχωριστές διαδικασίες: α) η πύρωση της καλαμίνας και β) η φρύξη και η αναγωγική τήξη του γαληνίτη. Το τελικό προϊόν περιέχει 95% μόλυβδο και εξάγεται ως αργυρούχος μόλυβδος σε χελώνες.

Β΄ περίοδος (1905 – 1929): Το 1905 ξεκινά μια μεγάλη επιχείρηση τεχνολογικού εκσυγχρονισμού των εγκαταστάσεων της μεταλλουργίας του μολύβδου (Κονοφάγος, 1980, Δερμάτης κ.ά., 1997). Στη διαδικασία της φρύξης εγκαταλείπονται οι παλαιές φλογοβόλοι κάμινοι και εφαρμόζονται 2 διαφορετικές μέθοδοι, ανάλογα με τον τύπο του μεταλλεύματος. Οι γαληνίτες με μεγάλη περιεκτικότητα σε σιδηροπυρίτη υφίστανται πλήρη φρύξη με την μέθοδο Kaufmann, ενώ οι υπόλοιποι με την μικρότερη περιεκτικότητα σε σιδηροπυρίτη φρύττονται με την μέθοδο Huntigton – Heberlein. Επίσης κατασκευάζονται 2 νέοι κάμινοι τύπου Brunton και αναδιοργανώνεται το συγκρότημα της πλινθοποίησης. Ήδη από το 1904 αλλάζει και η κινητήρια δύναμη του συγκροτήματος με την εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων. Το 1913 η Εταιρεία επιχειρεί την επέκταση των μεταλλουργικών δραστηριοτήτων της παράγοντας μαλακό μόλυβδο, μια παραγωγή που ανέκοψε ο Α΄ Παγκόσμιος Πόλεμος. Από τα μέσα του 1917 θα παράγει και καθαρό αρσενικόδες οξύ ($H_2As_2O_3$).

Γ΄ περίοδος (1930 – 1989): Στο τέλος της δεκαετίας του 1920 η εταιρεία βρίσκεται αντιμέτωπη με τη συνεχιζόμενη πτώση των τιμών του μολύβδου και με την σταδιακή εξάντληση των κοιτασμάτων (Κονοφάγος, 1980, Δερμάτης κ.ά., 1997). Επιχειρεί να αντιμετωπίσει την κρίση με τον εκσυγχρονισμό της μεθόδου εμπλουτισμού και με την παραγωγή καθαρού μολύβδου για την εσωτερική αγορά. Από το 1927 εφαρμόζεται η μέθοδος της Επίπλευσης (Flotation). Για την παραγωγή καθαρού μολύβδου εφαρμόζεται η μέθοδος της απαργύρωσης δια ψευδαργύρου, ενώ μετά το 1935 λειτουργεί ελασματοποιείο για την παραγωγή φύλλων μολύβδου. Το 1930 λόγω εξάντλησης των μεταλλευμάτων, η εκμετάλλευση καθίσταται ασύμφορη και σταματά η λειτουργία των καμίνων πύρωσης της καλαμίνας. Οι τελευταίες σημαντικές παρεμβάσεις στο συγκρότημα είναι οι εγκαταστάσεις φίλτρων καπνού που

δημιουργήθηκαν μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Ορισμένα από τα κτίρια που σώζονται μέχρι και σήμερα κατασκευάστηκαν το 1875 – '76 και εξακολούθησαν μέχρι το 1988 να στεγάζουν στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Η γαλλική εταιρεία λειτούργησε μέχρι το 1981. Από το 1982 τις εγκαταστάσεις μίσθωσε η "Ελληνική Μεταλλευτική – Μεταλλουργική Εταιρεία (Ε.Μ.Μ.Ε.Α.)", παράγοντας ομοειδή προϊόντα, μέχρι και το 1989, οπότε και το συγκρότημα διέκοψε οριστικά την λειτουργία του.

Η Ελληνική Εταιρεία Μεταλλείων Λαυρίου

Η Ελληνική Εταιρεία ιδρύθηκε το 1873 απ' τον Α. Συγγρό κύριο μέτοχο και διαχειριστή της Τράπεζας της Κων/πολης (Δερμάτης κ.α, 1997, Δερμάτης, 2003). Η Ελληνική Εταιρεία από το 1873 μπήκε σε κανονική παραγωγική διαδικασία καμινεύοντας τις υπόλοιπες αρχαίες σκωρίες και τις τεράστιες ποσότητες των εκβολάδων. Αργότερα εκμεταλλεύτηκε και μικρής δυναμικότητας μεταλλεία.

Οι εγκαταστάσεις εμπλουτισμού των εκβολάδων ήταν από τις πλέον σύγχρονες και δυναμικότερες μονάδες της Ευρώπης, οι δε κάμινοι παραγωγής σκληρού μεταλλικού αργυρούχου (plomb d'oeuvre) ήταν τύπου Pils από το Freiburg της Σαξονίας αντικαθιστώντας τους φούρνους Castilano της προκατόχου. Η εταιρεία είχε συνεχή παραγωγικό βίο επί 44 χρόνια μέχρι το 1917, οπότε και έπαυσε τις εργασίες της λόγω, κυρίως, της εξάντλησης των μεταλλούχων υλών της, των σκωριών και των εκβολάδων, αλλά και των σφοδρών επιπτώσεων του Α' Παγκοσμίου Πολέμου. Παρήγαγε σκληρό μεταλλικό αργυρούχο μόλυβδο (plomb d'oeuvre), για ένα διάστημα και μαλακό μόλυβδο (plomb doux), μια δε δοκιμαστική παραγωγή αργύρου το 1890 δεν είχε συνέχεια. Παρήγαγε επίσης σιδηρομαγνητιούχα μεταλλεύματα και μικρές ποσότητες μρωμένης καλαμίνας.

1.3 Απόβλητα της Μεταλλουργικής Διαδικασίας

Τα μεταλλουργικά απόβλητα που εμφανίζονται στη Λαυρεωτική διακρίνονται τρεις βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία (LIFE 1999, Xenidis et al, 1997, Protonotarios et al, 2002, Moutsatsou et al, 2006):

- Απόβλητα εμπλουτισμού/επίπλευσης
- Πυριτιούχα απόβλητα (περιέχοντα σιδηροπυρίτη – FeS_2)
- Σκωρίες (λεπτομερείς/αδρομερείς)

Οι ανωτέρω κατηγορίες, δύνανται να διαχωριστούν περαιτέρω σε υποκατηγορίες ανάλογα με το βαθμό ανάμιξής τους με άλλα απόβλητα ή και υλικά, αλλά και την κοκκομετρική τους διαβάθμιση σε:

- Διάσπαρτες σκωρίες
- Απόβλητα αμμοβολής με χρήση σκωρίας (αδρομερούς και λεπτομερούς)
- Άμμοι εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτους πυρίτες
- Διάσπαρτες σκωρίες και αδρομερή απόβλητα εμπλουτισμού/επίπλευσης
- Άμμοι εμπλουτισμού/επίπλευσης και αδρομερή απόβλητα
- Απόβλητα εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτες σκωρίες

Σημαντική παράμετρο για την κατάταξη των αποβλήτων, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί η κοκκομετρική τους διαβάθμιση. Στον Πίνακα 6 δίνεται η σχετική

ταξινόμηση των κλαστικών μορίων των εδαφών και των αποβλήτων, η οποία χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της κοκκομετρίας των διαφόρων ειδών αποβλήτων.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση Κλαστικών Μορίων (εδάφη και απόβλητα)

Διάμετρος κόκκων (mm)	Κατάταξη/Χαρακτηρισμός Υλικού
> 256	Ογκόλιθοι
64 – 256	Λατύπες
4-64	Κροκάλες
2-4	Χαλίκι
1 – 2	Πολύ χονδρόκοκκη άμμος
0,5 – 1	Χονδρόκοκκη άμμος
0,25 – 0,5	Μεσόκοκκη άμμος
0,25 – 0,125	Λεπτόκοκκη άμμος
0,125 – 0,0625	Πολύ λεπτόκοκκη άμμος
0,0625 – 0,002	Ιλύς
< 0,002	Άργιλος

1.3.1 Απόβλητα Εμπλουτισμού/Επίπλευσης

Αποτελούν τα απόβλητα της διαδικασίας του εμπλουτισμού του μεταλλεύματος, τα οποία απομακρύνονται με το νερό (πλένονται) ή επιπλέουν (κατά την διαδικασία εμπλουτισμού με αφρό) κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας και συνιστούν τα ελαφρύτερα κλάσματα του μεταλλεύματος. Συνήθως, θεωρούνται πτωχά αναφορικά με το μέταλλευμα ενδιαφέροντος ώστε να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία και περιέχουν σημαντικές ποσότητες σφαιριτίτη και σιδηροπυρίτη.

Τα εν λόγω απόβλητα εμφανίζονται με κίτρινο ως και καστανοκίτρινο χρώμα και η κοκκομετρία τους ποικίλλει.

- Άμμοι εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτους πυρίτες: Εμφανίζονται με ένα ελαφρύ καφέ χρώμα και συνιστούν ένα αμμώδες υλικό (λεπτόκοκκη ως χονδρόκοκκη άμμος) με διάσπαρτους κρυστάλλους πυρίτη.
- Άμμοι εμπλουτισμού/επίπλευσης και αδρομερή απόβλητα: Εμφανίζονται με ελαφρύ καστανοκίτρινο χρώμα και συνιστούν αμμώδες υλικό (λεπτόκοκκη ως χονδρόκοκκη άμμος) που περιέχει χαλίκια και κροκάλες από μάρμαρο και σχιστόλιθο
- Απόβλητα εμπλουτισμού/επίπλευσης με διάσπαρτες σκωρίες: Εμφανίζονται με καστανοκίτρινο χρώμα, συνιστούν αμμώδες υλικό (λεπτόκοκκη ως χονδρόκοκκη άμμος) και περιέχουν διάσπαρτα τεμάχια σκωρίας, καθώς και μάρμαρα/σχιστολίθους σε μέγεθος χαλικιού ως κροκάλας.



Εικόνα 1. Θειούχα μεταλλευτικά – μεταλλουργικά απόβλητα (Πρωτονοτάριος, 2005)



Εικόνα 2. Οξειδωμένα μεταλλευτικά – μεταλλουργικά απόβλητα (Πρωτονοτάριος, 2005)



Εικόνα 3. Αποθέσεις πυριτών (Πρωτονοτάριος, 2005)

1.3.2 Πυριτιούχα Απόβλητα

Εμφανίζονται αρχικά με γκρι χρώμα και συνιστούν αμμώδες υλικό (λεπτόκκοκη ως μεσόκκοκη άμμος). Αποτελούν με τη σειρά τους απόβλητα της διαδικασίας εμπλουτισμού/επίπλευσης, με κυρίαρχη την παρουσία του σιδηροπυρίτη. Ωστόσο, με την επίδραση φυσικών φαινομένων διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό (οξειδώνονται) καταλήγοντας σε ένα καστανοκόκκινο χρώμα (οξειδωμένα απόβλητα).

1.3.3 Σκωρίες

Η σκωρία εμφανίζεται ως γκριζο - μαύρο στερεό υλικό και διακρίνεται σε 2 βασικές κατηγορίες:

- Την αδρομερή που συνήθως αποτελείται είτε από μεγάλους ογκόλιθους, είτε είναι κατακερματισμένη σε μικρότερα γωνιώδη θραύσματα (1 – 35 cm)
- Τη λεπτομερή, η οποία συνίσταται σε σφαιρίδια μεγέθους < 3 mm

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης εμφανίζονται επίσης δύο επιπλέον υποκατηγορίες:

- Απόβλητα αμμοβολής με χρήση σκωρίας (αδρομερούς και λεπτομερούς): Στην περιοχή του Καβοδόκανου αλλά και στην γειτονική του Θορικού λειτούργησαν κατά το παρελθόν δύο μονάδες επεξεργασίας σκωρίας (σπαστήρες), οι οποίες εμπορεύονταν τα προϊόντα τους (λεπτομερή σκωρία) και τα διοχέτευαν ως υλικό αμμοβολής σε ναυπηγεία, αλλά και σε χώρους στάθμευσης σκαφών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο χώρος στάθμευσης σκαφών πλησίον του χώρου μελέτης, ο οποίος χρησιμοποίησε στο παρελθόν την λεπτομερή σκωρία για καθαρισμό των σκαφών.
- Διάσπαρτες σκωρίες και αδρομερή απόβλητα εμπλουτισμού/επίπλευσης: Γωνιώδη γκρι – μαύρα θραύσματα σκωρίας, αναμεμειγμένα με αδρομερή (μεγέθους χονδρόκοκκης άμμου που περιέχει κροκάλες και λατύπες) απόβλητα εμπλουτισμού/επίπλευσης. Περιέχονται, επίσης, γωνιώδεις χάλικες, κροκάλες και λατύπες από σχιστόλιθο και μάρμαρο.



Εικόνα 4. Απόβλητα αμμοβολής με χρήση σκωρίας



Εικόνα 5. Διάσπαρτες σκωρίες και αδρομερή απόβλητα εμπλουτισμού/επίπλευσης

Κεφάλαιο 2. Καταγραφή του προβλήματος- Χαρακτηρισμός/Ταυτοποίηση των αποβλήτων

2.1 Ιστορικά/Βιβλιογραφικά Στοιχεία

Στην περιοχή μελέτης έλαβαν χώρα κατά περιόδους και, κυρίως, μετά το κλείσιμο των εγκαταστάσεων της Γαλλικής Εταιρείας (1989), διάφορες παρεμβάσεις και δραστηριότητες, οι οποίες άλλαξαν σε μεγάλο βαθμό την τοπογραφία της περιοχής αλλά και αναδιαμόρφωσαν την κατανομή και την σύσταση των αποτιθέμενων αποβλήτων. Οι ανωτέρω παρεμβάσεις αφορούν κυρίως:

- Σε διάφορες χωματουργικές εργασίες στα πλαίσια τοπικών προσπαθειών αποκατάστασης ή/και ανέγερσης κτηριακών εγκαταστάσεων
- Σε δραστηριότητες αμμοβολής από μονάδες (κυρίως σπαστήρες), οι οποίες λειτούργησαν κατά καιρούς στην περιοχή
- Σε ανεξέλεγκτη διάθεση μπαζών και αστικών αποβλήτων
- Σε μεταφορά σκωρίας για διάστρωση της υποτυπώδους εσωτερικής οδοποιίας της περιοχής

Στην ευρύτερη περιοχή του Καβοδόκανου αναφέρεται η παρουσία ποικίλων αποβλήτων. Συγκεκριμένα:

- Σύμφωνα με το Δερμάτη (2003), στην περιοχή του Καβοδόκανου κείνται οι σκωρίες της Γαλλικής Εταιρείας, ως μεταλλουργικό απόρριμμα από την τήξη αργυρομολυβδούχων μεταλλευμάτων στη νεότερη εποχή, η ποσότητα των οποίων ανέρχεται σε 400.000 τόνους περίπου.

Το γεγονός ότι τα μεταλλουργικά απόβλητα στην περιοχή του Καβοδόκανου ανήκουν στη νεότερη εποχή επιβεβαιώνεται και από την έκθεση της επιτροπής Βουγιούκα του 1865, όπως αναφέρει ο Κονοφάγος (1980), σύμφωνα με την οποία οι σωροί σκωριών στην περιοχή του Καβοδόκανου ανέρχονται την εποχή εκείνη σε 13.000 tn. Ο όγκος των αποθέσεων που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης το 1945 είναι πολύ μεγαλύτερος, όπως αποτυπώνεται στην αεροφωτογραφία της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) (Εικόνα 6).

- Σε παλαιότερες ερευνητικές προσπάθειες αναφέρεται, η παρουσία 600.000 tn αποβλήτων εμπλουτισμού/ επίπλευσης, η απόθεση των οποίων έφθανε σε ύψος ως και 10 m.
- Τα θειούχα απορρίμματα από τον εμπλουτισμό των μικτών θειούχων μεταλλευμάτων (B.P.G.), μέσω της μεθόδου της επίπλευσης (flotation), που αποτίθεντο στη θέση Καβοδόκανος, αλλά και στη νότια ακτή του κόλπου του Θορικού εκτιμάται ότι ανέρχονται σε 800.000 m³ (Δερμάτης, 2003).

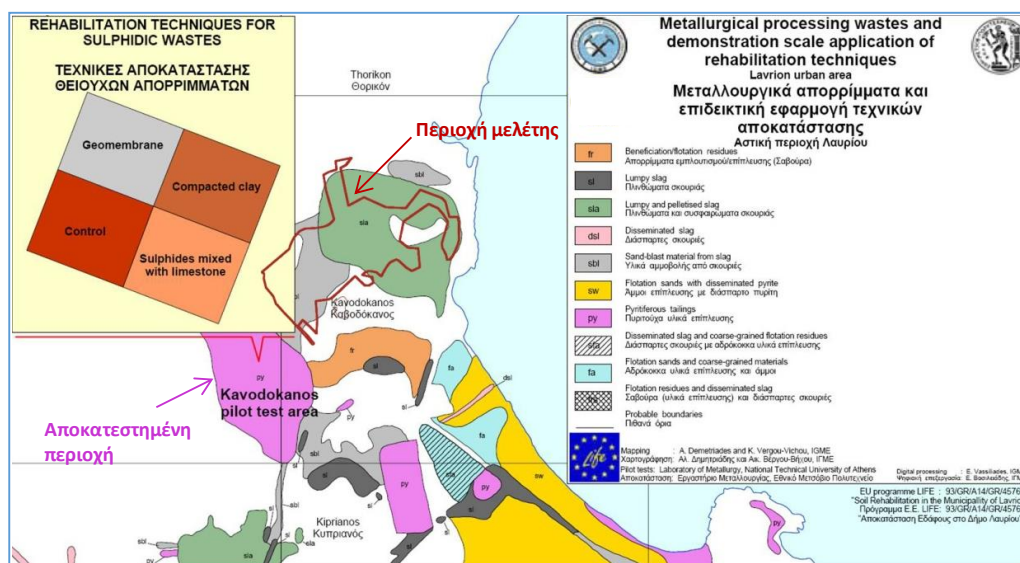


Εικόνα 6. Αεροφωτογραφία ΓΥΣ 1945

Σύμφωνα με καταγραφές και χαρτογραφήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατά το παρελθόν (Σχήμα 6), εντός των ορίων της περιοχής μελέτης, έχουν αποτεθεί κατά κύριο λόγο σκωρίες. Οι αποθέσεις των αποβλήτων εμπλουτισμού/επίπλευσης χωροθετούνται στην νότια πλευρά της ευρύτερης περιοχής του Καβοδόκανου (Σχήμα 5). Η εν λόγω περιοχή, η οποία δεν αποτελεί τμήμα της περιοχής μελέτης, βρίσκεται σε άμεση γειτνίαση με το Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου (Τ.Π.Π.Λ.) και έχει αποκατασταθεί (Xenidis et al, 1997, LIFE 1999). Στα Σχήματα 5 και 6 έχουν σχεδιαστεί με κόκκινο χρώμα τα όρια της περιοχής μελέτης.

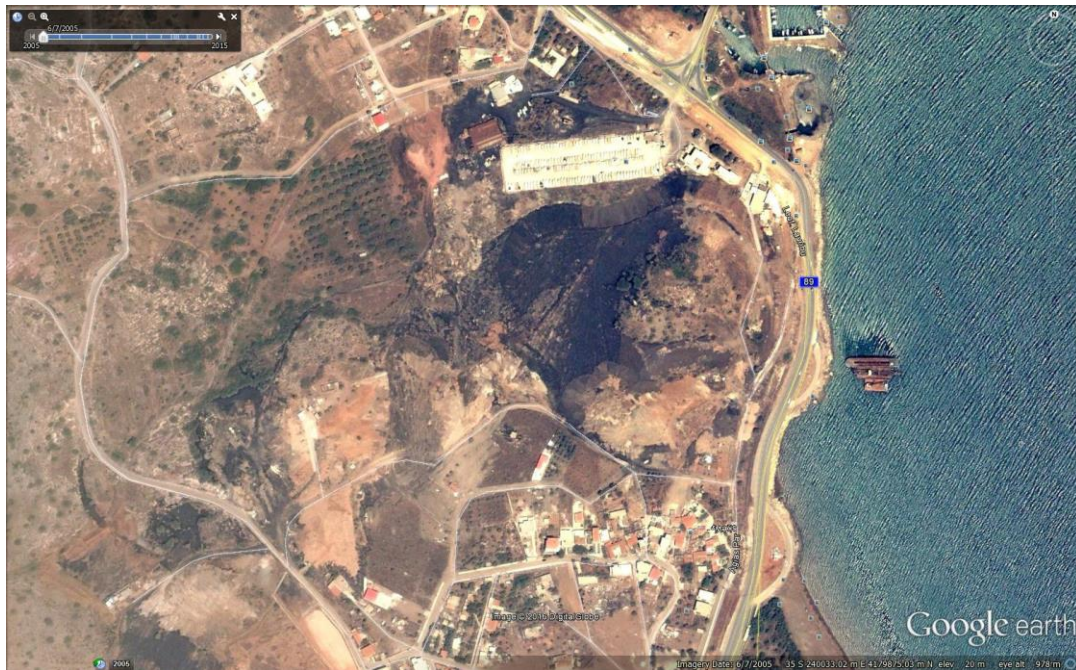


Σχήμα 5. Κύριες θέσεις μεταλλουργικών αποβλήτων στο Λαύριο. (Δημητριάδης et al., 2000)



Σχήμα 6. Κύριες θέσεις απόθεσης μεταλλουργικών αποβλήτων στο Λαύριο (Πρόγραμμα LIFE " Αποκατάσταση εδάφους στο Δήμο Λαυρίου", Δημητριάδης & Βέργου, 1992)

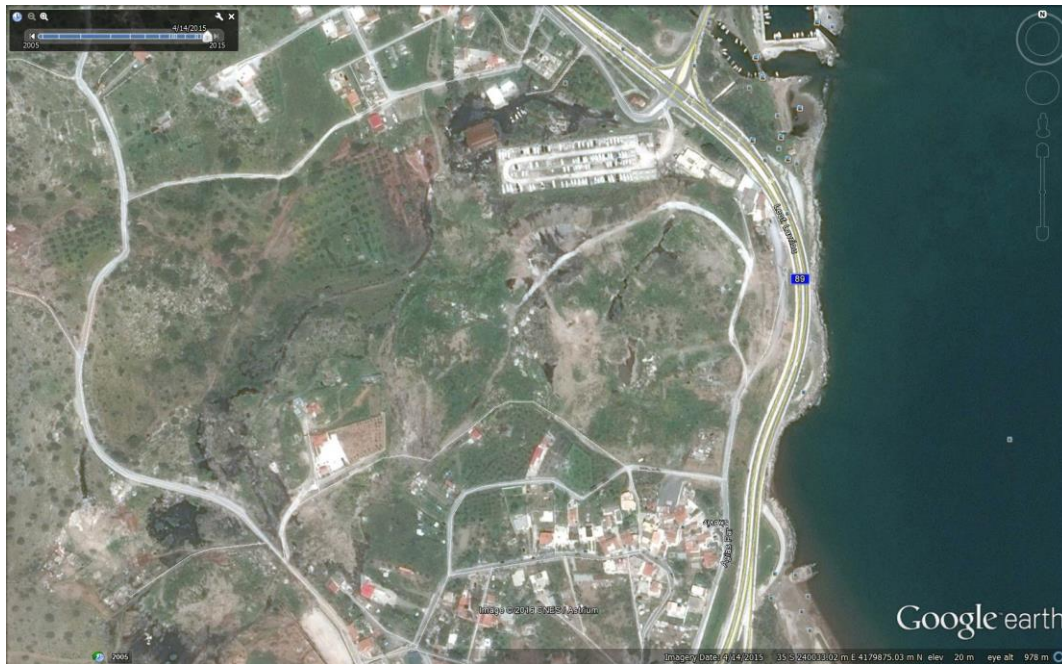
Στις Εικόνες 7 έως 9 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη της διαμόρφωσης του χώρου των αποθέσεων εντός της περιοχής μελέτης, από το 2005 έως το 2015, όπως αυτός εμφανίζεται στο google earth, ενώ στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται η άποψη του χώρου από την πτήση με drone που πραγματοποίησε ομάδα μελέτης τον Ιανουάριο του 2016.



Εικόνα 7. Άποψη του χώρου το 2005 (Ιούνιος)



Εικόνα 8. Άποψη του χώρου το 2010 (Σεπτέμβριος)



Εικόνα 9. Άποψη του χώρου το 2015 (Απρίλιος)



Εικόνα 10. Εναέρια άποψη του κύριου τμήματος του χώρου (drone – Ιανουάριος 2016)

2.2 Γεωφυσικές διασκοπήσεις

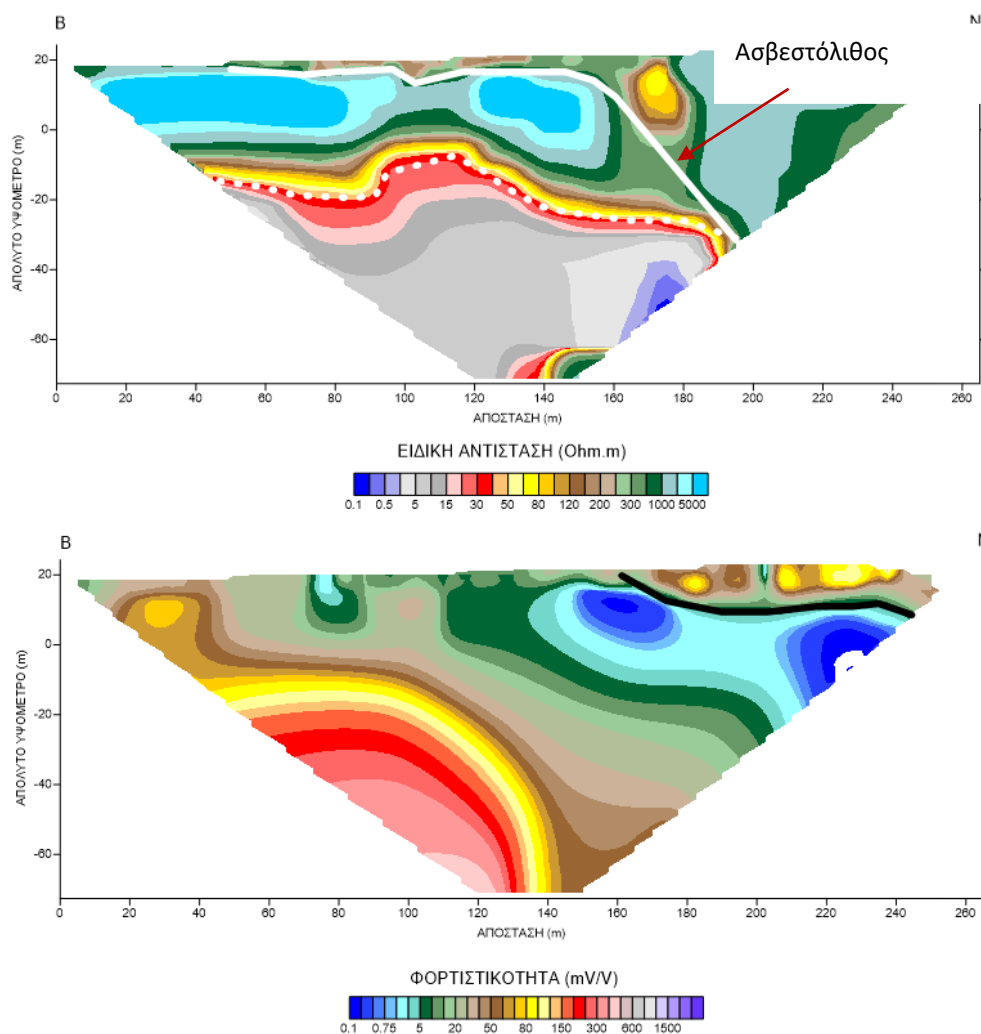
Σε σχέση με την έκταση και το πάχος των αποβλήτων που έχουν αποθεθεί στην περιοχή μελέτης, έχουν πραγματοποιηθεί τρεις γεωηλεκτρικές τομές, για τον εντοπισμό της στρωματογραφίας, ορίζοντας την λιθολογικά (με την μέθοδο της γεωηλεκτρικής τομογραφίας) και χαρακτηρίζοντας τα στρώματα ως προς το περιεχόμενό τους σε μεταλλικό φορτίο (με την μεθοδο της επαγόμενης πόλωσης).

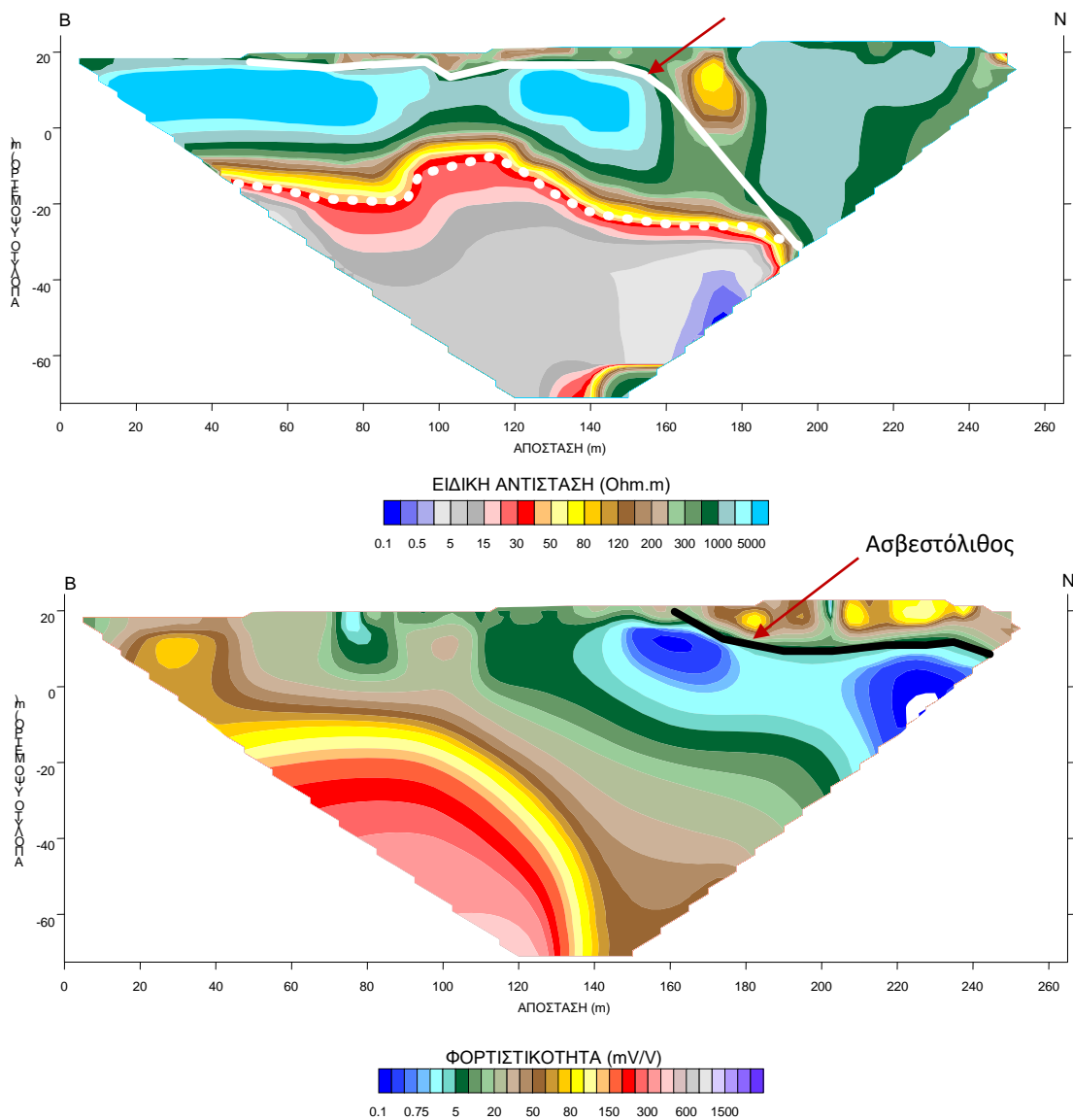
2.2.1 Γεωηλεκτρικές τομές

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την ειδική αντίσταση και τη φορτιστικότητα της γεωηλεκτρικής τομής 1.

