



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΙΤΣΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

**Διερεύνηση ανάπτυξης υπόγειων αποθηκευτικών υποδομών
υδρογονανθράκων στη Κύπρο.**



Επιβλέπων : Α. ΜΠΕΝΑΡΔΟΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

ΤΣΙΤΣΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

**Διερεύνηση ανάπτυξης υπόγειων αποθηκευτικών υποδομών
υδρογονανθράκων στη Κύπρο.**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

ΜΠΕΝΑΡΔΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ (επιβλέπων)

ΚΑΛΙΑΜΠΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΝΟΜΙΚΟΣ ΠΑΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2013



Εικόνα εξωφύλλου: Τρισδιάστατη απεικόνιση υπόγειων αποθηκών κάτω από επιφανειακές εγκαταστάσεις (Geostock, 2012)

Copyright © Τσίτσης Γιώργος

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Πρόλογος

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη των μεθόδων υπόγειας αποθήκευσης πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου ως τεχνικές αρτιότερες και οικονομικά συμφέρουσες σε σχέση με τις προοπτικές που διαφαίνονται μετά την ανακάλυψη κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη της Κύπρου (ΑΟΖ). Πιο συγκεκριμένα ο στόχος είναι η μελέτη όλων των μεθόδων υπόγειας αποθήκευσης και η παρουσίαση προτάσεων όσον αφορά τις προοπτικές και την πολιτική που πρέπει να ακολουθηθεί στην Κύπρο.

Αφορμή για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας στάθηκε το ενδιαφέρον του **κ. Ανδρέα Μπενάρδου, Λέκτορα της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του ΕΜΠ**. Με την ευκαιρία αυτή θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για την τιμή που μου έκανε αναθέτοντάς μου την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, και κυρίως για την συμπαράσταση, την υπομονή και την μεγάλη εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή και βοήθεια τους, σε όλα τα μέλη της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ και ειδικότερα στα μέλη του τομέα Μεταλλευτικής, για τις γνώσεις που μου πρόσφεραν κατά την διάρκεια των πενταετών σπουδών μου.

Γιώργος Τσίτσης

Αθήνα, Μάρτιος 2013

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει και διερευνά την δυνατότητα δημιουργίας υπόγειων αποθηκευτικών υποδομών υδρογονανθράκων για την περίπτωση της Κύπρου. Στόχος της εργασίας είναι να αναδειχθεί ότι οι μέθοδοι υπόγειας αποθήκευσης είναι τεχνικά αρτιότερες και οικονομικά συμφέρουσες έναντι των υπέργειων μεθόδων αποθήκευσης υδρογονανθράκων. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε έρευνα για τις ανάγκες της Κύπρου για ενέργεια, παρουσιάστηκαν οι βασικές μέθοδοι αποθήκευσης πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου και έγινε μια σύγκριση κόστους υπόγειας και υπέργειας αποθήκευσης παράλληλα με το τι συμβαίνει στον διεθνή χώρο σε ότι αφορά την υπόγεια αποθήκευση.

Αρχικά περιγράφεται ο ενεργειακός τομέας της Κύπρου με όλα τα γενικά ενεργειακά στοιχεία του και τούς άξονες της ενεργειακής πολιτικής της Κυπριακής Δημοκρατίας. Έγινε μια αναφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο της Κύπρου, παρουσιάζοντας τα εθνικά αποθέματα πετρελαιοειδών του νησιού για την αντιμετώπιση ενεργειακών κρίσεων, καθώς και μια αναφορά στον τομέα της εισαγωγής και εμπορίας πετρελαιοειδών που δραστηριοποιείται στο νησί. Επιπλέον παρουσιάστηκε τόσο η στρατηγική της Κυπριακής Δημοκρατίας για το ενεργειακό κέντρο στην περιοχή του Βασιλικού όσο και οι μελλοντικές προβλέψεις για τις ενεργειακές ανάγκες της Κύπρου.

Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι διάφορες μέθοδοι και τρόποι αποθήκευσης πετρελαιοειδών καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που αυτές συγκεντρώνουν. Περιγράφεται η βασική αρχή λειτουργίας της υπόγειας αποθήκευσης πετρελαιοειδών και αναλύονται τα σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για όλους τους τύπους των υπόγειων δεξαμενών πετρελαιοειδών. Παρόμοια περιγραφή έγινε και για τις τρεις βασικές μεθόδους υπόγειας αποθήκευσης φυσικού αερίου, παρουσιάζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου ξεχωριστά.

Στη συνέχεια έγινε ειδική αναφορά για το υγροποιημένο φυσικό αέριο LNG, λόγω της άμεσης σχέσης που θα έχει στο ενεργειακό ισοζύγιο της Κύπρου τα επόμενα χρόνια. Παρουσιάστηκαν οι φυσικές ιδιότητες του, μια ιστορική αναδρομή στην εμπορία LNG καθώς και στις προσπάθειες αποθήκευσης του. Όσο αφορά την αποθήκευση του LNG παρουσιάστηκε λεπτομερώς η νέα μέθοδος αποθήκευσης

υγροποιημένου φυσικού αερίου σε τεχνικό υπόγειο θάλαμο με επένδυση γνωστή ως Lined Rock Caverns (LRC).

Κλείνοντας παρουσιάστηκαν παραδείγματα υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων στο διεθνή χώρο, με έμφαση στα παραδείγματα εφαρμογής της νέας μεθόδου LRC. Δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην ανάλυση κόστους των παραδειγμάτων αυτών και έγινε σύγκριση τόσο μεταξύ του κόστους των ιδίων των μεθόδων υπόγειας αποθήκευσης, όσο και με το κόστος αποθήκευσης υδρογονανθράκων σε υπέργειες εγκαταστάσεις ίδιας δυναμικότητας.

Τέλος παρουσιάστηκαν τα πλεονεκτήματα από την χρήση των μεθόδων υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων στη Κύπρο, μαζί με εισηγήσεις υπόγειας αποθήκευσης πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου στο νησί, που προκύπτουν από τις προοπτικές και τα οφέλη που παρουσιάζονται στην οικονομία της χώρας μετά από την ανακάλυψη τεράστιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στη Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της Κύπρου.

ABSTRACT

This thesis examines and explores the possibility of creating underground storage infrastructures hydrocarbons in the case of Cyprus. The aim of this paper is to show that the methods of underground storage is technically complete and cost-effective methods of overhead versus hydrocarbon storage. For this purpose, a survey on the needs of the Cyprus Energy, presented the basic methods of storage of petroleum and natural gas, and a cost comparison was underground and aboveground storage along with what's happening in the international arena when it comes to underground storage.

Initially described the energy sector in Cyprus all overhead power module and the axes of the energy policy of the Republic. Became a reference in the energy balance of Cyprus, presenting the national petroleum reserves of the island to address energy crises, and a reference in the importation and marketing of petroleum products operating on the island. Furthermore the strategy presented both the Republic of Cyprus for the 'Vasiliko' energy center, and future projections for the energy needs of Cyprus.

Then examined the various methods and ways of storing oil and the advantages and disadvantages they collect. Describe the basic operating principle of underground petroleum storage and analyzing the points they need to pay special attention to all types of underground oil tanks. A similar description was done for three main methods of underground gas storage, showing the advantages and disadvantages of each method separately.

Then there was a special mention for liquefied natural gas LNG, because of the direct relationship that will have on the energy balance of Cyprus in the coming years. Presented the physical properties of a throwback in marketing LNG and storage efforts. As far as storage of LNG was presented detailing the new method of storing liquefied gas technician lined vault known as the Lined Rock Caverns (LRC).

Closing presented examples underground hydrocarbon storage in the international arena, with emphasis on examples of application of the new method LRC. The focus has been on cost of these examples and compared both between the cost of their own

methods of underground storage, and the cost of hydrocarbon storage in above-ground facilities the same capacity.

Finally presented the advantages of using the methods of underground storage of hydrocarbons in Cyprus, along with suggestions underground storage of petroleum and natural gas to the island, resulting from the prospects and benefits of the country's economy after the discovery of huge deposits of oil in the Exclusive Economic Zone (EEZ) of Cyprus.

Πίνακας περιεχομένων

1.	Ο Ενεργειακός Τομέας της Κύπρου.	13
1.1	Γενικά.....	13
1.2	Γενικά ενεργειακά στοιχεία της Κύπρου	14
1.3	Άξονες της Ενεργειακής Πολιτικής της Κυπριακής Δημοκρατίας.....	15
1.4	Ενεργειακό ισοζύγιο της Κύπρου	16
1.5	Αντιμετώπιση Ενεργειακών Κρίσεων – Εθνικά αποθέματα Πετρελαιοειδών 19	
1.6	Εισαγωγές και Εμπορία Πετρελαιοειδών.....	21
1.7	Ενεργειακό κέντρο Βασιλικού	25
1.8	Μελλοντικές προβλέψεις για τις ενεργειακές ανάγκες της Κύπρου.....	28
2.	Γενικά στοιχεία για τις υπόγειες δεξαμενές πετρελαιοειδών.....	31
2.1	Υπόγεια Αποθήκευση Υδρογονανθράκων.....	31
2.2	Τρόποι υπεδάφικης αποθήκευσης καυσίμων.....	31
2.3	Τύποι τεχνητών υπόγειων δεξαμενών.....	34
2.3.1	Οριζόντιες δεξαμενές.....	35
2.3.2	Κατακόρυφες δεξαμενές.....	37
2.3.3	Κατηγορίες υπογείων δεξαμενών σε σχέση με το στρώμα νερού.....	40
2.4	Συνθήκες λειτουργίας δεξαμενών	42
2.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπόγειων θαλάμων αποθήκευσης σε σχέση με τις επιφανειακές δεξαμενές.....	43
3.	Βασικοί τύποι υπόγειας αποθήκευσης Φυσικού Αερίου	47
3.1	Εξαντλημένα Κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	49
3.1.1	Πλεονεκτήματα αποθήκευσης σε εξαντλημένα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου:.....	52
3.1.2	Μειονεκτήματα αποθήκευσης σε εξαντλημένα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου:.....	52
3.2	Υπόγειοι Υδροφόροι Ορίζοντες.....	53

3.2.1	Πλεονεκτήματα αποθήκευσης σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες: ...	58
3.2.2	Μειονεκτήματα αποθήκευσης σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες: ...	58
3.3	Τεχνητά κατασκευασμένες κοιλότητες σε σχηματισμούς ορυκτού άλατος	58
3.3.1	Πλεονεκτήματα αποθήκευσης σε τεχνητά κατασκευασμένες κοιλότητες και σχηματισμούς ορυκτού άλατος:.....	63
3.3.2	Μειονεκτήματα αποθήκευσης σε τεχνητά κατασκευασμένες κοιλότητες και σχηματισμούς ορυκτού άλατος:.....	63
4.	Υγροποίηση και Αποθήκευση Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου LNG	64
4.1	Γενικά.....	64
4.2	Φυσικές Ιδιότητες του LNG.....	65
4.3	Ιστορικό.....	66
4.4	Αποθήκευση.....	67
4.5	Μέθοδος αποθήκευσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε τεχνητό υπόγειο θάλαμο με μεταλλική επένδυση Lined Rock Caverns (LRC).....	69
4.5.1	Εισαγωγή.....	69
4.5.2	Βασική ιδέα για την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου σε υπόγειο θάλαμο με επένδυση.....	71
4.5.3	Πλεονεκτήματα της μεθόδου LRC	73
4.6	Εγκαταστάσεις Παραλαβής LNG.....	73
4.7	Θέματα Ασφαλείας.....	74
5.	Παραδείγματα από το διεθνή χώρο.....	77
5.1	Παραδείγματα αποθήκευσης πετρελαιοειδών σε υπόγειους θαλάμους.....	77
5.1.1	Σουηδία	77
5.1.2	Νορβηγία.....	78
5.1.3	Φινλανδία.....	81
5.1.4	Γαλλία	82
5.1.5	Πορτογαλία	84
5.1.6	Ιαπωνία	85

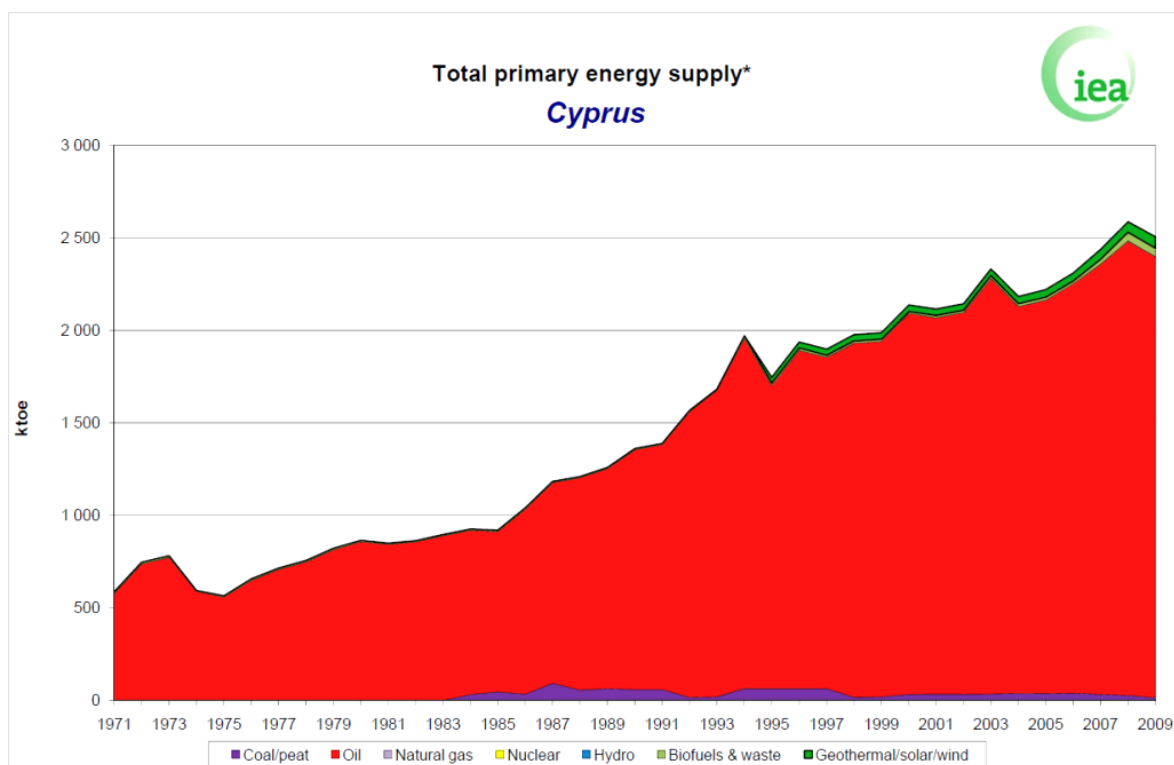
5.1.7	N. Κορέα.....	86
5.1.8	Σιγκαπούρη.....	88
5.1.9	Ινδία.....	89
5.1.10	Αυστραλία.....	89
5.1.11	Βραζιλία.....	90
5.1.12	Ζιμπάμπουε.....	90
5.1.13	Ελλάδα.....	91
5.2	Παραδείγματα υπόγειων αποθηκών φυσικού αερίου.....	94
5.2.1	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	94
5.2.2	Ευρωπαϊκή Ένωση.....	95
5.2.3	Ρωσία.....	100
5.2.4	Ηνωμένο Βασίλειο.....	101
5.2.5	Πολωνία.....	102
5.2.6	Λοιπές χώρες.....	103
5.3	Παραδείγματα της νέας μεθόδου αποθήκευσης Lined Rock Caverns (LRC)	
	104	
5.3.1	Πιλοτικός υπόγειος θάλαμος στην Taejeon της Ν. Κορέας.....	104
5.3.2	Εφαρμογή του Lined Rock Caverns (LRC) στο Χάλμσταντ της Σουηδίας.....	108
6.	Ανάλυση κόστους των διαφόρων μεθόδων υπόγειας αποθήκευσης Πετρελαιοειδών και Φυσικού Αερίου.....	116
6.1	Κόστος ανάπτυξης υπόγειων αποθηκών πετρελαιοειδών.....	116
6.1.1	Συγκριτικά κόστη υπόγειας αποθήκευσης πετρελαιοειδών.....	116
6.1.2	Κόστος κατασκευής συγκρίσιμο με τις υπέργειες δεξαμενές.....	117
6.1.3	Συγκριτικό κόστος επιφάνειας εδάφους υπόγειων και υπέργειων δεξαμενών πετρελαιοειδών.....	118
6.2	Κόστος ανάπτυξης υπόγειων αποθηκών Φυσικού Αερίου.....	119
6.3	Κόστη διαφόρων έργων υπόγειας αποθήκευσης στον διεθνή χώρο.....	121

6.3.1	Κίνα.....	122
6.3.2	Ινδία	123
6.3.3	Αυστραλία.....	124
6.3.4	Ελλάδα	125
6.4	Συγκεντρωτική παράθεση του κόστους επένδυσης για υπόγεια και υπέργεια αποθήκευση πετρελαιοειδών και Φ.Α	126
6.5	Προοπτικές ανάπτυξης νέων αποθηκευτικών χώρων στην Ευρώπη	128
7.	Συμπεράσματα – Προτάσεις για την Κύπρο.....	129
7.1	Συμπεράσματα.....	129
7.2	Προτάσεις για την Κύπρο	131
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	136

1. Ο Ενεργειακός Τομέας της Κύπρου.

1.1 Γενικά

Η Κύπρος, το ανατολικότερο νησί της Μεσόγειου με πληθυσμό περίπου 750 χιλιάδες κατοίκους αποτελεί την νοτιότερη περιφέρεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο σταυροδρόμι τριών ηπείρων, με καίρια θέση στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο. Στην Κύπρο, η ενέργεια αποτελεί έναν από τους σημαντικούς τομείς της οικονομίας με την ενεργειακή κατανάλωση να φτάνει το 2009 (Εικόνα 1.1) πέραν των 2500 ktoe (IEA, 2011). Ο τομέας της ενέργειας χαρακτηρίζεται από την υψηλή εξάρτηση από εισαγόμενες πηγές ενέργειας, την έντονη κυριαρχία του πετρελαίου στο ενεργειακό ισοζύγιο, την ταχεία αύξηση της ενεργειακής ζήτησης, τις δυσκολίες διασύνδεσης με τα ευρωπαϊκά δίκτυα, λόγω γεωγραφικής θέσης, καθώς επίσης και το σχετικά χαμηλό βαθμό διείσδυσης και αξιοποίησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Έτσι τα τελευταία χρόνια, το κυπριακό ενεργειακό σύστημα παρουσιάζει έντονη δυναμική καθώς διανύει μια περίοδο σημαντικών αλλαγών, με την απελευθέρωση των αγορών ενέργειας (ηλεκτρισμού) όπως αυτή επιβάλλεται από τις ισχύουσες Ευρωπαϊκές Οδηγίες, την απόφαση για εισαγωγή και διείσδυση του Φυσικού Αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, την προώθηση των ΑΠΕ και σύγχρονων συστημάτων συμπαραγωγής, και της εξοικονόμησης ενέργειας, αλλαγές οι οποίες επιβάλλουν διαρθρωτικές παρεμβάσεις για την αντιμετώπισης των νέων προκλήσεων στην ενεργεία (Υπηρεσία Ενέργειας, 2012).



Εικόνα 1.1: Η ενεργειακή κατανάλωση στην Κύπρο μέχρι το 2009 (IEA, 2011).

1.2 Γενικά ενεργειακά στοιχεία της Κύπρου

Τα γενικά ενεργειακά στοιχεία της Κύπρου δεν διαφέρουν και παρά πολύ από εκείνα που συναντάμε συνήθως στα νησιά, και έχουν τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

- Απομονωμένο ενεργειακό σύστημα.
- Μεγάλη εξάρτηση από προϊόντα πετρελαίου – μικρή ασφάλεια εφοδιασμού.
- Υψηλό κόστος ενεργειακού εφοδιασμού.
- Υψηλοί ρυθμοί αύξησης της ζήτησης ισχύος και ενέργειας.
- Εποχιακές διακυμάνσεις της ενεργειακής ζήτησης .
- Οριακή λειτουργία του συστήματος παράγωγης και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Υψηλό δυναμικό ορθολογικής χρήσης ενέργειας και εξοικονόμησης ενέργειας.
- Αξιόλογο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Αυστηροί περιορισμοί προστασίας και ανάδειξης του νησιώτικου περιβάλλοντος.

1.3 Άξονες της Ενεργειακής Πολιτικής της Κυπριακής Δημοκρατίας

Η Υπηρεσία Ενεργείας του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού είναι υπεύθυνη για τη διαμόρφωση της ενεργειακής πολιτικής της Κύπρου που τυγχάνει της έγκρισης του Υπουργικού Συμβουλίου. Βασική επιδίωξη της Υπηρεσίας Ενεργείας είναι η διαμόρφωση ενός νέου ενεργειακού πρότυπου που να βασίζεται στους ακόλουθους άξονες :

- Ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού.
- Ανταγωνιστικότητα.
- Αειφορία.

Προς την κατεύθυνση αυτή, τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται στην χώρα μια ενεργειακή πολιτική με τους εξής σαφείς στόχους:

- Αποσύνδεση, στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, της οικονομικής ανάπτυξης από την χρήση ενεργειακών πόρων.
- Διαφοροποίηση και εξορθολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου.
- Μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές ενέργειας.
- Ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού.
- Ενθάρρυνση της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).
- Προώθηση της εξοικονόμησης της ενέργειας.
- Ορθολογική χρήση της ενέργειας.
- Ενδυνάμωση του γεωστρατηγικού ρόλου της χώρας, μέσω της καταγραφής του ενεργειακού δυναμικού εντός της Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης της Κυπριακής Δημοκρατίας.
- Εύρυθμη λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας.
- Προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Η ενεργειακή πολιτική της Κύπρου είναι πλήρως εναρμονισμένη με αυτή της Ευρωπαϊκής Ένωσης με κύριους άξονες την εξασφάλιση υγιούς ανταγωνισμού στην αγορά, στη διασφάλιση προμήθειας της ενέργειας και την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών της χώρας με όσο το δυνατό μικρότερη επιβάρυνση στην οικονομία και στο περιβάλλον. Η εφαρμογή των πιο πάνω υλοποιείται μέσω:

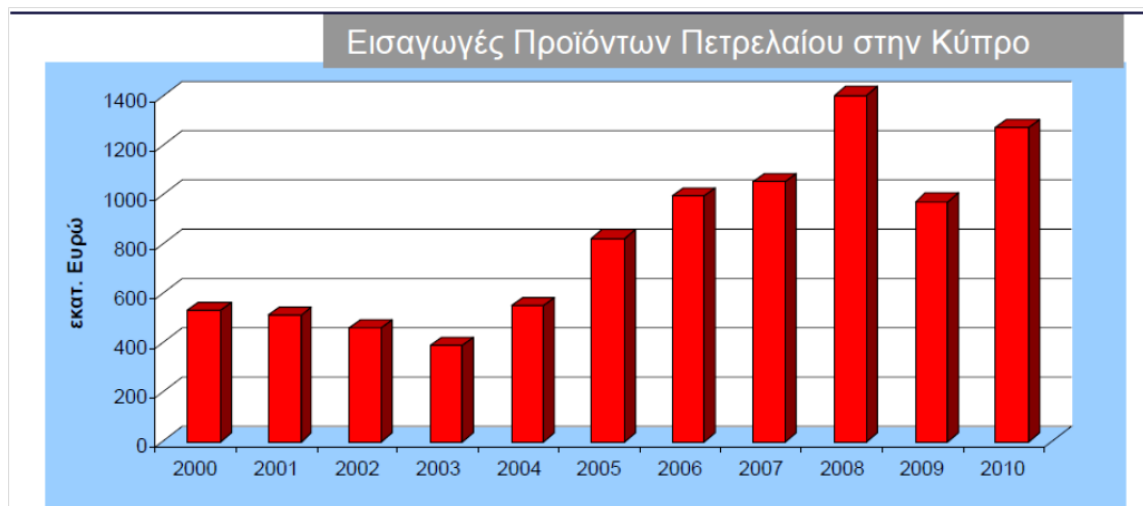
- Της ελευθεροποίησης της αγοράς ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου τερματίζοντας το μονοπωλιακό καθεστώς της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ) στην παραγωγή και προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας και ανοίγοντας περίπου το 35% στον ελεύθερο ανταγωνισμό.
- Της ελευθεροποίησης της αγοράς πετρελαιοειδών με κατάργηση του συστήματος ελέγχου τιμών και των σταυροειδών επιδοτήσεων μεταξύ των διαφόρων καυσίμων, διαμόρφωση των τιμών με βάση τους κανόνες της ελεύθερης αγοράς και την προσαρμογή της φορολογίας.
- Της δημιουργίας τερματικών αποθήκευσης στρατηγικών και λειτουργικών αποθεμάτων πετρελαιοειδών.
- Της εφαρμογής προγραμμάτων ανάπτυξης και χρήσης τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, εκμετάλλευσης των εγχώριων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος από τη βιομηχανική ρύπανση.
- Της προώθησης πετρελαιοειδών και άλλων μορφών ενέργειας φιλικότερων προς το περιβάλλον, όπως το φυσικό αέριο (Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

1.4 Ενεργειακό ισοζύγιο της Κύπρου

Η Κύπρος μετά το 1975 και την απομάκρυνση των συνεπειών της τουρκικής εισβολής, άρχισε να ανακάμπτει οικονομικά με άμεσο επακόλουθο την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας όπως δόθηκε στην Εικόνα 1.1. Ακόμη η ένταξη του νησιού στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2004 έπαιξε σημαντικό ρολό στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας. Η Κύπρος στην προσπάθεια της να προσαρμοστεί στα διάφορα κριτήρια που είναι υποχρεωμένη να τηρεί σαν μέλος της Ε.Ε, οδηγήθηκε στην ανάπτυξη με άμεσο αντίκτυπο την κατανάλωση ενέργειας. Τις τελευταίες δεκαετίες η μεγάλη ανάπτυξη στον τουριστικό και οικιστικό τομέα, καθόρισε τις ενεργειακές ανάγκες της χώρας. Τα ανεπαρκή μέσα μαζικής μεταφοράς, η επέκταση του τριτογενούς τομέα και η ανάπτυξη της βιομηχανίας σε

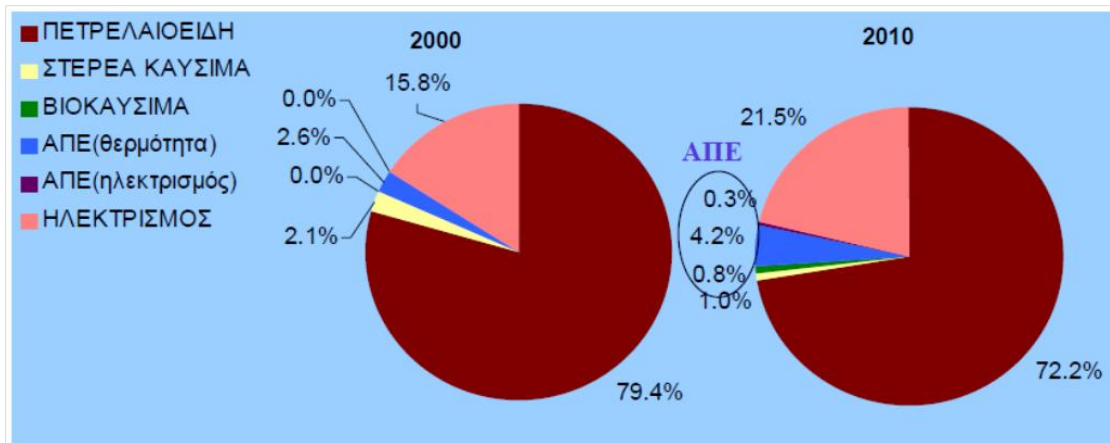
κάποιο βαθμό, επηρέασαν τις ενεργειακές ανάγκες του κυπριακού κράτους. Ακόμη, λόγω του αυξημένου βιοτικού επιπέδου των πολιτών, πρόέκυψε μια ανάλογη αύξηση των ενεργειακών αναγκών μιας και οι δυο αυτές συνθήκες είναι άμεσα συνυφασμένες (Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

Σαν μια από τις περισσότερο ενεργειακά εξαρτημένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Κύπρος παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια μια σημαντική αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης ενέργειας (Εικόνα 1.2). Συγκεκριμένα την περίοδο 1999-2009 η τελική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε με μέσο ετήσιο ρυθμό 2.2%. Το 2010 το κόστος των εισαγωγών προϊόντων πετρελαίου ήταν της τάξης των 1.27 δις εκ. ευρώ δηλαδή το 19.7% των συνολικών εισαγωγών της Κυπριακής δημοκρατίας για εκείνη την χρονία (Κασίνης, 2012).



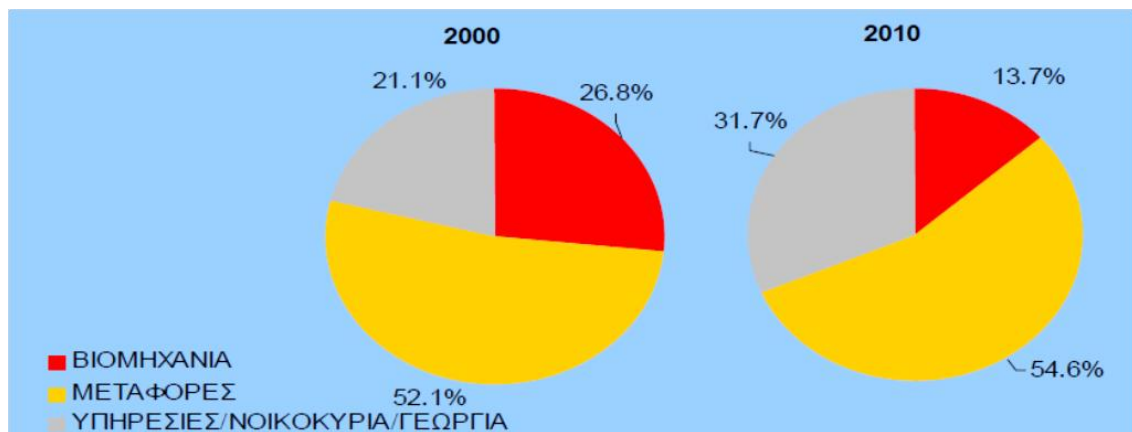
Εικόνα 1.2: Εισαγωγές προϊόντων πετρελαίου στην Κύπρο την τελευταία δεκαετία (Κασίνης, 2012).

Συμφώνα με το Ενεργειακό ισοζύγιο του 2010 η Κύπρος εξαρτάται σε ποσοστό 72.2% από εισαγόμενα προϊόντα πετρελαίου (Εικόνα 1.3). Η συνεισφορά των ΑΠΕ κατά το 2010 ήταν της τάξεως του 5.3%, ποσοστό που ξεπερνά το 3.8% που αρχικά τέθηκε σαν στόχος για το ίδιο έτος. Αξίζει να σημειωθεί ότι το αντίστοιχο ποσοστό το 1997 ήταν μόλις 1.9% (Κασίνης, 2012).



Εικόνα 1.3: Ποσοστό των πετρελαιοειδών στην αγορά ενέργειας την τελευταία δεκαετία (Κασίνης, 2012)

Όσον αφορά την τελική κατανάλωση ενέργειας ο τομέας των μεταφορών κατέχει τη μερίδα του λέοντος με ποσοστό 54.6 %, ενώ οι υπηρεσίες, τα νοικοκυριά και γεωργία ακολουθούν με ένα ποσοστό 31.7%, με την βιομηχανία να έχει το μικρότερο μερίδιο με 13.7% (Εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.4: Τελική κατανάλωση ενέργειας την τελευταία δεκαετία στην Κύπρο (Κασίνης, 2012).

1.5 Αντιμετώπιση Ενεργειακών Κρίσεων – Εθνικά αποθέματα

Πετρελαιοειδών

Είναι γεγονός ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση προσδίδει μεγάλη σημασία στη διασφάλιση των ενεργειακών πόρων της κοινότητας ώστε να είναι λιγότερο ευάλωτη σε περίπτωση προβλημάτων προμήθειας στις παγκόσμιες αγορές. Προς αυτή την κατεύθυνση η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προωθήσει μια σειρά νομοθεσιών (οδηγία 68/414/ΕΚ της 20^{ης} Δεκεμβρίου 1968 και η τροποποιημένη έκδοση της οδηγίας που εκδόθηκε στις 14 Δεκεμβρίου του 1998 98/93), που αποσκοπούν στην καλύτερη αντιμετώπιση των επιπτώσεων από δυσχέρειες στον εφοδιασμό ενεργειακών προϊόντων. Κυριότερες παράμετροι των νομοθεσιών αυτών είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε περιπτώσεις ενεργειακών κρίσεων και η διατήρηση στρατηγικών αποθεμάτων πετρελαιοειδών σε όλα τα κράτη μέλη (Στεφόπουλος, 2003).

Για το σκοπό αυτό η Υπηρεσία Ενέργειας έχει θεσπίσει σχετική εναρμονιστική νομοθεσία (οι περί Ενεργειακών Κρίσεων (Έκτακτες Εξουσίες) Νόμοι του 2003 και 2004) η οποία προβλέπει μεταξύ άλλων τα μέτρα και τις διαδικασίες που θα πραγματοποιηθούν για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε περιπτώσεις ενεργειακών κρίσεων (Υπηρεσία Ενέργειας, 2012).

Μια από τις σχετικές πρόνοιες της νομοθεσίας αυτής ορίζει όπως οι εταιρείες πετρελαιοειδών και οι μεγάλοι καταναλωτές να ενημερώνουν κάθε μήνα την Υπηρεσία Ενέργειας για τα ενεργειακά αποθέματα που διαθέτουν, έτσι ώστε σε κατάσταση ενεργειακής κρίσεως ο Υπουργός Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού να μπορεί να προβεί σε ανακατανομή των αποθεμάτων.

Δυνάμει της υπό αναφορά νομοθεσίας, έχει συσταθεί ο Κυπριακός Οργανισμός Διαχείρισης Αποθεμάτων Πετρελαιοειδών (ΚΟΔΑΠ) ο οποίος είναι ο κατεξοχόν υπεύθυνος για την εκπλήρωση των δεσμεύσεων της Κύπρου έναντι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διατήρηση και διαχείριση των εθνικών αποθεμάτων πετρελαιοειδών.

Η Κύπρος, με βάση τη Συνθήκη Προσχώρησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, είναι υποχρεωμένη να διατηρεί αποθέματα πετρελαιοειδών που να ισοδυναμούν με 60 ημέρες μέσης κατανάλωσης, ενώ από την 1.1.2008 τα εν λόγω αποθέματα πρέπει να ισοδυναμούν με 90 ημέρες. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με Διάταγμα του Υπουργού Εμπορίου,

Βιομηχανίας και Τουρισμού οι ποσότητες αποθεμάτων που πρέπει να διατηρεί ο ΚΟΔΑΠ παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Κατηγορίες καύσιμων που πρέπει να διατηρεί ο ΚΟΔΑΠ (Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

Κατ. I	42.834 τόνους βενζίνη
Κατ. II	143.106 τόνους πετρέλαιο (ντίζελ, γκάζοϊλ, φωτιστικό πετρέλαιο και καύσιμα αεριοπροωθουμένων τύπου κηροζίνης)
Κατ. III	169.100 τόνους μαζούτ (fuel oil)

Στα πλαίσια της εφαρμογής της σχετικής νομοθεσίας, το Υπουργείο έχει θεσπίσει διακρατική συμφωνία με την Ελληνική Κυβέρνηση βάσει της οποίας ο ΚΟΔΑΠ μπορεί να διατηρεί αποθέματα στην ελληνική επικράτεια για λογαριασμό της Κύπρου. Έτσι μέρος των κατηγοριών I και II θα διατηρούνται στην Κύπρο σε μια ποσότητα 60.000 μετρικών τόνων (MT) και στην Ελλάδα μια δεύτερη ποσότητα 100.000 MT. Οι υπόλοιπες ποσότητες θα διατηρούνται από τις εταιρείες πετρελαιοειδών. Για την κατηγορία III ο ΚΟΔΑΠ προτίθεται όπως αναθέσει μέρος της υποχρέωσης τήρησης των αποθεμάτων στην Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ), η οποία ουσιαστικά είναι ο μόνος χρήστης των πετρελαιοειδών της κατηγορίας αυτής και διατηρεί ήδη σημαντικά αποθέματα. Συνολικά θα διατηρούνται περίπου 356.000 μετρικοί τόνοι (MT) εθνικών αποθεμάτων στην Κύπρο και στο εξωτερικό (Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

1.6 Εισαγωγές και Εμπορία Πετρελαιοειδών

Οι ποσότητες των πετρελαιοειδών που καταναλώνονται στην Κύπρο εισάγονται από τις εταιρείες πετρελαιοειδών, την ΑΗΚ και από τις δύο βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου οι οποίες είναι και οι μόνες που εισάγουν και χρησιμοποιούν στέρεα καύσιμα σε μορφή άνθρακα και "pet-coke".

Στην Κύπρο λειτουργούν οι πιο κάτω εταιρείες πετρελαιοειδών (Πίνακας 1.2) οι οποίες είναι δραστηριοποιημένες σε διάφορους τομείς εμπορίας πετρελαιοειδών.

Πίνακας 1.2 Εταιρείες πετρελαιοειδών δραστηριοποιημένες στην Κύπρο . (Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

Εταιρεία	Λιανικό εμπόριο μέσω πρατηρίων	Ανεφοδιασμό Αεροσκαφών	Ανεφοδιασμό πλοίων	Υγραέριο
Petrolina (Holdings) Ltd	NAI	OXI	NAI	NAI
ExxonMobil Cyprus Ltd	NAI	NAI	NAI	OXI
Hellenic Petroleum Cyprus Ltd	NAI	OXI	NAI	NAI
Lukoil Cyprus Ltd	NAI	OXI	OXI	OXI
PPT Aviation Services Ltd	OXI	NAI	OXI	OXI
BP Eastern Mediterranean Ltd	OXI	NAI	NAI	OXI
Intergas	OXI	OXI	OXI	NAI
Synergas	OXI	OXI	OXI	NAI

Η εμπορία των πετρελαιοειδών, τόσο σε λιανικό όσο και σε χονδρικό επίπεδο, γίνεται κυρίως από τις εταιρείες πετρελαιοειδών. Το λιανικό εμπόριο διεξάγεται κατά 70% μέσω των 254 πρατηρίων πετρελαιοειδών και το υπόλοιπο 30% από τις ίδιες τις εταιρείες, με απευθείας παραδόσεις στους σχετικά μεγάλους καταναλωτές, και τους μεταπωλητές πετρελαιοειδών που διαθέτουν στόλο αυτοκινήτων διανομής καυσίμων. Εταιρείες πετρελαιοειδών είναι δραστηριοποιημένες και στον ανεφοδιασμό αεροσκαφών και εμπορεύονται σημαντικές ποσότητες πετρελαίου αεροσκαφών στα αεροδρόμια της Λάρνακας και Πάφου. Οι εταιρείες Synergaz και Intergaz ασχολούνται αποκλειστικά με την εισαγωγή, αποθήκευση και διανομή υγραερίου (LPG). Βασικό μέλημα του υπουργείου είναι η επάρκεια ποιοτικά ελεγμένων πετρελαιοειδών στην κυπριακή αγορά σε λογικές τιμές. Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζονται οι εταιρείες πετρελαιοειδών και το μερίδιο αγοράς της κάθε μιας.

Πινάκας 1.3 : Οι εταιρίες πετρελαιοειδών και τα μερίδια αγοράς τους στην Κύπρο .
(Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

Εταιρία	Τύπος εξόδου	Μερίδιο αγοράς
EKO (Ελληνικά Πετρέλαια)	Αλυσίδες πρατηρίων.	32.5%
ESSO (ExxonMobil Κύπρος Ltd)	Αλυσίδες πρατηρίων.	20.5%
PETROLINA	Αλυσίδες πρατηρίων.	35%
LUKOIL	Αλυσίδες πρατηρίων.	12%

Οι εταιρείες πετρελαιοειδών διαθέτουν ιδιόκτητες εγκαταστάσεις εισαγωγής, αποθήκευσης και διανομής πετρελαιοειδών στα διυλιστήρια της Λάρνακας. Με απόφαση της Κυπριακής Δημοκρατίας για μετατροπή του διυλιστηρίου σε τερματικό εισαγωγής και αποθήκευσης πετρελαιοειδών μέχρι την οριστική μεταφορά όλων των εγκαταστάσεων στο νέο τερματικό πετρελαιοειδών στην περιοχή του Βασιλικού, οι εταιρείες πετρελαιοειδών έχουν την ευχέρεια να εισάγουν πετρελαιοειδή σε μεγαλύτερες ποσότητες, μειώνοντας έτσι το κόστος των ναύλων και κατ' επέκταση το κόστος εισαγωγής, προς όφελος των καταναλωτών και της οικονομίας γενικότερα. Η συνολική χωρητικότητα του υφιστάμενου τερματικού (Εικόνα 1.5) στη Λάρνακα συμπεριλαμβανομένων και των αποθηκευτικών χώρων του διυλιστηρίου ανέρχεται περίπου σε 300 χιλιάδες μετρικούς τόνους ΜΤ.

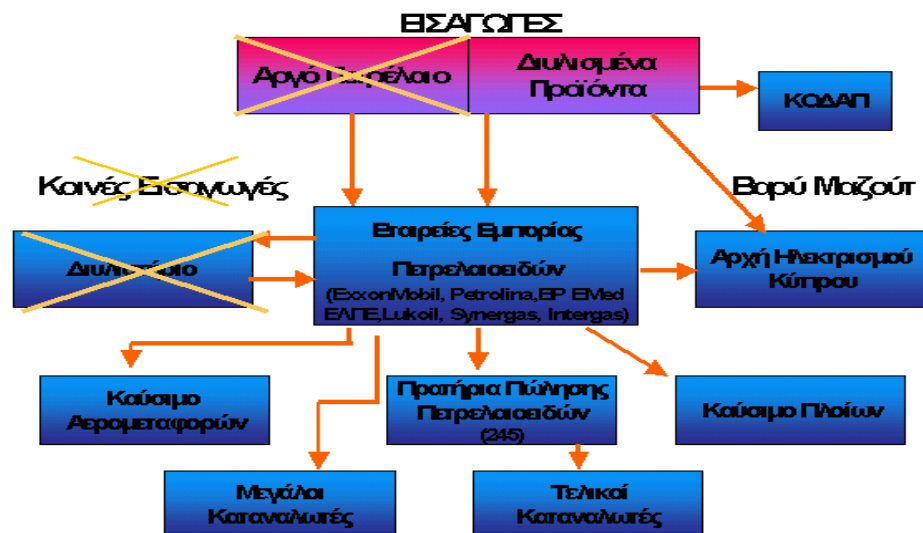


Εικόνα 1.5: Ιδιόκτητες εγκαταστάσεις εισαγωγής, αποθήκευσης και διανομής πετρελαιοειδών στο τερματικό καυσίμων της Λάρνακας (Υπηρεσία Ενέργειας, 2012).

Η ΑΗΚ διαθέτει της δικές της εγκαταστάσεις για εισαγωγή και αποθήκευση πετρελαιοειδών στους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς Βασιλικού, Δεκέλειας και Μονής. Η δυναμικότητα των αποθηκευτικών χώρων της ΑΗΚ ανέρχεται σε 240 χιλιάδες Mt. Οι δύο βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου διαθέτουν επίσης ιδιόκτητες εγκαταστάσεις για εισαγωγή στερεών και υγρών καυσίμων καθώς επίσης και αποθήκες πετρελαιοειδών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση μαζούτ όταν οι τιμές του μαζούτ σε σχέση με τα στερεά καύσιμα το επιτρέπουν.

