



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

«Σχεδιασμός υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης
πετρελαίου στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΑΡΙΝΑ ΠΑΠΑΔΗΜΑ

Επιβλέπων: ΑΝΔΡΕΑΣ ΜΠΕΝΑΡΔΟΣ,
ΛΕΚΤΟΡΑΣ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

«Σχεδιασμός υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης
πετρελαίου στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΑΡΙΝΑ ΠΑΠΑΔΗΜΑ

Επιβλέπων: ΑΝΔΡΕΑΣ ΜΠΕΝΑΡΔΟΣ,
ΛΕΚΤΟΡΑΣ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 15/03/2010

ΜΠΕΝΑΡΔΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ, Λέκτορας,(Υπογραφή)

ΚΑΛΙΑΜΠΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ, Καθηγητής.....(Υπογραφή)

ΣΟΦΙΑΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ, Καθηγητής,(Υπογραφή)

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

Copyright © ΜΑΡΙΝΑ ΠΑΠΑΔΗΜΑ, 2010
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάδειξη της μεθόδου υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων ως τεχνικά αρτιότερης και οικονομικά συμφέρουσας έναντι των υπέργειων μεταλλικών δεξαμενών αποθήκευσης. Πιο συγκεκριμένα ο στόχος είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης αργού πετρελαίου στον τερματικό σταθμό του επικείμενου αγωγού μεταφοράς πετρελαίου Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη

Αφορμή για την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής στάθηκε το ενδιαφέρον του **κ. Ανδρέα Μπενάρδου, Λέκτορα ΕΜΠ**, για το συγκεκριμένο θέμα. Θα ήθελα συνεπώς να τον ευχαριστήσω θερμά για την τιμή που μου έκανε αναθέτοντας μου την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας και κυρίως για τη συμπαράσταση, την υπομονή και τη μεγάλη εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου:

- Στις συμφοιτήτριες και φίλες μου **κα. Παναγιώτα Κακοτρίχη** και **κα. Στέλλα Χρηστέα** για τη συμπαράσταση τους, ιδιαίτερα κατά τον τελευταίο μήνα της εκπόνησης της εργασίας μου.
- Και σε όλα τα μέλη της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ και ειδικότερα στα μέλη του τομέα Μεταλλευτικής, για τις γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των πενταετών σπουδών μου.

Μαρίνα Παπαδήμα

Αθήνα, Φεβρουάριος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη δυνατότητα δημιουργίας ενός υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης υδρογονανθράκων στον τερματικό σταθμό του επικείμενου αγωγού μεταφοράς πετρελαίου Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη. Στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη της μεθόδου υπόγειας αποθήκευσης ως τεχνικά αρτιότερης και οικονομικά συμφέρουσας έναντι των υπέργειων μεταλλικών δεξαμενών αποθήκευσης. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε ο αναλυτικός σχεδιασμός του υπόγειου συγκροτήματος και υπολογίστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά της λύσης, παράλληλα με την εκτίμηση του συνολικού κόστους.

Αρχικά, περιγράφεται με βάση τις διακρατικές συμφωνίες μεταξύ Ελλάδας, Βουλγαρίας και Ρωσίας το χρονοδιάγραμμα της εξέλιξης της κατασκευής του αγωγού Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη. Το έργο έχει προγραμματιστεί να ξεκινήσει τον Οκτώβριο 2009. Ο αγωγός, μήκους 280 χλμ, θα μεταφέρει 700.000 βαρέλια ανά ημέρα του ρωσικού πετρελαίου από την Μαύρη Θάλασσα στη Βουλγαρία, στην Αλεξανδρούπολη και στο Αιγαίο.

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στην ιστορία της κατασκευής υπόγειων δεξαμενών αποθήκευσης καθώς και αναλυτική μνεία στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις σε διάφορες χώρες, όπως η Σουηδία και η Νορβηγία, οι οποίες είναι από τις πρώτες χώρες που εφάρμοσαν τη μέθοδο. Η υπόγεια αποθήκευση πετρελαίου είναι σήμερα η πιο διαδεδομένη μέθοδος για τη διατήρηση στρατηγικών αποθεμάτων, γι' αυτό και πολλές χώρες ακολουθούν το παράδειγμα των Σκανδιναβικών χωρών. Στην Ελλάδα έχουν γίνει μελέτες και προτάσεις χωρίς καμία να έχει υλοποιηθεί μέχρι σήμερα.

Εξετάζονται, λοιπόν, οι διάφορες μέθοδοι και τρόποι αποθήκευσης, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που αυτές συγκεντρώνουν. Περιγράφεται η βασική αρχή λειτουργίας της υπόγειας αποθήκευσης και αναλύονται τα σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό. Τέλος, περιγράφεται η μέθοδος εκσκαφής και υποστήριξης.

Η τοποθεσία που επιλέχθηκε για την κατασκευή του υπόγειου συγκροτήματος είναι το ακρωτήριο του Πύργου στην περιοχή των Πετρωτών. Η συγκεκριμένη θέση παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα όπως η ομοιογένεια των γεωλογικών σχηματισμών, η παρουσία μόνιμου υπόγειου υδροφορέα και το γεγονός ότι είναι

παράκτια. Το υπόβαθρο της περιοχής δομείται από νουμουλιτικό ασβεστόλιθο, πέτρωμα που αρχικά ευνοεί την κατασκευή ενός τέτοιου έργου.

Το υπόγειο συγκρότημα που προτείνεται, αποτελείται από πέντε μεγάλους υπόγειους θαλάμους συνολικής δυναμικότητας 914.400 m³ καλύπτοντας έτσι την απαίτηση σε αποθηκευτικό χώρο για το πετρέλαιο που θα μεταφέρεται από τον αγωγό. Για το σχεδιασμό του γίνεται η επιλογή του τύπου των δεξαμενών, του σχήματος, των διαστάσεων, της χωρητικότητας, της χωροταξικής διευθέτησης τους (βάθος, διεύθυνση, απόσταση μεταξύ τους), ενώ σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται τα προσπελαστικά και βοηθητικά έργα που απαιτούνται για τη λειτουργία του. Επιπλέον προτείνεται η μέθοδος όρυξης και υποστήριξης των υπόγειων εκσκαφών και παρατίθενται στοιχεία για τον τρόπο λειτουργίας του συγκροτήματος.

Τέλος, γίνεται η ανάλυση ευστάθειας των θαλάμων με το πρόγραμμα phase2 και η αναλυτική εκτίμηση του κόστους και του χρόνου κατασκευής του συγκροτήματος και επιχειρείται η συγκριτική αντιπαραβολή του με το κόστος που απαιτείται για την κατασκευή επιφανειακού συγκροτήματος αποθήκευσης, αντίστοιχης δυναμικότητας.

SUMMARY

This thesis examines the possibility of creating an underground hydrocarbon storage complex at the terminal of an impending oil pipeline Burgas-Alexandroupolis. The objective of this work is to upgrade the underground storage method as technically complete and cost-efficient to overhead steel storage tanks.

For this purpose a detailed planning of the underground complex was undertaken and the main characteristics of the solution were calculated along with the estimate of total cost.

At first, the timing of the development of the construction of the Burgas-Alexandroupolis pipeline is described on the basis of intergovernmental agreements between Greece, Bulgaria and Russia. The pipeline, 280 km long, will carry 700,000 barrels per day of Russian oil through the Black Sea in Bulgaria to Alexandroupolis and to the Aegean.

Furthermore there is a reference to the history of construction of underground storage tanks as well as a detailed reference to existing facilities in different countries such as Sweden and Norway, which are among the first countries to have implemented this method. Underground storage of oil is currently the most widely used method to maintain strategic reserves, which is why many countries follow the example of Scandinavian countries. In Greece, studies and proposals have been conducted but none of them have been implemented so far.

Thus various methods and ways of storage are examined as well as the advantages and disadvantages. The basic principle of the operation of underground storage is described and the points needed to pay particular attention during the planning are analyzed. Finally, the method and support of excavation are also described.

The site chosen for the construction of the underground complex is the cape of Pyrgos near the region of Petrola, 21 km west of Alexandroupolis. This site has many advantages, such as homogeneity of the geological formations, the presence of a permanent underground aquifer and the fact that it is situated by the sea. The underground of the area consists of noummoulitic limestone, a rock that initially favors the construction of such a project.

The underground complex proposed, consists of five large underground caverns with total capacity of 914.400 m³, thus covering the requirement to

store the oil transported by pipeline. For its planning, the type of tanks, their shape, their dimensions, their capacity and their spatial resolution (depth, direction, and distance between them) are selected, while the accessing and additional work needed for their operation is designed. Moreover, the mining method and the support of underground excavations are proposed while data on the operation of the complex are provided.

Finally, the stability analysis of chambers is made with the program phase2 as well as the detailed estimate of cost and time of construction of the complex and a comparison study is undertaken with the cost required for the construction of surface storage complex of the same capacity.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Ο αγωγός Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη	8
1.1.1 Μεταφορά πετρελαίου μέσω των Στενών	9
1.1.2 Εύρεση εναλλακτικών λύσεων.....	10
1.2 Ο σχεδιασμός και προγραμματισμός του έργου	12
1.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά αγωγού	13
1.3 Αντιδράσεις από μη κυβερνητικές και τοπικές οργανώσεις.....	16
Κεφάλαιο 2 - ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	17
2.1 Υπόγεια Αποθήκευση Υδρογονανθράκων	17
2.2 Τρόποι υπεδαφικής αποθήκευσης καυσίμων	18
2.3 Τύποι τεχνητών υπόγειων δεξαμενών	21
2.3.1 Οριζόντιες δεξαμενές.....	22
2.3.2 Κατακόρυφες δεξαμενές	23
2.3.3 Κατηγορίες υπογείων δεξαμενών σε σχέση με το στρώμα νερού	26
2.4 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ	28
2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΘΑΛΑΜΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ	29
Κεφάλαιο 3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ	35
3.1 Σουηδία	35
3.2 Νορβηγία	36
3.3 Φινλανδία.....	39
3.5 Γαλλία.....	40
3.5 Πορτογαλία.....	43
3.6 Ιαπωνία	44
3.7 Ν. Κορέα	45
3.8 Σιγκαπούρη	47
3.9 Λοιπές χώρες.....	48
Κεφάλαιο 4 - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΘΑΛΑΜΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ.....	52
4.1 Γενικά	52
4.2 Υπόγειες δεξαμενές καυσίμων και γεωλογικές συνθήκες	53
4.3 Θέση εκσκαφής	55

4.4 Διεύθυνση του άξονα εκσκαφής.....	57
4.5 Διατομή εκσκαφής.....	59
4.6 Διαστάσεις της εκσκαφής.....	60
4.7 Υδρογεωλογική κατάσταση της περιοχής ενδιαφέροντος	61
4.8 Μέθοδοι όρυξης και υποστήριξης.....	62
4.8.1 Όρυξη άνω τμήματος	63
4.8.2 Όρυξη κάτω τμήματος.....	64
4.9 Υποστήριξη	65
4.10 Τεχνητό σύστημα εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα	67
4.11 Περιπτώσεις ατυχημάτων σε υπόγειους θαλάμους αποθήκευσης υδρογονανθράκων.....	69
Κεφάλαιο 5 - ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	70
5.1 Επιλογή της θέσης σχεδιασμού των υπογείων θαλάμων.....	70
5.1.1 Ευρύτερη περιοχή.....	70
5.1.2 Εγγύς περιοχή	73
5.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής	76
5.3 Γεωλογία εγγύς περιοχής.....	80
5.4 Γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας.....	81
5.5 Εφαρμογή του προγράμματος RocLab για την εκτίμηση των παραμέτρων της βραχομάζας	86
Κεφάλαιο 6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.....	89
6.1 Κατασκευαστικές επιλογές.....	89
6.1.1 Επιλογή του τύπου των δεξαμενών	89
6.1.2 Επιλογή του σχήματος, των διαστάσεων και του αριθμού των δεξαμενών και υπολογισμός της δυναμικότητας.....	90
6.1.3 Απόσταση μεταξύ των θαλάμων	92
6.1.4 Βάθος τοποθέτησης των θαλάμων	93
6.1.5 Διεύθυνση των θαλάμων	93
6.1.6 Προσπελαστικά και βοηθητικά έργα του υπόγειου συγκροτήματος	94
6.1.8 Προτεινόμενη υποστήριξη	99
6.1.9 Διάνοιξη φρεάτων	102
6.1.10 Μηχανήματα διάτρησης, φόρτωσης και μεταφοράς.....	102
6.2 Έλεγχος ευστάθειας εκσκαφών με το πρόγραμμα Phase2.....	104
6.3 Λειτουργία εγκαταστάσεων.....	113
6.3.1 Λειτουργικές επιλογές	113

6.3.2 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός (ΗΜΕ) για την τροφοδοσία των υπόγειων δεξαμενών.....	114
6.3.3 ΗΜΕ για τη λειτουργία των υπόγειων δεξαμενών	114
Κεφάλαιο 7 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	117
7.1 Υπολογισμός του κόστους κατασκευής των υπόγειων εγκαταστάσεων	117
7.2 Σύγκριση κόστους κατασκευής του υπογείου συγκροτήματος αποθήκευσης αργού πετρελαίου με το κόστος επιφανειακών εγκαταστάσεων αντίστοιχης δυναμικότητας	120
7.3 Εκτίμηση του χρόνου κατασκευής του υπογείου συγκροτήματος	122
Κεφάλαιο 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	126

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Διαδρομή αγωγού Μπουργκάς – Αλεξανδρούπολη.....	5
Εικόνα 1.2 Απεικόνιση προτεινόμενων αγωγών πετρελαίου.....	7
Εικόνα 1.3 Διαδρομή αγωγού Μπουργκάς – Αλεξανδρούπολη.....	10
Εικόνα 1.4 Διαδρομή αγωγού Μπουργκάς – Αλεξανδρούπολη.....	12
Εικόνα 2.1 Τυπική διάταξη αποθήκευσης σε δόμους άλατος.....	15
Εικόνα 2.2 Εγκλωβισμός του αποθηκευμένου προϊόντος εντός του υδροδυναμικού φράγματος που δημιουργείται από τον υδροφόρο.....	16
Εικόνα 2.3 Τυπική μορφή συγκροτήματος υπόγειας αποθήκευσης πετρελαίου.....	18
Εικόνα 2.4 Υπόγειοι οριζόντιοι θάλαμοι αποθήκευσης υδρογονανθράκων στη Lavera.....	19
Εικόνα 2.5 Εσωτερικό οριζόντιο υπόγειο θαλάμο στην περιοχή Yosu στη Ν.Κορέα.....	19
Εικόνα 2.6 Κατακόρυφες δεξαμενές.....	21
Εικόνα 2.7 Οριζόντια δεξαμενή αποθήκευσης καυσίμων.....	21
Εικόνα 2.8 Υπόγειος αποθηκευτικός χώρος υδρογονανθράκων σε σχήμα χωνιού.....	22
Εικόνα 2.9 Δεξαμενή με σταθερή στάθμη νερού.....	23
Εικόνα 2.10 Δεξαμενή με κυμαινόμενη στάθμη νερού	24
Εικόνα 2.11 Τρισδιάστατη απεικόνιση υπόγειων αποθηκών κάτω από επιφανειακές εγκαταστάσεις.....	27
Εικόνα 2.12 Συγκριτικό διάγραμμα κόστους μεταξύ υπόγειας και επιφανειακής αποθήκευσης υδρογονανθράκων στη Σιγκαπούρη.....	28
Εικόνα 2.13 Συγκριτικό διάγραμμα κόστους επιφανειακής - υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων.....	30
Εικόνα 3.1 Επισκόπηση του περιβάλλοντος χώρου της αποθήκευσης πετρελαίου Brofjorden.....	32
Εικόνα 3.2 Εναέρια φωτογραφία διυλιστηρίου Mongstad.....	34
Εικόνα 3.3 Γραφική αναπαράσταση των δεξαμενών στο Mongstad.....	34
Εικόνα 3.4 Τομή δεξαμενών αργού πετρελαίου στο Sture.....	35
Εικόνα 3.5 Άποψη επιφανειακών εγκαταστάσεων υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης.....	36
Εικόνα 3.6 Το διυλιστήριο στο Ρογνο.....	37
Εικόνα 3.7 Εναέρια φωτογραφία των διυλιστηρίων στη Lavera.....	38
Εικόνα 3.8 Τομή και φωτογραφία μεταλλείου στο May-sur-Orne.....	39
Εικόνα 3.9 Εσωτερικό και απεικόνιση υπόγειων θαλάμων αποθήκευσης στη Donge.....	39
Εικόνα 3.10 Υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης στο Sines.....	40
Εικόνα 3.11 Τοποθεσίες στις οποίες βρίσκονται τα στρατηγικά αποθέματα πετρελαίου στην Ιαπωνία.....	41

Εικόνα 3.12 Υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης αργού πετρελαίου στη Ν.Κορέα.....	42
Εικόνα 3.14 Υπόγειοι θάλαμοι στο Pyongtaek στη Κορέα.....	43
Εικόνα 3.16 Εσωτερικό οριζόντιου θαλάμου (Σιγκαπούρη).....	44
Εικόνα 3.17 Όρυξη βαθμίδας κατά την δημιουργία υπόγειου θαλάμου αποθήκευσης υδρογονανθράκων στην Αυστραλία.....	45
Εικόνα 3.18 Υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης υγρών υδρογονανθράκων (Zimbabwe)...	46
Εικόνα 3.19 Τρισδιάστατη απεικόνιση του προτεινόμενου αποθηκευτικού συγκροτήματος Περάματος.....	47
Εικόνα 4.1 Δυνατότητες κατασκευής υπογείων θαλάμων σε σχέση με την ποιότητα της βραχομάζας.....	51
Εικόνα 4.2 Απαραίτητο πάχος υπερκείμενων για υπόγεια ανοίγματα που βρίσκονται σε μικρό βάθος.....	53
Εικόνα 4.3 Διεύθυνση του άξονα εκσκαφής σε σχέση με τη στρωμάτωση των πετρωμάτων.....	54
Εικόνα 4.4 Διεύθυνση του άξονα εκσκαφής σε σχέση με τις διευθύνσεις των κύριων οικογενειών ασυνεχειών στο προτεινόμενο έργο υπόγειας αποθήκευσης πετρελαιοειδών στο Πέραμα.....	55
Εικόνα 4.5 Σχηματική απεικόνιση του τρόπου εκσκαφής των οριζόντιων θαλάμων.....	60
Εικόνα 4.6 Διάγραμμα υπολογισμού της υποστήριξης υπογείων εκσκαφών βάση της κατάταξης της βραχομάζας κατά Q.....	62
Εικόνα 4.7 Υπόγειοι θάλαμοι με οριζόντια κουρτίνα νερού.....	64
Εικόνα 4.8 Υπόγειοι θάλαμοι με οριζόντιο και κάθετο τεχνητό υδροφορέα.....	65
Εικόνα 4.9 Η μείωση του όγκου των δόμων άλατος Tersanne και Eminence (Αμερική).....	66
Εικόνα 5.1 Ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος σε σχέση με την Αλεξανδρούπολη.....	68
Εικόνα 5.2 Ευρύτερη περιοχή σε σχέση με τη Μαρώνεια.....	69
Εικόνα 5.3 Δορυφορική φωτογραφία ακρωτηρίου Πύργου.....	71
Εικόνα 5.4 Υψομετρικός χάρτης της περιοχής του ακρωτηρίου Πύργου.....	72
Εικόνα 5.5 Γεωλογικές ζώνες Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.....	74
Εικόνα 5.6 Ταξινόμηση της βραχομάζας με το δείκτη GSI.....	81
Εικόνα 5.7 Διαγράμματα κυρίων τάσεων και διάτμησης από το RocLab.....	84
Εικόνα 6.1 Διατομή των θαλάμων.....	87
Εικόνα 6.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση των θαλάμων.....	87
Εικόνα 6.3 Υπολογισμός απαιτούμενης απόστασης μεταξύ δύο οριζόντιων θαλάμων.....	88
Εικόνα 6.4 Απεικόνιση του προσανατολισμού των υπόγειων δεξαμενών σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή.....	90
Εικόνα 6.5 Διατομή φρέατος άντλησης.....	91
Εικόνα 6.6 Στάδια διάνοιξης υπογείων έργων με τη μέθοδο διάτρησης και ανατίναξης.....	92
Εικόνα 6.7 Φάσεις εκσκαφής των υπογείων θαλάμων.....	93

Εικόνα 6.8 Σχηματική απεικόνιση του βαθμίδων εκσκαφής των θαλάμων.....	93
Εικόνα 6.9 Διάγραμμα υπολογισμού της υποστήριξης υπογείων εκσκαφών βάση της κατάταξης της βραχομάζας κατά Q.....	95
Εικόνα 6.10 Διατομή των θαλάμων με τα προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης.....	97
Εικόνα 6.11 Στάδια διάνοιξης φρέατος με τη μέθοδο “Raise Boring”.....	98
Εικόνα 6.12 Διατρητικό Atlas Copco Boomer E3C.....	99
Εικόνα 6.13 Φορτωτής υπογείων Atlas Copco Scooptram ST1520.....	100
Εικόνα 6.14 Ξεσκαρωτής Atlas Copco Scaletec MC.....	100
Εικόνα 6.15 Ενεργό παράθυρο phase2 με τις ιδιότητες του τασικού πεδίου.....	101
Εικόνα 6.16 Ενεργό παράθυρο phase2 με τις ιδιότητες του πετρώματος.....	102
Εικόνα 6.17 Ενεργό παράθυρο phase2 με τις ιδιότητες του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	102
Εικόνα 6.18 Ενεργό παράθυρο phase2 με τις ιδιότητες των αγκυρίων.....	103
Εικόνα 6.19 Διάταξη θαλάμων στο πέμπτο στάδιο στο πρόγραμμα phase2.....	104
Εικόνα 6.20 Ανάλυση ευστάθειας των εκσκαφών με το πρόγραμμα Phase2.....	106
Εικόνα 6.21 Παραμορφώσεις που αναμένονται να παρατηρηθούν στις παρειές των εκσκαφών.....	107
Εικόνα 6.22 Παραμορφώσεις που αναμένεται στην οροφή και το δάπεδο των θαλάμων.....	108
Εικόνα 6.23 Τρόπος λειτουργίας υπογείου θαλάμου αποθήκευσης αργού πετρελαίου, σταθερής στάθμης νερού.....	112
Εικόνα 7.1 Συγκριτικό διάγραμμα κόστους επιφανειακής - υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων.....	116
Εικόνα 7.2 Χρονοδιάγραμμα εργασιών.....	121

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Στοιχεία προτεινόμενων αγωγών πετρελαίου (Δήμας, 2007).....	8
Πίνακας 3.1 Υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης πετρελαίου και LPG στην Κορέα.....	43
Πίνακας 3.2 Παραδείγματα υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων σε τεχνητούς θαλάμους στο διεθνή χώρο.....	48
Πίνακας 5.1 Ταξινόμηση βραχομάζας σύμφωνα με το σύστημα RMR.....	79
Πίνακας 5.2 Δεδομένα ανάλυσης του προγράμματος RocLab.....	83
Πίνακας 7.1 Κόστος εργασιών εκσκαφής ανά m ³	114
Πίνακας 7.2 Υπολογισμός κόστους κατασκευής του υπογείου συγκροτήματος.....	115
Πίνακας 7.3 Συγκριτικός πίνακας κόστους κατασκευής υπογείων και επιφανειακών εγκαταστάσεων αποθήκευσης πετρελαίου.....	117
Πίνακας 7.4 Διάρκεια κύκλου εργασίας για κάθε μέτωπο.....	119

Κεφάλαιο 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ο αγωγός Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη

Ο αγωγός πετρελαίου Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη (Εικόνα1.1) θα μεταφέρει ρωσικό πετρέλαιο από τη Μαύρη θάλασσα στο Αιγαίο, μέσω του βουλγαρικού λιμανιού Μπουργκάς και του λιμανιού της Αλεξανδρούπολης. Ο αγωγός με μήκος 280 χλμ., θα αποτελεί μια εναλλακτική διαδρομή για το ρωσικό πετρέλαιο, που θα προμηθεύει τη δυτική και νότια Ευρώπη, παρακάμπτοντας τα Στενά του Βοσπόρου και των Δαρδανελίων.



Εικόνα 1.1 Διαδρομή αγωγού Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολη.

1.1.1 Μεταφορά πετρελαίου μέσω των Στενών

Τα Στενά αποτελούν τη μοναδική θαλάσσια δίοδο από τη Μαύρη θάλασσα και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πετρελαίου και άλλων προϊόντων από τη Ρωσία προς την Ευρώπη και την Αφρική. Ρυθμίζονται βάσει της Σύμβασης του Montreux που δίνει στην Τουρκία τον έλεγχο του Βοσπόρου και των Δαρδανελίων. Αν και οι τουρκικές ναυτιλιακές αρχές έχουν το δικαίωμα να επιβάλλουν διόδια για τη διέλευση δεξαμενοπλοίων και επίσης είναι υπεύθυνες για τον έλεγχο των πλοίων, για τις συνθήκες υγιεινής και την ασφάλεια, τα Στενά θεωρούνται διεθνή ύδατα και η Τουρκία απαγορεύεται να περιορίζει τη χρήση τους κατά τη διάρκεια της ειρήνης.

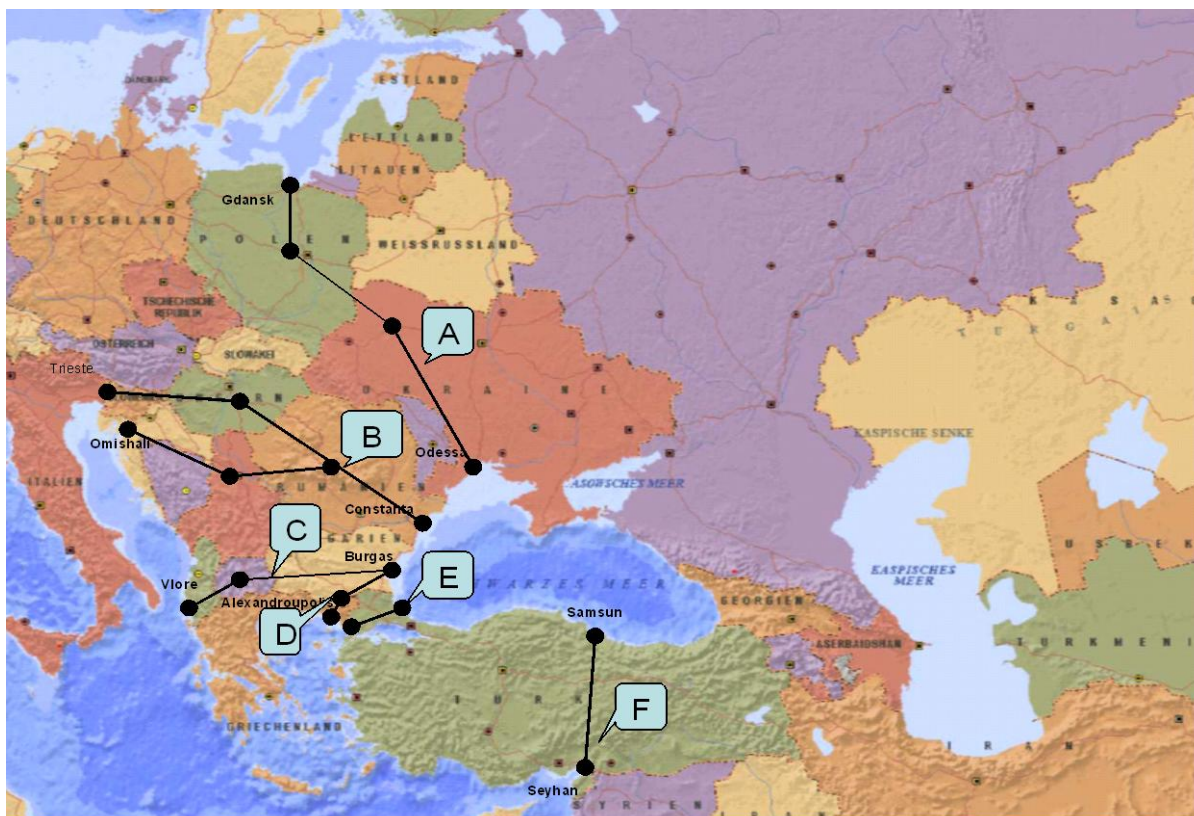
Το πετρέλαιο μεταφέρεται από την Κεντρική Ασία προς το λιμάνι της Μαύρης Θάλασσας Νοβοροσίσκ και στη συνέχεια αποστέλλεται στη Μεσόγειο Θάλασσα μέσω των Στενών του Βοσπόρου. Ο όγκος του πετρελαίου που μεταφέρεται από τον τερματικό σταθμό στο Νοβοροσίσκ έχει υπερδιπλασιαστεί από το τέλος του Ψυχρού Πολέμου, κάτι που έχει οδηγήσει στην αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αυτή την κρίσιμη ναυτική δίοδο.

Σήμερα, περίπου 2,4 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου περνούν μέσω των Στενών του Βοσπόρου κάθε μέρα. Η ποσότητα αυτή αναμένεται να ανέβει σημαντικά εντός της προσεχούς πενταετίας καθώς το Αζερμπαϊτζάν και το Καζακστάν θα αυξήσουν την παραγωγή και την εξαγωγή πετρελαίου (Global Equity Research, 2008). Είναι βέβαιο ότι το στενό δεν μπορεί να αντιμετωπίσει την μεταφορά μιας τέτοιας ποσότητας πετρελαίου.

Καθώς η κυκλοφορία έχει αυξηθεί υπερβολικά τα τελευταία χρόνια, τα ατυχήματα στα Στενά έχουν γίνει πιο συχνά, θέτοντας σε κίνδυνο τόσο το τοπικό περιβάλλον όσο και τα 11 εκατομμύρια κατοίκους της Κωνσταντινούπολης από μια μεγάλη περιβαλλοντική καταστροφή. Λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτόν τον κίνδυνο, η Τουρκία ανήγγειλε μέτρα το 1994 με σκοπό την επιβράδυνση και ρύθμιση της κυκλοφορίας του πετρελαίου μέσω των στενών.

1.1.2 Εύρεση εναλλακτικών λύσεων

Στη Ρωσία αντιστοιχεί σήμερα 25% της κίνησης μέσω των Στενών και γι'αυτό η ρωσική κυβέρνηση εξετάζει τις εναλλακτικές διαδρομές. Διάφορα σενάρια καταρτίστηκαν, ένα εκ των οποίων είναι ο αγωγός Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολης, που θεωρήθηκε ότι είναι η ασφαλέστερη και φθηνότερη λύση για το πρόβλημα..



Εικόνα 1.2 Απεικόνιση προτεινόμενων αγωγών πετρελαίου (Δήμας, 2007).

Η διαδρομή επιλέχθηκε έναντι άλλων (Εικόνα 1.2) επειδή είναι πιο σύντομη, το έδαφος είναι λείο, έχει σχετικά χαμηλές απαιτήσεις αρχικής επένδυσης, το κόστος απόδοσης είναι συγκρίσιμο με τη διαδρομή με πλοία από τα στενά και τέλος ανοίγει ένα ακόμη διάδρομο προς την ευρωπαϊκή ένωση.

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν και άλλοι αγωγοί, οι οποίοι φέρνουν πετρέλαιο, όπως ο Μπακού-Τσειχάν που μεταφέρει κυρίως πετρέλαιο του Αζερμπαϊτζάν. Προς το παρόν όμως αντιμετωπίζει προβλήματα, δε λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.

Στον πίνακα 1.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εναλλακτικές διαδρομές, το μήκος τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που οδήγησαν στην επιλογή του αγωγού Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολης.

Πίνακας 1.1 Στοιχεία προτεινόμενων αγωγών πετρελαίου (Δήμας, 2007).

	Διαδρομή Αγωγού	Μήκος (km)	+/-
A	Odessa – Brody – Plock – Gdansk	1.480	Μεγάλη επένδυση- Τα τερματικά στα Gdansk & Rostock μπορεί να χρησιμοποιηθούν- Πρόβλημα με τα δανικά στενά
B	Constanza – Trieste	1.375	Υψηλές αρχικές απαιτήσεις επενδύσεων, πολλές χώρες διέλευσης, άμεση προμήθεια των διυλιστηρίων της Κεντρικής Ευρώπης μέσω του αγωγού Trans Alpine
C	Burgas – Vlore (AMBO)	913	Μακριά και ορεινή διαδρομή, υψηλές αρχικές επενδύσεις, διασχίζει τρεις χώρες, εφοδιασμός διυλιστηρίων κατά μήκος της διαδρομής, πολιτική κατάσταση στην περιοχή.
D	Burgas – Alex/polis (BAPLine)	256-279	Σύντομη διαδρομή, λείο έδαφος, σχετικά χαμηλή αρχική επένδυση, γρήγορη υλοποίηση εφικτή, διαφοροποίηση της δρομολόγησης του πετρελαίου, κόστος συγκρίσιμο με Στενά
E	Kiyikoy–Ibrice	200	Σύντομη διαδρομή, λείο έδαφος, σχετικά χαμηλές απαιτήσεις αρχικής επένδυσης, εξαγωγές Ρωσίας και της Κασπίας Θάλασσας εξαρτώνται από μία χώρα.
F	Samsun – Ceyhan	510-560	Μακριά και ορεινή διαδρομή,εξαγωγές Κασπίας Θάλασσας εξαρτώνται από μία χώρα, η χρήση του αγωγού BTC για εφοδιασμού διυλιστηρίων Kirikkale

1.2 Ο σχεδιασμός και προγραμματισμός του έργου

Η πρώτη αναφορά στο έργο έγινε το 1993 όταν ο Νίκος Γρηγοριάδης, στέλεχος μεγάλης ιδιωτικής εταιρείας που είναι υπεύθυνη για ενεργειακές επενδύσεις, κατέθεσε πρόταση για τη δημιουργία του πετρελαιοαγωγού Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολης. Τον Ιούνιο του 1994 υπεγράφη διμερής συμφωνία για την κατασκευή του αγωγού. Τον Μάιο του 1998, υπεγράφη μνημόνιο για τη δημιουργία της Transbalkan Oil Pipeline Company. Υπήρξε έντονο ενδιαφέρον από ένα ευρύ φάσμα εταιρειών από διάφορες χώρες να συμμετάσχουν, εκτός, φυσικά, από εταιρείες που προέρχονται από τα τρία κύρια μέλη, δηλαδή τη Ρωσία, τη Βουλγαρία και την Ελλάδα. Τον Σεπτέμβριο του 2000, δημιουργήθηκε ομάδα εργασίας η οποία συνέταξε ένα σχέδιο δράσης και τους κανονισμούς λειτουργίας (Papakosta, 2007).

Τον Ιανουάριο του 2002, αξιολογήθηκαν και εγκρίθηκαν τα τελικά συμπεράσματα των μελετών που είχαν προηγηθεί. Στις 5 Νοεμβρίου του 2004, οι εκπρόσωποι από τις τρεις χώρες συναντήθηκαν στην Αθήνα και συμφώνησαν σε ένα σχέδιο μνημονίου συμφωνίας μεταξύ των κυβερνήσεων της Ρωσικής Ομοσπονδίας, της Βουλγαρίας και της Ελλάδας. Κατά τη διάρκεια των συνομιλιών, οι τρεις πλευρές συμφώνησαν ότι παρόλο που το έργο είχε την πλήρη πολιτική υποστήριξη τους, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μόνο στη βάση της ιδιωτικής πρωτοβουλίας και των αρχών της αγοράς (Papakosta, 2007).

Τον Ιανουάριο του 2005, η τριμερής ομάδα εργασίας συνεδρίασε και μια νέα ομάδα δημιουργήθηκε: η ομάδα πρωτοβουλίας των εταιρειών. Στις 12 Απριλίου 2005, μετά από 13 χρόνια διαπραγματεύσεων, το πολιτικό μνημόνιο για την κατασκευή του πετρελαιοαγωγού Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολης, υπεγράφη τελικά στη Σόφια από τον Ρώσο υπουργό Βιομηχανίας και Ενέργειας Βίκτορ Χριστένκο, το Βουλγαρο Υπουργό Περιφερειακής Ανάπτυξης και Δημοσίων Έργων Tserovski και τον Έλληνα Υπουργό Ανάπτυξης κ. Σιούφα.

Ο αγωγός θα κατασκευαστεί και θα ανήκει στην ολλανδική εταιρεία Trans-Balkan Pipeline BV. Στην εταιρεία αυτή, μερίδιο του 51% των μετοχών ανήκει στην εταιρεία Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολη Pipeline Consortium, μια κοινοπραξία της ρωσικής Transneft, Rosneft και Gazprom Neft. Η Βουλγαρική Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολη-

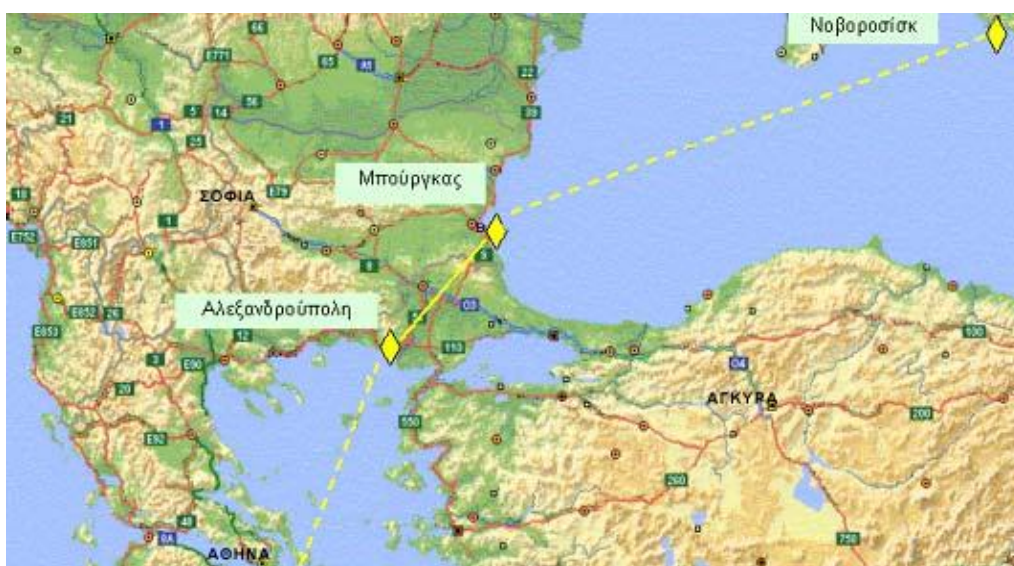
Project Company BG, θυγατρική της Technoexportstroy, κατέχει το 24,5% των μετοχών. Η Ελληνική κοινοπραξία HELPE A.E. - ΘΡΑΚΗ A.E., η οποία ανήκει στην Προμηθέας Gas και ο Όμιλος Λάτση, κατέχει το 23,5%, ενώ η ελληνική κυβέρνηση έχει το 1%.

Η ημερομηνία έναρξης των εργασιών για την κατασκευή του αγωγού δεν έχει ακόμα οριστικοποιηθεί.

1.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά αγωγού

Μετά την ολοκλήρωση του έργου 35 εκατομμύρια τόνοι (26,5 δις βαρέλια) ρωσικού πετρελαίου θα ταξιδεύουν κάθε χρόνο από το λιμάνι του Νοβοροσίσκ στη Μαύρη Θάλασσα για Μπουργκάς και στη συνέχεια, μέσω του νέου αγωγού στην Αλεξανδρούπολη (Εικόνα 1.3). Από εκεί, θα φθάνει σε χώρες κατανάλωσης πετρελαίου στη Δύση.

Θα είναι 280 χιλιόμετρα (Εικόνα 1.4) σε μήκος με διάμετρο 92 εκ. και θα μεταφέρει 960 τόνους πετρελαίου ανά ημέρα (700.000 βαρέλια), με τη δυνατότητα να αυξηθούν στους 1370 τόνους την ημέρα (1 εκ. βαρέλια) στο μέλλον. Η συνολική επένδυση θα υπερβεί τα 783 εκατομμύρια ευρώ (Tsakiris,2007).



Εικόνα 1.3 Διαδρομή αγωγού Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη.

Η χωρητικότητα των δεξαμενών αποθήκευσης στο Μπουργκάς έχει υπολογιστεί στα 450.000 m³ και 2 swing tanks των 20.000 m³ ενώ στην Αλεξανδρούπολη 750.000 m³ και 2 Swing Tanks των 20.000 m³. Οι θαλάσσιες εγκαταστάσεις στο Μπουργκάς αφορούν σε 2 προβλήτες με 2 αποβάθρες πρόσδεσης για πλοία 150000 dwt ενώ στην Αλεξανδρούπολη 2 SPMs για πλοία 300.000 dwt. Στον σχεδιαζόμενο εξοπλισμό προστίθενται ειδικές υποδομές για πλωτές εξέδρες φόρτωσης δεξαμενόπλοιων.

Η προμελέτη της χάραξης του πετρελαιαγωγού που συντάχθηκε από την εταιρεία «ΑΣΠΡΟΦΟΣ Α.Ε.» κατατέθηκε στους αρμόδιους φορείς από τους οποίους ζητείται η πληροφόρηση σχετικά με τα υπόγεια δίκτυα που υπάρχουν σε απόσταση 50 μέτρων εκατέρωθεν του αγωγού. Σύμφωνα με την προμελέτη αυτή η εκβολή του αγωγού γίνεται- όπως αρχικά είχε προταθεί- ανατολικά της Αλεξανδρούπολης. Υπάρχει και εναλλακτική χάραξη για την εκβολή του αγωγού στην περιοχή της παραλίας των Δικέλλων, λίγο πριν τον αρχαιολογικό χώρο της Μεσημβρίας. Στη σημείο εκείνο προβλέπονται και λιμενικές εξυπηρετήσεις. Οι χερσαίες εγκαταστάσεις προβλέπεται να γίνουν στην περιοχή της Αμφιτρίτης.



Εικόνα 1.4 Διαδρομή αγωγού Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη (IFM, 2007).

1.3 Αντιδράσεις από μη κυβερνητικές και τοπικές οργανώσεις

Εκτός από τα οφέλη του αγωγού, ενδεχομένως να υπάρξουν και τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα κατά μήκος της διαδρομής του αγωγού. Ήδη βουλγαρικές μη κυβερνητικές οργανώσεις έχουν εκφράσει την ανησυχία τους για το ότι ο αγωγός Μπουργκάς-Αλεξανδρούπολης θα διασχίσει περιοχές Natura 2000 και υδροβιότοπους Ramsar, όπως το περίφημο Mandra-Poda συγκρότημα λιμνών κοντά στην λίμνη Μπουργκάς (στη μεταναστευτική οδό για τα πτηνά) και το φαράγγι του ποταμού Tundzha στα Βουλγαρικά - Τουρκικά σύνορα.