Η γεωηλεκτρική τομή ειδικής αντίστασης του Σχήματος 7 δείχνει στο βόρειο μέρος της, σχεδόν από την επιφάνεια, την παρουσία στρώματος υψηλής ειδικής αντίστασης (ασβεστόλιθος) που κάτω από τα -20 m απόλυτο υψόμετρο έχει θαλασσινό νερό, το οποίο κατεβάζει τις ειδικές αντιστάσεις. Στο νότιο μέρος εμφανίζεται ένας χώρος αδρομερών υλικών σχετικά υψηλών ειδικών αντιστάσεων.

Η γεωηλεκτρική τομή φορτιστικότητας του Σχήματος 7 δείχνει ότι στο νότιο μέρος τα αδρομερή υλικά από την επιφάνεια έως απόλυτο υψόμετρο 5 m (πάχος 10-15 m) παρουσιάζουν μεγαλύτερη φορτιστικότητα λόγω του μεταλλικού τους φορτίου.



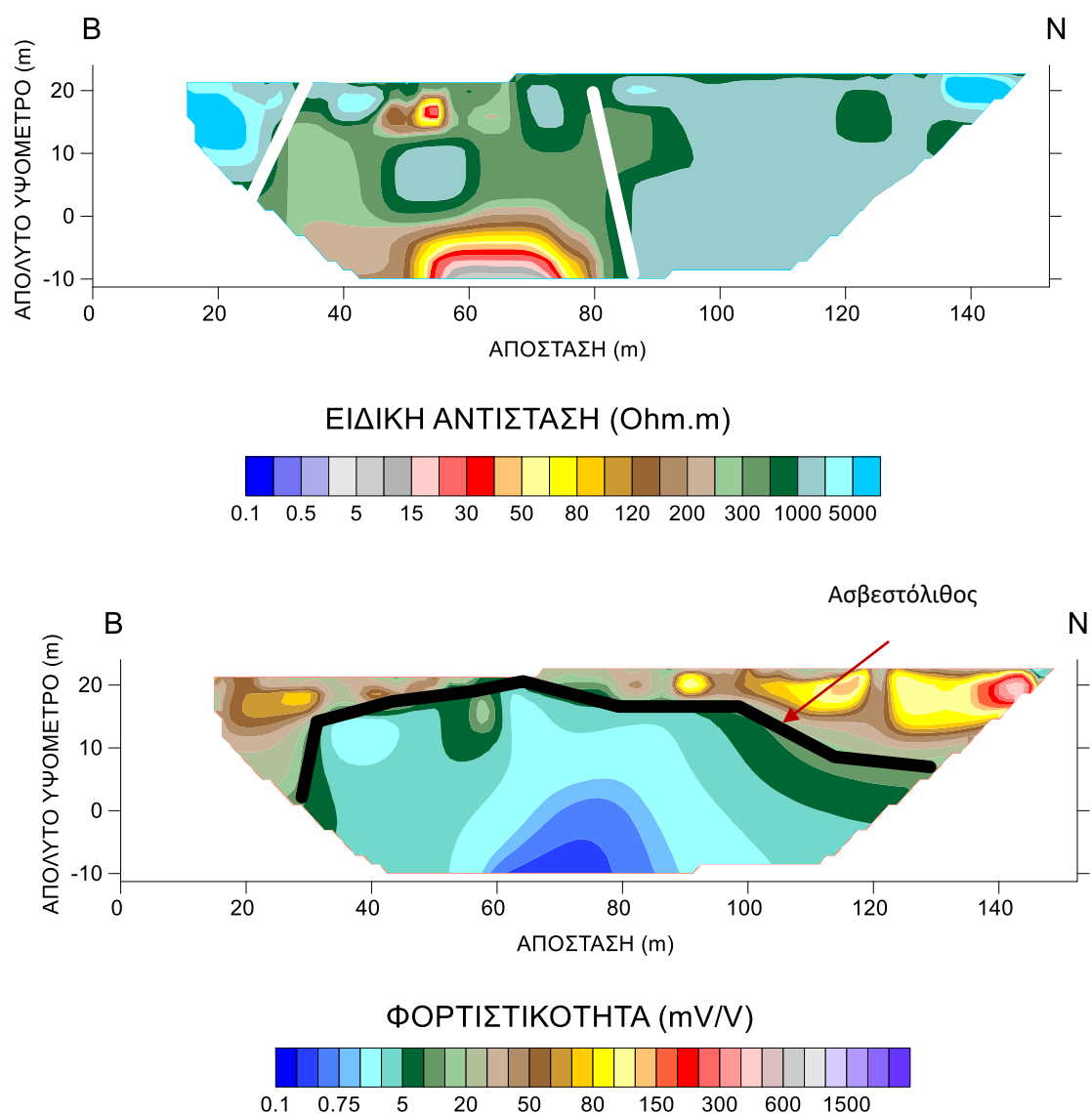


Σχήμα 7. Αποτελέσματα γεωηλεκτρικής τομής 1

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την ειδική αντίσταση και τη φορτιστικότητα της γεωηλεκτρικής τομής 2.

Η γεωηλεκτρική τομή ειδικής αντίστασης του Σχήματος 8 δείχνει τρεις παράπλευρες ενότητες στρωμάτων, διαφορετικής, σχετικά υψηλής, ειδικής αντίστασης που μπορούν να αποδοθούν σε διαφορετικής αδρομέρειας ή υφής σχηματισμούς. Ο μεσαίος σχηματισμός φαίνεται ως ο πιο χαλαρός.

Η γεωηλεκτρική τομή φορτιστικότητας του Σχήματος 8 δείχνει πάνω από την μαύρη γραμμή αδρομερή υλικά, από την επιφάνεια έως διάφορα απόλυτα υψόμετρα, μέχρι το 0, τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερη φορτιστικότητα λόγω του μεταλλικού τους φορτίου.

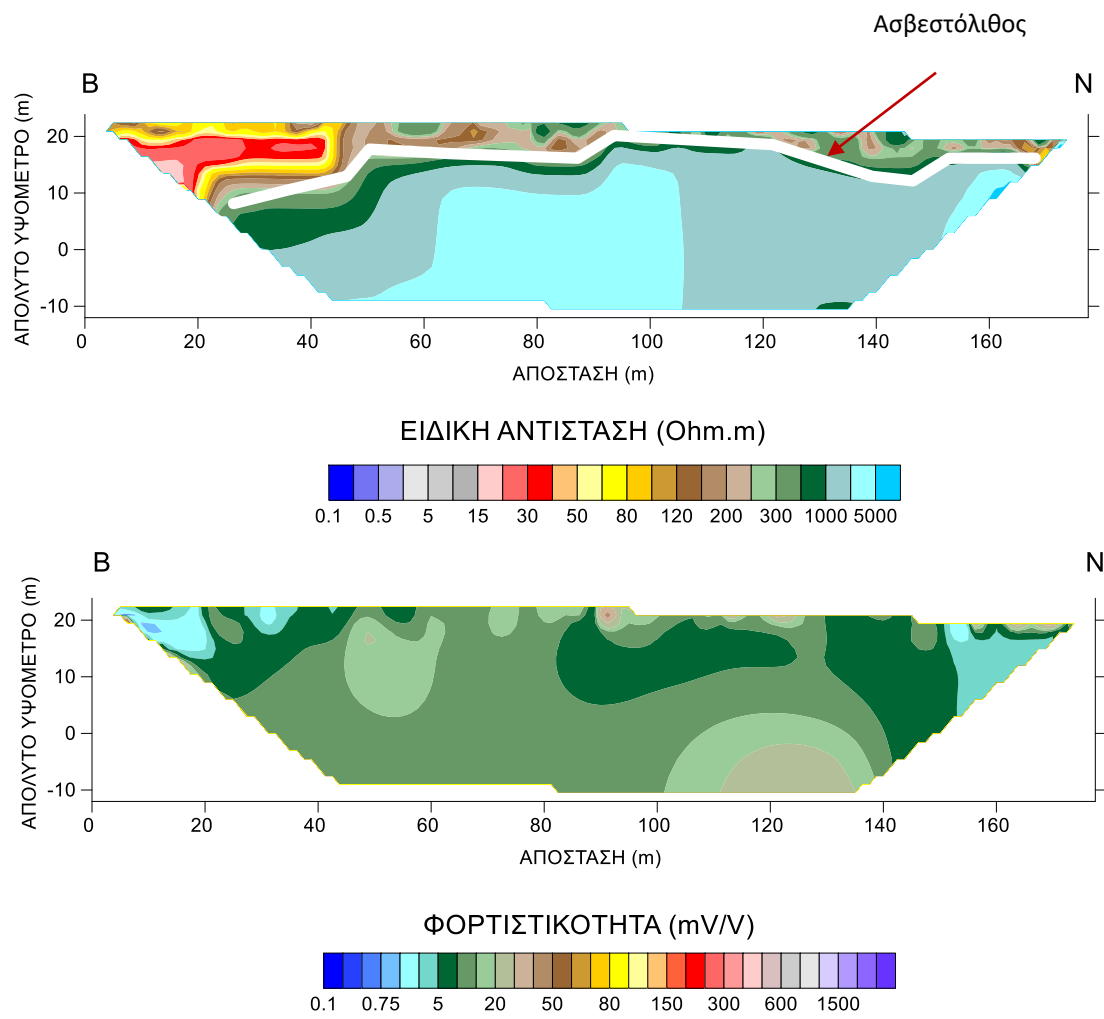


Σχήμα 8. Αποτελέσματα γεωηλεκτρικής τομής 2

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την ειδική αντίσταση και τη φορτιστικότητα της γεωηλεκτρικής τομής 3.

Η γεωηλεκτρική τομή ειδικής αντίστασης του Σχήματος 9 δείχνει στο βόρειο μέρος ένα παχύ επιφανειακό στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης αργιλικής υφής, το οποίο γίνεται πιο λεπτό προς νότο αποκτώντας περισσότερη αδρομέρεια. Κάτω από το επιφανειακό στρώμα υπάρχει στρώμα μεγάλης ειδικής αντίστασης (ασβεστόλιθος).

Η γεωηλεκτρική τομή φορτιστικότητας του Σχήματος 10 δείχνει σε όλο το εύρος της χαμηλή φορτιστικότητα λόγω απουσίας μεταλλικού φορτίου.



Σχήμα 9. Αποτελέσματα γεωηλεκτρικής τομής 2

2.3 Δειγματοληψία

Στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής μελέτης που εκπονήθηκε στον χώρο, από το Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής για τον χαρακτηρισμό των αποβλήτων που εμφανίζονται στην περιοχή ενδιαφέροντος, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων/αποβλήτων σε διάφορες θέσεις, οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10. Θέσεις δειγματοληψίας

2.4 Επεξεργασία Δειγμάτων και Χημικές Αναλύσεις

Η επεξεργασία των δειγμάτων και οι συνακόλουθες χημικές αναλύσεις έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., που βρίσκεται εντός του Τ.Π.Π.Α.

Με βάση την εμπειρία του Εργαστηρίου στον χειρισμό και ανάλυση εδαφικών δειγμάτων από την ευρύτερη περιοχή, αλλά και τη σχετική βιβλιογραφία που αναφέρεται στο ρυπαντικό φορτίο των αποβλήτων της μεταλλευτικής/ μεταλλουργικής

βιομηχανίας στο Λαύριο, επιλέχθηκε προς μέτρηση σειρά βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων. Επικουρικά και για σκοπούς ταυτοποίησης της προέλευσης και της φύσης των αποβλήτων, πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις επιλεγμένων φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως το pH και το ολικό θείο.

Από τον Πίνακα 2 συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα συγκεκριμένα εδάφη είναι ρυπασμένα με υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων και μεταλλοειδών. Μάλιστα, θεωρείται δεδομένο ότι έχει ξεπερασθεί προ πολλού η ικανότητα ρόφησης (Sorption Capacity) του εδάφους, οπότε οι υπό εξέταση ρυπαντές αναμένονται κυρίως ως ξεχωριστές μεταλλικές φάσεις (Peters, 1999).. Από την άλλη πλευρά, η «ηλικία» της ρύπανσης, καθιστά τους δεσμούς εδάφους – μετάλλων και μετάλλου – μετάλλου ιδιαίτερα ανθεκτικούς, εξαιτίας της δημιουργίας πλήθους συμπλόκων ενώσεων μεταξύ των στερεών (Peters, 1999).

Πίνακας 2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων στα εδάφη του Καβοδόκανου (τιμές σε mg kg⁻¹ πλην pH και S)

α/α	As	Cd	Cu	Pb	Fe	Zn	Cr	S (%)	pH
1	650	18	77	9768	209600	36090	<0,1	1,2	6,1
1a	543	15	104	9467	212512	34657	<0,1	1,1	6,0
2	925	<0,1	1389	11260	141720	42250	32	1,7	6,2
2a	951	<0,1	1424	10068	167340	44524	27	1,7	6,1
3	1120	<0,1	3080	15160	150400	54610	<0,1	2,1	6,7
3a	1008	<0,1	2912	15945	17065	57612	<0,1	1,9	6,5
4*	<0,1	<0,1	<0,1	515	20990	1975	25	0,025	7,4
4a*	<0,1	<0,1	<0,1	424	21512	2001	18	0,023	7,6
5	2042	26,4	726	11305	174000	54460	143	1,8	6,4
5a	1945	24	615	12398	152340	56712	125	2,3	6,2
6	80	<0,1	150	3558	86400	25090	154	0,78	6,9
6a	102	<0,1	145	2987	82123	23456	112	0,63	7,1
7	547	8	55	4632	15580	3446	24	0,68	7,3
7a	589	10	72	3987	17235	3558	21	0,57	7,5
8*	<0,1	<0,1	<0,1	77	14110	198	290	0,032	6,4
8a*	<0,1	<0,1	<0,1	101	12786	201	205	0,028	6,7
9	2260	12	871	10710	149690	40698	39	1,5	6,2
9a	2124	15	912	11456	152345	38245	21	1,9	6,4
10	1096	<0,1	747	18160	163200	24330	23	2,2	6,0
10a	918	<0,1	815	17234	171234	25786	15	1,8	6,1
11	288	<0,1	881	10063	126146	45670	<0,1	1,2	6,8
11a	303	<0,1	956	11005	131987	43874	<0,1	0,23	6,7
12	1503	43	144	7656	26184	2222	47	0,21	6,2
12a	589	26,1	122	4398	19854	2419	84	1,7	6,4
13	6144	101	859	7370	55121	3884	7	1,1	6,0
average**	1225	14	812	9933	115337	31600	42	1,34	6,5
median**	925	8	747	10068	141720	36090	23	1,53	6,4
max	6144	101	3080	18160	212512	57612	154	2,30	7,5
min	80	0	55	2987	15580	2222	0	0,21	6,0

* «Καθαρά δείγματα»

** Κατά την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων δεν ελήφθησαν υπ' όψη τα «καθαρά δείγματα» (κωδ. 4, 4α, 8 και 8α)

Αναφορικά με την παρουσία θείου στα εξεταζόμενα δείγματα, αυτή παραπέμπει περισσότερο σε απόβλητα σκωρίας τήξεως (βλ. και Πίνακα 2), παρά σε απόβλητα εμπλουτισμού/ επίπλευσης, τα οποία συνήθως περιέχουν τουλάχιστον διπλάσια ποσότητα του εν λόγω στοιχείου.

2.5 Όρια και Πρότυπα

Με δεδομένο ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει θεσπίσει κοινή οδηγία για τα όρια της παρουσίας μετάλλων και άλλων ρύπων στο έδαφος, στη συνέχεια παρουσιάζεται μία σύνοψη ευρωπαϊκών εθνικών οδηγιών, οι οποίες παρέχουν οριακές τιμές παρουσίας βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων σε εδάφη (Πίνακες 8 -12). Διακρίνονται όρια, για τα οποία δεν καθορίζεται συγκεκριμένη χρήση του εδάφους, αλλά και όρια τα οποία θεσπίστηκαν με κριτήριο τη χρήση της εκάστοτε περιοχής (π.χ. βιομηχανική, οικιστική κ.λπ.). Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι οριακές τιμές καθορίστηκαν και με βάση τον τύπο του εδάφους (π.χ. αμμώδες, αργιλώδες κ.λπ.).

Παρατηρούμε ότι σε κάθε περίπτωση, οι μέσες συγκεντρώσεις των εδαφικών δειγμάτων του Καβοδόκανου ξεπερνούν κατά πολύ τις προτεινόμενες οριακές τιμές, ακόμη και τις πιο ελαστικές από αυτές, οι οποίες αφορούν σε βιομηχανική/εμπορική χρήση του χώρου (Πίνακες 8 και 12). Συγκεκριμένα, σημαντικές υπερβάσεις παρατηρούνται για τα στοιχεία As, Pb, Zn και Cu, ενώ οριακές χαρακτηρίζονται οι συγκεντρώσεις για το Cd. Ιδιαίτερα για τα στοιχεία As, Pb και Zn, το έδαφος του Καβοδόκανου χαρακτηρίζεται ως «ασυνήθιστα ρυπασμένο», σύμφωνα με την κατά ICRCL (2001) κατάταξη των εδαφών (Πίνακας 9).

Πίνακας 3: Όρια και πρότυπα συγκεντρώσεων ρυπαντών σε εδάφη (Γερμανία – Καναδάς) (EEA, 1999)

Ρυπαντές / Μέταλλα	Καναδικά όρια για βιομηχανικές περιοχές (ppm)	Γερμανικά όρια για βιομηχανικές περιοχές (ppm)
Pb	600	2000
Zn	360	-
Cd	22	60
Cu	91	-
As	12	140

Πίνακας 4: Κατάταξη των εδαφών σε σχέση με την ποσότητα ρύπων (ICRCL, 2001)

Παράμετρος	Μη ρυπασμένο έδαφος	Ελαφρώς ρυπασμένο έδαφος	Ρυπασμένο έδαφος	Έντονα ρυπασμένο έδαφος	Ασυνήθιστα ρυπασμένο έδαφος
Pb (ppm)	0 – 500	500 - 1000	1000 – 2000	2000 – 1%	1%
Zn (ppm)	0 – 250	250 – 500	500 - 1000	1000 – 5000	5000
Cd (ppm)	0 – 1	1 – 3	3 – 10	10 – 50	50
Cu (ppm)	0 – 100	100 - 200	200 - 500	500 - 2500	2500
As (ppm)	0 – 30	30 – 50	50 – 100	100 – 500	500

Πίνακας 5: Όρια σε εδάφη σύμφωνα με Το Ολλανδικό Υπουργείο Περιβάλλοντος (MHSPE, 1999)

Στοιχείο	Τιμή-Στόχος (ppm)	Όριο Παρέμβασης (ppm)
Pb	85	530
Zn	140	720
Cd	0,8	12
Cu	36	190
As	29	55

Πίνακας 6: Κρίσιμα όρια για την παρουσία συγκεκριμένων μετάλλων στα εδάφη από διάφορες χώρες (LaGrega et al., 2001)

Χώρα	Pb	Cd	Cu	Zn
Δανία	40	0,3	30	100
Σουηδία ¹	30-60	-	-	-
Φιλανδία	38	0,3	32	90
Ολλανδία	85	0,8	36	140
Γερμανία ²	40-100	0,4-1,5	20-60	60-200
Ελβετία	50	0,8	50	200
Τσεχία	70	0,4	70	150
Ανατολική Ευρώπη ³	32	2,0	55	100
Ιρλανδία	50	1,0	50	150
Καναδάς	25	0,5	30	50

¹Οι τιμές του Πίνακα αφορούν όλες τις πιθανές χρήσεις του εδάφους, ²Η πρώτη τιμή αφορά αμμώδη και η δεύτερη αργιλικά εδάφη, ³Περιλαμβάνονται στοιχεία για την Ρωσία, την Ουκρανία και την Μολδαβία

Πίνακας 7: Οριακές Τιμές Παρουσίας Μετάλλων σε έδαφος προοριζόμενο για Βιομηχανική Χρήση (mg/Kg) (Carlson, 2007)

Χώρα	Pb	Zn	Cd
Βέλγιο	2500	3000	30
Γερμανία	2000	-	30
Ιταλία	1000	1500	15

2.6 Χαρακτηρισμός/Ταυτοποίηση Αποβλήτων εντός της περιοχής ενδιαφέροντος

2.6.1 Πολυμορφία Μετάλλων

Ο όρος πολυμορφία σχετίζεται με την κατανομή ενός στοιχείου ανάμεσα σε χημικά είδη και δομές (Καρβούνης, 2001, Mulligan et al., 2001). Τα βαρέα μέταλλα, μπορούν να βρεθούν σε διάφορες μορφές, σε νερό και εδάφη. Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί σε προσεγγίσεις, οι οποίες εστιάζουν στο βαθμό της ευκινησίας των μετάλλων, καθώς η τελευταία σχετίζεται με την επικινδυνότητα (όσο πιο ευκίνητο φαίνεται να είναι ένα μέταλλο τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος από την ύπαρξή του) και μπορεί να αξιοποιηθεί ως μέθοδος κατά το σχεδιασμό των τεχνικών εξυγίανσης. Πιο συγκεκριμένα, πέρα από τη συνολική συγκέντρωση ενός μετάλλου στο έδαφος, είναι απαραίτητη και η κατανόηση της συμπεριφοράς του στο περιβάλλον,

η οποία καθορίζεται από τα διάφορα χημικά είδη και μορφές του. Οι πληροφορίες αυτές αξιοποιούνται για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξυγίανσης.

Συνεπώς, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό να ταυτοποιηθεί, κατά το δυνατό, η προέλευση των αποβλήτων που έχουν αποθεθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος, καθώς θεωρείται δεδομένη η διαφορετική συμπεριφορά των στοιχείων ενδιαφέροντος (μετάλλων) ανάλογα με το είδος του αποβλήτου στο οποίο περιέχονται (π.χ. σκωρία τήξεως ή απόβλητο εμπλουτισμού). Το pH, τα οργανικά, τα ανθρακικά, τα αργιλικά υλικά κ.λπ. που περιέχονται στα εδάφη και στα απόβλητα, επηρεάζουν την πολυμορφία των μεταλλικών στοιχείων, αλλά και την ευκινησία τους (Kontopoulos et al., 1995, Maiz et al., 1997, Mulligan et al., 2001, Moutsatsou et al., 2006). Τα μέταλλα που βρίσκονται σε οργανικά ή ορυκτά σωματίδια ή απαντώνται με τη μορφή οξειδίων (όπως συμβαίνει στην περίπτωση της σκωρίας τήξεως) παρουσιάζουν κινητικότητα μόνο μετά από αποσύνθεση ή διάβρωση (αποσάθρωση), ή μετά από απότομη αλλαγή του pH. Από την άλλη πλευρά, πολύ περισσότερο «ευκίνητα» και συνεπώς περιβαλλοντικά επικίνδυνα, παρουσιάζονται τα μέταλλα που βρίσκονται με τη μορφή θειούχων ενώσεων (όπως συμβαίνει στα απόβλητα επίπλευσης/ εμπλουτισμού).

2.6.2 Χαρακτηρισμός αποβλήτων

Από την μακροσκοπική παρατήρηση των αποθέσεων εντός της περιοχής μελέτης αλλά και τις χημικές αναλύσεις των εδαφών προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι αποθέσεις και οι λοιπές επιφανειακές εμφανίσεις των αποβλήτων (Εικόνα 11) εμφανίζουν ένα μαύρο προς γκριζό χρώμα, το οποίο αποδίδεται πιθανότατα σε σκωρίες. Δεν διακρίνονται καστανοκίτρινες ή καστανοκόκκινες αποχρώσεις (Εικόνες 11-12), οι οποίες να παραπέμπουν σε απόβλητα εμπλουτισμού/επίπλευσης ή οξειδωμένα πυριτιούχα απόβλητα
- Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε μέταλλα και μεταλλοειδή παραπέμπει σε συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν περισσότερο σε σκωρία τήξεως παρά σε απόβλητα επίπλευσης/εμπλουτισμού (Πίνακες 2 και 7).
- Η περιεκτικότητα σε θείο των εξεταζόμενων δειγμάτων ήταν σχετικά χαμηλή και σε κάθε περίπτωση κάτω από 2%.

Συμπερασματικά, η χημική σύσταση και τα λοιπά φυσικοχημικά και μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων, συνηγορούν στο γεγονός ότι στην περιοχή ενδιαφέροντος επικρατούν σε μεγάλο βαθμό οι σκωρίες (αδρομερείς από τη μεταλλουργική διαδικασία και λεπτομερείς από τις εργασίες αμμοβολής), ενώ πολύ μικρότερες είναι οι εμφανίσεις άλλων ειδών αποβλήτων της μεταλλευτικής /μεταλλουργικής βιομηχανίας.

Σε διάφορες θέσεις εμφανίζονται, επίσης, απόβλητα κατασκευαστικής δραστηριότητας (χώματα, πέτρες, μπάζα εκσκαφών κ.λπ.), ενώ σε ορισμένες θέσεις εμφανίζονται σωροί από υπολείμματα στερεής βιομάζας (κλαδέματα, κ.ά.), καθώς και ογκώδη οικιακά απορρίμματα.

Εκτιμάται δε ότι ο συνολικός όγκος των αποβλήτων που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα και με τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης, είναι της τάξης των 200.000 m³.



Εικόνα 11. Αποθέσεις σκωριών εντός της περιοχής μελέτης



Εικόνα 12. Εναέρια άποψη των αποβλήτων που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 13. Απόβλητα κατασκευαστικής δραστηριότητας



Εικόνα 14. Απόβλητα από ογκώδη οικιακά απορρίματα



Εικόνα 15. Υπολείμματα στερεής βιομάζας



Εικόνα 16. Απόβλητα από οικιακά απορρίμματα, υλικά εκσκαφών και υπολείμματα στερεής βιομάζας

Κεφάλαιο 3. Τεχνολογίες Εξυγίανσης - Αποκατάστασης Εδαφών

3.1 Γενικά-Ορισμοί

Σύμφωνα με Ευρωπαϊκή Νομοθεσία η «εξυγίανση» ή «αποκατάσταση» ενός ρυπασμένου εδάφους απαρτίζεται από τρεις βασικές δράσεις (Env. Tech, 1999):

- Δράση σχετική με την εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης (Assessment Action)
- Δράση σχετική με την καθ' αυτό εξυγίανση (Remedial Action)
- Δράση σχετική με την παρακολούθηση του χώρου μετά το πέρας της εξυγίανσης (Monitoring)

Ως «Πρόγραμμα Εξυγίανσης» ορίζεται η «καλύτερη δυνατή τεχνική» (Best Practicable Technique) εξυγίανσης για δοθείσα ρυπαντική αλυσίδα (Env. Tech, 1998). Ένα τέτοιο πρόγραμμα περιλαμβάνει, συνήθως, έλεγχο πιστοποίησης των αποτελεσμάτων της εξυγίανσης καθώς και πρόγραμμα παρακολούθησης.

Ο βασικός, διαχωρισμός των τεχνολογιών εξυγίανσης εδαφών αφορά στο σημείο εφαρμογής της εκάστοτε μεθόδου. Διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες (Env. Tech, 1998):

- In-situ τεχνολογίες, οι οποίες και εφαρμόζονται επί τόπου στο ρυπασμένο έδαφος χωρίς να μεσολαβεί εκσκαφή και μεταφορά αυτού.
- Ex-situ τεχνολογίες, οι οποίες απαιτούν την εκσκαφή του υλικού, το οποίο και μεταφέρεται μακριά από την θέση της ρύπανσης.

Οι ex-situ τεχνολογίες εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

- Καλύτερο έλεγχο των συνθηκών της εκάστοτε διεργασίας.
- Μεγαλύτερη προσβασιμότητα των ρύπων στην διεργασία της εξυγίανσης.
- Αποτελεσματικότερο έλεγχο πιθανών εκπομπών και αποβλήτων.

αλλά και σημαντικά μειονεκτήματα όπως:

- Το υψηλό κόστος εκσκαφής και μεταφοράς, το οποίο προστίθεται στο κόστος της εξυγίανσης.
- Ο πιθανός περιορισμός στην επανάχρηση του εδάφους, π.χ. η πλύση με κάποιον διαλύτη μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτη ζημιά στο πλέγμα του εδάφους και έτσι να αποκλειστεί η δυνατότητα χρήσης του για γεωργικούς σκοπούς.

Συχνά το πρόβλημα της μεταφοράς του εσκαμμένου εδάφους αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση της μονάδας εξυγίανσης πλησίον του χώρου απ' όπου παραλαμβάνεται το έδαφος. Πέρα από τον παραπάνω βασικό διαχωρισμό, οι τεχνολογίες εξυγίανσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κριτήρια και δεν υπάρχει διεθνώς ενιαία προσέγγιση. Η US EPA ξεχωρίζει τις παρακάτω κατηγορίες τεχνολογιών (US EPA, 1997c):

- Εκείνες που αποσκοπούν στον περιορισμό ή την απομόνωση των ρύπων από το εδαφικό μέσο.

- Εκείνες που αποσκοπούν στην στερεοποίηση-σταθεροποίηση του εδάφους ώστε το τελευταίο να είναι ικανό να συγκρατεί τους ρύπους και να μην είναι ευάλωτο σε εξωγενείς περιβαλλοντικές ή ανθρώπινες παρεμβάσεις.
- Εκείνες που αποσκοπούν στον διαχωρισμό των ρυπαντών από το εδαφικό μέσο.

Οι Janikowski et al. (2002) διακρίνουν τις εξής κατηγορίες μεθόδων εξυγίανσης:

- Εκείνες που περιλαμβάνουν εκσκαφή και διάθεση του ρυπασμένου εδάφους σε άλλη τοποθεσία, καθώς και αντικατάστασή του με καθαρό έδαφος.
- Εκείνες που αποσκοπούν στην απομόνωση του ρυπασμένου εδάφους, μέσω τεχνητού ή φυσικού καλύμματος.
- Εκείνες που χρησιμοποιούν βασικές χημικές, φυσικές ή βιολογικές διεργασίες με σκοπό την απομάκρυνση, καταστροφή ή περιορισμό των ρύπων.
- Εκείνες που περιλαμβάνουν την ανάμειξη του ρυπασμένου εδάφους με καθαρό, με σκοπό την μείωση της συγκέντρωσης των ρύπων κάτω από τα εκάστοτε όρια παρέμβασης.

