

ΥΔΡΙΤΕΣ: ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Ή ΜΙΑ ΟΥΤΟΠΙΑ;

Δρ Κ. Περισσράτης*, Π. Ζαχαράκη**

Ιστορική αναδρομή

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 κατά τη διάρκεια συνήθων ερευνών του θαλάσσιου πυθμένα και των υποστρωμάτων του από Αμερικανούς ερευνητές στην περιοχή των νησιών Μπαχάμες, διαπιστώθηκε ότι σε μεγάλα βάθη θάλασσας (πάνω από 2.000 μ.) αλλά σε μικρό βάθος κάτω από αυτόν είχαν εντοπιστεί διάφορα στρώματα ιζημάτων, πάχους έως περίπου εκατό μέτρων, με ασυνήθιστες ιδιότητες (Σχ. 1). Συγκεκριμένα η ταχύτητα του ήχου αυξανόταν στο στρώμα αυτό, ενώ ήταν μικρότερη στο υπερκείμενο και υποκείμενο στρώμα, γεγονός που σήμαινε ότι το πρώτο αυτό στρώμα είχε πολύ διαφορετική σύσταση ή υφή. Ακόμη η εμφάνιση του στρώματος αυτού εντοπιζόταν σε μικρότερα θαλάσσια βάθη προς τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, όσο δηλαδή μειωνόταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Εκτός από τα παραπάνω, παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια γεωτρήσεων για πετρέλαιο στην ξηρά είχαν δείξει ότι σε μερικές περιοχές η κεφαλή του γεωτρύπανου, όταν ανασυρόταν στην επιφάνεια, ήταν κυριολεκτικά παγωμένη, κάτι περί-

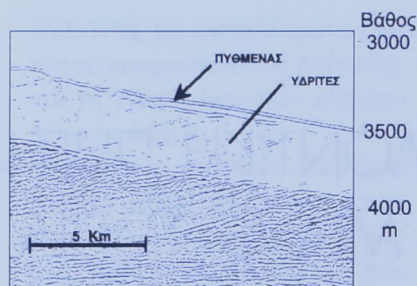
εργο, γιατί από βάθος μερικών δεκάδων μέτρων αρχίζει να αυξάνει η θερμοκρασία της γης λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας. Το ακόμη πιο περίεργο ήταν ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι γεωτρήσεις αυτές συνοδεύονταν από ανάφλεξη και έκρηξη. Δηλαδή ήταν σαν να υπήρχε ένα υλικό σε κατάσταση «πάγου» το οποίο αναφλεγόταν. Μετά από συσχέτιση των ευρημάτων της ξηράς με τις ενδείξεις από το θαλάσσιο χώρο, διαπιστώθηκε ότι τα στρώματα υψηλής ταχύτητας ήχου που είχαν εντοπιστεί εκεί ήταν υδρίτες, μια ένωση που ανήκει στους κλειθρείτες (clathrates).

Δομή και σύσταση των υδριτών

Οι κλειθρείτες (από τη λέξη κλείθρον=κλειδαριά) είναι ενώσεις που φιλοξενούν ένα ή περισσότερα μόρια στον κρυσταλλικό ιστό τους. Εάν η φιλοξενούσα ένωση είναι H_2O σε μορφή πάγου, τότε ο κλειθρείτης λέγεται υδρίτης. Όταν τώρα η φιλοξενούμενη ένωση είναι στην κανονική του κατάσταση αέριο, τότε το σύμπλεγμα λέγεται αεριούχος υδρίτης (gas hydrate). Στην πιο συχνή εμφά-

* Υπηρεσία Υποθαλάσσιας Γεωλογίας.

** Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, e-mail: prs@igme.gr.



Σχήμα 1.

Σεισμική καταγραφή υδριτών
(Περιοχή Δυτ. Ατλαντικού).

