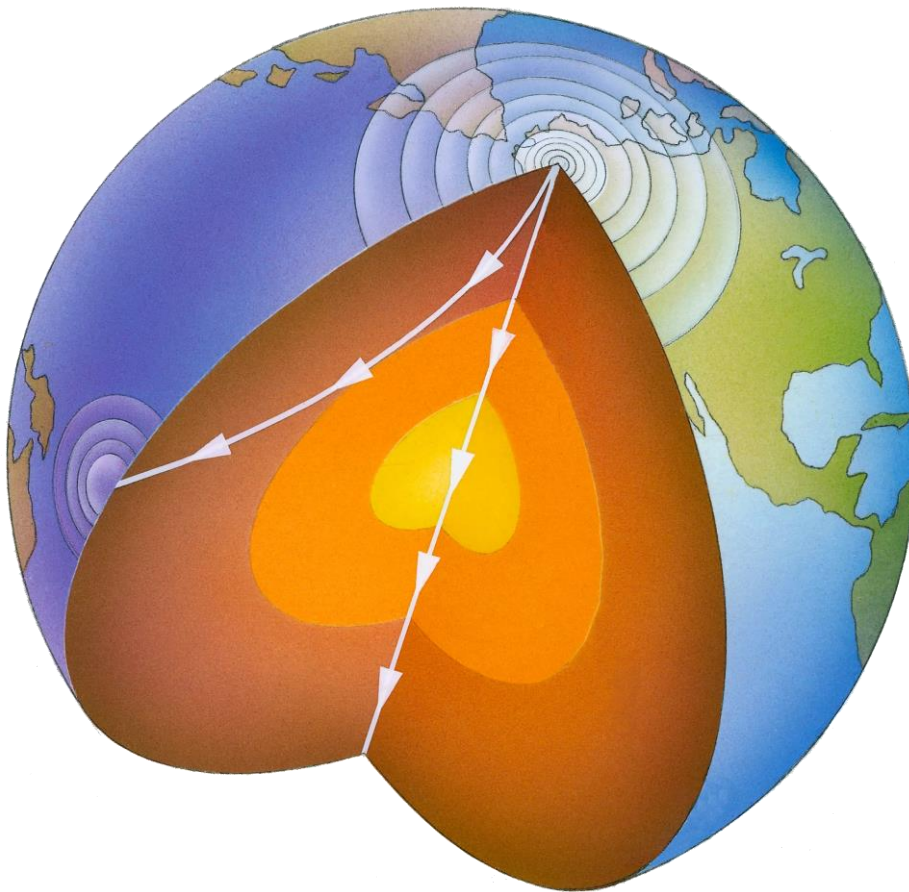


Εφαρμογές της φυσικής στη μελέτη του υπεδάφους μέσω σεισμικών κυμάτων



Δήμας Αριστείδης(mm20017), Γιόξα Παρασκευή (mm20002)

Περιεχόμενα:

Σελ. 3..... Περίληψη

Σελ. 4..... Εισαγωγή

Σελ. 9..... Η σεισμική τεχνολογία

Σελ. 23..... Μελλοντικές εξελίξεις στη γεωφυσική σεισμική έρευνα

Σελ. 25..... Βιβλιογραφία

Περίληψη:

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται διεξοδικά γεωφυσικές μέθοδοι για την μελέτη του υπεδάφους και την εύρεση κοιτασμάτων ή ειδικού ενδιαφέροντος γεωλογικών σχηματισμών. Ειδικότερα παρουσιάζονται οι σεισμικές μέθοδοι που έχουν υιοθετηθεί μέσω της εξέλιξης της επιστήμης της σεισμολογίας για την διερεύνηση του υπεδάφους. Παρουσιάζονται επιπλέον μέθοδοι και για την διερεύνηση του υπεδάφους αλλά και του υποθαλάσσιου πλούτου. Επιπλέον συνοπτικά αναφέρεται στις τελευταίες μεθόδους για μελλοντική εφαρμογή νέων γεωφυσικών διεργασιών στην ανίχνευση οικονομικά αξιοποιήσιμων ενεργειακών πηγών του υπεδάφους και μελέτης αυτού.

Εισαγωγή

Η χρήση των μεθόδων της φυσικής στη μελέτη του υπεδάφους είναι ουσιώδους σημασίας για την διερεύνηση των φυσικών πόρων. Σκοπός των μεθόδων αυτών είναι ο εντοπισμός γεωλογικών συνθηκών οικονομικής σημασίας, δηλαδή ο προσδιορισμός πιθανών δομών οικονομικά αξιοποιήσιμων, ώστε να αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχών γεωτρήσεων. Οι γεωφυσικές μέθοδοι σε συνδυασμό με γεωλογικές μεθόδους εφαρμόζονται επίσης και για τον εντοπισμό υδροφόρων οριζώντων και γεωθερμικών πεδίων. Οι κύριες κατηγορίες γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης είναι: οι Σεισμικές Μέθοδοι Διασκόπησης, οι Βαρυτομετρικές Μέθοδοι Διασκόπησης, οι Μαγνητικές Μέθοδοι Διασκόπησης, οι Ηλεκτρικές Μέθοδοι Διασκόπησης, οι Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι Διασκόπησης, οι Ραδιομετρικές Μέθοδοι Διασκόπησης.

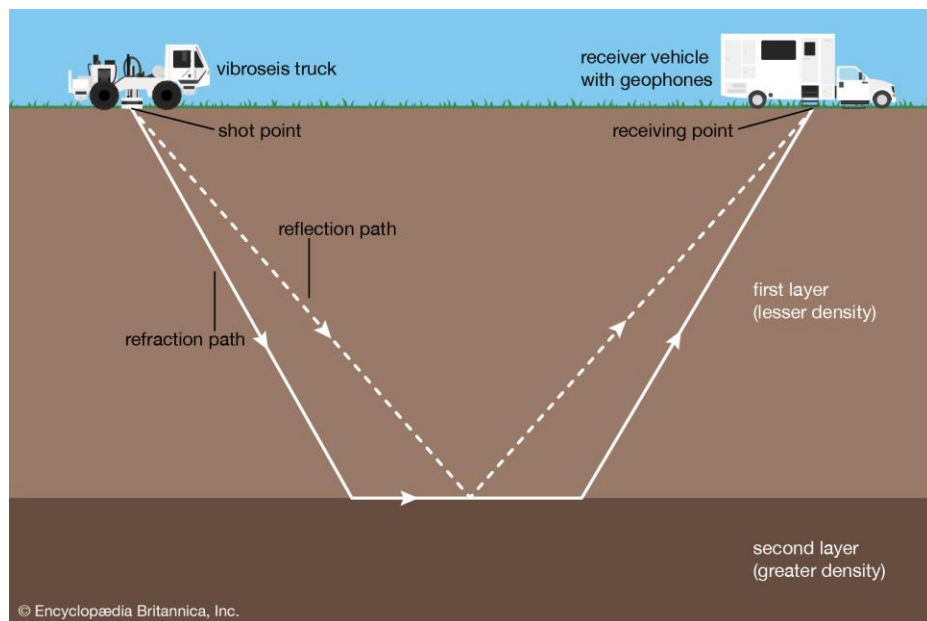
Σεισμικές μέθοδοι-σεισμική έρευνα

Για τη μέθοδο διερεύνησης της υπόγειας δομής, του εδάφους, ιδίως σε σχέση με την εξερεύνηση πετρελαίου, φυσικού αερίου και ορυκτών αποθέσεων χρησιμοποιούνται οι σεισμικές μέθοδοι και η σεισμική έρευνα. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται κυρίως στον προσδιορισμό του χρονικού διαστήματος που διανύεται μεταξύ της έναρξης ενός σεισμικού κύματος σε ένα επιλεγμένο σημείο λήψης (η τοποθεσία όπου μια έκρηξη δημιουργεί σεισμικά κύματα) και της άφιξης των κυμάτων ανάκλασης ή διάθλασης σε έναν ή περισσότερους σεισμικούς ανιχνευτές. Χρησιμοποιούνται επίσης «Σεισμικά αεροβόλα» για την έναρξη των σεισμικών κυμάτων. Στις μέρες μας μέσω αυτής της τεχνικής σε μεγάλο βαθμό έχει αντικατασταθεί η πρακτική της υπόγεια έκρηξης με δυναμίτη. Χρησιμοποιούνται επίσης ηλεκτρικοί δονητές ή η μέθοδος της πτώσης βαρών (βροντές) σε τοποθεσίες όπου μια υπόγεια έκρηξη μπορεί να προκαλέσει ζημιά, όπως σε σπήλαια. Κατά την

άφιξη των κυμάτων στους ανιχνευτές, το πλάτος και ο χρόνος των κυμάτων καταγράφονται για να δώσουν ένα σεισμόγραμμα (καταγραφή των δονήσεων του εδάφους).

