



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ & ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Δ.Π.Μ.Σ.: «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

---



**Υπόγεια διάθεση αποβλήτων και μία πρώτη θεώρηση για την κατασκευή υπόγειου χώρου διάθεσης αποβλήτων σε δομή ορυκτού άλατος στο Μονολίθι Ιωαννίνων**

Διπλωματική Εργασία  
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

**Φοίβος Γ. Λεοντίσης**

Εξεταστική Επιτροπή:

Ανδρέας Μπενάρδος, Αν. Καθηγητής (επιβλέπων)

Δημήτριος Καλιαμπάκος, Καθηγητής

Πάυλος Νομικός, Επ. Καθηγητής



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ & ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Δ.Π.Μ.Σ.: «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

---

**Υπόγεια διάθεση αποβλήτων και μία πρώτη θεώρηση για την κατασκευή υπόγειου  
χώρου διάθεσης αποβλήτων σε δομή ορυκτού άλατος στο Μονολίθι Ιωαννίνων**

Διπλωματική Εργασία  
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

**Φοίβος Γ. Λεοντίσης**

Εξεταστική Επιτροπή

Ανδρέας Μπενάρδος, Αν. Καθηγητής (επιβλέπων)

Δημήτριος Καλιαμπάκος, Καθηγητής

Πάυλος Νομικός, Επ. Καθηγητής

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Εικόνα 1 (εξωφύλλου): Φωτομοντάζ με το αριστερό μέρος να παρουσιάζεται μέρος των αναλύσεων σε στύλο από την παρούσα εργασία και στο δεξί μέρος εργασίες απόθεση επικίνδυνων αποβλήτων στην εγκατάσταση Herfa- Neurode της Γερμανίας.  
Πηγή: K+S Entsorgung GmbH, 2016

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την παρούσα εργασία ολοκληρώνεται το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών του Διατμηματικού Προγράμματος «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων» των σχολών Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών και Πολιτικών Μηχανικών.

Η υπόγεια ανάπτυξη έχει παίξει ένα καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση προβλημάτων αλλά και στην κάλυψη πολλών και σύνθετων αναγκών των σύγχρονων κοινωνιών και αναμένεται αυτός ο ρόλος να ενισχυθεί.

Ένα μείζον ζήτημα, που εδώ και δεκαετίες είναι στο προσκήνιο και απασχολεί το σύγχρονο κόσμο είναι η διαχείριση των αποβλήτων. Ο σχεδιασμός των παραγωγικών διαδικασιών καθώς και το εν γένει μοντέλο της οικονομίας του σύγχρονου κόσμου δεν περιλαμβάνουν ακόμα και σήμερα ένα ξεκάθαρο και βιώσιμο μοντέλο διαχείρισης των αποβλήτων που δημιουργούν.

Κάποια κράτη έχουν κάνει μεγάλα βήματα, άλλα έχουν κάνει μικρότερα και κάποια βρίσκονται σε απαράδεκτα για το σύγχρονο πολιτισμό μας επίπεδα. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα μέχρι και πριν από μία δεκαετία το φαινόμενο της ανεξέλεγκτης απόθεσης ακόμα και επικίνδυνων αποβλήτων ήταν ο κανόνας και όχι κάποια παροδική ασυνείδητη συμπεριφορά ορισμένων.

Η προσκόλληση σε μη βιώσιμα μοντέλα οικονομίας και παραγωγής καθώς και η συνεχιζόμενη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού είναι βέβαιο πως θα

επιτείνουν το πρόβλημα της παραγωγής και διάθεσης των αποβλήτων, επικίνδυνων και μη, σε έναν τεράστιο βαθμό.

Επιστημονική κοινότητα, παραγωγικοί φορείς μαζί με πολιτεία και κοινωνία θα πρέπει να αναζητήσουν νέες λύσεις και αυτές οι λύσεις θα πρέπει να είναι τολμηρές.

Μία τέτοια λύση εξετάζεται και στην παρούσα εργασία, με μία πρώτη θεώρηση για τον πρώτο μαζικό χώρο υπόγειας απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα στη δομή ορυκτού άλατος στο Μονολίθι Ιωαννίνων στην Ήπειρο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Ανδρέα Μπενάρδο, αναπληρωτή καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών τόσο για την καθοδήγηση και υποστήριξη του για την εκπόνηση αυτής της εργασίας όσο και για τις συνεχείς προτροπές του για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος εκ μέρους μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της εργασίας κ. Παύλο Νομικό, επ. καθηγητή της Σχολής και τον κ. Δημήτριο Καλιαμπάκο καθηγητή της Σχολής τόσο για τη συμμετοχή τους στην εξέταση όσο και για την γενικότερη υποστήριξη τους ως καθηγητές στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή τους στήριξη καθώς χωρίς αυτή δε θα ήταν δυνατή η φοίτησή μου στο πρόγραμμα.

Και ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και φίλους Ανδρέα Σεραφή, Μανώλη Τσαντάκη και Σήφη Πιταροκοίλη τόσο για την πολύτιμη βοήθεια τους στην δημιουργία των αναλύσεων με το πρόγραμμα Plaxis αυτής της εργασίας, όσο και για τη γενικότερη υποστήριξή τους σε όλο τον κύκλο του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Τέλος, θα ήθελα να αναφερθώ ιδιαίτερα στον συνάδελφο Μωραΐτη Ιωάννη, στου οποίου την εργασία βασίστηκε μεγάλο μέρος αυτής και ο οποίος δεν είναι πια μαζί μας.

Πειραιάς, 1 Ιουλίου 2016

Φοίβος Λεοντίσης  
Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της παρούσας εργασίας είναι η υπόγεια διάθεση αποβλήτων, η οποία θεωρείται από πολλούς η βέλτιστη και αποδοτικότερη λύση τελικής διάθεσης των επικίνδυνων αποβλήτων.

Στην εισαγωγή γίνεται μία αναγκαία αναφορά τόσο στους βασικούς ορισμούς των αποβλήτων όσο και στο νομικό πλαίσιο που διέπει την ταξινόμηση, διαχείριση και απόθεση αυτών με βασικούς πυλώνες το ευρωπαϊκό κοινοτικό δίκαιο και τη Συνθήκη της Βασιλείας που είναι συμβατικές υποχρεώσεις της Ελλάδας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια περιγραφής της υπόγειας αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων καθώς και μία περιγραφή χαρακτηριστικών χώρων υπόγειας διάθεσης παγκοσμίως ενεργών, μη ενεργών και πειραματικών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αποτυπώνεται η υπόγεια διάθεση των αποβλήτων συγκεκριμένα σε δομές ορυκτού άλατος. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού ενός τέτοιου χώρου σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικές παραμέτρους του γεωλογικού περιβάλλοντος του ορυκτού άλατος. Εδώ ακόμα γίνεται και εκτενής αναφορά στους χώρους υπόγειας διάθεσης αποβλήτων, του Minosus και του Herfa-Neurode, στην Αγγλία και τη Γερμανία αντίστοιχα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο ακολουθεί μία πρώτη θεώρηση για την δημιουργία του πρώτου μαζικού υπόγειου χώρου διάθεσης αποβλήτων στο ευνοϊκό περιβάλλον του σχηματισμού του ορυκτού άλατος, που υπάρχει στο Μονολίθι Ιωαννίνων στην Ήπειρο. Το εν λόγω κοίτασμα είχε προκαλέσει το ενδιαφέρον των ερευνητών του Ι.Γ.Μ.Ε. από τα τέλη της δεκαετίας του '60 έως τις αρχές του '70.

Σε αυτές τι μελέτες βασίστηκε η εργασία καθώς και σε απαραίτητες παραδοχές από τη βιβλιογραφία λόγω της απουσίας συγκεκριμένων γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού.

Στο 5ο κεφάλαιο προτείνεται η κατασκευή της υπόγειας εγκατάστασης με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων και γίνεται μία προκαταρκτική εξέταση της αντοχής των στύλων σε ένα ορισμένο βάθος. Για την εξέταση της αντοχής των στύλων λαμβάνονται ως περιπτώσεις 3 γεωμετρίες της κατασκευής. Ακόμα η αντοχή των στύλων εξετάζεται και με τη δημιουργία προσομοιώματος με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και συγκεκριμένα με το πρόγραμμα Plaxis 2D.

Τέλος η εργασία κλείνει με τα συμπεράσματα. Βασικό συμπέρασμα είναι πως η υπόγεια διάθεση των αποβλήτων και κυρίως των επικίνδυνων είναι η βέλτιστη δυνατή λύση. Ακόμα το περιβάλλον του ορυκτού άλατος είναι ιδανικό κυρίως λόγω της γενικώς απουσίας του υπογείου νερού και λόγω της χρησιμοποίησης αυτού ως υλικό επανεπίχωσης των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα για την περιοχή του Μονολιθίου, η συντηρητική επιλογή των παραμέτρων και η εξαγωγή ικανοποιητικών συντελεστών ασφαλείας τόσο με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων όσο και με την ανάλυση του Plaxis δείχνει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της εγκατάστασης τουλάχιστον σε πρωταρχικό στάδιο.



## ABSTRACT

The present diploma thesis deals with the disposal of hazardous waste in underground repositories, which is considered as the optimum disposal method.

Chapter 1 consists of a necessary introduction to the basic definitions of wastes. There is also a necessary reference to the law and legislation, which governs the classification, management and disposal of waste.

In chapter 2, the underground disposal is described as a number of particular underground facilities worldwide, active, and inactive or under development.

In chapter 3, there is a description of underground disposal in salt formations. The mention deals with the special characteristics of the design of such facilities, combine with the special geo-mechanical properties of rock salt. There is also an extended reference of two facilities, Minosus in United Kingdom and Herfa-Neurode in Germany.

Chapter 4 refers to the proposal of creation the first mass underground repository for disposal of hazardous waste in the propitious environment of a salt formation that exists in Monolithi in Epirus. This particular formation has been investigated from the end of 1960 until the early '70s. This thesis is based not only on these results but also on specific sources because of the necessity of assumptions of mechanical properties of rock salt.

It is proposed, in chapter 5, the creation of the underground facility with the rooms and pillars exploitation method. There is a basic examination of the strength of pillars for a particular depth. The examination consists of two cases of two different geometries of pillars. There is, also, an examination with a two-dimensional finite element model and particular with the application of Plaxis 2D.

Finally, chapter 6, presents the conclusion of this thesis. It is considered that the underground disposal of hazardous waste is the most efficient method at this time. The salt formations are ideal for underground disposal because of the generally absence of underground water and the use of salt as backfilling material. The creation of an underground repository in the salt formation of Monolithi seems to be feasible, as the selection of parameters was conservative and the factor of safety of all methods were principally satisfying.

## Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγικά στοιχεία.....	16
1.1	Ορισμοί.....	16
1.1.1	Ορισμός των αποβλήτων .....	16
1.1.2	Ορισμός των επικίνδυνων αποβλήτων .....	16
1.2	Ταξινόμηση των αποβλήτων.....	19
1.2.1	Ορισμός βασικών χαρακτηριστικών επικινδύνων αποβλήτων .....	19
1.2.2	Ταξινόμηση.....	24
1.3	Επικίνδυνα απόβλητα στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση .....	32
1.3.1	Νομικό πλαίσιο .....	32
1.3.2	Ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων .....	34
1.4	Διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων .....	38
2	Υπόγεια Διάθεση Αποβλήτων.....	42
2.1	Υπόγεια ανάπτυξη.....	42
2.2	Εισαγωγικά στοιχεία και ιστορική αναδρομή .....	44
2.3	Ο ρόλος του γεωλογικού υποβάθρου .....	49
2.4	Η αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων .....	54
2.5	Χώροι διάθεσης αποβλήτων και τοπικές κοινωνίες .....	57
2.6	Προϋποθέσεις & κριτήρια για την υπόγεια διάθεση αποβλήτων .....	59
2.7	Εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων .....	64

2.7.1	Προγενέστεροι χώροι υπόγειας αποθήκευσης ραδιενεργών και επικινδύνων αποβλήτων. ....	64
2.7.2	Εγκαταστάσεις γεωτρήσεων διοχέτευσης υγρών αποβλήτων σε μεγάλα βάθη.....	68
2.7.3	Πειραματικές ή υπό κατασκευή εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων .....	69
2.7.4	Εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων σε δομές άλατος	72
2.8	Εγκατάσταση υπόγειας διάθεσης αποβλήτων στην Ελλάδα – Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου .....	77
2.8.1	Εισαγωγικά στοιχεία & ιστορική αναδρομή.....	77
2.8.2	Το Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου και ο πρώτος υπόγειος χώρος αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων στην Ελλάδα.....	78
2.8.3	Στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής υπόγειου χώρου .....	79
2.8.4	Στοιχεία κόστους και εναλλακτικές λύσεις.....	82
3	Υπόγεια διάθεση αποβλήτων σε δομές ορυκτού άλατος.....	83
3.1	Η γεωλογία των δομών ορυκτού άλατος .....	84
3.2	Βασικές αρχές σχεδιασμού υπόγειων χώρων σε σχηματισμούς ορυκτού άλατος.....	86
3.3	Φαινόμενα ερπυσμού στους σχηματισμούς ορυκτού άλατος και διόγκωσης σε σχηματισμούς με ανυδρίτη.....	94
3.3.1	Φαινόμενα ερπυσμού στους σχηματισμούς ορυκτού άλατος.....	94

3.3.2	Φαινόμενα διόγκωσης σε σχηματισμούς με ανυδρίτη .....	97
3.4	Περιπτώσεις αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων σε υπόγειους χώρους σε δομές ορυκτού άλατος.....	100
3.4.1	Minosus, Αγγλία .....	100
3.4.2	Herfa Neurode, Γερμανία.....	105
4	Η περίπτωση υπόγειου χώρου διάθεσης αποβλήτων σε δομή ορυκτού άλατος στο Μονολίθι Ιωαννίνων .....	113
4.1	Ιστορικό ερευνών της περιοχής και η γεωλογία της.....	113
4.1.1	Εισαγωγικά στοιχεία .....	113
4.1.2	Η οικονομοτεχνική αξιολόγηση του Ι.Γ.Μ.Ε. του κοιτάσματος ορυκτού άλατος.....	116
4.2	Γεωφυσική έρευνα.....	119
4.2.1	Εισαγωγικά στοιχεία .....	119
4.2.2	Θέση έρευνας και τοπογραφία περιοχής .....	121
4.2.3	Συμπεράσματα γεωφυσικής έρευνας.....	123
4.3	Γεωλογία, στρωματογραφία και τεκτονική της περιοχής .....	125
4.3.1	Στρωματογραφία.....	125
4.3.2	Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής.....	129
4.3.3	Τεκτονική .....	132
4.4	Υδρογεωλογία και ο υδρολογικός χαρακτήρας της περιοχής.....	137
4.4.1	Υδρογραφία.....	137

4.4.2	Υδρολιθολογία.....	138
4.5	Το κοίτασμα ορυκτού άλατος στο Μονολίθι.....	142
5	Σχεδιασμός του υπόγειου χώρου διάθεσης αποβλήτων.....	148
5.1	Μέθοδος κατασκευής του υπόγειου χώρου διάθεσης.....	148
5.1.1	Εισαγωγικά στοιχεία της μεθόδου θαλάμων και στύλων .....	149
5.1.2	Βασικές αρχές σχεδιασμού της μεθόδου .....	150
5.1.3	Σχεδιασμός των στύλων και των θαλάμων .....	152
5.2	Διαστασιολόγηση του υπόγειου χώρου .....	157
5.2.1	Βασικές Παραδοχές Αρχικού Σχεδιασμού: .....	157
5.2.2	Υπόθεση δυναμικότητας αποθήκευσης του υπόγειου χώρου .....	159
5.2.3	Μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος και παραδοχές αυτών 160	
5.2.4	Εξέταση αντοχής στύλων με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων .....	163
5.3	Ανάλυση με προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων, το πρόγραμμα «PLAXIS» .....	167
5.3.1	Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS 2D.....	167
5.3.2	Παραδοχές για την ανάπτυξη της ανάλυσης .....	168
5.3.3	Αποτελέσματα της δισδιάστατης ανάλυσης .....	171
6	Συζήτηση – συμπεράσματα.....	180
7	Βιβλιογραφικές αναφορές .....	184

8	Παράρτημα Ι .....	190
9	Παράρτημα ΙΙ .....	191
10	Ευρετήριο εικόνων: .....	192
11	Ευρετήριο πινάκων:.....	199

## **1 Εισαγωγικά στοιχεία**

### **1.1 Ορισμοί**

#### **1.1.1 Ορισμός των αποβλήτων**

Με βάση τον ορισμό του Τμήματος Στατιστικής του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών απόβλητα (αγγλ.: *waste*) θεωρούνται τα υλικά τα οποία δεν είναι κύρια προϊόντα (ήτοι, προϊόντα που παράγονται για την αγορά) για τα οποία ο κατασκευαστής δεν έχει άλλη χρήση από την άποψη των δικών του σκοπών παραγωγής μεταποίησης ή κατανάλωσης και τα οποία θέλει να διαθέσει (ή καλύτερα να απαλλαγεί από αυτά). Τα απόβλητα μπορούν να δημιουργηθούν από την εξόρυξη των πρώτων υλών, την επεξεργασία τους σε ενδιάμεσα υλικά και τελικά προϊόντα, από την κατανάλωση τελικών προϊόντων και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Εξαιρούνται από τον ορισμό τα ανακυκλωμένα ή επαναχρησιμοποιούμενα κατάλοιπα στο μέρος της παραγωγής. Ο ορισμός παραπέμπει επίσης στα βιολογικά απόβλητα, στερεά απόβλητα, βιομηχανικά απόβλητα και στα οικιακά απόβλητα. (The United Nations Statistics Division, 2015)

Ενώ με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα ο ορισμός δίνεται απλούστερα ως εξής: «κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει». (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008)

#### **1.1.2 Ορισμός των επικινδύνων αποβλήτων**

Ο ορισμός των επικινδύνων αποβλήτων αποτέλεσε ένα θέμα, το οποίο συγκέντρωσε την προσοχή πολλών επιστημόνων και νομοθετών λόγω της



δυσκολίας του και τουλάχιστον όταν πρωτάρχισε να χρησιμοποιείται ως όρος περίπου το 1970 (Γιδαράκος, 2006). Όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά, η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) χρειάστηκε σχεδόν 4 χρόνια προκειμένου να καταλήξει στην ανάπτυξη ενός ειδικού νομοθετικού πλαισίου για τον ορισμό και την ταξινόμηση των επικινδύνων αποβλήτων. Ακόμη και σήμερα παρουσιάζονται αρκετοί διαφορετικοί ορισμοί, οι οποίοι προσπαθούν να προσδιορίσουν με όσο το δυνατόν καλύτερο τρόπο όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που μπορούν να τα καταστήσουν επικίνδυνα. Ένας από τους πλέον διαδεδομένους ορισμούς των επικινδύνων αποβλήτων είναι εκείνος της RCRA (U.S. Resource Conservation and Recovery Act), σύμφωνα με τον οποίο ως επικίνδυνα απόβλητα θεωρούνται τα απόβλητα ή οι συνδυασμοί των αποβλήτων, τα οποία λόγω της ποσότητάς τους, της συγκέντρωσής τους ή των φυσικών, χημικών και μολυσματικών χαρακτηριστικών τους μπορούν (1) να προκαλέσουν ή να ευνοήσουν σημαντικά την αύξηση της θνησιμότητας ή μιας σοβαρής μη αναστρέψιμης ασθένειας ή μιας εξουδετερώσιμης αναστρέψιμης ασθένειας ή (2) να θέσουν την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον σε σημαντικό υφιστάμενο ή ενδεχόμενο κίνδυνο, όταν δεν επεξεργάζονται, αποθηκεύονται, μεταφέρονται ή διατίθενται και γενικότερα διαχειρίζονται κατάλληλα. Αν και ο ορισμός αυτός αναφέρεται σε στερεά απόβλητα, έχει ερμηνευθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επεκτείνεται επίσης σε ημιστερεά, υγρά και αέρια απόβλητα.

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών ορίζει τα επικίνδυνα απόβλητα ως εξής: «τα απόβλητα (στερεά, ιλύς, υγρά και αποθηκευμένα αέρια), συμπεριλαμβανομένων των ραδιενεργών (και μολυσματικών) αποβλήτων, τα οποία λόγω της χημικής τους δραστηριότητας ή των τοξικών, εκρηκτικών, διαβρωτικών και άλλων χαρακτηριστικών τους προκαλούν καρκίνο ή μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο στην υγεία και το περιβάλλον, είτε από μόνα τους, είτε σε

συνδυασμό και επαφή με άλλα απόβλητα...» (The United Nations Statistics Division, 2015).

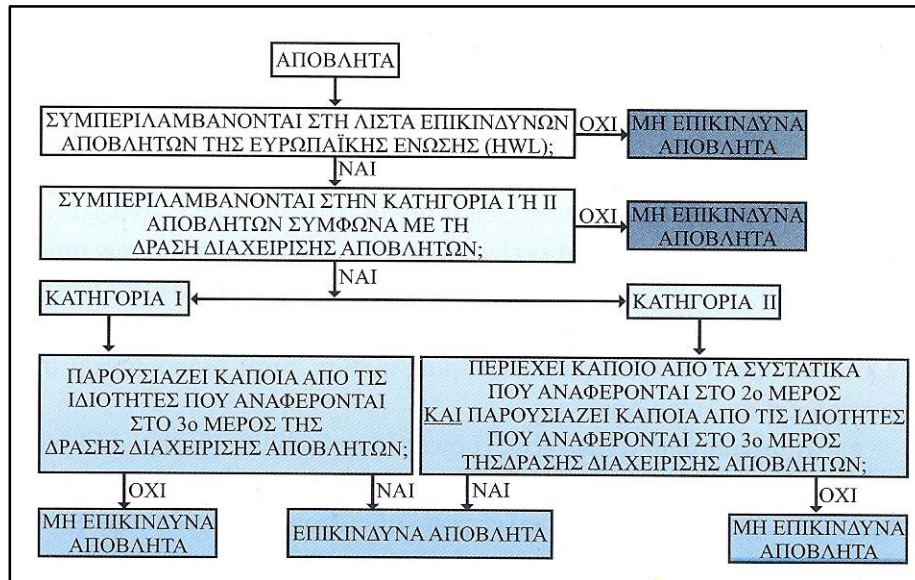
Η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) έχει προχωρήσει στη δημιουργία λιστών με ουσίες, οι οποίες θεωρούνται επικίνδυνες και έχει αναπτύξει ένα διαφορετικό ορισμό, σύμφωνα με τον οποίο ως επικίνδυνα απόβλητα θεωρούνται «... υλικά ή μίγματα υλικών τα οποία:

- παρουσιάζουν χαρακτηριστικά αναφεξιμότητας, διαβρωτικότητας, αντιδραστικότητας και / ή τοξικότητας,
- συμπεριλαμβάνονται στη λίστα συγκεκριμένων επικινδύνων ουσιών της EPA (EPA Specific Source Hazardous List), (Κωδικός K)
- συμπεριλαμβάνονται στη λίστα επικινδύνων ουσιών μη συγκεκριμένης πηγής της EPA (EPA Non Specific Source List), (Κωδικός F)
- συμπεριλαμβάνονται στη λίστα εμπορικών χημικών προϊόντων της EPA (EPA Commercial Chemical Products List). (Κωδικοί P και U)

Στο ίδιο περίπου πνεύμα κινήθηκε και η Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία εξέδωσε το 1996 δικές της λίστες επικινδύνων αποβλήτων (European Hazardous Waste List – HWL) και ανέπτυξε ένα νέο ορισμό, σύμφωνα με τον οποίο «... επικίνδυνα απόβλητα θεωρούνται :

- τα απόβλητα που συμπεριλαμβάνονται στην Κατηγορία I αποβλήτων και παρουσιάζουν οποιαδήποτε από τις ιδιότητες που αναφέρονται στο 3<sup>ο</sup> Μέρος της Δράσης Διαχείρισης Αποβλήτων ή απόβλητα που συμπεριλαμβάνονται στην Κατηγορία II αποβλήτων και περιέχουν συστατικά που αναφέρονται στο 2<sup>ο</sup> Μέρος ή παρουσιάζουν οποιαδήποτε από τις ιδιότητες που αναφέρονται στο 3<sup>ο</sup> Μέρος της Δράσης Διαχείρισης Αποβλήτων,
- οποιαδήποτε απόβλητα παρουσιάζουν οποιαδήποτε από τις ιδιότητες που αναφέρονται στο 3<sup>ο</sup> Μέρος της Δράσης Διαχείρισης Αποβλήτων...»

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πως πραγματοποιείται ο χαρακτηρισμός ενός αποβλήτου από την Ευρωπαϊκή Ένωση με βάση τον παραπάνω ορισμό:



Εικόνα 2 Διάγραμμα με τα κριτήρια χαρακτηρισμού των αποβλήτων ως επικίνδυνα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση. Πηγή: Γιδαράκος, 2006

Το σημερινό κοινοτικό πλαίσιο καθορίζεται πλέον με την οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ε.Ε. της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών ο ορισμός απλοποιείται ως εξής: «...επικίνδυνα απόβλητα είναι τα απόβλητα που εμφανίζουν μια ή περισσότερες από τις επικίνδυνες ιδιότητες που αναφέρονται στο Παράρτημα ΙΙΙ της οδηγίας. (βλ. Παράρτημα 1) (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008).

## 1.2 Ταξινόμηση των αποβλήτων

### 1.2.1 Ορισμός βασικών χαρακτηριστικών επικινδύνων αποβλήτων

Με βάση τον προαναφερθέντα ορισμό της ΕΡΑ για τα επικίνδυνα απόβλητα προκύπτουν τα εξής τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά αυτών:

1. η αναφλεξιμότητα(ignitability)
2. η διαβρωτικότητα (corrosivity)
3. η αντιδραστικότητα (reactivity)
4. η τοξικότητα (toxicity).

Οι παραπάνω ιδιότητες ορίζονται ως εξής:

**Αναφλεξιμότητα:** Όποια απόβλητα παρουσιάζουν κάποιες από τις ακόλουθες ιδιότητες, θεωρούνται επικίνδυνα, λόγω της αναφλεξιμότητάς τους:

- είναι υγρά, με εξαίρεση τα υδατικά διαλύματα που περιέχουν λιγότερο από 24% αλκοόλη, τα οποία έχουν σημείο ανάφλεξης μικρότερο από 60°C,
- είναι μη υγρά που είναι ικανά, υπό κανονικές συνθήκες, να αυταναφλεχθούν ή να ευφλεχθούν,
- είναι εύφλεκτα συμπιεσμένα υγρά, σύμφωνα με τους κανονισμούς του Αμερικάνικου Τμήματος Μεταφορών (U.S. Department of Transportation – DOT),
- είναι οξειδωτικές ουσίες, σύμφωνα με τους κανονισμούς του DOT.

Το σημείο ανάφλεξης (flashpoint) μιας ουσίας ορίζεται ως η κατώτερη θερμοκρασία, στην οποία η εν λόγω ουσία εκλύει αρκετούς ατμούς, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα αναφλέξιμο μίγμα ατμών – αέρα. Αναφλέξιμο μίγμα ατμών – αέρα θεωρείται εκείνο, το οποίο βρίσκεται εντός των ορίων ανάφλεξης της αρχικής ουσίας και είναι ικανό να διαδόσει φλόγα μακριά από μια πηγή σπίθας. Τα όρια ανάφλεξης μιας ουσίας διακρίνονται σε κατώτερο όριο ανάφλεξης (Lower Flammability Limit – LFL) που είναι η ελάχιστη αναλογία των ατμών μιας ουσίας και του αέρα, στην οποία είναι δυνατή η ανάφλεξη του μίγματος (υπάρχει επαρκής ποσότητα ατμών) και σε ανώτερο όριο ανάφλεξης (Upper Flammability Limit – UFL) που είναι η μέγιστη αναλογία των ατμών μιας ουσίας και του αέρα, στην οποία είναι δυνατή η ανάφλεξη του μίγματος (υπάρχει επαρκής ποσότητα αέρα).

Ωστόσο ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος όρος είναι η λεγόμενη θερμοκρασία ανάφλεξης (ignition temperature), η οποία εκφράζει την ελάχιστη θερμοκρασία που απαιτείται για την απευθείας ανάφλεξη ενός υλικού, είτε στερεού είτε υγρού ή αερίου (Γιδαράκος, 2006). Όπως φαίνεται και στο Παράρτημα 1 της ευρωπαϊκής οδηγίας για τον προσδιορισμό των όρων «Εύφλεκτο» και «Πολύ Εύφλεκτο» γίνεται μνεία αποκλειστικά στο σημείο ανάφλεξης των υλικών ως απόλυτο μετρήσιμο μέγεθος.

Τα προαναφερόμενα μεγέθη προσδιορίζονται, συνήθως πειραματικά, και στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι προσδιορισμένες τιμές ανώτερου και κατώτερου ορίου ανάφλεξης, σημείου ανάφλεξης και θερμοκρασίας ανάφλεξης ορισμένων επικινδύνων ενώσεων.

Πίνακας 1: Όρια σημείο και θερμοκρασία ανάφλεξης επιλεγμένων χημικών ουσιών  
Πηγή: Γιδαράκος, 2006

	LFL (%)	UFL (%)	Σημείο ανάφλεξης (°C)	Θερμοκρασία ανάφλεξης (°C)
<b>Αλειφατικοί Υδρογονάνθρακες</b>				
Κυκλοεξάνιο	1,3	8,0	-20,0	245,0
Ισοπεντάνιο	1,4	8,3	-56,6	426,6
n-επτάνιο	1,1	6,7	-3,8	203,8
n-εξάνιο	1,1	7,5	-21,6	225,0
n-οκτάνιο	1,0	5,6	13,3	206,1
Πεντάνιο	1,5	7,8	-40,0	260,0
<b>Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες</b>				
Βενζόλιο	1,3	7,9	-11,1	497,7
Διθυλβενζόλιο	1,0	6,6	-6,6	432,2
m-ξυλουόλιο	1,1	7,0	27,2	527,7
ο-ξυλόλιο	1,0	7,0	32,2	463,8
p-ξυλόλιο	1,1	7,0	27,2	528,8
Τολουόλιο	1,2	7,1	4,4	480,0
<b>Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες</b>				
Ναφθαλένιο	0,9	5,9	78,8	526,1
<b>Καύσιμα</b>				
Βενζίνη	1,4	7,8	-42,7	280,0
<b>Μη Αλογονωμένοι Διαλύτες</b>				
Ακετόνη	2,5	13,0	-17,7	465,0
Αιθανόλη	3,3	19,0	12,7	362,7
Μέθυλ-αιθυλ-κετόνη	1,4	11,4	-8,8	403,8
Μέθυλ-ισοβουτυλ-κετόνη	1,2	8,0	17,7	448,8
<b>Αλογονωμένοι Διαλύτες</b>				
Τριχλωροαιθυλένιο	8,0	10,5	32,2	420,0
<b>Βιομηχανικά Προϊόντα</b>				
Χλωροβενζόλιο	1,3	9,6	28,9	640,0
Φαινόλη	1,8	8,6	79,4	715,0

**Διαβρωτικότητα:** Όποια απόβλητα παρουσιάζουν κάποιες από τις ακόλουθες ιδιότητες θεωρούνται ως επικίνδυνα, λόγω της διαβρωτικότητάς τους:

- είναι υδατικά υλικά με pH μικρότερο ή ίσο με 2 ή μεγαλύτερο ή ίσο με 12,5
- είναι υγρά, τα οποία διαβρώνουν το ασφάλι με ρυθμό μεγαλύτερο από 6,35 mm/έτος σε θερμοκρασία 55°C.

**Αντιδραστικότητα:** Όποια απόβλητα παρουσιάζουν κάποιες από τις ακόλουθες ιδιότητες θεωρούνται ως επικίνδυνα, λόγω της αντιδραστικότητάς τους:

- είναι συνήθως μη σταθερά και αντιδρούν βίαια χωρίς έκρηξη,
- αντιδρούν βίαια με το νερό,
- σχηματίζουν εκρήξιμο μίγμα με το νερό,
- παράγουν τοξικά αέρια, ατμούς ή καπνούς όταν αναμιγνύονται με το νερό,
- περιέχουν κυανίδια ή σουλφίδια και παράγουν αέρια, ατμούς ή καπνούς σε τιμή pH από 2 έως 12,5,
- μπορούν να εκραγούν αν θερμανθούν υπό περιορισμό ή υπό την επίδραση ισχυρής πηγής εκκίνησης έκρηξης,
- χαρακτηρίζονται από το DOT ως εκρηκτικά.

**Τοξικότητα:** Η τοξικότητα ορίζεται ως η ιδιότητα που έχουν ορισμένα απόβλητα να προκαλέσουν το θάνατο ή σοβαρές ασθένειες και τραύματα σε ανθρώπους και ζώντες οργανισμούς, που έρθουν σε επαφή με δηλητηριώδη συστατικά που περιέχουν. Για τον προσδιορισμό της τοξικής ιδιότητας ενός αποβλήτου πραγματοποιείται μία ειδική διαδικασία, γνωστή ως TCLP (Toxicity Characteristics Leaching Procedure ), σύμφωνα με την οποία το απόβλητο επεξεργάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσδώσει υγρά στραγγίσματα (που μπορούν να δημιουργηθούν κατά τη διάθεση των αποβλήτων στο πεδίο). Τα παραγόμενα στραγγίσματα αναλύονται ως προς συγκεκριμένους τοξικούς ρύπους, οι οποίοι παρουσιάζονται στον πίνακα 2 που ακολουθεί και δε θα

πρέπει να ξεπερνούν μία ορισμένη συγκέντρωση. Σε αντίθετη περίπτωση, η παρουσία αυτών των ρύπων προσδίδει τοξική ιδιότητα στο απόβλητο που τους περιέχει.

Πίνακας 2: Μέγιστη συγκέντρωση ρύπων για τον προσδιορισμό των τοξικών χαρακτηριστικών αποβλήτων Πηγή: Γιδαράκος, 2006

Ρύπος	Αριθμός ταξινόμησης EPA	Ανώτατο όριο (mg/L)
Arsenic	D004	5.0
Barium	D005	100.0
Benzene	D018	0.5
Cadmium	D006	1.0
Carbon tetrachloride	D019	1.5
Chlordane	D020	0.03
Chlorobenzene	D021	100.0
Chloroform	D022	6.0
Chromium	D007	5.0
o-Cresol	D023	200.0
m-Cresol	D024	200.0
p-Cresol	D025	200.0
2,4-D	D016	10.0
1,4-Dichlorobenzene	D027	7.5
1,2-Dichloroethane	D028	0.5
1,1-Dichloroethylene	D029	0.7
2,4-Dinitrotoluene	D030	0.13
Eldrin	D012	0.02
Heptachlor (and its epoxide)	D031	0.008
Hexachlorobenzene	D032	0.13
Hexachlorobutadiene	D033	0.5
Hexachloroethane	D034	3.0
Lead	D008	5.0
Lindane	D013	0.4
Mercury	D009	0.2
Methoxychlor	D014	10.0
Methyl ethyl ketone	D035	200.0
Nitrobenzene	D036	2.0
Polychlorophenol	D037	100.0
Pyridine	D038	5.0
Selenium	D010	4.0
Silver	D011	5.0
Tetrachloroethylene	D039	0.7
Toxaphene	D015	0.5
Trichloroethylene	D040	0.5
2,4,5-Trichlorophenol	D041	400.0
2,4,6-Trichlorophenol	D042	2.0
2,4,5-TP(Silvex)	D017	1.0
Vinyl chloride	D043	0.2

Στο παράρτημα 1 της εργασίας παρατίθεται το πλαίσιο της Ε.Ε. που ορίζει όλες τις ιδιότητες που καθιστούν τα απόβλητα, επικίνδυνα.

## 1.2.2 Ταξινόμηση

Αναφορικά με την ταξινόμηση των αποβλήτων έχουν προταθεί διάφορα συστήματα ταξινόμησης.

Η αποτύπωση της παρούσας εργασίας θα περιοριστεί στο σύστημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως αυτό ορίζεται στις ευρωπαϊκές οδηγίες και κανονισμούς και τη Συνθήκη της Βασιλείας που αποτελούν συμβατικές υποχρεώσεις της Ελλάδας.

Με βάση το άρθρο 7 της οδηγίας 2008/98/ΕΚ, η οποία τροποποιήθηκε το 2014 με την απόφαση 2014/955/ΕΕ, ο ευρωπαϊκός κατάλογος των αποβλήτων (ή European Waste Catalogue – EWC) συνεχίζει να έχει προσανατολισμό στην πηγή των αποβλήτων δηλαδή ο κωδικός που χαρακτηρίζει το κάθε υλικό αποτυπώνει τις εργασίες και διαδικασίες από τις οποίες προέρχεται το απόβλητο. Ο κωδικός αυτός είναι εξαψήφιος και τα έξι ψηφία χωρίζονται σε 3 ομάδες. Η πρώτη ομάδα έχει να κάνει με μία γενική ομαδοποίηση και χαρακτηρισμό των εργασιών ή διαδικασιών από τις οποίες προκύπτει το υλικό αυτό, ονομάζονται κεφάλαια του καταλόγου και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα Πίνακας 3.

Πίνακας 3 Κεφάλαια του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008

<b>Διψήφιος κωδικός</b> (ο οποίος αναφέρεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο του καταλόγου)	<b>Προσδιορισμός της πηγής που παράγει το απόβλητο</b>
<b>01</b>	Απόβλητα από αναζήτηση, εξόρυξη, εργασίες λατομείου και φυσική και χημική επεξεργασία ορυκτών
<b>02</b>	Απόβλητα από γεωργία, κηπευτική, υδατοκαλλιέργεια, δασοκομία, θήρα και αλιεία, προετοιμασία και επεξεργασία τροφίμων
<b>03</b>	Απόβλητα από την κατεργασία ξύλου και την παραγωγή ταμπλάδων και επίπλων, καθώς και πολτοί, χαρτιού και χαρτονιού
<b>04</b>	Απόβλητα από τις βιομηχανίες δέρματος, γούνας και υφαντουργίας
<b>05</b>	Απόβλητα από τη διύλιση πετρελαίου, τον καθαρισμό φυσικού αερίου και την πυρολυτική επεξεργασία άνθρακα
<b>06</b>	Απόβλητα από ανόργανες χημικές διεργασίες



<b>07</b>	Απόβλητα από οργανικές χημικές διεργασίες
<b>08</b>	Απόβλητα από την παραγωγή, διαμόρφωση, προμήθεια και χρήση (ΠΑΠΧ) επιστρώσεων (χρώματα, βερνίκια, και σμάλτο υάλου), στεγανωτικών και μελανών εκτύπωσης
<b>09</b>	Απόβλητα από τη φωτογραφική βιομηχανία
<b>10</b>	Απόβλητα από θερμικές επεξεργασίες
<b>11</b>	Απόβλητα από τη χημική επιφανειακή επεξεργασία και την επικάλυψη μετάλλων και άλλων υλικών· υδρομεταλλουργία μη σιδηρούχων μετάλλων
<b>12</b>	Απόβλητα από τη μορφοποίηση και τη φυσική και μηχανική επιφανειακή επεξεργασία μετάλλων και πλαστικών
<b>13</b>	Απόβλητα ελαίων και απόβλητα υγρών καυσίμων (εκτός βρώσιμων ελαίων 05 και 12)
<b>14</b>	Απόβλητα από οργανικούς διαλύτες, ψυκτικές ουσίες και προωθητικά (εκτός 07 και 08)
<b>15</b>	Απόβλητα από συσκευασίες· απορροφητικά υλικά, υφάσματα σκουπίσματος, υλικά φίλτρων και προστατευτικός ρουχισμός μη προδιαγραφόμενα άλλως
<b>16</b>	Απόβλητα μη προδιαγραφόμενα άλλως στον κατάλογο
<b>17</b>	Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (περιλαμβάνεται χώμα εκσκαφής από μολυσμένες τοποθεσίες)
<b>18</b>	Απόβλητα από την υγειονομική περίθαλψη ανθρώπων ή ζώων ή/και από σχετικές έρευνες (εξαιρούνται απόβλητα κουζίνας και εστιατορίων που δεν προκύπτουν άμεσα από το σύστημα υγείας)
<b>19</b>	Απόβλητα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εκτός σημείου παραγωγής και προετοιμασίας ύδατος προοριζόμενου για κατανάλωση από τον άνθρωπο και ύδατος για βιομηχανική χρήση
<b>20</b>	Αστικά απόβλητα (οικιακά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα), συμπεριλαμβανόμενων των χωριστά συλλεγμένων μερών

Στην οδηγία επισημαίνονται τα εξής:

1. Τα απόβλητα μίας συγκεκριμένης εγκατάστασης θα πρέπει να ταξινομηθούν σε διαφορετικά κεφάλαια με βάση ακριβώς το χαρακτηρισμό της πηγής.
2. Εάν δεν βρεθεί κατάλληλος κωδικός στα κεφάλαια 01 έως 12 ή 17 έως 20, για τον προσδιορισμό του αποβλήτου, εξετάζονται τα κεφάλαια 13, 14 και 15.

3. Εάν δεν αντιστοιχεί σε κανένα από αυτούς τους κωδικούς αποβλήτων, το απόβλητο πρέπει να ταξινομηθεί στο κεφάλαιο 16 και
4. Εάν το απόβλητο δεν εμπίπτει ούτε στο κεφάλαιο 16, πρέπει να χρησιμοποιείται ο κωδικός 99.

Για τη συμπλήρωση του εξαψήφιου κωδικού, γίνεται ειδική μνεία σε κάθε κεφάλαιο ξεχωριστά όπου αναπτύσσονται επί της ουσίας επί μέρους υποομάδες μέχρι την ακριβή καταγραφή της διαδικασίας που παράγεται το απόβλητο. Ένα παράδειγμα δίνεται στην παρακάτω εικόνα Εικόνα 3 που αποτελεί μέρος του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων με την περιγραφή των πρώτων κωδικών του καταλόγου για τα απόβλητα από την εκσκαφή ορυκτών που περιέχουν μέταλλα με κωδικό 01 01 01 και τα απόβλητα που δεν περιέχουν μέταλλα με τον κωδικό 01 01 03.

01	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ, ΕΞΟΡΥΞΗ, ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΥΚΤΩΝ
01 01	απόβλητα από την εκσκαφή ορυκτών
01 01 01	απόβλητα από την εκσκαφή ορυκτών που περιέχουν μέταλλα
01 01 02	απόβλητα από την εκσκαφή ορυκτών που δεν περιέχουν μέταλλα

Εικόνα 3 Μέρος του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων με την περιγραφή των 2 πρώτων κωδικών. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008

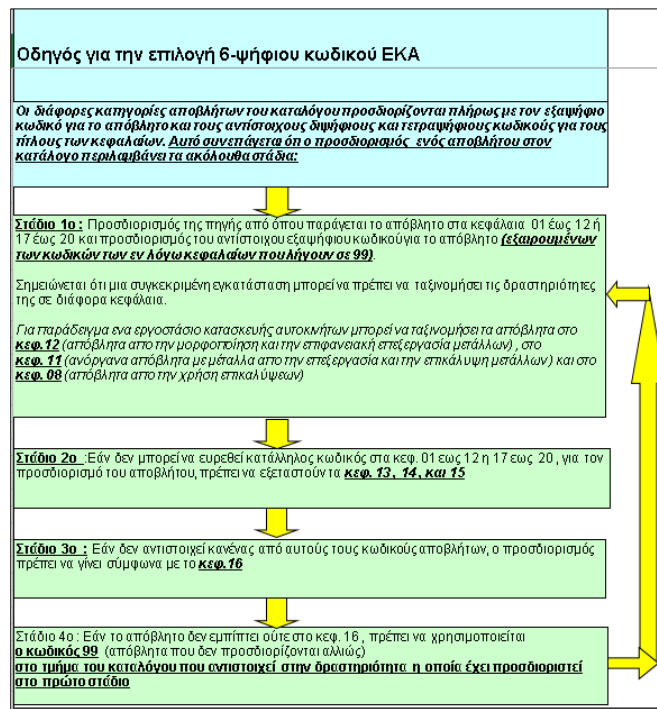
Σε αυτό τον ενιαίο κατάλογο αποβλήτων γίνεται η προσπάθεια αποτύπωσης κάθε δυνατής διεργασίας και διαδικασίας που παράγει τα απόβλητα και με την συμπλήρωση δίπλα στον κωδικό με ένα αστερίσκο (\*), το απόβλητο αυτό κρίνεται ως επικίνδυνο με βάση την οδηγία 2008/98/ΕΚ όπως φαίνεται και στην

παρακάτω εικόνα Εικόνα 4 που αποτελεί τη συνέχεια του 1<sup>ου</sup> κεφαλαίου του καταλόγου.

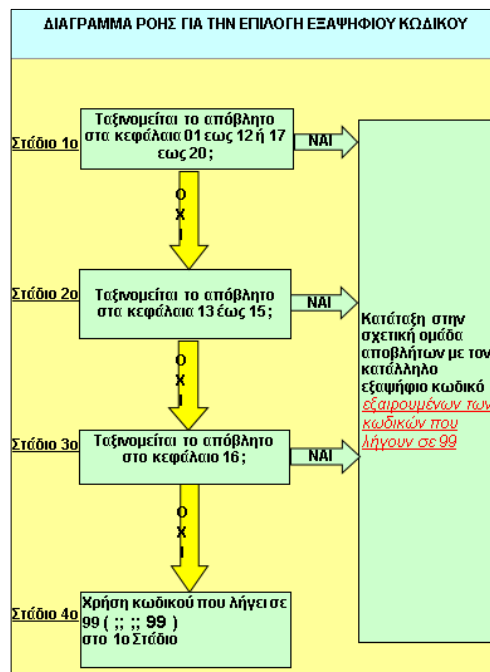
01	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ, ΕΞΟΡΥΞΗ, ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΥΚΤΩΝ
01 01	απόβλητα από την εκσκαφή ορυκτών
01 01 01	απόβλητα από την εκσκαφή ορυκτών που περιέχουν μέταλλα
01 01 02	απόβλητα από την εκσκαφή ορυκτών που δεν περιέχουν μέταλλα
01 03	απόβλητα από τη φυσική και χημική επεξεργασία ορυκτών που περιέχουν μέταλλα
01 03 04*	οξεοπαραγωγά υπολείμματα από την επεξεργασία θείουχου μεταλλεύματος
01 03 05*	άλλα υπολείμματα που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
01 03 06	υπολείμματα, εκτός εκείνων που αναφέρονται στα 01 03 04 και 01 03 05
01 03 07*	άλλα υπολείμματα που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες από τη φυσική και χημική επεξεργασία ορυκτών που περιέχουν μέταλλα

Εικόνα 4 Μέρος του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων όπου με αστερίσκο (\*) σημειώνονται τα επικίνδυνα απόβλητα. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008

Στις παρακάτω εικόνες Εικόνα 5 & Εικόνα 6 φαίνεται σχηματικά τα στάδια για την κωδικοποίηση των αποβλήτων με βάση των ευρωπαϊκό κατάλογο αποβλήτων.



Εικόνα 5 Οδηγός για την επιλογή του εξαψήφιου κωδικού Ε.Κ.Α. Πηγή: Μπενάρδος, 2011



Εικόνα 6 Διάγραμμα ροής για την επιλογή του εξαψήφιου κωδικού Ε.Κ.Α. Πηγή: Μπενάρδος, 2011

Η σύμβαση της Βασιλείας υπό την αιγίδα του Ο.Η.Ε. δημιουργήθηκε το 1989 και τέθηκε σε εφαρμογή από τα 178 κράτη – μέλη το 1992. Η ανάγκη που ώθησε σε αυτή τη διεθνή συζήτηση ήταν η συνεχιζόμενη παράνομη απόρριψη τοξικών αποβλήτων από ανεπτυγμένες χώρες σε χώρες της Αφρικής. (Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος Κύπρου, 2016)

Οι βασικοί στόχοι της Σύμβασης είναι οι εξής:

- Η μείωση της παραγωγής επικίνδυνων αποβλήτων και η προώθηση της περιβαλλοντικά ορθής διαχείρισης τους.
- Η απαγόρευση διασυνοριακής μεταφοράς επικίνδυνων αποβλήτων στις περιπτώσεις όπου δεν εξασφαλίζεται η περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση τους.
- Η εφαρμογή συστήματος ελέγχου των διασυνοριακών μεταφορών αποβλήτων όπου αυτές επιτρέπονται.

Τη σύμβαση της Βασιλείας ακολούθησαν και νεότερες συμβάσεις και συναντήσεις μεταξύ των κρατών όπως αυτές της Στοκχόλμης το 2001 ,που αφορά τον περιορισμό των έμμονων οργανικών ρύπων (POPs), του Ρότερνταμ, το 2004 που αφορά τον περιορισμό των επικίνδυνων χημικών αποβλήτων και άλλες.

Στο παράρτημα 1 της σύμβασης της Βασιλείας αναφέρονται τα απόβλητα με προσδιορισμό την πηγή παραγωγής τους όπως στον ευρωπαϊκό κατάλογο αλλά με πιο γενικό τρόπο. Η Σύμβαση αναφέρει τα απόβλητα, τα οποία πρέπει να ελέγχονται με κωδικούς Y1 – Y18 για τα προσδιοριζόμενα από την πηγή όπως φαίνεται στον πίνακα Y19 – Y45 για τα απόβλητα που περιέχουν επικίνδυνα συστατικά όπως φαίνεται στον πίνακα και Y46 – Y47 για τα απόβλητα που προέρχονται από τα νοικοκυριά όπως φαίνεται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4 Κατηγορίες των αποβλήτων με βάση τη Σύμβαση της Βασιλείας. Πηγή: UNEP, 2014

<b>WASTE STREAMS</b>	
<b>Y 1</b>	Clinical wastes from medical care in hospitals, medical centers and clinics
<b>Y 2</b>	Wastes from the production and preparation of pharmaceutical products
<b>Y 3</b>	Waste pharmaceuticals, drugs and medicines
<b>Y 4</b>	Wastes from the production, formulation and use of biocides and phytopharmaceuticals
<b>Y 5</b>	Wastes from the manufacture, formulation and use of wood preserving chemicals
<b>Y 6</b>	Wastes from the production, formulation and use of organic solvents
<b>Y 7</b>	Wastes from heat treatment and tempering operations containing cyanides
<b>Y 8</b>	Waste mineral oils unfit for their originally intended use
<b>Y 9</b>	Waste oils/water, hydrocarbons/water mixtures, emulsions
<b>Y 10</b>	Waste substances and articles containing or contaminated with polychlorinated biphenyls (PCBs) and/or polychlorinated terphenyls (PCTs) and/or polybrominated biphenyls (PBBs)
<b>Y 11</b>	Waste tarry residues arising from refining, distillation and any pyrolytic treatment
<b>Y 12</b>	Wastes from production, formulation and use of inks, dyes, pigments, paints, lacquers, varnish
<b>Y 13</b>	Wastes from production, formulation and use of resins, latex, plasticizers, glues/adhesives
<b>Y 14</b>	Waste chemical substances arising from research and development or teaching activities which are not identified and/or are new and whose effects on man and/or the environment are not known
<b>Y 15</b>	Wastes of an explosive nature not subject to other legislation
<b>Y 16</b>	Wastes from production, formulation and use of photographic chemicals and processing materials
<b>Y 17</b>	Wastes resulting from surface treatment of metals and plastics
<b>Y 18</b>	Residues arising from industrial waste disposal operations
<b>WASTES HAVING AS CONSTITUENTS:</b>	
<b>Y 19</b>	Metal carbonyls
<b>Y 20</b>	Beryllium; beryllium compounds
<b>Y 21</b>	Hexavalent chromium compounds
<b>Y 22</b>	Copper compounds
<b>Y 23</b>	Zinc compounds
<b>Y 24</b>	Arsenic; arsenic compounds
<b>Y 25</b>	Selenium; selenium compounds
<b>Y 26</b>	Cadmium; cadmium compounds
<b>Y 27</b>	Antimony; antimony compounds

<b>Y 28</b>	Tellurium; tellurium compounds
<b>Y 29</b>	Mercury; mercury compounds
<b>Y 30</b>	Thallium; thallium compounds
<b>Y 31</b>	Lead; lead compounds
<b>Y 32</b>	Inorganic fluorine compounds excluding calcium fluoride
<b>Y 33</b>	Inorganic cyanides
<b>Y 34</b>	Acidic solutions or acids in solid form
<b>Y 35</b>	Basic solutions or bases in solid form
<b>Y 36</b>	Asbestos (dust and fibres)
<b>Y 37</b>	Organic phosphorus compounds
<b>Y 38</b>	Organic cyanides
<b>Y 39</b>	Phenols; phenol compounds including chlorophenols
<b>Y 40</b>	Ethers
<b>Y 41</b>	Halogenated organic solvents
<b>Y 42</b>	Organic solvents excluding halogenated solvents
<b>Y 43</b>	Any congener of polychlorinated dibenzo-furan
<b>Y 44</b>	Any congener of polychlorinated dibenzo-p-dioxin
<b>Y 45</b>	Organohalogen compounds other than substances referred to in this Annex (e.g. Y39, Y41, Y42, Y43, Y44)
<b>CATEGORIES OF WASTES REQUIRING SPECIAL CONSIDERATION</b>	
<b>Y 46</b>	Wastes collected from households
<b>Y 47</b>	Residues arising from the incineration of household wastes

## 1.3 Επικίνδυνα απόβλητα στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση

### 1.3.1 Νομικό πλαίσιο

Το ισχύον νομικό πλαίσιο στην Ελλάδα για την αποτελεσματική διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων ενσωματώνει τις ειδικές διατάξεις της κοινοτικής νομοθεσίας στο εθνικό δίκαιο. Το πλαίσιο αυτό περιλαμβάνει τις ακόλουθες Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις (ΚΥΑ): την ΚΥΑ 13588/725/2006 (ΦΕΚ 383/Β) που ορίζει το γενικό πλαίσιο διαχείρισης, την ΚΥΑ 24944/1159/2006 (ΦΕΚ 791/Β), με την οποία εγκρίνονται οι γενικές τεχνικές προδιαγραφές διαχείρισης, την ΚΥΑ 8668/2007 (ΦΕΚ 287/Β), με την οποία εγκρίνεται ο Εθνικός Σχεδιασμός διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων και την Κ.Υ.Α. 146163/2012 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων» (ΥΠΕΝ, 2015)

Όπως είδαμε και στον ορισμό των αποβλήτων από την Κοινοτική νομοθεσία παραμένει το ίδιο πνεύμα όσον αφορά το πλαίσιο για τα ζητήματα διαχείρισης των επικίνδυνων αποβλήτων (υποχρεώσεις, αδειοδότηση, αρμοδιότητες κ.α.) το οποίο δεν είναι άλλο από τη βασική αρχή: «ο ρυπαίνων πληρώνει». Έτσι η αποκλειστική ευθύνη για τη δημιουργία υποδομών διαχείρισης Ε.Α. βαρύνει τους παραγωγούς Ε.Α. και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση από αυτούς των θεσμοθετημένων στην Ε.Ε. κωδικών, τόσο για τα απόβλητα (εξαψήφιοι κωδικοί Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων – ΕΚΑ, βλ. Παράρτημα 1), όσο και για τις εργασίες διάθεσης (κωδικοί D) και αξιοποίησης (κωδικοί R).