Στην ελληνική πλευρά, αντιδράσεις έχουν προκληθεί από τοπικές οργανώσεις που υποστηρίζουν ότι ο αγωγός και οι τερματικές εγκαταστάσεις μπορεί να έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις στην ευρύτερη περιοχή. Ο αγωγός διέρχεται από την προστατευόμενη βάση της Συνθήκης Ramsar και οικολογικά ευαίσθητη περιοχή του Έβρου, καθώς αυτή μπορεί να επηρεαστεί από μεγάλα σεισμικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής. Οι κάτοικοι ανησυχούν επίσης για το Δάσος της Δαδιάς το οποίο θα διασχίζει ο αγωγός. Είναι ένας από τους σημαντικότερους βιότοπους της Ευρώπης, ιδίως για τη διαβίωση αρπακτικών πουλιών.

Όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αντανakλούν και επηρεάζουν αρνητικά όλες σχεδόν τις οικονομικές δραστηριότητες της περιοχής, όπως τον ήπιο εναλλακτικό τουρισμό, την αλιεία, τη γεωργία και την κτηνοτροφία.

Οι υποστηρικτές των αγωγών πετρελαίου ισχυρίζονται ότι θα μειώσει τον κίνδυνο των ατυχημάτων πετρελαιοφόρων στα Τουρκικά Στενά. Ωστόσο, είναι αναμενόμενο ότι η κατασκευή της παράκαμψης αγωγών θα αυξήσει τελικά τη συνολική μεταφορά πετρελαίου και των κινδύνων ρύπανσης στη Μαύρη Θάλασσα και τη Μεσόγειο λόγω της αύξησης της κυκλοφορίας προς και από τα νέα τερματικά. Οργανώσεις από επτά χώρες των Βαλκανίων και της Μαύρης θάλασσας έχουν εκφράσει την ανησυχία τους ότι ο αγωγός θα οδηγήσει σε αύξηση των δεξαμενόπλοιων μεταφοράς για τη Μαύρη Θάλασσα και κατά συνέπεια τον κίνδυνο ατυχημάτων.

Κεφάλαιο 2 - ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

2.1 Υπόγεια Αποθήκευση Υδρογονανθράκων

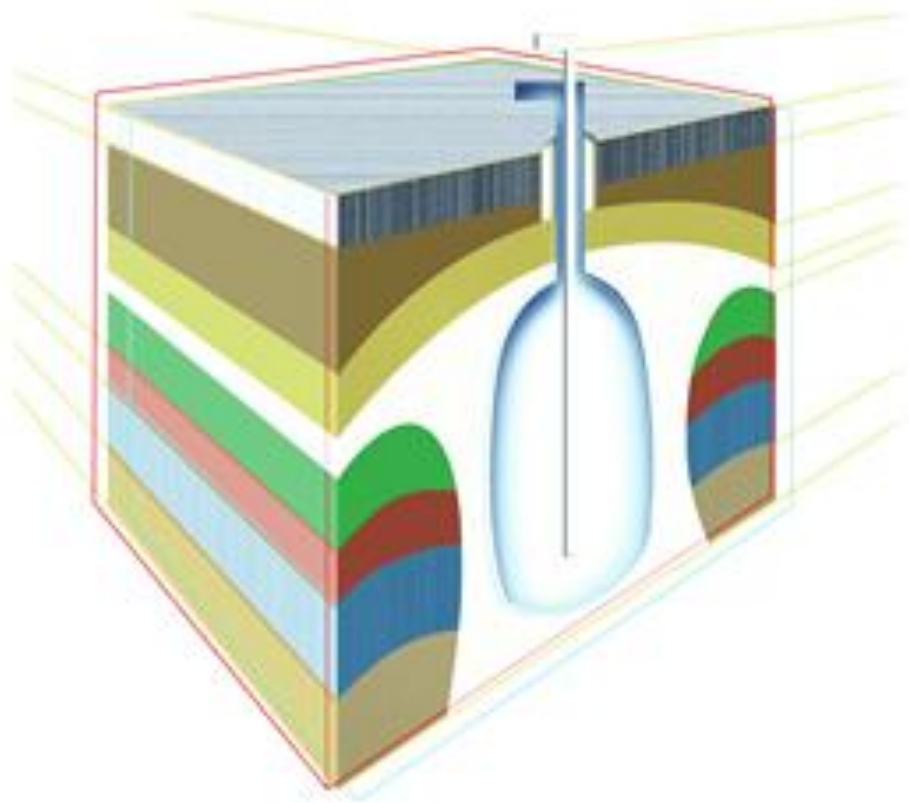
Η κατασκευή υπόγειων συγκροτημάτων αποθήκευσης πετρελαίου ξεκίνησε κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου. Λόγω των συνθηκών, ήταν προφανές στους ειδικούς ότι η κατασκευή καταφυγίων προστατευόμενα από τις εναέριες επιδρομές ήταν απαραίτητη. Είχαν αντιληφθεί ότι η πραγματική ασφάλεια από τις βομβιστικές επιθέσεις μπορούσε να επιτευχθεί με την τοποθέτηση των δεξαμενών πετρελαίου υπόγεια. Στην αρχή, η μέθοδος αναφερόταν στην κατασκευή υπόγειων δεξαμενών πετρελαίου. Αργότερα κάποιοι φυσικοί ή τεχνητοί χώροι κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα χρησιμοποιήθηκαν στη Σουηδία. Από τότε, πολλές χώρες αρχίζουν να εφαρμόζουν τη μέθοδο. Ορισμένες όπως η Γαλλία, η Φιλανδία, η Σουηδία, η Νορβηγία, η Ιαπωνία, η Κορέα κ.α. επιλέγουν να τις κατασκευάσουν σε σκληρά πετρώματα, όπως γρανίτη και γνεύσιο. Άλλες όπως η Αμερική, ο Καναδάς, το Μεξικό, η Γερμανία κ.α. εκμεταλλεύονται το παχύ στρώμα ορυκτού άλατος για την αποθήκευση του πετρελαίου. Η Σαουδική Αραβία και η Νότια Αφρική χρησιμοποιούν τα εγκαταλελειμμένα ορυχεία.

Ο πρώτος που ασχολήθηκε με τη μέθοδο ήταν ο γεωλόγος Hagerman, ο οποίος συνειδητοποίησε ότι ένα αποτελεσματικό σφράγισμα για το βράχο θα μπορούσε να επιτευχθεί με τοποθέτηση του θαλάμου κάτω από το επίπεδο των τοπικών υπόγειων υδάτων. Οι εργαστηριακές δοκιμές που εκπονήθηκαν σε ειδικά κατασκευασμένες τσιμεντένιες δεξαμενές, προανήγγειλαν την άφιξη της Σουηδικής μεθόδου για την αποθήκευση πετρελαίου σε στοές, χωρίς έγχυτο σκυρόδεμα, κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα (C.Morfeltdt,1983).

2.2 Τρόποι υπεδαφικής αποθήκευσης καυσίμων

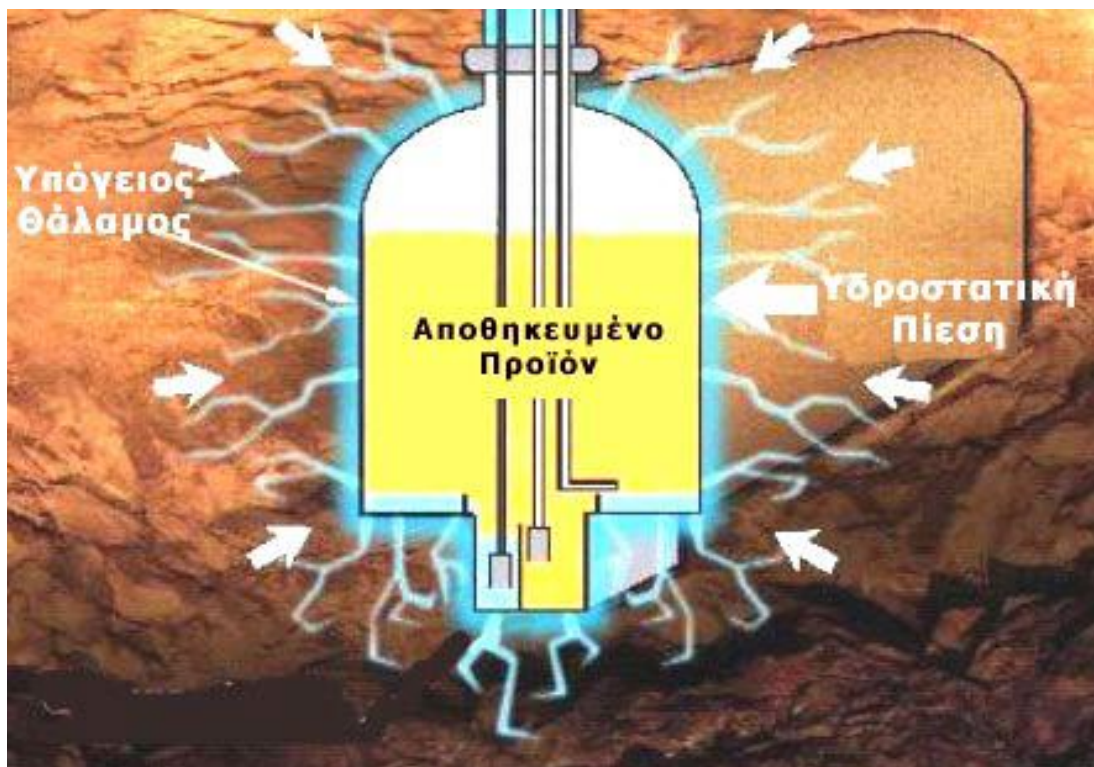
Οι βασικοί τύποι υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων είναι:

- Κοιλότητες σε δόμους ορυκτού άλατος
- Εγκαταλελειμμένα ορυχεία
- Υδροφόροι ορίζοντες
- Εξαντλημένα κοιτάσματα αερίου και πετρελαίου
- Τεχνητοί υπόγειοι θάλαμοι



Εικόνα 2.1 Τυπική διάταξη αποθήκευσης σε δόμους άλατος

Όταν δεν είναι εφικτή η εύρεση κοιλοτήτων σε δόμους άλατος (Εικόνα 2.1) ή η χρήση παλιών ορυχείων, οι θάλαμοι κατασκευάζονται σε βάθος χαμηλότερο από τον υδροφόρο ορίζοντα, του οποίου η στάθμη πρέπει να είναι σταθερή, χωρίς μεγάλες διαταραχές και καλή υδραυλική κυκλοφορία εντός του πορώδους και των διακλάσεων του πετρώματος. Οι θάλαμοι δεν επενδύονται επιτρέποντας στα υπόγεια ύδατα να διεισδύσουν μέσα στο θάλαμο από το περιβάλλον πέτρωμα.



Εικόνα 2.2 Εγκλωβισμός του αποθηκευμένου προϊόντος εντός του υδροδυναμικού φράγματος που δημιουργείται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Η βασική αρχή, η οποία χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση της υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων, στηρίζεται στον εγκλωβισμό του προς αποθήκευση προϊόντος, μέσα σε ένα υδροδυναμικό φράγμα το οποίο δημιουργείται από τον υδροφόρο ορίζοντα (Εικόνα 2.2) (Καλιαμπάκος, 2003). Πρέπει λοιπόν το προϊόν προς αποθήκευση να έχει ειδικό βάρος μικρότερο του νερού και να είναι αδιάλυτο στο νερό ώστε να είναι δυνατός ο σαφής διαχωρισμός του από αυτό (S.Froise, 1987). Το υπόγειο νερό, έχοντας μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το

πετρέλαιο, δημιουργεί στρώμα ύδατος στον πυθμένα, καθώς και μια πίεση προς το εσωτερικό του θαλάμου εμποδίζοντας τη διαρροή του προϊόντος στο πέτρωμα.

Παράλληλα, το νερό ρέει στα τοιχώματα του θαλάμου και συγκεντρώνεται στον πυθμένα από όπου και αντλείται, ανάλογα με την ποσότητα καυσίμου που περιέχεται στο θάλαμο. Το νερό που αντλείται, αφού διαχωριστεί από πιθανή μικροποσότητα καύσιμου, μπορεί να απορριφθεί ή να επαναχρησιμοποιηθεί.

Είναι σημαντικό, επίσης, να διασφαλιστεί ότι τα περιβάλλοντα πετρώματα είναι κορεσμένα με τα υπόγεια ύδατα και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερη από την πίεση του υγρού μέσα στο θάλαμο, για να εξασφαλιστεί ότι η ροή είναι μόνο προς το θάλαμο(S.Froise, 1987).

Εκεί όπου ο υδροφόρος ορίζοντας δεν παρουσιάζει σταθερή στάθμη ή χρειάζεται να υπάρχει πλήρης εξασφάλιση της υδροστατικής πίεσης στο χώρο του ανοίγματος μπορεί να γίνει τεχνητός εμπλουτισμός του υδροφόρου με τη χρήση κουρτινών νερού.

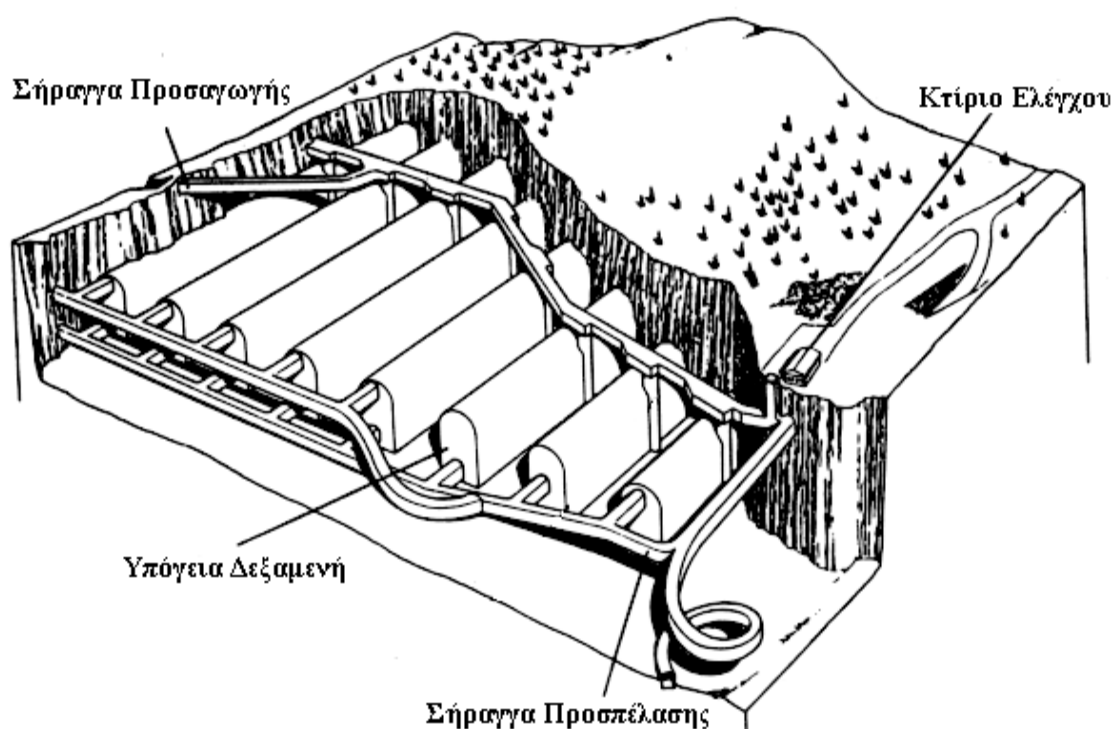
Οι υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης έχουν σχεδιαστεί να ολοκληρώνονται χωρίς τελική επένδυση. Γι ' αυτό, το πέτρωμα στο οποίο γίνεται η κατασκευή πρέπει να έχει ικανοποιητική αντοχή ώστε να είναι δυνατή η εκσκαφή ανοιγμάτων μεγάλης διατομής χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα ευστάθειας, αλλά και κατάλληλης σύνθεσης ώστε να μην είναι δυνατή η αλληλεπίδρασή του με το αποθηκευμένο προϊόν και η δημιουργία χημικών αντιδράσεων που μπορεί να αλλοιώσουν την ποιότητα του προϊόντος.

Παρά την ύπαρξη των παραπάνω προϋποθέσεων, που σχετίζονται με την κατασκευή υπογείων δεξαμενών χωρίς τελική επένδυση, υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστούν θάλαμοι οι οποίοι θα είναι επενδεδυμένοι με μεταλλική επίστρωση. Ο βασικός στόχος της επένδυσης, είναι η απομόνωση του αποθηκευμένου προϊόντος από το περιβάλλον πέτρωμα και το υπόγειο νερό. Λειτουργεί ακόμη σαν συμπληρωματικό μέσο υποστήριξης των θαλάμων, διασφαλίζοντας έτσι την ευστάθεια του έργου, εμφανίζει όμως αυξημένο συγκριτικά κόστος.

2.3 Τύποι τεχνητών υπόγειων δεξαμενών

Τα διάφορα συγκροτήματα υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων, συνήθως αποτελούνται από περισσότερες από μία μεγάλες υπόγειες εκσκαφές, οι οποίες βρίσκονται παράλληλα τοποθετημένες μεταξύ τους, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 2.3. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται επίσης η δυνατότητα αποθηκείσεως διαφορετικών τύπων υδρογονανθράκων, αν αυτό χρειαστεί.

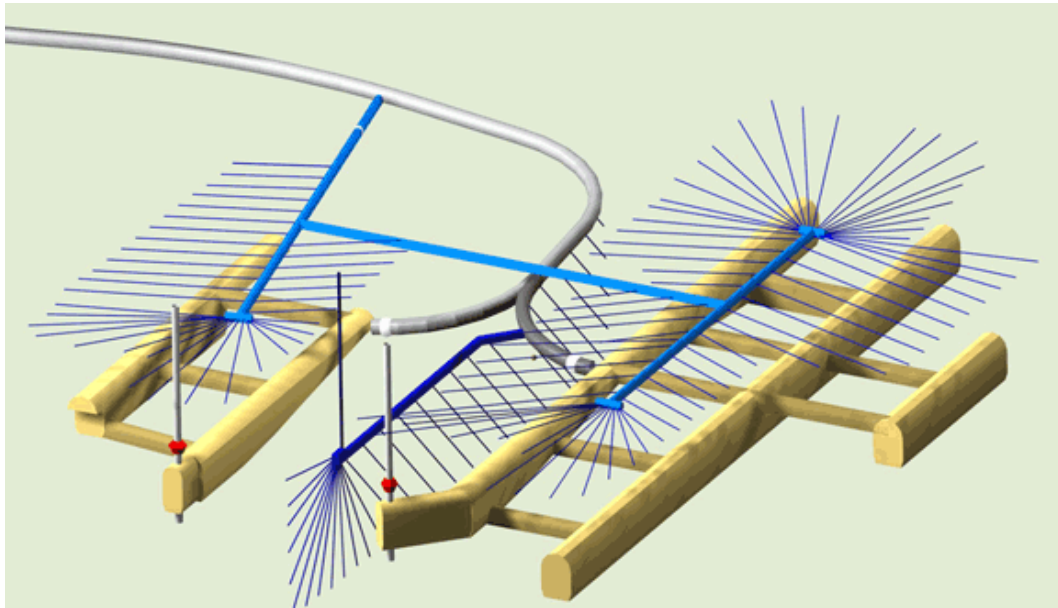
Γενικά, μπορούν να διακριθούν δύο κύριοι τύποι δεξαμενών, σύμφωνα με τον τρόπο που είναι διατεταγμένες στο χώρο, οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες στοιχεία για τις οποίες δίνονται στη συνέχεια.



Εικόνα 2.3 Τυπική μορφή συγκροτήματος υπόγειας αποθήκευσης πετρελαίου.

2.3.1 Οριζόντιες δεξαμενές

Οι οριζόντιες δεξαμενές, έχουν μορφή σήραγγας μεγάλης διατομής (Εικόνα 2.4). Μπορούν να φτάσουν τα 20-30m πλάτος, τα 25-33m ύψος, ενώ το μήκος μπορεί να ξεπεράσει τα 700-1000m. Συνήθως έχουν πεταλοειδή διατομή (Εικόνα 2.5), το εμβαδόν της οποίας μπορεί να ξεπεράσει και τα 500 m².



Εικόνα 2.4 Υπόγειοι οριζόντιοι θάλαμοι αποθήκευσης υδρογονανθράκων στη Lavera (GeostockΓαλλία).



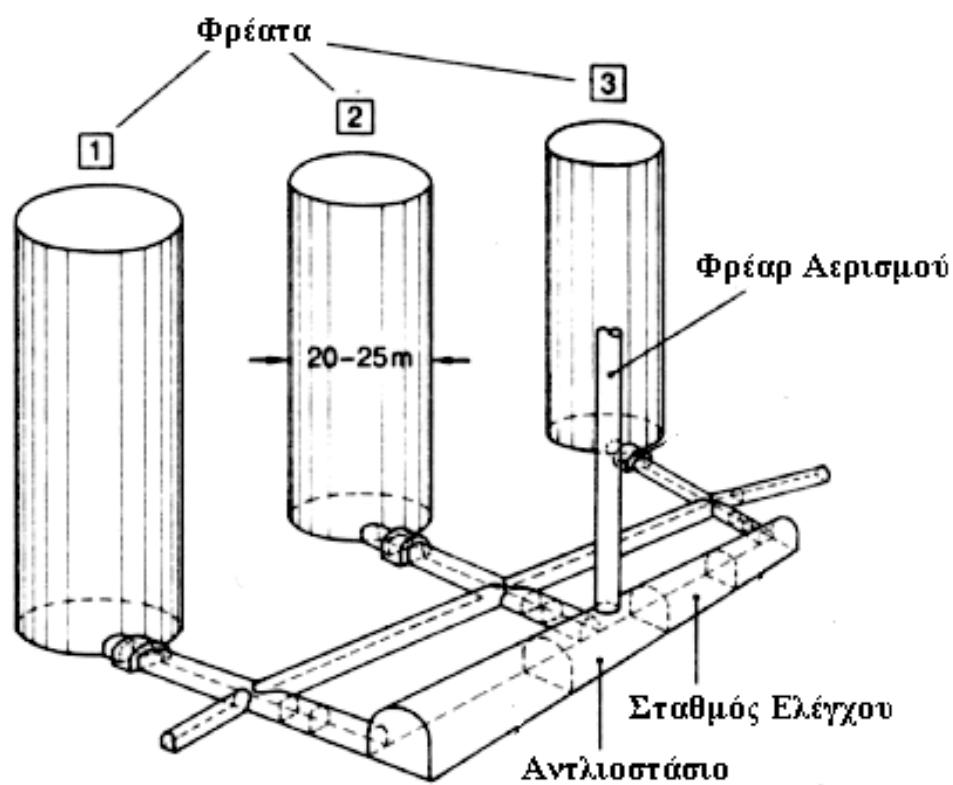
Εικόνα 2.5 Εσωτερικό οριζόντιου υπόγειου θαλάμου στην περιοχή Yosu στη Ν.Κορέα (Geostock).

Το κόστος κατασκευής αυτού του τύπου δεξαμενών, ακόμη και σε πετρώματα που δεν εμφανίζουν αρκετά ευνοϊκά χαρακτηριστικά και επίσης σε θέσεις όπου το πάχος των υπερκειμένων δεν είναι αρκετά μεγάλο, τις καθιστά οικονομικά συμφέρουσες. Οι δεξαμενές αυτού του τύπου κατασκευάζονται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν διαρροές και ανάμιξη προϊόντων, όταν αυτά βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα μέσα σε διαφορετικούς θαλάμους των δεξαμενών. Για το λόγο αυτό μπορεί να εγκατασταθούν κατακόρυφες κουρτίνες νερού ανάμεσα στις δεξαμενές ή άλλα μέτρα για την αποφυγή της ανάμιξης των προϊόντων.

2.3.2 Κατακόρυφες δεξαμενές

Στην περίπτωση των κατακόρυφων δεξαμενών, οι θάλαμοι ορύσσονται και κατασκευάζονται υπό τη μορφή φρεάτων (Εικόνα 2.6). Ο τύπος αυτός εμφανίζει ορισμένα πλεονεκτήματα. Επειδή η διάταξη των θαλάμων καταλαμβάνει μικρότερη έκταση, υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εξεύρεσης κατάλληλου πετρωμάτων. Ο άξονας μήκους των θαλάμων είναι κάθετος κάτι που μειώνει σημαντικά τις συγκέντρωση πιέσεων στα γύρω πετρώματα και επιτρέπει τη δημιουργία μεγαλύτερων ανοιγμάτων (Εικόνα 2.7).

Επίσης, η οροφή του θαλάμου είναι πολύ μικρή σε σχέση με τον όγκο αποθήκευσης, κάτι που μειώνει τα απαιτούμενα μέτρα ενίσχυσης τους. Τέλος, ο τρόπος κατασκευής απλοποιεί την πλήρη εκκένωση και τον καθαρισμό των θαλάμων και προωθεί τη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος που αποθηκεύεται. Αυτό επειδή η διεπιφάνεια του καυσίμου, που έρχεται σε επαφή με το νερό και οξειδώνεται, είναι μικρότερη. Χρησιμοποιούνται έτσι συνηθέστερα για αποθήκευση καύσιμων υψηλής καθαρότητας. Το κόστος εκσκαφής εμφανίζεται σχετικά αυξημένο, σε σχέση με αυτό των αντιστοίχων οριζοντίων δεξαμενών.



Εικόνα 2.6 Κατακόρυφες δεξαμενές.



Εικόνα 2.7 Οριζόντια δεξαμενή αποθήκευσης καυσίμων (Skallen, Σουηδία)

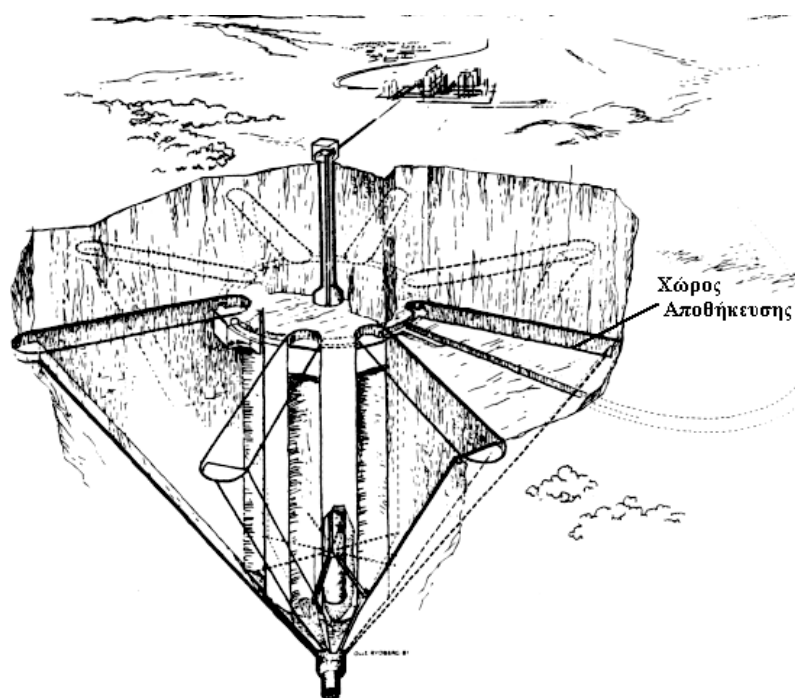
Ορισμένα από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα είχαν αναγνωριστεί νωρίς, και είχαν συμπεριληφθεί στις προτάσεις, όπως:

Polytank: εγκατάσταση αποθήκευσης πολλαπλών χρήσεων (Sagefors et al., 1980)

WP-Cave: μια υψηλού επιπέδου απόθεση πυρηνικών αποβλήτων (Akkesson et al., 1980)

Funnel Storage: μια μεγάλης κλίμακας ιδέα για την αποθήκευση προϊόντων πετρελαίου (Daerga et al. 1986).

Η τελευταία κατηγορία, Funnel Storage, έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και στην εικόνα 2.8 φαίνεται η διάταξη τους. Οι θάλαμοι με τριγωνικό σχήμα, εξασφαλίζουν τη μικρότερη δυνατή επαφή νερού - καυσίμου, καθώς και πλεονεκτήματα από άποψη ευστάθειας. Οι δεξαμενές αυτού του τύπου μεγιστοποιούν τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στις κατακόρυφες δεξαμενές, αλλά η κατασκευή τους είναι δύσκολη και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό.



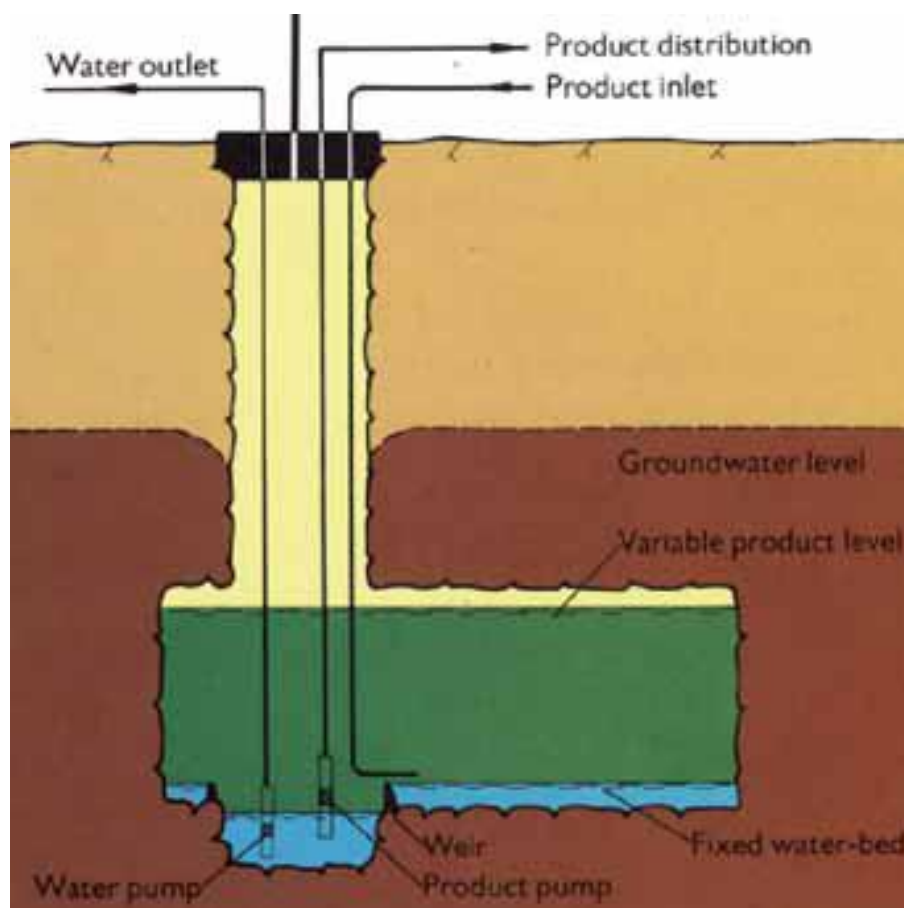
Εικόνα 2.8 Υπόγειος αποθηκευτικός χώρος υδρογονανθράκων σε σχήμα χωνιού (Funnel Storage).

2.3.3 Κατηγορίες υπογείων δεξαμενών σε σχέση με το στρώμα νερού

Ανάλογα με τον τρόπο ρύθμισης του στρώματος νερού που βρίσκεται στον πυθμένα των υπογείων δεξαμενών, κάτω από το καύσιμο, αυτές διακρίνονται σε δύο τύπους:

1. Υπόγειες δεξαμενές καυσίμου με σταθερή στάθμη νερού

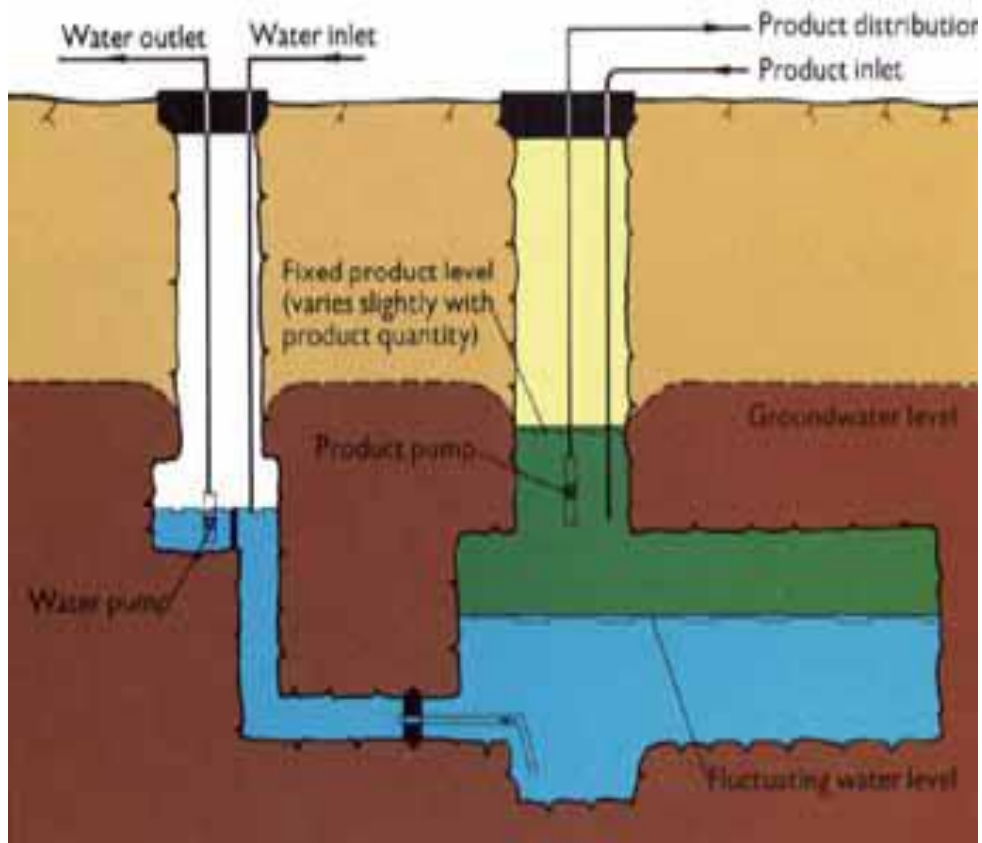
Πρόκειται για δεξαμενές στις οποίες η στάθμη του νερού παραμένει σταθερή με τη βοήθεια μιας ειδικής αντλίας που είναι τοποθετημένη στον πυθμένα της δεξαμενής (Εικόνα 2.9), ενώ η στάθμη του αποθηκευμένου καυσίμου μεταβάλλεται. Η μέθοδος εφαρμόζεται για μεγάλους όγκους αποθηκευμένων προϊόντων (>50.000 m³) και για την αποθήκευση αργού πετρελαίου, υγροποιημένων καυσίμων καθώς και πετρελαίου ελαφρού και βαρέως τύπου (Haug,2007).



Εικόνα 2.9 Δεξαμενή με σταθερή στάθμη νερού (Finncavern Ltd Oy / Neste Oy)

2. Υπόγειες δεξαμενές καυσίμων με κυμαινόμενη στάθμη νερού

Στην περίπτωση αυτή των δεξαμενών, η στάθμη του αποθηκευμένου καυσίμου μένει σταθερή στο πάνω μέρος της δεξαμενής, ενώ το πάχος του στρώματος νερού στον πυθμένα της δεξαμενής μεταβάλλεται με μία κατάλληλη διάταξη αντλιών και ανάλογα με τη μεταβολή της στάθμης του καυσίμου (Εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10 Δεξαμενή με κυμαινόμενη στάθμη νερού (Finncavern Ltd Oy / Neste Oy)

Με αυτόν τον τρόπο η δεξαμενή παραμένει πάντοτε γεμάτη και η ποσότητα του νερού εντός αυτής ελαχιστοποιείται όταν το καύσιμο γεμίζει τη δεξαμενή. Αντίθετα, όταν πραγματοποιείται άντληση καυσίμου, αυξάνεται η ποσότητα του νερού μέσα στη δεξαμενή. Η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για την άντληση του νερού μέσα και έξω, καθώς και η διαχείριση και συντήρηση μιας μεγάλης μονάδας καθαρισμού για το νερό, καθιστούν τη μέθοδο αρκετά δαπανηρή. Η μέθοδος άρχισε να αναπτύσσεται κατά την αποθήκευση καυσίμων με σημείο καύσης μικρότερο των 23 °C, π.χ.

βενζίνη, οπότε ήταν αναγκαίο να αποτραπεί η είσοδος του αέρα κατά τη διάρκεια άντλησης του καυσίμου και εφαρμόζεται συνήθως για μικρούς όγκους αποθήκευσης (<50.000 m³) (Haug,2007).

2.4 Συνθήκες λειτουργίας δεξαμενών

Ανάλογα με τον τύπο του προς αποθήκευση υδρογονάνθρακα διαφοροποιείται και η μέθοδος αποθήκευσης που ακολουθείται. Κοινό στοιχείο για όλες τις μεθόδους είναι η θερμοκρασία αποθήκευσης η οποία κρατείται πάνω από τους 0°C ώστε το νερό που εισέρχεται στη δεξαμενή να ρέει και να συλλέγεται στον πυθμένα της.

Αποθήκευση υπό ατμοσφαιρική πίεση.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για προϊόντα με χαμηλή πίεση ατμών. Τέτοια προϊόντα είναι π.χ. το βαρύ και ελαφρύ καύσιμο πετρέλαιο, το ντίζελ, η κηροζίνη και η βενζίνη.

Αποθήκευση υπό πίεση.

Αυτού του είδους η αποθήκευση χρησιμοποιείται σε προϊόντα με υψηλή πίεση ατμών όπως προπάνιο, βουτάνιο, νάφθα κ.α. Συνήθως αυτά τα προϊόντα είναι σε υγροποιημένη μορφή. Κρίσιμος είναι ο καθορισμός του πάχους των υπερκειμένων ώστε η λιθοστατική πίεση που εφαρμόζεται στην εκσκαφή να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την πίεση που ασκείται εσωτερικά από το προϊόν, όπως επίσης και να εφαρμόζεται μεγαλύτερη υδροστατική πίεση ώστε να εμποδίζονται διαφυγές.

Αποθήκευση υπό συνθήκες ψύξης

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την αποθήκευση αέριων υδρογονανθράκων, όπως το προπάνιο, το βουτάνιο και το προπυλένιο, σε υγρή φάση και σε ορισμένες περιπτώσεις υπό πίεση.

Αποθήκευση υπό συνθήκες θέρμανσης

Τέτοιες δεξαμενές χρησιμοποιούνται για προϊόντα με υψηλό σημείο βρασμού, όπως το βαρύ πετρέλαιο και αρκετοί τύποι αργού πετρελαίου. Η θέρμανση επιδιώκεται ώστε το αποθηκευμένο προϊόν να είναι κατάλληλο για άντληση (μείωση ιξώδους - αύξηση εργασιμότητας) επιτυγχάνεται με τη διοχέτευση ατμού, ή με τη βοήθεια εναλλακτών θερμότητας.

2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπόγειων θαλάμων αποθήκευσης σε σχέση με τις επιφανειακές δεξαμενές

Η αξιοποίηση των υπόγειων χώρων προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτή των επιφανειακών δεξαμενών, όπως:

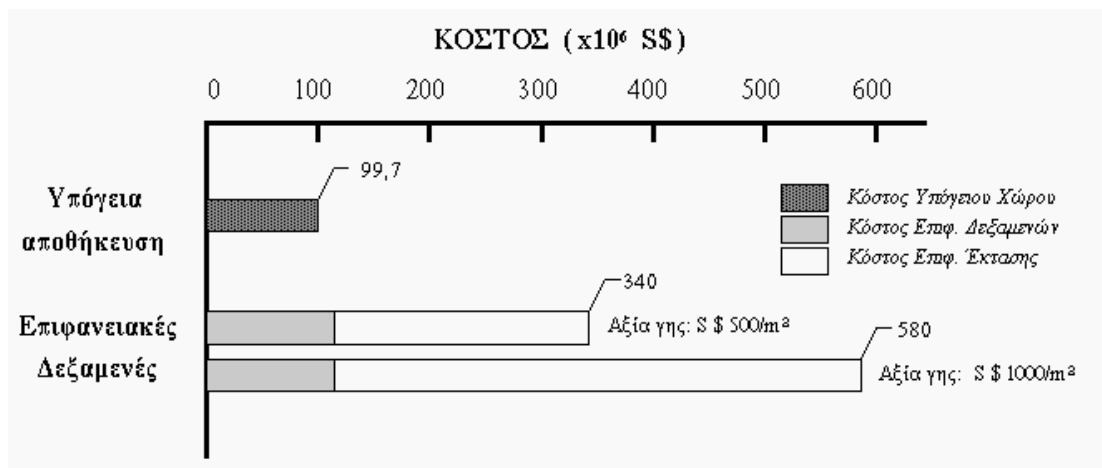
- Μειωμένες απαιτήσεις για επιφανειακές εκτάσεις
- Βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος
- Δυνατότητα δημιουργίας στρατηγικών αποθεμάτων πετρελαίου
- Δυνατότητα δημιουργίας υπόγειων αποθηκών κάτω από τις επιφανειακές εγκαταστάσεις (Εικόνα 2.11)
- Μειωμένη εξάρτηση από τις ξένες εισαγωγές και αύξηση ασφάλειας των αποθεμάτων
- Δυνατότητα χρήσης του προϊόντος που προκύπτει από την εξόρυξη
- Βελτίωση της ασφάλειας και της προστασίας
- Χαμηλότερο κόστος συντήρησης
- Κόστος κατασκευής τουλάχιστον συγκρίσιμο



Εικόνα 2.11 Τρισδιάστατη απεικόνιση υπόγειων αποθηκών κάτω από επιφανειακές εγκαταστάσεις (Geostock)

Μειωμένες απαιτήσεις για επιφανειακές εκτάσεις

Με την τοποθέτηση των υπαίθριων εγκαταστάσεων υπόγεια, ελευθερώνονται μεγάλες εκτάσεις γης, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για άλλες χρήσεις. Στις μέρες μας άλλωστε η εύρεση μεγάλων ελεύθερων εκτάσεων κοντά στη θάλασσα είναι πολύ δύσκολη και πολύ δαπανηρή. μπορεί να αναφερθεί συγκριτική μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε στη Σιγκαπούρη. Σύμφωνα με αυτή, εξετάστηκε χώρος αποθηκευτικής ικανότητας 800.000 m^3 , τόσο σε συγκρότημα επιφανειακών, όσο και υπογείων δεξαμενών (Zhao et al., 1996). Οι υπόγειες δεξαμενές αποτελούνταν από 5 οριζόντιους θαλάμους, διαστάσεων 19 m πλάτους, 33 m ύψους και 323 m μήκους. Το κόστος ανά μονάδα προϊόντος ανήλθε στο ποσό των S\$ 125 ανά m^3 . Από το διάγραμμα κόστους (εικόνα 2.12) παρατηρείται ότι το κόστος της υπόγειας αποθήκης είναι μικρότερο της επιφανειακής, ακόμη και αν δεν συνυπολογιστεί το κόστος της επιφανειακής έκτασης. Επίσης προκύπτει ότι το κόστος ανά μονάδα προϊόντος για τα δύο σενάρια επιφανειακής αποθήκευσης ανέρχεται στα S\$ 340 και S\$ 580 ανά m^3 αντίστοιχα.