νιση ένα μόριο μεθανίου περικλείεται σε έξι μόρια νερού, λόγω δε των συνθηκών χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης (Σχ. 2), ο κλειθρείτης βρίσκεται σε στερεά κατάσταση, είναι δηλαδή πάγος, με το μεθάνιο σε κατάσταση κορεσμού. Θεωρητικά 1 m^3 υδρίτης σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας μετατρέπεται υδροποιούμενος σε $0,8 \text{ m}^3$ νερού και 164 m^3 αερίου μεθανίου. Στην πραγματικότητα ο όγκος του μεθανίου είναι κάπως μικρότερος, γιατί σπάνια το μεθάνιο πληροί όλες τις κοιλότητες του πλέγματος.

Ο όρος υδρίτης χρησιμοποιείται από τους γεωλόγους συχνά όταν η φιλοξενούμενη ένωση είναι φυσικό αέριο και ιδιαίτερα μεθάνιο. Στη φύση υδρίτες έχουν βρεθεί σε μεγάλα βάθη στους ωκεανούς καθώς και στις πολικές ζώνες της ξηράς. Σήμερα υδρίτες έχουν εντοπιστεί στις περισσότερες ηπειρωτικές κατωφέ-

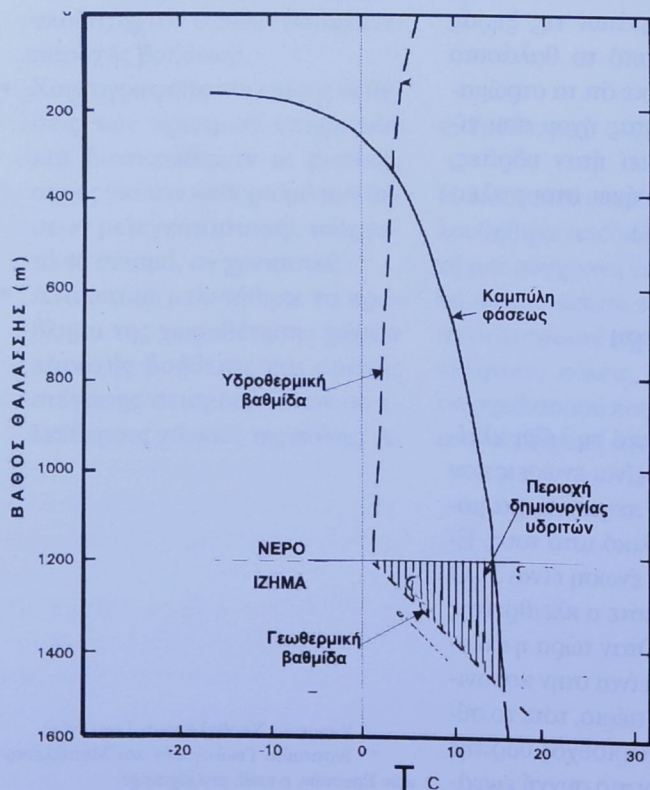
ρειες των θαλασσών καθώς και στις παγωμένες περιοχές του βορείου ημισφαιρίου (Σχ. 3).

Σχετικά με την προέλευση του μεθανίου, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι το μεθάνιο είναι βιολογικής προέλευσης, δηλαδή προέρχεται από τη μικροβιακή παραγωγή μεθανίου στα ιζήματα. Έτσι, όταν επικρατούν οι κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και η ποσότητα του μεθανίου υπερβαίνει το σημείο κορεσμού στο νερό, δημιουργούνται οι υδρίτες. Εάν όμως η θερμοκρασία αυξηθεί σε σχέση με την πίεση, οι υδρίτες αποσυντίθενται σε νερό και μεθάνιο.

Αν και η εμφάνιση των υδριτών είναι συχνή, η δειγματοληψία τους μέχρι τώρα είναι σπάνια, αλλά και όταν επιτυγχάνεται είναι μη αντιπροσωπευτική, γιατί τόσο η διαδικασία της γεώτρησης όσο και η μεταφορά τους από το σημείο της γεώτρησης στην επιφάνεια καταστρέφουν τον ιστό τους γιατί αλλοιώνει τις συνθήκες δημιουργίας και διατήρησής τους.