Ακόμα γίνεται μνεία στο γεγονός της υλοποίησης των απαραίτητων υποδομών που απαιτούνται ώστε η χώρα να εξυπηρετείται από κατάλληλο δίκτυο εγκαταστάσεων διαχείρισης επικινδύνων αποβλήτων και ανάπτυξη κριτηρίων αποκλεισμού ακατάλληλων περιοχών και επιλογής ευρύτερων χώρων για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών για τη δημιουργία εγκαταστάσεων επεξεργασίας και διάθεσης. (ΥΠΕΝ, 2015)

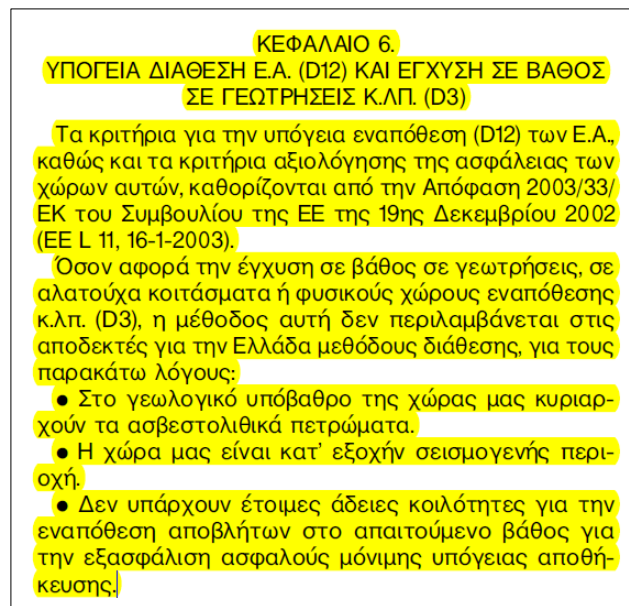


Η χωροθέτηση τέτοιων υποδομών είναι μία ιδιαίτερη διαδικασία μιας και πρέπει να συνυπολογιστούν πολλοί παράγοντες με κορυφαίο την αποδοχή των κατοίκων της περιοχής, θέμα για το οποίο γίνεται εκτενής αναφορά στην ενότητα 2.5.

Ωστόσο είναι σημαντικό να αναφερθεί πως σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο του Ελληνικού κράτους και συγκεκριμένα με την απόφαση Η.Π. 24944/1159 για την έγκριση τεχνικών προδιαγραφών για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων της Κ.Υ.Α. 13588/725, η έγχυση σε βαθιές γεωτρήσεις και η υπόγεια διάθεση δεν περιλαμβάνεται στις αποδεκτές από την ελληνική νομοθεσία, μεθόδους όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7 (ΦΕΚ 791/Αριθμ. Η.Π. 24944/1159, 2006). Οι λόγοι που αναφέρονται είναι οι εξής:

- Στο γεωλογικό υπόβαθρο της χώρας κυριαρχούν τα ασβεστολιθικά πετρώματα
- Η χώρα μας είναι κατεξοχήν σεισμογενής περιοχή.
- Δεν υπάρχουν έτοιμες άδειες κοιλότητες για την εναπόθεση των αποβλήτων στο απαιτούμενο βάθος για την εξασφάλιση ασφαλούς μόνιμης υπόγειας αποθήκευσης.

Σε αντίθεση με τη μέθοδο ταφής των επικίνδυνων αποβλήτων που γίνεται εκτενής αναφορά με κάθε λεπτομέρεια και περιγραφή των όρων, μέτρων προστασίας, περιορισμών καθώς και προδιαγραφών υλικών και εργασιών που συνδέονται με αυτό τον τρόπο διάθεσης.



Εικόνα 7 Απόσπασμα από την Κοινή Υπουργική Απόφαση του 2006 με την οποία ορίζονται μέτρα και περιορισμοί για τη διαχείριση Ε.Α. ως νόμος του Κράτους Πηγή: ΦΕΚ 791/Αριθμ. Η.Π. 24944/1159, 2006

### 1.3.2 Ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων

Στην ιστοσελίδα της Ελληνικής Εταιρείας Διαχείρισης Αποβλήτων (Ε.Ε.Δ.Σ.Α.) αναφέρεται ότι τα επικίνδυνα απόβλητα αποτελούν το 1% της συνολικής ποσότητας των αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα παράγονται περίπου 290.000 τόνοι στερεών Ε.Α. και ιλύων κάθε χρόνο (Ε.Ε.Δ.Σ.Α., 2011).

Πιο συγκεκριμένα, από τα αναρτημένα στοιχεία διασυνοριακών μεταφορών επικινδύνων αποβλήτων και μη επικινδύνων αποβλήτων του 2011 του Ελληνικού Υπουργείου Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής προκύπτει ότι το 2011 το σύνολο των απορριμμάτων ανήλθε σε 5.607.326 τόνους και τα επικίνδυνα απόβλητα σε 277.000 τόνους (ΥΠΕΝ, 2015). Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η διακύμανση αυτών των μεγεθών τα έτη από το 2005 έως και το 2011 που είναι δημοσιευμένα επίσημα τα στοιχεία.

Πίνακας 5 Ποσότητες αποβλήτων σε τόνους στην Ελλάδα κατά τα έτη 2005 -2011  
Πηγή: ΥΠΕΝ, 2015

<b>TOTAL amount of hazardous wastes and other wastes generated (metric tons)</b>				
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Total amount of hazardous wastes under Art. 1 (1)a (Annex I: Y1-Y45) generated	333,155 *	237,000*	227,000*	277,000*
Total amount of other wastes generated (Annex II: Y46-Y47)	5,077,244	5,154,004	5.891.668	5,607,326

Από τα δημοσιευμένα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (EUROSTAT) υπάρχουν και τα στοιχεία των επικίνδυνων αποβλήτων που παρήχθησαν στην Ελλάδα κατά το έτος 2012 όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα σε συσχέτισμό με τις συνολικές ποσότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (28 κράτη – μέλη). Είναι αντιληπτό πως υπάρχει μία αυξητική τάση των ποσοτήτων των αποβλήτων, αν και επικρατεί η άποψη πως οι ποσότητες των αποβλήτων δεν αυξάνονται πραγματικά αλλά δηλώνονται στις Υπηρεσίες με πιο ακριβή τρόπο.

Πίνακας 6 Ποσότητες αποβλήτων (συνολικών, επικινδύνων και μη) για το 2012 στο σύνολο της Ε.Ε. και στην Ελλάδα. Πηγή: Eurostat, 2012

	<b>Σύνολο αποβλήτων</b>	<b>Επικίνδυνα</b>	<b>Μη επικίνδυνα</b>
<b>Ε.Ε. (28 κράτη – μέλη)</b>	2.514.220.000	99.850.000	2.414.370.000
<b>Ελλάδα</b>	72.328.280	297.370	72.030.910

Σύμφωνα με τον καθηγητή Γιδαράκο στην Ελλάδα τα επικίνδυνα απόβλητα, προέρχονται κυρίως από βιομηχανίες με αντικείμενα τα εξής (Γιδαράκος, 2006):

- μεταλλευτικές δραστηριότητες (αλουμινίου, σιδηρονικελίου κ.α.)
- εξόρυξη αμιάντου
- εξόρυξη και επεξεργασία χρωμίτη
- επεξεργασία βασικών μετάλλων
- χαλυβουργία
- επιμεταλλώσεις
- ναυπηγεία
- επεξεργασία πετρελαιοειδών
- παραγωγή συσσωρευτών μολύβδου και ηλ. στηλών θειικού οξέος
- εμπορία υγρών καυσίμων
- βυρσοδεψία
- βαφεία
- γεωργικά φάρμακα
- παραγωγή χημικών ουσιών κ.α.

Με τις βασικές κατηγορίες των επικίνδυνων αποβλήτων να είναι οι εξής:

- αποφρύγματα σιδηροπυρίτη
- σκόνη από σακκόφιλτρα χαλυβουργίας
- πετρελαιοειδείς λάσπες διυλιστηρίων
- όξινες λάσπες από αναγέννηση χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων
- λάσπες τετρααιθυλιούχου μολύβδου
- χρησιμοποιημένοι καταλύτες
- λάσπες επιμεταλλωτηρίων
- παλιές μπαταρίες
- λάσπες της βιομηχανίας λιπασμάτων
- λάσπες από βιομηχανίες τεχνητών υλών και ρητινών.

Και θα πρέπει να συμπεριληφθούν επίσης σε αυτά ληγμένα φυτοφάρμακα, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, επικίνδυνα οικιακά απορρίμματα, μολυσματικά και νοσοκομειακά απόβλητα κ.α (Γιδαράκος, 2006)

## 1.4 Διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων

Οι άξονες της σύγχρονης πρακτικής διαχείρισης των αποβλήτων είναι οι εξής: Πρώτον περιορισμό των αποβλήτων στην πηγή, ανακύκλωση των αποβλήτων με σκοπό την εξοικονόμηση πρώτων υλών στα πλαίσια της «κυκλικής» οικονομίας (circular economy) και διαχείριση των αποβλήτων με σκοπό την μείωση του όγκου τους με την ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας (αποτέφρωση) και τελικά η ασφαλής διάθεση των επικίνδυνων και λοιπών υπολειμμάτων σε κατάλληλους χώρους.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια της πολιτικής της έχει αναγνωρίσει και κωδικοποιήσει τόσο της μεθόδους διαχείρισης των αποβλήτων όσο και τις μεθόδους ανακύκλωσης. Στον παρακάτω πίνακα Πίνακας 7 φαίνονται οι κωδικοί και η επεξήγηση για την κάθε διαδικασία διαχείρισης και στον πίνακα Πίνακας 8 οι κωδικοί και η επεξήγηση για κάθε διαδικασία ανάκτησης/ ανακύκλωσης.

Πίνακας 7 Εργασίες διάθεσης που αναφέρονται στο Παράρτημα 1 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ της Ε.Ε. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008

Κωδικός	Τίτλος διαδικασίας
<b>D 1</b>	Εναπόθεση εντός ή επί του εδάφους (π.χ. χώρος υγειονομικής ταφής, κλπ.)
<b>D 2</b>	Επεξεργασία σε χερσαίο χώρο (π.χ. βιοαποδόμηση υγρών αποβλήτων ή απόρριψη ιλύος στο έδαφος κλπ.)
<b>D 3</b>	Έγχυση σε βάθος (π.χ. έγχυση αντλήσιμων αποβλήτων σε φρέατα, σε θόλους άλατος, ή σε φυσικά γεωλογικά ρήγματα κλπ.)
<b>D 4</b>	Τελμάτωση (π.χ. έκχυση υγρών αποβλήτων ή ιλύων σε φρέατα, μικρές λίμνες ή λεκάνες κλπ.)
<b>D 5</b>	Ειδικά διευθετημένοι χώροι υγειονομικής ταφής (π.χ. τοποθέτηση σε χωριστές στεγανές κυψελοειδείς κατασκευές, επικαλυμμένες και στεγανοποιημένες τόσο μεταξύ τους όσο και σε σχέση με το περιβάλλον κλπ.)
<b>D 6</b>	Απόρριψη σε υδάτινο σώμα εκτός από θάλασσα/ωκεανό
<b>D 7</b>	Απόρριψη σε θάλασσα/ωκεανό συμπεριλαμβανομένης της ταφής στο

	θαλάσσιο βυθό
<b>D 8</b>	Βιολογική επεξεργασία που δεν προσδιορίζεται σε άλλο σημείο του παρόντος Παραρτήματος, από την οποία προκύπτουν τελικές ενώσεις ή μίγματα που διατίθενται με κάποια από τις εργασίες D 1 ως D 12
<b>D 9</b>	Φυσικοχημική επεξεργασία που δεν προσδιορίζεται σε άλλο σημείο του παρόντος Παραρτήματος, από την οποία προκύπτουν ενώσεις ή μίγματα που διατίθενται με κάποια από τις εργασίες D 1 ως D 12 (π.χ. εξάτμιση, ξήρανση, αποτέφρωση κλπ.)
<b>D 10</b>	Αποτέφρωση στην ξηρά
<b>D 11</b>	Αποτέφρωση στη θάλασσα (*)
<b>D 12</b>	Μόνιμη αποθήκευση (π.χ. τοποθέτηση κιβωτίων σε ορυχείο κλπ.)
<b>D 13</b>	Ανάδευση ή ανάμιξη πριν από την υποβολή σε κάποια από τις εργασίες D 1 ως D 12 (**)
<b>D 14</b>	Ανασυσκευασία πριν από την υποβολή σε κάποια από τις εργασίες D 1 ως D 13
<b>D 15</b>	Αποθήκευση εν αναμονή υποβολής σε μια από τις εργασίες D 1 ως D 14 (εκτός από προσωρινή αποθήκευση, εν αναμονή συλλογής, στον τόπο παραγωγής των αποβλήτων (***))

(\*) Η δραστηριότητα αυτή απαγορεύεται από την ενωσιακή νομοθεσία και τις διεθνείς συμβάσεις

(\*\*) Εάν δεν υπάρχει άλλος κατάλληλος κωδικός D, στο σημείο αυτό μπορούν να περιλαμβάνονται προκαταρκτικές εργασίες πριν από τη διάθεση,

στις οποίες συμπεριλαμβάνεται η προεπεξεργασία, όπως, μεταξύ άλλων, η διαλογή, η σύνθλιψη, η συμπαγοποίηση, η κοκκοποίηση, η

αποξήρανση, το ξέφτισμα, η επανασυσκευασία ή ο διαχωρισμός πριν από την υποβολή σε οιαδήποτε από τις εργασίες D1 έως D12.

(\*\*\*) Ως προσωρινή αποθήκευση νοείται η προκαταρκτική αποθήκευση σύμφωνα με το άρθρο 3, σημείο 10.

Πίνακας 8 Διαδικασίες ανάκτησης και ανακύκλωσης των αποβλήτων

Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008

Κωδικός	Τίτλος διαδικασίας
<b>R 1</b>	Χρήση ως καυσίμου ή άλλου μέσου παραγωγής ενέργειας
<b>R 2</b>	Ανάκτηση/αναγέννηση διαλυτών
<b>R 3</b>	Ανακύκλωση/ανάκτηση οργανικών ουσιών που δεν χρησιμοποιούνται ως διαλύτες (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών λιπασματοποίησης και άλλων διεργασιών μετατροπής βιολογικού χαρακτήρα)
<b>R 4</b>	Ανακύκλωση/ανάκτηση μετάλλων και μεταλλικών ενώσεων
<b>R 5</b>	Ανακύκλωση/ανάκτηση άλλων ανόργανων υλών

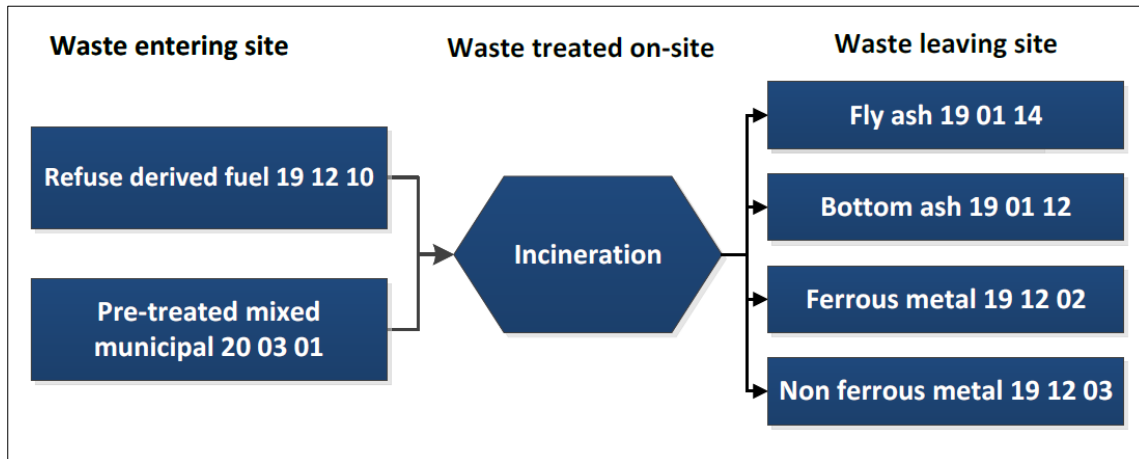
<b>R 6</b>	Αναγέννηση οξέων ή βάσεων
<b>R 7</b>	Ανάκτηση ενώσεων που χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση της ρύπανσης
<b>R 8</b>	Ανάκτηση ενώσεων από καταλύτες
<b>R 9</b>	Επαναδιύλιση χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων ή άλλου είδους επαναχρησιμοποίηση χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων
<b>R 10</b>	Εμπλουτισμός εδάφους με θετικά αποτελέσματα για τη γεωργία και το περιβάλλον
<b>R 11</b>	Χρήσεις καταλοίπων από τις εργασίες που αναφέρονται στα σημεία R 1 έως R 10
<b>R 12</b>	Ανταλλαγή αποβλήτων προκειμένου να υποβληθούν σε κάποια από τις εργασίες που αναφέρονται στα σημεία R 1 έως R 11
<b>R 13</b>	Συσσώρευση υλικών που προορίζονται να υποβληθούν σε μια από τις εργασίες που αναφέρονται στα σημεία R 1 έως R 12 (εκτός από την προσωρινή εναποθήκευση, κατά τη διάρκεια της συλλογής, στο χώρο όπου παράγονται).

Αρχικά φαίνεται από τον Πίνακα 7 πως προβλέπεται ξεχωριστός κωδικός με ακριβή περιγραφή για την υπόγεια αποθήκευση αποβλήτων (κωδικός: D 12). Ωστόσο είναι δυνατόν απόβλητα που ακολουθούν διαφορετικά ρεύματα και χαρακτηρίζονται από άλλους κωδικούς θα μπορούσαν να διαχειρίζονται με αυτό τον τρόπο. Μία διαδικασία που θα μπορούσε να αντικατασταθεί, είναι η εδώ και χρόνια πιο διαδεδομένη μέθοδος διαχείρισης που δεν άλλη από την ταφή των απορριμμάτων στο έδαφος (κωδικός: D 1). Ακόμα οι διαδικασίες με κωδικό από D 13 – 15 δύναται να προηγούνται της διαδικασίας D 12, δηλαδή την υπόγεια διάθεση.

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως διαδικασίες διαχείρισης ή ανακύκλωσης (π.χ. αποτέφρωση) δύναται να αφήνουν επικίνδυνα ή/και μη, απόβλητα ως παραπροϊόντα της διεργασίας όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 8 και στον πίνακα 10 (Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Σκωτίας, SEPA, 2015). Και όπως φαίνεται από τον πίνακα Πίνακας 10 οι χώροι υγειονομικής ταφής δύναται να παράξουν επικίνδυνα απόβλητα και συγκεκριμένα τις απορροές (στραγγίσματα) που προκύπτουν από τα πεδία



ταφής κάτι που δείχνει τις αδυναμίες των μεθόδων στην ολοκληρωτική εξάλειψη των κινδύνων και την απομόνωση αυτών από το περιβάλλον της βιόσφαιρας.



Εικόνα 8 Σχηματική απεικόνιση εισόδου αποβλήτων σε μονάδα αποτέφρωσης (κωδικοί: 19 12 10 & 20 03 01 και εξόδου αποβλήτων ως προϊόντων της διαδικασίας (κωδικοί: 19 01 14, 19 01 12, 19 12 02 & 19 12 03)

Πηγή: Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Σκωτίας, SEPA, 2015

Πίνακας 9 Κωδικοί αποβλήτων που παράγονται συνήθως από μονάδες αποτέφρωσης

Πηγή: Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Σκωτίας, SEPA, 2015

Waste type	EWC code
Bottom ash – from incineration (hazardous)	19 01 11*
Bottom ash – from incineration (non-hazardous)	19 01 12
Ferrous metals – from incinerator bottom ash	19 01 02
Fly ash – from incineration (hazardous)	19 01 13*
Fly ash – from incineration (non-hazardous)	19 01 14

Πίνακας 10 Κωδικοί αποβλήτων που προκύπτουν συνήθως από χώρους ταφής απορριμμάτων. Πηγή: Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Σκωτίας, SEPA, 2015

Waste type	EWC code
Landfill leachate (hazardous)	19 07 02*
Landfill leachate (non-hazardous)	19 07 03

## **2 Υπόγεια Διάθεση Αποβλήτων**

Το πρωτεύον ζητούμενο για την επιλογή ενός χώρου διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων είναι η εύρεση ενός ιδανικού περιβάλλοντος αναφορικά με το γεωλογικό υπόβαθρο, την υδρογεωλογία των σχηματισμών με κυριότερο ζητούμενο την απομόνωση της υπόγειας υδροφορίας και τέλος αλλά σημαντικό για την υλοποίηση του έργου, η υποστήριξη της τοπικής κοινωνίας (Καλιαμπρακος & Benardos, 2009).

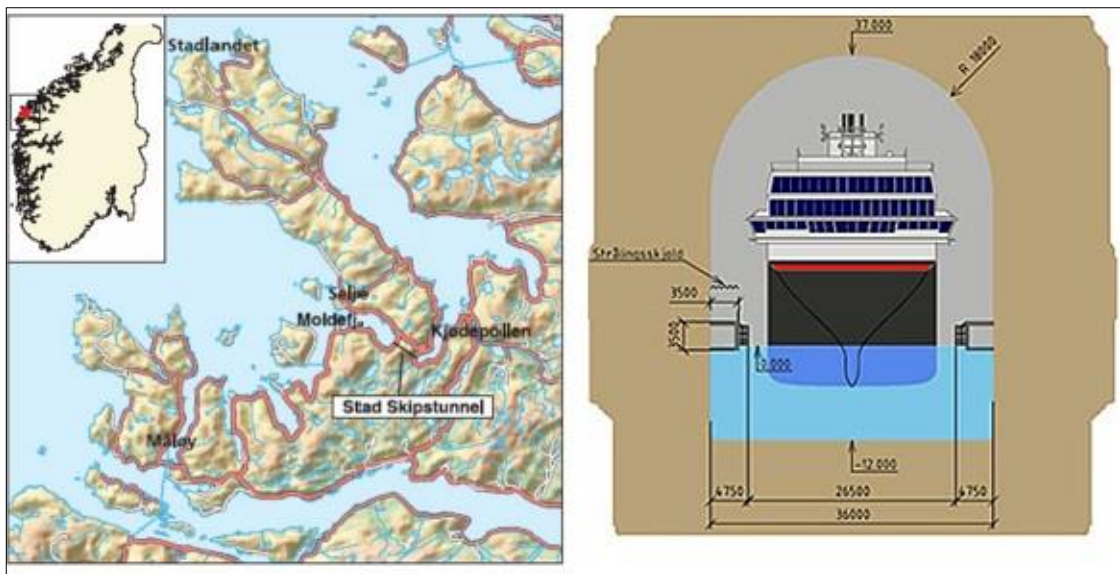
### **2.1 Υπόγεια ανάπτυξη**

Αν και τα υπόγεια έργα δεν είναι μία σύγχρονη εξέλιξη αλλά μετρούν πλέον μία ιστορία 40 και πλέον χιλιάδων ετών από την πρώτη καταγεγραμμένη υπόγεια κατασκευή στο Bomvu Ringe (Swaziland) όπου γινόταν εξόρυξη διακοσμητικού αιματίτη (Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2009) αποτελούν πλέον έναν μονόδρομο όσον αφορά την λύση σε πολλά, σύνθετα και διαφορετικά πρόβλημα των σημερινών κοινωνιών.

Ιδιαίτερα στο σύγχρονο αστικό περιβάλλον με τον ελλιπή ρυμοτομικό σχεδιασμό ή και από ανάγκη εξοικονόμησης επιφανειακού «ζωτικού» χώρου, η υπόγεια ανάπτυξη φέρνει λύσεις με μία πληθώρα έργων υποδομής και ποιότητας ζωής όπως στις συγκοινωνίες (π.χ. δίκτυο υπόγειου σιδηρόδρομου, μετρό), χώρους στάθμευσης, αποθήκευση αγαθών ή αποβλήτων, διαχείρισης αποβλήτων ή εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων ή πόσιμου νερού κ.α.

Πέρα όμως από το αστικό περιβάλλον η υπόγεια ανάπτυξη έρχεται να δώσει λύσεις και σε μία σειρά άλλων σύγχρονων αναγκών όπως η παραγωγή ενέργειας (υπόγειοι υδροηλεκτρικοί ή πυρηνικοί σταθμοί), η εκμετάλλευση μεγάλων

υπόγειων θαλάμων για άθληση και αναψυχή (όπως το Gjonic Olympic Mountain), την υπόγεια αποθήκευση καυσίμων ακόμα και τη σύγχρονη ναυσιπλοΐα με τα φαραωνικά σχέδια της Νορβηγίας για σήραγγα διέλευσης πλοίων παρακάμπτοντας τις δύσκολες θάλασσες στα βόρεια της Σκανδιναβικής Χερσονήσου (The Stad Ship tunnel, Νορβηγία από Norwegian Geotechnical Institute, 2009).



Εικόνα 9 Τα σχέδια για την πρώτη σήραγγα πλοίων στη Νορβηγία  
Πηγή: Norwegian Geotechnical Institute, 2009

Στα πλαίσια της υπόγειας εκμετάλλευσης του χώρου για την ασφαλή αποθήκευση των επικίνδυνων αποβλήτων έχουν επιλεγεί διάφοροι τρόποι απομόνωσης των αποβλήτων από το ζωτικό χώρο της επιφάνειας. Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι τρόποι απομόνωσης σε υπόγειους χώρους είναι η αποθήκευση των αποβλήτων σε ανενεργά ή και ενεργά ορυχεία, σε νέες υπόγειες εγκαταστάσεις αμιγώς για αυτό το σκοπό και σε πολύ βαθιές γεωτρήσεις που οδηγούνται κυρίως υγρά ραδιενεργά απόβλητα.

## 2.2 Εισαγωγικά στοιχεία και ιστορική αναδρομή

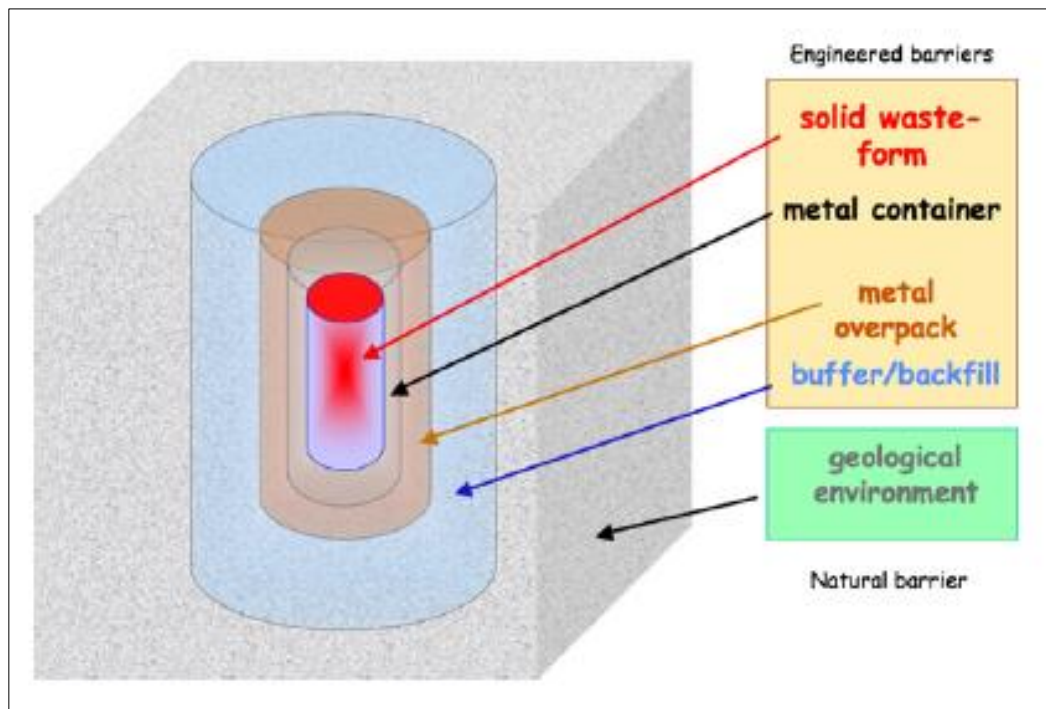
Η υπόγεια διάθεση αποβλήτων αναφέρεται ως η καλύτερη μέθοδος διάθεσης των επικίνδυνων ραδιενεργών αποβλήτων (Charman & Hooper, 2012), ιδίως δε των αποβλήτων υψηλού επιπέδου ραδιενέργειας (High Level Waste – HLW), τα οποία ως γνωστό θα χρειαστούν από χιλιάδες έως και εκατομμύρια χρόνια για τη ραδιενεργή τους αδρανοποίηση λαμβάνοντας υπόψη και τη ταυτόχρονη εκπομπή σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας για πολλά έως και εκατοντάδες χρόνια τόσο από τις υψηλές συγκεντρώσεις των, μικρής διάρκειας ζωής ραδιονουκλιδίων όσο και από το πλουτώνιο που παράγεται από την ακτινοβολία των ραδιενεργών καυσίμων.

Η υπόγεια απομόνωση αυτών των στοιχείων φαίνεται η επικρατέστερη μέθοδος διάθεσης των ραδιενεργών αποβλήτων της βιομηχανίας παραγωγής ηλεκτρισμού από την πυρηνική ενέργεια, όπου αν και ο συνολικός όγκος αυτών των αποβλήτων από τη δεκαετία του 1950 μέχρι του 2080 δε πρόκειται, σύμφωνα με προβλέψεις της Βρετανικής Αρχής για τον Παροπλισμό των Πυρηνικών Εγκαταστάσεων και Αποβλήτων, να ξεπεράσουν το ένα εκατομμύριο κυβικά μέτρα για το Ηνωμένο Βασίλειο, ωστόσο η ευαισθησία αυτών των υλικών καθώς και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους οδηγούν στην ανάγκη κατασκευής ειδικών υπόγειων χώρων χρησιμοποιώντας γεωμετρίες και υλικά που θα καλύπτουν αυτές τις ιδιαιτερότητες.

Ο βασικός στόχος της υπόγειας διάθεσης αποβλήτων είναι η απομάκρυνση τόσο από το άμεσο περιβάλλον του ανθρώπου όσο και από το δυναμικό, δηλαδή το ευαίσθητο σε αλλαγές περιβάλλον της φυσικής επιφάνειας όπως γίνεται στη περίπτωση της ταφής (Charman & Hooper, 2012). Στο απομονωμένο υπόγειο περιβάλλον τα απόβλητα, προστατευμένα από φυσικές ή ανθρωπογενείς δραστηριότητες, θα έχουν τη δυνατότητα με το πέρασμα του γεωλογικού

χρόνου να αδρανοποιηθούν, κάτι το οποίο είναι και το βασικό χαρακτηριστικό αυτών των χώρων δηλαδή η πολύ μεγάλης διάρκειας ασφάλειά τους.

Η βάση του σχεδιασμού των υπόγειων χώρων διάθεσης αποβλήτων όπως έχει καθιερωθεί τα τελευταία 30 χρόνια είναι το σύστημα πολλαπλών φραγμών (“multi-barrier system”), στο οποίο μία σειρά από σχεδιαζόμενους και φυσικούς φραγμούς προσφέρουν την απομόνωση των αποβλήτων. Οι φραγμοί αυτοί έχουν ιδιαίτερη συσχέτιση μεταξύ τους και ο σχεδιασμός αυτών εξαρτάται άμεσα από το γεωλογικό περιβάλλον της εγκατάστασης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται σχηματικά η έννοια του συστήματος πολλαπλών φραγμών με τους τεχνητούς φραγμούς και το φυσικό φραγμό που είναι το ευρύτερο γεωλογικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα το ραδιενεργό υλικό για παράδειγμα βρίσκεται μέσα στο μεταλλικό κιβώτιο, το οποίο βρίσκεται μέσα σε μία δευτερεύουσα συσκευασία και τελικά μέσα στο προστατευτικό υλικό επίχωσης. Όλα αυτά αποτελούν τους τεχνητούς φραγμούς, τα οποία περικλείονται όλα από το φυσικό ευρύτερο φραγμό, το γεωλογικό περιβάλλον.



Εικόνα 10 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος «πολλαπλών φραγμών».  
 Πηγή: Charman & Hooper, 2012

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα είδη των φραγμών και η λειτουργική τους χρήση (Charman & Hooper, 2012):

Πίνακας 11 Τα είδη των φραγμών και η λειτουργία τους.  
 Πηγή: N. Charman, A. Hooper, 2012

Είδος φραγμού	Λειτουργία για την ασφάλεια
<b>Υλικό αποβλήτων</b> (υπάρχουν περιπτώσεις όπως στα ραδιενεργά που τα απόβλητα αναμιγνύονται με σκυρόδεμα)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Παρέχει μία σταθερότητα, που μειώνει τον κίνδυνο απορροών.</li> </ul>
<b>Συσκευασία αποβλήτων</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προστατεύει το υλικό από μετακινήσεις και</li> </ul>

<p>(συνήθως μεταλλικά ή τσιμεντένια δοχεία για ραδιενεργά απόβλητα, άλλοι τρόποι μεταλλικά βαρέλια, μεγάλοι σάκοι, ή χύδην)</p>	<p>διαρροές</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Για συγκεκριμένο διάστημα χρόνου αποτρέπουν το υπόγειο νερό να έρθει σε επαφή με το υλικό</li><li>• Αποτρέπει τις διαβρωτικές αντιδράσεις των αποβλήτων</li><li>• Επιτρέπει την εξάτμιση αερίων από τα απόβλητα</li></ul>
<p><b>Κάλυμμα ή υλικά επανεπίχωσης</b> (αργιλικά υλικά όπως μπετονίτης ή ορυκτό αλάτι)</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Προστατεύει τη συσκευασία από τη φυσική διάβρωση</li><li>• Αποτρέπει την επαφή του νερού με το υλικό</li><li>• Ελέγχει τη μεταφορά χημικών ουσιών από το υπόγειο νερό στη συσκευασία</li><li>• Αποτρέπει τη διάβρωση της συσκευασίας ή του υλικού από το υπόγειο νερό</li><li>• Αποτρέπει την διαρροή επικίνδυνων ουσιών από τη συσκευασία στο περιβάλλον</li><li>• Αποτρέπει των ανάπτυξη μικροοργανισμών κοντά στο υλικό των αποβλήτων</li><li>• Επιτρέπει τη ροή των αερίων από το υλικό και τη συσκευασία στο πέτρωμα</li></ul>
<p><b>Υλικό επανεπίχωσης για το κλείσιμο όλων των ανοιγμάτων (διαδικασία σφράγισης του χώρου)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Επαναφέρει τη σταθερότητα του χώρου.</li><li>• Φράσσει πιθανές διόδους του υπόγειου νερού</li><li>• Αποτρέπει την «εύκολη» ανθρώπινη πρόσβαση στην εγκατάσταση</li></ul>
<p><b>Φυσικός γεωλογικός φραγμός</b> (το περιβάλλον πέτρωμα και όλοι οι σχηματισμοί μέχρι την επιφάνεια)</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Απομονώνει τα απόβλητα από το ανθρώπινο και φυσικό περιβάλλον</li><li>• Προστατεύει τους τεχνητούς φραγμούς από μεγάλα γεγονότα ανθρώπινα ή φυσικά όπως παγετώνες κ.α.</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Προστατεύει τους τεχνητούς φραγμούς παρέχοντας ένα σταθερό περιβάλλον τόσο μηχανικό όσο και χημικό με πολύ αργές διαδικασία αλλαγών</li><li>• Επιτρέπει την θερμική αγωγιμότητα σε περιπτώσεις αποβλήτων που παράγουν θερμότητα</li><li>• Παρέχει ένα περιβάλλον με ελεγχόμενη ή και μηδενική ροή υπόγειου νερού</li><li>• Διαχέει τα αέρια που παράγουν τα απόβλητα</li><li>• Εξασφαλίζει πως οι χημικές, μηχανικές ή υδρογεωλογικές αντιδράσεις θα είναι πολύ αργές και θα μπορούν να προβλεφθούν</li><li>• Παρέχει τη δυνατότητα προστασίας από τις ραδιενεργή ακτινοβολία στις περιπτώσεις ραδιενεργών αποβλήτων.</li></ul>
--	---



### 2.3 Ο ρόλος του γεωλογικού υποβάθρου

Αρχικά, χρησιμοποιούμε τον όρο γεωλογικό υπόβαθρο ή καλύτερα γεωλογικό περιβάλλον για να περιγράψουμε τον γεωλογικό σχηματισμό, ο οποίος περιβάλλει τον υπόγειο χώρο διάθεσης αποβλήτων και του οποίου οι ιδιότητες επηρεάζουν τη συμπεριφορά του χώρου αυτού όσον αφορά τις συνοδές κατασκευές όπως σήραγγες, θάλαμοι, φρεάτια κ.α.

Για παράδειγμα, η υδρογεωλογική και χημική συμπεριφορά του νερού των πόρων σ' έναν αργιλικό σχηματισμό θα επηρεαστεί από υπερκείμενους ή βαθύτερους σχηματισμούς με βάση την αλληλουχία των στρωμάτων. Ακόμη, η τοπογραφία και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας (όπως η εγγύτητα του υπογείου χώρου στην σημερινή ακτογραμμή) συμβάλλουν στη συμπεριφορά του γεωλογικού υποβάθρου με την αλληλεπίδραση διαφορετικών υπόγειων συστημάτων υδροφόρων.

Με βάση τα παραπάνω, η πολύ καλή γνώση τόσο του γεωλογικού και γεωγραφικού χώρου όσο και η λεπτομερής κατανόηση του γεωλογικού σχηματισμού καθώς και η κατανόηση της αλληλεπίδρασης αυτών με την υπόγεια κατασκευή είναι απαραίτητη για τη μακροχρόνια ασφαλή λειτουργία του υπόγειου χώρου.

Τα τελευταία 35 χρόνια που η υπόγεια διάθεση αποβλήτων πέρασε από το στάδιο του σχεδιασμού στην πρακτική εφαρμογή οι περισσότερες χώρες εστίασαν σε 3 βασικές ομάδες γεωλογικών σχηματισμών για την υποδοχή των αποβλήτων. Στον παρακάτω πίνακα διακρίνεται η αξιολόγηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών τεσσάρων συγκεκριμένων σχηματισμών (των πιο διαδεδομένων στην υπόγεια διάθεση αποβλήτων) με βάση τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά ασφαλείας. Η τέταρτη ομάδα των μη κορεσμένων τόφων έχει να κάνει με το γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής Yucca Mountain στη Νεβάδα

των Η.Π.Α, όπου η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται σε βάθος αρκετών εκατοντάδων μέτρων με συνέπεια την κατασκευή του χώρου σε μη κορεσμένο υδρογεωλογικό περιβάλλον.

Πίνακας 12 Ποιοτική απεικόνιση χαρακτηριστικών των πετρωμάτων που απαντώνται παγκοσμίως σε χώρους υπόγειας διάθεσης ραδιενεργών ή άλλων αποβλήτων. Σημειώνεται πως οι κατά τόπους συνθήκες μπορεί να διαφέρουν από τα αναφερθέντα χαρακτηριστικά. Πηγή: Charman & Hooper, 2012

	Hard rocks, such as granite	Argillaceous sedimentary formations	Evaporites	Unsaturated volcanic tuffs
Heat conduction	Good	Variable	Extremely Good	Good
Host rock hydraulic conductivity	Good	Very Good	Extremely Good	Good
Stable near field hydrochemistry	Variable	Very Good	Extremely Good	Variable
Low-flux geological environment	Variable	Extremely Good	Extremely Good	Good
Intrusion potential	Good	Variable	Poor	Very Good
Construction flexibility	Extremely Good	Variable	Good	Very Good
Gas dispersability	Extremely Good	Variable to Poor	Low Relevance	Extremely Good

Πιο συγκεκριμένα, για τις παραπάνω μεγάλες ομάδες σχηματισμών ισχύουν τα εξής:

- Σκληρά πετρώματα (hard “crystalline” rocks): Σε αυτήν την κατηγορία βρίσκονται ο γρανίτης, ο γνεύσιος, και άλλα μεταμορφωμένα ή πλουτώνια πετρώματα. Οι σχηματισμοί αυτοί δύναται να εμφανίζονται μη ρωγματωμένοι σαν μία ομογενή βραχομάζα και να παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά στη διάνοιξη με τη δυνατότητα δημιουργίας

μεγάλων ανοιγμάτων. Ωστόσο σε περιπτώσεις έντονης ρωγμάτωσης, η παρουσία νερού είναι συνήθης ιδίως σε βάθη κοντά στην επιφάνεια.

- Αργιλικά ιζηματογενή πετρώματα: Όπως άργιλος, πηλίτες, και μάργα. Θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί άρα ιδανικό περιβάλλον για απόθεση αποβλήτων όπου η παρουσία νερού είναι απαγορευτική. Η ποικιλία όμως των μηχανικών τους ιδιοτήτων είναι μεγάλη και μπορεί να συναντηθούν πετρώματα με πλαστική συμπεριφορά μέχρι και με δυνατότητα μακροχρόνιας αυτο-υποστήριξης.
- Σχηματισμοί εβαποριτών: Σε αυτήν την κατηγορία κυριαρχούν τα στρώματα ορυκτού άλατος ή οι δόμοι άλατος (dome and bedded halites). Η μηχανική τους συμπεριφορά παρουσιάζεται ως μικτή ωστόσο στην πλειοψηφία αυτών των σχηματισμών απουσιάζει το νερό. Ακόμα ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως τα προϊόντα εξόρυξης του ορυκτού άλατος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επανεπίχωση των αποβλήτων, λειτουργώντας έτσι ως ένας επιπλέον τεχνητός φραγμός. Η εμπειρία σε τέτοιους σχηματισμούς όπως θα φανεί και παρακάτω είναι μεγάλη ειδικά σε χώρες της Ευρώπης και λειτουργούν χώροι εδώ και δεκαετίες.

Η μακροχρόνια ασφαλής λειτουργία τέτοιων χώρων είναι πολύ σημαντική και για μία ολοκληρωμένη μελέτη πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο τεκτονικές διαδικασίες και γεγονότα όσο και γεγονότα του εξωτερικού περιβάλλοντος όπως θα ήταν κλιματικές αλλαγές. Διαδικασίες που λαβαίνουν χώρα σε μεγάλο γεωλογικό χρόνο είναι οι εξής:

- Μεταμόρφωση των πετρωμάτων. Όλοι οι σχηματισμοί υπόκεινται σε διαδικασίες μεταμόρφωσης αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις είναι

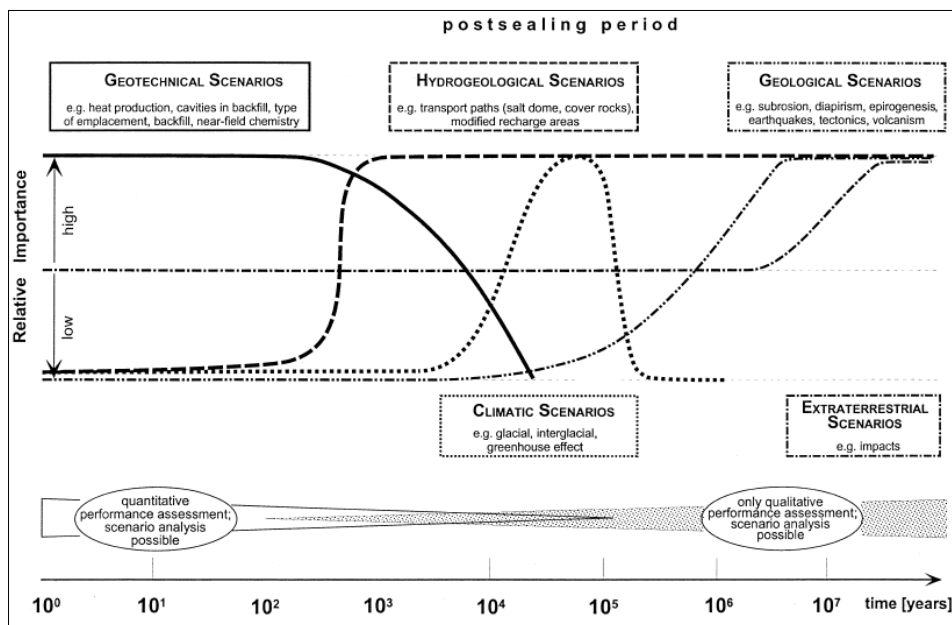
τόσο αργή αυτή η διαδικασία που θα έπαιρνε εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια.

- **Σεισμικά γεγονότα:** Οι υπόγειες κατασκευές και μάλιστα σε μεγάλα βάθη δεν είναι ευαίσθητες στη σεισμική καταπόνηση λόγω του τρόπου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Ωστόσο περιοχές με ρήγματα θα πρέπει να αποφεύγονται και να λαμβάνεται υπόψη η μακροχρόνια σεισμικότητα της περιοχής που μπορεί να διαφοροποιείται αρκετά από αυτή της εποχής μας.
- **Ηφαιστειότητα:** Είτε ως νέα μαγματική δίοδος ή παρόμοια παρείσδυση ή ως υδροθερμικές ανωμαλίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο μακροχρόνιο σχεδιασμό. Διότι τέτοιες καταστάσεις θα είναι ιδιαίτερα καταστροφικές τόσο για το χώρο και πιθανότατα όσο και για το περιβάλλον.
- **Τεκτονική ανύψωση και διάβρωση.** Σε κλίμακα εκατοντάδων χιλιάδων χρόνων που αναφέρεται κυρίως σε ραδιενεργά απόβλητα τέτοιες μετακινήσεις μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά το ύψος υπερκειμένων της εγκατάστασης ή να βρεθεί ο χώρος σε κορεσμένο περιβάλλον.
- **Παγετώδης διάβρωση:** Αυτός ο κίνδυνος υφίσταται κυρίως στις βορειότερες χώρες παρόλο που στο γεωλογικό χρόνο τα αναμενόμενα αποτελέσματα είναι ασήμαντα.
- **Επιπλέον φόρτιση από παγετώνα:** Η περίπτωση της επιπλέον φόρτισης της επιφάνειας από παγετώνα μπορεί να είναι μία πολύ δύσκολη κατάσταση για τον υπόγειο χώρο και σίγουρα με την αβεβαιότητα της κλιματικής αλλαγής κανένα ενδεχόμενο ιδίως σε μεγάλο βάθος χρόνου δε μπορεί να αποκλειστεί. Επιπλέον φορτίο στην επιφάνεια συνεπάγεται με αξιοσημείωτες αλλαγές στο βάθος εκτός της προφανής αλλαγής των

ασκούμενων τάσεων αλλά και στο υπόγειο υδροφόρο και στη γεωχημεία των σχηματισμών λόγω των πιέσεων. Ακόμα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη γεγονότα έντονων πλημμυρών κτλ.

- Αλλαγές της στάθμης της θάλασσας. Η κλιματική αλλαγή θεωρείται καθοριστικός παράγοντας της αύξησης της στάθμης των ωκεανών. Είναι σαφές πως υπόγειοι χώροι κοντά στη σημερινή ακτογραμμή θα επηρεαστούν από τη διάβρωση ή και από την αλλαγή του υδροφόρου ορίζοντα και της χημείας με την πιθανή αλληλεπίδραση του θαλάσσιου νερού.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο ποιοτικός χαρακτηρισμός των σεναρίων με βάση την κλίμακα του χρόνου και στο κάτω μέρος της εικόνας φαίνεται πως στο εγγύς μέλλον τα σενάρια βασίζονται περισσότερο σε μετρήσιμα μεγέθη ενώ όσο απομακρυνόμαστε στο χρόνο τα σενάρια βασίζονται σε ποιοτικές αναλύσεις.



Εικόνα 11 Σχηματική απεικόνιση της επιρροής των σεναρίων με βάση το χρόνο (γεωτεχνικά, υδρογεωλογικά, γεωλογικά, κλιματικά, κοσμικά σενάρια). Πηγή: Langer, 1999

## 2.4 Η αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3 οι γεωλογικοί και οι τεχνητοί φραγμοί που δημιουργούν το ασφαλές περιβάλλον για την υπόγεια διάθεση μέσα στη μεγάλη κλίμακα του χρόνου, υπόκεινται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο αβεβαιοτήτων. Όπως αναφέρεται από τους Charman & Hooper για τους χώρους διάθεσης πυρηνικών αποβλήτων που η κλίμακα του χρόνου είναι ιδιαίτερα μεγάλη αλλά και επεκτείνοντας το θέμα στα επικίνδυνα απόβλητα, η εξέλιξη των αβεβαιοτήτων αυξάνεται με την εξέλιξη του χρόνου και ιδίως μετά το κλείσιμο ή ακριβέστερα μετά τη σφράγιση του χώρου και όχι κατά τη λειτουργία του αφού σε αυτό το στάδιο ο έλεγχος είναι συνεχής, η πρόσβαση άμεση για την αντιμετώπιση τυχόν δυσλειτουργίας της εγκατάστασης (Charman & Hooper, 2012). Οι αβεβαιότητες λοιπόν μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Αβεβαιότητα σε σχέση με τον αριθμό των παραμέτρων ενδιαφέροντος
- Σε σχέση με τις διαδικασίες ασφαλείας και του θεωρητικού μοντέλου αυτών
- Σε σχέση με την μελλοντική ανθρώπινη συμπεριφορά
- Σε σχέση με την γεωλογική εξέλιξη
- Σε σχέση με τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή την απελευθέρωση των ραδιονουκλιδίων όπως αναφέρει ο Charman για τις περιπτώσεις ραδιενεργών αποβλήτων που μπορεί να επεκταθεί στην κινητικότητα των ρύπων ή την πιθανή χημική αστάθεια των αποβλήτων (π.χ. αλληλεπίδραση μεταξύ των αποβλήτων, με τους τεχνητούς φραγμούς, με το υπόγειο νερό κ.α.)

Πιο συγκεκριμένα για την κάθε μία κατηγορία αβεβαιοτήτων μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

Η αβεβαιότητα σε σχέση με τον αριθμό και την επιλογή των παραμέτρων όπως για παράδειγμα η διαλυτότητα των ρύπων στο νερό βασίζεται στην επιλογή των πηγών των παραμέτρων όπως είναι οι πειραματικές διαδικασίες καθώς και την επιλογή των συνθηκών. Είναι λοιπόν σημαντικό η επιλογή των παραμέτρων και η επιλογή της κατανομής των πιθανοτήτων αυτών των παραμέτρων και συνθηκών να καλύψει όλη τη σειρά των αβεβαιοτήτων με το βέλτιστο δυνατό επιστημονικό τρόπο.

Η αβεβαιότητα σε σχέση με τις διαδικασίες ασφαλείας έχει να κάνει με την πρόβλεψη διαδικασιών που μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς την εγκατάσταση όπως είναι η ροή του υπόγειου νερού ή η έκλυση αερίων από τα απόβλητα. Η αβεβαιότητα των διαδικασιών αυτών είναι πως η πρόβλεψη αυτών βασίζεται κυρίως σε παραδοχές και η όσο το δυνατό ακριβέστερη μελέτη αυτών των παραδοχών ιδίως σε πολύπλοκα συστήματα είναι η βασική προϋπόθεση για την εξαγωγή των βέλτιστων αποτελεσμάτων σε σχέση με τις πιθανές επιπτώσεις από τη λειτουργία του χώρου.

Η αβεβαιότητα σε σχέση με τη ανθρώπινη συμπεριφορά έχει να κάνει κυρίως με την μεγάλη κλίμακα του χρόνου. Ο Charman αναφέρει πως δύο κυρίως είναι οι πιθανοί κίνδυνοι: ο πρώτος αναφορικά με την πιθανότητα εγκατάστασης ανθρώπων κοντά στην εγκατάσταση με την ταυτόχρονη υπόθεση πως ο χώρος παρουσίασε δυσλειτουργία και μολύνθηκε το υπόγειο νερό ή και το έδαφος στην επιφάνεια (ένα ιδιαίτερα δυσμενές σενάριο) και ο άλλος κίνδυνος είναι η άγνοια των ανθρώπων για την ύπαρξη του χώρου και η πιθανή για παράδειγμα προσπάθεια εξόρυξης στην περιοχή με συνέπεια τη διάρρηξη των φραγμών. Αυτό υποστηρίζει πως μπορεί να αποφευχθεί με την αποφυγή περιοχών με παρουσία ορυκτών πόρων.

Η αβεβαιότητα σε σχέση με την γεωλογική εξέλιξη της περιοχής περιγράφεται και στην ενότητα 2.3 και είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα σενάρια για μία

περίοδο χρόνου πάνω από 1 εκατομμύριο χρόνια μετά λειτουργούν περισσότερο ως υποθέσεις και εικασίες. Ωστόσο σε τέτοια μεγέθη του χρόνου η επικινδυνότητα των αποβλήτων θα έχει μειωθεί χαρακτηριστικά και όπως αναφέρεται από τον Charman τα ραδιενεργά χαρακτηριστικά του χώρου θα παρομοιάζονται με αυτά ενός φυσικού κοιτάσματος ουρανίου.