Εικόνα 2.12 Συγκριτικό διάγραμμα κόστους μεταξύ υπόγειας και επιφανειακής αποθήκευσης υδρογονανθράκων στη Σιγκαπούρη (Zhao et al., 1996).

Βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος

Περιβαλλοντικά αρνητικές επιπτώσεις, όπως ο θόρυβος, μειώνονται κατά την κατασκευή υπόγειων εγκαταστάσεων. Τα φαινόμενα διαρροών είναι πρακτικά εκμηδενισμένα με αποτέλεσμα τη δραστικά μειωμένη ρύπανση των υπογείων νερών ή της θάλασσας. Τέλος, σημαντική είναι και η μείωση της αισθητικής ρύπανσης.

Δυνατότητα δημιουργίας στρατηγικών αποθεμάτων πετρελαίου

Σύμφωνα με την οδηγία 2006/67/ΕΚ της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα κράτη μέλη έχουν την υποχρέωση να συγκροτούν και να διατηρούν συνεχώς ένα ελάχιστο επίπεδο αποθεμάτων προϊόντων πετρελαίου, το οποίο να αντιστοιχεί σε τουλάχιστον 90 ημέρες της μέσης ημερήσιας εσωτερικής κατανάλωσης που καταγράφηκε κατά το προηγούμενο έτος, ώστε να εγγυάται την ασφάλεια του εφοδιασμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε πετρέλαιο. Τα αποθέματα θα επιτρέψουν την αδιάλειπτη τροφοδοσία και κατά συνέπεια την ομαλή λειτουργία της χώρας σε περιόδους κρίσεων.

Μειωμένη εξάρτηση από τις ξένες εισαγωγές και αύξηση ασφάλειας των αποθεμάτων

Σε περιόδους πολιτικών κρίσεων, η εξάρτηση από εισαγωγή ξένων αποθεμάτων δεν είναι ωφέλιμη για τη χώρα. Με τη χρήση υπογείων αποθηκών η εξάρτηση μειώνεται και ενισχύεται η εθνική ασφάλεια. Ακόμη, οι υπόγειοι χώροι παρουσιάζουν μεγαλύτερη ασφάλεια σε περιόδους πολέμου, τόσο από βομβαρδισμούς όσο και από απόπειρες δολιοφθορών. Ακόμα και χωρίς ειδικά μέτρα, οι εγκαταστάσεις είναι καλά προστατευμένες από κάποια επίθεση. Τα διάφορα τμήματα μπορούν να προστατευθούν από τους βομβαρδισμούς και επιπλέον το σύνολο των εγκαταστάσεων και των σωληνώσεων μπορούν να καμουφλαριστούν.

Δυνατότητα χρησιμοποίησης του προϊόντος που προκύπτει από την εξόρυξη

Η εκμετάλλευση του εξορυσσόμενου προϊόντος για την παρασκευή αδρανών που θα διατεθούν στην αγορά , μειώνει το κόστος κατασκευής.

Βελτίωση της προστασίας των εγκαταστάσεων

Όλες οι κατασκευές που είναι υπόγειες είναι καλύτερα προστατευμένες από τους σεισμούς και αυτό γιατί τα σεισμικά κύματα μεγεθύνονται γρήγορα όταν φτάσουν στην επιφάνεια του εδάφους. Επίσης παρέχεται μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με τη εκμηδένιση του κινδύνου πυρκαγιάς αλλά και αύξηση της πιθανότητας της επιτυχούς αντιμετώπισης της.

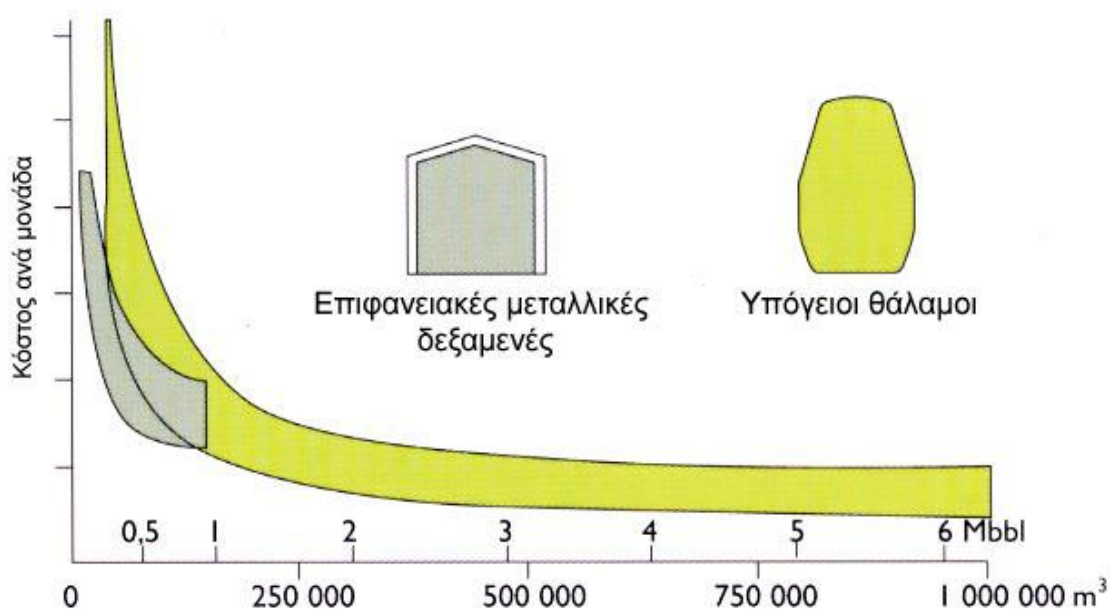
Χαμηλότερο κόστος συντήρησης

Δεν απαιτούνται διατάξεις πυρόσβεσης για το υπόγειο τμήμα του συγκροτήματος, ενώ τα ζητήματα διάβρωσης και επισκευών αφορούν μόνο τα επιφανειακά έργα, σε αντίθεση με τα επιφανειακά συγκροτήματα που απαιτούνται αντίστοιχες εργασίες για το σύνολο των μεταλλικών επιφανειών κάθε 3- 4 έτη περίπου. Επίσης, οι υπόγειοι θάλαμοι δεν είναι ευπαθείς σε μετεωρολογικές ή εποχικές διακυμάνσεις , σε σχέση με

τις επιφανειακές εγκαταστάσεις. Το κόστος μειώνεται καθώς δεν χρειάζεται προσωπικό για τη συντήρηση.

Κόστος κατασκευής τουλάχιστον συγκρίσιμο

Το κόστος κατασκευής των υπογείων δεξαμενών χωρητικότητας μεγαλύτερης των 100.000-150.000 m³, είναι τουλάχιστον συγκρίσιμο (Εικόνα 2.13).



Εικόνα 2.13 Συγκριτικό διάγραμμα κόστους επιφανειακής - υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων (Froise, 1987).

Επίσης το κόστος του χάλυβα, ο οποίος αποτελεί τον κύριο παράγοντα κόστους για τις επιφανειακές δεξαμενές, έχει αυξηθεί σημαντικά. Η διαφορά του κόστους αυξάνεται όσο αυξάνεται η χωρητικότητα του συγκροτήματος, καθιστώντας τις επιφανειακές δεξαμενές οικονομικά ασύμφωρες. Πιο συγκεκριμένα το κόστος ανά m³ δεξαμενής μειώνεται κατά 50%, όταν ο όγκος της δεξαμενής αυξάνεται από τα 10.000 m³ στα 100.000 m³.

Εκτός από τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης, έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα έναντι στις επιφανειακές εγκαταστάσεις.

- Ο απαιτούμενος χρόνος κατασκευής των υπόγειων εγκαταστάσεων είναι αρκετά μεγαλύτερος από αυτόν για τις υπαίθριες, κυρίως λόγω των βοηθητικών έργων που είναι αναγκαία, όπως οι στοές προσπέλασης, οι αγωγοί προσαγωγής του πετρελαίου κ. α.
- Υπάρχει η πιθανότητα αλλοίωσης της ποιότητας των καυσίμων ιδιαίτερα στις δεξαμενές χωρίς τελική επένδυση.
- Ο απαιτούμενος τεχνικός εξοπλισμός μιας υπεδαφικής εγκατάστασης αποθήκευσης υδρογονανθράκων είναι πιο εξειδικευμένος από αυτόν που χρησιμοποιείται στις επιφανειακές εγκαταστάσεις, έτσι χρειάζεται και ένα κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό.

Κεφάλαιο 3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ

3.1 Σουηδία

Στο νοτιοδυτικό τμήμα της Σουηδίας στην περιοχή Brofjorden (Εικόνα 3.1), ξεκίνησε στα τέλη του '70 η διάνοιξη μιας υπόγειας στοάς αποθήκευσης πετρελαίου με δυναμικότητα 2,6 εκατ. m³. Τρεις παράλληλοι υπόγειοι θάλαμοι κατασκευάστηκαν, σε πολύ καλής ποιότητας ομοιογενούς γρανίτη με πηγματοητικές διεισδύσεις. Αποκολλήσεις από τα τοιχώματα επηρέασαν τη διάνοιξη και το σχήμα της διατομή τροποποιήθηκε προκειμένου να είναι πιο τοξωτή, με πλάτος 10,2 m. και ύψος 7 m (C.Edelbro,2006)



Εικόνα 3.1 Επισκόπηση του περιβάλλοντος χώρου της αποθήκευσης πετρελαίου Brofjorden.

Η τοποθεσία προσφέρει εξαιρετικές συνθήκες για τη μεταφορά σε πλοία, ικανοποιεί την απαίτηση για ελάχιστες επιπτώσεις στις κατοικημένες περιοχές καθώς και τη δυνατότητα για απεριόριστη επιφανειακή εκμετάλλευση του χώρου. Πλέον

υπάρχουν τέσσερις υπόγειοι θάλαμοι χωρητικότητας 200.000m³ για αποθήκευση αργού πετρελαίου και τέσσερις για την αποθήκευση των προϊόντων της-ντίζελ και μαζούτ και με αντίστοιχη ικανότητα των 44.000, 85.000, 73.000 και 85.000 m³.

Επίσης, το διυλιστήριο στο Γκέτεμποργκ, εκτός από τις επιφανειακές δεξαμενές έχει κατασκευάσει δύο υπόγειους θάλαμους στο Risholmen για αποθήκευση αργού πετρελαίου. Στο Norrköping αποθηκεύεται βαρύ μαζούτ σε θάλαμο χωρητικότητας 100.000 m³. Στο Oxelosund διάφορα πετρελαιοειδή σε δεξαμενές δυναμικότητας 1.000.000 m³ και τέλος στο Oskarshamn υπάρχουν επτά δεξαμενές δυναμικότητας 97.000 m³ για καθαρά προϊόντα πετρελαίου (E.Nygren et al., 2006)

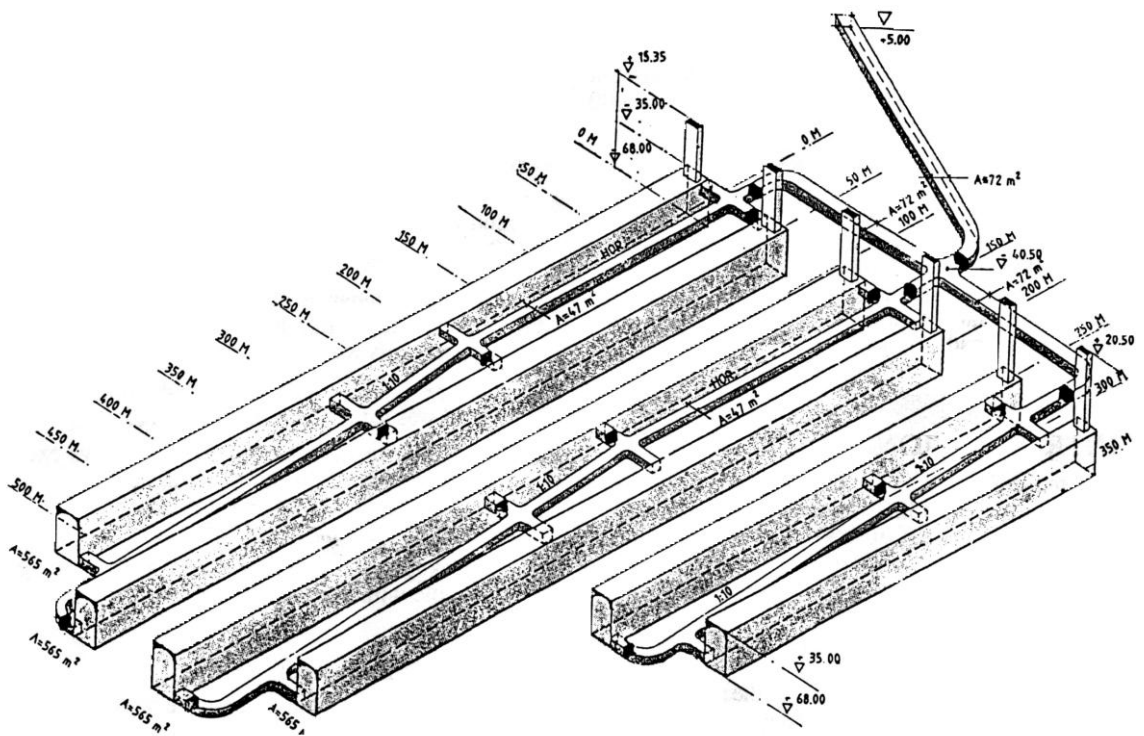
3.2 Νορβηγία

Στη Νορβηγία, περίπου 12 μεγάλες εγκαταστάσεις υπόγειων θαλάμων αποθήκευσης αργού πετρελαίου και προϊόντων διύλισης πετρελαίου είναι σήμερα σε λειτουργία.

Το μεγαλύτερο διυλιστήριο της Νορβηγίας βρίσκεται στο Mongstad στο Lindås (Εικόνα 3.2). Εκεί βρίσκεται και ο τερματικός υπόγειος χώρος αποθήκευσης αργού πετρελαίου, με αποθηκευτική ικανότητα 10 εκ. τόνων. Υπάρχουν επίσης και δύο δεξαμενές 60.000 m³ για αποθήκευση προπανίου και βουτανίου (Εικόνα 3.3). Η κύρια πρόκληση κατά την κατασκευή δεν ήταν το ασταθές πέτρωμα, αλλά η συνεχής παρακολούθηση των υπόγειων υδάτων και η επίτευξη μικρής περιόδου κατασκευής. Ένα σύστημα κουρτινών νερού εγκαταστάθηκε ώστε να διασφαλιστεί η συνεχής ροή του νερού στους θαλάμους και να αποφευχθεί τυχόν διαρροή πετρελαίου.

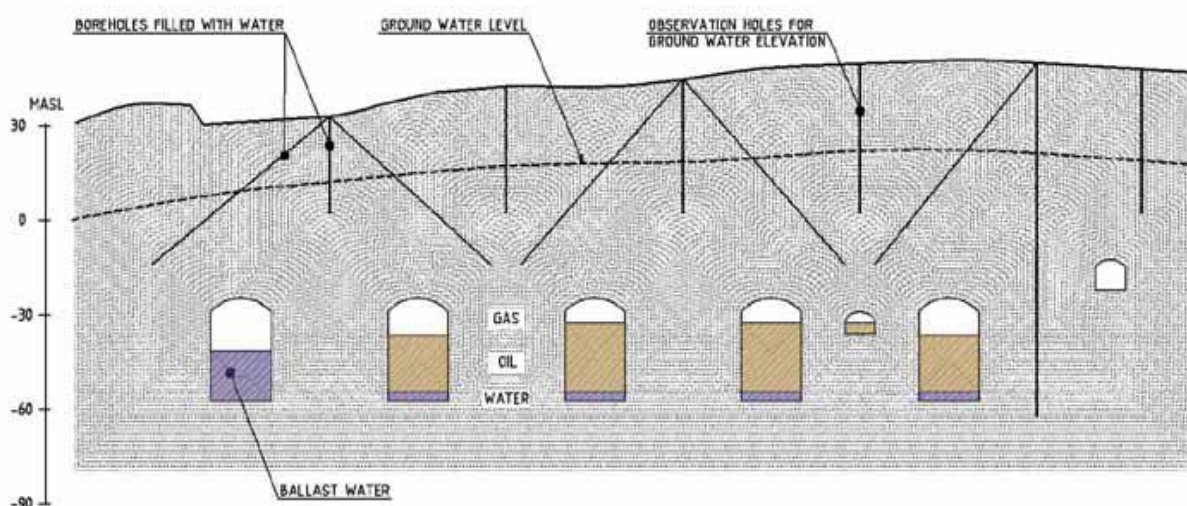


Εικόνα 3.2 Εναέρια φωτογραφία διυλιστηρίου Mongstad.



Εικόνα 3.3 Γραφική αναπαράσταση των δεξαμενών στο Mongstad

Στο Sture στο Øygdalen βρίσκονται οι τερματικές υπόγειες αποθήκες αργού πετρελαίου της Norsk Hydro. Περίπου 111.300m^3 αργού πετρελαίου καθημερινά μεταφέρονται με αγωγούς στο Sture. Ο τερματικός σταθμός λαμβάνει αργό πετρέλαιο και συμπυκνώματα από τους υπεράκτιους τομείς της Oseberg και Grane (αγωγοί μεταφοράς 115 km και 212 km αντίστοιχα). Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης στο τερματικό Sture αποτελούνται από μια σειρά δεξαμενών χωρίς τελική επένδυση. Οι εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν πέντε δεξαμενές αργού πετρελαίου συνολικής χωρητικότητας 1 εκ. m^3 (Εικόνα 3.4), μία δεξαμενή για αποθήκευση υγραερίου 60.000m^3 και μια δεξαμενή για έρμα νερού.



Εικόνα 3.4 Τομή δεξαμενών αργού πετρελαίου στο Sture

Ο σταθμός μπορεί επίσης να διοχετεύσει πετρέλαιο σε δύο μεγάλες επιφανειακές μεταλλικές δεξαμενές. Για τις επιπρόσθετες αυτές λειτουργίες έχουν προβλεφθεί ειδικά συστήματα για τον εντοπισμό φωτιάς και διαφυγής αερίου, τα οποία συνοδεύονται με κατάλληλα συστήματα καταπολέμησης επικίνδυνων καταστάσεων. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια και περιβαλλοντική προστασία. Η κατασκευή του έργου άρχισε το 1985 και διάρκεσε 4 συνολικά έτη.

Οι ετήσιες εξαγωγές είναι περίπου 75 εκ. μετρικούς τόνους αργού πετρελαίου από τα τερματικά στη Sture και του Mongstad.



Εικόνα 3.5 Άποψη επιφανειακών εγκαταστάσεων υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης (Sture, Νορβηγία)

3.3 Φινλανδία

Στο Ροινο της Φινλανδίας βρίσκεται ένα από τα μεγαλύτερα αποθηκευτικά συγκροτήματα καυσίμων του κόσμου, μαζί με το εκεί διυλιστήριο (εικόνα 3.6). Το σύνολο του διαθέσιμου υπόγειου χώρου φτάνει τα 5.200.000 m³ και αποτελείται από 35 συνολικά μεγάλες υπόγειες δεξαμενές, διαστάσεων 12-18m πλάτους και 22-35 m ύψους, στις οποίες αποθηκεύονται κυρίως αργό πετρέλαιο και παράγωγά του, καθώς όμως και βουτάνιο. Οι πρώτες εκσκαφές άρχισαν περίπου το 1967 και από τότε έχουν γίνει διάφορες επεκτάσεις και δημιουργήθηκαν νέοι αποθηκευτικοί χώροι.

Τα πετρώματα στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι εκσκαφές ήταν καλής ποιότητας γνεύσιος, γρανίτες και πηγματίτες με πολύ μικρή υδροπερατότητα, ενώ για την υποστήριξή τους χρησιμοποιήθηκαν, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και αγκύρια κατανεμημένης αγκύρωσης χωρίς προένταση, οι διαστάσεις και η πυκνότητα των οποίων κυμαίνεται ανάλογα με τις συνθήκες που παρουσιάζει το πέτρωμα κατά θέση (P.Ikiiheimonen et al.,1989).



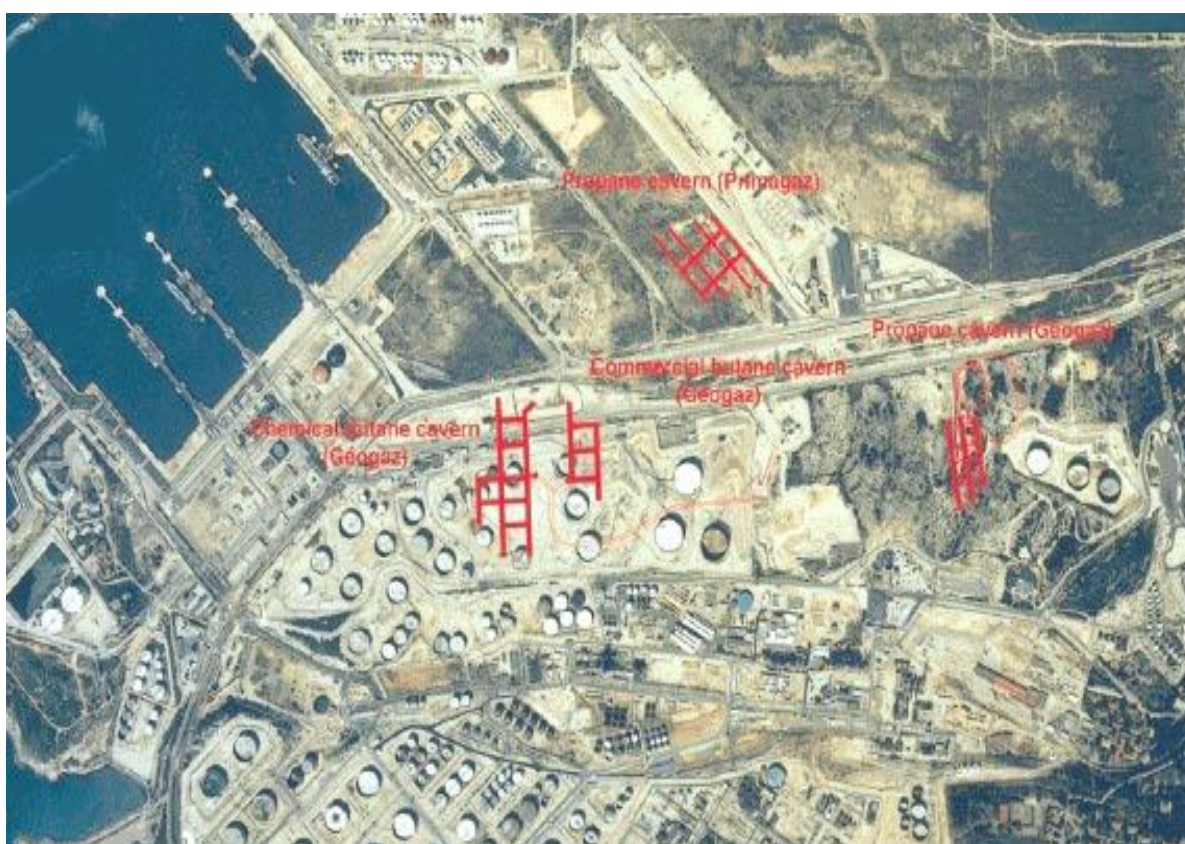
Εικόνα 3.6 Το διυλιστήριο στο Porvoo

3.5 Γαλλία

Οι υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγρών υδρογονανθράκων σε κοιλότητες σε δόμους ορυκτού άλατος στη Manosque έχει τεθεί σε λειτουργία το 1969. Χρησιμοποιούνται 26 χώροι για την αποθήκευση αργού πετρελαίου, ντίζελ βενζίνης και νάφθα, με δυναμικότητα από 93 000 έως 422 000 m³.

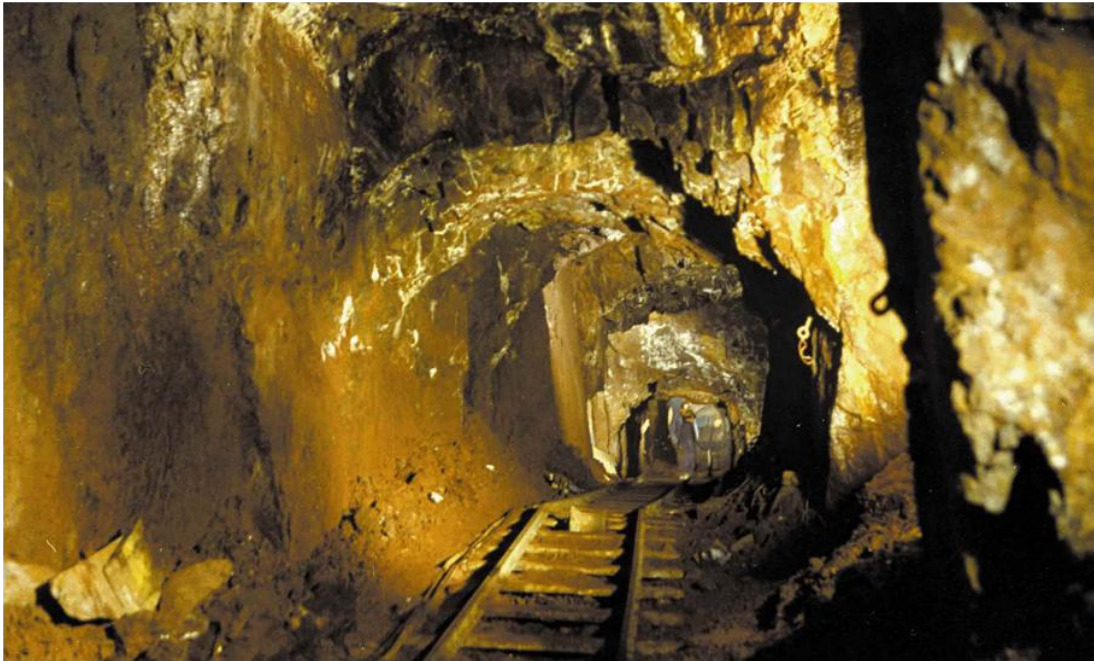
Στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγραερίου της Géogaz στη Lavera (Εικόνα 3.7) περιλαμβάνονται:

- Μια υπόγεια μονάδα αποθήκευσης εμπορικού προπανίου με χωρητικότητα 120 000 m³, η οποία τέθηκε σε λειτουργία το 1971
- Μια υπόγεια μονάδα αποθήκευσης βουτανίου οποία τέθηκε σε λειτουργία το 1984, με δύο χωριστές δεξαμενές. Μία με χωρητικότητα 49 500 m³ για εμπορικό βουτάνιο και μία με χωρητικότητα 133 500 m³ για χημικές βουτάνιο. (Εικόνα 2.6)



Εικόνα 3.7 Εναέρια φωτογραφία των διυλιστηρίων στη Lavera.

Μετατρέποντας ένα παλιό μεταλλείο σιδήρου στο May-sur-Orne (Εικόνα 3.8) σε αποθήκη πετρελαίου ντίζελ, δημιουργήθηκε μία από τις μεγαλύτερες υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης στη Γαλλία. Με συνολικό μήκος στοών που φτάνει τα 12 χλμ , η χωρητικότητά τους άγγιξε τα 5 εκ. m³ πετρελαίου ντίζελ. Οι μετατροπές τελείωσαν το 1972 και οι εγκαταστάσεις κλείσανε το 1993 (Géostock).



Εικόνα 3.8 Τομή και φωτογραφία μεταλλείου στο May-sur-Orne

Στη Donge, στην κεντρική δυτική ακτή της χώρας, σε βάθος 112 m έχουν τεθεί σε λειτουργία οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης 80.000 m³ προπανίου. Οι δύο παράλληλες στοές έχουν διανοιχθεί σε σχηματισμό γνεύσιου και έχουν μήκος 116 m. (Εικόνα 3.9)

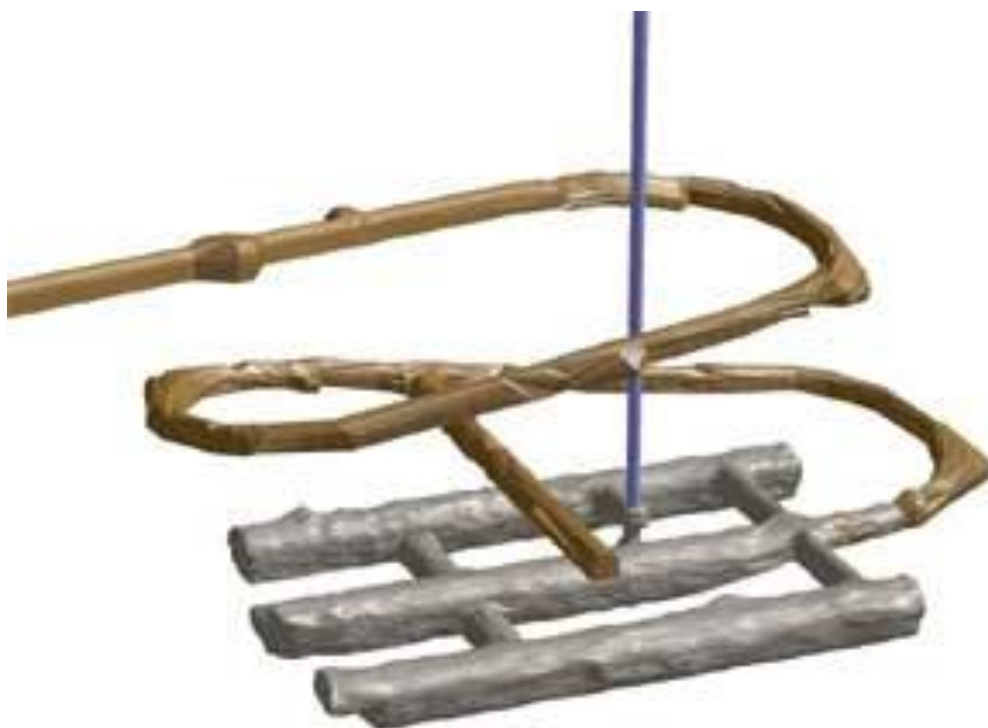


Εικόνα 3.9 Εσωτερικό και απεικόνιση υπόγειων θαλάμων αποθήκευσης στη Donge

3.5 Πορτογαλία

Το 1999 ξεκίνησε η κατασκευή των τριών παράλληλων στοών στο Sines της Πορτογαλίας (Εικόνα 3.10), μήκους 570m και σε βάθος 137m από την επιφάνεια της γης. Οι στοές διανοίχθηκαν σε καλής ποιότητας γάββρο και αποθηκεύονται 83.000 m³ προπανίου.

Εκτός αυτού, η Πορτογαλία έχει επίσης εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης φυσικού αερίου στην Carrizo, στην κεντρική δυτική ακτή της χώρας, σε τρεις δόμους ορυκτού άλατος . Το φυσικό αέριο αντιπροσωπεύει περίπου το 15% της πρωτογενούς την κατανάλωση ενέργειας στην Πορτογαλία (Géostock).

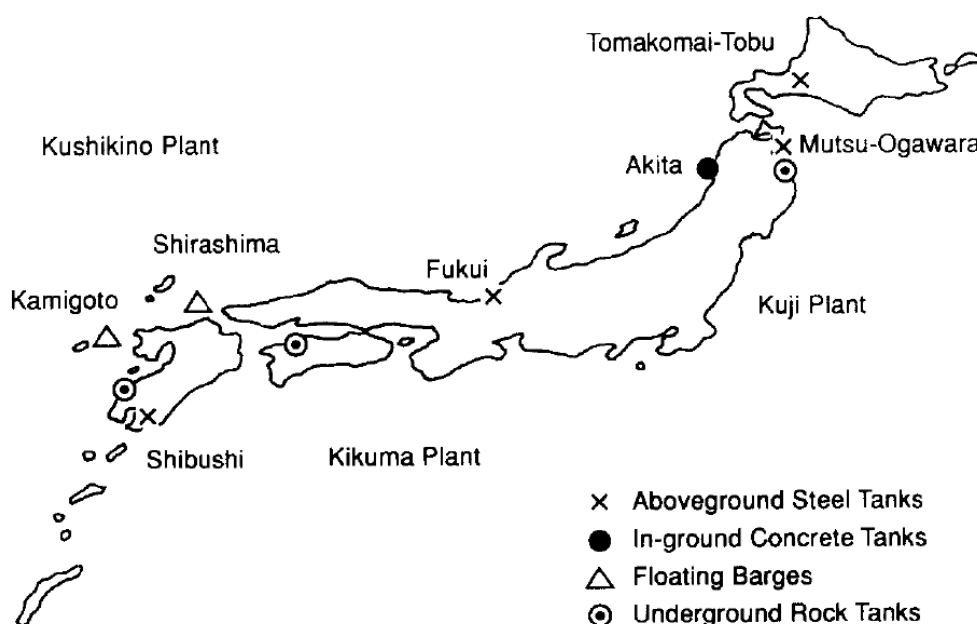


Εικόνα 3.10 Υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης στο Sines

3.6 Ιαπωνία

Αν και η Ιαπωνία είναι σημαντικός καταναλωτής πετρελαίου, εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου στις εισαγωγές από το εξωτερικό και, κατά συνέπεια, επηρεάζεται εύκολα από τις εξωτερικές συνθήκες που αφορούν το πετρέλαιο. Για τη μείωση αυτής της εξάρτησης από τις εισαγωγές, η Ιαπωνία συμμετέχει σε ένα μακροπρόθεσμο πρόγραμμα για να βελτιώσει και να ενισχύσει την ευάλωτη θέση της (S.Kiyoyama,1990).

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τη χρήση των υπόγειων εγκαταστάσεων αποθήκευσης αργού πετρελαίου, συνολικής χωρητικότητας 33,7 εκ m³. Από το 1993 έχουν κατασκευαστεί τρεις μεγάλες υπόγειες δεξαμενές στο Kuji, στο Kushikino και στο Kikuma με χωρητικότητα 1.750.000, 1.750.000 και 1.500.000 m³ αντίστοιχα. Μεγάλες ποσότητες είναι αποθηκευμένες σε χαλύβδινες και πλωτές δεξαμενές ανά τη χώρα. (Εικόνα 3.11)

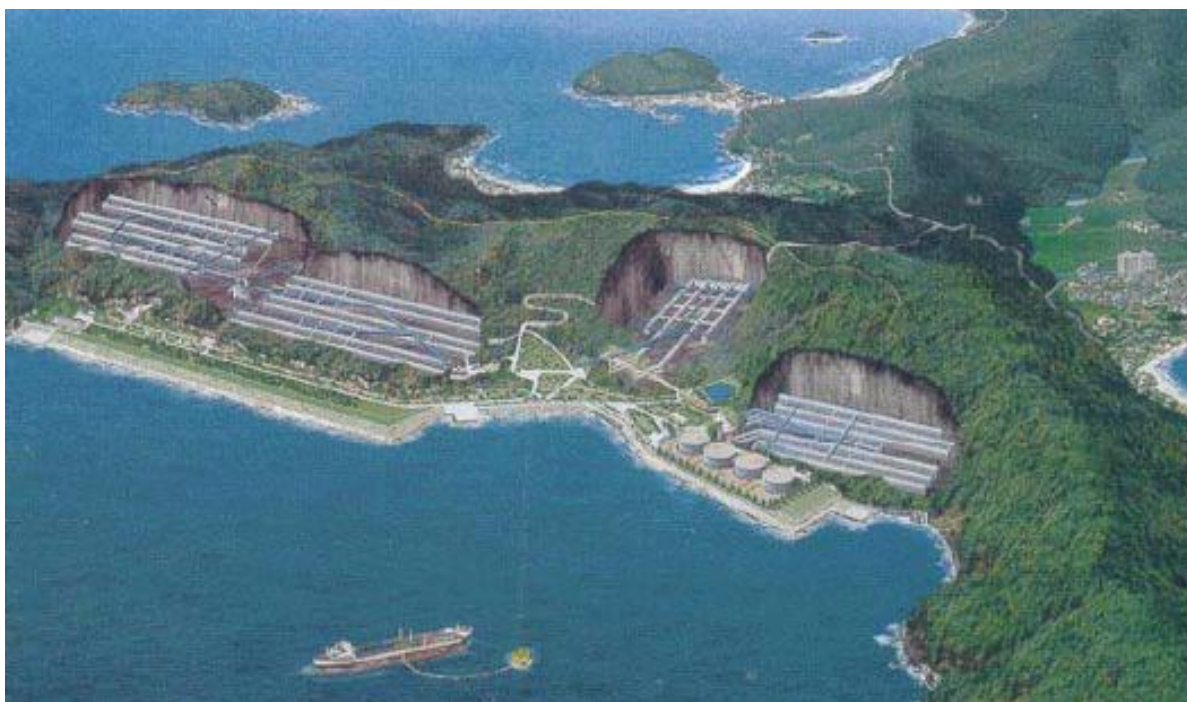


Εικόνα 3.11 Τοποθεσίες στις οποίες βρίσκονται τα στρατηγικά αποθέματα πετρελαίου στην Ιαπωνία (Japan National Oil Corporation).

3.7 N. Κορέα

Μια ακόμα χώρα, που κατατάσσεται έβδομη παγκοσμίως στην κατανάλωση πετρελαίου και έρχεται τρίτη στην εισαγωγή πετρελαίου και δεν διαθέτει δικιά της παραγωγή, είναι η Κορέα. Όπως και η Ιαπωνία, άρχισε να συγκεντρώνει αποθέματα αργού πετρελαίου και στα τέλη του '70 ξεκίνησε η κατασκευή του πρώτου συγκροτήματος υπογείων θαλάμων για LPG στο Yosu με χωρητικότητα 290.000 m³ και αργότερα για αργό πετρέλαιο δυναμικότητας 4.452.000 m³. Ακολούθησαν οι υπόγειοι θάλαμοι στο Koje-do με χωρητικότητα 4.293.000 m³ κ.α. Κατασκευάστηκαν έτσι εγκαταστάσεις ώστε η χώρα να διαθέτει αποθέματα αργού πετρελαίου που να αρκούν για κατανάλωση 60 ημερών (C.Lee et al., 2003).

Στην εικόνα 3.12 παρουσιάζεται η περίπτωση του συγκροτήματος U-2, το οποίο βρίσκεται στο νότιο τμήμα της N. Κορέας και διαχειρίζεται από την εκεί κρατική εταιρεία πετρελαιοειδών (KNOC). Η κατασκευή του αρχικού τμήματος τελείωσε το 1985 και ήταν ένα από τα πρώτα που έχουν κατασκευαστεί στη χώρα για την αποθήκευση πετρελαιοειδών. Η δυναμικότητα του είναι 4,2 εκ. m³ και αποτελείται από 12 υπόγειους θαλάμους πλάτους 18m και ύψους 30m, οι οποίοι βρίσκονται περίπου 30m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (C.Lee et al., 2003).



Εικόνα 3.12 Υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης αργού πετρελαίου στη Ν.Κορέα

Table 1
Oil and LPG storage caverns in Korea

Project	Material contained	Owner	Cavern dimensions (m)			Storage capacity (kl)	Rock type	Cavern roof elevation (m)	Construction period
			Section (W×H)	Length					
				Max. single cavern	Total				
U-2	Crude oil	KNOC	18×30	875	8814	4 293 000	Granodiorite	-30	1981-1985
L-1	LPG	KNOC	18×22.5	135	879	300 000	Andesite	-115 (C ₃) -60 (C ₄)	1986-1989
K-1	Gasoline, kerosene	KNOC	15×20.5	235	1262	231 000	Granite	-12.7	1975-1982
Yosu	LPG	Yosu Energy	15×19.5 (C ₃) 16×21.0 (C ₄)	400	968	290 000	Andesite, tuff	-114 (C ₃) -60 (C ₄)	1981-1983
Ulsan	LPG	Yukong Gas	19×21	310	1482	500 000	Siltstone, sandstone	-119 (C ₃) -60 (C ₄)	1985-1988
K-1 ^a	Gasoline	KNOC	18×22.5	394	440	159 000	Granite	-10	1990-1994
U-1	Crude oil	KNOC	18×30	1030	8685	4 452 000	Andesite, tuff	-30	1990-1998
U-2 ₁ ^a	Crude oil	KNOC	18×30	678	3794	1 908 000	Granodiorite	-30	1990-1997
L-1 ^a	LPG	KNOC	18×22.5	210	830	315 000	Gneiss	-115 (C ₃) -60 (C ₄)	1990-1996
Pyongtaek	LPG	SK Gas	17.5×22	278	740	277 000	Gneiss	-115 (C ₄)	1996-1999
Y-2	LPG	LG-Caltex Gas	16×26	275	1133	465 000	Gneiss	-114 (C ₃) -134 (C ₄)	1997-2000
U-2 ₂ ^a	Crude oil	KNOC	18×30	450	1505	800 000	Granodiorite	-30	2002-2006

C₃, propane; C₄, butane. KNOC, Korea National Oil Corporation. All projects are in operation except for U-2₂, which is under construction.
^a Extension.

Πίνακας 2 Υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης πετρελαίου και LPG στην Κορέα



Εικόνα 3.14 Υπόγειοι θάλαμοι στο Pyongtaek στη Κορέα (Γέοstock)

3.8 Σιγκαπούρη

Με τη συνεχή οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη στη Σιγκαπούρη, οι ειδικοί αντιλήφθηκαν ότι η έλλειψη εκτάσεων θα είναι σημαντικό πρόβλημα. Έτσι μετά από καθυστέρηση αρκετών μηνών ξεκίνησαν οι εργασίες για την πρώτη υπόγεια εγκατάσταση αποθήκευσης πετρελαίου της Σιγκαπούρης. Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών, υγροί υδρογονάνθρακες όπως αργό πετρέλαιο, θα αποθηκεύονται σε πέντε δεξαμενές χωρητικότητας 1,47 εκ. m³.

Οι εγκαταστάσεις κατασκευάζονται (Εικόνα 3.16) στο βυθό κάτω από το νησί Jurong ώστε να βρίσκονται κοντά σε πιθανούς πελάτες που ήδη αποθηκεύουν πετρελαιοειδή σε υπαίθριες εγκαταστάσεις. Μετά από μετατροπές του αρχικού σχεδιασμού, κάθε δεξαμενή αποθήκευσης θα λειτουργεί ανεξάρτητα και θα προσαρμόζεται στις ανάγκες κάθε χρήστη (V.Tan,2009).