Δεδομένου του γεγονότος ότι η πυκνότητα των πετρωμάτων κοντά στην επιφάνεια της Γης αυξάνεται με το βάθος, τα σεισμικά κύματα που ξεκινούν σε ένα σημείο πυροβολισμού πάνω ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να φθάσουν στο σημείο λήψης με ανάκλαση, διάθλαση ή και με τους δύο τρόπους. Όταν το σημείο έκρηξης είναι κοντά στο σημείο λήψης, τα ανακλώμενα κύματα συνήθως φτάνουν πρώτα στο σημείο λήψης. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις, ωστόσο, ο σεισμικός παλμός ταξιδεύει γρηγορότερα από τη διαδρομή διάθλασης επειδή η ταχύτητά του είναι μεγαλύτερη κατά μήκος του κάτω, πυκνότερου στρώματος από ότι μέσω του άνω στρώματος, έτσι σε αυτήν την περίπτωση, το διαθλασμένο κύμα φτάνει πρώτο.

Η ερμηνεία των βαθών και των μέσων που φτάνουν τα σεισμικά κύματα εξαρτάται έτσι από την απόσταση μεταξύ των σημείων δημιουργίας και των σημείων λήψης καθώς και της πυκνότητας των στρωμάτων.



[1]

Ιστορική ανασκόπηση

Ο Αριστοτέλης ήταν ένας από τους πρώτους επιστήμονες που προσπάθησε να εξηγήσει τους σεισμούς βάσει φυσικών φαινομένων. Υποστήριξε ότι οι άνεμοι μέσα στη γη χτύπησαν περιστασιακά και ανατάραξαν την επιφάνεια της γης.

Εμπειρικές παρατηρήσεις των επιπτώσεων των σεισμών ήταν σπάνιες μέχρι το 1750, όταν η Αγγλία βίωσε μια σειρά από πέντε ισχυρούς σεισμούς. Ένα τσουνάμι που σκότωσε περίπου 70.000 ανθρώπους, ακολούθησε αυτούς τους σεισμούς, την Κυριακή 1 Νοεμβρίου 1755, ισοπεδώνοντας την πόλη της Λισαβόνας στην Πορτογαλία, ενώ πολλοί από τους κατοίκους της βρίσκονταν στην εκκλησία. Το γεγονός αυτό σηματοδοτεί την αρχή της σύγχρονης εποχής της σεισμολογίας, ωθώντας στην δημιουργία πολλών μελετών για τα αποτελέσματα, τις τοποθεσίες και το χρονοδιάγραμμα των σεισμών.

Πριν από τον σεισμό της Λισαβόνας, οι μελετητές είχαν εξετάσει σχεδόν αποκλειστικά τον Αριστοτέλη, τον Πλίνιο και άλλες αρχαίες κλασικές πηγές για να βρουν εξηγήσεις για τους σεισμούς. Μετά τον σεισμό της Λισαβόνας, αυτή η στάση απομακρύνθηκε και επικεντρώθηκε σε σύγχρονες παρατηρήσεις. Η καταγραφή της διάρκειας και των τοποθεσιών των σεισμών καθώς και η μελέτη των φυσικών επιπτώσεων των σεισμών ξεκίνησε σοβαρά, με επιστήμονες όπως ο John Michell στην Αγγλία και η Elie Bertrand στην Ελβετία.

Εκατό περίπου χρόνια μετά τον σεισμό της Λισαβόνας εμφανίστηκαν, σποραδικά αλλά αυξανόμενα, οι σεισμολογικές μελέτες. Αυτές οι προσπάθειες συχνά ενισχύθηκαν κατόπιν καταστροφών από σεισμούς, όπως οι σεισμοί της Καλαβρίας το 1783 που σκότωσαν 35.000 ανθρώπους στα νότια της Ιταλίας.

Καθώς η επικοινωνία μεταξύ διαφόρων περιοχών του κόσμου έγινε πιο εύκολη, οι παγκόσμιες παρατηρήσεις σεισμών άρχισαν να συνδυάζονται.

Από το 1850 έως το 1870, τρεις Ευρωπαίοι κατέβαλαν τεράστιες προσπάθειες στη σεισμολογία. Ο Robert Mallet, ήταν ένας μηχανικός που γεννήθηκε στο Δουβλίνο και σχεδίασε πολλές από τις γέφυρες του Λονδίνου και μέτρησε την ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων, επίγεια, χρησιμοποιώντας εκρήξεις πυρίτιδας. Η ιδέα του ήταν να μελετήσει τις μεταβολές στη σεισμική ταχύτητα που θα αντιστοιχούσαν και σε μεταβολές στις ιδιότητες της γης. Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα, για παράδειγμα στην εξερεύνηση πετρελαιοπηγών. Ο Robert Mallet ήταν επίσης ένας από τους πρώτους που υπολόγισε το βάθος ενός σεισμού υπόγεια. Την ίδια στιγμή που ο Mallet ξεκίνησε έρευνες με εκρήξεις πυρίτιδας στην Αγγλία, ο Alex Perrey, στη Γαλλία, έκανε ποσοτικές αναλύσεις σεισμών. Διερεύνησε τις περιοδικές παραλλαγές σεισμών με τις εποχές και τις σεληνιακές φάσεις. Στην Ιταλία, ο Luigi Palmieri εφηύρε έναν ηλεκτρομαγνητικό σειсмоγράφο, που εγκαταστάθηκε κοντά στο Βεζούβιο και άλλον ένα που εγκαταστάθηκε στο Πανεπιστήμιο της Νάπολης. Αυτοί οι σειсмоγράφοι ήταν τα πρώτα σεισμικά όργανα ικανά να ανιχνεύουν συστηματικά σεισμούς που είναι ανεπαίσθητοι στους ανθρώπους.

Οι προηγούμενες προσπάθειες έθεσαν στα τέλη του 1800 και στις αρχές του 1900, τις θεμελιώδεις βάσεις στη σεισμολογία. Στην Ιαπωνία, τρεις καθηγητές Αγγλικών, ο John Milne, ο James Ewing και ο Thomas Gray, που εργάζονται στο Imperial College του Τόκιο, εφηύραν τα πρώτα σεισμικά όργανα αρκετά ευαίσθητα για να χρησιμοποιηθούν στην επιστημονική μελέτη των σεισμών.

Οι περισσότεροι πίστευαν ότι οι σεισμοί ήταν το αποτέλεσμα των υπόγειων εκρήξεων, μέχρι που ο Harry Fielding Reid κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι

σεισμοί ήταν το αποτέλεσμα της σταδιακής συσσώρευσης τάσεων μέσα στη γη που σημειώθηκαν για πολλά χρόνια. Αυτές οι τάσεις οφείλονται σε εξ αποστάσεως δυνάμεις που τελικά απελευθερώνονται βίαια κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, μετά από χρόνια συσσωρευμένης καταπόνησης.

Ο Seikei Sekiya ήταν ένας από τους πρώτους ανθρώπους που ανέλυσε ποσοτικά σεισμικές ηχογραφήσεις από σεισμούς (στα τέλη του 1800, αρχές 1900). Ένας άλλος διάσημος Ιάπωνας ερευνητής ήταν ο Fusakichi Omori, ο οποίος, μεταξύ άλλων, μελέτησε τον ρυθμό εξασθένησης της μετασεισμικής δραστηριότητας μετά από μεγάλους σεισμούς (οι εξισώσεις του χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα).

Κατά τον εικοστό αιώνα παρουσιάστηκε τεράστιο ενδιαφέρον για την επιστημονική μελέτη των σεισμών, κυρίως σε σεισμογενής περιοχές όπως η Ιαπωνία, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρώπη, η Ρωσία, ο Καναδάς, το Μεξικό, η Κίνα, η Κεντρική και Νότια Αμερική, η Νέα Ζηλανδία και η Αυστραλία.

