

Γεωφυσική (Υ4202)

Άσκηση 9 – Εργασία Υπαίθρου- Πανεπιστημιούπολη

Τρίτη 26/05/2026 (10:00 – 12:00 & 12:00-14:00)

Σκοπός της Άσκησης

Στο πλαίσιο του Εργαστηρίου της Γεωφυσικής, παρουσιάζονται μερικές βασικές γεωφυσικές και γεωδαιτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της δομής και της δυναμικής του υπεδάφους. Συγκεκριμένα, γίνεται συνοπτική εισαγωγή και παρουσίαση στις βαρυτικές και μαγνητικές μεθόδους διασκόπησης, στις μετρήσεις GPS/GNSS για τον προσδιορισμό εδαφικών μετακινήσεων (και του τανυστή παραμόρφωσης) και στη σεισμική διασκόπηση ελεγχόμενης πηγής.

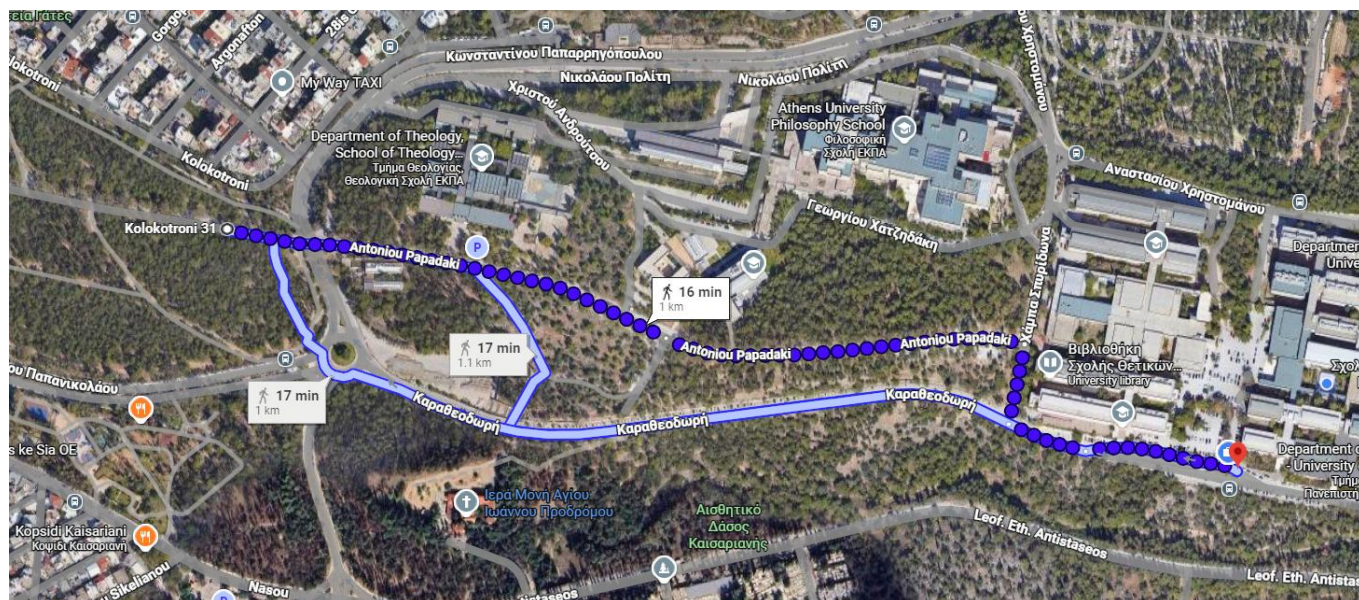
Παρουσιάζονται τα βασικά όργανα που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση, όπως το βαρυτόμετρο, το μαγνητόμετρο, οι δέκτες GPS/GNSS, τα γεωφώνα και οι σεισμικές πηγές, καθώς και ο τρόπος συλλογής δεδομένων. Η εξοικείωση με τις αρχές λειτουργίας των οργάνων, τον τρόπο συλλογής των δεδομένων και τη βασική ερμηνεία των μετρήσεων αποσκοπεί να κατανοήσουν οι εκπαιδευόμενοι/ες πώς οι γεωφυσικές παρατηρήσεις συνδέονται με πραγματικές γεωλογικές δομές και γεωδυναμικές διεργασίες.