Εικόνα 3.16 Εσωτερικό οριζόντιου θαλάμου (Σιγκαπούρη)

3.9 Λοιπές χώρες

Ινδία

Για την καταπολέμηση των βραχυπρόθεσμων αιφνίδιων διακοπών του εφοδιασμού καυσίμων, η κυβέρνηση της Ινδίας αποφάσισε τη δημιουργία στρατηγικών αποθεμάτων πετρελαίου σε ειδικές υπόγειες δεξαμενές σε Mangalore και Vizag. Η κυβέρνηση τον Ιανουάριο του 2006 ενέκρινε τη χρηματοδότηση μηχανισμού για τη δημιουργία των δεξαμενών αργού πετρελαίου χωρητικότητας 5 εκ. τόνων.

Αυστραλία

Κάτω από το λιμάνι Botany στο Σίδνευ κατασκευάστηκαν οι πρώτες εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων στην Αυστραλία (εικόνα 3.17). Πρόκειται για παράλληλες σήραγγες μήκους 910 m και συνολικής χωρητικότητας 135000 m³.



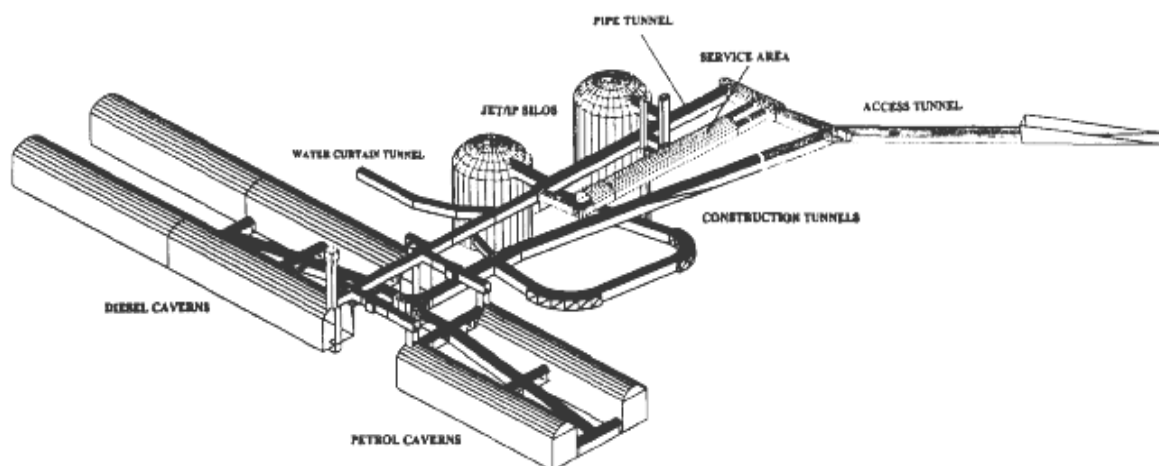
Εικόνα 3.17 Όρυξη βαθμίδας κατά την δημιουργία υπόγειου θαλάμου αποθήκευσης υδρογονανθράκων στην Αυστραλία.

Βραζιλία

Στη Βραζιλία, αρκετές πόλεις έχουν υιοθετήσει υπόγειες λύσεις για τα προβλήματα των πόλεων τους. Στο Sao Sebastiao αποφασίστηκε να κατασκευαστούν υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης για υγραέριο και αργό πετρέλαιο χωρητικότητας 115,000 m³ και 1,200,000 m³ αντίστοιχα (ITA, 1998).

Ζιμπάμπουε

Ακόμη ένα σημαντικό παράδειγμα είναι το υπόγειο συγκρότημα που έχει κατασκευαστεί στη Harare (Zimbabwe) στο οποίο έχουν κατασκευαστεί 6 συνολικά θάλαμοι για την αποθήκευση ντίζελ, βενζίνης και καύσιμων αεροπορίας (Sturk et al., 1995). Η σχηματική απεικόνιση του συγκροτήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 3.18, όπου φαίνονται χαρακτηριστικά οι δύο κατακόρυφοι θάλαμοι που κατασκευάστηκαν για την αποθήκευση των καυσίμων αεροπορίας καθώς και οι οριζόντιοι θάλαμοι για την αποθήκευση των άλλων προϊόντων.



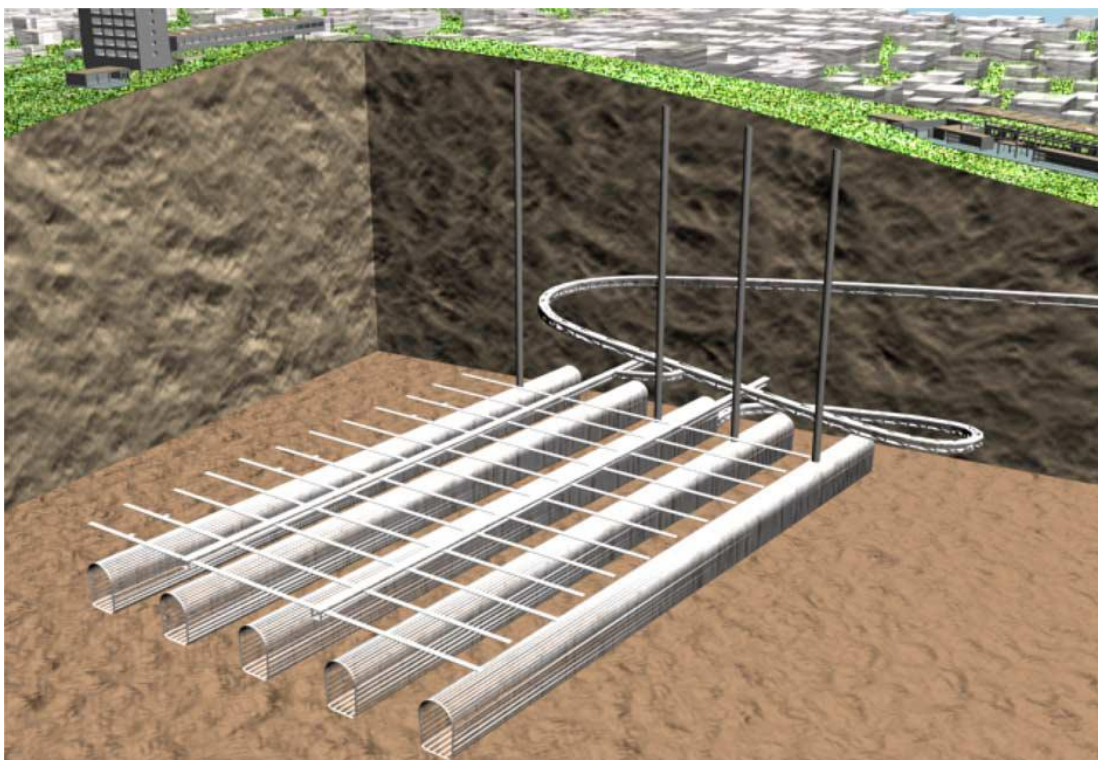
Εικόνα 3.18 Υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης υγρών υδρογονανθράκων (Zimbabwe).

Ελλάδα

Στην Ελλάδα δεν έχει ακόμα κατασκευαστεί αντίστοιχο έργο, έχουν όμως γίνει προτάσεις. Με βασικότερη αυτή της υπογειοποίησης των εγκαταστάσεων

αποθήκευσης υδρογονανθράκων στο Πέραμα (Benardos et al. 2004). Η μελέτη πρότεινε τη μεταφορά των αποθηκών στα ΒΑ όρια του Δήμου, στην περιοχή του λόφου της Αγ. Μαρίνας (Εικόνα 3.19). Οι υπόγειες δεξαμενές θα ήταν οριζόντιου τύπου, παράλληλα διατεταγμένες μεταξύ τους, ενώ η κατασκευή τους θα γινόταν κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Προτάθηκε συγκρότημα πέντε θαλάμων αποθήκευσης με δυναμικότητα ο καθένας 40.000m^3 . Η διατομή τους σχεδιάστηκε να είναι πεταλοειδής με μέγιστο πλάτος 12m, ύψος 18m και μήκος που φτάνει τα 260m και η απόσταση μεταξύ τους υπολογίστηκε στα 36m. Για τη δημιουργία του τεχνητού υδροφορέα σχεδιάστηκε αρχικά η όρυξη δύο βασικών στοών προσαγωγής του νερού, παράλληλων με τον επιμήκη άξονα των θαλάμων και με μήκος ίσο με το μήκος των θαλάμων (Benardos et al. 2004)



Εικόνα 3.19 Τρισδιάστατη απεικόνιση του προτεινόμενου αποθηκευτικού συγκροτήματος Περάματος.

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας 30 συγκροτημάτων υπόγειας αποθήκευσης, τα οποία αφορούν σε κατασκευασμένους υπόγειους θαλάμους (mined caverns).

Πίνακας 2. Παραδείγματα υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων σε τεχνητούς θαλάμους στο διεθνή χώρο.

Έργο	Τύπος	Αποθ. Προϊόν	Δυναμικότητα (m ³)	Έτος Λειτουργίας
Lavera –Geogaz (France)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο Βουτάνιο	123.000 182.000	1971 1984
Lavera – Primagaz (France)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	98.000	1997
Gargenville (France)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	130.000	1977
Donges (France)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	80.000	1977
Sennecey le Grand (France)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	8.000	1996
Yosu (S.Korea)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο Βουτάνιο	173.000 123.000	1983
Seoul (S.Korea)	Τεχνητοί θάλαμοι	Ντίζελ	251.000	1982
Ulsan (S. Korea)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο Βουτάνιο	310.000 240.000	1988
Pyongtaek (S.Korea-Knoc)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο Βουτάνιο	610.000 120.000	1989
Pyongtaek (S.Korea-SkGas)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	270.000	1999
Yosu (S.Korea)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο Βουτάνιο	173.000 123.000	1983
Mogstad (Norway)	Τεχνητοί θάλαμοι	Πετρέλαιο	1.300.000	
Sture (Norway)	Τεχνητοί θάλαμοι	Πετρέλαιο	950.000	1989
Porvo (Finland)	Τεχνητοί θάλαμοι	Πετρέλαιο	5.200.000	1970-
Oxelosund (Sweden)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προϊόντα πετρελαίου	1.000.000	
Brofjorden (Sweden)	Τεχνητοί θάλαμοι	Πετρέλαιο	2.600.000	1982
Tornio (Finland)	Τεχνητοί θάλαμοι	LPG	83.000 85.000	1993 2003
Kikuma (Japan)	Τεχνητοί θάλαμοι	Πετρέλαιο	1.500.000	1994
Kuji (Japan)	Τεχνητοί θάλαμοι	Πετρέλαιο	1.750.000	1993
Kushikino (Japan)	Τεχνητοί θάλαμοι	Πετρέλαιο	1.750.000	1994
Sines (Portugal)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	83.000	2001
Sydney (Australia)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	130.000	2000
Harare (Zimbambue)	Τεχνητοί θάλαμοι	Petrol Diesel Jet Fuel	450.000	1995
Goteborg-Skarvik (Sweden)	Τεχνητοί θάλαμοι	Fuel oil	200.000	
Norrkoping (Sweden)	Τεχνητοί θάλαμοι	Heavy Fuel oil	100.000	
Oskarshamn (Sweden)	Τεχνητοί θάλαμοι	Clean products	97.0	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΘΑΛΑΜΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

4.1 Γενικά

Η ανάπτυξη των υπόγειων θαλάμων και των υπόγειων χώρων γενικότερα θα πρέπει να εξετάζονται από μια μακροπρόθεσμη σκοπιά. Σε αντίθεση με τις υπέργειες κατασκευές, οι οποίες μπορούν να κατεδαφιστούν και να απομακρυνθούν, οι υπόγειες δεξαμενές δεν μπορούν να αφαιρεθούν εύκολα και η περιοχή να επανέλθει στην κατάσταση του παρελθόντος.

Έτσι, ο σχεδιασμός των υπογείων θαλάμων αποθήκευσης υδρογονανθράκων πρέπει να βασίζεται στον καθορισμό των παρακάτω παραμέτρων:

- Των γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή κατασκευής των θαλάμων.
- Της θέσης της εκσκαφής, που από άποψη ευστάθειας θα πρέπει να συγκεντρώνει τις βέλτιστες γεωλογικές συνθήκες της εξεταζόμενης περιοχής.
- Της διεύθυνσης του άξονα της εκσκαφής, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα ευστάθειας και υπερεκσκαφών.
- Της διατομής (κυκλικής, πεταλοειδής κτλ), λαμβάνοντας υπόψη τις μηχανικές ιδιότητες, τον κερματισμό καθώς και την τοπική εντατική κατάσταση του πετρώματος.
- Των διαστάσεων της εκσκαφής, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη οικονομικά λύση, η οποία θα πληροί τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί για τον εκάστοτε υπόγειο χώρο αποθήκευσης υδρογονανθράκων.

- Της υδρογεωλογικής κατάστασης που επικρατεί στην περιοχή ενδιαφέροντος και ειδικότερα, της θέσης του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με τη θέση της εκσκαφής καθώς και τη διαπερατότητα του πετρώματος.

4.2 Υπόγειες δεξαμενές καυσίμων και γεωλογικές συνθήκες

Οι υπόγειοι τεχνητοί θάλαμοι, είναι συνήθως εκσκαφές μεγάλων διαστάσεων, γι' αυτό και επιβάλλεται η πραγματοποίηση λεπτομερούς γεωλογικής μελέτης ώστε να διαπιστωθεί το κατά πόσο τα πετρώματα μιας περιοχής είναι κατάλληλα για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου. Γνώμονας πρέπει πάντα να είναι η κατασκευή ενός ασφαλούς και ποιοτικού έργου με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Στην πραγματοποιούμενη γεωλογική έρευνα πρέπει να καθορίζονται τα εξής (Kaiser,1986):

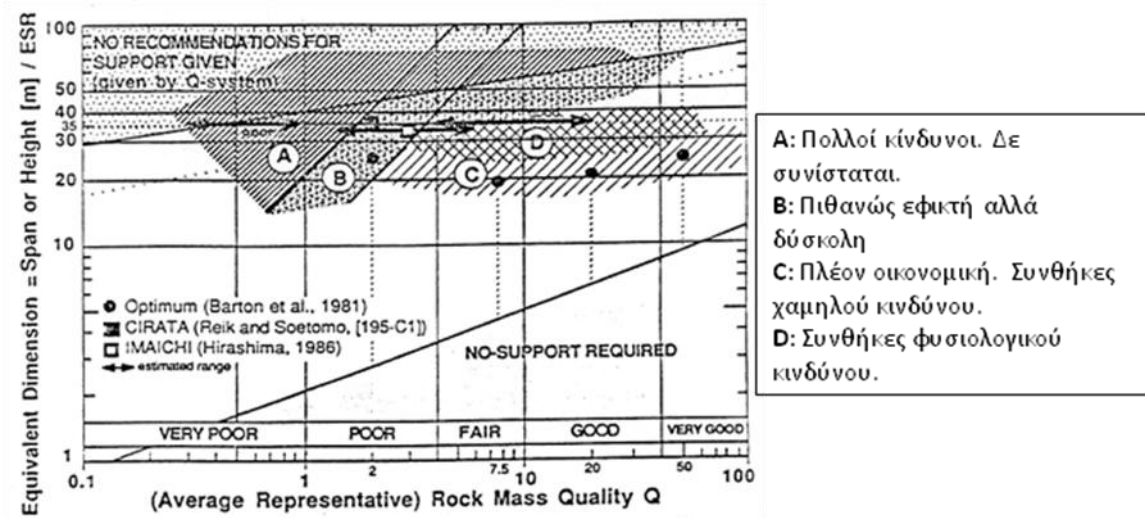
- Το είδος των πετρωμάτων της εξεταζόμενης περιοχής και οι μηχανικές ιδιότητες αυτών.
- Ο κερματισμός των πετρωμάτων με την ύπαρξη διακλάσεων, ρηγμάτων κτλ, καθώς και ο καθορισμός των οικογενειών των ασυνεχειών με τα χαρακτηριστικά τους.
- Η εντατική κατάσταση της βραχομάζας.

Γενικά, μεγάλες εκσκαφές είναι δυνατόν να γίνουν σε κάθε είδους πετρώματα. Ακόμη και για πετρώματα κακής ποιότητας η κατασκευή είναι πλέον κυρίως θέμα κόστους και χρόνου κατασκευής, παρά τεχνογνωσίας. Η πρόοδος της τεχνολογίας, επιτρέπει την κατασκευή μεγάλων υπόγειων έργων ακόμη και σε άσχημες γεωλογικά συνθήκες. Κατά την κατασκευή υπόγειων έργων σε κακής ποιότητας πετρώματα, είναι εύκολη η εκσκαφή και δύσκολη η υποστήριξη του υπόγειου χώρου, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει σε καλής ποιότητας πετρώματα. Μάλιστα, συχνά

αποδεικνύεται ότι είναι οικονομικότερη η κατασκευή μεγάλων υπόγειων έργων σε φτωχής ποιότητας πετρώματα σε σχέση με το κόστος κατασκευής χώρων αντίστοιχης χωρητικότητας στην επιφάνεια.

Σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία, πετρώματα όπως ο γρανίτης, ο γνεύσιος, ο σχιστόλιθος, ο ασβεστόλιθος, ο χαλαζίτης και ο φαμμίτης ευνοούν την κατασκευή μεγάλων υπόγειων εκσκαφών. Αντίθετα πετρώματα όπως ο στεατίτης, ο σερπεντινίτης και ο περιδοίτης παρουσιάζουν έντονα προβλήματα ευστάθειας, ιδιαίτερα όταν έχουν υποστεί τεκτονισμό. Επιπλέον, πρέπει να αποφεύγονται πετρώματα όπως οι ανδεσίτες, οι λιπαρίτες και τα αργιλικά πετρώματα.

Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζονται σχηματικά οι περιοχές κατασκευής υπόγειων έργων, συναρτήσει του συστήματος ταξινόμησης της βραχομάζας Q, του μεγέθους της εκσκαφής, και της οικονομικότητας του έργου.



Εικόνα 4.1 Δυνατότητες κατασκευής υπόγειων θαλάμων σε σχέση με την ποιότητα της βραχομάζας (Barton, 1977)

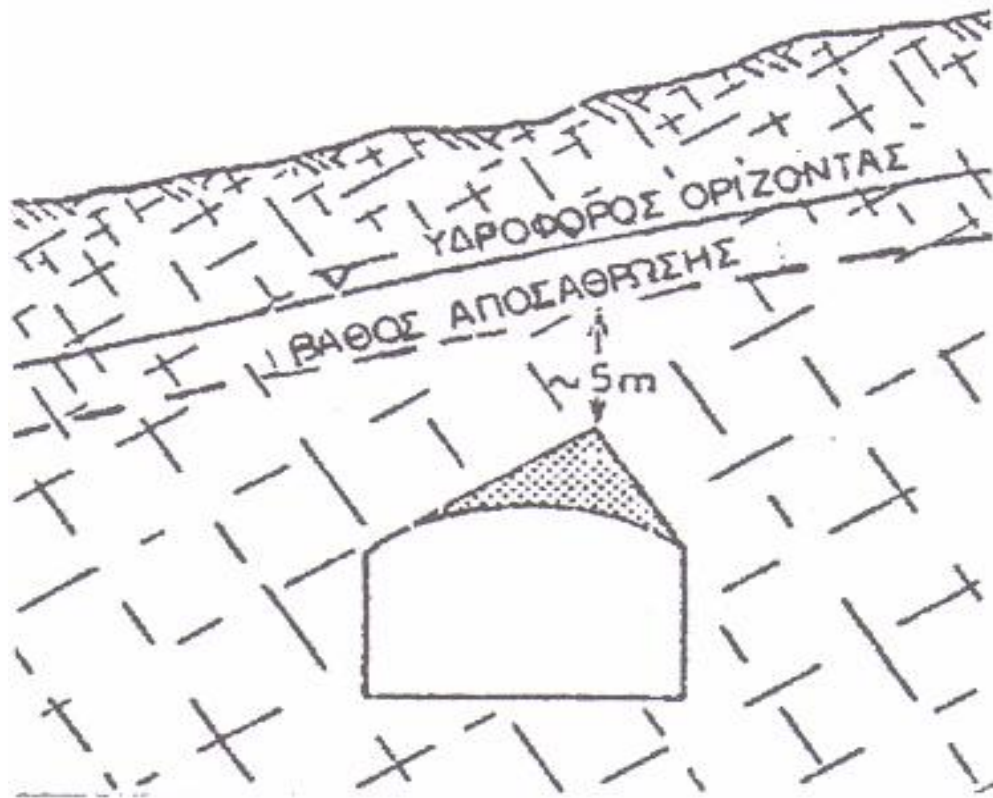
4.3 Θέση εκσκαφής

Η τοποθέτηση του υπόγειου θαλάμου στο χώρο είναι το πρώτο ζήτημα που πρέπει να αποφασιστεί. Η ποιότητα του περιβάλλοντος πετρώματος παίζει το βασικότερο ρόλο στην επιλογή της θέσης εκσκαφής. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την αναζήτηση της βέλτιστης τοποθέτησης είναι οι συγκοινωνιακές απαιτήσεις, οι υδρογεωλογικές συνθήκες καθώς και οι οικονομικοί περιορισμοί.

Συνήθως τα έργα αυτά κατασκευάζονται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια, γεγονός που διευκολύνει την προσπέλαση στο χώρο όπως επίσης και άλλες λειτουργίες π.χ. αντλήσεις. Η απαίτηση σήμερα είναι η θέση των δεξαμενών να είναι κάτω από το επίπεδο του υδροφορέα που είναι τουλάχιστον ίση με την τάση ατμών του προϊόντος σε μέτρα, της στήλης του νερού. Για τα προϊόντα με πίεση ατμού των 1,5 bar (15 m στήλη ύδατος) ή λιγότερο είναι σήμερα σύνηθες να κατασκευάζεται το έργο 15 m έως 20 m κάτω από το επίπεδο των υπογείων υδάτων (Directorate for Fire and Explosion Protection). Σε τέτοια βάθη, μπορεί να μη συναντώνται προβλήματα υψηλών ορθών τάσεων καθώς χαρακτηρίζονται από τη χαμηλή εντατική κατάσταση της βραχομάζας, αλλά οι πλευρικές τάσεις αποτελούν πρόβλημα. Η αλληλοσύνδεση των τμημάτων που συνθέτουν τη βραχομάζα μειώνεται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία προβλημάτων στην αυτοϋποστήριξη της οροφής. Επίσης, η πιθανή ύπαρξη αποσαθρωμένων πετρωμάτων μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο.

Για ένα υπόγειο άνοιγμα που χαρακτηρίζεται ως μικρού βάθους, η τοποθέτησή του θα πρέπει να γίνει με γνώμονα την ύπαρξη ενός στρώματος υπερκειμένων αρκετού πάχους από μη αποσαθρωμένο πέτρωμα πάνω από την οροφή του.

Αυτό επιβάλλεται ώστε να είναι δυνατόν να αναπτύσσονται τάσεις ικανοποιητικού μεγέθους πάνω στις διακλάσεις και ρωγματώσεις, οι οποίες θα βοηθήσουν ώστε να υπάρξουν καλύτερες συνθήκες αυτοϋποστήριξης της οροφής. Σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία (Semler-Olsen et al., 1986), για σκληρά πετρώματα και πλάτος εκσκαφής έως 20m, ένα στρώμα υπερκειμένων πάχους 5m - μετράται από τη θεωρητικά μέγιστη υπερεκσκαφή - κρίνεται ικανοποιητικό, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.2. Το στρώμα αυτό πρέπει να μην αποτελείται από αποσαθρωμένο πέτρωμα, το οποίο συνήθως φτάνει μερικά μέτρα κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.



Εικόνα 4.2 Απαραίτητο πάχος υπερκείμενων για υπόγεια ανοίγματα που βρίσκονται σε μικρό βάθος

Αντίθετα, για ένα άνοιγμα που βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, είναι πιθανά τα προβλήματα από τις υψηλές τάσεις ή την ανομοιομορφία της κατανομής των τάσεων της περιοχής. Έτσι, μπορεί να ξεπεραστεί η αντοχή του πετρώματος και να προκληθούν ακαριαίες διαρρήξεις πετρωμάτων ή σε άλλα προβλήματα ευστάθειας που επηρεάζονται από την ανάπτυξη των τάσεων.

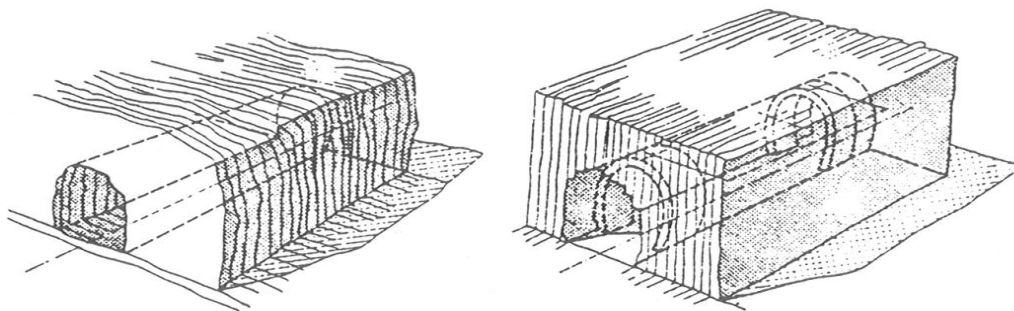
Θα πρέπει να εντοπιστεί αν είναι δυνατόν περιοχή, στην οποία δεν υπάρχουν συνθήκες υψηλών τάσεων, ώστε να αποφευχθούν ή να μειωθούν τα προβλήματα που πιθανώς θα δημιουργηθούν ιδίως σε γωνιώδη τμήματα της εκσκαφής, που αποτελούν και σημεία συγκέντρωσης τάσεων.

Τέλος, ζώνες μειωμένης αντοχής όπως ρήγματα, αργλικές ενστρώσεις, μωλυντιωμένες ζώνες κ.τ.λ. πρέπει να παρεμβάλλονται όσο το δυνατόν λιγότερο στην υπόγεια εκσκαφή και ο άξονας του υπόγειου ανοίγματος να είναι κάθετος σε αυτές (Καλιαμπάκος, 2003).

4.4 Διεύθυνση του άξονα εκσκαφής

Η επιλογή της διεύθυνσης του άξονα της εκσκαφής πρέπει να είναι τέτοια ώστε να προκαλούνται τα μικρότερα δυνατά προβλήματα ευστάθειας και υπερεκσκαφών σε αυτή. Τα συγκεκριμένα προβλήματα είναι απόρροια τόσο του τασικού πεδίου όσο και των ασυνεχειών και της στρωμάτωσης που υφίσταται, για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται προσεκτικός προσδιορισμός τους. Επίσης, πρέπει να προσδιορίζεται η διεύθυνση μέγιστης υδροπερατότητας του πετρώματος. Η διεύθυνση της εκσκαφής πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η διαρροή του νερού να εξαπλώνεται σε όλο το υπόγειο άνοιγμα προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία ισχυρών τοπικών εντατικών καταστάσεων.

Εάν ο διαμήκης άξονας της εκσκαφής είναι κάθετος προς τη διεύθυνση των στρωμάτων, η όρυξη μπορεί να επιτευχθεί με ευνοϊκές σχετικά συνθήκες πιέσεων. Αντίθετα, αυξημένες γενικές πιέσεις θα αντιμετωπιστούν αν ο άξονας της εκσκαφής βρίσκεται παράλληλα με τη στρωμάτωση (Οικονομόπουλος, 1989). (Εικόνα 4.3)

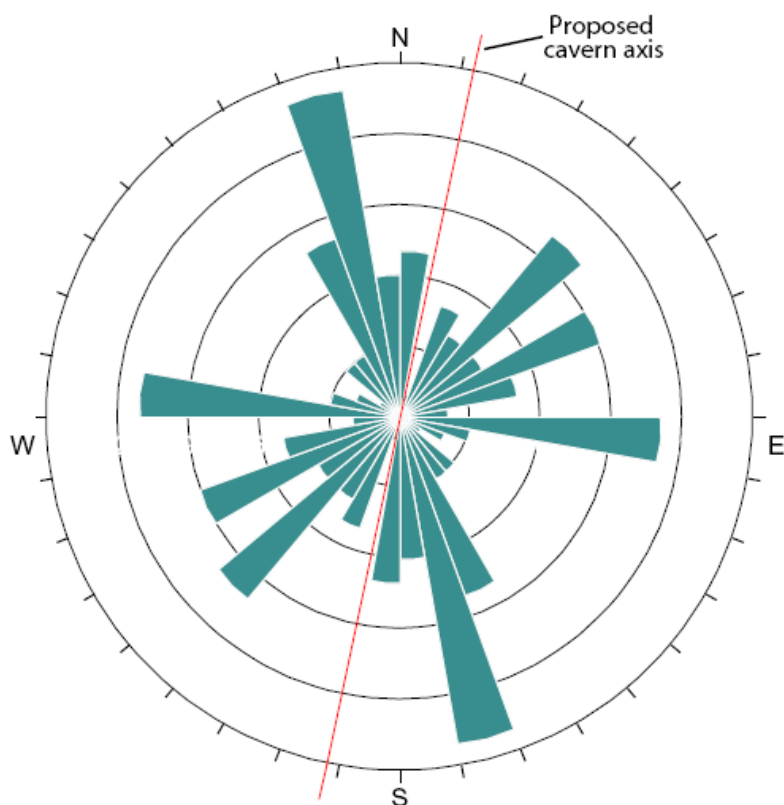


Εικόνα 4.3 Διεύθυνση του άξονα εκσκαφής σε σχέση με τη στρωμάτωση των πετρωμάτων.

Για να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα από τις διευθύνσεις των ασυνεχειών πρέπει η διεύθυνση της σήραγγας να είναι κάθετη σε αυτή των ασυνεχειών, ώστε να μη ορύσσεται όλη η οικογένεια ασυνεχειών αλλά μόνο σε ένα σημείο (Semler-Olsen et al., 1986).

Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν υψηλές τιμές τάσεων προτιμάται η τοποθέτηση του άξονα της εκσκαφής παράλληλα με τη διεύθυνση του άξονα της διχοτόμου της γωνίας, που σχηματίζεται από τις διευθύνσεις των δύο κύριων οικογενειών των ασυνεχειών, διακλάσεων ή στρωμάτωσης (Εικόνα 4.4). Οποσδήποτε όμως η παραλληλία του άξονα εκσκαφής με τις άλλες δευτερεύουσες οικογένειες, που πιθανώς υπάρχουν, πρέπει να αποφεύγεται. Διαφορετικά, είναι δυνατόν να προκληθεί αύξηση της διατομής λόγω των υπερεκσκαφών.

Να σημειωθεί, ότι οι ασυνέχειες μεγάλης κλίσης επηρεάζουν κυρίως την ευστάθεια των τοιχωμάτων της εκσκαφής, ενώ οι οριζόντιες ασυνέχειες είναι επικίνδυνες για την ευστάθεια της οροφής.



Εικόνα 4.4 Διεύθυνση του άξονα εκσκαφής σε σχέση με τις διευθύνσεις των κύριων οικογενειών ασυνεχειών στο προτεινόμενο έργο υπόγειας αποθήκευσης πετρελαιοειδών στο Πέραμα.

Σε περιοχές όπου υπάρχει καθεστώς υψηλών τάσεων χρειάζεται να συνυπολογιστεί και ο συγκεκριμένος παράγοντας στην επιλογή του άξονα του έργου. Οι περιοχές της εκσκαφής στις οποίες εμφανίζονται τα εντονότερα προβλήματα ευστάθειας είναι αυτές που βρίσκονται εφαιπτομενικά στο επίπεδο των κυρίων τάσεων. Ο βέλτιστος προσανατολισμός της εκσκαφής, σε σχέση με το τασικό πεδίο, επιτυγχάνεται όταν ο άξονάς της σχηματίζει γωνία 15° - 30° με την οριζόντια προβολή της κύριας τάσης. Στις περιπτώσεις υψηλών τάσεων η μη κατάλληλη τοποθέτηση του άξονα του έργου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση των προβλημάτων υπερεκσκαφής (Καλιαμπάκος,2003).

4.5 Διατομή εκσκαφής

Το βασικό πρόβλημα κατά τη διάνοιξη ενός υπόγειου έργου δεν είναι κατ' ανάγκη η αποφυγή της αστοχίας του πετρώματος, αλλά η εξασφάλιση ότι δε θα συμβούν μεγάλες και ανεξέλεγκτες μετακινήσεις της παρειάς της εκσκαφής. Η καλύτερη δυνατή κατανομή των τάσεων στην περιφέρειά του μπορεί να εξασφαλιστεί με την επιλογή του πλέον κατάλληλου σχήματος διατομής.

Με την εφαρμογή αψιδωτής μορφής στην οροφή εξασφαλίζεται μια ανακατανομή των τάσεων. Αντιθέτως, στα γωνιώδη σχήματα παρατηρείται συγκέντρωση τάσεων στις γωνίες των παρειών, που έχουν ως αποτέλεσμα υπερεκσκαφές κατά την ανατίναξη καθώς και εμφάνιση σφηνών.

Σε υπόγεια ανοίγματα μικρού και μέσου βάθους ο σχεδιασμός της οροφής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό και τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών. Αν η στρώση των πετρωμάτων είναι οριζόντια και το πάχος των στρωμάτων υπερβαίνει το 1m τότε υπόγεια ανοίγματα, με σχετικά μικρά πλάτη, μπορεί να έχουν επίπεδη οροφή. Εάν το πάχος των στρωμάτων είναι μικρότερο των 0,5 m είναι προτιμότερο η οροφή να έχει αψιδωτή μορφή (Καλιαμπάκος, 2003).

Έτσι πρέπει να επιδιώκεται η δημιουργία μιας εκσκαφής με απλή μορφή χωρίς γωνιώδεις επαφές, αλλά μάλλον με αψιδωτή οροφή. Τέλος, παρά το γεγονός ότι οι αριθμητικές αναλύσεις διαφόρων μορφών διατομής αλλά και η εμπειρία από την

κατασκευή έργων δείχνει ότι η πιο καλή από την άποψη ευστάθειας διατομή είναι αυτή σε σχήμα αυγού, εντούτοις η ευκολία όρυξης και χρησιμοποίησης τελικά οδηγούν στην υιοθέτηση μορφών διατομής με κάθετες παρειές, τουλάχιστον σε κάποιο βαθμό.

4.6 Διαστάσεις της εκσκαφής

Η επιλογή της διάστασης των υπόγειων θαλάμων έχει να κάνει πρώτα με τη χρήση που πρόκειται να εγκατασταθεί μέσα σε αυτούς. Έτσι υπάρχει ένα ανελαστικό κατώτερο όριο του πλάτους και του ύψους τους. Από εκεί και πέρα η επιλογή επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του πετρώματος και την οικονομικότητα της κατασκευής, πάντα σε σχέση με το μέγεθος.

Οι διαστάσεις των υπόγειων μεταλλείων είναι αρκετά μεγάλες, αφού η διάρκεια ζωής τους διαφέρει ανάλογα με τη λειτουργία τους. Αντίθετα, τα υπόγεια τεχνικά έργα έχουν γενικά μεγάλη διάρκεια ζωής. Είναι λοιπόν αναγκαίο ο σχεδιασμός τους να στοχεύει στη διατήρησή τους με μικρό κόστος για μακρύ χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτό το πλάτος των υπόγειων εκσκαφών δεν ξεπερνά τα 61m, που συναντάμε στο Gjøvik Olympic Mountain Hall που κατασκευάστηκε στη Νορβηγία το 1993 (Broch et al.,1996). Η κατασκευή ενός υπογείου θαλάμου με τόσο μεγάλο πλάτος είναι εξαιρετικά δύσκολη και απαιτεί εξαιρετικά λεπτομερή γεωτεχνική έρευνα και σχεδιασμό, ώστε να είναι απολύτως ασφαλής η κατασκευή του και η λειτουργία του. Επίσης, με την αύξηση του πλάτους πολλαπλασιάζονται τα προβλήματα ευστάθειας, αφενός λόγω της επίδρασης της ζώνης θρυμματισμού από την ανατίναξη σε υπόγεια ανοίγματα με πλάτος μεγαλύτερο των 5-6 m, αφετέρου λόγω της αύξησης της ακτίνας καμπυλότητας της ασίδας, με αποτέλεσμα μεγάλες υπερεκσκαφές.

Στην περίπτωση αποθήκευσης υδρογονανθράκων, η ποσότητα των καυσίμων που θα αποθηκεύονται παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των διαστάσεων των θαλάμων. Η επιλογή, επιπλέον, επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του πετρώματος και την οικονομικότητα της κατασκευής, πάντα σε σχέση με το μέγεθος. Λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν στις περιπτώσεις όπου περισσότερος όγκος είναι επιθυμητός είναι η αύξηση του μήκους των θαλάμων, ή/και η δημιουργία και

άλλων παράλληλων εκσκαφών. Στην περίπτωση γειτονικών υπόγειων εκσκαφών το πλάτος του στύλου ασφαλείας που πρέπει να αφηθεί μεταξύ αυτών, εξαρτάται από το ύψος των υπόγειων ανοιγμάτων, την ποιότητα των πετρωμάτων και την εντατική τους κατάσταση. Σε κανονικές συνθήκες και με ευνοϊκό προσανατολισμό του υπόγειου έργου, απαιτείται το πλάτος του στύλου ασφαλείας που θα αφηθεί, να είναι ίσο με το ύψος των εκσκαφών και σε κάθε περίπτωση να υπερβαίνει τα 10m.

4.7 Υδρογεωλογική κατάσταση της περιοχής ενδιαφέροντος

Η συμπεριφορά των υπόγειων υδάτων και πιο συγκεκριμένα η διανομή του υδραυλικού δυναμικού στο δίκτυο ασυνεχειών έχει μεγάλη σημασία και πρέπει να παρακολουθείται στενά και η διαχειρίζεται κατάλληλα σε όλα τα διαφορετικά στάδια της ολοκλήρωσης της αποθήκευσης υδρογονανθράκων σε υπόγειους θαλάμους. Από το στάδιο διερεύνησης μέχρι τη φάση λειτουργίας, τα δεδομένα για τα υπόγεια ύδατα συλλέγονται, προκειμένου να υπάρχει καλή γνώση της ροής του νερού στο χώρο αποθήκευσης.

Η μελέτη της υδρογεωλογικής κατάστασης του πετρώματος είναι ιδιαίτερα σημαντική, τόσο λόγω του κινδύνου διαρροής ή μόλυνσης του αποθηκευμένου υλικού, όσο και για τον κίνδυνο υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα της ευρύτερης περιοχής. Οι υπόγειες αποθήκες υγρών ή αέριων υδρογονανθράκων κατασκευάζονται συνήθως κάτω από η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, γι' αυτό και είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διατηρηθεί το ύψος αυτού σταθερό καθώς και να γίνει γνωστό το κατά πόσο οι ασυνέχειες του πετρώματος γύρω από την εκσκαφή είναι πληρωμένες με νερό. Αυτό είναι αναγκαίο γιατί αν η στάθμη του πέσει κάτω από τον πυθμένα της εκσκαφής, οι ρωγματώσεις του πετρώματος που ήταν πληρωμένες με νερό πριν τον υποβιβασμό, είναι πολύ δύσκολο να επαναπληρωθούν. Αν οι ρωγματώσεις δεν είναι γεμάτες με νερό, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος διαρροής του αποθηκευμένου προϊόντος (Hoek, Marinos, 2000).

Ο υποβιβασμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα γύρω από μια εκσκαφή που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση καυσίμων είναι επιθυμητός, όταν τα πετρώματα στα οποία κατασκευάζεται έχουν υψηλή υδροπερατότητα και υψηλό

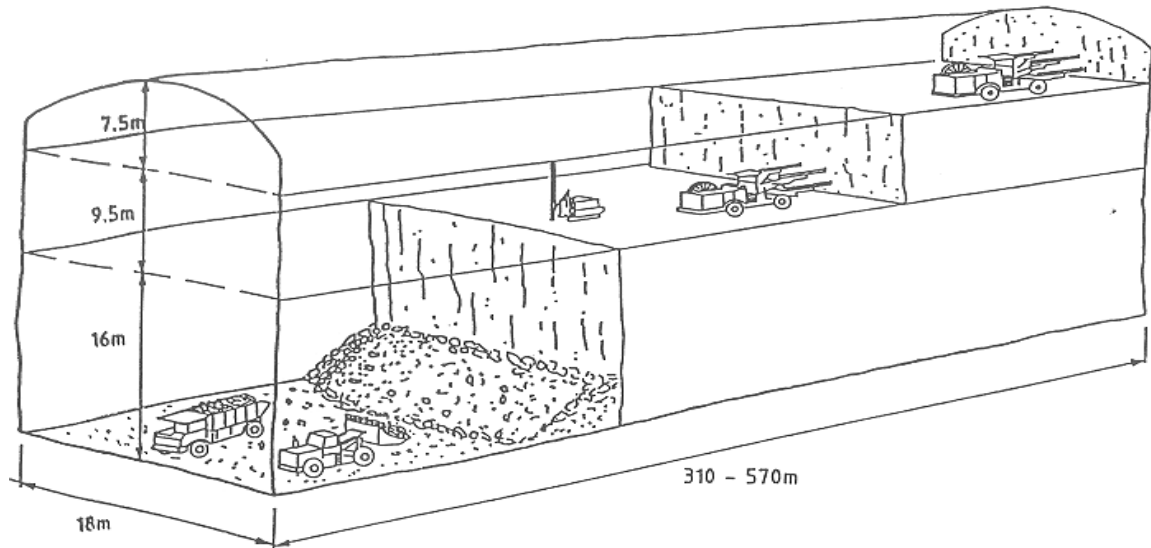
πορώδες, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εξόρυξη κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, για να γίνει δυνατή η εκσκαφή των θαλάμων, υποβιβάζεται ο υδροφόρος ορίζοντας με συνεχείς αντλήσεις, για την περίοδο της κατασκευής και στη συνέχεια επανέρχεται στην αρχική του στάθμη για την επιτυχή λειτουργία των εγκαταστάσεων. Εξάλλου, λόγω της υψηλής υδροπερατότητας και του πορώδους των πετρωμάτων, ο υδροφόρος ορίζοντας επανέρχεται εύκολα στην αρχική του στάθμη (με φυσικό ή τεχνητό τρόπο) και επαναπληρώνονται εύκολα όλες οι ασυνέχειες.