Η σεισμική τεχνολογία

Η σεισμολογία είναι η μελέτη των σεισμικών κυμάτων, η διάδοσή τους μέσω της Γης, οι πηγές τους και τα αποτελέσματά τους. Τα σεισμικά κύματα προκύπτουν όχι μόνο από σεισμούς αλλά και από άλλα φυσικά και ανθρωπογενή γεγονότα. Ένα άτομο που πατάει στο έδαφος μπορεί να δημιουργήσει ένα σεισμικό κύμα που μπορεί να καταγραφεί από ένα ευαίσθητο σεισμόμετρο.

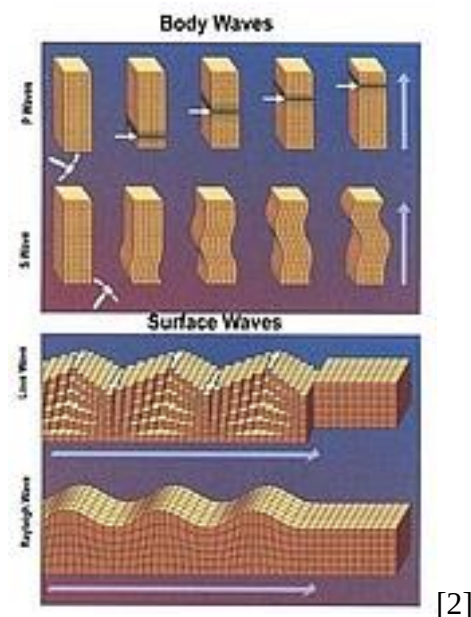
Το μέγεθος των σεισμών και άλλων σεισμικών συμβάντων μετριέται χρησιμοποιώντας την κλίμακα Ρίχτερ. Αρκετές χιλιάδες σεισμοί μεγαλύτεροι από το μέγεθος 4 στην κλίμακα Ρίχτερ εμφανίζονται κάθε χρόνο σε όλο τον κόσμο. Ένας σεισμός μεγέθους 4 είναι ένας αρκετά ελαφρύς σεισμός που μπορεί να προκαλέσει τραντάγματα στα παράθυρα και στις πόρτες, αλλά δεν προκαλεί σημαντικές ζημιές.

Ένα σεισμικό γεγονός δημιουργεί δύο τύπους σεισμικών κυμάτων: τα κύματα χώρου και τα κύματα επιφανείας. Τα ταχύτερα κύματα είναι αυτά του χώρου που ταξιδεύουν μέσα στο εσωτερικό της Γης, ενώ τα πιο αργά κύματα της επιφάνειας - όπως υποδηλώνει το όνομα - ταξιδεύουν κατά μήκος της επιφάνειάς της. Και οι δύο τύποι κυμάτων εξετάζονται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης για τη συλλογή συγκεκριμένων πληροφοριών για ένα συγκεκριμένο συμβάν.

Τα κύματα αυτά είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση ενός ύποπτου γεγονότος, διότι παρέχουν βασικές πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία, τη δύναμη και τη φύση μιας εκδήλωσης. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των σεισμικών κυμάτων είναι τα σεισμόμετρα, τα οποία είναι αισθητήρες που μετατρέπουν την κίνηση του εδάφους σε ηλεκτρική τάση.

Υπάρχουν δύο τύποι κυμάτων χώρου που προέρχονται από ένα σεισμικό συμβάν, τα κύματα P και τα κύματα S. Τα κύματα P είναι διαμήκη κύματα που συμπιέζονται και επεκτείνονται διαδοχικά στο έδαφος παράλληλα προς την κατεύθυνση της διάδοσής τους. Αυτά τα κύματα μπορούν να κινηθούν μέσα από

οποιοδήποτε υλικό. Τα κύματα S είναι εγκάρσια κύματα στο έδαφος που κινούνται κάθετα προς την κατεύθυνση της διάδοσής τους. Τα κύματα S μπορούν να κινηθούν μόνο μέσω στερεών υλικών, ενώ είναι αδύνατο να κινηθούν σε υγρά ή αέρια υλικά. Η μέτρηση των αξιμουθίων τόσο των κυμάτων P όσο και των κυμάτων S καθιστά δυνατή την αναγνώριση της κατεύθυνσης από την οποία εκπέμπονται τα κύματα. Δεδομένου ότι τα κύματα ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες, είναι επίσης δυνατό να προσδιοριστεί η απόσταση από την πηγή μετρώντας τους διαφορετικούς χρόνους άφιξης των κυμάτων. Τα επιφανειακά κύματα ταξιδεύουν κατά μήκος της επιφάνειας της Γης, είναι πιο αργά από τα κύματα του χώρου και τείνουν να είναι πολύ καταστροφικά. Τεχνικά, τα επιφανειακά κύματα προκύπτουν από παρεμβολές μεταξύ των δύο τύπων κυμάτων χώρου. Οι μετρήσεις επιφανειακών κυμάτων βοηθούν στον προσδιορισμό του βάθους και του μεγέθους ενός συμβάντος.



[2]

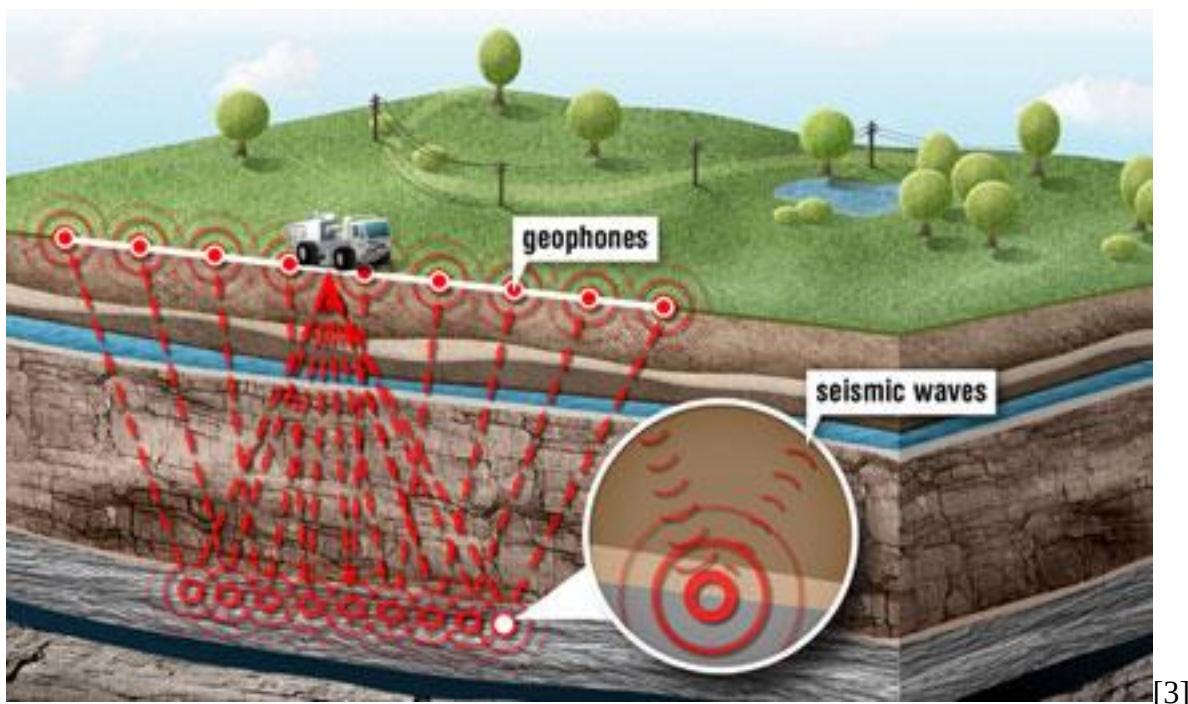
Υπάρχουν δύο παγκόσμια σεισμικά δίκτυα παρακολούθησης. Το πρωτεύον σεισμικό δίκτυο 50 σταθμών το οποίο στέλνει δεδομένα συνεχώς. Το επικουρικό σεισμικό δίκτυο που αποτελείται από 120 σταθμούς που στέλνουν δεδομένα μόνο κατόπιν αιτήματος.