Σε μια προσπάθεια να κατηγοριοποιήσουμε τις τεχνολογίες εξυγίανσης με βάση την φύση της διεργασίας που λαμβάνει χώρα για την απορρύπανση του εδάφους, προκύπτουν οι ακόλουθες κατηγορίες τεχνολογιών εξυγίανσης:

- Φυσικές Τεχνολογίες
- Χημικές Τεχνολογίες
- Θερμικές Τεχνολογίες
- Βιολογικές Τεχνολογίες
- Τεχνολογίες Απομόνωσης
- Άλλες Τεχνολογίες

3.2 Κριτήρια Επιλογής Μεθοδολογιών - Προεργασία Εξυγίανσης

Πριν την τελική απόφαση για την εφαρμογή κάποιας τεχνολογίας εξυγίανσης, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραγόντων, ο οποίος πρέπει να εξεταστεί προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη, για την κάθε περίπτωση, εφαρμογή. Προφανώς, το ειδικό βάρος κάθε κριτηρίου είναι διαφορετικό, ανάλογα με την περίπτωση και κάθε εστία εδαφικής ρύπανσης αποτελεί ένα ξεχωριστό περιστατικό που απαιτεί ιδιαίτερη προσέγγιση και αντιμετώπιση. Οι βασικότερες από τις παραμέτρους με βάση τις οποίες επιλέγεται μία ειδική τεχνολογία συνοψίζονται στη συνέχεια (Env. Tech, 1998, Janikowski et al., 2002):

- Τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε τοποθεσίας (π.χ. προσβασιμότητα, γειτνίαση με οικισμούς κ.ά.).
- Οι συγκεντρώσεις των ρύπων στο εδαφικό μέσο, κυρίως σε σχέση με τα υπάρχοντα περιβαλλοντικά όρια.
- Το είδος των ρύπων που είναι παρόντες (οργανικοί, ανόργανοι).
- Η τελική χρήση για την οποία προορίζεται το έδαφος μετά το πέρας εφαρμογής της εξυγίανσης (π.χ. βιομηχανική-εμπορική, οικιστική κ.ά.).

- Η δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων του εξυγιασθέντος εδάφους (soil multifunctionality).
- Ο χρόνος που απαιτείται για την επίτευξη των στόχων της εξυγίανσης.
- Οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις εφαρμογής κάποιας τεχνολογίας (π.χ. η χρήση χημικών για τον καθαρισμό του εδάφους ενδέχεται να ρυπάνει τα υπόγεια ύδατα).
- Η κοινωνική αποδοχή της χρησιμοποιούμενης μεθόδου.
- Η αποτελεσματικότητα των μεθόδων αναφορικά με την απομάκρυνση διαφόρων ειδών και τη μείωση των επιπέδων συγκέντρωσης ρυπαντών (πολύ συνηθισμένη η περίπτωση παρουσίας στο έδαφος ποικιλίας ρύπων και ευρείας γκάμας συγκεντρώσεων).
- Η μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα της μεθόδου.
- Το κόστος.

3.3 Βασικά Χαρακτηριστικά Τεχνολογιών Εξυγίανσης – Αποκατάστασης Εδαφών

3.3.1 Φυσικές Μέθοδοι

Η εφαρμογή φυσικών μεθόδων επεξεργασίας ρυπασμένων εδαφών κινείται στην κατεύθυνση της εκμετάλλευσης των φυσικών ιδιοτήτων των ρυπαντών, όπως το μέγεθος σωματιδίων, η πυκνότητά τους, οι μαγνητικές τους ιδιότητες, η πτητικότητά τους κ.ά. (Mulligan et al., 2001, Wentz, 1995). Στις περισσότερες των περιπτώσεων, μία φυσική επεξεργασία αποτελεί προπαρασκευαστικό στάδιο για την εφαρμογή άλλων τεχνολογιών.

Οι σημαντικότερες φυσικές μέθοδοι απορρύπανσης των εδαφών συνοψίζονται παρακάτω:

Μηχανικός διαχωρισμός (ex-situ): Ο στόχος του μηχανικού διαχωρισμού είναι να απομακρύνει τα μεγάλα, καθαρά σωματίδια εδάφους από τα μικρότερα και περισσότερο ρυπασμένα. Στον μηχανικό διαχωρισμό χρησιμοποιούνται, ως διατάξεις, υδροκυκλώνες, διαχωριστήρες ρευστοποιημένης κλίνης, αλλά και διατάξεις επίπλευσης παρόμοιες με εκείνες της μεταλλουργικής βιομηχανίας.

Μαγνητικός διαχωρισμός (ex-situ): Η τεχνολογία του μαγνητικού διαχωρισμού διαχωρίζει και συγκεντρώνει τα σωματίδια σύμφωνα με τη μαγνητική τους επιδεκτικότητα (EEA, 1995, EPAREACHIT, 2004).

Απομάκρυνση με ρεύμα αέρα (Air stripping): Η τεχνολογία αυτή προάγει την εξάτμιση ενώσεων μέσω της διάδου αέρα για την βελτίωση της μεταφοράς μάζας μεταξύ των φάσεων αέρα και νερού (LaGrega et al., 2001). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται

συνηθέστερα για εξυγίανση εδαφών ρυπασμένων με πτητικές οργανικές ενώσεις και εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές χαμηλών συγκεντρώσεων.

Απόσπαση με ατμό (Soil Vapor Extraction, S.V.E.): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση πτητικών οργανικών ενώσεων από εδάφη που βρίσκονται στην ακόρεστη ζώνη ή σε εσκαμμένα εδάφη που έχουν συγκεντρωθεί σε μεγάλους σωρούς (LaGrega et al., 2001). Περιλαμβάνει την δίοδο ενός αερίου ρεύματος διαμέσου του εδάφους με αποτέλεσμα την μεταφορά ρυπαντών από το σύστημα εδάφους – νερού στο ρεύμα αέρα. Τέτοια συστήματα υλοποιούνται με την εγκατάσταση φρεατίων εξαγωγής ατμού ή διάτρητων σωληνώσεων στο επίπεδο της ζώνης της ρύπανσης.

Απομάκρυνση με ρεύμα ατμού (Steam Stripping): Η απομάκρυνση (απογύμνωση) με ρεύμα ατμού χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση πτητικών οργανικών ενώσεων από τα εδάφη (LaGrega et al., 2001). Η διεργασία αυτή είναι ικανή να μειώσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις των οργανικών αυτών ενώσεων.

3.3.2 Χημικές Μέθοδοι

Οι κυριότερες τεχνολογίες χημικής επεξεργασίας συνοψίζονται κατωτέρω:

Πλύση Εδαφών (Soil Washing): Η πλύση εδαφών αποτελεί μία τεχνολογία που συνδυάζει τον φυσικό διαχωρισμό με τη χημική επεξεργασία, με σκοπό τον διαχωρισμό των ρυπαντών από τα στερεά του εδάφους, διαλυτοποιώντας τους μέσω ενός διαλύματος καθαρισμού (Semer and Reddy, 1996). Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται σε γνωστά και ήδη εφαρμοσμένα μοντέλα και εξοπλισμό προερχόμενο από την μεταλλευτική και μεταλλουργική πρακτική (Wentz, 1995, US EPA, 1997, Steele and Pichtel, 1998). Πρόκειται για μία τεχνολογία που περιλαμβάνει εκσκαφή και μεταφορά του εδάφους για επεξεργασία ex-situ.

Έκπλυση Εδαφών (Soil Flushing): Η έκπλυση εδαφών (soil flushing) είναι μία επεξεργασία που εφαρμόζεται επί τόπου (in situ) στο ρυπασμένο έδαφος. Συνίσταται σε καθαρισμό μιας σταθερής στήλης εδάφους από την επιφάνεια έως ένα συγκεκριμένο βάθος, μέσω της διοχέτευσης ενός διαλύματος καθαρισμού. Η συγκεκριμένη τεχνολογία εφαρμόζεται, τόσο σε οργανικούς όσο και σε ανόργανους ρυπαντές και ειδικότερα σε μέταλλα (US EPA 1997).

Προσθήκη τροποποιητικών εδαφους (Surface Amendment): Περιλαμβάνει την απ' ευθείας προσθήκη υλικών στο ρυπασμένο έδαφος σε περιπτώσεις ρύπανσης που εκτείνεται σε μικρά βάθη (Env. Tech., 1998). Παράδειγμα τέτοιου υλικού αποτελεί το οξείδιο του ασβεστίου, η προσθήκη του οποίου αυξάνει το εδαφικό pH και μειώνει την βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων. Ωστόσο, είναι προφανές ότι οι ρύποι παραμένουν στο έδαφος και το πρόβλημα δεν εξαλείφεται.

Χημική οξείδωση-αναγωγή (Chemical Oxidation-Reduction): Η οξείδωση / αναγωγή των βαρέων μετάλλων είναι μια άλλη μέθοδος, ex-situ αλλά και in-situ, εξυγίανσης εδαφών. Οι αντιδράσεις οξείδωσης, οι οποίες μειώνουν την τοξικότητα, καταβυθίζουν ή διαλυτοποιούν τα μέταλλα και περιλαμβάνουν την προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου, υπεροξειδίου του υδρογόνου κ.λπ. Οι αντιδράσεις αναγωγής συνήθως περιλαμβάνουν την προσθήκη αλκαλίων όπως νατρίου, διοξειδίου του θείου, θειούχων αλάτων κ.λπ. Η συγκεκριμένη χημική επεξεργασία συχνά χρησιμοποιείται ως αρχικό

στάδιο εφαρμογής άλλων τεχνολογιών, όπως η σταθεροποίηση. Θα πρέπει εντούτοις να τονισθεί ότι οι συγκεκριμένες αντιδράσεις δεν είναι εκλεκτικές και υφίσταται πάντοτε ο κίνδυνος μετατροπής άλλων μετάλλων σε περισσότερα τοξικά ή ευκίνητες μορφές.

Ηλεκτροκινητικές Μέθοδοι (Electrokinetic Methods): Μπορούν να εφαρμοστούν για την εξυγίανση επικίνδυνων αποβλήτων από αποξηραμένες λασπώδεις εναποθέσεις, πλούσιες σε βαρέα μέταλλα. Η ηλεκτροκινητική διεργασία διαχωρίζει και απομακρύνει τα βαρέα μέταλλα από τα ρυπασμένα εδάφη, μέσω εφαρμογής συνεχούς ρεύματος, κατά μήκος μιας διάταξης ηλεκτροδίων τοποθετημένων στο έδαφος. Μπορεί να εφαρμοστεί τόσο επί τόπου στο έδαφος (in situ), όσο και σε ειδικές εγκαταστάσεις (ex situ).

3.3.3 Βιολογικές Μέθοδοι

Οι βασικές βιολογικές διεργασίες που εφαρμόζονται στην εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών συνοψίζονται παρακάτω (Env. Tech, 1999):

Βιοδιάσπαση (Biodegradation): Συνίσταται στην βιοχημική αποικοδόμηση των ρυπαντών σε μικρότερες χημικές υποομάδες. Χρησιμοποιεί, κυρίως, τους μικροοργανισμούς του εδάφους και μπορεί να είναι αερόβια αλλά και αναερόβια.

Βιολογικός Μετασχηματισμός (Biological Transformation): Περιλαμβάνει βιοχημική μετατροπή των ρύπων σε λιγότερο τοξική ή λιγότερο διαλυτή-ευκίνητη μορφή.

Βιο-κινητοποίηση (Bio-mobilization): Αφορά στην βιοχημική κινητοποίηση των ρύπων με χρήση διαλύματος. Ακολουθεί διαχωρισμός (π.χ. με διήθηση) και ανάκτηση ή καταστροφή των ρυπαντών με άλλη μεθοδολογία.

Η μεθοδολογία, η οποία εφαρμόζεται σε βιομηχανική κλίμακα είναι κυρίως η βιοδιάσπαση. Τα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας βρίσκουν εφαρμογή σε μία ευρεία γκάμα οργανικών και ανόργανων ρυπαντών. Ωστόσο, υπάρχουν μία σειρά από παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εφαρμογή της βιολογικής επεξεργασίας του εδάφους (Wentz, 1995, Env. Tech., 1998, LaGrega et al., 2001):

- Η πλήρης γνώση εκείνων των ρυπαντών που ενδέχεται να δράσουν ανασταλτικά στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Για παράδειγμα, τα περισσότερα μέταλλα είναι τοξικά για τους περισσότερους μικροοργανισμούς.
- Η πλήρης γνώση του είδους των μικροοργανισμών που είναι παρόντες.
- Οι απαιτήσεις των μικροοργανισμών σε θρεπτικά συστατικά (φώσφορος, άζωτο).
- Η ανάγκη χρήσης εξειδικευμένων καλλιεργειών.
- Πλήρης καθορισμός των συνθηκών που απαιτούνται για την αποτελεσματική ανάπτυξη των μικροοργανισμών (π.χ. οξύγονο, pH κ.λπ.).

3.3.4 Θερμικές Μέθοδοι

Στις θερμικές μεθόδους περιλαμβάνονται κυρίως διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών σχετικά με απόσπαση και επεξεργασία μετάλλων και άλλων ρύπων, είτε προς χρήση είτε προς διάθεση (US EPA, 1997c, Env. Tech., 1998). Οι διαδικασίες υψηλών θερμοκρασιών αυξάνουν την ταχύτητα μιας αντίδρασης και συχνά οδηγούν σε μια πιο

επιθυμητή χημική ισορροπία, μειώνοντας τον απαιτούμενο όγκο αντιδρώντος ανά μονάδα προϊόντος. Ορισμένες από τις τεχνικές είναι:

Υαλοποίηση (Vitrification): Πρόκειται για μία τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας που αποσκοπεί στην μείωση της κινητικότητας των μετάλλων μέσω ενσωμάτωσής τους σε μία χημικά ανθεκτική και σταθερή υαλώδη μάζα (US EPA, 1997c, EPAREACHIT, 2004). Η εν λόγω διεργασία ενδέχεται να ατμοποιήσει τους ρύπους ή να τους διασπάσει θερμικά με αποτέλεσμα την μείωση της συγκέντρωσής τους στο έδαφος ή στα απόβλητα. Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως φυσικά καύσιμα και η θέρμανση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μικροκυμάτων, πλάσματος ή ηλεκτροδίων. Οι θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται κυμαίνονται από 3000 – 4600 °C. Με την εν λόγω τεχνολογία έχουν επεξεργασθεί εδάφη και απόβλητα ρυπασμένα με μέταλλα, ραδιονουκλίδια και οργανικούς ρύπους. Η υαλοποίηση των αποβλήτων έχει την δυνατότητα να τα μετατρέψει σε χρήσιμα ανακυκλώσιμα προϊόντα, που προστίθενται σε αδρανή, σε υλικά πεζοδρομίων κ.ά. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, που απαιτείται για την επίτευξη και συντήρηση των υψηλών θερμοκρασιών, αλλά και η παραγωγή αερίων, τα οποία συνήθως απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία για την απομάκρυνση επικίνδυνων συστατικών (US EPA, 1997c, EPAREACHIT, 2004).

Αποτέφρωση: Στηρίζεται στην εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών (870 – 1200 °C) για την ατμοποίηση και καύση (παρουσία οξυγόνου) οργανικών και επικίνδυνων αποβλήτων που περιέχονται στα εδάφη (EPAREACHIT, 2004). Για οργανικούς ρύπους, η απόδοση της διεργασίας ενδέχεται να ξεπεράσει το 90%. Βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι, αφενός η παραγωγή αερίων παραπροϊόντων, αλλά και η ουσιαστική αδυναμία επεξεργασίας εδαφών ρυπασμένων με μέταλλα.

Πυρομεταλλουργικές μέθοδοι: Περιλαμβάνουν, τόσο απόσπαση του μετάλλου όσο και ανάκτησή του και περιλαμβάνουν την όπτηση, την απόσταξη (retorting) και την καμίνευση (smelting) του μετάλλου (EPAREACHIT, 2004, WHO, 2004). Αν και αυτές οι διεργασίες συνήθως παράγουν μια σκωρία πλούσια σε μεταλλικό περιεχόμενο, επιτρέπουν ταυτόχρονα και την ανάκτηση των περιεχόμενων μετάλλων για επαναχρησιμοποίηση. Οι πυρομεταλλουργικές διεργασίες χρησιμοποιούν καμίνους υψηλών θερμοκρασιών (200-700 °C). (Mulligan et al., 2001).

Πυρόλυση: Πρόκειται για την χημική αποικοδόμηση οργανικών ρύπων, με εφαρμογή θερμότητας, απουσία οξυγόνου. Η διεργασία λαμβάνει χώρα υπό πίεση και θερμοκρασία περί τους 430 °C. Η πυρόλυση εφαρμόζεται κυρίως σε εδάφη ρυπασμένα με ημι-πτητικά οργανικά απόβλητα (πετρελαϊκά, πίσσες, υδρογονάνθρακες, ελαστικά, απόβλητα βιομηχανιών, ξυλείας κ.λπ.) και εντομοκτόνα (LaGrega et al., 2001, EPAREACHIT, 2004) .

Θερμική Εκρόφηση: Βασική αρχή της εν λόγω τεχνολογίας είναι η εφαρμογή θερμότητας για την ατμοποίηση οργανικών ρύπων και ύδατος και η περαιτέρω μεταφορά τους, με χρήση φέροντος αερίου ή κενού, σε ειδική διάταξη επεξεργασίας αερίων (σύστημα θερμικής οξειδωσης ή ανάκτησης). Σε κάθε περίπτωση, η θερμική εκρόφηση περιλαμβάνει εκσκαφή και μεταφορά του εδάφους (ex - situ) (EPAREACHIT, 2004) .

3.3.5 Τεχνολογίες Κάλυψης / Απομόνωσης

Ένας τρόπος να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της παρουσίας επικίνδυνων ουσιών σε κάποια περιοχή είναι η αποκοπή τους από τις διάφορες πιθανές οδούς μεταφοράς στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι ρυπαντές μπορούν να απομονωθούν και να περιορισθούν, έτσι ώστε να μειωθεί η περαιτέρω κίνηση και μεταφορά τους, να μειωθεί η διαπερατότητα του αποβλήτου και να αυξηθούν οι αντοχές και η συνεκτικότητα του (Mulligan et al., 2001). Για τον σκοπό αυτό κατασκευάζονται φραγμοί από διάφορα υλικά, όπως μεμβράνες, ατσάλι, τσιμέντο και μπετονίτη.

A. Κάλυψη

Ο όρος κάλυψη (capping) αναφέρεται στην τοποθέτηση ειδικού καλύμματος, το οποίο μπορεί να αποτελείται από διάφορων ειδών υλικά, πάνω από την περιοχή που παρουσιάζει το πρόβλημα. Το υλικό του καλύμματος μπορεί να είναι συμπιεσμένη άργιλος (με χαμηλή διαπερατότητα), χαλίκι, υγιές εδαφικό υλικό από την ίδια ή άλλη περιοχή ή μπορεί να αποτελείται από ειδικές μεμβράνες ή γεωφύλακα.

Η τοποθέτηση του καλύμματος έχει τρεις πρωταρχικούς στόχους:

- Την αποκοπή της ρυπασμένης περιοχής από τις επιδράσεις της βροχής. Με αυτόν τον τρόπο δεν είναι δυνατή η διείσδυση του νερού στο ρυπασμένο έδαφος και η μεταφορά των τοξικών ουσιών μέσω των επιφανειακών ή των υπογείων νερών σε γειτονικές περιοχές.
- Την απομόνωση της περιοχής από την επίδραση του ανέμου που μπορεί να μεταφέρει ρυπασμένο εδαφικό υλικό σε άλλες τοποθεσίες δημιουργώντας και εκεί νέα προβλήματα.
- Την δημιουργία φυσικού εμποδίου στην επαφή των ανθρώπων ή των ζώων με το ρυπασμένο έδαφος.

Η εφαρμογή της μεθόδου πρέπει σε κάθε περίπτωση να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και σύμφωνα με προγραμματισμένο σχέδιο, το οποίο βασίζεται σε αναλυτικές μελέτες όσον αφορά την υφιστάμενη κατάσταση του χώρου, την επιλογή του κατάλληλου υλικού για την κατασκευή του καλύμματος και την εκτέλεση της όλης εργασίας.

Ο σχεδιασμός της μεθόδου είναι η βασικότερη παράμετρος για την επίτευξη των καλύτερων αποτελεσμάτων. Αρχικά επιλέγονται τα κατάλληλα υλικά, τα οποία θα πρέπει να είναι συμβατά με το εδαφικό υλικό της περιοχής. Πολλές φορές η διαδικασία της κάλυψης μπορεί να απαιτεί τη συνδυασμένη χρήση περισσότερων υλικών (πολυστρωματική στρώση), όπως για παράδειγμα τη χρήση χαλικιού ως αποστραγγιστική στρώση ή τη συμβολή ειδικών μεμβρανών για την επίτευξη στεγανότητας. Επίσης εξετάζεται η πιθανότητα να μετακινηθεί ποσότητα των τοξικών ουσιών από το ρυπασμένο χώμα στο ίδιο το κάλυμμα, καθώς και η αλληλεπίδραση που μπορεί να έχουν τα υλικά του καλύμματος με το έδαφος της περιοχής. Στην ουσία το εδαφικό υλικό πρόκειται να υποστεί συμπίεση από την τοποθέτηση του καλύμματος και χρήζει εξέτασης η συνέπεια αυτής της συμπίεσης. Τέλος, εξετάζονται όλοι οι υπόλοιποι παράγοντες που αφορούν την εφαρμογή της μεθόδου και την ακεραιότητα του καλύμματος.

Το βασικότερο κριτήριο για την επιτυχία της μεθόδου είναι η σωστή τοποθέτηση και η σωστή συντήρηση του καλύμματος, ώστε να εξασφαλίζεται η αποτελεσματικότητά

του για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το πάχος του καλύμματος κυμαίνεται από 30 cm έως και 2 m, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να είναι και μεγαλύτερο.

Αν και η μέθοδος μπορεί να συνδυάσει πολλά διαφορετικά μεταξύ τους υλικά, διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες.

- Η πρώτη είναι η διαδοχική στρώση με άργιλο ή μπεντονίτη, χαλίκια, και φυτική γη.
- Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιεί κάποιο σκληρότερο υλικό, όπως το τσιμέντο, η άσφαλτος ή οι πλάκες για τη δημιουργία του καλύμματος.

Υλικά κατάλληλα για δημιουργία καλυμμάτων είναι:

Φυσικά υλικά: Για την επιλογή των κατάλληλων φυσικών υλικών, εξετάζονται τεχνικές και οικονομικές παράμετροι. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η πηγή του υλικού, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του (πυκνότητα, υδροπερατότητα, δείκτες πλαστικότητας, στην περίπτωση λεπτόκοκκων υλικών, οργανικές ενώσεις, κοκκομετρία και ειδικό βάρος) και η ευκολία με την οποία θα αποκτηθεί και θα μεταφερθεί, αφού θα αποτελέσει και το μεγαλύτερο κομμάτι του τελικού κόστους. Η χρήση υλικών που βρίσκονται στην περιοχή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάγκη των εργασιών μειώνει κατά πολύ το κόστος εφαρμογής.

Οι περισσότερες εφαρμογές που έχουν γίνει μέχρι σήμερα χρησιμοποίησαν εδαφικά υλικά προερχόμενα από κοίτες ποταμών ή από ορεινές περιοχές (κυρίως από λατομεία αδρανών). Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα μόνο απλό στρώμα εδαφικού υλικού ήταν αρκετό για να έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Σε άλλες περιπτώσεις η δημιουργία περίπλοκου καλύμματος (πολυστρωματικού) ήταν απαραίτητη για την εξασφάλιση ικανοποιητικών αποτελεσμάτων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, κοκκώδη υλικά όπως η άμμος, τα φυσικά ιζήματα, τα χαλίκια ή άλλα φυσικά εδαφικά υλικά, όπως η άργιλος, είναι κατάλληλα για τη δημιουργία καλύμματος, τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται συνδυαστικά. Με τη βοήθειά τους απομονώνονται οι τοξικές ουσίες και αποτρέπεται και μεταφορά τους.

Γεωσυνθετικά υλικά και μεμβράνες: Οι μεμβράνες είναι αδιαπέρατα συνθετικά υλικά με ευρύ φάσμα εφαρμογών. Τα γεωφάσματα είναι πορώδη συνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια στις κατασκευές. Μια απλή εφαρμογή τους είναι η χρησιμοποίησή τους για την αύξηση της ευστάθειας ενός τεχνητού αναχώματος. Τα γεωσυνθετικά υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί και για τις ανάγκες κατασκευής καλυμμάτων. Η χρήση τους στοχεύει στην δημιουργία ενός αδιαπέρατου από το νερό φραγμού, ο οποίος λειτουργεί ευεργετικά στη σταθεροποίηση της κατασκευής. Ταυτόχρονα αποτρέπουν την ανάμιξη των υλικών του καλύμματος με το ρυπασμένο έδαφος και μειώνουν τη διάβρωση της όλης κατασκευής.

Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλα υλικά στοχεύοντας στην προστασία και στη βελτίωση των φυσικών τους χαρακτηριστικών, έχουν αναφερθεί και περιπτώσεις όπου χρησιμοποιήθηκαν απευθείας ως καλύμματα για την απομόνωση ρυπασμένων περιοχών.

Άσφαλτος, τσιμέντο και δομικές πλάκες: Η χρησιμοποίηση σκληρών υλικών όπως η άσφαλτος, το τσιμέντο, οι πλάκες ή άλλα παρεμφερή υλικά εξασφαλίζουν την πλήρη

απομόνωση του ρυπασμένου εδάφους, με τη βασική προϋπόθεση ότι η τοποθέτησή τους έχει γίνει με το σωστό τρόπο και η παρακολούθηση των χαρακτηριστικών τους θα γίνεται για μακρύ χρονικό διάστημα. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλα υλικά, κυρίως εδαφικά και αποτελούν το τελευταίο στρώμα του καλύμματος. Λόγω της σκληρότητάς τους και της πλήρους απομόνωσης που επιτυγχάνουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από μόνα τους μειώνοντας το τελικό πάχος του καλύμματος.

Στην περίπτωση της ασφάλτου, το κάλυμμα παρουσιάζει αυξημένη σκληρότητα και μειωμένη διαπερατότητα, ενώ προτιμάται από το τσιμέντο το οποίο, αν και είναι περισσότερο αδιαπέρατο, δεν παρουσιάζει την πλαστικότητα της ασφάλτου και είναι πιο εύκολο να διαβρωθεί από τη χρήση και τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Αν η περιοχή χαρακτηρίζεται από αυξημένη κίνηση τότε είναι απαραίτητη η πρόσμιξη της ασφάλτου με κάποιο αδρανές υλικό (κυρίως χαλίκι ή άμμο) για την βελτίωση της αντοχής της. Κάτω από το στρώμα της ασφάλτου στρώνεται ένα υλικό με μεγαλύτερη διαπερατότητα και μέσω αυτού επιτυγχάνεται η αποστράγγιση των νερών της βροχής. Σε αντίθετη περίπτωση, το παγιδευμένο νερό ενδέχεται να παγώσει και να δημιουργήσει ασυνέχειες στο ασφαλικό υλικό.

Τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή προστατευτικών καλυμμάτων δεν διαφέρουν πολύ από τα έργα οδοποιίας. Είναι απαραίτητο όμως να γίνουν τροποποιήσεις, όπως η μείωση της περατότητας και η ταυτόχρονη αύξηση της αντοχής για να απομονωθεί καλύτερα η ρυπασμένη περιοχή. Για παράδειγμα, το ασφαλικό μίγμα για την κατασκευή καλύμματος πρέπει να υποστεί καλύτερο έλεγχο στην κοκκομετρία του και να περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα ασφάλτου και μικρότερη αδρανών υλικών από ότι ένα αντίστοιχα μίγμα που θα χρησιμοποιηθεί για την οδοποιία.

Τέλος, υπάρχει και η περίπτωση της χρήσης δομικών πλακών ή λίθων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι ειδικές πλάκες διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πεζοδρομίων, λιθόστρωτων κ.λπ. και παρουσιάζουν το πλεονέκτημα του καλύτερου αποτελέσματος από αισθητικής απόψεως, μια και η ασφαλτος ή το τσιμέντο είναι ιδιαίτερα ψυχρά υλικά. Ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένες οι πλάκες, υπάρχουν διαφορές στην περατότητα και την αντοχή τους στο χρόνο. Όπως είναι φυσικό, η χρήση των πλακών συνοδεύεται σχεδόν πάντα από την παρουσία άλλων υλικών, τα οποία λειτουργούν ως υπόβαθρο.

Σε γενικές γραμμές, οι περιοχές που δέχονται εύκολα την κατασκευή καλυμμάτων είναι αυτές, στις οποίες μπορούν να λάβουν χώρα χωματουργικές εργασίες με τη βοήθεια φορτηγών και εκσκαφέων. Η χρήση επιλεγμένων περιοχών ως χώροι αποθήκευσης των υλικών είναι απαραίτητη. Σε περίπτωση που στον χώρο υπάρχουν κατάλληλα εδάφη που δεν παρουσιάζουν ρύπανση τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν μειώνοντας το κόστος των υλικών και της μεταφοράς τους. Οι εκτεταμένες χωματουργικές εργασίες για την κατασκευή του καλύμματος είναι δυνατόν να συνδυαστούν με κατάλληλη μελέτη, για την ανάπλαση της περιοχής ή την αλλαγή της χρήσης της.

Η μέθοδος της κάλυψης προτιμάται όταν η πηγή της ρύπανσης έχει απομονωθεί ή έχει σταματήσει να παράγει ρύπους. Σημαντικό ρόλο στην απόφαση εφαρμογής της μεθόδου παίζει το ιδιαίτερα μειωμένο κόστος σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, το οποίο

όμως παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση κυρίως λόγω των προπαρασκευαστικών έργων που μπορεί να απαιτηθούν. Για παράδειγμα, αν η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονη βλάστηση είναι απαραίτητη η αποψίλωσή της και η δημιουργία του κατάλληλου υπόβαθρου για την επίστρωση του υλικού ή των υλικών του ειδικού καλύμματος.

B. Απομόνωση

Εκτός από την κάλυψη της ρυπασμένης περιοχής, λύση στο πρόβλημα μπορούν να δώσουν και οι διάφορες τεχνικές απομόνωσης (containment). Σύμφωνα με αυτές, το ρυπασμένο εδαφικό υλικό απομονώνεται σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο και είναι αδύνατη η επαφή του με το περιβάλλον ή η περαιτέρω επαφή του με τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Οι μέθοδοι αυτές περιγράφονται με το γενικό όρο ΧΥΤΕΑ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Επικίνδυνων Αποβλήτων).

Αρχικά απαιτείται η εκσκαφή του εδάφους και η προσωρινή φύλαξή του σε καθορισμένη περιοχή. Στη συνέχεια υπάρχουν δύο επιλογές: η μία να επιστρέψει στην αρχική του θέση, η οποία έχει στεγανωθεί και απομονωθεί καταλλήλως και η δεύτερη είναι να μεταφερθεί σε άλλη, ειδικά διαμορφωμένη περιοχή. Ανεξαρτήτως της περίπτωσης που επιλέγεται, οι εργασίες που απαιτούνται είναι οι ίδιες. Στόχος είναι η επίτευξη στεγανότητας του χώρου με διαδοχικές στρώσεις από γαιώδη και συνθετικά υλικά. Τα γαιώδη υλικά αποτελούνται συνήθως από αδιαπέρατα εδαφικά υλικά, όπως η άργιλος, ενώ τα συνθετικά είναι γεωμεμβράνες και γεωφάσματα.