Είναι γεγονός ότι με τη μετατροπή του διυλιστηρίου σε τερματικό καυσίμων και την κατάργηση των αδειών εισαγωγής πετρελαιοειδών, σε συνδυασμό με τη απελευθέρωση των τιμών των πετρελαιοειδών, δημιουργήθηκαν οι συνθήκες για τη δραστηριοποίηση στην Κύπρο περισσότερων εταιρειών εμπορίας πετρελαιοειδών προς όφελος του ανταγωνισμού. Το πιο κάτω σχέδιο (Εικόνα 1.6) παρουσιάζει παραστατικά τη διαμόρφωση του συστήματος, τις διαδικασίες εισαγωγής και διάθεσης των πετρελαιοειδών στην Κύπρο, σε σχέση με εκείνο που ίσχυε πριν την μετατροπή του διυλιστηρίου και τη φιλελευθεροποίηση των τιμών και εισαγωγών πετρελαιοειδών (Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ



Εικόνα 1.6: Προμήθεια και διάθεση πετρελαϊκών προϊόντων μετά την μετατροπή του διυλιστηρίου της Λάρνακας σε τερματικό αποθήκευσης (Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

1.7 Ενεργειακό κέντρο Βασιλικού

Η Κυβέρνηση της Κύπρου αναγνωρίζοντας τη θετική συμβολή που θα έχει η εισαγωγή και χρήση του Φυσικού Αερίου στην οικονομία και στο περιβάλλον της Κύπρου, και με τα νέα δεδομένα ανακάλυψης κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην Κυπριακή Α.Ο.Ζ, ανέθεσε, μετά από σχετική απόφαση του Υπουργικού Συμβουλίου (Αρ.20/2001), σε Υπουργική Επιτροπή να διατυπώσει όρους εντολής για την ετοιμασία μελέτης από εμπειρογνώμονες αναφορικά με τη μεταφορά και χρήση Φυσικού Αερίου στην Κύπρο. Μετά από σχετικό διαγωνισμό που προκηρύχθηκε από το Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού προσελήφθηκε συμβουλευτικός οίκος ο οποίος εκπόνησε μελέτη, η οποία ολοκληρώθηκε το Νοέμβριο του 2002 και κατέδειξε ότι ο πλέον οικονομικός και εξασφαλισμένος τρόπος προμήθειας και μεταφοράς Φυσικού Αερίου στην Κύπρο είναι σε υγροποιημένη μορφή (LNG). Η μελέτη κατέδειξε επίσης ότι η χρήση του Φυσικού Αερίου στην Κύπρο περιορίζεται στο παρόν τουλάχιστο στάδιο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενόψει της έλλειψης άλλων μεγάλων καταναλωτών.

Επιπλέον με την απόφαση της Κυβέρνησης της Κυπριακής Δημοκρατίας για τερματισμό της λειτουργίας του Κυπριακού Δυλιστηρίου Πετρελαίου και απομάκρυνση του τερματικού εισαγωγής και αποθήκευσης πετρελαιοειδών από τη Λάρνακα, για περιβαλλοντικούς και όχι μόνο σκοπούς, προέκυψε η ανάγκη δημιουργίας τερματικού σταθμού πετρελαιοειδών. Ακόμη στόχο αποτελούν, η διαφοροποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας, με την εισαγωγή του φυσικού αερίου, καθώς επίσης και η μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων και εφαρμογή των προνοιών του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Δεδομένων των πιο πάνω, η Κυπριακή Δημοκρατία αποφάσισε τη δημιουργία του Ενεργειακού Κέντρου στο Βασιλικό, το οποίο θα περιλαμβάνει εγκαταστάσεις εισαγωγής, αποθήκευσης στρατηγικών και λειτουργικών αποθεμάτων, διαχείρισης, διανομής και εξαγωγής πετρελαιοειδών, καθώς και εγκαταστάσεις εισαγωγής, αποθήκευσης και επαναεροποίησης υγροποιημένου Φυσικού Αερίου.

Το Ενεργειακό Κέντρο θα ανεγερθεί στη νότια ακτή της Κύπρου, σε απόσταση 25 Km ανατολικά της Λεμεσού, σε έκταση της οποίας τμήμα αποτελεί και ο χώρος που κατελάμβαναν οι Ελληνικές Χημικές Βιομηχανίες (Εικόνα 1.7). Η επιλογή του χώρου αυτού κρίθηκε, λόγω της θέσης και μορφολογίας του (Εικόνα 1.8), ως η πιο ενδεδειγμένη για την ανέγερση των εγκαταστάσεων (Εικόνα 1.9) αποθήκευσης και διανομής

πετρελαιοειδών, καθώς και για τη δημιουργία τερματικού παραλαβής και αποθήκευσης φυσικού αερίου. Δεδομένου ότι αρχικά το φυσικό αέριο θα χρησιμοποιείται κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή από τον παρακείμενο Ηλεκτροπαραγωγό Σταθμό Βασιλικού της ΑΗΚ, κρίθηκε σκόπιμο όπως η ανέγερση του Κέντρου γίνει σε παραπλήσια περιοχή, ώστε να υπάρχει δυνατότητα εκμετάλλευσης των συνεργιών (Υπηρεσία Ενέργειας, 2012).



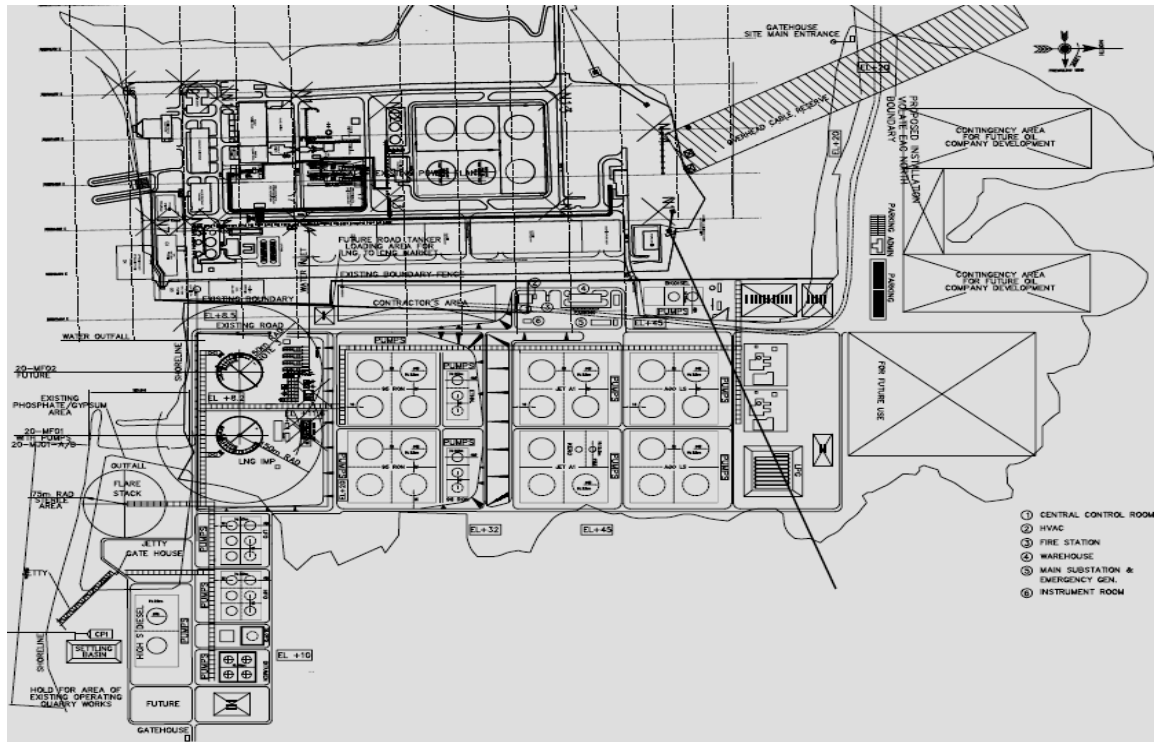
Εικόνα 1.7: Περιοχή ανέγερσης Ενεργειακού Κέντρου στην περιοχή του Βασιλικού (Υπηρεσία Ενέργειας, 2012).



Εικόνα 1.8: Χώρος ανέγερσης Ενεργειακού Κέντρου (Υπηρεσία Ενεργείας, 2012).

Στόχος της Κυπριακής Κυβέρνησης με τη δημιουργία του Ενεργειακού Κέντρου στο Βασιλικό είναι μεταξύ άλλων η επίτευξη ασφαλούς, μακροχρόνιας, βιώσιμης και απρόσκοπτης ενεργειακής τροφοδοσίας της χώρας, η λειτουργία μιας απελευθερωμένης αγοράς πετρελαιοειδών και η επίτευξη υγιούς ανταγωνισμού καθώς επίσης και η εξασφάλιση καλύτερου ελέγχου και διαφάνειας στον καθορισμό των τιμών των καυσίμων.

Επίσης, σύμφωνα με τις Αποφάσεις του Υπουργικού Συμβουλίου, συστάθηκε τον Νοέμβριο του 2007 ένας νέος ανεξάρτητος φορέας Ιδιωτικού Δικαίου, η Δημόσια Επιχείρηση Φυσικού Αερίου (ΔΕΦΑ). Σκοπός ίδρυσης της ΔΕΦΑ, βάσει του καταστατικού της, είναι να αγοράζει, εισάγει, αποκτά, κατέχει, χρησιμοποιεί, εκμεταλλεύεται, αποθηκεύει, μεταφέρει, διαθέτει, διανέμει, πωλεί, προμηθεύει και εμπορεύεται φυσικό αέριο, να κάνει χρήση του τερματικού φυσικού αερίου, να επαναεριοποιεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο, καθώς και να διαχειρίζεται το δίκτυο διανομής και προμήθειας φυσικού αερίου και να προβαίνει σε οποιαδήποτε πράξη συναφή με τα πιο πάνω (ΔΕΦΑ, 2012).



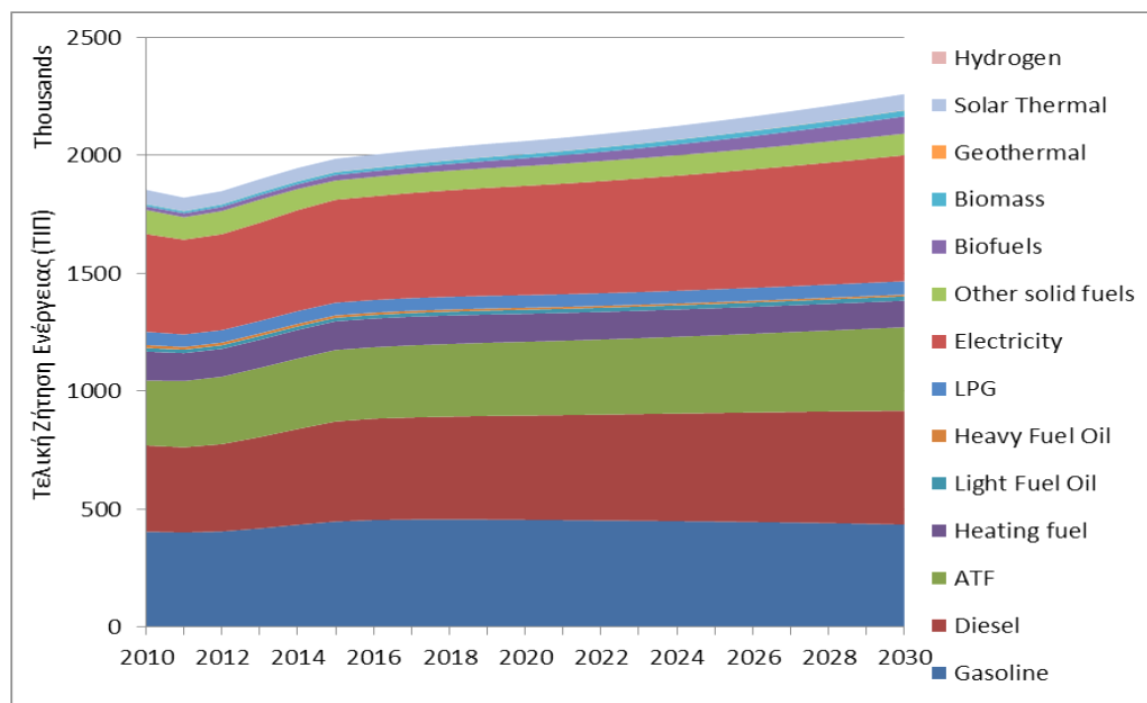
Εικόνα 1.9: Κάτοψη των εγκαταστάσεων του Ενεργειακού Κέντρου στην περιοχή του Βασιλικού (Κασίνης, 2007)

1.8 Μελλοντικές προβλέψεις για τις ενεργειακές ανάγκες της Κύπρου

Η Κύπρος ανακάλυψε το βαθμό σημασίας της ενέργειας μαζί με τον υπόλοιπο πλανήτη στις δύο ενεργειακές κρίσεις όπου οι τιμές των καυσίμων εκτοξεύτηκαν στα ύψη. Μετά την είσοδο ολόκληρου του νησιού στην ΕΕ αναγκάστηκαν οι διάφορες υπηρεσίες του κράτους να χαράξουν πορείες και πολιτικές έτσι ώστε να μειωθεί η εξάρτηση του νησιού από τα συμβατικά καύσιμα, και να εκπληρώσει τους στόχους που έθεσε η ΕΕ όχι μόνο ως σύνολο αλλά και στην κάθε χώρα ξεχωριστά για την μείωση των αερίων θερμοκηπίου και ως επακόλουθο των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών. Ακόμα εντονότερη έλλειψη ενέργειας παρουσιάστηκε στα τραγικά γεγονότα του καλοκαιριού του 2011 με την έκρηξη στη ναυτική βάση στο Μαρί και την καταστροφή του μεγαλύτερου σταθμού παραγωγής ηλεκτρισμού της ΑΗΚ στο Βασιλικό. Η Κύπρος αντιμετώπισε τεράστια προβλήματα εξαιτίας της μείωσης της δυνατότητας παροχής ηλεκτρισμού που δεν επαρκούσε για τις ανάγκες των καταναλωτών, με συνέπεια τον άμεσο δανεισμό γεννητριών από το εξωτερικό και την απότομη αύξηση στην τιμή του ηλεκτρισμού.

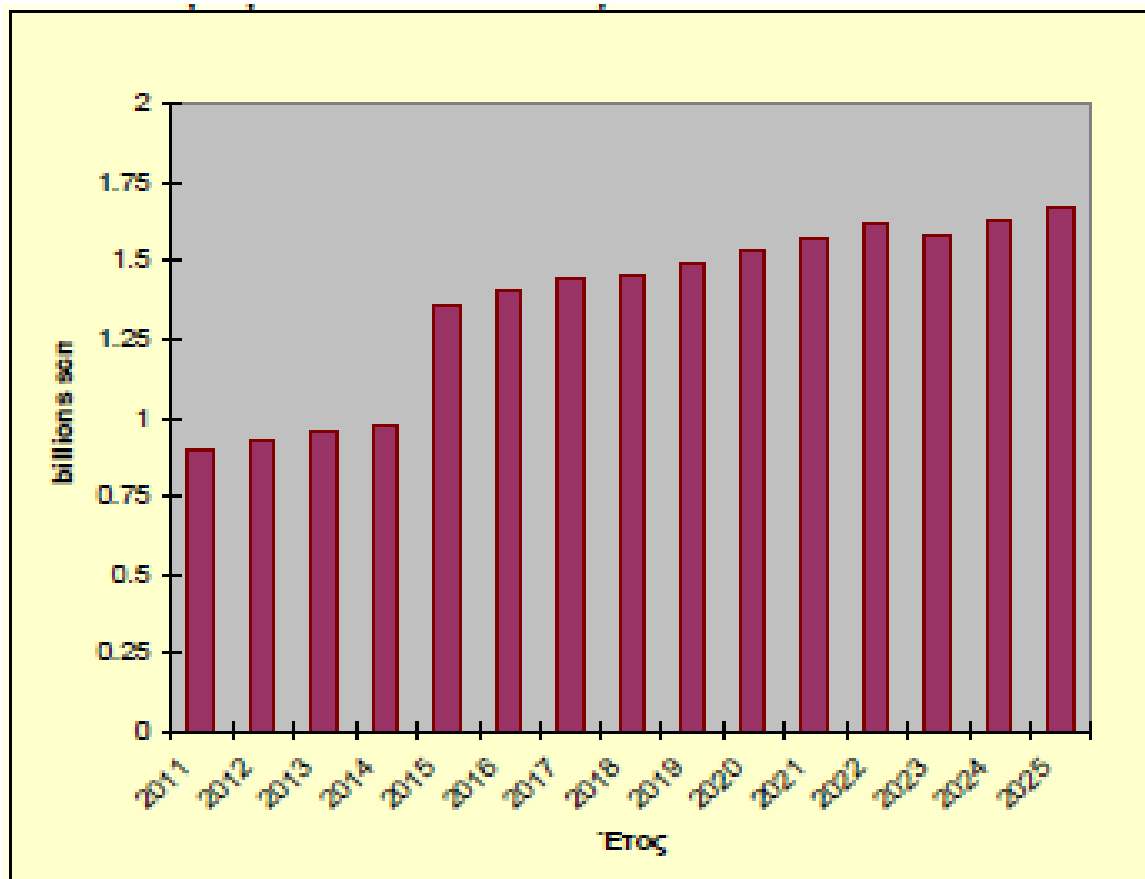
Η πρόβλεψη της μελλοντικής εξέλιξης του ενεργειακού ισοζυγίου είναι ιδιαίτερα χρήσιμη αφού θα δίνει μια προσέγγιση για το πού θα πρέπει να στοχεύσουν οι κρατικές υπηρεσίες στο μέλλον για να επιτευχθούν οι στόχοι που έθεσε το κράτος, τον προγραμματισμό των ενεργειακών επενδύσεων, για να διασφαλιστεί η ενεργειακή τροφοδοσία της χώρας αλλά και πώς θα πρέπει να αντιμετωπίσουν διάφορα σενάρια για το μέλλον. Ταυτόχρονα όμως, η μελέτη της εξέλιξης του ενεργειακού ισοζυγίου είναι δύσκολη αφού εξαρτάται άμεσα από την οικονομική ανάπτυξη και τις διεθνείς τιμές των καυσίμων που κυμαίνονται σε αβεβαιότητα για την εξέλιξη τους. Αυτού του είδους μελέτες γίνονται συστηματικά στο εξωτερικό και ειδικότερα στην Ευρώπη και την Αμερική και έχουν βοηθήσει την οικονομία των χωρών (Μιχαήλ, 2012).

Ο ηλεκτρισμός (μαζούτ) μαζί με τα καύσιμα κίνησης φαίνεται να έχουν τις μεγαλύτερες καταναλώσεις μέχρι το 2030 (404.474 toe, 365.495 toe, 414.609 toe το 2010 και 434.607 toe, 482.874 toe, 534.353 toe το 2030 για τη βενζίνη, πετρέλαιο κίνησης και ηλεκτρισμού αντίστοιχα). Και τα τρία καύσιμα μαζί κατέχουν περίπου το 65% της συνολικής κατανάλωσης μοιράζοντας σχεδόν ισότιμα τα μερίδιά τους στα τρία. Η εικόνα 1.10 απεικονίζει την πρόβλεψη της τελικής κατανάλωσης της ενέργειας ανά καύσιμο μέχρι το 2030 (Μιχαήλ, 2012).



Εικόνα 1.10: Η πρόβλεψη της τελικής ζήτησης της ενέργειας ανά καύσιμο μέχρι το 2030 (Μιχαήλ, 2012).

Αν λάβουμε υπόψη την εισαγωγή του υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) στην παράγωγή ηλεκτρισμού, όπως σχεδιάζεται από την Κυπριακή Δημοκρατία για τα επόμενα χρόνια, δεδομένων και των νέων κοιτασμάτων, τότε στις προβλέψεις πρέπει να συμπεριληφθεί και το μεγάλο ποσοστό του LNG στην τελική παράγωγή ενέργειας. Από τις προβλέψεις μέχρι το 2025 (Εικόνα 1.11) η απαίτηση σε Φυσικό Αέριο για την Κύπρο παρουσιάζει μεγάλη αύξηση.



Εικόνα 1.11: Η απαίτηση της Κύπρου σε Φυσικό Αέριο μέχρι το 2025

(Κασίνης, 2007).

Φαίνεται επομένως, ότι οι ενεργειακές ανάγκες της Κύπρου είναι αυξημένες τα επόμενα χρόνια και χρειάζεται να υπάρξει, πιο σωστός μακροχρόνιος σχεδιασμός που θα καλύπτει τις ανάγκες του νησιού περιλαμβανομένης και της δημιουργίας αποθηκευτικών υποδομών εξ' ολοκλήρου στον χώρο της Κυπριακής Δημοκρατίας για πετρελαιοειδή και κυρίως LNG.

2. Γενικά στοιχεία για τις υπόγειες δεξαμενές πετρελαιοειδών

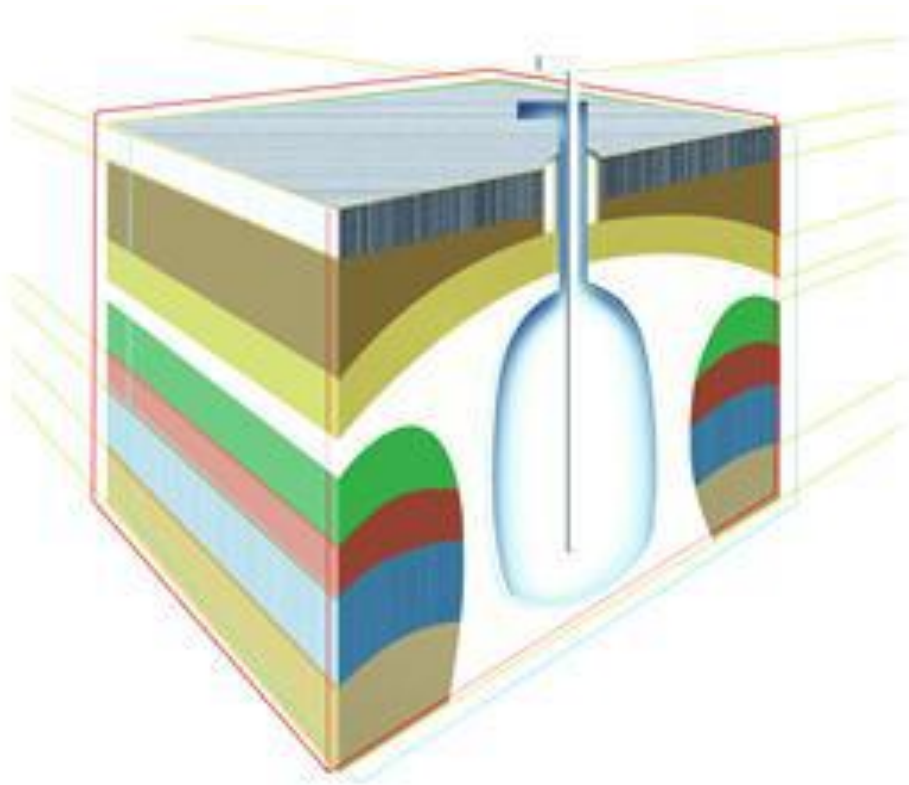
2.1 Υπόγεια Αποθήκευση Υδρογονανθράκων

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 προστατευόμενων από τις εναέριες επιδρομές καταφυγίων 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 (Παπαδήμα, 2010).

2.2 Τρόποι υπεδαφικής αποθήκευσης καυσίμων

Οι βασικοί τύποι υπόγειας αποθήκευσης πετρελαιοειδών είναι:

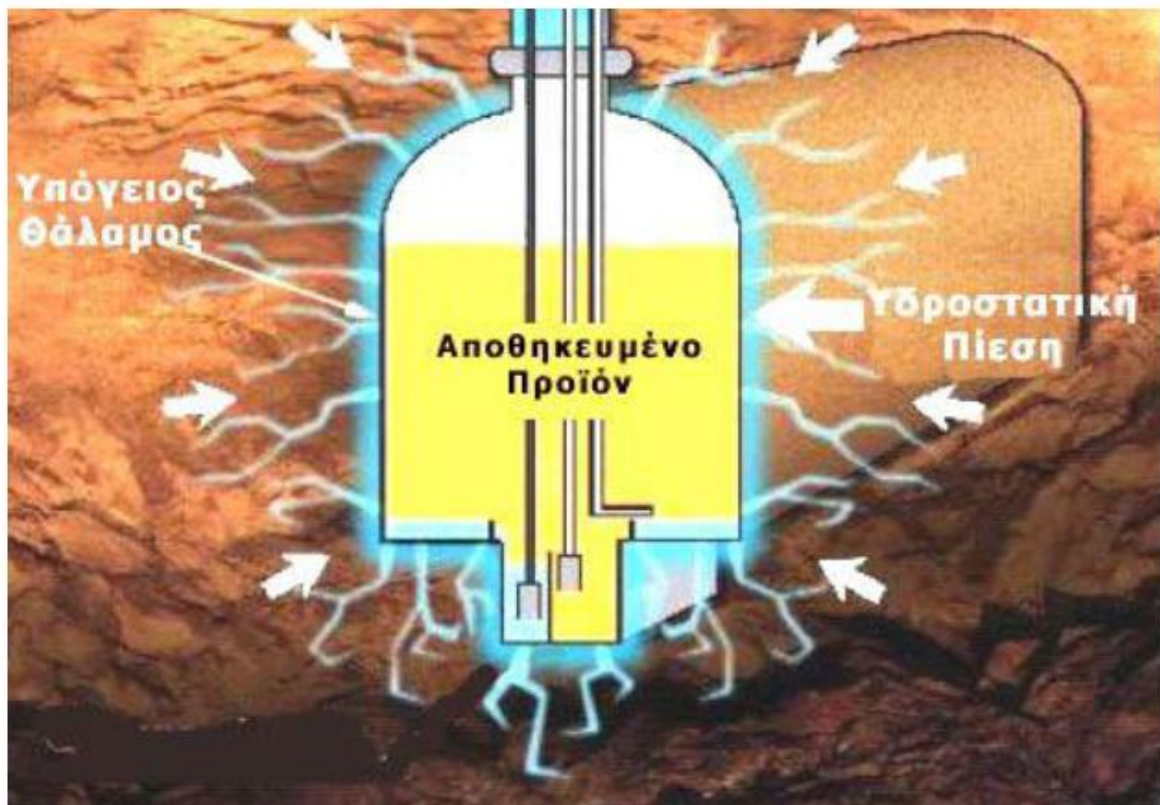
- Κοιλότητες σε δόμους ορυκτού άλατος (Εικόνα 2.1)
- Εγκαταλελειμμένα ορυχεία
- Υδροφόροι ορίζοντες
- Εξαντλημένα κοιτάσματα αερίου και πετρελαίου
- Τεχνητοί υπόγειοι θάλαμοι



Εικόνα 2.1: Τυπική αποθηκευτική υποδομή 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.

Ο πρώτος που ασχολήθηκε με τη μέθοδο ήταν ο γεωλόγος Hagerman, ο οποίος συνειδητοποίησε ότι ένας αποτελεσματικός φραγμός για την αποτελεσματική αποθήκευση υδρογονανθράκων 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 (MorfeIdt, 1983).



Εικόνα 2.2: Εγκλωβισμός του αποθηκευμένου προϊόντος εντός του υδροδυναμικού φράγματος που δημιουργείται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (Μπενάρδος et al, 2010).

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) (Μπενάρδος et al, 2010). 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 (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 απ' 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 (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.

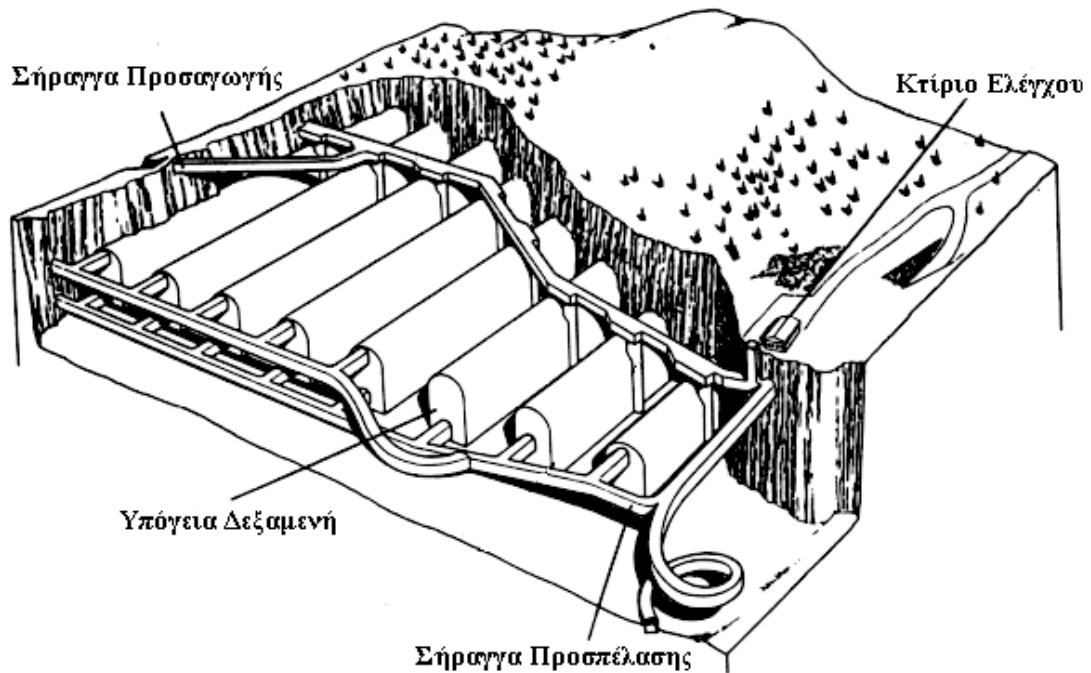
Οι υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης έχουν σχεδιαστεί να ολοκληρώνονται χωρίς τελική επένδυση. Γι' αυτό, το πέτρωμα στο οποίο γίνεται η κατασκευή πρέπει να έχει ικανοποιητική αντοχή ώστε να είναι δυνατή η εκσκαφή ανοιγμάτων μεγάλης διατομής χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα ευστάθειας, αλλά και κατάλληλης σύνθεσης 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 επένδυση, κυρίως για αποθήκευση ειδικών τύπων καυσίμων που απαιτούν ιδιαίτερες συνθήκες πίεσης. 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 αποθηκεύσεως διαφορετικών τύπων υδρογονανθράκων, αν αυτό χρειαστεί.

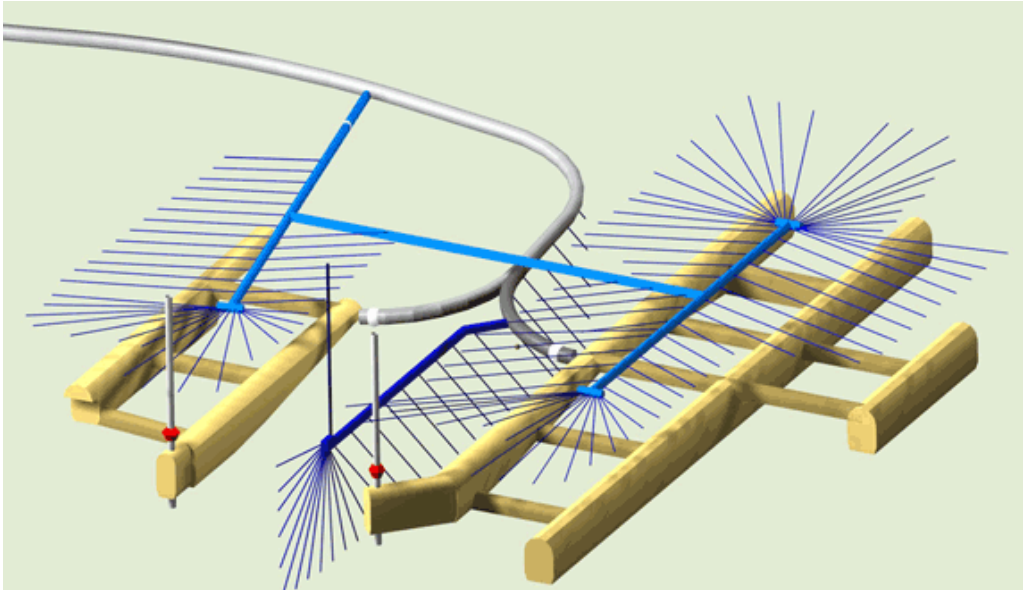
Γενικά, μπορούν να διακριθούν δύο κύριοι τύποι δεξαμενών, σύμφωνα με τον τρόπο που είναι διατεταγμένες στο χώρο, οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες, στοιχεία για τις οποίες δίνονται στη συνέχεια (Μπενάρδος et al., 2010).



Εικόνα 2.3: Τυπική μορφή συγκροτήματος υπόγειας αποθήκευσης πετρελαίου (Μπενάρδος et al., 2010).

2.3.1 Οριζόντιες δεξαμενές

Οι οριζόντιες δεξαμενές, έχουν μορφή σήραγγας μεγάλης διατομής (Εικόνα 2.4). Μπορούν να φτάσουν τα 20-30 m πλάτος, τα 25-33 m ύψος, ενώ το μήκος μπορεί να ξεπεράσει τα 700-1000 m. 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, Γαλλία (Geostock, 2012).



Εικόνα 2.5: Εσωτερικό οριζόντιου υπόγειου θαλάμου στην περιοχή Yosu στη Ν.Κορέα (Geostock, 2012).

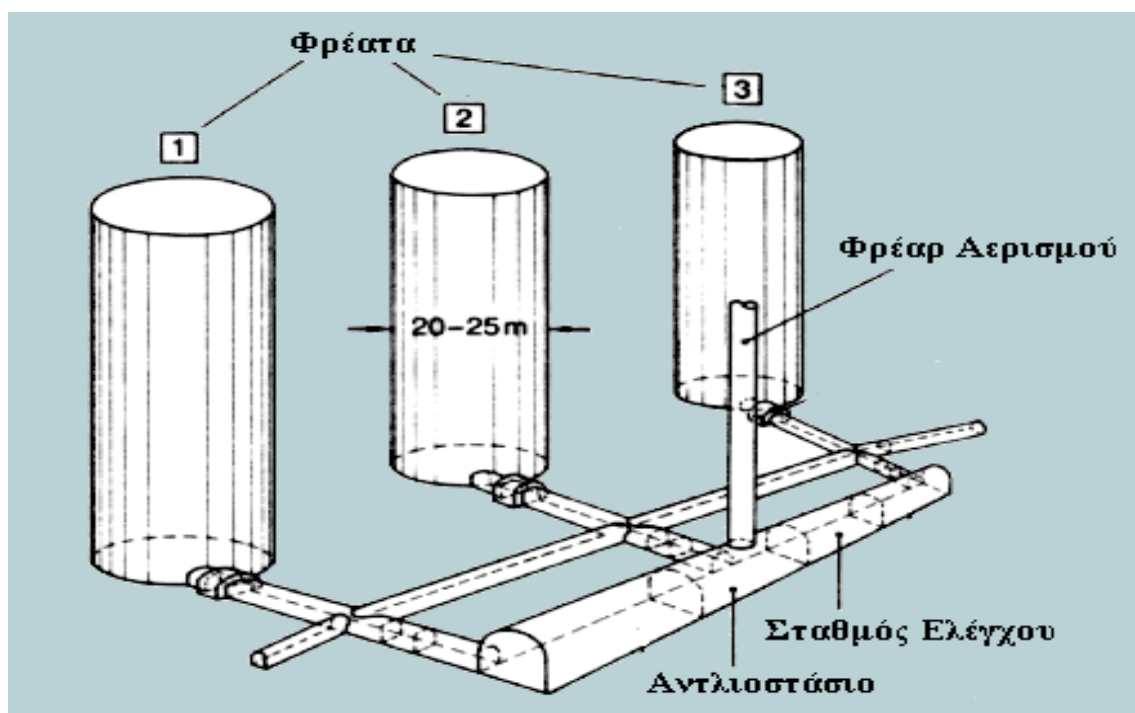
Το κόστος κατασκευής αυτού του τύπου δεξαμενών, ακόμη και σε πετρώματα που δεν εμφανίζουν αρκετά ευνοϊκά χαρακτηριστικά και επίσης σε θέσεις όπου το πάχος των υπερκειμένων δεν είναι αρκετά μεγάλο, τις καθιστά οικονομικά συμφέρουσες. Οι δεξαμενές αυτού του τύπου κατασκευάζονται κάτω από τη στάθμη του 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

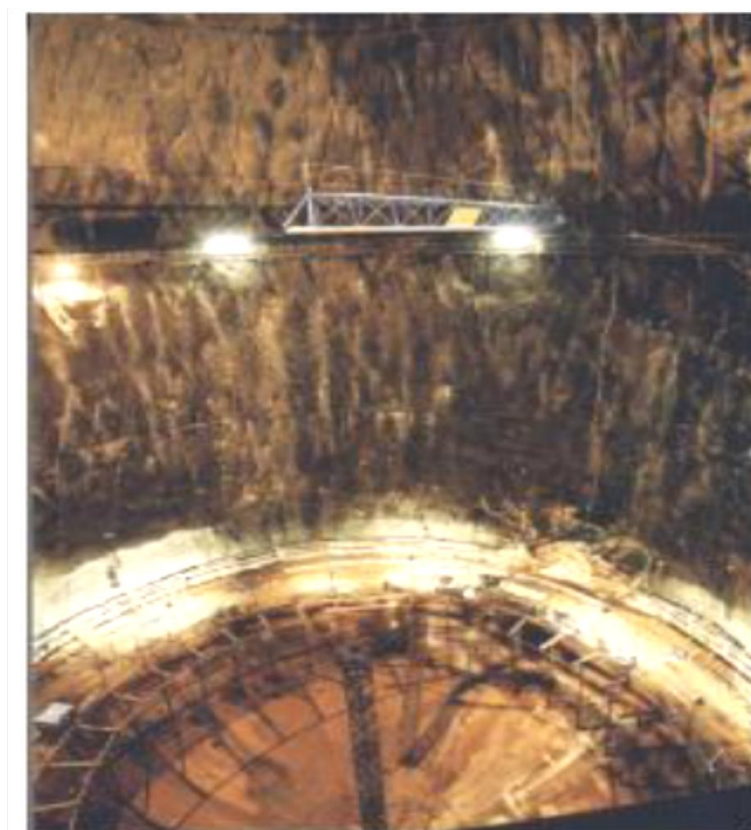
Στην περίπτωση των κατακόρυφων δεξαμενών, οι θάλαμοι ορύσσονται και κατασκευάζονται υπό τη μορφή φρεάτων (Εικόνα 2.6). Ο τύπος αυτός εμφανίζει ορισμένα πλεονεκτήματα. Επειδή η διάταξη των θαλάμων καταλαμβάνει μικρότερη έκταση, υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εξεύρεσης κατάλληλου πετρώματος. Ο άξονας μήκους των θαλάμων είναι κάθετος κάτι που μειώνει σημαντικά τις συγκεντρώσεις 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 (Μπενάρδος et al, 2010).



Εικόνα 2.6: Κατακόρυφες δεξαμενές (Μπενάρδος et al, 2010)



Εικόνα 2.7: Οριζόντια δεξαμενή αποθήκευσης καυσίμων (Skallen, Σουηδία)
(Geostock, 2012)

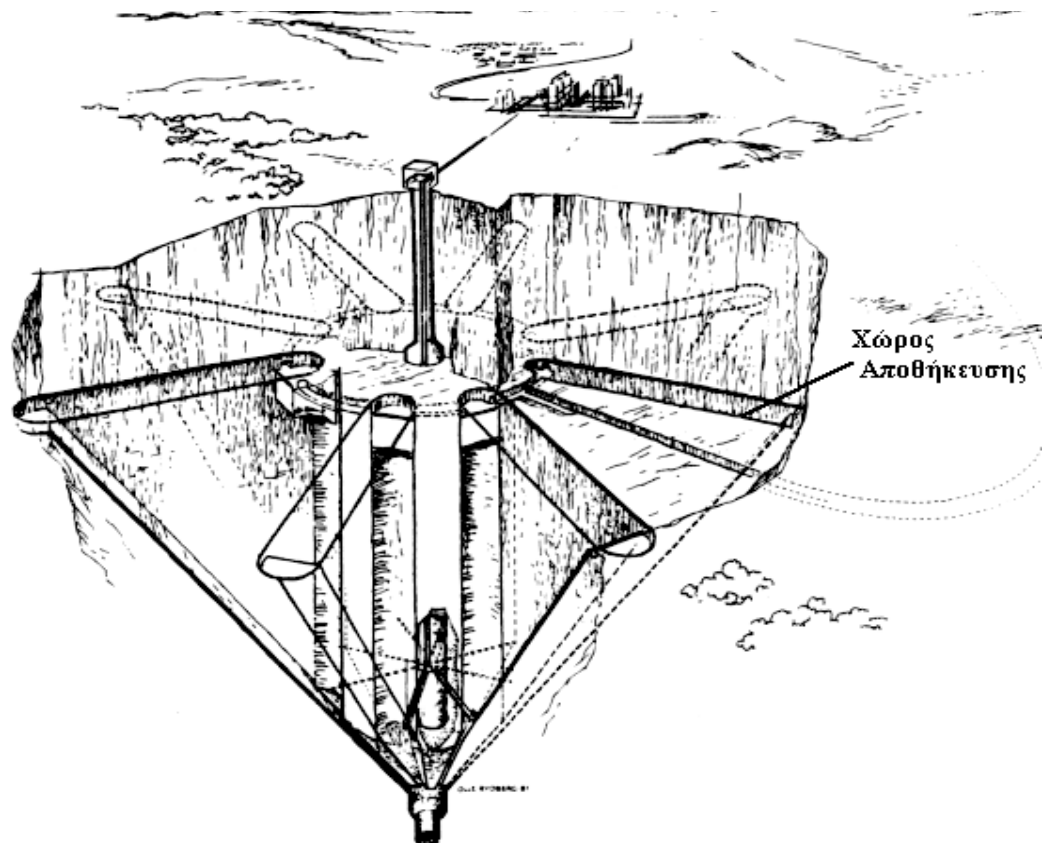
Ορισμένα από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα είχαν αναγνωριστεί νωρίς, και είχαν συμπεριληφθεί στις προτάσεις, διαμορφώσεων νέων τύπων κατακόρυφων αποθηκών όπως:

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 των θαλάμων. 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.