Βρίσκονται δύο διαφορετικοί τύποι σεισμικών σταθμών: Συστοιχίες σεισμικών σταθμών και σταθμοί τριών τμημάτων. Περίπου το 60% του πρωτεύοντος σεισμικού δικτύου αποτελείται από σεισμικούς σταθμούς συστοιχίας, οι οποίοι αποτελούνται από σύνολα εννέα έως 25 σεισμικών αισθητήρων γεωμετρικά τοποθετημένων σε μια ευρεία περιοχή. Οι περισσότεροι από τους σταθμούς στο επικουρικό σεισμικό δίκτυο τριών τμημάτων. Οι σεισμικές συστοιχίες αποτελούνται από διάφορους σεισμικούς αισθητήρες που είναι διατεταγμένοι σε μια μεγάλη περιοχή. Οι πληροφορίες από σεισμικές συστοιχίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της πηγής ενός σεισμικού συμβάντος.

Αξίζει να επισημανθεί ότι η μεγαλύτερη ανακάλυψη στην εξερεύνηση φυσικού αερίου ήρθε με τη χρήση της σεισμολογίας. Η σεισμολογία είναι η μελέτη της ροής της ενέργειας, με τη μορφή σεισμικών κυμάτων, μέσω του φλοιού της Γης που αλληλοεπιδρά με διάφορους τύπους υπόγειων σχηματισμών. Ο σειсмоγράφος, είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και την καταγραφή σεισμών και είναι σε θέση να ανιχνεύει και να καταγράφει τις δονήσεις της Γης που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Όταν η σεισμολογία εφαρμόζεται στην αναζήτηση φυσικού αερίου, τα σεισμικά κύματα, που εκπέμπονται από μια πηγή, αποστέλλονται στη Γη και τα σεισμικά κύματα αλληλοεπιδρούν διαφορετικά με τον υπόγειο σχηματισμό (υπόγεια στρώματα), το καθένα με τις δικές του ιδιότητες. Τα κύματα αναλώνονται προς την πηγή από κάθε σχηματισμό. Αυτή η ανάκλαση επιτρέπει τη χρήση της σεισμολογίας στην ανακάλυψη του χαρακτήρα και των ιδιοτήτων των υπόγειων σχηματισμών που οδηγούν σε συμπεράσματα σχετικά με τη δυνατότητα ενός ή περισσότερων σχηματισμών να περιέχουν φυσικό αέριο.

Στις πρώτες μέρες της σεισμικής έρευνας, τα σεισμικά κύματα δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας δυναμίτη. Αυτές οι προσεκτικά σχεδιασμένες, μικρές εκρήξεις δημιούργησαν τα απαιτούμενα σεισμικά κύματα, τα οποία στη συνέχεια συλλέχθηκαν από geophones, δημιουργώντας δεδομένα για ερμηνεία από

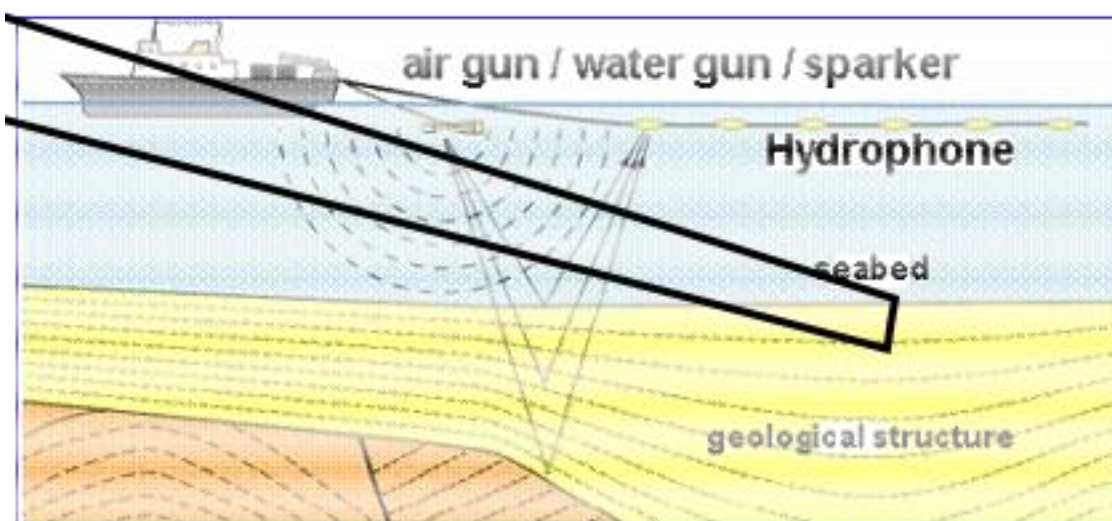
γεωφυσικούς, γεωλόγους και μηχανικούς κοιτασμάτων. Στην πράξη, η χρήση σεισμολογίας για εξερεύνηση χερσαίων περιοχών συνεπάγεται τεχνητή δημιουργία σεισμικών κυμάτων, η ανάκλαση των οποίων στη συνέχεια συλλέγεται από τα ευαίσθητα κομμάτια εξοπλισμού (γεωφόφωνα) που είναι ενσωματωμένα στο έδαφος. Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται από τα geophones μεταδίδονται στη συνέχεια σε ένα σεισμικό καταγραφέα, ο οποίος καταγράφει τα δεδομένα για περαιτέρω ερμηνεία.



Λόγω των σύγχρονων περιβαλλοντικών ανησυχιών και της εξελιγμένης τεχνολογίας, δεν είναι πλέον εφικτή η χρήση εκρηκτικών φορτίων για τη δημιουργία των απαραίτητων σεισμικών κυμάτων. Τα περισσότερα σεισμικά ερευνητικά πληρώματα χρησιμοποιούν μη εκρηκτική σεισμική τεχνολογία για τη δημιουργία των απαιτούμενων δεδομένων. Αυτή η μη εκρηκτική τεχνολογία συνήθως περιλαμβάνει τη χρήση ενός μεγάλου οχήματος που μεταφέρει ειδικό εξοπλισμό σχεδιασμένο να δημιουργεί μεγάλη πρόσκρουση ή σειρά δονήσεων. Αυτές οι

κρούσεις ή οι δονήσεις δημιουργούν σεισμικά κύματα παρόμοια με αυτά που δημιουργούνται από το δυναμίτη. Στο σεισμικό φορτηγό υπάρχει ένα μεγάλο έμβολο που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία δονήσεων στην επιφάνεια της Γης, στέλνοντας σεισμικά κύματα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία χρήσιμων δεδομένων. Το ίδιο είδος διαδικασίας χρησιμοποιείται και στην υπεράκτια σεισμική εξερεύνηση.

Κατά την εξερεύνηση για φυσικό αέριο που μπορεί να υπάρχει χιλιάδες μέτρα κάτω από τον πυθμένα του βυθού, χρησιμοποιείται μια ελαφρώς διαφορετική μέθοδος της σεισμικής εξερεύνησης. Αντί για φορτηγά και γεωφόφωνα, ένα πλοίο χρησιμοποιείται για τη συλλογή των σεισμικών δεδομένων. Η υπεράκτια εξερεύνηση χρησιμοποιεί υδρόφωνα, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να δέχονται σεισμικά κύματα υποβρύχια. Αυτά τα υδρόφωνα ρυμουλκούνται πίσω από το πλοίο. Αντί να χρησιμοποιεί δυναμίτη ή κρούσεις στο δάπεδο του βυθού, το σεισμικό πλοίο χρησιμοποιεί ένα μεγάλο πιστόλι αέρα, το οποίο απελευθερώνει εκρήξεις πεπιεσμένου αέρα κάτω από το νερό, δημιουργώντας σεισμικά κύματα που μπορούν να ταξιδέψουν μέσω του φλοιού της Γης και να δημιουργήσουν τις απαραίτητες σεισμικές ανακλάσεις.



