

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ («τεχνητά κοιτάσματα»)

Από
Γ. Στουρνάρα¹

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αποθήκευση, στο φυσικό υπέδαφος, υγρών ή αέριων υδρογονανθράκων, είναι μια πρωτοποριακή εφαρμογή των Γεωεπιστημών, στα πλαίσια της αντιμετώπισης του ενεργειακού προβλήματος, σε εξειδικευμένες διαστάσεις του. Η εξέλιξη στον τομέα αυτό, τόσο στο επίπεδο της έρευνας, όσο και στο επίπεδο της εφαρμογής, υπήρξε θεαματική τα τελευταία χρόνια.

Τα προβλήματα, που η λύση τους επιχειρήθηκε με τις διάφορες τεχνικές αποθήκευσης, είναι πολλά και πολύπλευρα. Το πρώτο πρόβλημα που εμφανίστηκε ήταν η ανάγκη για αποθήκευση μιας ικανοποιητικής εφεδρείας ενεργειακών πρώτων υλών, τέτοιας που να μπορεί να αντιμετωπίσει μια εποχιακή κρίση ή ένα απρόβλεπτο κενό στο κύκλωμα παραγωγής και μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το πρόβλημα αυτό οξύνθηκε από τη νομοθεσία ορισμένων χωρών, όπως π.χ. της Γαλλίας, όπου ειδικός νόμος υποχρεώνει τις εταιρείες πετρελαίου να έχουν συνεχώς αποθηκευμένη μια ποσότητα πετρελαίου, ίση με τις ανάγκες τριών μηνών. Η κατασκευή των ανάλογων συμβατικών αποθηκευτικών δεξαμενών είναι εξαιρετικά δαπανηρή και, σε ορισμένες μελέτες σκοπιμότητας, φάνηκε σχεδόν απαγορευτική. Παράλληλα, με την αποθήκευση στο φυσικό υπέδαφος, διαγράφηκε και κάποια πλευρά του θέματος, που σχετίζεται με την άμυνα μιας χώρας, καθώς ορισμένοι, τουλάχιστον, τέτοιοι αποθηκευτικοί χώροι, εκτός από το πλεονέκτημα που παρουσιάζουν, να μην είναι ορατοί στην επιφάνεια, μπορούν να παραμείνουν και άγνωστοι στο ευρύ κοινό.

Ειδικά για το φυσικό αέριο, υπάρχει και ένα παραπάνω πρόβλημα, που συνέβαλε αποφασιστικά στην προώθηση της έρευνας για τη δημιουργία αυτών των «τεχνητών» κοιτασμάτων. Το αέριο που καταναλώνεται είτε σε οικιακό, είτε σε βιομηχανικό επίπεδο δεν αποθηκεύεται ποτέ από τον καταναλωτή, που απαιτεί μια παροχή προσαρμοσμένη στο δικό του ρυθμό κατανάλωσης, με όλες τις αυξομειώσεις του

1. Γεωλογικό Τμήμα Πανεπιστημίου Αθηνών

ρυθμού αυτού, εξ αιτίας της παραγωγής ή των καιρικών συνθηκών. Έτσι, το πρόβλημα και η δαπάνη αποθήκευσης βαρύνουν αποκλειστικά το διανομέα. Επί πλέον, οι μονάδες κατανάλωσης παρουσιάζουν, συνήθως, διασπορά και καθώς η χρήση του φυσικού αερίου αυξάνεται συνεχώς, το πρόβλημα περιπλέκεται και εμφανίζεται πια η αναγκαιότητα πολλών αποθηκευτικών χώρων, σε τοπική κλίμακα.