Μέθοδοι που θα παρουσιαστούν:

- Βαρυτική μέθοδος: Βαρυτόμετρο LaCoste & Romberg Model G-496
- Μαγνητική Μέθοδος: Πρωτονιακό Μαγνητόμετρο Geometrics G856 & Μαγνητόμετρο Οπτικής Άντλησης Geometrics G858
- Δορυφορικές Γεωδαιτικές μετρήσεις με δέκτη GPS: Leica SR299
- Σεισμική Διασκόπηση Ελεγχόμενης Σεισμικής Πηγής

Τοποθεσία εκτέλεσης της Άσκησης

Η άσκηση θα πραγματοποιηθεί στην περιοχή πάνω από το Τούνελ της Φιλοσοφικής, όπου υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης τόσο με όχημα όσο και πεζή.



1. Βαρυτική μέθοδος

Η αρχή λειτουργίας του βαρυτόμετρου βασίζεται στη μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας, δηλαδή της τιμής g , σε ένα συγκεκριμένο σημείο της επιφάνειας της Γης.

Στη γεωφυσική διασκόπηση, το βαρυτόμετρο καταγράφει πολύ μικρές μεταβολές της βαρύτητας από θέση σε θέση. Οι μεταβολές αυτές, γεωλογικά, οφείλονται σε διαφορές της πυκνότητας των πετρωμάτων στο υπέδαφος. Για παράδειγμα, ένα πυκνό σώμα, όπως ένα βασικό μαγματικό πέτρωμα ή μια μεταλλοφορία, προκαλεί συνήθως θετική βαρυτική ανωμαλία. Αντίθετα, ένα λιγότερο πυκνό σώμα, όπως μια λεκάνη με χαλαρά ιζήματα, ένα κενό ή μια ζώνη έντονης εξαλλοίωσης, μπορεί να προκαλέσει αρνητική βαρυτική ανωμαλία.

Μετρούμενη βαρύτητα = Ευρεία βαρυτική ανωμαλία (κανονικού γήινου πεδίου) + τοπική βαρυτική ανωμαλία

Το βαρυτόμετρο είναι πολύ ευαίσθητο όργανο και λειτουργεί, στις περισσότερες γεωφυσικές εφαρμογές, σαν ένα σύστημα μάζας-ελατηρίου. Μια μικρή μάζα βρίσκεται αναρτημένη σε ελατήριο. Όταν η βαρύτητα αλλάζει ελαφρά από σημείο σε σημείο, αλλάζει και η δύναμη που ασκείται στη μάζα. Αυτό προκαλεί πολύ μικρή μεταβολή στη θέση ή στην τάση του ελατηρίου, την οποία το όργανο μετατρέπει σε τιμή της βαρύτητας.

Οι βαρυτικές μετρήσεις πραγματοποιούνται σε προκαθορισμένα σημεία κανάβου ή κατά μήκος γραμμών διασκόπησης. Κατά την επεξεργασία εφαρμόζονται διορθώσεις για παράγοντες που δεν σχετίζονται άμεσα με τη γεωλογία, όπως το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος, η τοπογραφία, οι παλιρροϊκές μεταβολές και η ολίσθηση του οργάνου. Μετά τις διορθώσεις παράγονται χάρτες βαρυτικών ανωμαλιών, με τελικό αποτέλεσμα τον χάρτη Τοπικής Ανωμαλίας Bouguer, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία της υπεδαφικής δομής και σχετίζονται με μεταβολές της πυκνότητας στο υπέδαφος.