Συνήθως όμως η κατασκευή μεγάλων υπόγειων ανοιγμάτων για την αποθήκευση υδρογονανθράκων πραγματοποιείται εντός ανθεκτικών πετρωμάτων με μικρή περατότητα πόρων, με αποτέλεσμα η υδροπερατότητα τους να οφείλεται στην ύπαρξη ρωγμών στη βραχομάζα ή στην καρστικοποίηση τους όταν η υπόγεια εκσκαφή πραγματοποιείται εντός ασβεστόλιθων. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται εκτεταμένη μελέτη ώστε να γίνει γνωστή η έκταση και η περατότητα του δικτύου ρωγμάτωσης.

4.8 Μέθοδοι όρυξης και υποστήριξης

Κατά την όρυξη υπογείων θαλάμων, λόγω των μεγάλων διαστάσεων τους, δεν είναι δυνατή η προσβολή όλης της διατομής σε μία μόνο φάση. Αλλά ακόμη και στην περίπτωση μικρότερων διατομών, λόγω του σχετικά μικρού μήκους τους δεν κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα η χρήση μηχανής ολομέτωπης κοπής. Εφαρμόζεται έτσι τμηματική όρυξη της εκσκαφής, με χρήση εκρηκτικών υλών (drill-and-blast), ή σε ορισμένες περιπτώσεις με χρήση μηχανών σημειακής κοπής (RoadHeader).

Επίσης λόγω των μεγάλων διαστάσεων της εκσκαφής και του κόστους, επιδιώκεται η κατασκευή τέτοιων θαλάμων μέσα σε συνεκτικά πετρώματα, ώστε να μειώνεται η ανάγκη υποστήριξης τους καθώς και ο αριθμός των φάσεων εξόρυξης.



Εικόνα 4.5 Σχηματική απεικόνιση του τρόπου εκσκαφής των οριζόντιων θαλάμων

Για την περίπτωση όμως που διάφοροι λόγοι επιβάλλουν την εκσκαφή τους σε συγκεκριμένες περιοχές με μη ανθεκτικά πετρώματα, η υποστήριξη τους πρέπει να είναι πολύ καλή ώστε να εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία του χώρου. Η συνηθέστερη μέθοδος όρυξης (Εικόνα 4.5) περιλαμβάνει όρυξη του άνω τμήματος της εκσκαφής (Top heading) και κατόπιν την εξόρυξη του υπόλοιπου τμήματος με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων (benching). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ιδίως για πετρώματα μέσης και καλής συνεκτικότητας.

4.8.1 Όρυξη άνω τμήματος

Η εκσκαφή του θόλου του θαλάμου εξαρτάται από την κατάσταση του πετρώματος. Για συμπαγές και ανθεκτικό πέτρωμα μπορεί να γίνει όρυξη όλης της επιφάνειας ταυτόχρονα, εφόσον βέβαια ο χρόνος αυτοϋποστήριξης είναι ικανοποιητικός ώστε η υποστήριξη να μπορεί να εφαρμοστεί πριν σημειωθεί χαλάρωση της μάζας του πετρώματος γύρω από την εκσκαφή. Για να μεγιστοποιηθεί η ικανότητα αυτοϋποστήριξης της εκσκαφής και να ελαχιστοποιηθούν οι ανάγκες υποστήριξης, θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να διαταραχθεί όσο το δυνατόν λιγότερο η βραχομάζα. Για το λόγο αυτό εφαρμόζονται μέθοδοι ελεγχόμενης

εξόρυξης όπως η μέθοδος λείων τοιχωμάτων (smooth blasting), η μέθοδος πρότμησης (presplitting) και η μέθοδος πυκνής διάτρησης (line drilling). Το άνω τμήμα της εκσκαφής έχει συνήθως ύψος που φτάνει τα 8 m. Λόγω των μεγάλων διαστάσεων των εκσκαφών και λόγω της ανάγκης για καλή γνώση της κατάστασης του πετρώματος, προηγείται η όρυξη ερευνητικής στοάς. Η όρυξη των διατρημάτων γίνεται με ένα ή δύο διατρητικά φορεία (jumbo) που φέρουν δύο ή περισσότερους βραχίονες. Στην περίπτωση που η κατάσταση του πετρώματος δεν επιτρέπει την προσβολή του άνω τμήματος της εκσκαφής σε μία φάση, αυτή γίνεται σε διάφορες φάσεις ο αριθμός των οποίων ποικίλλει ανάλογα με την κατάσταση του πετρώματος.

4.8.2 Όρυξη κάτω τμήματος

Μετά την όρυξη του θόλου της εκσκαφής γίνεται η όρυξη του υπόλοιπου τμήματος με τη μέθοδο των βαθμίδων. Το ύψος των βαθμίδων εξαρτάται από το ίδιο το πέτρωμα και από το αν η όρυξη των διατρημάτων γίνεται οριζόντια ή κατακόρυφα. Για οριζόντια διάτρηση το ύψος της κάθε βαθμίδας μπορεί να φτάσει τα 10 m, ενώ για την κατακόρυφη τα 15 m.

Συνήθως η εξόρυξη της κάθε βαθμίδας γίνεται με προσβολή σε όλο το μέτωπο αυτής, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις σε δύο τμήματα. Μια συνήθης μέθοδος όρυξης περιλαμβάνει την εξόρυξη των ανώτερων βαθμίδων με οριζόντια διάτρηση και της κατώτερης με κατακόρυφη. Το ύψος των βαθμίδων κατακόρυφης διάτρησης δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο (<15m) γιατί αλλιώς δε θα υπάρχει ακρίβεια στη διάτρηση. Οι βαθμίδες αυτές είναι συνήθως κατακόρυφες.

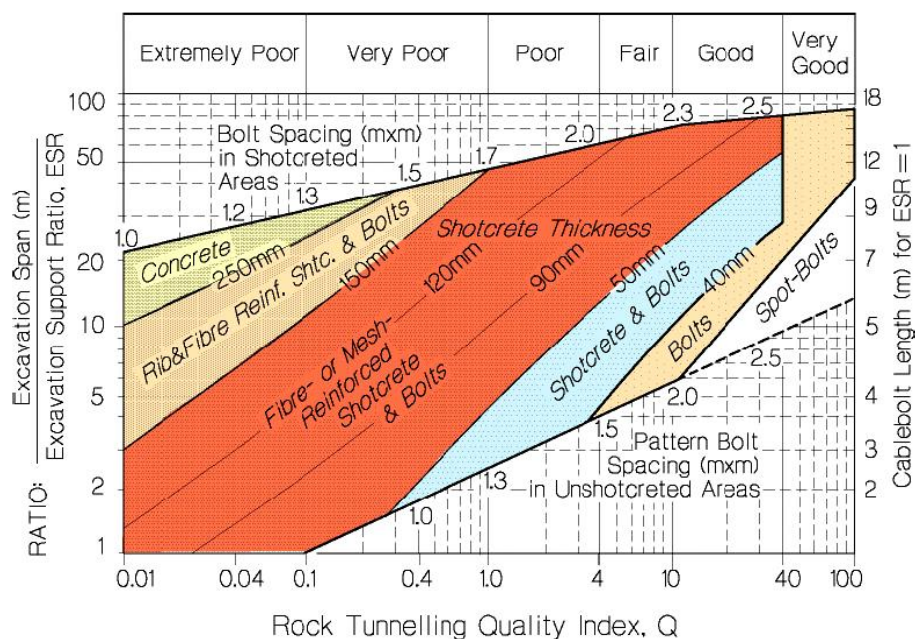
Είναι επίσης δυνατό να γίνει η εξόρυξη όλων των βαθμίδων με κατακόρυφη διάτρηση εφόσον βέβαια το ύψος του θόλου είναι αρκετό για την τοποθέτηση του διατρητικού μηχανήματος για την εξόρυξη της πρώτης βαθμίδας. Η εξόρυξη των βαθμίδων με κατακόρυφη διάτρηση είναι πιο οικονομική από αυτήν με οριζόντια διάτρηση. Οποσδήποτε όμως για την απόφαση εφαρμογής οριζόντιας ή κατακόρυφης διάταξης των διατρημάτων παίζουν ρόλο πολλοί παράγοντες όπως η διάθεση ανάλογου εξοπλισμού κ.α. Η αποκομιδή των εξορυγμένων προϊόντων

γίνεται συνήθως με ελαστικοφόρους φορτωτές και η μεταφορά τους με μεγάλα χωματοουργικά αυτοκίνητα.

4.9 Υποστήριξη

Ο σχεδιασμός της υποστήριξης γίνεται σε πρώτη φάση εμπειρικά μέσω της ταξινόμησης κατά Q (Barton et al., 1974, 1994), σύμφωνα με τον οποίο βρίσκονται η αναγκαία πίεση υποστήριξης στο θόλο και τις παρειές του ανοίγματος, το σχέδιο εγκατάστασης των αγκυρίων, καθώς και το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. (Εικόνα 4.6)

Η υποστήριξη των εκσκαφών γίνεται συνήθως με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με τη χρήση αγκυρίων ή/και συρματοσχοινων διαφόρων τύπων και μεγεθών (προεντεταμένων και μη), είτε σε διάφορα σημεία που απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή (spot bolting), είτε και σε όλη την επιφάνεια του θαλάμου, αν αυτό κριθεί απαραίτητο, ακολουθώντας την πορεία της εκσκαφής.



Εικόνα 4.6 Διάγραμμα υπολογισμού της υποστήριξης υπογείων εκσκαφών βάση της κατάταξης της βραχομάζας κατά Q (Barton, 1977)

Αναφορικά με το μήκος των αγκυρίων και συρματοσχοίνων που χρησιμοποιούνται, δίνονται οι παρακάτω εμπειρικοί κανόνες (Hoek, 1995):

Οροφή κοχλίες $L = 2 + 0.15 \times (B/ESR) \text{ m}$

συρματοσχοίνα $L = 0.4 \times (B/ESR) \text{ m}$

Παρειές κοχλίες $L = 2 + 0.15 \times (H/ESR) \text{ m}$

συρματοσχοίνα $L = 0.35 \times (H/ESR) \text{ m}$

όπου, L: Το μήκος των αγκυρίων / συρματοσχοίνων (m)

B: Το πλάτος της εκσκαφής (m)

H: Το ύψος της εκσκαφής (m)

ESR: Συντελεστής εξαρτώμενος από τη χρήση του υπογείου έργου

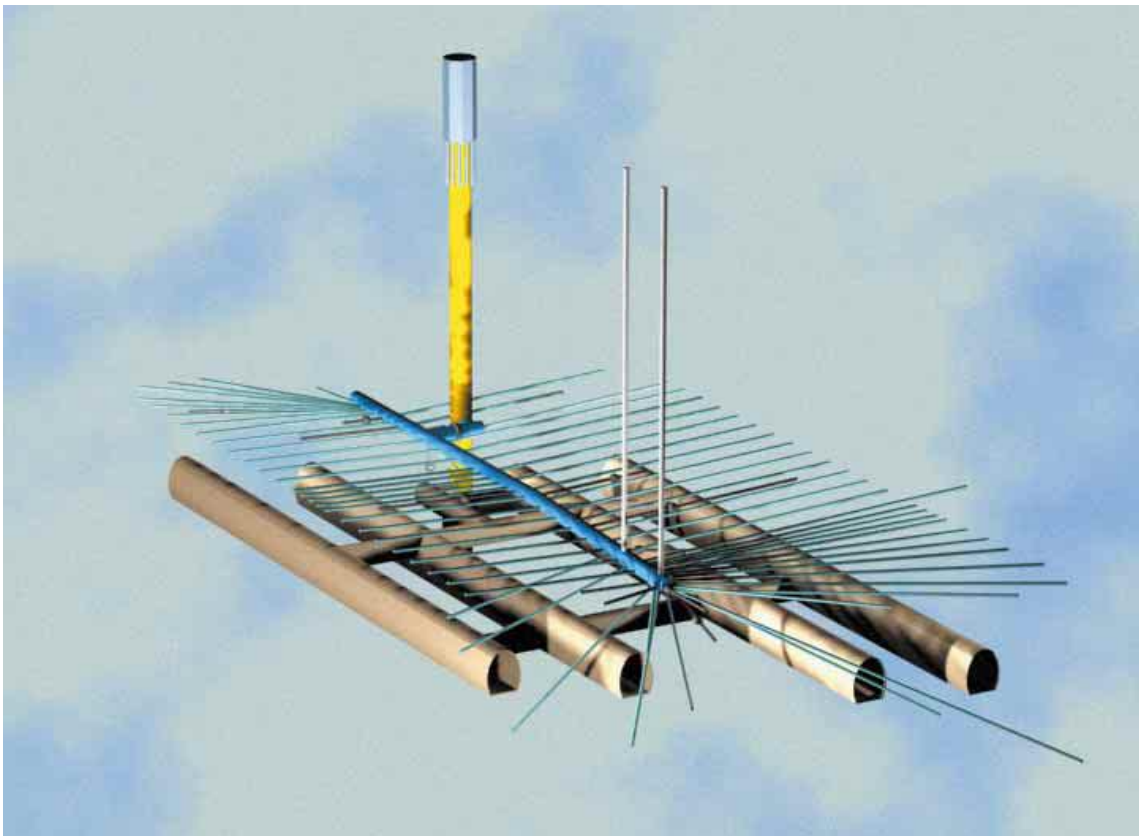
Ένας επίσης χρήσιμος εμπειρικός κανόνας (Lang, 1961) που εφαρμόζεται ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι αγκυρώσεις σχηματίζουν μια ομοιόμορφη ζώνη υποστηριζόμενου πετρώματος, είναι ότι η απόσταση τοποθέτησής τους (spacing, S) πρέπει να είναι μικρότερη από το μισό του μήκους τους, δηλαδή $S < L/2$.

Η επόμενη φάση της υποστήριξης πραγματοποιείται με τη χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος χωρίς ή συνηθέστερα με προσθήκη ινών χάλυβα (steel fibre shotcrete). Πέρα από τα παραπάνω μέσα υποστήριξης, είναι δυνατόν να υπάρξει και τελική επένδυση του υπόγειου χώρου (lined cavern), η οποία συνηθέστερα γίνεται από έγχυτο σκυρόδεμα, αφού έχει γίνει η περάτωση της όρυξης του συνόλου της εκσκαφής.

4.10 Τεχνητό σύστημα εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα

Σε ένα θάλαμο που βρίσκεται λίγα μέτρα κάτω από το επίπεδο των υπόγειων υδάτων και επικρατεί η ατμοσφαιρική πίεση, είναι αναμενόμενο το νερό που βρίσκεται πάνω από το θάλαμο να εισχωρήσει στο θάλαμο. Έγινε σαφές ότι ήταν σημαντικό να διατηρηθεί το επίπεδο του νερού πάνω από τους υπόγειους θαλάμους, σε κατάλληλο επίπεδο για να αποφευχθούν τυχόν διαρροές καυσίμου.

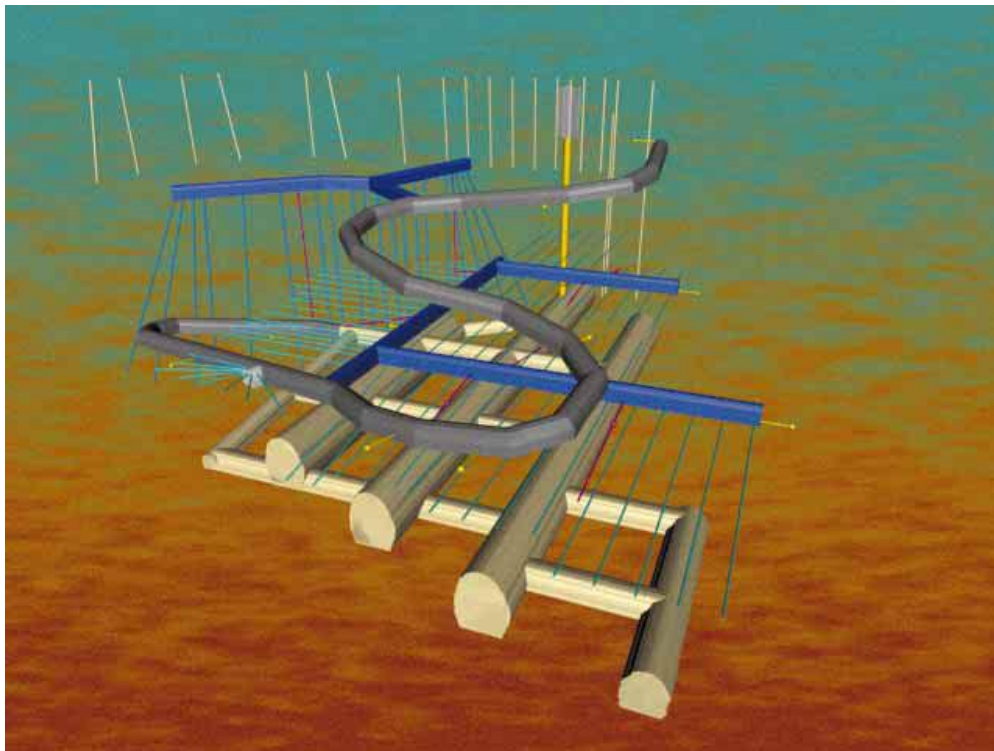
Για την επίλυση του προβλήματος κατασκευάζεται τεχνητό σύστημα εμπλουτισμού του υδροφόρου (water curtains). Πρόκειται για μια μικρότερη στοά κατασκευασμένη άνωθεν και παράλληλα στο θάλαμο αποθήκευσης. Διανοίγονται διατρήματα μέσω των οποίων διαβιβάζεται νερό και καλύπτεται όλο το πορώδες (Εικόνα 4.7). Οι οριζόντιες γεωτρήσεις ανοίγονται έξω από αυτή τη στοά για να σχηματίσουν την κουρτίνα του νερού, στις οποίες το νερό μπορεί να εισπνέζεται εύκολα για να διατηρηθεί μια σταθερή πίεση, όταν κρίνεται απαραίτητο.



Εικόνα 4.7 Υπόγειοι θάλαμοι με οριζόντια κουρτίνα νερού (Lavera, Γαλλία)

Η κατασκευή κουρτινών νερού μεταξύ των δεξαμενών κρίνεται αναγκαία, για την αποφυγή διαρροών προϊόντος στις γειτονικές δεξαμενές, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για δεξαμενές με διαφορετικά προϊόντα. Τέλος, η κατασκευή του συστήματος θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί πριν την εισαγωγή του προϊόντος. Έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα ανάπτυξης βακτηριδίων σε δεξαμενές που το σύστημα κουρτινών νερού εγκαταστάθηκε αργότερα (M.Haug, 2007).

Οι κύριοι παράγοντες που διέπουν το σχεδιασμό ενός τεχνητού υδροφορέα είναι η πίεση αποθήκευσης σε σχέση με την πίεση των υπόγειων υδάτων και των υπερκείμενων, η γεωμετρία των σηράγγων καθώς και το ανώτατο όριο της πίεσης για την κουρτίνα νερού, λόγω του κινδύνου της υδραυλικής ανύψωσης. Επίσης, πρέπει να εξετάζεται η κατάσταση της βραχομάζας κοντά στις δεξαμενές, η εύκολη πρόσβαση για τη διάνοιξη των γεωτρήσεων καθώς και τα οικονομικά δεδομένα που αφορούν την κατασκευή και λειτουργία του συστήματος (H.Kjørholt, E.Broch, 2007).



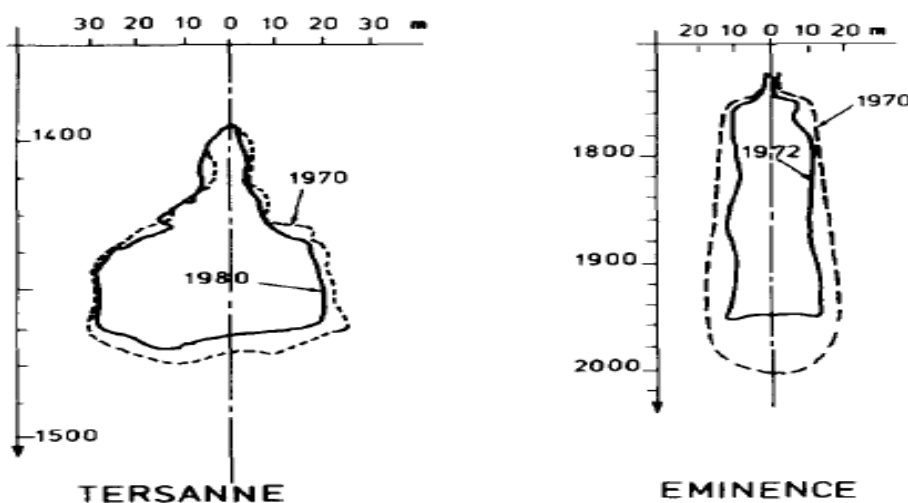
Εικόνα 4.8 Υπόγειοι θάλαμοι με οριζόντιο και κάθετο τεχνητό υδροφορέα (Pyongtaek, N.Κορέα)

4.11 Περιπτώσεις ατυχημάτων σε υπόγειους θαλάμους αποθήκευσης υδρογονανθράκων

Η ιδιότητα των υδρογονανθράκων να απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όταν καίγονται ή εκρήγνυνται, τους καθιστά επικίνδυνους για τη μεταφορά και την αποθήκευσή τους σε μεγάλες ποσότητες.

Η υπόγεια αποθήκευση είναι ο ασφαλέστερος τρόπος για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων υγρών και αερίων υδρογονανθράκων και μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα συμβάντα ατυχημάτων που αφορούν σε συγκροτήματα αποθήκευσης πετρελαιοειδών σε τεχνητούς υπόγειους θαλάμους. Μόνο σε περιπτώσεις αποθήκευσης υδρογονανθράκων σε δόμους άλατος έχουν παρατηρηθεί οι παρακάτω κατηγορίες ατυχημάτων.

1. Απώλεια της μηχανικής ευστάθειας και σύγκλιση των τοιχωμάτων (Εικόνα 4.9).
2. Διαρροή από το θάλαμο ή από τους υπόγειους αγωγούς στην επιφάνεια
3. Έκρηξη, ή ξαφνική αποτυχία των άνω καλυμμάτων (P. Berest, 1990)



Εικόνα 4.9 Η μείωση του όγκου των δόμων άλατος Tersanne και Eminence (Αμερική)

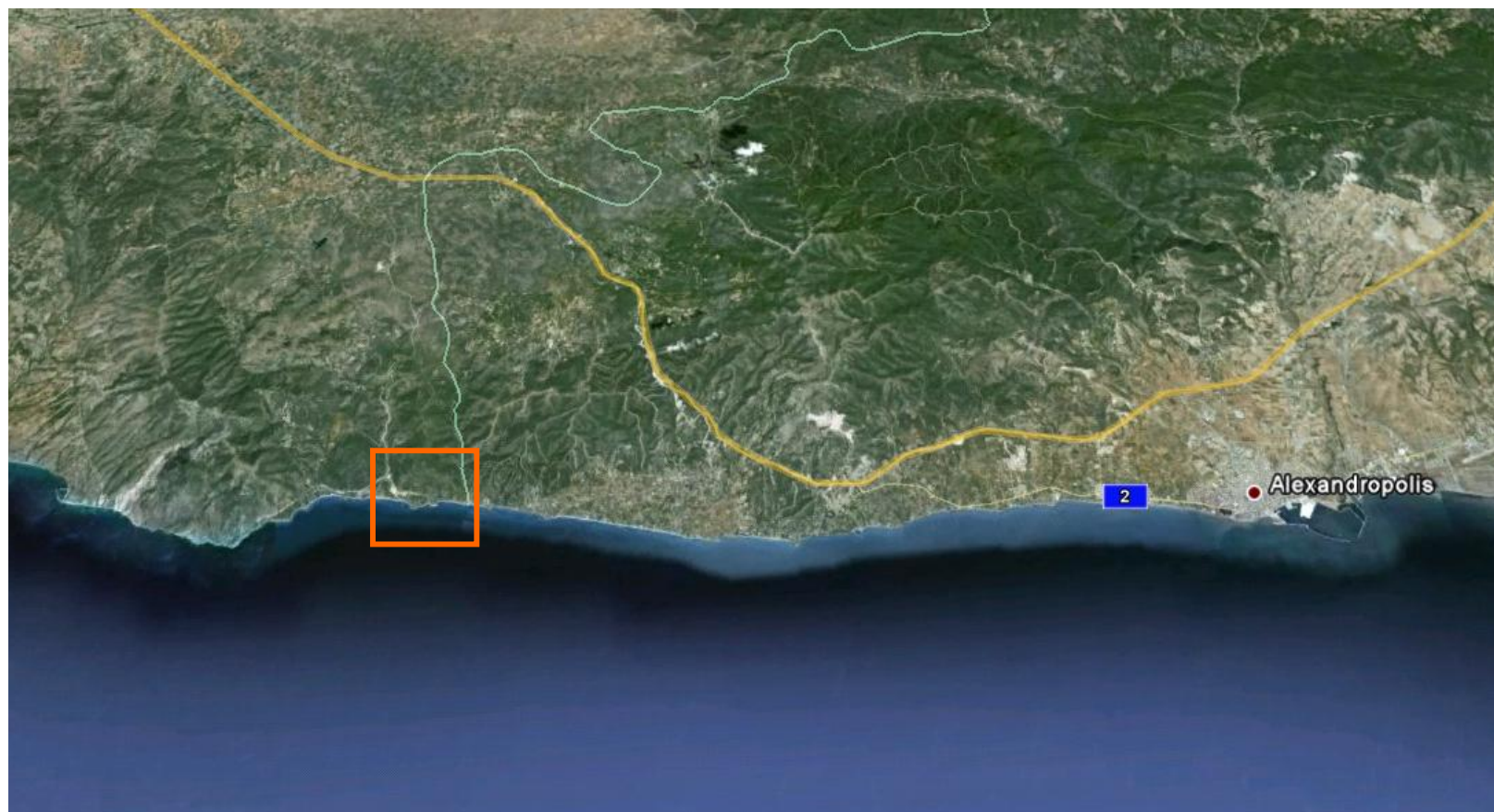
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ

5.1 Επιλογή της θέσης σχεδιασμού των υπογείων θαλάμων

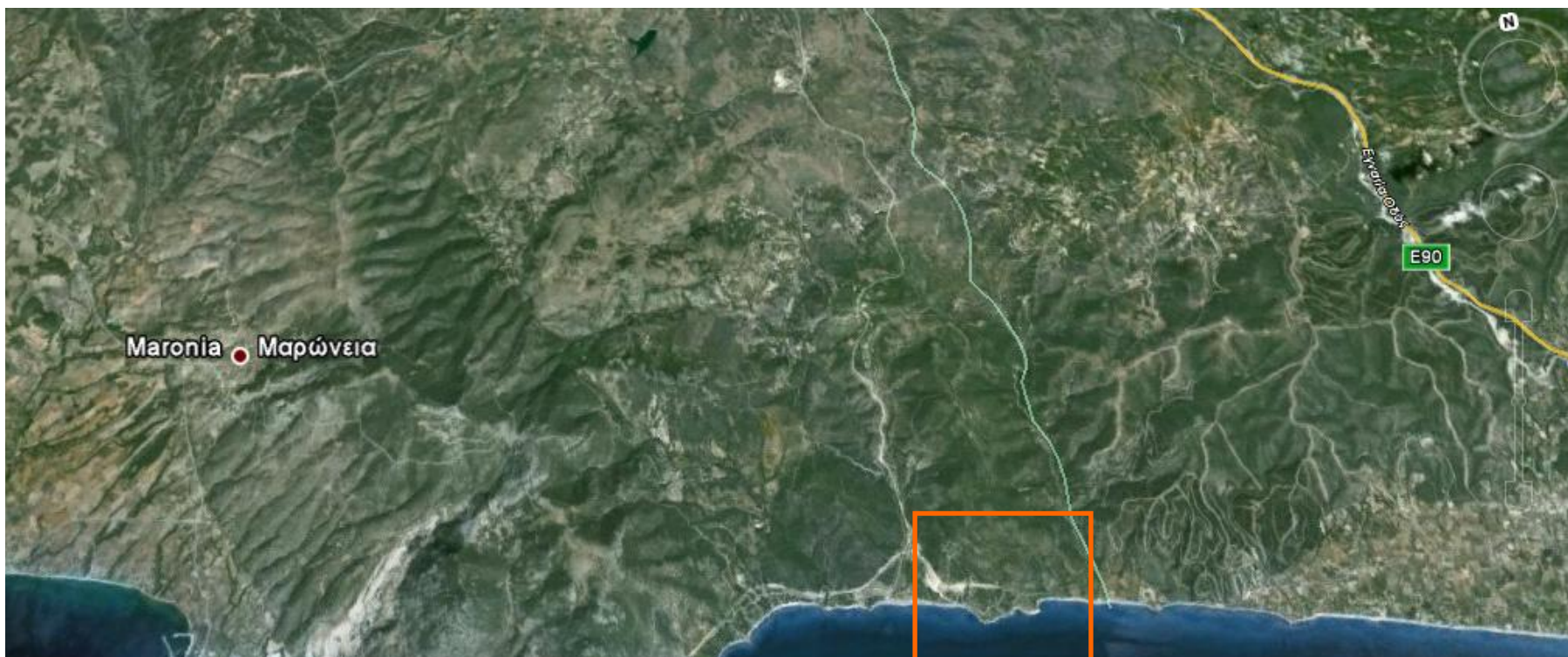
Η επιλογή της θέσης σχεδιασμού των εγκαταστάσεων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το έργο. Για την κατασκευή των υπόγειων θαλάμων ο γεωλογικός σχηματισμός θα πρέπει να είναι ικανοποιητικής αντοχής και το οδικό δίκτυο να είναι επαρκές ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση των μηχανημάτων. Επίσης, για τη διευκόλυνση της λειτουργίας τους καθώς και της τροφοδοσίας των δεξαμενόπλοιων, η περιοχή θα πρέπει να είναι παραθαλάσσια. Τέλος, η θέση κατασκευής τους θα πρέπει να είναι σε περιοχή που δεν είναι κατοικημένη ώστε να μην προκύψουν προβλήματα με τους κατοίκους. Η ικανοποίηση αυτών των προϋποθέσεων κατέστησαν τη χωροθέτηση του έργου αρκετά δύσκολη.

5.1.1 Ευρύτερη περιοχή

Η περιοχή που επελέγη για τη μελέτη δημιουργίας υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης αργού πετρελαίου, στις εγκαταστάσεις της εκβολής του αγωγού μεταφοράς πετρελαίου Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη, βρίσκεται στα Πετρωτά, στο νομό Ροδόπης, 11 χλμ ανατολικά του οικισμού της Μαρώνειας (Εικόνα 5.2) και 21 χλμ δυτικά της Αλεξανδρούπολης (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1 Ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος σε σχέση με την Αλεξανδρούπολη.



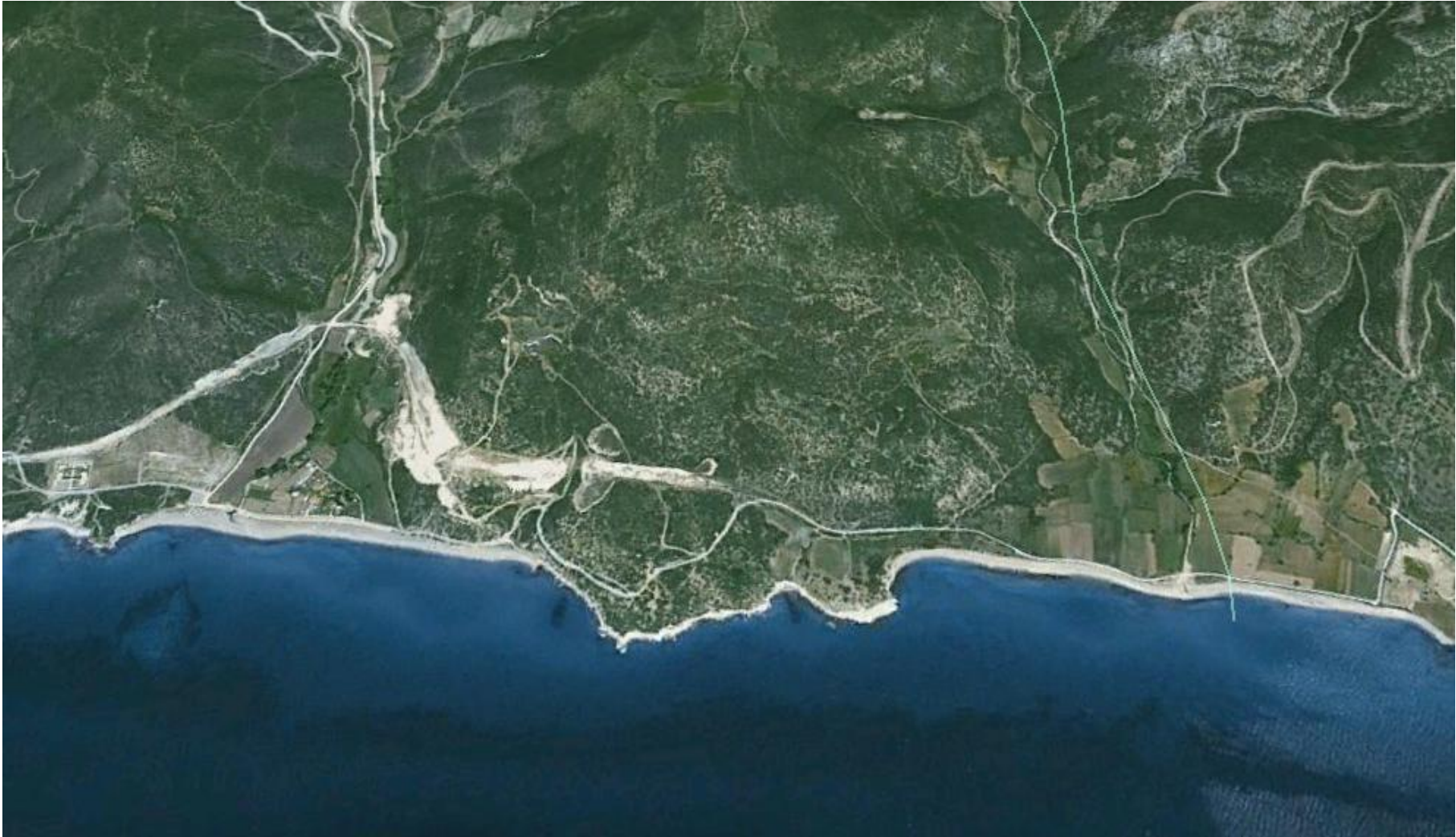
Εικόνα 5.2 Ευρύτερη περιοχή σε σχέση με τη Μαρώνεια

5.1.2 Εγγύς περιοχή

Πιο συγκεκριμένα η περιοχή τοποθέτησης (Εικόνα 5.3) βρίσκεται 6 χλμ δυτικά της περιοχής των Δίκελλων, περιοχή στην οποία ενδέχεται να γίνουν οι επιφανειακές αποθήκες του πετρελαίου σύμφωνα με την προμελέτη της «ΑΣΠΡΟΦΟΣ ΑΕ», στο ακρωτήριο του Πύργου με μέγιστο υψόμετρο 93 m (Εικόνα 5.4). Γύρω από την περιοχή ενδιαφέροντος δεν υπάρχει κάποιος οικισμός παρά μόνο δύο παραλίες εκατέρωθεν.

Η θέση αυτή παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Μικρή απόσταση από το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης, που επιτρέπει την παράκαμψη του αγωγού ώστε να εκβάλει στην περιοχή σχεδιασμού των υπόγειων θαλάμων.
2. Η περιοχή διαθέτει επαρκές οδικό δίκτυο, αφού βρίσκεται κοντά στην Εγνατία οδό.
3. Η περιοχή είναι παράκτια, οπότε εξασφαλίζεται η τροφοδοσία των δεξαμενόπλοιων για τη μεταφορά του πετρελαίου καθώς και το μικρό βάθος του υδροφόρου ορίζοντα.
4. Το υπόβαθρο της περιοχής είναι ασβεστόλιθοι, ώστε επιτρέπεται η κατασκευή ενός τέτοιου έργου.
5. Η περιοχή δεν ανήκει στις περιοχές προστασίας του δικτύου Natura 2000.



Εικόνα 5.3 Δορυφορική φωτογραφία ακρωτηρίου Πύργου



Εικόνα 5.4 Υψομετρικός χάρτης της περιοχής του ακρωτηρίου Πύργου

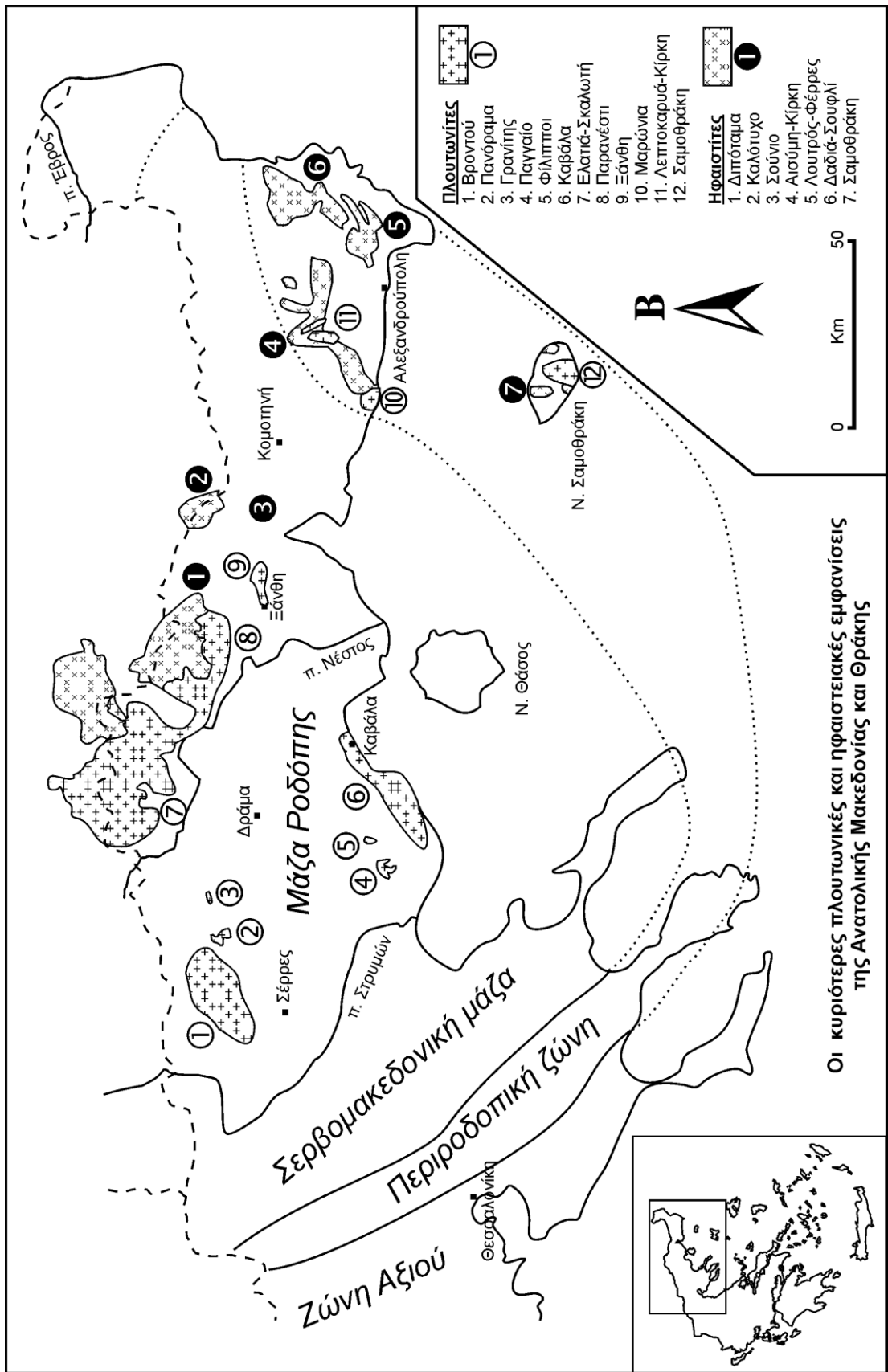
5.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Η περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης ανήκει γεωτεκτονικά στις παρακάτω γεωλογικές ζώνες: στη μάζα της Ροδόπης, στη Σερβομακεδονική μάζα και στην Περιροδοπική ζώνη (Εικόνα 5.5).

Η Περιροδοπική ζώνη στη Θράκη περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα Μεσοζωικής ηλικίας που ανήκουν στην ενότητα Μάκρης (μάρμαρα, δολομίτες, ασβεστικοί σχιστόλιθοι, φυλλίτες, πρασινοσχιστόλιθοι) και στην ενότητα Δρυμού-Μελίας (μεταγραφουβάκες, μεταχαλαζίτες, μεταψαμμίτες, μετατόφφους, μεταλάβες, αργιλικό σχιστόλιθοι), καθώς και σερπεντινιτικά και μεταγαββρικά πετρώματα.

Η Περιροδοπική εκτείνεται ως ζώνη πλάτους 10-20 χλμ. με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ στα δυτικά της Σερβομακεδονικής. Από τα Ελληνογιουγκοσλαβικά σύνορα η ζώνη προεκτείνεται ΝΑ στη χερσόνησο της Σιθωνίας όπου κάμπτεται προς ΒΑ και με διεύθυνση ΝΔ - ΒΑ περνάει από την άκρη της χερσονήσου του Άθω. Ακολούθως προεκτείνεται υποθαλάσσια προς τη Σαμοθράκη και την περιοχή Αλεξανδρούπολης - Έβρου. Τρεις βασικές ενότητες συγκροτούν την Περιροδοπική ζώνη, που χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη Περμοτριάδικών και Ιουρασικών μεταϊζημάτων, με γενική διάταξη ΒΔ - ΝΑ και είναι από ανατολικά προς δυτικά: α. ενότητα Ντεβέ Κοράν - Δουμπιά, β. ενότητα Μελισοχωρίου - Χολομώντα και γ. ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη.

Η συνέχεια της Περιροδοπικής ζώνης στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης - Έβρου περιλαμβάνει μια παχιά σειρά φυλλιτών με ενστρώσεις μετακροκαλοπαγών και κρυσταλλικών ασβεστόλιθων με ηλικία Τριαδικού-Κάτω Κρητιδικού. Δεν είναι διαπιστωμένο σε ποιά από τις κύριες ενότητες της Περιροδοπικής ανήκει η σειρά φυλλιτών της Αλεξανδρούπολης. Όμως η σύστασή της και κύρια η παρουσία ορισμένων οφειολιθικών σωμάτων μέσα στα μεταϊζήματα δείχνουν ότι προσομοιάζει με την ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη.



Εικόνα 5.5 Γεωλογικές ζώνες Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης

Τα πετρώματα που καλύπτουν την περιοχή ανήκουν στην Περιροδοπική Ζώνη και πιο συγκεκριμένα στις ενότητες Μάκρης και Δρυμού – Μελίας.

