



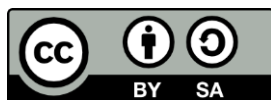
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΤΕ**

# **ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

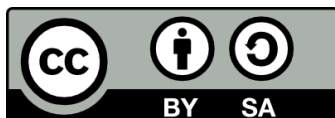
**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
κ. ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ**

**ΣΕΡΡΕΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015**



## Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

## Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

Το υπόγειο νερό αποτελεί μέρος του νερού της Γής το οποίο ανακυκλώνεται συνεχώς μέσω του υδρολογικού κύκλου. Το νερό στο υπέδαφος συγκεντρώνεται και κυκλοφορεί επιλεκτικά μέσα σε ορισμένους μόνο γεωλογικούς σχηματισμούς που λέγονται υδροφορείς. Οι υδροφόροι σχηματισμοί στην περίπτωση αυτή, λειτουργούν σαν αγωγοί για την κίνηση του νερού στο υπέδαφος και σαν αποθήκες για την αποθήκευση του.

Το νερό του υπεδάφους προέρχεται από νερό της βροχής που κινείται κατακόρυφα και εισέρχεται στο έδαφος (κατείσδυση). Προέρχεται επίσης από διήθηση (οριζόντια κυρίως κίνηση) του νερού που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους σε ποτάμια ή λίμνες

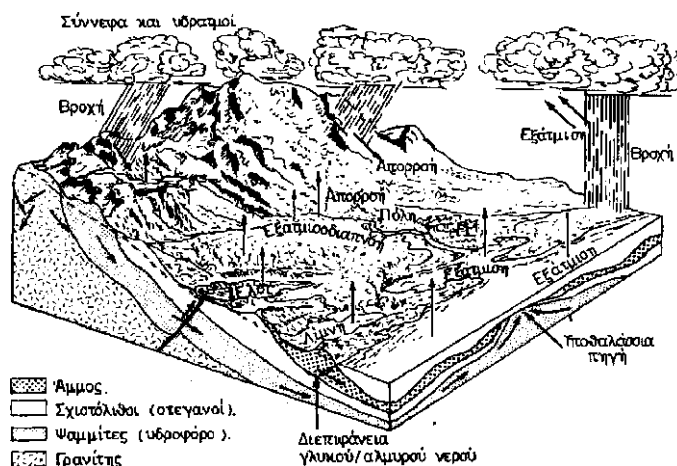
Το υπόγειο νερό επιστρέφει στην επιφάνεια του εδάφους και στην ατμόσφαιρα μέσω των πηγών ή εξαιτίας της άντλησης και της χρησιμοποίησης του στα πλαίσια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Υπόγεια νερά συναντώνται σε γεωλογικούς σχηματισμούς διαφόρων τύπων. Συναντώνται τόσο σε χαλαρούς σχηματισμούς (εδάφη) όσο και σε πετρώματα διαφόρων ειδών.

Οι παράμετροι που καθορίζουν την ποσότητα και την ποιότητα του υπόγειου νερού καθώς και την ταχύτητα με την οποία αυτό κινείται στο υπέδαφος, εξαρτώνται από τα φυσικά, τα πετρογραφικά και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών του υπεδάφους.

#### 8.1. Πορώδες

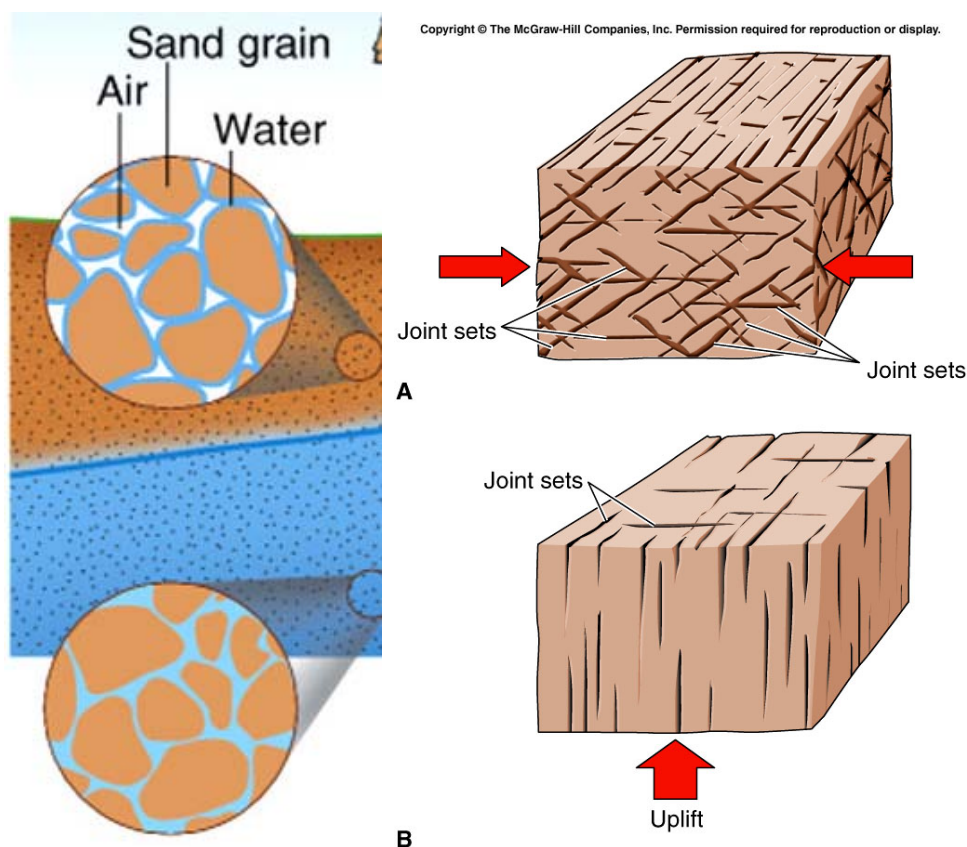
Το νερό μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς καταλαμβάνει τον κενό χώρο που υπάρχει ανάμεσα στα δομικά τους στοιχεία και κάτω από κατάλληλες συνθήκες κινείται μέσα από τον χώρο αυτό.



Το πορώδες (βλ. παρ. 5.1.2), δείχνει τον όγκο του μέρους εκείνου του γεωλογικού σχηματισμού που δεν καταλαμβάνεται από ορυκτή ύλη και παραμένει κενός. Το πορώδες (η) προσδιορίζεται ως το επί τοις εκατό ποσοστό του όγκου των κενών ενός σχηματισμού προς τον συνολικό του όγκο.

Τα κενά δημιουργούνται στους γεωλογικούς σχηματισμούς είτε πρωτογενώς ή δευτερογενώς και το πορώδες ονομάζεται αντίστοιχα πρωτογενές ή δευτερογενές.

Πρωτογενή χαρακτηρίζονται τα κενά που δημιουργούνται κατά τη γένεση των γεωλογικών σχηματισμών. Συναντώνται στους χαλαρούς σχηματισμούς, σε ορισμένα ιζηματογενή και σε λίγα πυριγενή πετρώματα. Το υπόγειο νερό στους παραπάνω σχηματισμούς κινείται μέσα από τα κενά αυτά.



Δευτερογενή ονομάζονται τα κενά που εμφανίσθηκαν στα πετρώματα μετά το σχηματισμό τους. Η δημιουργία των κενών στην περίπτωση αυτή, οφείλεται στην επίδραση δυνάμεων και τάσεων στα πετρώματα και στην επακόλουθη διάρρηξή τους. Η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται μέσα από τα δίκτυα ασυνεχειών των πετρωμάτων. Συχνά τα κενά που υπάρχουν σε ένα γεωλογικό σχηματισμό δεν επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά πάντοτε υπάρχει ένα ποσοστό τους που παραμένει απομονωμένο. Αυτό το ποσοστό δεν συμμετέχει στην κυκλοφορία του υπόγειου νερού. Για να μπορεί λοιπόν να εκτιμηθεί το ποσοστό των κενών που πραγματικά συμμετέχουν στη κίνηση των υπόγειων νερών χρησιμοποιείται η έννοια του

Το γεγονός ότι ένας γεωλογικός σχηματισμός παρουσιάζει πορώδες δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι παρουσιάζει και ενεργό πορώδες, δηλαδή ότι επιτρέπει την κυκλοφορία του υπόγειου νερού. Είναι, για την περίπτωση αυτή, χαρακτηριστικό το παράδειγμα των αργιλικών σχηματισμών.

Η άργιλος ως χαλαρός σχηματισμός παρουσιάζει πορώδες (μία τυπική τιμή είναι 42%). Τα ορυκτά που την αποτελούν όμως, έχουν την ιδιότητα να προσροφούν το νερό και να το συγκρατούν στο κρυσταλλικό τους πλέγμα με ισχυρές δυνάμεις. Το νερό που εισρέει στην άργιλο και καταλαμβάνει τα κενά της, προσροφάται και συγκρατείται εκεί χωρίς να μπορεί να διαφύγει ή να αντληθεί. Η άργιλος συνεπώς, δεν παρουσιάζει ενεργό πορώδες αφού δεν επιτρέπει τη δίοδο του νερού από μέσα της. Θεωρείται για το λόγο αυτό ως αδιαπέρατος γεωλογικός σχηματισμός.

## **8.2. Υδροπερατότητα**

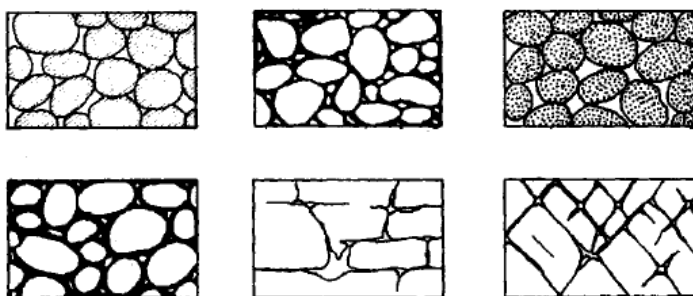
Η υδροπερατότητα εκφράζει την ευκολία με την οποία το νερό περνά μέσα από κάποιο γεωλογικό σχηματισμό. Σαν μέγεθος έχει ιδιαίτερη σημασία στις περιπτώσεις που απαιτείται στεγανοποίηση ή αποστράγγιση γεωλογικών σχηματισμών.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επιτρέπουν τη δίοδο του υπόγειου νερού ονομάζονται υδροπερατοί.