[4]

Η ανάπτυξη της σεισμικής απεικόνισης σε τρεις διαστάσεις άλλαξε σημαντικά τη φύση της εξερεύνησης φυσικού αερίου. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί παραδοσιακές σεισμικές τεχνικές απεικόνισης, σε συνδυασμό με ισχυρούς υπολογιστές και επεξεργαστές, για να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο (3-D) μοντέλο. Η τετραδιάστατη (4-D) σεισμολογία επεκτείνεται προσθέτοντας το χρόνο ως διάσταση, επιτρέποντας στις εξερευνητικές ομάδες να παρατηρήσουν πώς αλλάζουν τα χαρακτηριστικά των επιφανειών με την πάροδο του χρόνου. Οι ομάδες εξερεύνησης μπορούν πλέον να εντοπίζουν τις προοπτικές ύπαρξης φυσικού αερίου πιο εύκολα, να τοποθετούν τα φρεάτια πιο αποτελεσματικά, να μειώνουν τον αριθμό των ξηρών οπών, να μειώνουν το κόστος γεώτρησης και να μειώσουν επίσης το χρόνο εξερεύνησης. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, μέσω της χρήσης υπολογιστών συγκεντρώνονται σεισμικά δεδομένα που συλλέγονται από το πεδίο. Αυτό επιτρέπει την επεξεργασία πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων δεδομένων, αυξάνοντας την αξιοπιστία και το περιεχόμενο του σεισμικού μοντέλου. Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι υπολογιστικών μοντέλων εξερεύνησης: δύο διαστάσεων (2-D), 3-D και πιο πρόσφατα 4-D. Αυτές οι τεχνικές απεικόνισης, ενώ βασίζονται κυρίως σε σεισμικά δεδομένα που αποκτήθηκαν στον τομέα, γίνονται όλο και πιο εξελιγμένες. Η τεχνολογία των υπολογιστών έχει προχωρήσει μέχρι στιγμής ώστε να είναι πλέον δυνατή η ενσωμάτωση των δεδομένων που λαμβάνονται από διαφορετικούς τύπους δοκιμών, όπως καταγραφή, πληροφορίες παραγωγής και βαρυμετρικές δοκιμές που μπορούν όλοι να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν μια οπτικοποίηση του υπόγειου σχηματισμού. Με αυτόν τον τρόπο, οι γεωλόγοι και οι γεωφυσικοί μπορούν να συνδυάσουν όλες τις πηγές δεδομένων τους για να συντάξουν μια σαφή, πλήρη εικόνα της υποεπιφανειακής γεωλογίας. Ένα παράδειγμα αυτού είναι η χρήση ενός διαδραστικού υπολογιστή από έναν γεωλόγο για να επιτρέψει την οπτικοποίηση των σεισμικών δεδομένων επιτρέποντας έτσι την εξερεύνηση των υποεπιφανειακών επιπέδων.

Η 2-D σεισμική απεικόνιση αναφέρεται στη χρήση των δεδομένων που συλλέγονται από δραστηριότητες σεισμικής εξερεύνησης για την ανάπτυξη μιας εικόνα εγκάρσιας διατομής των υπόγειων σχηματισμών. Ο γεωφυσικός ερμηνεύει τα σεισμικά δεδομένα που λαμβάνονται από το πεδίο, λαμβάνοντας τις ηχογραφήσεις του σειсмоγράφου για να αναπτύξει ένα εννοιολογικό μοντέλο της σύνθεσης και του πάχους των διαφόρων επιπέδων βράχων υπόγεια. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται συνήθως για την χαρτογράφηση υπόγειων σχηματισμών και για την πραγματοποίηση εκτιμήσεων με βάση τις γεωλογικές δομές για να προσδιοριστεί πού είναι πιθανό να υπάρχουν κοιτάσματα.

Υπάρχει επίσης μια τεχνική που χρησιμοποιεί βασικά σεισμικά δεδομένα γνωστά ως άμεση ανίχνευση στην οποία λευκές λωρίδες (φωτεινές κηλίδες) που εμφανίστηκαν συχνά σε σεισμικές ταινίες καταγραφής έδειξαν δεξαμενές υδρογονανθράκων. Η φύση ή ο πορώδης βράχος που περιέχει φυσικό αέριο μπορεί συχνά να έχει ως αποτέλεσμα την ανάκλαση ισχυρότερων σεισμικών κυμάτων από τον κανονικό, γεμάτο νερό βράχο. Επομένως, υπό αυτές τις συνθήκες, η πραγματική δεξαμενή φυσικού αερίου θα μπορούσε να ανιχνευθεί απευθείας από τα σεισμικά δεδομένα. Ωστόσο, αυτή η ιδέα δεν είναι καθολικά εφαρμόσιμη, καθώς πολλά από τα φωτεινά σημεία δεν περιέχουν παράγωγα υδρογονάνθρακα, και πολλές εναποθέσεις παραγών υδρογονανθράκων δεν υποδεικνύονται από φωτεινές κηλίδες στα σεισμικά δεδομένα.

Μία από τις μεγαλύτερες πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνικές εξερεύνησης με τη βοήθεια υπολογιστή ήταν η ανάπτυξη τρισδιάστατης σεισμικής απεικόνισης. Αυτή επιτρέπει στον γεωφυσικό και γεωλόγο να δει μια σαφή εικόνα της σύνθεσης του φλοιού της Γης σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι, στην εξερεύνηση γεωλογικών σχηματισμών, ως πραγματική εικόνα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση της πιθανότητας σχηματισμών που υπάρχουν σε μια συγκεκριμένη

περιοχή, και των χαρακτηριστικών αυτού του δυνητικού σχηματισμού. Αυτή η τεχνολογία ήταν εξαιρετικά επιτυχημένη στην αύξηση του ποσοστού επιτυχίας των προσπαθειών εξερεύνησης. Στην πραγματικότητα, η χρήση τρισδιάστατης σεισμικής απεικόνισης εκτιμάται ότι αυξάνει την πιθανότητα επιτυχούς θέσης δεξαμενής φυσικού αερίου κατά 50%.

Αν και αυτή η τεχνολογία είναι πολύ χρήσιμη, είναι πολύ δαπανηρή. Η δημιουργία τρισδιάστατων εικόνων απαιτεί τη συλλογή δεδομένων από αρκετές χιλιάδες τοποθεσίες, σε αντίθεση με την απεικόνιση 2-D, η οποία απαιτεί μόνο αρκετές εκατοντάδες σημεία δεδομένων. Ως εκ τούτου, η τρισδιάστατη απεικόνιση είναι πολύ πιο σύνθετη και παρατεταμένη διαδικασία. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές εξερεύνησης. Για παράδειγμα, ένας γεωφυσικός μπορεί να χρησιμοποιήσει την παραδοσιακή δισδιάστατη μοντελοποίηση και την εξέταση γεωλογικών χαρακτηριστικών για να προσδιορίσει εάν υπάρχει πιθανότητα παρουσίας φυσικού αερίου. Μόλις χρησιμοποιηθούν αυτές οι βασικές τεχνικές, η τρισδιάστατη σεισμική απεικόνιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περιοχές που έχουν μεγάλη πιθανότητα να περιέχουν οικονομικά αξιοποιήσιμοι υπόγειοι φυσικοί πόροι. Εκτός από τον ευρύτερο εντοπισμό δεξαμενών φυσικού αερίου και αργού πετρελαίου, η τρισδιάστατη σεισμική απεικόνιση επιτρέπει την ακριβέστερη τοποθέτηση γεωτρήσεων. Αυτό αυξάνει την παραγωγικότητα των επιτυχημένων πηγαδιών, επιτρέποντας την εξόρυξη περισσότερου φυσικού αερίου και αργού πετρελαίου. Μία από τις τελευταίες ανακαλύψεις στη σεισμική εξερεύνηση και τη μοντελοποίηση των υπόγειων πετρωμάτων, ήταν η εισαγωγή 4-D σεισμικής απεικόνισης. Αυτός ο τύπος απεικόνισης αποτελεί επέκταση της τεχνολογίας απεικόνισης 3-D. Ωστόσο, αντί της επίτευξης μιας απλής, στατικής εικόνας του υπόγειου, στην απεικόνιση 4-D οι αλλαγές στις δομές και τις ιδιότητες των υπόγειων

σχηματισμών παρατηρούνται στην εξέλιξη του χρόνου (η τέταρτη διάσταση). Ως εκ τούτου, η τεχνική αναφέρεται επίσης ως απεικόνιση 4-D time lapse.

Διάφορες σεισμικές αναγνώσεις μιας συγκεκριμένης περιοχής λαμβάνονται σε διαφορετικούς χρόνους και αυτή η ακολουθία δεδομένων τροφοδοτείται σε έναν ισχυρό υπολογιστή. Οι διαφορετικές εικόνες συγχωνεύονται, για να δημιουργήσουν ένα είδος «φίλμ» του σχηματισμού που υπάρχει κάτω από το έδαφος. Με τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο οι σεισμικές εικόνες αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, οι γεωλόγοι μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τις πολλές ιδιότητες του βράχου, συμπεριλαμβανομένης της υπόγειας ροής υγρών, του ιξώδους, της θερμοκρασίας και του κορεσμού. Οι 4-D σεισμικές εικόνες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν από γεωλόγους για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων μιας δεξαμενής, συμπεριλαμβανομένου του ποσοστού εξάντλησης του φυσικού αερίου μόλις ξεκινήσει η παραγωγή.