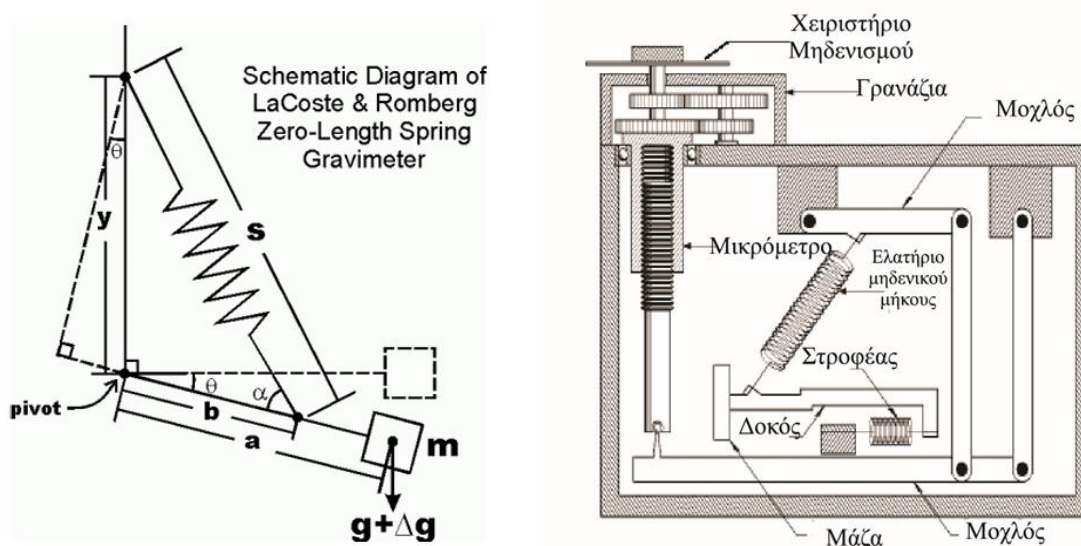
Το Βαρυτόμετρο LaCoste & Romberg Model G-496

Το LaCoste & Romberg Model G είναι ένα κλασικό, σχετικό βαρυτόμετρο. Δεν μετρά την απόλυτη τιμή της βαρύτητας, αλλά τις διαφορές της επιτάχυνσης της βαρύτητας από σταθμό σε σταθμό. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται σε ένα πολύ ευαίσθητο, μηχανικό σύστημα μάζας - ελατηρίου, αλλά με ειδική διάταξη που ονομάζεται «μηδενικού-μήκους ελατήριο».

Μεταβολή της βαρύτητας → μικρή μετακίνηση της μάζας λόγω διαφορετικής έλξης → μεταβολή της δύναμης στο ελατήριο για εξισορρόπηση μάζας → ένδειξη της διαφοράς g

Στο εσωτερικό του οργάνου υπάρχει μια μικρή μάζα αναρτημένη σε ειδικό ελατήριο. Όταν η τιμή της βαρύτητας αυξηθεί, η μάζα τείνει να μετακινηθεί ελαφρά προς τα κάτω. Όταν η βαρύτητα μειωθεί, η δύναμη πάνω στη μάζα μειώνεται. Το όργανο είναι σχεδιασμένο ώστε αυτές οι πολύ μικρές μεταβολές να αντισταθμίζονται με μηχανικό τρόπο και να μετατρέπονται σε αναγνώσιμη τιμή.

Κατά τη μέτρηση, ο χειριστής οριζοντιώνει προσεκτικά το όργανο και ρυθμίζει τον μηχανισμό ώστε η εσωτερική μάζα να επανέλθει στη θέση ισορροπίας. Η ρύθμιση που απαιτείται για να επανέλθει η μάζα αποτελεί την ένδειξη της μεταβολής της βαρύτητας.



Αρχή λειτουργίας βαρυτομέτρου LaCoste & Romberg

2. Μαγνητική Μέθοδος

Η μαγνητική διασκόπηση βασίζεται στην ιδέα ότι διαφορετικά πετρώματα επηρεάζουν διαφορετικά το τοπικό μαγνητικό πεδίο λόγω της διαφορετικής μαγνητικής τους επιδεκτικότητας (δηλαδή της ικανότητας τους να μαγνητίζονται και να δημιουργούν τοπικά ένα δικό τους [δευτερεύον] μαγνητικό πεδίο). Ένα μαγνητόμετρο είναι ένα όργανο που μετρά την ένταση του γήινου μαγνητικού πεδίου και χρησιμοποιείται στη γεωφυσική διασκόπηση για την επί τόπου διεξαγωγή τέτοιων μετρήσεων. Οι μικρές μεταβολές της έντασης του μαγνητικού πεδίου που προκαλούνται από τα πετρώματα μπορούν να χαρτογραφηθούν και να ερμηνευθούν γεωλογικά.