Το Πρόγραμμα HYACE¹

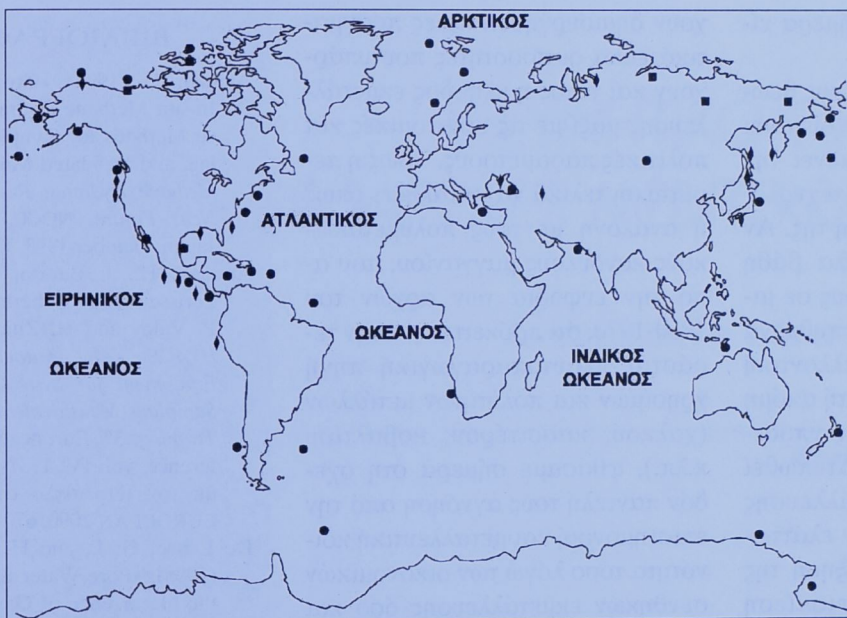
Οι πυρηνοληψίες υδριτών είναι λοιπόν σπάνιες γιατί οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη γεώτρηση αποσυνθέτουν τους υδρίτες και στους πυρήνες μένει ιζήμα, νερό και μεθάνιο που εκλύεται. Έτσι, η εμφάνιση και η όλη επιστημονική φιλολογία που έχει αναπτυχθεί την τελευταία 20ετία όσον αφορά στους υδρίτες βρίσκει ένα σημαντικό εμπόδιο στο να καταλήξει σε πιο συ-



Σχήμα 2.

Διάγραμμα
φάσεως υδριτών.

1. Το έργο HYACE MAS3-CT97-0102 χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο του προγράμματος της 12ης Δ/σης Marine Science and Technology (MAST III). Για περισσότερες πληροφορίες ο ενδιαφερόμενος μπορεί να απευθυνθεί στην ιστοσελίδα: <http://www.tu-berlin.de/fb10/MAT/hyace.html>.



Σχήμα 3.
Περιοχές παρουσίας
υδριτών.

γκεκριμένα συμπεράσματα: την απουσία δειγμάτων υδριτών *in situ*. Για το σκοπό αυτόν χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση το τριετές (1998-2001) πρόγραμμα HYACE (Gas Hydrate Autoclave Coring Equipment) που έχει στόχο την κατασκευή ενός αυτόκλειστου πυρηνολήπτη που θα μπορεί να πάρει και να μεταφέρει στο εν πλω εργαστήριο «pristine cores», δηλαδή αδιατάρακτους πυρήνες. Στο πρόγραμμα συντονιστής είναι το Τμήμα Θαλάσσιας Τεχνολογίας του Πολυτεχνείου του Βερολίνου και μετέχουν τα Ιδρύματα BGS (Μεγ. Βρετανία), IFREMER (Γαλλία), GSIG-ICM (Ισπανία), οι εταιρείες FUGRO (Ολλανδία), GEOTEK (Μεγ. Βρετανία), το Πανεπιστήμιο του Clausthal (Γερμανία) και η Υπηρεσία Υποθαλάσσιας Γεωλογίας του IFME.