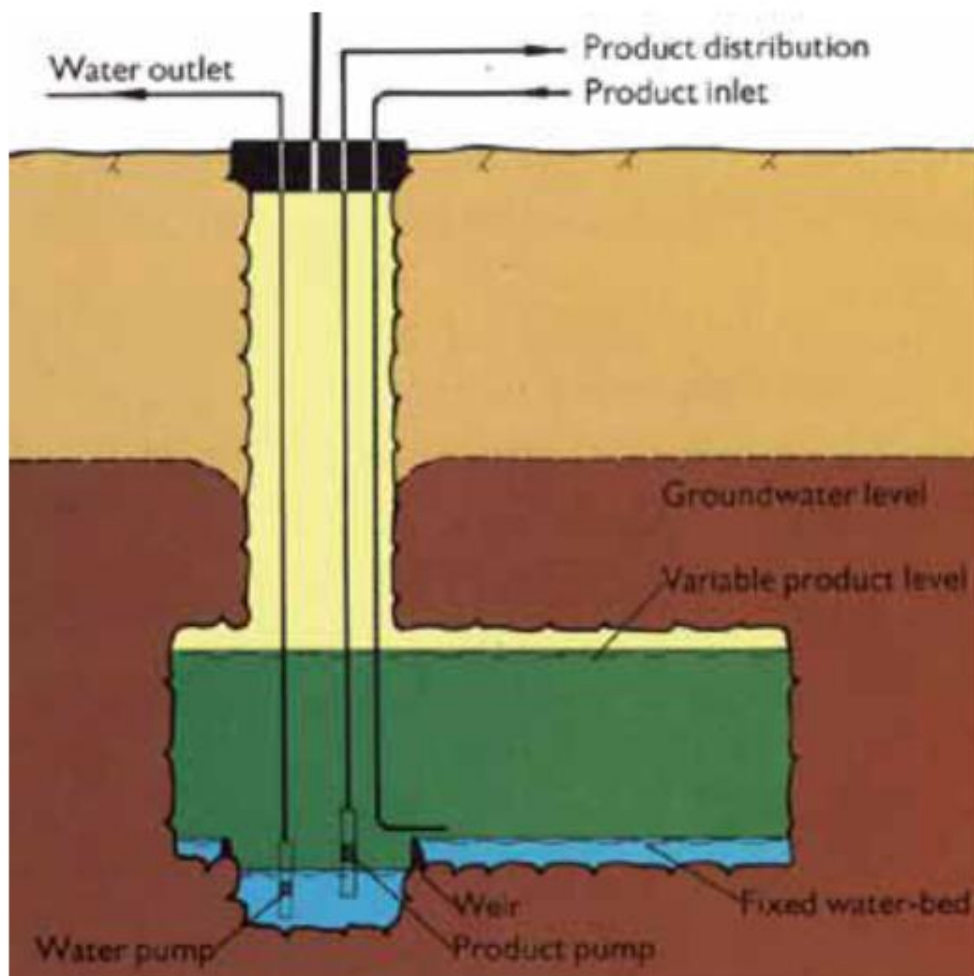
Εικόνα 2.8 Υπόγειος αποθηκευτικός χώρος υδρογονανθράκων σε σχήμα χωνιού (Funnel Storage)

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 υπόγειων δεξαμενών, κάτω από το καύσιμο, αυτές διακρίνονται σε δύο τύπους:

Υπόγειες δεξαμενές καυσίμου με σταθερή στάθμη νερού

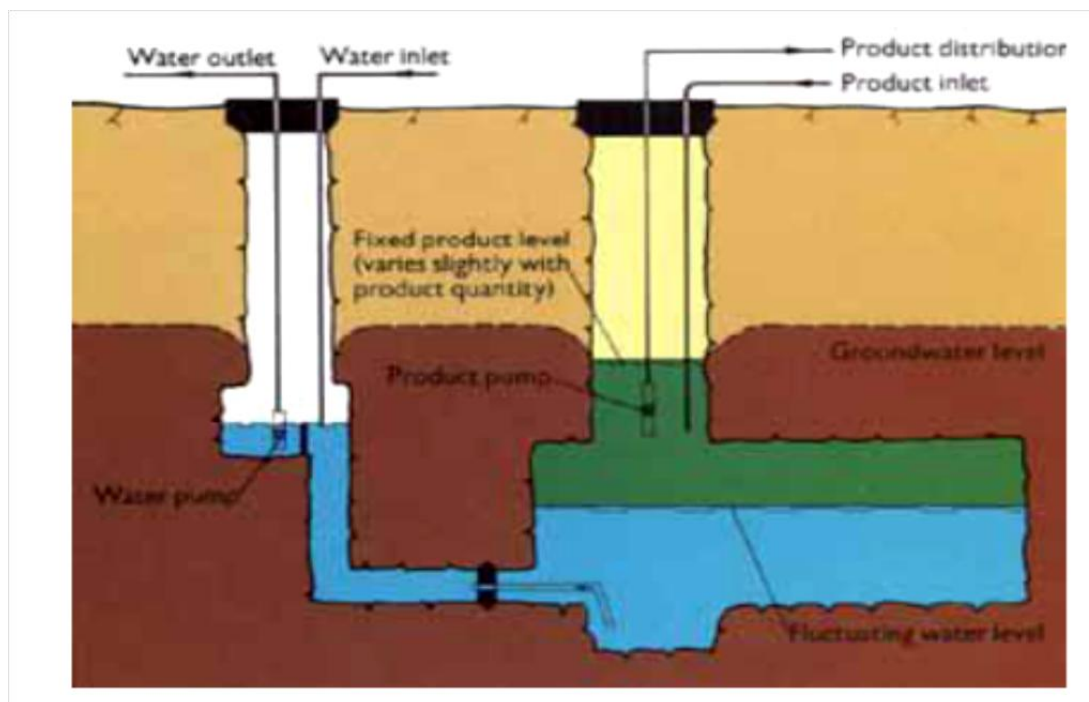
Πρόκειται για δεξαμενές στις οποίες η στάθμη του νερού παραμένει σταθερή με τη βοήθεια μιας ειδικής αντλίας που είναι τοποθετημένη στον πυθμένα της δεξαμενής (Εικόνα 2.9), ενώ η στάθμη του αποθηκευμένου καυσίμου μεταβάλλεται. Η μέθοδος εφαρμόζεται για μεγάλους όγκους αποθηκευμένων προϊόντων (>50.000 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 (Παπαδήμα, 2010)

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 (Παπαδήμα, 2010)

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 τυχόν διαρροές .

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 με τις επιφανειακές δεξαμενές



Εικόνα 2.11: Τρισδιάστατη απεικόνιση υπόγειων αποθηκών κάτω από επιφανειακές εγκαταστάσεις (Geostock, 2012).

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 (Μπενάρδος et al, 2010).

Δυνατότητα δημιουργίας στρατηγικών αποθεμάτων πετρελαίου

Σύμφωνα με την οδηγία 2006/67/EK 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 (Μπενάρδος et al, 2010).

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 (Μπενάρδος et al, 2010).

Χαμηλότερο κόστος συντήρησης

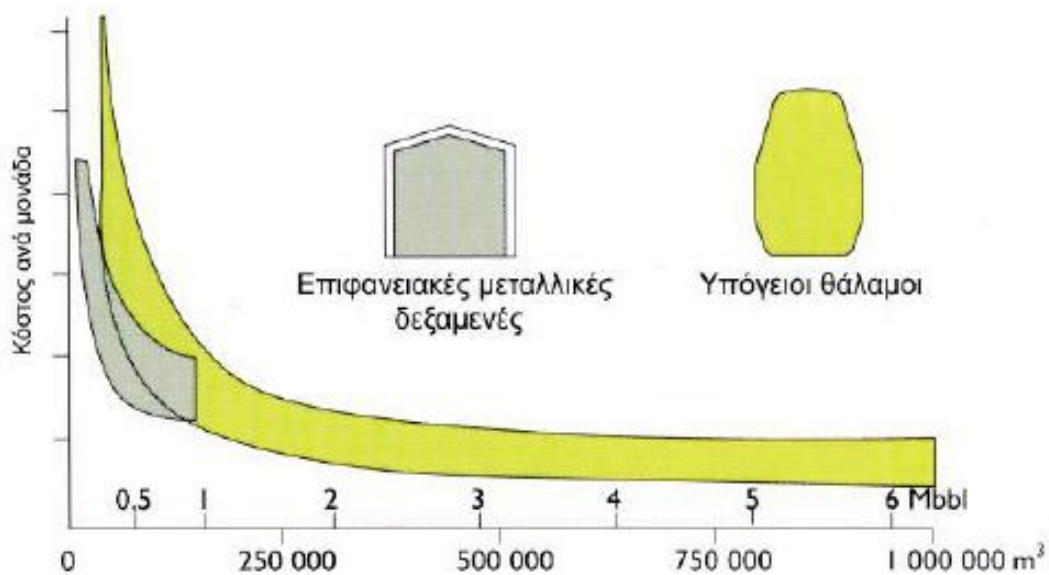
Δεν απαιτούνται διατάξεις πυρόσβεσης για το υπόγειο τμήμα του συγκροτήματος, ενώ τα ζητήματα διάβρωσης και επισκευών αφορούν μόνο τα επιφανειακά έργα, σε αντίθεση με τα επιφανειακά συγκροτήματα που απαιτούνται αντίστοιχες εργασίες για το σύνολο των μεταλλικών επιφανειών κάθε 3- 4 έτη περίπου. Επίσης, 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.

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 (Μπενάρδος et al, 2010).

Κόστος κατασκευής τουλάχιστον συγκρίσιμο με τις υπέργειες δεξαμενές

Το κόστος κατασκευής των υπογείων δεξαμενών χωρητικότητας μεγαλύτερης των 100.000 - 150.000 m³, είναι τουλάχιστον συγκρίσιμο (Εικόνα 2.12) όπως αναφέρεται από τον 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 ασύμφορες. Πιο συγκεκριμένα το κόστος ανά m³ προϊόντος μειώνεται κατά 50%, όταν ο όγκος της δεξαμενής αυξάνεται από τα 10.000 m³ στα 100.000 m³ (Μπενάρδος et al, 2010).



Εικόνα 2.12: Συγκριτικό διάγραμμα κόστους επιφανειακής-υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων (Froise, 1987).

Όσο αφορά το κόστος και για άλλες τεχνικές υπεδαφικής αποθήκευσης, θα παρουσιαστούν αναλυτικά, με συγκεκριμένα παραδείγματα σε επόμενο κεφάλαιο.

Εκτός από τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης, έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα έναντι των επιφανειακών εγκαταστάσεων.

- 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.

3. Βασικοί τύποι υπόγειας αποθήκευσης Φυσικού

Αερίου

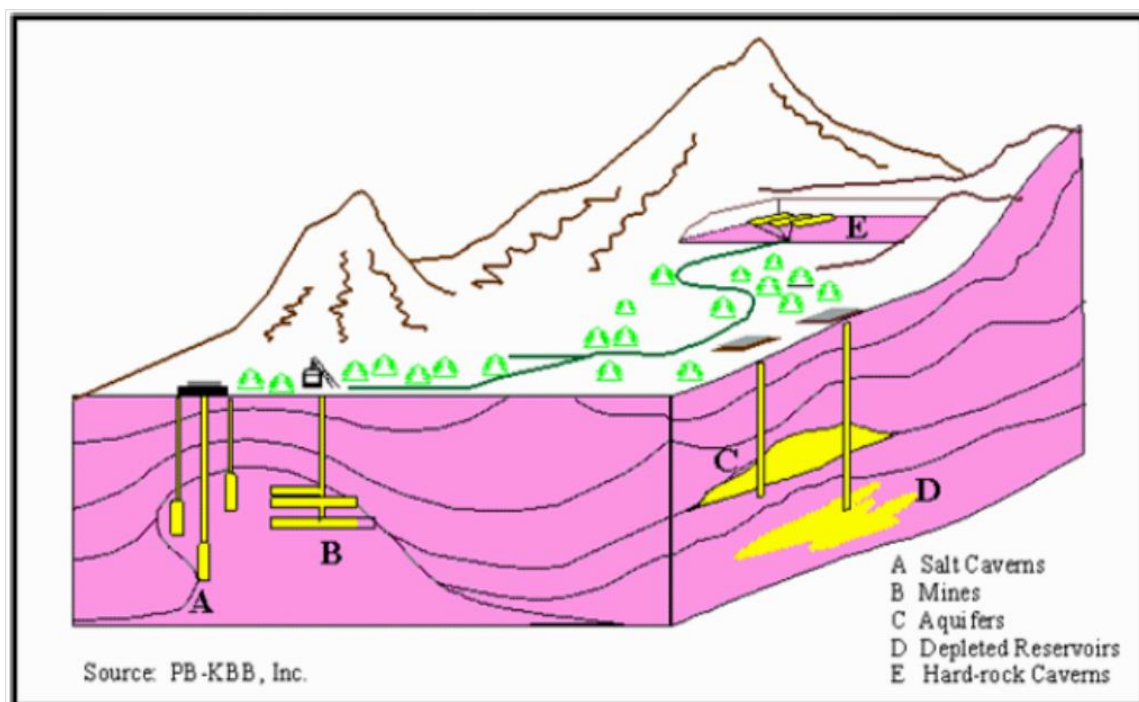
Η ανάγκη για υπόγειες αποθήκες φυσικού αερίου πήρε μεγάλη έκταση λίγο μετά τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Εκείνη την περίοδο οι εταιρείες φυσικού αερίου διαπίστωσαν πως η αύξηση της εποχικής ζήτησης δεν μπορούσε να αντιμετωπιστεί επαρκώς μόνο από το σύστημα αγωγών. Για να αντιμετωπιστεί η αυξημένη εποχική ζήτηση η δυναμικότητα μεταφοράς των αγωγών (και επομένως το μέγεθός τους) θα έπρεπε να αυξηθεί σημαντικά. Ωστόσο, η τεχνολογία που απαιτείται, για να κατασκευαστούν τόσο μεγάλοι αγωγοί στις περιοχές κατανάλωσης δεν ήταν τότε εφαρμόσιμη. Επομένως, για να αντιμετωπιστεί η αυξημένη ζήτηση, η υπόγεια αποθήκευση (Εικόνα 3.1) ήταν η μόνη λύση.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αποθήκευσης φυσικού αερίου, ο καθένας με ιδιαίτερα οικονομικά και φυσικά χαρακτηριστικά σχετικά με την καταλληλότητά του, από εμπορικής πλευράς, ως εγκαταστάσεις αποθήκευσης.

Οι τρεις κυρίαρχοι τύποι υπεδαφικής αποθήκευσης αερίου που χρησιμοποιούνται περισσότερο αυτή την στιγμή στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι:

- Εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων
- Υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες
- Κοιλότητες σε αλατούχους σχηματισμούς

Τα διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά των μεθόδων αποθήκευσης μπορούν να οδηγήσουν στην εκμετάλλευσή τους για διαφορετικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, η αποθήκευση σε κοιλότητες άλατος είναι σε θέση να παρέχει υψηλούς ρυθμούς απόληψης και εισπίεσης αλλά προσφέρει μικρότερη αποθηκευτική ικανότητα. Οι εξαντλημένοι ταμιευτήρες παρέχουν αρκετά μεγάλη χωρητικότητα αλλά χαμηλούς ρυθμούς απόληψης. Για να εξαχθούν τα κατάλληλα αποτελέσματα σχετικά με το ποια μέθοδος είναι πιο συμφέρουσα κατά περίπτωση, είναι αναγκαίο να παρουσιαστούν αρχικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μιας από αυτές (Σταματάκη, 2002).



Εικόνα 3.1: Τύποι υπογείων αποθηκών φυσικού αερίου (Realgy Energy Services, 2012).

Σε κάθε εγκατάσταση υπόγειας αποθήκευσης το φυσικό αέριο εισπιέζεται μέσα στον σχηματισμό αυξάνοντας σταδιακά την πίεση. Ο υπόγειος σχηματισμός λειτουργεί σαν ένα δοχείο πεπιεσμένου φυσικού αερίου. Για την λειτουργία της αποθήκης επιβάλλεται η συνεχής παραμονή όγκου αερίου μέσα στην εγκατάσταση ώστε να διασφαλίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση για την παροχή των γεωτρήσεων παραγωγής. Το αέριο αυτό καλείται «αέριο βάσης» (cushion gas) και δεν υπολογίζεται στην ποσότητα που μπορεί να αντληθεί.

«Ωφέλιμο αέριο» (working gas) είναι ο ωφέλιμος όγκος του φυσικού αερίου που υπάρχει σε έναν ταμιευτήρα και είναι διαθέσιμος για παραγωγή κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της εγκατάστασης αποθήκευσης. Αυτό είναι και το αέριο που αποθηκεύεται και εξάγεται. Η χωρητικότητα των εγκαταστάσεων αποθήκευσης αναφέρεται συνήθως στη χωρητικότητα σε ωφέλιμο αέριο. Στην αρχή ενός κύκλου άντλησης, η πίεση στο εσωτερικό της αποθήκης είναι υψηλότερου επιπέδου. Καθώς, ο όγκος του αερίου στην αποθήκη μειώνεται, η πίεση (και κατά συνέπεια η δυναμικότητα μεταφοράς) πέφτει. Κατά περιόδους, μέρος του ωφέλιμου αερίου μπορεί να ληφθεί υπόψη ως αέριο βάσης μετά από επανεκτίμηση της λειτουργίας των εγκαταστάσεων (Παναγιωτίδου, 2012).

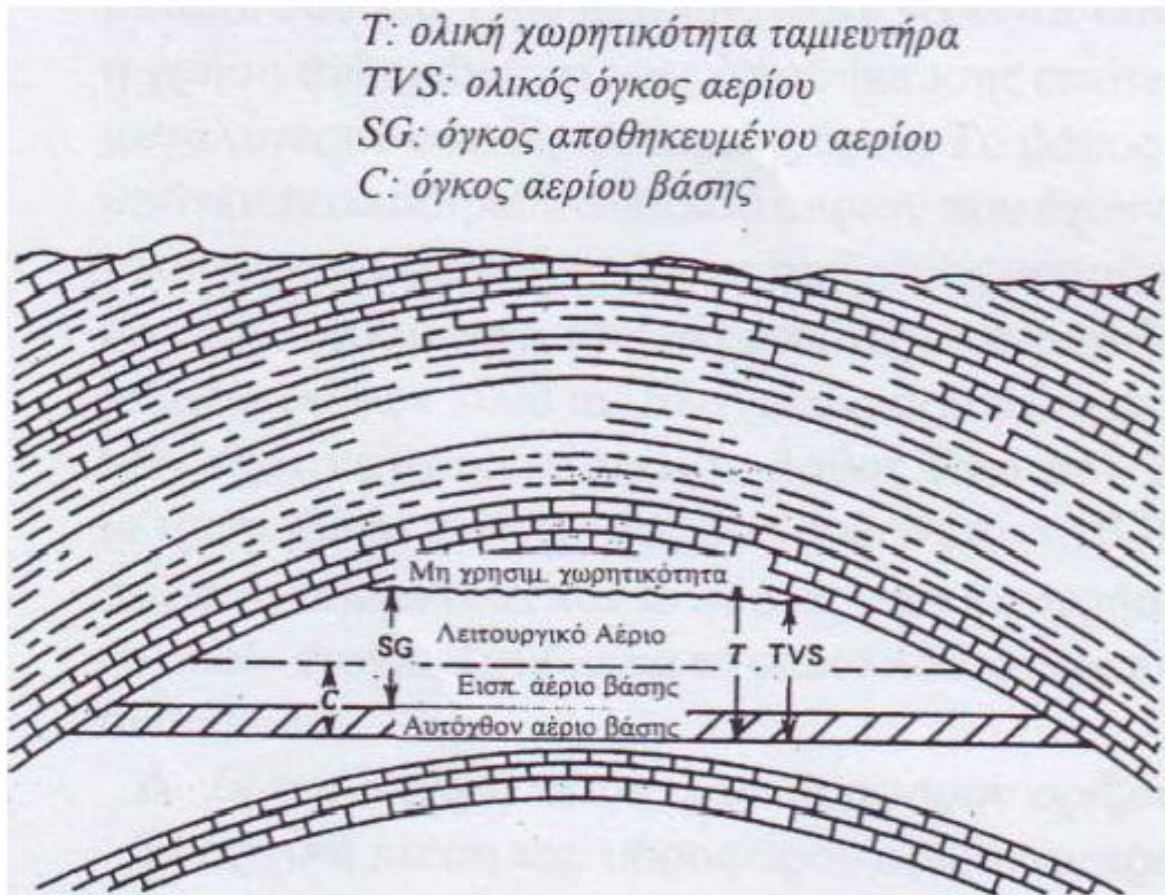
3.1 Εξαντλημένα Κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου

Πρόκειται για την πιο χαρακτηριστική και συνηθισμένη μέθοδο υπεδάφικης αποθήκευσης. Φυσικό αέριο αποθηκεύτηκε επιτυχώς για πρώτη φορά στο Welland County, Οντάριο, Καναδάς, το 1915 σε εξαντλημένο κοιτάσμα φυσικού αερίου. Στην Ευρώπη, η πρώτη αποθήκη κατασκευάστηκε στην Πολωνία το 1954.

Πρόκειται για τους σχηματισμούς που περιείχαν φυσικό αέριο και από τους οποίους έχει αντληθεί όλο το οικονομικά απολήψιμο αέριο και στους οποίους μπορεί να επανεισπιαστεί φυσικό αέριο μέσω της επαναδημιουργίας των αρχικών συνθηκών στο εσωτερικό τους. Ο εξαντλημένος ταμιευτήρας είναι ανά πάσα στιγμή έτοιμος να δεχτεί εισπίεση φυσικού αερίου. Η χρήση μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι οικονομικά ελκυστική αφού επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση, με κατάλληλες μετατροπές, της υφιστάμενης υποδομής παραγωγής, του εξοπλισμού εξόρυξης (σωληνώσεις, γεωτρήσεις κλπ) και των δικτύων διανομής που παραμένουν από την παραγωγική ζωή του κοιτάσματος. Το γεγονός αυτό μειώνει το κόστος που θα προέκυπτε αν οι εργασίες ξεκινούσαν από την αρχή. Τα εξαντλημένα κοιτάσματα αποτελούν ιδανική λύση δεδομένου ότι τα φυσικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών (χαρακτηριστικά της ζώνης αποθήκευσης, των εμπεριεχόμενων ρευστών, η στεγανότητα των υπερκειμένων σχηματισμών και η συμπεριφορά των παραγωγικών πηγαδιών) έχουν ήδη μελετηθεί από γεωλόγους και μηχανικούς πετρελαίων και επομένως είναι γνωστά. Κατά συνέπεια, τα εξαντλημένα κοιτάσματα είναι πιο οικονομικά και εύκολα να αναπτυχθούν, να λειτουργήσουν και να διατηρηθούν σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους αποθήκευσης.

Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται η τυπική μορφή υπόγειας αποθήκευσης φυσικού αερίου σε εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων. Το αέριο, το οποίο εμπεριέχεται στην υπόγεια αποθήκη, διακρίνεται σε τέσσερα χαρακτηριστικά μέρη. Το πρώτο είναι το αέριο βάσης μέρος του οποίου μπορεί να υπάρχει ήδη στον ταμιευτήρα και καλείται «αυτόχθον αέριο» (native cushion gas). Η ποσότητα του αυτόχθονος αερίου δεν είναι πάντα επαρκής με αποτέλεσμα να απαιτείται εισπίεση επιπροσθέτου όγκου (injected cushion gas). Το ωφέλιμο αέριο, όπως προαναφέραμε, είναι ο όγκος του αερίου που είναι διαθέσιμος για παραγωγή τις περιόδους αύξησης της ζήτησης. Η μη χρησιμοποιούμενη χωρητικότητα

(unused capacity) είναι το τμήμα του ταμιευτήρα που είναι διαθέσιμο για τυχόν αύξηση του αποθηκευμένου όγκου και είναι πρακτικά συνάρτηση της πίεσης αποθήκευσης του αερίου (Σταματάκη, 2002).



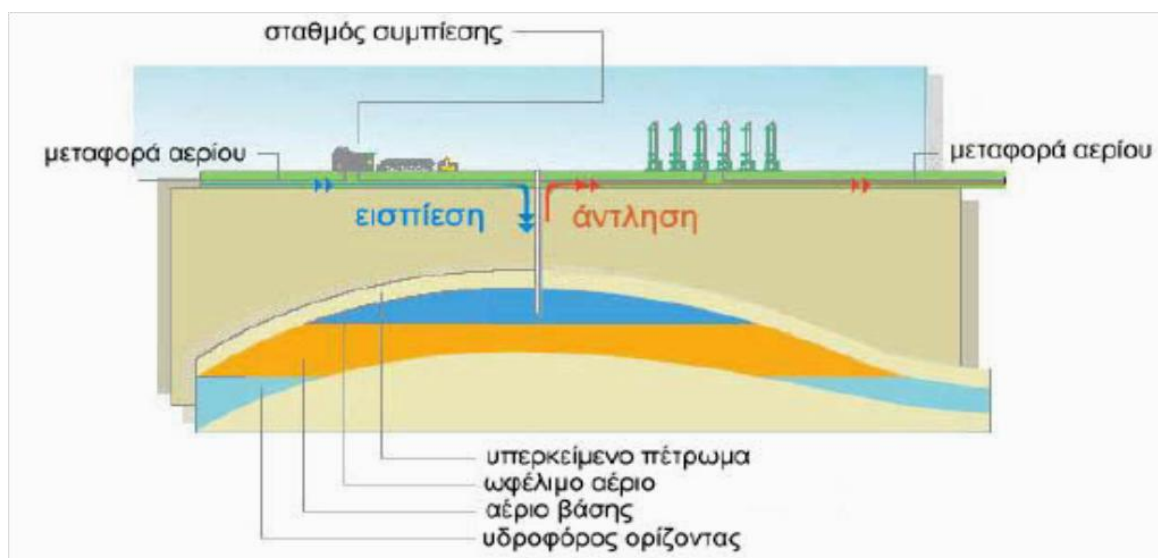
Εικόνα 3.2: Τυπική μορφή υπόγειας αποθήκης φυσικού αερίου σε εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων (Σταματάκη, 2002).

Για τη διασφάλιση της απαιτούμενης πίεσης λειτουργίας, περίπου 50% του φυσικού αερίου που αντιστοιχεί στη συνολική χωρητικότητα της αποθήκης πρέπει να παραμένει στο σχηματισμό ως αέριο βάσης. Επομένως, γίνεται σαφές ότι η σχέση αερίου βάσης προς ωφέλιμο αέριο είναι κρίσιμη παράμετρος στο σχεδιασμό, στο κόστος και στην απόδοση της αποθήκης. Ο λόγος αυτός είναι διαφορετικός για κάθε ταμιευτήρα και μεταβάλλεται στο χρόνο ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η βασική παράμετρος που επηρεάζει τη σχέση αυτή είναι η μέση διαπερατότητα της αποθηκευτικής ζώνης. ΦΓια σχηματισμούς μεγάλης διαπερατότητας (>500 millidarcy (mD)) ο λόγος κυμαίνεται από 0.7 ως 1, ενώ για σχηματισμούς μικρής διαπερατότητας (<50 millidarcy (mD)) υπερτριπλασιάζεται. Πρακτικά, όσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ωφέλιμη αποθηκευτική ικανότητα.

Έτσι, οι εγκαταστάσεις αυτές παρουσιάζουν ένα επιπλέον οικονομικό πλεονέκτημα, ειδικά όταν η τιμή του αερίου είναι σε υψηλά επίπεδα. Συνήθως, αυτές οι εγκαταστάσεις λειτουργούν σε ένα ετήσιο κύκλο το αέριο εισπνέζεται κατά την διάρκεια της περιόδου χαμηλής ζήτησης (κατά τους καλοκαιρινούς μήνες) και αντλείται κατά τους χειμερινούς μήνες που η ζήτηση είναι μεγάλη (Σταματάκη, 2002).

Η οικονομική βιωσιμότητα ενός εξαντλημένου κοιτάσματος αερίου ως εγκατάσταση αποθήκευσης καθορίζεται από διάφορους παράγοντες. Από γεωγραφικής άποψης, οι ταμιευτήρες πρέπει να είναι σχετικά κοντά στις αγορές αερίου και στις υποδομές μεταφοράς (αγωγοί και συστήματα μεταφοράς) που θα τους συνδέουν με τις αγορές. Από γεωλογικής άποψης, οι σχηματισμοί είναι σημαντικό να έχουν μεγάλο πορώδες και μεγάλη διαπερατότητα. Το πορώδες του σχηματισμού είναι ένας από τους παράγοντες που θα καθορίζει την ποσότητα φυσικού αερίου που είναι σε θέση να αποθηκεύσει ο σχηματισμός. Η διαπερατότητα καθορίζει την ευκολία με την οποία το φυσικό αέριο κινείται μέσα στον σχηματισμό και συνεπώς το ρυθμό εισπίεσης και άντληση αερίου από την αποθήκη.

Το αέριο μπορεί να αποθηκευτεί με ασφάλεια σε πιέσεις τουλάχιστον ίσες με την αρχική πίεση του ταμιευτήρα χωρίς προβλήματα διαφυγής. Σε περίπτωση που θα χρησιμοποιηθούν χώροι κοιτασμάτων πετρελαίου, υπάρχει όφελος λόγω της δυνατότητας επαύξησης της απόληψης του υπολειμματικού πετρελαίου του ταμιευτήρα. Το εναπομείναν πετρέλαιο εμπλουτίζεται από τα πτητικά συστατικά του αερίου, μειώνεται το ιξώδες του και παράλληλα αυξάνεται η σχετική κινητικότητα του. Κατά το στάδιο της άντλησης του φυσικού αερίου, ποσότητες πετρελαίου συμπαρασύρονται στην επιφάνεια με αποτέλεσμα την ενίσχυση της συνολικής απόληψης από τα κοιτάσματα και του οικονομικού οφέλους της όλης διαδικασίας (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Αποθήκευση αερίου σε εξαντλημένο κοίτασμα (Παναγιωτίδου, 2012).

3.1.1 Πλεονεκτήματα αποθήκευσης σε εξαντλημένα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου:

- Συγκριτικά χαμηλό κόστος μετατροπής από την παραγωγική φάση στην αποθήκευση.
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία στα γεωλογικά χαρακτηριστικά των αποθηκευτών πετρωμάτων αφού εξ αρχής περιείχαν υδρογονάνθρακες. Επομένως, η περίπτωση διαρροής είναι εξαιρετικά μικρή.
- Χαμηλό κόστος επένδυσης αφού ο βασικός απαραίτητος εξοπλισμός υπάρχει ήδη στις εγκαταστάσεις και οι γεωτρήσεις έχουν ορυχθεί από την αρχή όταν το έργο βρισκόταν στην παραγωγική φάση.

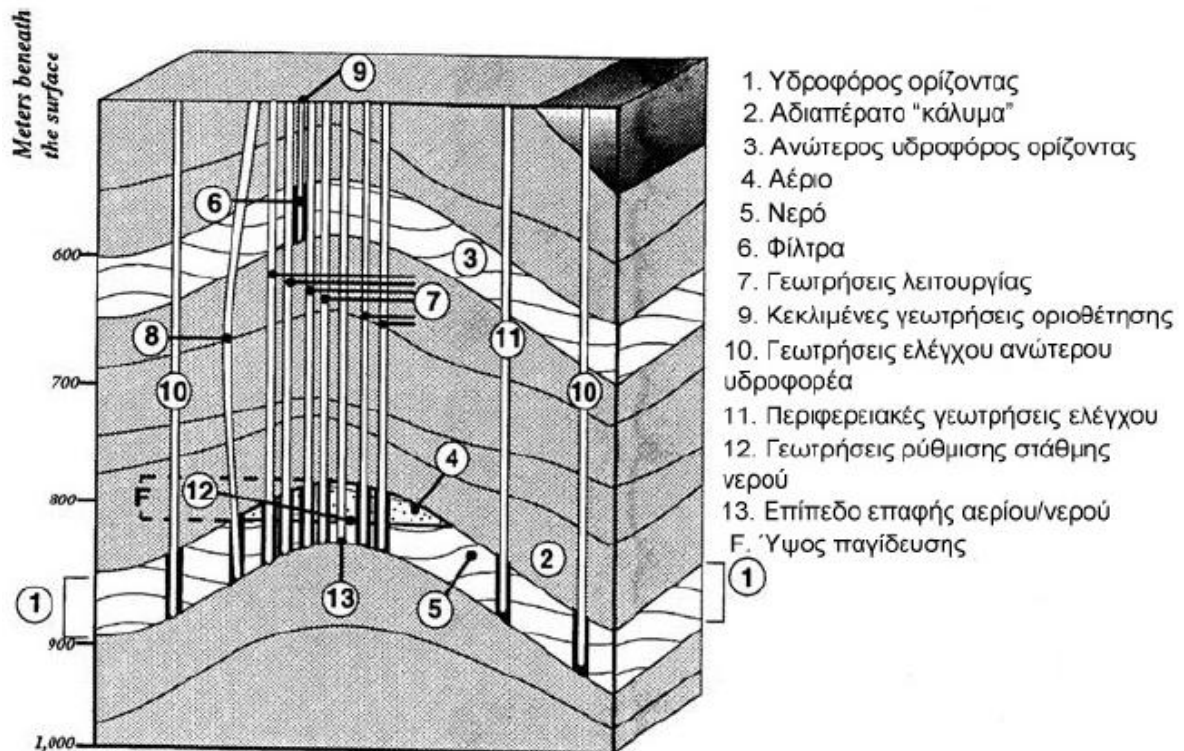
3.1.2 Μειονεκτήματα αποθήκευσης σε εξαντλημένα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου:

- Σημαντική αρχική επένδυση σε αέριο βάσης αφού σχεδόν το 50% της αποθήκης καταλαμβάνεται από αυτό (αναλογεί περίπου στο 30% της αρχικής επένδυσης) (Σταματάκη, 2002).
- Η ευμετάβλητη τιμή του φυσικού αερίου καθιστά τις επενδύσεις σε αυτή τη μέθοδο αποθήκευσης αρκετά επισφαλείς λόγω των μεγάλων απαιτήσεων σε αέριο βάσης.
- Χαμηλοί ρυθμοί άντλησης και εισπίεσης που καθιστούν αυτή τη μέθοδο σχετικά προβληματική για βραχυπρόθεσμες μεταβολές της ζήτησης.

3.2 Υπόγειοι Υδροφόροι Ορίζοντες

Οι υδροφόροι ορίζοντες είναι υπόγειοι πορώδεις, διαπερατοί σχηματισμοί που λειτουργούν ως φυσικοί ταμιευτήρες νερού και πρωτοχρησιμοποιήθηκαν ως αποθήκες φυσικού αερίου το 1946 στο Kentucky των ΗΠΑ και στην Ευρώπη το 1953 στη Γερμανία.

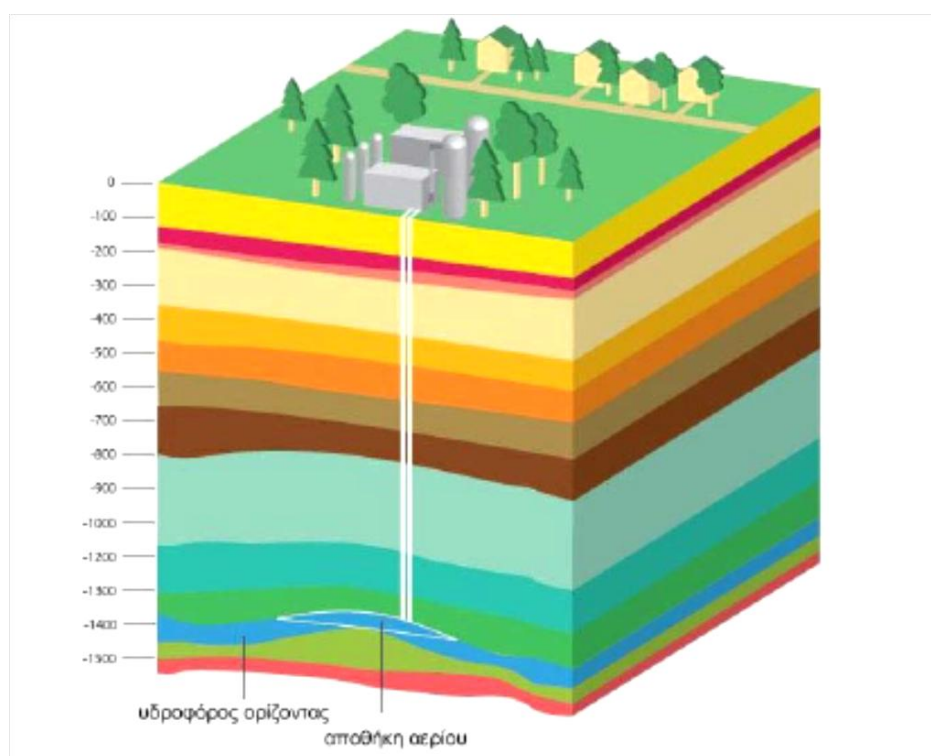
Η μέθοδος βασίζεται στην εισπίεση, μέσω γεωτρήσεων, μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου μέσα σε υδροφόρους σχηματισμούς. Το αέριο αρχικά συμπιέζεται και στη συνέχεια απωθεί το υπόγειο νερό προς βαθύτερους ορίζοντες, πληρώνοντας το πορώδες του γεωλογικού σχηματισμού (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Σχηματική τομή αποθήκης φυσικού αερίου σε υδροφόρο ορίζοντα (Gaz de France, June 1992)

Βασική προϋπόθεση της μεθόδου είναι η ύπαρξη κατάλληλης γεωλογικής δομής και στεγανού υπερκειμένου σχηματισμού (Εικόνα 3.5). Το αέριο βρίσκεται εγκιβωτισμένο μεταξύ του νερού και του αδιαπέρατου υπερκειμένου, επιτυγχάνοντας την αναγκαία στεγανότητα την εξάλειψη πιθανών διαφυγών. Για να είναι μια γεώτρηση παραγωγική πρέπει να ορυχθεί μέσα στον υδροφόρο. Πετρώματα όπως γρανίτες και σχιστόλιθοι

γενικά δεν δημιουργούν κατάλληλους υδροφόρους λόγω του πολύ χαμηλού πορώδους εκτός αν είναι έντονα τεκτονισμένοι. Επειδή αποτελούν κοστοβόρα επιλογή, κατά κανόνα χρησιμοποιούνται μόνο στις περιοχές όπου δεν υπάρχουν άλλες εναλλακτικές λύσεις. Συνήθως λειτουργούν σε έναν ετήσιο κύκλο χειμερινής άντλησης, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση των αναγκών φορτίου αιχμής. Ένας υδροφόρος ορίζοντας είναι κατάλληλος για αποθήκευση φυσικού αερίου. Υπάρχει αδιαπέρατο πέτρωμα που υπέρκειται ώστε να διασφαλίζεται η στεγανότητα του συστήματος (Παναγιωτίδου, 2012).



Εικόνα 3.5: Αποθήκευση αερίου σε υδροφόρο ορίζοντα (Παναγιωτίδου, 2012).

Η αποθήκευση φυσικού αερίου σε υπόγειους υδροφορείς είναι η πλέον ακριβή μέθοδος για πολλούς λόγους. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων σχηματισμών δεν είναι γνωστά, όπως συμβαίνει με τα εξαντλημένα κοιτάσματα και απαιτείται εκτεταμένη και εξειδικευμένη έρευνα για την αξιολόγησή τους. Πρέπει να πραγματοποιηθούν γεωφυσικές έρευνες ανάλογες εκείνων που εκτελούνται στη βιομηχανία πετρελαίου. Ιδιότητες όπως η ορυκτολογική σύσταση των σχηματισμών, το πορώδες, η διαπερατότητα και συνθήκες όπως πίεση και θερμοκρασία θα πρέπει να προσδιοριστούν πριν την έναρξη των εργασιών. Επιπρόσθετα, η χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι άγνωστη και μπορεί να προσδιοριστεί όταν οι εργασίες έχουν ήδη προχωρήσει αρκετά. Απαιτείται επίσης σύνολο των υποδομών για την λειτουργία της αποθήκης, όρυξη γεωτρήσεων μεγάλου

βάθους, αγωγοί, συμπιεστές, εγκαταστάσεις αφύγρανσης κλπ. Εφόσον οι υδροφόροι είναι από την φύση τους πλήρεις νερού, ο εξοπλισμός εισπίεσης θα πρέπει να είναι μεγάλης ισχύος ώστε να εξωθήσει προς τα κάτω το παραμένον νερό και αναπληρώσει το διάκενο με φυσικό αέριο. Παρότι το αποθηκευμένο φυσικό αέριο έχει ήδη υποστεί περεταίρω αφύγρανση πριν την μεταφορά. Αυτό σημαίνει πως απαιτείται ειδικός εξοπλισμός κοντά στην γεώτρηση παραγωγής. Η στεγανότητα των υδροφόρων οριζόντων δεν είναι ανάλογης αυτής των εξαντλημένων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, γεγονός που υποδεικνύει ότι ένα μέρος του αερίου που εισπίζεται διαφεύγει και ως εκ τούτου να συγκεντρωθεί και να εξαχθεί από γεωτρήσεις ειδικά κατασκευασμένες να μαζεύουν το αέριο που διαρρέει από τον σχηματισμό.

Οι γεωτρήσεις που αρχικά χρησίμευαν για την εισπίεση χρησιμοποιούνται για την άντληση του καυσίμου σε περιόδους αυξημένης κατανάλωσης. Η άντληση αυτή πιθανόν να πρέπει να γίνει σε μικρό χρονικό διάστημα και επομένως απαιτούνται επιπλέον γεωτρήσεις που θα επιτρέπουν την αυξημένη αυτή παροχή, γεγονός το οποίο αυξάνει το κόστος.

Πέραν των παραπάνω, αυτός ο τύπος αποθήκευσης απαιτεί μεγαλύτερο όγκο αερίου βάσης για τη διασφάλιση της ενέργειας για τη ομαλή παροχή των γεωτρήσεων παραγωγής, όταν δεν υπάρχει αυτόχθον αέριο. Από την στιγμή που δεν υπάρχει αυτόχθον φυσικό αέριο, ένα μέρος του αερίου που θα εισπιαστεί θα καταστεί τελικά πρακτικά μη απολήψιμο. Οι απαιτήσεις σε αέριο βάσης μπορεί να προσεγγίσουν και το 80% του συνολικού όγκου αερίου. Τυχόν άντληση του αερίου βάσης μπορεί να αποβεί καταστροφική για τον ίδιο τον σχηματισμό. Έτσι, το περισσότερο αέριο βάσης στις αποθήκες αυτές είναι μη υπολήψιμο και παραμένει στο εσωτερικό ακόμη και όταν οι εγκαταστάσεις έχουν πάψει να λειτουργούν. Οι περισσότερες αποθήκες σε υδροφορείς είχαν αναπτυχθεί όταν η τιμή του φυσικού αερίου ήταν χαμηλή, άρα το παραμένον αέριο βάσης δεν είχε μεγάλη οικονομική αξία. Ωστόσο, με την άνοδο των τιμών, η ανάπτυξη αποθηκών σε υδροφόρους ορίζοντες είναι εξαιρετικά κοστοβόρα επένδυση. Εναλλακτικά, έχουν εφαρμοστεί τεχνικές όπου το μέρος του καυσίμου μπορεί να αντικατασταθεί με αδρανές αέριο μικρότερου κόστους, όπως το παράδειγμα με το άζωτο (Σταματάκη, 2002).