Στις μαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης, πραγματοποιούνται μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος προκαθορισμένων γραμμών ή σε κάνναβο σημείων στην επιφάνεια του εδάφους. Οι μετρήσεις μπορεί να γίνουν πεζή, με όχημα, από αεροσκάφος ή drone. Η χρήση και δεύτερου μαγνητόμετρο ως σταθμός βάσης, κρίνεται απαραίτητη ώστε να καταγράφονται οι ημερήσιες μεταβολές του γήινου μαγνητικού πεδίου και να διορθώνονται τα δεδομένα.

Μετά τη συλλογή των μετρήσεων, εφαρμόζονται διορθώσεις αφαιρείται η τιμή που παρουσιάζει το κύριο μαγνητικό πεδίο της Γης σε κάθε σημείο μέτρησης την στιγμή της μέτρησης και παράγονται χάρτες μαγνητικών ανωμαλιών. Η χαρτογράφηση των ανωμαλιών αναδεικνύει περιοχές όπου το υπέδαφος έχει διαφορετικές μαγνητικές ιδιότητες σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο. Η ερμηνεία τους βοηθά στον εντοπισμό γεωλογικών σχηματισμών ή θαμμένων κατασκευών και αντικειμένων που παρουσιάζουν μαγνητική επιδεκτικότητα ή τεκτονικών δομών που επιδρούν στην υπεδαφική κατανομή της. Τέτοιοι σχηματισμοί μπορεί να είναι βασικά ή υπερβασικά πετρώματα, ηφαιστειακές διεισδύσεις, μεταλλοφορίες, αρχαιολογικές δομές ή μεταλλικά αντικείμενα ενώ, τα ρήγματα συγκαταλέγονται ανάμεσα στις τεκτονικές δομές που μπορούν να εντοπιστούν.

Μαγνητόμετρα

Η αρχή λειτουργίας ενός μαγνητόμετρου βασίζεται στη μέτρηση της έντασης ή/και της διεύθυνσης του μαγνητικού πεδίου σε ένα σημείο.

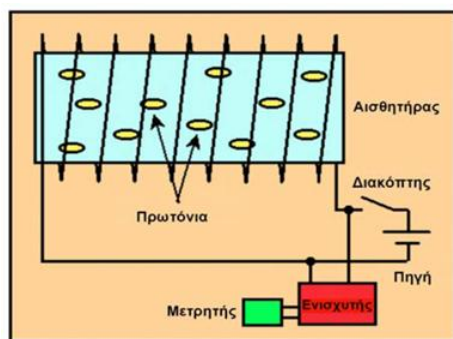
Στη γεωφυσική, το μαγνητόμετρο μετρά συνήθως το ολικό μαγνητικό πεδίο της Γης. Αν στο υπέδαφος υπάρχουν πετρώματα με μαγνητικά ορυκτά, όπως ο μαγνητίτης, τότε αυτά μαγνητίζονται από το γήινο μαγνητικό πεδίο και δημιουργούν ένα μικρό πρόσθετο τοπικό πεδίο. Το μαγνητόμετρο καταγράφει το άθροισμα:

Μετρούμενο πεδίο = Κύριο Γήινο μαγνητικό πεδίο + Τοπική μαγνητική ανωμαλία

Ανάλογα με τον τύπο του μαγνητομέτρου, η μέτρηση γίνεται με διαφορετικό φυσικό μηχανισμό.

A. Πρωτονιακά Μαγνητόμετρα

Σε ένα πρωτονιακό μαγνητόμετρο, τα πρωτόνια ενός υγρού ευθυγραμμίζονται προσωρινά με ένα τεχνητό μαγνητικό πεδίο. Όταν το πεδίο αυτό διακοπεί, τα πρωτόνια αρχίζουν να περιστρέφονται γύρω από τη διεύθυνση του εξωτερικού γήινου μαγνητικού πεδίου. Η συχνότητα αυτής της περιστροφής είναι ανάλογη της έντασης του μαγνητικού πεδίου, οπότε από τη συχνότητα υπολογίζεται η τιμή του πεδίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα πρωτονιακού μαγνητόμετρου είναι το Geometrics G856.



Πρωτονιακό Μαγνητόμετρο Geometrics G856

B. Μαγνητόμετρο Οπτικής Άντλησης

Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα Καισίου (Cesium Sensor) στο μαγνητόμετρο G-858 βασίζεται στο φαινόμενο της οπτικής άντλησης (optically pumped cesium vapor magnetometer).