Η αβεβαιότητα σε σχέση με τα αριθμητικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για παράδειγμα στην μοντελοποίηση της κινητικότητας των ραδιονουκλιδίων στο νερό εξαρτάται από τις μεθόδους και καταστατικά μοντέλα που επιλέγονται για την επεξεργασία. Η προσπάθεια βελτιστοποίησης αυτών των εφαρμογών είναι συνεχής και δυναμική και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εφικτή πλέον σύγκριση αποτελεσμάτων των μοντέλων σε σχέση με πραγματικές μετρήσεις σε χώρους που λειτουργούν εδώ και χρόνια ή και δεκαετίες ακόμα.



## 2.5 Χώροι διάθεσης αποβλήτων και τοπικές κοινωνίες

Ένα αδιαμφισβήτητο γεγονός είναι πως εκτός των τεχνικών προκλήσεων των υπόγειων εγκαταστάσεων διάθεσης αποβλήτων, καθοριστικό ρόλο για την επιλογή του χώρου παίζει επίσης η βούληση των τοπικών κοινωνιών. Έργα που δεν υλοποιήθηκαν ποτέ ή ακόμα και έργα που διακόπηκαν κατά την υλοποίησή τους με βασικό συντελεστή τις αντιδράσεις των κατοίκων της περιοχής, φέρνουν στο προσκήνιο έναν βασικό παράγοντα για την κατασκευή και λειτουργία της εγκατάστασης που δεν είναι άλλος από την αποδοχή των τοπικών κοινωνιών.

Κάποιες βασικές και γενικά αποδεκτές οδηγίες για τη βέλτιστη επιλογή του χώρου ικανοποιώντας τον παράγοντα των τοπικών κοινωνιών είναι οι εξής:

- Οι διαδικασίες επιλογής του χώρου θα πρέπει να γίνονται με βάση τη δημόσια διαβούλευση και συμβουλής με παράλληλη καθολική πρόσβαση στις πληροφορίες σχετικά με τη διάθεση των αποβλήτων και των αρχών της ασφαλούς υπόγειας διάθεσης.
- Οι τοπικές κοινωνίες θα πρέπει να εκφράσουν το ενδιαφέρον ή και να κληθούν να συμμετάσχουν στη διαδικασία επιλογής του χώρου.
- Σε αυτή τη συμμετοχή στη διαδικασία θα πρέπει να διασφαλίζεται η παροχή όλων των απαραίτητων πληροφοριών
- Θα πρέπει να διασφαλίζεται ο συνεχής διάλογος μεταξύ των τοπικών κοινωνιών και όλων των εμπλεκόμενων φορέων για την υλοποίηση του έργου, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η πρόσβαση και η ενεργής συμμετοχή στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.
- Όλες οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από διαφάνεια και δημοσιότητα.

Είναι βασικό ζητούμενο η διασύνδεση και η συνεργασία μεταξύ των τοπικών κοινωνιών και των φορέων του έργου για την επιλογή του χώρου με βασικό πυλώνα πως η συμμετοχή των πολιτών θα ενισχύσει τη θέση τους και δε θα την αποδυναμώσει.

Ωστόσο αξίζει να αναφερθεί πως η σύγχρονη τακτική είναι οι εγκαταστάσεις διάθεσης να χωροθετούνται πλησίον των εγκαταστάσεων παραγωγής των αποβλήτων (Kaliampakos & Benardos, 2009) μιας και με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι περιττές μετακινήσεις επικίνδυνων αποβλήτων, μειώνεται το κόστος της διάθεσης, οι τοπικές κοινωνίες που επωφελήθηκαν από τη βιομηχανία, είναι σε θέση να αναλάβουν το επιπλέον κόστος της διάθεσης των αποβλήτων στην περιοχή τους και ο παραγωγός των αποβλήτων έχει γνώση των ιδιοτήτων και των ειδικών χαρακτηριστικών αυτών.

Ο χώρος που προτείνεται στην παρούσα εργασία δεν παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της ανάπτυξης «on-site» αλλά περιγράφεται ως ένας υπερτοπικός χώρος μαζικής διάθεσης.

## 2.6 Προϋποθέσεις & κριτήρια για την υπόγεια διάθεση αποβλήτων

Με βάση το ευρωπαϊκό δίκαιο τα κριτήρια για τους υπόγειους χώρους διάθεσης συνοψίζονται σε μία μελέτη εκτίμησης ασφάλειας που συντάσσεται για κάθε χώρο ξεχωριστά και έχει ως κύριο σκοπό την μόνιμη απομόνωση των αποβλήτων από τη βιόσφαιρα με τη χρήση των γεωλογικών φραγμών του χώρου. Αυτή η εκτίμηση περιέχει τα εξής:

1. Γεωλογική αξιολόγηση
2. Γεωμηχανική αξιολόγηση
3. Υδρογεωλογική αξιολόγηση
4. Γεωχημική αξιολόγηση
5. Αξιολόγηση επιπτώσεων στη βιόσφαιρα
6. Αξιολόγηση της φάσης λειτουργίας του χώρου
7. Αξιολόγηση μακροχρόνιων επιπτώσεων και
8. Αξιολόγηση επιπτώσεων των επιφανειακών εγκαταστάσεων στο περιβάλλον.

Με βάση την ευρωπαϊκή οδηγία 2003/33/ΕΕ (Federal Environment Agency, Germany, 2004), οι υπόγειοι χώροι θα πρέπει να είναι οργανωμένοι σαν αποθήκες με ξεχωριστούς χώρους για κάθε είδος αποβλήτου για παράδειγμα απόβλητα που περιέχουν υδράργυρο, άλλα που περιέχουν αρσενικό και άλλα που περιέχουν PCB. Η ανάμιξη διαφορετικών τύπων αποβλήτων είναι καλό να αποφεύγεται και θα πρέπει οι χώροι να είναι οργανωμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε αποθηκευμένο απόβλητο να είναι ιχνηλατίσιμο και άμεσα προσπελάσιμο σε περίπτωση ανάγκης απομάκρυνσης αυτού από τον υπόγειο χώρο. Για παράδειγμα λόγω μελλοντικών τεχνολογικών εξελίξεων πιθανόν να είναι δυνατή η περαιτέρω αξιοποίησή τους.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να τονισθεί ότι στην μακροχρόνια αξιολόγηση των επιπτώσεων η οδηγία δεν επιτρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην αξιολόγηση τα δοχεία και η εσωτερική επένδυση των κοιλοτήτων λόγω του πεπερασμένου χρόνου ζωής αυτών.

Στην οδηγία αναφέρονται και τα κριτήρια των αποβλήτων που δύναται να αποθηκευτούν σε υπόγειο χώρο και με βάση αυτά εξαιρούνται τα εξής:

- Απόβλητα και τα δοχεία τους που ενδέχεται να αντιδράσουν με το νερό ή με το περιβάλλον πέτρωμα και να οδηγήσουν σε :
  - αλλαγή του όγκου τους
  - γένεση από αναφλέξιμες ή τοξικές ή εκρηκτικές ουσίες ή αερίων
  - οποιαδήποτε άλλη αντίδραση που θα μπορούσε να βάλει σε κίνδυνο την ασφάλεια του χώρου ή / και την ακεραιότητα κάποιου εκ των τεχνητών ή φυσικών φραγμών.
- Απόβλητα τα οποία είναι βιοαποδομήσιμα
- Απόβλητα που έχουν δυσάρεστη οσμή
- Απόβλητα που μπορούν να δημιουργήσουν αέριο μίγμα, τοξικό ή εκρηκτικό και πιο συγκεκριμένα:
  - που μπορεί να έχουν συγκεντρώσεις τοξικών αερίων λόγω μερικών συγκεντρώσεων των συστατικών τους.
  - και συγκεντρώσεις συστατικών που μέσα σε ένα δοχείο είναι μεγαλύτερες του 10% των συγκεντρώσεων που ανταποκρίνονται στο χαμηλότερο όριο εκρηκτικότητας
- Απόβλητα που δεν έχουν ακριβή σταθερότητα σε σχέση με το γεωλογικό περιβάλλον
- Απόβλητα που είναι αναφλέξιμα, αέρια προϊόντα, πτητικά και γενικά απόβλητα που μπορεί να οδηγήσουν σε ανάφλεξη στις συνθήκες της

αποθήκευσης καθώς και γενικά απόβλητα από αδιευκρίνιστα μίγματα ουσιών.

- Απόβλητα που περιέχουν ή μπορεί να οδηγήσουν σε παθογόνους οργανισμούς που μπορεί να οδηγήσουν σε μολυσματικές ασθένειες.

Και γενικά αποκλείονται από την υπόγεια διάθεση τα εξής απόβλητα:

- Υγρά
- Απόβλητα που είναι εκρηκτικά, διαβρωτικά, οξειδωτικά ή εύφλεκτα ή και πολύ εύφλεκτα
- Νοσοκομειακά απόβλητα

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως τονίζεται ιδιαίτερα από την ευρωπαϊκή οδηγία πως προβλέπεται για απόβλητα που μπορεί να αντιδράσουν μεταξύ τους θα πρέπει να διαχωρίζονται σε συμβατές ομάδες και να αποθηκεύονται ξεχωριστά στον υπόγειο χώρο.

Όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια με περισσότερη λεπτομέρεια η Γερμανία είναι μία πρωτοπόρος χώρα στη χρησιμοποίηση υπόγειων χώρων για την οριστική διάθεση επικίνδυνων αποβλήτων. Από ένα δελτίο της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος της Γερμανίας με θέμα την μόνιμη αποθήκευση αποβλήτων σε ορυχεία ορυκτού άλατος αντλούνται πληροφορίες για τα κριτήρια τόσο των χώρων όσο και των αποβλήτων, που πρέπει να πληρούνται για την αδειοδότηση και φυσικά την ομαλή και ασφαλή λειτουργία των διαδικασιών (Federal Environment Agency, Germany, 2004). Με βάση αυτό, η Γερμανία πλέον αυτών των κανονισμών της ευρωπαϊκής οδηγίας προσθέτει και τα εξής για την απαγόρευση των αποβλήτων προς υπόγεια διάθεση:

- Απόβλητα που προκύπτουν από ερευνητικές δραστηριότητες και δεν είναι επακριβείς ακόμα οι επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον και στον άνθρωπο.
- Ολόκληρα ή τμήματα ελαστικών οχημάτων
- Μολυσματικά απόβλητα, μέλη και όργανα σώματος και
- απόβλητα τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε δυσάρεστες οσμές στον υπόγειο ή περιβάλλοντα χώρο.

Ακόμα η υπόγεια αποθήκευση αποβλήτων προβλέπεται εξ' ολοκλήρου και μόνο σε βραχώδεις σχηματισμούς και πιο συγκεκριμένα σε ήδη ενεργό ορυχείο, ξεχωριστά όμως από τους ενεργούς χώρους ή σε θαλάμους.

Ακόμα μία πρακτική που έχει αναπτυχθεί στη χώρα και βρίσκει εφαρμογή στα γερμανικά ορυχεία εδώ και χρόνια είναι η διαδικασία της επανεπίχωσης («backfilling») και είναι σύμφωνη με τη γερμανική νομοθεσία καθώς και με μία απόφαση του Ευρωπαϊκού Δικαστηρίου. Ακόμα αυτή η πρακτική έχει χαρακτηριστεί ως επαναχρησιμοποίηση των υλικών μιας και η ενίσχυση της υποστήριξης θα απαιτούσε την διάθεση νέων υλικών. (Federal Environment Agency, Germany, 2004)

Σε περιπτώσεις αποβλήτων που περιέχουν Ε.Ο.Ρ. (POPs<sup>1</sup>), μόνο υπόγειοι χώροι σε δομές άλατος επιτρέπεται να τα δεχτούν και αυτό μετά το κλείσιμο του ορυχείου ως μεταλλευτική δραστηριότητα. Τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται για τέτοιου είδους απόβλητα δε διαφέρουν από τα υπόλοιπα είδη αποβλήτων παρά μόνο στο γεγονός ότι αυτά που περιέχουν ή είναι μολυσμένα με POPs δε θα μετακινηθούν ξανά από εκεί που θα αποτεθούν.

---

<sup>1</sup>Έμμονοι Οργανικοί Ρύποι (Persistent Organic Pollutants, POPs): Είναι οργανικές χημικές ουσίες με βάση ανθρακικές ενώσεις. Οι βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες είναι πως με τη διάθεσή τους στο περιβάλλον παραμένουν για πολλά χρόνια μέχρι να διασπαστούν, μπορούν να εξαπλωθούν μέσω του νερού, του εδάφους και ιδίως του αέρα, συσσωρεύονται στο λιπώδη ιστό και βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας και είναι τοξικοί τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το υπόλοιπα ζώα.

Όπως έχει προαναφερθεί, κάθε ορυχείο έχει ξεχωριστές άδειες για τα απόβλητα που μπορούν να διατεθούν σε αυτό και ενδεικτικά αναφέρονται: απόβλητα από τη βιομηχανία πετρελαιοιδών, τέφρα από λιγνιτικές θερμικές μονάδες, μολυσμένα εδάφη και προϊόντα κατεδαφίσεων, στερεά υπολείμματα από μονάδες αποτέφρωσης, φίλτρα από μονάδες επεξεργασίας αέριων ρύπων κ.α.

Στη Γερμανία υπάρχουν πάνω από 20 αδειοδοτημένα ορυχεία για αυτή τη χρήση και περίπου τα 2/3 αυτών βρίσκονται σε σχηματισμούς ορυκτού άλατος όπως: στη Saxony – Anhalt, το Bernburg από το 1992 και το Teutschenthal από το 1996, το Haigerloch-Stetten, στο Baden – Württemberg από το 1990, στη Thuringia το Sonderhausen και το Unterbreizbach από το 1995 και το 1992 αντίστοιχα, και στο Hesse το Wintershall και το Hattorf από το 1993 και 1994 αντίστοιχα. Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως αυτή η πρακτική δεν χρησιμοποιείται σε κανένα άλλο κράτος - μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

## **2.7 Εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων**

Στην ενότητα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένες χαρακτηριστικές περιπτώσεις υπόγειας διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων ραδιενεργών και μη, κυρίως από τον ευρωπαϊκό χώρο. Η Γερμανία είναι μία χώρα με μεγάλη μεταλλευτική παράδοση και με ένα μεγάλο αριθμό ορυχείων στην επικράτειά της. Από αυτήν την ενότητα απουσιάζουν οι ενεργοί υπόγειοι χώροι διάθεσης αποβλήτων σε δομές ορυκτού άλατος, των Herfa-Neurode στη Γερμανία και Minosus στην Αγγλία, οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικότερα στην ενότητα 3.4.

### **2.7.1 Προγενέστεροι χώροι υπόγειας αποθήκευσης ραδιενεργών και επικινδύνων αποβλήτων.**

#### **Hostim, Τσεχοσλοβακία**

Στην Τσεχοσλοβακία χρησιμοποιήθηκαν δύο υπόγειοι θάλαμοι συνολικής χωρητικότητας περίπου  $1.600 \text{ m}^3$  σε ένα λατομείο αδρανών του οποίου η λειτουργία χρονολογείτο από τη δεκαετία του 1940 κοντά στο χωριό Hostim στην κεντρική Βοημία. Οι εργασίες διήρκεσαν από το 1959 έως το 1965, ο χώρος δέχτηκε περίπου  $400 \text{ m}^3$  χαμηλού και μεσαίου επιπέδου ραδιενεργών αποβλήτων σε βάθος 30 m. Η ραδιενέργεια που μετρήθηκε το 2005 ήταν κάτω από το 0,1 TBq και ο χώρος έκλεισε οριστικά το 1997 (Remp, 2007).

#### **Richard, Τσεχοσλοβακία**

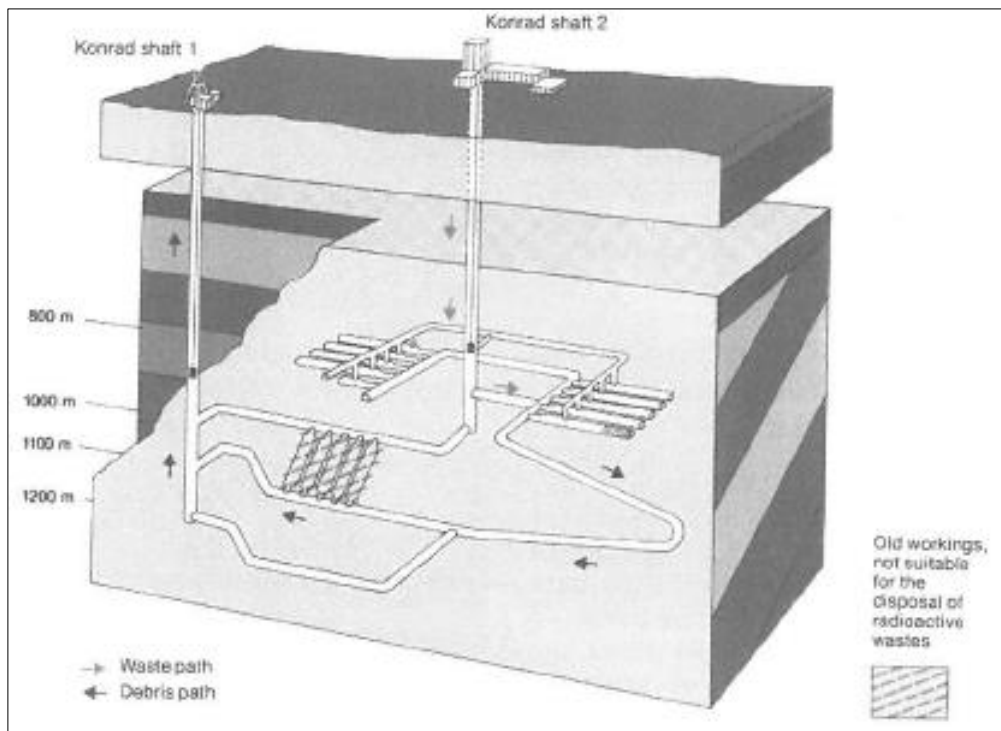
Ο πρώτος χρησιμοποιούμενος χώρος διάθεσης ενεργών αποβλήτων στην Τσεχοσλοβακία λειτούργησε στην περιοχή Richard κοντά στην πόλη Litomerice στα βόρεια της Βοημίας σε πρώην λατομείο αδρανών και σε βάθος 70 m. Ο



υπόγειος χώρος βρίσκεται σε ένα στρώμα ασβεστόλιθου πάχους 5 m το οποίο βρισκόταν έγκλειστο σε ένα στρώμα αδιαπέρατης μάργας πάχους 50 m. Η εξόρυξη του ασβεστόλιθου στο χώρο αυτό ξεκίνησε από τα μέσα του 19ου αιώνα. Στον κενό αυτό χώρο αποθηκεύτηκαν 25000 συσκευασίες αποβλήτων ενεργότητας 1015 Bq, καταλαμβάνοντας ωφέλιμο χώρο 2700 m<sup>3</sup> ενώ απέμεναν 3800 m<sup>3</sup> για μελλοντική χρήση (Rempe, 2007). Ο χώρος δέχεται ραδιενεργά απόβλητα τόσο από βιομηχανικές όσο και από ιατρικές, ερευνητικές και αγροτικές εφαρμογές και ο χρόνος λειτουργίας του ενδέχεται να συνεχιστεί μέχρι και το 2070.

### **Konrad, Γερμανία**

Το ορυχείο σιδήρου της περιοχής που βρίσκεται στην Κάτω Σαξονία, έκλεισε λόγω οικονομικών λόγων το 1976. Και από την ίδια κιόλας χρονιά, άρχισε να διερευνάτε η πιθανότητα απόθεσης αποβλήτων λόγω του μεγάλου βάθους του ορίζοντα του κοιτάσματος, των συνθηκών απουσίας της υγρασίας στο χώρο και την ιδανική απομόνωση του χώρου από το υπόγειο νερό από τους υπερκείμενους αργιλικούς σχηματισμούς. Τα αποτελέσματα της έρευνας και των διαδικασιών έγκρισης οδηγήθηκαν σε μία θετική εξέλιξη το 1982. Ο χώρος θα αποτελείται από 6 πεδία απόθεσης σε διαφορετικά επίπεδα και σε βάθος μεταξύ 800 και 1.300 m με τη χωρητικότητα να φτάνει τα 650.000 m<sup>3</sup>. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται σχηματικά η λειτουργία του χώρου (D. Kaliampakos, A. Manropoulos, M. Menegaki, 2006). Ο χώρος είναι μία περίπτωση που κοινωνικοί παράγοντες δεν επέτρεψαν την πλήρη λειτουργία του. Παρά τους αρχικούς σχεδιασμούς, ο χώρος το 2003 είχε την άδεια για 303.000 m<sup>3</sup> με βάση την προσωρινή άδεια λειτουργίας. Αξίζει να σημειωθεί πως η λειτουργία του χώρου έχει σχεδιαστεί μέχρι το έτος 2080 (Rempe, 2007).



Εικόνα 12 Σχηματική απεικόνιση του χώρου διάθεσης στο ορυχείο Konrad.  
Πηγή: Kaliampakos et al., 2006

### **Bratrstvi, Τσεχοσλοβακία**

Το 1974 η Τσεχοσλοβακία ξεκίνησε τη διάθεση αποβλήτων, τα οποία περιείχαν ραδιονουκλίδια από φυσικές πηγές, σε πέντε θαλάμους ενός εγκαταλελειμμένου υπόγειου ορυχείου ουρανίου κοντά στην πόλη Jachymov, στη βόρεια περιοχή της Βοημίας. Ο κενός χώρος του ορυχείου, που ήταν αρχικά διαθέσιμος, είχε χωρητικότητα της τάξης των 1.000 m<sup>3</sup>. Το 2001 η αναφερόμενη διάθεση αποβλήτων ανήλθε σε 700 μονάδες (Rempe, 2007) και η λειτουργία του εκτιμάται ότι θα συνεχιστεί μέχρι το 2030.

### **Morsleben, Germany**

Η ανατολική Γερμανία ξεκίνησε τη διάθεση ραδιενεργών αποβλήτων χαμηλού και μέσου επιπέδου σε ένα πρώην ορυχείο εξόρυξης ποτάσας και άλατος στην περιοχή Morsleben το 1978. Οι ανασκαφές στα τέλη του 19ου αιώνα είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός συμπλέγματος υπόγειων στοών. Η διάθεση αποβλήτων, η οποία διενεργείτο σε βάθος 500 m, διακόπηκε από το 1991 έως το 1994 προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια τεχνική επαναξιολόγηση με αφορμή την επανένωση της Γερμανίας, και έπαψε οριστικά το 1998. Ο υπόγειος χώρος περιέχει  $36.752 \text{ m}^3$  αποβλήτων και ένα σύνολο από 6621 πηγές ακτινοβολίας. Η β και γ ακτινοβολία έχουν μετρηθεί σε  $3,8\text{E}14 \text{ Bq}$  ενώ η α σε  $2,3\text{E}11 \text{ Bq}$ . Για την ενίσχυση του ορυχείου αποφασίστηκε η επανεπίχωση ορισμένων από τους κενούς θαλάμους (  $20000 \text{ m}^3$  ) με ορυκτό άλας. Είχε υπολογιστεί ότι ένα σύνολο από 20 ακόμα θαλάμους θα γέμιζε με ένα ειδικό μίγμα τσιμέντου μέχρι το 2010 οπότε και αναμενόταν το οριστικό κλείσιμο του χώρου (Rempe, 2007).

### **Forsmark, Σουηδία**

Ο χώρος αποθήκευσης κοντά στην πόλη Forsmark στα νότια της Σουηδίας (ονομαζόμενος Swedish Final Repository, SFR) λειτουργεί από το 1988. Η εγκατάσταση αποτελείται από 4 οριζόντιους θαλάμους για την απόθεση χαμηλού επιπέδου αποβλήτων και έναν κάθετο για μέσου επιπέδου. Ο χώρος έχει εκσκαφθεί ειδικώς στο μεταμορφωμένο υπόστρωμα 50 m κάτω από τη Βαλτική θάλασσα. Η είσοδος παρέχεται από 2 κεκλιμένες σήραγγες από την κοντινή στεριά. Η συνολική χωρητικότητα της εγκατάστασης είναι  $63.000 \text{ m}^3$  και ο υπολογιζόμενος ετήσιος ρυθμός απόθεσης ανέρχεται περίπου στα  $1.000 \text{ m}^3$  . Έχει υπολογιστεί ότι με εκσκαφή σε δεύτερη και τρίτη φάση μπορεί να

προσθεθεί μια χωρητικότητα της τάξης των 30.000 και 100.000 m<sup>3</sup> αντίστοιχα (Rempé, 2007).

### **Olkiluoto & Loviisa, Φινλανδία**

Στη Φινλανδία λειτουργούν από τη δεκαετία του 1990 δύο υπόγειοι χώροι διάθεσης αποβλήτων, όπου και οι δύο δέχονται απόβλητα χαμηλού και μεσαίου επιπέδου. Η εγκατάσταση στο Olkiluoto ξεκίνησε να λειτουργεί το 1992 και στη Loviisa το 1997. Και οι δύο εγκαταστάσεις βρίσκονται σε κρυσταλλικό υπόβαθρο, 70 -100 m βάθος. Η είσοδος τους αποτελείται από κεκλιμένες σήραγγες και κάθετα φρεάτια. Η προβλεπόμενη χωρητικότητα του Olkiluoto ανέρχεται περίπου σε 8.000 m<sup>3</sup> ενώ στο Loviisa σε περίπου 4.000 m<sup>3</sup>. Μέχρι το τέλος του 2004, το Olkiluoto είχε δεχθεί 4.140 και το Loviisa 1.234 (Rempé, 2007). Και οι δύο αυτοί χώροι αναμένεται να λειτουργήσουν για περίπου 40 χρόνια.

### **2.7.2 Εγκαταστάσεις γεωτρήσεων διοχέτευσης υγρών αποβλήτων σε μεγάλα βάθη**

Οι γεωτρήσεις διοχέτευσης υγρών αποβλήτων σε μεγάλα βάθη ήταν μια ευρέως διαδεδομένη τακτική που ακολούθησε η Σοβιετική Ένωση. Περίπου 50.000.000 m<sup>3</sup> ραδιενεργών υγρών αποβλήτων διοχετεύθηκαν κυρίως σε στρώματα ψαμμίτη 100 m κάτω από την επιφάνεια της γης στις εξής τρεις περιοχές (Rempé, 2007):

#### **Zheleznogorsk**

Το 1967 ξεκίνησε η διοχέτευση ραδιενεργών αποβλήτων σε μια βαθιά γεώτρηση νότια του Kransnoyarsk. Δύο υδροφόροι ορίζοντες σε στρώματα άμμων, χαλίκων

και ψαμμιτών χρησιμοποιήθηκαν για τη διοχέτευση με το αδιαπέρατο στρώμα της αργίλου να παίζει το ρόλο του φραγμού. Αξίζει να σημειωθεί πως ανεξάρτητοι ειδικοί συμπεριλαμβανομένων και δυτικών επιστημόνων, που ερεύνησαν το χώρο, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως αυτό το σύστημα διάθεσης δεν εγκυμονεί κινδύνους για την επιφάνεια.

### **Tomsk**

Δύο υδροφόροι οριζόντες χρησιμοποιήθηκαν με τρεις γεωτρήσεις σε βάθη 349-386m, 314-341m και 270-320m κάτω από την επιφάνεια της γης από το 1963.

### **Dimitrovgrad**

Σε αυτό το χώρο πραγματοποιήθηκαν οι βαθύτερες γεωτρήσεις σε δύο περιοχές σε βάθη της τάξης των 1.440 – 1.550m και 1.130-1.410m από το 1966.

## **2.7.3 Πειραματικές ή υπό κατασκευή εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων**

### **Stripa, Σουηδία**

Η μεταλλευτική δραστηριότητα στο ορυχείο Stripa, ξεκινάει από τον 15<sup>ο</sup> αιώνα και μετά από σποραδικές εκμεταλλεύσεις και μία παύση που διήρκησε περίπου έναν αιώνα, το 1976 κλείνει οριστικά με τη συνολική παράγωγή του να φτάνει τα 18 εκατομμύρια τόνους κοιτάσματος χαλαζιακού αιματίτη και οδηγώντας στη πλήρη εξόφλησή του. Μεταξύ των ετών 1977 και 1980, ένα κοινό ερευνητικό πρόγραμμα των χωρών Σουηδίας και Αμερικής, ξεκίνησε στο ορυχείο. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδωσαν εκτενής πληροφορίες για τους μηχανισμούς θερμικής αγωγιμότητας και τη ροή του υπόγειου νερού στη ρωγματομένη

βραχομάζα. Το 1980 τη θέση του Σουηδο- αμερικάνικου προγράμματος, πήρε ένα διεθνή πρόγραμμα με τη συμμετοχή διαφόρων χωρών και υπό την αιγίδα της Διεθνούς Ατομικής Επιτροπής. Αυτό το πρόγραμμα διήρκησε μέχρι το 1991 και οι τομείς της έρευνας ήταν: ανίχνευση και χαρτογράφηση των ζωνών ρωγμάτωσης, συνθήκες του υπόγειου νερού και μετακίνηση των ραδιονουκλιδίων και εξέταση επανεπίχωσης με μίγμα μπεντονίτη. Η τρίτη και τελευταία φάση του προγράμματος προσανατολίστηκε στην υδρογεωλογία, την χημική κινητικότητα, τους τεχνητούς φραγμούς και τη γεωφυσική (Kaliamparakos et al., 2006)

## **Φιλανδία**

Το 2001, στη Φιλανδία επιλέχθηκε ένας χώρος διάθεσης στο Eurajoki, κοντά στο πυρηνικό εργοστάσιο του Oikiluoto, για την διάθεση των ραδιενεργών αποβλήτων. Οι έρευνες για την επιλογή του χώρου ξεκίνησαν το 2004 και θα βασίζονταν στο υπόγειο πειραματικό χώρο του Onkalo στην ίδια περιοχή. Ο χώρος σχεδιαζόταν για την υποδοχή 6.500 tn αποβλήτων. Ο σχεδιασμός της διάθεσης συμπεριελάμβανε τη χρησιμοποίηση σιδερένιων κυλίνδρων με περίβλημα χαλκού, και την τοποθέτηση αυτών σε τρύπες στο σχηματισμό από τους τοίχους μέσα από τα ανοίγματα των εκσκαφών. Τα ανοίγματα θα σφραγίζονται με μίγμα μπεντονίτη.. Η κατασκευή είχε προγραμματιστεί να τελειώσει μεταξύ των ετών 2010 και 2020, οπότε και θα άρχιζε η διάθεση των αποβλήτων (Rempe, 2007).

## **Bure, Γαλλία**

Στη Γαλλία ερευνάται ένας αργιλικός σχηματισμός πάχους 130 m., σε βάθη μεταξύ 420 και 550 m στην περιοχή Bure στη Λωρραίνη, 45 km νότια του Bar-le-Duc για τη δυνατότητα υποδοχής ραδιενεργών αποβλήτων υψηλού και μεσαίου επιπέδου. Ο υπόγειος πειραματικός χώρος αποτελείται από φρέατα και θαλάμους καθώς και ερευνητικές στοές. Η κατασκευή του χώρου ξεκίνησε το 2000 και οι πειραματικές εφαρμογές το 2004. Το νομικό πλαίσιο δεν επιτρέπει τη διάθεση αποβλήτων σε ερευνητικούς χώρους, ωστόσο εάν η εγκατάσταση πετύχει τους στόχους ένας ξεχωριστός χώρος θα κατασκευαστεί στην περιοχή για αυτό το σκοπό (Rempe, 2007).

## **Gorleben, Γερμανία**

Για δύο δεκαετίες, ο δόμος ορυκτού άλατος στο Gorleben στα βόρεια της κεντρικής Γερμανίας είχε ερευνηθεί για τη δυνατότητα απόθεσης όλων των τύπων των ραδιενεργών αποβλήτων. Οι εργασίες περιλάμβαναν τη δημιουργία 2 φρεάτων και των εκσκαφή ερευνητικών στοών σε βάθος των 850 m περίπου από την επιφάνεια. Μέχρι τότε δεν υπήρξε κανένας λόγος ακύρωσης του σχεδιασμού, ωστόσο η ολοκλήρωση της εγκατάστασης είχε μείνει ανεκτέλεστη (Rempe, 2007).

## **Σουηδία**

Στη Σουηδία δύο περιοχές ερευνώνται για τη δυνατότητα υποδοχής ραδιενεργών αποβλήτων σε βάθη περίπου 500 m σε κρυσταλλικό υπόστρωμα. Τα συμπεράσματα των ερευνών από την πειραματική εγκατάσταση του Äspö Hard Rock Laboratory ήταν ο οδηγός των εξετάσεων των περιοχών. Ο

σχεδιασμός της απόθεσης είναι παρόμοιος με αυτόν της Φιλανδίας και η λειτουργία της εγκατάστασης είχε προσδιοριστεί το 2020. Το σύνολο των δοχείων που έχει σχεδιαστεί να αποθηκευτούν στο χώρο είναι 4.500 και ανά έτος 200 (Rempe, 2007).

### **Yucca Mountain, Η.Π.Α.**

Η οροσειρά Yucca που βρίσκεται στα βόρεια του Las Vegas, στη Νεβάδα, αποτελείται από ηφαιστειακούς τόφφους. Ο χώρος είχε ήδη εξεταστεί από το 1978 για τη δυνατότητά του να δεχθεί ραδιενεργά απόβλητα, τόσο στρατιωτικών όσο και πολιτικών εφαρμογών. Η μοναδικότητα του χώρου παγκοσμίως έγκειται στο γεγονός πως η εγκατάσταση βρίσκεται 300 m πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα και για την αντιμετώπιση των πιθανών απορροών είχε προταθεί η εφαρμογή αντιδιαβρωτικών συσκευασιών από κράματα αλουμινίου και ασπίδες τιτανίου. Ξεκινώντας το έργο το 1993, περισσότερα από 8 km ερευνητικών στοών είχαν διανοιχθεί σε βάθος 300 m. Το αμερικάνικο Κογκρέσο περιόρισε τη δυναμικότητα αποθήκευσης του χώρου στους 70.000 tn, παρόλο που από τεχνικής άποψης η αποθηκευτική ικανότητα θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα μεγαλύτερη. Η λειτουργία του υπολογιζόταν για το 2020 (Rempe, 2007) όμως λόγω κοινωνικών και πολιτικών αντιδράσεων το 2011 σταμάτησε οριστικά η χρηματοδότηση του έργου.

### **2.7.4 Εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων σε δομές άλατος**

Η Γερμανία είναι το κράτος με τη μεγαλύτερη εμπειρία τόσο στην υπόγεια διάθεση αποβλήτων όσο και την εκμετάλλευση παλαιών ή ενεργών ορυχείων σε



δομές ορυκτού άλατος για την παραπάνω διαδικασία. Κάθε χώρος είναι αδειοδοτημένος για συγκεκριμένα είδη αποβλήτων και ανάμεσα αυτών των χώρων ξεχωρίζεται η εγκατάσταση Herfa-Neurode στην πόλη Hesse, που είναι και η παλαιότερη εν ενεργεία εγκατάσταση από το 1972. Στο κεφάλαιο 3.4 παρακάτω γίνεται αναλυτική περιγραφή της εγκατάστασης μαζί με αυτή της Αγγλίας στο εν ενεργεία ορυχείο ορυκτού άλατος του Winsford που σχεδιάζεται να αποθηκευτούν σε αυτό 2 εκατομμύρια τόνοι επικίνδυνων αποβλήτων, τα επόμενα 20 χρόνια (Federal Environment Agency, Germany, 2004).

### **Asse, Γερμανία**

Το πρώην ορυχείο άλατος Asse τοποθετημένο στο βορειο – κεντρικό τμήμα της Γερμανίας, αν και δεν αποτελεί έναν επίσημο (βάσει νομικών κριτηρίων) αποθηκευτικό χώρο ραδιενεργών αποβλήτων για πολιτικούς αλλά και ιστορικούς λόγους, συγκεντρώνει όλα τα τεχνικά κριτήρια ενός τέτοιου χώρου. Η εξόρυξη άλατος από τις αρχές του 20ου αιώνα άφησε πίσω τεράστιους υπόγειους θαλάμους μερικοί εκ των οποίων συμπληρώθηκαν κατά το διάστημα των ετών 1967 και 1978 με ραδιενεργά απόβλητα χαμηλού και μέσου επιπέδου. Συνολικά ο χώρος συγκεντρώνει περίπου 125.000 μονάδες χαμηλού επιπέδου αποβλήτων σε βάθη 725 m και 750 m, και περίπου 1.300 μονάδες μέσου επιπέδου αποβλήτων σε βάθος 511 m (Remppe, 2007). Η μέγιστη χωρητικότητά του είναι της τάξης των 47.000 m<sup>3</sup> με συνολική δυναμική 90.000 τόνων. Το 1995 ξεκίνησε σταδιακά μια προσπάθεια επανεπίχωσης των εναπομεινάντων ανοικτών θαλάμων με το ήδη εξορυχθέν άλας. Οι μετρήσεις κατά τη διάρκεια της διάθεσης ήταν της τάξης περίπου των 7,8E15 Bq ενώ η λειτουργία του χώρου είχε εκτιμηθεί μέχρι το 2013.

### **Waste Isolation Pilot Plant, Η.Π.Α.**

Το Waste Isolation Pilot Plant κοντά στο Carlsbad στο νοτιοανατολικό Νέο Μεξικό, ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1999 με τη διάθεση ραδιενεργών αποβλήτων μέσου επιπέδου, που περιείχαν ραδιονουκλίδια με μεγάλης ημίσειας ζωής. Το 60% των αποβλήτων έχει υποστεί ανάμειξη ραδιενεργών υλικών με άλλα επικίνδυνα τοξικά απόβλητα. Ο ορίζοντας του χώρου είναι στο μέσο ενός γιγαντιαίου σχηματισμού ορυκτού άλατος, 655m κάτω από την επιφάνεια της γης. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο χώρος κατασκευάστηκε και συνεχίζεται να κατασκευάζεται αποκλειστικά για διάθεση αποβλήτων. Η σχεδιαζόμενη χωρητικότητά του ανέρχεται στα 175.000m<sup>3</sup> και το ισχύον θεσμικό πλαίσιο επιτρέπει τη διάθεση ραδιενεργών υλικών προερχόμενα από τη στρατιωτική βιομηχανία.



Εικόνα 13 Εργασίες εξόρυξης στο W.I.P.P. για τη διάνοιξη των ανοιγμάτων στο σχηματισμό του ορυκτού άλατος. Πηγή: The US Department of Energy, 2015

Στους πίνακες 13 & 14 που ακολουθούν εμφανίζονται συγκεντρωτικά οι ερευνητικοί χώροι υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων και οι μόνιμοι χώροι αποθήκευσης, με αναφορά στο βάθος, το γεωλογικό περιβάλλον και την τωρινή τους κατάσταση. (Wikipedia, 2016).

Πίνακας 13 Ερευνητικοί χώροι υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων.

Πηγή: Wikipedia, 2016

Χώρα	Όνομα εγκατάστασης	Περιοχή	Γεωλογικοί Σχηματισμοί	Βάθος	Κατάσταση
<b>Βέλγιο</b>	HADES Underground Research Facility	Mol	άργιλος	223 m	σε λειτουργία από το 1982
<b>Καναδάς</b>	AECL Underground Research Laboratory	Pinawa	γρανίτης	420 m	1990–2006
<b>Φιλανδία</b>	Onkalo	Olkiluoto	γρανίτης	400 m	υπό κατασκευή
<b>Γαλλία</b>	Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory	Bure	πηλίτες	500 m	σε λειτουργία από το 1999
<b>Ιαπωνία</b>	Horonobe Underground Research Lab	Horonobe	ιζηματογενείς βραχώδεις σχηματισμοί	500 m	υπό κατασκευή
<b>Ιαπωνία</b>	Mizunami Underground Research Lab	Mizunami	γρανίτης	1000 m	υπό κατασκευή
<b>Ν. Κορέα</b>	Korea Underground Research Tunnel		γρανίτης	80 m	σε λειτουργία από το 2006
<b>Σουηδία</b>	Äspö Hard Rock Laboratory	Oskarshamn	γρανίτης	450 m	σε λειτουργία από το 1995
<b>Ελβετία</b>	Grimsel Test Site	Grimsel Pass	γρανίτης	450 m	σε λειτουργία από το 1984
<b>Ελβετία</b>	Mont Terri Rock Laboratory	Mont Terri	άργιλος	300 m	σε λειτουργία από το 1996
<b>Η.Π.Α.</b>	Yucca Mountain nuclear waste repository	Nevada	ηφ. τόφφοι	50 m	1997–2008

Πίνακας 14 Μόνιμοι χώροι αποθήκευσης αποβλήτων ανά τον κόσμο.

Πηγή: Wikipedia, 2016

Χώρα	Όνομα εγκατάστασης	Περιοχή	Τύπος αποβλήτων	Γεωλογικοί Σχηματισμοί	Βάθος	Κατάσταση
Αργεντινή	Sierra del Medio	Gastre		γρανίτης		υπό διερεύνηση
Βέλγιο			high-level waste	plastic clay	~225 m	υπό διερεύνηση
Καναδάς	OPG DGR	Ontario	200,000 m <sup>3</sup> L&ILW	argillaceous limestone	680 m	αίτηση άδειας το 2011
Καναδάς			spent fuel			υπό διερεύνηση
Κίνα						υπό διερεύνηση
Φιλανδία	VUJ	Olkiluoto	L&ILW	tonalite	60–100 m	σε λειτουργία από το 1992
Φιλανδία		Loviisa	L&ILW	γρανίτης	120 m	σε λειτουργία από το 1998
Φιλανδία	Onkalo	Olkiluoto	spent fuel	γρανίτης	400 m	υπό κατασκευή
Γαλλία			high-level waste	πηλίτες	~500 m	σε αναμονή
Γερμανία	Schacht Asse II	Lower Saxony		ορυκτό άλας	750 m	έκλεισε το 1995
Γερμανία	Morsleben	Saxony-Anhalt	40,000 m <sup>3</sup> L&ILW	ορυκτό άλας	630 m	έκλεισε το 1998
Γερμανία	Gorleben	Lower Saxony	high-level waste	ορυκτό άλας		προτεινόμενο, σε αναμονή
Γερμανία	Schacht Konrad	Lower Saxony	303,000 m <sup>3</sup> L&ILW	ιζηματογενής βραχομάζα	800 m	υπό κατασκευή
Ιαπωνία			high-level waste			υπό διερεύνηση
Ν. Κορέα	Gyeongju		L&ILW		80 m	υπό κατασκευή
Σουηδία	SFR	Forsmark	63,000 m <sup>3</sup> L&ILW	γρανίτης	50 m	σε λειτουργία από το 1988
Σουηδία		Forsmark	spent fuel	γρανίτης	450 m	αίτηση άδειας το 2011
Ελβετία			high-level waste	clay		σε αναμονή
Η.Β.			high-level waste			υπό διερεύνηση
Η.Π.Α.	Waste Isolation Pilot Plant	New Mexico	transuranic waste	ορυκτό άλας	655 m	σε λειτουργία από το 1999
Η.Π.Α.	Yucca Mountain Project	Nevada	70,000 ton HLW	ηφ. τόφφοι	200-300 m	ακυρώθηκε το 2010

## **2.8 Εγκατάσταση υπόγειας διάθεσης αποβλήτων στην Ελλάδα – Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου**

### **2.8.1 Εισαγωγικά στοιχεία & ιστορική αναδρομή**

Στην ευρύτερη περιοχή του Λαυρίου έχει αναπτυχθεί μεταλλευτική δραστηριότητα από τα αρχαία χρόνια, η οποία έφτασε στο απόγειό της την εποχή της ακμής της πόλης των Αθηνών (Τσαΐμου, 1997). Από τον 1<sup>ο</sup> αιώνα και μετά θα ακολουθήσει μία μακρά περίοδος σιωπής και το 1864 θα δημιουργηθεί η εταιρεία Hilarion Roux et Cie μετά από προτροπή του μεταλλειολόγου Α. Κορδέλλα στον ιταλό συνάδελφό του J.B.Serpiéri., η οποία θα αναλάβει την εκμετάλλευση των αρχαίων σκωρίων και την εξαγωγή αργυρούχου μολύβδου. (Ιστοσελίδα του Τεχνολογικού Πολιτιστικού Πάρκου, 2010). Γρήγορα η εταιρεία θα αναδειχθεί στην σημαντικότερη βιομηχανία της Ελλάδας εκείνη την εποχή με την πρώτη κρίση να έρχεται το 1869 οπότε η εταιρεία θα έρθει σε σύγκρουση με το ελληνικό κράτος. Το γνωστό Λαυρεωτικό Ζήτημα θα λήξει με την δημιουργία 2 εταιρειών το 1873. Έκτοτε θα ακολουθήσει μία μεγάλη περίοδος ακμής της δραστηριότητας με τις δύο εταιρίες, ωστόσο τα πρώτα σοβαρά πλήγματα έρχονται τις δεκαετίες του 1880 και 1890, όπου θα πέσει η τιμή του μολύβδου και στη συνέχεια ακόμα πιο καθοριστικά με τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο. Στα μέσα της δεκαετίας του 1950 οι μεταλλευτικές δραστηριότητες θα ανθίσουν και πάλι μέχρι το οριστικό τους κλείσιμο το 1989 όπου μετά το 1980 θα μπει σε νέο κύκλο κρίσης, συνέπεια της γενικότερης αποβιομηχάνισης της Ελλάδας. Η διακοπή της μεταλλευτικής δραστηριότητας στο Λαύριο θα αφήσει πίσω μία ιστορία αιώνων, μία τεράστια έκταση - μνημείο της βιομηχανίας, τόσο σύγχρονο όσο και αρχαίο αλλά και ένα ιδιαίτερα επιβαρυνόμενο περιβάλλοντα χώρο.

## **2.8.2 Το Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου και ο πρώτος υπόγειος χώρος αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων στην Ελλάδα**

Κατά την περίοδο της δεκαετίας του 1980 υπήρξε ενδιαφέρον για την αξιοποίηση του χώρου αυτού και με την υποστήριξη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ο χώρος ανοίγει και πάλι ως Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο με σκοπό να αναδειχθεί τόσο σε ένα πόλο τοπικής οικονομικής ανάπτυξης όσο και σε ένα κέντρο προαγωγής και βελτίωσης της διανοητικής και πολιτιστικής δράσης μέσω της μεταφοράς τεχνολογίας, της ίδρυσης spin-off εταιριών, τη δημιουργία νέου επιχειρηματικού περιβάλλοντος και υποδομών, καθώς και της ανάπτυξης νέων εφαρμογών και καινοτομιών παραγωγής ή προϊόντων.

Η ανάγκη εξυγίανσης των χώρων του Πάρκου από την προγενέστερη μεταλλευτική δραστηριότητα ήταν καθοριστική για την απόφαση κατασκευής του υπόγειου χώρου (Kaliampakos & Benardos, 2009). Πιο συγκεκριμένα η περιοχή ήταν επιβαρυσμένη ιδιαίτερα από βαρέα μέταλλα και τοξικά κατάλοιπα των δραστηριοτήτων όπως αρσενικό, κάδμιο, ψευδάργυρος και μόλυβδο σε ασυνήθιστα μεγάλες συγκεντρώσεις και το σχέδιο περιλάμβανε τη διάθεση 115000 τόνων μολυσμένων εδαφών στο χώρο.

Το 2007 ξεκινάει η κατασκευή του υπόγειου χώρου που αποτελείται από τη σήραγγα προσπέλασης, ένα φρέαρ και τον υπόγειο θάλαμο. Η κατασκευή του υπόγειου χώρου γίνεται με τη μεταλλευτική μέθοδο θαλάμων και στύλων (room&pillar) σε γενικά καλές γεωτεχνικές συνθήκες μιας και ο χώρος βρίσκεται στη σειρά του ανώτερου μαρμάρου.

Πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις της μονοαξονικής αντοχής σε θλίψη (UCS) έδωσαν ένα μέσο όρο τιμών της τάξης των 70 MPa, του μέτρου Young 12 GPa και ο λόγος Poisson εκτιμήθηκε στο 0,26. Η βραχύμαζα χαρακτηρίστηκε με βάση τα

δεδομένα της γεωτεχνικής έρευνας ως «μέτρια έως καλή» με τιμές RMR από 52 έως 67 και GSI από 55 έως 60.

Η συνολική ωφέλιμη επιφάνεια του έργου είναι περίπου 2.000 m<sup>2</sup> με μέγιστη δυνατή χωρητικότητα αποβλήτων περίπου 5.000 τόνων. Η επιλογή του σημείου έγινε με βάση 3 παράγοντες:

1. Την απόσταση από τα υπόλοιπα κτίρια του πάρκου που βρίσκονται σε χρήση
2. Την ασφαλή απόσταση από τον υδροφόρο ορίζοντα σε σχέση με άλλα σημεία των διαθέσιμων επιλογών και
3. το σχετικά πλεονεκτικό γεωλογικό υπόβαθρο όπως περιγράφηκε παραπάνω.



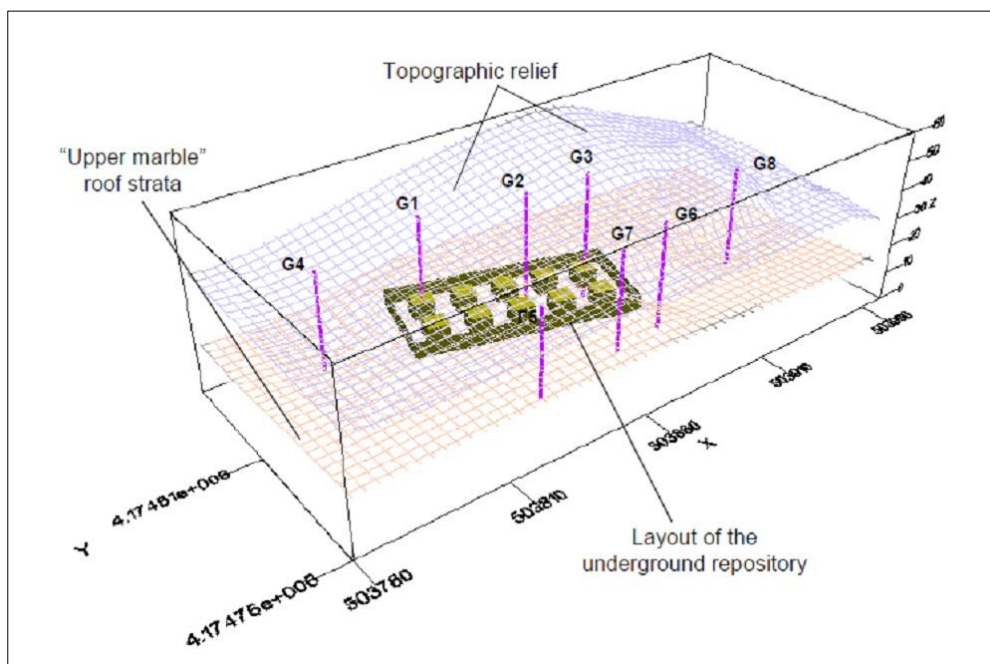
Εικόνα 14 Στην αριστερή εικόνα φαίνεται η διαδικασία κατασκευής του υπόγειου χώρου με τους θαλάμους και στύλους. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται ο χώρος έτοιμος να υποδεχθεί τα επικίνδυνα απόβλητα του χώρου.

Πηγή: Kaliampakos & Benardos, 2009

### **2.8.3 Στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής υπόγειου χώρου**

Όπως προαναφέρθηκε η μέθοδος εξόρυξης και δημιουργίας του απαραίτητου υπόγειου «κενού» ήταν η μεταλλευτική μέθοδος θαλάμων και στύλων.

Ειδικότερα με βάση τα γεωτεχνικά στοιχεία που εξήχθησαν μετά από έρευνα καθώς και μετά από την πραγματοποίηση 8 δοκιμαστικών γεωτρήσεων στην περιοχή επιλέχθηκε το εξής σχέδιο: εξόρυξη των θαλάμων αφήνοντας στύλους ορθογώνιου σχήματος μήκους 7 m και θαλάμους ανοίγματος 7 m (και 6 m στα όρια της εκσκαφής που χρησιμοποιούνται ως διάδρομοι) και μέγιστου ύψους 5.5 m με εφαρμογή αγκυρίων στην οροφή με σκοπό την καλύτερη σύγκλιση και αποφυγή δυνητικών τοπικών αστοχιών τύπου σφήνας.



Εικόνα 15 Σχηματική τρισδιάστατη αναπαράσταση του υπόγειου χώρου με αναφορά στις 8 ερευνητικές γεωτρήσεις και στην οροφή του στρώματος του «ανώτερου» μαρμάρου. Πηγή: Kaliampakos & Benardos, 2009.

Τα μέτρα στήριξης συμπληρώθηκαν από ένα σχεδιαζόμενο κάνναβο 1,4 μέτρων αγκυρίων Swellex<sup>®</sup> μήκους 3,5 μέτρων καθώς και εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος πάχους 250 χιλιοστών με εφαρμογή σε οροφή, στύλους και τοιχώματα θαλάμων.

Οι μέθοδοι αριθμητικής ανάλυσης έδειξαν μία καλή συμπεριφορά της βραχομάζας με προσδοκώμενες μετακινήσεις της τάξης των 3 - 5 mm. Αξίζει



ακόμη να σημειωθεί ότι λόγω του συντηρητικού σχεδιασμού ο συντελεστής ασφαλείας των στύλων εκτιμήθηκε στο 10, μία αρκετά ικανοποιητική τιμή.

Δυνατότητες πρόσβασης στον υπόγειο χώρο έδωσαν μια σήραγγα και ένα φρέατιο ( το φρέαρ επιλέχθηκε για να εξοικονομήσει ζωτικό επιφανειακό χώρο).