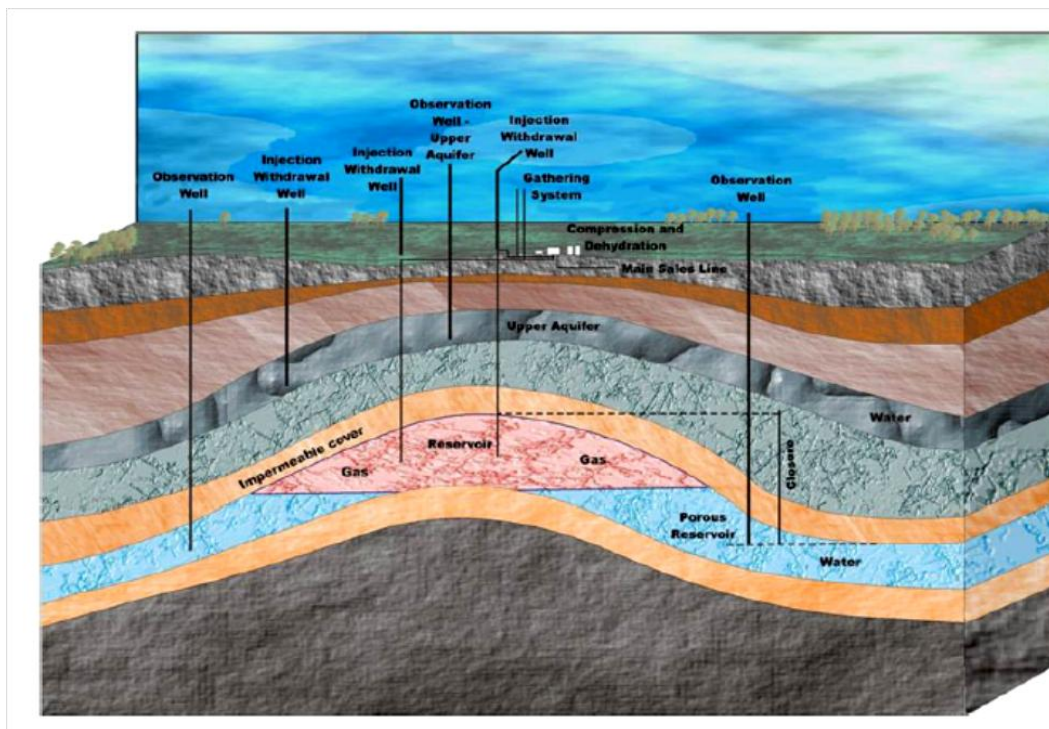
Όλοι οι παραπάνω παράγοντες δείχνουν πως η μετατροπή ενός υδροφόρου ορίζοντα σε αποθήκη είναι χρονοβόρα διαδικασία και ακριβή επένδυση. Σε κάποιες περιπτώσεις, η ανάπτυξη αυτή είναι δυνατό να διαρκέσει τέσσερα χρόνια, διπλάσιο χρόνο δηλαδή από ότι στα εξαντλημένα κοιτάσματα. Επιπλέον, υπάρχουν και σοβαροί περιβαλλοντικοί

περιορισμοί στην χρήση υδροφόρων οριζόντων ως αποθήκες φυσικού αερίου ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα μόλυνσης των επιφανειακών υδάτων. Οι προϋποθέσεις για την αξιολόγηση ενός υδροφόρου στρώματος ως εν δυνάμει αποθήκη φυσικού αερίου είναι:

- Η ύπαρξη υδροφορέα κατάλληλης γεωλογικής μορφής (αντίκλινο) και μεγάλης αποθηκευτικής ικανότητας (Εικόνα 3.6). Η αποθηκευτική ικανότητα και η δυνατότητα εισπίεσης – άντλησης του αερίου επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου ορίζοντα όπως:
- Μέσο ενεργό πορώδες, το οποίο πρέπει να είναι μεταξύ 12% και 25% αν και στην πράξη υπάρχουν περιπτώσεις κατασκευής υπογείων αποθηκών σε υδροφόρους ορίζοντες με μέσο πορώδες 6% – 10% (Intragaz, 2012).
- Διαπερατότητα, η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 100 mD. Έτσι επιτρέπεται επαρκής εκροή/εισροή αερίου γύρω από τις γεωτρήσεις και εκτόπιση του νερού μέσω μιας αποδεκτής διαφορικής πίεσης. Η τιμή της διαφορικής πίεσης καθορίζεται και από την αντοχή του στεγανού «καλύμματος» του ταμιευτήρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της μέσης διαπερατότητας τόσο η εκτόπιση του νερού από το αέριο είναι πιο αποτελεσματική.
- Ύψος παγίδευσης καλείται η κατακόρυφη απόσταση από το υψηλότερο σημείο του αντίκλινου μέχρι του κατωτέρου οριζόντιου επιπέδου όπου το αντίκλινο είναι κλειστό. Το ύψος παγίδευσης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αποθηκευτική ικανότητα του υδροφορέα, επηρεάζεται δε από το βαθμό συμμετρίας του αντίκλινου. Το μέσο ύψος παγίδευσης υδροφόρων οριζόντων οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί για υπόγεια αποθήκευση φυσικού αερίου είναι της τάξης των 30 m .
- Η ύπαρξη στεγανού υπερκείμενου «καλύμματος» που δεν θα επιτρέπει τη διαφυγή του αερίου προς τα ανώτερα στρώματα, όπως επίσης και τις πλευρικές διαρροές. Ο υπερκείμενος σχηματισμός πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή, τουλάχιστον διπλάσια της αναμενόμενης διαφορικής πίεσης εκτόπισης του νερού, ώστε να αρχίσει η εισπίεση του νερού.
- Το ικανό πάχος υπερκειμένων ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση του καυσίμου σε σχετικά υψηλή πίεση. Γενικά, οικονομικά αποδεκτό θεωρείται το βάθος μεταξύ 300 m και 1.500 m, ώστε να είναι δυνατή η χρήση αυξημένης πίεσης αποθήκευσης οπότε και μεγαλύτερου αποθηκευτικού χώρου. Το βάθος των υπογείων αποθηκών φυσικού αερίου που έχουν κατασκευαστεί σε υδροφόρους ορίζοντες κυμαίνεται από 240 m ως

1400 m, στις περισσότερες περιπτώσεις μικρότερο των 1.000 m. Ελάχιστος αριθμός αποθηκών έχει κατασκευαστεί σε βάθος άνω των 2.000 m. Είναι φανερό ότι αυξάνεται το βάθος, αυξάνει σημαντικά και το κόστος των γεωτρήσεων το οποίο επηρεάζει άμεσα το όλο κόστος της επένδυσης (Intragaz, 2012).

- Ικανή αρχική πίεση του υδροφόρου ορίζοντα. Η αρχική πίεση του υδροφόρου ορίζοντα πρέπει να αντιστοιχεί σε τοπική υδροστατική βαθμίδα που κυμαίνεται από 0,43 psi/ft ως 0,52 psi/ft. Η αρχική πίεση είναι απαραίτητο να βρίσκεται μέσα στα όρια αυτά για να πραγματοποιηθεί ασφαλής εκτόπιση του νερού εφαρμόζοντας μία διαφορική πίεση 100 – 200 psi/ft (Intragaz, 2012). Στην περίπτωση που η πίεση του υδροφόρου ορίζοντα είναι μεγαλύτερη από την υδροστατική πίεση, για να εκτοπιστεί το νερό, θα πρέπει αναγκαστικά να ασκηθεί πολύ μεγάλη πίεση, γεγονός το οποίο πιθανά να προκαλέσει διαρροές αερίου στους υπερκείμενους σχηματισμούς μέσω του «καλύμματος». Αντίθετα, αν η βαθμίδα πίεσης του υδροφόρου ορίζοντα είναι μικρότερη από 0,43 psi/ft, τότε θα απαιτηθεί εισπίεση μεγαλύτερης ποσότητας αερίου βάσης προκειμένου να αυξηθεί η πίεση του ταμιευτήρα σε επίπεδα έτσι να παραμείνει σταθερή η ικανότητα παροχής των γεωτρήσεων κατά τη διάρκεια της παραγωγής.



Εικόνα 3.6: Εγκατάσταση αποθήκευσης αερίου στο αντίκλινο υδροφόρου σχηματισμού (Intragaz, 2012).

Θα πρέπει, τέλος να επισημανθεί ότι η συμπεριφορά του ταμιευτήρα επηρεάζει σημαντικά από τα τριχοειδή φαινόμενα και τις δυνάμεις βαρύτητας, από τη συμπιεστικότητα των ρευστών και του πετρώματος, καθώς και από τη σχετική κινητικότητα των ρευστών μέσα στο πορώδες πέτρωμα.

3.2.1 Πλεονεκτήματα αποθήκευσης σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες:

- Συνολική αποθηκευτική ικανότητα ανάλογη αυτής των εξαντλημένων κοιτασμάτων.
- Αποληψιμότητα και χρόνος του κύκλου λειτουργίας ανάλογες αυτών των εξαντλημένων κοιτασμάτων.

3.2.2 Μειονεκτήματα αποθήκευσης σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες:

- Υψηλό ερευνητικό κόστος για την επιβεβαίωση καταλληλότητας του γεωλογικού σχηματισμού.
- Υψηλό κόστος υποδομών σε γεωτρήσεις και συμπιεστές.
- Επιμήκυνση του χρόνου υλοποίησης της επένδυσης λόγω της εγκατάστασης των παραπάνω υποδομών.
- Υψηλό κόστος αερίου βάσης το οποίο δεν είναι ανακτήσιμο μετά την εισπίεση του.

3.3 Τεχνητά κατασκευασμένες κοιλότητες σε σχηματισμούς ορυκτού άλατος

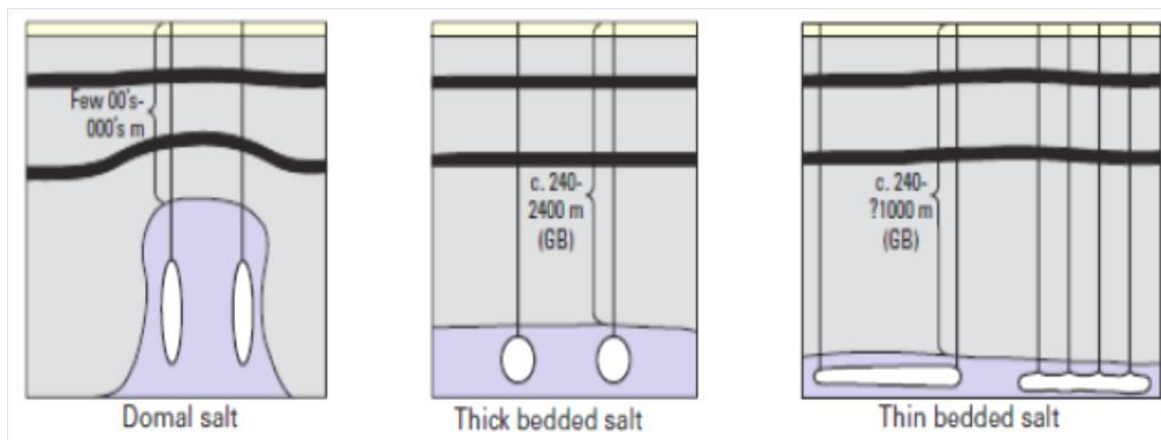
Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στο Michigan των ΗΠΑ το 1961, ενώ στην Ευρώπη εφαρμόστηκε το 1971 σε Γερμανία και Γαλλία.

Σχηματισμοί αλάτων συναντώνται σε δυο μορφές: δόμους και στρωματοειδείς αποθέσεις (Εικόνα 3.7) σε μεγάλο βάθος. Οι δόμοι είναι δυνατό να έχουν διάμετρο έως και 1.6 km και πάχος έως 9.3 km. Συνήθως οι δόμοι που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση φυσικού αερίου βρίσκονται σε βάθος που κυμαίνεται από 1.000 m ως 1.500 m. Οι στρωματοειδείς είναι σχετικά αβαθείς, λεπτομερείς και έχουν πάχος μέχρι 1.000 m (Evans, 2008).

Οι υπόγειοι σχηματισμοί αλάτων είναι κατάλληλοι για την αποθήκευση φυσικού αερίου αλλά για να γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός, πρέπει να υπάρχουν οι κατάλληλες γεωλογικές προϋποθέσεις. Οι γεωλογικές συνιστώσες του κοιτάσματος σε στρώματα άλατος οι οποίες πρέπει να πληρούνται είναι για το μεν βάθος οροφής κοιλότητας να είναι μεγαλύτερο των 500 m, για το δε πάχος σχηματισμού να είναι μεγαλύτερο των 100 m.

Αντίστοιχα, στους δόμους άλατος, το βάθος οροφής κοιλότητας πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 1.000 m ενώ το πάχος του σχηματισμού μεγαλύτερο των 150 m. Ακόμη, η ύπαρξη ρηγμάτων και πάσης φύσεως γεωλογικών καταπονήσεων μέσα στα όρια της περιοχής όπου πρόκειται να κατασκευαστεί η υπόγεια εγκατάσταση είναι ανεπιθύμητη ενώ απαιτείται υψηλή καθαρότητα του αλατούχου σχηματισμού (επιθυμείται μικρή περιεκτικότητα σε διαπερατές στο νερό ακαθαρσίες) προκειμένου να επιτευχθεί καλός έλεγχος της γεωμετρίας της υπόγειας κατασκευής αλλά και για να εξασφαλιστεί η ευστάθεια της κατασκευής (Evans, 2008).

Η ανάπτυξη της υπόγειας αποθήκης γίνεται με τη δημιουργία κοιλοτήτων μέσω της διοχέτευσης νερού υπό υψηλή πίεση. Το ορυκτό άλας διαλύεται δημιουργώντας τον αποθηκευτικό θάλαμο (κοιλότητα), η χωρητικότητα του οποίου μπορεί να φτάνει μέχρι και τα 500.000 m³. Οι δόμοι άλατος επιτρέπουν σε μία πολύ μικρή μόνο ποσότητα εισπνευσμένου αερίου να διαφύγει εκτός αν πρόκειται για συγκεκριμένη, επιθυμητή εξαγωγή. Τα τοιχώματα ενός τέτοιου σχηματισμού έχουν πολύ μεγάλη αντοχή που τον καθιστούν εξαιρετικά ανθεκτικό στην διάβρωση. Είναι αδιαπέρατα από το αέριο κατά τη διάρκεια ζωής της αποθήκης (Evans, 2008).



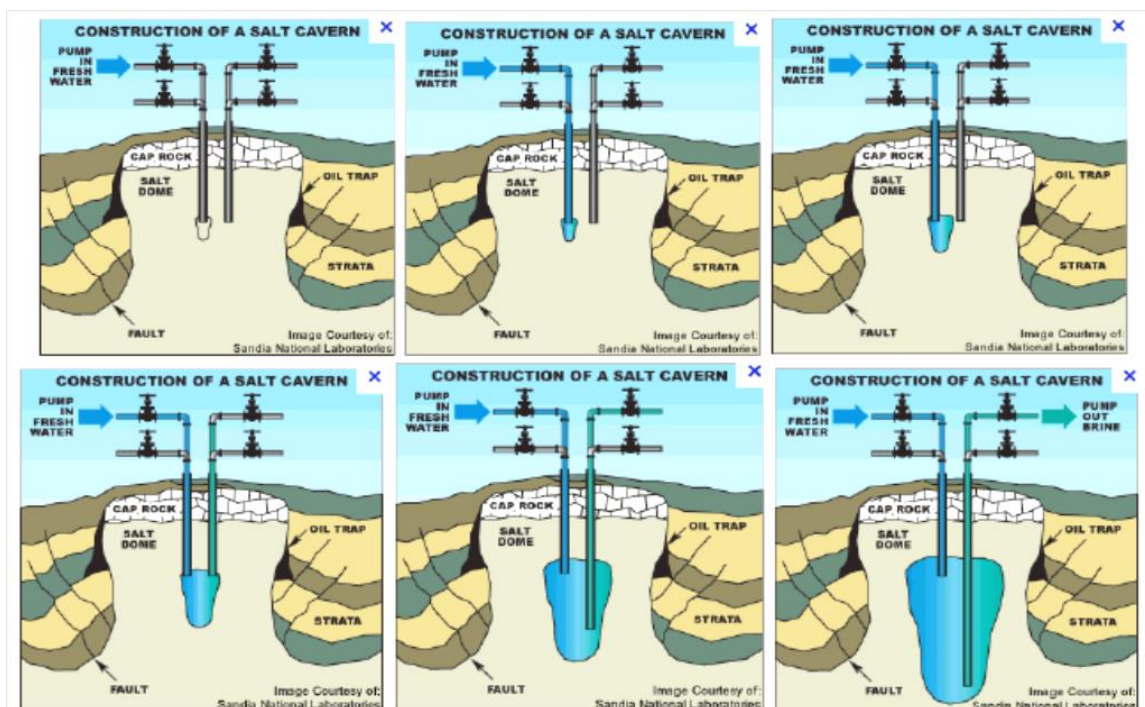
Εικόνα 3.7: Διάφοροι τύποι αλατούχων σχηματισμών στους οποίους κατασκευάζονται οι κοιλότητες αποθήκευσης (Evans, 2008).

Η χωρητικότητα των κοιλοτήτων εντός των δόμων άλατος είναι συνήθως αρκετά μικρότερη από τη χωρητικότητα των εξαντλημένων ταμειυτήρων και των υδροφόρων οριζόντων. Η χωρητικότητα μιας τέτοιας εγκατάστασης αντιστοιχεί στο 1% της χωρητικότητας μιας αποθήκης σε εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων. Συνεπώς οι δόμοι άλατος δεν μπορούν να αποθηκεύσουν τους μεγάλους όγκους αερίου που είναι απαραίτητοι να καλύψουν τις βασικές ανάγκες αποθήκευσης του βασικού φορτίου. Οι μεγάλοι ρυθμοί άντλησης επιτρέπουν στο αποθηκευμένο αέριο να αντλείται και να

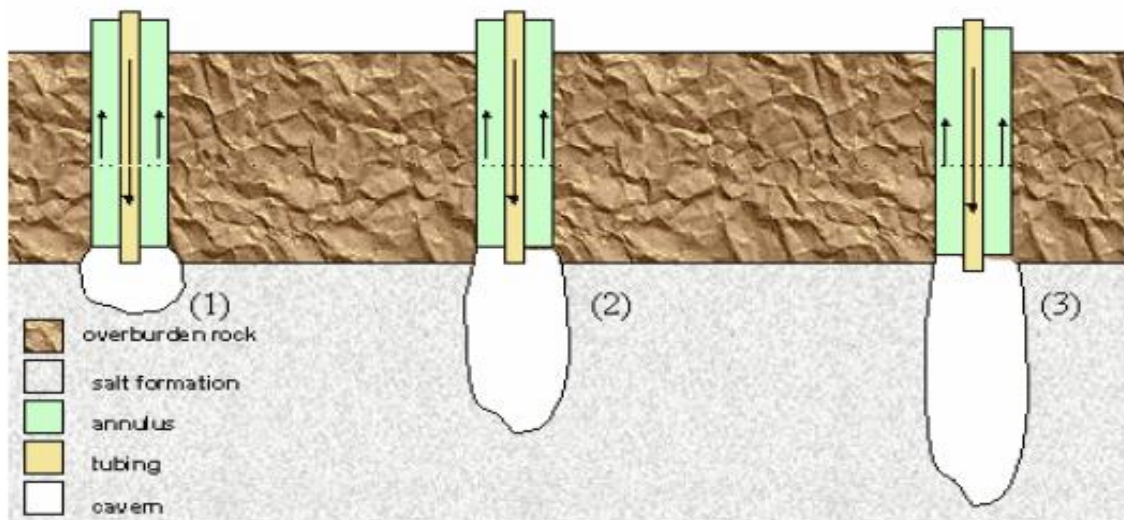
αναπληρώνεται πιο άμεσα και γρήγορα ακόμα και με ειδοποίηση της μιας ώρας. Αυτή η γρήγορη κυκλική διαδικασία είναι χρήσιμη σε καταστάσεις επείγουσας ανάγκης ή κατά τη διάρκεια μικρών περιόδων μη αναμενόμενης αυξημένης ζήτησης (προτίμηση για αποθήκευση φορτίου αιχμής).

Παρά το γεγονός ότι η κατασκευή τους είναι πιο δαπανηρή από την μετατροπή των εξαντλημένων κοιτασμάτων σε αποθήκες, η δυνατότητα να διεξαχθούν αρκετοί κύκλοι εισπίεσης/άντλησης κάθε χρόνο μειώνει το τελικό κόστος (όταν αυτό μετρηθεί σε δολάρια ανά χιλιάδες κυβικά πόδια ωφέλιμου αερίου).

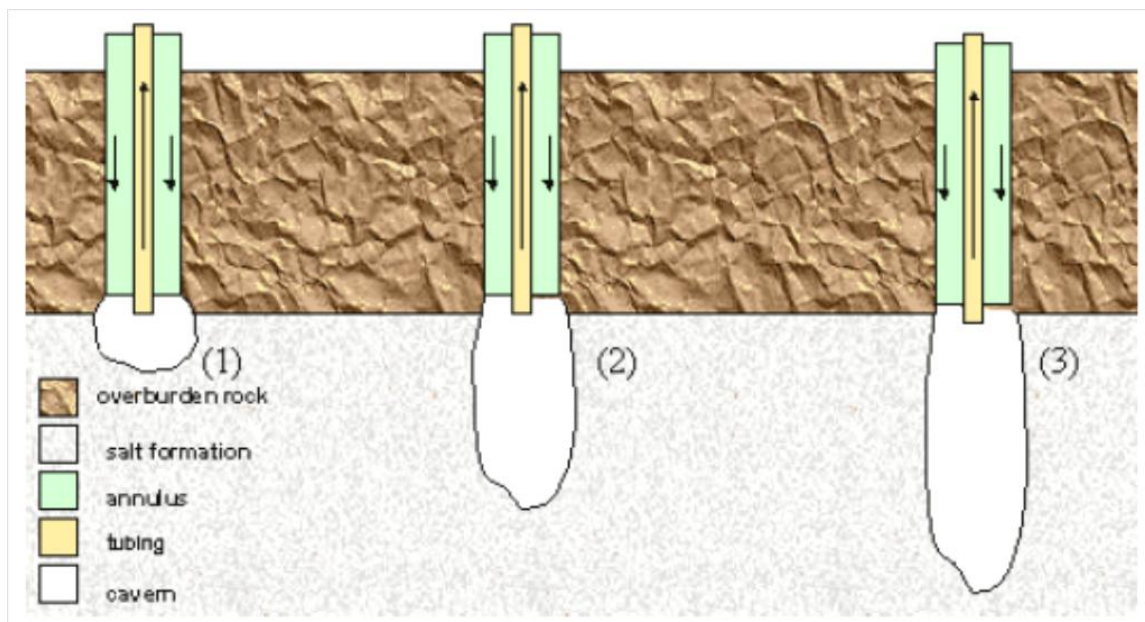
Μόλις ανακαλυφθεί σχηματισμός άλατος με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά και επιβεβαιωθεί ότι είναι κατάλληλος για τη δημιουργία αποθήκης φυσικού αερίου, δημιουργείται μια κοιλότητα που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με απευθείας διαλυτοποίηση (direct solution, Εικόνες 3.8-3.9), όπου το νερό εισπίζεται μέσω του κεντρικού σωλήνα της γεώτρησης (tubing) και η άλμη επιστρέφει από τον εξωτερικό δακτύλιο (annulus), είτε με αντίστροφη διαλυτοποίηση (reverse solution), όπου η διαδικασία εισπίεσης νερού και η εξαγωγή άλμης ακολουθεί τη αντίστροφη διαδικασία (Εικόνα 3.10). Η πρώτη τεχνική συμβάλλει ώστε να αναπτυχθεί ταχύτερα το κατώτερο τμήμα της κοιλότητας, ενώ η δεύτερη στον ταχύτερο σχηματισμό της κοιλότητας στο ύψος που φτάνει το νερό. Στην πράξη χρησιμοποιείται συνδυασμός των δύο τεχνικών.



Εικόνα 3.8: Διαλυτοποίηση αλατούχου σχηματισμού (Sandia National Laboratories, 2012).

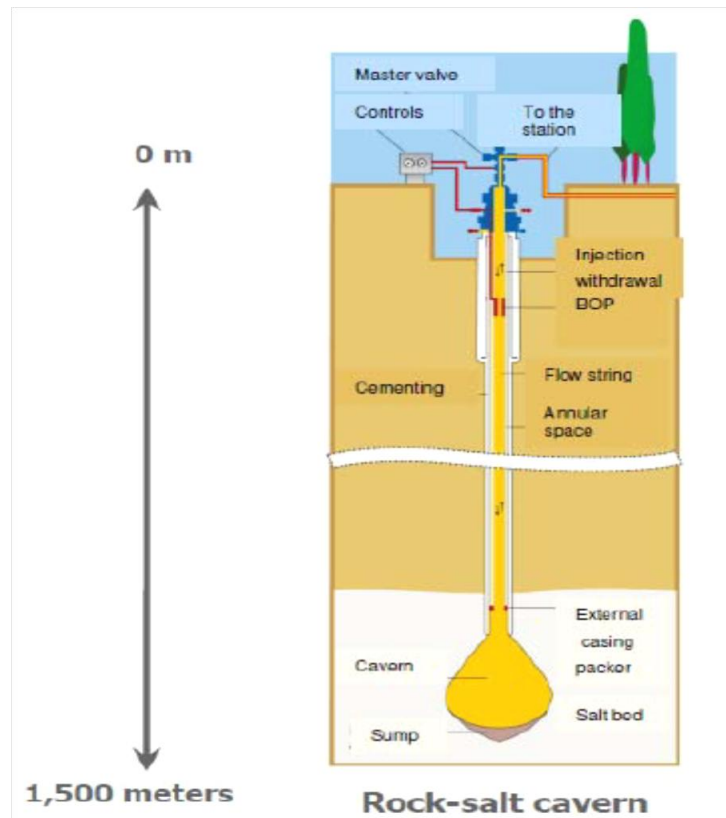


Εικόνα 3.9: Απευθείας διαλυτοποίηση (Salt Cavern Information Center, 2012).



Εικόνα 3.10: Αντίστροφη διαλυτοποίηση (Salt Cavern Information Center, 2012).

Η διαλυτοποίηση ξεκινά περίπου 1.300 m (Εικόνα 3.11) κάτω από την επιφάνεια και ανεβαίνει σταδιακά μέχρι τα 1.000 m. Εφόσον δημιουργηθεί, η κοιλότητα αυτή έχει αδιαπέραστα τοιχώματα, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο διαρροών. Αμέσως μετά ξεκινά η σταδιακή πλήρωση της κοιλότητας με φυσικό αέριο. Με αυτήν την τεχνική μπορεί να ανοιχθεί κοιλότητα που καταλαμβάνει ως και το 25% του σχηματισμού (Kimmerlin, 2012).



Εικόνα 3.11: Γεώτρηση για την αποθήκευση αερίου σε αλατούχο σχηματισμό (Kimmerlin, 2012).

Η εισαγωγή του αερίου στις κοιλότητες γίνεται υπό πίεση 80 ως 220 bar εξάγοντας ταυτόχρονα και την άλμη η οποία έχει απομείνει στην κοιλότητα. Για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου, είναι αναγκαία η ύπαρξη κατάλληλων διατάξεων για την απομάκρυνση της υγρασίας που έχει προσλάβει το αέριο από την παραμονή του στο θάλαμο, πριν διατεθεί προς την τελική κατανάλωση.

Η μέθοδος αυτή απαιτεί μεγάλο πάχος του στρώματος άλατος, μεγαλύτερο των 150 m. Για στρώματα μικρότερου πάχους οι κοιλότητες μπορεί να έχουν οριζόντια διεύθυνση και να είναι διατεταγμένες παράλληλα μεταξύ τους. Πρακτικά, μπορεί να έχουν μορφή μεγάλων διαστάσεων σήραγγες οι οποίες ορύσσονται οριζόντια με τεχνικές ανάλογες των κεκλιμένων και οριζόντιων γεωτρήσεων (Kimmerlin, 2012).

3.3.1 Πλεονεκτήματα αποθήκευσης σε τεχνητά κατασκευασμένες κοιλότητες και σχηματισμούς ορυκτού άλατος:

- Υψηλός ρυθμός εισπίεσης και απόληψης αερίου (τυπικός κύκλος της τάξης των 10 – 30 ημερών) (Kimmerlin, 2012).
- Κατάλληλοι για την αντιμετώπιση βραχυπρόθεσμης δυναμικότητας μεταφοράς και εισπίεσης σε περιόδους αιχμής.
- Ελκυστικοί στους επενδυτές που θέλουν μακροπρόθεσμα κέρδη από τις μεταβολές της τιμής του αερίου, ειδικότερα στις απελευθερωμένες αγορές.
- Μικρή απαιτούμενη ποσότητα αερίου βάσης σε σχέση με τους άλλους τρόπους αποθήκευσης περίπου 30% του συνολικού όγκου.

3.3.2 Μειονεκτήματα αποθήκευσης σε τεχνητά κατασκευασμένες κοιλότητες και σχηματισμούς ορυκτού άλατος:

- Σχετικά μικρότερος όγκος αποθήκευσης σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.
- Απαραίτητη προϋπόθεση να βρίσκονται κοντά σε μεγάλους υδάτινους όγκους που απαιτούνται για τη διαλυτοποίηση των αλάτων έτσι ώστε να είναι οικονομικά βιώσιμη η επιχείρηση.
- Η υλοποίηση και διατήρηση των εγκαταστάσεων είναι ακριβή λόγω του μεγάλου κόστους της διαδικασίας έκπλυσης και του έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος.
- Μεγάλη εξάρτηση από γεωγραφικούς παράγοντες αφού οι σχηματισμοί πρέπει να έχουν ικανοποιητικό πάχος ώστε να φτιαχτούν οι αρχικές κοιλότητες.
- Υψηλό λειτουργικό κόστος εξαιτίας παραγόντων όπως η μεγάλη πίεση που απαιτείται για λειτουργήσει η αποθήκη, το διαβρωτικό περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται οι κοιλότητες καθώς και οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί που διέπουν τέτοιου είδους εργασίες.
- Περιορισμένη διαθεσιμότητα τέτοιων γεωλογικών σχηματισμών (πχ στην Ελλάδα και στην Κύπρο δεν είναι εύκολη η εύρεση αντίστοιχων γεωλογικών σχηματισμών).

4. Υγροποίηση και Αποθήκευση Υγροποιημένου

Φυσικού Αερίου LNG

4.1 Γενικά

Ο κύριος λόγος για την υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι η κατά 600 φορές μείωση του όγκου λόγω της αλλαγής φάσης (αέριο σε υγρό). Στη φυσικά επικρατούσα αέρια φάση, το φυσικό αέριο είναι μια ογκώδης πηγή ενέργειας, η οποία είναι μερικές φορές δύσκολη στο χειρισμό. Η αποθήκευση του αερίου απαιτεί τεράστιους υπόγειους θαλάμους ή μεγάλες συμπτυσσόμενες δεξαμενές αποθήκευσης. Η μεταφορά του φυσικού αερίου από τις πηγές παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης απαιτεί μεγάλα δίκτυα αγωγών. Κατά συνέπεια, μπορούν να εξεταστούν μόνο χερσαίες ή σχετικά μικρές υποθαλάσσιες διαδρομές. Τέλος, το φυσικό αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση είναι πάρα πολύ ογκώδες για να θεωρηθεί ως καύσιμο για λόγους μεταφορών και πρέπει, κατά ελάχιστο, να συμπιεστεί.

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για να υπερνικήσει αυτά τα εμπόδια, και επιτρέπει τη μεταφορά του σε μεγαλύτερες αποστάσεις και εφαρμογή του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως πηγή ενέργειας (Εικόνα 4.1). Παραδείγματος χάριν, το LNG που παράγεται στη Μέση Ανατολή καλύπτει περίπου το 10% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας της Ιαπωνίας. Η αποθήκευση LNG κοντά σε αστικές περιοχές επιτρέπει την κάλυψη των αναγκών αιχμής σε φυσικό αέριο χωρίς να απαιτηθεί η κατασκευή πρόσθετων αγωγών που τις περισσότερες φορές θα ήταν υποχρησιμοποιημένες (Καρώνης, 2007).

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο είναι ένα εφικτό καύσιμο μεταφορών για στόλους φορτηγών και λεωφορείων. Όμως, πιο πρόσφατες εφαρμογές σε αεροσκάφη και σιδηροδρόμους έδειξαν ότι απαιτείται υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας για το LNG ώστε η εφαρμογή να είναι εμπορικά βιώσιμη



Εικόνα 4.1 : Η αλυσίδα του υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (Καρώνης, 2007)

4.2 Φυσικές Ιδιότητες του LNG

Στην ονοματολογία της ενεργειακής βιομηχανίας, LNG είναι στο ελαφρύ άκρο του φάσματος των υγροποιημένων αερίων που περιλαμβάνει επίσης τα υγρά φυσικού αερίου (NGL, κυρίως αιθάνιο με λίγο προπάνιο) και τα υγροποιημένα αέρια πετρελαίου (LPG, το οποίο αποτελείται κυρίως από προπάνιο και βουτάνιο). Κοινό χαρακτηριστικό για κάθε ένα από αυτά τα προϊόντα είναι η έλλειψη ενός τυποποιημένου συνόλου φυσικών ιδιοτήτων. Εντούτοις, είναι δυνατοί και χρήσιμοι ορισμένοι χαρακτηρισμοί του LNG.

Επειδή το μεθάνιο είναι το βασικό συστατικό του, το σημείο βρασμού του LNG σε ατμοσφαιρική πίεση είναι περίπου $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι άοσμο και άχρωμο. Ίχνη μολυσματικών ουσιών, ειδικά υδραργύρου, μπορούν να καταστήσουν το LNG διαβρωτικό, εάν δεν αφαιρούνται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του προκαθαρισμού και των διεργασιών υγροποίησης. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ένα εμπορικό προϊόν, έτσι η ανάγκη να αποφευχθεί η στερεοποίηση των μολυσματικών ουσιών είναι απαίτηση των προδιαγραφών για περιβαλλοντικά αποδεκτά καύσιμα. Επομένως, οι μολυσματικοί παράγοντες όπως υδρατμός, διοξείδιο του άνθρακα, και οι ενώσεις θείου, που μπορεί να υπάρχουν στο φυσικό αέριο, γενικά δεν υπάρχουν στο LNG. Ομοίως, το σχετικά χαμηλό σημείο βρασμού του LNG περιορίζει τη μέγιστη συγκέντρωση πεντάνιου και βαρύτερων υδρογονανθράκων που μπορεί να υπάρξει στην υγρή φάση (Καρώνης, 2007).

4.3 Ιστορικό

Οι πρώτες προσπάθειες να εμπορευθεί το LNG απέτυχαν. Η μεταφορά φορτίων μεταξύ αποθηκών στο Chicago, Illinois και πεδίων αερίου στη Louisiana δεν χρησιμοποίησε επαρκώς σχεδιασμένες δεξαμενές. Ομοίως, μια πρωτότυπη δεξαμενή αποθήκευσης αναγκών αιχμής στο Clevelan, Ohio, αστόχησε (κατέρρευσε) το 1944 λόγω λανθασμένης επιλογής υλικών. Η επακόλουθη διαρροή από τη δεξαμενή εξατμίστηκε, ταξίδευσε μέσω ενός παρακείμενου αποχετευτικού συστήματος, και προκάλεσε θανατηφόρα ατυχήματα σε απόσταση λόγω ανάφλεξης. Αυτές οι αρχικές αστοχίες, καθώς επίσης και η επόμενη έκρηξη μιας κακοσχεδιασμένης δεξαμενής LNG που υποβαλλόταν σε επισκευές στο Staten Island, New York το 1973, συνέβαλαν πολύ στην καθυστέρηση της εμπορίας LNG στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ένα μεγάλο μέρος της αρχικής ανάπτυξης στράφηκε γύρω από την Ευρώπη και τη Βόρειο Αφρική.

Η πρώτη εγκατάσταση βασικού φορτίου για εμπορία LNG ξεκίνησε το 1964 από την Αλγερία προς το νησί Canvey στην Αγγλία και τη Χάβρη (Le Havre) στη Γαλλία. Οι επόμενες εγκαταστάσεις χτίστηκαν στη Λιβύη και την Αλγερία για να παρέχουν LNG στην Ευρώπη και το επεκτεινόμενο δίκτυο αγωγών του. Η Ιαπωνία έγινε αγοραστής LNG το 1969, με την παραλαβή του πρώτου φορτίου της από Kenai, Alaska. Από τότε, η Ιαπωνία έχει γίνει ο μεγαλύτερος αγοραστής LNG στον κόσμο. Σημαντικές εγκαταστάσεις παραγωγής υπάρχουν επίσης και στην Ινδονησία, το Άμπου Ντάπι (Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα), το Μπρουνέι, τη Μαλαισία, και την Αυστραλία. Το Κατάρ άρχισε τις εξαγωγές LNG προς την Άπω Ανατολή στα τέλη του 1996 και θα είναι σημαντικός LNG εξαγωγέας τον 21ο επόμενο αιώνα (Καρώνης, 2007).

Οι εγκαταστάσεις LNG κάλυψης αναγκών αιχμής επεκτάθηκαν γρήγορα προς το τέλος της δεκαετίας του '60 και καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του '70 και στην Ευρώπη και στη Βόρειο Αμερική. Αυτή η αύξηση αντανάκλωσε την αυξανόμενη χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση. Ουσιαστικά καμία αύξηση της επιχείρησης κάλυψης αναγκών αιχμής δεν εμφανίστηκε στη δεκαετία του '80 λόγω διαφόρων διαφορετικών παραγόντων, που κυμαίνονται από την εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικούς περιορισμούς χωροθέτησης ως αλλαγές σε νομοθετικές ρυθμίσεις.

Η χρήση LNG στην τροφοδότηση οχημάτων μεταφορών έχει εξεταστεί για περισσότερο από 20 έτη. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που ωθούν προς αυτήν την κατεύθυνση,

συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων της καύσης φυσικού αερίου έναντι των συμβατικών καυσίμων. Εντούτοις, δεν υπάρχει σημαντική υποδομή για την τροφοδότηση οχημάτων με LNG που να μπορεί να υποστηρίξει υποδομή για την τροφοδότηση οχημάτων με LNG που να μπορεί να υποστηρίξει τη μετατροπή αυτοκινήτων και φορτηγών. Επομένως, η έρευνα για χρήση σε σιδηροδρόμους και πλοία, εστιάζεται σε εφαρμογές κλειστού βρόγχου στις οποίες το όχημα επιστρέφει στον σταθμό ανεφοδιασμού ως μέρος του κανονικού δρομολογίου του. Τα αλιευτικά σκάφη μπορούν επίσης να ωφεληθούν από τη χαμηλή θερμοκρασία του LNG, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταψύξει τα ψάρια που αλιεύουν. Ομοίως, για να χρησιμοποιηθεί καλύτερα το LNG ως καύσιμο για αεροσκάφη υψηλής απόδοσης, τα μπροστινά άκρα των πτερυγών μπορούν να ψυχθούν με LNG για να μειωθούν οι αντιστάσεις λόγω τριβής, ενώ το LNG εξατμίζεται για χρήση στους κινητήρες του αεροσκάφους (Καρώνης, 2007).

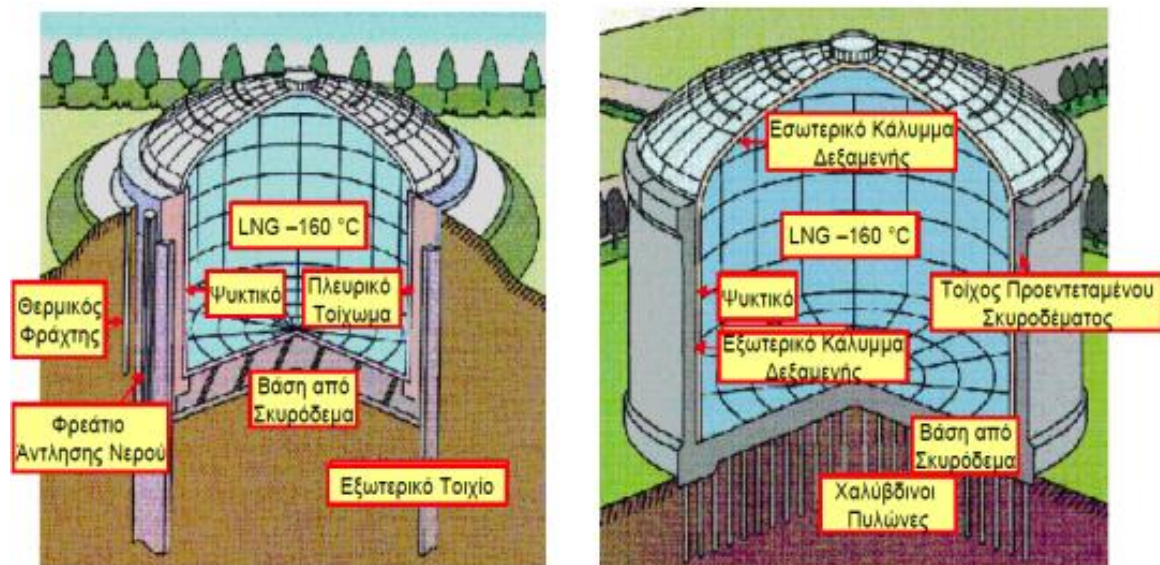
4.4 Αποθήκευση

Οι δεξαμενές αποθήκευσης LNG είναι ένα σημαντικό μέρος και για τις εγκαταστάσεις βασικού φορτίου και για τις εγκαταστάσεις αναγκών αιχμής. Επιπλέον, αποτελούν σημαντικό μέρος της επένδυσης των τερματικών εγκαταστάσεων παραλαβής LNG. Λόγω του υψηλού κόστους αυτών των μονάδων και σπουδαιότητάς τους στη συνολική ασφάλεια των εγκαταστάσεων LNG, έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό των δεξαμενών LNG.

Ένα από τα πρώτα θέματα που τέθηκαν στο σχεδιασμό των δεξαμενών LNG ήταν στην επιλογή κατάλληλων υλικών. Η αστοχία της δεξαμενής στο Cleveland, Ohio το 1944 αποδόθηκε στη χρήση χάλυβα με 3,5% νικέλιο που έγινε εύθραυστος στη θερμοκρασία του LNG. Μετά από αυτό το συμβάν, μεγάλης κλίμακας προγράμματα έχουν αποδείξει την καταλληλότητα του χάλυβα με 9% νικέλιο, των ανοξείδωτων χαλύβων, και ορισμένων κραμάτων αργιλίου (σειρά 5000) για κατασκευή δεξαμενών LNG. Οι δεξαμενές από κράματα αργιλίου είναι συνήθως περιορισμένου μεγέθους, επειδή ο συντελεστής θερμικής διαστολής του αργιλίου είναι περίπου διπλάσιος από αυτόν του χάλυβα. Σε μεγάλες δεξαμενές, τέτοια θερμική μετακίνηση κατά τη διάρκεια της ψύξης θα μπορούσε να οδηγήσει σε αστοχία των δεξαμενών. Τα σχέδια των δεξαμενών έχουν εξελιχθεί επίσης, δεδομένου ότι έχουν εφαρμοστεί περισσότερο περίπλοκες αναλύσεις δεδομένων ασφαλείας στις εγκαταστάσεις LNG. Οι αρχικοί σχεδιασμοί προέβλεπαν μια

εσωτερική κρυογενική δεξαμενή υγρού που εντός μιας εξωτερικής δεξαμενής που θα περιείχε το σύστημα μόνωσης για την εσωτερική. Σε μερικά σχέδια η εξωτερική δεξαμενή περιείχε αέριο άζωτο που με τη σειρά της, ήταν συνδεδεμένη με μια δεξαμενή μεταβλητού όγκου ή με μεμβράνη, η οποία αντιστάθμιζε τις αλλαγές στον όγκο του αζώτου λόγω των αλλαγών στη θερμοκρασία περιβάλλοντος αποφεύγοντας συμπίεση ή αποσυμπίεση της εξωτερικής δεξαμενής. Σε άλλα σχέδια, η στέγη της εσωτερικής δεξαμενής δεν ήταν στεγανή, αλλά μερικώς υποστρωμένη μόνωση, και η εξωτερική δεξαμενή χρησίμευε ως μια αποθήκη φυσικού αερίου (Εικόνα 4.2). Και στα δύο σχέδια, οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονταν από κοινό χάλυβα άνθρακα και περιβάλλονταν από ένα χαμηλό ανάχωμα για να συγκρατήσει τις όποιες διαρροές LNG.