Η υδροπερατότητα εκφράζεται ποσοτικά από τον συντελεστή υδροπερατότητας (K), ο οποίος δείχνει την ταχύτητα κίνησης του νερού μέσα από τον γεωλογικό σχηματισμό και μετράται με μονάδες ταχύτητας (m/sec).

Η υδροπερατότητα ενός σχηματισμού εξαρτάται κυρίως από το πορώδες, το ενεργό πορώδες και την υδραυλική κλίση (U). Αυτή είναι ο λόγος της υψομετρικής διαφοράς (h) της στάθμης του νερού ανάμεσα σε δύο σημεία προς την οριζόντια απόσταση (d) μεταξύ των σημείων αυτών ( $U=h/d$ ). Η υδροπερατότητα εξαρτάται επίσης από την κοκκομετρική διαβάθμιση εφόσον πρόκειται για χαλαρό σχηματισμό.

Η υδροπερατότητα ενός χαλαρού γεωλογικού σχηματισμού εξαρτάται από το σχήμα, τη διάταξη και το μέγεθος των κόκκων που τον αποτελούν καθώς και από την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού του.



Σχηματικά παραδείγματα ειδών πορώδους σε διάφορα πετρώματα. (α) ίσοι σε μέγεθος κόκκοι και υψηλό πορώδες, (β) ανισομεγέθεις κόκκοι (φτωχή διαβάθμιση) και μικρό πορώδες, (γ) πορώδεις ισομεγέθεις κόκκοι-πολύ μεγάλο πορώδες, (δ) ισομεγέθεις κόκκοι που επικαλύπτονται από λεπτόκοκκο υλικό-μειωμένο πορώδες, (ε) ασβεστόλιθος-πολύ μεγάλο δευτερογενές πορώδες, (στ) δευτερογενές πορώδες εξαιτίας δημιουργίας ασυνεχειών.

Υπάρχουν μάλιστα διάφορες εμπειρικές σχέσεις που δίνουν τη δυνατότητα προσδιορισμού του συντελεστή υδροπερατότητας των χαλαρών γεωλογικών σχηματισμών. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη από αυτές είναι η εμπειρική σχέση του Hazen (1892):

$$K = 10^4 \cdot d_{10}^2$$

όπου  $K$ : ο συντελεστής υδροπερατότητας (σε m/sec) του χαλαρού σχηματισμού  
 $d_{10}$ : η διάμετρος (σε m) της βροχίδας του κόσκινου από το οποίο διέρχεται το 10% του υλικού του δείγματος.

Η υδροπερατότητα ενός βραχώδους σχηματισμού εξαρτάται κυρίως από την παρουσία πρωτογενών κενών, την πυκνότητα των διακλάσεων, το εύρος ανοίγματος τους, την παρουσία και το είδος του υλικού πληρώσεως.

Ανάλογα με τον συντελεστή υδροπερατότητάς τους οι γεωλογικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως:

πολύ υδροπερατοί, με υδροπερατότητα ( $K$ ) μεγαλύτερη από  $10^{-2}$  m/sec,

υδροπερατοί, όταν  $10^{-2}$  m/sec <  $K$   $10^{-6}$  m/sec,

λίγο περατοί, όταν  $10^{-6}$  m/sec <  $K$   $10^{-9}$  m/sec,

Με βάση την υδροπερατότητά τους οι γεωλογικοί σχηματισμοί (πετρώματα και εδάφη) χαρακτηρίζονται ως:

σχηματισμοί που δεν επιτρέπουν τη διόδο νερού από μέσα τους. Τέτοιοι σχηματισμοί είναι τα αργιλικά εδάφη, τα πυριγενή πετρώματα, τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα και από τα ιζηματογενή όσα αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από άργιλο.

Σχηματισμοί που επιτρέπουν τη διόδο του νερού όπως είναι όλοι οι κοκκώδεις σχηματισμοί και τα διαρρηγμένα πετρώματα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, εξαιτίας της παρουσίας ασυνεχειών στα περισσότερα πετρώματα, αναπτύσσεται σ' αυτά δευτερογενές πορώδες παρόλο που με βάση τον τρόπο σχηματισμού τους θεωρούνται ως

αδιαπέρατα από το νερό. Το γεγονός αυτό, έχει σαν συνέπεια την εμφάνιση σημαντικής υδροπερατότητας σε όλα αυτά τα πετρώματα όταν διατρέχονται από πυκνό δίκτυο ασυνεχειών.

Υδροπερατοί. Είναι αυτοί που επιτρέπουν το νερό να περάσει από τη μάζα τους. Υδροπερατοί χαλαροί γεωλογικοί σχηματισμοί είναι οι άμμοι, τα χαλίκια, οι κροκάλες και τα μίγματα τους. Από πετρώματα, είναι τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμίτες που εμφανίζουν πρωτογενές πορώδες και τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα) που εμφανίζουν δευτερογενές πορώδες.

Εξαιτίας της ανισοτροπίας των γεωλογικών σχηματισμών, η υδροπερατότητά τους δεν είναι σταθερή προς όλες τις κατευθύνσεις αλλά μεταβάλλεται σημαντικά από θέση σε θέση.

### **8.3. Τύποι υδροφόρων οριζόντων**

Οι υδροφόροι ορίζοντες είναι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι περιέχουν νερό που μπορεί να αντληθεί. Αυτοί έχουν συνεπώς την ικανότητα να επιτρέπουν τη δίοδο του υπόγειου νερού από τη μάζα τους. Ο υδροφόρος ορίζοντας σαν έννοια, περιλαμβάνει τόσο τον γεωλογικό σχηματισμό όσο και το νερό που βρίσκεται μέσα σ' αυτόν. Οι υδροφόροι ορίζοντες χαρακτηρίζονται ως ελεύθεροι ή ως υπό πίεση (εγκλωβισμένοι). Οι ελεύθεροι υδροφόροι ορίζοντες είναι υδροπερατοί σχηματισμοί που επικάθονται σε αδιαπέρατους από το νερό σχηματισμούς. Ένα μέρος τους είναι κεκορεσμένο σε νερό και στην ελεύθερη επιφάνειά τους η πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Η ελεύθερη επιφάνεια των υδροφόρων αυτών οριζόντων (πιεζομετρική επιφάνεια) δεν είναι επίπεδη αλλά ανώμαλη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ελεύθερη επιφάνεια βρίσκεται σε δυναμική ισορροπία. Η μορφή της επηρεάζεται από τη μορφή της επιφάνειας επαφής με τον αδιαπέρατο σχηματισμό, από τη διαπερατότητα του σχηματισμού, από διαφυγές μέσα από ρήγματα του στεγανού υποβάθρου, από αντλήσεις κ.λ.π.

Η θέση της πιεζομετρικής επιφάνειας δεν είναι επίσης σταθερή αλλά μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους εξαιτίας των βροχοπτώσεων που τροφοδοτούν με νερό τον υδροφόρο ορίζοντα.



Στους υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες ο υδροπερατός σχηματισμός παρεμβάλλεται μεταξύ δύο αδιαπέρατων από το νερό σχηματισμών και είναι κεκορεσμένος σε νερό. Η υδροστατική πίεση στην πιεζομετρική επιφάνεια των οριζόντων αυτών είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.

#### 8.4. Κίνηση του υπόγειου νερού

Τα υπόγεια νερά αποτελούν παράγοντα αστάθειας των κατασκευών που εκδηλώνεται σαν αστοχία πρανών ή παρειών εκσκαφών, εισροή νερού σε σκάμματα, παρουσία υγρασίας σε κτίρια, υποβάθμιση των μηχανικών

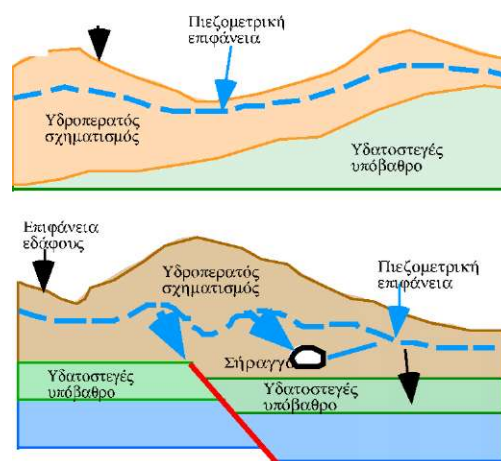
χαρακτηριστικών του υποβάθρου θεμελίωσης, κ.ά.

Γιά να μπορέσει ο μελετητής μηχανικός να προβλέψει ή να παρέμβει εάν χρειαστεί και να

επιλύσει τα τεχνικά προβλήματα που προκύπτουν από την παρουσία υπόγειου νερού, πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει τη θέση της επιφάνειας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (πιεζομετρική επιφάνεια) και να εκτιμήσει τη δυναμικότητά του (την ποσότητα του νερού που κινείται μέσα από αυτόν).

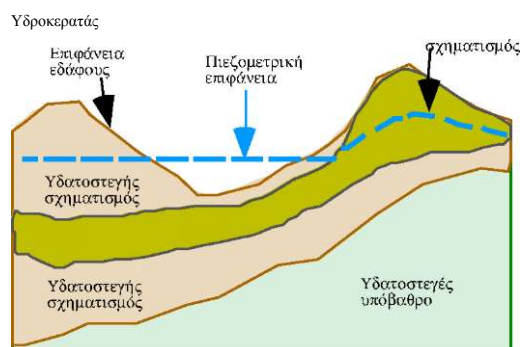
Η θέση της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα σε μία περιοχή μπορεί να προσδιορισθεί από παρατηρήσεις σε σημεία που αυτός εμφανίζεται. Τα σημεία αυτά, που ονομάζονται σημεία ύδατος, μπορεί να είναι γεωτρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή, πηγές που εμφανίζονται σε διάφορα σημεία της ή παρατηρήσεις από παλαιότερες εκσκαφές. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι δύο τελευταίες περιπτώσεις, δεδομένου ότι είναι αποτέλεσμα της παρουσίας επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος οπωσδήποτε θα επηρεάσει το τεχνικό έργο.