Στη συνέχεια το ρυπασμένο υλικό τοποθετείται εντός της απομονωμένης περιοχής και καλύπτεται με συνθετικά υλικά και ποσότητες υγιούς εδάφους, κατά προτίμηση αδιαπέρατου. Πρόκειται για παρόμοια μέθοδο με αυτή της κάλυψης με τη διαφορά ότι εξασφαλίζεται η πλήρης απομόνωση του ρυπασμένου εδαφικού υλικού και όχι μόνο η αποκοπή του από το υπέργειο φυσικό περιβάλλον.

Η απαίτηση για μακρόχρονη παρακολούθηση και αποκατάσταση των πιθανών ζημιών παραμένει και σε αυτή την περίπτωση, αποτελώντας το μεγαλύτερο πρόβλημα στη σωστή εφαρμογή της μεθόδου. Ταυτόχρονα, ανάλογα με την περίπτωση, ίσως είναι απαραίτητη η διενέργεια δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην περιοχή, ώστε να ανιχνευθεί πιθανή διάρρηξη της μεμβράνης ή του γεωφάσματος που έχει χρησιμοποιηθεί. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η κατάσταση της κατασκευής και εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία της.

Σημαντικό στοιχείο για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων είναι η σωστή επιλογή των υλικών, δηλαδή του συνδυασμού αδιαπέρατου εδαφικού υλικού και συνθετικών μεμβρανών ή υφασμάτων. Τα υλικά αυτά πρέπει να τοποθετηθούν με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να απομονωθεί πλήρως ο χώρος όπου θα αποτεθεί το ρυπασμένο έδαφος.

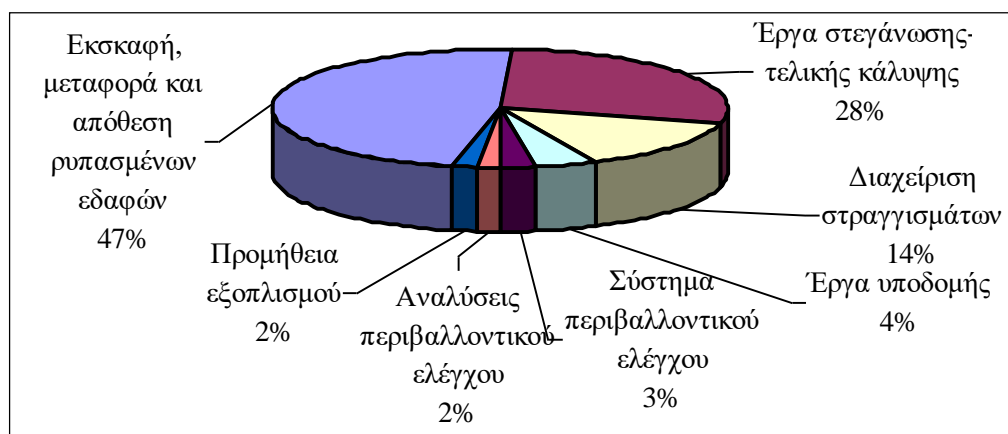
Η μέθοδος αυτή μπορεί να επιλεγεί για να αντιμετωπίσει συνολικά το πρόβλημα μιας ρυπασμένης περιοχής ή να βρει εφαρμογή σε συγκεκριμένα σημεία της. Επίσης μπορεί να συνδυαστεί με τις διάφορες τεχνολογίες κάλυψης, ώστε να προκύψει μια σύνθετη λύση, η οποία θα αντιμετωπίζει κάθε τμήμα της ρυπασμένης περιοχής με ξεχωριστό τρόπο, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.

Η περίπτωση της εξυγίανσης των ρυπασμένων εδαφών στο χώρο του Τ.Π.Π.Α.

Στο χώρο του Τ.Π.Π.Α. έχει πραγματοποιηθεί με επιτυχία η απορρύπανση των ρυπασμένων εδαφών, χρησιμοποιώντας την τεχνική της απομόνωσης με τη δημιουργία ειδικού αδιαπέρατου κελύφους (dry tomb structure). Πιο συγκεκριμένα έγινε η εκσκαφή όλων των ρυπασμένων εδαφών που βρίσκονται εντός του Τ.Π.Π.Α. και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ταφή τους σε ένα Χώρο Υγειονομικής Ταφής Ρυπασμένων Εδαφών (Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε.) που δημιουργήθηκε στη νότια περιοχή του Πάρκου. Στις εκτάσεις στις οποίες έγινε αφαίρεση εδαφών, πραγματοποιήθηκε επιχωμάτωση και κάλυψη με υγιές έδαφος.

Στο χώρο ανάπτυξης του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. (περίπου 18 στρέμματα) έγινε η εκσκαφή και η κατάλληλη διαμόρφωση του πυθμένα του, παράλληλα με την τοποθέτηση επάλληλων στρώσεων στεγανοποίησης (μεμβράνες, γεωσυνθετικοί φραγμοί, κ.λπ.). Στη συνέχεια μέσα στο χώρο τοποθετήθηκαν περί τα 113.000 m³ ρυπασμένων εδαφών και εν συνεχεία τοποθετήθηκε η τελική κάλυψη, πάλι με την εφαρμογή των ειδικών στρώσεων στεγανοποίησης.

Το έργο κόστισε συνολικά 3,5 εκ. Ευρώ, το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε 31 €/m³ ή 16 Ευρώ ανά τόνο. Η δε κατανομή του κόστους παρουσιάζεται στο Σχήμα 28 (Kaliampakos et al., 2007).



Σχήμα 11. Κατανομή του κόστους κατασκευής του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε.

3.3.6 Άλλες Μέθοδοι

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται τεχνολογίες οι οποίες, βάσει των χαρακτηριστικών τους, δεν μπορούν να υπαχθούν σε κάποια από τις ανωτέρω κατηγορίες. Πρόκειται κυρίως για την Στερεοποίηση/Σταθεροποίηση και την Υγειονομική Ταφή των Αποβλήτων, καθώς και για ορισμένες άλλες μεθόδους:

Φυτο - Εξυγίανση (Phyto-remediation): Η απομάκρυνση με την χρήση φυτών (Phytoextraction) περιλαμβάνει την απορρόφηση των μετάλλων από δένδρα, βότανα, γρασίδι και σπαρτά, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτή σαν μέθοδος εξυγίανσης (NRC, 1999, Mulligan et al., 2001). Μόλις τα φυτά απορροφήσουν τη ρύπανση πρέπει, είτε να καταστραφούν είτε να υποστούν επεξεργασία με χρήση κατάλληλης μεθοδολογίας (Mulligan et al., 2001, Edenspace, 2004). Η φυτο - εξυγίανση είναι εφαρμόσιμη σε μικρά βάθη με μικρές συγκεντρώσεις ρυπαντών. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι οι μεγαλύτεροι χρόνοι που απαιτούνται σε σύγκριση με άλλες τεχνικές εξυγίανσης.

Εκσκαφή - Μεταφορά - Ανάμειξη (Διεργασίες Μηχανικών Μέσων): Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται διεργασίες που πραγματοποιούνται με μηχανικά μέσα (Janikowski et al., 2000). Για παράδειγμα μπορεί να πραγματοποιηθεί εκσκαφή και μεταφορά του ρυπασμένου εδάφους σε άλλη τοποθεσία για περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση και αντικατάστασή του με καθαρό έδαφος. Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς και τοποθέτησης ποσότητας καθαρού εδάφους στην επιφάνεια του ρυπασμένου χωρίς απομάκρυνση του τελευταίου (Janikowski et al., 2000). Και στην περίπτωση αυτή η λύση είναι προσωρινή καθώς το ρυπασμένο έδαφος εξακολουθεί να υφίσταται κάτω από ορισμένα στρώματα καθαρού.

Στερεοποίηση/Σταθεροποίηση (Solidification/Stabilization): Με τον όρο στερεοποίηση/σταθεροποίηση περιγράφεται μια ομάδα μεθόδων αποκατάστασης ρυπασμένων εδαφών, οι οποίες εμποδίζουν ή επιβραδύνουν την μεταφορά βλαβερών χημικών ουσιών από τα εδάφη αυτά. Ο όρος στερεοποίηση (solidification) αναφέρεται στις τεχνικές εκείνες που ενώνουν το ρυπασμένο έδαφος με τσιμέντο ή άλλο παρεμφερές υλικό δημιουργώντας ένα στερεό συμπυκνωμένο προϊόν. Ο όρος σταθεροποίηση (stabilization) αναφέρεται στις τεχνικές που μετατρέπουν τις χημικές ουσίες σε λιγότερο επικίνδυνες ή λιγότερο ευκίνητες. Συνήθως οι δύο αυτές τεχνικές εφαρμόζονται ταυτόχρονα, ώστε να εμποδιστεί η έκθεση των ανθρώπων σε επικίνδυνες και βλαβερές τοξικές ουσίες. Η στερεοποίηση/σταθεροποίηση (Σ/Σ) εφαρμόζεται συνήθως αναμιγνύοντας τα ρυπασμένα εδάφη με κάποιο ειδικό μέσο προς δημιουργία ενός σταθερού κρυσταλλικού πλαισίου. Το μέσο αυτό μπορεί να είναι τσιμέντο, ασβέστης, ιπτάμενη τέφρα, ασφαλτος ή κάποιο άλλο πολυμερές υλικό σε ημίρρευστη κατάσταση.

Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται τόσο *in situ*, όσο και *ex situ*. Στη δεύτερη περίπτωση, η μέθοδος εφαρμόζεται σε ρυπασμένα εδάφη, τα οποία έχουν τεμαχιστεί ώστε να φτάσουν σε κατάλληλη κοκκομετρία. Στη συνέχεια αναμιγνύονται με τσιμέντο ή άλλο παρεμφερές υλικό, νερό και διάφορες πρόσθετες ουσίες. Συνήθως η μέθοδος αυτή οδηγεί σε αύξηση του τελικού όγκου του εδαφικού υλικού που μπορεί να φτάσει και το 50% του αρχικού.

Οι περιορισμοί που εμφανίζει η μέθοδος είναι:

- Η επιλογή του κατάλληλου συγκολλητικού μέσου δυσκολεύει όσο αυξάνεται ο αριθμός των ρύπων.
- Εδαφικό υλικό με μέγεθος μεγαλύτερο των 60 mm, πρέπει είτε να απομακρύνεται είτε να διασπάται πριν οδηγηθεί στο μηχάνημα ανάμιξης.
- Το κλίμα της περιοχής μπορεί να επηρεάσει την μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα της εφαρμογής.
- Η αύξηση του όγκου πρέπει να υπολογιστεί, ώστε να μην προκύψει πρόβλημα στην απόθεση του καθαρισμένου εδάφους.

Η in situ εφαρμογή περιλαμβάνει δύο στάδια: την ανάμιξη και την αντιμετώπιση των αερίων προϊόντων. Η μεγαλύτερη δυσκολία κατά την εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής είναι η επίτευξη της πλήρους και ομοιόμορφης ανάμιξης του εδάφους με το μίγμα. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ειδικού μηχανήματος, το οποίο ανακατεύει το υλικό και ταυτόχρονα, με τη βοήθεια ειδικών ακροφυσίων, εισχωρεί το ειδικό μίγμα στο έδαφος, ώστε με την στερεοποίηση να παγιδευτούν οι τοξικές ουσίες του εδάφους.

3.4 Σύγκριση Τεχνολογιών Εξυγίανσης με Βάση το Εκτιμώμενο Κόστος

Στο σημείο αυτό επιχειρείται μία σύγκριση των τεχνολογιών με την μεγαλύτερη εφαρμογή σε ρυπασμένα εδάφη στις Η.Π.Α., με αποκλειστικό κριτήριο αυτό του κόστους (US EPA, 1997a, EPAREACHIT, 2004) (Σχήμα 12). Τονίζεται ότι η εκτίμηση του κόστους δεν περιλαμβάνει ενδεχόμενη προεπεξεργασία, προετοιμασία του χώρου, λειτουργικά κόστη και επιπλέον κόστη για πρόσθετη επεξεργασία αποβλήτων που προκύπτουν από την επεξεργασία.

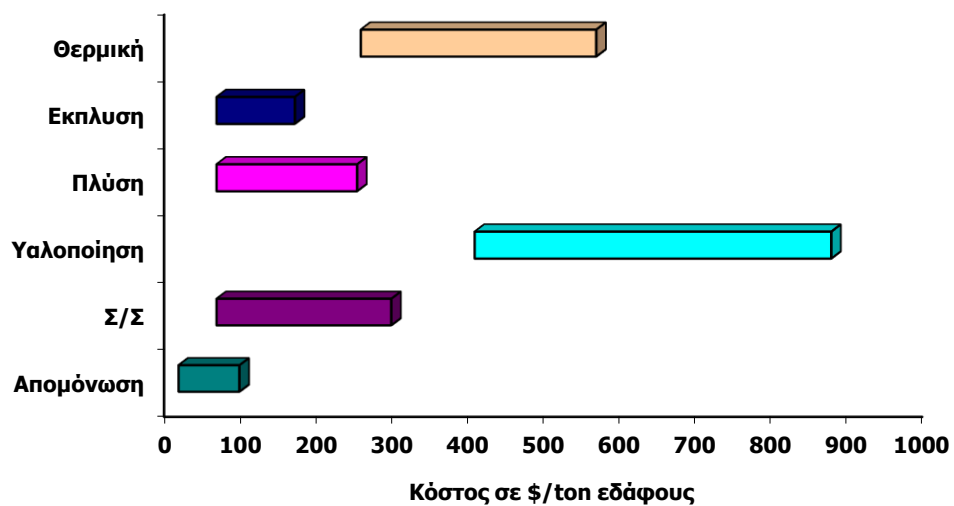
Η απομόνωση και ο περιορισμός της ρύπανσης εμφανίζεται ως η πιο οικονομική λύση, με το μικρότερο κόστος (30-100 \$/ton), συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες. Η σωστή εφαρμογή της μεθόδου σε συνδυασμό με την απαραίτητη συντήρηση του καλύμματος μπορεί να προσφέρει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ακολούθως ως πιο οικονομική εμφανίζεται η εφαρμογή της σταθεροποίησης / στερεοποίησης των ρυπασμένων εδαφών. Εμφανίζει όμως μεγάλο εύρος κόστους, από 60 έως 290 \$/ton υλικού, δημιουργώντας προβληματισμό σχετικά με το συνολικό πραγματικό κόστος μιας τέτοιας διεργασίας και τους παράγοντες που μπορούν να την επηρεάσουν (τύπος εδάφους, είδη ρυπαντών, ιδιαιτερότητες περιοχής και τοποθεσίας κ.ά.)

Τόσο η υαλοποίηση (400–870 \$ /ton) όσο και οι συγγενείς θερμικές μέθοδοι (250-560 \$ /ton) εμφανίζονται ιδιαίτερα δαπανηρές με τα υψηλότερα υπολογιζόμενα κόστη σε σχέση με όλες τις μεθοδολογίες. Το γεγονός αυτό έχει να κάνει αφενός με τα υψηλά ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών, αφετέρου με το υψηλό κόστος των εγκαταστάσεων, αλλά και την εγκατάσταση συστημάτων επεξεργασίας των αερίων εκπομπών.

Τέλος αναφορικά με την έκπλυση / διαβροχή εδαφών (Soil Flushing), αυτή κατατάσσεται σαν μια αρκετά οικονομική τεχνολογία, σε σχέση πάντα με τα εκτιμώμενα κόστη (90-170 \$/ton), προβάλλοντας ιδιαίτερα δελεαστική σαν

ενδεχόμενη επιλογή, σε σχέση και με τις δυνατότητες της. Σημαντικό πλεονέκτημα της είναι η επί τόπου εφαρμογή, χωρίς επιβάρυνση με εκσκαφή και μεταφορά εδαφών, γεγονός που συντελεί στην συγκράτηση του κόστους σε σχετικά χαμηλά επίπεδα.



Σχήμα 12. Μέθοδοι εξυγίανσης και τα αντίστοιχα κόστη (σε \$/ton) (US EPAα, 1997)

3.5 Παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων που εξετάστηκαν για τον χόρο - Προτεινόμενες παρεμβάσεις

3.5.1 Αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων για την εξυγίανση της περιοχής μελέτης

Από τις τεχνολογίες εξυγίανσης που παρουσιάστηκαν, αυτές που περιλαμβάνουν in situ επεξεργασία δεν αποτελούν ενδεδειγμένη λύση, λόγω της φύσης των αποβλήτων, του κόστους επεξεργασίας αλλά και του χρόνου υλοποίησης.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες τεχνολογίες, πολλές από αυτές δεν είναι κατάλληλες να εφαρμοσθούν στην υπό εξέταση περιοχή για τους κάτωθι λόγους:

Φυσικές Μέθοδοι: Θεωρούνται προπαρασκευαστικές εφαρμογής άλλων τεχνολογιών. Ο μηχανικός και ο μαγνητικός διαχωρισμός απαιτούν ex-situ εφαρμογή, ενώ οι υπόλοιπες φυσικές μέθοδοι (π.χ. απομάκρυνση με ρεύμα αέρα) εφαρμόζονται σε εδάφη ρυπασμένα με οργανικές ενώσεις και συνήθως σε περιοχές χαμηλών συγκεντρώσεων.

Χημικές Μέθοδοι: Η πλύση εδαφών απαιτεί ex-situ εφαρμογή, η προσθήκη τροποποιητικών εδάφους βρίσκει εφαρμογή σε μικρά βάθη, η χημική οξείδωση-αναγωγή χρησιμοποιείται κυρίως ως προπαρασκευαστική άλλων τεχνολογιών, ενώ οι ηλεκτροκινητικές μέθοδοι εφαρμόζονται, κυρίως, σε λασπώδεις εναποθέσεις. Η έκπλυση του εδάφους (soil flushing), που ίσως παρουσίαζε κάποιο ενδιαφέρον, κυρίως λόγω ανταγωνιστικού κόστους δεν συνιστάται, επίσης, γιατί η φύση των αποτιθέμενων στην περιοχή μελέτης αποβλήτων απαιτεί ισχυρούς διαλύτες (π.χ. ισχυρά οξέα) για την απομάκρυνση (έκπλυση) των βαρέων μετάλλων, θέτοντας ζήτημα διαχείρισης επικίνδυνων υγρών αποβλήτων.

Βιολογικές Μέθοδοι: Η παρουσία ευρείας γκάμας μετάλλων μεταλλοειδών δρα ανασταλτικά σε σχέση με την ανάπτυξη των απαραίτητων μικροοργανισμών.

Θερμικές Μέθοδοι: Η υαλοποίηση κρίνεται απαγορευτική λόγω υψηλού κόστους αλλά και ανάγκης εγκατάστασης ειδικής μονάδας επεξεργασίας αερίων εκπομπών. Η αποτέφρωση, η πυρόλυση αλλά και η θερμική εκρόφηση, λόγω των θερμοκρασιών εφαρμογής τους, δεν ενδείκνυνται για την επεξεργασία εδαφών ρυπασμένων με μέταλλα, τα οποία απαιτούν πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες για την απομάκρυνσή τους (τις οποίες επιτυγχάνει η υαλοποίηση). Τέλος, το κόστος των πυρομεταλλουργικών μεθόδων θεωρείται ανεκτό μόνο στην περίπτωση που επιτυγχάνεται σημαντική ανάκτηση μετάλλων και υπάρχει αγορά για τη διάθεσή τους.

Άλλες Μέθοδοι: Φυτοεξυγίανση. Η αποτελεσματικότητά της σε σκωρίες μεγάλου βάθους δεν έχει αποδειχθεί, ενώ τίθεται και θέμα διάθεσης των επιβαρυσμένων φυτών.

Στη βάση των παραπάνω επιλέχθηκαν για περαιτέρω εξέταση τα ακόλουθα εναλλακτικά σεναρία, σχετικά με την εξυγίανση της περιοχής μελέτης:

- Καμία επέμβαση στο χώρο (Μηδενική λύση)
- Εφαρμογή τεχνικής κάλυψης των μεταλλουργικών αποβλήτων
- Εφαρμογή τεχνικής απομόνωσης των μεταλλουργικών αποβλήτων (X.Y.T.P.E.)

3.5.2 Εναλλακτικό σενάριο 1: Καμία επέμβαση στο χώρο (Μηδενική λύση)

Σύμφωνα με το εναλλακτικό σενάριο 1 δεν πραγματοποιείται καμία εργασία για την εξυγίανση του χώρου και η περιοχή μελέτης παραμένει ως έχει.

Με βάση το σενάριο αυτό δεν αντιμετωπίζεται το περιβαλλοντικό πρόβλημα από τις αποθέσεις των μεταλλουργικών αποβλήτων στην περιοχή και, κατ' επέκταση, ο χώρος δεν μπορεί να καταστεί επισκέψιμος.

3.5.3 Εναλλακτικό σενάριο 2: Εφαρμογή τεχνικής κάλυψης των μεταλλουργικών αποβλήτων

Σύμφωνα με το εναλλακτικό σενάριο 2, για την εξυγίανση της περιοχής μελέτης εφαρμόζεται η τεχνική κάλυψης, με στόχο την αποκοπή των διαφόρων οδών μεταφοράς των επικίνδυνων ρύπων προς τον άνθρωπο και το υπέργειο οικοσύστημα. Πιο συγκεκριμένα, με την προτεινόμενη λύση επιτυγχάνεται:

- Η δημιουργία φυσικού εμποδίου στην επαφή των ανθρώπων και του υπέργειου οικοσυστήματος με το ρυπασμένο έδαφος.
- Η αποτροπή της κατεΐσδυσης του νερού της βροχής στο ρυπασμένο έδαφος και η μεταφορά των τοξικών ουσιών μέσω των επιφανειακών ή των υπογείων νερών σε γειτονικές περιοχές.
- Η προστασία της περιοχής από την επίδραση της αιολικής διάβρωσης, μέσω της οποίας μπορεί να μεταφερθεί ρυπασμένο εδαφικό υλικό σε γειτονικές τοποθεσίες.

Η εν λόγω τεχνική προβλέπει την εφαρμογή πολυστρωματικής κάλυψης. Η επιλογή της δομής της πολυστρωματικής κάλυψης στηρίζεται στην κείμενη νομοθεσία για αποκατάσταση Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ), μέγιστου βαθμού επικινδυνότητας (Κατηγορίας 3) (Εγκύκλιος υπ. αριθμ. 19/οικ 135977/51/14-12-2005/Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ).

Με δεδομένο ότι η υφιστάμενη κλίση των αποθέσεων, σε συνδυασμό με τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και την οριοθέτηση της περιοχής μελέτης, δεν επιτρέπει τη διαμόρφωση πρανών με κλίση μικρότερη ή το πολύ ίση με 1:3, η προσέγγιση της πολυστρωματικής κάλυψης διαφοροποιείται μεταξύ πλατειών (επίπεδων επιφανειών) και πρανών

Τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της εν λόγω τεχνικής είναι τα ακόλουθα:

- Αντιμετωπίζει τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα και μηδενίζει πρακτικά τον κίνδυνο για τον άνθρωπο και το υπέργειο οικοσύστημα.
- Αποφεύγεται η αναμόχλευση των ρυπασμένων εδαφών και, επομένως, ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος μεταφοράς και διασποράς του παραγόμενου από τις εν λόγω εργασίες κονιορτού και ειδικότερα των λεπτομερών – εισπνεύσιμων/αναπνεύσιμων σωματιδίων, προς τους οικισμούς του Καβοδόκανου

και Θορικού, που βρίσκονται πλησίον των αποθέσεων, και προς την πόλη του Λαυρίου.

- Το κόστος είναι σχετικά μικρό συγκριτικά με το κόστος από όλες σχεδόν τις άλλες μεθόδους εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών. Πιο συγκεκριμένα το κόστος εφαρμογής του συγκεκριμένου εναλλακτικού σεναρίου εκτιμάται, περίπου, σε 1.900.0000 €.
- Αποτελεί, σχετικά, απλή, από τεχνικής πλευράς, διαδικασία σε σύγκριση με άλλες μεθόδους εξυγίανσης.
- Τα υλικά που απαιτούνται είναι εύκολο να βρεθούν ή να αγοραστούν.
- Ο απαιτούμενος χρόνος για την υλοποίηση του έργου της εξυγίανσης με την εν λόγω μέθοδο είναι σχετικά μικρός. Κατά συνέπεια η εφαρμογή της μεθόδου σε συνδυασμό με ένα σχέδιο αποκατάστασης – αξιοποίησης του χώρου, το οποίο θα περιλαμβάνει ήπιες χρήσεις γης για αναψυχή, μπορεί να αποδώσει σε σύντομο χρονικό διάστημα ένα χώρο πλήρως λειτουργικό που θα προσφέρει νέα πνοή σε μία ιδιαίτερα υποβαθμισμένη περιοχή.

Γενικά, το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου της κάλυψης έγκειται στο γεγονός ότι η πηγή του κινδύνου δεν εξαλείφεται. Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχουν σημαντικές παράμετροι που αμβλύνουν σε μεγάλο βαθμό το μειονέκτημα αυτό και συγκεκριμένα:

- Οι ρύποι θα είναι πλήρως αποκομμένοι από οδούς μεταφοράς που σχετίζονται με την επίδραση των ομβρίων υδάτων και της αιολικής διάβρωσης.
- Με δεδομένη την παρουσία στην υπό εξέταση περιοχή κυρίως σκωριών, υφίσταται μεγάλος βαθμός ασφάλειας για τα υπόγεια ύδατα και το υπέδαφος γενικότερα. Αυτό συμβαίνει διότι οι σκωρίες, παρά τις υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων που εμφανίζουν, ως παραπροϊόντα διεργασιών υψηλών θερμοκρασιών συνίστανται κυρίως σε οξειδία και εμφανίζουν σταθερό κρυσταλλικό πλέγμα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το χαμηλό δυναμικό γένεσης οξύτητας, το υψηλό τους pH και τη σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, ελαχιστοποιούν την εκπλυσιμότητα των εν λόγω αποβλήτων.

Σε κάθε περίπτωση, πάντως, απαιτείται η τακτική παρακολούθηση της πολυστρωματικής κάλυψης και συντήρησή της, όταν αυτό κρίνεται σκόπιμο.

3.5.4 Εναλλακτικό σενάριο 3: Εφαρμογή τεχνικής απομόνωσης των μεταλλουργικών αποβλήτων (X.Y.T.P.E.)

Η εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής και αναλύεται παρακάτω.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αναλυτικά, ο σχεδιασμός από την αρχή του κατάλληλα διαμορφωμένου χώρου ταφής, από την στιγμή της δημιουργίας του μέχρι και την τελική διαμόρφωσή του, τα υλικά και οι απαραίτητες εργασίες που θα χρειαστούν και γίνεται μια προσπάθεια κοστολόγησης αυτών.

Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής κι γίνεται μια τελική σύγκριση σε σχέση με τα εναλλακτικά σενάρια.

Κεφάλαιο 4. Σχεδιασμός σκάφης- τελικής διαμόρφωσης, ογκομετρήσεις

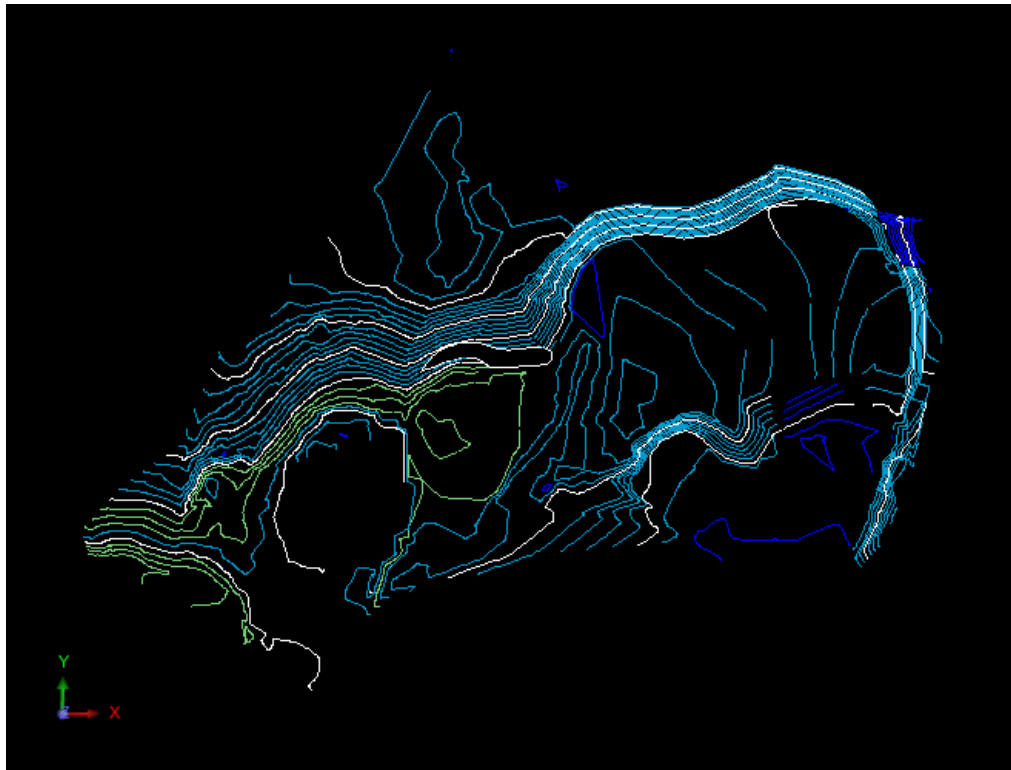
4.1 Εισαγωγή: Βασικές πληροφορίες για το πρόγραμμα σχεδίασης

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η εξέλιξη των εργαλείων που έχει στην διάθεση του ο μηχανικός, έχουν βελτιώσει ραγδαία τον τρόπο που εργάζεται και την παραγωγικότητα του. Προγράμματα τύπου CAD (Computer Aided Design) χρησιμοποιούνται πλέον κατά κόρον στο χώρο της Μεταλλευτικής, καθώς τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν στον σχεδιασμό της εκάστοτε , είναι τεράστια. Η ταχύτητα του σχεδιασμού σε σύγκριση με χειροκίνητα μέσα, η ακρίβεια στις μετρήσεις μεγεθών όπως εμβαδά, όγκοι κλπ., η δημιουργία κι αξιολόγηση εναλλακτικών σχεδίων εκμετάλλευσης, η τρισδιάστατη απεικόνιση τους και η παρακολούθηση των εξελίξεων των εργασιών με την βοήθεια ψηφιακών τοπογραφικών δεδομένων, είναι μερικές μόνο από τις δυνατότητες που παρέχουν τα λογισμικά αυτά.