Αναλυτικές μελέτες έδειξαν ότι ο πρωτεύων κίνδυνος ασφάλειας με μια διαρροή LNG είναι ο σχηματισμός ενός μεγάλου νέφους ατμών του προϊόντος που μπορεί να παρασυρθεί, αναφλεγεί και να προκαλέσει εκτεταμένη ζημιά. Τα επόμενα σχέδια ενσωμάτωσαν υλικά εξωτερικής δεξαμενής λιγότερο επιρρεπή σε αστοχία στις κρυογονικές θερμοκρασίες και υψηλότερα αναχώματα που χτίστηκαν πιο κοντά στις δεξαμενές. Αυτά τα μέτρα οδηγούν σε μικρότερη ελεύθερη επιφάνεια για οποιαδήποτε διαρροή LNG από μια αστοχία δεξαμενών και επομένως ένα χαμηλότερο ρυθμό τροφοδοσίας του επακόλουθου νέφους ατμών (Καρώνης, 2007).



Εικόνα 4.2: Σχηματική απλοποιημένη διατομή μιας επιχωμένης δεξαμενής (αριστερά) και μιας υπέργειας δεξαμενής αποθήκευσης LNG (δεξιά) (Καρώνης, 2007).

Επιπρόσθετες μελέτες αναθεώρησαν τις συνέπειες μιας εξωτερικής προσβολής, όπως συντριβής αεροσκάφους, που οδηγεί σε αποτυχία της δεξαμενής και την επίδραση μιας καταστροφικής αστοχίας της εσωτερικής δεξαμενής στο περιεχόμενο της εξωτερικής δεξαμενής. Όλες αυτές οι μελέτες εστίασαν στην ανάγκη για την ασφαλέστερη συγκράτηση της εξωτερικής δεξαμενής. Τα προκύψαντα σχέδια δεξαμενών περιλαμβάνουν δεξαμενισμό διπλής ακεραιότητας δηλαδή, μια διαρροή υγρού από μια αστοχία της εσωτερικής δεξαμενής παραλαμβάνεται από μια δεύτερη ομόκεντρη δεξαμενή που είναι δομικά ανεξάρτητη από την πρώτη. Οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα με περίβλημα από ανοξείδωτο χάλυβα. Τέλος, κατασκευάζονται αναχώματα ύψους όσο και η δεξαμενή, για να προστατεύσουν τη δεξαμενή από εξωτερική ζημιά και για να βοηθήσουν στην υποθετική ασύμμετρη φόρτιση της εξωτερικής δεξαμενής ως αποτέλεσμα καταστροφικής αστοχίας της εσωτερικής δεξαμενής. Όπου η περιοχή είναι πάρα πολύ μικρή για να επιτρέξει την πλήρη ανάπτυξη των αναχωμάτων, χρησιμοποιείται είτε κατασκευή δεξαμενής μέσα στο έδαφος, ή η πρόσθετη ενίσχυση της εξωτερικής δεξαμενής (Καρώνης, 2007).

4.5 Μέθοδος αποθήκευσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε τεχνητό υπόγειο θάλαμο με μεταλλική επένδυση Lined Rock Caverns (LRC)

4.5.1 Εισαγωγή

Σήμερα, η ζήτηση για LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Ωστόσο, είναι δύσκολο να επιλυθούν τα προβλήματα σχετικά με την προσαρμογή της ζήτησης και της προσφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται σε παράγοντες όπως οι εποχιακές διακυμάνσεις της εγχώριας ζήτησης για LNG, ασυμφωνία μεταξύ των εισαγωγών με όρια των εγκαταστάσεων αποθήκευσης, και ούτω καθεξής. Η προμήθεια υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορεί να γίνει ασταθής λόγω των ατυχημάτων σε περιοχές που παράγουν LNG. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό να εξασφαλιστούν μεγάλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου για τη σταθεροποίηση της διαχείρισης εφοδιασμού σε μακροπρόθεσμη βάση (Chung et al, 2006).

Δεδομένου ότι το φυσικό αέριο εισάγεται στην υγρή φάση από τα πλοία, η ψύξη πριν την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι πιο οικονομική από την συμβατική αποθήκευση με τη μορφή αερίου. Επιπλέον, όλη η αποθήκευση του φυσικού αερίου θα πρέπει να λάβει υπόψη την κατάσταση του υγροποιημένου φυσικού αερίου από τα πλοία (Cha et al, 2006). Ως εκ τούτου, μια διαφορετική αντίληψη αποθήκευσης που απαιτείται για την εισαγωγή φυσικού αερίου σε χώρες, προκειμένου να το αποθηκεύσουν στην ίδια κατάσταση με εκείνη του υγροποιημένου φυσικού αερίου από τα πλοία. Υπάρχουν στους τερματικούς σταθμών LNG, συμβατικές δεξαμενές υπέργειες ή σε έδαφος που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε όλο τον κόσμο για την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Παρόλα αυτά, αυτοί οι τύποι των δεξαμενών αποθήκευσης είναι λιγότερο ελκυστικοί, δεδομένου ότι απαιτούν μεγάλη έκταση γης για την αποθήκευση. Απαιτούν δηλαδή μεγάλη παραθαλάσσια βιομηχανική περιοχή και εφόσον τα κράτη δεν την διαθέτουν θα πρέπει να αγοραστεί με αποτέλεσμα το τεράστιο κόστος αγοράς τέτοιας περιοχής.

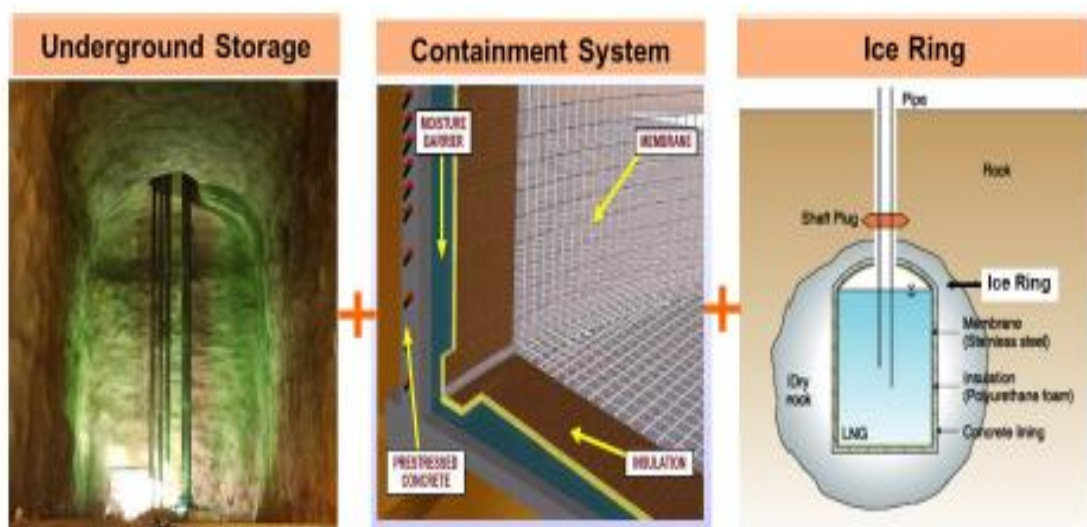
Με βάση την εμπειρία για την αποθήκευση αργού πετρελαίου και των διαφόρων τύπων υδρογονανθράκων, το υπόγειο σύστημα αποθήκευσης πιστεύεται ότι είναι πιο οικονομικός τρόπος για την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου, ανεξάρτητα από τις ανωτέρω αναφερθείσες συνθήκες. Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει ως εκ τούτου στο παρελθόν για την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου σε υπόγεια έργα χωρίς μεμβράνη συγκράτησης, χωρίς επιτυχία (Anderson, 1989, Dahlström and Evans, 2002). Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται με την υπόγεια αποθήκευση των κρυογονικών υλικών είναι η ανάγκη να αποφευχθεί η διαρροή του υγρού και του αερίου από το σύστημα συγκράτησης προς τη μάζα του πετρώματος που προκαλείται από αστοχίες εφελκυσμού λόγω της συρρίκνωσης της μάζας του πετρώματος γύρω από τους υπόγειους θαλάμους (Monsen and Barton, 2001). Οι αποτυχίες των υπόγειων δεξαμενών αποθήκευσης οφείλονται σε θερμικές καταπονήσεις και την δημιουργία ρωγμών στη μάζα πετρωμάτων υποδοχής. Οι θερμικές ρωγμές που προκαλούνται από εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες στη μάζα του πετρώματος συμβάλουν στην επιδείνωση της λειτουργικής αποδοτικότητας με αποτέλεσμα την διαρροή αερίου και την αύξηση της ροής θερμότητας μεταξύ του εδάφους και του αποθηκευμένου αερίου (Dahlström, 1992, Glamheden and Lindblom, 2002).

Ο τρόπος για να αποφευχθεί το ράγισμα σε μια μάζα πετρώματος σε θερμοκρασίες βρασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου (-162 °C) είναι να τοποθετηθεί ο θάλαμος αποθήκευσης αρκετά βαθιά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, έτσι ώστε να αντισταθμιστούν οι τάσεις εφελκυσμού που προκαλούνται από την ψύξη. Το απαραίτητο βάθος ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος και κυμαίνεται από 500 έως 1000 m, γεγονός που καθιστά αυτή την ιδέα αποθήκευσης σε μη επενδυμένο θάλαμο πολύ ακριβή (Amantini and Chanfreau, 2004, Amantini et al., 2005).

Η νέα αντίληψη για την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου με μια επένδυση στο βράχο του θαλάμου (LRC), δημιουργώντας ένα σύστημα συγκράτησης μπορεί να ξεπεράσει αυτά τα προβλήματα. Το σχέδιο αυτό έχει αναπτυχθεί από την Geostock, SKEC και SN Technigaz με τη βοήθεια του KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2003). Για να αποδειχθεί η τεχνική εφικτότητα αυτού του σχεδίου, μια πιλοτική μονάδα κατασκευάστηκε από το KIGAM στο Συγκρότημα Επιστημών της Taejeon το 2003, το οποίο λειτουργεί για την αποθήκευση υγρού αζώτου από τον Ιανουάριο του 2002 έως το τέλος του 2004.

4.5.2 Βασική ιδέα για την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου σε υπόγειο θάλαμο με επένδυση.

Η βασική ιδέα για την ανάπτυξη του LNG σε θαλάμους επενδυμένους με μεταλλική επένδυση είναι ένας συνδυασμός υφιστάμενων τεχνολογιών και νέων τεχνικών που βασίζονται στον ‘σχηματισμό δακτυλίου πάγου’ (Εικόνα 4.3) (Park et al., 2012).



Εικόνα 4.3: Ο συνδυασμός υφιστάμενων τεχνολογιών για την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου σε υπόγειο θάλαμο με επένδυση (Park et al., 2012).

Υπόγειος θάλαμος αποθήκευσης

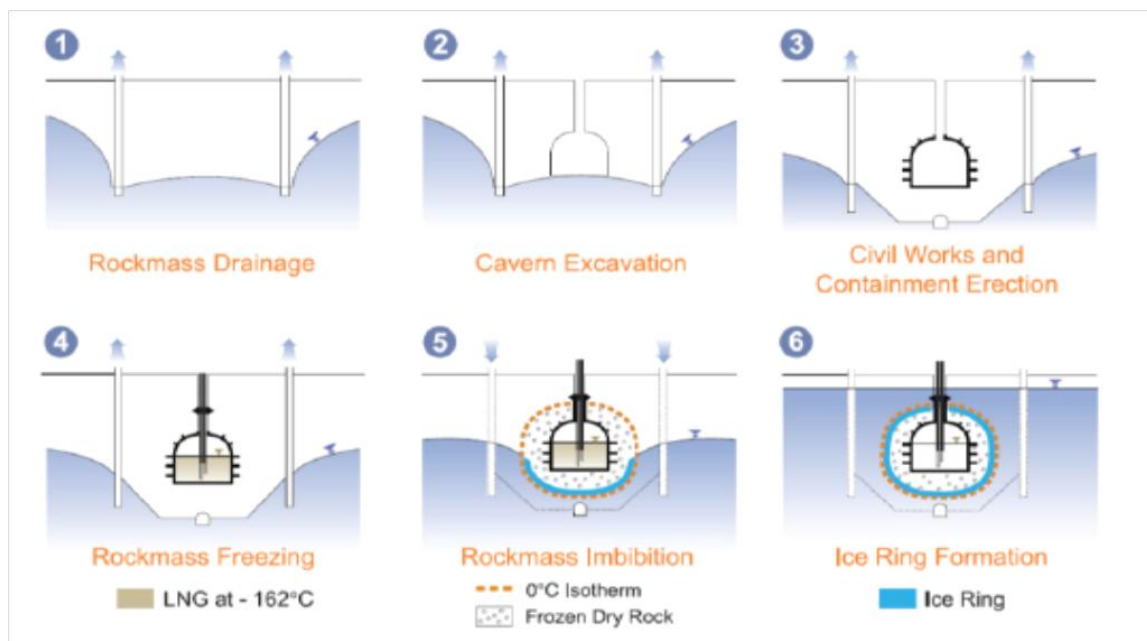
Η υπόγεια τεχνολογία αποθήκευσης, η οποία αποδείχθηκε αξιόπιστη, γνώρισε μια ισχυρή ανάπτυξη σε σχέση με τις εγγενείς ιδιότητες της, αλλά και για τις καινοτομίες και την τεχνική πρόοδο από την οποία επωφελήθηκε τακτικά. Επί του παρόντος, μεγάλης χωρητικότητας μονάδες υπογείων θαλάμων αποθήκευσης με περισσότερες από αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα, για ένα ευρύ φάσμα προϊόντων υδρογονανθράκων και του αργού πετρελαίου, είναι κατασκευασμένα και λειτουργούν με επιτυχία ειδικά στην Κορέα.

Το σύστημα συγκράτησης με τη γρήση μεταλλικής επένδυσης

Το σύστημα συγκράτησης της επένδυσης, το οποίο εισήχθη το 1962 σε ένα πρωτότυπο πλοίο, έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλά πλοία μεταφοράς LNG και δεξαμενές αποθήκευσης. Αυτό το σύστημα επένδυσης παρέχει την κατάλληλη θερμική προστασία για το περιβάλλον του πετρώματος, την πρόληψη υπερβολικής καταπόνησης και σχηματισμό ρωγμών και τη μείωση της εξάτμισης στο επίπεδο συγκρίσιμο με τις συμβατικές δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Το δακτυλίδι πάγου και το σύστημα αποστράγγισης

Ο σχηματισμός δακτυλίου πάγου ως ένα αδιαπέραστο δεύτερο εμπόδιο (φραγμός) κατά της διαρροής του περιεχόμενου LNG μπορεί να εξηγηθεί από το κάθε στάδιο της κατασκευής του υπόγειου θαλάμου με μεταλλική επένδυση (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Σχηματικό διάγραμμα του σχηματισμού του δακτυλίου πάγου (Park et al., 2012).

Τα υπόγεια ύδατα έχουν αφαιρεθεί προσωρινά από τα πετρώματα που περιβάλλουν τον υπόγειο θάλαμο κατά την πρώτη φάση της κατασκευής. Αυτός ο προκαταρκτικός αποκορεσμός του πετρώματος υποδοχής αποσκοπεί στην πρόληψη υψηλών υδροστατικών πιέσεων και σχηματισμού πάγου πίσω από την επένδυση του θαλάμου. Μετά την εκσκαφή του υπόγειου θαλάμου και την εγκατάσταση του συστήματος συγκράτησης, το LNG θα αποθηκευτεί στον θάλαμο και στη συνέχεια το ψυχρό μέτωπο θα ξεκινήσει να προχωρά γύρω από τον θάλαμο την ίδια στιγμή. Όταν το ψυχρό μέτωπο θα έχει προχωρήσει αρκετά μακριά από τα τοιχώματα του θαλάμου, η αποστράγγιση μπορεί να διακοπεί ώστε να επιτρέψει στα υπόγεια ύδατα σταδιακά να επανέλθουν και να σχηματίσουν γρήγορα ένα παχύ δακτυλίδι πάγου γύρω από τον θάλαμο. Με τον πλήρη σχηματισμό δακτυλιδιού πάγου, η λειτουργία του συστήματος αποστράγγισης θα σταματήσει. Η περίοδος αποστράγγισης για αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορεί να διαρκέσει αρκετούς μήνες ή χρόνια, ανάλογα με τις θερμικές ιδιότητες του πετρώματος και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά στα πλάγια (Park et al., 2012).

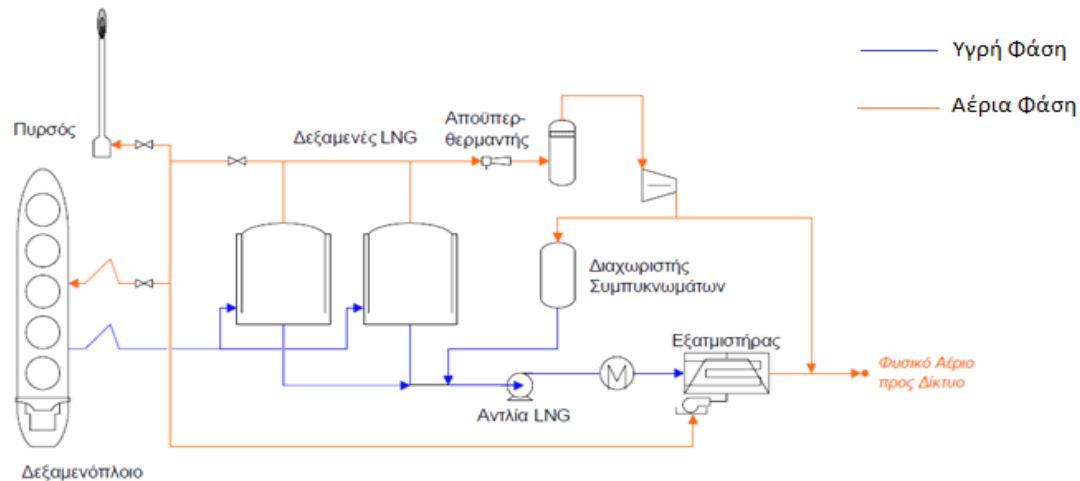
4.5.3 Πλεονεκτήματα της μεθόδου LRC

Τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας LRC είναι:

- Μεγάλη ελευθερία της τοποθέτησης της δεξαμενής ή των δεξαμενών σε σχέση με τη γεωλογία
- Υψηλή απόδοση για τα ποσοστά του κύκλου εργασιών
- Χαμηλές επιπτώσεις στο τοπίο και το περιβάλλον
- Δεν υπάρχει ανάγκη για την επεξεργασία αερίων
- Δυνατότητα να επεκταθεί μια μονάδα αποθήκευσης σε βήματα, με την προσθήκη μονάδων

4.6 Εγκαταστάσεις Παραλαβής LNG

Οι εγκαταστάσεις παραλαβής LNG κατασκευάζονται για να παραλάβουν τις ποσότητες LNG που αποστέλλονται από τις εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου. Περιλαμβάνουν τις απαραίτητες λιμενικές εγκαταστάσεις, σωληνώσεις μεταφοράς, αποθήκες LNG και όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εξάτμιση και συμπίεση του φυσικού αερίου, πριν αυτό αποσταλεί προς το κεντρικό αγωγό φυσικού αερίου, ή τους τελικούς καταναλωτές (μονάδες βασικού φορτίου). Μια τυπική εγκατάσταση παραλαβής LNG φαίνεται στην εικόνα 4.5 (Καρώνης, 2007).



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα εγκατάστασης παραλαβής LNG (Καρώνης, 2007).

Οι γραμμές μεταφοράς LNG διατηρούνται σε χαμηλή θερμοκρασία με ανακυκλοφορία ποσότητας LNG από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Έτσι παράγεται η θερμότητα που εισέρχεται από το περιβάλλον στις γραμμές μεταφοράς.

Η αέρια φάση που εξατμίζεται μέσα στη δεξαμενή βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρή φάση. Η περίσσεια οδηγείται μέσω του απούπερθερμαντή στο συμπιεστή, όπου και συμπιέζεται και οδηγείται στον αγωγό διασύνδεσης με τον κεντρικό αγωγό ή τους καταναλωτές. Η εξάτμιση του LNG πραγματοποιείται σε εναλλάκτες θερμότητας που λειτουργούν με θαλασσινό νερό ως θερμαντικό μέσο, καθώς και σε εξατμιστήρες, όπου καίγεται μέρος της αέριας φάσης από τις δεξαμενές αποθήκευσης, και από την παραγόμενη θερμότητα θερμαίνεται το ενδιάμεσο ρευστό που χρησιμοποιείται τελικά για την εξάτμιση. Οι εναλλάκτες θερμότητας με θαλασσινό νερό έχουν πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας, αλλά υψηλό κόστος εγκατάστασης και έχουν σχετικά περιορισμένη δυναμικότητα σε σχέση με τους κλασσικούς εξατμιστήρες (Καρώνης, 2007).

4.7 Θέματα Ασφαλείας

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να αντιμετωπισθεί ως μια δημιουργία της σύγχρονης εποχής και υπό αυτή την μορφή, έχει υποβληθεί σε πιο λεπτομερή διερεύνηση από τα παραδοσιακά καύσιμα όπως η βενζίνη και το πετρέλαιο. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με το LNG είναι ότι είναι ένα ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας, είναι εύφλεκτο, και μπορεί να δημιουργήσει νέφη ατμών αρκετά πυκνά που να προκαλέσουν ασφυξία. Επειδή κανένα από αυτά δεν είναι πρόβλημα όταν το LNG περιέχεται σε κατάλληλα

σχεδιασμένες δεξαμενές αποθήκευσης ή σωληνώσεις και εξοπλισμό, οι μελέτες ασφάλειας έχουν εστιάσει γενικά στις διαρροές LNG. Στις εγκαταστάσεις LNG, υπάρχουν εκτενή συστήματα ασφάλειας για να ανιχνεύσουν διαρροές αερίου, να ανιχνεύσουν και να αντιμετωπίσουν πυρκαγιές αλλά και καπνό. Πρόληψη και συγκράτηση διαρροών είναι αυτονόητη κατά το σχεδιασμό εγκαταστάσεων, ιδιαίτερα δεξαμενών αποθήκευσης επειδή αυτές περιέχουν τη μεγαλύτερη ποσότητα LNG.

Εάν μια διαρροή LNG αναφλεγεί σύντομα αφότου εμφανιστεί, εμφανίζεται φωτιά δεξαμενής. Αυτή η πυρκαγιά είναι βεβαίως ένα πρόβλημα, αλλά εγκλωβίζεται σε μια εγκατάσταση επανδρωμένη και εξοπλισμένη να αντιμετωπίσει τέτοιες έκτακτες ανάγκες. Μια μεγαλύτερη ανησυχία είναι ότι στην ίδια διαρροή μπορεί να δοθεί αρκετός χρόνος ώστε να εξατμιστεί και να διαμορφώσει ένα νέφος ατμών που μπορεί να μεταφερθεί σε κάποια απόσταση πριν την ανάφλεξη. Διάφορες μεταβλητές όπως η φύση της επιφάνειας κάτω από τη διαρροή, η ταχύτητα αέρα, και η παρουσία εμποδίων στο νέφος συμβάλλουν στη μορφή και την κατεύθυνση του. Μηχανικά, το σύννεφο σχηματίζεται καθώς το LNG βράζει πάνω από την επιφάνεια της διαρροής. Οι προκύπτοντες ατμοί είναι πολύ πιο κρύοι από τον αέρα και διαμορφώνουν αρχικά ένα πυκνό νέφος που παραμένει σε χαμηλό ύψος. Δεδομένου ότι το νέφος αναμιγνύεται με τον αέρα και θερμαίνεται από το περιβάλλον του, αρχίζει να ανυψώνεται. Ο αέρας χρησιμεύει στο να προσθέσει την οριζόντια συνιστώσα στην κίνηση του νέφους. Δεδομένου ότι ο αέρας αναμιγνύεται με το φυσικό αέριο, το μίγμα γίνεται εύφλεκτο (δηλαδή, η σύσταση τοπικά είναι μεταξύ του άνω και του κάτω ορίου αναφλεξιμότητας του LNG). Τα όρια αναφλεξιμότητας ποικίλουν με τη σύσταση του LNG, ιδιαίτερα με το ποσοστό του προπανίου. Αυτό το νέφος είναι έπειτα ενδεχομένως επικίνδυνο σε περιοχές πέρα από τα όρια των εγκαταστάσεων LNG.

Διάφορες δοκιμές μεγάλης κλίμακας έχουν καταδείξει ορισμένα χαρακτηριστικά των πυρκαγιών νεφών ατμών LNG. Αυτές οι πυρκαγιές είναι πολύ γρήγορες καύσεις στις οποίες το μέτωπο φλόγας που κινείται μέσω του νέφους προηγείται ενός αδύνατου, αποξυγμένου ωστικού κύματος. Υπάρχει ένας συνοδευτικός κίνδυνος ακτινοβολίας, αλλά όχι η πιεστική δύναμη ενός ωστικού κύματος που εμφανίζεται όταν εκτονώνονται μίγματα άλλων υδρογονανθράκων με αέρα (Καρώνης, 2007).



Εικόνα 4.6: Τερματικός σταθμός LNG Ρεβυθούσας (Καρόνης, 2007).

5. Παραδείγματα από το διεθνή χώρο

Η μεγάλη ανάπτυξη της υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων παγκόσμια έχει δώσει αρκετά παραδείγματα υποδομών. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ενδεικτικά, ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα υποδομών υπόγειας αποθήκευσης, διαχωρισμένα σε υποδομές για πετρελαιοειδή και σε υποδομές για φυσικό αέριο. Ιδιαίτερα παραδείγματα παρουσιάζονται για την νέα μέθοδο Lined Rock Caverns (LRC).

5.1 Παραδείγματα αποθήκευσης πετρελαιοειδών σε υπόγειους θαλάμους

5.1.1 Σουηδία

Στο νοτιοδυτικό τμήμα της Σουηδίας στην περιοχή Brofjorden (Εικόνα 5.1), 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 πηγματητικές διεισδύσεις. Αποκολλήσεις από τα τοιχώματα επηρέασαν τη διάνοιξη και το σχήμα της διατομής τροποποιήθηκε προκειμένου να είναι πιο τοξωτή, με πλάτος 10.2 m και ύψος 7 m (Edelbro, 2007).



Εικόνα 5.1: Γενική άποψη του περιβάλλοντος χώρου της αποθήκευσης πετρελαίου Brofjorden (Edelbro, 2007).

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 ντίζελ και μαζούτ και με αντίστοιχη αποθηκευτική δυναμικότητα των 44.000 m³, 85.000 m³, 73.000 m³ και 85.000 m³.

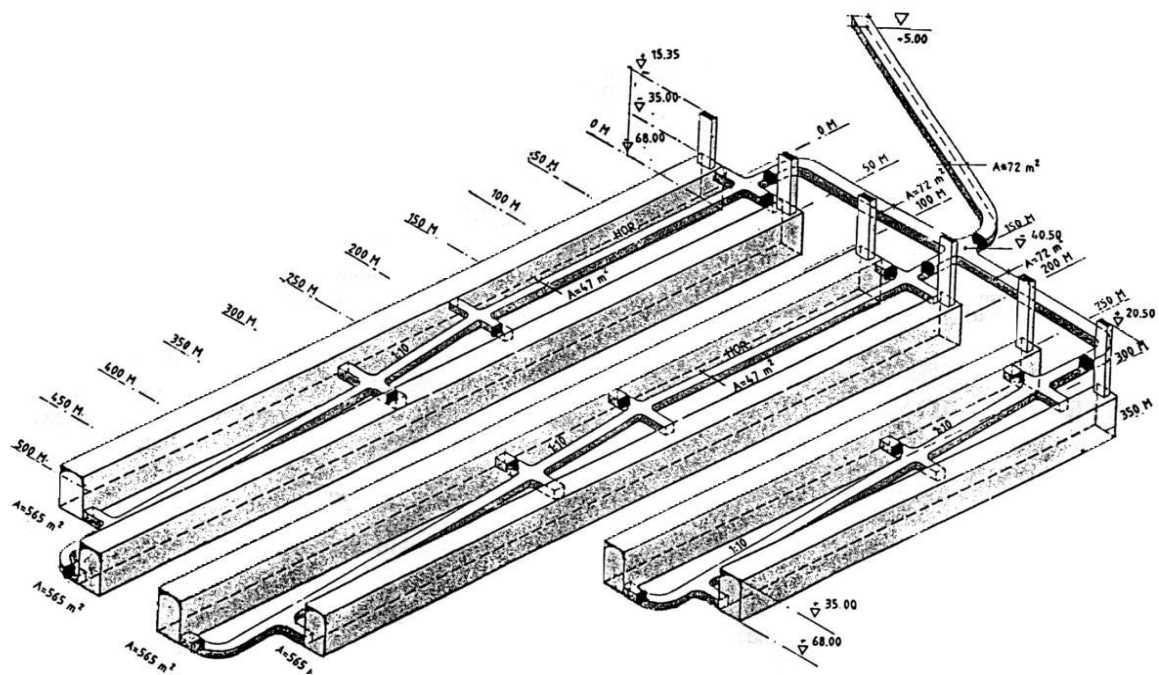
Επίσης, το διωλιστήριο στο Γκέτεμποργκ, εκτός από τις επιφανειακές δεξαμενές έχει κατασκευάσει δύο υπόγειους θαλάμους στο Risholmen για αποθήκευση αργού πετρελαίου. Στο Norrköping αποθηκεύεται βαρύ μαζούτ σε θάλαμο χωρητικότητας 100.000 m³. Στο Oxelosund διάφορα πετρελαιοειδή σε δεξαμενές δυναμικότητας 1.000.000 m³ και τέλος στο Oskarshamn υπάρχουν επτά δεξαμενές δυναμικότητας 97.000 m³ για καθαρά προϊόντα πετρελαίου (Nygren et al., 2009).

5.1.2 Νορβηγία

Στη Νορβηγία είναι σήμερα σε λειτουργία, περίπου 12 μεγάλες εγκαταστάσεις υπόγειων θαλάμων αποθήκευσης αργού πετρελαίου και προϊόντων διύλισης πετρελαίου. Το μεγαλύτερο διωλιστήριο της Νορβηγίας βρίσκεται στο Mongstad στο Linds (Εικόνα 5.2). Εκεί βρίσκεται και ο τερματικός υπόγειος χώρος αποθήκευσης αργού πετρελαίου, με αποθηκευτική ικανότητα 10 εκ. Mt. Υπάρχουν επίσης και δύο δεξαμενές 60.000 m³ για αποθήκευση προπανίου και βουτανίου (Εικόνα 5.3). 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.

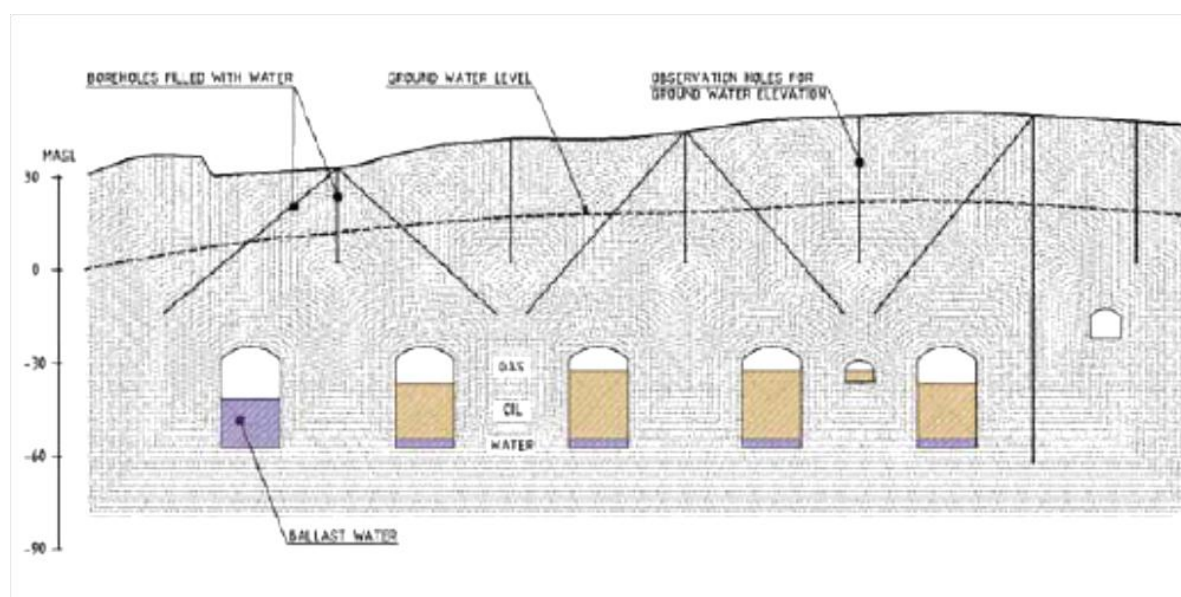


Εικόνα 5.2: Εναέρια φωτογραφία διυλιστηρίου Mongstad.



Εικόνα 5.3: Γραφική αναπαράσταση των δεξαμενών στο Mongstad.

Στο Sture στο Øygarden βρίσκονται οι τερματικές υπόγειες αποθήκες αργού πετρελαίου της Norsk Hydro. Περίπου 111.300 m³ 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. m³ (Εικόνα 5.4), μία δεξαμενή για αποθήκευση υγραερίου 60.000 m³ και μια δεξαμενή για έρμα νερού.



Εικόνα 5.4: 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. MT αργού πετρελαίου από τα τερματικά στη Sture και του Mongstad.



Εικόνα 5.5: Άποψη επιφανειακών εγκαταστάσεων υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης (Sture, Νορβηγία)

5.1.3 Φινλανδία

Στο Ρορνου της Φινλανδίας βρίσκεται ένα από τα μεγαλύτερα αποθηκευτικά συγκροτήματα καυσίμων του κόσμου, μαζί με το εκεί διυλιστήριο. 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 (Παπαδήμα, 2010).

5.1.4 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 Geogaz στη Lavera (Εικόνα 5.6) 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 χημικό βουτάνιο.



Εικόνα 5.6: Εναέρια φωτογραφία των δυλιστηρίων και των επιφανειακών και υπόγειων χώρων αποθήκευσης στη Lavera.

Στο May-sur-Orne μετατράπηκε ένα παλιό μεταλλείο σιδήρου (Εικόνα 5.7) σε αποθήκη πετρελαίου ντίζελ, και δημιουργήθηκε μία από τις μεγαλύτερες υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης στη Γαλλία. Με συνολικό μήκος στοών που φτάνει τα 12 km, η χωρητικότητα τους άγγιζε τα 5 εκ. m³ πετρελαίου ντίζελ. Οι μετατροπές τελείωσαν το 1972 ενώ το έργο λειτούργησε μέχρι και το 1993 (Geostock, 2010).



Εικόνα 5.7: Φωτογραφία σήραγγας μεταλλείου στο May-sur-Orne (Geostock, 2010).

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 5.8)



Εικόνα 5.8: Εσωτερικό και απεικόνιση υπόγειων θαλάμων αποθήκευσης στη Donge.

5.1.5 Πορτογαλία

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

Εκτός αυτού, η Πορτογαλία έχει επίσης εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης φυσικού αερίου στην Carrizo (Εικόνα 5.9), 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 (Geostock, 2008).

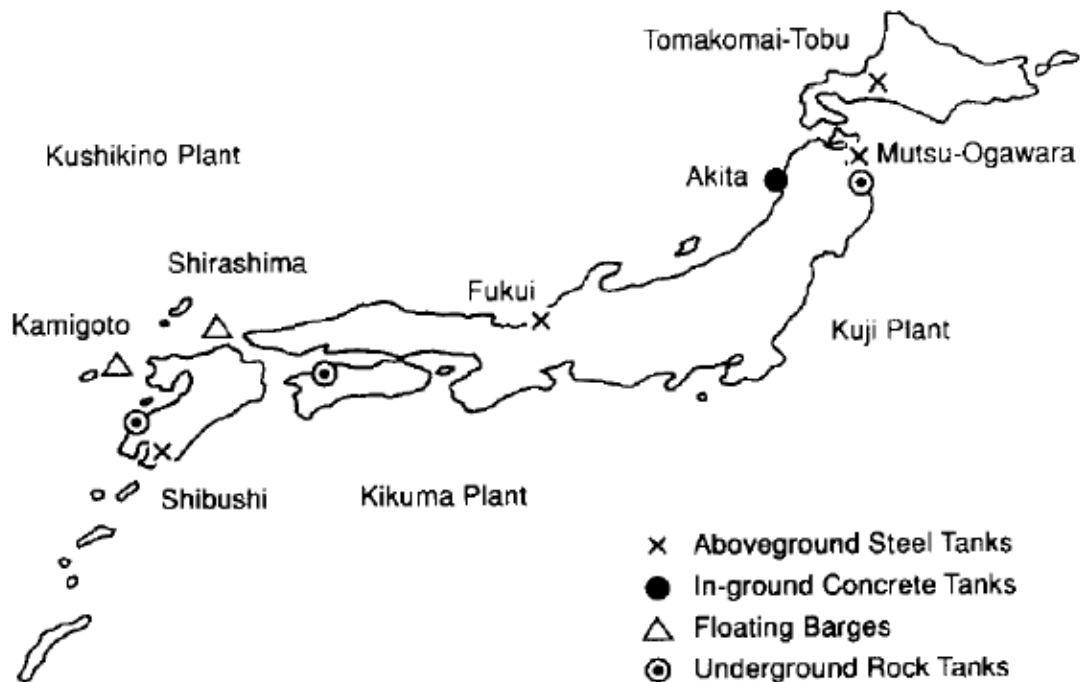


Εικόνα 5.9: Αεροφωτογραφία του χώρου αποθήκευσης στην Carrizo.

5.1.6 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 (Kiyoyama, 1990).

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τη χρήση των υπόγειων εγκαταστάσεων αποθήκευσης αργού πετρελαίου, συνολικής χωρητικότητας 33.7 εκ m^3 . Από το 1993 έχουν κατασκευαστεί τρεις μεγάλες υπόγειες δεξαμενές στο Kuji, στο Kushikino και στο Kikumata με χωρητικότητα 1.750.000 m^3 , 1.750.000 m^3 και 1.500.000 m^3 αντίστοιχα. Μεγάλες ποσότητες είναι αποθηκευμένες σε χαλύβδινες και πλωτές δεξαμενές ανά τη χώρα (Εικόνα 5.10).



Εικόνα 5.10: Τοποθεσίες στις οποίες βρίσκονται τα στρατηγικά αποθέματα πετρελαίου στην Ιαπωνία (Japan National Oil Corporation, 2012).

5.1.7 Ν. 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 (Lee et al., 2003).

Στην Εικόνα 5.11 παρουσιάζεται η περίπτωση του συγκροτήματος U-2, το οποίο βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Ν. 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 (Lee et al., 2003).



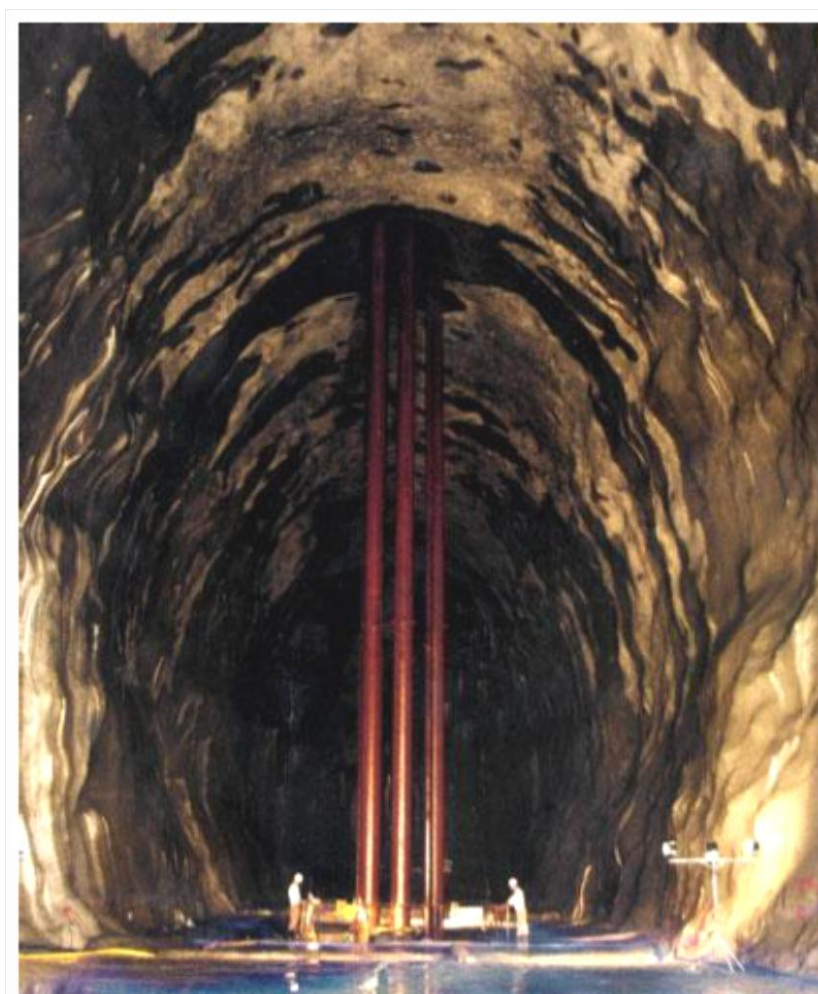
Εικόνα 5.12: Υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης αργού πετρελαίου στη Ν. Κορέα (Lee et al., 2003).

Στον Πινάκα 5.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης πετρελαίου και υγραερίου LPG στην Κορέα.

Πίνακας 5.1: Υπόγειοι θάλαμοι αποθήκευσης πετρελαίου και LPG στην Κορέα (Παπαδήμα, 2010).

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*	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 *	Crude oil	KNOC	18×30	678	3794	1 908 000	Granodiorite	-30	1990–1997
L-1*	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 *	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.
* Extension.



Εικόνα 5.12 :Υπόγειοι θάλαμοι στο Pyongtaek στη Κορέα (Geostock, 2008).

5.1.8 Σιγκαπούρη

Με τη συνεχή οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη στη Σιγκαπούρη, οι ειδικοί αντιλήφθηκαν ότι η έλλειψη εκτάσεων θα είναι σημαντικό πρόβλημα. Έτσι 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 5.13) στο υπέδαφος 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 (Παπαδήμα, 2010).



Εικόνα 5.13: Εσωτερικό οριζόντιου θαλάμου (Σιγκαπούρη).

5.1.9 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, Padur και Vizag. Η κυβέρνηση τον Ιανουάριο του 2006 ενέκρινε τη χρηματοδότηση μηχανισμού για τη δημιουργία των δεξαμενών αργού πετρελαίου χωρητικότητας 5 εκ. τόνων.

5.1.10 Αυστραλία

Κάτω από το λιμάνι Botany στο Σύδνεϋ κατασκευάστηκαν οι πρώτες εγκαταστάσεις υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων στην Αυστραλία (Εικόνα 5.14). Πρόκειται για παράλληλες σήραγγες μήκους 910 m και συνολικής χωρητικότητας 135.000 m³.