Από την πλευρά της ασφάλειας, δεν υπάρχει, θεωρητικά, κίνδυνος ατυχήματος ή διαρροής με την προϋπόθεση βέβαια, ότι η γεωλογική μελέτη θα είναι εμπεριστατωμένη και χωρίς κενά και ότι η λειτουργία των αποθηκευτικών αυτών χώρων θα γίνεται αυστηρά με βάση τις, κάθε φορά, προδιαγραφές. Μέχρι σήμερα πάντως, δεν έχει αναφερθεί καμιά ανωμαλία, σημαντική τουλάχιστον, στους αποθηκευτικούς χώρους που λειτουργούν στο φυσικό υπέδαφος. Αντίθετα, πολύ συχνές είναι οι διαρροές που παρατηρούνται στις συμβατικές δεξαμενές αποθήκευσης και πρόσφατα είχαμε και στην Ελλάδα περίπτωση προσβολής υδροφόρου ορίζοντα από διαρροές δεξαμενών αποθήκευσης πετρελαιοειδών. Η συχνότητα και οι επιπτώσεις, στο φυσικό περιβάλλον, αυτών των διαρροών, οδήγησαν τη Διεθνή Ένωση Υδρογεωλόγων να διοργανώσει πριν από μερικά χρόνια Συμπόσιο πάνω στο θέμα αυτό. (International Association of Hydrogeologists - International Symposium on ground water pollution by oil hydrocarbons - Prague, June 5th - 9th 1978).

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Αρκετές τεχνικές έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα, ενώ, παράλληλα, η έρευνα επεκτείνεται και σε άλλες δυνατότητες, που φαίνεται ότι μπορούν, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να αποτελέσουν λύσεις στο συγκεκριμένο αυτό πρόβλημα. Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή και εφαρμογή μιας τεχνικής είναι το είδος των υδρογονανθράκων που προβλέπεται να αποθηκευτούν (υγροί - αέριοι) και οι συγκεκριμένες γεωλογικές, υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες, με ανθρώπινη παρέμβαση ή όχι, στην τελική τους διαμόρφωση.

Ένα άλλο καθοριστικό στοιχείο για το είδος και την τεχνική της αποθήκευσης (αλλά και του τρόπου απόληψης, κάθε φορά) είναι η πίεση και η θερμοκρασία, με τις οποίες επιδιώκεται να αποθηκευτούν οι διάφοροι υδρογονάνθρακες. Η αποθήκευση π.χ. αερίου σε υψηλή πίεση, μια τεχνική, που συχνά χρησιμοποιείται, περιλαμβάνει τρεις επί μέρους τεχνικές, που η επιλογή μιας, κάθε φορά, είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων και βέβαια της εφαρμοσιμότητάς της κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες:

- η αποθήκευση όπου η μέγιστη πίεση του αερίου είναι μικρότερη ή ίση με το υδροστατικό φορτίο του υπόγειου νερού, πάνω από την αποθηκευτική κοιλότητα.
- αποθήκευση όπου η μέγιστη πίεση του αερίου είναι μεγαλύτερη από το προηγούμενο υδροστατικό φορτίο, αλλά μικρότερη από την in situ πίεση των στρωμάτων.
- αποθήκευση με πιέσεις μεγαλύτερες και από την in situ πίεση των στρωμάτων.

Η πρώτη μέθοδος είναι και η πιο συνηθισμένη και με τα λιγότερα προβλήματα. Τα τοιχώματα των πετρωμάτων, γενικά, είναι χωρίς επένδυση και το νερό, που διηθείται γύρω από την αποθηκευτική κοιλότητα, ενεργεί απομονώνοντας το αποθηκευμένο ρευστό. Στη δεύτερη μέθοδο απαιτείται στεγανή επένδυση της κοιλότητας

αποθήκευσης και στην τρίτη μέθοδο η κοιλότητα και οι σωληνώσεις θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες με προδιαγραφές αγωγών υπό πίεση.

Ιδιαίτερες ακόμα απαιτήσεις επιβάλλει η αποθήκευση υδρογονανθράκων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν:

- μονωμένες αποθηκευτικές μονάδες, έτσι ώστε η θερμοκρασία του εδάφους να διατηρείται στα κανονικά της επίπεδα.
- συστήματα που χρησιμοποιούν τα ίδια τα υλικά του υπεδάφους για να επιτευχθεί η απαραίτητη μόνωση.
- τεχνικές ψύξης του εδάφους σε ένα βάθος και σε μια ακτίνα αρκετή για τη διατήρηση, π.χ. υγροποιημένου αερίου.

ΓΕΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ

Υπάρχουν διάφορες γεωλογικές, υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες που προσφέρονται για τέτοιου είδους αποθηκώσεις και που εφαρμόζονται, σήμερα, σε μεγαλύτερη ή μικρότερη κλίμακα. Ωστόσο, η έρευνα πάνω σε άλλες δυνατότητες δεν έχει σταματήσει και το θέμα παραμένει ανοιχτό. Στη συνέχεια περιγράφονται, σε γενικές γραμμές οι κυριότερες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα ή που έχουν μελετηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό.

Υδροφόροι ορίζοντες. Χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση φυσικού αερίου π.χ. Lussagnet, Beynes (Γαλλία). Η επιδεκτικότητα ενός υδροφόρου ορίζοντα για να αποτελέσει φυσικό αποθηκευτικό χώρο εξαρτάται από τη γεωμετρία του και τις ιδιότητές του. Έτσι, προσφέρονται οι μορφές των δόμων, των αντίκλινων ή των σύγκλινων, ενώ, παράλληλα το πορώδες μέσο θα πρέπει να εμφανίζει υψηλό πορώδες και μεγάλη περατότητα (άμμοι) και ένα, πρακτικά, αδιαπέρατο υπερκείμενο στρώμα. Η ελάχιστη πίεση του αερίου, μέσα στον υδροφορέα, είναι η σχετική πίεση του υπόγειου νερού και η μέγιστη δεν πρέπει να υπερβαίνει την *in situ* πίεση των στρωμάτων. Σε αντίθετη περίπτωση τα τοιχώματα του υδροφορέα γίνονται, μηχανικά, ασταθή και δημιουργούνται ρωγματώσεις απ' όπου μπορεί να διαφύγει το αποθηκευμένο αέριο. Στην πράξη, μέχρι σήμερα, έχουν χρησιμοποιηθεί ψαμμίτες και άμμοι, απαλλαγμένοι, κατά το δυνατόν, από αργιλικές προσμίξεις. Η γενική διάταξη της αποθήκευσης φαίνεται στο σχ. 1. Ιδιαίτερη πάντως, προσοχή απαιτείται για τον υπολογισμό της *in situ* πίεσης των στρωμάτων, τόσο από το βάρος των υπερκείμενων, όσο και από υπολειμματικές τεκτονικές τάσεις.

Δόμοι ή στρώματα αλατιού. Στην περίπτωση αυτή αποθηκεύονται, υγροί και αέριοι υδρογονάνθρακες π.χ. Tersanne (Γαλλία). Η αποθήκευση γίνεται σε προϋπάρχουσες κοιλότητες (από φυσική διάλυση), που διευρύνονται και μορφοποιούνται με παραπέρα διάλυση, ή σε κοιλότητες που δημιουργούνται εξαρχής. Η διάλυση επιτυγχάνεται με κυκλοφορία νερού (σχ. 2). Σε σχέση με τους υδρογονάνθρακες, το αλάτι παρουσιάζει δύο σοβαρά πλεονεκτήματα. Είναι, πρακτικά, αδιαπέρατο και χημικά αδρανές. Στην περίπτωση της «υγρής» αποθήκευσης (*wet storage*), οι υδρογονάνθρακες επιπλέον πάνω σ' ένα στρώμα γλυκού ή αλμυρού νερού και παραλαμβάνονται με τη μέθοδο της εκτόπισης. Στην «ξηρή» αποθήκευση (*dry storage*), το προϊόν δεν εκτοπίζεται, αλλά το γλυκό ή αλμυρό νερό αντλείται καθώς εισπνέζεται το αέριο μέσα στην κοιλότητα.

Έτσι σχηματίζεται μια υπόγεια δεξαμενή αερίου, υπό πίεση. Η αντοχή των τοιχωμάτων εδώ εννοείται ότι πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την *in situ* πίεση των στρωμάτων συν την εσωτερική πίεση, που προέρχεται από το αέριο.