Η σήραγγα, η βασική είσοδος της εγκατάστασης πεταλοειδούς σχήματος έχει άνοιγμα 5 μέτρα, ύψος 5,5 μέτρα και μήκος 170 μέτρα. Το κυκλικής διατομής φρέαρ βάθους 35 μέτρων βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της εγκατάστασης και εξυπηρετεί τόσο για τις ανάγκες αερισμού της εγκατάστασης όσο και για λόγους ασφαλείας.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των υπόγειων χώρων διάθεσης αποβλήτων είναι η απομόνωση αυτών από τον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτό κατέστη δυνατό με τη συμβολή του γεωλογικού περιβάλλοντος του μαρμάρου ( γεωλογικός φραγμός ) και ταυτοχρόνως με την εφαρμογή πρόσθετων τεχνητών φραγμών με σκοπό την επίτευξη της μέγιστης δυνατής προστασίας του υδροφόρου ορίζοντα, του εδάφους και υπεδάφους. Αυτοί αποτελούντο από ειδικό μίγμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος ( ELKEM Microsilica 920 D ) για τη στεγανοποίηση της οροφής και των τοιχωμάτων του θαλάμου και την εφαρμογή αδρανούς και αδιαπέρατου βιομηχανικού δαπέδου. Ο σχεδιασμός αυτός απέδωσε μια διαπερατότητα της τάξης των  $10^{-9}$  m/s. Όλα τα παραπάνω μέτρα σε συνδυασμό με τον εγκιβωτισμό του επικίνδυνου υλικού σε ειδικά δοχεία, καλύπτουν τη μακροπρόθεσμη ασφαλή διάθεση των αποβλήτων.

Το μοναδικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια της εκσκαφής ήταν όταν ένα τοπικό ρήγμα συναντήθηκε στο τέλος της σήραγγας και στην αρχή του θαλάμου με αποτέλεσμα την υποχώρηση της οροφής του στρώματος του μαρμάρου και την εμφάνιση του στρώματος του σχιστόλιθου στην οροφή του χώρου. Εκτός από αυτή την υποχώρηση δεν εμφανίστηκαν άλλες μετακινήσεις

και πάρθηκαν επιπλέον μέτρα υποστήριξης όπως εφαρμογή αγκυρίων μήκους 8 μέτρων σε πυκνότερο κάνναβο με ενεμάτωση σκυροδέματος και κάλυψη του χώρου με μεταλλικό πλέγμα.

Η συμπεριφορά των στύλων είναι ικανοποιητική με τις οριζόντιες μετακινήσεις να έχουν σταθεροποιηθεί στην τιμή των 5 mm και οι ολικές μετακινήσεις της οροφής που μετρήθηκαν ήταν της τάξης των 5 mm.

#### **2.8.4 Στοιχεία κόστους και εναλλακτικές λύσεις**

Η μόνη εναλλακτική λύση για τη διάθεση των αποβλήτων του χώρου ήταν η εξαγωγή σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία, που έχουν τη δυνατότητα τελικής διάθεσης σε κατάλληλους υπόγειους χώρους ή χώρους υγειονομικής ταφής. Σύμφωνα με τη συνθήκη της Βασιλείας του 2006, μόνο το 2% των συνολικά ετήσιων παραγόμενων ποσοτήτων αποβλήτων εξάγονται σε άλλες χώρες με κύριο αποδέκτη τη Γερμανία, το μεγαλύτερο εισαγωγέα αποβλήτων στην Ευρώπη με τις εισαγόμενες ποσότητες να φτάνουν κοντά στα 2,7 εκατ. τόνους. Το κόστος μεταφοράς αν και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων κυμαίνεται μεταξύ 1.500 και 3.000 ευρώ ανά τόνο.

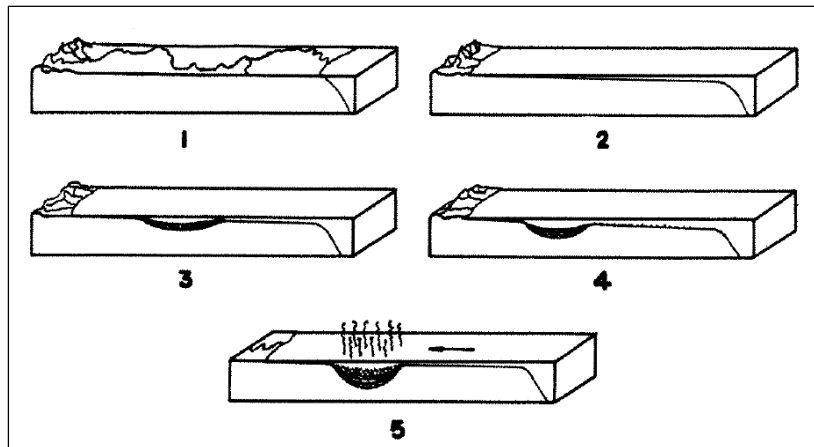
Το συνολικό κόστος κατασκευής του υπόγειου χώρου ανήλθε στο ποσό των 2,8 εκατ. ευρώ. Με βάση τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα της εγκατάστασης το αναμενόμενο κόστος προκύπτει περίπου στα 560 ευρώ/ τόνο. Όπως μας δείχνει η σύγκριση των τιμών των δύο λύσεων είναι εμφανές το όφελος από την κατασκευή της υπόγειας εγκατάστασης. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι πρόκειται για μικρής και τοπικής κλίμακας έργο. Είναι φανερό πως με την επίτευξη οικονομικών κλίμακας θα επέλθουν ακόμα καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα.

### **3 Υπόγεια διάθεση αποβλήτων σε δομές ορυκτού άλατος**

Η υπόγεια διάθεση αποβλήτων σε χώρους που βρίσκονται είτε σε δόμους άλατος είτε σε στρώματα, είναι τόσο ιδανική όσο και ευρέως διαδεδομένη (Rusch, 2006). Ωστόσο δομές που ενδέχεται να περιέχουν θύλακες με διαλύματα άλατος θα πρέπει να αποφεύγονται. Όπως αποτυπώθηκε στην ενότητα 2.6 ήδη χρησιμοποιούνται τέτοιοι χώροι ιδίως σε περιοχές όπου το ορυκτό άλας βρίσκεται σε ομοιογενή μορφή και απομονωμένο από νερό και αέρια. Βασικά προβλήματα που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν σε δομές άλατος είναι οι ασυνέχειες, η παρουσία αερίων και τα έντονα φαινόμενα ερπυσμού που παρουσιάζουν αυτοί οι σχηματισμοί.

### 3.1 Η γεωλογία των δομών ορυκτού άλατος

Η ορυκτολογική ονομασία του ορυκτού άλατος ( $\text{NaCl}$ ) είναι αλίτης (Halite) και σχηματίζεται κυρίως από υδάτινα διαλύματα και έπειτα από εξάτμιση θαλάσσιων λεκανών (Βγενόπουλος, 2000) όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 16). Ακόμα απολιθωμένα στρώματα αλάτων σε ιζηματογενή πετρώματα και μετά την πάροδο του γεωλογικού χρόνου όπου υπέστησαν πλαστική παραμόρφωση, παραμορφώθηκαν σε διαπερατά στρώματα όπου σχηματίστηκαν μάζες από μεγάλους κρυστάλλους.



Εικόνα 16 Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού γένεσης του ορυκτού άλατος. 1. Αρχικό γεωγραφικό επίπεδο 2. Καταβύθιση και εισροή υδάτων 3. Δημιουργία λεκάνης 4. Δημιουργία ιζημάτων στο βυθό της λεκάνης 5. Εξάτμιση και δημιουργία των εβαποριτών, και καταβύθιση αυτών στο βυθό της λεκάνης  
Πηγή: Landes & Arbor, 1960.

Το ορυκτό Αλίτης ανήκει στην οικογένεια των εβαποριτών, που ονομάζονται οι αποθέσεις ορυκτών, τα οποία σχηματίστηκαν από καθίζηση αλάτων σε κλειστές θαλάσσιες ή λιμναίες περιοχές. Η μονοαξονική αντοχή σε θλίψη αναφέρεται γενικά ως μέτρια αδύναμη (Bell, 2005) αλλά έχει παρατηρηθεί η in-situ αντοχή του πετρώματος να μειώνεται στο ένα δέκατο της αντοχής του δοκιμίου και γενικά θεωρείται από τα πλέον παραμορφώσιμα ορυκτά. Ακόμα αξίζει να

αναφερθούν τα έντονα φαινόμενα ερπυσμού που παρουσιάζονται στις δομές αυτές και δύναται να ξεκινήσουν από το 20 % - 60 % της μέγιστης αντοχής του ορυκτού, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα 3.3.

Αν και όπως αναφέρει ο Goodman στο βιβλίο «Engineering Geology» (Goodman, 1993) η ύπαρξη εβαποριτών σε υπόγεια έργα μπορούν να δημιουργήσουν ακραίες καταστάσεις, ωστόσο οι μεγάλες δομές ορυκτού άλατος αποτελούν ιδανικό περιβάλλον για υπόγεια έργα. Ακόμα αναφέρει πως στα όρια του σχηματισμού είναι πιθανή η ύπαρξη οργανικού υλικού στη μορφή βιτουμινούχων και υδρογονανθράκων, υγρών ή και αερίων με τον κίνδυνο των εκρήξεων κατά την εξόρυξη.

### 3.2 Βασικές αρχές σχεδιασμού υπόγειων χώρων σε σχηματισμούς ορυκτού άλατος

Ο Langer σε έκθεση του για την εκτίμηση των αρχών ασφαλούς σχεδιασμού υπόγειων χώρων διάθεσης ραδιενεργών αποβλήτων σε δομές ορυκτού άλατος προτείνει τα ακόλουθα. Αρχικά κάθε σχεδιασμός χώρου υπόγειας διάθεσης ραδιενεργών αλλά και επικίνδυνων αποβλήτων θα χρειαστεί όπως έχει προαναφερθεί, να απομονώσει τελείως τα υλικά από το φυσικό περιβάλλον και να αποκλείσει επαρκώς κάθε σενάριο μετακίνησης ή διαρροής (Langer, 1999).

Ωστόσο παρατηρεί το εξής ενδιαφέρον στοιχείο για τις δομές ορυκτού άλατος πως η πρώτη αρχική εκτίμηση θα πρέπει να απαντάει στο ερώτημα κατά πόσο ομοιογενής είναι η μάζα του ορυκτού άλατος και πόσο αρκετά μεγάλα είναι αυτά τα ομοιογενή μέρη της μάζας. Ακόμα οι τρεις βασικές ενέργειες που χρειάζονται για την κατάλληλη επιλογή χώρου είναι :

1. Εκτίμηση των θερμομηχανικών ορίων φόρτισης<sup>2</sup> του περιβάλλοντος πετρώματος για το σχεδιασμό της χωρητικότητας
2. Καθορισμός των ασφαλών διαστάσεων του χώρου. (π.χ. άνοιγμα θαλάμων, διάμετρος σηράγγων και φρεάτων προσπέλασης κτλ.)
3. Αξιολόγηση των φραγμών και της μακροχρόνιας μελέτης ασφάλειας για την αδειοδότηση από τις αρχές.

Ακόμα τα γεωτεχνικά και γεωλογικά δεδομένα θα πρέπει να απαντούν σε ορισμένα καίρια ερωτήματα όπως:

- Ποια κριτήρια αστοχίας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για το συγκεκριμένο σχηματισμό;
- Ποιο είναι ικανή απόσταση από στρώματα άλλων σχηματισμών; (π.χ. ανυδρίτη)

---

<sup>2</sup> Στις περιπτώσεις ραδιενεργών αποβλήτων υπάρχει το φαινόμενο της θερμικής ακτινοβολίας από ορισμένα ραδιενεργά απόβλητα κατά το μακροχρόνιο στάδιο της αδρανοποίησής τους.

- Ποια είναι η αντοχή της βραχομάζας μετά από απρόσμενα περιστατικά όπως εκτίναξη πετρωμάτων (rock burst) ή ερπυστικά φαινόμενα;
- Ο σχεδιαζόμενος χώρος έχει λειτουργικό ρόλο μετά από φαινόμενα σύγκλισης ή διόγκωσης.
- Θα ήταν δυνατό να λάβουν χώρο χημικές αντιδράσεις με απρόσμενα αποτελέσματα για το περιβάλλον πέτρωμα;
- Θα μπορεί να αποφευχθεί η παραγωγή επικίνδυνων αερίων κατά την εξόρυξη ή διαλυμάτων ορυκτού άλατος;
- Διασφαλίζεται η ακεραιότητα του χώρου μετά από μακροχρόνιες αλλαγές των επί τόπου τάσεων;

Οι απαντήσεις σε αυτά τα καίρια ερωτήματα έρχονται μετά από έρευνα, πειραματικές μετρήσεις καθώς και in-situ μετρήσεις στην περιοχή έρευνας.

Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να διερευνηθούν είναι οι εξής:

- η κατανομή των τάσεων στη βραχομάζα και οι αλλαγές τους στις περιπτώσεις εξόρυξης και θερμικού φορτίου
- οι αλλαγές και οι συγκλίσεις των υπόγειων χώρων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του χώρου και πιθανού επιπλέον δυναμικού φορτίου
- η περατότητα του υπόγειου χώρου και της κοντινής περιοχής και
- η σταθερότητα και η περατότητα των υλικών επανεπίχωσης και των προστατευτικών φραγμών γενικότερα.

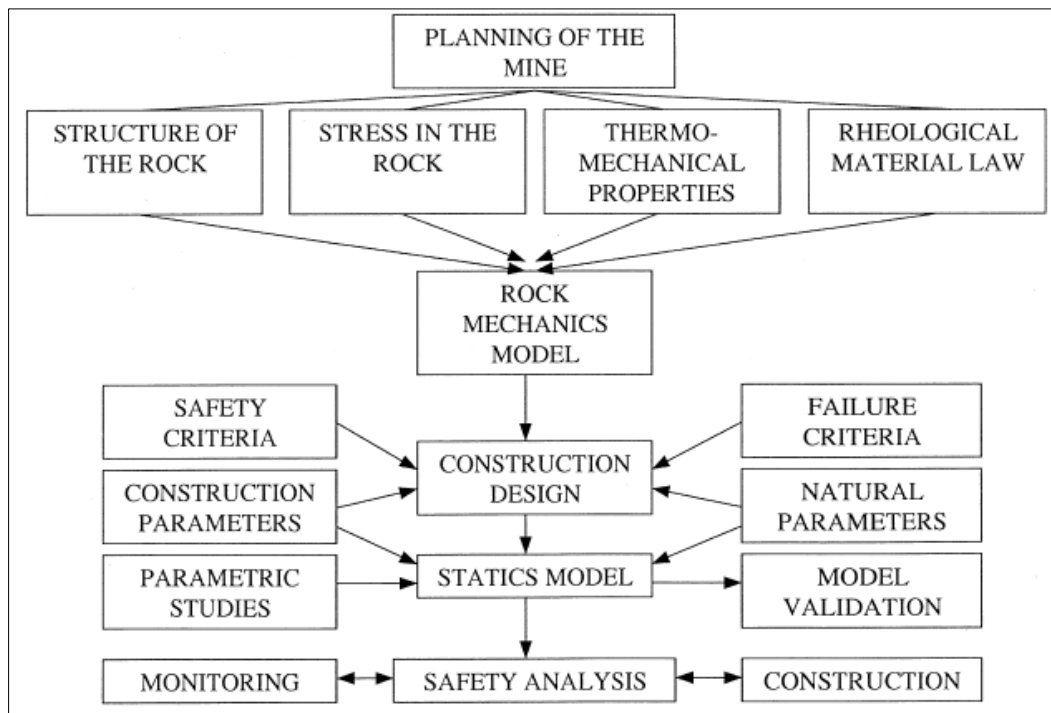
Για τον καθορισμό των τάσεων καθώς και των παραμορφώσεων που εξαρτώνται από τις τάσεις με αριθμητικές μεθόδους είναι απαραίτητη η ακριβής μέτρηση των επί τόπου αντοχών του πετρώματος καθώς και των γειτονικών σχηματισμών. Παραδείγματα μεθόδων είναι: δοκιμές επίπεδου γρύλου, δοκιμές υπερδιάτρησης, δοκιμές υδραυλικής θραύσης κ.α.

Για την αναγνώριση και τη χαρτογράφηση των ομογενών τμημάτων του ορυκτού άλατος, δύο διαδικασίες είναι δυνατές (Langer, 1999).

- Θεωρητική ανάλυση: η οποία γνωρίζοντας τη δομή του σχηματισμού μπορεί να περιγραφεί η συμπεριφορά της μάζας με βάση θεωρητικούς νόμους των υλικών. Το οποίο σημαίνει πως οι παράμετροι των μηχανικών χαρακτηριστικών του ορυκτού άλατος (χημική και ορυκτολογική σύσταση, διατάραξη της ομοιογένειας, δομή κ.α.) είναι γνωστές και μπορούν να προσομοιωθούν.
- Χαρτογράφηση: η οποία σε συνδυασμό με τη γεωλογική έρευνα και τόσο των επί τόπου όσο και των εργαστηριακών μετρήσεων, μπορεί να αποδώσει μία ολοκληρωμένη εικόνα των ομογενών τμημάτων. Αυτό χαρακτηρίζεται ως εμπειρική μέθοδος δηλαδή χαρτογράφηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της δομής.

Ο πυρήνας λοιπόν των αναλύσεων ασφάλειας σε τέτοιου είδους χώρους είναι η λειτουργία τους για μεγάλα διαστήματα και η γεωτεχνική μελέτη με τις μετρήσεις, τις πειραματικές διαδικασίες και τις αριθμητικές μεθόδους είναι το σημαντικό μέρος της βραχυπρόθεσμης ανάλυσης ασφάλειας (Langer, 1999) όπως φαίνεται στην εικόνα Εικόνα 17 και η ανάλυση της λειτουργίας των φραγμών καθώς και των λοιπών σεναρίων που αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.1 θα δώσει την μακροπρόθεσμη ανάλυση ασφάλειας του χώρου.





Εικόνα 17 Σχηματική απεικόνιση των βημάτων της γεωτεχνικής ανάλυσης για το χώρο διάθεσης. Πηγή: Langer, 1999

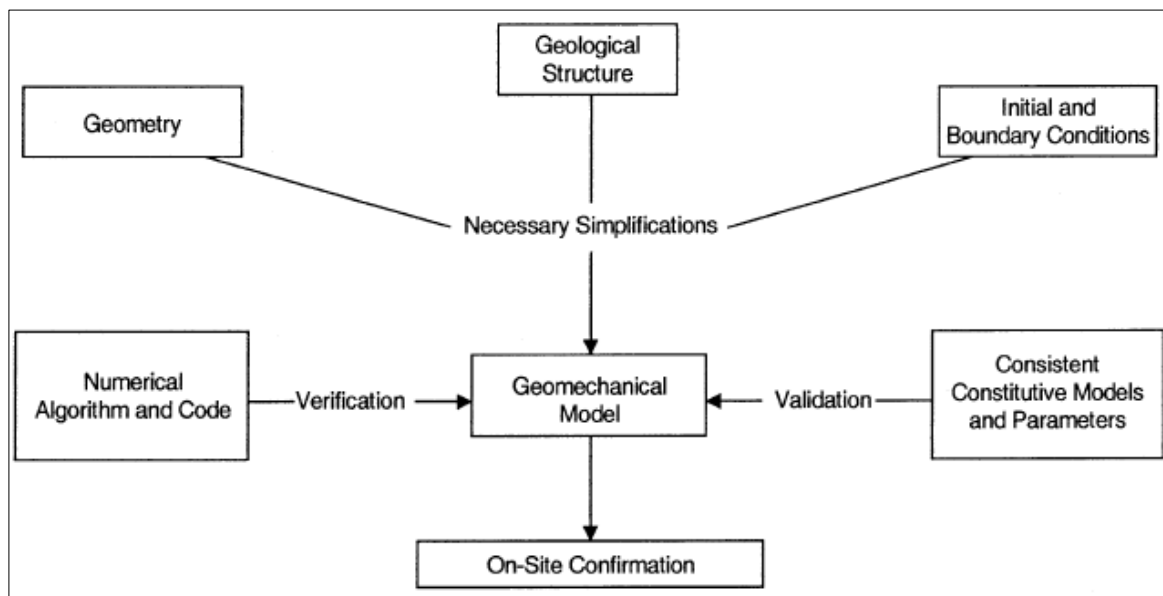
Αναφορικά με τη δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης των σχηματισμών καθώς και των ανοιγμάτων της εγκατάστασης, ο βασικός στόχος είναι η όσο το δυνατό ακριβέστερη αποτύπωση των χαρακτηριστικών του μοντέλου σε σχέση με τα πραγματικά χαρακτηριστικά (Langer & Heusermann, 2001). Έπειτα ο συνδυασμός των γεωτεχνικών παραμέτρων, των μετρήσεων καθώς και της κατασκευαστικής εμπειρίας θα δώσει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Ακόμα αναφέρεται πως επειδή η πολυπλοκότητα της γεωλογίας μιας περιοχής είναι αδύνατο να περιγραφεί λεπτομερώς, είναι επόμενο η προσομοίωση να περιέχει ένα βαθμό αβεβαιότητας. Το μοντέλο περιέχει τα εξής:

- τη γεωλογική δομή του σχηματισμού
- τους καταστατικούς νόμους που διέπουν τη συμπεριφορά του σχηματισμού
- τη γεωμετρία της εγκατάστασης

- της τάσεις καθώς και την ανάπτυξή τους με βάση το χρόνο
- θερμικά φαινόμενα (π.χ. απόβλητα που παράγουν θερμότητα, αερισμός)
- μηχανικά φαινόμενα (π.χ. επανεπίχωση)

Επίσης η διαδικασία του προγραμματισμού καθώς και της επαλήθευσης του μοντέλου παρομοίωσης θα πρέπει να ακολουθούν αυστηρές διαδικασίες όπως φαίνεται στην εικόνα και συγκεκριμένα (Langer & Heusermann, 2001):

- να γίνεται επαλήθευση της ορθότητας των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων
- να γίνεται σύγκριση αποτελεσμάτων αναλυτικών λύσεων με αριθμητικών μεθόδων και
- τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να μπορούν να συγκριθούν με πειραματικές μετρήσεις λαμβάνοντας υπόψη τον κατάλληλο καταστατικό μοντέλο αστοχίας και των οριακών συνθηκών του μοντέλου.

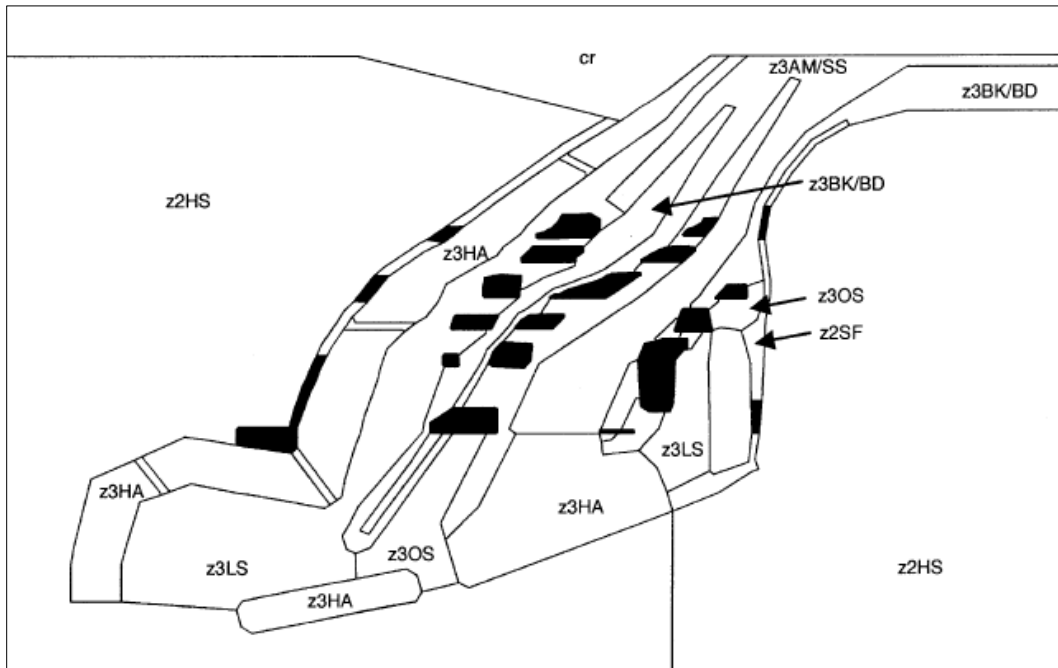


Εικόνα 18 Η επαλήθευση του μοντέλου προσομοίωσης ως ένα στάδιο της ασφαλούς κατασκευής μίας εγκατάστασης Πηγή: Langer & Heusermann, 2001

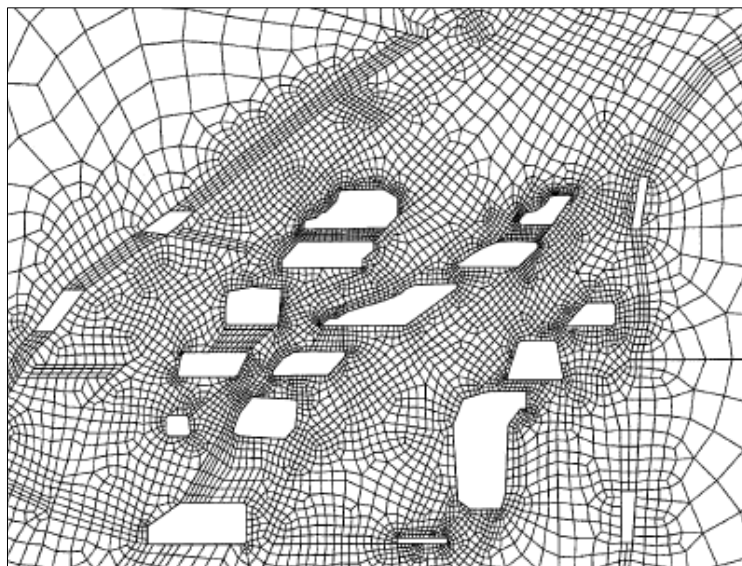
Στη συνέχεια παρατίθεται ένα παράδειγμα προσομοίωσης για ένα χώρο διάθεσης σε ένα ορυχείο ορυκτού άλατος στη Γερμανία. Ο βασικός στόχος της προσομοίωσης είναι η εξακρίβωση της ορθής επιλογής καταστατικού μοντέλου συμπεριφοράς του σχηματισμού (Langer & Heusermann, 2001). Στο παράδειγμα που ακολουθεί η αξιοπιστία της εγκατάστασης αναλύθηκε στα εξής στάδια:

- τοπικές αστοχίες του ορυκτού άλατος, και ειδικότερα των πτώσεων οροφής.
- η σταθερότητα των μεσαίου – μεγέθους χώρων της εγκατάστασης και ειδικότερα των θαλάμων και στύλων
- τη γενική σταθερότητα όλης της εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένου της επιρροής των ζωνών ρωγμάτωσης και των δυνητικών αστοχιών κοντά στους θαλάμους.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μία ενδεικτική τομή του ορυχείου ορυκτού άλατος στη Γερμανία. Η τομή αυτή χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του μοντέλου, όπου φαίνονται τα γεωλογικά στρώματα (ανυδρίτης z3HA και τα στρώματα ορυκτού άλατος: z2HS, z2SF, z3LS, z3OS, z3BK/BD, z3AM/SS) και στην εικόνα μέρος του δημιουργηθέντος μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων. Το οποίο μοντέλο είναι δύο διαστάσεων και προσομοιώνει επιφάνεια ύψους 700 m και μήκους 1000 m περιλαμβάνοντας 30.000 κόμβους (nodes).



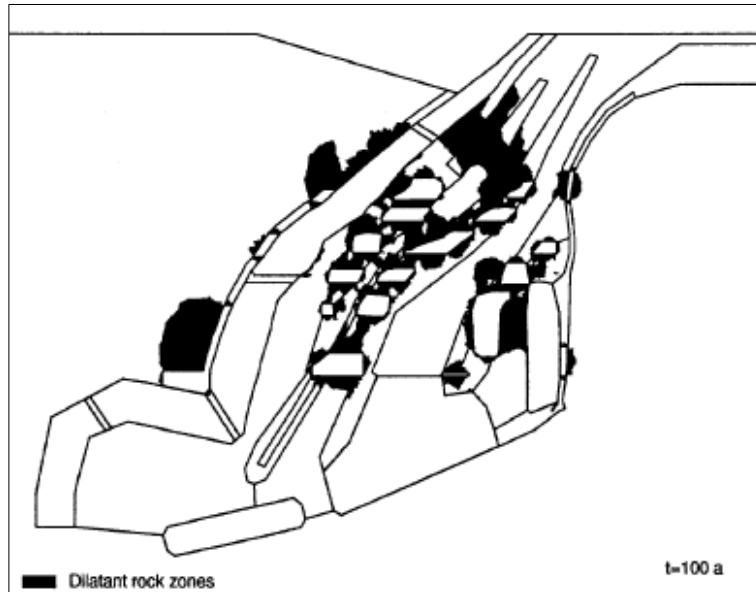
Εικόνα 19 Η γεωτεχνική τομή μέρους μίας υπόγειας εγκατάστασης διάθεσης αποβλήτων σε ορυχείο ορυκτού άλατος. Πηγή: Langer & Heusermann, 2001



Εικόνα 20 Μέρος του μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων του ορυχείου ορυκτού άλατος Πηγή: Langer & Heusermann, 2001

Οι υπολογισμοί του μοντέλου συμπεριέλαβαν την ερπυστική συμπεριφορά του ορυκτού άλατος και τα φαινόμενα διόγκωσης. Στην εικόνα φαίνονται οι περιοχές

διόγκωσης που υπολογίστηκαν σε ορίζοντα 100 χρόνων. Όπως φαίνεται και στην εικόνα η διόγκωση εμφανίζεται σε συγκεκριμένα σημεία και κυρίως στους στύλους και στην οροφή των θαλάμων καθώς και στα σημεία μεταξύ των στρωμάτων ανυδρίτη και ορυκτού άλατος.



Εικόνα 21 Οι ζώνες διόγκωσης με έντονο μαύρο χρώμα, όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο γύρω από τους θαλάμους. Πηγή: Langer & Heusermann, 2001

Οι συγκρίσεις μεταξύ των υπολογισμών του μοντέλου προσομοίωσης με τις πειραματικές μετρήσεις και τις επί τόπου παρατηρήσεις έδειξαν τα εξής:

- Η σταθερότητα των θαλάμων μεσαίας και μεγάλης κλίμακας είναι εξασφαλισμένη για το στάδιο λειτουργίας της εγκατάστασης
- Η τοπική σταθερότητα εξαρτάται από τη γεωμετρία των θαλάμων και ιδίως της οροφής αυτών.
- Η αξιοπιστία του ορυκτού άλατος ως γεωλογικού φραγμού είναι ικανοποιητική για δεκάδες χρόνια ιδίως στο άνω μέρος του σχηματισμού, ωστόσο ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις ζώνες διόγκωσης που μπορεί να οδηγήσουν σε άλλα προβλήματα.

### **3.3 Φαινόμενα ερπυσμού στους σχηματισμούς ορυκτού άλατος και διόγκωσης σε σχηματισμούς με ανυδρίτη**

#### **3.3.1 Φαινόμενα ερπυσμού στους σχηματισμούς ορυκτού άλατος**

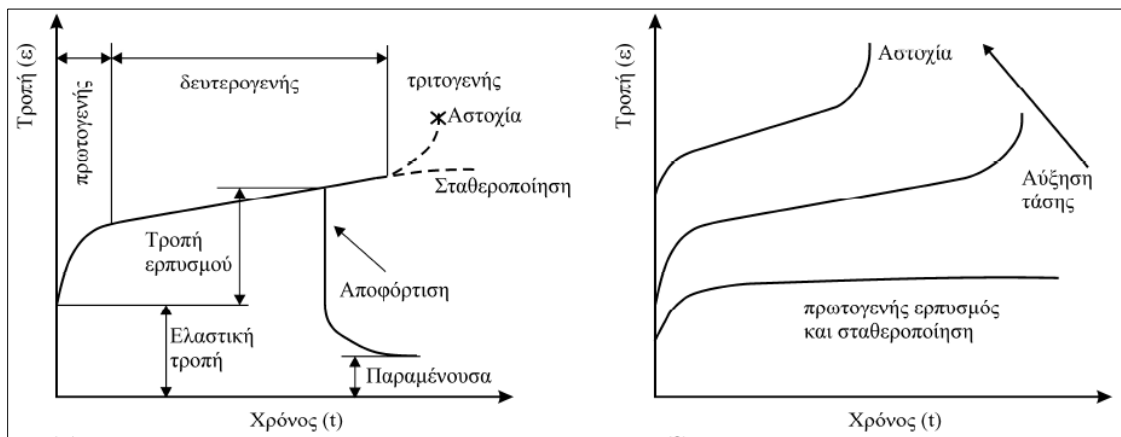
Τα περισσότερα πετρώματα εμφανίζουν κάποιας μορφής ερπυσμό, που είναι η χρονικά εξαρτημένη παραμόρφωση του πετρώματος, όταν αυτό φορτίζεται σταθερά και σε σταθερή θερμοκρασία. Πετρώματα όπως το ορυκτό άλας και άλλοι εβαπορίτες εμφανίζουν ερπυσμό σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που θα συναντηθούν σε παρόμοιες καταστάσεις όπως η κατασκευή υπόγειου χώρου (Σοφιανός & Νομικός, 2008). Είναι λοιπόν σημαντικό η ερπυστική συμπεριφορά να λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάλυση υπόγειων έργων μακροχρόνιας χρήσης, όπου τα πετρώματα μετά τη διάνοιξη θα υποβάλλονται σε περίπου σταθερά φορτία.

Για την κατανόηση των μηχανισμών που προκαλούν τον ερπυσμό ή και για την εκτίμηση των παραμέτρων υπολογισμού της ερπυστικής συμπεριφοράς τα πετρώματα υποβάλλονται σε δοκιμές στο εργαστήριο. Οι δοκιμές εξάγουν μία γενική μορφή καμπύλης τροπής χρόνου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στις δοκιμές αυτές επιβάλλεται μία ταχεία αύξηση της τάσης, η οποία στη συνέχεια παραμένει σταθερή. Ο ερπυσμός παρουσιάζεται σε τρία στάδια:

1. Πρωτογενής ή μεταβατικός ερπυσμός (primary ή transient creep). Σε ορισμένα πετρώματα ο πρωτογενής ερπυσμός προσεγγίζει ένα σταθερό ρυθμό μεταβολής της τροπής και οριοθετεί τη μετάβαση στο δευτερογενή
2. Δευτερογενή ή σταθερό ερπυσμός (secondary ή steady-state).
3. Τριτογενής ή επιταχυνόμενος ερπυσμός (tertiary ή accelerated creep). Με τη φόρτιση ενός πετρώματος πέρα από ένα όριο χαρακτηριστικό για κάθε πέτρωμα, το δευτερογενή ερπυσμό ακολουθεί ο τριτογενής που οδηγεί

σε απότομη αύξηση του ρυθμού μεταβολής της τροπής και τελικά στην αστοχία του πετρώματος.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα 3 στάδια της ερπυστικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων.

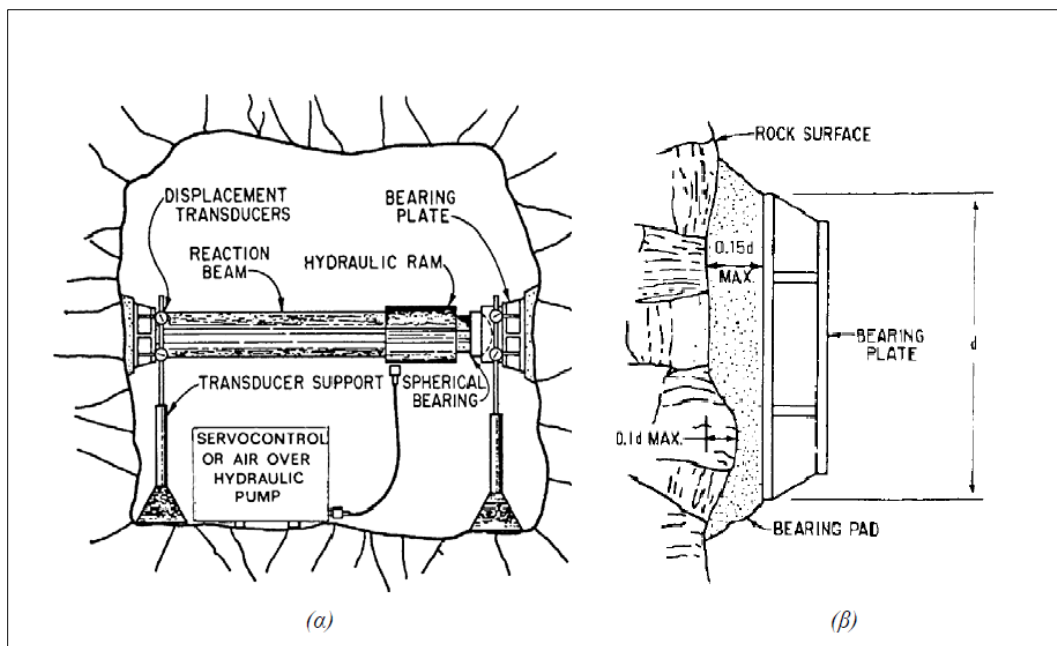


Εικόνα 22 Η δεξιά καμπύλη δείχνει την τυπική καμπύλη ερπυσμού κατά Goodman, 1989 και στα δεξιά φαίνονται οι διαφοροποιήσεις της μορφής της καμπύλης ερπυσμού με την εφαρμοζόμενη τάση. Πηγή: Σοφιανός & Νομικός, 2008

Οι τροπές που προκαλούνται λόγω ερπυσμού συνήθως δεν είναι ανακτήσιμες και η δομή του πετρώματος διαταράσσεται, ιδιαίτερα υπό εφελκυστικές τάσεις και το πέτρωμα μπορεί να οδηγηθεί στην αστοχία. Ακόμα αξίζει να σημειωθεί οι δοκιμές ερπυσμού μπορούν να παρέχουν παραμέτρους υπολογισμού για την ανάλυση των υπόγειων κατασκευών αλλά οι ιδιότητες των δοκιμών δεν αντιπροσωπεύουν της επί τόπου ιδιότητες της βραχομάζας καθώς αυτές επηρεάζονται από την παρουσία ασυνεχειών, ρηγμάτων, επιπέδων αδυναμίας κ.α.

Ωστόσο έχουν αναπτυχθεί πρότυπες δοκιμές για τον προσδιορισμό της ερπυστικής συμπεριφοράς του επιτόπου πετρώματος όπως το πρότυπο D 453-02 της ASTM (2002) με τη διάταξη που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η δοκιμή εκτελείται με την εφαρμογή φορτίου στα τοιχώματα μίας υπόγειας στοάς, μετά τη διαμόρφωσή τους ως επίπεδα και παράλληλα και το φορτίο

εφαρμόζεται στο ένα τοίχωμα μέσω πλάκας που πιέζεται από υδραυλικό έμβολο στηριζόμενο σε δοκό αντίδρασης που μεταβιβάζει τα φορτία στο άλλο τοίχωμα της στοάς. Μέσα σε ένα χρονικό διάστημα 1 min, η τιμή του φορτίου έχει αυξηθεί στην επιθυμητή τάση και καταγράφονται οι παραμορφώσεις σε διαστήματα μερικών λεπτών έως και μερικών ωρών, και στη συνέχεια σχεδιάζεται η καμπύλη παραμόρφωσης – χρόνου.



Εικόνα 23 Σχηματική απεικόνιση διάταξης για τον προσδιορισμό του ερπυσμού σε in-situ πετρώματα. Πηγή: Σοφιανός & Νομικός, 2008

Οι μηχανισμοί του ερπυσμού σχετίζονται τόσο με την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος όσο και με την κρυσταλλική του δομή και διαφέρουν ανάλογα ε το πέτρωμα και με τις συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας και άλλων εξωγενών παραγόντων. Τα ορυκτά άλατα συμπεριφέρονται συχνά ως όλκιμα υλικά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Για αυτό το λόγο εμφανίζουν έντονο πρωτογενή ερπυσμό που ακολουθείται από δευτερογενή σταθερό ερπυσμό, που εξαρτάται πάντα από τις τάσεις, τη θερμοκρασία και την υγρασία. Οι κύριοι μηχανισμοί δευτερογενούς ερπυσμού στα ορυκτά άλατα



είναι η διάλυση υπό πίεση, η ολίσθηση εκτοπίσεων και η ανάπτυξη μικρορωγμών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι μηχανισμοί αυτοί μπορεί να συμμετέχουν ταυτόχρονα, να προκαλούν διαφορετικούς ρυθμούς παραμόρφωσης και να έχουν αθροιστικό αποτέλεσμα στην μετρούμενη παραμόρφωση του πετρώματος. Οι εκτοπίσεις είναι ένας τύπος ατέλειας ή ελαττώματος του κρυσταλλικού πλέγματος και η διάλυση υπό πίεση χαρακτηρίζεται η διάλυση του υλικού στα όρια των κόκκων υπό υψηλή μέση τάση, διάχυση δια μέσω του ρευστού των διεπιφανειών των κόκκων και καθίζηση στα όρια των κόκκων σε περιοχές χαμηλής μέσης ορθής τάσης. Εννοείται η ύπαρξη ενός ελάχιστου ποσοστού υγρασίας στα όρια των κόκκων και γενικά παρατηρείται αλλαγή του σχήματος των κόκκων χωρίς εσωτερική παραμόρφωση. Είναι χαρακτηριστικό πως ο μηχανισμός αυτός αν και συμμετέχει στην παραμόρφωση του επί τόπου πετρώματος, δε θα εντοπιστεί εργαστηριακά. (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

### **3.3.2 Φαινόμενα διόγκωσης σε σχηματισμούς με ανυδρίτη**

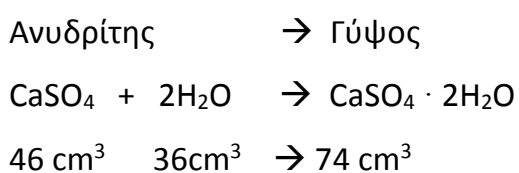
Εκτός από τον ερπυσμό στα πετρώματα υπάρχει και ο κίνδυνος της διόγκωσης, που είναι η παραμόρφωσή τους μετά την επαφή τους με το νερό. Η παραμόρφωση αυτή είναι μέρος της συνολικής παραμόρφωσης του πετρώματος και συμβαίνει εφόσον υποβληθούν αυτά σε μεταβολές της υγρασίας και υπό ορισμένες συνθήκες. Η διόγκωση έχει οδηγήσει συχνά σήραγγες σε αστοχίες και εκτός του ότι έδωσε το έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου, υπάρχει η ανάγκη να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά τη διάρκεια κατασκευής των υπογείων έργων. Για παράδειγμα έχει παρατηρηθεί η ανύψωση της περιοχής του ανάστροφου τόξου μιας σήραγγας μέχρι και 1m / μήνα ή και παραπάνω και

η διάρκεια εξέλιξης από μερικές μέρες και μέχρι περισσότερο από έναν αιώνα (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

Η αναφορά γίνεται σχετικά με τους σχηματισμούς του ανυδρίτη που όπως θα φανεί και παρακάτω είναι ως εβαπορίτης υπάρχει μεγάλη πιθανότητα σε περιοχή με κοίτασμα ορυκτού άλατος είτε να βρεθεί σε εναλλαγές με αυτό είτε να υπάρχει ως στρώμα και μέρη της εγκατάστασης να χρειαστεί να περάσουν από τέτοια στρώματα (όπως φρέατα, σήραγγες προσπέλασης κ.α.)

Η διόγκωση του πετρώματος είναι μία χρονικά εξαρτημένη αύξηση του όγκου του που εμπεριέχει φυσικοχημικές αντιδράσεις με νερό. Η διόγκωση της βραχομάζας συμβαίνει είτε λόγω διόγκωσης του άρρηκτου πετρώματος, είτε λόγω διόγκωσης του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών είτε λόγω συνδυασμού και των δύο. Συγκεκριμένα σε σχηματισμούς ανυδρίτη ο βασικός φυσικοχημικός μηχανισμός είναι η ενυδάτωση του ανυδρίτη που παράγει γύψο με μέγιστη αύξηση του όγκου περίπου στο 60%.

Το θειικό ασβέστιο απαντάται στη φύση σε δύο μορφές, ως ανυδρίτης και ως γύψος. Η ευστάθεια των δύο μορφών εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το διαθέσιμο νερό και την πίεση. Για μία πίεση 100 kPa και θερμοκρασία πάνω από τους 58 °C υπάρχει μόνο ανυδρίτης και κάτω από τους 38 °C μόνο γύψος. Μεταξύ αυτών των θερμοκρασιών δύναται να συνυπάρχουν και οι δύο μορφές, ενώ σε περιπτώσεις κάτω των 38 °C και εφόσον δε διατίθεται το απαιτούμενο νερό για την μετατροπή σε γύψο κυριαρχεί η φάση του ανυδρίτη. Η φυσικοχημική αντίδραση και οι ειδικοί όγκοι των φάσεων κατά τη μετατροπή του ανυδρίτη σε γύψο δίνονται στις παρακάτω εξισώσεις:



Ακόμα αξίζει να σημειωθεί πως στη φύση απαντώνται δύο ακραίες περιπτώσεις και συγκεκριμένα ένα ανοικτό και ένα κλειστό σύστημα ανυδρίτη – νερού. Σε ένα κλειστό χώρο που περιέχει τον ανυδρίτη και την απαιτούμενη ποσότητα νερού επιτυγχάνεται η μετατροπή του ανυδρίτη σε γύψο με μείωση του όγκου κατά 11%, κι αυτό διότι ο κρυσταλλικός γύψος έχει μικρότερο όγκο από τον ανυδρίτη μαζί με τα άλλα δύο μόρια νερού. Ενώ σε ένα όγκο πετρώματος ανυδρίτη που το απαιτούμενο νερό εισρέει μέσα από σχισμές και διακλάσεις, η μετατροπή του ανυδρίτη προκαλεί αύξηση του όγκου κατά 61%. Ο ανυδρίτης δεν μετατρέπεται άμεσα σε γύψο αλλά στην ουσία διαλύεται στο νερό και στη συνέχεια κατακρημνίζεται ως γύψος, λόγω της διαφορετικής διαλυτότητας των δύο μορφών του θειικού ασβεστίου. Ακόμα ο φυσικά απαντώμενος ανυδρίτης με πόρους επιδεικνύει αντίθετα μικρότερη αύξηση του όγκου , γιατί μόνο ο τελείως ξηρός ανυδρίτης δίχως κενά και μετά την έκθεσή του στο νερό, διογκώνεται κατά 60%. Άρα ο συμπαγής ανυδρίτης με λίγες μόνο τριχοειδείς ρωγμές πρακτικά δε διογκώνεται, ενώ αντίθετα λεπτά διαμερισμένος ανυδρίτης επιδεικνύει σημαντική διόγκωση.

### **3.4 Περιπτώσεις αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων σε υπόγειους χώρους σε δομές ορυκτού άλατος**

Στην Ευρώπη από το 19<sup>ο</sup> αιώνα και μετά υπήρξε μία άνθηση των ορυχείων άλατος και ποτάσας, που παρήγαγαν τα απαραίτητα χημικά προϊόντα της σύγχρονης βιομηχανίας και όχι μόνο. Αυτό οδήγησε αφενός στην περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας των υπόγειων εξορύξεων και αφετέρου άφησε μία μεγάλη παρακαταθήκη έτοιμων υπόγειων «κενών» χωρών για άλλη χρήση. Σε αυτά λοιπόν τα είτε εγκαταλελειμμένα πλέον ή ακόμα λειτουργικά ορυχεία έχει ξεκινήσει εδώ και δεκαετίες όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2. η ανάπτυξη υπόγειων χώρων διάθεσης αποβλήτων. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε δύο από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων χώρων σε δομές άλατος που είναι οι εγκαταστάσεις της εταιρείας Veolia του ορυχείου Minosus στην Αγγλία και οι εγκαταστάσεις της εταιρείας K+S που διαχειρίζεται το ορυχείο Herfa-Neurode στη Γερμανία.

#### **3.4.1 Minosus, Αγγλία**

Οι εγκαταστάσεις του Minosus αποτελούν μέρος του παλαιότερου εν λειτουργία ορυχείου της Αγγλίας, του Winsford Rock Salt Mine όπως αναφέρεται στο ενημερωτικό φυλλάδιο της εταιρείας Veolia (Veolia, 2014).

Αρχικά η έρευνα επικεντρώθηκε στην αναζήτηση γαιανθράκων για την ξήρανση του αναβλύζοντος μείγματος άλατος και νερού και την ανάκτηση του αλατιού. Όμως κατά τη διάρκεια της εξόρυξης ανακαλύφθηκε το κοίτασμα του ορυκτού άλατος και το 1844 ξεκίνησε η εξόρυξή του που συνεχίζεται ως και σήμερα, η οποία παραμένει μία στρατηγική δραστηριότητα μιας και η παραγωγή του

ορυχείου καλύπτει το 65% των ετήσιων αναγκών της Αγγλίας σε αλάτι που χρησιμοποιείται για το ξεπάγωμα των δρόμων κ.α.



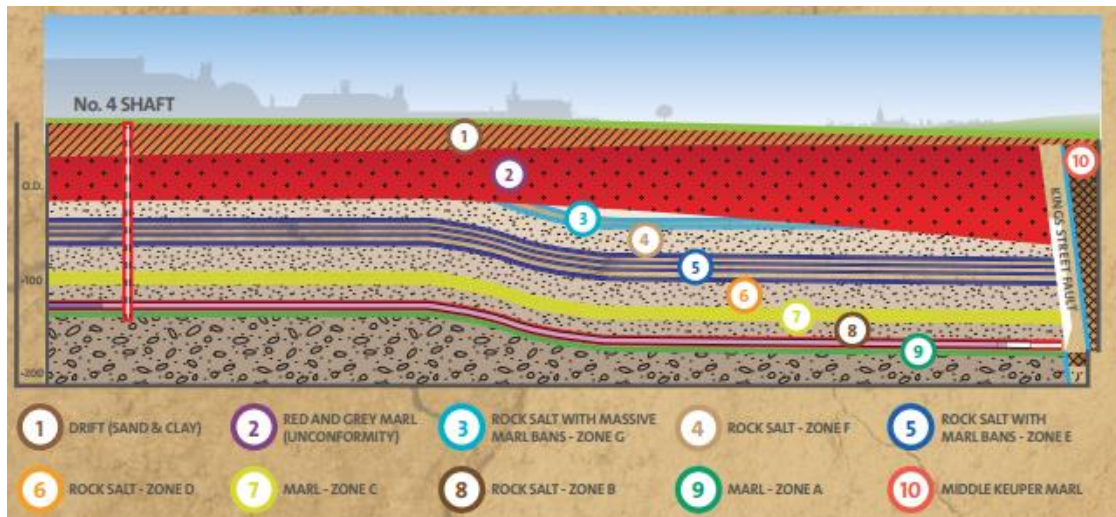
Εικόνα 24 Μέρος των εγκαταστάσεων της υπόγειας διάθεσης αποβλήτων του Minosus.  
Πηγή: Veolia, 2014

Το 1997 ξεκίνησαν μελέτες σκοπιμότητας για εναλλακτικές χρήσεις του υπόγειου «κενού» με ταυτόχρονη πάντα λειτουργία του ορυχείου άλατος. Οι συγκεκριμένες συνθήκες του ορυχείου όπως η σταθερή θερμοκρασία και η έλλειψη κινδύνων όπως πλημμύρα, υπεριώδες φως, βλαβεροί μικροοργανισμοί ήταν ιδανικές για δύο εναλλακτικές χρήσεις: την αποθήκευση αρχείων κρίσιμου ενδιαφέροντος, μεγάλης αξίας και προστασίας όπως πίνακες ζωγραφικής, ιστορικά αρχεία, αρχιτεκτονικά μοντέλα και λοιπά δεδομένα καθώς και την αποθήκευση συγκεκριμένων τύπων επικίνδυνων αποβλήτων που απαιτούν ασφαλή και μακροπρόθεσμη αποθήκευση.

Ακολούθησαν μία σειρά από μελέτες ανάλυσης κινδύνου και περιβαλλοντικών επιπτώσεων με ορίζοντα 50.000 ετών, όπως αναφέρεται από την εταιρεία, μετά το κλείσιμο της εγκατάστασης. Σήμερα μέσα στην εγκατάσταση του Winsford γίνεται η ασφαλής αποθήκευση των αρχείων σε ένα σύνολο από 3 εκατομμύρια κουτιά αρχειοθέτησης. Και ένας κενός χώρος, μικρότερος του 10% του συνολικά κενού χώρου του ορυχείου, σε βάθος 170 μέτρων, είναι διατεθειμένος στην υπόγεια αποθήκευση επικίνδυνων αποβλήτων.

## Γεωλογία της περιοχής

Η μοναδική γεωλογία της περιοχής του Chesire έχει συμβάλλει στη δημιουργία ενός αδιαπέραστου κενού χώρου. Πιο συγκεκριμένα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή του ορυχείου Winsford αποτελούνται από 4 στρώματα ορυκτού



Εικόνα 25 Η γεωλογική στρωματογραφία της περιοχής του ορυχείου Winsford.

Πηγή: Veolia, 2014

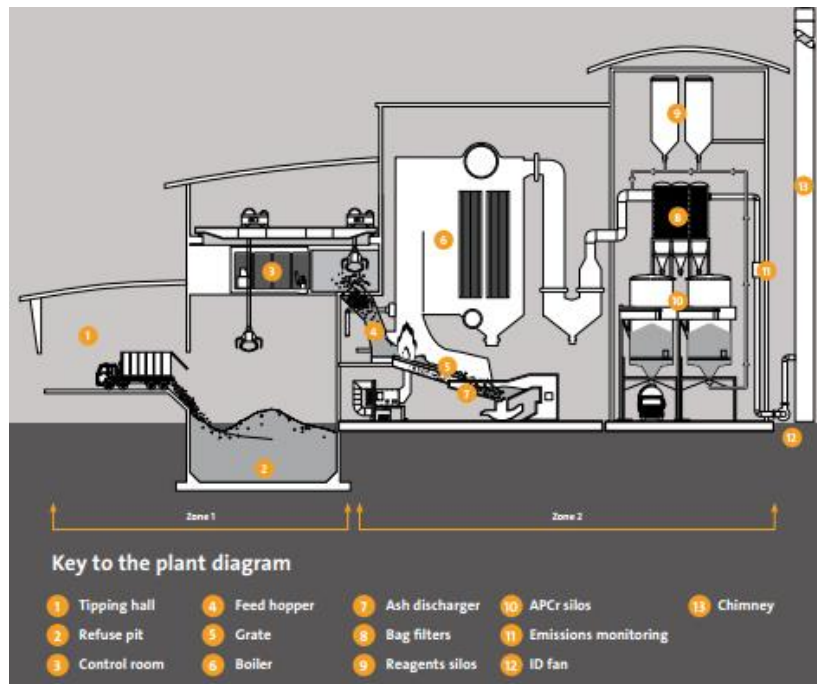
άλατος με σχηματισμούς μάργας που πλησιάζει τα χαρακτηριστικά βραχομάζας όπως φαίνεται στην Εικόνα 25.