Από τον προσδιορισμό της θέσης της πιεζομετρικής επιφάνειας των υπόγειων νερών σε διάφορες θέσεις (τουλάχιστον τρεις), είναι δυνατόν να κατασκευασθούν ισοπιεζομετρικές καμπύλες. Αυτές περιγράφουν τη θέση της πιεζομετρικής επιφάνειας στο υπέδαφος. Οι κάθετες γραμμές στις καμπύλες αυτές, δείχνουν τη

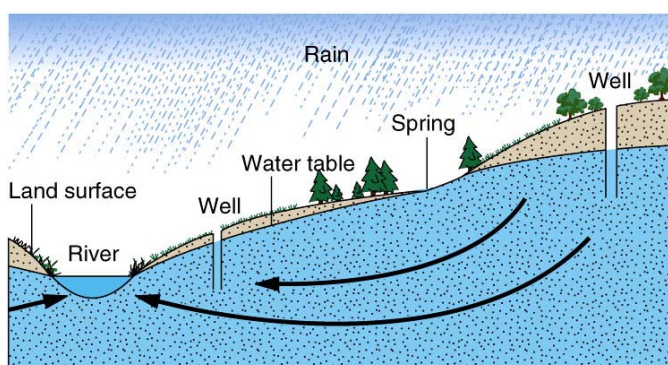


Μορφή της πιεζομετρικής επιφάνειας ελεύθερων υδροφόρων οριζόντων.

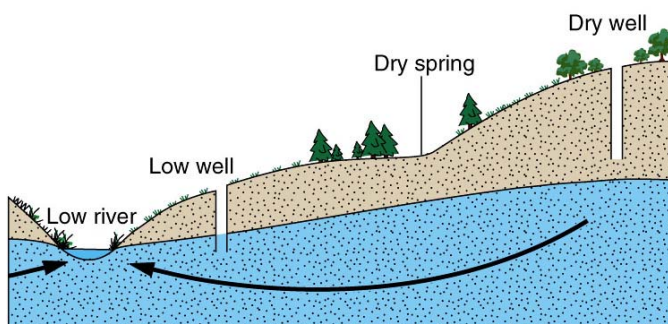
διεύθυνση κίνησης του υπόγειου νερού. Η ταχύτητα κίνησης του νερού είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πλησιέστερα μεταξύ τους βρίσκονται οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες. Εάν η θέση του υδροφόρου ορίζοντα είναι γνωστή σε τρία τουλάχιστον σημεία της ευρύτερης περιοχής του τεχνικού έργου, η διεύθυνση κίνησης του υπόγειου νερού μπορεί να προσδιορισθεί με την επίλυση του προβλήματος των τριών σημείων. Με την παραδοχή ότι η πιεζομετρική επιφάνεια στην κλίμακα του τεχνικού έργου είναι ουσιαστικά επίπεδη, η διεύθυνση κίνησης του υπόγειου νερού θα ταυτίζεται με τη μέγιστη κλίση του επιπέδου που ορίζουν τα τρία σημεία (βλέπε 10.10).



Μορφή της πιεζομετρικής επιφάνειας υδροφόρων οριζόντων υπό πίεση.



A

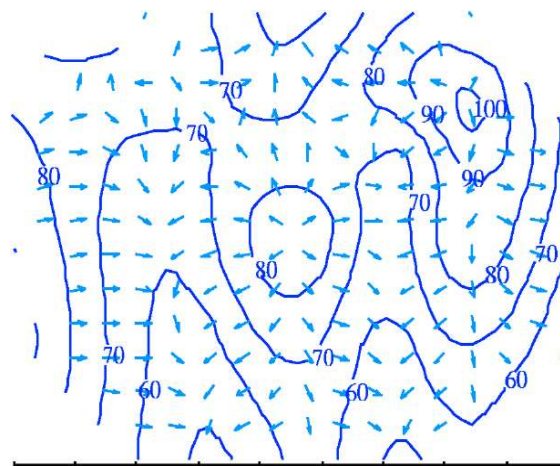


B

Υψηλή στάθμη υπόγειων νερών και εμφάνιση πηγών (A), χαμηλή στάθμη υπόγειων νερών (B).

Με τους τρόπους που περιγραφή καν πιά πάνω είναι πρακτικά δυνατόν να προσδιορισθεί η διεύθυνση κίνησης των υπόγειων νερών σε μία περιοχή. Μόνο έτσι είναι δυνατόν να σχεδιασθούν με αποτελεσματικό τρόπο οι απαραίτητες επεμβάσεις.

Όταν το υπόγειο νερό μεταβαίνει από μια περιοχή του υδροφόρου ορίζοντα σε μια άλλη με μεγαλύτερη υδροπερατότητα, τότε η ταχύτητά του αυξάνεται. Επειδή όμως η ποσότητά του, η οποία μπορεί να αποδοθεί από τον μοναδιαίο όγκο του υδροφόρου



Ισοπιεζομετρικές καμπύλες και διεύθυνση κίνησης των υπόγειων νερών.

στρώματος είναι δεδομένη, η πιεζομετρική επιφάνεια του νερού ταπεινώνεται. Το γεγονός αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στις υδρογεωτρήσεις που αποτελούν θέσεις μεγάλης υδροπερατότητας και ταχείας κίνησης του νερού.

Κατά την άντληση νερού από μία γεώτρηση, η πιεζομετρική επιφάνειά του γύρω από τη γεώτρηση παίρνει σχήμα αντεστραμμένου κώνου. Το γεγονός αυτό χρησιμοποιείται για την ταπείνωση της στάθμης των υπόγειων νερών μέσω της άντλησής τους.

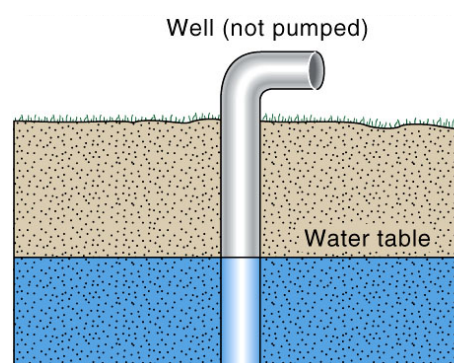
### 8.5. Υπόγεια νερά και τεχνικά έργα

Η παρουσία υπόγειων νερών έχει ιδιαίτερη σημασία στην κατασκευή οποιουδήποτε μικρού ή μεγάλου τεχνικού έργου. Στην παράγραφο αυτή δίδεται έμφαση στο ρόλο που παίζουν τα υπόγεια νερά στα μικρά τεχνικά έργα, τα οποία θεμελιώνονται στα επιφανειακά στρώματα του υπεδάφους.

Η κατασκευή οποιουδήποτε τεχνικού έργου προϋποθέτει την εκσκαφή του υπεδάφους για την εξυγίανσή του και για την κατασκευή των θεμελίων του έργου.

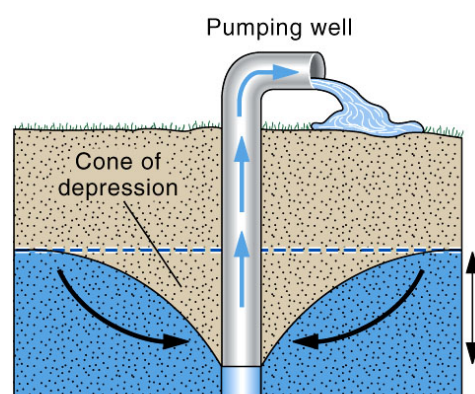
Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλότερη από το επίπεδο του δαπέδου της εκσκαφής, εμφανίζονται και λιμνάζουν

μέσα στην εκσκαφή νερά. Η παρουσία τους προκαλεί διάφορα προβλήματα ανάμεσα στα οποία είναι η υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών του υποβάθρου θεμελίωσης, η επιδείνωση της ευστάθειας των παρειών της εκσκαφής και οι τεχνικές δυσκολίες στην κατασκευή έργων από σκυρόδεμα.



A

Γιά τους παραπάνω λόγους, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση των υπόγειων νερών από το δάπεδο της εκσκαφής. Αυτή μπορεί να γίνει πριν την έναρξη των εργασιών κατασκευής και πραγματοποιείται με την υποβάθμιση της στάθμης (πιεζομετρικής επιφάνειας) των υπόγειων νερών σε επίπεδο κατώτερο από αυτό του δαπέδου της



B

Μεταβολή της θέσης της πιεζομετρικής η επιφάνειας κατά την άντληση σε υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες.

εκσκαφής.

Ο πρώτος στόχος στην περίπτωση αυτή, είναι η αποστράγγιση του υδροφόρου ορίζοντα με τη βοήθεια της βαρύτητας. Γιά το σκοπό αυτό

κατασκευάζονται περιμετρικά της θέσης της εκσκαφής τάφροι (στραγιστήρια), που ξεπερνούν σε βάθος το αντίστοιχο που προβλέπεται για την εκσκαφή. Αυτές γεμίζονται με κροκάλες που εξασφαλίζουν μεγάλη υδροπερατότητα και ταυτόχρονα συγκρατούν και τις παρειές της τάφρου. Στις τάφρους αυτές εισρέουν και συλλέγονται τα υπόγεια νερά και από εκεί στη συνέχεια απομακρύνονται.

Σε μικρές εκσκαφές, η άντληση μπορεί να γίνει μέσα από μικρά πηγάδια που κατασκευάζονται με τον τρόπο που αναφέρεται πιο πάνω στις τάφρους αποστράγγισης.