Πιο συγκεκριμένα, η προσπάθεια είναι να κατασκευαστεί ένας «πρωτότυπος» πυρηνολήπτης ο οποίος θα λειτουργεί και θα ελέγχεται «down hole», δηλαδή στο σημείο δειγματοληψίας, για να μπορούν έ-

τσι να μεταφερθούν στο σκάφος τα ιζήματα που έχουν υποστεί πυρηνοληψία με αναλλοίωτες τις *in situ* συνθήκες (πίεση-θερμοκρασία). Κατά τη διάρκεια της πυρηνοληψίας θα εκτελείται επίσης μια σειρά μετρήσεων και παρατηρήσεων (ηλεκτρική αντίσταση, αγωγιμότητα, πορώδες, ταχύτητα ήχου, πυκνότητα, ραδιενέργεια κ.ά.).

Μετά την ανάσχυση του αυτόκλειστου δειγματολήπτη στο κατάστρωμα του σκάφους η μεταφορά του πυρήνα στο εργαστήριο θα γίνεται με άλλο ειδικό όργανο. Η εν συνεχεία μελέτη των διαφόρων παραμέτρων και η δειγματοληψία του ιζήματος θα γίνονται χωρίς να μεταβάλλονται οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Η σημασία των υδριτών ως καύσιμης ύλης

Οι ιδιαιτερότητες της σύστασης των υδριτών σε συνδυασμό με τα τεράστια αποθέματα που έχουν διαπι-

στωθεί έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον πολλών επιστημόνων. Η σημασία τους συνοψίζεται σε τρεις τομείς. Στην πιθανή επίδραση στη σύσταση της ατμόσφαιρας με την έκλυση του ενθυλακωμένου μεθανίου, στην πρόκληση μεγάλων υποθαλάσσιων κατολισθήσεων λόγω της υγροποίησής τους και της δημιουργίας επιφανειών ολίσθησης, και τέλος, και κυρίως, στη χρήση τους ως καύσιμης ύλης στο μέλλον.

Όσον αφορά τη χρήση των υδριτών ως καύσιμης ύλης, αυτή εστιάζεται φυσικά στη χρήση του μεθανίου, που αποτελεί μια φθηνή και καθαρή ενεργειακή ύλη. Εκτιμήσεις για τη συνολική ποσότητα του μεθανίου που περιέχονται στις γνωστές εμφανίσεις υδριτών ποικίλλουν, αλλά οι αριθμοί είναι πράγματι εντυπωσιακοί. Ακόμη και με συντηρητικούς υπολογισμούς η συνολική ποσότητα του μεθανίου που υπάρχει στα στρώματα των υδριτών είναι της τάξης του $2 \times 10^{16} \text{ m}^3$, που είναι μερικές φορές πολλαπλάσια από την ποσότητα των απο-

θεμάτων μεθανίου που σήμερα είναι παγκοσμίως γνωστά.

Οι υδρίτες λοιπόν έχουν θεωρηθεί ως μια τεράστια εν δυνάμει πηγή καυσίμου που αναμένει την ανάπτυξη της κατάλληλης τεχνολογίας για την εκμετάλλευσή της. Αν και βρίσκονται σε μεγάλα βάθη θαλάσσης, η παρουσία τους σε μικρό βάθος κάτω από τον πυθμένα δημιουργεί ελπίδες για μελλοντική εκμετάλλευση. Βέβαια αυτή ακόμη βρίσκεται στη σφαίρα της υπόθεσης, αλλά ήδη έχουν διατυπωθεί διάφοροι τρόποι εκμετάλλευσης που στηρίζονται είτε στην ελάττωση της πίεσης ή στην αύξηση της θερμοκρασίας π.χ. με εισπίεση θερμότερων μαζών ύδατος. Το μόνο γνωστό πεδίο όπου γίνεται εκμετάλλευση μεθανίου από υδρίτες είναι στη Δυτική Σιβηρία, όπου υπάρχει ένα στρώμα πάχους 76 μ. που βρίσκεται σε βάθος 450 μ. περσίπου. Η παραγωγή μεθανίου γίνεται με εισπίεση μεθανόλης, που αυξάνει τη θερμοκρασία και διαλύει τους υδρίτες ελευθερώνοντας το μεθάνιο. Όμως η χρήση μεθανόλης αυξάνει το κόστος παραγωγής.