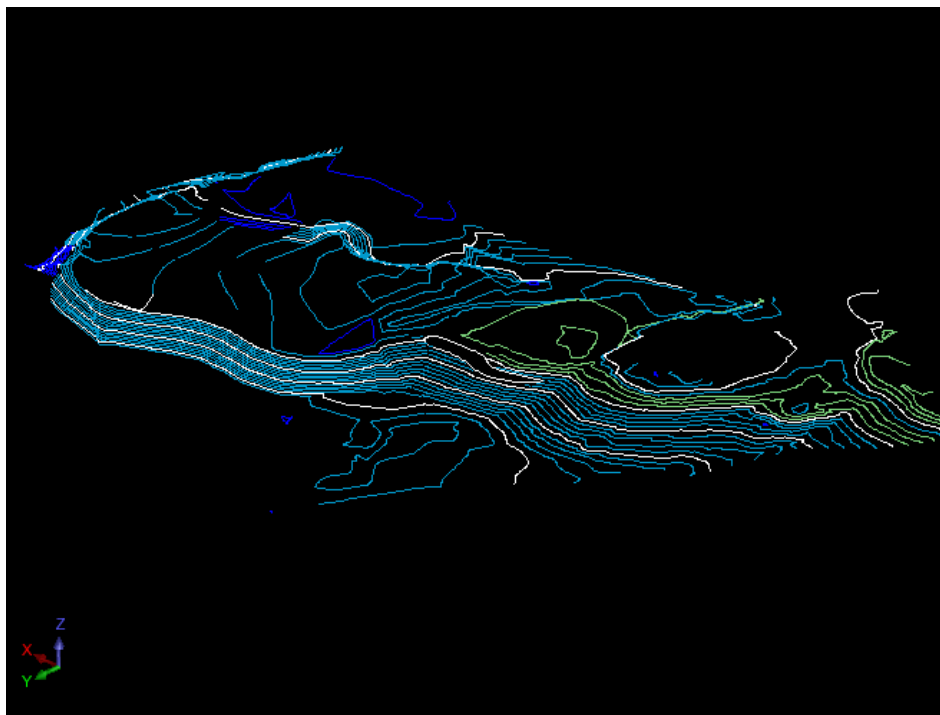
Στα πλαίσια της διπλωματικής, για τον σχεδιασμό του ΧΥΤΡΕ, χρησιμοποιήθηκε το μεταλλευτικό λογισμικό **Gemcom Surpac**, ένα ολοκληρωμένο πακέτο λογισμικού που εξειδικεύεται στον σχεδιασμό υπόγειων και υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Ξεκινώντας από την απλή υπόθεση ότι ένας τρισδιάστατος κόσμος χρήζει εργαλείων τρισδιάστατου τρόπου απεικόνισης, παρέχει όσα χρειάζεται ο μηχανικός για να σχεδιάσει επιτυχώς ένα μοντέλο που να ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα και να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο τις μεταλλευτικές δραστηριότητες, τροποποιώντας τον σχεδιασμό κατά το δοκούν έτσι ώστε να προσαρμόζει τον σχεδιασμό στις συνθήκες που παρουσιάζονται.

4.2 Εκκίνηση σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός των εργασιών ξεκινάει από τον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής, πλήρως ψηφιοποιημένο όπως φαίνεται στα σχήματα 13-14

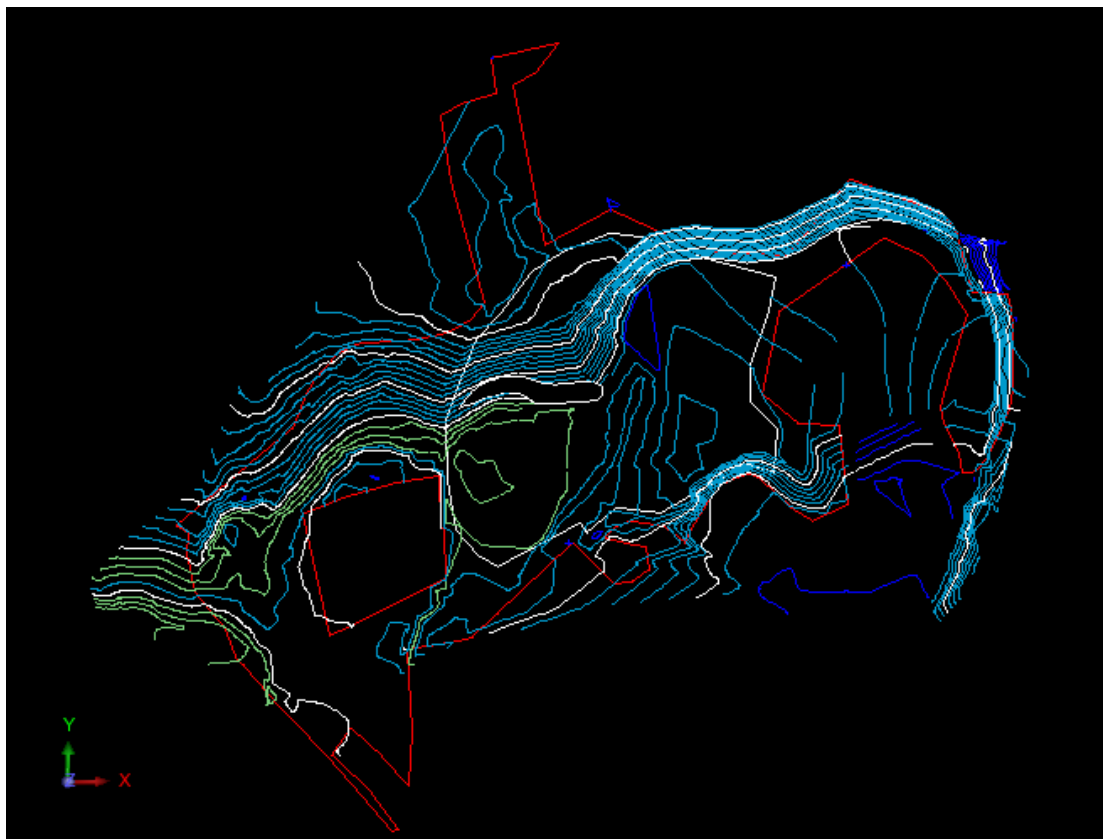


Σχήμα 13. Κάτοψη περιοχής ενδιαφέροντος



Σχήμα 14. Άποψη χώρου ενδιαφέροντος

Βάσει της επικείμενης νομοθεσίας και των αδειών παραχωρήσεως, σημειώνονται τα επιτρεπόμενα όρια επέμβασης (κόκκινη γραμμή στο σχήμα 15). Παράλληλα οριοθετείτε η περιοχή στην οποία παρατηρείται το μεγαλύτερο πρόβλημα ρύπανσης έτσι ώστε ο σχεδιασμός της εκσκαφής να είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτικός και ακριβής.



Σχήμα 15. Επιτρεπόμενα όρια επέμβασης (κόκκινη γραμμή), προτεινομένη θέση εκσκαφής (εντός λευκής γραμμής)

Στο σημείο αυτό, μπορεί να ξεκινήσει ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης. Γενικά, είναι προτιμότερο να ξεκινήσει από το υψηλότερο σημείο της εκμετάλλευσης και ακολούθως να κινηθεί προς τα χαμηλότερα.

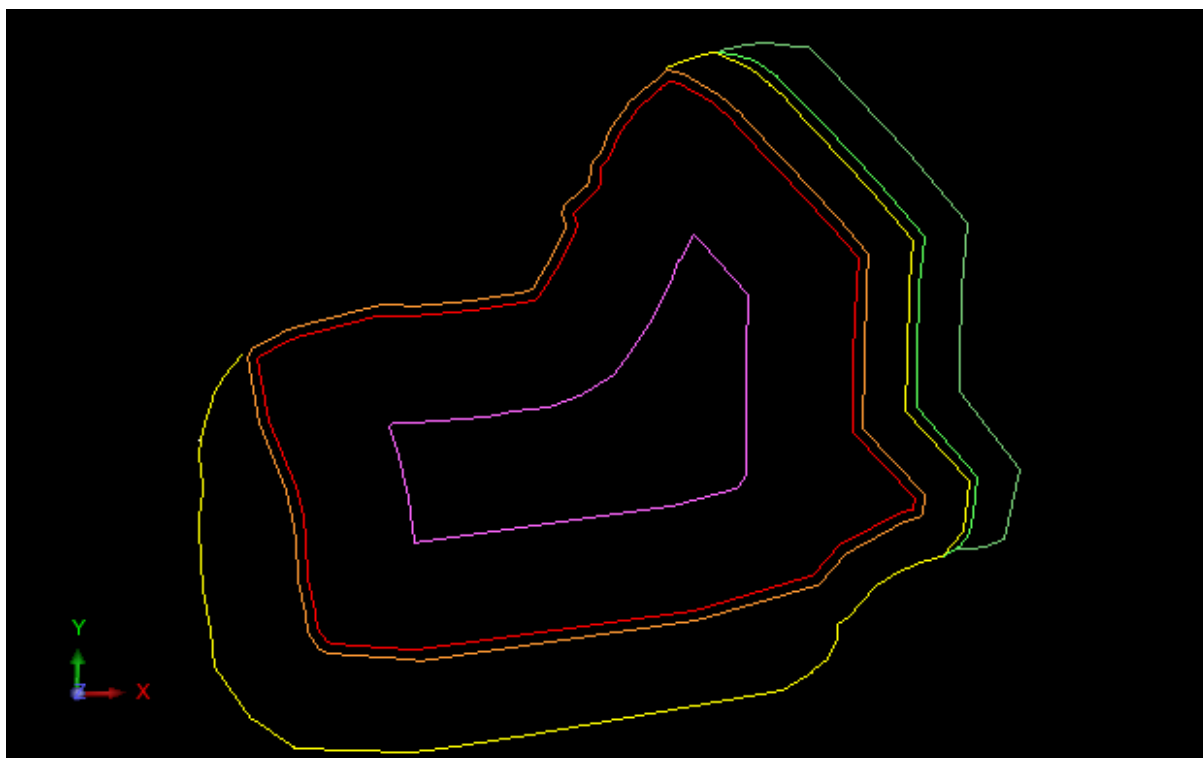
Με τον τρόπο αυτό αφενός ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης ακολουθά τον τρόπο με τον οποίο θα διαμορφωθεί και στην πραγματικότητα βάσει της νομοθεσίας (η νομοθεσία επιβάλλει τη διαμόρφωση βαθμίδων από τα υψηλότερα επίπεδα προς τα χαμηλότερα) και αφετέρου θα κερδίσουμε χρόνο, αφού ξεκινώντας από τα χαμηλότερα επίπεδα σε πολλές περιπτώσεις διαπιστώνεται ότι πρέπει να γίνουν σημαντικές σχεδιαστικές αλλαγές.

Για το σχεδιασμό του ΧΥΤΡΕ δημιουργήθηκαν 3 πιθανά σχέδια με σκοπό, την επιλογή του βέλτιστου δυνατού:

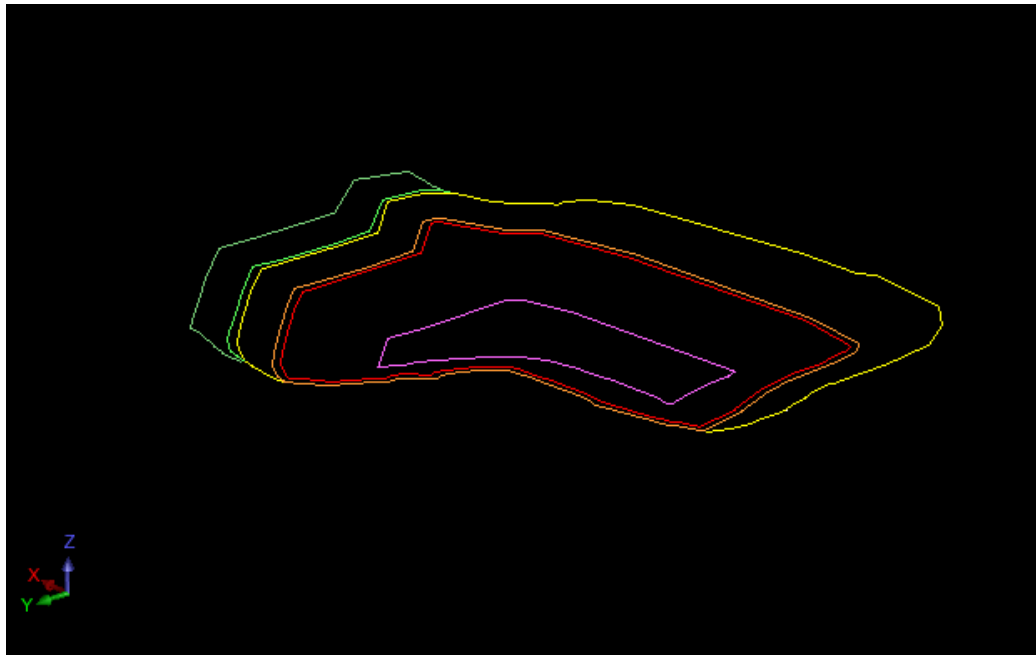
4.3 Εναλλακτικά σχέδια κατασκευής Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. και επιλογή του κατάλληλου

Σχέδιο Α

Το χείλος της σκάφης διαμορφώνεται στα 14 μετρά, με πλάτος δαπέδου ενός μέτρου και τελική πλατεία στα 4 m. Στο ανατολικό τμήμα, διαμορφώσαμε μια βαθμίδα στα 18 m, έτσι ώστε να ακολουθήσει την γραμμή του ανάγλυφου που ξεκινάει στο νότιο μέρος. Με πλάτος δαπέδου επίσης 1m διαμορφώνουμε μια τελική βαθμίδα στα 22 m, έτσι ώστε να υπάρχει μια ομαλή μετάβαση στην εκσκαφή μας από το ανώτερο, στο κατώτερο υψόμετρο, αλλά και για να υπάρχει απαραίτητο υλικό εκσκαφής που θα μας βοηθήσει στα επόμενα στάδια του ΧΥΤΡΕ.



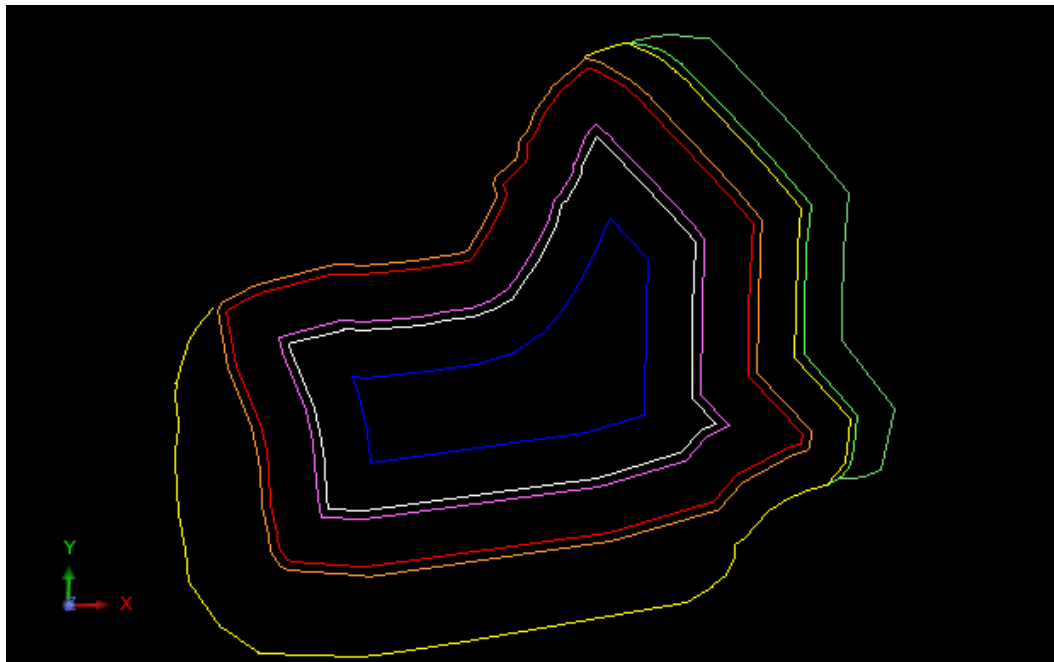
Σχήμα 16. Κάτοψη σχεδίου Α



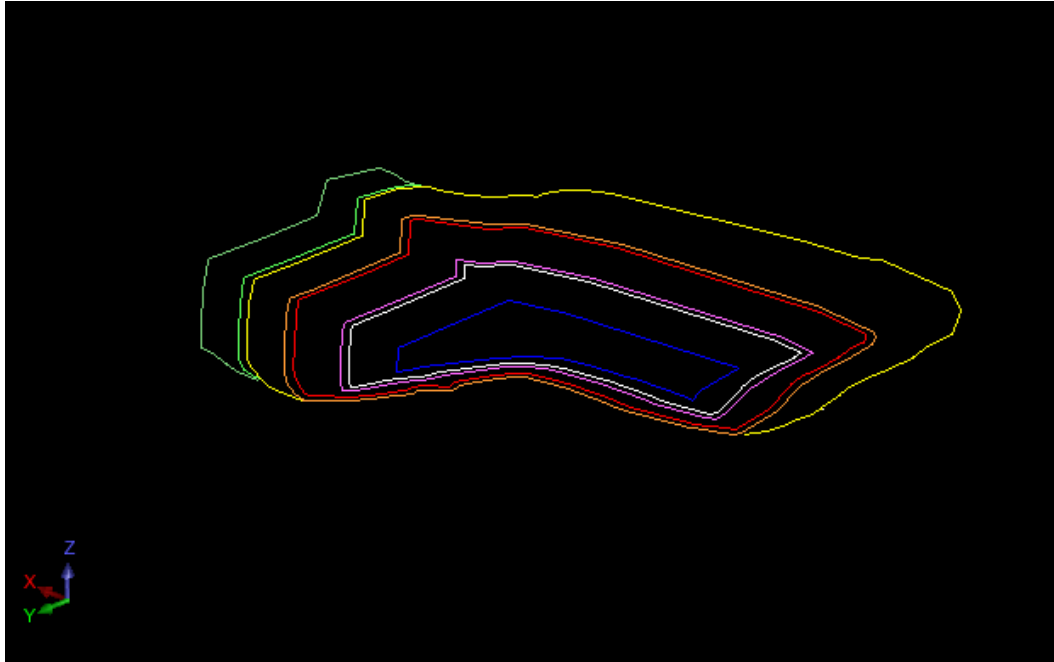
Σχήμα 17. Άποψη σχεδίου A

Σχέδιο B

Ομοίως με το σχέδιο A, το χείλος της σκάφης διαμορφώνεται στα 14 μετρά, με πλάτος δαπέδου ενός μέτρου και τελική πλατεία στα 4 m. Στο ανατολικό τμήμα, διαμορφώθηκε μια βαθμίδα στα 18 m, με πλάτος δαπέδου επίσης 1m και τελική βαθμίδα στα 22 m. Μοναδική διαφορά, είναι μια επιπλέον βαθμίδα μέσα στην σκάφη, στα 9 m, σκοπός της οποίας είναι η ομαλότερη μετάβαση στην πλατεία της σκάφης.



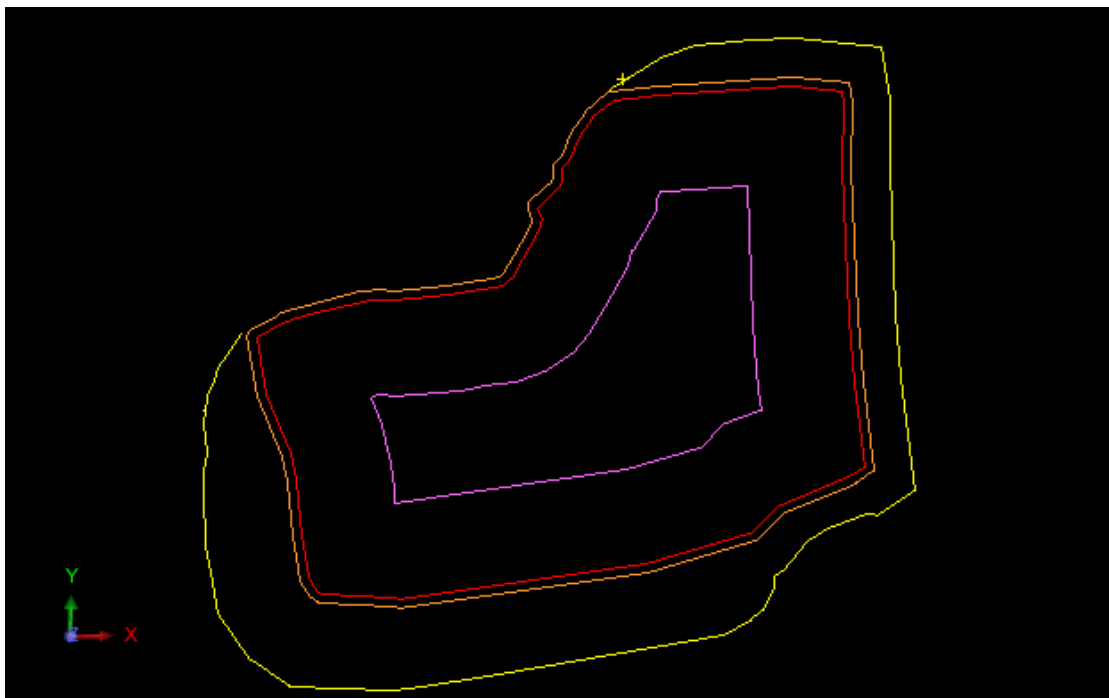
Σχήμα 18. Κάτοψη σχεδίου B



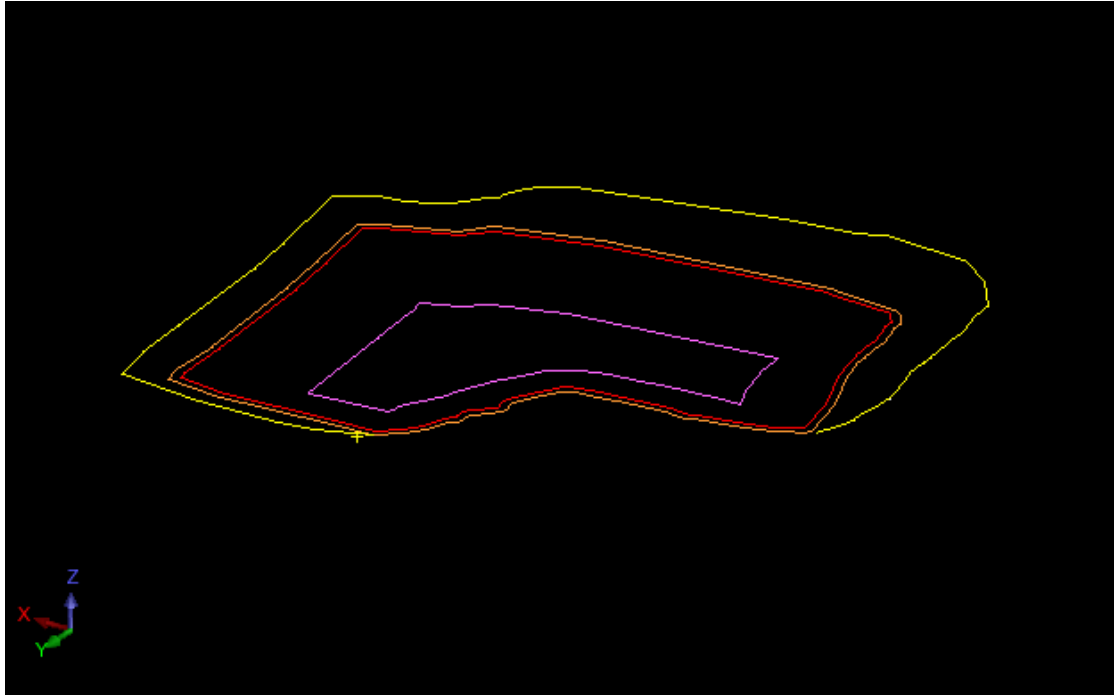
Σχήμα 19. Άποψη σχεδίου Β

Σχέδιο Γ

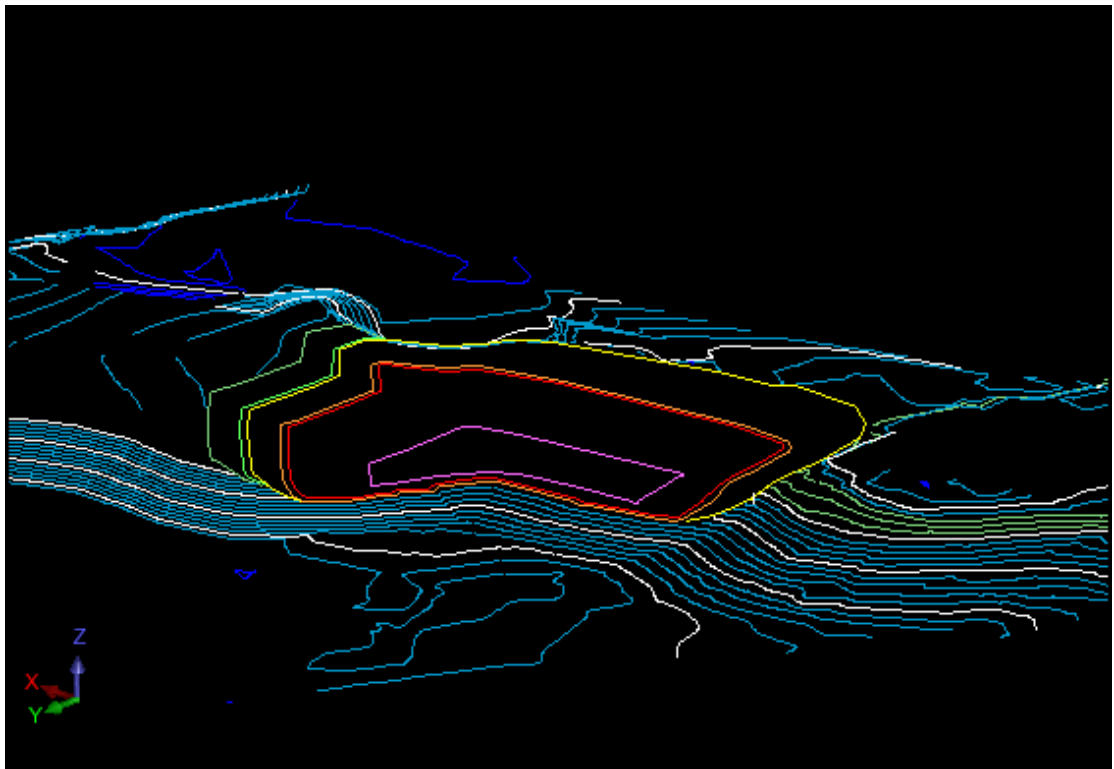
Στην 3^η περίπτωση μεγαλώσαμε το εμβαδόν της σκάφης με σκοπό να αυξηθεί η χωρητικότητα της και μειώσαμε τον αριθμό των βαθμίδων. Μέγιστο ύψος στο δυτικό μέτωπο στα 23 m και ανατολικά στα 18 m, το χείλος της σκάφης και η πλατεία επίσης στα 14 m και 4m αντίστοιχα.



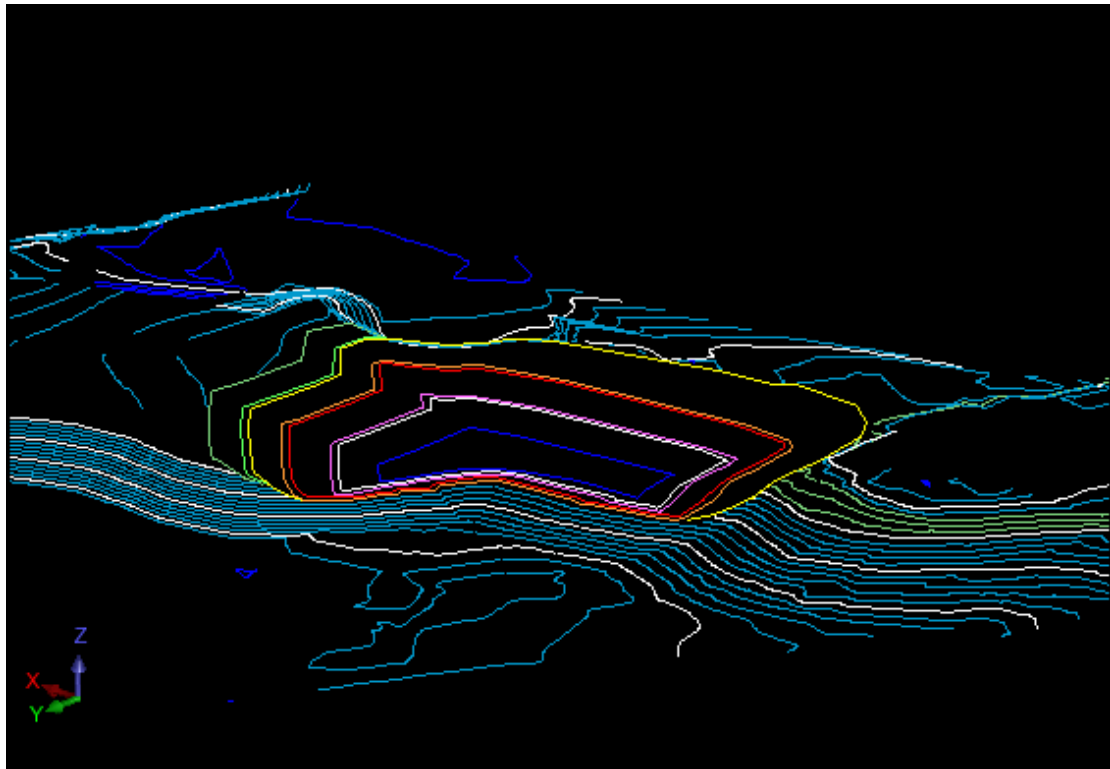
Σχήμα 20. Κάτοψη σχεδίου Γ



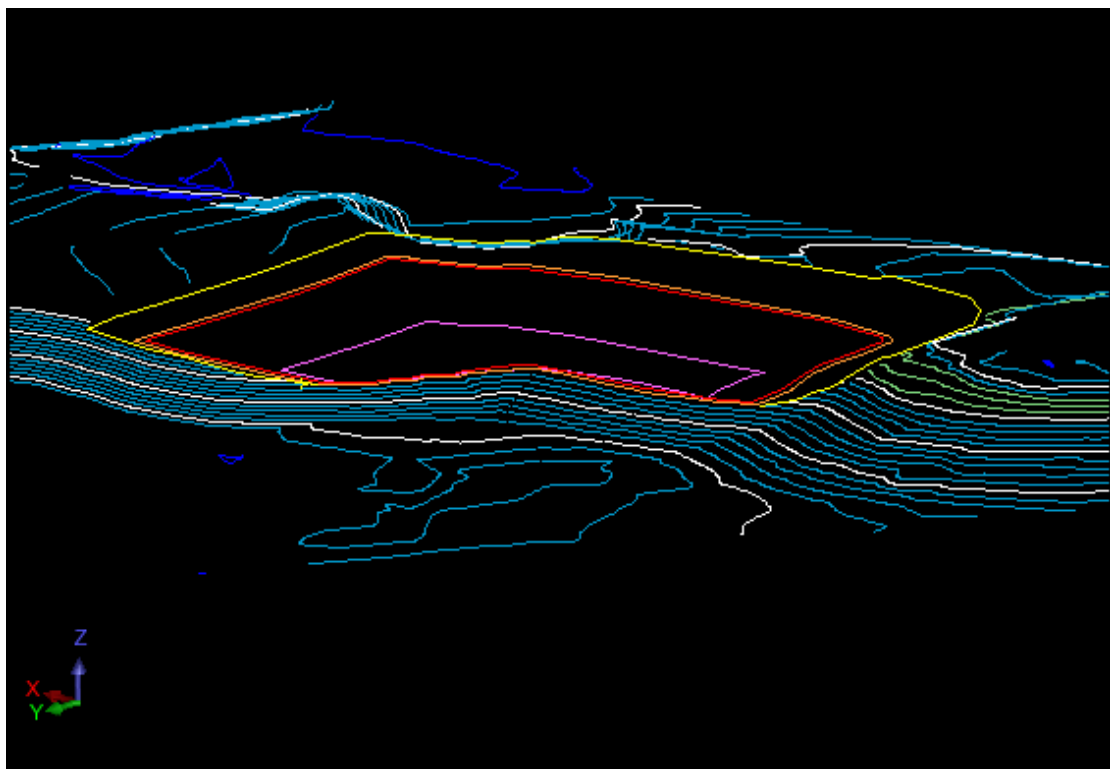
Σχήμα 21. Άποψη σχεδίου Γ



Σχήμα 22. Τρισδιάστατη απεικόνιση του ενιαίου αρχείου (σχέδιο Α)