Υπάρχει όμως το ενδεχόμενο, η ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα με την παραπάνω μέθοδο να μην είναι αρκετή και η στάθμη του να εξακολουθεί να βρίσκεται πάνω από το επίπεδο του προβλεπόμενου δαπέδου της εκσκαφής. Στην περίπτωση αυτή, η παραπέρα ταπείνωση της

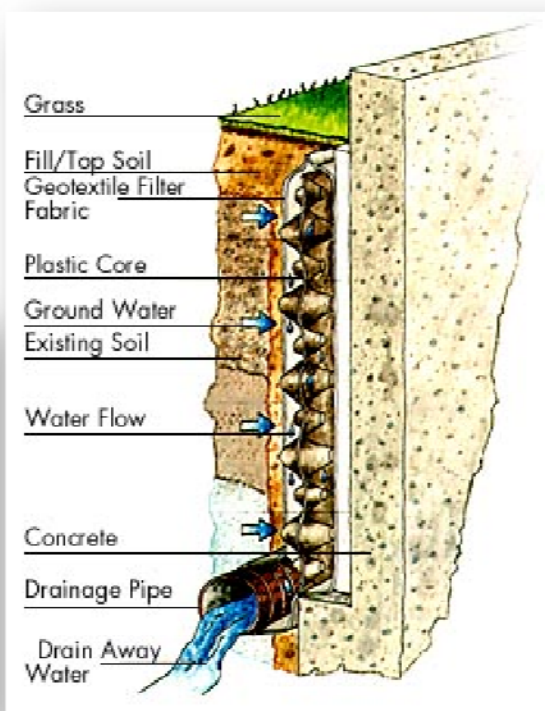
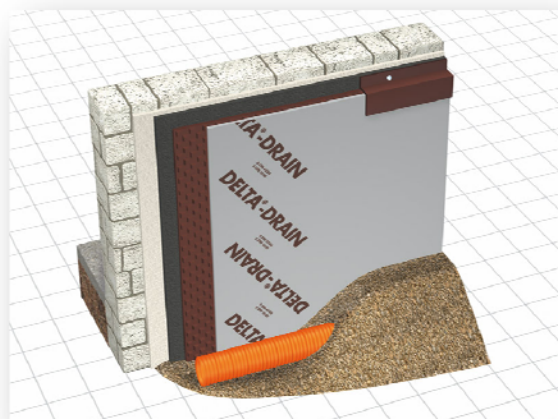
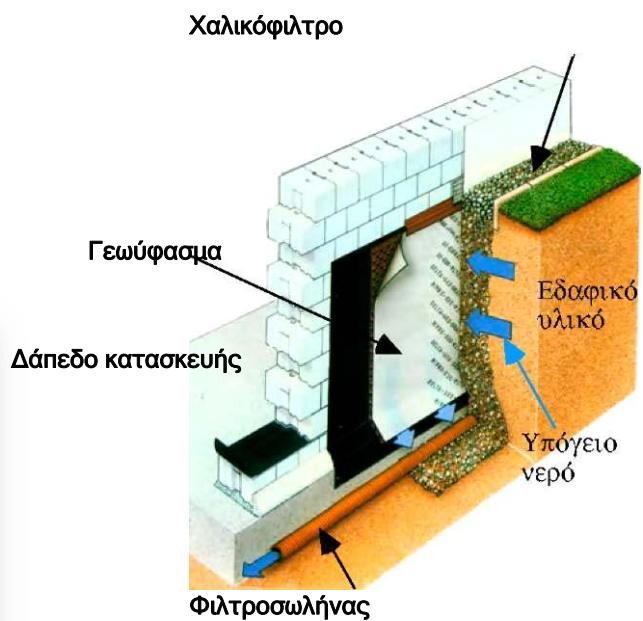
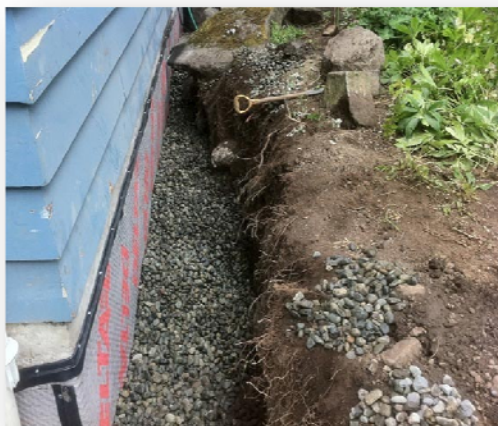
πιεζομετρικής επιφάνειας μπορεί να γίνει μέσω της άντλησης των υπόγειων νερών από μικρού βάθους γεωτρήσεις, που κατασκευάζονται στην περίμετρο της εκσκαφής. Ο αριθμός, η πυκνότητα και η διάταξη των γεωτρήσεων αυτών εξαρτάται από την υδροπερατότητα, τη δυναμικότητα και τη γεωμετρία του υδροφόρου ορίζοντα καθώς και από τη διεύθυνση κίνησης των υπόγειων νερών.

Το πρόβλημα της παρουσίας υπόγειων νερών παραμένει και μετά το τέλος των εργασιών κατασκευής, καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός τεχνικού έργου. Ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα, ένα μεγάλο και εξαιρετικά σημαντικό μέρος της κατασκευής (τα θεμέλια, τα υπόγεια κ.λ.π) θα βρίσκεται μόνιμα μέσα σε υγρό περιβάλλον. Το γεγονός αυτό μπορεί να δημιουργήσει στην κατασκευή πολλά και σημαντικά τεχνικά προβλήματα.

Η επαφή των υπόγειων νερών με την κατασκευή αποφεύγεται με την κατασκευή στραγγιστηρίων. Αυτά είναι μικρές τάφροι στο δάπεδο των οποίων έχει τοποθετηθεί ένας διάτρητος σωλήνας (φιλτροσωλήνας) και οι οποίες είναι γεμάτες με χονδρόκοκκο υλικό. Το υλικό αυτό είναι διαβαθμισμένο ώστε να αποφεύγεται η είσοδος αργιλικού υλικού που γεμίζει τους πόρους και δεν επιτρέπει τη ροή του νερού. Γιά τον ίδιο σκοπό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο γεώφασμα.

Τα τεχνικά έργα θεμελιώνονται πολύ συχνά σε περιοχές με υψηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα. Γιά τον λόγο αυτόν έχει ιδιαίτερη σημασία η μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών του υπεδάφους θεμελίωσης και κυρίως της διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων νερών στη διάρκεια του έτους. Η παρακολούθηση της στάθμης των υπόγειων νερών γίνεται με σταθμημετρήσεις που πραγματοποιούνται σε μικρής διαμέτρου γεωτρήσεις (πιεζόμετρα). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να προβλεφθούν και να αντιμετωπισθούν ενδεχόμενα προβλήματα που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο ακόμη και την ευστάθεια της

κατασκευής. Από την άλλη πλευρά, είναι δυνατόν να αποφευχθούν υπερβολικά έξοδα για εργασίες υγρομόνωσης, οι οποίες έχουν συνήθως υψηλό κόστος.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ**

### **ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ**

#### **ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ**

Οι κατολισθήσεις είναι φυσικά φαινόμενα που συνδέονται με τη μετακίνηση μικρών ή μεγάλων μαζών πετρωμάτων ή χαλαρών υλικών. Εκφράζουν τη φυσική τάση του εδάφους να επανακτήσει την ισορροπία του, η οποία διαταράχθηκε για κάποιο λόγο.

Το μέγεθος και ο συνολικός όγκος των υλικών που συμμετέχουν σε μία κατολίσθηση, κάνουν το φαινόμενο ιδιαίτερα επικίνδυνο για τα τεχνικά έργα. Γιά το λόγο αυτό, η πρόβλεψη και η αντιμετώπιση του αποτελούν σημαντικότερες παραμέτρους γιά την ασφάλεια των τεχνικών έργων.

#### **9.1. Αίτια εμφάνισης των κατολισθήσεων**

Τα αίτια στα οποία οφείλεται η εκδήλωση μιάς κατολίσθησης μπορεί να είναι φυσικά ή ανθρωπογενή. Οι παράμετροι που έχουν ιδιαίτερη σημασία σε μιά τέτοια περίπτωση συνδέονται με:

τη μορφή της επιφάνειας του εδάφους, την κλίση των πρανών, τη δίαιτα των επιφανειακών νερών, την υποσκαφή της βάσης πρανών λόγω διάβρωσης. Τη φύση των γεωλογικών σχηματισμών, τα γεωλογικά, τεκτονικά και τεχνικά τους χαρακτηριστικά και τη στρωματογραφική διάρθρωση του υπεδάφους. Την παρουσία υπόγειων νερών.

Μετεωρολογικά δεδομένα. Με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής και κυρίως με το καθεστώς των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (ένταση, ύψος βροχής, κατανομή κλ.π).

Ανθρωπογενείς επεμβάσεις. Υποσκαφή της βάσης πρανών λόγω κατασκευαστικών εργασιών, διακοπή της συνέχειας γεωλογικών σχηματισμών, φόρτιση πρανών με επιχώματα ή κατασκευές ή από απόθεση υλικών της διάβρωσης, διευθετήσεις επιφανειακών νερών, πυρκαϊές κ.λ.π. Κατολισθήσεις επίσης είναι δυνατόν να ενεργοποιηθούν εξαιτίας σεισμικής διέγερσης της περιοχής εφόσον όμως συντρέχουν και κάποιοι από τους παραπάνω λόγους.

## 9.2. Ταξινόμηση των κατολισθήσεων

Οι κατολισθήσεις ταξινομούνται με βάση κριτήρια που συνδέονται με τη μορφή, τον όγκο και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της ολισθαίνουσας μάζας υλικών. Σαν κριτήρια χρησιμοποιούνται (πρόταση πανεπιστημίου Grenoble):

η ενδεχόμενη παρουσία συγκεκριμένης επιφάνειας ολίσθησης καθώς και η μορφή της επιφάνειας αυτής.

Η εμφάνιση εσωτερικής παραμόρφωσης της μάζας που ολισθαίνει. Η ύπαρξη συγκεκριμένης ζώνης εκκίνησης του φαινομένου. Το μέγεθος της οριζόντιας συνιστώσας της μετακίνησης. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του υλικού που συμμετέχει. Η ταχύτητα εκδήλωσης του φαινομένου. Ο όγκος των μετακινούμενων υλικών. Οι καταστροφές που μπορεί να προκαλέσει.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια οι κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται ως:

ερπυσμός. Αργή και αδιόρατη κίνηση του επιφανειακού χαλαρού μανδύα ή της αποσαθρωμένης ζώνης των πετρωμάτων

Η παρουσία του γίνεται αντιληπτή από την κυματοειδή παραμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους και από την κλίση των δένδρων που κλίνουν όλα ομόρροπα προς το πρηνές που ολισθαίνει.

Ροή εδάφους. Είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε ορεινές περιοχές με ψυχρό κλίμα. Είναι η μετακίνηση του κεκορεσμένου σε νερό τμήματος του εδάφους πάνω σε μία επιφάνεια που το διαχωρίζει από το υποκείμενο παγωμένο έδαφος.