Ο αισθητήρας περιέχει ατμούς καισίου μέσα σε ειδικό θάλαμο. Το καισίο είναι κατάλληλο για μαγνητικές μετρήσεις, επειδή τα ηλεκτρόνια του αντιδρούν με συγκεκριμένο και προβλέψιμο τρόπο όταν βρίσκονται μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Η λειτουργία γίνεται ως εξής: Μια πηγή φωτός, συνήθως λυχνία καϊσίου, φωτίζει τους ατμούς καϊσίου. Με αυτόν τον τρόπο τα άτομα μεταφέρονται σε συγκεκριμένες ενεργειακές καταστάσεις. Η διαδικασία αυτή λέγεται οπτική άντληση. Η επίδραση του εξωτερικού γήινου μαγνητικού πεδίου προκαλεί διαχωρισμό των ενεργειακών επιπέδων των ατόμων και επηρεάζει τη συμπεριφορά τους. Ως αποτέλεσμα είναι ο συντονισμός του συστήματος σε συγκεκριμένη συχνότητα. Το όργανο (σύστημα) ανιχνεύει μια χαρακτηριστική συχνότητα, τη λεγόμενη συχνότητα Larmor. Η συχνότητα αυτή είναι ανάλογη της έντασης του εξωτερικού γήινου μαγνητικού πεδίου. Επειδή η σχέση μεταξύ συχνότητας και μαγνητικού πεδίου είναι γνωστή, το όργανο μετατρέπει τη μετρούμενη συχνότητα σε τιμή του ολικού μαγνητικού πεδίου.



Μαγνητόμετρο Οπτικής Άντλησης (Geometrics G858)

Ο αισθητήρας Καϊσίου (Cesium Sensor) δεν μετρά απευθείας το πεδίο ως δύναμη, αλλά μετρά μια συχνότητα συντονισμού των ατόμων καϊσίου, η οποία είναι ανάλογη της έντασης του γήινου μαγνητικού πεδίου. Τα μαγνητόμετρα καϊσίου, όπως το Geometrics G-858, έχουν πολύ μεγάλη ευαισθησία και χρησιμοποιούνται σε γεωφυσικές διασκοπήσεις, αρχαιομετρία, περιβαλλοντικές έρευνες και εντοπισμό θαμμένων μαγνητικών σωμάτων.

3. Μετρήσεις εδαφικής παραμόρφωσης – Δορυφορική Γεωδαισία GPS/GNSS (Global Position System / Global Navigation Satellite System)

Ο προσδιορισμός της εδαφικής παραμόρφωσης με δορυφορική γεωδαισία GPS/GNSS βασίζεται στην περιοδική ή συνεχή μέτρηση της θέσης γεωδαιτικών σταθμών με μεγάλη ακρίβεια. Με την επεξεργασία των δορυφορικών παρατηρήσεων υπολογίζονται οι συντεταγμένες κάθε σταθμού σε διαφορετικές χρονικές εποχές και, συγκρίνοντάς τες, προσδιορίζονται οι μετακινήσεις του εδάφους στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης. Από τις χρονοσειρές θέσης μπορούν να εκτιμηθούν ταχύτητες, επιταχύνσεις, έντονα επεισόδια παραμόρφωσης (συν-σεισμική κίνηση), να υπολογισθεί ο τανυστής παραμόρφωσης και το πεδίο παραμόρφωσης μιας περιοχής, και να συσχετισθούν με τεκτονικές διεργασίες, ηφαιστειακή δραστηριότητα, καθιζήσεις ή άλλες γεωδυναμικές διεργασίες. Η δορυφορική γεωδαισία GPS/GNSS αποτελεί βασικό εργαλείο για την παρακολούθηση ενεργών ρηγμάτων, ηφαιστείων και περιοχών με έντονη γεωλογική ή/και τεκτονική δραστηριότητα.

Μετρήσεις GPS/GNSS

Οι διαφορικές μετρήσεις GPS/GNSS είναι μετρήσεις όπου χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο δέκτες GPS/GNSS: ένας σε γνωστή θέση, που λέγεται σταθμός αναφοράς, και ένας ή περισσότεροι δέκτες σε άγνωστες θέσεις, που λέγονται κινητοί δέκτες ή “rovers”.