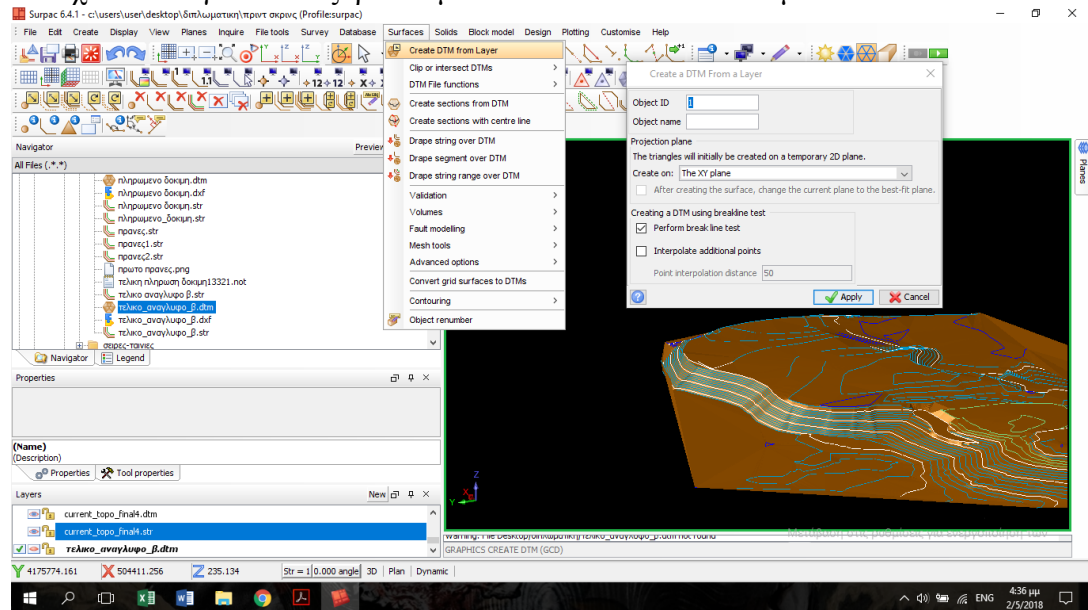


Σχήμα 23. Τρισδιάστατη απεικόνιση του ενιαίου αρχείου (σχέδιο Β)

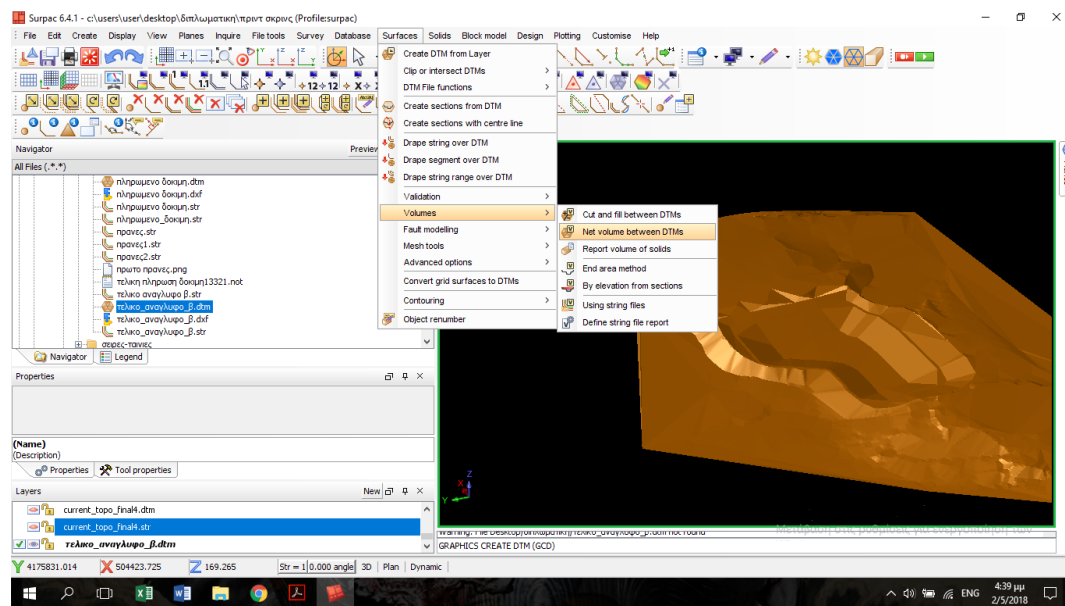


Σχήμα 24. Τρισδιάστατη απεικόνιση του ενιαίου αρχείου (σχέδιο Γ)

Αφού σχεδιάσουμε την τελική μορφή της εκμετάλλευσης, δημιουργούμε τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους του αρχικού και του τελικού αναγλύφου για να υπολογίσουμε στη συνέχεια τον όγκο των εξορυσσόμενων υλικών από το λατομείο.



Εικόνα 17. Δημιουργία DTM αρχικού αναγλύφου



Εικόνα 18. Εντολή για τον υπολογισμό της διαφοράς όγκων

Πίνακας 8: Αποτελέσματα ογκομετρήσεων

ΣΧΕΔΙΟ	ΟΓΚΟΣ ΕΞΟΡΡΥΣΟΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (m ³)
A	317015
B	314542
Γ	369561

Αρχικά, συγκρίνοντας τις 2 πρώτες εκσκαφές, παρατηρούμε ότι ο όγκος των προϊόντων μειώνεται με την προσθήκη της ενδιάμεσης βαθμίδας, γι αυτό, εφ' όσον οι συνθήκες το επιτρέπουν, και υπάρχει η ευχέρεια να δημιουργηθεί μια πιο απότομη επιφάνεια, δεν συμπεριλαμβάνεται στο σχεδιασμό.

Κυρίο μέλημα είναι η χωρητικότητα της σκάφης, μιας και για το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα, είναι αναγκαίο όσο γίνεται περισσότερο, να περιοριστεί η ρύπανση μέσα σ' αυτήν.

Συνεπώς επιλέχθηκε το σχέδιο Γ, σε μια προσπάθεια να εκμεταλλευτούμε τον χώρο που μας επιτρέπουν τα όρια που έχουν τεθεί, όσο γίνεται καλύτερα, αυξάνοντας τελικά την χωρητικότητα της σκάφης, αλλά και τον όγκο των εξορυσσόμενων εδαφών. Όπως τελικά αποδεικνύεται κι από τις ογκομετρήσεις πράγματι ο εξορυσσόμενος όγκος στην περίπτωση αυτή είναι μεγαλύτερος. Για να βρούμε τελικά την χωρητικότητα της σκάφης δουλεύουμε ομοίως με την προηγούμενη περίπτωση:

Δημιουργούμε τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους των δυο σκαφών για να υπολογίσουμε στη συνέχεια τον όγκο των εξορυσσόμενων υλικών.

Τα αποτελέσματα της ογκομέτρησης, επαληθεύουν την αρχική μας πρόθεση και επιβεβαιώνουν ότι η σκάφη στο σχέδιο Γ έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα από την σκάφη στο σχέδιο Α.

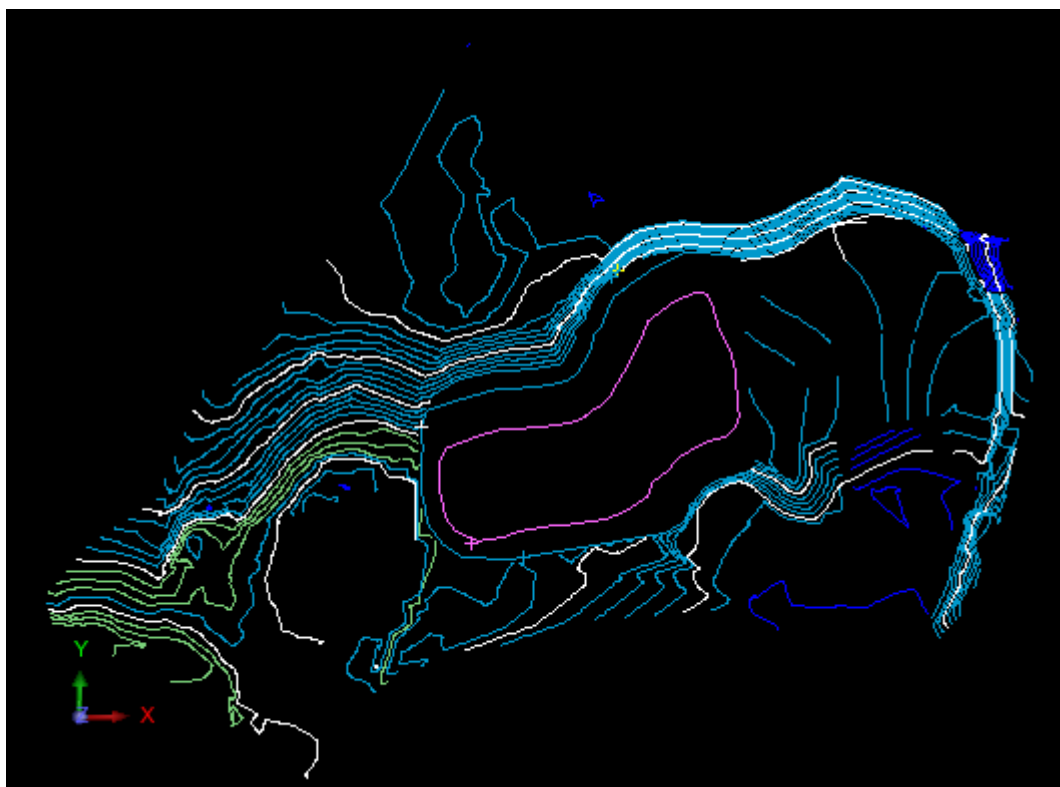
Πίνακας 9: Αποτελέσματα χωρητικότητας σκαφών

ΣΧΕΔΙΟ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΑΦΗΣ (m ³)
A	104448
Γ	139793

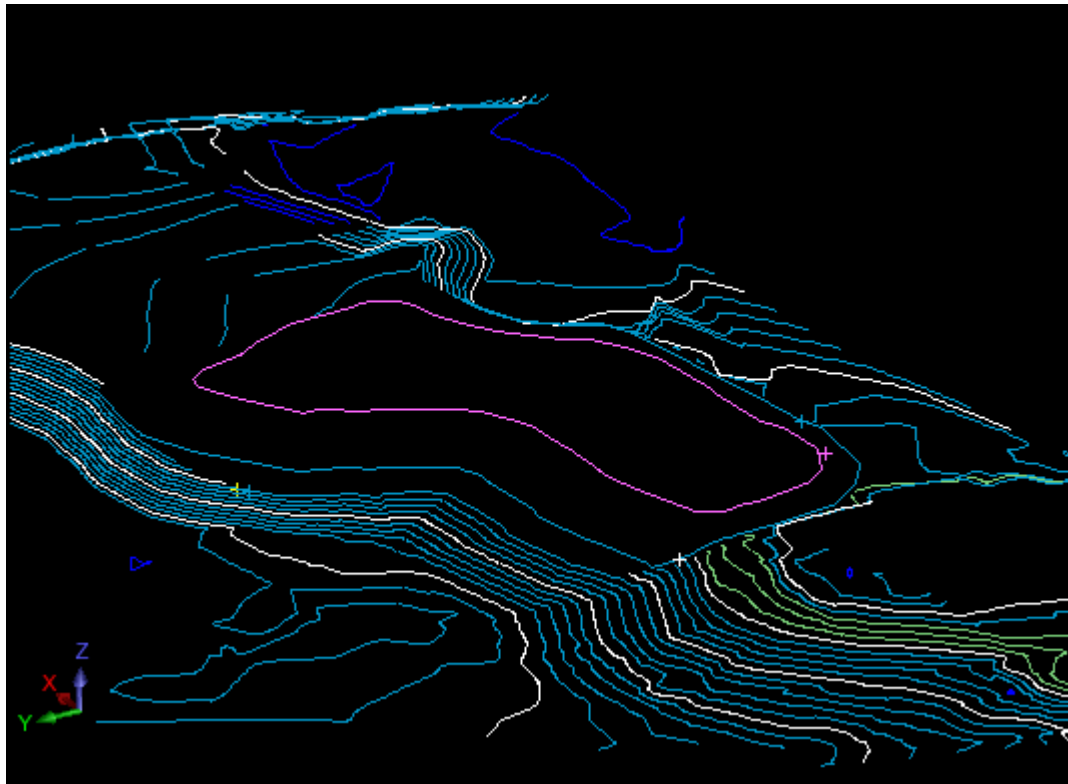
4.4 Σχεδιασμός τελικής διαμόρφωσης

Στη συνέχεια, θα σχεδιάσουμε την τελική διαμόρφωση του χώρου αφού ολοκληρωθούν οι απαραίτητες εργασίες δημιουργίας του ΧΥΤΡΕ. Για τα πρανή της επικάλυψης, κρατάμε σταθερά τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε στη διαμόρφωση της σκάφης (κλίση 1/3), εφόσον για να απομονώσουμε το ρυπασμένο έδαφος θα ακολουθήσουμε την αντίστροφη σχεδόν διαδικασία με τα ίδια υλικά. Σκοπός μας είναι να δημιουργήσουμε ένα ανάγλυφο όσο γίνεται πιο κοντά στο φυσικό με ήπιες κλίσεις πρανών.

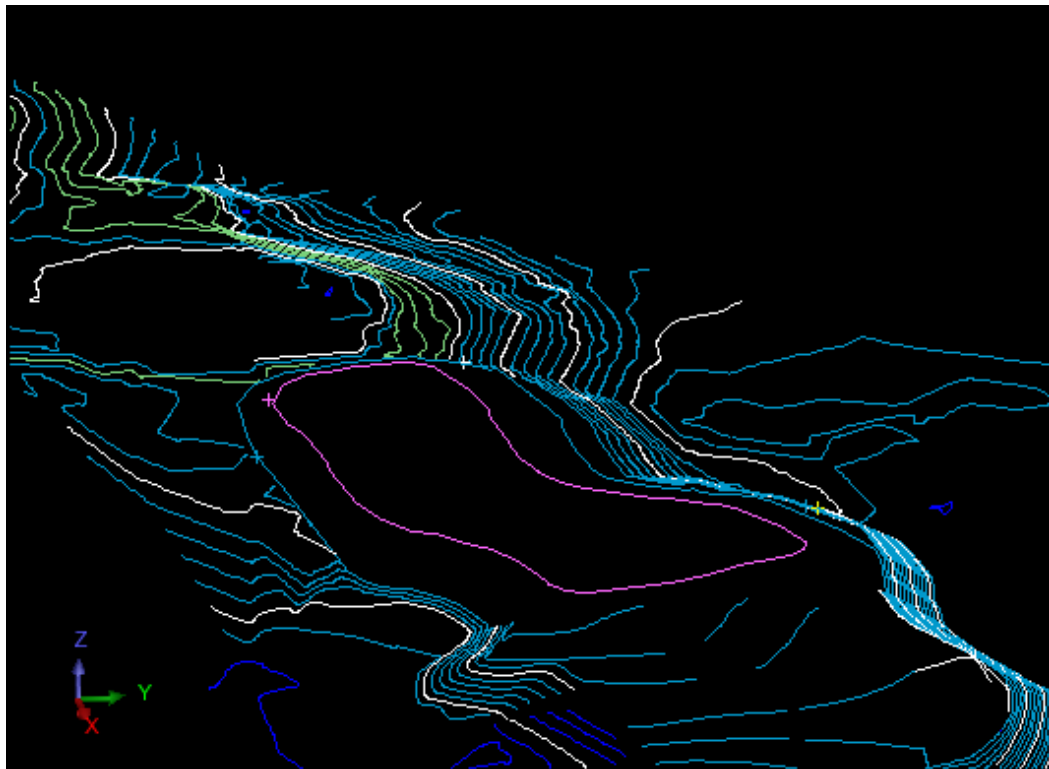
Στο βόρειο τμήμα της διαμόρφωσης, ξεκινώντας από το υψόμετρο των 14m σχεδιάζουμε ένα μικρό πρανές 4m για να έρθει να συναντήσει το φυσικό ανάγλυφο στα 18m. Σκοπός της διαμόρφωσης είναι η ανάπτυξη μιας ενιαίας τελικής επιφάνειας που θα διαμορφωθεί με μέσο υψόμετρο δαπέδου στα +27 m περίπου. Ακολουθώντας το φυσικό ανάγλυφο της σκάφης στο δυτικό και νότιο μέρος (το οποίο διακυμαίνεται από 17m έως και 22m στα δυτικά), διαμορφώνουμε την τελική πλατεία στο επιθυμητό υψόμετρο όπως φαίνεται και στα σχήματα παρακάτω.



Σχήμα 25. Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικής διαμόρφωσης (κάτοψη)

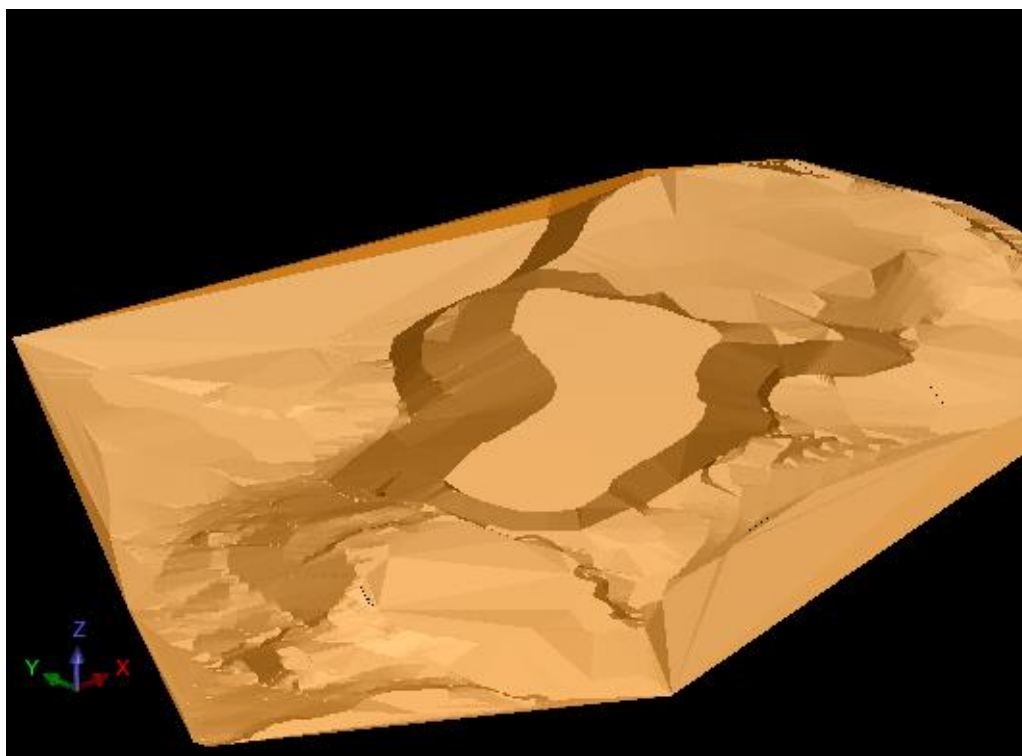


Σχήμα 26. Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικής διαμόρφωσης (B-N)



Σχήμα 27. Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικής διαμορφωσης (N-B)

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τα προηγούμενα στάδια, θα υπολογίσουμε τους όγκους της τελικής διαμόρφωσης, δημιουργώντας το ψηφιακό μοντέλο DTM και συγκρίνοντας το με το αρχείο του σχεδιασμού μας, υπολογίζοντας τη διαφορά όγκων των δυο επιφανειών.



Σχήμα 28. DTM τελικής διαμόρφωσης

Ο όγκος των εδαφών της τελικής διαμόρφωσης υπολογίζεται στα 453.836 m^3 , αριθμός που υπερκαλύπτει όπως φαίνεται τον όγκο των εξορισσόμενων εδαφών που έφτανε περίπου τα 370.000 m^3 . Η διαφορά αυτή θα καλυφθεί από την ανάγκη σε δάνεια υλικά και διάφορες στρώσεις που είναι απαραίτητες στην διαμόρφωση του ΧΥΤΡΕ.

4.5 Δημιουργία οπτικογραφήματος (video) των διεργασιών του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε

Στα πλαίσια της παρουσίασης της διπλωματικής, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της Autodesk, 3d studio Max. Πρόκειται για ένα πακέτο modeling, animation και rendering το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία Autodesk Media and Entertainment. Έχει δυνατότητες δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων, μία ευέλικτη αρχιτεκτονική επιπρόσθετων λειτουργιών (plugins) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πλατφόρμα των Microsoft Windows. Χρησιμοποιείται ευρέως από δημιουργούς ηλεκτρονικών παιχνιδιών, στούντιο τηλεοπτικών διαφημίσεων, στούντιο και τέλος στούντιο αρχιτεκτονικής οπτικοποίησης.

Σκοπός ήταν, η δημιουργία ενός οπτικογραφήματος που θα περιλάμβανε όλο το φάσμα των διεργασιών που θα εκτελεστούν στον Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. Με αυτόν τον τρόπο όχι μόνο διευκολύνεται περισσότερο η κατανόηση του θέματος της διπλωματικής, μα επιπροσθέτως αποτελεί ένα ευχάριστο διάλειμμα που ξεκουράζει τον θεατή ενώ παράλληλα αυξάνει το ενδιαφέρον του.

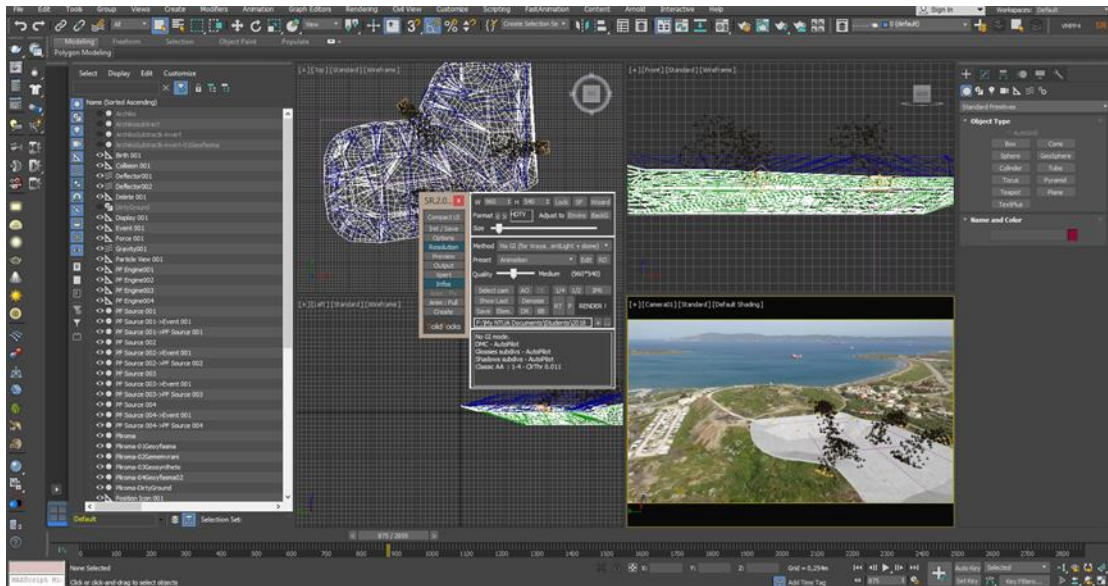
Με αφορμή κάποια εναέρια πλανά της περιοχής, βιντεοσκοπημένα με drone, χρησιμοποιήθηκε μια τεχνική που λέγεται 3d tracking. Με την βοήθεια αυτής της τεχνικής τα τρισδιάστατά μοντέλα αποκτούν την θέση τους στον πραγματικό χώρο της εκσκαφής, προσδίδοντας έτσι μια φωτορεαλιστικότητα υψηλής αισθητικής.



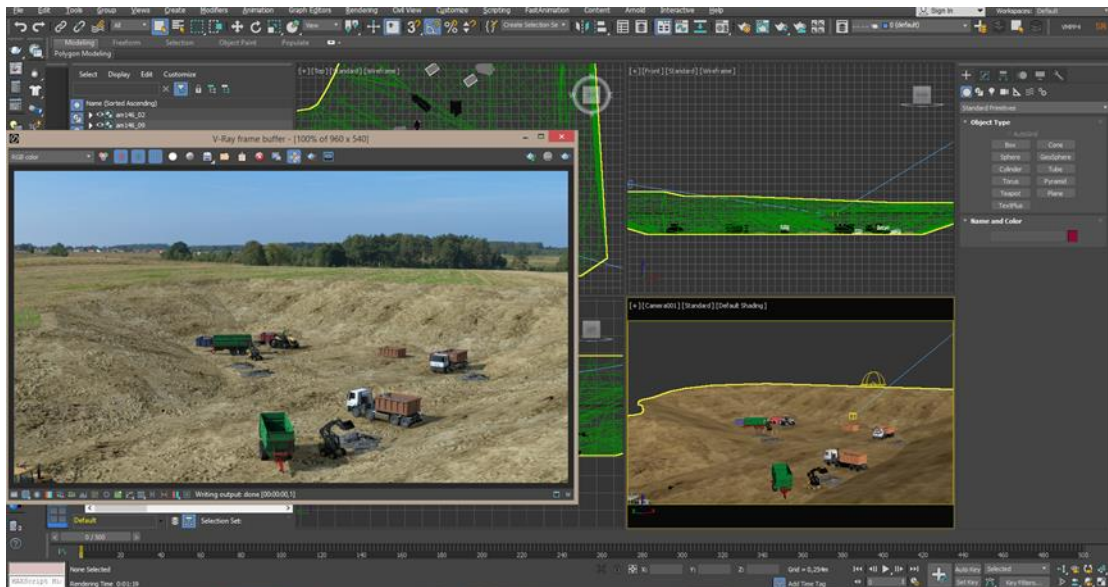
Σχήμα 29. 3d tracking σε βιντεοσκοπημένο πλάνο από drone

Χρησιμοποιώντας την γκάμα των εργαλείων που προσφέρει το λογισμικό της Autodesk, παρατηρεί κανείς ποσό ευκολιά «δένει» το ψηφιακό με το πραγματικό περιβάλλον, την στιγμή που οι στρώσεις διαδέχονται η μια την άλλη και η σκάφη γεμίζει με το ρυπασμένο έδαφος. Λειτουργίες όπως η δημιουργία σωματιδίων (particles) ειδικά διαμορφωμένων από το ίδιο το λογισμικό να προσομοιώνουν αυτόματα, σωματιδιακές συμπεριφορές όπως βροχή, χιόνι ή στην συγκεκριμένη

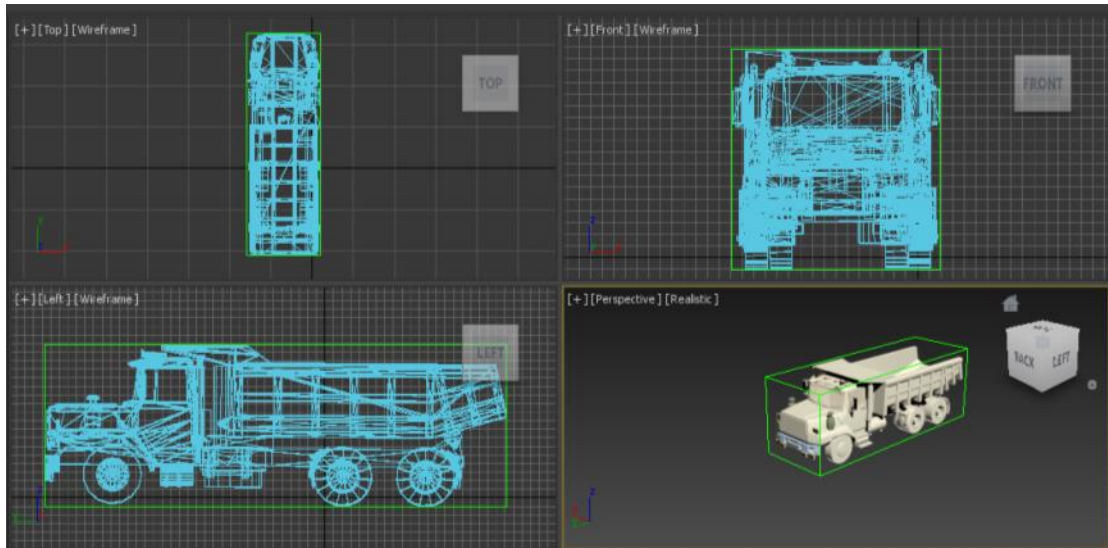
περίπτωση, το έδαφος που πέφτει, έχουν διευκολύνει πολύ την χρήση των συγκεκριμένων εφαρμογών. Μάλιστα, είναι τόσο διαδεδομένη η χρήση τέτοιων προγραμμάτων που πλέον διακινούνται ελεύθερα και δωρεάν, έτοιμα μοντέλα κτηρίων, αντικειμένων, οχημάτων και μηχανήματων, όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν οπτικογράφημα. Το 3ds παρέχει επίσης στον χρήστη λειτουργίες που του επιτρέπουν μέσα στο περιβάλλον του να δημιουργήσει το οπτικογράφημα που επιθυμεί ελέγχοντας λειτουργίες όπως τον φωτισμό, το μέγεθος, τις ιδιότητες των αντικειμένων και την δημιουργία κάμερας που θα ακολουθήσει την πορεία που θα θέσει.



Σχήμα 30. ψηφιακό περιβάλλον 3ds, άποψη της σκάφης κατά την πλήρωση της με το ρυπασμένο έδαφος

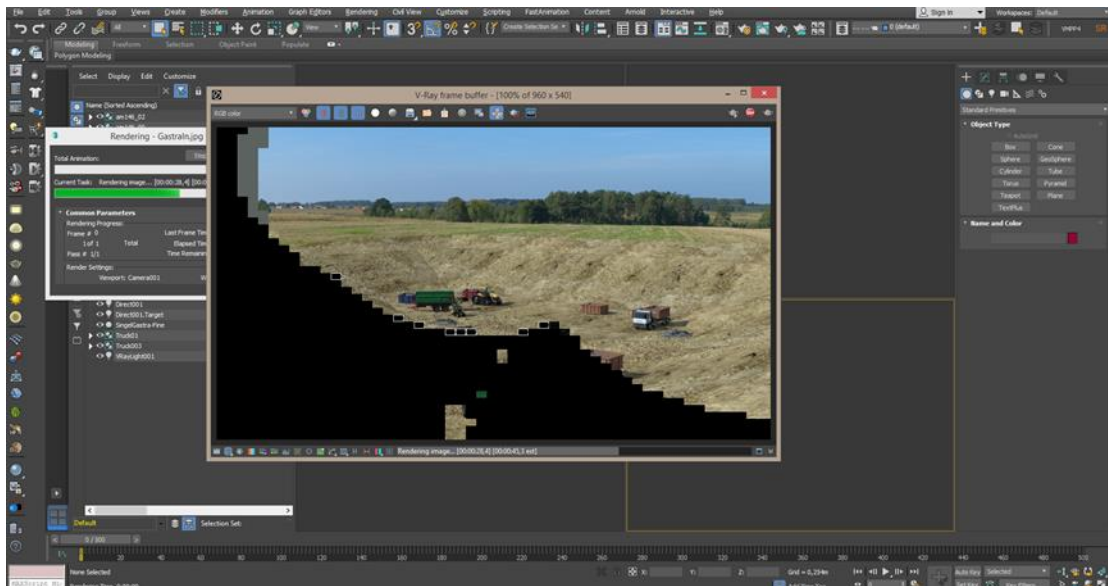


Σχήμα 31. εργασίες μέσα στην σκάφη της εκσκαφής



Σχήμα 32. τρισδιάστατο μοντέλο φορτηγού οχήματος που χρησιμοποιείται από το λογισμικό

Με το πέρας των διεργασιών, ακολουθείται μια διαδικασία που λέγεται rendering. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα αρχεία που χρησιμοποιούνται από το 3ds μετατρέπονται σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κι από άλλα λογισμικά. Συγκεκριμένα, είναι μια διαδικασία εξαιρετικά αργή καθώς αναλύεται κάθε σκηνή καρέ- καρέ, pixel- pixel και μετατρέπεται σε αρχείο φωτογραφίας, που χρησιμοποιείται μετά για να συνθέσει βίντεο που θα μπορεί να διαβάσει και επεξεργαστεί εν τελεί το άλλο λογισμικό.