Ωστόσο την εποχή που άρχισαν να εφαρμόζονται οι αποθηκεύσεις αυτές, δεν ήταν εντελώς γνωστή η συμπεριφορά του αλατιού κάτω από τις νέες συνθήκες στις οποίες υποβαλλόταν και κυρίως οι μεταβολές της συμπεριφοράς αυτής στην πάροδο του χρόνου. Η χρησιμοποίηση, για μια δεκαετία, των δόμων αλατιού στην περιοχή της Tersanne συνοδεύτηκε από μια, σχετικά σημαντική μείωση του όγκου των δόμων αυτών. Η παρατήρηση αυτή οδήγησε την εταιρία Gas de France να εκπονήσει σημαντικές μελέτες πάνω στη ρεολογική συμπεριφορά των συγκεκριμένων αυτών εμφανίσεων αλατιού. Οι μελέτες αυτές, που έγιναν σε συνεργασία με Πανεπιστημιακά εργαστήρια, αφορούσαν δοκιμές εργαστηρίου (μεγάλης διάρκειας και στη θερμοκρασία του φυσικού περιβάλλοντος για κάθε εμφάνιση αλατιού). Στόχος των δοκιμών ήταν η διατύπωση των νόμων της συμπεριφοράς των υλικών αυτών. Παράλληλα, αναπτύχθηκαν και διάφορα μοντέλα, σε μεγάλο φάσμα συνθετότητας, για την εφαρμογή των νόμων αυτών, στον υπολογισμό της μακροχρόνιας ευστάθειας και αντοχής των αποθηκευτικών κοιλοτήτων του αλατιού. Έτσι διευκρινίστηκαν οι μεταβολές ευστάθειας και αντοχής, ανάλογα με το είδος της τεχνικής που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

Κοιλότητες μεταλλείων. Στην περίπτωση αυτή ανήκουν τα ενεργά μεταλλεία, όπου η αποθήκευση γίνεται παράλληλα με την εξόρυξη, τα εγκαταλειμμένα μεταλλεία και η εκσκαφή νέων, ειδικά για αποθηκεύσεις του είδους αυτού. Για τα υπάρχοντα μεταλλεία, οι Davies και Willet (1978) επέλεξαν στις ΗΠΑ τις διάφορες θέσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και το ίδιο έκανε και ο Simpson (1978) για τον Καναδά. Στη Βρετανία λειτουργούν ήδη αρκετά, όπως στο Point of Ayr Colliery στο οποίο αποθηκεύεται Μεθάνιο, που εξάγεται από τις εκβολές του Dee στη βόρεια Ουαλλία και χρησιμοποιείται από την τοπική βιομηχανία. Η στεγανοποίηση και η υποστήλωση στις στοές και τις σάλες είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα στην περίπτωση αυτή. Στο Βέλγιο ανθρακωρυχεία μετατράπηκαν σε αποθηκευτικούς χώρους αερίου χαμηλής πίεσης (Buttiens, 1978). Τα παλιά και εγκαταλειμμένα μεταλλεία φαίνεται να προσφέρονται καλύτερα από τα ανθρακωρυχεία και εξαιτίας του μικρότερου βάθους, αλλά, κυρίως, εξαιτίας της μειωμένης αντοχής των ανθρακοφόρων ιζημάτων. Τέλος, έχουν χρησιμοποιηθεί και ανοιχτές εκσκαφές ορυχείων (Wettlegren, 1978).

Άλλες μέθοδοι. Η ιδιαιτερότητα των γεωλογικών συνθηκών σε κάθε περιοχή και η ανάγκη δημιουργίας τοπικών αποθηκευτικών χώρων, οδήγησαν και σε άλλες μεθόδους, που χρησιμοποιούνται λιγότερο ή περισσότερο. Μια τέτοια μέθοδος είναι η εξόρυξη σήραγγας (κατά κανόνα με διατρητικό συρμό) και η μετατροπή της σε δεξαμενή αερίου με πίεση. Άλλη μέθοδος είναι οι επενδυμένες ή όχι και εξοπλισμένες ανοιχτές εκσκαφές, που, στην πραγματικότητα, δεν είναι τίποτε άλλο παρά συμβατικές υπόγειες δεξαμενές. Τέλος ειδική έρευνα έχει αρχίσει, προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης του ανενεργού κάρστ, για αποθηκεύσεις του είδους αυτού.