Η βασική ιδέα είναι ότι οι δύο δέκτες παρατηρούν τους ίδιους δορυφόρους περίπου την ίδια χρονική στιγμή. Επειδή βρίσκονται σχετικά κοντά, πολλά σφάλματα είναι σχεδόν κοινά, όπως σφάλματα τροχιάς δορυφόρων, ιονοσφαιρικές και τροποσφαιρικές καθυστερήσεις, και σφάλματα ρολογιών. Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του γνωστού σταθμού με αυτές του άγνωστου σημείου, τα κοινά σφάλματα μειώνονται σημαντικά.

Δέκτης σε γνωστή θέση + δέκτης σε άγνωστη θέση → σύγκριση μετρήσεων → ακριβέστερη θέση

Οι διαφορικές μετρήσεις μπορούν να γίνουν σε στατική μορφή, όπου οι δέκτες παραμένουν ακίνητοι για αρκετό χρόνο, ή σε κινηματική μορφή, όπου ο “rover” κινείται και προσδιορίζεται συνεχώς η θέση του. Όταν οι διορθώσεις εφαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο, η τεχνική ονομάζεται RTK. Όταν τα δεδομένα επεξεργάζονται αργότερα στο γραφείο, μιλάμε για post-processing.

Στη γεωδαισία και στη γεωφυσική, οι διαφορικές μετρήσεις GPS/GNSS χρησιμοποιούνται για ακριβή προσδιορισμό συντεταγμένων, παρακολούθηση εδαφικής παραμόρφωσης, υπολογισμό μετακινήσεων, ταχυτήτων σταθμών, καθιζήσεων ή ανυψώσεων. Χάρη στη διαφορική επεξεργασία, η ακρίβεια μπορεί να φτάσει έως και λίγα χιλιοστά, ανάλογα με τη διάρκεια των μετρήσεων, τον εξοπλισμό και τη μέθοδο επεξεργασίας.



Δορυφορικές γεωδαιτικές μετρήσεις GPS/GNSS σε μη-μόνιμο σταθμό και σε μόνιμο σημείο.

Δέκτες GPS/GNSS

Ένας δέκτης GPS/GNSS λειτουργεί λαμβάνοντας ραδιοσήματα από δορυφόρους του συστήματος δορυφορικής πλοήγησης (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS) , οι οποίοι κινούνται σε γνωστές τροχιές γύρω από τη Γη.

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει συνεχώς ένα σήμα που περιέχει δύο βασικές πληροφορίες: τη χρονική στιγμή εκπομπής του σήματος και τη θέση του δορυφόρου εκείνη τη στιγμή. Ο δέκτης συγκρίνει τον χρόνο εκπομπής με τον χρόνο λήψης και υπολογίζει πόσο χρόνο χρειάστηκε το σήμα για να φτάσει σε αυτόν. Επειδή το σήμα ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός, ο χρόνος αυτός μετατρέπεται σε απόσταση δορυφόρου-δέκτη.

Για να προσδιοριστεί η θέση του δέκτη, απαιτούνται σήματα από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους. Με τις αποστάσεις αυτές ο δέκτης υπολογίζει τις τρεις συντεταγμένες του, δηλαδή γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και υψόμετρο, καθώς και τη διόρθωση του εσωτερικού του ρολογιού.

GPS/GNSS = μέτρηση χρόνου διαδρομής σήματος -> υπολογισμός αποστάσεων -> προσδιορισμός θέσης