Όπως διακρίνεται και στην εικόνα οι αλληπάλληλοι οριζοντες ορυκτού άλατος και αδιαπέρατης μάργας έχουν δημιουργήσει ένα ιδανικό περιβάλλον με την απουσία του κινδύνου αποστράγγισης επικίνδυνων ουσιών στο υπέδαφος, ένα βασικό πλεονέκτημα έναντι της επιφανειακής απόθεσης- ταφής των αποβλήτων όπου χρειάζεται η περαιτέρω απομόνωση και παρακολούθηση των στραγγισμάτων αυτών. Χαρακτηριστικό της γεωλογίας του ορυχείου είναι η οριοθέτηση αυτού ανάμεσα σε δύο ρήγματα, αυτό του King Street και του Winsford.

### *Το παρόν και το μέλλον του χώρου διάθεσης*

Ο υπόγειος χώρος αυτή τη στιγμή δέχεται επικίνδυνα απορρίμματα , τα οποία όπως αναφέρεται και στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο μιας και η Αγγλία είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι αποδεκτά σε υπόγειους χώρους. Τα κυριότερα απόβλητα προς διάθεση είναι τα κατάλοιπα από τις μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων και κατάλοιπα της διαδικασίας ανακύκλωσης μπαταριών. Η εγκατάσταση δέχεται απόβλητα σε στερεή μορφή (είτε σε κοκκώδη μορφή ή σκόνης), τα οποία δεν είναι εκρηκτικά, εύφλεκτα, πτητικά, που δεν δημιουργούν έντονες οσμές, μη – ραδιενεργά, μη – ρευστοποιήσιμα και φυσικά ουσίες που δεν αντιδρούν με τον αέρα, την υγρασία ή το αλάτι του ορυχείου. Όλα τα προς διάθεση απόβλητα συσκευάζονται και κατόπιν αποθηκεύονται με τη δυνατότητα πλήρους ιχνηλασιμότητας και προσπελασιμότητας αυτών.

Η αποτέφρωση των αστικών απορριμμάτων είναι μία διαδεδομένη πρακτική στις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης μιας και συνδυάζει τη δραστική μείωση του όγκου των απορριμμάτων με την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση αυτών. Το σχεδιάγραμμα μίας τέτοιας μονάδας φαίνεται στην εικόνα 26. Ωστόσο παρά την εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής, τα προβλήματα της διάθεσης των επικίνδυνων υπολειμμάτων της διαδικασίας (στάχτη και στερεά υπολείμματα από την διαδικασία φιλτραρίσματος των καπναερίων των μονάδων αυτών) παραμένουν και η καλύτερη μέχρι τώρα πρακτική είναι η υπόγεια αποθήκευση σε χώρους όπως οι εγκαταστάσεις του Minosus.



Εικόνα 26 Το σχεδιάγραμμα με τη διαδικασία αποτέφρωσης των αστικών απορριμμάτων

Πηγή: Veolia, 2014

Καθώς το ορυχείο όπως αναφέρθηκε και παραπάνω συνεχίζει τη λειτουργία με την παραγωγή του ορυκτού άλατος να φτάνει ετησίως περίπου το 1 εκατομμύριο τόνους, ένα σύνολο περίπου 500.000 τετραγωνικών μέτρων προστίθεται στον κενό χώρο του ορυχείου. Τα υπολογιζόμενα αποθέματα του κοιτάσματος επαρκούν για τη λειτουργία του ορυχείου για 50 έως και 70 χρόνια οπότε ο προς διάθεση χώρος αναμένεται να αυξηθεί εάν συνυπολογιστεί και το γεγονός ότι τώρα χρησιμοποιείται λιγότερο από το 10% του διαθέσιμου χώρου. Η ανάπτυξη του ορυχείου φαίνεται στην Εικόνα 27 με την αρμονική συνύπαρξη στο ορυχείο της εξορυκτικής δραστηριότητας με αυτή της διάθεσης αποβλήτων.





Εικόνα 27 Η ανάπτυξη του ορυχείου Winsford. Στο τμήμα T (με κόκκινο περίγραμμα) είναι η περιοχή αποθήκευσης των επικίνδυνων αποβλήτων (Waste Storage Area)  
Πηγή: Veolia, 2014

### 3.4.2 Herfa Neurode, Γερμανία

Το ορυχείο Herfa – Neurode στην περιοχή Hesse της Γερμανίας είναι ο πρώτος χώρος υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων παγκοσμίως που η λειτουργία του ξεκινά το 1972. Στη θέση των παλιών ορυχείων ορυκτού άλατος και στα ανοίγματα αυτών αποφασίστηκε η μακροπρόθεσμη διάθεση των αποβλήτων που συνεχίζεται έως τις μέρες μας. Στο ενημερωτικό φυλλάδιο της K+S Group, που διαχειρίζεται πλέον τις εγκαταστάσεις παραθέτονται όλες οι διαδικασίες της υπόγειας διάθεσης και όχι μόνο, μιας και η εταιρεία ασχολείται και με την ανακύκλωση και αδρανοποίηση επικίνδυνων ουσιών καθώς και την χρησιμοποίηση αποβλήτων για τη στήριξη των παλιών ανοιγμάτων, μία μέθοδος

γνωστή και ως «backfilling» που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω. (K+S Entsorgung GmbH, 2016)



Εικόνα 28 Μέρος των υπόγειων εγκαταστάσεων του Herfa-Neurode, στο βάθος διακρίνεται πλινθοδομή για την απομόνωση των αποβλήτων.  
Πηγή: K+S Entsorgung GmbH, 2016

Το πρώην ορυχείο ορυκτού άλατος, το μεγαλύτερο του είδους παγκοσμίως καθώς και μία σειρά άλλων ανενεργών ορυχείων ποτάσας στην περιοχή της Saxony - Anhalt αποτελούν πλέον ένα δίκτυο χώρων διάθεσης επικινδύνων αποβλήτων που διαχειρίζεται η εταιρεία, με συνέχιση ωστόσο ενός εκ των βασικών αντικειμένων της, την παραγωγή λιπασμάτων και άλλων αλατούχων προϊόντων από τα ενεργά της ορυχεία.

Ανάμεσα στους πελάτες του κλάδου της διάθεσης αποβλήτων παραθέτονται η χημική και μεταλλουργική βιομηχανία καθώς και φαρμακευτικές, πετροχημικές εταιρείες και παραγωγής ηλεκτρισμού και φυσικά δημόσιες υπηρεσίες και αρχές συγκέντρωσης και επεξεργασίας απορριμμάτων.

Στο αρχικό στάδιο συγκέντρωσης των αποβλήτων γίνονται οι απαραίτητες δοκιμές και έλεγχοι όσον αφορά τα εξής χαρακτηριστικά:

- τις τιμές του pH
- της τοξικότητας
- της υγρασίας και
- το ποσοστό αδρομερής σκόνης που τυχόν περιέχεται στα απόβλητα

και αναλόγως επιλέγεται η κατάλληλη επεξεργασία μιας και η εταιρεία διαθέτει κατάλληλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων ή οδεύουν τα απόβλητα προς αποθήκευση στον υπόγειο χώρο. Πριν από το τελικό στάδιο απόθεσης, επιλέγεται η συσκευασία των αποβλήτων που γίνεται σε χαλύβδινα βαρέλια, κυτία ή και σάκους όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 29.).

Οι υπόγειοι χώροι διάθεσης βρίσκονται μεταξύ 500 και 800 μέτρων κάτω από την επιφάνεια σε ένα στρώμα άλατος πάχους 300 μέτρων, απομονωμένοι από το περιβάλλον της βιόσφαιρας με τη βοήθεια στρωμάτων αργίλου που προσφέρουν και την στεγανότητα από τον υδροφόρο ορίζοντα, έχει υπολογιστεί πως το στρώμα του ορυκτού άλατος έχει μείνει σε αυτή τη θέση ανέπαφο τα τελευταία 240 εκατομμύρια χρόνια (Kaliampakos et al., 2006). Εκτός των άλλων, το βραχώδες υπόστρωμα προσφέρει και την απαραίτητη ασφάλεια έναντι τεκτονικών κινήσεων ή ακόμα και σεισμικών φαινομένων.



Εικόνα 29 Μέρος των υπόγειων εγκαταστάσεων της Herfa-Neurode που διακρίνονται οι διακριτοί θάλαμοι απόθεσης και οι διαφορετικές συσκευασίες των αποβλήτων.

Πηγή: K+S Entsorgung GmbH, 2016

Η οργάνωση της υπόγειας εγκατάστασης δεν διαφέρει και πολύ σε σχέση με μία μονάδα αποθήκευσης, όπου το κάθε υλικό είναι εντοπίσιμο και τηρείται αρχείο με δείγματα του υλικού όπως αναφέρθηκε και στον αντίστοιχο χώρο του Minosus της Αγγλίας. Προσθετικά των φυσικών φραγμών, εφαρμόζονται και τεχνητοί φραγμοί όπως οι συσκευασίες των αποβλήτων που αναφέρθηκε παραπάνω καθώς και τοίχοι από πλινθοδομή που οριοθετούν και απομονώνουν τα διαφορετικά υλικά σε ξεχωριστούς χώρους όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 30 & Εικόνα 31).





Εικόνα 30 Χαρακτηριστικοί πλινθοδομή της εγκατάστασης που θα σφραγίσει για καιρό τα επικίνδυνα απόβλητα Πηγή: K+S Entsorgung GmbH, 2016



Εικόνα 31 Εργασίες κατασκευής της πλινθοδομής από εξειδικευμένο προσωπικό της εταιρείας. Πηγή: K+S Entsorgung GmbH, 2016

Η υπόγεια εγκατάσταση Herfa-Neurode δέχεται ετησίως 240.000 τόνους αποβλήτων ενώ στην εγκατάσταση του Zielitz που λειτουργεί η εταιρεία από το 1995 ο όγκος των αποβλήτων φτάνει τους 90.000 τόνους ετησίως. Συνολικά ήδη 3.000.000 τόνοι επικίνδυνων αποβλήτων έχουν διατεθεί στους συγκεκριμένους χώρους και ακόμα άλλη μία μικρότερη εγκατάσταση στο Zielitz μπορεί να δεχθεί άλλα 2.000.000 τόνους αποβλήτων. Είναι φανερές οι προσπάθειες της εταιρείας να πετύχει οικονομίες κλίμακας, κάτι που θα οδηγήσει σε μεγαλύτερο κέρδος. Το 30% των αποβλήτων που δέχεται η εγκατάσταση προέρχεται από την γειτονική περιοχή του Hessen, το 50% από άλλα ομοσπονδιακά γερμανικά κρατίδια και ένα ποσοστό της τάξης του 20% προέρχεται από εισαγωγές αποβλήτων χωρών της Δυτικής Ευρώπης (Kaliampakos et al., 2006). Η ταξινόμηση των αποβλήτων με βάση την πηγή καθώς και το ποσοστό της κάθε κατηγορίας είναι τα εξής:

- κατάλοιπα φίλτρων από μονάδες αποτέφρωσης σε ποσοστό 30 %
- κατάλοιπα κατασκευών (μπάζα) και εξόρυξης από κατεδαφίσεις και ανακαινίσεις σε ποσοστό 25%
- κατάλοιπα μεταλλουργικής βιομηχανίας σε ποσοστό 20%
- κατάλοιπα της χημικής βιομηχανίας σε ποσοστό 20 % και
- υλικά από την βιομηχανία ηλεκτρικών ειδών σε ποσοστό 5%.

Όλοι οι χώροι της εταιρείας έχουν χαρακτηριστεί κλάσης IV, δηλαδή την ασφαλέστερη δυνατή πιστοποίηση υπόγειου χώρου, η διαχείριση των αποβλήτων γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα του DIN EN ISO 9001 και έχουν γίνει μελέτες μακροπρόθεσμων περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η εταιρεία λειτουργεί και δύο ορυχεία στην περιοχή του Hannover για την παραγωγή προϊόντων άλατος για τη βιομηχανία

και κυρίως για τη βιομηχανία δευτερογενής παραγωγής του αλουμινίου δηλαδή από τη διαδικασία ανακύκλωσης του. Η εταιρεία προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο πακέτο λύσεων εκτός από την παροχή των απαραίτητων μιγμάτων για τη βιομηχανία αλουμινίου προσφέρει και τη δυνατότητα επανακύκλωσης αυτών των προϊόντων καθώς και την τελική διάθεση όλων των παραπροϊόντων της μεταλλουργικής διαδικασίας όπως τις εναπομείναντες σκόνες από τα φίλτρα και τους σφαιρόμυλους («ball mills»). Ειδικά αυτές οι σκόνες χρησιμοποιούνται για τη σφράγιση των εναπομεινάντων μεταλλευτικών ανοιγμάτων με σκοπό την ενίσχυση της ασφάλειας συνολικά του υπόγειου χώρου. Στο ορυχείο εφαρμόστηκε ευρέως η μεταλλευτική μέθοδος θαλάμων και στύλων ωστόσο επειδή σε ορισμένα σημεία δεν ανταποκρίνονται οι συντελεστές ασφαλείας στα σημερινά δεδομένα λόγω της νέας χρήσης της εγκατάστασης, επιλέχθηκε η διαδικασία επανεπίχωσης ή «backfilling» και στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο τρόπος που εφαρμόζεται η τελική διάθεση των αποβλήτων αφού έχουν θαφτεί με αλάτι.

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εξοικονόμηση υλικών για την βελτιστοποίηση της ασφαλείας του χώρου. Αναλόγως τις ιδιότητες του περιβάλλοντος πετρώματος στη θέση που θα γίνει η επανεπίχωση επιλέγεται και ο κατάλληλος τρόπος ή ακόμα είναι δυνατόν να αλλάξουν οι αναλογίες των αποβλήτων. Για παράδειγμα σε θαλάμους 3-4 μέτρων όπως φαίνεται και στην Εικόνα 32 το μίγμα των αποβλήτων θα μπει σε μεγάλους σάκους και θα στοιβαχτεί μέχρι την οροφή του θαλάμου. Το επιπλέον αλάτι που θα «θάψει» τα υλικά θα προσφέρει και την απαραίτητη επαφή με την οροφή για την ανάληψη των φορτίων.



Εικόνα 32 Εργασίες επανεπίχωσης “backfilling” σε χώρο της εγκατάστασης. Όπως φαίνεται στην εικόνα το αλάτι είναι χύδην στο πάτωμα και ο χειριστής με το μηχάνημα «θάβει» τους σάκους με τα απόβλητα ενώ στο βάθος διακρίνονται οι ήδη θαμμένοι σάκοι και η επαφή του αλατιού με την οροφή του θαλάμου.

Πηγή: K+S Entsorgung GmbH, 2016

Ακόμα σε επιφανειακές εγκαταστάσεις κατασκευάζονται ειδικά μίγματα των αποβλήτων με σκοπό την αύξηση της συνοχής και αντοχής τους. Τέλος σε μεγάλα ανοίγματα μπορεί να διατεθούν τα μίγματα αυτά και με αντλίες.



## **4 Η περίπτωση υπόγειου χώρου διάθεσης αποβλήτων σε δομή ορυκτού άλατος στο Μονολίθι Ιωαννίνων**

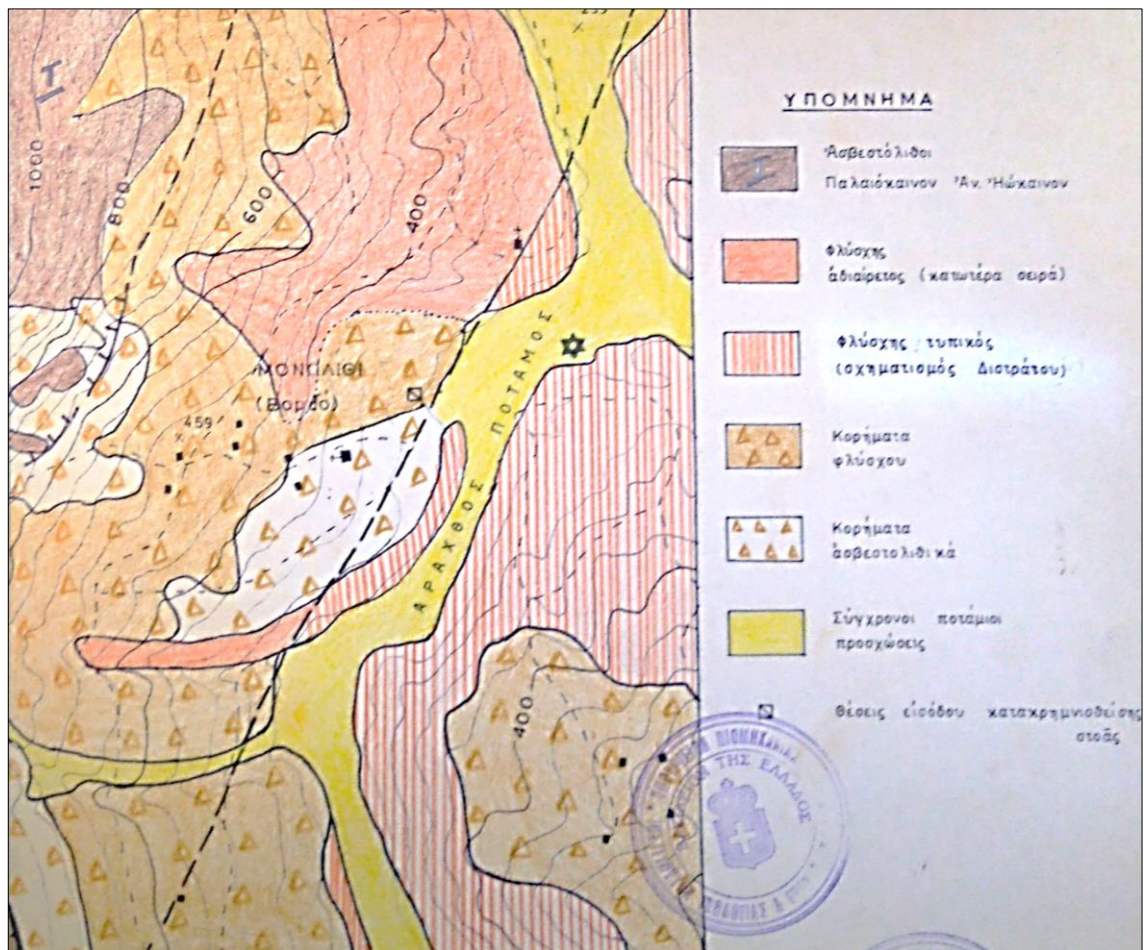
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η προσπάθεια μίας πρώτης θεώρησης της κατασκευής του πρώτου μαζικού υπόγειου χώρου διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων στην Ελλάδα σε δομή ορυκτού άλατος στην περιοχή Μονολίθι. Το κοίτασμα του ορυκτού άλατος που ερευνήθηκε συστηματικά στα μέσα της δεκαετίας του 1970 από το παράρτημα του Ι.Γ.Μ.Ε. στην Πρέβεζα πήρε το όνομα από τον παρακείμενο χωριό, το οποίο βρίσκεται νοτιοανατολικά της πόλης των Ιωαννίνων.

Είναι ανάγκη να αποσαφηνιστεί εξ' αρχής πως κάθε μελέτη παρόμοιων εγκαταστάσεων πρέπει να εντάσσεται σε ένα γενικότερο πλαίσιο στρατηγικής διαχείρισης αποβλήτων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται κατά το μέγιστο βαθμό τόσο η ανάγκη υλοποίησης του έργου όσο και η μακροχρόνια οικονομική του βιωσιμότητα.

### **4.1 Ιστορικό ερευνών της περιοχής και η γεωλογία της**

#### **4.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία**

Το ορυκτό αλάτι στην περιοχή Μονολίθι Ιωαννίνων (Βορδών) είναι γνωστό από τον 19ο αιώνα και οι κάτοικοι της περιοχής εκμεταλλεύτηκαν κατά καιρούς μικρές ποσότητες. Πληροφορίες αναφέρουν στοά μήκους 25-30 μέτρων , η οποία εντοπίστηκε στην περιοχή ερευνητικής γεωτρήσεως, η οποία όμως έχει κατακρημνισθεί και καλυφθεί κατά τη διάρκεια κατολισθήσεων που συνέβησαν στην περιοχή το 1917 και 1931.

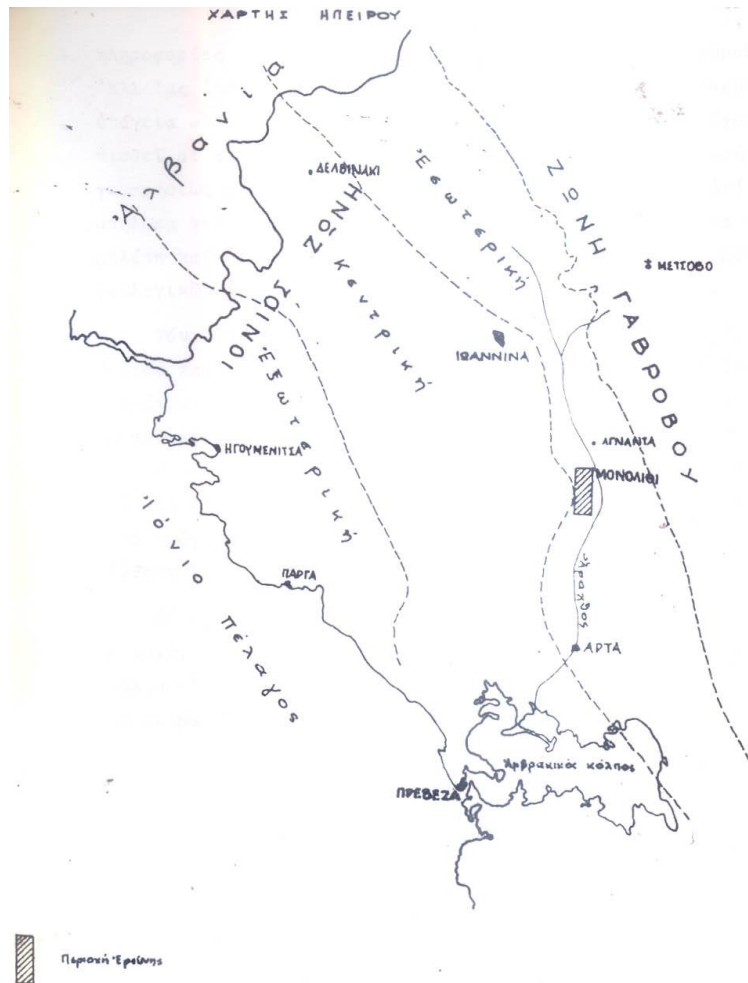


Εικόνα 33 Χαρακτηριστική λεπτομερής γεωλογική αποτύπωση της περιοχής του χωριού Μονολιθίου από τους Ε. Σανογατ και Δ. Μονοπώλην. Έχει σημειωθεί και η θέση εισόδου της στοάς. Πηγή: Παπανικολάου, 1978

Η περιοχή όπως ήταν φυσικό προσέλκυσε το ερευνητικό ενδιαφέρον και κατά καιρούς πραγματοποιήθηκαν διάφορες αναγνωριστικές επισκέψεις. Στα τέλη του Σεπτεμβρίου 1976 άρχισε η συστηματική έρευνα της περιοχής Μονολιθίου με χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:20.000. Με βάση τα αποτελέσματα της γεωλογικής χαρτογράφησης προτάθηκε και κατόπιν έγκρισης άρχισε να εφαρμόζεται από τα τέλη του Νοεμβρίου του 1976 ερευνητικό πρόγραμμα γεωτρήσεων (Παπασταύρου, 1978).

Παράλληλα των εκτελούμενων γεωτρήσεων πραγματοποιήθηκαν κατά καιρούς αναγνωριστικές διαδρομές από τους Σ. Παπασταυρου και Κ. Μανάκο με σκοπό τον εντοπισμό παρόμοιων θέσεων με το Μονολίθι. Η ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης και του νοτίου τμήματος οδήγησε στη χαρτογράφηση των περιοχών προς Πλατανούσα και Ροδαυγή. Από αυτή τη γεωλογική αποτύπωση προέκυψε και ο εντοπισμός της ενδιαφέρουσας θέσης «Καρυδέα».

Το Σεπτέμβριο του 1977 άρχισαν με μεγάλη καθυστέρηση οι εργασίες γεωφυσικής έρευνας στην περιοχή και αυτός είναι ο λόγος που προηγήθηκε η γεωλογική χαρτογράφηση και το γεωτρητικό πρόγραμμα έναντι της γεωφυσικής διασκόπησης. Παρακάτω γίνεται εκτενέστερη αναφορά στις εργασίες και τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας.



Εικόνα 34 Χάρτης της Ηπείρου όπου με σκιαγραφημένο τμήμα είναι η περιοχή έρευνας του Ι.Γ.Μ.Ε. Πηγή: Μωραϊτης, 2005

#### 4.1.2 Η οικονομοτεχνική αξιολόγηση του Ι.Γ.Μ.Ε. του κοιτάσματος ορυκτού άλατος

Το 1978 εκπονείται από τους Μ. Μαρκούλη και Κ. Κατσιάβαλου μια πρόδρομος οικονομοτεχνική μελέτη για τις δυνατότητες αξιοποίησης του ορυκτού άλατος στην περιοχή Μονολίθι της Ηπείρου. Αυτό έγινε διότι λόγω της αυξανόμενης εγχώριας κατανάλωσης αλατιού (NaCl) ήταν απαραίτητη η αξιοποίηση

οποιασδήποτε εγχώριας πηγής όπως χαρακτηριστικά αναφέρει η μελέτη (Μαρκούλη & Κατσιάβαλου, 1978).

Με βάση λοιπόν τα συμπεράσματα της μελέτης και στα πλαίσια της παρούσας εργασίας τα ενδιαφέροντα στοιχεία είναι τα εξής:

1. Η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος σε NaCl είναι 80%. (Σημειώνεται στη μελέτη πως η διεθνής πρακτική τότε όσον αφορά την οριακή περιεκτικότητα ήταν 88% και συγκεκριμένα για τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις 95%.
2. Η προτεινόμενη μέθοδος εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ήταν υπόγεια και συγκεκριμένα η μεταλλευτική μέθοδος θαλάμων και στύλων κάτι που όπως αναφέρεται θα μείωνε κατά 25-30 % τα απολήψιμα αποθέματα λόγω των απομεινάντων στύλων υποστήριξης. Η υπαίθρια εκμετάλλευση δεν συνίστατο λόγω των γεωμορφολογικών και κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής καθώς και λόγω της γειννίασης με τον ποταμό Άραχθο. Αν και όπως αναφέρεται η μέγιστη τιμή σχέσης πάχους άλατος και υπερκειμένων 1:5 θεωρήθηκε ευνοϊκή.

Ακόμα η τρίτη μέθοδος της επί τόπου διαλυτοποίησης δεν κρίθηκε επαρκής λόγω της ανάγκης ύπαρξης του κοιτάσματος σε μεγάλα βάθη (ελάχιστο όριο σχέσης υπερκειμένων προς ορυκτού άλατος 40:1 – μέχρι 50:1) και της ανάγκης αρκετής ποσότητας νερού για τη διαλυτοποίηση του ορυκτού άλατος σε μορφή κορεσμένης άλμης.

3. Το υπολογιζόμενο κόστος παραγωγής του ορυκτού άλατος υπολογίστηκε στις 320 δρχ./τόνο όταν οι υπαίθριες αλυκές είχαν τότε κόστος παραγωγής 317 δρχ./τόνο χωρίς όμως να υπολογίζεται στην περίπτωση της εξόρυξης η μεταφορά και η περαιτέρω επεξεργασία.

4. Ακόμα στην μελέτη γίνεται ειδική αναφορά για το παράπλευρο επιπλέον όφελος δημιουργίας ασφαλών υπόγειων χώρων και διάφορους άλλους σκοπούς όπως στρατιωτικούς, αποθήκευσης πετρελαίου κ.α.

Η τελική πρόταση της μελέτης περιλάμβανε περαιτέρω διερεύνηση της περίπτωσης. Ωστόσο η χαμηλή περιεκτικότητα του κοιτάσματος σε NaCl και η τότε προγραμματιζόμενη αύξηση της παραγωγής των αλυκών της χώρας με μέση περιεκτικότητα το 92% (κάτι που θα μείωνε περαιτέρω το κόστος παραγωγής από τις αλυκές) δεν άφηνε πολλά περιθώρια για την οικονομική αξιοποίηση του κοιτάσματος.

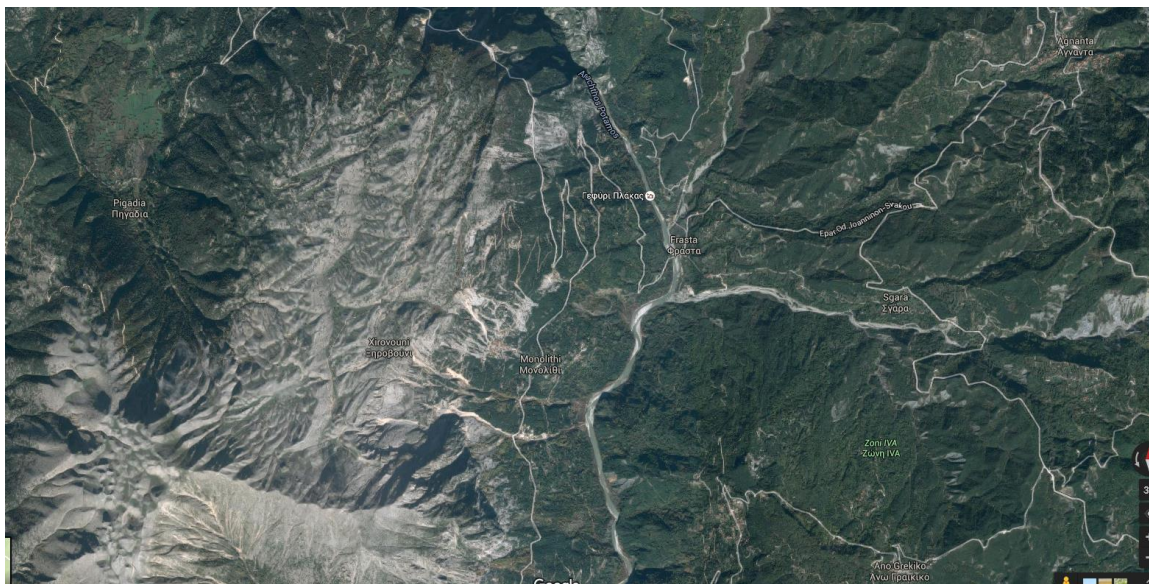


## 4.2 Γεωφυσική έρευνα

### 4.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Το φθινόπωρο του 1977 εκτελείται γεωφυσική αναγνωριστική έρευνα που διήρκησε 80 ημέρες από το Ι.Γ.Μ.Ε. και συγκεκριμένα από τον κ. Νικ. Γ. Παπανικολάου (Παπανικολάου, 1978).

Η έρευνα έλαβε χώρα σε δύο συγκεκριμένες περιοχές της Κεντρικής Ηπείρου, στο Μονολίθι Ιωαννίνων και την Καρυδέα Άρτας σε απόσταση 45 και 55 km. Αντίστοιχα νότια – νοτιοανατολικά της πόλης των Ιωαννίνων.



Εικόνα 35 Η περιοχή έρευνας του Ι.Γ.Μ.Ε. Πηγή: Χάρτες Google

Στην πρώτη περιοχή, στο Μονολίθι, η έρευνα έγινε πάνω από γνωστό κοίτασμα ορυκτού άλατος με σκοπό να διαπιστωθεί η παρουσία του στο υπέδαφος. Σε συνδυασμό με τη γεωτρητική έρευνα θα έδινε τη δυνατότητα της εκτίμησης των αποθεμάτων του κοιτάσματος και την περιχαράκωση των ορίων του με τον ταχύτερο και οικονομικότερο τρόπο.

Στη δεύτερη περιοχή, στην Καρυδέα η έρευνα έπρεπε να γίνει για την επιβεβαίωση πιθανού κοιτάσματος λόγω των προβλέψεων των γεωλόγων με βάση γεωλογικά δεδομένα, τα οποία είναι ίδια και στις δύο αναφερθείσες περιοχές.

Η γεωφυσική έρευνα που έγινε περιλάμβανε εφαρμογή 4 μεθόδων και με τη σειρά που εφαρμόστηκαν είναι:

1. Η γεωηλεκτρική μέθοδος αντίστασης με βυθομετρήσεις
2. Η γεωηλεκτρική μέθοδος με χαρτογράφηση
3. Η γεωμαγνητική έρευνα και
4. Η βαρυτική έρευνα.

Αποτελέσματα αυτών είναι 22 συνολικά γεωηλεκτρικές βυθομετρήσεις, γεωηλεκτρική χαρτογράφηση έκτασης 220 στρεμμάτων και με τη μέθοδο της βαρύτητας έκταση 160 στρεμμάτων με πυκνό δίκτυο (25 X 50) και δύο τομές βαρύτητας συνολικού μήκους 1700 m περίπου και τρεις γεωμαγνητικές τομές συνολικού μήκους 1800 m περίπου.

Η γεωφυσική έρευνα βασίζεται στις αντιθέσεις των ιδιοτήτων του κοιτάσματος με αυτές του περιβάλλοντός του. Το περιβάλλον του ορυκτού άλατος στην προκειμένη περίπτωση είναι ο φλύσχης. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με ορισμένες ιδιότητες του ορυκτού άλατος και άλλων ορυκτών και πετρωμάτων που αποτελούν το περιβάλλον του κοιτάσματος (φλύσχης), όπως ο γύψος, ο ανυδρίτης, η άργιλος, η μάργα, ο ψαμμίτης και ο ασβεστόλιθος. Οι ιδιότητες αυτές είναι : η πυκνότητα ( $\delta$ ), ο συντελεστής μαγνήτισης (K), η ταχύτητα διάδοσης επιμήκων σεισμικών κυμάτων (V) και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ( $\rho$ ).

Στον παρακάτω πίνακα Πίνακας 15 παρατηρείται ότι ορισμένα ορυκτά δεν παρουσιάζουν αντίθεση στις ιδιότητες τους και συνεπώς δεν είναι δυνατόν να

120



διακριθούν βάσει τη γεωφυσικής έρευνας όπως συμβαίνει στο γύψο, το ορυκτό αλάτι και τον ανυδρίτη και η έρευνα προχωράει με βάση τις γεωτρήσεις.

Ακόμα με τη μέθοδο της βαρύτητας είναι δυνατόν να διακριθούν τα τρία πρώτα ορυκτά από τα πέντε πετρώματα και μέσα στο φλύσχη λόγω των πιθανών βαρυτικών ανωμαλιών που θα προκαλέσουν και αναλόγως εφαρμόζεται η μαγνητική και γεωηλεκτρική μέθοδος. Βασική σημείωση της έρευνας είναι πως ο επιτυχής εντοπισμός του ορυκτού άλατος στο υπέδαφος εξαρτάται απόλυτα από την ύπαρξη αντιθέσεων των ιδιοτήτων μεταξύ του κοιτάσματος και του περιβάλλοντός του.

Πίνακας 15 Γεωφυσικές ιδιότητες του ορυκτού άλατος και των περιβαλλόντων ορυκτών και πετρωμάτων. Πηγή: Παπανικολάου, 1978

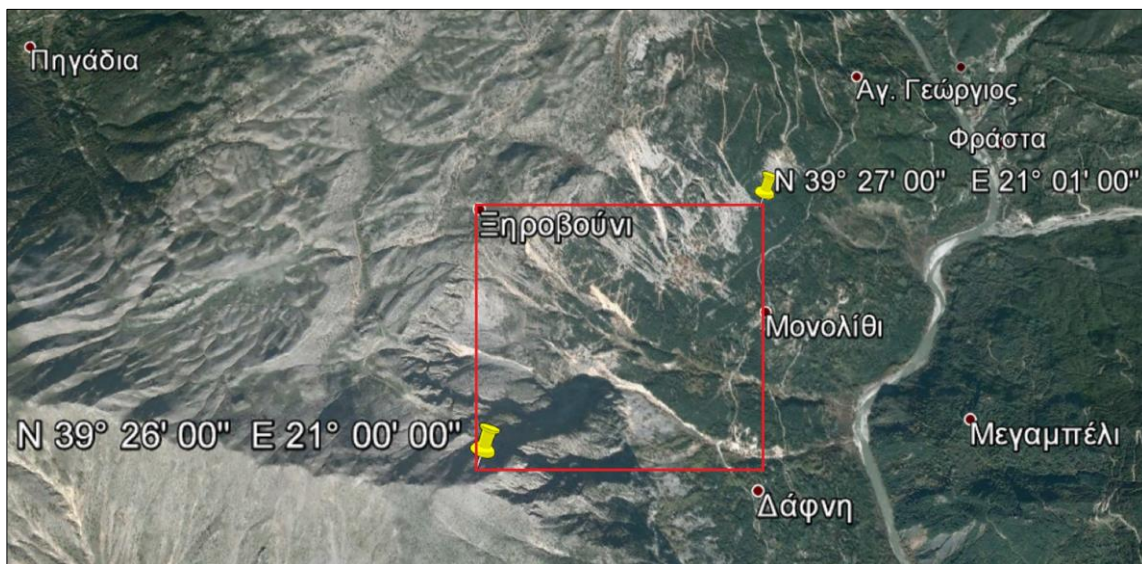
	$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )	K (10 <sup>-6</sup> uCGS)	V (m/sec)	$\rho$ ( $\Omega$ m)
<b>Ορυκτό αλάτι</b>	2.12 – 2.25	-1	4500 - 5500	$3 \times 10^3 - 1 \times 10^7$
<b>Γύψος</b>	2.14 – 2.24	-1	5000 - 6000	$3 \times 10^3 - 1 \times 10^7$
<b>Ανυδρίτης</b>	2.14 – 2.24	-1	5000 - 6000	$3 \times 10^3 - 1 \times 10^7$
<b>Άργιλος</b>	2.15 – 2.46	20 - 40	2000 – 2200	$1 - 5 \times 10^1$
<b>Μάργα</b>	2.12 – 2.57	40 – 50	2100 – 2600	$5 \times 10^{-1} - 7 \times 10^0$
<b>Ψαμμίτης</b>	2.35 – 2.72	-	2200 – 3000	$6 \times 10^1 - 1 \times 10^6$
<b>Ασβεστόλιθος</b>	2.45 – 2.84	4 - 70	4000 - 6000	$10 - 1 \times 10^8$
<b>Κροκαλοπαγή</b>	2.35 – 2.53	-	-	$1 \times 10^5 - 2 \times 10^5$

#### 4.2.2 Θέση έρευνας και τοπογραφία περιοχής

Όπως έχει αναφερθεί οι περιοχές που έγιναν οι έρευνες είναι δύο: το Μονολίθι και η Καρυδέα και στην πλαίσια της παρούσας εργασίας θα εξεταστεί μόνο η περιοχή του Μονολιθίου κυρίως λόγω της ύπαρξης περισσότερων και ακριβέστερων στοιχείων.

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο αυτής της έρευνας είναι η έντονη τοπογραφική ανωμαλία που παρατηρείται στην περιοχή με τη μέση κλίση του εδάφους να είναι μεγαλύτερη από 50 %. Αυτό σε συνδυασμό με την πυκνή βλάστηση της περιοχής από δέντρα και αγκαθωτούς θάμνους έκανε ιδιαίτερα δυσχερή την κίνηση των οργάνων. Ακόμα άλλο ένα πρόβλημα ήταν η έλλειψη χάρτη με την απαιτούμενη κλίμακα και το συνεργείο εργάστηκε με χάρτη κλίμακας 1:10.000 που είχε προκύψει όμως από φωτομεγέθυνση χάρτη κλίμακας 1:50.000, κάτι που ως γνωστό προκαλεί παραμόρφωση που αυξάνεται από το κέντρο της εικόνας προς τα περιθώρια.

Το σημείο εκκίνησης της γεωφυσικής έρευνας είναι το χωριό Μονολίθι και συγκεκριμένα η θέση Αλμύρες που βρίσκεται στη δυτική όχθη του Άραχθου με γεωγραφικό πλάτος  $39^{\circ} 26' \text{ έως } 27'$  και μήκος  $21^{\circ} 00' \text{ έως } 01' 400 \mu.$  βόρεια της εκκλησίας του χωριού και 1 χλμ. νοτιοδυτικά του γεφυριού της Πλάκας στον Άραχθο που συνέδεε τα Ιωάννινα με τα Άγναντα.



Εικόνα 36 Η περιοχή της έρευνας με κόκκινο περίγραμμα με βάση τις συντεταγμένες της έκθεσης του Ι.Γ.Μ.Ε. Πηγή: Google Earth

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως σε αυτή την γεωφυσική έρευνα και συγκεκριμένα στην παράθεση της γεωλογίας της περιοχής αναφέρεται η διχογνωμία των γεωλόγων όσον αφορά το μηχανισμό γένεσης του ορυκτού άλατος.

Κατά την πρώτη, μέσα στο παχύ στρώμα του φλύσχη διακρίνεται μία αργιλοψαμμιτική διάπλαση πάχους 200 m περίπου η οποία είναι αλατούχος , γυψούχος και ασφαλτούχος . Το ορυκτό αλάτι αποτελεί άσπρες κηλίδες μέσα σε αυτή τη μάζα και σχηματίστηκε από την αποξήρανση λιμνοθάλασσας.

Κατά τη δεύτερη άποψη, το ορυκτό αλάτι συνδέεται με το σύστημα ρηγμάτων που έχει διεύθυνση Α-Δ και το οποίο ανέβηκε μέσα από τα ρήγματα με τη διαδικασία του διαπυρισμού, διέσχισε το φλύσχη και τα ανερχόμενα τμήματα του πλησίασαν στην επιφάνεια με τη βοήθεια της διάβρωσης. Σε αυτή την περίπτωση αναφέρεται πως είναι δυνατό εκτός του ορυκτού άλατος να υπάρχει παρουσία γύψου και ανυδρίτη.

#### **4.2.3 Συμπεράσματα γεωφυσικής έρευνας**

Τα συμπεράσματα, στα οποία κατέληξε η γεωφυσική έρευνα είναι τα εξής με βασική πρόταση την περαιτέρω έρευνα:

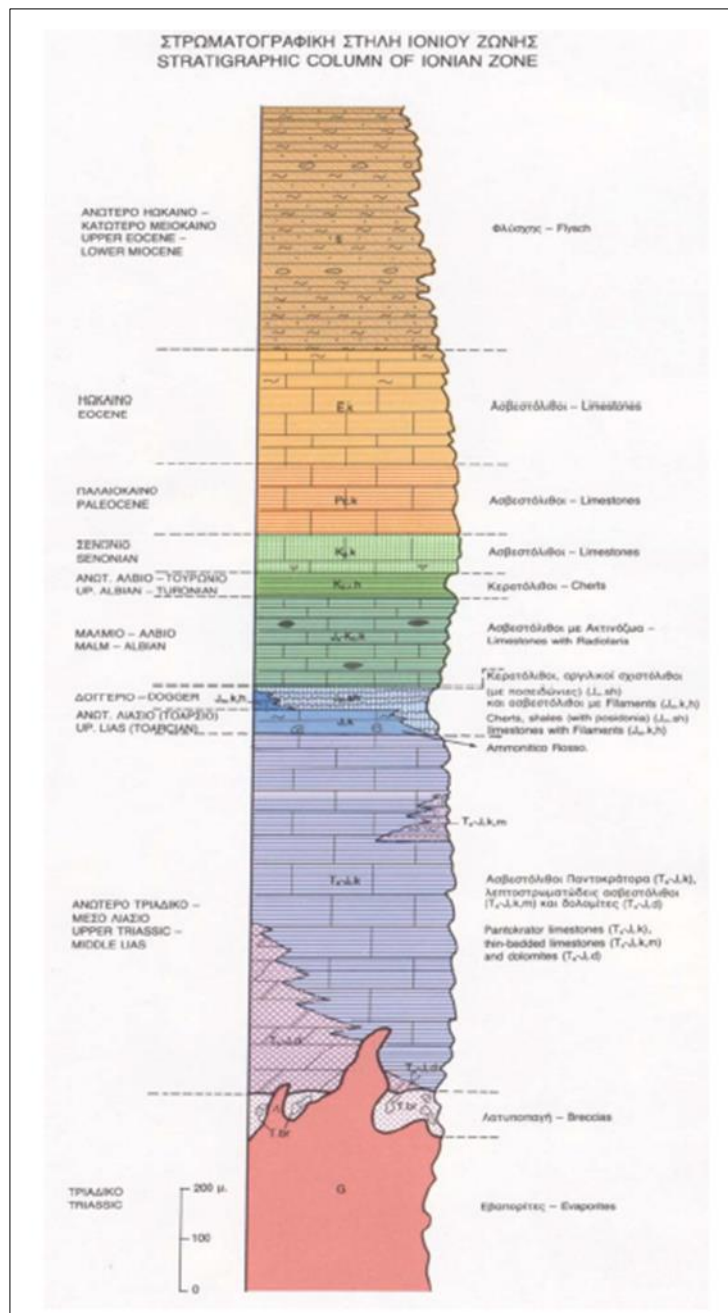
1. Η τεκτονική της περιοχής χαρακτηρίζεται ως έντονη και πολύπλοκη. Επισημάνθηκαν ρήγματα μη ορατά κλιμακωτά με διεύθυνση Β – Ν, όπως και ρήγματα με κάθετη διεύθυνση προς τα προηγούμενα δηλαδή Α – Δ με μεγάλο ύψος πηδήματος καθώς και ρήγμα με βορειοανατολική διεύθυνση.

2. Το πάχος του φλύσχη στην έκταση που ερευνήθηκε ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες μέτρα, το οποίο παρουσιάζει και διακύμανση από σημείο σε σημείο λόγω της πολύπλοκης και έντονης διαταραχής που υπέστη.
3. Η μεγάλη οριζόντια διάσταση (μήκος) του κοιτάσματος του ορυκτού άλατος αναμένεται να έχει διεύθυνση ΝΔ – Δ στην έκταση που ερευνήθηκε.
4. Η μικρή οριζόντια διάσταση (πλάτος) του κοιτάσματος αναμένεται να έχει κυμαινόμενο πλάτος με πολλές και έντονες εγκολπώσεις κυρίως προς το Βορρά.
5. Ακόμα στα πλαίσια της διεξαχθείσας έρευνας και λόγω της παρουσίας κάποιων γεωφυσικών ανωμαλιών που παρατηρήθηκαν προτάθηκε η διενέργεια γεωτρήσεων σε ορισμένα σημεία προκειμένου να διαπιστωθούν τα αίτια αυτών.

## 4.3 Γεωλογία, στρωματογραφία και τεκτονική της περιοχής

### 4.3.1 Στρωματογραφία

Η περιοχή ανήκει στην Αδριατικοϊόνιο Ζώνη ή όπως αναφέρεται συχνά και εν συντομία «Ιόνιος Ζώνη». Στο βιβλίο «Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας» του Δ. Μουντράκη περιγράφονται τα όρια της ζώνης αυτής που εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής παραλίας της Ηπειρωτικής Ελλάδας με διεύθυνση Β-Ν και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, την Ακαρνανία, τμήματα των Ιονίων νήσων και τη Δυτική Πελοπόννησο. Αναφορικά με τη λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της περιοχής και συγκεκριμένα για τα στρώματα που αφορούν την περιοχή έρευνας, η ζώνη αυτή αναφέρεται ότι συγκροτείται αποκλειστικά από Αλπικά ιζηματογενή πετρώματα (Μουντράκης, 2010), και ως πρώτα αλπικά ιζήματα θεωρούνται οι εβαπορίτες, οι αποθέσεις δηλαδή άλατος και γύψου όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα Εικόνα 37. Από γεωτρήσεις υπολογίσθηκε το πάχος αυτών των στρωμάτων των εβαποριτών περίπου στα 1500 m κάτι που οδηγεί στο συμπέρασμα πως η περαιτέρω έρευνα των περιοχών της Ιονίου Ζώνης ενδέχεται να οριοθετήσει και άλλους χώρους για παρόμοιες εφαρμογές διάθεσης αποβλήτων.



Εικόνα 37 Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης από Φ. Βόνιτσα, έκδοσης ΙΓΜΕ. Πηγή: Νικολάου, 2010

Ακόμα όπως αναφέρει ο Μουντράκης, παρουσιάζει παλαιογεωγραφικό ενδιαφέρον το θέμα του σχηματισμού των εβαποριτών. Συγκεκριμένα έχουν προταθεί δύο εξηγήσεις για το μηχανισμό γένεσης αυτών και όπου στην μεν πρώτη κυριαρχεί το μοντέλο των ρηχών λιμνών που τροφοδοτούνταν από τη

θάλασσα και η δεύτερη των κλειστών λιμνών – λεκανών που τροφοδοτούνταν από ποταμούς που προέρχονταν από περιοχές με αλατούχα πετρώματα. Και στις δύο περιπτώσεις η εξάτμιση αυτών των λιμνών οδήγησε στο σχηματισμό των κοιτασμάτων των εβαποριτών.

Γίνεται όμως και αναφορά (Μουντράκης, 2010) και για τις περιπτώσεις όπως αυτής του Μονολιθίου όπου τα κοιτάσματα αυτά βρίσκονται και ενδιάμεσα των νεότερων της Ζώνης (Κρητιδικά δηλαδή ασβεστόλιθοι «Βίγλας» και Ηωκαινικά) με το μηχανισμό του διαφυρισμού. Δηλαδή της επίδρασης της θερμότητας που αναπτύσσεται λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας και των υψηλών πιέσεων που ασκούνται στο βάθος με αποτέλεσμα να αποκτά το κοίτασμα ικανότητες ροής και να αποκτά τη δευτερογενή θέση του πιθανότατα δια μέσου ρηγμάτων.







### 4.3.2 Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έρευνας είναι οι εξής:

#### 1. Ορυκτό αλάτι , γύψος και ανυδρίτης

Πρόκειται για ορυκτό αλάτι σύστασης NaCl , λεπτοκρυσταλλικού, λευκού έως υπόλευκου. Σποραδικά παρουσιάζονται και αδρομερέστεροι κρύσταλλοι.

Ο γύψος και ο ανυδρίτης παρουσιάζονται σε μορφή ταινιών μέσα στο σώμα του NaCl ή σε μορφή επικαλυμμάτων του άλατος. Σε ορισμένες θέσεις (ΒΒΑ του χωριού Μονολίθι σε απόσταση 500 περίπου μέτρων , στη δυτική όχθη του Άραχθου) παρουσιάζεται στην επιφάνεια υπολειμματική αδροκρυσταλλική , αρενιτική γύψος και ανυδρίτης. Ο χρωματισμός της γύψου και του ανυδρίτη κυμαίνεται μεταξύ λευκού και μαύρου. Τυπική παρουσιάζεται η λεπτοστρωσιγενής υφή της γύψου. Κατά θέσεις παρατηρείται ελαιώδης αφή και έντονη δυσάρεστη οσμή πιθανώς από οργανικά υπολείμματα.

#### 2. Ασβεστόλιθοι σχηματισμού « Βίγλας»

Οι τυπικά υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι του σχηματισμού της Βίγλας παρουσιάζονται κυρίως μόνο στο νότιο τμήμα της χαρτογραφηθείσας περιοχής. Ακόμα παρατηρήθηκε και καταγράφηκε ο ορίζοντας φωσφοριτών, μία επιβεβαίωση της ύπαρξης του φωσφορικού ορίζοντα στην εσωτερική Ιόνιο Υποζώνη.

#### 3. Ασβεστόλιθος του Ανώτερου Σενωνίου

Ο γνωστός σχηματισμός με ανακρυσταλλωμένους , καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους, θραύσματα ρουδιστών και γαστεροπόδων και παρεμβολές λατυποπαγούς τύπου (αδρο- και μικρολατυποπαγής) παρουσιάζεται στο δυτικό τμήμα της χαρτογραφηθείσας περιοχής και καταλαμβάνει αρκετά μεγάλη κλίμακα.

#### 4. Ασβεστόλιθος του Ηωκαίνου

Οι γνωστοί λεπτοπλακώδεις , υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι (στα ανώτερα τμήματα με NUMMULITES και ALVAEOLINA) παρουσιάζονται και αυτοί στα δυτικά περιθώρια της περιοχής και καταλαμβάνουν μεγάλη επιφάνεια ιδιαίτερα προς την περιοχή Ροδαυγής και στο βόρειο τμήμα της περιοχής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο στα δυτικά του χωριού Μονολίθι όσο και νότια του χωριού Καλαρρύτες στην κοίτη του Άραχθου παρατηρήθηκαν ίχνη αλλά και καθαρή άσφαλτος . Στη δεύτερη περίπτωση πρόκειται για ζώνη πάχους περίπου 3,5 μέτρων ισχυρού εμποτισμού με άσφαλτο, τμημάτων της οροφής του ασβεστόλιθου του Ηωκαίνου.