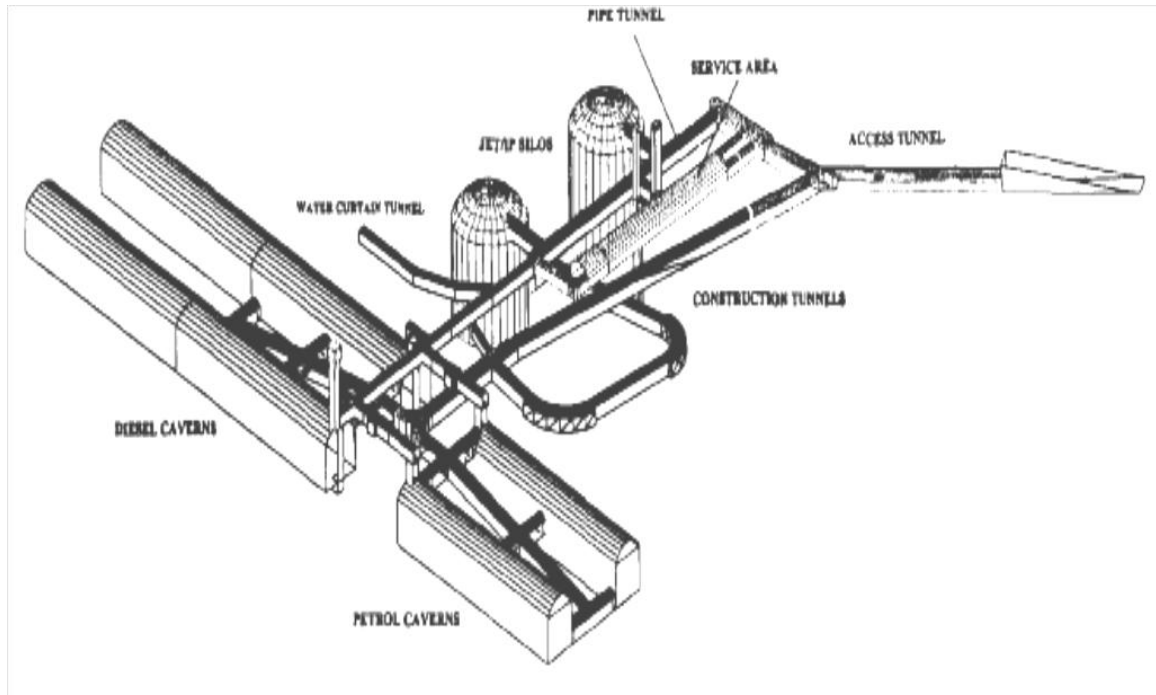
Εικόνα 5.14: Όρυξη βαθμίδας κατά την δημιουργία υπόγειου θαλάμου αποθήκευσης υδρογονανθράκων στο Σύδνεϋ στην Αυστραλία.

5.1.11 Βραζιλία

Στη Βραζιλία, στο Sao Sebastiao αποφασίστηκε να κατασκευαστούν υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης για υγραέριο και αργό πετρέλαιο χωρητικότητας 115.000 m^3 και $1.200.000 \text{ m}^3$ αντίστοιχα (Παπαδήμα, 2010).

5.1.12 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 5.15, 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.

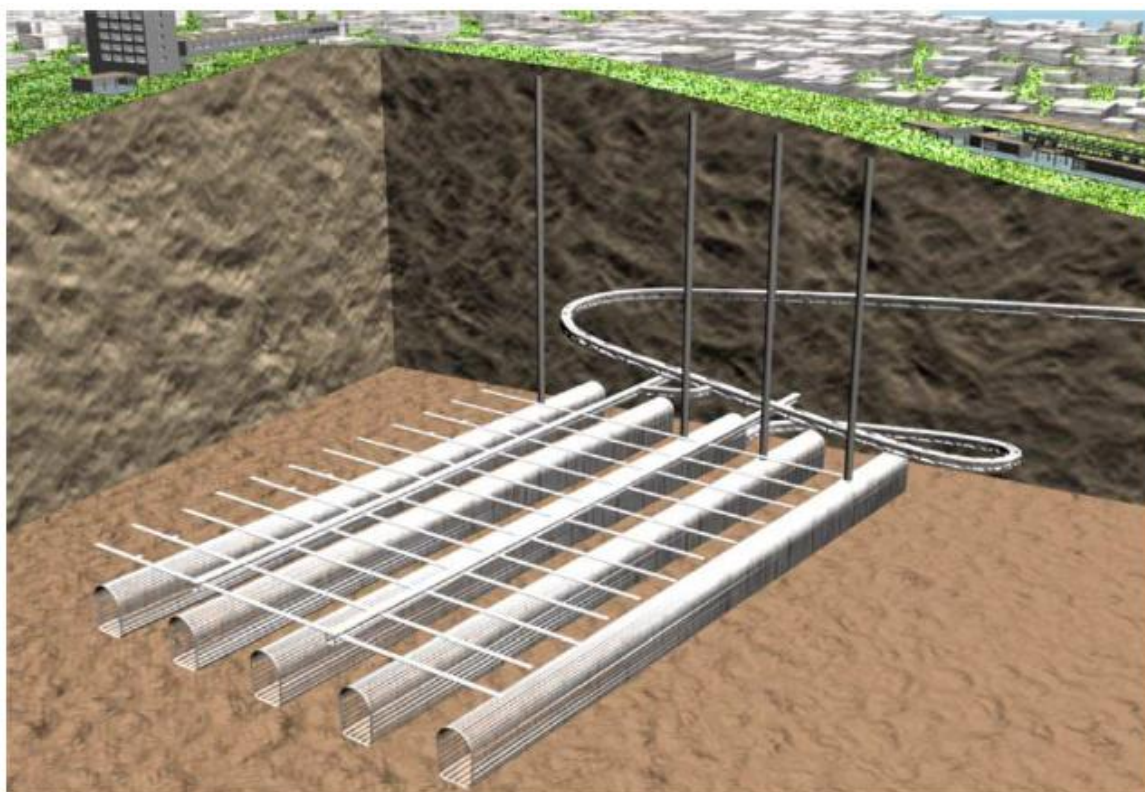


Εικόνα 5.15: Υπόγειο συγκρότημα αποθήκευσης υγρών υδρογονανθράκων (Zimbabwe).

5.1.13 Ελλάδα

Στην Ελλάδα δεν έχει ακόμα κατασκευαστεί αντίστοιχο έργο, έχουν όμως γίνει αντίστοιχες 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. Οι υπόγειες δεξαμενές θα ήταν οριζόντιου τύπου, παράλληλα διατεταγμένες μεταξύ τους, ενώ η κατασκευή τους θα γινόταν κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (Εικόνα 5.16).

Προτάθηκε συγκρότημα πέντε θαλάμων αποθήκευσης με δυναμικότητα ο καθένας 40.000 m³. Η διατομή τους σχεδιάστηκε να είναι πεταλοειδής με μέγιστο πλάτος 12 m, ύψος 18m και μήκος που φτάνει τα 260 m 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 5.16 : Τρισδιάστατη απεικόνιση του προτεινόμενου αποθηκευτικού συγκροτήματος Περάματος.

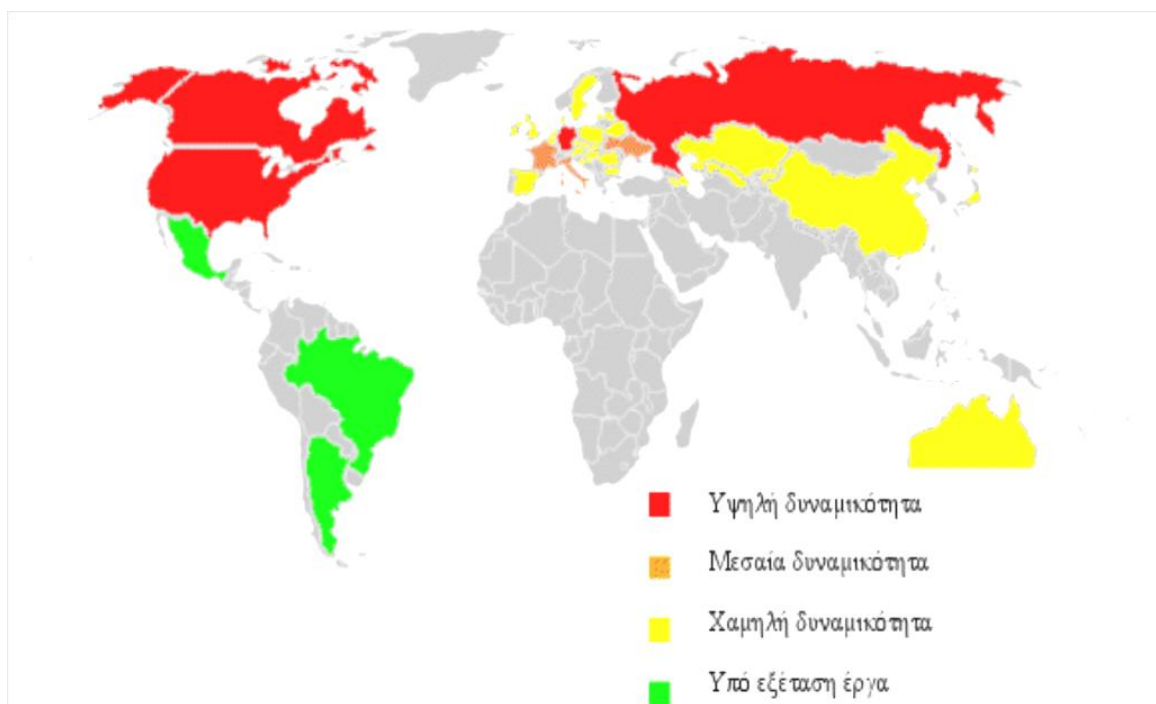
Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας 30 συγκροτημάτων υπόγειας αποθήκευσης, τα οποία αφορούν σε κατασκευασμένους υπόγειους θαλάμους (mined caverns).

Πίνακας 5.2. Παραδείγματα υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων σε τεχνητούς θαλάμους στο διεθνή χώρο (Παπαδήμα, 2010).

Έργο	Τύπος	Αποθ. Προϊόν	Δυναμικότητα (m ³)	Έτος Λειτουργίας
Lavera –Geogaz (France)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	123.000	1971
		Βουτάνιο	182.000	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	173.000	1983
		Βουτάνιο	123.000	
Seoul (S.Korea)	Τεχνητοί θάλαμοι	Ντίζελ	251.000	1982
Ulsan (S. Korea)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	310.000	1988
		Βουτάνιο	240.000	
Pyongtaek (S.Korea-Knoc)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	610.000	1989
		Βουτάνιο	120.000	
Pyongtaek (S.Korea-SkGas)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	270.000	1999
Yosu (S.Korea)	Τεχνητοί θάλαμοι	Προπάνιο	173.000	1983
		Βουτάνιο	123.000	
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	1993
			85.000	2003
Kikumata (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 (Zimbabue)	Τεχνητοί θάλαμοι	Petrol Diesel Jet Fuel	450.000	1995
Goteborg-Skarvik (Sweden)	Τεχνητοί θάλαμοι	Fuel oil	200.000	
Norrköping (Sweden)	Τεχνητοί θάλαμοι	Heavy Fuel oil	100.000	
Oskarshamn (Sweden)	Τεχνητοί θάλαμοι	Clean products	97.0	

5.2 Παραδείγματα υπόγειων αποθηκών φυσικού αερίου

Σε διεθνές επίπεδο λειτουργούν 662 υπόγειες αποθήκες φυσικού αερίου. Από αυτές, 411 αποθήκες βρίσκονται στις ΗΠΑ, 24 στη Ρωσία και 126 στην Ευρώπη, σε πάνω από 20 χώρες. Οι 662 υπόγειες αποθήκες που λειτουργούν παγκοσμίως διαθέτουν ενεργό δυναμικότητα 11.758,47 bcf, μέγεθος που αντιπροσωπεύει το 11% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Το 1/3 αυτής της ποσότητας είναι αποθηκευμένο στις εγκαταστάσεις των ΗΠΑ, ενώ επίσης μεγάλο ποσοστό της τάξεως του 20% του παγκόσμιου αποθηκευτικού όγκου κατέχει και η Ρωσία (Εικόνα 5.17) (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

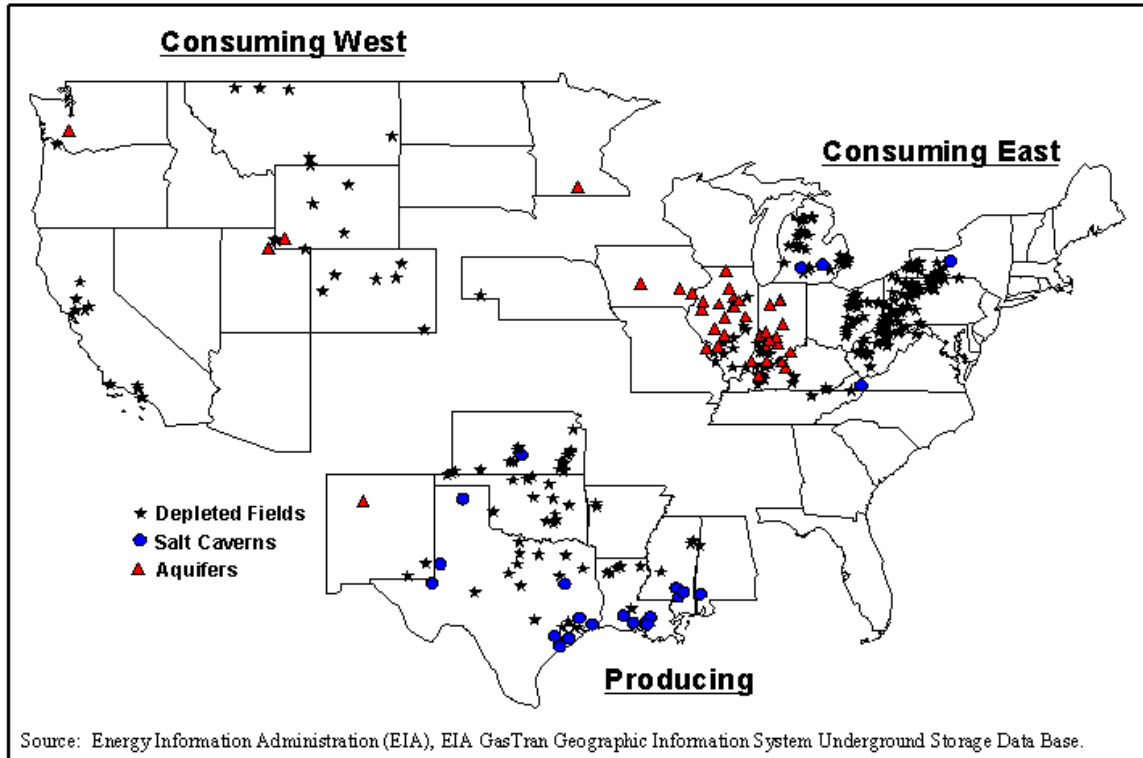


Εικόνα 5.17: Παγκόσμιος χάρτης δυναμικότητας υπόγειων αποθηκών φυσικού αερίου (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

5.2.1 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Στις ΗΠΑ οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης είναι περισσότερο συγκεντρωμένες στην βορειοανατολική περιοχή όπου υπάρχει και πολύ μεγάλη κατανάλωση (Εικόνα 5.18). Από τις 411 αποθήκες, οι 331 έχουν δημιουργηθεί σε εξαντλημένα κοιτάσματα

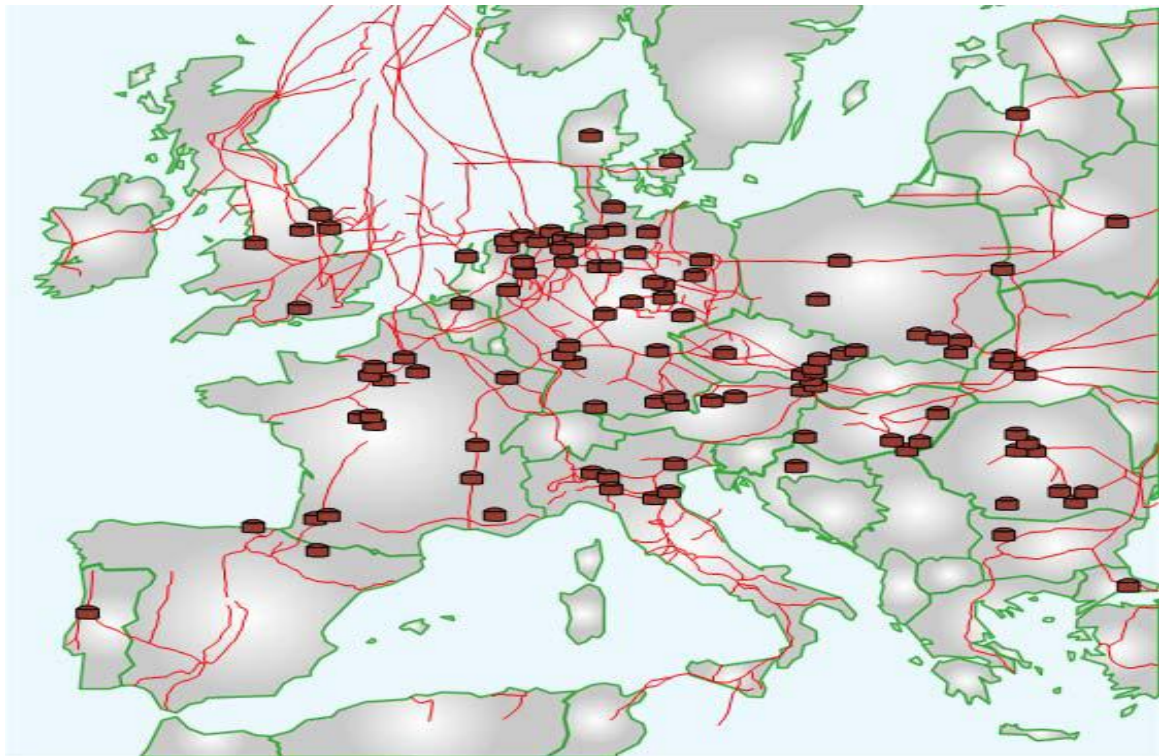
πετρελαίου ή φυσικού αερίου, οι 43 σε υδροφόρους ορίζοντες και οι 37 σε δόμους άλατος (EIA, 2006).



Εικόνα 5.18: Κατανομή υπόγειων αποθηκών φυσικού αερίου στις ΗΠΑ (EIA, 2006).

5.2.2 Ευρωπαϊκή Ένωση

Το 56% του συνόλου των αποθηκών στην ΕΕ (Εικόνα 5.19) είναι σε εξαντλημένα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, σε αντίθεση με τους δόμους άλατος που αναλογούν στο 23% επί του συνόλου των αποθηκών (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010). Είναι εμφανές ότι οι χώρες πρωτοπόροι στη συγκεκριμένη δράση είναι κυρίως η Γαλλία, η Γερμανία και η Ιταλία. Σημειώνεται επίσης ότι χώρες γειτονικές με την Ελλάδα και την Κύπρο όπως η Βουλγαρία, η Σερβία, η Αλβανία και η Τουρκία σχεδιάζουν, ενώ κάποιες από αυτές έχουν ήδη τις δικές τους αποθήκες (Βουλγαρία, Τουρκία).



Εικόνα 5.19: Αποθηκευτικές μονάδες στην Ευρώπη (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

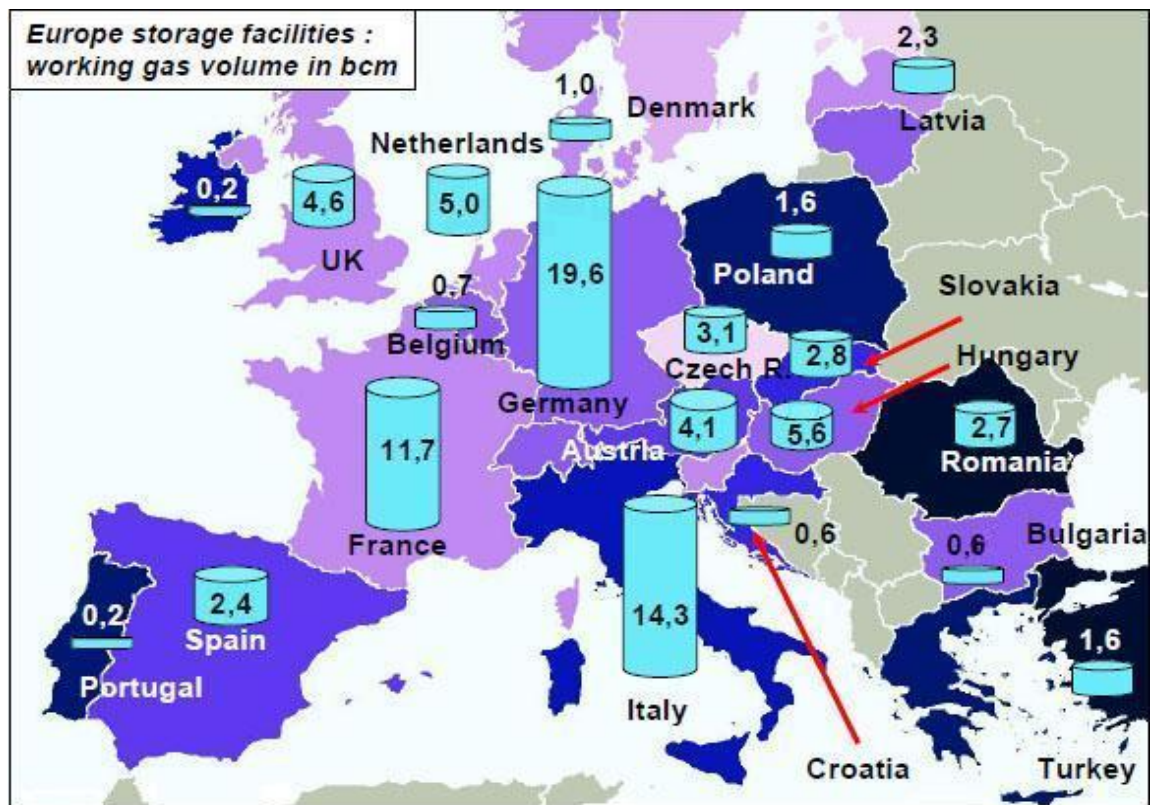
Αναλυτικά για την ΕΕ οι υπόγειες αποθήκες φυσικού αερίου ανά χώρα κατανέμονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Κατανομή υπόγειων αποθηκών στην ΕΕ (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

Ευρωπαϊκή Ένωση	Αριθμός υπογείων αποθηκών Φ.Α
Ην. Βασίλειο	6
Δανία	2
Ολλανδία	4
Βελγιο	1
Γερμανία	45
Πολωνία	7
Λετονία	1
Ιρλανδία	1
Πορτογαλία	2
Γαλλία	15
Ισπανία	2
Τσεχία	8

Σλοβακία	2
Ιταλία	10
Βουλγαρία	1
Ρουμανία	8
Αυστρία	6
Ουγγαρία	5
ΣΥΝΟΛΟ	126

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο η συνολική δυναμικότητα των αποθηκών φτάνει τα 2.912.4 δις κυβικά πόδια (bcf), ποσότητα η οποία καλύπτει το 18% περίπου της ετήσιας ζήτησης των ευρωπαϊκών χωρών (Εικόνα 5.20, Πίνακας 5.4) (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010). Πρώτες Ευρωπαϊκές χώρες σε αποθήκευση αερίου μετά τις ΗΠΑ και την Ρωσία, είναι η Γερμανία, η Ιταλία και η Γαλλία (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

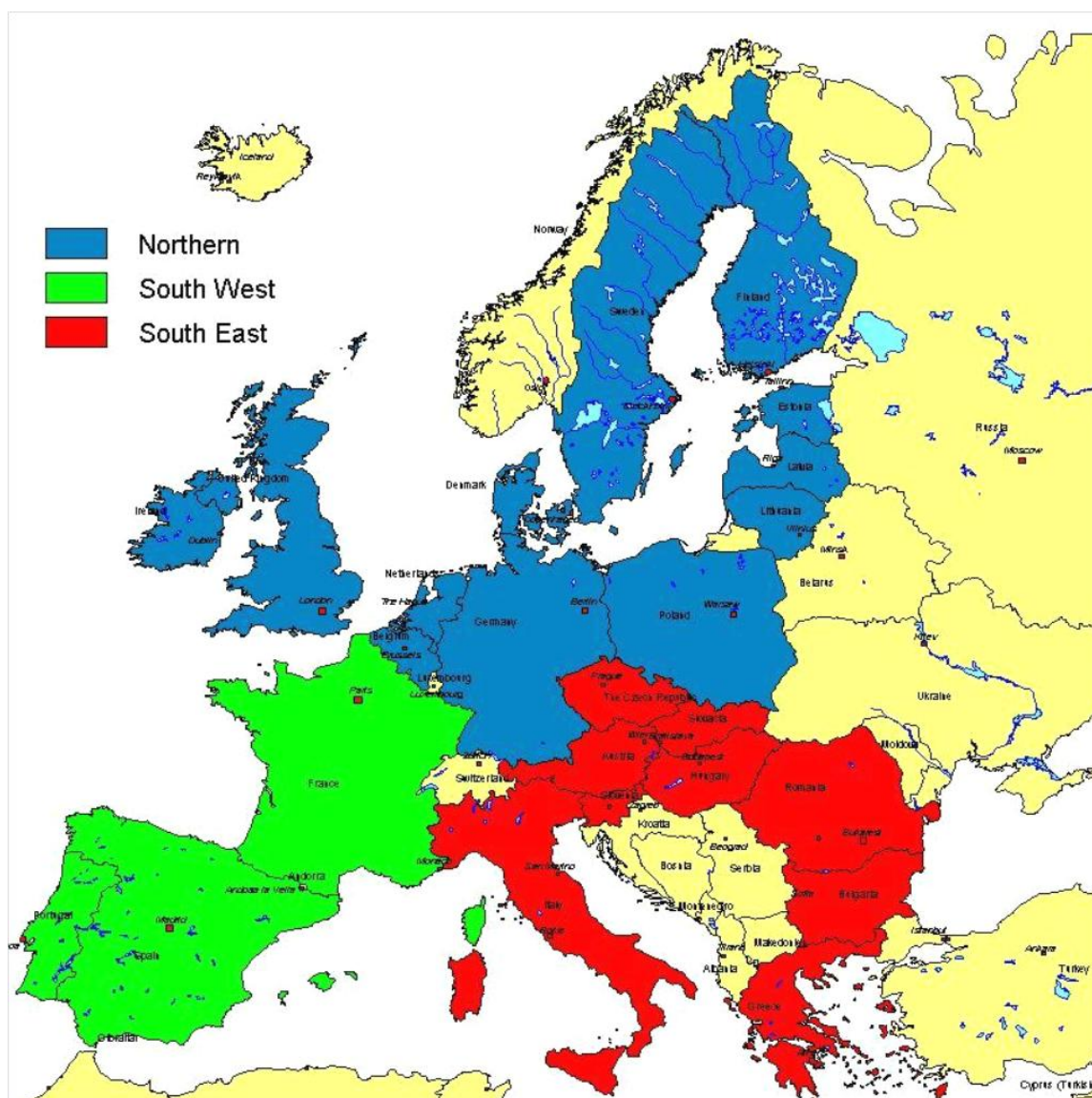


Εικόνα 5.20: Όγκος ωφέλιμου αερίου στις αποθήκες της ΕΕ (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

Πίνακας 5.4: Ενεργή δυναμικότητα αποθήκευσης των αποθηκών της ΕΕ (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

Ευρωπαϊκή Ένωση	Ενεργή δυναμικότητα αποθήκευσης (bcf)
Ην. Βασίλειο	162.4
Δανία	35.3
Ολλανδία	176.5
Βελγιο	24.7
Γερμανία	692
Πολωνία	56.5
Λετονία	81.2
Ιρλανδία	7
Πορτογαλία	7
Γαλλία	413.1
Ισπανία	84.7
Τσεχία	109.4
Σλοβακία	98.8
Ιταλία	504.9
Βουλγαρία	21.2
Ρουμανία	95.3
Αυστρία	144.7
Ουγγαρία	197.7
Σύνολο	2.912.4

Η ανάπτυξη της αποθηκευτικής ικανότητας στις τρεις ευρύτερες περιοχές της ΕΕ (Εικόνα 5.21) άρχισε να αυξάνεται από το 1990. Σήμερα από το σύνολο του ωφέλιμου όγκου που είναι διαθέσιμος στην ΕΕ, το 42,6% βρίσκεται αποθηκευμένο στα Βόρεια, το 19,6% στα Νοτιοδυτικά και το 37,8% στα Νοτιοανατολικά. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη έλαβε χώρα στη βόρεια περιοχή με τη μορφή επενδύσεων σε αλατούχους σχηματισμούς. Οι επενδύσεις στις Νοτιοανατολικές χώρες στράφηκαν κυρίως στα εξαντλημένα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η Νοτιοδυτική περιοχή παρουσίασε σχετικά σταθερό επίπεδο (Tren 2008).

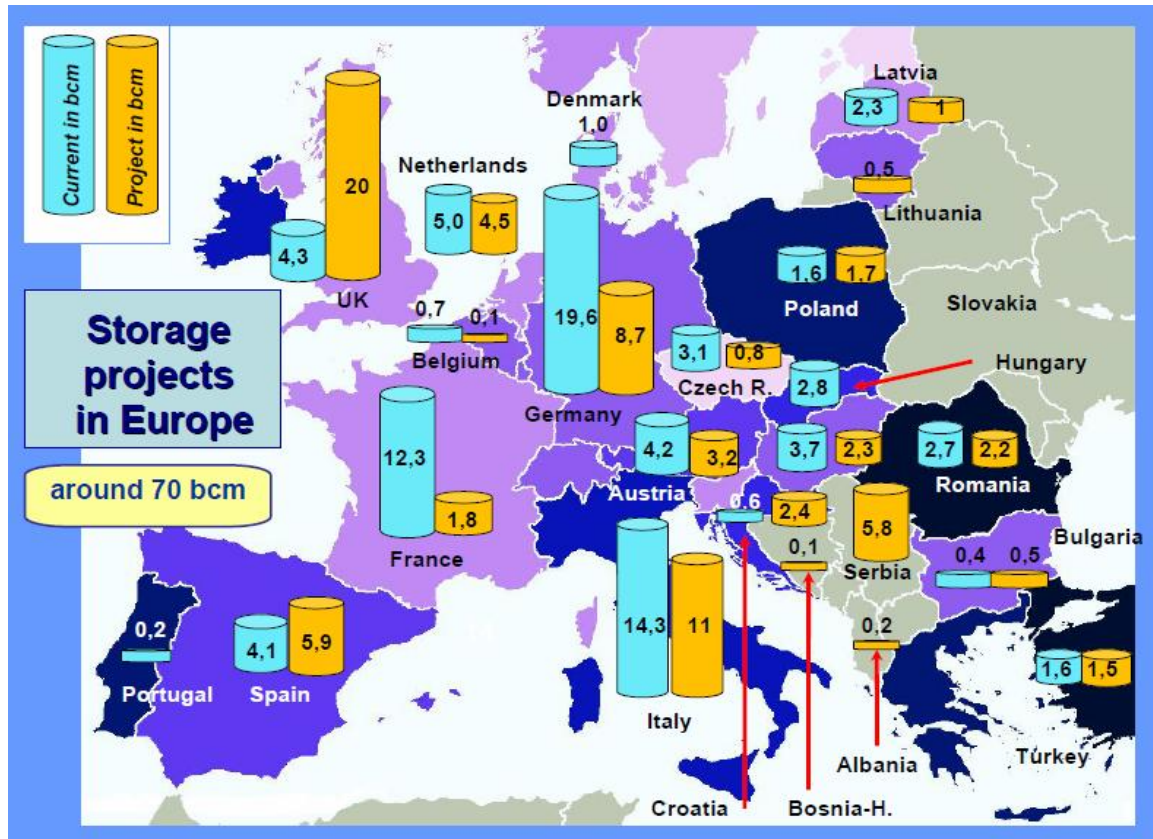


Εικόνα 5.21: Γεωγραφικός προσδιορισμός περιοχών της ΕΕ (Tren, 2008).

Ο τύπος στον οποίο αποφασίζει η κάθε χώρα να αποθηκεύσει φυσικό αέριο δεν είναι τυχαίος αλλά εξαρτάται άμεσα από τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή.

Το θέμα της εισαγωγής φυσικού αερίου γίνεται ακόμα πιο σοβαρό όχι μόνο όταν οι χώρες εισάγουν μεγάλες ποσότητες αερίου αλλά και όταν εξαρτώνται από ένα μόνο εισαγωγέα. Το πρόβλημα αυτό είναι εντονότερο στις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης όπου, για ιστορικούς και γεωπολιτικούς λόγους, το μεγαλύτερο ποσοστό αερίου εισάγεται από τη Ρωσία. Από την άλλη πλευρά όμως, η αύξηση της εξάρτησης έχει και θετικό χαρακτήρα αφού σημαίνει και μεγαλύτερες επενδύσεις στον τομέα της κατασκευής υπόγειων αποθηκών για τις ενδιαφερόμενες χώρες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η Εικόνα 5.22 στην οποία με γαλάζιο χρώμα φαίνονται οι υφιστάμενες αποθήκες και στη διπλανή στήλη είναι οι σχεδιαζόμενες.



Εικόνα 5.22: Προγραμματισμός νέων έργων αποθήκευσης στην ΕΕ (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

5.2.3 Ρωσία

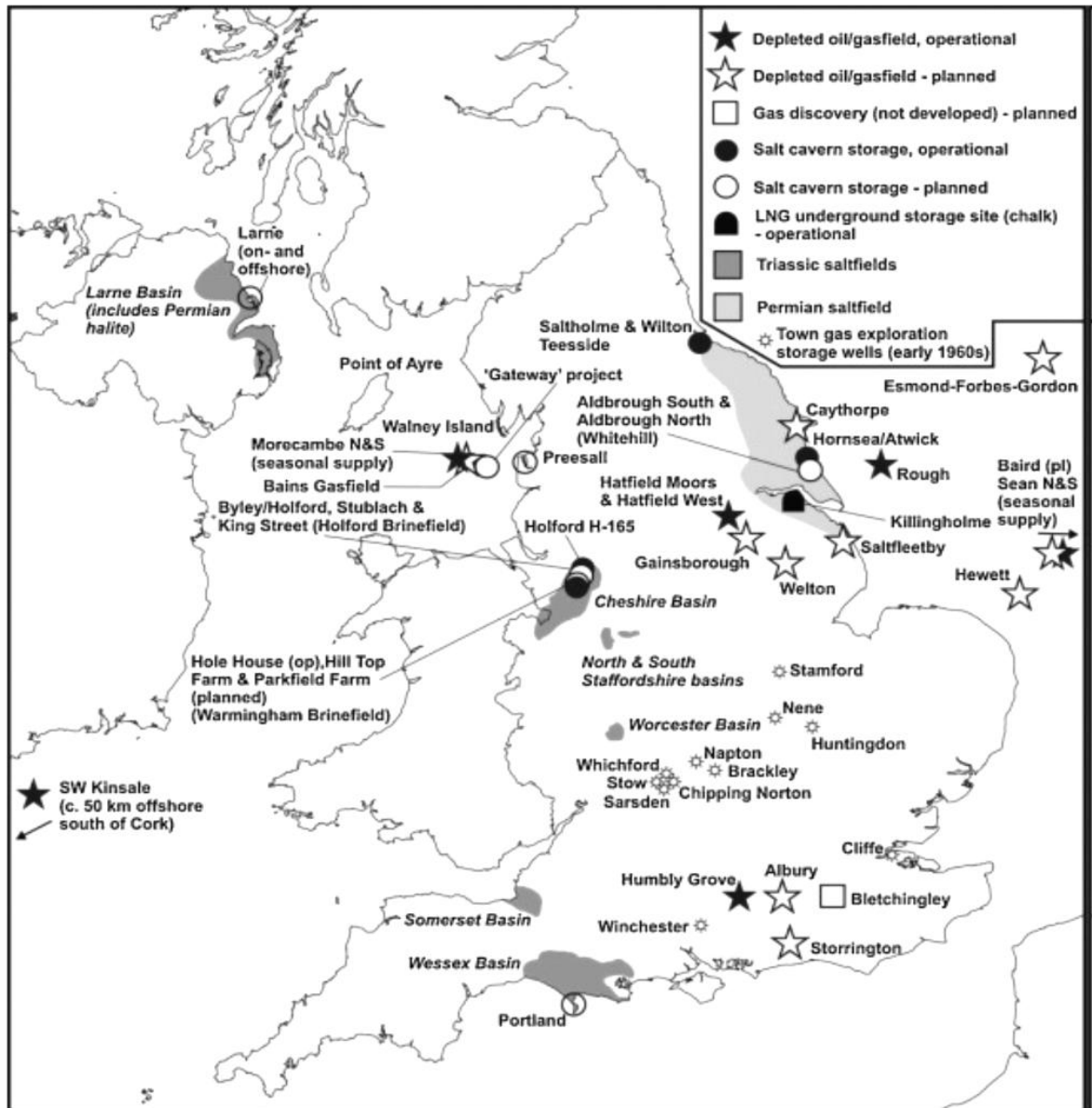
Με ένα μεγάλο ποσοστό στην εξόρυξη και εμπορία φυσικού αερίου όπως προαναφέρθηκε η Ρωσία δεν μπορεί να απέχει από την δημιουργία νέων υποδομών αποθήκευσης Φ.Α. Έτσι εισέρχεται ενεργά στην αναβάθμιση και εξάπλωση του δικτύου αποθηκών της κατά τη διάρκεια των ετών 2011-2015 (Εικόνα 5.23) αυξάνοντας έτσι και τη μέγιστη δυναμικότητα μεταφοράς χώρας κατά 40% (Gazprom, 2012).



Εικόνα 5.23: Αναβάθμιση και εξάπλωση αποθηκών φυσικού αερίου στη Ρωσία (Gazprom, 2012).

5.2.4 Ηνωμένο Βασίλειο

Επίσης ένα σύνολο σχεδιαζόμενων αποθηκών υπάρχει και στο Ηνωμένο Βασίλειο (Εικόνα 5.24), το οποίο μάλιστα επεκτείνεται και σε υποθαλάσσια κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Θα πρέπει να αναφερθεί μάλιστα ότι πρόσφατα το Ηνωμένο Βασίλειο θέσπισε και ειδικό νομοθετικό πλαίσιο για την αδειοδότηση, ανάπτυξη και λειτουργία τέτοιων υπόγειων αποθηκών φυσικού αερίου.



Εικόνα 5.24: Οι θέσεις των υφιστάμενων και των προτεινόμενων υποδομών υπόγειας αποθήκευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου στο Ηνωμένο Βασίλειο (Energy Storage and Management Study, 2012).

5.2.5 Πολωνία

Στην περίπτωση της Πολωνίας, δύο σχέδια (Πίνακας 5.5) που ανακοινώθηκαν τον Οκτώβριο του 2010 έχουν ήδη μπει στη φάση της αδειοδότησης (GIE, 2012).

Πίνακας 5.5: Νέα έργα αποθήκευσης φυσικού αερίου στην Πολωνία (GIE, 2012).

Όνομασία έργου	Αναμενόμενη χωρητικότητα (Mcf)	Αναμενόμενη δυναμικότητα μεταφοράς (Mcf/ημέρα)	Αναμενόμενη ολοκλήρωση του έργου
Huscow	17.655	1931.5	2013
Breznicza	3.531	47.3	2014

5.2.6 Λοιπές χώρες

Στον υπόλοιπο κόσμο η κατανομή των αποθηκών φυσικού αερίου σε αριθμό αποθηκών και με βάση τη δυναμικότητα δίνονται τους Πινάκες 5.6 και 5.7.

Πίνακας 5.6: Κατανομή αποθηκών στις υπόλοιπες χώρες του κόσμου (PSP, 2012).

Χώρα	Αριθμός αποθηκών
Καναδάς	49
Ουζμπεκιστάν	3
Καζακστάν	3
Αζερμπαϊτζάν	2
Κίνα	10
Αυστραλία	4
Ιαπωνία	4
Αρμενία	1
Αργεντινή	2
Κιργιστάν	1

Πίνακας 5.7: Κατανομή φυσικού αερίου με βάση την δυναμικότητα στις υπόλοιπες χώρες του κόσμου (PSP, 2012).

Χώρα	Χωρητικότητα (bcf)
Καναδάς	523.3
Ουζμπεκιστάν	162.4
Καζακστάν	148.3
Αζερμπαϊτζάν	47.6
Κίνα	40.2
Αυστραλία	39.9
Ιαπωνία	19.4
Αρμενία	3.8
Αργεντινή	3.5
Κιργιστάν	2.1

Επιπλέον η Σλοβακία σκοπεύει να κατασκευάσει την αποθήκη Gajary-Báden η οποία αναμένεται να έχει χωρητικότητα σε ωφέλιμο αέριο 17.655 Mcf το 2014. Τέλος, η Γερμανία έχει ήδη κατασκευάσει την αποθήκη Jemgum η οποία θα είναι έτοιμη να τεθεί σε λειτουργία στις αρχές του 2013 (PSP, 2012).

5.3 Παραδείγματα της νέας μεθόδου αποθήκευσης Lined Rock Caverns (LRC)

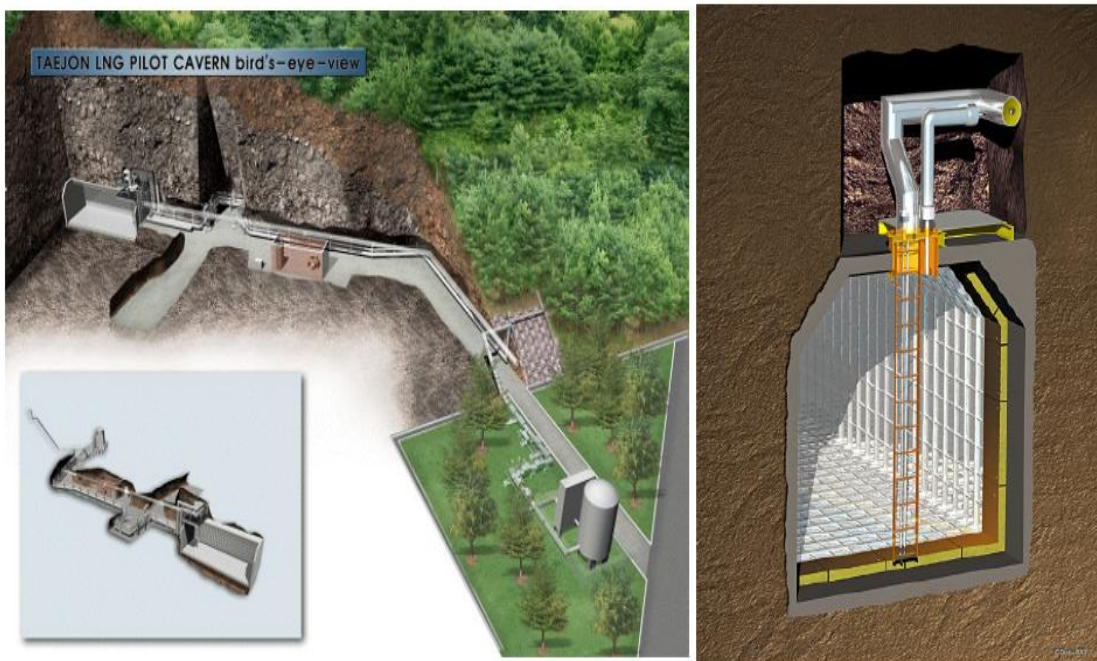
Η τεχνολογία LRC είναι πολύ νέα και μέχρι στιγμής γίνονται πιλοτικές δόκιμες για την αξιολόγηση της μεθόδου, για να μπορέσει τα επόμενα χρόνια να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερα έργα υπόγειας αποθήκευσης.