Κατά το Μέσο Ηώκαινο (δηλαδή πριν από 50 εκατομ. χρόνια) η περιοχή ήταν μία αβαθής θάλασσα, όπως προκύπτει από την παρουσία απολιθωματοφόρων ασβεστολίθων στην περιοχή. Η περιοχή βρίσκεται σε νομμουλιτοφόρο ασβεστόλιθο, ρόδινου χρώματος, με μεγάλη σκληρότητα.

Ο νομμουλιτοφόρος ασβεστόλιθος επικάθεται ασύμφωνα με τεκτονική επαφή πάνω στους σχηματισμούς της ενότητας Μάκρης και συγκεκριμένα πάνω σε μια βασική κλαστική σειρά που αποτελείται από κροκαλοπαγή και ψαμμίτες, αδιαβάθμιτους και χωρίς διακριτή στρώση, ενώ υπόκειται ενός στρώματος από τεφρόλευκο έως κίτρινο βιοκλαστικό ασβεστόλιθο με ενστρώσεις τόφφων Ηωκαινικής ηλικίας.

Η τεκτονική της περιοχής είναι πολύ έντονη και είναι παρόμοια με την τεκτονική της ευρύτερης Περιροδοπικής ζώνης στην Θράκη. Υπάρχουν πολλά μεγάλα ρήγματα στην περιοχή με κύριες διευθύνσεις ανάπτυξης ΒΒΔ-ΝΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ.

Οι ασβεστόλιθοι προέρχονται από την καθίζηση και τη διαγέννεση ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και σχηματίζονται μέσα σε θαλάσσιο περιβάλλον. Η τεχνική τους συμπεριφορά εξαρτάται από τον προσανατολισμό, την πυκνότητα και το εύρος των διακλάσεων τους. Είναι πετρώματα με υψηλές αντοχές κατάλληλα για δομικά έργα. Όμως η συμπεριφορά τους αλλάζει όταν έχουν προσβληθεί από καρστική διάβρωση. Η διαδικασία αυτή είναι η διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου από το νερό, που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους με στρογγυλεμένο ανάγλυφο και μικρά κλειστά βυθίσματα, ενώ στη μάζα του πετρώματος εμφανίζονται κενά, ποικίλου εύρους, που ενίοτε είναι πληρωμένα με αργιλικό υλικό και είναι πιθανό να επικοινωνούν μεταξύ τους. Συνέπεια των παραπάνω είναι το πέτρωμα να παρουσιάζει μεγάλη περατότητα, αλλά και ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας που δημιουργείται να μην παρουσιάζει ενιαία στάθμη, όταν οι αγωγοί δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Η ύπαρξη καρστικών κενών δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα τόσο στις θεμελιώσεις τεχνικών έργων, όσο και στη διάνοιξη σηράγγων.

5.3 Γεωλογία εγγύς περιοχής

Στην περιοχή ενδιαφέροντος δεν έχουν διεξαχθεί γεωτρήσεις, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν αρκετά στοιχεία για το δείκτη RQD. Παρόλα αυτά εκτιμήθηκαν στοιχεία από γεωτεχνική έρευνα που εκτελέστηκε στα πλαίσια ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος για τη βιώσιμη αξιοποίηση του σπηλαίου «Πολύφημου» Μαρώνειας (Χρηστάρας, Χατζηγώγος et al., 2004). Το Σπήλαιο της Μαρώνειας βρίσκεται στην τοποθεσία Κουφόπλατη, 2,5 km βορειοδυτικά του οικισμού της Μαρώνειας και 1 km ανατολικά του οικισμού των Προσκυνητών σε υψόμετρο 176 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Σε σχέση με την επιλεγμένη θέση για την κατασκευή των εγκαταστάσεων βρίσκεται 8,5 km βορειοανατολικά.

Η περιοχή στην οποία αναφέρεται η εν λόγω μελέτη, δομείται από τους ίδιους σχηματισμούς που δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος. Η μελέτη περιέχει αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών προσδιορισμού μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας καθώς και στοιχεία για την κατάταξη της βραχομάζας κατά RMR και Q. Κατά συνέπεια, με την προσεκτική μελέτη και αξιολόγηση των στοιχείων της, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το σχηματισμό.

Ο λιθολογικός σχηματισμός που επικρατεί στην περιοχή είναι νουμμουλιτοφόρος ασβεστόλιθος ρόδιου χρώματος με μεγάλη περιεκτικότητα σε θαλάσσια απολιθώματα.

5.4 Γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας

Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις RMR και Q θεωρούνται οι περισσότερο σημαντικές και εφαρμόζονται ιδιαίτερα σε έργα και κυρίως σήραγγες. Το γεγονός αυτό οφείλεται αφενός στην προσαρμογή του συστήματος Q στην κατασκευή σηράγγων και γενικότερα υπογείων έργων και αφετέρου στην ιδιαίτερη ευκολία και αξιοπιστία στη χρήση του συστήματος RMR.

Στη γεωτεχνική μελέτη που εκπονήθηκε στο σπήλαιο, για την εφαρμογή της ταξινόμησης του ανέπαφου πετρώματος (Deere και Miller 1996) υπολογίστηκε η αντοχή του πετρώματος σε ανεμπόδιστη θλίψη με *in situ* δοκιμές, με τη χρήση του σφυριού Schmidt καθώς και με δοκιμές σημειακής φόρτισης (point load test), και κυμαίνεται από 40 έως 60 MPa. Το ξηρό φαινόμενο βάρος υπολογίστηκε $\gamma=2.60-2.85 \text{ t/m}^3$. Το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας υπολογίστηκε με τη σχέση : $E_t = (0.588 I_s + 0.084) \cdot 10^4$ (Irfan & Dearman 1978) ίσο με 9,82GPa για $I_s = 1,53 \text{ MPa}$. Η κατάταξη γίνεται με βάση το λόγο E_{t50} / σ_c , δηλαδή το λόγο του μέτρου ελαστικότητας που αντιστοιχεί στην εφαπτομένη στο μέσο της καμπύλης τάσεων - παραμορφώσεων, προς την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη. Επομένως πρόκειται για ασβεστόλιθο C.M., δηλαδή ασβεστόλιθος μέσης αντοχής.

Πραγματοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα αναλυτική περιγραφή και συστηματική αποτύπωση των γεωμετρικών και των γεωλογικών χαρακτηριστικών τόσο κατά μήκος της επισκέψιμης διαδρομής όσο και στον εξωτερικό χώρο του σπηλαίου. Έγινε στατιστική ανάλυση των ρηγμάτων, των διακλάσεων και των λοιπών δομών που μετρήθηκαν στον εσωτερικό χώρο του σπηλαίου (σύνολο μετρήσεων: 160). Οι μετρήσεις αυτές επαληθεύτηκαν με αντίστοιχες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν εξωτερικά στην οροφή του σπηλαίου. Το αποτέλεσμα της παραπάνω επεξεργασίας έδωσε μικρή διασπορά των μετρήσεων και επέτρεψε την ομαδοποίησή τους και τον προσδιορισμό μέσω αντιστοιχίας μετρήσεων για κάθε σύνολο τεκτονικών μετρήσεων.

Οι τεκτονικές ασυνέχειες εμφανίζονται είτε ανοικτές είτε πληρωμένες με ασβεστιτικό υλικό, οι δε επιφάνειές τους εμφανίζονται ελαφρά τραχείες. Συνήθως συναντώνται με μεγάλο μήκος και ελαφρά αποσαθρωμένες. Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών

κυμαίνεται από 0.2 – 1.0 m. Η γωνία εσωτερικής τριβής των ανοικτών ασυνεχειών προσδιορίστηκε $\varphi \sim 57^\circ$ (tilt test).

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πληρωμένων ασυνεχειών προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο αντίστροφης ανάλυσης (back analysis) η οποία κρίθηκε και η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος για τον προσδιορισμό ρεαλιστικών τιμών.

Τα αποτελέσματα των αντίστροφων αναλύσεων μας έδωσαν περιοχές τιμών για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών με υλικό πλήρωσης: $c = 10-16 \text{ t/m}^2$ και $\varphi = 30^\circ-37^\circ$, τιμές οι οποίες επαληθεύτηκαν και βιβλιογραφικά (Hoek & Brown 1997). Ως αντιπροσωπευτικές τιμές για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών επελέγησαν οι τιμές: $c = 16 \text{ t/m}^2$ και $\varphi = 30^\circ$.

Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα γεωμηχανική ταξινόμηση της βραχομάζας κατά RMR (Bieniawski 1979, 1989) σε θέσεις που επιλέχθηκαν ώστε να δίνουν την κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη εικόνα του σπηλαίου από άποψη ποιότητας και ευστάθειας και περιορίστηκαν στο μικρότερο δυνατό αριθμό, ώστε να αποδίδεται το παραπάνω αποτέλεσμα. Στον υπολογισμό των τιμών RMR της ταξινόμησης κατά Bieniawski οι τιμές που αντιστοιχούν στο RQD υπολογίστηκαν με βάση τη σχέση που προτείνει ο Palmstrom (1975), $RQD = 115 - 3.3 J_n$, όπου J_n είναι ο συνολικός αριθμός των ασυνεχειών ανά m^3 ίση με 75-90 %. Έτσι η εξεταζόμενη βραχομάζα έχει $RMR=61-70$. Ακολουθεί αναλυτικός πίνακας με την αναλυτική γεωμηχανική κατάταξη της βραχομάζας κατά Bieniawski (Πίνακας 5.1)

Πίνακας 5.1 Ταξινόμηση βραχομάζας σύμφωνα με το σύστημα RMR.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
Μονοαξονική αντοχή σε θλίψη	50	7
RQD	75-90%	17
Απόσταση ασυνεχειών	0,2-1 m	10
Κατάσταση ασυνεχειών	Ελαφρά τραχείες Ελαφρά αποσαθρωμένες	25
Υπεδαφικό νερό	Υγρή κατάσταση	10
Προσανατολισμός διεύθυνσης και κλίσης ασυνεχειών	Ευνοϊκός	-2
Βαθμονόμηση RMR		Από 61-70
Κατηγορία		II
Ποιότητα		Καλής ποιότητας βραχομάζα

Σχέση μεταξύ RMR και Q

Υπάρχουν δύο εμπειρικοί τύποι (Beniawski,1976; Barton,1995) που συνδέουν τις δύο τιμές μεταξύ τους:

$$\text{RMR} = 9 \ln Q + 44$$

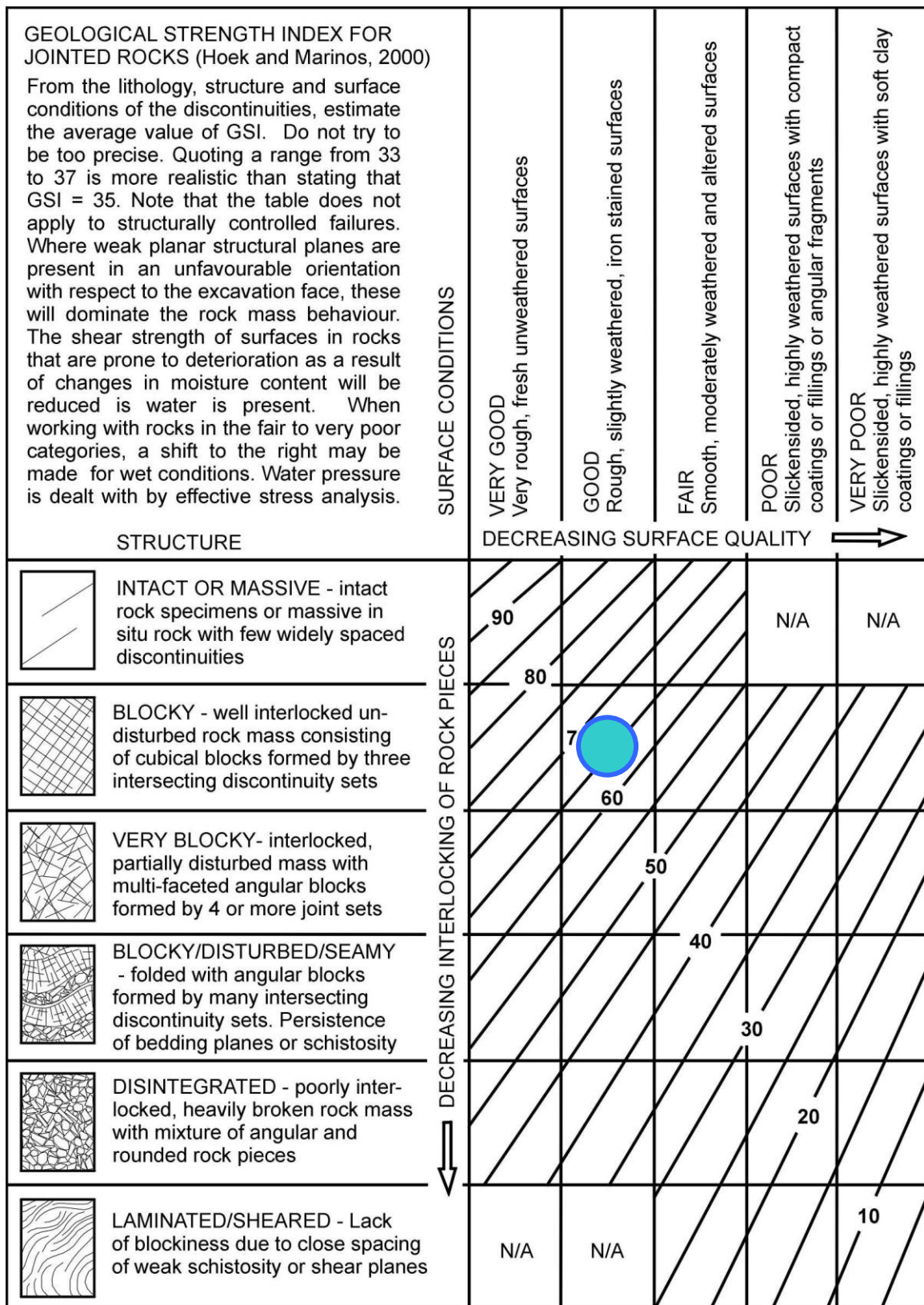
$$\text{RMR} = 15 \log Q + 50$$

Έτσι, για τιμή RMR από 65 προκύπτουν οι τιμές 10,3 (Beniawsky) και 10 (Barton). Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα ότι χρησιμοποιώντας ξεχωριστά και τα 2 συστήματα ταξινόμησης καταλήγουμε στο γενικό χαρακτηρισμό της βραχομάζας **μέτριας προς καλής ποιότητας**.

Εκτίμηση δείκτη GSI

Η εκτίμηση του δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI πραγματοποιείται με τη βοήθεια του τύπου (Hoek & Marinos, 2000):

$$\text{GSI} = \text{RMR} - 5 = 65 - 5 = 60 \text{ (Εικόνα 5.6)}$$



Εικόνα 5.6 Ταξινόμηση της βραχομάζας με το δείκτη GSI.

Εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας

Η εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιείται με τη βοήθεια των τύπων :

$$E = 10^{(RMR-10)/40} \text{ (GPa) για } RMR \leq 50 \text{ (Serafim \& Pereira, 1983)}$$

$$E = 2 \times RMR - 100 \text{ (GPa) για } RMR \geq 50 \text{ (Beniawski, 1978)}$$

$$E = 25 \log Q \text{ (Grimstad \& Barton, 1993)}$$

Έτσι το μέτρο ελαστικότητας του πετρώματος, λαμβάνει τιμές μεταξύ 22 και 40 GPa.

5.5 Εφαρμογή του προγράμματος RocLab για την εκτίμηση των παραμέτρων της βραχομάζας

Οι βασικοί παράμετροι που εισήχθησαν στο RocLab και οι οποίοι είτε ήταν γνωστοί, είτε εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος, ήταν οι εξής:

- Η τιμή της μονοαξονικής του άρρηκτου πετρώματος, $\sigma_{ci} = 50 \text{ MPa}$.
- Ο δείκτης GSI, που για το συγκεκριμένο πέτρωμα εκτιμάται γύρω στο 60.
- Η σταθερά του πετρώματος $m_i = 10$ για τον συγκεκριμένο ασβεστόλιθο.
- Ο συντελεστής διατάραξης της βραχομάζας D, που εκτιμάται στο 0.1.

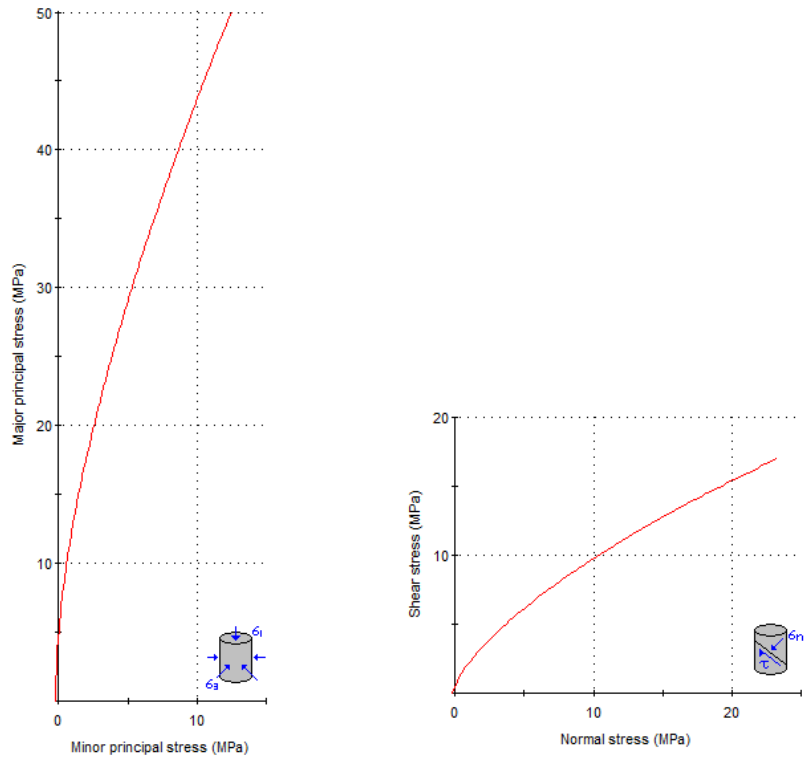
Με την εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων, το πρόγραμμα υπολόγισε τις τιμές των παραμέτρων $m_b = 2.397$ και $s = 0.0117$, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια

κατά την εφαρμογή του προγράμματος Phase2 για την εκτίμηση της ευστάθειας των σχεδιαζόμενων εκσκαφών.

Μια άλλη αξιοσημείωτη τιμή που υπολογίστηκε είναι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας του πετρώματος, που είναι περίπου 35.000 MPa. Παρακάτω φαίνονται όλα τα δεδομένα του προγράμματος στον πίνακα 5.2 και τα διαγράμματα των κύριων και διατμητικών τάσεων παρουσιάζονται στην εικόνα 5.2

Πίνακας 5.2 Δεδομένα ανάλυσης του προγράμματος RocLab

Κριτήρια	Παράμετροι
Hoek Brown Classification	Sigci= 50 MPa GSI= 60 mi= 10 D= 0.1 Ei= 35000
Hoek Brown Criterion	mb= 2.22293 s= 0.010075 a= 0.502841
Failure Envelope Range	Application General sig3max= 12.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	C= 2.85107 MPa Phi= 32.8183 degrees
Rock Mass Parameters	Sigt= -0.226615 MPa Sigc= 4.95359 MPa Sigcm=10.4625 MPa Erm= 16193.2 MPa



Εικόνα 5.7 Διαγράμματα κυρίων τάσεων και διάτμησης από το RocLab

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

6.1 Κατασκευαστικές επιλογές

6.1.1 Επιλογή του τύπου των δεξαμενών

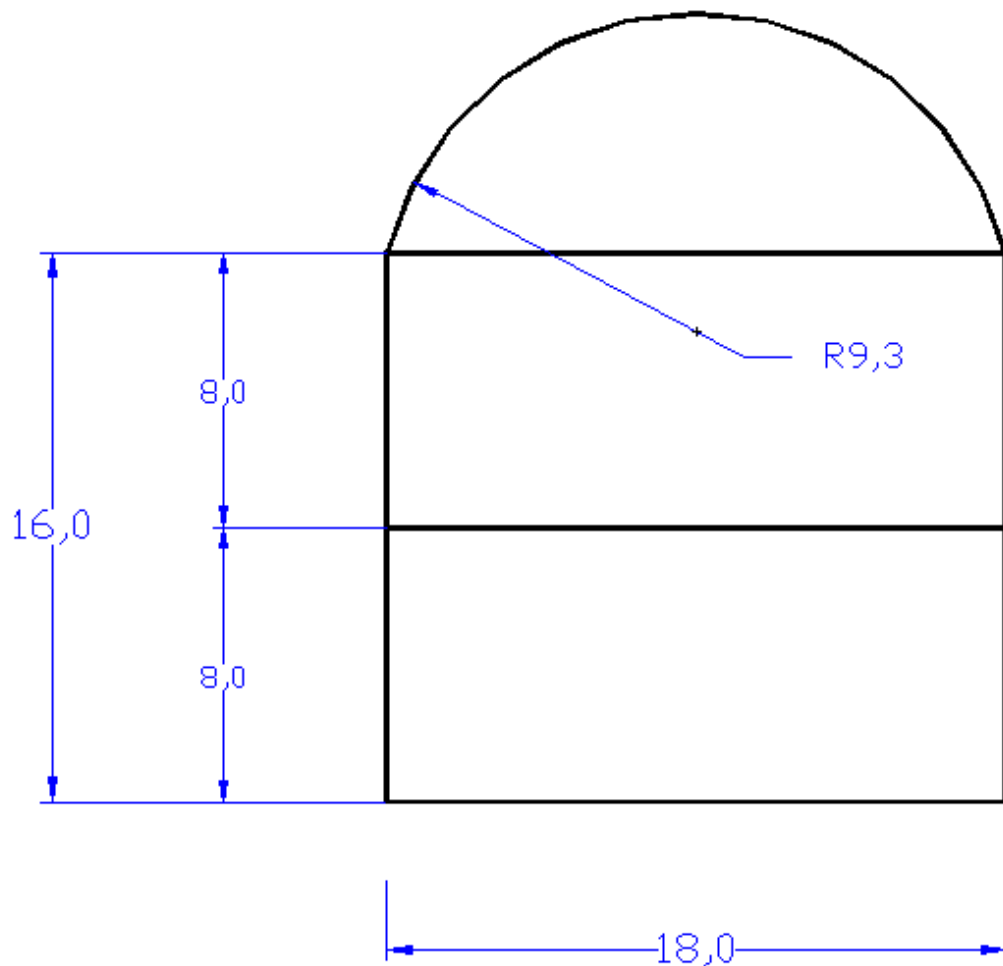
Οι υπόγειες δεξαμενές που προτείνονται για τη δημιουργία υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης αργού πετρελαίου, στις εγκαταστάσεις της εκβολής του αγωγού μεταφοράς πετρελαίου Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη, είναι μεγάλοι οριζόντιοι υπόγειοι θάλαμοι, που βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και δεν έχουν εσωτερική επένδυση από έγχυτο σκυρόδεμα. Η υποστήριξη των θαλάμων θα επιτυγχάνεται με αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, το οποίο και θα αποτελεί την τελική εσωτερική επένδυση τους. Πιθανόν να χρειαστεί η δημιουργία τσιμεντενέσεων ώστε να ελεγχθούν τυχόν μεγάλες εισροές υδάτων.

Η επιλογή αυτού του τύπου των εκσκαφών βασίζεται κυρίως στον περιορισμό του τεχνολογικού κινδύνου και στην έλλειψη εμπειρίας του υπάρχοντος στη χώρα μας εργατικού δυναμικού, σε τέτοιου είδους έργα. Η κατασκευή του είναι εκτός των άλλων πιο εύκολη. Η μη τοποθέτηση τελικής εσωτερικής επένδυσης από έγχυτο σκυρόδεμα δικαιολογείται από το υψηλό κόστος αυτής, όπως και από την έλλειψη ενδιαφέροντος για την αποφυγή πιθανής εμφάνισης προβλημάτων καθαρότητας των καυσίμων, αφού ο αγωγός θα μεταφέρει αποκλειστικά αργό πετρέλαιο. Η τοποθέτηση των δεξαμενών αρκετά κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα επιλέχθηκε, για να εκμηδενιστούν οι πιθανότητες διαρροών πετρελαίου στο περιβάλλον πέτρωμα και κατά συνέπεια για τον περιορισμό τυχούσας περιβαλλοντικής μόλυνσης. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, εντός των θαλάμων, μετά την πλήρωση τους με πετρέλαιο, θα υπάρχει στον πυθμένα ένα στρώμα νερού, το οποίο θα αποτελεί το υπόβαθρο του στρώματος του αργού πετρελαίου, ενώ πάνω από το δεύτερο θα υπάρχει χώρος για την αέρια φάση του καυσίμου.

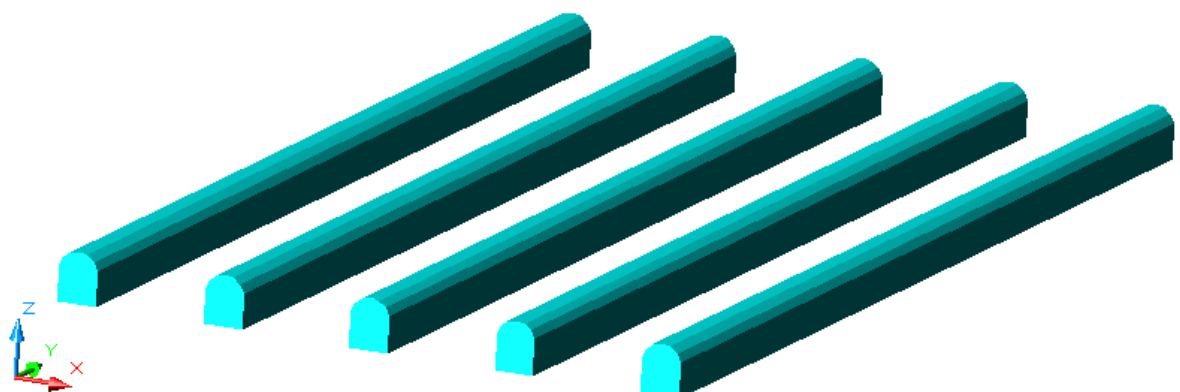
6.1.2 Επιλογή του σχήματος, των διαστάσεων και του αριθμού των δεξαμενών και υπολογισμός της δυναμικότητας

Η χωρητικότητα των δεξαμενών αποθήκευσης στην Αλεξανδρούπολη έχει υπολογιστεί στα 750.000 m^3 και 2 Swing Tanks των 20.000 m^3 , δηλαδή 790.000 m^3 . Έτσι οι θάλαμοι πρέπει να σχεδιαστούν κατά τέτοιο τρόπο (εμβαδόν διατομής-μήκος) ώστε το συγκρότημα να έχει δυναμικότητα μεγαλύτερη των 800.000 m^3 αργού πετρελαίου, καθώς σε ένα υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης καυσίμων πρέπει να αφήνεται κενό το 15% του συνολικού όγκου του, ώστε αυτό να καταληφθεί από την αέρια φάση των αποθηκευόμενων προϊόντων και νερό. Κατά συνέπεια, για να πληρείται και η προϋπόθεση αυτή, ο συνολικός όγκος του συγκροτήματος πρέπει να είναι 908.500 m^3 ($790.000 \times 0,15 = 118.500 \text{ m}^3$).

Επιλέγεται η κατασκευή πέντε (5) οριζόντιων θαλάμων ύψους 23 m, πλάτους 18 m και μήκους κοντά στα 480 m ο καθένας (Εικόνα 6.1). Η χωρητικότητα της κάθε δεξαμενής θα είναι 182.880 m^3 και όλου του συγκροτήματος 914.400 m^3 . Έτσι καλύπτεται η απαίτηση των 908.500 m^3 αποθηκευτικού χώρου για το αργό πετρέλαιο που θα μεταφέρει ο αγωγός. Η διάταξη των θαλάμων απεικονίζεται στην εικόνα 6.2.



Εικόνα 6.1 Διατομή των θαλάμων



Εικόνα 6.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση των θαλάμων

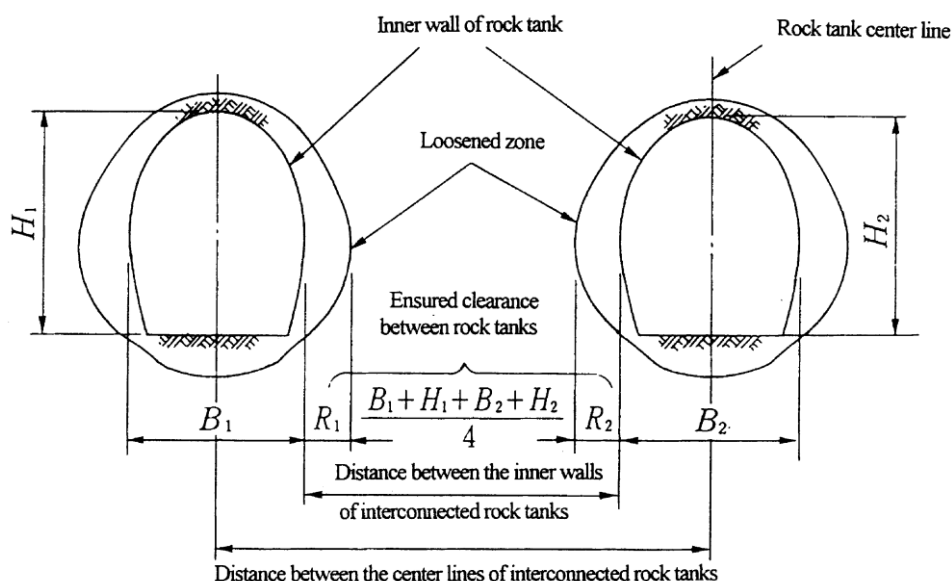
6.1.3 Απόσταση μεταξύ των θαλάμων

Τα αποτελέσματα μελέτης του Hoek (Hoek E., 2001) έδειξαν ότι το βέλτιστο πλάτος του στύλου μεταξύ δύο γειτονικών παράλληλων θαλάμων, επιτυγχάνεται όταν η απόσταση μεταξύ των δύο θαλάμων είναι περίπου ίσο με το ύψος του μεγαλύτερου από τους θαλάμους, ενώ μια απόσταση 1,5 φορές το ύψος της μεγαλύτερης εκσκαφής θεωρείται απολύτως ικανοποιητική.

Επίσης, σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία δύο ίδιες κυκλικές εκσκαφές που διανοίγονται μέσα σε υδροστατικό πεδίο τάσεων και τα κέντρα τους βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από "6 · R" μπορούν να θεωρηθούν μεμονωμένες εκσκαφές, όπου R είναι η μέση ακτίνα των γειτονικών εκσκαφών. (Σοφιανός, 2008)

Τέλος, σύμφωνα με πρόσφατες απόψεις Ιαπωνών ερευνητών (Tezuka M. Et al, 2003) η απόσταση μεταξύ οριζοντίων θαλάμων για την αποθήκευση υδρογονανθράκων πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από την τιμή L που δίνεται από τον τύπο:

$$L = (B_1 + H_1 + B_2 + H_2) / 4 + R_1 + R_2$$



Εικόνα 6.3 Υπολογισμός απαιτούμενης απόστασης μεταξύ δύο οριζοντίων θαλάμων

Για την περίπτωση που εξετάζεται κρίθηκε σκόπιμο να αφεθεί απόσταση μεταξύ των θαλάμων ίση με 50 m, έτσι πληρούνται τα κριτήρια και ο συντελεστής ασφαλείας είναι μεγαλύτερος.

6.1.4 Βάθος τοποθέτησης των θαλάμων

Προκειμένου να αποφευχθούν ανεπιθύμητες διαρροές καυσίμων από τις υπόγειες δεξαμενές, αυτές απαιτείται να βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Στην περιοχή που σχεδιάζεται η τοποθέτηση των υπόγειων θαλάμων, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται περίπου στο απόλυτο υψόμετρο των 0m. Με την κατασκευή τους κατά τρόπο ώστε η στέψη τους να βρίσκεται στο απόλυτο υψόμετρο των -30m, επιτυγχάνεται η χωροθέτηση τους μέσα στον υδροφόρο (βρίσκονται κάτω από τη στάθμη κατά 30 μέτρα) και ταυτόχρονα εξασφαλίζεται η απαιτούμενη υδροστατική πίεση για την εισροή των υδάτων εντός του θαλάμου και την αποφυγή διαρροής καυσίμου.

Επίσης, για μεγαλύτερη σιγουριά και ασφάλεια, στο σχεδιασμό περιλαμβάνεται και η διάνοιξη στοάς για τη δημιουργία τεχνητού υδροφορέα πάνω από τους θαλάμους. Έτσι, θα αποκλειστεί και το παραμικρό ενδεχόμενο υποβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα γύρω από τους θαλάμους, τόσο κατά την κατασκευή του έργου, όσο και κατά τη λειτουργία των θαλάμων.

6.1.5 Διεύθυνση των θαλάμων

Η ευρύτερη περιοχή του ακρωτηρίου Πύργου δομείται από νουμμουλιτικούς ασβεστόλιθους. Με την τοποθέτηση των δεξαμενών με προσανατολισμό Β 90° εξασφαλίζεται η τοποθέτηση τους εξολοκλήρου στο ασβεστολιθικό πέτρωμα και

καθώς τα ρήγματα της περιοχής έχουν τέτοια κλίση εξασφαλίζεται η ευστάθεια του έργου (Εικόνα 6.4).



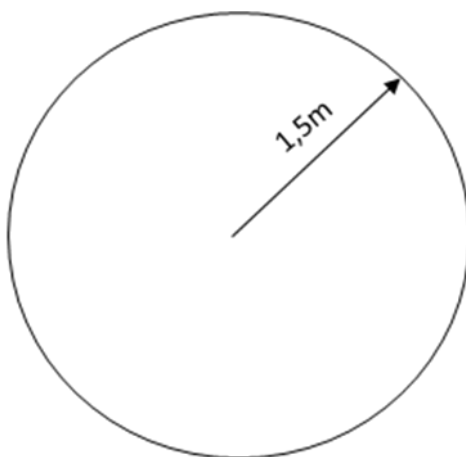
Εικόνα 6.4 Απεικόνιση του προσανατολισμού των υπόγειων δεξαμενών σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή

6.1.6 Προσπελαστικά και βοηθητικά έργα του υπόγειου συγκροτήματος

Η προσπέλαση προς τον υπόγειο χώρο των θαλάμων σχεδιάζεται να πραγματοποιηθεί με ελικοειδές κεκλιμένο πεταλοειδούς διατομής 6x6 m (Εικόνα 6.3). Η προσπελαστική στοά θα φτάσει στο σημείο όπου θα αρχίσει η εκσκαφή της πρώτης φάση των θαλάμων, δηλαδή ο πυθμένας της θα βρίσκεται στο απόλυτο υψόμετρο των -27m. Στη συνέχεια θα επεκτείνεται μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου θαλάμου, παράλληλα με αυτούς και με μικρή κλίση μέχρι το σημείο που τελειώνουν οι θάλαμοι (άλλα 480 m μήκος) στο υψόμετρο των -50m. Το συνολικό της μήκος θα είναι 575m. Για κατασκευαστικούς λόγους (μετακινήσεις προσωπικού, εξοπλισμού και αερισμό) θα διανοιχτούν τέσσερις εγκάρσιες στοές, όσες και οι φάσεις εκσκαφής των θαλάμων, που θα συνδέουν την προσπελαστική στοά με τους θαλάμους. Θα απέχουν μεταξύ τους απόσταση περίπου 90 μέτρων. Η διατομή τους φαίνεται στο σχήμα. Η πρώτη εγκάρσια στοά θα διανοιχτεί στην αρχή των θαλάμων,

για την κατασκευή της πρώτης φάσης (υψόμετρο -27m). Οι υπόλοιπες τρεις θα διανοίγονται κάθε 90 μέτρα και κάθε μια θα αντιστοιχεί και θα βρίσκεται στο υψόμετρο της κάθε φάσης, δηλαδή κατά σειρά στα -45m, -53m.

Για λόγους αερισμού αλλά κυρίως άντλησης του αποθηκευμένου προϊόντος και του νερού προβλέπεται να κατασκευαστούν 5 φρέατα διαμέτρου 3 μέτρων (Εικόνα 6.5). Τα φρέατα αυτά θα συνδέουν την κορυφή των θαλάμων με την επιφάνεια και σχεδιάζεται να διανοιχτούν 50 μέτρα πριν το τέλος των θαλάμων. Μέσα στα φρέατα θα τοποθετηθούν σωληνώσεις και λοιπός εξοπλισμός τα οποία και θα πακτωθούν ακριβώς πάνω από τη στέψη των θαλάμων στο σημείο όπου θα σφραγιστούν τα φρέατα με σκυρόδεμα. Οι σωληνώσεις θα συνδεθούν με αντλίες που θα τοποθετηθούν εντός των θαλάμων.



Εικόνα 6.5 Διατομή φρέατος άντλησης

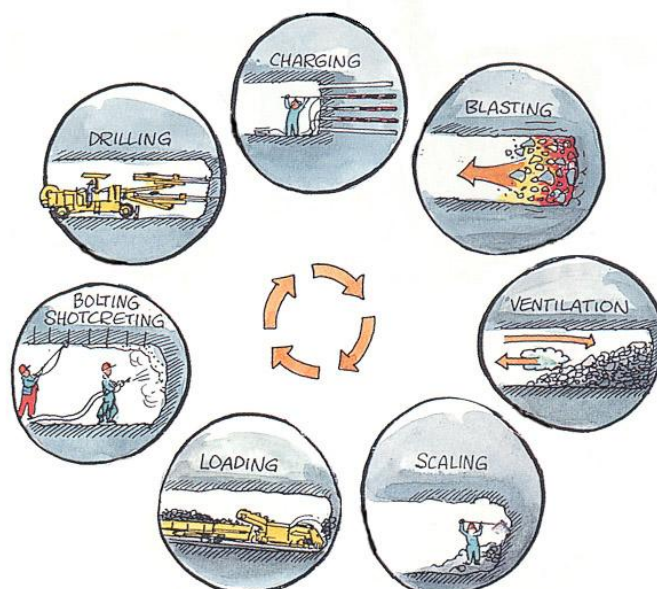
Γενικά ισχύει ότι η απόσταση μεταξύ της αποθήκευσης και της κουρτίνας του νερού δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 10 m για τις μικρές στοές, και φτάνει στα 30 m για μεγάλες στοές. Η διατομή των γεωτρήσεων πρέπει να είναι της τάξεως των 5 έως 20 cm. και θα πρέπει τουλάχιστον να καλύπτει την οροφή του σπηλαιίου. Τέλος, Η αναγκαία πίεση σε ένα σωστά σχεδιασμένο τεχνητό υδροφόρα κανονικά δεν πρέπει να υπερβαίνει την πίεση αποθήκευσης κατά περισσότερο από 0,5 MPa.

Έτσι, θα κατασκευαστούν τρεις παράλληλες στοές διατομής ίδιας με αυτής των εγκάρσιων στοών, οι οποίες θα εκτείνονται παράλληλα με τους θαλάμους, ακριβώς από πάνω τους. Πιο συγκεκριμένα, θα βρίσκονται μεταξύ πρώτου-δεύτερου και

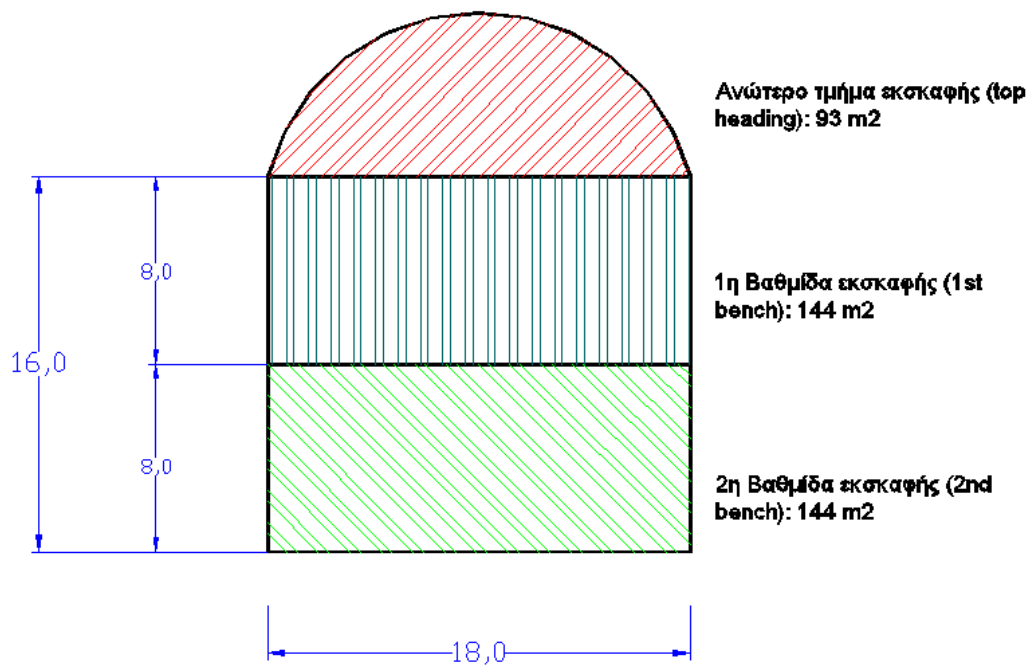
τέταρτου- πέμπτου θαλάμου και μία πάνω από τον τρίτο και σε απόσταση 20 μέτρων από τη στέψη τους. Ταυτόχρονα, θα διανοιχτούν κατά μήκος των στοών και από τις δύο πλευρές γεωτρήσεις μήκους 45m που θα καλύπτουν όλη την έκταση του συγκροτήματος. Η σύνδεση μεταξύ τους, καθώς και με το υπόλοιπο έργο θα επιτυγχάνεται με στοά ίδιας διατομής που θα ενώνει τον τεχνητό υδροφορέα με το ελικοειδές κεκλιμένο.