Μεταξύ του ασβεστόλιθου του Ηωκαίνου και του φλύσχη παρατηρείται ζώνη μετάβασης, της οποίας το πάχος κυμαίνεται από μερικά μέτρα μέχρι 150 μέτρα. Στην εν λόγω ζώνη μετέχουν λεπτοπλακώδεις – λεπτοστρωματώδεις υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι (κίτρινοι, καφεκίτρινοι, κεραμιδί), μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (με NUMMULITES και ALVAELINA) που αποτελούν περισσότερο παραλλαγή του τυπικού ασβεστόλιθου του Ηωκαίνου και πρασινόφαιες μάργες και άργιλοι σε εναλλαγή με τράπεζες (30 cm – 1,5 m) λεπτόκοκκου – μεσόκοκκου, φαιου – φαιοπράσινου ψαμμίτη)

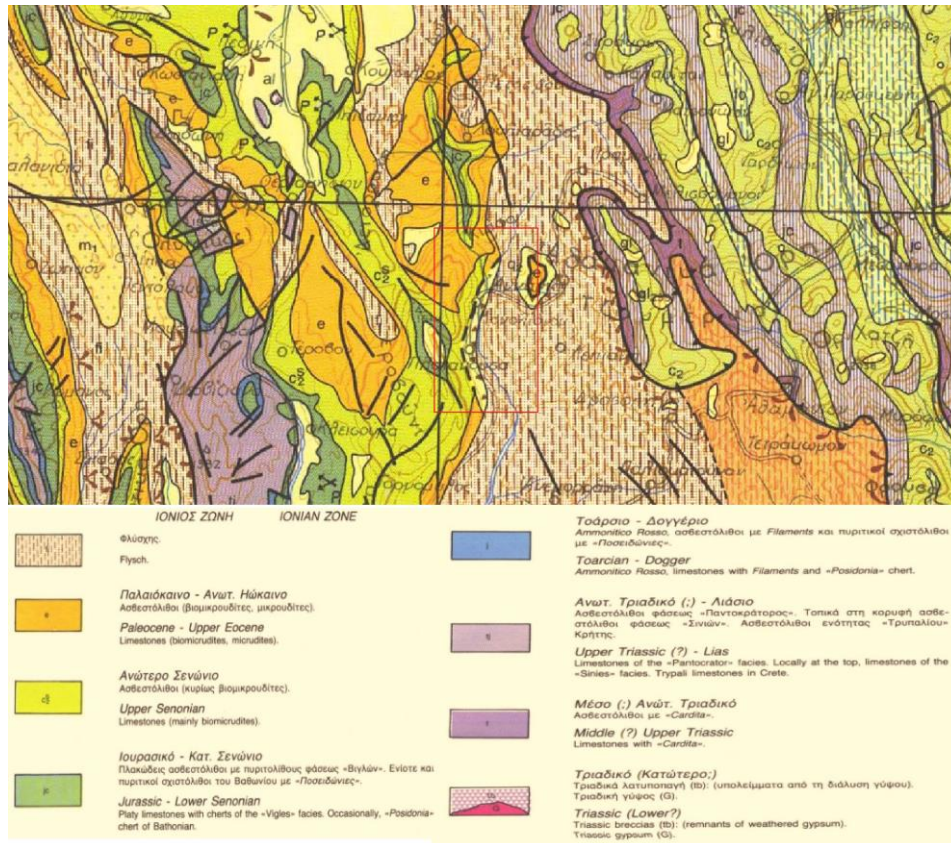
#### 5. Φλύσχη

Στη χαρτογραφηθείσα περιοχή μετέχουν μόνο τα τμήματα της βάσεως του φλύσχη. Η μεταβατική ζώνη από τον ασβεστόλιθο του Ηώκαινου παρουσιάζεται σε πάχος 15 – 30 μέτρων. Ακολουθεί ο τυπικός φλύσχη, που στην προκειμένη περίπτωση ανήκει στο γνωστό σχηματισμό μαργών του Αράχθου. Πρόκειται για κλασικά υλικά , αργλικής κυρίως σύστασης. Πετρολογικοί τύποι που συμμετέχουν εκτός της φαιοπράσινης –γκρι πράσινης αργίλου, είναι αργιλομάργες, μάργες και μεσόκοκκοι – λεπτόκοκκοι γλαυκονιτικοί ψαμμίτες.

Η συμμετοχή του ψαμμιτικού υλικού αυξάνει από το υποκείμενο προς υπερκείμενο μέχρι του σχηματισμού «ψαμμίτες της Ανεμοράχης», όπου επικρατεί σχεδόν πλήρως.

Η διάπλαση του φλύσχη είναι τυπική κοντά στο σώμα του εβαπορίτη. Πιο συγκεκριμένα δεν παρατηρείται η χαρακτηριστική λεπτοστρωσιγενής υφή στα αργιλικά και αργιλομαργαϊκά τμήματα, είναι της περισσότερες φορές εμποτισμένος με γύψο, ανυδρίτη, ή ορυκτό αλάτι, κατακερματισμένος (υλικό πληρώσεως των ρηξιγενών επιφανειών γαλακτόχρους ασβεστίτης) και γενικά μοιάζει με τον τυπικό σχηματισμό «HASELGEBIRGE» αλπικού γεωσυγκλίνου.

Μέσα στο φλύσχη και ειδικότερα στα τμήματα της βάσης του παρουσιάζεται στην περιοχή Αγίου Γεωργίου / Μονολιθίου) συνιζηματογενής και συμπτυχωμένος ασβεστόλιθος με NUMMULITES και ALVEOLINA. Γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα πρώτα τουλάχιστον 40 – 50 μέτρα του σχηματισμού του φλύσχη ανήκουν στο Ηώκαινο.



Εικόνα 39 Απόσπασμα από το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:500.000. Με κόκκινο περίγραμμα εντοπίζεται η περιοχή του Μονολιθίου. Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε.

### 4.3.3 Τεκτονική

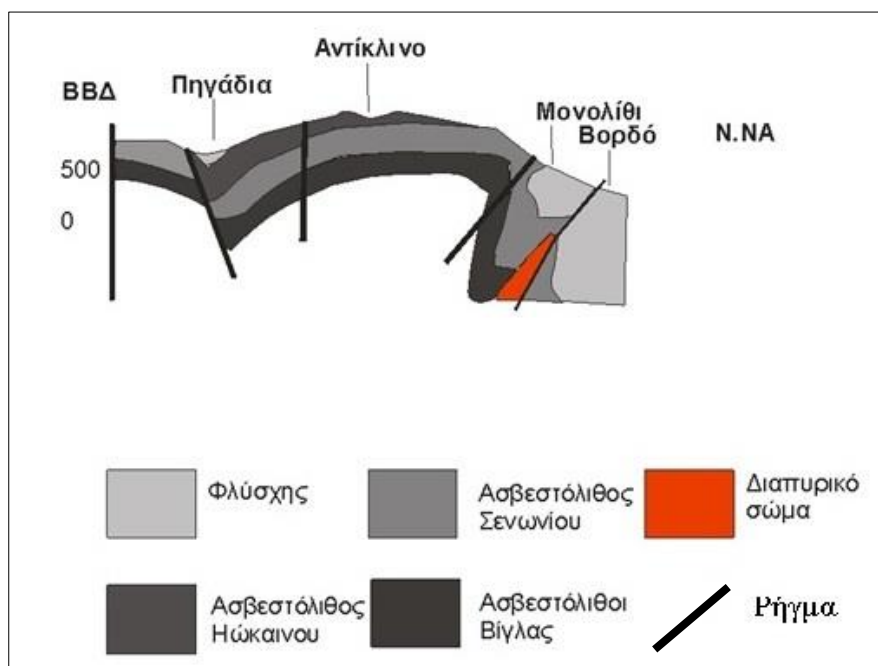
Όλο το εν λόγω χαρτογραφημένο τμήμα καταλαμβάνει μέρος του ανατολικού περιθωρίου του αντικλινορίου του Ξηροβουνίου (ανατολική πτέρυγα του αντίκλινου του Αράχθου).

Στο νότιο τμήμα (προς Αμμότοπο) το αντίκλινο παρουσιάζεται με άξονα Β κυρίως κατά τη διεύθυνση Β-N έως ΒΒΑ-ΝΝΔ, στην περιοχή Μονολιθίου κάμπτεται προς Β-ΒΒΔ, υφίσταται αναδίπλωση στην περιοχή Μονολίθι και βορειότερα προς την Κλεισούρα με αποτέλεσμα την παρουσία σχεδόν ανεστραμμένης σειράς και ταυτόχρονα έντονης διάρρηξης.

Η κύρια διάρρηξη πραγματοποιείται κυρίως από συζυγία bc ρηγμάτων (B-N) και η τελική διαμόρφωση συμπληρώνεται από ac και διαγώνια ρήγματα, που προκαλούν και σχετικές μετατοπίσεις με εντονότερες στην περιοχή μεταξύ Πλατανούσας και Μονολιθίου.

Στην περιοχή Φανερωμένης (στα νότια της περιοχής) παρατηρείται εφίπλευση των ασβεστόλιθων του Ηώκαινου και του Ανώτερου Σενωνίου επί του φλύσχη.

Σύμπτυξη και βύθιση του αντίκλινου του Αράχθου λόγω ρήξης παρατηρείται στην περιοχή της Πλατανούσας-Μονολιθίου με εμφανή τα ίχνη στολίδωσης, τόσο στον ασβεστόλιθο του Ηώκαινου όσο και στο φλύσχη (δυτικά του Μονολιθίου και στην περιοχή Πλάκας / Γέφυρας του Αράχθου).



Εικόνα 40 Σχηματική απεικόνιση του αντίκλινου και της θέσης του κοιτάσματος.  
Πηγή: Μωραΐτης, 2005

Η έντονη πτύχωση και ο ακόμη εντονότερος κατακερματισμός της ανατολικής πτέρυγας του αντίκλινου συντελούν στην ύπαρξη των προϋποθέσεων για την άνοδο του διαπυρρικού σώματος κοντά στην επιφάνεια. Ωστόσο η διαπυρρική

άνοδος του εβαπορίτη που προφανώς επανεργοποίησε και παλιές ρηξιγενείς επιφάνειες και με αυτόν τον τρόπο επιδείνωσε τον κατακερματισμό της ανατολικής πτέρυγας του αντίκλινου, είναι νεότερη του Ηώκαινου.

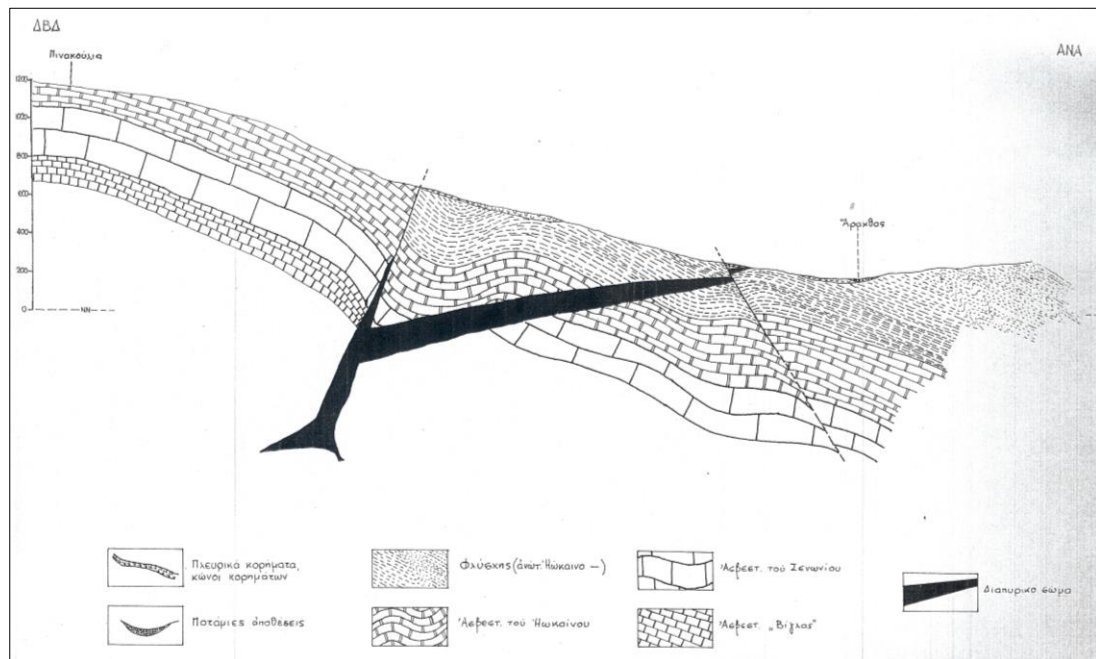
Τα διαγώνια (ως προς τον άξονα Β) ρήγματα χαρακτηρίζονται ως κλιμακοειδείς μεταπτώσεις. Έτσι στην περιοχή όπου διεξήχθησαν οι ερευνητικές γεωτρήσεις διαπιστώθηκε ρήγμα με φαινόμενο άλμα 50 – 55 μέτρων, ενώ το αμέσως βορειότερο ρήγμα παρουσιάζει άλμα 150 – 200 μέτρων.

Ακόμα αξίζει να σημειωθεί πως προς τις διευθύνσεις των τριών κυρίων συστημάτων ρηξιγενών επιφανειών συμφωνούν και οι παρατηρούμενες μικροδιακλάσεις, όπως π.χ. κατά μήκος των οδών Πλάκας – Ιωαννίνων. Επειδή οι κλίσεις είναι ανατολικές και οι διακλάσεις παρατάξεως Α-Δ και Β-Ν παρατηρήθηκαν οι συχνές αποκοπές μικρών και μεγαλύτερων τεμαχών του πλακώδους ασβεστόλιθου του Ηώκαινου. Για τους ίδιους λόγους αλλά βασικά και λόγω της ύπαρξης του ορυκτού άλατος προκλήθηκαν μικρότερες ή μεγαλύτερες κατολισθήσεις, κυρίως στο τμήμα Πλατανούσας – Μονολιθίου (όπως η μεγάλη κατολίσθηση του 1931).

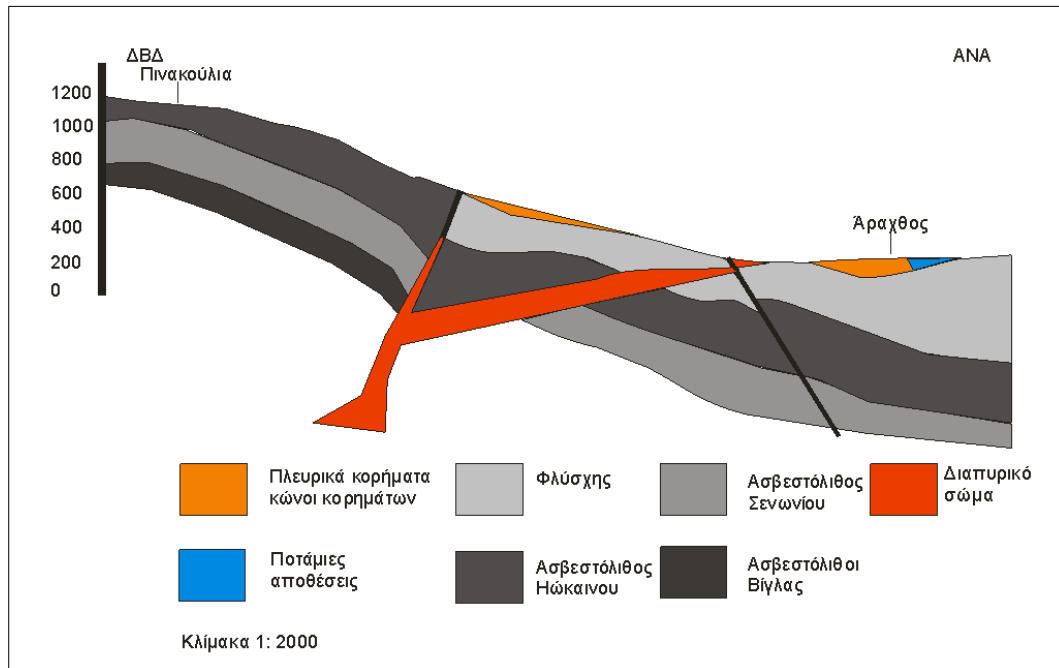




Εικόνα 41 Η περιοχή έρευνας και με κόκκινο περίγραμμα τα όρια μεγάλης κατολίστησης (πιθανότατα του 1931) με τον πόδα της κατολίστησης να φθάνει τη δυτική όχθη του Άραχθου. Πηγή: Google Earth



Εικόνα 42 Γεωλογική τομή ΔΒΔ – ΑΝΑ με τη μορφή της δομής άλατος του Μονολιθίου  
Πηγή: Παπασταύρου, 1978



Εικόνα 43 Γεωλογική τομή της περιοχής ενδιαφέροντος. Πηγή: Μωραϊτης, 2005



#### **4.4 Υδρογεωλογία και ο υδρολογικός χαρακτήρας της περιοχής**

Η ευρύτερη περιοχή του Μονολιθίου όπως περιγράφηκε και παραπάνω βρίσκεται στη δυτική όχθη του ποταμού Άραχθου. Η εγγύτητα της περιοχής με τον ποταμό ενδέχεται να προκαλεί ανησυχία, όμως το γεγονός της ύπαρξης του αδιαπέρατου φλύσχη με το βάθος της σχεδιαζόμενης εγκατάστασης δεν τείνει να γίνει απαγορευτικός ο σχεδιασμός. Παρακάτω περιγράφονται πιο συγκεκριμένα ο υδρολογικός χαρακτήρας της περιοχής με στοιχεία από τη μελέτη του έργου του Ι.Γ.Μ.Ε. της απογραφής των υδρολογικών λεκανών της Ελλάδας (Νικολάου, 2010).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί το εξής, πως αν και η περιοχή δεν εντάσσεται σε κάποιο ειδικό καθεστώς προστασίας (π.χ. δίκτυο Natura κ.α.), είναι σε άμεση γειτνίαση στα βόρεια με το Εθνικό Πάρκο της Β. Πίνδου και τις περιοχές των Τζουμέρκων και το φαράγγι του Αράχθου και κυριότερα αναφορικά με τη δυνατότητα επηρεασμού, στα νότια όπου εκεί βρίσκεται ταμιευτήρας της ΔΕΗ, την τεχνητή λίμνη Πουρναρίου και στις εκβολές του Αράχθου στον Αμβρακικό κόλπο, έναν μοναδικό και ευάλωτο υδροβιότοπο, προστευόμενη περιοχή όχι μόνο από την εθνική νομοθεσία αλλά και από τη συνθήκη RAMSAR των Ηνωμένων Εθνών, μία σύμβαση για την προστασία υδροβιότοπων διεθνούς σημασίας.

##### **4.4.1 Υδρογραφία**

Όπως προαναφέρθηκε την περιοχή ενδιαφέροντος διασχίζει ο ποταμός Άραχθος, ο μεγαλύτερος ποταμός της Ηπείρου με συνολική επιφάνεια λεκάνης απορροής περίπου 2.160 km<sup>2</sup> που αποστραγγίζει τις ανατολικές και νότιες περιοχές της Ηπείρου, ρέει με διεύθυνση Β-Ν και εκβάλλει στον Αμβρακικό

Κόλπο. Οι πρώτες πηγές του Αράχθου βρίσκονται στην περιοχή του Μετσόβου και το συνολικό μήκος του ποταμού είναι 115 km. Η λεκάνη του Αράχθου αναπτύσσεται κατά κύριο λόγο στο σχηματισμό του φλύσχη του ομώνυμου σύγκλινου. Μορφολογικά αποτελεί μια επιμήκη υδρολογική λεκάνη ασύμμετρα αναπτυσσόμενη ως προς τον κύριο κορμό του ποταμού. Είναι χαρακτηριστικό ότι από την περιοχή των Ζαγοροχωρίων βόρεια έως την Άρτα νότια, ο ποταμός παραλληλίζεται με τον υδροκρίτη με την λεκάνη Ιωαννίνων και Λούρου. Από την πλευρά αυτή (δυτική πλευρά) το μήκος των ρεμάτων που συρρέουν στον ποταμό δεν υπερβαίνουν το μήκος των 5 km και κατά κανόνα είναι κλάδοι τάξης Ι. Σε αντίθεση με την δυτική πλευρά στην ανατολική παρατηρούμε πλήθος κλάδων και την κύρια ανάπτυξη της υδρολογικής λεκάνης. Σαν ποσοστά συμμετοχής στην επιφάνεια της λεκάνης η δυτικά του ποταμού περιοχή αποτελεί μόλις το 15% του συνόλου της λεκάνης. Καθοριστικό ρόλο σ' αυτή την κατανομή έχει η λιθολογική σύσταση και η τεκτονική δραστηριότητα δεδομένου ότι στην δυτική πλευρά του Αράχθου αναπτύσσονται κυρίως ανθρακικοί σχηματισμοί της Ιονίου στους οποίους υπερτερεί η κατείσδυση και η επιφανειακή απορροή είναι μικρή, όπως φαίνεται και στους σχετικούς πίνακες. Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης είναι 1,19 km/km<sup>2</sup> (Babizos et al,1997).

#### 4.4.2 Υδρολιθολογία

Στις μεγάλες υδρολιθολογικές ενότητες της Ηπείρου εύκολα διακρίνονται οι σχηματισμοί της περιοχής ενδιαφέροντος:

- **Πορώδεις - διαρρηγμένους σχηματισμούς της Τεταρτογενούς – Νεογενούς περιόδου:** Πρόκειται κατά κύριο λόγο για αλλουβιακές αποθέσεις (άμμους, χαλίκια, αμμούχους, αργίλους) αλλά και χαλαρά

ιζήματα λιμναίας ή και χερσαίας φάσης ποικίλης σύστασης και κοκκομετρικής διαβάθμισης.

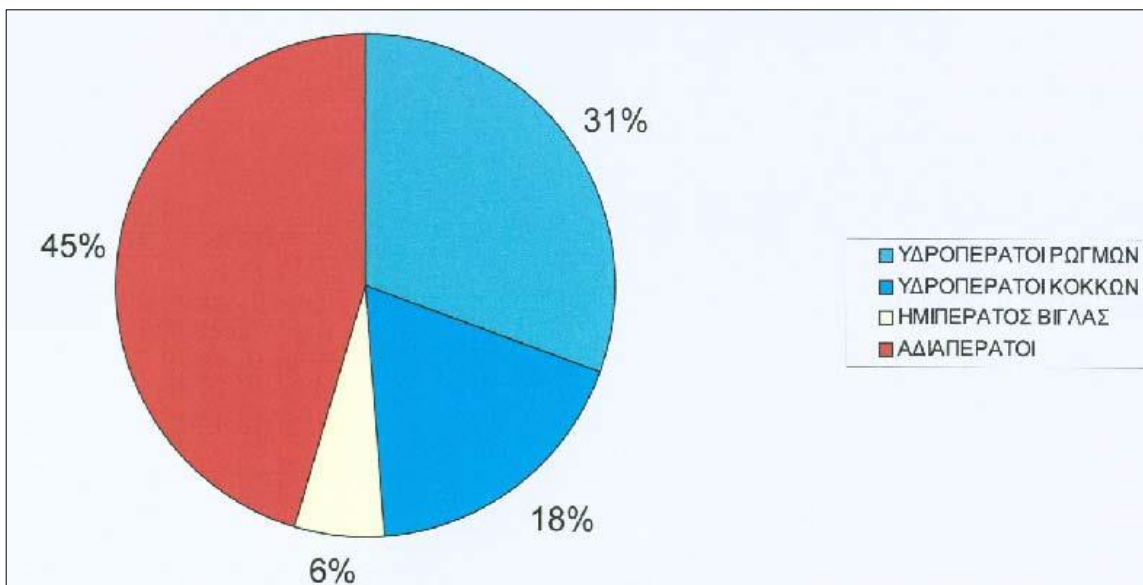
- **Διαρρηγμένα – καρστικοποιημένα πετρώματα** : Πρόκειται για την σημαντικότερη υδρολιθολογική ενότητα του υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τους Ασβεστόλιθους Ανωτ. Τριαδικού – ασβεστόλιθοι Ηωκαίνου. Η ενότητα αυτή είναι και η πλέον ομοιογενής σε ότι αφορά την υδρολιθολογική της συμπεριφορά. Χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από ασβεστόλιθους, δηλαδή από σχηματισμούς με δευτερογενές πορώδες (πορώδες ρωγμών). Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι οι ασβεστόλιθοι Παλαιόκαινου – Ηώκαινου της Ιονίου ζώνης παρουσιάζουν σχετική διαφοροποίηση σε ότι αφορά στην υδρολιθολογική συμπεριφορά και παρατηρείται μια μειωμένη υδροπερατότητα σε σχέση με τις προαναφερόμενες καρστικές ενότητες. Στη ζώνη μετάβασης, στο φλύσχη οι Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι γίνονται μαργαϊκοί και αδιαπέρατοι.
- **Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας της Ιονίου ζώνης (Ιουράσικο- Κρητιδικό)**  
Αποτελούν στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου ένα σχηματισμό με καθοριστική σημασία τόσο σε ότι αφορά στην υδρολιθολογική του συμπεριφορά όσο και στην διαμόρφωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των καρστικών υδροφόρων. Λιθολογικά οι ασβεστόλιθοι της Βίγλας χαρακτηρίζονται από την εναλλαγή ασβεστολιθικών και πυριτιακών στρώσεων. Στα κατώτερα στρώματα επικρατεί συνήθως η αργιλομαργαϊκή φάση. Μια τέτοια λιθολογική σύσταση δεν ευνοεί την καλή καρστικοποίηση του σχηματισμού με αποτέλεσμα υδρολιθολογικά να παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία συνθηκών. Γενικά ο σχηματισμός της Βίγλας είναι ημιπερατός σχηματισμός που τείνει προς τους υδροπερατούς στις περιοχές έντονης

τεκτονικής καταπόνησης και προς τους αδιαπέρατους στις περιοχές με μικρότερη τεκτονική δραστηριότητα. Στην κατακόρυφη υδρολιθολογική στήλη, η διαφοροποίηση γίνεται ανάλογα με την περιοχή εμφάνισης του σχηματισμού. Γενικά όμως παρατηρούμε μια σχετική υδροφορία στα ανώτερα στρώματα όπου υπερτερούν οι ασβεστολιθικές στρώσεις με μηδενισμό της υδροπερατότητας στα κατώτερα στρώματα όπου υπερτερούν οι αργιλομαργαϊκές και πυριτιακές στρώσεις.

- **Διαρρηγμένους ή τοπικά πορώδεις σχηματισμούς της Τριαδικής περιόδου:** Γύψοι και τριαδικά λατυποπαγή: Η ενότητα αυτή είναι χαρακτηριστική για το υδατικό διαμέρισμα Ηπείρου δεδομένου ότι καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων αλλά και το ποιοτικό καθεστώς. Μπορούμε με βάση την υδρολιθολογική συμπεριφορά να διακρίνουμε δύο υποενότητες : τους γύψους και τα τριαδικά λατυποπαγή. Οι γύψοι δεν παρουσιάζουν σημαντική υδροφορία δεδομένου ότι η ανάπτυξη του καρστικού δικτύου είναι περιορισμένη σε σχέση με τους ασβεστολίθους λόγω της πλήρωσης των διάκενων από εύθρυπτα και ευδιάλυτα υλικά. Στην επιφάνεια των γύψων είναι συχνά τα ψευδοκαρστικά φαινόμενα (δολίνες, έγκοιλα κ.α.). Τα τριαδικά λατυποπαγή αποτελούν μια ενότητα με μεγάλη υδρολιθολογική ετερογένεια. Γενικά μπορούν να χαρακτηρισθούν ημιπερατά – υδροπερατά. Η υδροπερατότητα του σχηματισμού εξαρτάται από τις αναλογίες συμμετοχής των ανθρακικών στοιχείων των γύψων και του συνδετικού υλικού. Έτσι σε περιοχές όπου η συμμετοχή των ασβεστολιθικών υλικών είναι μεγάλη ( Ανάκολη Καλαμά, Ρογκόζι, Δρίνου, Παρακάλαμος, Θέμελο Αχέροντα κ.α.) παρατηρείται καλό δευτερογενές πορώδες και καλές υδροφορίες. Σε αντίθεση περιοχές όπου υπερτερούν τα αργιλικά υλικά και οι γύψοι (εύκολα κονιορτοποιημένα υλικά)

παρατηρούμε μειωμένη ανάπτυξη του καρστ (Πάργα, Σαγιάδα , Μπιζάνι κ.α.).

- **Σχηματισμοί πρακτικά αδιαπέρατοι:** Σ' αυτή την ενότητα εντάσσεται ο φλύσχος της Ιονίου ζώνης, ο φλύσχος της ζώνης Πίνδου. Η παραπάνω αναφορά είναι γενική και αναφέρεται σε επίπεδο ενότητας. Σε πολλές επίσης περιοχές στον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη αναπτύσσονται ασυνεχείς ρηχοί υδροφόροι σημαντικοί όμως για την ικανοποίηση τοπικών αναγκών ύδρευσης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η κατανομή των σχηματισμών στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου και το συγκριτικά μεγάλο ποσοστό των αδιαπέρατων σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή του Μονολιθίου.

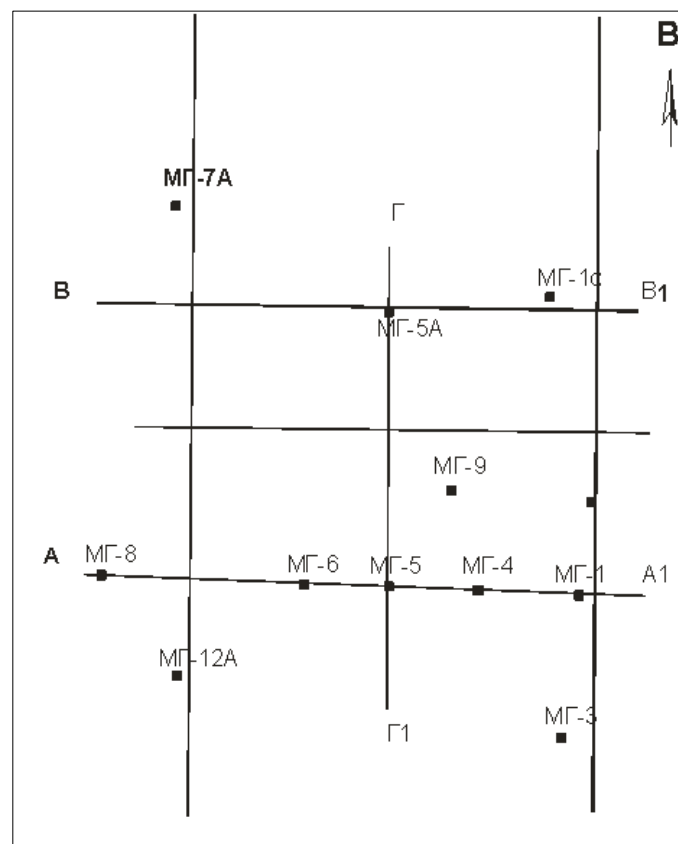


Εικόνα 44 Η κατανομή σχηματισμών του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου.  
Πηγή: Νικολάου, 2010

#### 4.5 Το κοίτασμα ορυκτού άλατος στο Μονολίθι

Η τοποθέτηση των ερευνητικών γεωτρήσεων έγινε κατά μήκος δύο παράλληλων αξόνων διεύθυνσεως Α – Δ και συνολικά εκτελέσθηκαν 12 γεωτρήσεις.

Από αυτές μόνο η ΜΓ3 ήταν αρνητική σε ότι αφορά το NaCl και έδωσε λίγα μέτρα γύψου – ανυδρίτη αναμεμειγμένα με άργιλο. Οι υπόλοιπες είχαν θετικά αποτελέσματα σε ορυκτό αλάτι.



Εικόνα 45 Τοπογραφική απεικόνιση των γεωτρήσεων. Πηγή: Μωραΐτης, 2005

Από την ερευνητική εργασία διαπιστώθηκε ότι:

- Το κοίτασμα είναι μια διαπυρική απόφυση που αποσφηνώνεται ανατολικά. Η αποσφηνώση αυτή συμπίπτει περίπου με τη κοίτη του Άραχθου ποταμού.

- Η γεωμετρία του κοιτάσματος δείχνει ότι ο κύριος όγκος του βρίσκεται προς τα δυτικά. Σε αυτό συνηγορεί και η τεκτονική (εφίππευση, ρήγματα). Άλλωστε οι δυτικές γεωτρήσεις έχουν δώσει τα μεγαλύτερα πάχη. Από το χάρτη των ισοπαχών καμπυλών προκύπτει ότι και το πάχος του κοιτάσματος αυξάνει προς αυτή τη κατεύθυνση (σχ.9).
- Η μεταλλοφορία συνίσταται από NaCl (Halite) μέσα στο οποίο συναντώνται σε μικρό ποσοστό τεμάχια γύψου και ανυδρίτη άτακτα διασκορπισμένα και διαφορετικών διαστάσεων. Επίσης υπάρχουν ζώνες όπου το ορυκτό αλάτι και περισσότερο η γύψος, είναι εμποτισμένα με βιτουμενιούχο υλικό ελαιώδες και χαρακτηριστικής οσμής.

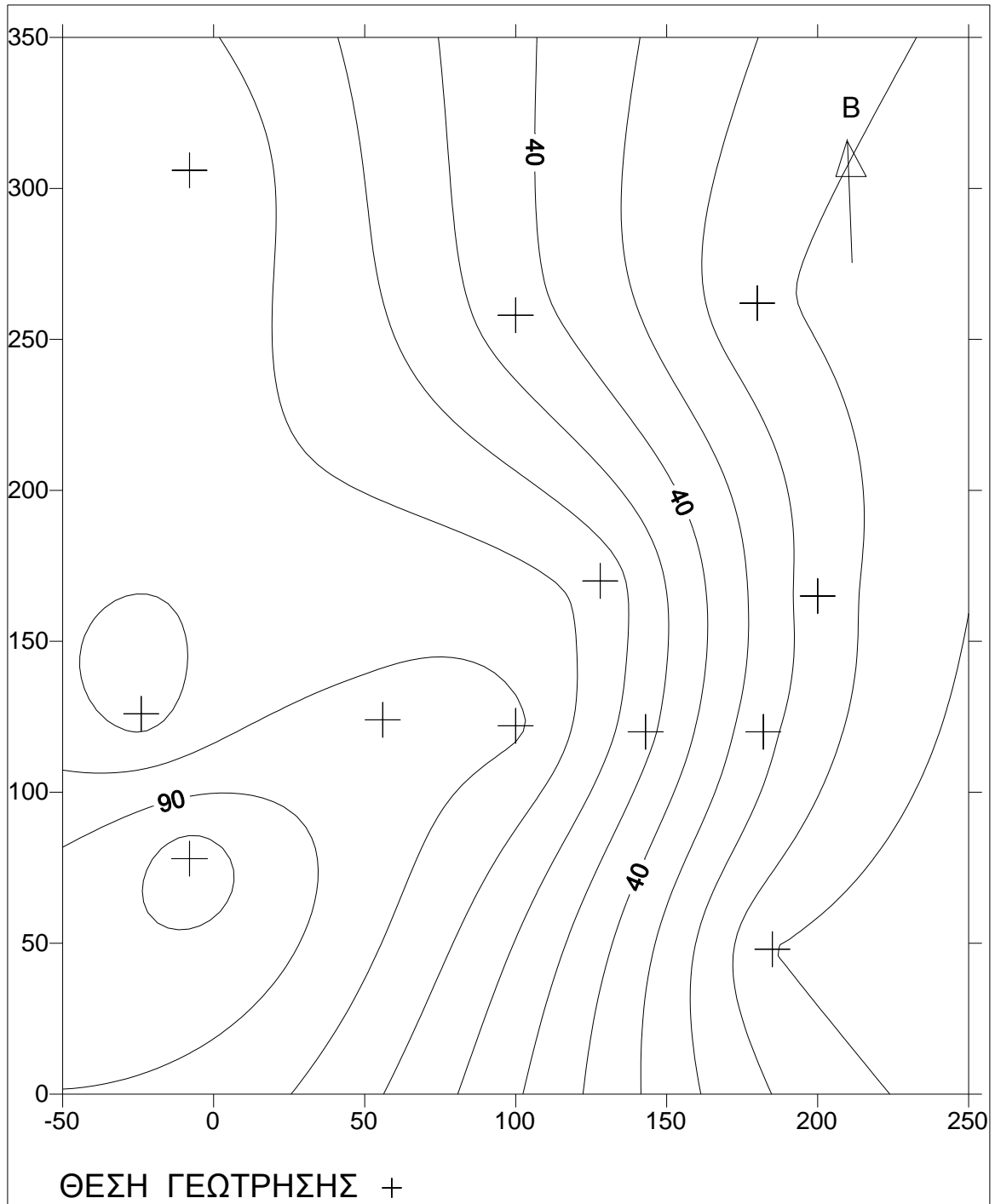
Η δειγματοληψία έγινε από όλους τους πυρήνες των γεωτρήσεων. Σε γενικές γραμμές η μέση περιεκτικότητα κυμαίνεται περί του 80 % σε NaCl. Υπάρχουν όμως και ζώνες των 10 – 15 m πάχους όπου η περιεκτικότητα υπερβαίνει το 85 %. Οι ζώνες αυτές δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλο το κοίτασμα. Παρατηρείται μια μείωση της περιεκτικότητας του NaCl όπου υπάρχει γύψος και ανυδρίτης.

Οι 12 γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν κάλυψαν μια έκταση διαστάσεων 250 x 250 m περίπου. Η ιδιάζουσα μορφή του κοιτάσματος, η απόφυση του διάπυρου και η έλλειψη γεωτρήσεων σε μερικές επίκαιρες θέσεις, δεν επιτρέπουν τον ακριβή υπολογισμό των αποθεμάτων.

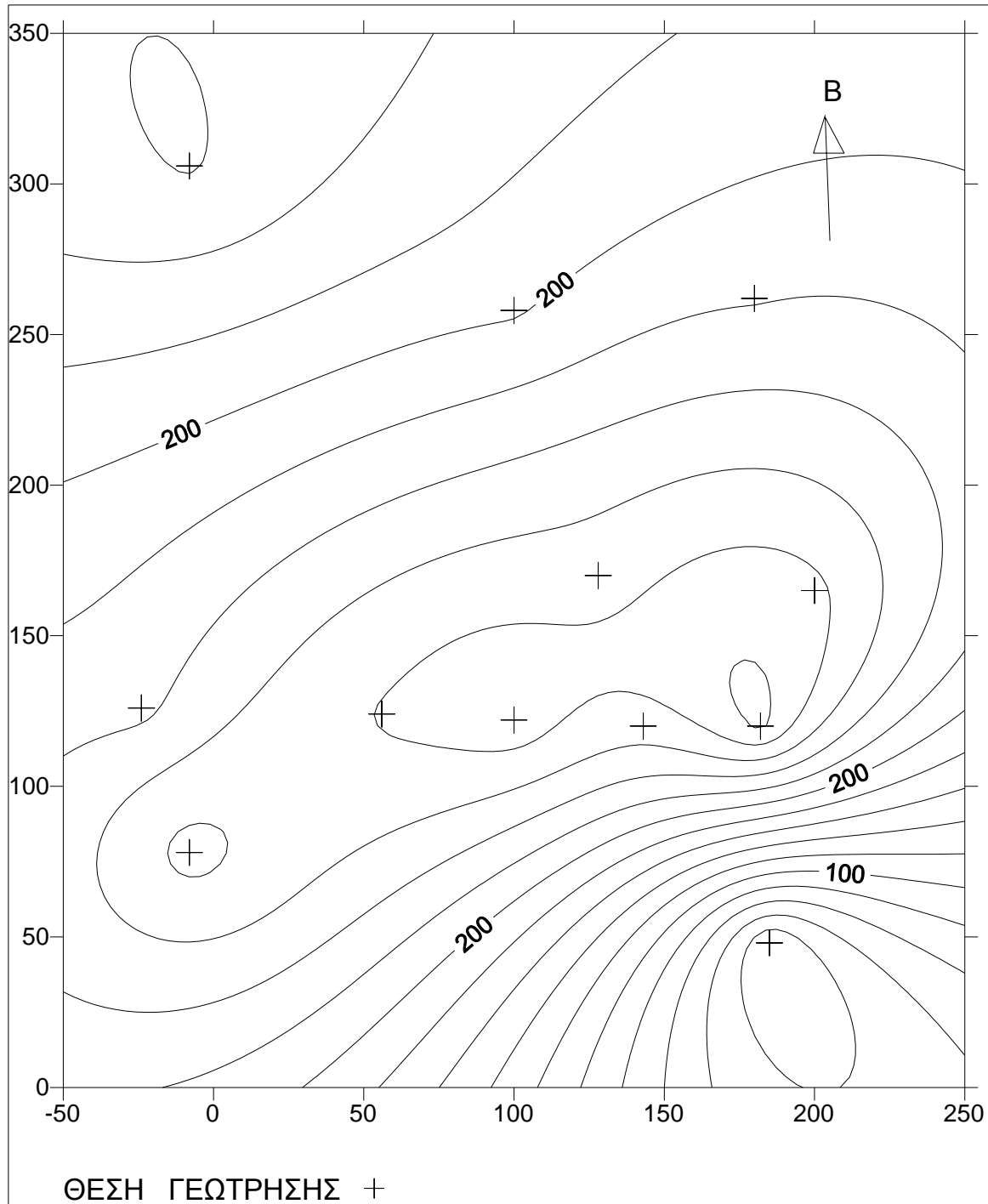
Πίνακας 16 Τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων. Πηγή: (Μωραΐτης, 2005)

Αριθμός γεώτρησης	Απόλυτο υψόμετρο	Διαρηθέντα μέτρα	Υψόμετρο οροφής	Πάχος μεταλλοφορίας	Μέση περιεκτικότητα σε $\text{NaCl}$
ΜΓ1	322.75	52.50	304.75	23.00	-
ΜΓ1Α	333.53	128.50	218.53	12.00	-
ΜΓ2	320.62	63.00	284.69	15.00	75.60
ΜΓ3	330.06	-	-	-	-
ΜΓ4	315.36	105.00	268.36	53.00	-
ΜΓ5	357.97	152.50	292.97	82.00	84.47
ΜΓ5Α	366.61	215.00	197.61	44.00	71.65
ΜΓ6	379.15	180.50	281.13	82.00	81.86
ΜΓ7Α	418.20	350.00	138.20	79.00	-
ΜΓ8	429.45	263.00	234.45	65.00	80.40
ΜΓ9	345.77	142.80	269.72	66.50	78.40
ΜΓ12Α	397.42	217.00	287.42	106.00	-





Εικόνα 46 Χάραξη ισοπαχών καμπυλών του κοιτάσματος σε κλίμακα 1:2.000.  
Πηγή: Μωραΐτης, 2005



Εικόνα 47 Χάραξη ισοϋψών καμπυλών της οροφής του κοιτάσματος σε κλίμακα 1:2.000  
Πηγή: Μωραΐτης, 2005

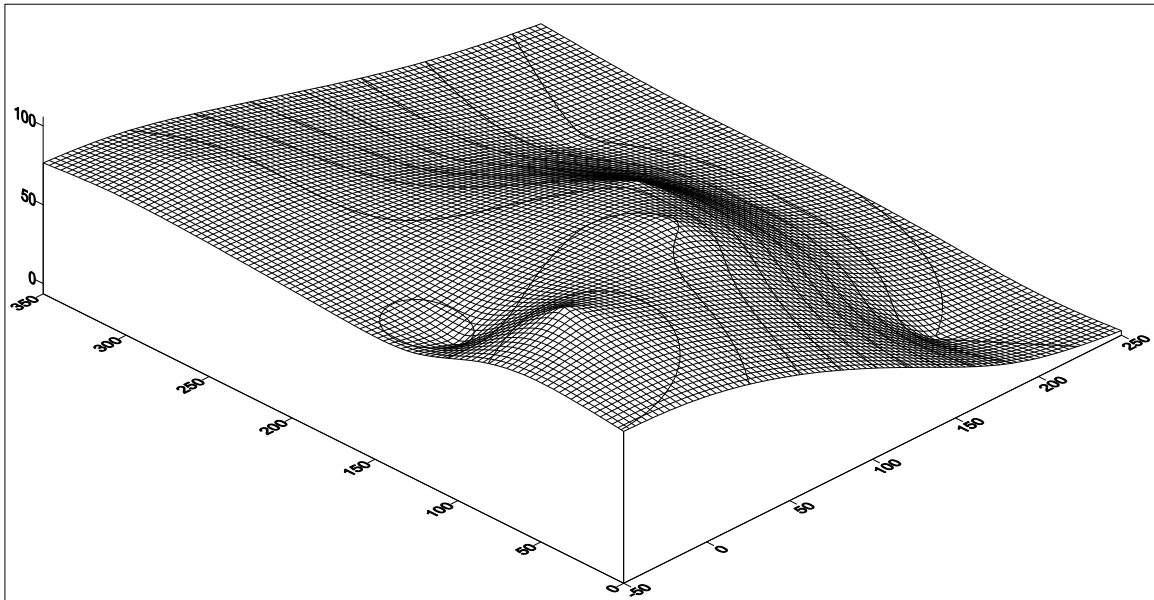
Λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογία της περιοχής και τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων, τα αποτελέσματα υπολογίσθηκαν ως εξής:

Η περιοχή χωρίσθηκε σε δυο τμήματα, στο βόρειο και στο νότιο. Ο χωρισμός αυτός έγινε κατά μήκος του ρήγματος το οποίο είναι σχεδόν παράλληλο προς τους άξονες εκτελέσεως των γεωτρήσεων. Το βόρειο τμήμα δίνει τη κάτοψη ενός παραλληλογράμμου (ΕΖΗΘ) και το νότιο τη κάτοψη ενός τραπεζίου (ΘΗΙΚ). Το ειδικό βάρος του ορυκτού άλατος υπολογίσθηκε σε  $2,30 \text{ kN/m}^3$ .

Βόρειο τμήμα:  $270 \times 90 \times 45 \times 2,30 = 2.515.050 \text{ t}$

Νότιο τμήμα:  $173 \times 270 \times 62,81 \times 2,30 = 6.747.866 \text{ t}$

Συνολικά  $9.262.916 \text{ t}$  ορυκτού άλατος.



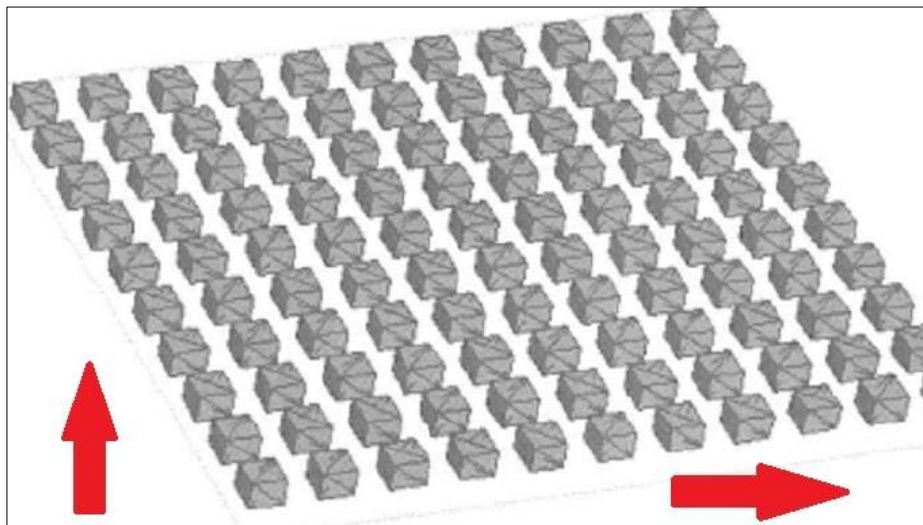
Εικόνα 48 Το κοίτασμα του ορυκτού άλατος στην περιοχή εκτέλεσης των γεωτρήσεων.  
Πηγή: Μωραΐτης, 2005

## 5 Σχεδιασμός του υπόγειου χώρου διάθεσης αποβλήτων

### 5.1 Μέθοδος κατασκευής του υπόγειου χώρου διάθεσης

Η μέθοδος που είχε προταθεί από τους ερευνητές μεταλλειολόγους του Ι.Γ.Μ.Ε. για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος ορυκτού άλατος ήταν η μεταλλευτική μέθοδος θαλάμων και στύλων. Η μέθοδος αυτή είναι που προτείνεται σε αυτή την εργασία μιας και ο χώρος της τελικής απόθεσης αποβλήτων για τους εξής λόγους:

1. Ο χώρος χρειάζεται να λειτουργεί ως αποθηκευτική εγκατάσταση και να είναι δυνατή η απομόνωση μεταξύ των αποβλήτων σε διαφορετικούς θαλάμους που θα οριστούν με την εφαρμογή τεχνητών φραγμών (π.χ. πλινθοδομή)
2. Η εφαρμογή επέκτασης του χώρου αναλόγως των αναγκών είναι εφικτή και μπορεί να έχει δυναμικό χαρακτήρα, δηλαδή η εκσκαφή νέων θαλάμων μπορεί να εφαρμοστεί ευκολότερα προς τις δύο διευθύνσεις του επιπέδου όπως φαίνεται στην εικόνα Εικόνα 49.



Εικόνα 49 Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου θαλάμων και στύλων και οι δυνατότητες επέκτασης στο επίπεδο μέσα στο κοίτασμα. Πηγή: Adey & Calson, 2006

### **5.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία της μεθόδου θαλάμων και στύλων**

Η μέθοδος θαλάμων και στύλων (rooms and pillars) χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι δημιουργείται κενός χώρος με τη ταυτόχρονη φυσική υποστήριξή του (Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2009). Η μέθοδος εφαρμόζεται για οριζόντια ή μέτριας κλίσης στρωσιγενή κοιτάσματα, με κλίση των στρωμάτων μικρότερη των 30°, το πάχος συνήθως φτάνει τα 10-12 m και έχουν ανθεκτική οροφή.

Η μέθοδος παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ο χώρος αξιοποιείται ικανοποιητικά και λειτουργικά μετά το τέλος της εκμετάλλευσης.
- Η μέθοδος είναι ευρέως διαδεδομένη στην Ελλάδα και στο εξωτερικό, με μία πληθώρα εφαρμογών της σε διάφορες περιπτώσεις και υπάρχει μεγάλη εμπειρία
- Η μέθοδος χαρακτηρίζεται γενικά ως απλή και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε εξοπλισμό και τεχνικές.

Ως γενική περιγραφή της μεθόδου είναι πως το πέτρωμα εξορύσσεται μέσω ενός συστήματος παράλληλων θαλάμων, οι οποίοι οριοθετούνται από στύλους που αφήνονται για την υποστήριξη του υπόγειου χώρου. Η διάταξη των στύλων στο χώρο δύναται να είναι κανονική δηλαδή τετραγωνική ή ορθογωνική ή και ακανόνιστη. Η φέρουσα ικανότητα αυτών των στύλων οδηγεί στην ευστάθεια των θαλάμων.

Η μεταλλευτική εφαρμογή της μεθόδου δίνει έμφαση στη μεγιστοποίηση του συντελεστή απόληψης δηλαδή μείωση των διαστάσεων των στύλων αλλά σε ένα μόνιμο υπόγειο έργο και χώρο που προορίζεται για την αποθήκευση αποβλήτων

η μακροπρόθεσμη ασφάλεια είναι βασικό ζητούμενο και ο προσανατολισμός είναι η βέλτιστη υποστήριξη του χώρου (Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2009).

### 5.1.2 Βασικές αρχές σχεδιασμού της μεθόδου

Σε κάθε αρχικό σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης γίνονται παραδοχές με σκοπό την μοντελοποίηση του. Στη συνέχεια και καθώς η εκμετάλλευση προχωράει, τη θέση των παραδοχών παίρνει η πραγματική συμπεριφορά των πετρωμάτων και γίνονται οι κατάλληλες μεταβολές του σχεδιασμού (Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2009).

Οι βέλτιστες διαστάσεις των στύλων υπολογίζονται κυρίως με βάση δύο παράγοντες:

- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος που αποτελούνται οι στύλοι και τα οποία συνήθως προσδιορίζονται με εργαστηριακές δοκιμές.
- Τις ασκούμενες τάσεις στους στύλους από τα υπερκείμενα στρώματα.

Στον αρχικό σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψη μόνο οι λιθοστατικές τάσεις (Δ. Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2009) και οι οποίες δίνονται από την εξής σχέση:

$$S_v = \gamma \cdot H \quad (1)$$

όπου:  $\gamma$ : το ειδικό βάρος του υπερκείμενου πετρώματος

H: το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους

Η οριζόντια τάση ( $S_h$ ) που ασκείται στο ίδιο τμήμα δίνεται από την εξής σχέση:

$$S_h = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot S_v \quad (2)$$

όπου  $\nu$ : ο λόγος του Poisson του πετρώματος συνήθως μεταξύ 0,2 και 0,33.

### Αστοχία στύλων

Οι στύλοι αστοχούν σε θλίψη όταν η ασκούμενη σε αυτούς θλιπτική τάση ( $\sigma_p$ ) ξεπεράσει την μονοαξονική αντοχή τους σε θλίψη ( $C_p$ ) Το κριτήριο εκφράζεται από την εξής σχέση:

$$\sigma_p \geq \frac{C_p}{F} \quad (3)$$

όπου  $F$ : ο συντελεστής ασφαλείας σε θλίψη.

Ο συντελεστής ασφαλείας των στύλων κυμαίνεται μεταξύ 2 – 4 (Salomon) και η ακριβής τιμή του εξαρτάται από την ύπαρξη ή όχι ασυνεχειών και από τη μονιμότητα του έργου. Είναι σαφές πως σε περιπτώσεις έργων μόνιμης χρήσης και μάλιστα διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων, όπως αυτής που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, ο συντελεστής θα πρέπει να ληφθεί στα υψηλότερα όρια αυτού.