Ρεύμα εδάφους. Οφείλεται στην πλαστικότητα και στην υδαρότητα των αργιλικών σχηματισμών. Συμβαίνουν σε αργιλικά εδάφη και σε πετρώματα με υψηλό ποσοστό αργίλου. Είναι ροές λάσπης που συμπαρασύρει διάφορα υλικά κατά τη γρήγορη μετακίνησή της προς τα κατόντη. Η μετακίνηση αυτή γίνεται κυρίως μέσω του υδρογραφικού δικτύου και τα υλικά καταλήγουν συνήθως στη μορφολογική του έξοδο.

Καταπτώσεις. Οι αποσπάσεις τεμαχών πετρώματος και η πτώση τους από τα πρηνή. Συμβαίνουν τόσο σε βραχώδεις σχηματισμούς όσο και σε συνεκτικά εδάφη. Καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξή τους παίζει ο προσανατολισμός των διακλάσεων σε σχέση με τον προσανατολισμό του πρηνούς, η πυκνότητά τους, η παρουσία υπόγειων νερών και η φύση των γεωλογικών σχηματισμών.



Η πιθανή εμφάνιση κατολίσθησης σε κάποια περιοχή μπορεί να προβλεφθεί από ορισμένα φαινόμενα που προηγούνται. Τα φαινόμενα αυτά είναι η κλίση των δένδρων του πρανούς και η εμφάνιση μικροπτυχώσεων και μικρών ρωγμών στην επιφάνεια του εδάφους, οι οποίες είναι παράλληλες με την παράταξη του πρανούς. Χαρακτηριστικό επίσης φαινόμενο είναι και η εμφάνιση βαθειών ρωγμών στην κεφαλή του πρανούς, οι οποίες μερικές φορές συνοδεύονται από σχετική μετακίνηση με αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας αναβαθμίδας με ύψος μερικών εκατοστών.



### 9.3. Μέτρα προστασίας και επεμβάσεις σταθεροποίησης

Για την αντιμετώπιση οποιουδήποτε κατολισθητικού φαινομένου, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο καθορισμός των παραγόντων που το προκαλούν, η διαπίστωση του όγκου του υλικού που μετακινείται και ο

προσδιορισμός της γεωμετρίας της επιφάνειας ολίσθησης. Τα παραπάνω αποτελούν το αντικείμενο ειδικής τεχνικογεωλογικής μελέτης ευστάθειας του πρανούς.

Με βάση τις παραμέτρους που προκαλούν την κατολίσθηση, οι επεμβάσεις μπορεί να είναι βελτίωση της γεωμετρίας του πρανούς (βελτίωση της κλίσης, μείωση του ύψους), αποστράγγιση των επιφανειακών και των υπόγειων νερών, φόρτιση της βάσης, αποφόρτιση της κεφαλής, κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, κατασκευή πασσάλων κ.λ.π. Οι παραπάνω λύσεις σε συνδυασμό με τις τεχνικές δυνατότητες που υπάρχουν και τον διαθέσιμο προϋπολογισμό, βοηθούν στην επιλογή των καταλληλότερων επεμβάσεων σταθεροποίησης.

Ειδικότερα για την αντιμετώπιση καταπτώσεων, που είναι από τις συνηθέστερες μορφές αστοχίας σε μικρά τεχνικά έργα, λαμβάνονται υπόψη ο βαθμός χαλάρωσης του πετρώματος, η κλίση του πρανούς, το είδος του τεχνικού έργου που απειλείται, οι τεχνικές δυνατότητες και ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

Οι επεμβάσεις που μπορεί να γίνουν είναι η βελτίωση της κλίσης του πρανούς, η προληπτική αφαίρεση χαλαρωμένων τμημάτων του πετρώματος, η αποστράγγιση των επιφανειακών και των υπόγειων νερών, η ήλωση των χαλαρωμένων επιφανειακών τεμαχίων με τη μάζα του υγιούς πετρώματος, η επίστρωση του πρανούς με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και η τοποθέτηση εφαιρόμενων στο πρανές πλεγμάτων για τη συγκράτηση των προϊόντων των καταπτώσεων.



Επικείμενη κατολίσθηση του επιφανειακού χαλαρού μανδύα πάνω στο βραχώδες υπόβαθρο. Αιτία είναι η υποσκαφή του πόδα του πρανούς λόγω διάβρωσης. Στην κεφαλή της ολίσθησης διακρίνεται η χαρακτηριστική αναβαθμίδα.

## ΕΚΣΚΑΦΕΣ

Γιά την κατασκευή οποιουδήποτε τεχνικού έργου είναι απαραίτητη η εξυγίανση και η προετοιμασία του υποβάθρου θεμελίωσης γιά την υποδοχή των θεμελίων. Τα προβλήματα που συνήθως προκύπτουν, αφορούν τον τρόπο και το κόστος των χωματοουργικών και τα γεωτεχνικά προβλήματα που ενδέχεται να προκύψουν μετά τη διαμόρφωση της εκσκαφής. Τα παραπάνω προβλήματα σχετίζονται κυρίως με την ποιότητα του εδαφικού ή του βραχώδους υλικού που αποτελεί το υπέδαφος της περιοχής του έργου και την παρουσία υπόγειων νερών.

Τη λύση στα παραπάνω ζητήματα, μπορεί να δώσει η κατάλληλη γεωλογική έρευνα που έχει σαν αντικείμενο:

τη διερεύνηση της ευκολίας εκσκαφής των θεμελίων που βοηθά στην επιλογή των κατάλληλων εκσκαπτικών μηχανημάτων. Ετσι είναι δυνατή η ποσοτική εκτίμηση των χωματοουργικών έργων και ο προϋπολογισμός του κόστους των.

Την επιλογή του είδους και της κλίσης των πρανών του σκάμματος, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλειά του από άποψη ευστάθειας. Τη μελέτη ευστάθειας του δαπέδου της εκσκαφής και



Κάμψη κεφαλής και ανατροπή τεμαχών ιζηματο-γενών πετρωμάτων.

Τη διαπίστωση της παρουσίας υπόγειων νερών και τη διευθέτησή τους.

Ορισμένα από τα παραπάνω ζητήματα έχουν ήδη αναπτυχθεί σε προηγούμενα κεφάλαια. Στο τμήμα αυτό του κεφαλαίου, εκτίθενται συνοπτικά τα θέματα που έχουν σχέση με την πρόβλεψη και την αντιμετώπιση προβλημάτων κατά την εκσκαφή γεωλογικών σχηματισμών, στα πλαίσια της κατασκευής μικρών τεχνικών έργων.

#### 9.4. Εκσκαφές σε βραχώδεις σχηματισμούς

Τα πρηνή των σκαμμάτων κατά την εκσκαφή βραχωδών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν, κατά κανόνα, γεωτεχνικά προβλήματα. Εξαιρέση αποτελούν οι περιπτώσεις στις οποίες υπάρχουν υπόγεια νερά στο υπέδαφος ή τα πετρώματα εμφανίζουν το φαινόμενο της αποφλοίωσης (slaking).

Πετρώματα που εμφανίζουν το φαινόμενο αυτό είναι οι αργιλικόι σχιστόλιθοι, οι φυλλίτες και οι ιλυόλιθοι. Σαν αποτέλεσμα της συμπεριφοράς αυτής, εμφανίζονται αποκολλήσεις και καταπτώσεις τεμαχών του πετρώματος στο δάπεδο της εκσκαφής.

Σε γενικές γραμμές, όταν εκσκάπτονται πετρώματα που επικάθονται σε αργιλικούς ή αργιλομιγείς γεωλογικούς σχηματισμούς (αργίλους, μάργες, ιλυόλιθους, αργιλικούς σχιστόλιθους), προκαλούνται ευνοϊκές συνθήκες για ολίσθηση των τεμαχών των σκληρών πετρωμάτων επάνω στο αργιλικό υλικό.

Η κατάσταση αυτή επιβαρύνεται περισσότερο όταν εκσκαφεί η βάση (το πόδι) του πρηνούς του ορύγματος. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην περίπτωση αυτή παίζει η κλίση των επιφανειών επαφής των γεωλογικών σχηματισμών σε σχέση με τον προσανατολισμό του πρηνούς.

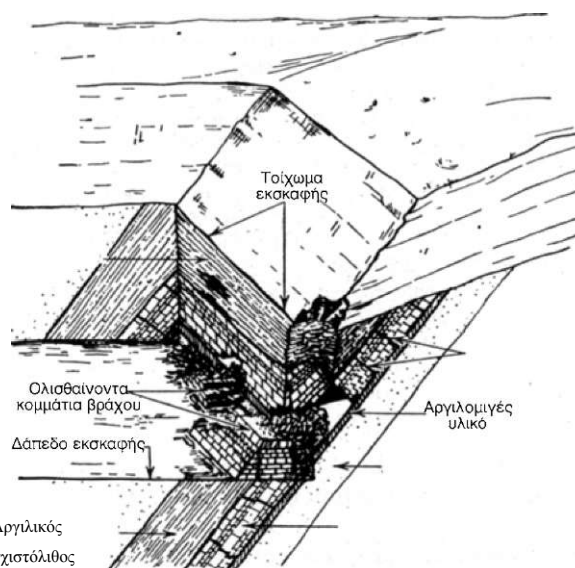
Σημαντικά επίσης προβλήματα εμφανίζονται στις περιπτώσεις που το υπέδαφος αποτελείται από εναλασσόμενα στρώματα υδροπερατών και αδιαπέρατων από το νερό γεωλογικών σχηματισμών. Στις περιπτώσεις αυτές, το υπόγειο νερό ή το νερό της βροχής, διέρχεται από τον υδροπερατό σχηματισμό (π.χ. ψαμμίτη, κροκαλοπαγές, ασβεστόλιθο κ.λ.π) και φθάνει ως το δάπεδο του. Εκεί, έρχεται σε επαφή με τον αδιαπέρατο αργιλομιγή σχηματισμό. Ο τελευταίος αυτός όταν διαβραχεί πλαστικοποιείται και μειώνεται η διατμητική του αντοχή. Είναι δυνατόν στην περίπτωση αυτή, ιδιαίτερα όταν είναι δυσμενής ο προσανατολισμός των γεωλογικών σχηματισμών σε σχέση με το πρηνές, τμήματα του υπερκείμενου σχηματισμού να ολισθήσουν προς την εκσκαφή.

Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται κυρίως σε ιζηματογενή πετρώματα ενώ τα πυριγενή και τα μεταμορφωμένα επιδεικνύουν, σε γενικές γραμμές, καλή συμπεριφορά.

Η παρουσία ασυνεχειών, ιδιαίτερα όταν ο προσανατολισμός τους σε σχέση με τα πρηνή του ορύγματος δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες, ευνοεί την εμφάνιση ολισθήσεων τεμαχών βράχου. Και στην περίπτωση αυτή, η παρουσία υπόγειου νερού επιδεινώνει την κατάσταση του πρηνούς από άποψη ευστάθειας.

Τα γεωτεχνικά αυτά προβλήματα όταν είναι εκτεταμένα, απαιτούν ειδική μελέτη ευστάθειας των πρηνών που ολισθαίνουν. Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι ο προσδιορισμός του όγκου και της γεωμετρίας των υλικών που συμμετέχουν στο πρόβλημα καθώς και ο εντοπισμός του αιτίου που προκαλεί την αστοχία. Με βάση τις παραμέτρους αυτές, προτείνονται οι επεμβάσεις για την αντιμετώπιση του γεωτεχνικού προβλήματος.

Τα γεωτεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με αστοχίες πρηνών και προκύπτουν σε μικρά τεχνικά έργα, είναι



συνήθως μικρής έκτασης. Αφορούν πιθανές αστοχίες κατά την εκσκαφή βραχωδών κυρίως ολισθήσεις τμημάτων πρηνών σχηματισμών (J. Vitaliano).

μετά την υποσκαφή της βάσης τους ή τη διακοπή της συνέχειάς τους και καταπτώσεις τεμαχών βράχων από υψηλά και απότομα πρηνή.

Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, εξαρτάται από τα αίτια που προκαλούν την αστοχία και τον όγκο του υλικού που συμμετέχει. Στην κλίμακα των έργων πολιτικού δομικών έργων, τα προβλήματα αντιμετωπίζονται στις περισσότερες περιπτώσεις με τη διαμόρφωση ηπιότερων κλίσεων στα πρηνή, αποφόρτιση της κεφαλής ή/και φόρτιση του ποδός τους ή κατασκευή τοίχων αντιστήριξης. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει πάντοτε να δίδεται στην επιφανειακή και στην υπόγεια αποστράγγιση των πρηνών.

Η ευκολία εκσκαφής βραχωδών σχηματισμών εξαρτάται από τη διατμητική τους

αντοχή. Αυτή με τη σειρά της εξαρτάται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων, από το βαθμό διάρρηξής τους και από το βαθμό αποσάθρωσης τους.

Γιά την εκσκαφή υγιών πετρωμάτων χρησιμοποιούνται συνήθως εκρηκτικά. Όταν τα πετρώματα διατρέχονται από πυκνό δίκτυο ασυνεχειών, η εκσκαφή τους μπορεί να γίνει από ειδικά μηχανήματα (rippers, προωθητές) και χωρίς τη χρήση εκρηκτικών, ενώ όταν είναι αποσαθρωμένα, η εκσκαφή μπορεί να γίνει με συνηθισμένα εκσκαπτικά μηχανήματα (προωθητές, φορτωτές, εκσκαφείς).

### **9.5. Εκσκαφές σε χαλαρούς σχηματισμούς**

Η ευστάθεια των πρανών αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα και στις περιπτώσεις που το υπέδαφος της περιοχής δομούν χαλαροί γεωλογικοί σχηματισμοί.

Οι άμμοι, τα χαλίκια, οι κροκάλες και τα μίγματα τους δίνουν τη δυνατότητα διαμόρφωσης πρανών ακόμη και με κλίση 1:1. Τα πρανή των ορυγμάτων στους σχηματισμούς αυτούς όμως, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην υποσκαφή τους από υπόγεια νερά. Την ευστάθεια των σχηματισμών αυτών επηρεάζουν αρνητικά οι ισχυρές δονήσεις (σεισμοί, εκρήξεις, δονήσεις από τη λειτουργία μεγάλων μηχανημάτων).

Οι αργιλομιγείς σχηματισμοί παρουσιάζουν, όπως είναι γνωστό, ιδιαίτερη ευαισθησία στο υπόγειο νερό. Γιά το λόγο αυτό αποφεύγεται η εκσκαφή βαθιών ορυγμάτων με μεγάλη κλίση πρανών στους σχηματισμούς αυτούς.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην περίπτωση της παρουσίας ογκολίθων μέσα στην άργιλο. Το νερό της βροχής μπορεί να προκαλέσει αποκόλληση τέτοιων ογκολίθων και πτώση τους στο δάπεδο της εκσκαφής.

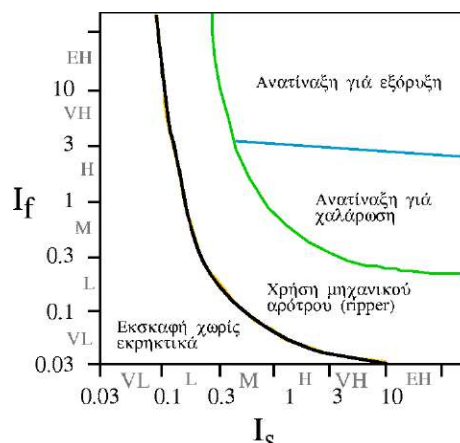
Μερικές φορές κατά τη διαμόρφωση του χώρου γιά τη θεμελίωση κάποιου κτιρίου, είναι αναπόφευκτη η δημιουργία υψηλών πρανών σε χαλαρούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Στις περιπτώσεις αυτές, γίνεται προσπάθεια να μετριασθεί ο κίνδυνος εμφάνισης αστοχιών με τη διαμόρφωση αναβαθμίδων στο πρανές της εκσκαφής. Οι αναβαθμίδες βελτιώνουν της ευστάθεια του πρανούς γιάτί δίνουν τη δυνατότητα διαμόρφωσης ηπιώτερων κλίσεων, βοηθούν στη συγκράτηση υλικών που κατρακυλούν από τα ψηλότερα σημεία και βοηθούν στην αποστράγγιση των επιφανειακών νερών από το πρανές.

Θεωρητικά, στα συνεκτικά εδάφη, η κλίση που πρέπει να δοθεί σε κάποιο πρανές εξαρτάται από το τελικό ύψος του πρανούς και από τη διατμητική αντοχή του υλικού.

Σε χαμηλά πρανή (ύψος μικρότερο από 10m), η κλίση μπορεί να προσδιορισθεί από την κλίση άλλων πρανών της περιοχής με το ίδιο εδαφικό υλικό. Η κλίση υψηλότερων πρανών όμως πρέπει να προσδιορίζεται μέσω εργαστηριακών δοκιμών και αναλύσεων ευστάθειας.

Σε κάθε περίπτωση, οι παράμετροι που καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα είναι αυτές που συνδέονται με τις φυσικές ιδιότητες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εδαφικού υλικού. Για τον λόγο αυτόν, είναι απαραίτητη η αναγνώριση των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή καθώς και η γνώση των παραπάνω ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών τους.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η παρουσία νερού, η οποία κατά κανόνα επιβαρύνει τις συνθήκες ευστάθειας των πρανών.



Επιλογή της μεθόδου εκσκαφής βραχωδών σχηματισμών με βάση τον δείκτη ασυνέχειας και τον δείκτη σημειακής φόρτισης (Franklin, 1971).

## 9.6. Γεωλογική και γεωτεχνική έρευνα του υποβάθρου θεμελίωσης τεχνικών έργων

Η γεωλογική έρευνα της ευρύτερης περιοχής θεμελίωσης ενός τεχνικού έργου μπορεί να δώσει χρήσιμα στοιχεία για το είδος των γεωλογικών σχηματισμών και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για το σχεδιασμό, τον προγραμματισμό και την κατασκευή του τεχνικού έργου.

Είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικά για τη σωστή αξιολόγηση των εργαστηριακών δοκιμών. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών ανεμπόδιστης θλίψης δεν έχουν πρακτική σημασία όταν το πέτρωμα, πάνω στο οποίο θα θεμελιωθεί το τεχνικό έργο, διατρέχεται από πυκνό δίκτυο διακλάσεων. Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής αφορούν μερικές φορές, μόνο τα συγκεκριμένα σημεία δειγματοληψίας, εξαιτίας της έντονης ανισοτροπίας που παρατηρείται σε ορισμένους εδαφικούς σχηματισμούς.

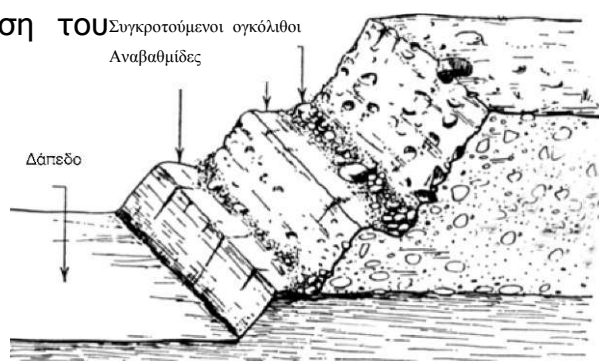
Καθώς η κατασκευή κατοικιών προϋποθέτει την εκσκαφή θεμελίων σε μικρό σχετικά βάθος, τα απαραίτητα γεωλογικά-γεωτεχνικά στοιχεία είναι

δυνατόν να προκύψουν από επί τόπου παρατηρήσεις καθώς και από πληροφορίες σχετικά με εκσκαφές για τη θεμελίωση άλλων κτιρίων της περιοχής. Προϋπόθεση όμως για τη σωστή αξιολόγηση των πληροφοριών αυτών, είναι η γνώση των γεωλογικών και τεχνικών παραμέτρων των σχηματισμών του υπεδάφους. Αυτές οι παράμετροι είναι επίσης απαραίτητες, για την εκτίμηση της συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών σε σεισμική διέγερση και συνεπώς για τον ακριβή υπολογισμό της σεισμικής επιβάρυνσης των κατασκευών.