ΤΑ ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Η αποθήκευση υδρογονανθράκων σε υπόγειες κοιλότητες, χωρίς επένδυση, όπου το προϊόν έρχεται σε άμεση επαφή με τα πετρώματα περιγράφηκε αναλυτικά από τον Jansson (1977). Σε ηφαιστειακά, μεταμορφωμένα και γενικά, συμπαγή πετρώματα, οι κάθε είδους διαρρήξεις ευνοούν τις διαρροές και πρέπει να αντιμετωπίζονται. Στην περίπτωση αυτή ένα παραπάνω πρόβλημα αποτελεί η παρουσία μιας κάποιας υδροφορίας και η σχετική θέση ως προς την αποθηκευτική κοιλότητα. Η αντιμετώπιση του προβλήματος μπορεί να γίνει με βάση μια σταθερή ή μια μεταβαλλόμενη πιεζομετρική στάθμη.

Η αποθήκευση υγροποιημένων αέριων σε κρυογενετικές θερμοκρασίες και σε κοιλότητες χωρίς επένδυση και, βέβαια, χωρίς μόνωση, γίνεται πολύπλοκη από την επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών στα πετρώματα του περιβάλλοντος της αποθήκευσης. Έτσι, εδώ και καιρό άρχισαν έρευνες πάνω στη μηχανική συμπεριφορά των πετρωμάτων, σε χαμηλές θερμοκρασίες και κυρίως πάνω στην αντοχή, στη συμπίεστικότητα και στην περατότητα, με αξιόλογα αποτελέσματα μέχρι σήμερα.

Η αποθήκευση υγροποιημένου αερίου, και κατά συνέπεια, οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν πολλά προβλήματα, που πρέπει να λυθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια (κατανομή πιέσεων γύρω από την κοιλότητα, μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών σε συνάρτηση με την πτώση της θερμοκρασίας κλπ.). Ωστόσο και η απλή αποθήκευση αερίου με πίεση βάζει το πρόβλημα, κάθε φορά, για το ποιά είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη, πίεση, ώστε τα πετρώματα να διατηρούνται, μηχανικά, σταθερά. Στο θέμα αυτό, τον τελευταίο καιρό έχει αναπτυχθεί μια μικροσεισμική μέθοδος προειδοποίησης για κάποια, έστω, τοπική αστάθεια στα πετρώματα του περιβάλλοντος της αποθήκευσης.

Η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι πολλά υλικά, και ανάμεσά τους τα πετρώματα και ο πάγος, εκπέμπουν παροδικές μικροδονήσεις, σε μέσες και χαμηλές συχνότητες, όταν υποστούν πιέσεις από κάποια φόρτιση. Η προέλευση αυτών των ήχων (rock noises) φαίνεται να σχετίζεται με διαδικασίες παραμόρφωσης και θραύσης, που συνοδεύονται από μια απότομη απελευθέρωση εντατικής ενέργειας. Η προειδοποίηση γίνεται από ένα δίκτυο δεκτών που καταλήγουν σε μια καταγραφή, όπου καταγράφονται οι δονήσεις με όλα τα χαρακτηριστικά τους (μέγεθος, συχνότητα, περιοχή προέλευσης κλπ.) (Hardy 1973).

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι υπόγειες αποθηκεύσεις αφήνουν την επιφάνεια του εδάφους ελεύθερη για άλλες χρήσεις, εκτός από τους απαραίτητους χώρους των γεωτρήσεων (ελέγχου, απόληψης) και των σωληνώσεων. Δυσκολίες μπορούν να υπάρξουν στη γειτονία κατοικημένων περιοχών, κυρίως για ψυχολογικούς λόγους, αφού, πιθανόν, οι κάτοικοι δεν θα αισθάνονται ασφαλείς με τη σκέψη ότι ζούν πάνω από δεξαμενές πετρελαίου ή αερίου. Από την άλλη πλευρά όμως οι αποθηκεύσεις αυτές βελτιώνουν πολύ την αισθητική του περιβάλλοντος σε τοποθεσίες κατοικημένες. Η αλήθεια είναι ότι σοβαρά ατυχήματα δεν έχουν σημειωθεί, έχουν όμως αναφερθεί μικρότερα ατυχήματα που είχαν την αιτία τους ή σε σφάλματα ή σε κενά της μελέτης ή σε πλημ-

μελή τήρηση των προδιαγραφών λειτουργίας. Παραλείψεις σε μεγαλύτερο βαθμό θα μπορούσαν εύκολα να οδηγήσουν σε ανάφλεξη ή έκρηξη.