Η αστοχία του στύλου σε διάτμηση περιγράφεται από το κριτήριο του Coulomb, είτε με ύπαρξη ασυνεχειών είτε όχι, με την εξής σχέση:

$$\tau_p \geq S_p + \sigma_n \cdot \tan \varphi_f \quad (4)$$

όπου:  $\tau_p$  : η διατμητική τάση στο επίπεδο αστοχίας ή ασυνέχειας

$S_p$ : η αντοχή σε διάτμηση του πετρώματος ή του επιπέδου της ασυνέχειας

$\sigma_n$ : η κάθετη τάση στο επίπεδο αστοχίας ή ασυνέχειας

$\varphi_f$ : η γωνία εσωτερικής τριβής του πετρώματος ή του επιπέδου ασυνέχειας

### Σχεδιασμός των θαλάμων

Αναφορικά με το σχεδιασμό των θαλάμων και συγκεκριμένα το σχεδιασμό θαλάμων σε συμπαγή πετρώματα δεν έχει διατυπωθεί συγκεκριμένη διαδικασία που να υπολογίζει τις μέγιστες δυνατές διαστάσεις (Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2009). Η διαδικασία αυτή βασίζεται κυρίως στην εμπειρία από όρυξη εκσκαφών

σε παρόμοια πετρώματα και η βασική διαδικασία είναι ο προσδιορισμός των μέγιστων συγκεντρώσεων τάσεων γύρω από την εκσκαφή και στη συνέχεια η σύγκριση αυτών των τάσεων με την αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό και σε θλίψη. Οι εξισώσεις των συντελεστών ασφαλείας έχουν ως εξής:

$$\sigma_t < \frac{T_o}{F_t} \quad (5)$$

$$\sigma_c < \frac{C_o}{F_c} \quad (6)$$

όπου:  $\sigma_t$ : η μέγιστη εφελκυστική τάση γύρω από την περιοχή

$T_o$ : η αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό

$F_t$ : ο συντελεστής ασφαλείας για εφελκυσμό, από 4 έως 8

$\sigma_c$ : η μέγιστη θλιπτική τάση γύρω από την περιοχή

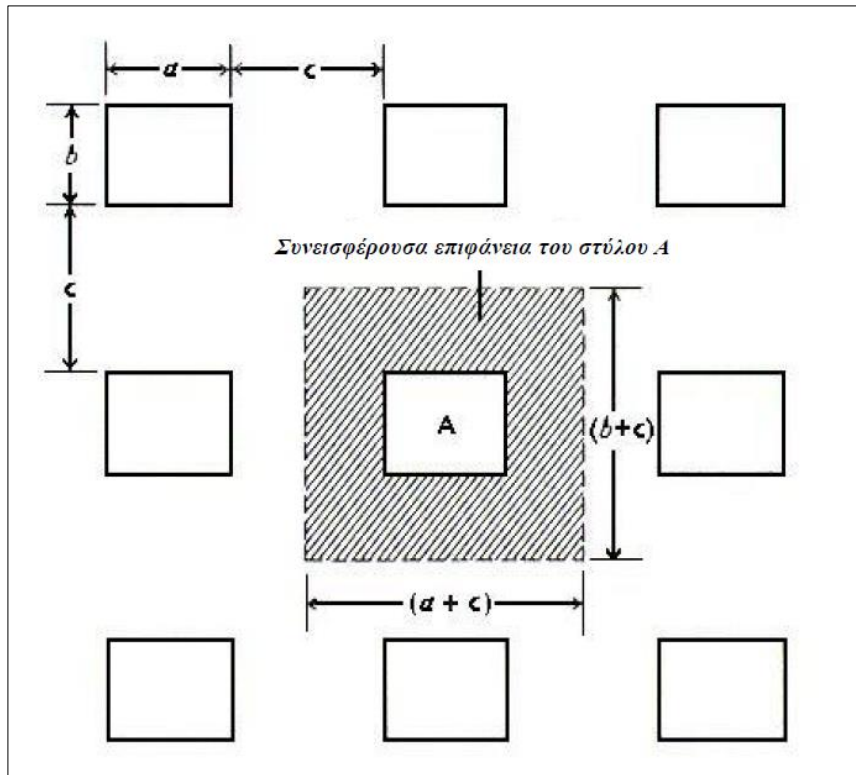
$C_o$ : η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη

$F_c$ : ο συντελεστής ασφαλείας για θλίψη, από 2 έως 4

### 5.1.3 Σχεδιασμός των στύλων και των θαλάμων

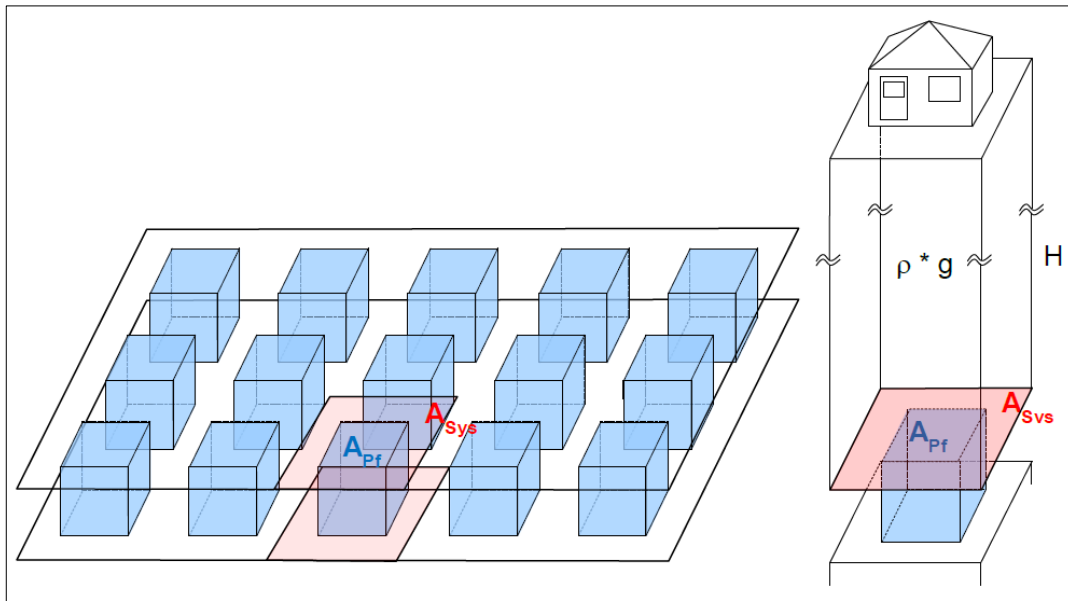
Ο σχεδιασμός των στύλων σε αυτή τη μέθοδο γίνεται απλά με βάση τη θεωρία της συνεισφέρουσας επιφάνειας (tributary load area), όπου σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, κάθε στύλος φέρει το φορτίο του πετρώματος που βρίσκεται στο κατακόρυφο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, το οποίο θεωρείται από τους άξονες που χωρίζουν στη μέση τους διαδρόμους που περιβάλλουν το στύλο (Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2009), όπως φαίνεται στις εικόνες Εικόνα 50 και Εικόνα 51.





Εικόνα 50 Κάτοψη της διάταξης των θαλάμων και στύλων. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή αποτελεί τη συνεισφέρουσα επιφάνεια του στύλου.

Πηγή: Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2009



Εικόνα 51 Σχηματική απεικόνιση της θεωρίας της συνεισφέρουσας επιφάνειας.: Όπου  $A_{Pf}$  είναι η επιφάνεια του στύλου και  $A_{Sys}$  η συνεισφέρουσα επιφάνεια του στύλου. Πηγή: Schleinig & Konietzky, 2016

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου συνοψίζονται στα εξής:

- Είναι ιδιαίτερα εύχρηστη κατά τον αρχικό σχεδιασμό των έργων, μιας και χρειάζονται περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με αυτόν όπως τα κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στύλων, το ύψος και το ειδικό βάρος των υπερκειμένων.
- Είναι απλή και τα αποτελέσματα της ανάλυσης εξάγονται γρήγορα και σε περιπτώσεις ομοιόμορφων εκσκαφών έχει αρκετά μεγάλη ακρίβεια.
- Δίνει συντηρητικά και ασφαλή αποτελέσματα, καθώς υπολογίζεται η μέγιστη φόρτιση που μπορεί να εφαρμοστεί στους στύλους.

Ενώ τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Δεν λαμβάνει υπόψη το τασικό πεδίο και ιδιαίτερα τις κατακόρυφες τάσεις προ της εκσκαφής
- Σε περιπτώσεις μη ομοιόμορφων στύλων δε μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα

- Ενδέχεται πολλές φορές να είναι υπερβολικά συντηρητική.

Η μαθηματική προσέγγιση της θεωρίας της συνεισφέρουσας επιφάνειας είναι ο εξής τύπος:

$$A_t = A_R + A_p \quad (7)$$

Η μέση ορθή τάση ( $\sigma_p$ ) που ασκείται σε ένα στύλο, στην πιο απλή περίπτωση, που έχει κανονική διάταξη και τετραγωνική διατομή δίνεται από την εξίσωση (8), ενώ σε περιπτώσεις ορθογώνιων στύλων από την εξίσωση (9):

$$\sigma_p = \gamma \cdot H \cdot \left(1 + \frac{W_R}{W_p}\right)^2 \quad (8)$$

$$\sigma_p = \gamma \cdot H \cdot \left(1 + \frac{W_R}{W_p}\right) \cdot \left(1 + \frac{L_R}{L_p}\right) \quad (9)$$

όπου:  $L_p$ : το μήκος του στύλου

$L_R$ : το μήκος του θαλάμου μεταξύ δύο διαδοχικών στύλων

Για τον υπολογισμό της αντοχής του στύλου σε θλίψη ( $C_p$ ) έχουν διατυπωθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις, κυρίως μετά από έρευνες συγκεκριμένων περιπτώσεων. Οι Holland & Gandy το 1957 διατύπωσαν την παρακάτω μαθηματική έκφραση, στην οποία εκτός από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στύλου και την αντοχή του αδιατάρακτου πετρώματος συμμετέχουν και οι σταθερές  $\alpha$  και  $\beta$ . Οι τιμές λαμβάνονται όπως:  $\alpha$ : 0,85 – 1,0 και  $\beta$ : 0,5

$$C_p = C_1 \cdot \frac{W^\beta}{H^\alpha} \quad \rightarrow \quad C_p = C_1 \cdot \frac{\sqrt{W}}{H} \quad (10)$$

Άλλες εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού της αντοχής σύλων είναι οι ακόλουθες:

Salamon & Munro (1967):

$$C_p = C_1 \cdot \left( \frac{W_p^{0.44}}{H_p^{0.66}} \right) \quad (11)$$

Beniawski (1967) από περιπτώσεις ορυχείων λιθάνθρακα:

$$C_p = C_1 \cdot \left( 0.64 + 0.36 \cdot \frac{W_p}{H_p} \right) \quad (12)$$

Obert & Duvall (1967) από περιπτώσεις ορυχείων λιθάνθρακα στη Νότια Αφρική:

$$C_p = C_1 \cdot \left( 0,778 + 0,222 \cdot \frac{W_p}{H_p} \right) \quad (13)$$

όπου  $C_1$ : η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίου του πετρώματος τετραγωνικής διατομής ( $d/h=1$ )

και ο Kegel έπειτα από μελέτη περιπτώσεων ορυχείων ορυκτού άλατος και ποτάσας στη Γερμανία, εισήγαγε έναν συντελεστή απομείωσης της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος ( $K$ ), πρότεινε την εξής διατύπωση:

$$C_p = UCS \cdot K \cdot \sqrt{W_p/H_p} \quad (14)$$

όπου UCS: η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του πετρώματος σε MPa και

K: συντελεστής απομείωσης της αντοχής με τιμές : 0.1 – 1.0

Αυτή η μαθηματική διατύπωση του Kegel θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την εξέταση της αντοχής των σύλων στην περιοχή του Μονολιθίου , μιας και αναφέρεται σε περιπτώσεις ορυχείων σε περιβάλλον ορυκτού άλατος.

## 5.2 Διαστασιολόγηση του υπόγειου χώρου

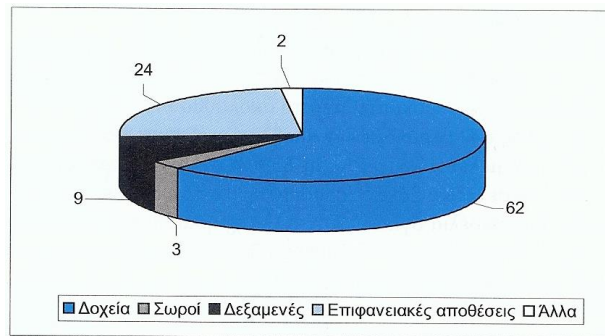
Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της ενότητας 5.1 ο σχεδιασμός ξεκινάει με κάποιες βασικές παραδοχές και στη συνέχεια όσο προχωράει η έρευνα και η κατασκευή γίνονται οι απαραίτητες βελτιώσεις και αλλαγές. Στη συνέχεια γίνονται κάποιες βασικές αρχικές παραδοχές μιας και η απουσία συγκεκριμένων γεωτεχνικών χαρακτηριστικών δεν δίνει τη δυνατότητα ακριβέστερης αποτύπωσης της πραγματικότητας. Ωστόσο όπως θα φανεί και στη συνέχεια οι απαραίτητες παραδοχές σε συγκεκριμένες παραμέτρους έχουν γίνει με την αρχή του συντηρητικού σχεδιασμού.

### 5.2.1 Βασικές Παραδοχές Αρχικού Σχεδιασμού:

Οι αρχικές βασικές παραδοχές του σχεδιαζόμενου χώρου είναι οι εξής:

1. Η κατασκευή του χώρου θα γίνει με τη μεταλλευτική μέθοδο θαλάμων και στύλων με τετραγωνική διατομή των στύλων και κανονική διάταξη στο χώρο.
2. Λειτουργία και οργάνωση του χώρου ως αποθηκευτική εγκατάσταση. Σε αυτό βοηθάει η μέθοδος θαλάμων και στύλων με τη δημιουργία ξεχωριστών χώρων και την απομόνωση αυτών των χώρων με φραγμούς όπως πλινθοδομή κ.α.
3. Η αποθήκευση των αποβλήτων θα γίνεται σε βαρέλια μιας και είναι η ευρέως διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης. Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονιστεί πως σύμφωνα με μελέτες της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (E.P.A.) το 85% των επικίνδυνων αποβλήτων αποθηκεύονται σε ειδικά δοχεία, τα οποία είναι κυρίως μεταλλικά

βαρέλια όγκου 200L όπως φαίνεται και στην εικόνα Εικόνα 52 και τα οποία προτείνονται για την διάθεση των αποβλήτων στην εγκατάσταση..



Εικόνα 52 Διαδεδομένοι τρόποι αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων και ποσοστό εφαρμογής αυτών. Πηγή: Γιδαράκος, 2006

4. Οι αναλύσεις έγιναν με την παραδοχή ύψους υπερκειμένων στα 120 μ. Εκ των οποίων 100μ. σε φλύσχη ( $H_1 = 100 \mu.$ ) με το ειδικό βάρος του φλύσχη ( $\gamma_1$ )  $24 \text{ kN/m}^3$  και 20 μ. στο ορυκτό αλάτι ( $H_2 = 20 \mu.$ ) με το ειδικό βάρος του ορυκτού άλατος ( $\gamma_2$ ) στα  $23 \text{ kN/m}^3$  όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.5 από την έρευνα του Ι.Γ.ΜΕ. Το ύψος υπερκειμένων επιλέχθηκε ως ένα αρχικό στάδιο σχεδιασμού της εγκατάστασης αφού πρώτα η εγκατάσταση θα αρχίσει από χαμηλό βάθος και έπειτα και εάν καταστεί αναγκαία η επέκταση θα προχωρήσει σε μεγαλύτερο βάθος. Το ύψος υπερκειμένων εντός του σχηματισμού του ορυκτού άλατος επιλέχθηκε στα 20 m λόγω του μέσου πάχους του στρώματος που είναι 50 m έτσι ώστε να μην έχει οροφή η εγκατάσταση το ασταθές περιβάλλον του φλύσχη αλλά και με σκοπό να παρεμβάλλεται ένα αρκετό πάχος στρώματος ορυκτού άλατος μέχρι αυτό.

## 5.2.2 Υπόθεση δυναμικότητας αποθήκευσης του υπόγειου χώρου

Ο χώρος υπόγειας διάθεσης όπως έχει περιγραφεί και προηγουμένως είναι πεπερασμένος και όπως όλοι οι παρόμοιοι χώροι έχουν έναν κύκλο ζωής. Ο κύκλος ζωής εξαρτάται από τη δυνατότητα του όγκου των αποβλήτων που είναι σχεδιασμένος και μπορεί να δεχτεί ο χώρος. Στο τέλος της λειτουργίας οι προσβάσεις στο χώρο σφραγίζονται και παραμένει η διαδικασία παρατήρησης τυχόν αστοχίας ή διαρροής επικίνδυνων υλικών στο περιβάλλον. Στο παράρτημα II της εργασίας παρατίθεται ο αναρτημένος πίνακας των εξαγόμενων ποσοτήτων των αποβλήτων του 2011 επεξεργασμένος από τον γράφοντα με την παραδοχή πως τα απόβλητα με κωδικούς τελικής διάθεσης D1, D5, D10, D9 και D12, θα μπορούν να διατεθούν με τελική απόθεση σε υπόγειο χώρο. Αυτές οι ποσότητες αντιστοιχούν στο 15% περίπου των συνολικά εξαγόμενων αποβλήτων, τα οποία εξαγόμενα απόβλητα αντιστοιχούν στο 20% περίπου των παραγόμενων αποβλήτων. Οπότε κάνοντας την αναγωγή στο σύνολο των παραγόμενων αποβλήτων και με την παραδοχή μίας ετήσιας παραγωγής αποβλήτων σε 300.000 tn μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως το 15% της ετήσιας παραγωγής δηλαδή 45.000 tn επικίνδυνων αποβλήτων μπορεί να διατίθεται προς υπόγεια διάθεση.

Στην δεξιά στήλη του πίνακα παρατίθενται ενδεικτικά οι τιμές της πυκνότητας των αποβλήτων με βάση μελέτες της υπηρεσίας περιβάλλοντος του Ηνωμένου Βασιλείου. Η μέση τιμή αυτών είναι 0.5. Οπότε μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως η ετήσια παραγωγή των αποβλήτων θα έχει έναν όγκο της τάξης των 90.000 m<sup>3</sup>.

Στην υποενότητα 4.5 που αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος ο όγκος του κοιτάσματος στο βόρειο τμήμα ανέρχεται στα 1.093.500 m<sup>3</sup> και στο νότιο τμήμα 2.933.855 m<sup>3</sup>, οπότε είναι αντιληπτό πως η εκμετάλλευση θα

μπορεί να στηρίξει την υπόγεια διάθεση για έναν ικανοποιητικό αριθμό ετών έτσι ώστε να είναι βιώσιμο το έργο.

### **5.2.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος και παραδοχές αυτών**

Όπως έχει προαναφερθεί η γεωλογική έρευνα του Ι.Γ.Μ.Ε. για το κοιτάσμα του ορυκτού άλατος στο Μονολίθι είχε ως βασικό σκοπό τον εντοπισμό και την περιχάραξη του κοιτάσματος. Επίσης βασικό ζητούμενο ήταν και η ποιοτική ανάλυση του ορυκτού άλατος κυρίως αναφορικά με την περιεκτικότητα σε NaCl. Για αυτό το λόγο δεν υπήρξε προσανατολισμός της έρευνας στα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος.

Ακόμα αξίζει να σημειωθεί πως η γεωφυσική έρευνα χρησιμοποίησε σεισμικά επιμήκη κύματα για τον εντοπισμό του κοιτάσματος, εάν υπήρχαν διαθέσιμα και διαμήκη κύματα θα μπορούσαν να εξαχθούν για τους σχηματισμούς το μέτρο ελαστικότητας  $E$ , το μέτρο διασταλτικότητας  $G$  κ.α.

Ωστόσο για την επιτυχή ολοκλήρωση των αναλύσεων είναι απαραίτητα βασικά χαρακτηριστικά του πετρώματος όπως η συνοχή ( $c$ ), η εσωτερική γωνία τριβής ( $\phi$ ) η αντοχή σε θλίψη (UCS) και το μέτρο ελαστικότητας ( $E$ ).

Με βάση λοιπόν πειραματικές διαδικασίες από τη βιβλιογραφία θα γίνουν οι κατάλληλες παραδοχές για τον καθορισμό αυτών των παραμέτρων. Έχει ήδη προαναφερθεί πως σε περιπτώσεις σχεδιασμού κατασκευής οι παράμετροι θα καθοριστούν μετά από πειραματικές δοκιμές σε δείγματα του ίδιου του πετρώματος αλλά ακόμα και δοκιμές in-situ στο πέτρωμα.

Οι αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν είναι 4 και αφορούν πειραματικές διαδικασίες με τις οποίες προσδιορίστηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά



σηματισμών ορυκτού άλατος. Τα δείγματα που Από το ορυχείο Targu Ocna στην υποκαρπάθια περιοχή της Ρουμανίας με σκοπό τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του ορυκτού άλατος και τη διερεύνηση μεταξύ άλλων της δυνατότητας υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων στο ορυχείο (Arad et al., 2008). Από το ορυχείο Klodawa της Πολωνίας με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων για ορυκτό αλάτι λευκού και κυανού χρώματος (Kolano & Flisiak, 2013). Από το κοίτασμα Yingcheng στην Κίνα ελήφθησαν δείγματα πυρήνων διαφόρων σχηματισμών όπως ορυκτού άλατος ,ανυδρίτη και ορυκτού άλατος – ανυδρίτη με σκοπό μεταξύ άλλων τη διερεύνηση της επίδρασης της λιθολογίας στα μηχανικά χαρακτηριστικά (W. Liang et al., 2006). Και τέλος πάλι από την περιοχή της Κίνας, από το κοίτασμα Jiangsu, για τη διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς των σχηματισμών σε κυκλικές φορτίσεις με σκοπό την προσομοίωση των επαναλαμβανόμενων φορτίσεων-αποφορτίσεων που θα ασκηθούν στο περιβάλλον πέτρωμα ενός υπόγειου χώρου αποθήκευσης φυσικού αερίου (W. Liang et al., 2011).

Έτσι το βασικό μέγεθος της αντοχής σε θλίψη του ορυκτού άλατος καθορίστηκε στα 17 MPa λαμβάνοντας τη δεύτερη μικρότερη των αναφορών για μία συντηρητική εφαρμογή. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά οι αναφορές από πειραματικές δοκιμές σε δοκίμια ορυκτού άλατος και οι εξαγόμενες τιμές των βασικών μηχανικών τους χαρακτηριστικών.

Πίνακας 17 Συγκεντρωτικός πίνακας των πειραματικών αναφορών από όπου εξήχθησαν οι παραδοχές για τους υπολογισμούς της αντοχής των στύλων.

Περιοχή	Τύπος ορυκτού άλατος	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	E (GPa)	$\nu$	c (MPa)	$\phi$ (°)
Targu Ocna Mine (Romania)	salt dome	-	24.25	-	0.29	2.83	63.77
Klodawa Mine (Poland)	salt dome	21.11	27.33	6.9	-	4.2	29.08
Jiangsu (China)	bedded salt	-	14.0	3.0	-	-	-
Yingcheng salt deposit (China) <sup>3</sup>	bedded salt	-	20.27	4.4	0.3	4.1	31
	bedded salt	-	17.06	5.9	0.3	-	-

Με βάση τα παραπάνω και τις αναφορές της έρευνας του Ι.Γ.Μ.Ε. δίνονται στον παρακάτω πίνακα οι παραδοχές των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων που αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της εξεταζόμενης περιοχής

Πίνακας 18 Οι τιμές των παραμέτρων των σχηματισμών της περιοχής έρευνας

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	$\nu$ (-)	E (GPa)	c (MPa)	$\phi$ (°)
Φλύσσης	24	-	-	-	-	-
Ορυκτό αλάτι	23	17	0,3	3	-	-
Ασβεστόλιθος	27	-	0,312	28	-	-

Έτσι με βάση τον τύπο για την κατακόρυφη λιθοστατική τάση

ισχύει το εξής:

<sup>3</sup> Σε αυτόν τον πειραματικό προσδιορισμό τα δοκίμια είχαν διαφορετικό μέγεθος

$$\begin{aligned} Sv &= \gamma \cdot H = (\gamma_{\text{φλύσχη}} \cdot H_{\text{φλύσχη}}) + (\gamma_{\text{ορ.άλατος}} \cdot H_{\text{ορ.άλατος}}) \\ &= \left(24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 100 \text{ m}\right) + \left(23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 20 \text{ m}\right) = (2400 + 460) \text{ kPa} \\ &= 2860 \text{ kPa} = 2.86 \text{ MPa} \end{aligned}$$

#### 5.2.4 Εξέταση αντοχής στύλων με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων

Η εξέταση αντοχής των στύλων έγινε με βάση τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον πίνακα 15 στην υποενότητα 5.2.3 και ελήφθησαν δύο περιπτώσεις. Και στις δύο περιπτώσεις ισχύει η τετραγωνική διατομή των στύλων και η κανονική διάταξη στο χώρο. Όπως έχει προαναφερθεί καθώς η εκτίμηση γίνεται για στύλους που δομούνται από ορυκτό άλας θα χρησιμοποιηθεί η μαθηματική έκφραση του Kegel με συντελεστή απομείωσης  $K = 0.7$ .

Η Α΄ Περίπτωση έχει διαστάσεις στύλου με πλάτος 18 m ,με ύψος θαλάμου 8 m και πλάτος θαλάμου 8 m.

Στη Β΄ Περίπτωση προσπάθησε να γίνει μία βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών μεγεθών με διαστάσεις στύλου: πλάτος 15 m και διαστάσεις θαλάμου με ύψος 6 m και πλάτος θαλάμου 8 m.

Πιο συγκεκριμένα για την κάθε περίπτωση ισχύουν τα εξής:

### **Α΄ Περίπτωση:**

Πλάτος στύλου ( $W_p$ ): 18 m

Ύψος στύλου και θαλάμου ( $H_p$  και  $H_R$ ): 8 m

Πλάτος θαλάμου ( $W_R$  δηλαδή απόσταση μεταξύ στύλων): 8 m

Με βάση τον τύπο (6) που αναφέρεται στην υποενότητα 5.1.3 για τη μέση ορθή τάση που αναπτύσσεται στο στυλό ισχύει το εξής:

$$\sigma_p^A = S_v \cdot \left(1 + \frac{W_R^A}{W_p^A}\right)^2 = 2.86 \cdot \left(1 + \frac{8}{18}\right)^2 MPa = 5.96 MPa$$

και με βάση τον τύπο (12) του Kegel για τον υπολογισμό της αντοχής του στύλου σε θλίψη με  $K = 0,7$  ισχύει το εξής:

$$C_p^A = UCS \cdot K \cdot \sqrt{\frac{W_p^A}{H_p^A}} = 17 \cdot 0.7 \cdot \sqrt{\frac{18}{8}} = 17.85 MPa$$

άρα με βάση τον τύπο (3) ο συντελεστής ασφαλείας εκτιμάται σε:

$$F^A = \frac{C_p^A}{\sigma_p^A} = \mathbf{2.99}$$

### **Β΄ Περίπτωση:**

Πλάτος στύλου ( $W_p'$ ): 15 m

Ύψος στύλου και θαλάμου ( $H_p'$  και  $H_R'$ ): 6 m

Πλάτος θαλάμου ( $W_R$  δηλαδή απόσταση μεταξύ στύλων): 8 m

Με βάση τον τύπο (6) που αναφέρεται στην υποενότητα 5.1.3 για τη μέση ορθή τάση που αναπτύσσεται στο στύλο ισχύει το εξής:

$$\sigma_p^B = S_v \cdot \left(1 + \frac{W_R^B}{W_p^B}\right)^2 = 2.86 \cdot \left(1 + \frac{8}{15}\right)^2 MPa = 6.72 MPa$$

και με βάση τον τύπο (12) του Kegel για τον υπολογισμό της αντοχής του στύλου σε θλίψη με  $K = 0,7$  ισχύει το εξής:

$$C_p^B = UCS \cdot K \cdot \sqrt{\frac{W_p^B}{H_p^B}} = 17 \cdot 0.7 \cdot \sqrt{\frac{15}{6}} = 18.81 MPa$$

άρα με βάση τον τύπο (3) ο συντελεστής ασφαλείας εκτιμάται σε:

$$F^B = \frac{C_p^B}{\sigma_p^B} = \mathbf{2.79}$$

### Συμπεράσματα – σύγκριση αποτελεσμάτων

Οι δύο περιπτώσεις που ελήφθησαν για την μελέτη του υπόγειου χώρου έδωσαν ικανοποιητικούς συντελεστές ασφαλείας με βάση τους Salomon & Munro που καθορίζουν το συντελεστή ασφαλείας σε αποδεκτό επίπεδο μεταξύ 1.8 – 2. Οπότε στη δεδομένη περίπτωση που πρόκειται για έναν υπόγειο χώρο διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων, ο συντελεστής ασφαλείας θα πρέπει να κινείται στα ανώτερα όρια όπως και γίνεται.

Σημειώνεται ότι στην β' περίπτωση ενώ υπήρξε μείωση του ύψους ο συντελεστής ασφαλείας μειώθηκε περαιτέρω, καθώς συνοδεύτηκε με τη μείωση του πλάτους του στύλου ενώ το πλάτος του θαλάμου παρέμεινε αμετάβλητο.

Επιπλέον, όσον αφορά στο χώρο που προσφέρουν οι δύο εναλλακτικές λύσεις και με δεδομένη ότι η ωφέλιμη επιφάνεια υπολογίζεται ως εξής:

$$A_R = [(W_P + W_R) \cdot (W_P + W_R)] - A_P \rightarrow A_R = W_R^2 + 2 \cdot W_P \cdot W_R$$

ισχύει για την α' περίπτωση ότι ο διαθέσιμος χώρος είναι ίσος με:

$$A_R^a = 8^2 + 2 \cdot 18 \cdot 8 = 352 \text{ m}^2$$

ενώ ο όγκος με 2.816 m<sup>3</sup> (πολλαπλασιάζοντας με το ύψος των 8 μέτρων)

Αντίστοιχα για τη β' περίπτωση ο διαθέσιμος χώρος είναι ίσος με:

$$A_R^b = 8^2 + 2 \cdot 15 \cdot 8 = 304 \text{ m}^2$$

ενώ ο ωφέλιμος όγκος με 1.824 m<sup>3</sup> (πολλαπλασιάζοντας με το ύψος των 6 μέτρων).

Οπότε μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως η α' περίπτωση είναι καλύτερη συγκριτικά με τη β' τόσο λόγω των συντελεστών ασφαλείας όσο και λόγω ωφέλιμης επιφάνειας και χώρου.

### 5.3 **Ανάλυση με προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων, το πρόγραμμα «PLAXIS»**

Στην ενότητα που ακολουθεί περιγράφεται η προσομοίωση του στύλου των δύο περιπτώσεων με τη βοήθεια του προγράμματος PLAXIS 2D το οποίο αποτελεί εφαρμογή πεπερασμένων στοιχείων.

#### 5.3.1 **Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS 2D**

Το πρόγραμμα PLAXIS είναι μία εφαρμογή που δημιουργεί ψηφιακά μοντέλα προσομοιώνοντας εδαφικά ή και δομικά στοιχεία με βάση τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων. Η εφαρμογή έχει ένα μεγάλο εύρος χρήσης μιας και μπορεί να μοντελοποιήσει ειδικά εδαφικά μοντέλα, αναλύσεις ευστάθειας, ελαστοπλαστικών παραμορφώσεων, ροή υπογείων υδάτων καθώς και μέτρων υποστήριξης (Manual Plaxis, 2011). Η μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων αποτελεί επέκταση της «μητρωϊκής στατικής» στην επίλυση προβλημάτων που περιγράφονται μέσω διαφορικών εξισώσεων (Καββαδάς, 2011). Τα μοντέλα αυτά προσομοιώνονται είτε ως συστήματα επίπεδης παραμόρφωσης είτε ως αξονοσυμμετρικά.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση της εργασίας προσομοιώνεται ένα σύστημα επίπεδης παραμόρφωσης (plain strain) με τριγωνικά στοιχεία 15 κόμβων.

Το καταστατικό μοντέλο αστοχίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το απλό κριτήριο Mohr – Coulomb και οι σχηματισμοί θεωρήθηκαν ομοιογενείς και ισότροποι. Όπως έχει ήδη σημειωθεί για λόγους απλούστευσης της υπολογιστικής διαδικασίας ο φλύσχος έχει προσομοιωθεί ως ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και η φόρτιση αυτή δε λαμβάνεται υπόψη ως στάδιο στην ανάλυση (κατάσταση προφόρτισης). Ακόμα τα στρώματα των σχηματισμών έγινε η παραδοχή πως είναι παράλληλα και χωρίς κλίση.

Από την ανάλυση εξήχθησαν οι ολικές μετακινήσεις, οι κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις του προσομοιώματος, τα σημεία πλαστικής παραμόρφωσης και ο συντελεστής ασφαλείας. Σημειώνεται εδώ πως ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίζει το πρόγραμμα γίνεται με τη μέθοδο της μείωσης των συντελεστών  $c$  και  $\phi$  του κριτηρίου Mohr-Coulomb ( $c$ - $\phi$  reduction) μέχρι να υπάρξει αστοχία και με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$SF = \frac{\tan \phi'_{input}}{\tan \phi'_{reduced}} = \frac{c'_{input}}{c'_{reduced}}$$

### 5.3.2 Παραδοχές για την ανάπτυξη της ανάλυσης

Εκτός από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών και τις λιθοστατικές τάσεις που περιγράφησαν στις προηγούμενες ενότητες, η ανάλυση με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων χρειάζεται και άλλες πληροφορίες όπως το συντελεστή ουδετέρων ωθήσεων ( $K_0$ ) και το μέτρο ελαστικότητας ( $E$ ) όλων των σχηματισμών υπερκείμενων και υποκείμενων.

Οπότε ο συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων ( $K_0$ ) για τους σχηματισμούς του ορυκτού άλατος και του υποκείμενου ασβεστόλιθου, υπολογίστηκε με βάση τον εξής τύπο :

$$K_0 = \frac{\nu}{(1-\nu)} \quad (15)$$

με τις παραδοχές για τον λόγο του Poisson ως εξής:

$$\nu_{ορυκτού \ \acute{\alpha}λατος} = 0,3 \text{ και } \nu_{ασβεστολίθου} = 0,25$$

άρα:

$K_0$  ασβεστόλιθου: 0,453 και  $K_0$  ορυκτού άλατος: 0,428



Αναφορικά με το βασικό πρόβλημα της απουσίας της τρίτης διάστασης στις δισδιάστατες αναλύσεις και με κυρίαρχο θέμα την διατάραξη του στύλου κατά την εκσκαφή του κάθετου θαλάμου έχουν προταθεί διάφορες λύσεις όπως του Pariseau (1979) που πρότεινε την αύξηση του ειδικού βάρους των υπερκείμενων σχηματισμών με βάση τον εξής τύπο:

$$\gamma' = \gamma \cdot \left(1 + \frac{W_R}{L_P}\right) \quad (16)$$

όπου  $\gamma$ : το ειδικό βάρος του υπερκείμενου σχηματισμού

$W_R$ : το πλάτος του θαλάμου και

$L_P$ : το μήκος του στύλου.

Στους υπερκείμενους σχηματισμούς συμμετέχουν εκτός από το στρώμα του φλύσχη και ένα μέρος του στρώματος του ορυκτού άλατος. Αυτό επιλέχθηκε έτσι ώστε η εγκατάσταση να μην έχει ως οροφή τη δομή του φλύσχη.

Άρα τα αυξημένα ειδικά βάρη των σχηματισμών για τις δύο περιπτώσεις της ανάλυσης διαμορφώνονται όπως φαίνονται στον πίνακα Πίνακας 19.

Πίνακας 19 Τα αυξημένα ειδικά βάρη των σχηματισμών, κατά Pariseau.

Σχηματισμός	Ειδικό βάρος, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Αυξημένο ειδικό βάρος $\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	
		Α' Περίπτωση	Β' Περίπτωση
Φλύσχος	24	34,67	36,80
Ορυκτό αλάτι	23	33,22	35,26

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του σχηματισμού του υποκείμενου στρώματος του ασβεστόλιθου ελήφθησαν από το RocLab. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται συνολικά όλα τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών.

Πίνακας 20 Συγκεντρωτικός πίνακας με όλες τις παραμέτρους των σχηματισμών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

Σχηματισμός	Ειδικό βάρος, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Μέτρο ελαστικότητας, E (GPa)	Λόγος του Poisson, $\nu$ (-)	Συνοχή, c (MPa)	Εσωτερική γωνία τριβής, $\phi$ (°)
Φλύσχη*	24	-	-	-	-
Ορυκτό αλάτι	23	3	0,3	4,5	30
Ασβεστόλιθος	27	28	0,25	6,7	42

\* Το στρώμα του φλύσχη πάνω από το ορυκτό αλάτι προσομοιάστηκε ως φορτίο ομοιόμορφα καταναμημένο.

### 5.3.3 Αποτελέσματα της δισδιάστατης ανάλυσης

Όπως έγινε και στην ενότητα 5.2.4. όπου διερευνήθηκε η αντοχή των στύλων με βάση τη Μέθοδο Θαλάμων και Στύλων για τα ίδια χαρακτηριστικά των στύλων και των θαλάμων έγινε η προσομοίωση με το πρόγραμμα Plaxis 2D.

Και στις δύο περιπτώσεις οι φάσεις που ακολουθήθηκαν κατά την υπολογιστική διαδικασία είναι οι εξής:

**1<sup>η</sup> Φάση:** Ενεργοποίηση των φορτίων δηλαδή των λιθοστατικών τάσεων του υπερκείμενου σχηματισμού του φλύσχη.

**2<sup>η</sup> Φάση:** Πλήρης εκσκαφή του αριστερού θαλάμου<sup>4</sup> με ταυτόχρονο μηδενισμό των παραμορφώσεων από τα φορτία του φλύσχη.

**3<sup>η</sup> Φάση:** Πλήρης εκσκαφή του δεξιού θαλάμου.

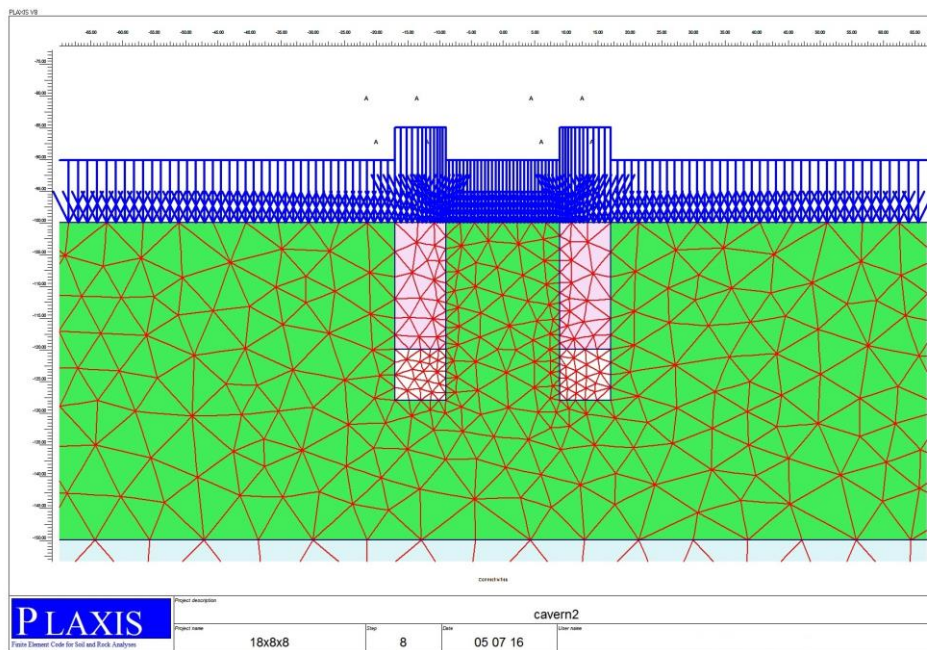
**4<sup>η</sup> Φάση:** Εύρεση του συντελεστή ασφαλείας του προσομοιώματος.

---

<sup>4</sup> Εδώ ο όρος «θάλαμος» χρησιμοποιείται για την περιγραφή του προσομοιώματος και μόνο διότι δεν έχει προσομοιωθεί ο θάλαμος μιας και εκατέρωθεν του στύλου δεν έχουν σχεδιαστεί άλλοι στύλοι αλλά στύλοι-φράχτες, που είναι ο σχηματισμός στα όρια του χώρου εκμετάλλευσης.

## Α΄ Περίπτωση

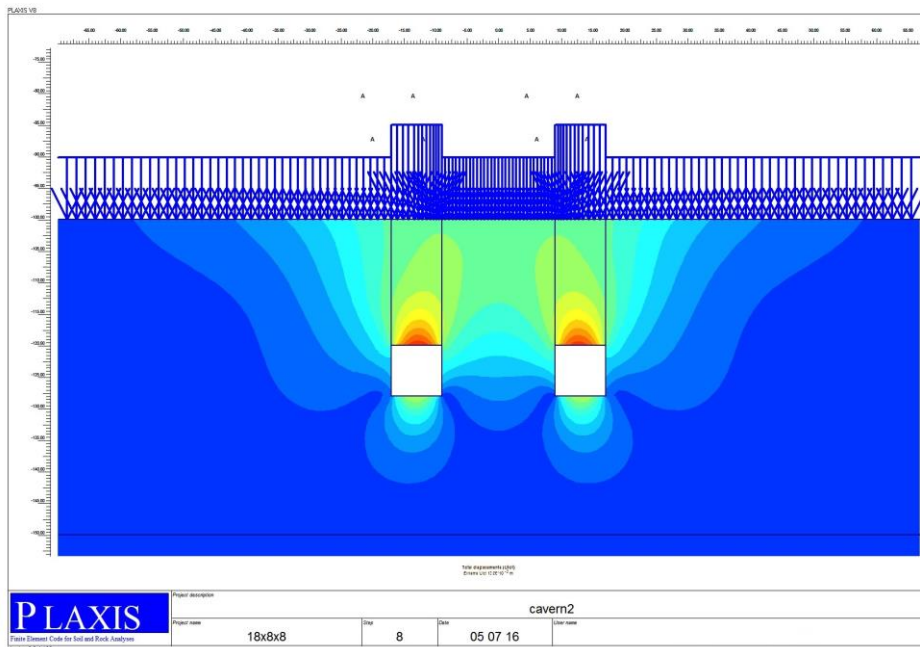
Στην Α΄ περίπτωση οι διαστάσεις του στύλου είναι 18 m, του θαλάμου 8 m και το ύψος του στύλου στα 8 m. Το πλέγμα που δημιουργήθηκε φαίνεται στην εικόνα Εικόνα 53. Στην εικόνα φαίνονται η γεωμετρία των θαλάμων που ορίζουν το στύλο, το ισοδύναμο φορτίο του στρώματος του φλύσχη, το αυξημένο ισοδύναμο φορτίο και το στρώμα του ορυκτού άλατος με το αυξημένο ειδικό βάρος για την προσομοίωση της τρίτης διάστασης. Ακόμα στις περιοχές ενδιαφέροντος έχει γίνει πύκνωση των στοιχείων για την καλύτερη αποτύπωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.



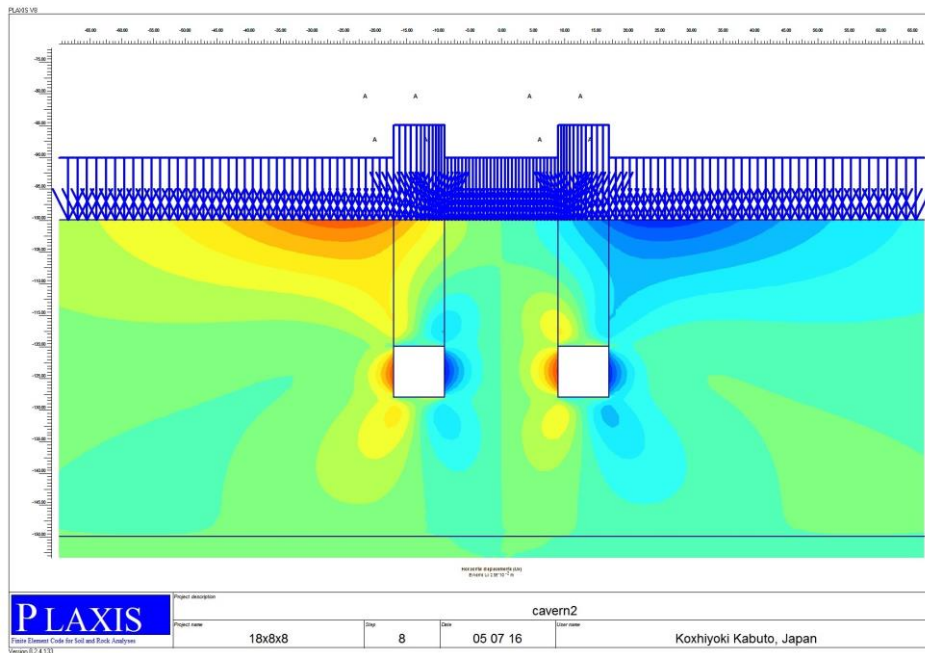
Εικόνα 53 Το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων και η γεωμετρία της προσομοίωσης που δημιουργήθηκε για την εξέταση της α΄ περίπτωσης.

Στη συνέχεια της ανάλυσης εξήχθησαν τα εξής αποτελέσματα:

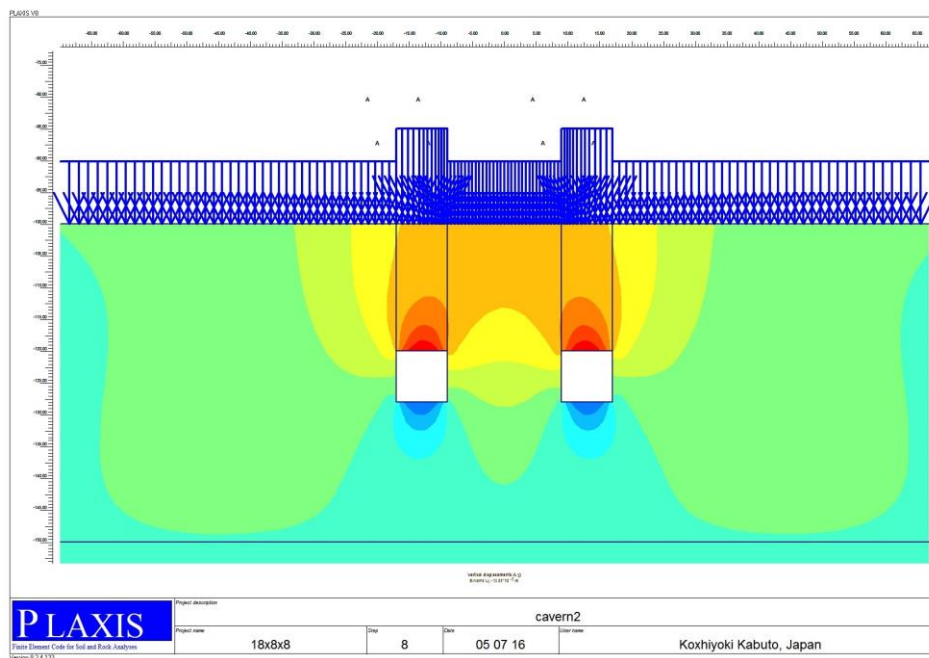
Οι ολικές μετακινήσεις έχουν μέγιστη τιμή 13.85 mm, που αφορούν τις κατακόρυφες μετακινήσεις, ενώ οι οριζόντιες μετατοπίσεις έχουν μέγιστη τιμή 2.96 mm. (εικόνες Εικόνα 54, Εικόνα 55 & Εικόνα 56). Ακόμα στην εικόνα Εικόνα 57 παρουσιάζονται τα σημεία πλαστικής παραμόρφωσης (plastic points) τα οποία στοχεύουν σε εφελκυσμό. Ο συντελεστής ασφαλείας του προσομοιώματος πήρε την τιμή:  $SF^A = 4,39$ .



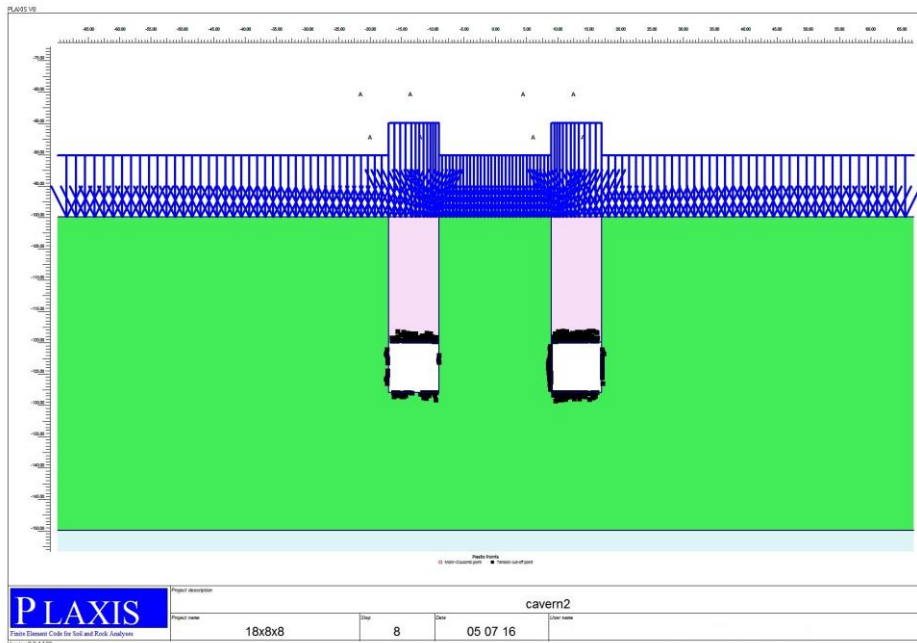
Εικόνα 54 Οι ολικές μετακινήσεις του προσομοιώματος με κυρίαρχες τις κατακόρυφες μετακινήσεις στο μέσο των θαλάμων.



Εικόνα 55 Οι οριζόντιες μετακινήσεις του προσομοιώματος με τις μεγαλύτερες τιμές στις παρειές του σύλου και στο μέσο του ύψους αυτού. Με διαφορετικό χρώμα επισημαίνεται η αντίθετη κατεύθυνση των μετακινήσεων που είναι προς την εκσκαφή.



Εικόνα 56 Οι κατακόρυφες μετακινήσεις του προσομοιώματος με μέγιστες μετακινήσεις στο μέσο της οροφής των θαλάμων και στο μέσο του δαπέδου των θαλάμων εμφανίζεται μία ανύψωση πυθμένα.

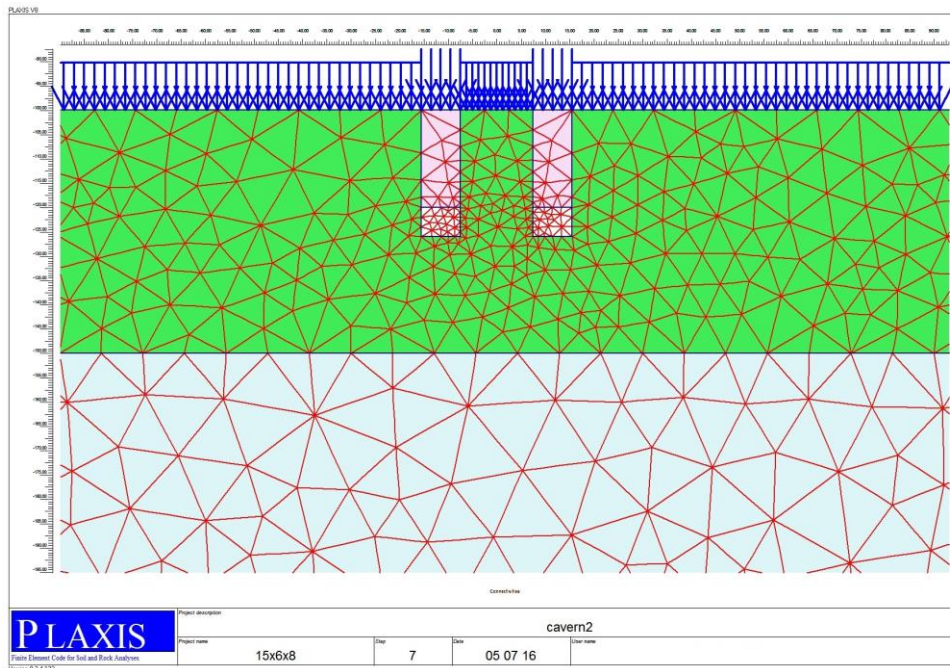


Εικόνα 57 Τα σημεία πλαστικής παραμόρφωσης. Παρατηρείται πως βρίσκονται γύρω από την εκσκαφή.

### Β' Περίπτωση

Στην Β' περίπτωση οι διαστάσεις του στύλου είναι 15 m, του θαλάμου παρέμεινε αμετάβλητος στα 8 m και το ύψος του στύλου στα 6 m. Το πλέγμα που δημιουργήθηκε φαίνεται στην εικόνα Εικόνα 58. Στην εικόνα φαίνονται όπως και στην Α' περίπτωση η γεωμετρία των θαλάμων που ορίζουν το στύλο, το ισοδύναμο φορτίο του στρώματος του φλύσχη, το αυξημένο ισοδύναμο φορτίο και το στρώμα του ορυκτού άλατος με το αυξημένο ειδικό βάρος για την προσομοίωση της τρίτης διάστασης. Ακόμα στις περιοχές ενδιαφέροντος έχει γίνει πύκνωση των στοιχείων για την καλύτερη αποτύπωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.