Κατά κανόνα, τα τεχνικά προβλήματα εμφανίζονται στα κτίρια μετά την κατασκευή τους. Συνδέονται δε στις περισσότερες περιπτώσεις, με την παρουσία υπόγειων νερών, με την καθίζηση των θεμελίων εξαιτίας κακής εκτίμησης των τεχνικών χαρακτηριστικών του υποβάθρου θεμελίωσης και με πρόκληση ζημιών από καταπτώσεις βράχων. Η γεωλογική έρευνα είναι συνεπώς απαραίτητη στις περιπτώσεις που συναντάται υψηλός υδροφόρος ορίζοντας, οπότε πρέπει να σχεδιασθούν τα έργα αποστράγγισης της εκσκαφής και των θεμελίων της κατασκευής. Είναι επίσης απαραίτητη στην περίπτωση κατασκευής κτιρίων σε λοφώδεις περιοχές όπου υπάρχει ο κίνδυνος καταπτώσεων τεμαχών βράχων από γειτονικά υψώματα.

Μία σημαντική παράμετρος που συνδέεται τόσο με το κόστος κατασκευής ενός έργου όσο και με τον σχεδιασμό του, είναι η παρουσία βραχώδους υποβάθρου σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Η πρόβλεψη, στην περίπτωση αυτή, μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στον προϋπολογισμό του κόστους των εκσκαφών και στο σχεδιασμό της θεμελίωσης του τεχνικού έργου. Θα πρέπει στις περιπτώσεις αυτές, να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην κατάσταση του πετρώματος από άποψη υγείας. Η ζώνη αποσαθρωμένου πετρώματος θα πρέπει πάντοτε να απομακρύνεται και η θεμελίωση να γίνεται απευθείας στο υγιές πέτρωμα.

Η γεωλογική-γεωτεχνική έρευνα που εκτελείται στις περιπτώσεις θεμελίωσης



σημαντικών κτιρίων (κτιρίων διοίκησης, παιδικών σταθμών, σχολείων κ.λ.π) συνίσταται στην εκτέλεση ερευνητικών γεωτρήσεων για τη διαπίστωση της στρωματογραφικής δομής του υπεδάφους. Η έρευνα συμπληρώνεται από επί τόπου και από εργαστηριακές δοκιμές. Οι γεωτρήσεις εκτελούνται στις θέσεις κατασκευής των πελμάτων και το



βάθος τους εξαρτάται από τα φορτία που εκτιμάται ότι θα μεταφερθούν από την κατασκευή, από το βάθος της και από τους γεωλογικούς σχηματισμούς που συναντώνται κατά τη διάτρηση. Τα δεδομένα των γεωτρήσεων είναι δυνατόν να συμπληρωθούν με την εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

### ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ

Ο σχεδιασμός της χρήσης της γής και της μεταβολής της, αποτελεί ένα από τα βασικότερα αντικείμενα της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού. Απαραίτητη προϋπόθεση για τον επιτυχή σχεδιασμό των προβλεπόμενων, στα πλαίσια κατασκευής ενός τεχνικού έργου, επεμβάσεων σε

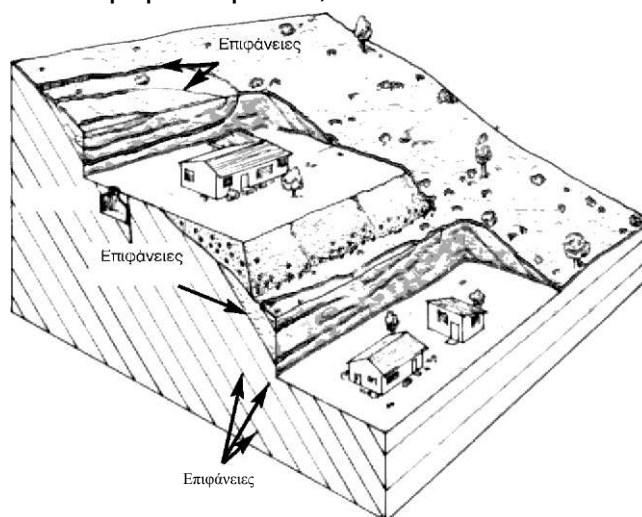
κάποια περιοχή είναι η γνώση διαφόρων παραμέτρων όπως:

το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής, δηλαδή η μορφή της επιφάνειας του εδάφους, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, δηλαδή η κατανομή και η εξάπλωση των επιφανειακών και των υπόγειων νερών σ' αυτή. οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν, το είδος δηλαδή των

γεωλογικών σχηματισμών που αποτελούν το υπέδαφος της περιοχής, ο βαθμός αποσάθρωσης τους κ.λ.π. Τις πληροφορίες που αφορούν τις τρεις αυτές παραμέτρους, τις αποκτά ο μηχανικός από τη χρησιμοποίηση χαρτών.

Οι γεωλογικοί χάρτες αποτελούν τον ευκολότερο και οικονομικότερο τρόπο άντλησης πληροφοριών σχετικά με το υπέδαφος της περιοχής θεμελίωσης ενός τεχνικού έργου. Η επεξεργασία των δεδομένων των γεωλογικών χαρτών και η κατασκευή γεωλογικών τομών, δίνουν τη δυνατότητα προσδιορισμού, σε πρώτη προσέγγιση, της γεωλογικής δομής μιάς περιοχής. Η αξιολόγηση των στοιχείων αυτών δίνει με τη σειρά της, τη δυνατότητα της πρόβλεψης γεωτεχνικών προβλημάτων και της επιτυχούς αντιμετώπισης τους στα πλαίσια της κατασκευής των τεχνικών έργων.

Στο κεφάλαιο αυτό εκτίθενται τα απαραίτητα στοιχεία για τη μελέτη γεωλογικών χαρτών και παρουσιάζονται οι μέθοδοι κατασκευής γεωλογικών τομών.



Επίδραση της γεωλογικής δομής στην εμφάνιση γεωτεχνικών προβλημάτων.

#### 10.1. Χάρτες

Ο χάρτης είναι η αναπαράσταση, σε μία επίπεδη επιφάνεια, φυσικών ή ανθρωπογενών χαρακτηριστικών μίας περιοχής, με τη βοήθεια διαφόρων συμβόλων.

Υπάρχουν διάφορα είδη χαρτών, τα οποία παρέχουν συγκεκριμένες πληροφορίες για διάφορα θέματα.

Με βάση το θέμα που αναπαριστούν οι χάρτες, χαρακτηρίζονται ως:

τοπογραφικοί χάρτες. Αυτοί αναπαριστούν τη μορφή της επιφάνειας του εδάφους (ανάγλυφο)

Γεωλογικοί χάρτες. Αναπαριστούν την κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών στην επιφάνεια του εδάφους. Κτηματικοί. Παρουσιάζουν το κτηματολόγιο μίας περιοχής

Χάρτες πόλεων, οδικό κ.λ.π.

Κάθε σημείο του χάρτη βρίσκεται στη συγκεκριμένη σχετική κατεύθυνση από άλλα σημεία και σε απόσταση ανάλογη με την κλίμακα του χάρτη. Ο χάρτης κατασκευάζεται πάντοτε με βάση μία προκαθορισμένη κλίμακα.

Η κλίμακα δείχνει τη σχέση που υπάρχει μεταξύ μίας απόστασης ανάμεσα σε δύο σημεία στον χάρτη (γραφικό μήκος), και στην απόσταση των ίδιων σημείων στην επιφάνεια του εδάφους (φυσικό μήκος). Υπάρχουν δύο ειδών κλίμακες η κλασματική και η γραφική.

Η κλασματική κλίμακα εκφράζεται σαν λόγος του γραφικού προς το φυσικό μήκος:

*Παράδειγμα. Κλίμακα 1:5000 σημαίνει ότι 1cm στον χάρτη αντιστοιχεί σε πραγματική (στην επιφάνεια του εδάφους) απόσταση 5000cm.*

Η γραφική κλίμακα είναι μία ευθεία γραμμή με υποδιαίρεσεις που αντιστοιχούν σε πραγματικό μήκος.

Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μορφή κλίμακας είναι η κλασματική. Παρόλα αυτά, η γραφική κλίμακα έχει πρακτική αξία γιατί δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν μεγεθύνσεις ή μικρύνσεις ενός χάρτη, με ταυτόχρονη ανάλογη μεταβολή της κλίμακας.

Γιά να υπολογισθεί η απόσταση μεταξύ δύο σημείων της επιφάνειας του εδάφους, μετράται αρχικά η απόσταση των αντιστοίχων σημείων στον χάρτη και στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται επί την κλίμακα. Το τελικό αποτέλεσμα, αφού

μετατραπεί στις επιθυμητές μονάδες μέτρησης, δίνει τη ζητούμενη απόσταση. **10.2.**

**Τοπογραφικοί χάρτες**

Ο τοπογραφικός χάρτης είναι η αναπαράσταση της μορφής και των φυσικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας του εδάφους. Η αναπαράσταση αυτή γίνεται επάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένων συμβόλων.

Ο τοπογραφικός χάρτης δείχνει τόσο τις οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ διαφόρων σημείων της επιφάνειας του εδάφους, όσο και το υψόμετρο τους πάνω από συγκεκριμένη επιφάνεια αναφοράς.

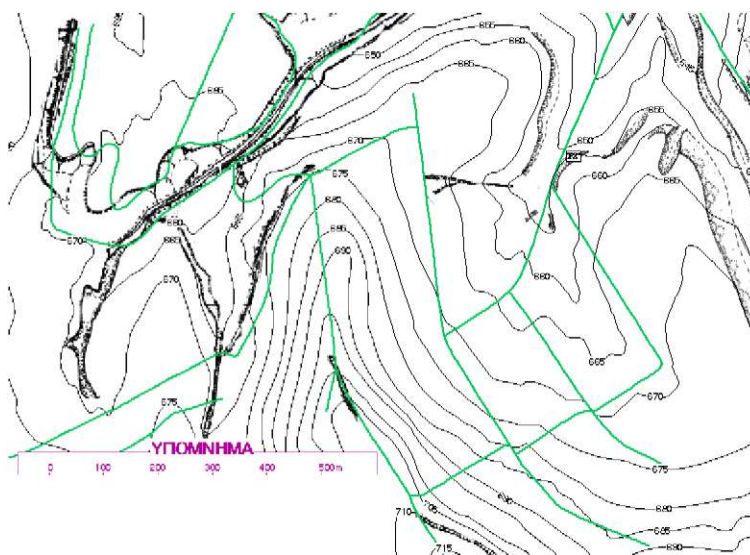
Με τον όρο υψόμετρο ενός σημείου, εννοούμε την κατακόρυφη απόσταση του δεδομένου σημείου από μία επιφάνεια αναφοράς, η οποία συνήθως είναι η επιφάνεια της θάλασσας. Το υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας θεωρείται ίσο με μηδέν (0) και στην περίπτωση αυτή το υψόμετρο του σημείου ονομάζεται απόλυτο υψόμετρο.