Είναι αναμφίβολο ότι ξέρουμε ακόμη πολύ λίγα πράγματα για να έχουμε σαφή εικόνα των υδριτών και απαιτούνται ακόμη σημαντικά βήματα όπως το πώς και γιατί έ-

χουν δημιουργηθεί, ποιες πραγματικά είναι οι ποσότητες που υπάρχουν και τέλος η μέθοδος εκμετάλλευσης μαζί με τις οικονομικές και πολιτικές παραμέτρους. Ίσως η περίπτωση τελικά να καταλήξει όπως η ανάλογη με τους πολυμεταλλικούς κονδύλους μαγγανίου, που από την ευφορία των αρχών του 1960-1970, ότι πρόκειται για την τεράστια πλουτοπαραγωγική πηγή χρυσίμων και πολυτίμων μετάλλων (χαλκού, κασσιτέρου, κοβαλτίου κ.λπ.), φθάσαμε σήμερα στη σχεδόν παντελή τους αγνόηση από την επιστημονική και μεταλλευτική κοινότητα τόσο λόγω των οικονομικών συνθηκών εκμετάλλευσης όσο και των πολιτικών επιπλοκών (δικαιώματα παρακτίων και μη κρατών κ.ά.).

Συμπερασματικά, η εκμετάλλευση των υδριτών μάλλον θα εξαρτηθεί από τις μελλοντικές τεχνολογικές δυνατότητες, τις οικονομικές συνθήκες και την εξάρτηση κάθε χώρας από εισαγόμενες πηγές ενέργειας. Για χώρες όπως οι πετρελαιοπαραγωγές οι υδρίτες δεν φαίνεται να αποτελούν σοβαρή πηγή ενέργειας. Όμως για χώρες όπως η Ινδία, η Ιαπωνία και οι ΗΠΑ, ίσως να αποτελέσουν «αισιφόρο» πηγή ενέργειας, γι' αυτό οι χώρες αυτές έχουν επενδύσει σημαντικά ποσά στην έρευνα των υδριτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amman, H. (1998), «Ground Truthing In-situ Methane Hydrates: Innovative Methods for Sampling, Monitoring, and Validated Modelling», στο: *Methane Hydrates; Resources in the Near Future*, NOCC, Chiba City, Japan, October 1998, 139-148.
- Amman, H., J. Baraza, C. Marx, C. Perissoratis, J. Roberts, A. Skinner, P. Valdy and H. Zuidberg (1998), *HYACE. An Autoclave Coring Equipment for Systematic Offshore Sampling, Measurement and Ground Truthing*, 3rd European MAST Conference, vol. IV, 1531-1540. Επίσης με τον ίδιο τίτλο στα πρακτικά EUROCEAN 2000, 670-673.
- De Lange, G. J., and H. J. Brumsack (1998), «Pore Water Indications for the Occurrence of Gas Hydrates in Eastern Mediterranean», στο: Robertson et al (eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*, vol. 160: 569-574.
- Hag, B. U. (1998), «Gas Hydrates: Greenhouse Nightmare, Energy Panacea or Pipe Dream?», *GSA Today*, vol. 8, 11: 1-6.
- Περισσοράτης Κ., Π. Ζαχαράκη, Ε. Ζημανίτης, Α. Ανδρινόπουλος και Δ. Μητρόπουλος (2000), «Πρόγραμμα HYACE: Αυτόκλειστοι δειγματολήπτες υδριτών (αποτελέσματα - προοπτικές)», 6ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Πρακτικά, τόμ. 1: 486-490.
- Woodside, J. M., and M. K. Ivanov (1996), *Shallow Gas and Gas Hydrate in the Anaximander Mountains Region, Eastern Mediterranean Sea*, workshop paper, Corsaires Gas Hydrate Meeting, Gent Belgium.