Ένας άλλος κίνδυνος για το περιβάλλον είναι η ρύπανσή του από ενδεχόμενες διαρροές, ιδιαίτερα σε αποθηκευτικές κοιλότητες χωρίς επένδυση. Για το λόγο αυτό επιβάλλονται συνεχείς έλεγχοι στο περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής, για να εντοπιστούν πιθανές διαρροές, που δε θα μπορούσαν ίσως, να εντοπίσουν τα όργανα ελέγχου στον αποθηκευτικό χώρο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

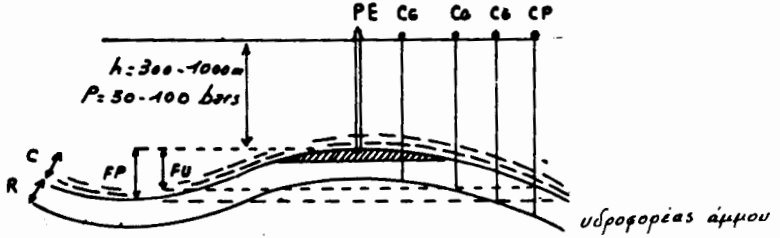
Οι αποθηκεύσεις υδρογονανθράκων στο φυσικό υπέδαφος, ανεξάρτητα από το προϊόν που αποθηκεύεται και τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, αποτελούν μια πρωτοποριακή εφαρμογή των επιστημών και βασικά των Γεωεπιστημών. Γίνεται φανερό ότι καθοριστικός παράγοντας στις εφαρμογές αυτές, είναι η γνώση της γεωλογικής δομής, με κάθε λεπτομέρεια, καθώς και η γνώση των υδρογεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών της περιοχής. Ειδικά, για τις τελευταίες, πρέπει να ληφθεί υπ' όψη το εντατικό πεδίο που προβλέπεται να διαμορφωθεί, για να προβλεφτεί και η μηχανική συμπεριφορά των πετρωμάτων. Προσφέρουν μεγάλη οικονομία στη μελέτη και κατασκευή σε σύγκριση με ισομεγέθεις συμβατικές δεξαμενές αποθήκευσης. Συμβάλλουν στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος ή και στην αποκατάστασή του, σε περίπτωση που αντικαταστήσουν επιφανειακές αποθηκεύσεις. Συμβάλλουν ακόμη και στην αμυντική στρατηγική. Χρειάζεται όμως σχολαστική μελέτη και σχολαστική διατύπωση και τήρηση προδιαγραφών, για να αποφευχθούν οι σοβαροί, πραγματικά, κίνδυνοι, που συνοδεύουν τις κατασκευές αυτές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. BOYCLY, P. Comportement mécanique des cavités dans le sel. Etat actuel de nos connaissances. *Revue de l'I.F.P.*, vol. 37, no 4, 1982.
2. BUTTIENS, E.F.J. Conversion of abandoned collieries in Southern Belgium to low pressure gas storage. *Rockstore 77*, Stockholm (Bergman ed.)3, 651-5, *Pergamon Press*, 1970.
3. DAVIES, R.L. and WILLET, D.C. The identification and preliminary design of existing mines for the U.S. Strategic Petroleum Reserve Program. *Rockstore 77*, Stockholm (Bergamon ed.) 1, 19-23, *Pergamon Press*, 1978.
4. GAZ DE FRANCE. Les storages souterrains de gas naturel exploités par le Gaz de France. *Role, développement et situation à la mi - 1978 (Document)*.
5. GERMAIN, C.Y. Les roches salines et le stockage souterrain. *Bull. Centr. Rech. Explor. Prod.-ELF Aquitaine*, 1, Les evaporites, 1980.
6. HARDY, H.R. Model studies associated with the mechanical stability of underground natural gas storage reservoirs. *2nd Congr. Inst. Soc. Rock Mech. paper 4-42*, Belgrade, 1970.
7. HARDY, H.R. Stability studies on gas storage reservoirs models. *Proc. Am. Gas Ass. Transmission Conf. Denver, Col.*, 1970.
8. HARDY, H.R. Microseismic techniques - basic and applied research. *Rock Mech.* 2, 93 - 114, 1973.
9. INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE - Ecole Nationale Supérieure du Petrole et des Moteurs - Centre d' études supérieures de prospec. on géologique et géophysique. *Le reservoir des sables de Glos dans les forages de l' anticlinal de Saint-Mau* (Gournay-sur-Aronde). (Document 1978).