Η πιο αξιόπιστη γεωφυσική μέθοδος αναζήτησης υδρογονανθράκων, είναι η σεισμική ανάκλαση. Το 95% των δαπανών της γεωφυσικής διασκόπησης διατίθεται στην μελέτη της σεισμικής ανάκλασης. Μέσω της σεισμικής ανάκλασης μπορούν να απεικονιστούν γεωλογικοί σχηματισμοί στο υπέδαφος με μεγάλη ακρίβεια. Ένας υδραυλικός ταλαντωτής είναι πλέον η κύρια σεισμική πηγή, ο οποίος παράγει περιοδικά κτυπήματα μικρού πλάτους και συνεχώς αυξανόμενης συχνότητας (12-96 Hz).



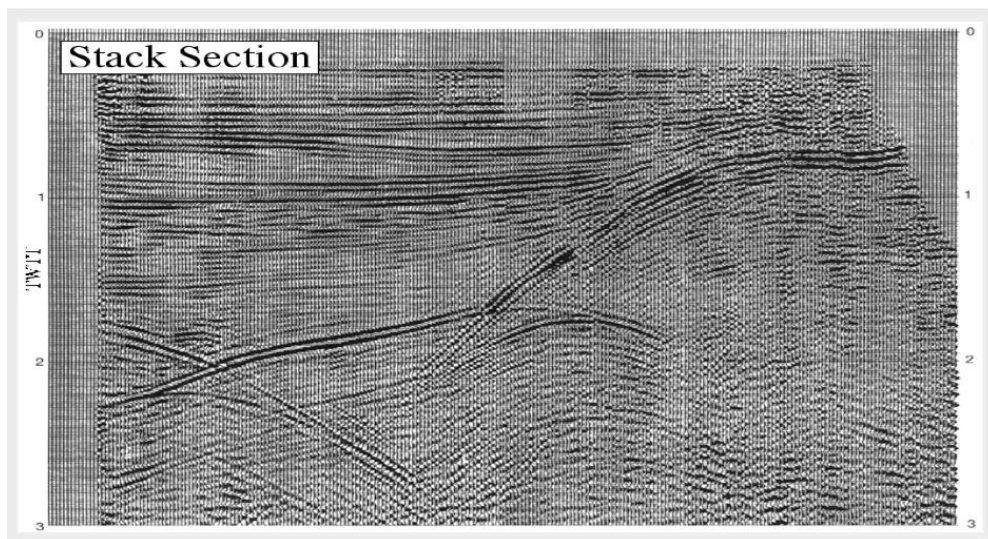
[5]

Στην θάλασσα, σεισμικά κύματα παράγονται με τη χρήση συστοιχίας αεροβόλων.



[6]

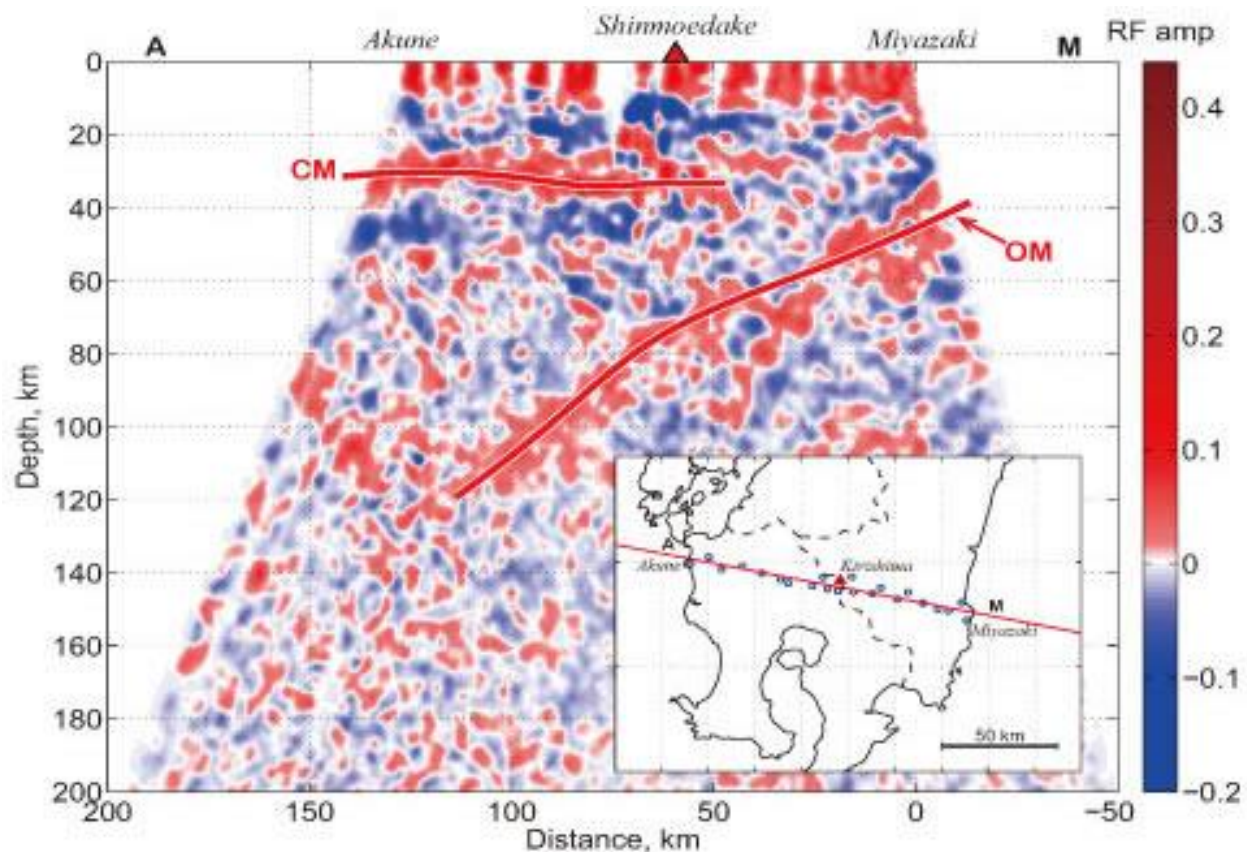
Το υδρόφωνο είναι ευαίσθητο στην μεταβολή της πίεσης του νερού η οποία καταγράφεται συναρτήσει του χρόνου. Αυτή η καταγραφή ονομάζεται σεισμόγραμμα ή ίχνης. Συνδυάζοντας τα ίχνη δημιουργείται σεισμική τομή (με τον κατακόρυφος άξονα να εκφράζει το χρόνο και τον οριζόντιο, την απόσταση του υδροφώνου από το σημείο αναφοράς).



[7]

Ένα αξιόλογο παράδειγμα σεισμικής έρευνας είναι η μελέτη στο υπέδαφος νότια του νησιού Kyushu στην Ιαπωνία, που μπορεί να εμφανιστεί ένα megaquake πλησίον των ηφαιστείων Sakurajima και Kirishima. Χρησιμοποιώντας σεισμικά κύματα, έχουν αναπτυχθεί σεισμόμετρα με μέση απόσταση 5km από το Miyazaki έως το Akune μέσω του ηφαιστείου Kirishima. Αναλύθηκαν επίσης τα κύματα από μεγάλους σεισμούς σε απομακρυσμένες περιοχές, όπως η Ινδονησία, οι ασυνέχειες σεισμικής ταχύτητας, όπως στην άνω επιφάνεια της πλάκας της Θάλασσας των Φιλιππίνων και έτσι προέκυψε μια εικόνα της γεωμετρίας με τις ασυνέχειες του υπεδάφους.

Πιο κάτω έχει απεικονισθεί με επιτυχία το ωκεάνιο Moho (OM) στην πλάκα αγωγού και το ηπειρωτικό Moho (CM) στο δυτικό τμήμα του νότιου Kyushu, και τα δύο είναι όρια μεταξύ του φλοιού και του μανδύα.