6.1.7 Μέθοδος όρυξης των υπόγειων θαλάμων

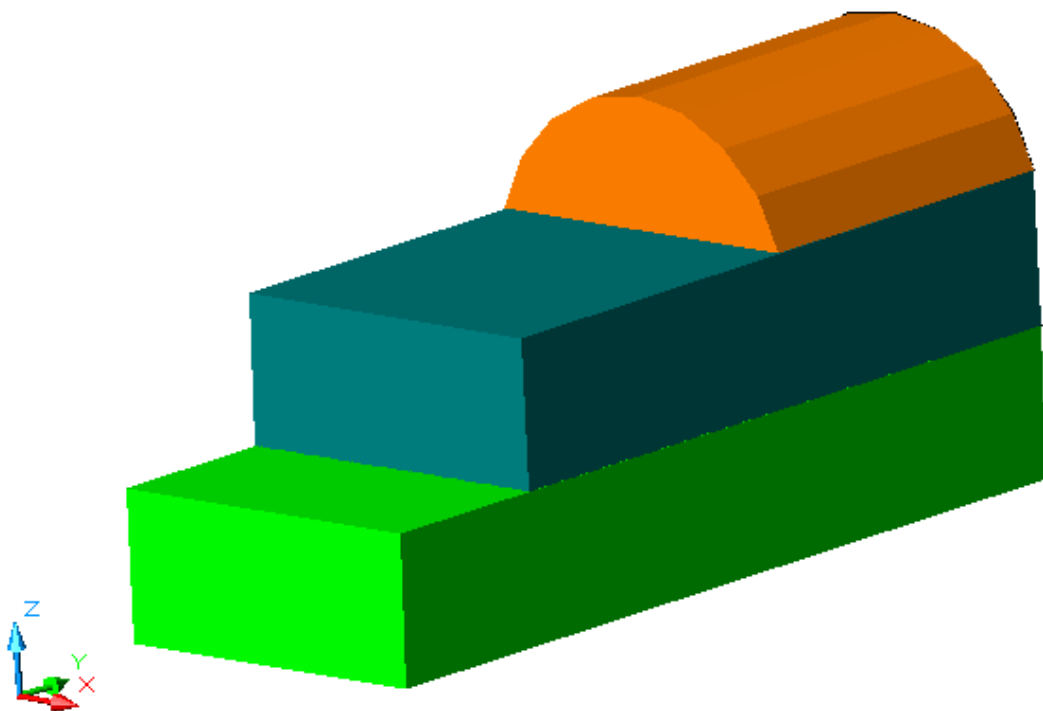
Η τμηματική εξόρυξη της διατομής, σε αντίθεση με την ολομέτωπη, μειώνει το ενεργό μέγεθος του ανοίγματος, και επιτυγχάνεται βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας. Έτσι, η εκσκαφή των υπόγειων θαλάμων θα πραγματοποιηθεί με την κλασική μέθοδο της διάτρησης και ανατίναξης (Εικόνα 6.6), σε τρεις φάσεις. η πρώτη φάση θα είναι η εκσκαφή του θόλου και θα ακολουθήσουν δύο βαθμίδες (Εικόνες 6.7, 6.8). Οι φάσεις εκσκαφής φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Γενικά η διάνοιξη θα ακολουθεί τα γνωστά στάδια της διάτρησης- γόμωσης- ανατίναξης, του ξεσκαρώματος, της αποκομιδής του εξορυγμένου προϊόντος και της υποστήριξης της εκσκαφής (ήλοι- εκτοξευόμενο σκυρόδεμα).



Εικόνα 6.6 Στάδια διάνοιξης υπογείων έργων με τη μέθοδο διάτρησης και ανατίναξης



Εικόνα 6.7 Φάσεις εκσκαφής των υπογείων θαλάμων



Εικόνα 6.8 Σχηματική απεικόνιση του βαθμίδων εκσκαφής των θαλάμων

- Εκσκαφή του θόλου

Σύμφωνα με τη γεωλογική και γεωτεχνική έρευνα για την περιοχή, το πέτρωμα κατατάσσεται στην κατηγορία II και θεωρείται καλής ποιότητας πέτρωμα. Επομένως είναι δυνατή η χρήση εκρηκτικών για την εκσκαφή και είναι εφικτή η προσβολή του άνω τμήματος (Α φάση- Θόλος) καθ' όλο το πλάτος της διατομής. Ωστόσο, αν η περαιτέρω έρευνα ή η επί τόπου παρακολούθηση των συνθηκών της βραχομάζας το απαιτήσουν, μπορεί η εκσκαφή του θόλου να χωριστεί σε δύο φάσεις : Αρχικά να διανοιχτεί μια διερευνητική στοά και στη συνέχεια να ολοκληρωθεί η διάνοιξη όλης της διατομής του θόλου.

Το μέτωπο της Α φάσης έχει πλάτος 18m, ύψος 7m και εμβαδόν διατομής 93m³. Η διάτρηση και ανατίναξη θα γίνει κατά μέτωπο χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη διάταξη των διατρημάτων. Για εμβαδόν διατομής 93m³ με πυκνότητα διάτρησης 1,29 προτείνεται διάνοιξη 120 διατρημάτων με διάμετρο 40mm. Το συνολικό μήκος της διάτρησης σε κάθε βήμα προχώρησης είναι 384m. Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ζελατινοδυναμίτιδα, 470kg σε κάθε βήμα προχώρησης. Ακολουθώντας ένα βήμα προχώρησης της τάξεως των 3 m (διάτρηση 3,2 m), σε κάθε ανατίναξη εξορύσσουμε 325,5 m³ (760 tn) πετρώματος.

- Β και Γ φάση

Οι Β και Γ φάσεις προτείνεται να γίνουν με κατακόρυφη διάτρηση για μεγαλύτερη ευκολία και μικρότερο κόστος. Τα δύο μέτωπα έχουν πλάτος 18m, ύψος 8m και εμβαδόν διατομής 144m². Ακολουθώντας ένα βήμα προχώρησης της τάξεως των 3 m σε κάθε ανατίναξη εξορύσσουμε 432 m³ (1175 tn) πετρώματος. Σε κάθε βήμα προχώρησης θα διανοίγονται 8 διατρήματα, διαμέτρου 45mm, και το συνολικό μήκος διάτρησης είναι 66m. Ενδείκνυται για μεγαλύτερη ευκολία η χρήση ANFO ως εκρηκτική ύλη για τις ανατινάξεις, 280kg σε κάθε βήμα προχώρησης.

6.1.8 Προτεινόμενη υποστήριξη

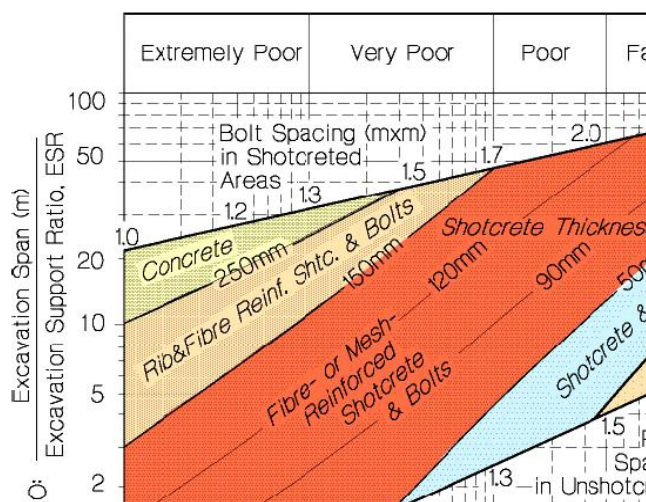
Ο συντελεστής ESR – εκτιμάται ανάλογα με τη χρήση της εκσκαφής και το συντελεστή ασφαλείας του έργου- για την κατασκευή υπόγειων δεξαμενών καυσίμου είναι ESR=1. Η ισοδύναμη διάσταση της εκσκαφής De δίνεται από τον τύπο :

$$De = \text{Άνοιγμα εκσκαφής} / \text{ESR}$$

Και για μέγιστη διάσταση του θαλάμου H= 23m είναι De=23m.

Επίσης έχει υπολογιστεί η τιμή του Q γύρω στο 10. Η υποστήριξη της εκσκαφής υπολογίζεται από το διάγραμμα της εικόνας 6.9.

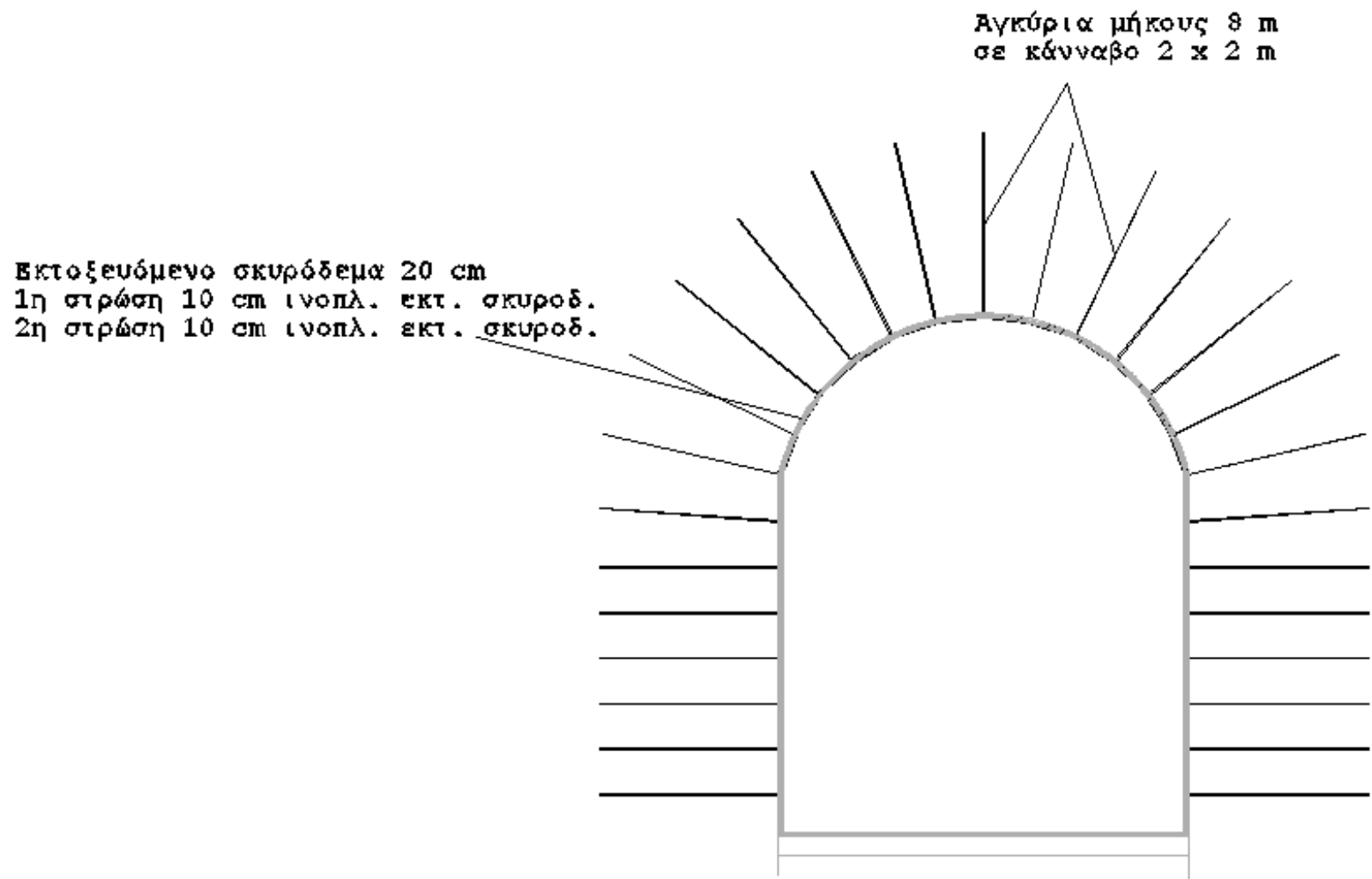
Με βάση το παρακάτω διάγραμμα, για την υποστήριξη της εκσκαφής προτείνεται η εκτόξευση ινοπλισμένου σκυροδέματος, πάχους 100 mm, στα τοιχώματα και την οροφή του θαλάμου, όπως και η τοποθέτηση αγκυρίων μήκους 8m σε κάναβο 2x2m.



Εικόνα 6.9 Διάγραμμα υπολογισμού της υποστήριξης υπογείων εκσκαφών βάση της κατάταξης της βραχομάζας κατά Q

Όπως έχει υπολογιστεί, ο δείκτης RMR κυμαίνεται μεταξύ 61 και 70. Το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως καλό. Σε αυτήν την περίπτωση η υποστήριξη της εκσκαφής πρέπει να ξεκινά 20m από το μέτωπο. Η υποστήριξη θα περιλαμβάνει αγκύρια μήκους 3 μέτρων τοπικά στην οροφή και σε απόσταση 2,5m και περιστασιακά χαλύβδινο πλέγμα. Τέλος, απαιτείται ψεκασμός εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 50mm στην οροφή.

Όπως, προκύπτει και από τα δύο συστήματα κατάταξης της βραχομάζας για την υποστήριξη των μεγάλων υπόγειων θαλάμων που σχεδιάζονται για την αποθήκευση πετρελαίου στην περιοχή των Πετρωτών, συνίσταται η τοποθέτηση αγκυρίων μήκους 8m σε κάναβο 2x2m στην οροφή σε συνδυασμό με τη τοποθέτηση δομικού πλέγματος. Επίσης για λόγους ευστάθειας απαιτείται η εκτόξευση ινοπλισμένου σκυροδέματος πάχους περίπου 200mm, σε δύο στρώσεις των 10cm, με περιεκτικότητα σε ίνες 40 kg/m³, στην οροφή και τα τοιχώματα (Εικόνα 6.10). Η υποστήριξη αυτή σχεδιάζεται ώστε να προκύπτει αυξημένος συντελεστής ασφαλείας. Κι αυτό λόγω της σχετικής αβεβαιότητας που υπάρχει για τα ακριβή χαρακτηριστικά της βραχομάζας από την έλλειψη ολοκληρωμένης μελέτης της περιοχής.



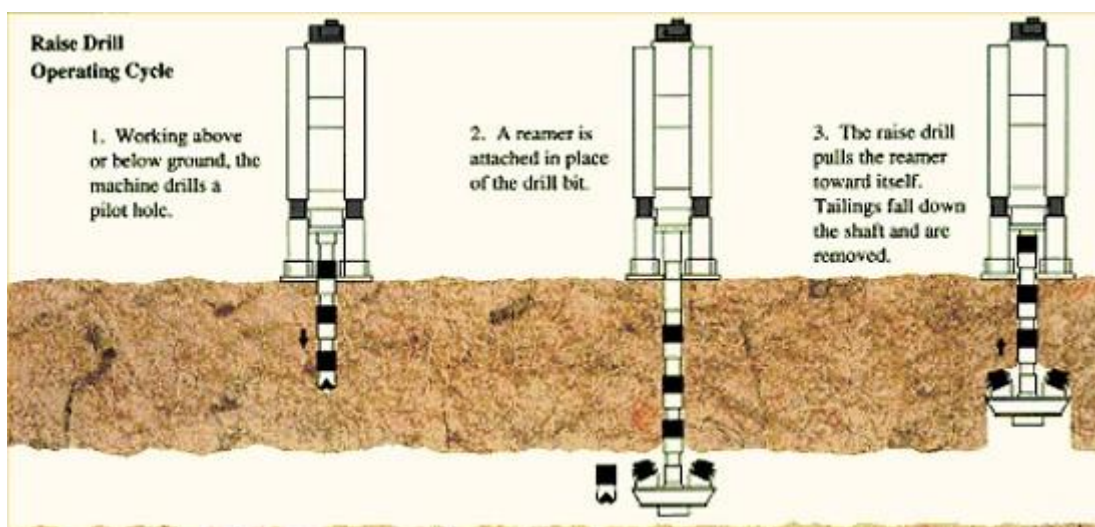
Εικόνα 6.10 Διατομή των θαλάμων με τα προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης

6.1.9 Διάνοιξη φρεάτων

Η διάνοιξη των φρεάτων προτείνεται να γίνει με τη μέθοδο “Raise boring” που παρουσιάζεται στην εικόνα 6.11.

Αρχικά διανοίγεται μια πιλοτική γεώτρηση. Στη θέση του κοπτικού άκρου μια κοπτική κεφαλή. Ο κοπτικός δίσκος περιστρέφεται και ταυτόχρονα έλκεται από το μηχάνημα που βρίσκεται στην επιφάνεια. Το θραυσμένο πέτρωμα πέφτει στη βάση του διανοιγμένου φρέατος.

Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγαλύτερος ρυθμός προχώρησης, λιγότερη διατάραξη του περιβάλλοντος πετρώματος, απασχόληση μικρότερου αριθμού εργατών, μικρότερο συνολικά κόστος και μεγαλύτερη ασφάλεια για το προσωπικό.



Εικόνα 6.11 Στάδια διάνοιξης φρέατος με τη μέθοδο “Raise Boring” (Atlas Corco)

6.1.10 Μηχανήματα διάτρησης, φόρτωσης και μεταφοράς

Για τα οριζόντια διατρήματα της Α φάσης (top heading) προτείνεται η χρήση διατρητικών Atlas Corco Boomer E3C ,της εικόνας 6.12 , με τρεις βραχίονες

διάτρησης και δύο επίπεδα εργασίας για διάνοιξη σηράγγων με διατομή έως και 137 m², καθώς και πλατφορμών γόμωσης Getman ANFO Charger. Ενώ, για τις φάσεις Β και Γ (benching) προτείνεται η χρήση διατρητικών Atlas Copco DM25-SP.

Η συνολική μάζα του εξορυσσόμενου πετρώματος σε κάθε ανατίναξη είναι 3627 τόνοι έτσι ενδείκνυται η χρήση φορτωτών υπογείων Atlas Copco Scooptram ST1520 (Εικόνα 6.13). Επίσης, προτείνεται η χρήση ξεσκαρωτών Atlas Copco Scaletec MC (Εικόνα 6.14) και διατρητικών κοχλίωσης Atlas Copco Boltec 235.



Εικόνα 6.12 Διατρητικό Atlas Copco Boomer E3C



Εικόνα 6.13 Φορτωτής υπογείων Atlas Copco Scooptram ST1520

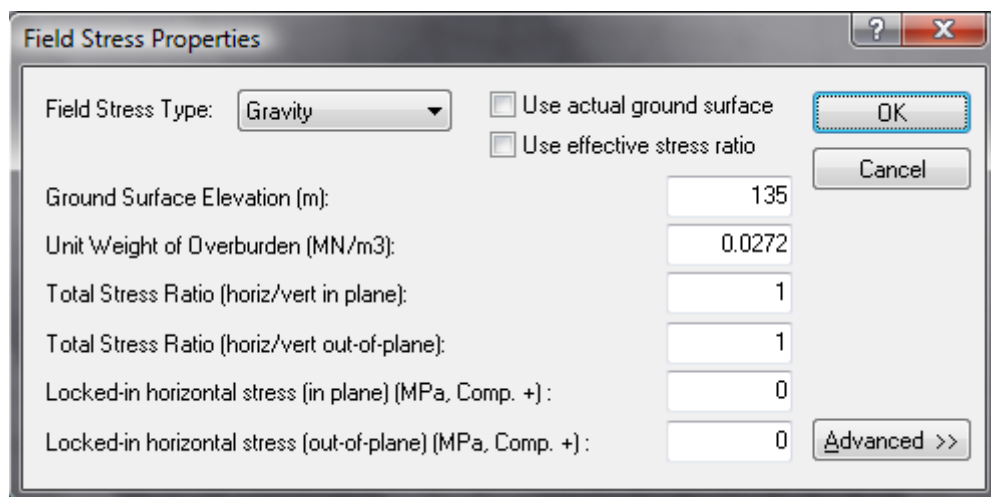


Εικόνα 6.14 Ξεσκαρωτής Atlas Copco Scaletec MC

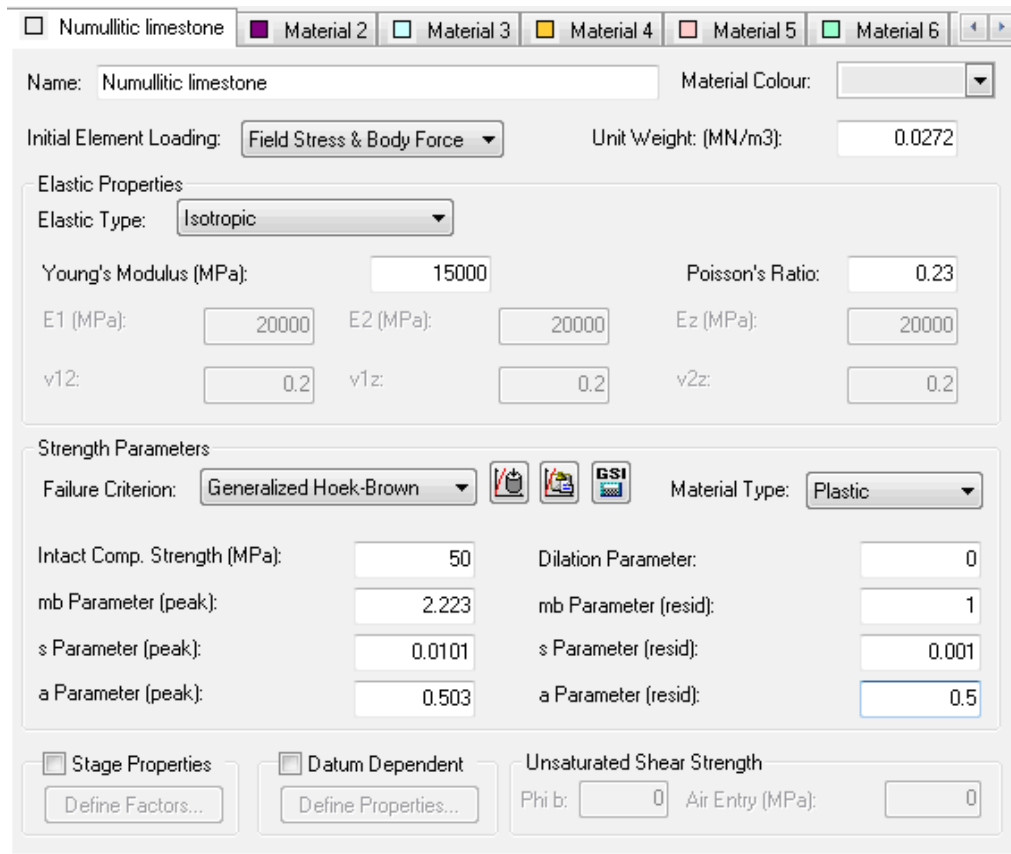
6.2 Έλεγχος ευστάθειας εκσκαφών με το πρόγραμμα Phase2

Το phase2 είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων το οποίο υπολογίζει τάσεις και παραμορφώσεις γύρω από υπόγειες εκσκαφές. Κατά την χρήση του προγράμματος εισήχθησαν τα παρακάτω δεδομένα:

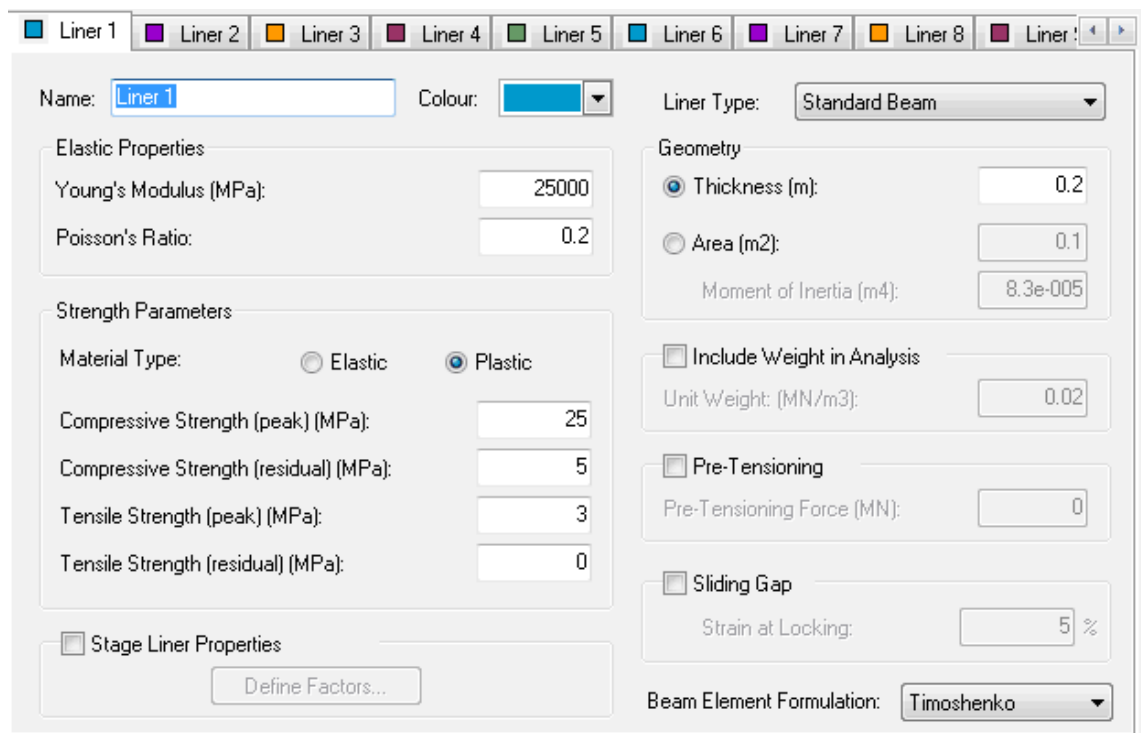
- Τα όρια εκσκαφών.
- Το ύψος των υπερκείμενων (130m)
- Το είδος του πετρώματος (νουμμουλιτικός ασβεστόλιθος) και τα χαρακτηριστικά του (Εικόνα 6.16):
 - Ειδικό βάρος ($0,0272 \text{ MN/m}^3$).
 - Λόγος Poisson ($\nu=0.23$).
 - Μέτρο ελαστικότητας (15 GPa).
 - Μοναξονική αντοχή (50 MPa).
- Το τασικό πεδίο της περιοχής ($K=1$ υδροστατικό) (Εικόνα 6.15).
- Τα χαρακτηριστικά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Εικόνα 6.17).
- Τα χαρακτηριστικά των αγκυρίων (Εικόνα 6.18).



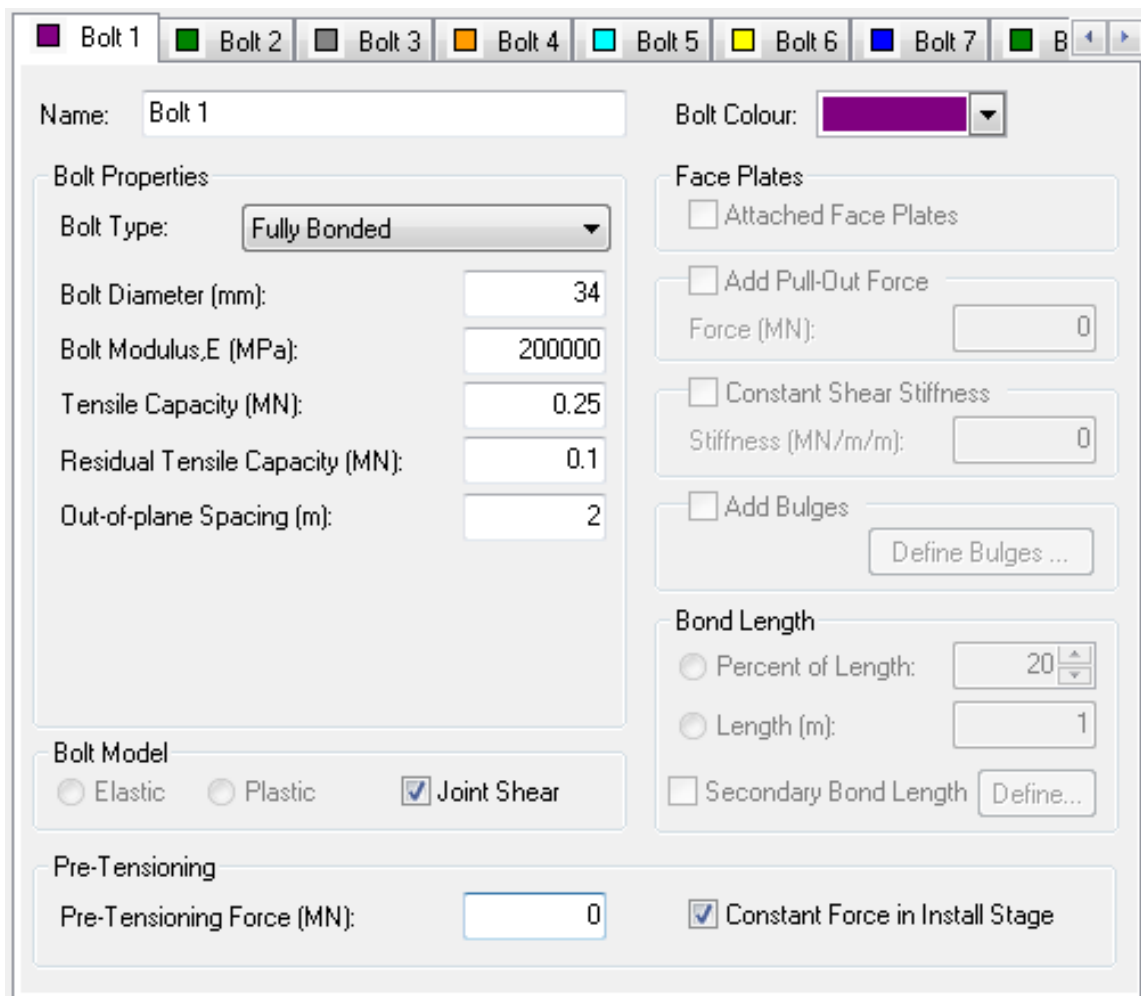
Εικόνα 6.15 Ενεργό παράθυρο phase2 με τις ιδιότητες του τασικού πεδίου.



Εικόνα 6.16 Ενεργό παράθυρο phase2 με τις ιδιότητες του πετρώματος.

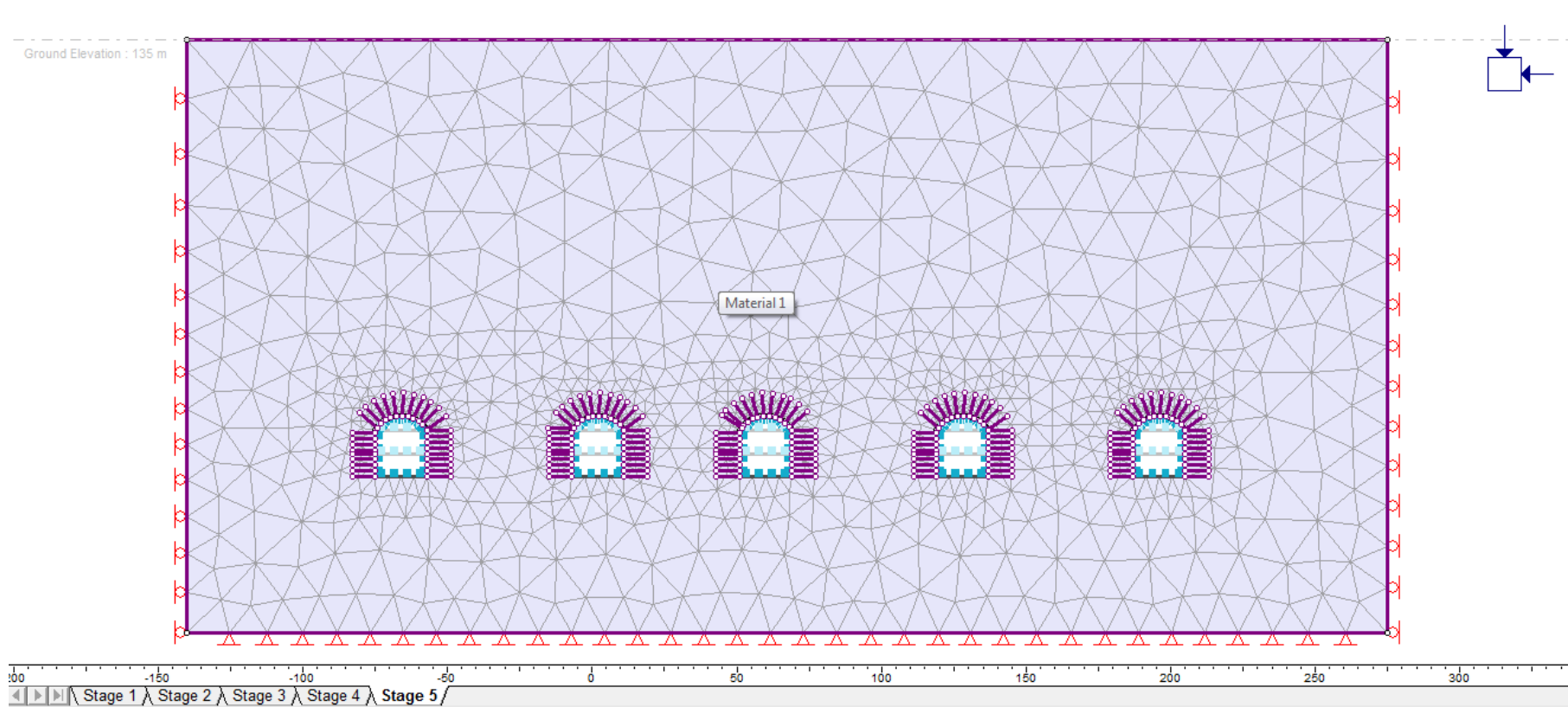


Εικόνα 6.17 Ενεργό παράθυρο phase2 με τις ιδιότητες του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.



Εικόνα 6.18 Ενεργό παράθυρο phase2 με τις ιδιότητες των αγκυρίων.

Κατά τη χρήση του προγράμματος σχεδιάστηκαν πέντε στάδια συνολικά για την ολοκλήρωση της εκσκαφής των θαλάμων. Στο πρώτο στάδιο δεν πραγματοποιείται καμία ενέργεια ενώ στο δεύτερο γίνεται η αποτόνωση των θόλων των θαλάμων, με ένα υλικό που έχει πολύ μικρότερο μέτρο ελαστικότητας από το περιβάλλον πέτρωμα των θαλάμων. Στο τρίτο στάδιο γίνεται η εκσκαφή και η τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης της Α' φάσης και ταυτόχρονα γίνεται η αποτόνωση της Β' φάσης. Αντίστοιχα συνεχίζονται και τα δύο τελευταία στάδια (Εικόνα 6.19).

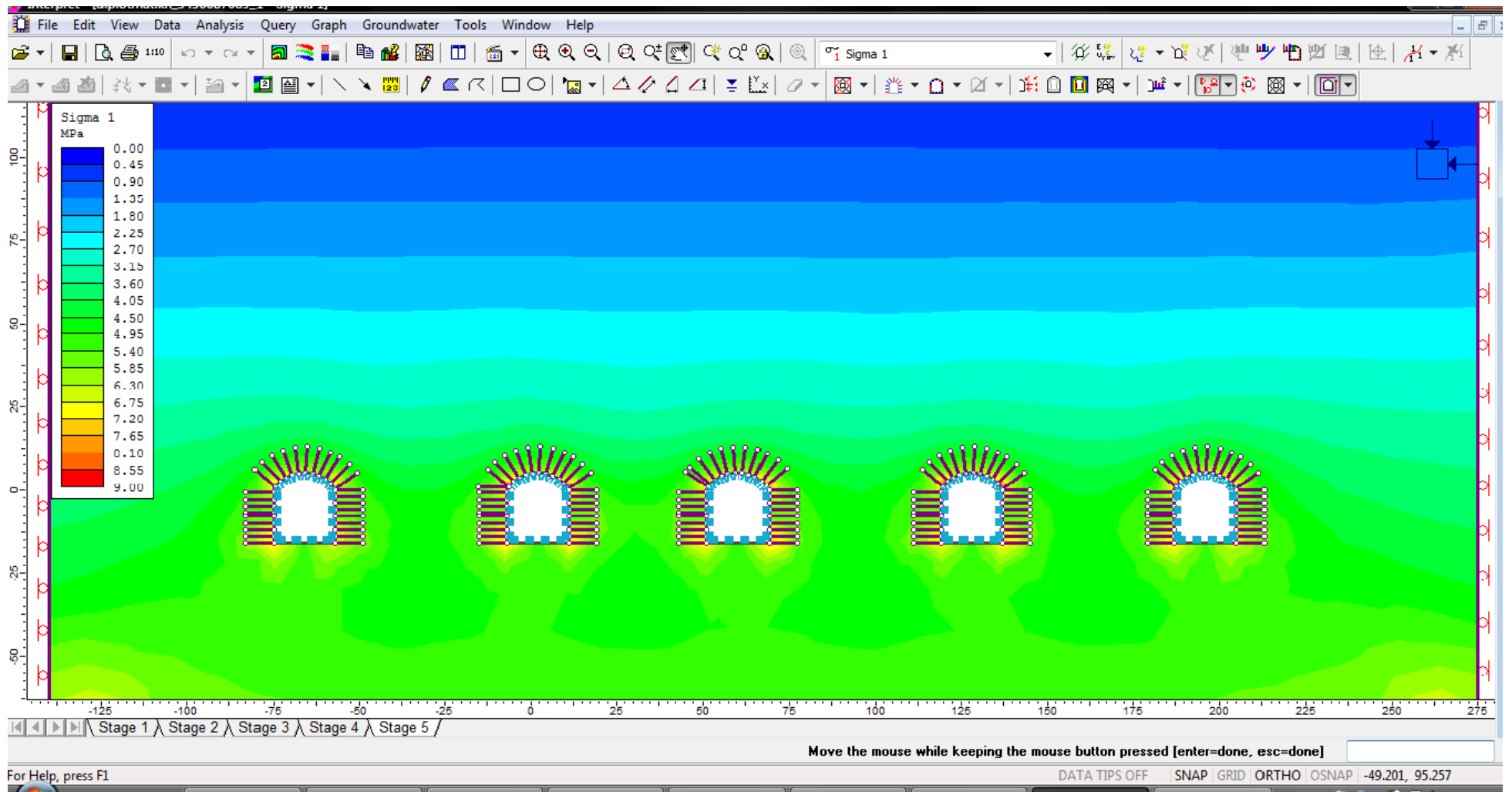


Εικόνα 6.19 Διάταξη θαλάμων στο πέμπτο στάδιο στο πρόγραμμα phase2

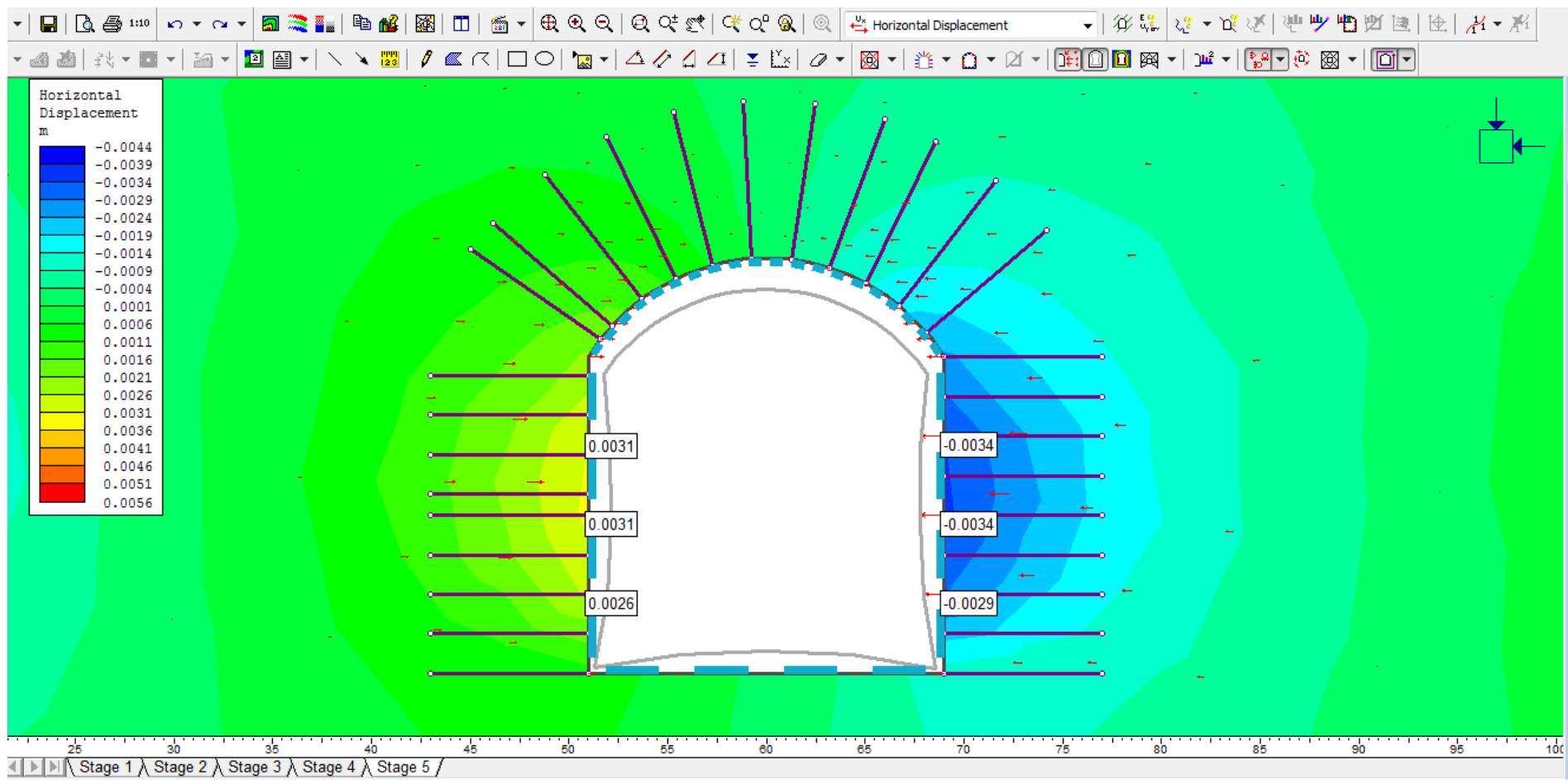
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το phase2, δεν αναμένεται να αντιμετωπιστούν ιδιαίτερα προβλήματα ευστάθειας κατά την κατασκευή των θαλάμων (Εικόνα 6.20). Οι μέγιστες παραμορφώσεις εμφανίζονται στα τοιχώματα των δύο ακραίων θαλάμων και είναι 0,0039m, ενώ στους υπόλοιπους θαλάμους οι παραμορφώσεις στα τοιχώματα είναι της τάξης των 0,0034m(Εικόνα 6.21). Στις οροφές των θαλάμων αναμένονται παραμορφώσεις που κυμαίνονται από 0,0044m έως 0,0027m ενώ στο δάπεδο αναμένονται παραμορφώσεις της τάξης των 0,0033m (Εικόνα 6.22). Όπως προκύπτει από την ανάλυση, δεν εμφανίζονται αστοχίες αγκυρίων ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Επίσης, πιθανές αστοχίες του πετρώματος είναι ιδιαίτερα περιορισμένες και εμφανίζονται στα άκρα του θόλου και του πυθμένα. Αυτό οφείλεται στην τοποθέτηση των θαλάμων σε σχετικά μικρό βάθος με λίγα υπερκείμενα κι έτσι δεν υπάρχει παρουσία υψηλών τάσεων.