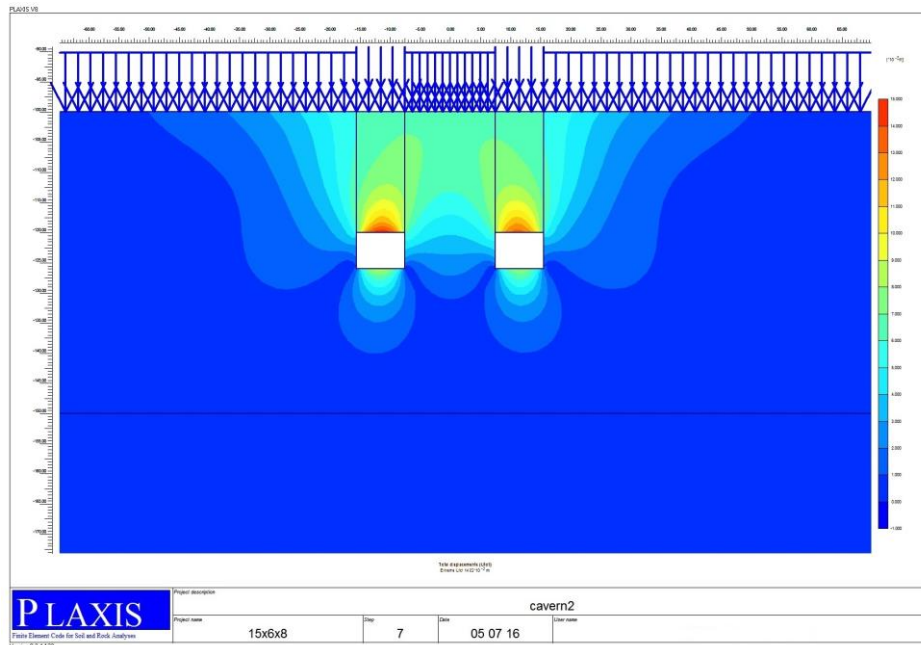


Εικόνα 58 Το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων και η γεωμετρία της προσομοίωσης που δημιουργήθηκε για την εξέταση της β' περίπτωσης.

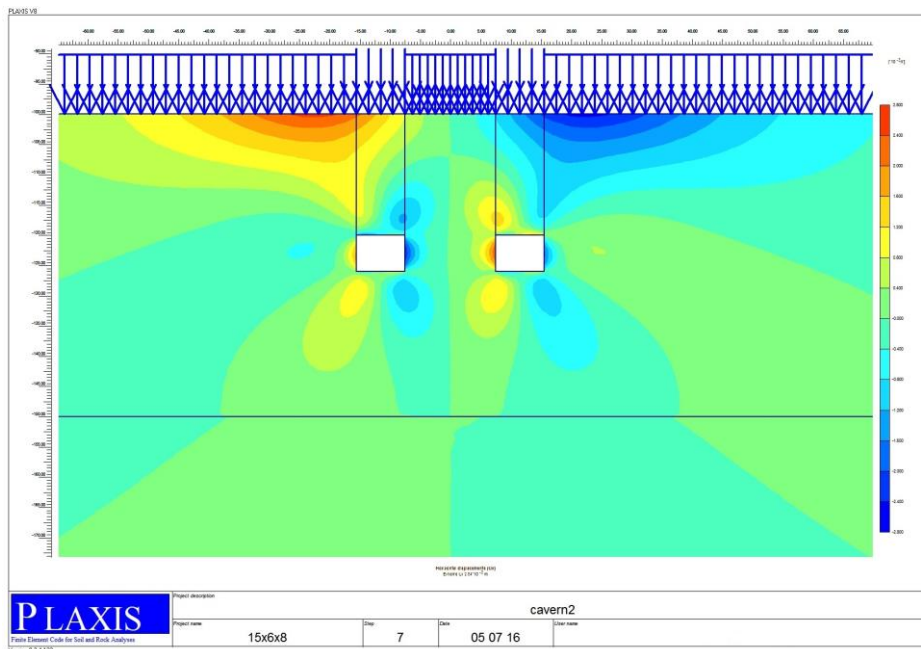
Στη συνέχεια της ανάλυσης εξήχθησαν τα εξής αποτελέσματα:

Οι ολικές μετακινήσεις όπως φαίνονται στην εικόνα Εικόνα 59 έχουν μέγιστη τιμή 14.82 mm, που αφορούν στις κατακόρυφες μετακινήσεις, ενώ οι οριζόντιες μετακινήσεις έχουν μέγιστη τιμή 2.54 mm. (εικόνες Εικόνα 59, Εικόνα 60 & Εικόνα 61). Ακόμα στην εικόνα Εικόνα 62 παρουσιάζονται τα σημεία πλαστικής παραμόρφωσης (plastic points) τα οποία ασκοχούν σε εφελκυσμό. Ο συντελεστής ασφαλείας του προσομοιώματος πήρε την τιμή:  $SF^B = 4,58$ .



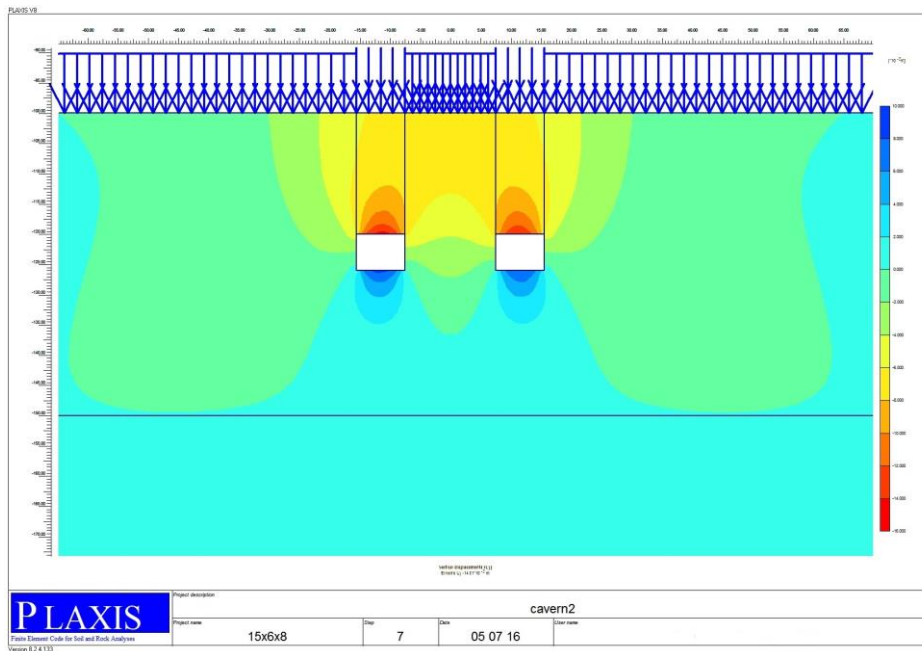


Εικόνα 59 Οι ολικές μετακινήσεις του προσομοιώματος με κυρίαρχες και εδώ τις κατακόρυφες.

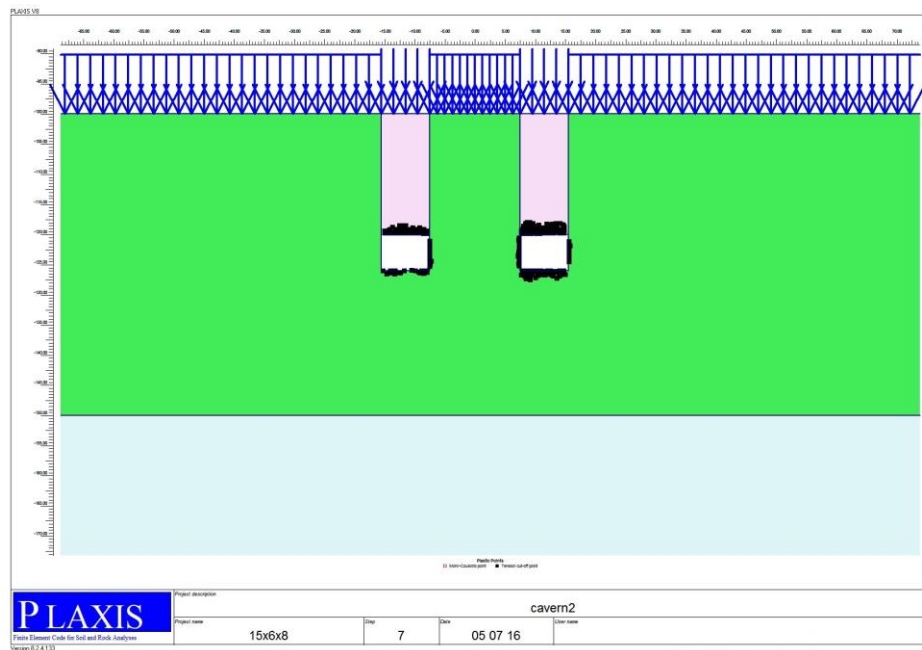


Εικόνα 60 Οι οριζόντιες μετακινήσεις του προσομοιώματος με τις μεγαλύτερες τιμές και εδώ στις παρειές του στύλου και στο μέσο του ύψους αυτού. Με διαφορετικό χρώμα επισημαίνεται η αντίθετη κατεύθυνση των μετακινήσεων που είναι προς την εκσκαφή.

Υπόγεια διάθεση αποβλήτων και μία πρώτη θεώρηση για την κατασκευή υπόγειου χώρου διάθεσης αποβλήτων σε δομή οрукτού άλατος στο Μονολίθι Ιωαννίνων  
Διπλωματική εργασία Μ.Δ.Ε.



Εικόνα 61 Οι κατακόρυφες μετακινήσεις που και σε αυτή την περίπτωση εντοπίζονται στο μέσο των θαλάμων και ως ανύψωση του δαπέδου αυτών.



Εικόνα 62 Τα σημεία πλαστικής παραμόρφωσης, τα οποία εντοπίζονται και σε αυτή την περίπτωση γύρω από την εκσκαφή.

### Συμπεράσματα αναλύσεων

Από τις παραπάνω αναλύσεις μπορούν να εξαχθούν τα εξής αποτελέσματα:

- Αρχικά το προσομοίωμα δίνει έναν ικανοποιητικό συντελεστή ασφαλείας και στις δύο περιπτώσεις. Ωστόσο σε αντίθεση με τη μελέτη αντοχής των στύλων ο συντελεστής ασφαλείας της β' περίπτωσης είναι μεγαλύτερος από αυτόν της α' περίπτωσης:  $SF^A = 4,39 < SF^B = 4,58$ .
- Τα σημεία αστοχίας που προφανώς είναι λόγω εφελκυσμού και η ποιοτική τους αξιολόγηση μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα των τοπικών αστοχιών λόγω της εκσκαφής όπως είναι και αναμενόμενο.

## **6 Συζήτηση – συμπεράσματα**

### ***Η υπόγεια αποθήκευση των αποβλήτων***

Η κατεύθυνση της εποχής αναφορικά με την διαχείριση των αποβλήτων είναι ο περιορισμός στην πηγή, η ανακύκλωση, η επαναχρησιμοποίηση, η ανάκτηση χρησίμων υλικών κ.α. Όμως η εποχή των μηδενικών αποβλήτων δεν έχει έρθει και παρά τις οποιεσδήποτε αλλά αναγκαίες προσπάθειες περιορισμού τους, τα επικίνδυνα απόβλητα θα συνεχίσουν να υφίστανται και κυρίως θα πρέπει να διατεθούν μακριά από το ανθρώπινο και γενικότερα φυσικό περιβάλλον της βιόσφαιρας. Έτσι ως η πιο ασφαλής και μόνιμη μέθοδος προκρίνεται η υπόγεια διάθεση των αποβλήτων σε περιοχές με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία έχουν ενδελεχώς διερευνηθεί και αποτυπωθεί και σε εγκαταστάσεις όπου θα πληρούνται τα πλέον αυστηρά κριτήρια ασφάλειας. Η ανάπτυξη των τεχνητών φραγμών θα δώσει ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία σε αυτή τη μέθοδο διάθεσης. Όπως περιγράφηκε, σχεδόν σε όλο τον κόσμο έχουν αναπτυχθεί ή αναπτύσσονται εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων και σε μικρό χρονικό διάστημα πολλοί χώροι θα έχουν κλείσει πάνω από μισό αιώνα ζωής. Με την πάροδο των ετών τα σενάρια επικινδυνότητας θα δώσουν τη θέση τους σε πειραματικές μετρήσεις, κάτι που για αρκετούς χώρους έχει ήδη αρχίσει να γίνεται με θετικά αποτελέσματα για τη μέθοδο αυτή.

### ***Υπόγεια αποθήκευση αποβλήτων σε σχηματισμούς ορυκτού άλατος***

Το περιβάλλον του σχηματισμού του ορυκτού άλατος είναι ευνοϊκό για την υπόγεια ανάπτυξη εγκαταστάσεων αποθήκευσης αποβλήτων, είτε στις περιπτώσεις της ανάπτυξης του σχηματισμού σε στρώματα είτε σε δόμους. Βασικές προϋποθέσεις ωστόσο είναι η απουσία του υπόγειου νερού και τα

ευνοϊκά μηχανικά χαρακτηριστικά (αντοχή πετρώματος κ.α.). Ακόμα ενδιαφέρον παρουσιάζει η ταυτόχρονη εκμετάλλευση του κοιτάσματος και ως εκμεταλλεύσιμο προϊόν και ως υλικό επανεπίχωσης για τη σφράγιση των ανοιγμάτων εφαρμόζοντας έναν επιπλέον φραγμό αλλά και διασφαλίζοντας περαιτέρω την ευστάθεια των υπόγειων εκσκαφών.

### ***Το κοιτάσμα ορυκτού άλατος στο Μονολίθι Ιωαννίνων***

Ως μία πρώτη θεώρηση μπορεί να υποστηριχτεί πως η περιοχή του Μονολιθίου είναι μία θέση που καλύπτει τα βασικά κριτήρια επιλογής του χώρου, όπως η απομόνωση του υδροφόρου ορίζοντα από την εγκατάσταση αλλά και η σχετικά καλή συμπεριφορά του σχηματισμού, όπως φαίνεται τουλάχιστον σε προκαταρκτικό επίπεδο. Ωστόσο η εγγύτητα της περιοχής σε ρήγματα προκαλεί προβληματισμό και θα έχρηζε περαιτέρω και ενδελεχούς διερεύνησης. Επίσης, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της εταιρείας BP που είχαν διεξαχθεί παλαιότερα και υποδεικνύουν θέσεις στη Δυτική Ελλάδα, με σχηματισμούς εβαποριτών σε μεγάλα βάθη. Έτσι όπου θα μπορούσε να διερευνηθεί η δυνατότητα κατασκευής παρόμοιων εγκαταστάσεων στις συγκεκριμένες θέσεις.

Στην εργασία εξετάστηκε η ανάπτυξη του συγκροτήματος αποθήκευσης με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων, ιδιαίτερα ικανής και διαδεδομένης για υπόγειες εκμεταλλεύσεις και για ανάπτυξη τέτοιων εγκαταστάσεων. Αρχικά και με βάση μια συντηρητική επιλογή παραμέτρων όπως είναι η αντοχή σε θλίψη του ορυκτού άλατος, διαφαίνεται ένας σχετικά ικανοποιητικός συντελεστής ασφαλείας τόσο με τη μέθοδο εξέτασης με βάση τη θεωρία της συνεισφέρουσας επιφάνειας όσο και με τις αναλύσεις μέσω των πεπερασμένων στοιχείων.

Όπως ήταν αναμενόμενο, επαληθεύθηκε το γεγονός πως η μέθοδος θαλάμων και στύλων παράγει πιο συντηρητικά αποτελέσματα μιας και οι συντελεστές ασφαλείας είναι μικρότεροι από του προγράμματος Plaxis. Έτσι, φαίνεται ότι υπάρχει μεγάλο περιθώριο βελτιστοποίησης των διαστάσεων των θαλάμων και στύλων με σκοπό τόσο την αύξηση του συντελεστή ασφαλείας όσο και της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο είναι πως υπήρξε ασυμφωνία μεταξύ των μεθόδων ως προς το ποια περίπτωση έχει μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας. Πιο συγκεκριμένα η περίπτωση Α' με τη προτεινόμενη μελέτη αντοχής στύλου δίνει μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας ενώ με τη μέθοδο της προσομοίωσης μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας παρουσιάζει η περίπτωση Β. Σε κάθε περίπτωση βέβαια οι διαφοροποιήσεις είναι μικρές, ενώ ένα ακόμα μέτρο που θα μπορούσε ακόμα να προταθεί για την περαιτέρω βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας είναι η χρήση της μεθόδου της επανεπίχωσης (γόμωσης των κενών).

Αναφορικά με το κόστος της εγκατάστασης αξίζει να αναφερθεί πως το κόστος μεταφοράς όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.8.2. για τα επικίνδυνα απόβλητα κυμαίνεται μεταξύ 1.500 – 3.000 € / tn. Μία εγκατάσταση με δυναμικότητα υποδοχής 45.000 tn αποβλήτων το χρόνο, εξοικονομεί 67,5 – 135 εκατομμύρια € το έτος και παράγει ταυτόχρονα οφέλη από την εκμετάλλευση του άλατος ως προϊόντος προς πώληση. Σήμερα, η περιοχή έχει τα αρνητικά πρωτεία σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση αναφορικά με το κατά κεφαλήν εισόδημα και το δείκτη της ανεργίας και επομένως ένα έργο τέτοιας κλίμακας θα μπορούσε να βοηθήσει στην κατεύθυνση της απασχόλησης και της περιφερειακής ανάπτυξης.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η θέση γειτνιάζει με σημαντικούς συγκοινωνιακούς κόμβους όπως η Εγνατία Οδός, και ο νέος λιμένας της Ηγουμενίτσας και της δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Επίσης στα σχέδια της

ελληνικής πολιτείας είναι και η κατασκευή της Σιδηροδρομικής Εγνατίας, ένα έργο που θα εξασφάλιζε την καλύτερη δυνατή μεταφορά των επικίνδυνων αποβλήτων στην περιοχή. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής, που χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και πολιτιστικής κληρονομιάς, επιβάλλουν ότι ο σχεδιασμός ενός τέτοιου χώρου θα πρέπει να γίνει με τα αυστηρότερα κριτήρια ασφάλειας και την πρόκληση των ελάχιστων δυνατών επιπτώσεων και του ελάχιστου δυνατού επιφανειακού αποτυπώματος, έτσι ώστε να μην αλλοιωθεί η φυσιογνωμία της.

.

## 7 Βιβλιογραφικές αναφορές

Authority, N. D., 2010. *An Introduction to the Derived Inventory*, Didcot: Nuclear Decommissioning Authority.

Bell, F. G., 2005. *Prolematic Rocks*. Keyworth: British Geological Survey.

D. Kaliampakos and A. Benardos, 2009. *Developing the first underground hazardous waste repository in Greece*. Athens, 3rd AMIREG International Conference (2009): Assessing the Footprint of Resource Utilization and Hazardous Waste Management, Athens, Greece.

D. Kaliampakos, A. Benardos, 2009. *On-site Underground Hazardous Waste Repositories: A Successful Model*. Athens, Proceedings of ACUUS 2009.

D. Kaliampakos, A. Mavropoulos, M. Menegaki, 2006. Need and Potntial for Underground disposal - survey of underground mines in Europe. Στο: R. P. V. Popov, επιμ. *Disposal of Hazardous Waste in Underground Mines*. s.l.:WIT Press, pp. 53-55.

Energy, T. U. D. o., 2015. *Waste Isolation Pilot Plant*, s.l.: s.n.

Eurostat, 2012. *Generation of waste by waste category and hazardousness (2012)*. [Ηλεκτρονικό]

Available at:  
<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00109&plugin=1>

[Πρόσβαση 20 05 2016].

Federal Environment Agency, Germany, 2004. *Background paper on permanent storage in salt mines*, Berlin: Federal Environment Agency, Germany.

Goodman, R. E., 1993. *Engineering Geology*. Berkley: John Willey & Sons, Inc..



J. P. Schleinig, H. Konietzky, 2016. *Geomechanical issues in room and pillar mining – an introduction*, Freiberg: Institut für Geotechnik.

K. K. Landes & A. Arbor, 1960. *Salt Cavern Storage Background*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at:  
<http://innovativeenergy.com.au/saltcavern/origins%20of%20rock%20salt%20deposits.pdf>

[Πρόσβαση 25 03 2016].

K+S Entsorgung GmbH, 2016. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [http://www.ks-entsorgung.com/en/pdf/brochure\\_underground\\_disposal.pdf](http://www.ks-entsorgung.com/en/pdf/brochure_underground_disposal.pdf)

[Πρόσβαση 25 4 2016].

M. Kolano, D. Flisiak, 2013. Comparison of Geo-mechanical Properties Of White Rock Salt And Pink Rock Salt In Klodawa Salt Diapir. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Τόμος XXXV.

M. Langer, S. Heusermann, 2001. Geomechanical Stability and Integrity of Waste Disposal Mines in Salt Structures. *Engineering Geology*, Τόμος 61, pp. 155-161.

M. Langer, 1999. Principles of geomechanical safety assessment for radioactive waste disposal in salt structures. *Engineering Geology*, Τόμος 52, pp. 257-269.

Manual Plaxis, 2011. [Ηλεκτρονικό].

N. Chapman, A. Hooper, 2012. The disposal of radioactive wastes underground. *Proceedings of the Geologists' Association 123*, pp. 46-63.

Norwegian Geotechnical Institute, 2009. *The Stad Ship tunnel, Norway*.  
[Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.ngi.no/en/Contentboxes-and-structures/Reference->

Projects/Reference-projects/The-Stat-Ship-tunnel-Norway/

[Πρόσβαση 24 02 2016].

Pusch, R., 2006. Criteria for selecting repository mines. Στο: V. P. & R. Pusch, επιμ. *Disposal of Hazardous Waste in Underground Mines*. Lund: WIT Press, pp. 65-67.

R. Adey, A. Calaon, 2006. *Disposal of Hazardous Waste in Underground Mines*. Southampton: WIT Press.

Rempe, N. T., 2007. Permanent underground repositories for radioactive waste. *Progress in Nuclear Energy*, Τόμος 49, pp. 365-374.

S. Arad, V. Arad, J. Veres, O. Stoicuta, 2008. *Safety Excavation In Salt Rock Used For Underground Storage In Romania*. Petrosani, s.n.

The United Nations Statistics Division, 2015. *Environment Glossary*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at:  
<http://unstats.un.org/unsd/environmentgl/gesform.asp?getitem=1178>

The US Department of Energy, 2015. *The US Department of Energy / The Waste Isolation Pilot Plant*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at:  
[http://www.wipp.energy.gov/Photo\\_Gallery/Images/Mining\\_photos/Mining1.jp](http://www.wipp.energy.gov/Photo_Gallery/Images/Mining_photos/Mining1.jpg)

g

UNEP, 2014. *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal*. [Ηλεκτρονικό].

Veolia, 2014. *Minosus Brochure*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at:  
<http://www.veolia.co.uk/sites/g/files/dvc636/f/assets/documents/2015/04/Min>

osus Brochure PDF 0.pdf

[Πρόσβαση 30 4 2016].

W. Liang, C. Yang, Y. Zhao, M. B. Dusseault, J. Liu, 2006. Experimental Investigation Of Mechanical Properties Of Bedded Salt Rock. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Τόμος 44, pp. 400-411.

W. Liang, C. Zhang, H. Gao, X. Yang, S. Xu, Y. Zhao, 2011. Experiments On Mechanical Properties Of Salt Rocks Under Cyclic Loading. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Τόμος 4, pp. 54-61.

Wikipedia, 2016. *Deep geological repository*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_geological\\_repository](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_geological_repository)

A. Σοφιανός, Π. Νομικός, 2008. *Μηχανική Πετρωμάτων*. Αθήνα: Ε.Μ.Π..

Βγενόπουλος, Α., 2000. *Γενική Ορυκτολογία (Σημειώσεις από την παράδοση)*. Athens: Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π..

Γιδαράκος, Ε., 2006. *Επικίνδυνα Απόβλητα Διαχείριση και Επεξεργασία*. Θεσσαλονίκη: Ζυγός.

Δ. Καλιαμπάκος & Α. Μπενάρδος, 2009. *ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ Σχεδιασμός & Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση Ειδικών Υπόγειων Έργων*. Αθήνα: s.n.

Δ. Καλιαμπάκος, Α. Μπενάρδος, 2009. *Σχεδιασμός & Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση Ειδικών Υπογείων Έργων*. Αθήνα: Σημειώσεις μαθήματος σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.

Ε.Ε.Δ.Σ.Α., 2011. *Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=105>

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008. *EUROPA*.  
[Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>

Ιστοσελίδα του Τεχνολογικού Πολιτιστικού Πάρκου, 2010. *Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου - Ιστορικό*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [http://www.ltp.ntua.gr/lavrion\\_park/history](http://www.ltp.ntua.gr/lavrion_park/history)

[Πρόσβαση 20 03 2016].

Καββαδάς, Μ., 2011. *Σημειώσεις Σχεδιασμού Υπογείων Έργων*. Αθήνα: Ε.Μ.Π..

Μ. Μαρκούλη, Κ. Κατσιάβαλου, 1978. *Πρόδρομος Οικονομοτεχνική Μελέτη επί των Δυνατοτήτων Αξιοποίησης του Ορυκτού Άλατος της περιοχής Μοβολίθι Ηπείρου*, Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε..

Μουντράκης, Δ., 2010. *Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας*, Θεσσαλονίκη: Uninersity Studio Press.

Μπενάρδος, Α., 2011. *Οδηγός Χρήσης ΕΚΑ-Σύνδεση με Ετήσια Έκθεση Παραγωγού Αποβλήτων*, Αθήνα: s.n.

Μωραϊτης, Ι., 2005. *Υπεδαφική Αποθήκευση Υδρογονανθράκων σε Σχηματισμούς Ορυκτού Άλατος*, Αθήνα: Ε.Μ.Π..

Νικολάου, Ε., 2010. *Υδρογεωλογική Μελέτη του υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου*, Πρέβεζα: Ι.Γ.Μ.Ε..

Παπανικολάου, Ν., 1978. *Γεωφυσική αναγνωριστική έρευνα για αναζήτηση ορυκτού άλατος στις περιοχές Μολίθι Ιωαννίνων και Καρυδέα Άρτας*, Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε..

Παπασταύρου, Σ. Ε., 1978. *Έκθεση Απολογισμού των Ερευνητικών Εργασιών που έγιναν το 1977 στο Έργο: "Ορυκτό Αλάτι Μονολιθίου"*, Πρέβεζα: Ι.Γ.Μ.Ε. Παράρτημα Πρεβέζης.

Τσαϊμού, Κ., 1997. *Αρχαιογνωσία των Μετάλλων Αρχαία Μεταλλευτική και Μεταλλουργική Τεχνική*. Αθήνα: s.n.

ΥΠΕΝ, 2015. *Διαχείριση Επικίνδυνων Αποβλήτων*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=439&language=el-GR>  
[Πρόσβαση 18 02 2016].

Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Σκωτίας, SEPA, 2015. *Guidance on using the European Waste Catalogue (EWC) to code waste*, s.l.: SEPA.

Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος Κύπρου, 2016. *Διασυνοριακή Μεταφορά Αποβλήτων*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at:  
[http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/All/5651EB1EAB9B  
DBA8C225796D0035B03E](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/All/5651EB1EAB9BDBA8C225796D0035B03E)  
[Πρόσβαση 20 4 2016].

ΦΕΚ 791/Αριθμ. Η.Π. 24944/1159, 2006. [Ηλεκτρονικό].

## 8 Παράρτημα I

Παρακάτω ακολουθεί το Παράρτημα III της οδηγίας 2008/98/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ε.Ε. της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα:

### ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΟΥ ΤΑ ΚΑΘΙΣΤΟΥΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ

H1 «Εκρηκτικό»: ουσίες και παρασκευάσματα που μπορούν να εκραγούν όταν έλθουν σε επαφή με φλόγα ή που είναι περισσότερο ευαίσθητες στις κρούσεις και τις τριβές από το δινιτροβενζόλιο.

H2 «Οξειδωτικό»: ουσίες και παρασκευάσματα τα οποία, όταν έλθουν σε επαφή με άλλες ουσίες, ιδίως εύφλεκτες ουσίες, παρουσιάζουν ισχυρή εξώθερμο αντίδραση.

H3-A «Πολύ εύφλεκτο»:

— ουσίες και παρασκευάσματα σε υγρή κατάσταση, των οποίων το σημείο ανάφλεξης είναι κατώτερο των 21 °C (συμπεριλαμβανομένων εξαιρετικά εύφλεκτων υγρών), ή

— ουσίες και παρασκευάσματα που μπορεί να θερμανθούν και τελικά να αναφλεγούν στον αέρα σε κανονική θερμοκρασία χωρίς έξωθεν παροχή ενέργειας, ή

— ουσίες και παρασκευάσματα σε στερεά κατάσταση, που μπορούν να αναφλεγούν εύκολα μετά από σύντομη επίδραση πηγής ανάφλεξης και που εξακολουθούν να φλέγονται ή να καίγονται μετά την απόσυρση της πηγής ανάφλεξης, ή

— ουσίες και παρασκευάσματα σε αέρια κατάσταση που αναφλέγονται στον αέρα υπό συνήθη πίεση, ή

— ουσίες και παρασκευάσματα που, όταν έλθουν σε επαφή με το νερό ή με υγρό αέρα, παράγουν εξαιρετικά αναφλέξιμα αέρια σε επικίνδυνες ποσότητες.

H3-B «Εύφλεκτο»: υγρές ουσίες και παρασκευάσματα των οποίων το σημείο ανάφλεξης είναι τουλάχιστον 21 °C και δεν υπερβαίνει τους 55 °C.

H4 «Ερεθιστικό»: ουσίες και παρασκευάσματα μη διαβρωτικά που ερχόμενα σε άμεση επαφή παρατεταμένη ή επαναλαμβανόμενη

με το δέρμα ή τους βλεννογόνους δύνανται να προκαλέσουν φλεγμονή.

H5 «Επιβλαβές»: ουσίες και παρασκευάσματα των οποίων η εισπνοή, κατάποση ή εισχώρηση στο δέρμα είναι δυνατόν να συνεπάγεται περιορισμένους κινδύνους.

H6 «Τοξικό»: ουσίες και παρασκευάσματα (περιλαμβανομένων πολύ τοξικών ουσιών και παρασκευασμάτων) των οποίων η εισπνοή, κατάποση ή εισχώρηση στο δέρμα είναι δυνατόν να συνεπάγεται σοβαρούς κινδύνους για την υγεία, παροδικού ή χρόνιου χαρακτήρα, ή ακόμη και το θάνατο.

H7 «Καρκινογόνο»: ουσίες ή παρασκευάσματα οι οποίες, με εισπνοή, κατάποση ή εισχώρηση στο δέρμα μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο ή να αυξήσουν τη συχνότητά του.

H8 «Διαβρωτικό»: ουσίες και παρασκευάσματα οι οποίες, όταν έλθουν σε επαφή με ζωντανούς ιστούς, μπορούν να τους καταστρέψουν.

H9 «Μολυσματικό»: ουσίες και παρασκευάσματα που περιέχουν ανθεκτικούς μικροοργανισμούς ή τις τοξίνες τους, οι οποίοι είναι γνωστό ή υπάρχουν σοβαροί λόγοι να πιστευτεί ότι προκαλούν ασθένειες στον άνθρωπο ή σε άλλους ζώντες οργανισμούς.

H10 «Τοξικό για την αναπαραγωγή»: ουσίες ή παρασκευάσματα των οποίων η εισπνοή, κατάποση ή εισχώρηση στο δέρμα, μπορεί να προκαλέσει μη κληρονομικές συγγενείς δυσμορφίες ή να αυξήσει τη συχνότητα εμφάνισής τους.

H11 «Μεταλλαξογόνο»: ουσίες ή παρασκευάσματα των οποίων η εισπνοή, κατάποση ή εισχώρηση στο δέρμα, μπορεί να προκαλέσει κληρονομικά γενετικά ελαττώματα ή να αυξήσει τη συχνότητα εμφάνισής τους.

H12 Απόβλητα που εκλύουν τοξικό ή πολύ τοξικό αέριο, όταν έλθουν σε επαφή με το νερό, τον αέρα ή με ένα οξύ.

H13 (\*) «Ευαίσθητοποιητικό»: ουσίες και παρασκευάσματα τα οποία διά της εισπνοής, κατάποσης ή απορρόφησης μέσω του δέρματος, μπορούν να προκαλέσουν αντίδραση του οργανισμού (υπερευαίσθητοποίηση) τέτοια ώστε, με περαιτέρω έκθεση σε αυτή την ουσία ή το παρασκεύασμα, να προκαλούνται χαρακτηριστικές επιβλαβείς αντιδράσεις.

H14 «Οικοτοξικό»: απόβλητα που παρουσιάζουν ή είναι δυνατόν να παρουσιάσουν άμεσο ή μελλοντικό κίνδυνο για έναν ή περισσότερους τομείς του περιβάλλοντος.

H15 Απόβλητα ικανά μετά από διάθεση, να δημιουργήσουν, με οποιοδήποτε μέσο, άλλη ουσία, π.χ. προϊόν έκπλυσης, το οποίο έχει ένα από τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται ανωτέρω.

#### Σημειώσεις

1. Οι χαρακτηρισμοί «τοξικό» (και «πολύ τοξικό»), «επιβλαβές», «διαβρωτικό», «ερεθιστικό», «καρκινογόνο», «τοξικό για την αναπαραγωγή», «μεταλλαξογόνο» και «οικοτοξικό» αποδίδονται σύμφωνα με τα κριτήρια που καθορίζονται στο Παράρτημα VI της οδηγίας 67/548/EOK του Συμβουλίου, της 27ης Ιουνίου 1967, περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων που αφορούν στην ταξινόμηση, συσκευασία και επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών (1).

2. Ανάλογα με την περίπτωση, εφαρμόζονται οι οριακές τιμές που αναφέρονται στα Παραρτήματα II και III της οδηγίας 99/45/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 31ης Μαΐου 1999, και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών που αφορούν την ταξινόμηση, συσκευασία και επισήμανση των επικίνδυνων παρασκευασμάτων (2).

#### Μέθοδοι δοκιμών

Πρέπει να χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι που περιγράφονται στο Παράρτημα V της οδηγίας 67/548/EOK και σε άλλα συναφή σημειώματα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN)

(\*) Εφόσον υπάρχουν μέθοδοι δοκιμής.

## 9 Παράρτημα II

Ακολουθεί ο πίνακας των εξαγόμενων ποσοτήτων επικίνδυνων αποβλήτων για το έτος 2011 (ΥΠΕΝ, 2015).

<b>PART II: ANNUAL REPORTING</b>				
<b>SECTION A</b>				
<b>TABLE 6</b>				
<b>Export of hazardous wastes and other wastes in 2011</b>				
<b>Total amounts exported:</b>				
Total amount of hazardous wastes under Art. 1 (1)a (Annex I: Y1 - Y45) exported.....44.147,95 .....in metric tons.				
Total amount of hazardous wastes under Art. 1 (1)b exported.....0.....in metric tons				
Total amount of other wastes exported (Annex II: Y46 - Y47) .....0.....in metric tons.				
Total amount of hazardous wastes and other wastes exported..... <b>44.147,95</b> ..... in metric tons.				
Waste Streams/ wastes having as constituents <sup>2</sup>	Amount exported (metric tons)	Country of destination <sup>4</sup>	Final disposal operation (Annex IV A) D code	Density (SEPA)
mixture of organic halogenated solvents (EWC 140602*, 140604*)	18.42	NL	D13/D10	0.9
hydrated lime from secondary production aluminium thermal treatment (EWC 100323*)	39.46	DE	D12	0.738
aluminium skimmings (EWC 100315*)	19.20	DE	D12	0.44
salt slags from secondary production (EWC 100308*)	36.86	DE	D12	1.08
sludges from physico/chemical treatment containing dangerous substances (EWC 190205*)	50.86	DE	D9	0.9
sludges from physico/chemical treatment containing dangerous substances (EWC 190205*)	15.62	DE	D9	0.9
sludges from physico/chemical treatment containing dangerous substances (EWC 190205*)	145.28	SE	D1	0.9
bottom ash from waste incineration containing dangerous substances (EWC 190111*)	69.99	DE	D1	0.46
bottom ash from waste incineration containing dangerous substances (EWC 190111*)	172.91	DE	D1	0.46
contaminated soil (EWC code 170503*)	7.69	DE	D1	1.31
Waste ceramic hobs (EWC 160215*)	12.78	DE	D12	0.46
Fluorescent coating (EWC 160215*)	2.28	DE	D12	0.46
slag from lead thermal treatment (EWC 100401*)	2424.04	DE	D1	1.08
mixture of cyanide and chloride salts (EWC 110301*)	57.90	DE	D12	0.9
construction materials containing asbestos (EWC 170605*)	48.44	DE	D1	0.31
construction materials containing asbestos (EWC 170605*)	19.80	DE	D1	0.31
construction materials containing asbestos (EWC 170605*)	98.94	DE	D1	0.31
construction materials containing asbestos (EWC 170605*)	44.45	DE	D1	0.31
insulation materials containing asbestos (EWC 170601*)	13.38	DE	D5	0.28
construction materials containing asbestos (EWC 170605*)	2.39	DE	D1	0.31
construction materials containing asbestos (EWC 170605*)	9.41	DE	D1	0.31
construction materials containing asbestos (EWC 170605*)	27.61	DE	D5	0.31
Construction and insulation materials containing asbestos (EWC 170601*, 170605*)	51.05	DE	D1	0.31
Construction and insulation materials containing asbestos (EWC 170601*, 170605*)	86.40	DE	D1	0.31
insulation materials containing asbestos (EWC 170601*)	34.44	DE	D1	0.28
insulation materials containing asbestos (EWC 170601*)	11.00	DE	D1	0.28
construction materials containing asbestos (EWC 170605*)	98.88	DE	D1	0.31
construction materials containing asbestos and brake pads containing asbestos(EWC 170605*, 160111*)	51.40	DE	D1	0.31
packaging containing residues of or contaminated by dangerous substances (EWC 150110*)	2.28	DE	D15, D10	0.21
detergents containing dangerous substances (EWC 200129*)	193.94	DE	D15/D9	0.9
detergents containing dangerous substances (EWC 200129*)	43.52	DE	D15/D9	0.9

## **10 Ευρετήριο εικόνων:**

Εικόνα 1 (εξωφύλλου): Φωτομοντάζ με το αριστερό μέρος να παρουσιάζεται μέρος των αναλύσεων σε στύλο από την παρούσα εργασία και στο δεξί μέρος εργασίες απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων στην εγκατάσταση Herfa- Neurode της Γερμανίας. ....	3
Εικόνα 2 Διάγραμμα με τα κριτήρια χαρακτηρισμού των αποβλήτων ως επικίνδυνα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση. Πηγή: Γιδαράκος, 2006 .....	19
Εικόνα 3 Μέρος του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων με την περιγραφή των 2 πρώτων κωδικών. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008 .....	26
Εικόνα 4 Μέρος του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων όπου με αστερίσκο (*) σημειώνονται τα επικίνδυνα απόβλητα. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008 .....	27
Εικόνα 5 Οδηγός για την επιλογή του εξαψήφιου κωδικού Ε.Κ.Α. Πηγή: Μπενάρδος, 2011 .....	28
Εικόνα 6 Διάγραμμα ροής για την επιλογή του εξαψήφιου κωδικού Ε.Κ.Α. Πηγή: Μπενάρδος, 2011 .....	28
Εικόνα 7 Απόσπασμα από την Κοινή Υπουργική Απόφαση του 2006 με την οποία ορίζονται μέτρα και περιορισμοί για τη διαχείριση Ε.Α. ως νόμος του Κράτους Πηγή: ΦΕΚ 791/Αριθμ. Η.Π. 24944/1159, 2006 .....	34
Εικόνα 8 Σχηματική απεικόνιση εισόδου αποβλήτων σε μονάδα αποτέφρωσης (κωδικοί: 19 12 10 & 20 03 01 και εξόδου αποβλήτων ως προϊόντων της διαδικασίας (κωδικοί: 19 01 14, 19 01 12, 19 12 02 & 19 12 03) .....	41
Εικόνα 9 Τα σχέδια για την πρώτη σήραγγα πλοίων στη Νορβηγία .....	43



Εικόνα 10 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος «πολλαπλών φραγμών». ....	46
Εικόνα 11 Σχηματική απεικόνιση της επιρροής των σεναρίων με βάση το χρόνο (γεωτεχνικά, υδρογεωλογικά, γεωλογικά, κλιματικά, κοσμικά σενάρια).....	53
Εικόνα 12 Σχηματική απεικόνιση του χώρου διάθεσης στο ορυχείο Konrad. ....	66
Εικόνα 13 Εργασίες εξόρυξης στο W.I.P.P. για τη διάνοιξη των ανοιγμάτων στο σχηματισμό του ορυκτού άλατος. Πηγή: The US Department of Energy, 2015....	74
Εικόνα 14 Στην αριστερή εικόνα φαίνεται η διαδικασία κατασκευής του υπόγειου χώρου με τους θαλάμους και στύλους. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται ο χώρος έτοιμος να υποδεχθεί τα επικίνδυνα απόβλητα του χώρου.....	79
Εικόνα 15 Σχηματική τρισδιάστατη αναπαράσταση του υπόγειου χώρου με αναφορά στις 8 ερευνητικές γεωτρήσεις και στην οροφή του στρώματος του «ανώτερου» μαρμάρου. Πηγή: Kaliampakos & Benardos, 2009.....	80
Εικόνα 16 Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού γένεσης του ορυκτού άλατος. 1. Αρχικό γεωγραφικό επίπεδο 2. Καταβύθιση και εισροή υδάτων 3. Δημιουργία λεκάνης 4. Δημιουργία ιζημάτων στο βυθό της λεκάνης 5. Εξάτμιση και δημιουργία των εβαποριτών, και καταβύθιση αυτών στο βυθό της λεκάνης.....	84
Εικόνα 17 Σχηματική απεικόνιση των βημάτων της γεωτεχνικής ανάλυσης για το χώρο διάθεσης. Πηγή: Langer, 1999 .....	89
Εικόνα 18 Η επαλήθευση του μοντέλου προσομοίωσης ως ένα στάδιο της ασφαλούς κατασκευής μίας εγκατάστασης Πηγή: Langer & Heusermann, 2001 ..	90
Εικόνα 19 Η γεωτεχνική τομή μέρους μίας υπόγειας εγκατάστασης διάθεσης αποβλήτων σε ορυχείο ορυκτού άλατος. Πηγή: Langer & Heusermann, 2001 ....	92
Εικόνα 20 Μέρος του μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων του ορυχείου ορυκτού άλατος Πηγή: Langer & Heusermann, 2001 .....	92

Εικόνα 21 Οι ζώνες διόγκωσης με έντονο μαύρο χρώμα, όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο γύρω από τους θαλάμους. Πηγή: Langer & Heusermann, 2001.	93
Εικόνα 22 Η δεξιά καμπύλη δείχνει την τυπική καμπύλη ερπυσμού κατά Goodman, 1989 και στα δεξιά φαίνονται οι διαφοροποιήσεις της μορφής της καμπύλης ερπυσμού με την εφαρμοζόμενη τάση. Πηγή: Σοφιανός & Νομικός, 2008	95
Εικόνα 23 Σχηματική απεικόνιση διάταξης για τον προσδιορισμό του ερπυσμού σε in-situ πετρώματα. Πηγή: Σοφιανός & Νομικός, 2008	96
Εικόνα 24 Μέρος των εγκαταστάσεων της υπόγειας διάθεσης αποβλήτων του Minosus. Πηγή: Veolia, 2014	101
Εικόνα 25 Η γεωλογική στρωματογραφία της περιοχής του ορυχείου Winsford.	102
Εικόνα 26 Το σχεδιάγραμμα με τη διαδικασία αποτέφρωσης των αστικών απορριμμάτων	104
Εικόνα 27 Η ανάπτυξη του ορυχείου Winsford. Στο τμήμα T (με κόκκινο περίγραμμα) είναι η περιοχή αποθήκευσης των επικίνδυνων αποβλήτων (Waste Storage Area)	105
Εικόνα 28 Μέρος των υπόγειων εγκαταστάσεων του Herfa-Neurode, στο βάθος διακρίνεται πλινθοδομή για την απομόνωση των αποβλήτων.	106
Εικόνα 29 Μέρος των υπόγειων εγκαταστάσεων της Herfa-Neurode που διακρίνονται οι διακριτοί θάλαμοι απόθεσης και οι διαφορετικές συσκευασίες των αποβλήτων.	108
Εικόνα 30 Χαρακτηριστικοί πλινθοδομή της εγκατάστασης που θα σφραγίσει για καιρό τα επικίνδυνα απόβλητα Πηγή: K+S Entsorgung GmbH, 2016	109

Εικόνα 31 Εργασίες κατασκευής της πλινθοδομής από εξειδικευμένο προσωπικό της εταιρείας. Πηγή: K+S Entsorgung GmbH, 2016 .....	109
Εικόνα 32 Εργασίες επανεπίχωσης “backfilling” σε χώρο της εγκατάστασης. Όπως φαίνεται στην εικόνα το αλάτι είναι χύδην στο πάτωμα και ο χειριστής με το μηχάνημα «θάβει» τους σάκους με τα απόβλητα ενώ στο βάθος διακρίνονται οι ήδη θαμμένοι σάκοι και η επαφή του αλατιού με την οροφή του θαλάμου. 112	
Εικόνα 33 Χαρακτηριστική λεπτομερής γεωλογική αποτύπωση της περιοχής του χωριού Μονολιθίου από τους Ε. Savoyat και Δ. Μονοπώλην. Έχει σημειωθεί και η θέση εισόδου της στοάς. Πηγή: Παπανικολάου, 1978.....	114
Εικόνα 34 Χάρτης της Ηπείρου όπου με σκιαγραφημένο τμήμα είναι η περιοχή έρευνας του Ι.Γ.Μ.Ε. Πηγή: Μωραΐτης, 2005.....	116
Εικόνα 35 Η περιοχή έρευνας του Ι.Γ.Μ.Ε. Πηγή: Χάρτες Google .....	119
Εικόνα 36 Η περιοχή της έρευνας με κόκκινο περίγραμμα με βάση τις συντεταγμένες της έκθεσης του Ι.Γ.Μ.Ε. Πηγή: Google Earth.....	122
Εικόνα 37 Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης από Φ. Βόνιτσα, έκδοσης ΙΓΜΕ. Πηγή: Νικολάου, 2010.....	126
Εικόνα 38 Κατανομή των γεωτεκτονικών ενοτήτων στην Ήπειρο. Στην εικόνα φαίνεται η επιμέρους διάκριση της Ιόνιας ζώνης κατά IFP- ΙΓΕΥ, με τροποποιήσεις από J. Aubuin et.al, 1977. Πηγή: Νικολάου, 2010 .....	128
Εικόνα 39 Απόσπασμα από το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:500.000. Με κόκκινο περίγραμμα εντοπίζεται η περιοχή του Μονολιθίου. Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε. ....	132
Εικόνα 40 Σχηματική απεικόνιση του αντίκλινου και της θέσης του κοιτάσματος. Πηγή: Μωραΐτης, 2005 .....	133

Εικόνα 41 Η περιοχή έρευνας και με κόκκινο περίγραμμα τα όρια μεγάλης κατολίθησης (πιθανότατα του 1931) με τον πόδα της κατολίθησης να φθάνει τη δυτική όχθη του Άραχθου. Πηγή: Google Earth .....	135
Εικόνα 42 Γεωλογική τομή ΔΒΔ – ΑΝΑ με τη μορφή της δομής άλατος του Μονολιθίου.....	135
Εικόνα 43 Γεωλογική τομή της περιοχής ενδιαφέροντος. Πηγή: Μωραΐτης, 2005 .....	136
Εικόνα 44 Η κατανομή σχηματισμών του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου. ....	141
Εικόνα 45 Τοπογραφική απεικόνιση των γεωτρήσεων. Πηγή: Μωραΐτης, 2005	142
Εικόνα 46 Χάραξη ισοπαχών καμπυλών του κοιτάσματος σε κλίμακα 1:2.000.	145
Εικόνα 47 Χάραξη ισοϋψών καμπυλών της οροφής του κοιτάσματος σε κλίμακα 1:2.000 Πηγή: Μωραΐτης, 2005 .....	146
Εικόνα 48 Το κοίτασμα του ορυκτού άλατος στην περιοχή εκτέλεσης των γεωτρήσεων. Πηγή: Μωραΐτης, 2005 .....	147
Εικόνα 49 Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου θαλάμων και στύλων και οι δυνατότητες επέκτασης στο επίπεδο μέσα στο κοίτασμα. Πηγή: Adey & Calaon, 2006 .....	148
Εικόνα 50 Κάτοψη της διάταξης των θαλάμων και στύλων. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή αποτελεί τη συνεισφέρουσα επιφάνεια του στύλου. ....	153
Εικόνα 51 Σχηματική απεικόνιση της θεωρίας της συνεισφέρουσας επιφάνειας.: Όπου $A_{pf}$ είναι η επιφάνεια του στύλου και $A_{sys}$ η συνεισφέρουσα επιφάνεια του στύλου. Πηγή: Schleinig & Konietzky, 2016 .....	154

Εικόνα 52 Διαδεδομένοι τρόποι αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων και ποσοστό εφαρμογής αυτών. Πηγή: Γιδαράκος, 2006 .....	158
Εικόνα 53 Το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων και η γεωμετρία της προσομοίωσης που δημιουργήθηκε για την εξέταση της α' περίπτωσης. ....	172
Εικόνα 54 Οι ολικές μετακινήσεις του προσομοιώματος με κυρίαρχες τις κατακόρυφες μετακινήσεις στο μέσο των θαλάμων. ....	173
Εικόνα 55 Οι οριζόντιες μετακινήσεις του προσομοιώματος με τις μεγαλύτερες τιμές στις παρειές του στύλου και στο μέσο του ύψους αυτού. Με διαφορετικό χρώμα επισημαίνεται η αντίθετη κατεύθυνση των μετακινήσεων που είναι προς την εκσκαφή. ....	174
Εικόνα 56 Οι κατακόρυφες μετακινήσεις του προσομοιώματος με μέγιστες μετακινήσεις στο μέσο της οροφής των θαλάμων και στο μέσο του δαπέδου των θαλάμων εμφανίζεται μία ανύψωση πυθμένα. ....	174
Εικόνα 57 Τα σημεία πλαστικής παραμόρφωσης. Παρατηρείται πως βρίσκονται γύρω από την εκσκαφή. ....	175
Εικόνα 58 Το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων και η γεωμετρία της προσομοίωσης που δημιουργήθηκε για την εξέταση της β' περίπτωσης. ....	176
Εικόνα 59 Οι ολικές μετακινήσεις του προσομοιώματος με κυρίαρχες και εδώ τις κατακόρυφες. ....	177
Εικόνα 60 Οι οριζόντιες μετακινήσεις του προσομοιώματος με τις μεγαλύτερες τιμές και εδώ στις παρειές του στύλου και στο μέσο του ύψους αυτού. Με διαφορετικό χρώμα επισημαίνεται η αντίθετη κατεύθυνση των μετακινήσεων που είναι προς την εκσκαφή. ....	177

Εικόνα 61 Οι κατακόρυφες μετακινήσεις που και σε αυτή την περίπτωση εντοπίζονται στο μέσο των θαλάμων και ως ανύψωση του δαπέδου αυτών. ...178

Εικόνα 62 Τα σημεία πλαστικής παραμόρφωσης, τα οποία εντοπίζονται και σε αυτή την περίπτωση γύρω από την εκσκαφή.....178

## **11 Ευρετήριο πινάκων:**

Πίνακας 1: Όρια σημείο και θερμοκρασία ανάφλεξης επιλεγμένων χημικών ουσιών Πηγή: Γιδαράκος, 2006 .....	21
Πίνακας 2: Μέγιστη συγκέντρωση ρύπων για τον προσδιορισμό των τοξικών χαρακτηριστικών αποβλήτων Πηγή: Γιδαράκος, 2006 .....	23
Πίνακας 3 Κεφάλαια του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008.....	24
Πίνακας 4 Κατηγορίες των αποβλήτων με βάση τη Σύμβαση της Βασιλείας. Πηγή: UNEP, 2014 .....	30
Πίνακας 5 Ποσοότητες αποβλήτων σε τόνους στην Ελλάδα κατά τα έτη 2005 -2011 .....	35
Πίνακας 6 Ποσοότητες αποβλήτων (συνολικών, επικινδύνων και μη) για το 2012 στο σύνολο της Ε.Ε. και στην Ελλάδα. Πηγή: Eurostat, 2012 .....	35
Πίνακας 7 Εργασίες διάθεσης που αναφέρονται στο Παράρτημα 1 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ της Ε.Ε. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008.....	38
Πίνακας 8 Διαδικασίες ανάκτησης και ανακύκλωσης των αποβλήτων .....	39
Πίνακας 9 Κωδικοί αποβλήτων που παράγονται συνήθως από μονάδες αποτέφρωσης .....	41
Πίνακας 10 Κωδικοί αποβλήτων που προκύπτουν συνήθως από χώρους ταφής απορριμμάτων. Πηγή: Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Σκωτίας, SEPA, 2015 .....	41
Πίνακας 11 Τα είδη των φραγμών και η λειτουργία τους. ....	46

Πίνακας 12 Ποιοτική απεικόνιση χαρακτηριστικών των πετρωμάτων που απαντώνται παγκοσμίως σε χώρους υπόγειας διάθεσης ραδιενεργών ή άλλων αποβλήτων. Σημειώνεται πως οι κατά τόπους συνθήκες μπορεί να διαφέρουν από τα αναφερθέντα χαρακτηριστικά Πηγή: Charman & Hooper, 2012 .....	50
Πίνακας 13 Ερευνητικοί χώροι υπόγειας αποθήκευσης αποβλήτων. ....	75
Πίνακας 14 Μόνιμοι χώροι αποθήκευσης αποβλήτων ανά τον κόσμο. ....	76
Πίνακας 15 Γεωφυσικές ιδιότητες του ορυκτού άλατος και των περιβαλλόντων ορυκτών και πετρωμάτων. Πηγή: Παπανικολάου, 1978 .....	121
Πίνακας 16 Τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων. Πηγή: (Μωραΐτης, 2005) .....	144
Πίνακας 17 Συγκεντρωτικός πίνακας των πειραματικών αναφορών από όπου εξήχθησαν οι παραδοχές για τους υπολογισμούς της αντοχής των στύλων. ....	162
Πίνακας 18 Οι τιμές των παραμέτρων των σχηματισμών της περιοχής έρευνας .....	162
Πίνακας 19 Τα αυξημένα ειδικά βάρη των σχηματισμών, κατά Pariseau.....	169
Πίνακας 20 Συγκεντρωτικός πίνακας με όλες τις παραμέτρους των σχηματισμών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.....	170