5.3.1 Πιλοτικός υπόγειος θάλαμος στην Taejeon της Ν. Κορέας

Η πιλοτική μονάδα υγροποιημένου φυσικού αερίου βρίσκεται στην Taejeon, περίπου 200 km νότια της Σεούλ, σε ένα υπάρχων υπόγειο θάλαμο εντός των εγκαταστάσεων των ερευνών του KIGAM. Προηγούμενα τον υπόγειο θάλαμο τον χρησιμοποιούταν για αποθήκευση τροφίμων υπό ψύξη και επεκτάθηκε για να ελέγξει τη συνολική απόδοση

ενός θαλάμου με μεταλλική επένδυση για την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Το πέτρωμα βασικά αποτελείται από γρανίτη και γνεύσιο και έχει RQD 80-86 % ενώ η ταξινόμηση της βραχώμαζας κατά Q ήταν περί το 12,5. Η πρόσβαση στο πιλοτικό θάλαμο παρέχεται μέσω μιας υπάρχουσας οριζόντιας σήραγγας, και η πειραματική οροφή του θαλάμου βρίσκεται σε βάθος περίπου 20 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Για ολοκληρωθεί το σύστημα μόνωσης, ένας τοίχος από μπετόν κλείνει την είσοδο του θαλάμου. Οι εσωτερικές διαστάσεις της ολοκληρωμένης πιλοτικής μονάδας είναι 3.5 m x 3.5 m, μήκος 10 m, που ανέρχονται σε ένα όγκο αποθήκευσης (working volume) στα 110 m³ (Εικόνα 5.25).



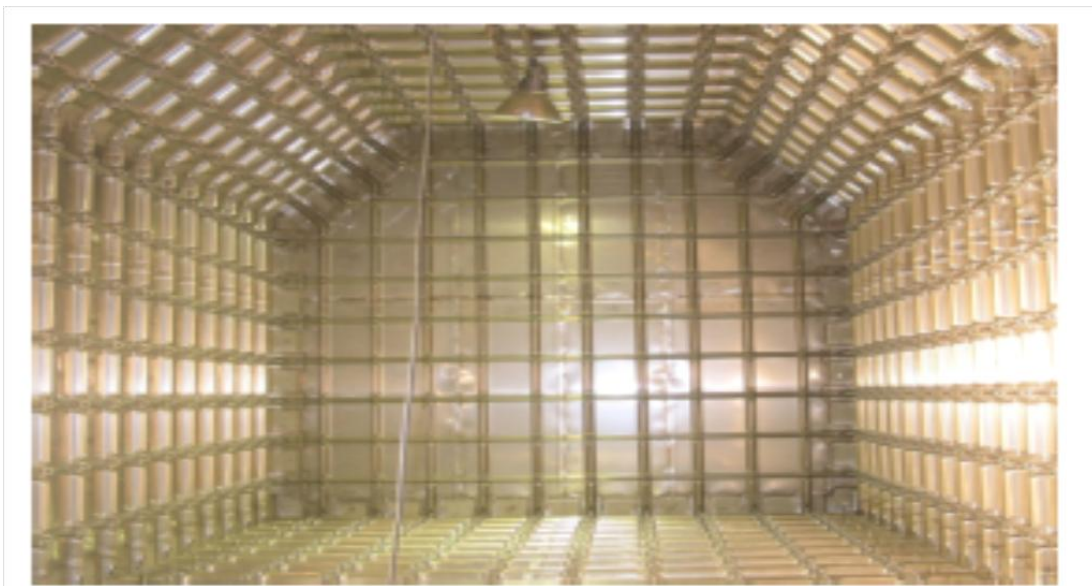
Εικόνα 5.25: Όψη και εγκάρσια τομή του πιλοτικού υπόγειου θαλάμου αποθήκευσης (Park et al., 2012).

Σύστημα μόνωσης

Το σύστημα μόνωσης, το οποίο χρησιμοποιείται για υπόγειους θαλάμους με επένδυση, είναι παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται γενικώς σε επενδεδυμένους θαλάμους και βελτιώθηκε από την SN Technigaz από το 1962 για τις δεξαμενές με μεταλλική επένδυση αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η σπονδυλωτή δομή του συστήματος συγκράτησης το καθιστά πολύ ευέλικτο, για τη βελτίωση της κατασκευής και την προσαρμογή της γεωμετρίας του σπηλαιίου. Το πάχος των μονωτικών πάνελ μπορεί να

επιλεχτεί σύμφωνα με την απαίτηση της θερμικής απόδοσης, και η χρήση μεμβράνης επιτρέπει την εφαρμογή της μεθόδου σε πολύ μεγάλα έργα μελλοντικής κλίμακας.

Το σύστημα μόνωσης αποτελείται από πολλά στρώματα, από το πέτρωμα στο LNG όπως φαίνεται πιο κάτω (Εικόνα 5.26). Για τον θάλαμο της Taejeon πιλοτικά, οι μονωτικές πλάκες είναι κατασκευασμένες από αφρώδες υλικό ανάμεσα σε φύλλα κόντρα πλακέ και συνδέονται με το σκυρόδεμα με συγκεκριμένη μαστίχα. Το πάχος της μόνωσης είναι 300 mm για να εξασφαλιστεί ότι η θερμοκρασία του πετρώματος δεν θα πέσει κάτω από τους -50 C μετά από 30 χρόνια και το ποσοστό εξατμίσεων θα μείνει σε ένα αποδεκτό όριο. Τέλος, μία κυματοειδής μεμβράνη από ανοξείδωτο χάλυβα, πάχους 1.2 mm επικολλάται στο μονωτικό πάνελ και παρέχει στεγανότητα του αερίου σε χαμηλή θερμοκρασία. Όλες οι επιφάνειες (π.χ. δάπεδο, τα τοιχώματα, ο θάλαμος και ο θόλος) καλύπτονται με επένδυση σκυροδέματος, μονωτικά πάνελ και φύλλα επένδυσης από ανοξείδωτο χάλυβα (Park et al., 2012).



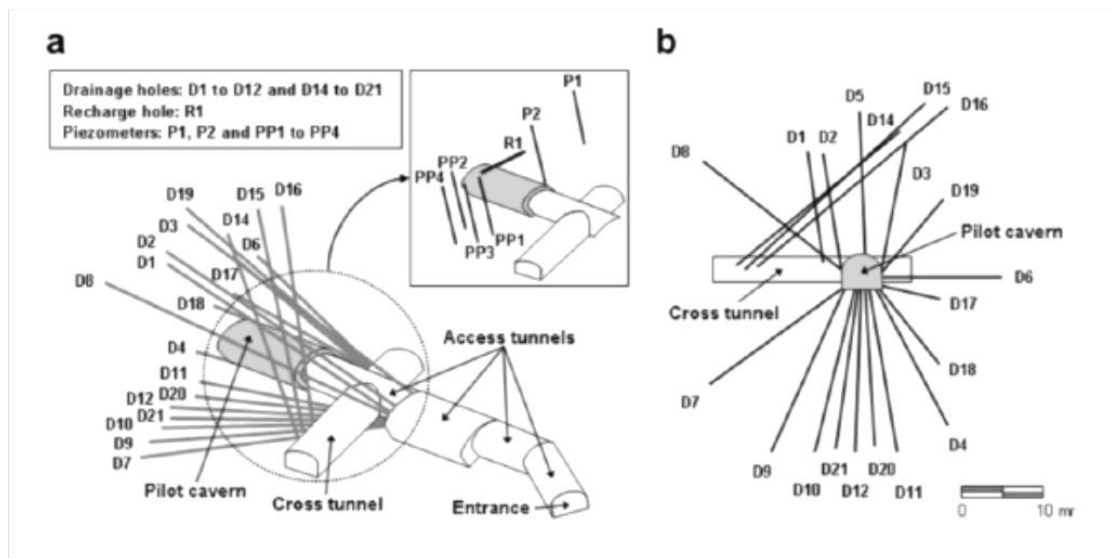
Εικόνα 5.26: Σύστημα μόνωσης που χρησιμοποιείται για την πιλοτική δοκιμή (Park et al., 2012).

Σύστημα αποστράγγισης

Ο σκοπός του συστήματος αποστράγγισης είναι, να μειώσει την είσοδο του νερού στον θάλαμο κατά την σκυροδέτηση, να μειώσει την υγρασία που θα διαπερνά το μπετόν κατά την εγκατάσταση του συστήματος μόνωσης, να αυξήσει την αποστράγγιση του πετρώματος και να διατηρήσει ένα χαμηλό βαθμό κορεσμού του νερού στον περιβάλλοντα χώρο του πετρώματος κατά τη διάρκεια της φάσης ψύξης, καθώς και για

τον έλεγχο του νέου κορεσμού του πετρώματος υποδοχής, και αφού η παγωμένη περιοχή γύρω από τον υπόγειο θάλαμο φτάσει σε ένα κατάλληλο πάχος.

Πριν την εκσκαφή του θαλάμου, 21 διατρήματα από την σήραγγα είχαν ανοιχτεί για την αποστράγγιση κοντά στα τοιχώματα του σπηλαιού (Εικόνα 5.27), έτσι η στάθμη του νερού μειώθηκε στα 8 m κάτω από το δάπεδο του θαλάμου. Επίσης, μια δοκιμασία για τον θάλαμο διεξήχθη μετά την πλήρη εγκατάσταση της κατασκευής σκυροδέματος και πριν την εισπύση αερίου στον θάλαμο. Το σύστημα αποστράγγισης πρέπει να λειτουργεί κατά τη διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας του υπόγειου θαλάμου αποθήκευσης LNG (Park et al., 2012).



Εικόνα 5.27: Σχηματικό διάγραμμα του πιλοτικού υπόγειου θαλάμου, (a) Πλάγια όψη των διατρημάτων αποστράγγισης (D σειρά), διάτρημα επαναφόρτισης (R1) , και πιεζόμετρα (P και σειρά PP) & (b) εμπρόσθια όψη των διατρημάτων αποστράγγισης (Cha et al.,2007).

Κατασκευαστικές εργασίες

Η αλλαγή δομής μεταξύ του πετρώματος και του συστήματος συγκράτησης αποτελείται από οπλισμένο εγχυτό σκυρόδεμα μεταξύ ενός καλουπιού και του πετρώματος. Η διεπαφή πετρώματος/σήραγγας πρόσβασης είναι κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα, περιλαμβανόμενων δύο καλουπιών, όπως έναν τοίχο κλεισίματος και μια

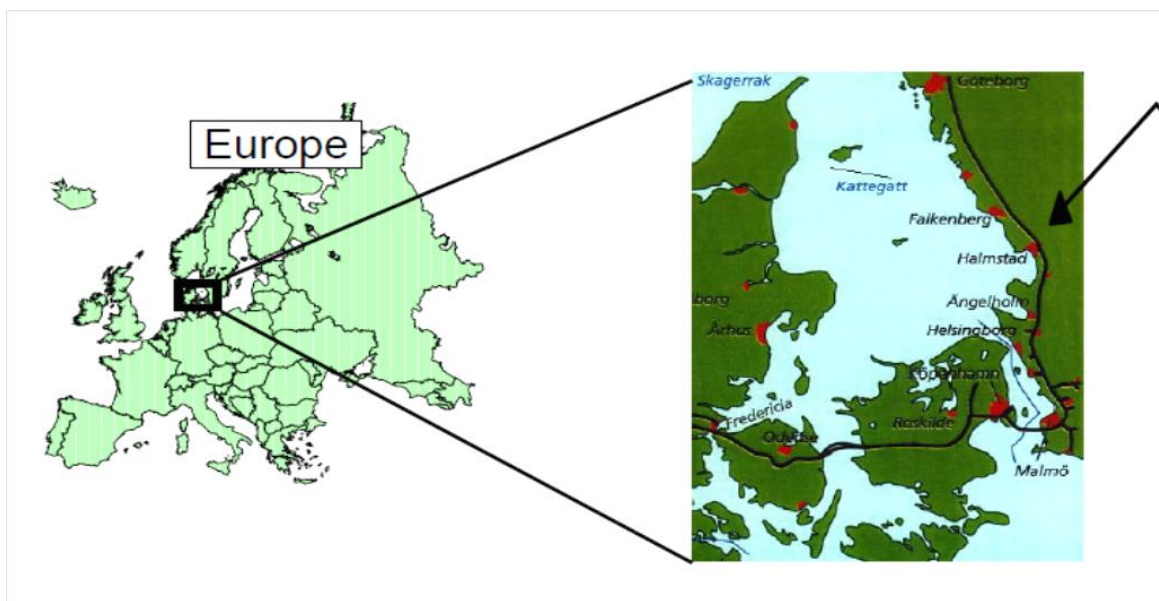
πλατφόρμα που χρησιμοποιείται για πρόσβαση σωληνώσεων. Το πάχος του πάνελ της μόνωσης πολυουρεθάνης είναι 10 cm, και έτσι σχηματίστηκε μεταξύ του βράχου και το συστήματος συγκράτησης ένα στρώμα 20 cm πάχους, από οπλισμένο σκυρόδεμα (Park et al., 2012).

5.3.2 Εφαρμογή του Lined Rock Caverns (LRC) στο Χάλμσταντ της Σουηδίας.

Περιγραφή έργου

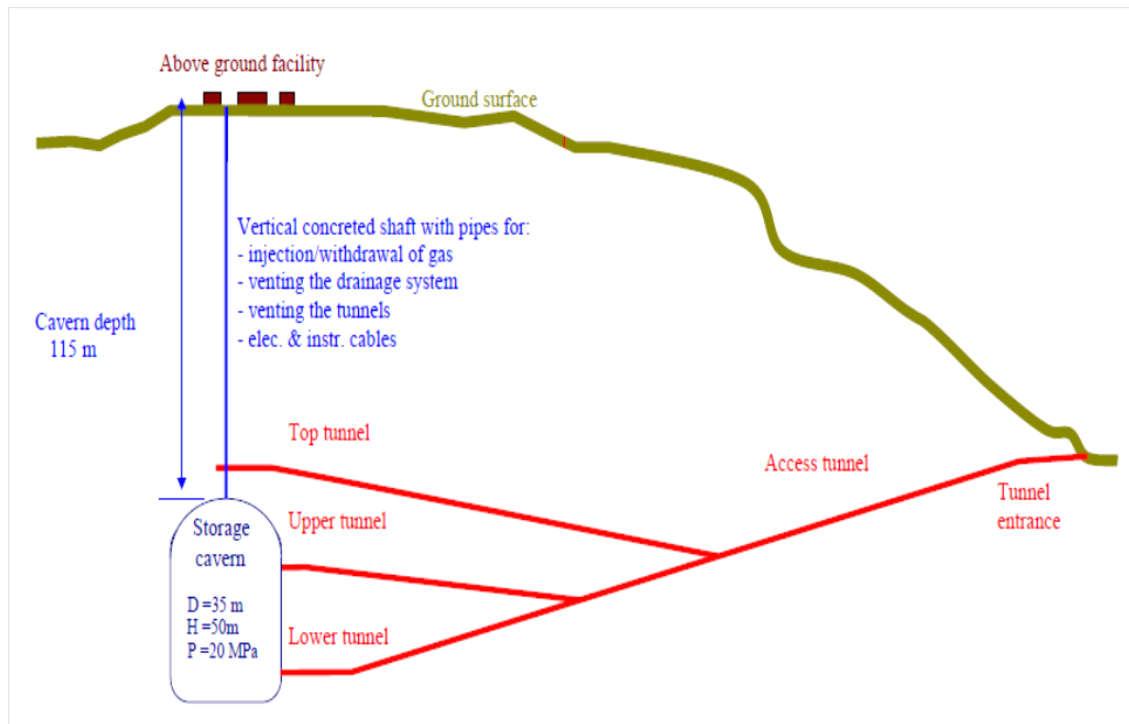
Η κατασκευή του υπόγειου έργου Demo LRC έγινε από τις εταιρίες Gaz de France και Sydkraft. Ο στόχος του έργου είναι να αποδειχθεί η σκοπιμότητα της τεχνολογίας LRC και η κατασκευή μιας μονάδας αποθήκευσης σε κλίμακα επίδειξης (το μέγεθος του θαλάμου του σταθμού Demo είναι περίπου το μισό του μεγέθους του που έχει προγραμματιστεί για εμπορική μονάδα). Το έργο χρηματοδοτήθηκε εν μέρει από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσα από το πρόγραμμα Thermie για την έρευνα και την ανάπτυξη.

Το έργο Demo LRC βρίσκεται κοντά στην παραλιακή πόλη του Halmstad στη νοτιοδυτική Σουηδία, (Εικόνα 5.28). Η περιοχή βρίσκεται κοντά στον κεντρικό αγωγό φυσικού αερίου κατά μήκος της δυτικής σουηδικής ακτής και βρίσκεται σε ένα καλό σημείο για να εξυπηρετήσει τη σουηδική αγορά φυσικού αερίου. Οι κατασκευαστικές εργασίες άρχισαν στα τέλη του 1998 (Mansson, 2003).



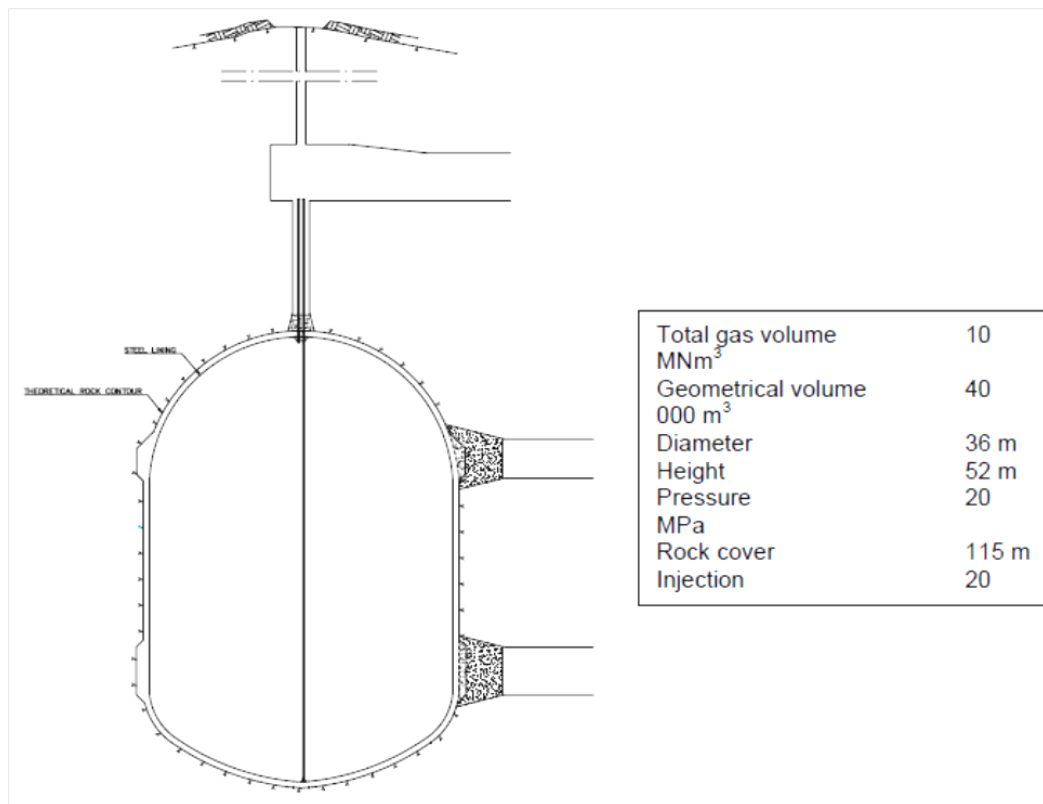
Εικόνα 5.28: Τοποθεσία του έργου Demo LRC στη Σουηδία (Tengborg, 2006).

Το έργο Demo LRC αποτελείται κυρίως από την παρακάτω εγκατάσταση (Εικόνα 5.29), τον υπόγειο επενδυμένο θάλαμο αποθήκευσης και τη σύνδεση του αγωγού με το δίκτυο φυσικού αερίου. Η πρόσβαση στον υπόγειο θάλαμο κατά τη διάρκεια της εκσκαφής και η ίδια η κατασκευή είναι συνδεδεμένη με ένα σύστημα σιηράγγων πρόσβασης (Mansson, 2003).



Εικόνα 5.29: Διάταξη του υπόγειου θαλάμου αποθήκευσης και οι σιηράγγες πρόσβασης στο Demo LRC (Tengborg, 2006).

Το σχήμα του θαλάμου αποθήκευσης είναι ένας κατακόρυφος κύλινδρος με ένα σφαιρικό επάνω μέρος και στρογγυλεμένο πυθμένα (Εικόνα 5.30). Η διάμετρος είναι 36 m και το ύψος του είναι 52 m. Η κορυφή του θαλάμου βρίσκεται σε μια απόσταση βάθους 115 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ο γεωμετρικός όγκος είναι 40.000 m^3 , στα οποία σημαίνει ότι 10 εκατομμύρια m^3 φυσικού αερίου μπορούν να αποθηκευτούν στη μέγιστη πίεση των 200 bar (Mansson, 2003).



Εικόνα 5.30: Κάθετο τμήμα του θαλάμου του Demo LRC (Mansson, 2003).

Η κατασκευή της μονάδας κάτω από το έδαφος άρχισε με την εκσκαφή των σηράγγων πρόσβασης (Εικόνα 5.31). Η μάζα του πετρώματος αποτελείται από μια καλή ποιότητα γνεύσιου. Η στέψη του θαλάμου εξορύχτηκε πρώτη, και ακολούθησε το τμήμα του πυθμένα (Εικόνα 5.32) (Tengborg, 2006).

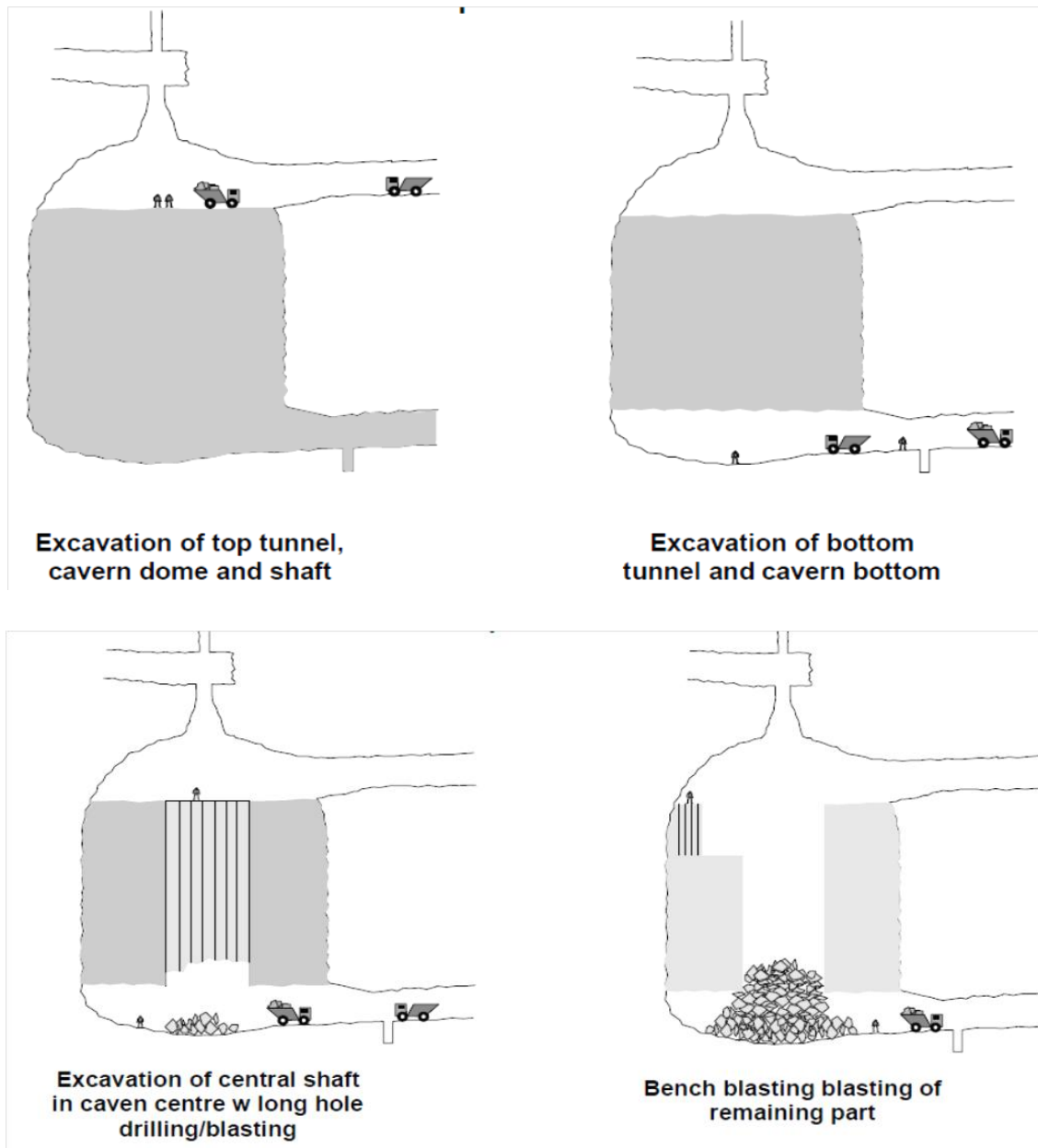


Εικόνα 5.31: Είσοδος σήραγγας (Tengborg, 2006).



Εικόνα 5.32: Το τέλος εκσκαφής της στέγης του υπόγειου θαλάμου του Demo LRC (Tengborg, 2006).

Ο όγκος του πετρώματος στη μέση του κυλινδρικού μέρους εξορύχτηκε τελευταίος (Εικόνα 5.33). Χρησιμοποιήθηκαν ειδικές τεχνικές ανατινάξεων (smooth blasting) για τη δημιουργία μιας ομαλής επιφάνειας πετρώματος κατάλληλης για την μετέπειτα εγκατάσταση της επενδύσεως. Οι σωληνώσεις του συστήματος αποστράγγισης εγκαταστάθηκαν στα τοιχώματα του πετρώματος αμέσως μετά την εκσκαφή και καλύφθηκαν με ένα προστατευτικό στρώμα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Tengborg, 2006).



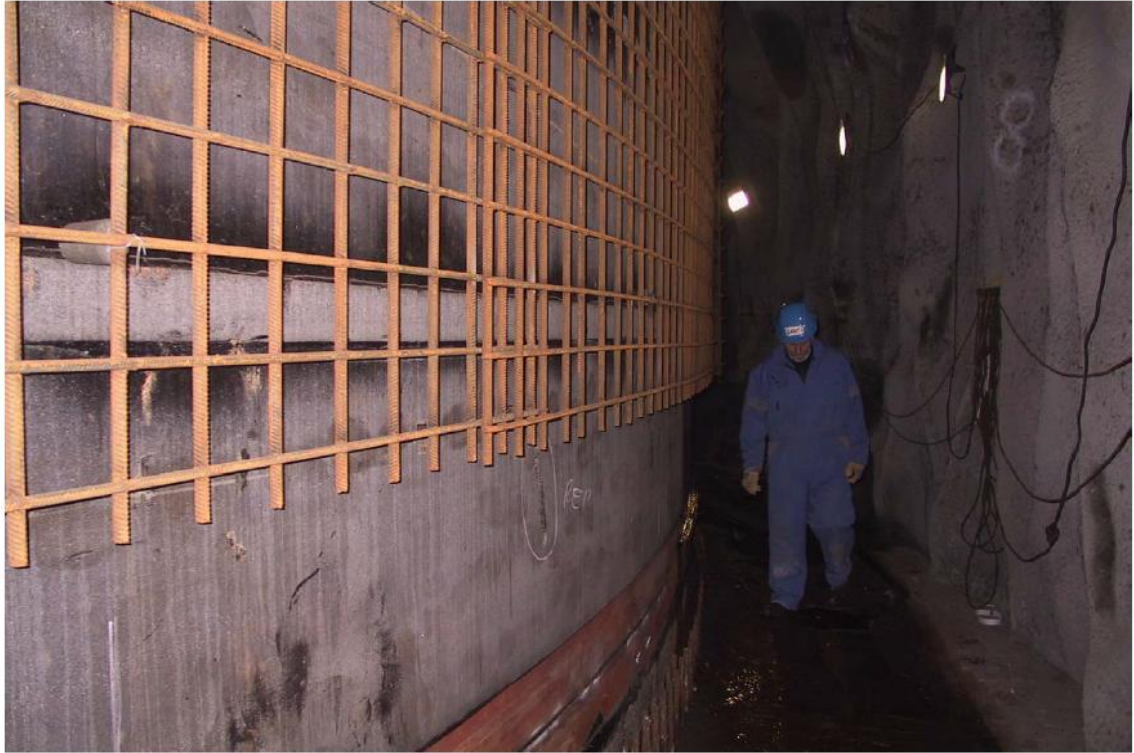
Εικόνα 5.33: Στάδια της εξορύξης του πετρώματος του θαλάμου προς επένδυση στο έργο Demo LRC (Tengborg, 2006).

Μετά την εκσκαφή του θαλάμου, η επένδυση χάλυβα κατασκευάστηκε ως ανεξάρτητη δεξαμενή. Η επένδυση έγινε από μεγάλες προσχηματισμένες χαλύβδινες πλάκες από όλκιμο χάλυβα, με πάχος περίπου 12 mm που είχαν συγκολληθεί μεταξύ τους (Εικόνα 5.34) (Mansson, 2003).



Εικόνα 5.34: Εργασίες συγκόλλησης των προσχηματισμένων πλακών χάλυβα της δεξαμενής αποθήκευσης (Tengborg, 2006).

Το τελευταίο στάδιο της κατασκευής ήταν να γεμίσει το κενό μεταξύ της επένδυσης χάλυβα και του πετρώματος του θαλάμου με σκυρόδεμα (Εικόνες 5.35-5.36) αυτοσυμπυκνούμενου τύπου όπου η ομοιομορφία του μπορεί να επιτευχθεί χωρίς τη χρήση δόνησης. Η δεξαμενή χάλυβα γεμίστηκε με νερό έτσι ώστε να υποστηρίξει τη συγκεκριμένη πίεση του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης του.



Εικόνες 5.35 – 5.36: Η τοποθέτηση του σκυροδέματος μεταξύ της μεμβράνης χάλυβα και του βράχου του σπηλαίου (Tengborg, 2006).

Ο θάλαμος αποθήκευσης συνδέεται με μια εγκατάσταση στην επιφάνεια του εδάφους μέσω ενός διάτρητου κατακόρυφου φρέατος. Το φρέαρ περιέχει σωλήνες για εισπίαση και άντληση αερίου (Tengborg, 2006). Το Demo LRC ελέγχεται λειτουργικά από μια αίθουσα ελέγχου που βρίσκεται εγκατεστημένη στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, μετά από μια αρχική περίοδο λειτουργίας, το έργο Demo LRC θα πρέπει κανονικά να λειτουργεί εξ αποστάσεως από την κεντρική αίθουσα ελέγχου του δικτύου φυσικού αερίου στο Malmö.

Η κατασκευή του σταθμού Demo LRC ολοκληρώθηκε το καλοκαίρι του 2002. Μετά από αυτό, ένα εκτεταμένο επιστημονικό πρόγραμμα δοκιμών ξεκίνησε, συμπεριλαμβανομένης της φόρτωσης του υπόγειου θαλάμου έως και 220 bar και σε πολλαπλούς κύκλους φόρτισης. Η συμπεριφορά του πετρώματος και της επένδυσης παρακολουθήθηκε από ένα ολοκληρωμένο σύστημα μέτρησης. Η προκαταρκτική εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς της βραχομάζας και των τοιχωμάτων του σπηλαίου υποδεικνύει ότι το επίπεδο παραμόρφωσης σε γενικές γραμμές είναι ελαφρά μικρότερο από το αναμενόμενο και έτσι είναι πολύ κάτω από τα όρια του σχεδιασμού. Η εμπορική λειτουργία του σταθμού Demo LRC ξεκίνησε κατά τη διάρκεια του έτους 2003 (Mansson, 2003).

Σημασία του έργου για την Σουηδία αλλά και για τον κόσμο γενικότερα

Η κατασκευή του σταθμού Demo LRC ήταν το τελικό βήμα μιας μακράς διαδικασίας ανάπτυξης που ξεκίνησε πριν από 20 χρόνια στην Σουηδία. Αυτού του είδους αποθήκευση θα βελτιώσει την αξιοπιστία και τη δυνατότητα της σουηδικής παράδοσης όσο αφορά την υπόγεια αποθήκευση φυσικού αερίου. Σε μια ευρύτερη προοπτική, το έργο Demo έχει φέρει επιτέλους την τεχνολογία LRC σε φάση ανάπτυξης. Η έννοια LRC έχει αναδειχθεί ως μια υπάρχουσα εμπορική τεχνολογία και είναι τώρα έτοιμη να αμφισβητήσει άλλες υπάρχουσες εναλλακτικές λύσεις αποθήκευσης στην αγορά. Το διεθνές ενδιαφέρον για την μέθοδο LRC είναι μεγάλη, όπως για παράδειγμα, στη Βόρεια Αμερική, την Ιαπωνία και την Άπω Ανατολή (Mansson, 2003).

6. Ανάλυση κόστους των διαφόρων μεθόδων υπόγειας αποθήκευσης Πετρελαιοειδών και Φυσικού Αερίου

Το υψηλό κόστος κατασκευής υπόγειων έργων είναι ίσως ο σοβαρότερος αποτρεπτικός παράγοντας για επενδύσεις κρατών και εταιριών για υπόγεια αποθήκευση πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου (Φ.Α). Πρέπει ωστόσο να δειχθεί, πως χώρες με μακροχρόνια πείρα στην εξόρυξη και εμπορία πετρελαιοειδών και Φ.Α και με τεράστιες ανάγκες αποθήκευσης στρατηγικών και λειτουργικών αποθεμάτων, έχουν αναπτύξει τέτοιες μεθόδους, στον τομέα της έρευνας αλλά και να τους εφαρμόσουν στην πράξη. Το κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθεί με μελέτες και αναφορές κόστους των διαφόρων μεθόδων υπόγειας αποθήκευσης και μετά θα παρουσιαστούν, μετά από ερευνά συνολικά κόστη αλλά και το κόστος ανά μονάδα όγκου αποθηκευμένου προϊόντος από έργα σε διαφορές χώρες που έχουν ανάπτυξη στον συγκεκριμένο τομέα ειδικά τα τελευταία χρόνια.

6.1 Κόστος ανάπτυξης υπόγειων αποθηκών πετρελαιοειδών

6.1.1 Συγκριτικά κόστη υπόγειας αποθήκευσης πετρελαιοειδών

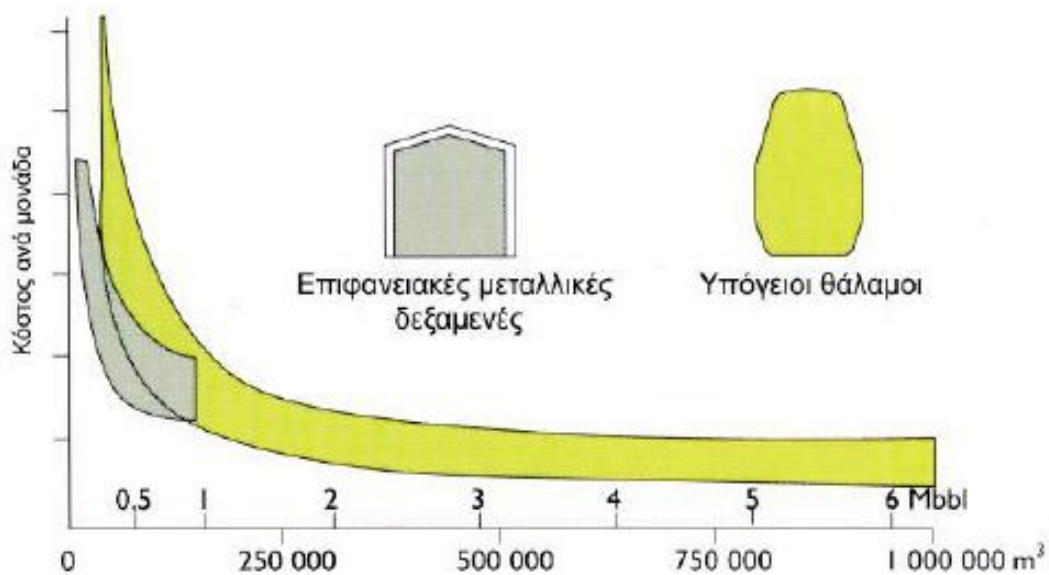
Συμφώνα με την αναφορά της αμερικανικής εταιρίας PB-KBB Inc. το 1998 (Leiby, 1999) παρουσιάζεται (Πινάκας 6.1) τα συγκριτικά κόστη επένδυσης αποθήκευσης στρατηγικών αποθεμάτων πετρελαίου για τρεις μεθόδους υπόγειας αποθήκευσης. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται ακόμη η συγκεκριμένη χωρητικότητα, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, ο μέγιστος ρυθμός άντλησης και επαναγεμίματος του προϊόντος και ο χρόνος κατασκευής. Η εκτίμηση γίνεται σε αμερικανικά δολάρια (US\$) ανά βαρέλι (\$/BBL) και σε δολάρια ανά βαρέλι ανά χρόνια (\$/BBL-yr).

Πίνακας 6.1: Κόστος των τριών μεθόδων αποθήκευσης πετρελαιοειδών σύμφωνα με την PB-KB Inc. (Leiby, 1999).

Τεχνολογία	Επιχωμένες Δεξαμενές (In-Ground)	Υπόγειοι θάλαμοι	Κοιλότητες σε αλατούχους σχηματισμούς
Κατάλληλες χώρες	Η.Π.Α, Κίνα Αυστραλία, Ν. Κορέα, Ταϊλανδή	Η.Π.Α, Κίνα Αυστραλία, Ν. Κορέα Ταϊλανδή	Η.Π.Α, Κίνα Αυστραλία, Ν. Κορέα, Ταϊλανδή
Κόστος επένδυσης, US (\$/BBL)	\$15.68	\$15.44	\$5.51
Κόστος λειτουργίας συντήρησης, US (\$/BBL-yr)	\$0.16	\$0.09	\$0.17
Κόστος άντλησης- επαναγεμισμού (\$/BBL)	\$0.05	\$0.05	\$0.09
Κόστος προϊόντος βάσης (\$/BBL)	\$0.07	\$0.07	\$0.10
Χωρητικότητα, (MMB)	100	100	100
Μέγιστος Ρυθμός άντλησης ανά μέρα (MMBD)	1.17	1.17	1.17
Μέγιστος Ρυθμός επαναγεμίματος ανά μέρα (MMBD)	0.27	0.27	0.27
Χρόνος κατασκευής (χρόνια)	11	13	8

6.1.2 Κόστος κατασκευής συγκρίσιμο με τις υπέργειες δεξαμενές

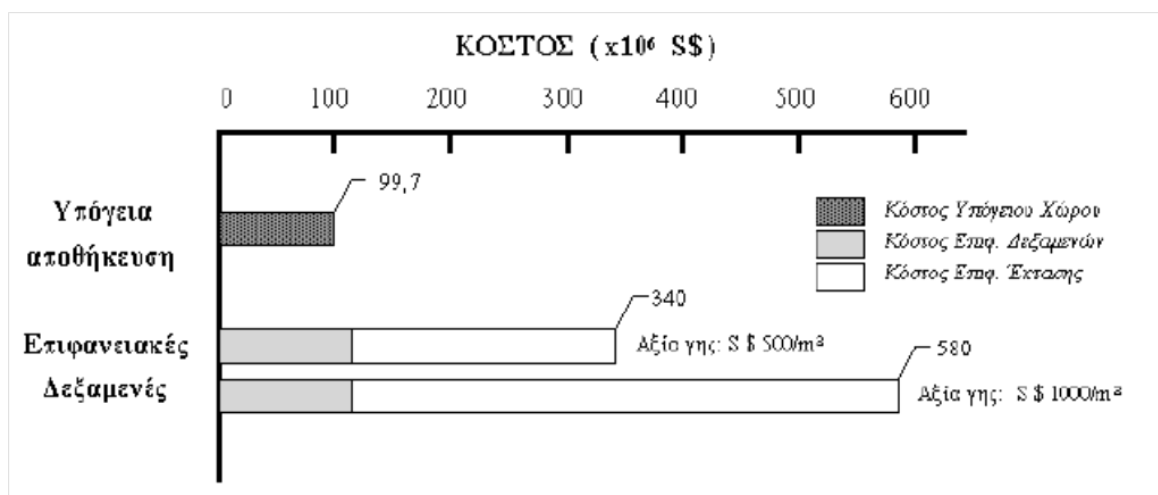
Το κόστος κατασκευής των υπογείων δεξαμενών χωρητικότητας μεγαλύτερης των 100.000 - 150.000 m³, είναι τουλάχιστον συγκρίσιμο (Εικόνα 6.1) με αυτό των υπέργειων όπως αναφέρεται από τον Froise (1987). Επίσης το κόστος του χάλυβα, ο οποίος αποτελεί τον κύριο παράγοντα κόστους για τις επιφανειακές δεξαμενές, έχει αυξηθεί σημαντικά. Η διαφορά του κόστους αυξάνεται όσο αυξάνεται η χωρητικότητα του συγκροτήματος, καθιστώντας τις επιφανειακές δεξαμενές οικονομικά ασύμφορες. Πιο συγκεκριμένα το κόστος ανά m³ προϊόντος μειώνεται κατά 50%, όταν ο όγκος της δεξαμενής αυξάνεται από τα 10.000 m³ στα 100.000 m³.



Εικόνα 6.1: Συγκριτικό διάγραμμα κόστους επιφανειακής-υπόγειας αποθήκευσης υδρογονανθράκων (Froise, 1987).

6.1.3 Συγκριτικό κόστος επιφάνειας εδάφους υπόγειων και υπέργειων δεξαμενών πετρελαιοειδών

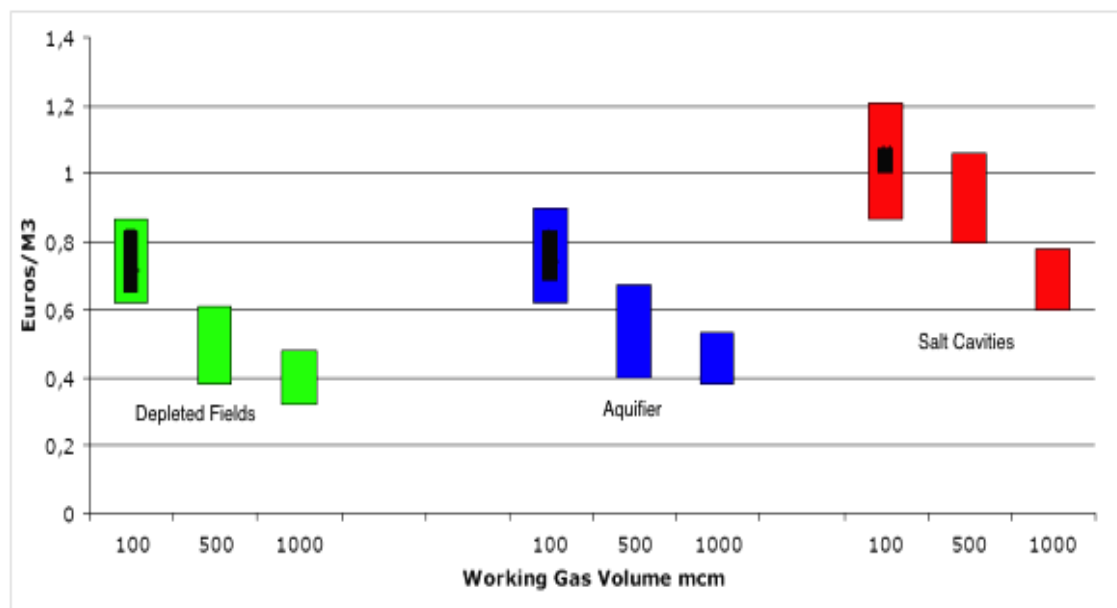
Συμφώνα με συγκριτική μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε στη Σιγκαπούρη, εξετάστηκε χώρος αποθηκευτικής ικανότητας 800.000 m^3 , τόσο σε συγκρότημα επιφανειακών, όσο και υπογείων δεξαμενών. Οι υπόγειες δεξαμενές αποτελούνταν από 5 οριζόντιους θαλάμους, διαστάσεων 19 m πλάτους, 33 m ύψους και 323 m μήκους. Το κόστος ανά μονάδα προϊόντος σε δολάρια Σιγκαπούρης ανήλθε στο ποσό των $\text{S\$}125/\text{m}^3$. Από το διάγραμμα κόστους (εικόνα 6.2) 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 $\text{S\$} 340$ και $\text{S\$} 580$ ανά m^3 αντίστοιχα (Zhao et al., 1996).