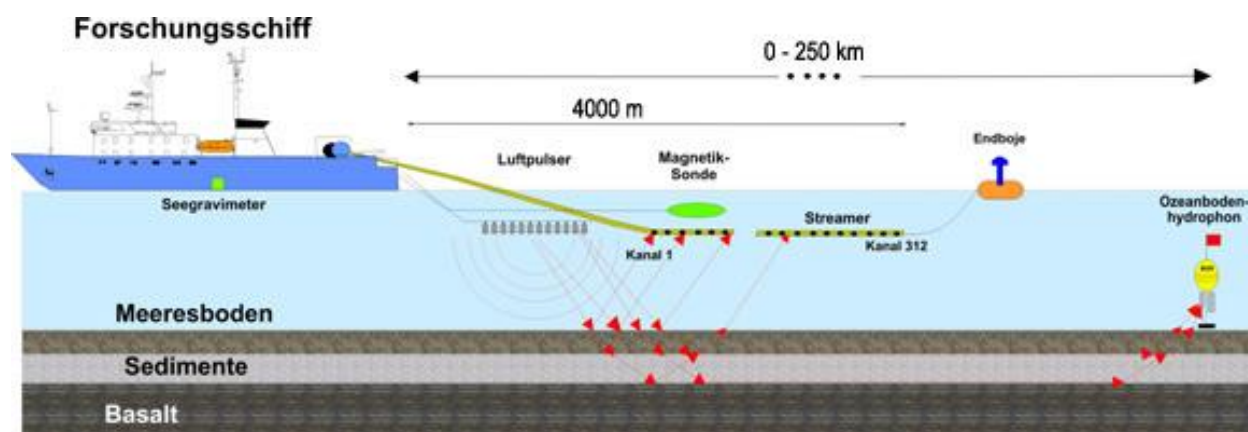
[8]

Οι θαλάσσιες σεισμικές μέθοδοι μέτρησης

Οι θαλάσσιες σεισμικές μέθοδοι μέτρησης ανήκουν στα κύρια συστατικά της θαλάσσιας έρευνας για τη διερεύνηση του δυναμικού των θαλάσσιων πόρων και της εκτίμησης της επικινδυνότητας των σεισμών. Για βαθυμετρικές έρευνες, συνήθως χρησιμοποιούνται τα ενσωματωμένα συστήματα του πλοίου, για σεισμική ανάκλαση και οι σεισμικές έρευνες διάθλασης.

Τα σεισμικά κύματα που ανανακλώνται στο βυθό καταγράφονται από αλυσίδα υδροφώνου και μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα. Μετά την ψηφιοποίηση, τα δεδομένα αποθηκεύονται σε πολυμέσα και μετά υποβάλλονται σε επεξεργασία. Ο χρόνος λειτουργίας και το πλάτος των σημάτων αντανάκλασης παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το βάθος και τις ιδιότητες της οριακής γραμμής.

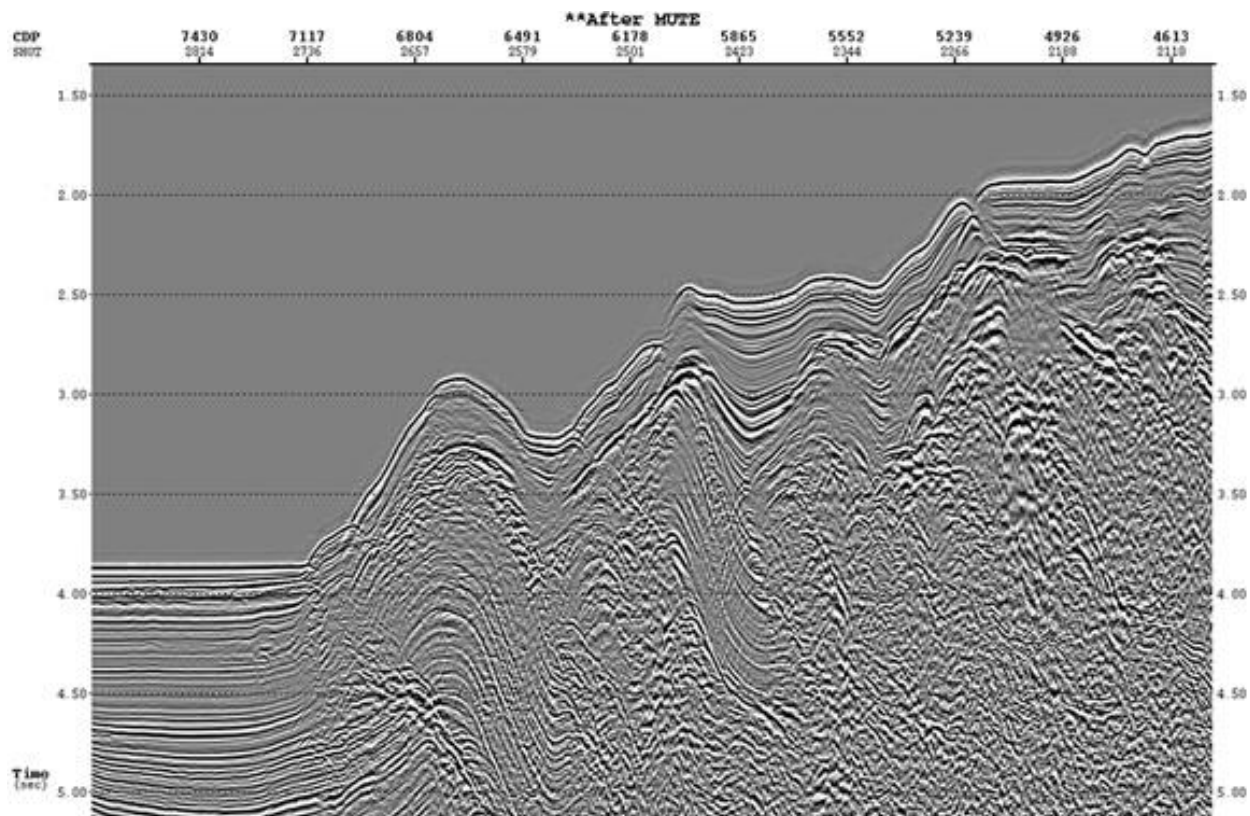
Τα υδρόφωνα τοποθετούνται γραμμικά σε μια ταινία με συνολικό μήκος 4000 m, το οποίο σύρεται πίσω από το πλοίο σε βάθος περίπου 8 m.



[9]

Πίσω από το ερευνητικό σκάφος, ένα συρόμενο αεροβόλο σύρεται, χρησιμεύοντας ως σεισμική πηγή. Με τη βοήθεια υδρόφωνων στο συρόμενο

καλώδιο μέτρησης (streamer) καταγράφονται τα ανακλώμενα κύματα. Τα σεισμικά δεδομένα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια θαλάσσιων γεωφυσικών ερευνών υποβάλλονται σε επεξεργασία, ενώ η καταγραφή των σεισμικών δεδομένων διάθλασης απαιτεί μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ της σεισμικής πηγής και του δέκτη, σε σύγκριση με την απόκτηση σεισμικών δεδομένων από ανάκλαση.

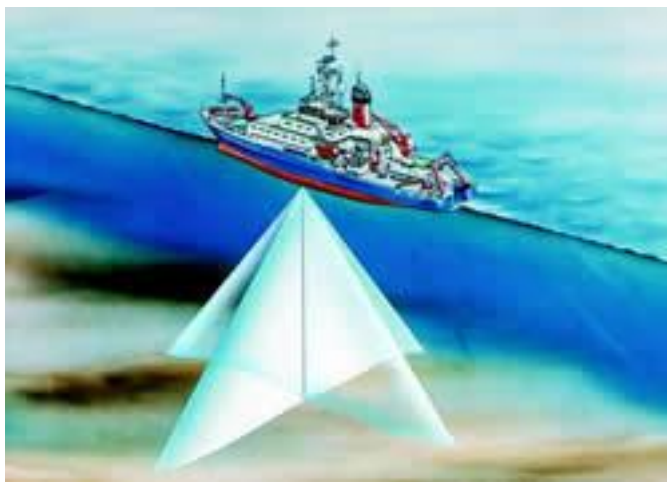


[10]

Παράδειγμα σεισμικής ανάκλασης: Ο άξονας x υποδηλώνει την οριζόντια απόσταση, ο άξονας y υποδηλώνει τον αμφίδρομο χρόνο λειτουργίας των σεισμικών κυμάτων. Εάν η ταχύτητα σεισμικής διάδοσης είναι γνωστή, ο χρόνος λειτουργίας μπορεί να μετατραπεί σε τιμές βάθους.