Η απόσταση των 50 μέτρων μεταξύ των θαλάμων κρίνεται ικανοποιητική και ύστερα από την ανάλυση στο phase2.

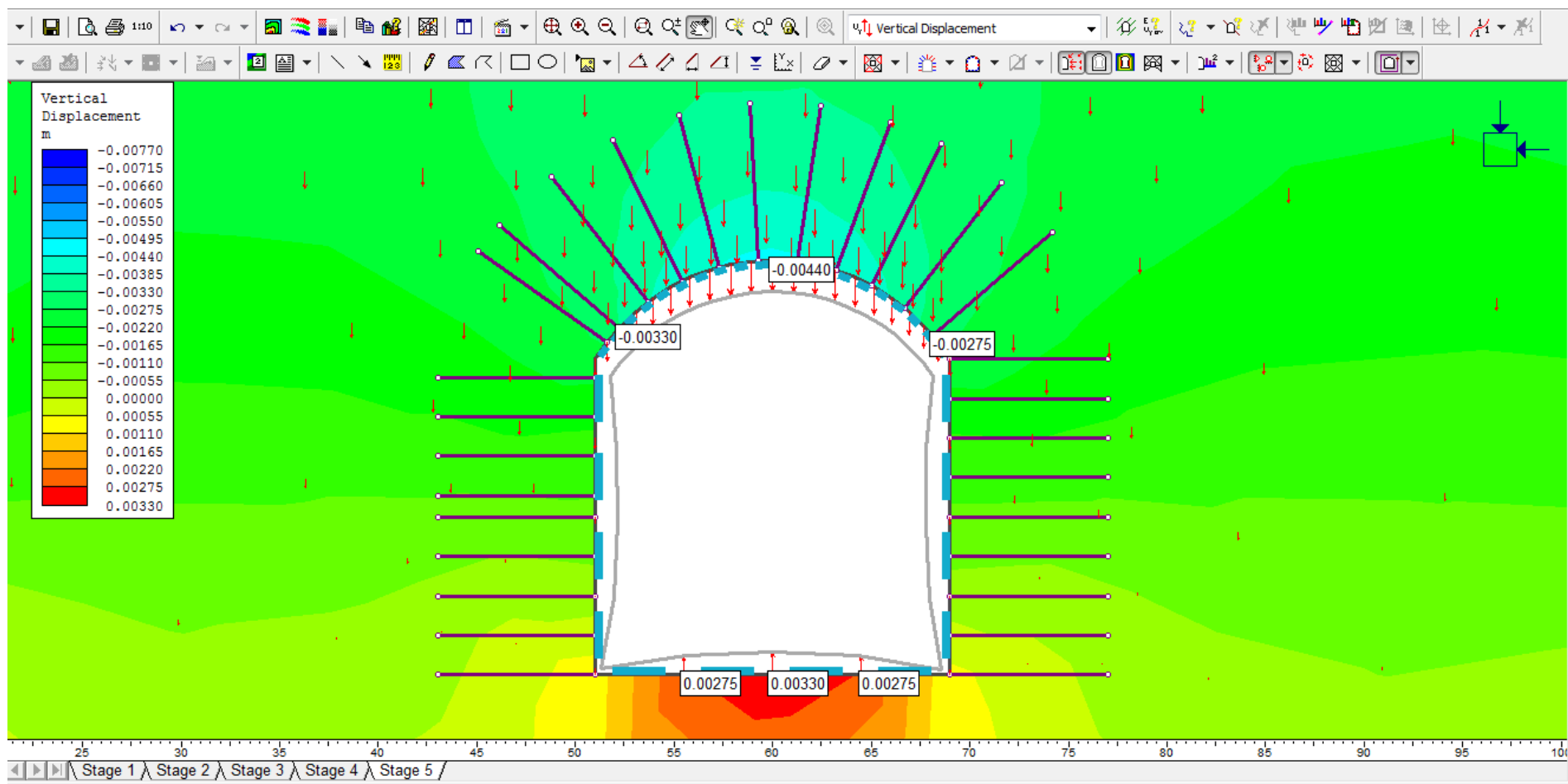
Πιθανά προβλήματα που ενδέχεται να αντιμετωπιστούν κατά την εκσκαφή των θαλάμων αφορούν κυρίως εισροές υδάτων, δημιουργία σφηνών και συνάντηση αποσαθρωμένων ζωνών. Σχετικά με τις ενδεχόμενες εισροές υδάτων, πέρα από τις αναμενόμενες και αναγκαίες για τη μετέπειτα λειτουργία των θαλάμων, πιθανώς να συναντηθούν περιοχές όπου το πέτρωμα να εμφανίζει μεγάλη υδροπερατότητα, κάποια καρστ πληρωμένα με νερό ή ακόμη και περιοχές με νερό υπό πίεση (λόγω γεωλογικής δομής και τάσεων). Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται η εισπίεση τσιμεντενέματος μπροστά από το μέτωπο για τη δημιουργία πιο σταθερού μετώπου, την πλήρωση μεγάλων σχισμών, ρωγμών και κενών και τη στεγάνωση του πετρώματος.



Εικόνα 6.20 Ανάλυση ευστάθειας των εκσκαφών με το πρόγραμμα Phase2



Εικόνα 6.21 Παραμορφώσεις που αναμένονται να παρατηρηθούν στις παρειές των εκσκαφών.



Εικόνα 6.22 Παραμορφώσεις που αναμένεται στην οροφή και το δάπεδο των θαλάμων.

Σχετικά με τη δημιουργία σφηνών στη στέψη ή και τα τοιχώματα της εκσκαφής από τις επιφάνειες των γεωλογικών ασυνεχειών και τα όρια του ανοίγματος, για να αποφευχθεί πτώση ή ολίσθηση απαιτείται ο εντοπισμός και η αγκύρωση τους. Από τη γεωτεχνική έρευνα που εκτελέστηκε στα πλαίσια ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος για τη βιώσιμη αξιοποίηση του σπηλαιίου «Πολύφημου» Μαρώνας και με βάση την οποία έγινε η ανάλυση δεν αναφέρονται στοιχεία σχετικά με τον αριθμό και τη διεύθυνση των ασυνεχειών. Έτσι, δεν κατέστη δυνατή η επεξεργασία αυτών των δεδομένων για τον εντοπισμό ενδεχόμενων σφηνών. Περαιτέρω έρευνα της περιοχής ή και επί τόπου παρατηρήσεις κατά την κατασκευή του έργου θα δώσουν περισσότερα στοιχεία για την κατάσταση της βραχομάζας και το τασικό πεδίο της περιοχής, που μπορεί να μεταβάλλουν σε κάποιο ποσοστό τα αποτελέσματα της έως τώρα ανάλυσης

6.3 Λειτουργία εγκαταστάσεων

6.3.1 Λειτουργικές επιλογές

Αφού το προϊόν προς αποθήκευση είναι αργό πετρέλαιο, θα κατασκευαστούν δεξαμενές με σταθερή στάθμη νερού. Πρόκειται για δεξαμενές στις οποίες η στάθμη του νερού παραμένει σταθερή με τη βοήθεια μιας ειδικής αντλίας που είναι τοποθετημένη στον πυθμένα της δεξαμενής, ενώ η στάθμη του αποθηκευμένου καυσίμου μεταβάλλεται.

Για λόγους ευελιξίας και καλύτερης συντήρησης θα πρέπει οι δεξαμενές να είναι κατά ένα ποσοστό αυτόνομες. Έτσι, επιλέγουμε την κατασκευή cross cut ανάμεσα στην πρώτη- δεύτερη και τρίτη- τέταρτη, ενώ η πέμπτη δεξαμενή θα είναι απόλυτα αυτόνομη. Απαιτείται λοιπόν η κατασκευή πέντε φρεάτων άντλησης, ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων, αφού σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης μίας αντλίας, οι ανάγκες άντλησης θα καλύπτονται από τις άλλες.

6.3.2 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός (ΗΜΕ) για την τροφοδοσία των υπόγειων δεξαμενών

■ Λιμενικές εγκαταστάσεις

Προβλέπεται η κατασκευή προβλήτας φορτοεκφόρτωσης που θα εξυπηρετεί αποκλειστικά τις υπόγειες εγκαταστάσεις. Η προβλήτα θα έχει σταθμούς εκφόρτωσης στους οποίους θα υπάρχει η δυνατότητα εκφόρτωσης αργού πετρελαίου. Πρόκειται για σημεία πάνω στην προβλήτα όπου θα υπάρχουν εύκαμπτοι σωλήνες που θα συνδέονται με τα δεξαμενόπλοια και θα οδηγούν το καύσιμο στους αγωγούς μεταφοράς προς τις υπόγειες δεξαμενές.

■ Αγωγοί μεταφοράς

Οι αγωγοί μεταφοράς θα εξυπηρετούν τη φόρτωση των δεξαμενόπλοιων με αργό πετρέλαιο από τις δεξαμενές για τη μεταφορά του στον προορισμό του. Προτείνεται η εγκατάσταση δυο αγωγών που θα καλύπτουν τη μεταφορά αργού πετρελαίου από τους υπόγειους θαλάμους στα δεξαμενόπλοια.

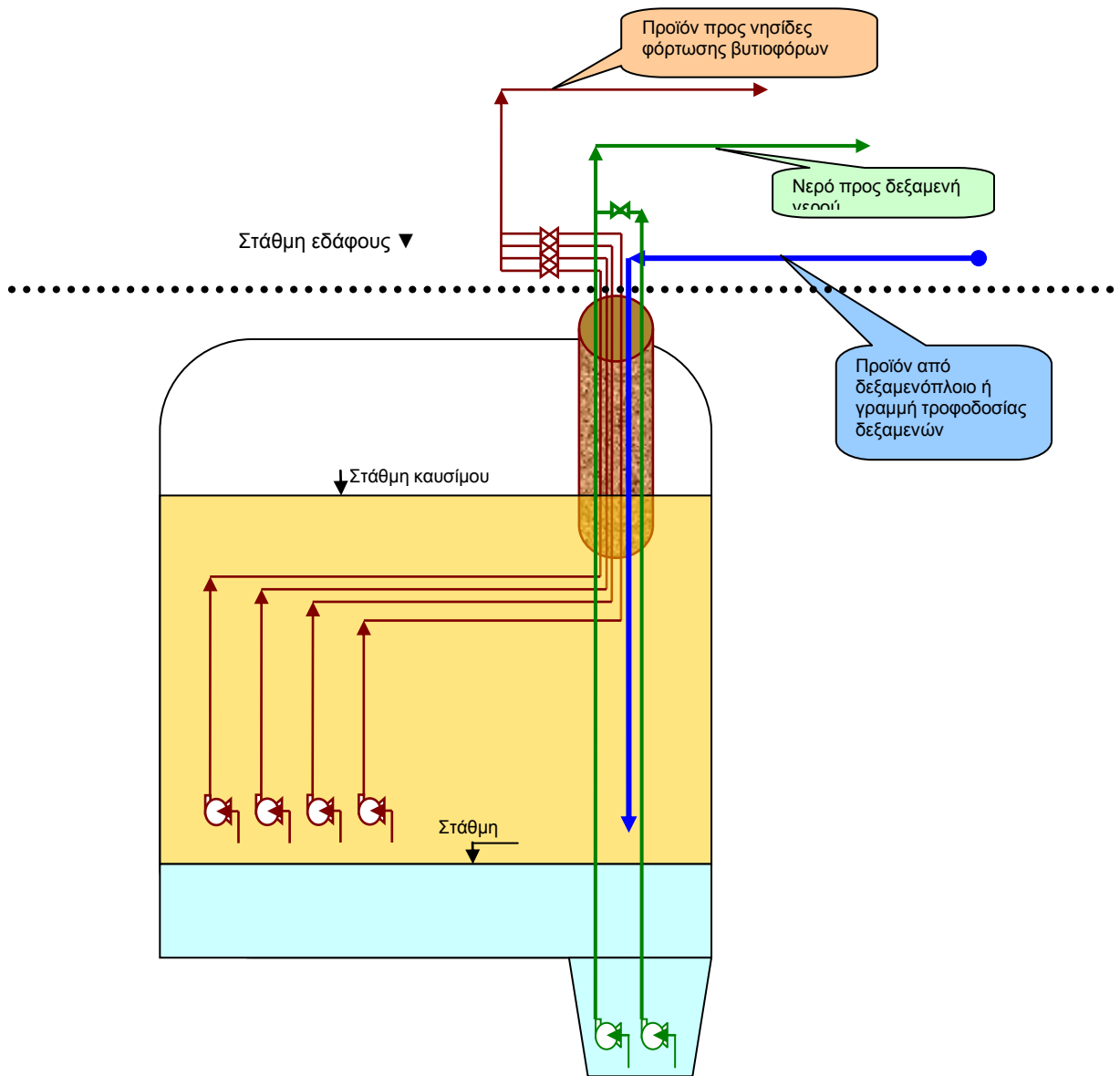
6.3.3 ΗΜΕ για τη λειτουργία των υπόγειων δεξαμενών

Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που αφορά στη λειτουργία των υπόγειων θαλάμων περιλαμβάνει:

- Εξοπλισμό για την εισαγωγή του πετρελαίου στους θαλάμους αποθήκευσης
- Εξοπλισμό για την παρακολούθηση της στάθμης νερού και καυσίμου μέσα στις δεξαμενές
- Εξοπλισμό για την απομάκρυνση νερού από τους θαλάμους

- Εξοπλισμό για την άντληση πετρελαίου από τους θαλάμους προς τα δεξαμενόπλοια

Γενικά το προς αποθήκευση καύσιμο πρέπει να εισέρχεται χαμηλά στη δεξαμενή αλλά πάνω από τη διεπιφάνεια νερού-καυσίμου. Η στάθμη του νερού θα παρακολουθείται συνεχώς με όργανα μέτρησης της άνω στάθμης της δεξαμενής. Τα όργανα αυτά θα μεταδίδουν τις πληροφορίες στο δωμάτιο ελέγχου που θα βρίσκεται στην περιοχή πάνω από τους θαλάμους. Το νερό που θα εισρέει από τον υδροφόρο μέσα από το περιβάλλον πέτρωμα θα συσσωρεύεται στον πυθμένα του κάθε θαλάμου. Το νερό αυτό θα πρέπει να απομακρύνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να μην ξεπερνάει μια προκαθορισμένη στάθμη μέσα στον κάθε θάλαμο. Η απομάκρυνση του θα γίνεται με εμβαπτιζόμενες αντλίες νερού. Η δυναμικότητα των αντλιών αυτών εξαρτάται από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και το περιβάλλον πέτρωμα. Το νερό θα καθαρίζεται πριν καταλήξει στην επιφάνεια και κατά συνέπεια στον υδροφόρο. Τέλος, η άντληση του αργού πετρελαίου από τους θαλάμους θα γίνεται με εμβαπτιζόμενες φυγοκεντρικές αντλίες. (Εικόνα 6.23)



Εικόνα 6.23 Τρόπος λειτουργίας υπογείου θαλάμου αποθήκευσης αργού πετρελαίου, σταθερής στάθμης νερού. (ΑΣΠΡΟΦΟΣ ΑΕ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

7.1 Υπολογισμός του κόστους κατασκευής των υπόγειων εγκαταστάσεων

Το συνολικό κόστος δημιουργίας ενός υπογείου συγκροτήματος αποθήκευσης αργού πετρελαίου περιλαμβάνει το κόστος κατασκευής των εγκαταστάσεων και το κόστος λειτουργίας που προκύπτει κατά την πλήρωση, την άντληση ή τη διατήρηση των αποθεμάτων. Στην παρούσα εργασία υπολογίζεται προσεγγιστικά μόνο το κόστος κατασκευής. Το συνολικό αυτό κόστος περιλαμβάνει τη διάνοιξη των θαλάμων και των υπόλοιπων βοηθητικών έργων (προσπέλαση, εγκάρσιες στοές, φρέατα, τεχνητός υδροφόρος κ.α.), τα διάφορα έργα υποδομής και διαμόρφωσης του χώρου, την τοποθέτηση των αντλιών και των σωλήνων μεταφοράς καθώς και διάφορα άλλα έξοδα όπως πυρόσβεσης και λοιπών ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.

Αποθηκευμένο προϊόν : **914.400 m³** (αργό πετρέλαιο)

Εκσκαφή: **957.115 m³**

Θάλαμοι: 914.400 m³ (μήκος: 480 μ – Α φάση: 93 m² /223.200 m³ –

Β,Γ φάση: 144 m²/ 345.600 m³)

Προσπελαστική στοά: 18.474 m³ (μήκος: 575m/ διατομή: 32,2m²)

Εγκάρσιες στοές: 7125 m³ (μήκος: 5*100=500m/ διατομή: 14,25m²)

Στοά τεχνητού υδροφόρου: 20.520 m³ (μήκος: 3*480=1440m/ διατομή: 14,25m²)

Φρέατα: 1750 m³ (μήκος: 5*37=185m/διατομή: 9,4m²)

Για το κόστος εκσκαφής συνυπολογίστηκαν τα έξοδα της κατασκευής του έργου, οι δαπάνες για το απαιτούμενο προσωπικό, όποια λοιπά έξοδα και οι συνολικές αποσβέσεις. Επίσης, ήταν απαραίτητη η μέριμνα για πιθανά απρόβλεπτα έξοδα, που αφορούν τα διατρήματα του τεχνητού υδροφόρου, πιθανές τσιμεντενώσεις, υπερεκσκαφές, στήριξη σφηνών και άλλες καθυστερήσεις και προβλήματα. Στον Πίνακα 7.1 φαίνονται οι τιμές για το κάθε στοιχείο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του κόστους.

Πίνακας 7.1 Κόστος εργασιών εκσκαφής ανά m³

Ανάλυση Κόστους Εκσκαφής	A φάση (€ / m³)	B, Γ φάση (€ / m³)	Προσπελαστική (€ / m³)	Υδροφορέας (€ / m³)
Δαπάνες κατασκευής χώρου				
→ Κόστος διάτρησης	0,7	0,3	0,93	2,3
→ Κόστος υποστήριξης	11,12	4,8	17,3	14,6
→ Κόστος γόμωσης – πυροδότησης	4,4	0,6	6,9	6,13
→ Κόστος φόρτωσης– μεταφοράς	2,7	2,5	3,8	3,4
→ Κόστος αερισμού	5,2	3,3	0,4	0,6
Δαπάνες προσωπικού	13	9,3	12,7	16,3
Λοιπά έξοδα	0,87	0,87	0,87	0,87
Απόσβεση κεφαλαίου	1,3	0,8	5,9	16,1
Απρόβλεπτα έξοδα (15%)	5,7	3,3	7,4	5
Συνολικό Κόστος Εκσκαφής	44,99	25,7	56,92	38,33

Τα υπόλοιπα έξοδα υπολογίστηκαν με βάση τα στοιχεία από την «Προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας για τη δημιουργία υπόγειων χώρων αποθήκευσης υδρογονανθράκων» της τεχνικής εταιρείας ΑΣΠΡΟΦΟΣ ΑΕ (11/06/2003). Επειδή η μελέτη αφορούσε τη δημιουργία υπόγειων χώρων αποθήκευσης δυναμικότητας 200.000m³, η σύγκριση κόστους θα γίνει με αναγωγή στα 914.400 m³.

Πιο συγκεκριμένα, η αγορά κάποιων εκτάσεων για την τοποθέτηση διαφόρων κτιρίων διοίκησης, ελέγχου και άλλων επιφανειακών εγκαταστάσεων, εκτιμήθηκε στα 5.000.000€. Τιμές που αφορούν στη διαμόρφωση του χώρου, τη δημιουργία δρόμων, την κατασκευή των κτιρίων αλλά και διάφορα άλλα έξοδα όπως η πυρόσβεση και διάφορες Η/Μ εγκαταστάσεις, υπολογίστηκαν βάσει των τιμών της ΑΣΠΡΟΦΟΣ ΑΕ, με αναγωγή στα 914.400 m³ αποθηκευμένου προϊόντος. Στον υπολογισμό του κόστους δεν περιλαμβάνεται το εργολαβικό όφελος και οι τιμές λαμβάνονται χωρίς το Φόρο Προστιθέμενης Αξίας.

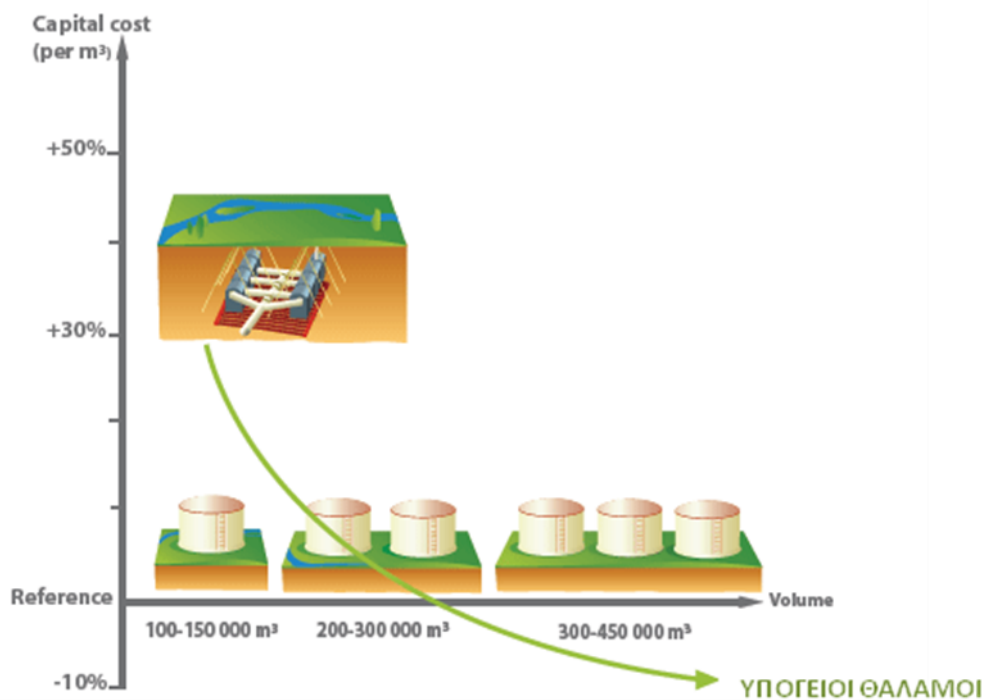
Στον Πίνακα 7.2 δίνεται εκτός από το συνολικό κόστος και το κόστος ανά m³ εξορυγμένου πετρώματος

Πίνακας 7.2 Υπολογισμός κόστους κατασκευής του υπογείου συγκροτήματος

ΕΡΓΟ	ΚΟΣΤΟΣ €/m ³	Συνολικό (€)
Προσπελαστική στοά	56,92	1.178.244
Εγκάρσιες στοές	38,33	217.854
Στοά τεχνητού υδροφορέα	38,33	883.123
Θάλαμοι	100,1	28.345.488
Φρέατα	526,3 (~1000€/m)	97.368
Σύνολο	752,98	30.722.077
Διάφορα (15%)	112,94	4.608.311
Κατασκευή Υπογείων Εγκαταστάσεων		35.330.389
Διαμόρφωση οικοπέδου		499.400
Δρόμοι		1.407.400
Κτίρια		1.589.000
Σύνολο (Έργα πολιτικού μηχανικού)		38.826.189
Αντλίες		5.075.280
Σωλήνες μεταφοράς		5.280.000
Πυρόσβεση		2.226.000
Λοιπές Η/Μ εγκαταστάσεις κυρίως στα φρέατα άντλησης		6.700.000
Σύνολο Η/Μ		19.281.280
Κόστος κατασκευής		58.107.469
Μελέτες (10%)		5.810.746
Σύνολο		63.918.215
Απρόβλεπτα (15%)		9.587.732
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ		73.505.948
Αγορά οικοπέδου		5.000.000
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ		78.500.000

7.2 Σύγκριση κόστους κατασκευής του υπογείου συγκροτήματος αποθήκευσης αργού πετρελαίου με το κόστος επιφανειακών εγκαταστάσεων αντίστοιχης δυναμικότητας

Στο παρακάτω συγκριτικό διάγραμμα (Εικόνα 7.1) κόστους μεταξύ υπόγειας και επιφανειακής αποθήκευσης υδρογονανθράκων, είναι σαφής η οικονομικότητα των υπόγειων δεξαμενών για χωρητικότητες μεγαλύτερες των 150.000 m³.



Εικόνα 7.1 Συγκριτικό διάγραμμα κόστους επιφανειακής - υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων(Geostock)

Ένας άλλος βασικός παράγοντας στη γενική θεώρηση του κόστους είναι το περιβαλλοντικό κόστος, το οποίο είναι βασικό στην περίπτωση κατασκευής δεξαμενών κοντά σε αστικές περιοχές. Με βάση το περιβαλλοντικό κόστος, που είναι σαφώς δυσμενέστερο για τις επιφανειακές εγκαταστάσεις, είναι σαφής η υπεροχή των υπόγειων δεξαμενών καυσίμων.

Για καλύτερη διερεύνηση μεταξύ του κόστους επιφανειακής και υπεδαφικής αποθήκευσης υδρογονανθράκων, παρουσιάζεται ο ακόλουθος συγκριτικός πίνακας. Αφορά στη σύγκριση του κόστους του υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης πετρελαίου που σχεδιάζεται με το κόστος επιφανειακών εγκαταστάσεων αντίστοιχης δυναμικότητας. Για τον υπολογισμό του κόστους των επιφανειακών εγκαταστάσεων ελήφθησαν στοιχεία από τη μελέτη στην ΑΣΠΡΟΦΟΣ ΑΕ για την μετεγκατάσταση των δεξαμενών του Περάματος, σε νέες επιφανειακές εγκαταστάσεις σε άλλη περιοχή.

Πίνακας 7.3 Συγκριτικός πίνακας κόστους κατασκευής υπογείων και επιφανειακών εγκαταστάσεων αποθήκευσης πετρελαίου

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ (€)	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ (€)
Διαμόρφωση οικοπέδου	499.400	6.500.000
Δρόμοι	1.407.400	15.000.000
Κτίρια	1.589.000	23.000.000
Κατασκευή δεξαμενών	35.330.389	48.000.000
Έργα Πολιτικού Μηχανικού	38.826.189	92.500.000
Αντλίες, σωληνώσεις	10.355.280	40.000.000
Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις	6.700.000	9.500.000
Δίκτυο πυρόσβεσης	2.226.000	4.800.000
Σύνολο Η/Μ	19.281.280	54.300.000
Κόστος κατασκευής	58.107.469	150.000.000
Μελέτες (10%)	5.810.746	15.000.000
Σύνολο	63.918.215	165.000.000
Απρόβλεπτα (15%)	9.587.732	25.000.000
Συνολικό κατασκευαστικό κόστος	73.505.948	190.000.000
Αγορά οικοπέδου	5.000.000	50.000.000
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	78.500.000	240.000.000

Από τον πίνακα 7.3 προκύπτει ότι η αποθήκευση των αποθεμάτων πετρελαίου σε επιφανειακές δεξαμενές κοστίζει 3 φορές από ότι σε ένα συγκρότημα υπόγειων

θαλάμων. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ακόμα και η κατασκευή των δεξαμενών κοστίζει λιγότερο για τις υπόγειες δεξαμενές και προσθέτοντας τη διαμόρφωση του οικοπέδου, των δρόμων και των κτιρίων το κόστος του πολιτικού μηχανικού γίνεται σχεδόν τριπλάσιο. Επίσης πολύ μεγάλη διαφορά υπάρχει και στη δέσμευση του οικοπέδου καθώς και στον Η/Μ εξοπλισμό.

Μια άλλη παράμετρος που δεν έχει ληφθεί υπόψη είναι η διαχείριση των παραγόμενων αδρανών από την εξόρυξη. Η πιο συμφέρουσα λύση είναι η πώληση τους. Με μια μέση τιμή πώλησης αδρανών της τάξης των 5€/tn, υπολογίζεται ένα κέρδος της τάξης των 12,5 εκ.€. Στα υπέρ της πώλησης των αδρανών συγκαταλέγεται και η αποφυγή της μεταφοράς τους σε άλλο μέρος, που στοιχίζει περίπου 0,12€ το τονοχιλιόμετρο.

7.3 Εκτίμηση του χρόνου κατασκευής του υπόγειου συγκροτήματος

Στον πίνακα 7.4 φαίνεται ο χρόνος που διαρκεί ο κάθε κύκλος εργασίας για κάθε διατομή ή φάση εκσκαφής. Προσεγγιστικά μπορεί να θεωρηθεί ότι για την εκσκαφή της προσπελαστικής στοάς (6x6), των εγκάρσιων στοών και των στοών τεχνητού υδροφόρου (4x4), ο κάθε κύκλος εργασίας διαρκεί 8 ώρες, οπότε με δύο βάρδιες την ημέρα επιτυγχάνεται βήμα προχώρησης $2 \times 3,5 = 7\text{m}$. Κατά τη διάνοιξη των θαλάμων εκτιμάται ότι σε κάθε φάση, ο κύκλος εργασίας ολοκληρώνεται σε δύο βάρδιες (3,5m/ημέρα).

Πίνακας 7.4 Διάρκεια κύκλου εργασίας για κάθε μέτωπο

	Προσπελαστική	Υδροφορέας	A	B,Γ
Όρυξη Διατρ.				
Ρυθμός Διάτρησης (m/min)	1,4	1,4	1,4	1,4
Σύνολο όρυξης (min)	91	71	180	240
Όρυξη Διατρ. Κοχλιών				
Ρυθμός Διάτρησης (m/min)	1,4	1,4	1,4	1,4
Σύνολο όρυξης (min)	160	72	150	240
Ξεσκάρωμα (min)	20	20	30	30
Εκτοξ. Σκυρόδεμα (min)	40	20	60	100
Γόμωση				
Ρυθμός γόμωσης (min/διατρ)	2	2	2	2
	30	20	90	60
Ανατίναξη (min)	30	30	30	30
Αποκομιδή (min)	60	30	150	250
Διάφορα (min)	20	20	20	20
Σύνολο (min)	450	280	710	970
Σύνολο (ώρες)	7,5	4,5	12	16

Επίσης, κατά τον υπολογισμό του χρόνου ολοκλήρωσης κάθε τμήματος του υπογείου συγκροτήματος, αυξάνεται ο χρόνος κατά 15% για να συμπεριληφθούν σε αυτόν τυχόν καθυστερήσεις. Έτσι, για παράδειγμα, τα 1205 μέτρα της

προσπελαστικής στοάς ενώ θα έπρεπε να διανοιχτούν σε 60 μέρες (7m/μέρα), θεωρείται ότι θα ολοκληρωθεί η διάνοιξη της σε 84 μέρες λαμβάνοντας υπόψη τις καθυστερήσεις και τις αργίες που αντιστοιχούν. Σημαντικό παράγοντα παίζει και η αλληλουχία των διανοίξεων. Για παράδειγμα η εκσκαφή της πρώτης φάσης δεν μπορεί να ξεκινήσει αν δεν έχουν ολοκληρωθεί τα πρώτα 1000 μέτρα της προσπελαστικής στοάς καθώς και η πρώτη εγκάρσια στοά. Κατά τον τρόπο αυτό, ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου υπολογίζεται γύρω στους 21 μήνες, όπως φαίνεται και στο χρονοδιάγραμμα της εικόνας 7.2 που ακολουθεί.

Εργασία	Ημέρες	Ημέρες (+15%)	Ημέρες (+αργίες)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33				
Διαμόρφωση χώρου	60	69	84	■																																				
Προσπελαστική στοά	180	207	255			■																																		
Στοά τεχνητού υδροφορέα	135	155	195								■																													
A φάση	480	552	626										■																											
B φάση	480	552	626											■																										
Γ φάση	480	552	626											■																										
1 ^η εγκάρσια	15	18	22								■																													
2 ^η εγκάρσια	15	18	22											■																										
3 ^η εγκάρσια	15	18	22															■																						
4 ^η εγκάρσια	15	18	22																		■																			
Φρέατα	40	46	56																							■														
Σύνδεση εγκαταστάσεων	60	69	84																																		■			

Εικόνα 7.2 Χρονοδιάγραμμα εργασιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με τη διερεύνηση της δυνατότητας δημιουργίας ενός υπόγειου συγκροτήματος για την αποθήκευση των αποθεμάτων πετρελαίου που θα μεταφέρει ο αγωγός Μπουργκάς – Αλεξανδρούπολη, το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων και την εξέταση του εγχειρήματος από οικονομικής πλευράς. Στόχος της εργασίας ήταν η ανάδειξη της υπεδαφικής αποθήκευσης των αποθεμάτων ως μία αξιόπιστη εναλλακτική λύση έναντι των επιφανειακών μεταλλικών δεξαμενών αποθήκευσης που σχεδιάζεται.

Η δημιουργία υπεδαφικών δεξαμενών αποθήκευσης πετρελαίου είναι στρατηγικής σημασίας και έχει πολλά πλεονεκτήματα που το καταδεικνύουν. Με βασικότερα, τις μειωμένες απαιτήσεις για επιφανειακές εκτάσεις, που με την αστική ανάπτυξη είναι δύσκολο να βρεθούν, και το κόστος κατασκευής των υπόγειων δεξαμενών χωρητικότητας μεγαλύτερης των 100.000 m³, είναι τουλάχιστον συγκρίσιμο με τις επιφανειακές δεξαμενές. Σημαντικό ρόλο παίζει και το περιβαλλοντικό όφελος, καθώς εκμηδενίζονται οι διαρροές του προϊόντος και η πιθανότητα πυρκαγιάς.

Για το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα AutoCAD, Phase2 και RocLab.

Ο τερματικός σταθμός του αγωγού Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη συγκεντρώνει όλες τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου. Η ανάγκη για δεξαμενές αποθήκευσης πετρελαίου μεγάλης δυναμικότητας και η δυσχέρεια εύρεσης χωροθέτησης των εγκαταστάσεων, κυρίως λόγω των αντιδράσεων τοπικών και μη οργανώσεων, καθιστά την εφαρμογή της μεθόδου ως μία ικανοποιητική λύση.

Για την αποθήκευση στον υπόγειο χώρο του αργού πετρελαίου που θα μεταφέρεται σχεδιάστηκε η κατασκευή πέντε παράλληλων μεταξύ τους θαλάμων συνολικής αποθηκευτικής ικανότητας 914.400m³.

Η τοποθεσία που επελέγη για την κατασκευή είναι στο ακρωτήριο του Πύργου στα Πετρωτά, στο νομό Ροδόπης και βρίσκεται 21 χλμ δυτικά της Αλεξανδρούπολης. Η τοποθεσία αυτή δομείται από νουμμουλιτικό ασβεστόλιθο, πέτρωμα που αρχικά δείχνει να ευνοεί την κατασκευή ενός τέτοιου έργου. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και η γεωτεχνική έρευνα με την κατάταξη της βραχομάζας (μέτρια προς καλή, κατά Q και RMR) καθώς και η ανάλυση της ευστάθειας των εκσκαφών με τη βοήθεια του προγράμματος Phase2. Προκύπτει λοιπόν ότι η κατασκευή ενός τέτοιου έργου είναι τεχνικά εφικτή.

Από τον αναλυτικό υπολογισμό του κόστους κατασκευής του υπόγειου συγκροτήματος προέκυψε προσεγγιστικά η τιμή των 80 εκ.€. Ταυτόχρονα έγινε εκτίμηση του κόστους κατασκευής επιφανειακών εγκαταστάσεων αντίστοιχης δυναμικότητας και αυτό εκτιμήθηκε στα 240 εκ.€. Προκύπτει δηλαδή μια αναλογία 3:1 που δείχνει ότι η υπεδαφική αποθήκευση είναι μια οικονομικά βιώσιμη λύση. Και αυτό, χωρίς να συνυπολογιστεί το υψηλό περιβαλλοντικό όφελος των υπόγειων εγκαταστάσεων και την προοπτική της εκμετάλλευσης του εξορυγμένου υλικού κατά την εκσκαφή, ως αδρανή.

Επίσης, η εφαρμογή της μεθόδου μπορεί εκτός από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, να επιφέρει την αποδοχή του αγωγού και των εγκαταστάσεων αποθήκευσης και από την τοπική κοινή γνώμη.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η αποθήκευση των αποθεμάτων του αγωγού σε υπόγειους θαλάμους είναι όχι μόνο εφικτή κατασκευαστικά και αποδεκτή περιβαλλοντικά, αλλά και συμφέρουσα οικονομικά. Θα πρέπει πάντως να προχωρήσει περαιτέρω η γεωτεχνική διερεύνηση της περιοχής σχεδιασμού του έργου, ώστε να προκύψουν πιο αναλυτικά στοιχεία και δεδομένα που θα βοηθήσουν στην πρόβλεψη με μεγαλύτερη ακρίβεια των συνθηκών διάνοιξης.

Τέλος, η πρόταση για τη δημιουργία υπόγειων δεξαμενών αποθήκευσης πετρελαίου στον τερματικό σταθμό του αγωγού Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολη, φέρνει μια νέα δυναμική στα σημερινά δεδομένα αποθήκευσης πετρελαιοειδών και στην εκμετάλλευση του υπόγειου χώρου στην Ελλάδα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Barton N., Lien R., Lunde J., "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support", *Rock Mechanics*, 1974

Barton N. "The influence of joint properties in modelling jointed rock masses". Keynote Lecture, 8th Congress of ISRM, Tokyo, vol. 3. Rotterdam: Balkema, 1995.

A.G. Benardos, D.C. Kaliampakos, "Hydrocarbon storage in unlined rock caverns in Greek limestone", *Tunnelling and Underground Space Technology* 20 (2005)

P. Bérest, "Accidents in underground oil and gas storages: case histories and prevention", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 5, Issue 4, 1990

Bieniawski ZT. "Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering". New York: Wiley, 1989,

Bieniawski ZT. "Determining rock mass deformability: experience from case histories". *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1978

Bieniawski ZT., W. L. Van Heerden, "The Significance of *In Situ* Tests on Large Rock Specimens", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol. 12, 1975

Einar Broch, Arne M. Myrvang, Gisle Stjern, "Support of large rock caverns in Norway", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 11, Issue 1, January 1996

Per-Anders Daerga, Ivar Sagefors, "An excavation method for large vertical cylindrical caverns", *Tunneling and Underground Space Technology*, Volume 11, Issue 3, 1996

Catrin Edelbro, Jonny Sjöberg, Erling Nordlund, "A quantitative comparison of strength criteria for hard rock masses", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 22, Issue 1, 2007

Syver Froise, "Hydrocarbon storage in unlined rock caverns: Norway's use and experience." *Tunneling and Underground Space Technology*, Volume 2, Issue 3, 1987

Anja Haug, John E. Huber, Patrick R. Onck, Erik Van der Giessen, "Multi-grain analysis versus self-consistent estimates of ferroelectric polycrystals", *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Volume 55, Issue 3, March 2007

E. Hoek, E.T. Brown, "Practical estimates of rock mass strength", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Volume 34, Issue 8, December 1997

E. Hoek, P.G. Marinos, V.P. Marinos, "Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Volume 42, Issue 2, February 2005

Kaiser P.K., 1986, General Report. *Proc. of Int. Symp.on Large Rock Caverns, Helsinki, Finland, Vol. 3, pp.1877-1907.*

Shinji Kiyoyama, "The present state of underground crude oil storage technology in Japan", *Tunneling and Underground Space Technology*, Volume 5, Issue 4, 1990

H. Kjørholt, E. Broch, "The water curtain—a successful means of preventing gas leakage from high-pressure, unlined rock caverns", *Tunneling and Underground Space Technology*, Volume 7, Issue 2, April 1992

Chung-In Lee, Jae-Joon Song, "Rock engineering in underground energy storage in Korea", *Tunneling and Underground Space Technology*, Volume 18, Issue 5, November 2003

Carl-Olof Morfeldt "STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS IN MAN-MADE CAVERNS IN SWEDEN", BULLETIN of the International Association of ENGINEERING GEOLOGY No 28 PARIS, 1983

Emma Nygren, Kjell Aleklett, Mikael Höök, "Aviation fuel and future oil production scenarios", *Energy Policy*, Volume 37, Issue 10, October 2009

Sagefors I., Svemar C., Modern Design for Storing Oil and Liquefied Gas in Underground Rock Caverns, *Proc. of Int. Symp. on Large Rock Caverns, Helsinki, Finland, Vol. 1, pp. 597-608.*

R. Selmer-Olsen, T.L. Brekke, "Stability problems in underground constructions caused by montmorillonite-carrying joints and faults", *Engineering Geology*, Volume 1, Issue 1, August 1965

Robert Sturk, Håkan Stille, "Design and excavation of rock caverns for fuel storage—a case study from Zimbabwe", *Tunneling and Underground Space Technology*, Volume 10, Issue 2, April 1995

Tsakiris T., "Resolving The Bosphorus Conundrum: Caspian Oil Geopolitics After The Initializing Of The Burgas-Alexandroupolis Pipeline", *Pipeline & Gas Journal*, September 2007

J. Zhao, Q. Liu, K. W. Lee, V. Choa, C. I. "The Underground cavern development in the Jurong sedimentary rock formation", *Tunneling and Underground Space Technology*, Volume 14, Issue 4, October-December 1999

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΣΠΡΟΦΟΣ ΑΕ, «Προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας για τη δημιουργία υπόγειων χώρων αποθήκευσης υδρογονανθράκων», 2003

Χρήστος Δήμας, «Οι τελευταίες Εξελίξεις στις μεταφορές Ρωσικών Πετρελαίων και Πετρελαίων της Κασπίας και ο Αγωγός Μπουργκάς – Αλεξανδρούπολη», ΣΥΝΕΔΡΙΟ “ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ 2007”, Αθήνα, 24-25 Οκτωβρίου, 2007

Καλιαμπάκος Δ., «Ειδικά υπόγεια έργα: Ένα πεδίο δυναμικής ανάπτυξης της μεταλλευτικής», Εισήγηση για την Ημερίδα με θέμα: «Σύγχρονες εξελίξεις και προοπτικές ανάπτυξης του κλάδου Μεταλλευτικής και Μεταλλουργίας», *ΤΕΕ, Αθήνα, 15 Μαΐου 2003*

Καλιαμπάκος Δ., «Υπόγεια Έργα», Σημειώσεις, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., 2003

Σοφιανός Α.Ι., «Τεχνικές Διάνοιξης Σηράγγων», Σημειώσεις, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., 2008

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://www.geostockgroup.com>

http://pol.atlascopco.com/SGSite/default_prod.asp

<http://www.hydrocarbons-technology.com/projects/trans-balkan-pipelin/>

http://www.bridge-mag.com/magazine/index.php?option=com_content&task=view&id=111&Itemid=31

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:217:0008:0015:EL:PDF>

<http://www.jogmec.go.jp/english/index.html>