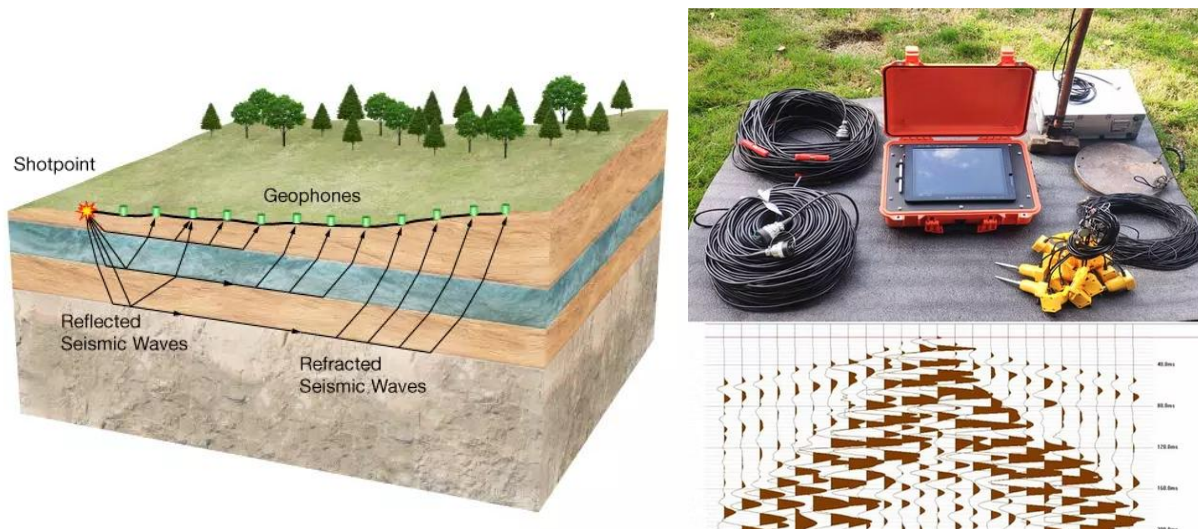
Στις γεωδαιτικές εφαρμογές, οι δέκτες GPS/GNSS χρησιμοποιούν πιο ακριβείς μετρήσεις, όπως τη φάση του φέροντος κύματος, ώστε να επιτυγχάνεται ακρίβεια χιλιοστών έως εκατοστών μετά από κατάλληλη επεξεργασία.

4. Σεισμική Διασκόπηση Ελεγχόμενης Σεισμικής Πηγής

Η σεισμική διασκόπηση ελεγχόμενης σεισμικής πηγής είναι γεωφυσική μέθοδος κατά την οποία δημιουργούνται τεχνητά σεισμικά κύματα στην επιφάνεια ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και καταγράφεται η διάδοσή τους στο υπέδαφος. Ως πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σφυρί, πτώση βάρους, ή μικρή ελεγχόμενη έκρηξη, ενώ η καταγραφή γίνεται με γεώφωνα ή σεισμόμετρα τοποθετημένα σε προκαθορισμένες θέσεις. Τα κύματα διαδίδονται μέσα στα γεωλογικά στρώματα, ανακλώνται ή διαθλώνται σε επιφάνειες όπου αλλάζουν οι ελαστικές ιδιότητες και οι ταχύτητες διάδοσης, και επιστρέφουν στην επιφάνεια όπου καταγράφονται.

Οι βασικές διατάξεις περιλαμβάνουν μια γραμμική διάταξη γεωφώνων, όπου τα γεώφωνα τοποθετούνται κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής με σταθερή απόσταση μεταξύ τους, και η πηγή ενεργοποιείται σε ένα ή περισσότερα σημεία της γραμμής. Στη σεισμική διάθλαση, η πηγή τοποθετείται συνήθως στα άκρα ή και εκτός της γραμμής, ώστε να μελετηθούν τα πρώτα κύματα άφιξης και να υπολογιστούν οι ταχύτητες και τα βάθη των στρωμάτων. Στη σεισμική ανάκλαση, χρησιμοποιούνται περισσότερα σημεία πηγής και δέκτες με μικρότερες αποστάσεις, ώστε να καταγραφούν τα ανακλώμενα κύματα από βαθύτερες ασυνέχειες. Υπάρχουν επίσης διατάξεις πολλαπλών καναλιών, 2D γραμμές και 3D κάνναβοι, όπου πηγές και δέκτες κατανέμονται σε επιφάνεια για λεπτομερέστερη απεικόνιση του υπεδάφους.

Η ενεργητική αυτή μέθοδος βασίζεται στη δημιουργία γνωστού σεισμικού σήματος, στην καταγραφή του από γεώφωνα και στην ανάλυση των χρόνων άφιξης και των κυματομορφών, ώστε να εξαχθούν πληροφορίες για τη δομή, το πάχος, τη γεωμετρία και τις μηχανικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών.



Σεισμική διασκόπηση ελεγχόμενης σεισμικής πηγής: αρχή λειτουργίας και εξοπλισμός