Εικόνα 6.2: Συγκριτικό διάγραμμα κόστους μεταξύ υπόγειας και επιφανειακής αποθήκευσης υδρογονανθράκων στη Σιγκαπούρη (Zhao et al., 1996).

6.2 Κόστος ανάπτυξης υπόγειων αποθηκών Φυσικού Αερίου

Η αποθήκευση φυσικού αερίου είναι επένδυση υψηλού κόστους, το οποίο μάλιστα έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια εκτός των άλλων και λόγω πληθωριστικών πιέσεων. Ο τύπος της αποθήκευσης σε δόμους ορυκτού άλατος παραμένει ο πιο ακριβός με ενδεικτικό κόστος περίπου €700 εκ. για αποθήκευση 1 δις m³ αερίου, ενώ ο τύπος των εξαντλημένων κοιτασμάτων έχει ενδεικτικό κόστος €400 εκ. για αποθήκη 1 δις. m³ (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010). Για μικρότερες υπόγειες αποθήκες το μοναδιαίο επενδυτικό κόστος αυξάνεται δεδομένου ότι περιορίζεται το όφελος από οικονομίες κλίμακας. Πρέπει να τονιστεί ότι λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της κάθε αποθήκης το κόστος μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά καθιστώντας τον υπολογισμό ενός «μέσου» κόστους εξαιρετικά επισφαλής. Τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου υπόγειας αποθήκης και ειδικά ο ρυθμός εισπίεσης και απόληψης πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη για τον υπολογισμό του επενδυτικού κόστους. Στην Εικόνα 6.3 παρουσιάζεται το ενδεικτικό εύρος του μοναδιαίου κόστους επένδυσης για τους διάφορους τύπους αποθήκης (σε €/m³ ενεργούς δυναμικότητας).



Εικόνα 6.3: Μοναδιαίο επενδυτικό κόστος υπόγειας αποθήκευσης ανά τύπο αποθήκης (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

Σε ότι αφορά την κατανομή του επενδυτικού κόστους αποθήκευσης στα επιμέρους στοιχεία του, αυτή ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο αποθήκευσης. Ο Πίνακας 6.2 παρουσιάζει μία συγκριτική ποιοτική προσέγγιση της κατανομής του κόστους για τους διάφορους τύπους αποθήκης.

Ειδικότερα για τις υπόγειες αποθήκες σε εξαντλημένα κοιτάσματα και σε υδροφόρους ορίζοντες, σημειώνεται ότι το επενδυτικό κόστος εξαρτάται σημαντικά από το κόστος του αερίου βάσης (cushion gas), με το στοιχείο αυτό του κόστους να αντιστοιχεί περίπου στο 30-35% του συνολικού επενδυτικού κόστους (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

Πίνακας 6.2: Συγκριτική ποιοτική προσέγγιση της κατανομής του κόστους για τους διάφορους τύπους αποθήκευσης (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010)

	Υδροφόροι ορίζοντες	Εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων	Κοιλότητες σε δόμους ορυκτού άλατος
Ερευνητικό κόστος	Υψηλό κόστος	Χαμηλό κόστος	Υψηλό κόστος
Επίγειες εγκαταστάσεις	Παρόμοιο κόστος	Παρόμοιο κόστος	Παρόμοιο κόστος
Υπόγειες εγκαταστάσεις	Υψηλό κόστος	Χαμηλό κόστος	Υψηλό κόστος
Αέριο βάσης (cushion gas)	Μεσαίο κόστος	Υψηλό κόστος	Χαμηλό κόστος

6.3 Κόστη διαφόρων έργων υπόγειας αποθήκευσης στον διεθνή χώρο

Όπως έχει αναφερθεί στην αρχή του κεφαλαίου, η ερευνά για κατασκευασμένα ή υπό κατασκευή έργα και η παρουσίαση συνολικών και μοναδιαίων δαπανών, επικεντρώθηκε σε χώρες που έχουν αναπτύξει τα τελευταία χρόνια τεχνογνωσία και τεχνολογία για υπόγεια αποθήκευση υδρογονανθράκων, ώστε να καταδειχτεί ο επηρεασμός των χώρων αυτών και τα τεραστία ποσά επενδύσεων που γίνονται για την δημιουργία στρατηγικών και λειτουργικών αποθεμάτων με την υπόγεια αποθήκευση υδρογονανθράκων.

6.3.1 Κίνα

Η κυβέρνηση της χώρας έχει αρχίσει εργασίες για την οικοδόμηση μιας τεράστιας υπόγειας εγκατάστασης αποθήκευσης πετρελαίου στην πόλη Zhanjiang (Εικόνα 6.4), μια περιοχή με λιμάνι στην επαρχία Γκουανγκντόνγκ της Κίνας. Είναι μέρος των σχεδίων της κυβέρνησης για τη δημιουργία στρατηγικών αποθεμάτων πετρελαίου και η εγκατάσταση στο λιμάνι Zhanjiang είναι η πρώτη από μια σειρά προγραμματισμένων χώρους υπόγειας εναπόθεσης στη χώρα. Το πετρέλαιο για τα στρατηγικά αποθέματα θα προέλθει από εγχώριες εξορύξεις, και ξένους τομείς στους οποίους η Κίνα έχει συμμετοχές, όπως η κυβερνητική συμφωνία με τη Σαουδική Αραβία, και, παρόμοιες συμφωνίες με άλλους παραγωγούς. Η οικονομική υπηρεσία σχεδιασμού της Κίνας δήλωσε ότι η χώρα σχεδιάζει την επιτάχυνση της κατασκευής των εγκαταστάσεων των στρατηγικών αποθεμάτων πετρελαίου. Οι θάλαμοι αποθήκευσης έχουν σχεδιαστεί για να αποθηκεύσουν 7 εκατομμύρια m^3 πετρελαίου, και η κατασκευή θα απαιτήσει συνολική επένδυση ύψους 2,3 δισεκατομμυρίων κινεζικών γιουάν (€286 εκ.) με ένα μοναδιαίο κόστος €40.85/ m^3 σύμφωνα με την κυβέρνηση της Κίνας. Η μονάδα θα κατασκευαστεί για να συμπληρώσει τέσσερα κέντρα αποθήκευσης υπέργεια που ήδη κατασκευάζονται. Οι κατασκευαστικές εργασίες αποτελούνται από δύο φάσεις και ολοκληρώθηκαν το 2010. Στην πρώτη φάση, μια εγκατάσταση αποθήκευσης με χωρητικότητα 5 εκατομμύρια m^3 κατασκευάστηκε, και μια πρόσθετη χωρητικότητας 2 εκατομμυρίων m^3 στη δεύτερη φάση (China Economic Net, 2012).



Εικόνα 6.4: Η πόλη Zhanjiang στην Κίνα (China Economic Net, 2012).

6.3.2 Ινδία

Στην Ινδία ο συνολικός αριθμός έργων υπόγειας αποθήκευσης αυτή την στιγμή είναι τέσσερις. Η κυβέρνηση της Ινδίας αποφάσισε να φτιάξει χώρους υπόγειας αποθήκευσης 5 εκ. MT αργού πετρελαίου, στις περιοχές της Μπανγκαλόρ της Βισακαπατνάμ και του Παντούρ. Οι εγκαταστάσεις βρίσκονται κοντά σε ακτές έτσι ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση στον τομέα της διύλισης μέσω θαλασσιάς διανομής. Η κυβέρνηση έχει συστήσει εταιρεία ειδικού σκοπού την Indian Strategic Petroleum Reserves Ltd, που ανήκει στην Oil Industry Development Board της Ινδίας που είναι υπεύθυνη για την συντήρηση και λειτουργία στρατηγικών αποθεμάτων. Στον πίνακα 6.4 παρουσιάζονται τα έργα και η εκτίμηση κόστους σε Ινδικές ρουπίες για το καθένα. Το συνολικό κόστος εκτιμάται στα 1.528 crores δηλαδή 15.280.000.000 ρουπίες (1 crore = 10.000.000 ρουπίες), ένα ποσό €220 εκ. περίπου για αποθήκευση περίπου 5.900.000 m³. Το μοναδιαίο κόστος ανέρχεται περίπου στα €37.3/ m³. Στην Ινδία σχεδιάζεται η αποθήκευση 22.25 εκ. m³ πετρελαίου μέχρι το 2020 (Manveer, 2012).

Πίνακας 6.3: Τα υπόγεια έργα αποθήκευσης αργού πετρελαίου και τα εκτιμώμενα συνολικά κόστη τους (Manveer, 2012)

Τοποθεσία Έργου	Χωρητικότητα Έργου (m ³)	Εκτιμώμενο Κόστος σε ρούπια	Εκτιμώμενο Κόστος σε εκ. Ευρώ	Κατάσταση Έργου
Παντούρ	1.513.762	375 CRORE	54	Υπό Κατασκευή
Μπανγκαλόρ	1.677.412	400 CRORE	58	Υπό Κατασκευή
Παντούρ	1.513.762	373 CRORE	53	Υπό Κατασκευή
Βισακαπατνάμ	1.194.645	380 CRORE	55	Ολοκληρωμένο
Σύνολο	5.899.581	1528 CRORE	220	

6.3.3 Αυστραλία

Τον Μάιο του 2000 το κράτος της Αυστραλίας ξόδεψε 170 εκ. δολάρια Αυστραλίας (136.4 εκ.), για την δημιουργία τεσσάρων υπόγειων θαλάμων (Εικόνα 6.5) μήκους 230 m, ύψους 11 m και πλάτους 14 m με ένα συνολικό όγκο σκάφης πέραν των 140.000 m³ προσδιορίζοντας το κόστος επένδυσης στα €974/m³. Το έργο κατασκευάστηκε για λόγους υπόγειας αποθήκευσης LPG χωρητικότητας 65.000 tn. Η φυσική σταθερότητα του υπόβαθρου, καθώς και η τεράστια πίεση που ασκείται από το νερό στην κορεσμένη βραχώμαζα στο κόλπο Botany στο Σύδνεϋ ήταν οι δυο πιο σοβαροί κατασκευαστικοί λόγοι για την δημιουργία του έργου. Ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου ήταν 4 χρόνια (Elgas, 2012).

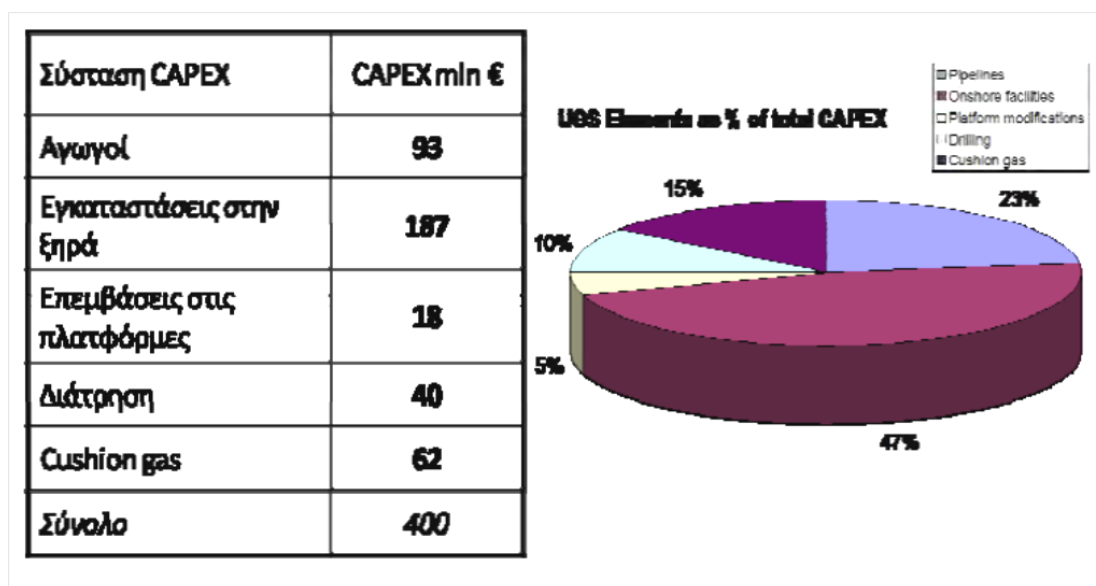


Εικόνα 6.5: Υπόγειος θάλαμος στον κόλπο Botany στην Αυστραλία (Elgas, 2012).

6.3.4 Ελλάδα

Στην Ελλάδα όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η βασική πρόταση για υπόγεια αποθήκευση πετρελαιοειδών είναι αυτή του Περάματος όπου ο συνολικός όγκος αποθήκευσης ανέρχεται στα 200.000 m³ (5 θάλαμοι χωρητικότητας 40.000 m³) με μια προκαταρκτική εκτίμηση κόστους της τάξης των €55.28 εκ. (Benardos et al. 2004) και ένα μοναδιαίο κόστος €276.4/m³.

Όσον αφορά το φυσικό αέριο, υπάρχει η πρόταση του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, για μετατροπή του υπό εξάντληση κοιτάσμα φυσικού αερίου 'Νότιος Καβάλα', σε αποθηκευτικό χώρο φυσικού αερίου. Το συνολικό μέγεθος του υπόγειου αποθηκευτικού χώρου είναι 360 εκ. m³. Η αρχική εκτίμηση κόστους πραγματοποιήθηκε από την εταιρία Technip/Genesis, βάση των χαρακτηριστικών του κοιτάσματος και της μελέτης ανάπτυξης και κατασκευής της υπόγειας αποθήκης. Σύμφωνα με αυτήν, το κόστος της επένδυσης υπολογίζεται στα €400 εκ. με ένα εκτιμώμενο μοναδιαίο κόστος €1.1/ m³. Η επιμέρους ανάλυση του κόστους παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.6 με την επισήμανση ότι το είδος της τεχνικής μελέτης της Technip/Genesis ενέχει περιθώρια αποκλίσεων της τάξης του 40% (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).



Εικόνα 6.3: Η επιμέρους ανάλυση του κόστους της τεχνικής μελέτης της Technip/Genesis για την υπόγεια αποθήκη φυσικού αερίου (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

6.4 Συγκεντρωτική παράθεση του κόστους επένδυσης για υπόγεια και υπέργεια αποθήκευση πετρελαιοειδών και Φ.Α

Στις χώρες με δεκαετίες εμπειρίας στην αποθήκευση υδρογονανθράκων, τα προϊόντα πετρελαίου και του φυσικού αερίου αποθηκεύονται υπέργεια, σε επιχωμένες δεξαμενές, υπέργειες δεξαμενές, και δεξαμενές ψυγεία, και υπόγεια σε υδροφόρους ορίζοντες, κοιλότητες σε αλατούχους σχηματισμούς, και σε υπόγειους θαλάμους χωρίς επένδυση. Στον Πινάκα 6.3 γίνεται μια συγκεντρωτική παράθεση του κόστους επένδυσης όλων των μεθόδων υπέργειας και υπόγειας αποθήκευσης σύμφωνα με τους Goel et al., τόσο του φυσικού αερίου, όσο και του αργού πετρελαίου και των προϊόντων του σε αμερικανικά δολάρια ανά m^3 (US\$/ m^3). Επιπρόσθετα προστεθήκαν με κόκκινο χρώμα τα κόστη κατασκευής (επένδυσης) που συναντήσαμε στα έργα που παραθέσαμε πιο πάνω για να έχουμε μια πιο συγκεντρωτική άποψη.

Πίνακας 6.4: Κόστος επένδυσης όλων των μεθόδων υπέργειας και υπόγειας αποθήκευσης για φυσικό αέριο και πετρελαιοειδή (από Goel et al., 1998).

Σημειώνεται ότι με κόκκινο χρώμα δίνονται στοιχεία κόστους που συγκεντρώθηκαν στα πλαίσια της εργασίας.

Τύπος αποθήκευσης	Μέθοδοι	Προϊόντα		
		Φυσικό αέριο	Υγροποιημένο υπό πίεση LPG, προπυλένιο	Αργό πετρέλαιο και προϊόντα πετρελαίου
Υπόγεια	Υδροφόροι ορίζοντες	0.2 - 0.4 US\$/working Nm ³	---	---
	Εξαντλημένα κοιτάσματα	€1.1/ m ³ (N. Καβάλα)		
	Κοιλότητες σε αλατούχους σχηματισμούς	0.5 - 1 US\$ / working N m ³	100 - 200 US\$/m ³	40 - 90 US\$/m ³
	Υπόγειος θάλαμος χωρίς επένδυση 10.000 m ³ 50.000 m ³ 100.000 m ³ 500.000 m ³	Λειτουργήσιμο με ικανοποιητική πίεση	€974/m ³ (Αυστραλία) 800 - 1200 US\$/m ³ 340 - 580 US\$/m ³ 300 - 500 US\$/m ³ 180 - 280 US\$/m ³	S\$125/m ³ (Σιγκαπούρη) €37.3/ m ³ (Ινδία) €40.85/m ³ (Κίνα) €276.4/m ³ (Ελλάδα) 100 - 200 US\$/m ³
Υπέργεια	Επιχωμένες Δεξαμενές (In Ground) 2.000 – 4.000 m ³	---	1600 - 2400US\$/m ³	---
	Υπέργειες δεξαμενές	---	600 - 800 US\$/m ³	100 - 200 US\$/m ³
	Δεξαμενές ψυγεία	500 - 900 US\$/m ³	600 - 800 US\$/m ³	---

6.5 Προοπτικές ανάπτυξης νέων αποθηκευτικών χώρων στην Ευρώπη

Σε ότι αφορά τις προοπτικές ανάπτυξης νέων αποθηκευτικών χώρων στην Ευρώπη, παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντικός αριθμός νέων επενδυτικών σχεδίων. Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, προγραμματίζεται η κατασκευή υπόγειων αποθηκών συνολικού αποθηκευτικού δυναμικού άνω των 50 δις m³ για τα επόμενα χρόνια. Όμως μόνο για μικρό μέρος αυτού του δυναμικού έχουν αναληφθεί υποχρεώσεις. Λαμβάνοντας μάλιστα υπόψη :

- Ότι το δυναμικό νέων εγκαταστάσεων που προστέθηκαν τη δεκαετία 2000-2010 ήταν της τάξης του 10 δις m³, ενώ για την προηγούμενη δεκαετία 1990-2000 ήταν 22 δις m³ και
- τις γενικότερες οικονομικές συνθήκες που επηρεάζουν και τη δυνατότητα υλοποίησης νέων επενδύσεων,

υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα σε σχέση με το δυναμικό υπόγειων αποθηκευτικών χώρων που πραγματικά θα προστεθεί τα επόμενα χρόνια (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2010).

7. Συμπεράσματα – Προτάσεις για την Κύπρο

7.1 Συμπεράσματα

Η ανακάλυψη μεγάλων κοιτασμάτων Φυσικού Αερίου και πιθανότατα πετρελαίου στην Νότια πλευρά της Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης της Κύπρου έχει την δυναμική να συνεισφέρει πολλά δισεκατομμύρια στην οικονομία της χώρας. Σύμφωνα με το Υπουργείο Εμπορίου της Κύπρου η αξία του αερίου στο πρώτο από τα 12 θαλάσσια οικόπεδα υπολογίζεται μεταξύ 75 έως 90 δις ευρώ (€). Τα ευεργετήματα για την οικονομία και τους κατοίκους της θα είναι σημαντικότερα, όπως η μείωση του κόστους παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, του κόστους ενέργειας ανά μονάδα ΑΕΠ αλλά και έμμεσα όπως η κατασκευή τερματικού επαναεροποίησης LNG, αποθηκών και λιμανιών, με αποτέλεσμα την αύξηση ξένων επενδύσεων στην χώρα και την ανάπτυξη της αγοράς εργασίας. Επίσης η θετική επίδραση στο ΑΕΠ της χώρας θα είναι σημαντική αν σκεφτεί κανείς ότι το ΑΕΠ τώρα ανέρχεται στα €18.5 δις και τα κοιτάσματα έχουν αξία 4 με 5 φορές μεγαλύτερη. Με την ανακάλυψη αυτής της μεγάλης φυσικής πηγής η Κύπρος και η οικονομία της αποκτά άλλη σημασία για την περιοχή, για την Ευρώπη αλλά και για την παγκόσμια αγορά ενέργειας.

Η ανάπτυξη και η δυναμική που εμφανίζουν τα τελευταία χρόνια τα υπόγεια έργα αποθήκευσης Πετρελαιοειδών και Φυσικού Αερίου, τροφοδοτείται από το γενικότερο πνεύμα της αειφόρου ανάπτυξης που καθορίζει σε στρατηγικό επίπεδο τις επιλογές του σύγχρονου κόσμου και αποτελεί στόχο της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής. Η ανάγκη της ενεργειακής αγοράς για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων Πετρελαιοειδών και Φυσικού Αερίου, έχει ωθήσει, παγκοσμίως, στην υιοθέτηση μεθόδων αποθήκευσης σε υπόγειες εγκαταστάσεις. Η επιλογή αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι το κόστος επένδυσης ανά μονάδα όγκου αποθηκευμένου καύσιμου είναι σαφώς μικρότερο συγκρινόμενο με επιφανειακές εγκαταστάσεις αντίστοιχης δυναμικότητας, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός ασφάλειας και μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Οι υπόγειες αποθήκες πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον ομαλό εφοδιασμό της ενεργειακής αγοράς, με πετρελαιοειδή και φυσικό αέριο σε περιόδους αυξημένης ζήτησης, επιτρέποντας έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα μεταφοράς να λειτουργούν κατά τρόπο ασφαλή, αποτελεσματικό και οικονομικά αποδοτικό, ανεξαρτήτως των εποχιακών ή και των ημερήσιων διακυμάνσεων κατανάλωσης, ενώ παράλληλα διασφαλίζουν την απρόσκοπτη τροφοδοσία των ευάλωτων καταναλωτών (οικιακοί, εμπορικοί) σε περίπτωση εκδήλωσης κρίσης εφοδιασμού. Επιπλέον, μετά την απελευθέρωση της αγοράς παρέχουν σε Χρήστες, Προμηθευτές ή και Διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς και διανομής, την απαιτούμενη ευελιξία για την διασφάλιση της ισορροπίας μεταξύ παραδόσεων και παραλαβών, σε εβδομαδιαία, ημερήσια ακόμη και ωριαία βάση, ενώ συμβάλλουν σημαντικά στην ανάπτυξη του υγιούς ανταγωνισμού, προς όφελος του τελικού καταναλωτή.

Όπως διαφαίνεται από τα πιο πάνω η Κύπρος πρέπει να συμπεριλάβει την υπόγεια αποθήκευση ως εναλλακτική λύση για τους πιο κάτω λόγους :

- Η Κύπρος σαν νησί προσφέρει ευελιξία και διαθεσιμότητα στην διαχείριση και την εμπορία Φ.Α και πετρελαιοειδών και μπορεί να μετατραπεί σε ενεργειακό κέντρο τα επόμενα χρόνια προς όφελος της ίδιας της χώρας αλλά και της Ευρώπης γενικότερα.
- Προσφέρει προστασία από δολιοφθορές και από βομβαρδισμούς, αφού η αποθήκευση είναι 'καμουφλαρισμένη', μιας και η Κύπρος βρίσκεται σε μια περιοχή υψηλού κίνδυνου χωρίς να ξεχνάμε και την διαχρονική απειλή του τουρκικού παράγοντα.
- Προστατεύει από ακραία καιρικά φαινόμενα, πυρκαγιές, καθώς και από τυχόν ατυχήματα όπως την έκρηξη πυρομαχικών στην ναυτική βάση στο Μαρί τον Ιούλιο του 2011.
- Φθηνότερο κόστος κατασκευής για υπόγεια αποθήκευση πετρελαιοειδών άνω των 150.000 m³, καθιστώντας την αντίστοιχη υπέργεια αποθήκευση οικονομικά ασύμφορη για μεγαλύτερο όγκο αποθήκευσης.
- Μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας για την αποθήκευση άνω των 50.000 m³. Οι δαπάνες αυτές μειώνονται με την αύξηση του όγκου αποθήκευσης. Οι πιο σημαντικές εξοικονομήσεις στο λειτουργικό κόστος

είναι: (i) μείωση κόστους επιφανειακής γης, (ii) μειωμένη απόσβεση του κόστους κατασκευής, (iii) σημαντική εξοικονόμηση στο κόστος ασφάλισης, με μείωση των ασφαλιστρών από 60% έως 70% σε σύγκριση με τις υπέργειες εγκαταστάσεις, και (iv) τη μείωση του κόστους συντήρησης που χρειάζονται διαρκώς οι υπέργειες εγκαταστάσεις.

- Τα οικονομικά οφέλη από τη πώληση του απολήψιμου υλικού της εκσκαφής όλων των υπόγειων εγκαταστάσεων, για χρήση ως οικοδομικά υλικά, αδρανή για σκυρόδεμα, κλπ.
- Το αποθηκευμένο καύσιμο (προϊόν πετρελαίου, Φ.Α) μπορεί να πωληθεί με υψηλότερο κέρδος αν η τιμή του πετρελαίου ή του Φ.Α κλιμακωθεί ξαφνικά.
- Η υπόγεια αποθήκευση πετρελαιοειδών και Φ.Α είναι σαφώς φιλικότερη προς το περιβάλλον αφού αποτρέπονται τυχόν διαρροές.
- Δεδομένου ότι οι εγκαταστάσεις βρίσκονται υπόγεια, η περιοχή πάνω από αυτές παραμένει ανέγγιχτη και η ομορφιά του τοπίου άθικτη.
- Η διάρκεια ζωής των υπόγειων εγκαταστάσεων αποθήκευσης πετρελαίου και Φ.Α είναι μεγαλύτερη από αυτή των επιφανειακών.
- Σε ένα τερματικό σταθμό καυσίμων με δεξαμενόπλοια, το επίπεδο των υπόγειων εγκαταστάσεων αποθήκευσης είναι κανονικά κάτω από τη στάθμη της θάλασσας με αποτέλεσμα την ταχύτερη εκφόρτωση ενός δεξαμενόπλοιου.

7.2 Προτάσεις για την Κύπρο

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πιο πάνω προκύπτει η ανάγκη για κατασκευή υπόγειων υποδομών αποθήκευσης υδρογονανθράκων στην Κύπρο. Επομένως μέσω αυτής της διπλωματικής εργασίας, εισηγούμαστε προτάσεις για υπόγειες υποδομές αποθήκευσης για πετρελαιοειδή αλλά και για Φ.Α εξηγώντας τους λόγους αποθήκευσης αυτών των συγκεκριμένων προϊόντων, δίνοντας κάποιες μεθόδους κατάλληλες και οικονομικά συμφέρουσες για την περιοχή της Κύπρου, με συγκεκριμένους όγκους αποθήκευσης που να καλύπτουν τις ανάγκες του νησιού μεσοπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα. Τέλος θα προσπαθήσουμε να προτείνουμε περιοχές κατάλληλες γεωλογικά που να μπορούν να κατασκευαστούν τέτοιες εγκαταστάσεις,

Οι ανάγκες για πετρελαιοειδή και φυσικό αέριο όπως διαφάνηκε στο πρώτο κεφάλαιο έχουν αυξητικές τάσεις στην Κύπρο, ειδικά στον τομέα των μεταφορών και της παραγωγής ηλεκτρισμού. Η χρήση του πετρελαίου και των προϊόντων ως μονών καυσίμων για παράγωγη ηλεκτρισμού και για χρήση στις μεταφορές το καθιστούν βασικό παράγοντα για την οικονομία της χώρας αφού κατέχει μεγάλο μερίδιο στον τομέα της ενεργείας. Όσο αφορά το Φ.Α εισέρχεται δυναμικά στο ενεργειακό ισοζύγιο του νησιού κα με την δημιουργία των εγκαταστάσεων τερματικού σταθμού αποθήκευσης (υγροποίησης-επαναεροποίησης) θα παίζει ουσιαστικό ρολό και αυτό στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας. Επιπλέον η ανάγκη δημιουργίας στρατηγικών αποθεμάτων, βάσει Ευρωπαϊκών οδηγιών στο νησί, επισύρουν την ανάγκη κατάλληλων υποδομών αποθήκευσης, τόσο πετρελαιοειδών, όσο και Φ.Α.

Όσο αφορά τους όγκους αποθήκευσης για πετρελαιοειδή η προτεινόμενη υπόγεια αποθήκευση πρέπει να ανέρχεται τουλάχιστον στις 200.000 με 250.000 Mt όσο περίπου και τα σημερινά αποθέματα της Κύπρου, που όμως θα βρίσκονται όλα στο νησί και όχι αποθηκευμένα και στο εξωτερικό, καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες του νησιού σε πετρελαιοειδή για περίπου 90 ημέρες. Για το υγροποιημένο φυσικό αέριο LNG η προτεινόμενη υπόγεια υποδομή πρέπει να καλύπτει μακροπρόθεσμα τις ανάγκες της Κύπρου, πάλι για περίπου 90 ημέρες. Για το 2025 εκτιμάται ότι οι ανάγκες της Κύπρου θα είναι περί τα 1.5 bcf, επομένως απαιτείται όγκος περί τα 0.3-0.4 bcf, δηλαδή περί τα 10 εκ. m³ ΦΑ. Η υπόγεια εγκατάσταση συνεπώς πρέπει να έχει όγκο περίπου 50.000 - 60.000 m³ ώστε για να αποθηκεύσει LNG με μια πίεση αποθήκευσης περί τα 200 bar.

Οι προτεινόμενες μέθοδοι για την υπόγεια αποθήκευση πετρελαιοειδών πρέπει να επικεντρωθούν στους υπογείους θαλάμους για τα πετρελαιοειδή. Βασική προϋπόθεση είναι η ύπαρξη καλού πετρώματος και καλού υδροφόρου ορίζοντα αλλιώς η δημιουργία τεχνητού υδροφόρου θα είναι επιβεβλημένη. Η κατασκευή των υπόγειων θαλάμων μπορεί να διαχωριστεί για κάθε καύσιμο (μαζούτ, πετρέλαιο, βενζίνη) ξεχωριστά δίνοντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία. Επομένως μπορεί να κατασκευαστούν 5 παράλληλοι υπόγειοι θάλαμοι της τάξεως των 50.000 m³ ο καθένας, κοντά σε παραθαλάσσια περιοχή αν το επιτρέπουν οι γεωλογικές συνθήκες.

Εφόσον η ύπαρξη κατάλληλων γεωλογικών σχηματισμών αλάτων είναι δύσκολη, η πρόταση για το LNG θα πρέπει να επικεντρωθεί στην νέα μέθοδο Lined Rock Caverns (LRC), η οποία αντιμετωπίζεται πολύ θετικά και πολύ ελπιδοφόρα τα τελευταία χρόνια και μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση της Κύπρου με επιτυχία καθιστώντας και την ίδια την Κύπρο, σημείο ανάπτυξης μιας τέτοιας τεχνογνωσίας ειδικά με τις νέες προκλήσεις που προκύπτουν. Στο μέλλον και με την εξόφληση υπόγειων κοιτασμάτων πιθανώς αυτά τα κοιτάσματα να χρησιμοποιηθούν ως υπόγειες αποθήκες.

Οι κατάλληλοι γεωλογικοί σχηματισμοί (καλής αντοχής ψαμμίτες και ασβεστόλιθοι) που χρειάζονται για την δημιουργία τέτοιων υπόγειων υποδομών είναι πολύ περιορισμένοι στην περίπτωση της Κύπρου, ιδιαίτερα κοντά σε παραθαλάσσιες περιοχές. Έτσι η ανάγκη για εύρεση τέτοιων γεωλογικών σχηματισμών, δηλαδή κατάλληλων πετρωμάτων για την ανάπτυξη υπόγειων αποθηκών υδρογονανθράκων πρέπει να ενταχθεί σε ένα πλαίσιο έρευνας τα επόμενα χρόνια. Στην παρούσα εργασία και με την έλλειψη περεταίρω στοιχείων παραθέτουμε τρεις τέτοιες υποψήφιες περιοχές στην Κύπρο, περιοχές 'πιθανής υποδοχής' για ανάπτυξη τέτοιων υποδομών. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται στον πιο κάτω γεωλογικό χάρτη της Κύπρου (Εικόνα 7.1) με σκιαγραφημένη την κάθε περιοχή με διαφορετικό χρώμα. Και οι τρεις περιοχές που επιλέχθηκαν είναι παραλιακές για τους λόγους της εύκολης πρόσβασης σε λιμενικές εγκαταστάσεις, αλλά και της ύπαρξης ικανού υδροφόρου ορίζοντα.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΠΟΔΟΧΗΣ (Α)

Η περιοχή (Α) είναι η περιοχή του Βασιλικού που ήδη υπάρχει σχεδιασμός για ανάπτυξη εγκαταστάσεων αποθήκευσης υδρογονανθράκων άρα προϋποθέτει και μια καλή περιοχή για υπόγεια αποθήκευση. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί δεν είναι πολύ ενθαρρυντικοί για υπόγεια αποθήκευση λόγω της ύπαρξης αμμωδών γεωλογικών σχηματισμών που οφείλονται στην ύπαρξη του πόταμου του Βασιλικού. Όμως πιο πίσω από αυτούς τους σχηματισμούς υπάρχουν ασβεστόλιθοι, που με κατάλληλη ερευνά μπορεί να θεωρηθούν κατάλληλοι για ανάπτυξη υπόγειων έργων. Επιπλέον η περιοχή είναι πολύ κοντά στις εγκαταστάσεις της ΑΗΚ και υπάρχουν ήδη λιμενικές εγκαταστάσεις, αυτές του λιμανιού της τσιμεντοβιομηχανίας του Βασιλικού.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΠΟΔΟΧΗΣ (Β)

Η περιοχή (Β) βρίσκεται στον κόλπο της Πόλεως Χρυσοχούς. Η γεωλογία της περιοχής είναι καλύτερη από αυτή της περιοχής (Α) λόγω του ότι υπάρχουν εμφανίσεις πλαγιογρανίτη και γάββρων που μπορούν να φιλοξενήσουν τα υπόγεια έργα.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΠΟΔΟΧΗΣ (Γ)

Η περιοχή (Γ) βρίσκεται στην ακτογραμμή του Πενταδαχτύλου όπου υπάρχουν συμπαγείς ασβεστόλιθοι του σχηματισμού Καντάρας. Η πρόταση όμως για αυτή την περιοχή είναι τελείως αποτρεπτική για πολιτικούς λόγους, ένεκα του ότι η συγκεκριμένη περιοχή βρίσκεται στην παράνομα Τουρκοκρατούμενη περιοχή. Παρ' όλα αυτά πιθανά σε μελλοντικό χρόνο ίσως μπορεί να αξιοποιηθεί.

Κλείνοντας θα θελα να επισημάνω πως λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης και των επιπτώσεις της στην οικονομία της Κύπρου, είναι εντελώς αποτρεπτικές για τέτοιες μεγάλες επενδύσεις αυτό το διάστημα. Όμως πρέπει να τονιστεί ότι η μονή διέξοδος για ανάπτυξη πλέον της οικονομίας του νησιού, είναι η εκμετάλλευση του φυσικού πλούτου που υπάρχει στο υπέδαφος της Κύπρου. Έτσι οι επενδύσεις στον τομέα των υδρογονανθράκων πρέπει να είναι ο πρωταρχικός στόχος της ενεργειακής πολιτικής της Κύπρου ειδικά τα επόμενα χρόνια.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Amantini, E. & Chanfreau, E., ‘Development and construction of a pilot lined cavern for LNG underground storage’, 14th International Conferences and Exhibition on Liquefied Natural Gas, Doha, Qatar, PO-33, 2004.

Amantini, E., Chanfreau, E. & Kim, H.Y., ‘The LNG storage in lined rock cavern: pilot cavern project in Daejeon, South Korea’. Proceedings, GASTECH 2005: 21st International Conference and Exhibition for the LNG, LPG and Natural Gas Industries, pp.1-16, Bilbao ,Spain, 2005.

Anderson, U.H., ‘ Steel lined rock caverns. In: Storage of Gases in Rock Caverns, Nilsen, Olsen(Eds.)’, pp. 1-10, Balkema, Rotterdam, 1989.

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

Cha, S.S., Lee J.Y., Lee, D.H., Amantini, E. & Lee K.K., ‘Engineering characterization of hydraulic properties in a pilot rock cavern for underground LNG storage’, Engineering Geology 84, pp. 229-243, 2006.

Chung, S.K., Park, E.S. & Han K.C., ‘Feasibility study of underground LNG storage system in rock cavern’, Tunnel and Underground Space 16 (4), pp. 296-306 (In Korean), 2006.

Daerga P-A., Sagefors I., ‘An excavation method for large vertical cylindrical caverns’, Tunneling and Underground Space Technology, Volume 11, Issue 3, 1996.

Dalström, L.O. & Evans, J., ‘Underground storage of petroleum and natural gas’ In: 17th WPC, pp. 128-129, London: Portland Press Ltd, 2002.

Dalström, L.O. , ‘Rock mechanical consequences of refrigeration – a study based on a pilot scale rock cavern’, PhD thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 1992.

Edelbro C., Sjöberg J., Nordlund E., 'A quantitative comparison of strength criteria for hard rock masses', *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 22, Issue 1, 2007.

Energy Information Administration (EIA), 'U.S. Underground Natural Gas Storage Developments', 1998-2005.

Evans D J, 'An appraisal of underground gas storage technologies and incidents, for the development of risk assessment methodology', 2008.

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

Gaz de France, 'Underground storage facilities', June 1992

Glamheden, R. & Lindblom, U., 'Thermal and mechanical behaviour of refrigerated caverns in hard rock', *Tunnelling and Underground Space Technology* 17 (4), pp.341-353, 2002.

Goel R. K., Dube A. K., 'UNDERGROUND STORAGE OF OIL AND GAS - INDIAN VS INTERNATIONAL STATUS', 5th Annual India Oil & Gas Review Symposium, 1998.

Haug A., Huber J.E., Onck P.R., Van der Giessen E., 'Multi-grain analysis versus self-consistent estimates of ferroelectric polycrystals', *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Volume 55, Issue 3, March 2007.

KIGAM, 'Development of Base Technology for Underground LNG Storage and the Analysis on the Operation Results of Pilot Plant'. Research report by KIGAM submitted for SKEC, 147p (in Korean), 2003.

Kimmerlin G. 'Underground gas storage facilities operated by GDF SUEZ: types, operations & equipment', 2012.

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

Lee C-I., Song J-J., 'Rock engineering in underground energy storage in Korea', Tunneling and Underground Space Technology, Volume 18, Issue 5, November 2003.

Leiby P. N. and Bowman D.F, ' Emergency Oil Stocks and APEC Energy Security Interim Report, Chapter 7. Evaluation of APEC Emergency Stock Size Draft Results of Modeling Analysis', Oak Ridge National Laboratory Draft, January 27, 1999.

Mansson L., Sydkraft Gas AB, Sweden P.Marion, Gaz de France, France. 'The LRC Concept and the Demonstration Plant in Sweden – A new Approach to Commercial Gas Storage', 2003.

Manveer J., 'Underground cavern project', Shetty-MBG-Marketing Ravi-MBG-CSE, 29 Iouy 2012.

Monsen, K. & Barton, N., 'A numerical study of cryogenic storage in underground excavations with emphasis on the rock joint response', International Journal of Rockmechanics and Mining Sciences 38 (7), pp.1035-1045, 2001.

Morfeldt C.O., 'STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS IN MAN-MADE CAVERNS IN SWEDEN', BULLETIN of the International Association of ENGINEERING GEOLOGY No 28 PARIS, 1983.

Nygren E., Aleklett K., Höök M., 'Aviation fuel and future oil production scenarios', Energy Policy, Volume 37, Issue 10, October 2009.

Park E-S., Chung S-K., Lee D-H. and Kim T-G., 'Innovative Method of LNG Storage in Underground Lined Rock Caverns', 2012.

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.

Sturk R., Stille H., '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.

Tengborg P., 'Large caverns in Sweden LRC gas storage in Halmstad', FB Engineering AB, (in Swedish), 2006.

Tren D.G., 'Study on natural gas storage in the EU', Draft Final Report, October 2008.

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

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Καρώνης Δ., «Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου, Υγροποιημένο φυσικό αέριο», Σχολή Χημικών Μηχανικών, 2007.

Κάσινης Σ., « Ο Ενεργειακός Τομέας της Κύπρου », 1^ο Παγκύπριο Συνέδριο Μαθητών – Καθηγητών για τις Φυσικές Επιστήμες, 2012.

Κάσινης Σ., «Εθνική ενεργειακή πολιτική», Παρουσίαση για το Κυπριακό Εμπορικό και Βιομηχανικό Επιμελητήριο, 2007.

Μιχαήλ Μ., «Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για μακροχρόνιο ενεργειακό σχεδιασμό στην Κύπρο», Μεταπτυχιακή Διατριβή, 2012.

Μπενάρδος Α., Καλιαμπάκος Δ., «Υπόγεια Έργα», Σημειώσεις, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., 2010.

Παναγιωτίδου Γ. Ν., «Η αγορά του φυσικού αερίου. Δυνατότητες υπεδαφικής αποθήκευσης», Διπλωματική εργασία, 2012.

Παπαδήμα Μ., «Σχεδιασμός υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης πετρελαίου στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης», Διπλωματική εργασία, 2010.

Σταματάκη, Σ., «Υπεδαφική αποθήκευση φυσικού αερίου - ανάπτυξη στρατηγικών αποθεμάτων», Ορυκτός Πλούτος, Τόμ. 2002, Αρ. 123 (2002).

Στεφόπουλος Ε.Κ., «Σχεδιασμός υπόγειου συγκροτήματος αποθήκευσης υδρογονανθράκων για δημιουργία στρατηγικών αποθεμάτων», Διπλωματική εργασία, 2003.

Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, «ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ «ΝΟΤΙΟΣ ΚΑΒΑΛΑ» (SOUTH KAVALA) ΣΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟ ΧΩΡΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ», Αθήνα, 2010.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/dmlenergyservice_gr/dmlenergyservice_gr?OpenDocument

<http://www.iea.org/countries/non-membercountries/cyprus/>

<http://www.lukoil.com.cy/>

<http://www.hellenic-petroleum.com.cy/Main.aspx?lan=1>

<http://www.petrolina.com.cy/Home.aspx>

<http://www.defa.com.cy/el/>

<http://www.geostockgroup.com/>

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

<http://realgyenergyservices.wordpress.com/2012/03/30/so-what-exactly-is-naturalgas-storage/>

<http://www.stogit.it/en/activities/storage/>

<http://www.le.lt/en/activities/projects/syderiai-underground-gas-storage-/>

http://www.intragaz.com/en/storage_types.html

<http://web.evs.anl.gov/saltcaverns/desc/howform/index.htm>

<http://www.sandia.gov/>

<http://rkgoel.cmri.freesevers.com/Paper4.htm>

http://en.ce.cn/subject/EnergyCrisis/ECchina/200607/13/t20060713_7718236.shtml

<http://www.psp.hr/en/activities/natural-gas-storage-in-the-world/>

<http://www.gazprom.com/press/reports/aksutin-ugs/>

<http://www.scotland.gov.uk/Publications/2010/10/28091356/12>

http://www.gie.eu.com/maps_data/database/database.php

http://www.itaaites.org/gallery2/main.php?g2_view=core.DownloadItem&g2_itemId=541