Σχήμα 33. ψηφιακό περιβάλλον του 3ds κατά τη διαδικασία του rendering

Κεφάλαιο 5. Εκτίμηση κόστους εργασιών

Για την απομόνωση των ρυπασμένων εδαφών (containment) όπως αναφέρθηκε, εξετάζεται η περίπτωση δημιουργίας ειδικά διαμορφωμένου χώρου που περιγράφεται με τον γενικό ορό Χ.Υ.Τ.Ε.Α (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Επικίνδυνων Αποβλήτων) ή Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Ρυπασμένων Εδαφών). Σκοπός μας είναι το εδαφικό υλικό να απομονωθεί πλήρως από το περιβάλλοντα χώρο και να καθίσταται αδύνατη η οποιαδήποτε επαφή του με τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Όπως είδαμε, αφού πραγματοποιηθεί η εκσκαφή του εδάφους, απαραίτητη είναι η προσωρινή φύλαξή του μέχρι το πέρας των εργασιών, σε καθορισμένη περιοχή συνήθως κάποιον παρακείμενο χώρο. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι δυο: είτε να επιστρέψει στην αρχική του θέση, η οποία θα έχει απομονωθεί και στεγανοποιηθεί καταλλήλως όπως θα δούμε παρακάτω, είτε να μεταφερθεί σε διαφορετική ειδικά διαμορφωμένη περιοχή. Οι εργασίες που απαιτούνται είναι οι ίδιες και στην περίπτωση μας θα επιστρέψει στην θέση του.

Ο χώρος μετά την εκσκαφή, πρέπει να στεγανοποιηθεί πλήρως κι αυτό επιτυγχάνεται, με διαδοχικές στρώσεις τόσο από γαιώδη υλικά (αδιαπέρατα εδαφικά υλικά όπως η άργιλος) όσο και από συνθετικά (γεωμεμβράνες και γεωφάσματα). Το ρυπασμένο υλικό επιστρέφει στην θέση του, εντός της απομονωμένης περιοχής και κατά την ίδια λογική καλύπτεται με συνθετικά υλικά και ποσότητες υγιούς εδάφους (αδιαπέρατου κατά προτίμηση). Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η πλήρης απομόνωσή του, κι όχι απλά η αποκοπή του από το υπέργειο φυσικό περιβάλλον όπως στις απλές μεθόδους κάλυψης.

Από τη στιγμή που θα ολοκληρωθεί το έργο, απαιτείται μακρόχρονη παρακολούθηση του χώρου, σε περίπτωση που χρειαστεί να αποκατασταθεί κάποια πιθανή ζημιά.

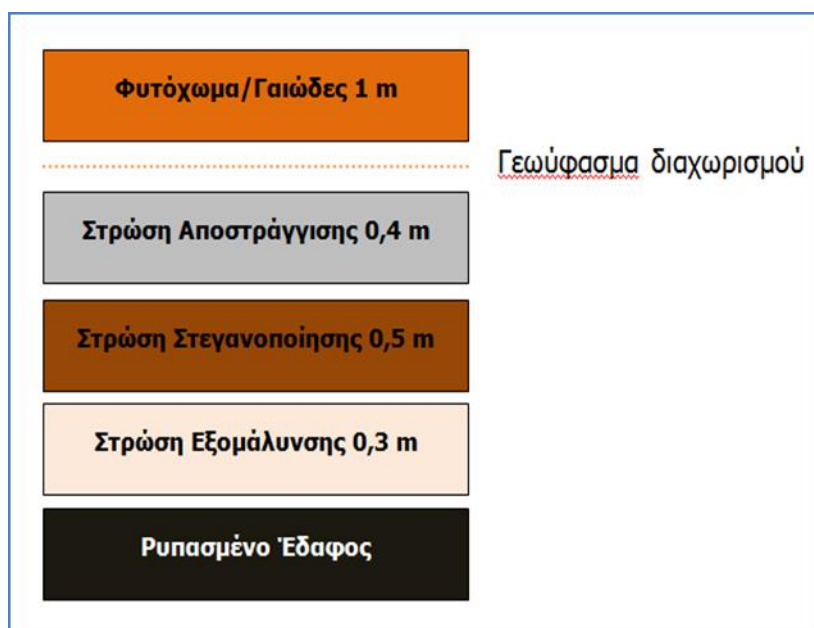
Η σωστή εφαρμογή της μεθόδου είναι ένα μεγάλο πρόβλημα, μιας και για τη σωστή λειτουργία της κατασκευής και για να βεβαιωθούμε ότι δεν υπάρχει κάποια διάρρηξη στη μεμβράνη ή το γεωφάσμα, πολλές φορές θα «αναγκαστούμε» να πραγματοποιήσουμε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στον περιοχή.

Η σωστή επιλογή των κατάλληλων υλικών, ο συνδυασμός δηλαδή του εδαφικού υλικού και των συνθετικών μεμβρανών, είναι το κλειδί της επιτυχίας αν θέλουμε να πετύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα στην κατασκευή μας. Η τοποθέτηση τους απαιτεί άκρα προσοχή και επιμέλεια, διότι μόνο έτσι θα επιτευχθεί και ο βαθμός απομόνωσης που επιθυμούμε.

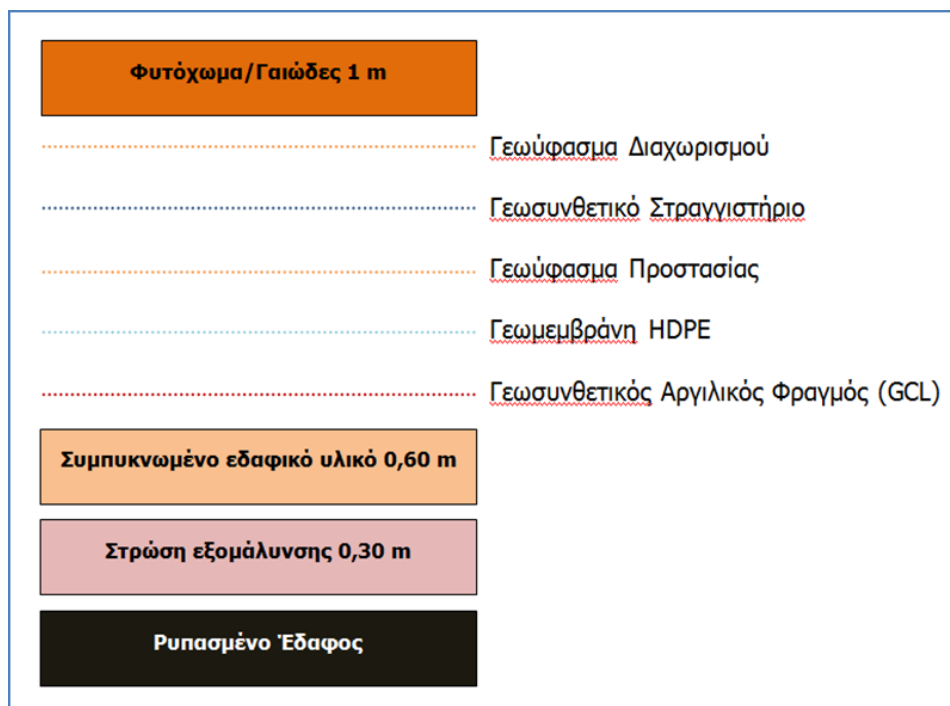
Για την εν λόγω τεχνική προβλέπεται η εφαρμογή πολυστρωματικής κάλυψης, η δομή της οποίας στηρίζεται στην κείμενη νομοθεσία για αποκατάσταση Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ), μέγιστου βαθμού επικινδυνότητας (Κατηγορίας 3) (Εγκύκλιος υπ. αριθμ. 19/οικ 135977/51/14-12-2005/Υ.Π.Ε.ΧΩ.ΔΕ).

Με δεδομένο ότι η υφιστάμενη κλίση των αποθέσεων, σε συνδυασμό με τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και την οριοθέτηση της περιοχής μελέτης, δεν επιτρέπει τη διαμόρφωση πρανών με κλίση μικρότερη ή το πολύ ίση με 1:3, η

προσέγγιση της πολυστρωματικής κάλυψης διαφοροποιείται μεταξύ πλατειών (επίπεδων επιφανειών) και πρανών, όπως φαίνεται στα Σχήματα 38 και 39

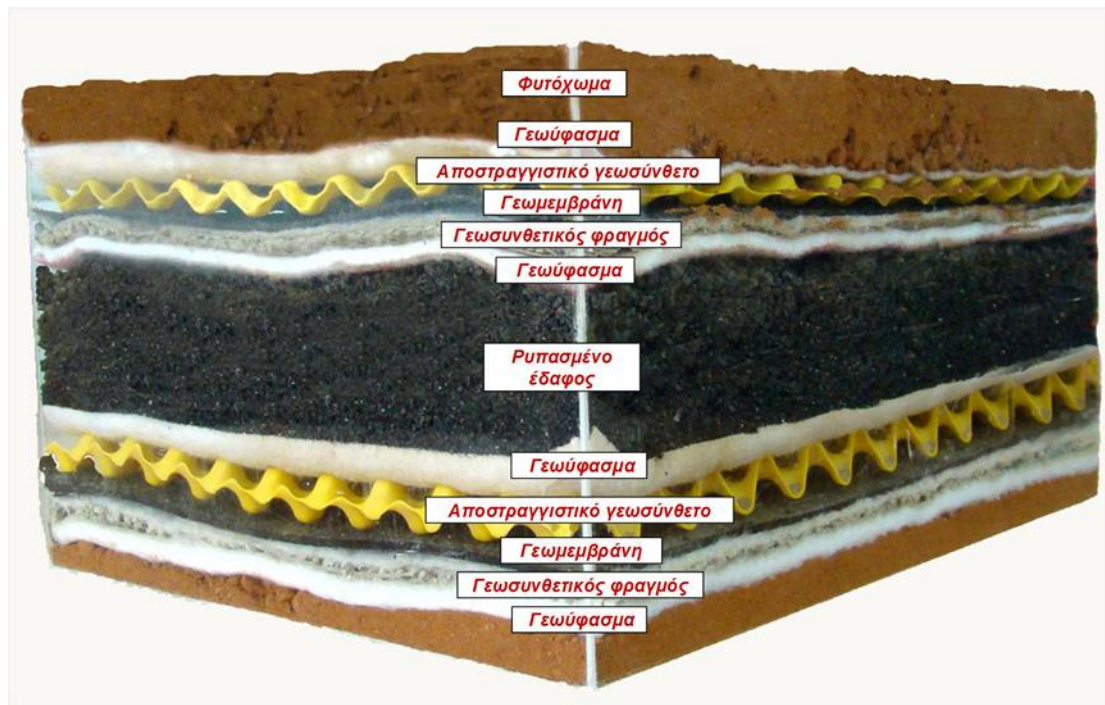


Σχήμα 34. Πολυστρωματική κάλυψη πλατειών



Σχήμα 35. Πολυστρωματική κάλυψη πρανών

Στην Εικόνα παρουσιάζονται σε τομή οι στρώσεις που εφαρμόστηκαν στον πυθμένα και στην τελική κάλυψη του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. στο Τ.Π.Π.Λ. Η δομή της προτεινόμενης κάλυψης για τις πλατείες και τα πρανά περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.



Εικόνα 19. Τομή των στρώσεων στεγανοποίησης και αποστράγγισης που εφαρμόστηκαν στον πυθμένα και στην τελική κάλυψη του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε., στο έργο εξυγίανσης εδαφών του Τ.Π.Π.Α.

5.1 Έργα τελικής κάλυψης πλατειών

5.1.1 Στρώση εξομάλυνσης

Για την ορθή εξομάλυνση του ανάγλυφου, αρχικά απαιτείται διάστρωση και δημιουργία ηπίων κλίσεων τόσο στο δάπεδο όσο και στην οροφή του χώρου. Έπειτα τοποθετείται στρώση εξομάλυνσης (υπόβαση) πάχους της τάξης 0,30 m από ομοιογενή εδαφικά υλικά εκσκαφών με κόκκους μεγίστης διαμέτρου 20 cm και χωρίς οργανικές ουσίες. Κατάλληλα είναι χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα υλικά εκσκαφών ($d < 20\text{cm}$). Αποδεκτά είναι και αδρανή υλικά κατεδάφισης (αποκλειόμενων των στοιχείων σκυροδέματος), σε αναλογία όχι μεγαλύτερη του 20% των υλικών εκσκαφής.

5.1.2 Στρώση Στεγανοποίησης

Αποτελείται από τεχνητό γεωλογικό φραγμό. Η στρώση αυτή αποτελείται από κατάλληλο αργιλικό υλικό διαπερατότητας $K < 10^{-9} \text{ m/s}$ και πάχους της τάξης των 0,50 m. Οι λοιπές συνιστώμενες ιδιότητες του γεωλογικού φραγμού είναι οι ακόλουθες:

- Σημείο υδαρότητας (LL): $LL \leq 40\%$
- Δείκτης πλαστικότητας (PI): $10\% \leq PI \leq 25\%$
- Ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού (άργιλος, διάμετρος κόκκων $< 2\mu\text{m}$: $\geq 20\%$, κ.β.
- Μέγιστη διάσταση χονδρόκοκκου υλικού: 32 mm (για υλικά μεγαλύτερου μεγέθους μηχανική κονιορτοποίησης προ συμπύκνωσης)

- Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα: $\leq 40\%$ επί του ολικού όγκου

- Ποσοστό οργανικού υλικού: $\leq 5\%$ κ.β.

- Ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου: $\leq 20\%$ κ.β.

- Συμπύκνωση του υλικού στο 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας κατά την πρότυπη δοκιμή Proctor, με φυσική υγρασία 2-3% μεγαλύτερη από την βέλτιστη υγρασία. Η συμπύκνωση στην προαναφερθείσα υγρασία εξασφαλίζει εύκολη διάλυση των αργιλικών βολβών, ελάττωση του όγκου των κενών που πληρούνται με αέρα και επίτευξη συντελεστή υδροπερατότητας: $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s.

Η στρώση της συμπυκνωμένης αργίλου πάνω στην διαμορφωμένη επιφάνεια της στρώσης εξομάλυνσης, θα κατασκευαστεί σε 3 αλληπάλληλες στρώσεις, συνολικού συμπυκνωμένου πάχους 0,50 m. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διάστρωση του υλικού, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σε περίπτωση που οι καιρικές συνθήκες το απαγορεύουν. Οι εργασίες πρέπει επίσης, να είναι σύντομες και να μην καθυστερούν διότι, παρατεταμένη έκθεση της συμπυκνωμένης επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητά της.

Για την κατασκευή του φραγμού ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Το αργιλικό υλικό μεταφέρεται από κατάλληλους δανειοθαλάμους της ευρύτερης περιοχής. Σε κάθε περίπτωση, το υλικό διαλύεται και κοσκινίζεται για την απομάκρυνση των ευμεγεθών στερεών.

- Κατά την κατασκευή του φραγμού, το υλικό μεταφέρεται στην θέση τοποθέτησής του και αν χρειαστεί ακολουθεί κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να αποκτήσει ομοιογένεια και να επιτευχθεί ελάττωση μεγέθους των συσσωματωμάτων.

- Ακολουθεί ο έλεγχος της υγρασίας και η ρύθμιση αυτής ώστε να αποκτήσει την απαιτούμενη τιμή και ομοιόμορφη κατανομή του σε όλο το πάχος και την έκταση της στρώσης. Η φυσική υγρασία του αργιλικού υλικού, κατά τη συμπύκνωση είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από τη βέλτιστη (2 - 3%). Η συμπύκνωση θα γίνεται σε στρώσεις αρχικού πάχους 20 – 25 cm και τελικού όχι μικρότερου από 15 cm με βαθμό συμπύκνωσης μεγαλύτερο ή ίσο του 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας κατά Proctor. Σε περίπτωση που η υγρασία του υλικού είναι 1 – 2% μεγαλύτερη από την τελική επιδιωκόμενη τιμή, τότε θα διορθώνεται με προσθήκη νερού ή ξήρανση. Διαφορετικά η υγρασία θα ρυθμίζεται με τη διάστρωση και πριν τη συμπύκνωση.

- Η συμπύκνωση της αργίλου πραγματοποιείται με κατσικοπόδαρο 30 τόνων στατικού φορτίου και 30 – 80 cm² επιφάνεια επαφής κάθε προεξοχής. Τυπικά, 4 – 6 περάσματα του μηχανήματος συμπύκνωσης είναι αρκετά για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού συμπύκνωσης.

Για να επιτευχθεί η σωστή λειτουργία του φραγμού, απαραίτητη είναι η επαρκής σύνδεση των στρώσεων μεταξύ τους ώστε να μην δημιουργούνται επίπεδα, τα οποία αυξάνουν την οριζόντια διαπερατότητα. Για την ικανοποιητική σύνδεση των στρώσεων πρέπει:

- Η επιφάνεια κάθε στρώσης να είναι τραχεία, πράγμα που επιτυγχάνεται με προσεκτική αναμόχλευση του εδάφους.
- Η υγρασία συμπίκνωσης μεταξύ 2 διαδοχικών στρώσεων να είναι παραπλήσια και εντός των προδιαγραφόμενων ορίων.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας συμπίκνωσης, πραγματοποιούνται έλεγχοι ιδιοτήτων με τις αντίστοιχες συχνότητες που αναφέρονται στον Πίνακα.

Τα σημεία λήξης των καρótων από τον γεωλογικό φραγμό θα πληρωθούν με καλά συμπυκνωμένο αργιλικό υλικό, ώστε να εξασφαλιστεί χαμηλή διαπερατότητα των σημείων αυτών. Εφόσον η συμπίκνωση αποδειχθεί ανεπαρκής, το υλικό θα επανασυμπυκνώνεται.

Πίνακας 10: Πρότυποι Έλεγχοι Ιδιοτήτων Γεωλογικού Φραγμού

Δοκιμή	Προδιαγραφές	Συχνότητα
Κοκκομετρική Ανάλυση με κόσκινο και αραιόμετρο	E 105-86 A.A.S.H. TO T-11 ASTM D 1140-71 ASTM D 422	1 δοκιμή/4στρ./στρώση
Προσδιορισμός Υγρασίας – Πυκνότητας (Proctor)	E 105-86 A.A.S.H. TO T-180 ASTM D 1557	1 δοκιμή/4στρ./στρώση
Προσδιορισμός Διαπερατότητας	E 105-86 ASTM D 5084	1 καρότο/1 στρ./στρώση
Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας	E 105-86 ASTM 2216	1 δοκιμή σε καρότο/1 στρ./στρώση
Προσδιορισμός επί τόπου Πυκνότητας (Μέθοδος Κώνου)	E 105-86 A.A.S.H. TO T 1191-61 ASTM D 1556	1 δοκιμή σε καρότο/1 στρ./στρώση

Πλέον των in-situ και των εργαστηριακών δοκιμών, θα πραγματοποιούνται μετρήσεις πάχους και επιφανειακών κλίσεων σε κάναβο 20 m x 20 m κάθε στρώσης των 25 cm. Σημειώνεται ότι η διαδικασία τοποθέτησης των υλικών θα επαναλαμβάνεται μέχρι το πάχος του φραγμού να είναι 0,5 m.

Η επιφάνεια της τελικής στρώσης θα περαστεί με οδοστρωτήρα, ώστε να καταστεί λεία, ομοιογενής και ομοιόμορφη.

5.1.3 Στρώση αποστράγγισης ομβρίων

Η σύσταση της στρώσης αυτής αποτελείται από αδρανή αμμοχαλικώδη υλικά κατάλληλης διαβάθμισης (16/32mm), με υδροπερατότητα $K > 10^{-3}$ m/s, και έχει ελάχιστο μέσο πάχος τουλάχιστον 0,40m. Για να μπορέσει να επιτευχθεί ευχερής αποστράγγιση, ο πυθμένας της στρώσης πρέπει να έχει τις κατάλληλες κλίσεις (3-5%), έτσι ώστε το νερό να αποστραγγίζει ικανοποιητικά στην κατάλληλα διαμορφωμένη τάφρο.

Ο ποιοτικός έλεγχος της ζώνης αποστράγγισης κατά την κατασκευή περιλαμβάνει έλεγχο της κοκκομετρικής διαβάθμισης και της περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) ανά 5 στρέμματα και του πάχους της ζώνης ανά 1 στρέμμα.

5.1.4 Γεωφάσμα διαχωρισμού – Συγκράτησης λεπτόκοκκων

Το γεωφάσμα διαχωρισμού τοποθετείται έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα στρώμα που προφυλάσσει την υποκείμενη στρώση αποστράγγισης από λεπτόκοκκο υλικό που εν δυνάμει μπορεί να την φράξει.

Η διάστρωση των φύλλων του γεωφάσματος πραγματοποιείται με αλληλοεπικάλυψη 0,50m και χρησιμοποιούνται βαρίδια άμμου για τη στερέωση.

Το γεωφάσμα προστασίας θα είναι από πολυπροπυλένιο (PP), συνεχούς νήματος (CF), μη υφαντό (NONWOVEN).

Τα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά του προδιαγράφονται ως εξής:

- Βάρος 205 g/m²
- Πάχος 5 mm σε 2 KPa κατά ASTM D 1777
- Αντοχή CBR Puncture resistance 3500 N κατά DIN 54307
- Strip tensile strength 16/25 KN/m κατά ASTM D 4595
- Επιμήκυνση στη θραύση 60/90%

Ο έλεγχος του περιλαμβάνει τα εξής :

- Μετρήσεις βάρους (σε δείγματα)
- Οπτικό έλεγχο για τυχόν βλάβες από τη μεταφορά
- Κατάλληλη διάστρωση των φύλλων του γεωυφάσματος με αλληλοεπικάλυψη 0,50 m και χρήση βαριδιών άμμου για τη στερέωση.

5.1.5 Στρώση επιφανείας

Η διαμόρφωση της στρώσης επιφανείας εξαρτάται από την επιλογή της τελικής χρήσης της επιφανείας συναρτήσει του πιθανού προγράμματος φυτεύσεων. Ξεκινώντας με ελάχιστο πάχος τα 0,70m, μπορεί να φτάσει έως και τα 3m κατά τόπους, ανάλογα την τελική διαμόρφωση του χώρου που έχει αποφασιστεί.

Η σύσταση της στρώσης αυτής, αποτελείται κυρίως από προϊόντα εκσκαφών (χώματα, πέτρες) που προκύπτουν από την κατασκευαστική δραστηριότητα, απαλλαγμένα παρ' όλα αυτά από απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων. Πολλές φορές, επίσης, χρησιμοποιούνται υλικά που προέρχονται από Α.Ε.Κ.Κ (απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων), ειδικά επεξεργασμένα σε αντίστοιχες μονάδες. Επειδή ακριβώς έχουν υποστεί ειδική επεξεργασία, είναι ως επί το πλείστον ελεγμένα και απαλλαγμένα από ανεπιθύμητες προσμείξεις, παρ' όλα αυτά όμως, σε κάθε περίπτωση ελέγχονται ξανά, τόσο με οπτικό έλεγχο επί τόπου, όσο και με κάποιον δειγματοληπτικό εργαστηριακό έλεγχο (χημικές αναλύσεις).

Το ανώτερο στρώμα της εν λόγω στρώσης, στην περίπτωσή μας, θα συνίσταται από φυτόχωμα (εδαφικό υλικό κορυφής), με πάχος της τάξης των 0,30m. Αντί για φυτόχωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί χώμα εμπλουτισμένο με οργανοχημικά υλικά (πριονίδια, φύλλα, compost, κ.λπ.), ώστε να εξασφαλίζει την καλή βιολογική δραστηριότητα. Σε περίπτωση που οι φυτεύσεις δεν γίνουν άμεσα, για να εξασφαλίσουμε την προστασία της στρώσης από τυχούσες διαβρώσεις, θα αυξήσουμε ελαφρώς το πάχος της.

5.2 Έργα τελικής κάλυψης πρανών με κλίση >1:3

Όσον αφορά τις διαφορές στα πρανή, σε σχέση με τις πλατείες, στην περίπτωση των πρανών, τοποθετούνται:

- γεωσυνθετική στρώση μεντονίτη GCL, μικρότερης περατότητας, αντί της στρώσης τεχνητού γεωλογικού φραγμού
- γεωμεμβράνη και το αντίστοιχο γεωυφάσμα προστασίας
- γεωσυνθετική αποστραγγιστική στρώση, αντί της στρώσης αποστράγγισης ομβρίων.

Όταν οι κλίσεις το επιβάλλουν, σε συνδυασμό και με το ύψος των πρανών, η χρήση των εναλλακτικών αυτών γεωσυνθετικών υλικών, είναι υποχρεωτική. Στο χώρο που μελετάμε, στα πρανή με κλίση >1:3 η μέθοδος στεγανοποίησης και αποστράγγισης που εφαρμόζεται αποτελείται (με σειρά από κάτω προς τα πάνω), από τις εξής στρώσεις:

- Στρώση Υπόβασης (Εξομάλυνσης) από εδαφικό υλικό πάχους 30 cm
- Συμπυκνωμένο εδαφικό υλικό, πάχους 60 cm, $k \leq 10^{-7}$ m/sec
- Γεωσυνθετικό αργιλικό φραγμό (GCL) με υδραυλική αγωγιμότητα $k \leq 10^{-11}$ m/sec
- Γεωμεμβράνη HDPE πάχους 1,0 mm
- Γεώφασμα προστασίας, ελάχιστου βάρους 300 gr/m²
- Στρώση αποστράγγισης από γεωσυνθετικό στραγγιστήριο με επικολλημένο γεώφασμα
- Γεώφασμα διαχωρισμού ελάχιστου βάρους 300 gr/m²
- Φυτόχωμα/Γαιώδες υλικό

Όσον αφορά τη γεωσυνθετική στρώση μπετονίτη, τη γεωμεμβράνη, το γεώφασμα προστασίας και τη γεωσυνθετική αποστραγγιστική στρώση, καθώς για τα υπόλοιπα στρώματα οι απαιτήσεις παραμένουν ίδιες με αυτές των πλατειών, και είναι οι εξής:

5.2.1 Γεωσυνθετική στρώση μπετονίτη GCL

- Βάρος 5,6 kg/m²
- Ελάχιστο πάχος 6 mm
- Υδατοπερατότητα $K = 2 \times 10^{-11}$ m/s
- Τοποθέτηση εντός μη υφαντών γεωφασμάτων πολυπροπυλενίου ελάχιστου βάρους 110 gr/m² δεμένων μεταξύ τους με βελονισμό και επιπλέον μπετονίτη στα άκρα για καλύτερη στεγάνωση στις επικαλύψεις.

Στον Πίνακα δίνονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες ενεργοποιημένου νατρίουχου μπετονίτη ως ελάχιστες ενδεικτικές για την επιλογή του κατάλληλου αντίστοιχου υλικού.

5.2.2 Γεωμεμβράνη

Η γεωμεμβράνη από HDPE θα έχει πάχος 1 mm για την αποφυγή εισόδου ομβρίων στα πρανή.

Στον Πίνακα 13 δίνονται οι ελάχιστες τιμές των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών γεωμεμβράνης, οι οποίες εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργικότητα της κατά την εγκατάσταση και λειτουργία της.

Πίνακας 11: Ιδιότητες και ενδεικτικές τιμές μπεντονίτη

Ιδιότητα	Τιμή
Ειδικό Βάρος (tn/m ³)	2,52
Φυσική Υγρασία (%)	15
Κλάσμα < 75 μm (%)	85
Κλάσμα < 2 μm (%)	75
Οριο Υδαρότητας (%)	489
Οριο Πλαστικότητας (%)	91
Δείκτης Πλασιμότητας (%)	398
Ενεργότητα	5,3
Ειδική Επιφάνεια (m ² /g)	632
Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων, CEC (meq/100g)	81
Exchangeable Sodium Percentage, ESP (%)	65
Προσροφημένα Κατιόντα	
Na ⁺ (meq/100g)	53
Ca ²⁺ (meq/100g)	13
K ⁺ (meq/100g)	2
Mg ²⁺ (meq/100g)	13
Σμεκτίτες (%)	75
Χαλαζίας (%)	2
Ανθρακικά (%)	9
Οργανικά (%)	0,5

Πίνακας 12: Προδιαγραφές γεωμεμβράνης

Ιδιότητα	Προδιαγραφή Δοκιμής	Ελάχιστες Τιμές
Εφελκυστική Αντοχή Διαρροής (N/mm ²)	DIN 53455	15
Εφελκυστική Αντοχή Θραύσης (N/mm ²)	DIN 53455	24
Επιμήκυνση σε Διαρροή (%)	DIN 53455	8
Επιμήκυνση σε Θραύση (%)	DIN 53455	600
Αντοχή σε Εφελκυσμό κατά τη Θραύση (N/mm)	DIN 53515	120
Πολυαξονική Επιμήκυνση σε Θραύση (%)	DIN 53861	15
Οριο Σχισίματος (N)	DIN 53363	500
Αντοχή σε σχίσσιμο (N/mm ²)	DIN 53457	500
Αντοχή σε διάτρηση (N/mm)	DIN 16726	300

Σε κάθε περίπτωση, η διάτρηση της γεωμεμβράνης είναι άκρως απαγορευτική, για να επιτευχθεί η σωστή λειτουργία και η προστασία της στρώσης στεγανοποίησης. Η συγκόλληση των μεμβρανών γίνεται με δύο τρόπους:

- Στις ευθείες επιφάνειες κόλληση, με διπλή κόλληση τύπου «**double hot wedge fusion welding**».

- Στις περιοχές περιορισμένης έκτασης όπου δεν μπορεί να γίνει διπλή κόλληση (π.χ. σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες), με εξέλαση τύπου «**fillet extrusion welding**».

Η διαδικασία της συγκόλλησης θα λαμβάνει χώρα υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες κατάλληλες για την εργασία αυτή δηλ. σε θερμοκρασία 5 – 35 °C και σε καμιά περίπτωση υπό βροχόπτωση. Η μεμβράνη που θα χρησιμοποιηθεί θα συνοδεύεται από τα σχετικά πιστοποιητικά, από εγκεκριμένα εργαστήρια, τα οποία θα αποδεικνύουν την εξασφάλιση των απαιτούμενων ιδιοτήτων του υλικού.

Κάθε ρολό υλικού που θα παραδίδεται στο εργοτάξιο, θα συνοδεύεται από ταμπέλα στην οποία θα αναγράφονται:

- Ο κατασκευαστής της μεμβράνης
- Η ημερομηνία παραγωγής
- Η χώρα προέλευσης
- Ο τύπος της μεμβράνης και η παρτίδα παραγωγής
- Η πρώτη ύλη παραγωγής
- Το πάχος της μεμβράνης.