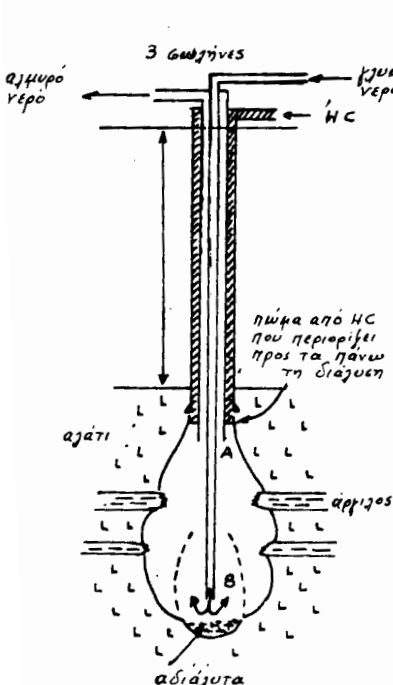
10. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROCEOLOGISTS. *International Symposium on ground water pollution by oil hydrocarbons. Proceedings. Prague, 1978.*
11. JANSSON, C. Storage of petroleum products in unlined caverns. *Underground space*, 2, 27-37, 1977.
12. KERCKHOVE, C. Cours Géologie du Pétrole. D.E.A. Géologie Appliquée, *Université de Grenoble* 1, 1981-82.
13. SIMPSON, F. Potential for deep underground storage in Canada. *Rockstore 77*, Stockholm (Bergman ed.) 1, 37-41, *Pergamon Press*, 1978.
14. WETTLEGREN, G. Underground oil storage in disused mines.

(1) ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΟΡΙΖΩΝΤΑ

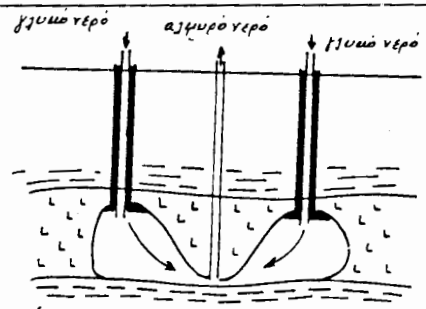
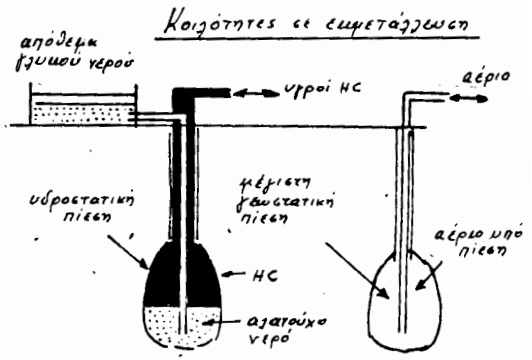


- FP = κάλυμμα πραγματικό
 - FU = " " χρησιμοποιούμενο
 - C = " " αργεζικό
 - R = Reservoir την 20 m
 - PE = γρέαρ εκμετάλλευσης
 - CG = έλεγχος αέριου
 - CP = περιμετρικός έλεγχος
- με logs (αντίσταση - νετρόνια)

(2) ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΕ ΛΑΤΟΥΧΑ ΠΛΗΡΩΜΑΤΑ



«ΦΙΑΛΗ» διάλυσης. Η μορφή της εφάρτεται από τη θέση των μηχανικών σωληθίων Α και Β και από τη θέση του ηώματος των HC



Οριζόντια διαμόρφωση κοιτότητας σε ζεστό στρώμα