Σε όλες τις σεισμικές μεθόδους, η ενέργεια που ανακλάται από το υπέδαφος καταγράφεται ως συνάρτηση της απόστασης κατά τη διάρκεια του χρόνου

λειτουργίας. Ενώ στα ανακλαστικά σεισμικά παρατηρούνται ανακλάσεις σε σχετικά μικρό εύρος απόστασης, στα σεισμικά διάθλασης κανονικά καλύπτεται όλο το εύρος απόστασης όπου μπορεί να καταγραφεί ενέργεια. Στην πράξη, ανάλογα με το πιστόλι, το υπέδαφος και η θέση του ορίου του φλοιού μπορεί να καλύπτουν αποστάσεις πάνω από 350 χλμ.



Οι βαθυμετρικές μετρήσεις, σε αντίθεση με τις σεισμικές μεθόδους μέτρησης, δεν εξετάζουν το βυθό αλλά την επιφάνεια του πυθμένα του ωκεανού. Ένας ηχητικός ήχος ανεμιστήρα σαρώνει τον πυθμένα του ωκεανού και δημιουργεί έναν ακριβή τοπογραφικό χάρτη του πυθμένα του ωκεανού. Η εικόνα απεικονίζει το ερευνητικό σκάφος METEOR που συνεργάζεται με το σύστημα υδροσυστήματος STN ATLAS. Τα δεδομένα που καταγράφονται εδώ μπορούν να αποθηκευτούν ψηφιακά και να υποβληθούν σε επεξεργασία μετά. Η συσχέτιση των σεισμικών δεδομένων με βαθυμετρικά δεδομένα ευρείας περιοχής αποδίδει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη δομική κατάσταση του βυθού.

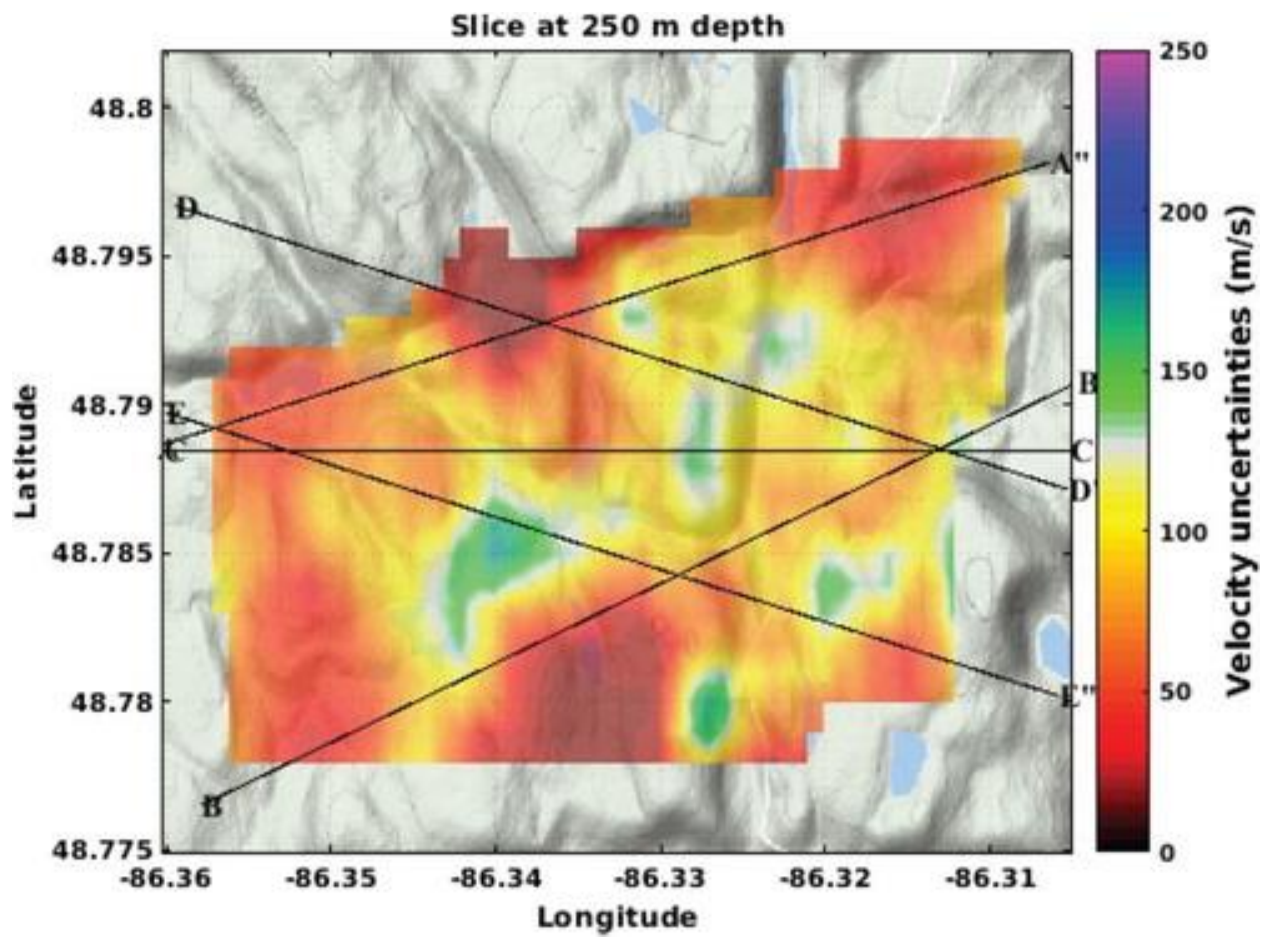
Μελλοντικές εξελίξεις στη γεωφυσική σεισμική έρευνα

Η σεισμική τεχνολογία είναι από τη φύση της δαπανηρή, το κόστος μιας νέας έρευνας υπολογίζεται σε δεκάδες εκατομμύρια δολάρια, ο χρόνος που χρειάζεται από το σχεδιασμό της έρευνας σε έναν γεωφυσικό όγκο μετράται σε χρόνια, με κίνδυνο να μην είναι χρήσιμα τα αποτελέσματα της έρευνας. Εντούτοις σε μια παραγωγική λεκάνη ερευνών η αποτυχία αυξάνει εάν δεν διερευνήσουμε-διακινδυνεύσουμε νέες μεθόδους έρευνας.

Τα τελευταία 20-30 χρόνια, το Ηνωμένο Βασίλειο έχει διαδραματίσει ηγετικό ρόλο στην ανάπτυξη, ανάπτυξη και ανάλυση παθητικών σεισμικών δεδομένων. Οι μέθοδοι που αναπτύσσονται κυμαίνονται από τη μικροσκοπική παρακολούθηση σφαλμάτων, ηφαιστειών ή παραγωγής ενέργειας, έως την απεικόνιση μεγάλης κλίμακας του φλοιού και μανδύα για την κατανόηση των τεκτονικών / γεωδυναμικών διεργασιών. Πρόσφατα αναπτύσσονται τεχνικές προς τη συλλογή μεγάλων συνόλων δεδομένων, τόσο χωρικά και χρονικών. Αυτό περιλαμβάνει μια αυξανόμενη χρήση αισθητήρων γης και θαλάσσιας απόκτησης μέσω σεισμόμετρων βυθού ωκεανού ή αυτόνομων drone.

Η παθητική σεισμική αναδυόμενη τεχνολογία αρχίζει να παράγει μερικά ενδιαφέροντα αποτελέσματα, αν και γενικά δεν είναι σε θέση να παράγει δεδομένα ίδιας ποιότητας ή βάθους με τα ενεργά συστήματα πηγής. Παρόλα αυτά, η παθητικό σεισμική μέθοδος, λόγω του χαμηλότερου κόστους και του μικρού περιβαλλοντικού αποτυπώματος, θα μπορούσε ενδεχομένως να υιοθετηθεί σε περιπτώσεις που είναι ασύμφορες για άλλες μεθόδους.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα βάθος από μια παθητική σεισμική δοκιμαστική έρευνα.



Βιβλιογραφία:

The Founders of Seismology, by Charles Davison, Arno Press, New York, 1978.

"Marine Seismic Survey Techniques, Methods Development"

https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/GG_Geophysik/Methoden/Seismische_Verfahren/seismische_verfahren_node_en.html.

<https://seg.org/Events/SEG-Live/session/seismic-technology-in-northern-european-waters-and-the-prevalence-of-multiples-1>

<https://nagedinburgh.wordpress.com/>