Από κάθε διαφορετική παρτίδα παραγωγής που παραδίδεται στο εργοτάξιο θα λαμβάνεται 1 δείγμα για την εκτέλεση των παρακάτω εργαστηριακών δοκιμών:

- Carbon Black Content (ASTM D 1603)
- Πυκνότητα (Density) ASTM D 1505
- Melt Flow Index ASTM D 1238, E
- Carbon Black Dispersion ASTM D 2663.

Κάθε 7-8 ρολά υλικών που θα παραδίδονται στο εργοτάξιο θα λαμβάνεται 1 δείγμα για την εκτέλεση των παρακάτω δοκιμών:

- Dimensional Stability ASTM D 1204
- Σκληρότητα (Hardness) ASTM D 2240, D
- Διαπερατότητα ASTM E 96.

Οι έλεγχοι των κολλήσεων θα είναι χωρίς καταστροφή (non destructive) και με καταστροφή (destructive).

Οι έλεγχοι χωρίς καταστροφή θα γίνουν στο 100 % των κολλήσεων σε ελάχιστο πλάτος 10 mm με μία από τις παρακάτω μεθόδους:

- Διπλές κολλήσεις με τη μέθοδο αέρα υπό πίεση (air pressure testing) ή με τη μέθοδο του κενού (vacuum testing).
- Απλές κολλήσεις με τη μέθοδο του κενού ή με τη μέθοδο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Οι παραπάνω έλεγχοι θα γίνουν από εξειδικευμένο συνεργείο σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή της μεμβράνης.

Σε πέντε (5) τουλάχιστον περιοχές θα ληφθούν κατάλληλα δείγματα, στα οποία θα πραγματοποιηθούν έλεγχοι με καταστροφή για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής της κόλλησης (Shear Strength, ASTM D 413). Σε άλλες πέντε (5) περιοχές θα ληφθούν δείγματα για έλεγχο σε απόσχιση (Peel, ASTM D 882).

5.2.3 Γεωφάσμα προστασίας

Τοποθετείται για την προστασία της γεωμεμβράνης, από τη διάσθρωση υπερκείμενων στρώσεων. Η διάσθρωση των φύλλων του γεωφάσματος θα γίνει με αλληλοεπικάλυψη 0,50 m και θα χρησιμοποιηθούν βαρίδια άμμου για τη στερέωση.

Το γεωφάσμα προστασίας θα είναι από πολυπροπυλένιο (PP), συνεχούς νήματος (CF), μη υφαντό (NONWOVEN).

Τα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά του γεωφάσματος προδιαγράφονται ως εξής:

- Βάρος 285 g/m².
- Πάχος 5mm σε 2 KPa κατά ASTM D 1777.
- Αντοχή CBR Puncture resistance 3500 N κατά DIN 54307.
- Strip tensile strength 16/25 KN/m κατά ASTM D 4595.
- Επιμήκυνση στη θραύση 60/90%.

Ο έλεγχος του γεωφάσματος προστασίας θα περιλαμβάνει τα εξής :

- Μετρήσεις βάρους (σε δείγματα)
- Οπτικό έλεγχο για τυχόν βλάβες από τη μεταφορά
- Κατάλληλη διάσθρωση των φύλλων του γεωφάσματος με αλληλοεπικάλυψη 0,50 m και χρήση βαριδιών άμμου για τη στερέωση.

5.2.4 Γεωσυνθετική Αποστραγγιστική Στρώση

- Ελάχιστο πάχος 6mm σε 20 KPa
- Παροχετευτικότητα τουλάχιστον ισοδύναμη με 0,5 m αποστραγγιστικής στρώσης αμμοχάλικου με $K = 1 \times 10^{-3} \text{m/s}$

Το κόστος εφαρμογής της προτεινόμενης λύσης για την εξυγίανση της περιοχής μελέτης εκτιμάται σε 2.667.818,90€ πλέον ΦΠΑ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 13. Η ανάλυση του κόστους δίνεται στους Πίνακες 14-17.

Πίνακας 13: Συνολικό κόστος αποκατάστασης

Κατηγορία κόστους	Τιμή
Κόστος αποκατάστασης πλατειών	397.244
Κόστος αποκατάστασης πρανών	1.273.756
Σύνολο	1.671.000
Γενικά έξοδα & Εργολαβικά οφέλη 18%	300.780
Σύνολο	1.971.780
Απρόβλεπτα 10%	197.178
Σύνολο	2.168.958
ΦΠΑ 23%	498.860
Γενικό σύνολο	2.667.819

Πίνακας 14: Ανάλυση κόστους πλατείας αποκατάστασης

Είδος Εργασίας	ΚΩΔΙΚΟΣ	Άρθρο Αναθεώρησης	Μονάδα	Τιμή Εφαρμογής	Ποσότητες	Μερική Δαπάνη €	
Στρώση Εξομάλυνσης							
Συνήθη Δάνεια Υλικά Κατηγορίας Ε1 έως Ε4	A-18.1	ΟΔΟ-1510	m ³	1,05	€/m ³	2.913,84	3.059,53
Διάστρωση Προϊόντων Εκκαφής	3.16	ΥΔΡ-6070	m ³	0,20	€/m ³	2.913,84	582,77
Κατασκευή συμπικνωμένου αναχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	5.01	ΥΔΡ-6079	m ³	0,60	€/m ³	2.913,84	1.748,30
Στρώση Στεγανοποίησης/Πλατείες							
Κατασκευή Αργιλικού Υποστρώματος	14.01						
Σε επιφάνειες με κλίση έως 15%	14.01.01M	ΥΔΡ-6079	m ³	1,9	€/m ³	4.047,00	7.689,30
Γεωύφασμα προστασίας στεγανοποιητικής μεμβράνης (τοποθετούμενο υπό την μεμβράνη)	14.05						
Γεωύφασμα μη υφαντό βάρους 300gr/m ²	14.05.02	ΥΔΡ-6361	m ²	1,75	€/m ²	8.094,00	14.164,50
Στεγανοποίηση λιμοδεξαμενών και ΧΥΤΥ με μεμβράνη πολυαιθυλενίου (PE) 1 mm	14.04.01	ΥΔΡ-6931	m ²	4,00	€/m ²	8.094,00	32.376,00
Γεωύφασμα προστασίας στεγανοποιητικής μεμβράνης (τοποθετούμενο υπό την μεμβράνη)	14.05						
Γεωύφασμα μη υφαντό βάρους 300gr/m ²	14.05.02	ΥΔΡ-6361	m ²	1,75	€/m ²	8.094,00	14.164,50
Στρώση Αποστράγγισης Ομβρίων/Πλατείες							
Κατασκευή επιστρώματος μεμβράνης από αμμοχαλίκους διαβαθμισμένο υλικό	14.03M	ΥΔΡ-6079	m ³	10,0	€/m ³	3.237,60	32.376,00
Γεωύφασμα							
Γεωύφασμα διαχωρισμού	B-64.2	ΟΙΚ-7914	m ²	1,7	€/m ²	8.094,00	13.355,10
ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΑΤΕΙΑ						119.516	

Τιμές από ΦΕΚ 363B/19-2-2013 (ισχύουν από 19-3-13)

Πίνακας 15: Ανάλυση κόστους πλατείας τελικής διαμόρφωσης

Είδος Εργασίας	ΚΩΔΙΚΟΣ	Άρθρο Αναθεώρησης	Μονάδα	Τιμή Εφαρμογής	Ποσότητες	Μερική Δαπάνη €	
Στρώση Εξομάλυνσης							
Συνήθη Δάνεια Υλικά Κατηγορίας E1 έως E4	A-18.1	ΟΔΟ-1510	m ³	1,05	€/m ³	6.100,56	6.405,59
Διάστρωση Προϊόντων Εκακαφής	3.16	ΥΔΡ-6070	m ³	0,20	€/m ³	6.100,56	1.220,11
Κατασκευή συμπυκνωμένου αναχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	5.01	ΥΔΡ-6079	m ³	0,60	€/m ³	6.100,56	3.660,34
Στρώση Στεγανοποίησης/Πλατείες							
Κατασκευή Αργιλικού Υποστρώματος	14.01						
Σε επικλινείς με κλίση έως 15%	14.01.01M	ΥΔΡ-6079	m ³	1,9	€/m ³	8.473,00	16.098,70
Γεωύφασμα προστασίας στεγανοποιητικής μεμβράνης (τοποθετούμενο υπό την μεμβράνη)	14.05						
Γεωύφασμα μη υφαντό βάρους 300gr/m ²	14.05.02	ΥΔΡ-6361	m ²	1,75	€/m ²	16.946,00	29.655,50
Στεγανοποίηση λιμνοδεξαμενών και ΧΥΤΥ με μεμβράνη πολυαιθυλενίου (PE) 1 mm	14.04.01	ΥΔΡ-6931	m ²	4,00	€/m ²	16.946,00	67.784,00
Γεωύφασμα προστασίας στεγανοποιητικής μεμβράνης (τοποθετούμενο υπό την μεμβράνη)	14.05						
Γεωύφασμα μη υφαντό βάρους 300gr/m ²	14.05.02	ΥΔΡ-6361	m ²	1,75	€/m ²	16.946,00	29.655,50
Στρώση Αποστράγγισης Ομβρίων/Πλατείες							
Κατασκευή επιστρώματος μεμβράνης από αμμοχαλικώδες διαβαθμισμένο υλικό	14.03M	ΥΔΡ-6079	m ³	10,0	€/m ³	6.778,40	67.784,00
Γεωύφασμα							
Γεωύφασμα διαχωρισμού	B-64.2	ΟΙΚ-7914	m ²	1,7	€/m ²	16.946,00	27.960,90
Στρώση Εδάφους							
Συνήθη Δάνεια Υλικά Κατηγορίας E1 έως E4	A-18.1	ΟΔΟ-1510	m ³	1,05	€/m ³	13.217,88	13.878,77
Διάστρωση Προϊόντων Εκακαφής	3.16	ΥΔΡ-6070	m ³	0,20	€/m ³	13.217,88	2.643,58
Κατασκευή συμπυκνωμένου επιχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	5.01	ΥΔΡ-6079	m ³	0,60	€/m ³	13.217,88	7.930,73
Φυτόχωμα							
Επένδυση πλατείας με φυτική γη	A-24.1	ΟΔΟ-1610	m ²	0,6	€/m ²	5.083,80	3.050,28
ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΑΤΕΙΑ						277.728	

Τιμές από ΦΕΚ 363B/19-2-2013 (ισχύουν από 19-3-13)

Πίνακας 16: Ανάλυση κόστους πρανών αποκατάστασης

Είδος Εργασίας	ΚΩΔΙΚΟΣ	Άρθρο Αναθεώρησης	Μονάδα	Τιμή Εφαρμογής	Ποσότητες	Μερική Δαπάνη €
Στρώση Εξομάλυνσης						
Συνήθη Δάνεια Υλικά Κατηγορίας E1 έως E4	A-18.1	ΟΔΟ-1510	m ³	1,05	€/m ³	8.432,82
Διάστρωση Προϊόντων Εκακαφής	3.16	ΥΔΡ-6070	m ³	0,20	€/m ³	8.432,82
Κατασκευή συμπυκνωμένου αναχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	5.01	ΥΔΡ-6079	m ³	0,60	€/m ³	8.432,82
Συμπυκνωμένο Εδαφικό Υλικό						
Συνήθη Δάνεια Υλικά Κατηγορίας E1 έως E4	A-18.1	ΟΔΟ-1510	m ³	1,05	€/m ³	16.865,64
Διάστρωση Προϊόντων Εκακαφής	3.16	ΥΔΡ-6070	m ³	0,20	€/m ³	16.865,64
Κατασκευή συμπυκνωμένου αναχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	5.01	ΥΔΡ-6079	m ³	0,60	€/m ³	16.865,64
Στρώση Στεγανοποίησης/Πρανή						
Γεωσυνθετική στρώση μπετονίτη GCL		ΥΔΡ-6079	m ²	11,0	€/m ²	25.554,00
Στεγανοποίηση λιμνοδεξαμενών και ΧΥΤΥ με μεμβράνη πολυαιθυλενίου (PE) 1 mm	14.04.01	ΥΔΡ-6931	m ²	4,00	€/m ²	25.554,00
Γεωϋφασμα προστασίας στεγανοποιητικής μεμβράνης (τοποθετούμενο υπό την μεμβράνη)	14.05					
Γεωϋφασμα μη υφαντό βάρους 300gr/m ²	14.05.02	ΥΔΡ-6361	m ²	1,75	€/m ²	25.554,00
Στρώση Αποστράγγισης Ομβρίων/Πρανή						
Γεωσυνθετική Αποστραγγιστική Στρώση		ΥΔΡ-6079	m ²	9,5	€/m ²	25.554,00
Γεωϋφασμα						
Γεωϋφασμα διαχωρισμού	B-64.2	ΟΙΚ-7914	m ²	1,7	€/m ²	25.554,00
ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΑΝΗ						759.759,00

Τιμές από ΦΕΚ 363B/19-2-2013 (ισχύουν από 19-3-13)

Πίνακας 17: Ανάλυση κόστους πρανών τελικής διαμόρφωσης

Είδος Εργασίας	ΚΩΔΙΚΟΣ	Άρθρο Αναθεώρησης	Μονάδα	Τιμή Εφαρμογής	Ποσότητες	Μερική Δαπάνη €	
Στρώση Εξομάλυνσης							
Συνήθη Δάνεια Υλικά Κατηγορίας E1 έως E4	A-18.1	ΟΔΟ-1510	m ³	1,05	€/m ³	5.592,18	5.871,79
Διάστρωση Προϊόντων Εκσκαφής	3.16	ΥΔΡ-6070	m ³	0,20	€/m ³	5.592,18	1.118,44
Κατασκευή συμπυκνωμένου αναχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	5.01	ΥΔΡ-6079	m ³	0,60	€/m ³	5.592,18	3.355,31
Συμπυκνωμένο Εδαφικό Υλικό							
Συνήθη Δάνεια Υλικά Κατηγορίας E1 έως E4	A-18.1	ΟΔΟ-1510	m ³	1,05	€/m ³	11.184,36	11.743,58
Διάστρωση Προϊόντων Εκσκαφής	3.16	ΥΔΡ-6070	m ³	0,20	€/m ³	11.184,36	2.236,87
Κατασκευή συμπυκνωμένου αναχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου	5.01	ΥΔΡ-6079	m ³	0,60	€/m ³	11.184,36	6.710,62
Στρώση Στεγανοποίησης/Πρανή							
Γεωσυνθετική στρώση μπετονίτη GCL		ΥΔΡ-6079	m ²	11,0	€/m ²	16.946,00	186.406,00
Στεγανοποίηση λιμοδεξαμενών και ΧΥΤΥ με μεμβράνη πολυαιθυλενίου (PE) 1 mm	14.04.01	ΥΔΡ-6931	m ²	4,00	€/m ²	16.946,00	67.784,00
Γεωύφασμα προστασίας στεγανοποιητικής μεμβράνης (τοποθετούμενο υπό την μεμβράνη)	14.05						
Γεωύφασμα μη υφαντό βάρους 300gr/m ²	14.05.02	ΥΔΡ-6361	m ²	1,75	€/m ²	16.946,00	29.655,50
Στρώση Αποστράγγισης Ομβρίων/Πρανή							
Γεωσυνθετική Αποστραγγιστική Στρώση		ΥΔΡ-6079	m ²	9,5	€/m ²	16.946,00	160.987,00
Γεωύφασμα							
Γεωύφασμα διαχωρισμού	B-64.2	ΟΙΚ-7914	m ²	1,7	€/m ²	16.946,00	27.960,90
Φυτόχωμα							
Επένδυση πρανών με φυτική γη	A-24.1	ΟΔΟ-1610	m ²	0,6	€/m ²	16.946,00	10.167,60
ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΑΝΗ						513.998	

Τιμές από ΦΕΚ 363B/19-2-2013 (ισχύουν από 19-3-13)

5.3 Κόστος εκσκαφών- μεταφοράς- Συνολικό κόστος

Σύμφωνα με την επικείμενη νομοθεσία, για γενικές εκσκαφές σε γαιώδες- ημιβραχώδες έδαφος, και για έργα των οποίων το κόστος υπολογίζεται μεταξύ 1-5 εκατομμυρίων ευρώ, το κόστος της εκσκαφής ανά κυβικό μετρό ανέρχεται στα 0,65€/m³ (ΟΔΟ-1123 Α). Ο συνολικός όγκος που εξορύχθηκε στην περίπτωση του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. υπολογίστηκε στα 369.561 m³ με το κόστος της εκσκαφής να ανέρχεται στα 240.214€.

Για την μεταφορά και απόθεση των ρυπασμένων εδαφών, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να βρεθεί έκταση γης κοντά στον χώρο της εκσκαφής, έτσι ώστε να περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο η πιθανότητα περεταίρω ρύπανσης κατά την μεταφορά. Για τον σκοπό αυτό, στα πλαίσια της διπλωματικής, η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση που γίνεται δεκτή είναι τα 2 km. Σημειώνεται ότι, στους τελικούς υπολογισμούς, οι αποστάσεις αυτές διπλασιάζονται, αφού τα υλικά μετά τις εργασίες θα επιστρέψουν στην προηγούμενη θέση του. Με την παραδοχή ότι τα φορτηγά που θα χρησιμοποιηθούν, έχουν χωρητικότητα 20 τόνους, μέση κατανάλωση diesel 0.35l/ km και με την τιμή diesel να ανέρχεται στα 1.3€/ l, δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 18: Κόστος μεταφοράς εξορυσσόμενων υλικών

απόσταση χώρου απόθεσης	χλμ διάνυσης	κατανάλωση (0.35 l/km)	τιμή diesel (1.3€ /l)
0,5	66520,98	23282,343	30267,0459
1	147824,4	51738,54	67260,102
2	266083,92	93129,372	121068,1836

Κατά την επιστροφή του ρυπασμένου εδάφους στην σκάφη του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. και για την διάσπρωση των προϊόντων της εκσκαφής και την κατασκευή συμπυκνωμένου αναχώματος από υλικά που έχουν προσκομισθεί επί τόπου, με βάση την κείμενη νομοθεσία, το κόστος ανέρχεται στα 0,20€/m³ και 0,60€/m³ αντίστοιχα (3.16, ΥΔΡ 6070, 5.01, ΥΔΡ 6079). Με τον συνολικό όγκο των υλικών της τελικής διαμόρφωσης να φτάνει τα 453.836m³ το κόστος ανέρχεται στα 363.068€.

Το γενικό σύνολο του κόστους των εργασιών παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα και ανέρχεται στο ύψος των 3.824.272 € :

Πίνακας 19: Γενικό σύνολο κόστους όλων των εργασιών του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε

Κατηγορία κόστους	Τιμή
Κόστος αποκατάστασης πλατειών	397.244
Κόστος αποκατάστασης πρανών	1.273.756
Σύνολο αποκατάστασης	1.671.000
κόστος εκσκαφής	240.214
κόστος μεταφοράς	121.068
κόστος διάστρωσης & κατασκευής αναχώματος	363.068
συνολικό κόστος εργασιών	2.395.350
Γενικά έξοδα & Εργολαβικά οφέλη 18%	431.163
Σύνολο	2.826.513
Απρόβλεπτα 10%	282.651
Σύνολο	3.109.164
ΦΠΑ 23%	715.108
Γενικό σύνολο	3.824.272

Σημειώνεται ότι βάσει παλιότερης μελέτης και δημιουργίας Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. στην περιοχή του Τ.Τ.Π Λαυρίου, εκτιμάται ότι, για διάφορους λόγους όπως το σύστημα και οι αναλύσεις του περιβαλλοντικού ελέγχου, η προμήθεια εξοπλισμού, το monitoring του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε, υπάρχει μια αύξηση, στο συνολικό κόστος, της τάξεως των 20-25 % με το τελικό κόστος του εγχειρήματος να αγγίζει εν τελεί το ποσό των 4.780.340€.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

Η μέθοδος του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. όπως και η εφαρμογή της απλής κάλυψης της επιφάνειας, διαθέτουν κάποια βασικά πλεονεκτήματα που τις καθιστούν κατάλληλες σε σχέση με άλλες μεθόδους:

Αντιμετωπίζουν τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα με επιτυχία και μηδενίζουν τον κίνδυνο σε σχέση με τον άνθρωπο και το υπέργειο οικοσύστημα, ενώ παράλληλα, το κόστος τέτοιων τεχνικών συγκριτικά με πιο σύνθετες μεθόδους εξυγίανσης είναι σημαντικά μικρότερο. Ταυτόχρονα, η απλότητα μόνο των εργασιών, από τεχνικής πλευράς, συγκριτικά με της υπόλοιπες, τις καθιστά ελκυστικότερες επιλογές. Τα υλικά που απαιτούνται είναι εύκολο να βρεθούν και να αγοραστούν και όσον αφορά τον χρόνο υλοποίησης του έργου με τις εν λόγω μεθόδους πλεονεκτούν σημαντικά για άλλη μια φορά, καθώς συγκριτικά είναι μικρότερος. Έτσι, σε συνδυασμό με ένα σχέδιο αποκατάστασης – αξιοποίησης του χώρου μπορούν να αποδώσουν σε σύντομο χρονικό διάστημα ένα χώρο πλήρως λειτουργικό που θα προσφέρει νέα πνοή σε μία ιδιαίτερα υποβαθμισμένη περιοχή. Τέλος, σημαντικό είναι, ότι οι ρύποι της εκάστοτε περιοχής αντιμετωπίζονται ταυτόχρονα, όπως είναι αναμενόμενο.

Συγκεκριμένα για την μέθοδο του Χ.Υ.Τ.Ρ.Ε. που εξετάζουμε, κι ως προς τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει:

Αν και οι ρύποι απομονώνονται απόλυτα και δεν μπορούν να επηρεαστούν από εξωτερικές παρεμβάσεις, δεν παύουν να παραμένουν στην περιοχή, με τα ίδια ποσοστά συγκέντρωσης. Παράλληλα, συγκριτικά με την μέθοδο κάλυψης, απαραίτητη είναι η παρακολούθηση εκτός του άνω καλύμματος, και της υποκείμενης στεγάνωσης των αποβλήτων, με επιπλέον μέτρα παρακολούθησης όπως γεωτρήσεις μάρτυρες καθίζησης κλπ. Έτσι, δυσκολεύει πολύ ο υπολογισμός του χρόνου αποτελεσματικής προστασίας της συνολικής κατασκευής και αυξάνεται σημαντικά το κόστος.

Επίσης, η κατασκευή είναι επιρρεπής σε ακραία καιρικά φαινόμενα και διάφορες φυσικές ή τεχνητές καταστροφές όπως πλημμύρες και πυρκαγιές. Ταυτόχρονα, σε περιπτώσεις που διαπιστώσουμε κάποια ζημιά στην κατασκευή, η συντήρηση ή επισκευή της στρώσης στεγάνωσης, είναι ιδιαίτερα δύσκολη και δαπανηρή διαδικασία, καθώς απαιτεί εκ νέου εκσκαφή και μεταφορά των αποβλήτων.

Οι σημαντικές επεμβάσεις στο σύνολο του όγκου των αποτιθέμενων αποβλήτων της περιοχής, είτε με τη μορφή εργασιών εκσκαφής, είτε μεταφοράς, αναγκαστικά, προκαλούν μια αναμόχλευση των επικίνδυνων αποθέσεων, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση του κίνδυνου διασποράς ρύπων στο ευρύτερο περιβάλλον (αερομεταφερόμενα σωματίδια και σκόνη). Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι εργασίες πραγματοποιούνται εντός του αστικού ιστού, επιβάλλεται να πάρουμε τα κατάλληλα μέτρα προστασίας, γεγονός εξαιρετικά δύσκολο όταν μιλάμε για χημειοτεχνικές εργασίες τέτοιας έκτασης, πόσο μάλλον αν αναλογιστούμε τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (ισχυροί άνεμοι καθ' όλη τη διάρκεια του έτους).

Η μεταφορά και προσωρινή αποθήκευση των αποβλήτων, σαν διαδικασία από μόνη της εγείρει κάποια σημαντικά προβλήματα καθώς, αρχικά προϋποθέτει την διαθεσιμότητα σημαντικής έκτασης γης.

Επιπλέον όμως, σε περίπτωση που βρεθεί, τα προβλήματα που την συνοδεύουν, δεν παύουν να αποζητούν λύσεις και να δυσκολεύουν την διαδικασία:

- Από τη στιγμή που θα βρεθεί ο χώρος, έστω και για προσωρινή απόθεση, προφανώς κι επιβάλλεται να αδειοδοτηθεί η συγκεκριμένη εργασία, γεγονός που από μόνο του μπορεί να καθυστερήσει ολόκληρο το έργο.
- Πριν την απόθεση, πρέπει να προηγούνται συγκεκριμένα έργα που θα προετοιμάσουν κατάλληλα την θέση, αυξάνοντας έτσι, τόσο το κόστος του έργου όσο και τον χρόνο εργασιών.
- Ο σωρός των αποβλήτων, θα παραμείνει εκτεθειμένος επί μακρόν σε καιρικά φαινόμενα (βροχές ανέμους κλπ.) αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο μεταφοράς των ρύπων τόσο μέσω υδάτων όσο και μέσω αέρα στην περιβάλλουσα περιοχή.
- Ο όγκος των αποβλήτων, θα δημιουργήσει έναν σωρό υλικών σημαντικού ύψους. Από γεωτεχνικής άποψης, λοιπόν, πρέπει να μελετηθεί ως προς την ευστάθεια του και να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε ανομοιογενή και εύθρυπτα υλικά (όπως τα περισσότερα από τα περιεχόμενα στο χώρο απόβλητα) να δημιουργούν ένα ασφαλές προσωρινό επίχωμα, αποφεύγοντας έτσι, δυσάρεστες συνέπειες, όπως ολισθήσεις, με ανυπολόγιστα αποτελέσματα (επιπλέον ρύπανση παρακείμενων περιοχών, πιθανή πρόκληση ατυχήματος).

Τέλος, το κόστος εξυγίανσης- αποκατάστασης, αυξάνεται δυσανάλογα σε σχέση με τα προσφερόμενα οφέλη, αν λάβουμε υπόψιν ότι, πέραν των ήδη δαπανηρών εργασιών εκσκαφής- μεταφοράς- επανατοποθέτησης και επιπρόσθετης στρώσης απομόνωσης- αποστράγγισης, το κόστος θα επιβαρυνθεί επιπλέον, από μέτρα που σχετίζονται με την υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων και περίοικων της περιοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Carlou, C. (Ed.) (2007): Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission, Joint Research Centre, Ispra, EUR 22805-EN, pp. 306

European Environment Agency (1995): Environment in the European Union.– Report for the Review of the Fifth Environmental Action Programme”.

Janikowski, R., Kucharski, R., Sas-Nonosielska, A. (2000): Multi-criteria and multi-perspective analysis of contaminated land management methods. Environmental Monitoring and Assessment, Kluwer Academic publishers, Netherlands.

Kaliampakos, D., Damigos, D., Karachaliou, T. (2007): Using the “dry-tomb” technique in the remediation of contaminated land. SWEMP 2007, Bangkok, Thailand.

Kontopoulos, A., Komnitsas, K., Xenidis, A., Papassiopi, N. (1995): Environmental Characterization of the sulphidic tailings in Lavrion. Minerals Engineering, Vol. 8, No 10, pp. 1209-1219.

LaGrega, D. M., Buckingham, L. P., Evans, C. J. (2001): Hazardous Waste Management. 2nd ed., McGraw – Hill, New York, USA.

MHSPE (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment) (1999): Intervention Values and Target Values-Soil Quality Standards. Directorate General for Environmental Protection. Department of Soil Protection, The Hague, The Netherlands.

Moutsatsou, A., Gregou, M., Matsas, D., Protonotarios, V. (2006): Washing as a remediation technology applicable in soils heavily polluted by mining-metallurgical activities. Chemosphere 63 (10), pp. 1632-1640

Mulligan, C. N., Yong, R. N., Gibbs, B. F (2001): Remediation Technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. Engineering Geology, Vol. 69, pp. 193-207.

Peters, R. W. (1999): Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. J. Haz. Mater., Vol. 66, pp. 151-210.

Protonotarios, V., Petsas, N., Damigos, D., Kaliampakos, D., Moutsatsou, A. (2002): Levels, Composition and Origin of particulate matter (PM10 and TSP) in a former mining-industrial site at the city of Lavrion, Greece. Waste Management Conference, Cadiz, Spain.

Protonotarios, V., Petsas, N., Moutsatsou, A. (2002): Levels and Composition of atmospheric particulates derived from surface depositions contaminated by heavy metals and from adjacent industrial plants. Air Pollution and Waste Management Association, Vol. 52, pp. 174-185.

US EPA (1997): Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

US EPA (1997): Technology Alternatives for the Remediation of Soils Contaminated with As, Cd, Cr, Hg and Pb. Engineering Bulletin, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington DC 20460, EPA/540/S-97/500.

Wentz, A. C. (1995): Hazardous Waste Management. McGraw Hill.

Xenidis, A., Komnitsas, K., Papassiopi, N., Kontopoulos, A. (1997): Environmental Implications of the Mining Activities in Lavrion. Engineering Geology and the Environment. Koukis M., Tsabaos & Stournaras (eds), Balkema Rotterdam, ISBN 9054108770, Vol 3.

Ελληνική

Δερμάτης, Γ., Καλαφάτη, Ε., Μαρκούλη, Α., Μπελαβίλας, Ν., Τσίλης, Γ. (1997): Το Μεταλλευτικό Λαύριο του 19ου & 20ου Αιώνα. Ε.Μ.Π., Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου, Αθήνα, Ελλάδα.

Δερμάτης, Γ. (1999): Λαύριο, 4η Περίοδος, 140 Χρόνια Τεχνολογίας και Πολιτισμού. Ε.Μ.Π., Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου, Αθήνα, Ελλάδα.

Δερμάτης, Γ. (2003): Λαύριο, το Μαύρο Φως. Ε.Μ.Π., Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου, Αθήνα, Ελλάδα.

Καρβούνης, Γ. (2001): Τεχνολογίες Χημικού Καθαρισμού Εδαφών ρυπασμένων με Βαρέα Μέταλλα Mn, Cu, Pb, Cd, Zn από τις Μεταλλευτικές περιοχές Στρατωνίου Χαλκιδικής και Λαυρίου. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κονοφάγος, Κ.Η (1980): Το Αρχαίο Λαύριο και η Ελληνική Τεχνική Παραγωγής του Αργύρου. Εκδοτική Ελλάδος Α.Ε., Αθήνα.

Πρωτονοτάριος, Β. (2005): Μελέτη των παραμέτρων ρύπανσης και αξιολόγηση μεθοδολογιών για την εξυγίανση των εδαφών. Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ.

Πρωτονοτάριος, Β., Καλιαμπάκος, Δ., Πέτσας, Ν., Μουτσάτσου, Α. (2001): Προσδιορισμός και κατανομή της συγκέντρωσης βαρέων και τοξικών μετάλλων σε δείγματα αιωρούμενων σωματιδίων βιομηχανικής περιοχής. 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, Αθήνα, Ελλάδα.

Ιστοσελίδες

<http://www.epareachit.org>

<http://www.epareachit.org/reports/cost.asp>

<http://www.edenspace.com/phytoremediation.htm>

http://www.emy.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=A

<http://oehha.ca.gov/tcdb/index.asp>

<http://www.epa.gov/iris/>