Η μορφή της επιφάνειας του εδάφους που ονομάζεται ανάγλυφο, παριστάνεται με τη μορφή κλειστών καμπύλων γραμμών. Αυτές ονομάζονται ισοϋψείς καμπύλες γιατί ενώνουν μεταξύ τους σημεία του χάρτη, που αντιστοιχούν στο ίδιο απόλυτο υψόμετρο.

Οι ισοϋψείς καμπύλες είναι οριζόντιες, ομαλές και πάντα κλειστές καμπύλες που τείνουν να είναι παράλληλες μεταξύ τους.

Η πυκνότητα των ισοϋψών είναι ανάλογη με την κλίση του εδάφους (πυκνές ισοϋψείς<sup>0</sup> μεγάλη κλίση).

Στις περιοχές του χάρτη που αντιπροσωπεύουν χαραδρώσεις της επιφάνειας του εδάφους, οι γραμμές αυτές έχουν σχήμα "V" με την κορυφή στραμμένη προς ψηλότερα (τοπογραφικά) σημεία. Το αντίθετο (η κορυφή



του "V" στραμμένη προς χαμηλότερα σημεία), σημαίνει ότι η περιοχή του χάρτη αντιστοιχεί σε μία ράχη στην επιφάνεια του εδάφους.

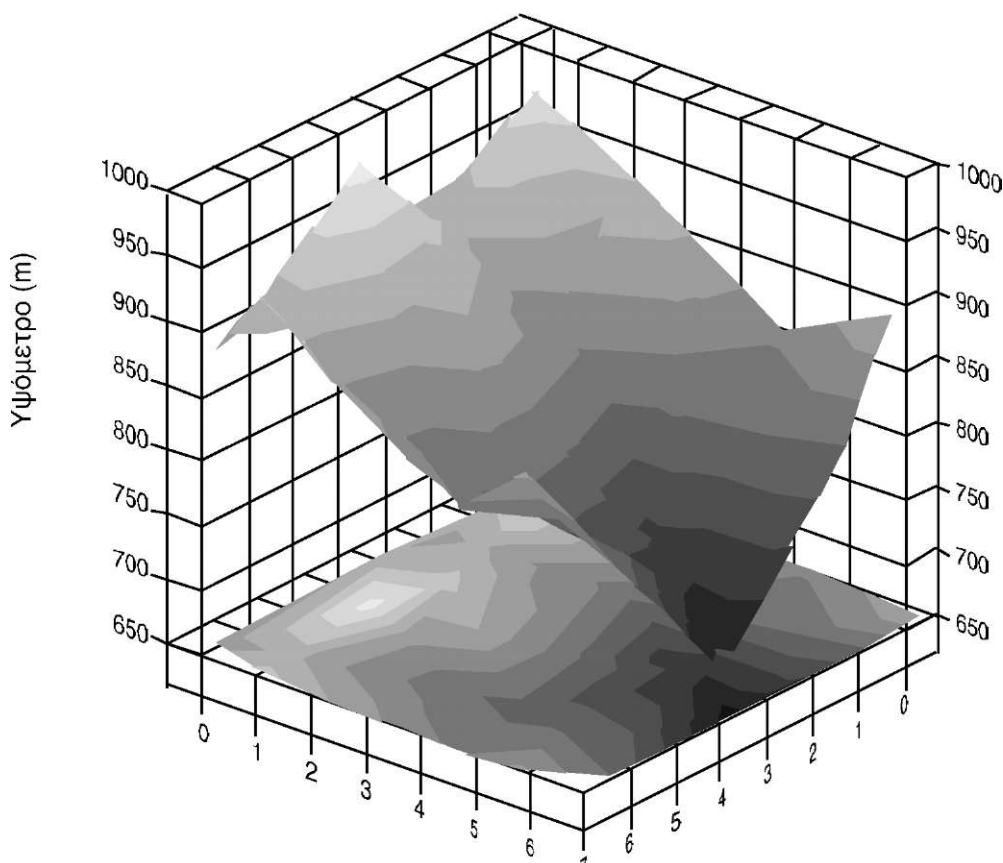
Η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών σε ένα χάρτη, είναι σταθερή σε όλη την έκτασή του και ονομάζεται ισοδιάσταση του χάρτη.

### 10.3. Ενδείξεις τοπογραφικών χαρτών

Το κάθε φύλλο τοπογραφικού χάρτη περιλαμβάνει εκτός από τη χαρτογραφημένη περιοχή και διάφορα άλλα χρήσιμα στοιχεία.

Η χαρτογραφημένη περιοχή περικλείεται από ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο πλαίσιο που το σχηματίζουν δύο μεσημβρινοί και δύο παράλληλοι κύκλοι. Η κατεύθυνση του βορρά επομένως, ακόμη και αν δεν σημειώνεται αλλού, βρίσκεται από την κατεύθυνση των δύο πλευρών του πλαισίου.

Στο πάνω περιθώριο κάθε χάρτη, υπάρχει ο αριθμός του φύλλου και η ονομασία της περιοχής που περικλείεται στα όρια του χάρτη. Στο κάτω περιθώριο υπάρχει το υπόμνημα, που περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα επεξηγηματικά στοιχεία ώστε να μπορεί να διαβαστεί ο χάρτης καθώς επίσης την κλίμακα και την ισοδιάσταση.



Σχέση μεταξύ αναγλύφου (τριδιάστατη επιφάνεια) και αντίστοιχου χάρτη. Οι ζώνες σε αποχρώσεις του γκρι, αντιστοιχούν σε ζώνες του εδάφους με διαφορετικό υψόμετρο.

Οι τοπογραφικοί χάρτες περιλαμβάνουν συνήθως και το εθνικό και επαρχιακό οδικό δίκτυο, το σιδηροδρομικό δίκτυο, τα μικρά και μεγάλα αστικά κέντρα καθώς και τα χαρακτηριστικά σημεία της επιφάνειας του εδάφους (κορυφές λόφων ή βουνών, τοπωνύμια περιοχών κ.λ.π).

#### 10.4. Γεωλογικοί χάρτες

Οι γεωλογικοί χάρτες είναι θεματικοί χάρτες με τοπογραφικό υπόβαθρο. Το θέμα το οποίο παρουσιάζουν, είναι η κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών που συναντώνται στην επιφάνεια του εδάφους της περιοχής του χάρτη. Περιλαμβάνουν επίσης το υδρογραφικό δίκτυο μέσω του οποίου αποστραγγίζονται τα επιφανειακά νερά της περιοχής και τις θέσεις πηγών.

Οι γεωλογικοί χάρτες δεν αντιπροσωπεύουν μία απλή αποτύπωση της κατανομής των γεωλογικών σχηματισμών στην επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα,

πάντοτε κατά την κατασκευή τους λαμβάνονται υπόψη στοιχεία που αφορούν τον τρόπο σχηματισμού των διαφόρων πετρωμάτων, την ηλικία τους και τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζονται αυτά στην επιφάνεια του εδάφους. Γιά το λόγο αυτό, οι γεωλογικοί χάρτες αντιπροσωπεύουν μάλλον την άποψη του συντάξαντος γεωλόγου γιά τη γεωλογική ιστορία και την στρωματογραφική διάρθρωση της περιοχής.

Στο περιθώριο των γεωλογικών χαρτών υπάρχουν γεωλογικές τομές. Αυτές είναι νοητές κατακόρυφες τομές του εδάφους στις οποίες απεικονίζεται η γεωλογική δομή



Γεωλογικός χάρτης και γεωλογικές τομές.

της περιοχής του χάρτη. Κατά τα άλλα, περιέχουν όλα τα στοιχεία που περιέχουν και οι τοπογραφικοί χάρτες.

### 10.5. Τοπογραφικές τομές

Η μελέτη των τεχνικών έργων και ο σχεδιασμός της κατασκευής τους επηρεάζονται από τη φύση και τη μορφή της επιφάνειας του εδάφους. Ο όγκος και η φύση των χωματουργικών που απαιτούνται στα πλαίσια μίας κατασκευής, ο σχεδιασμός των έργων αποχέτευσης και απαγωγής ομβρίων απαιτούν και τη γνώση του μορφολογικού αναγλύφου. Η αναγνώριση των μορφολογικών ανωμαλιών (εξάρσεων και υφέσεων) της επιφάνειας του εδάφους, γίνεται με την κατασκευή τοπογραφικών (μορφολογικών) τομών.

Μία τοπογραφική τομή προκύπτει αν θεωρήσουμε ότι η επιφάνεια του εδάφους τέμνεται από ένα κατακόρυφο επίπεδο στη θέση της τομής. Η γραμμή που προκύπτει από την τομή των δύο αυτών επιφανειών, ονομάζεται ανάγλυφος γραμμή και δείχνει τη μεταβολή της κλίσης της επιφάνειας του εδάφους κατά μήκος μίας γραμμής (κατεύθυνσης).

### 10.6. Κατασκευή τοπογραφικής τομής

Σαν τοπογραφική τομή, θεωρείται η τομή της επιφάνειας του εδάφους από ένα νοητό κατακόρυφο επίπεδο. Η τομή των δύο αυτών επιφανειών είναι μία καμπύλη γραμμή που αποτελεί την υψομετρική καμπύλη.

Οι εργασίες που θα πρέπει να εκτελεσθούν στα πλαίσια κατασκευής μίας τοπογραφικής τομής κατά μήκος μίας συγκεκριμένης κατεύθυνσης (AB), είναι οι εξής: σημείωση στον

τοπογραφικό χάρτη της θέσης της υπό κατασκευή τομής, ενώνοντας τα σημεία που αποτελούν την αρχή και το τέλος της (έστω A και B) με ένα ευθύγραμμο τμήμα (AB).

Κατασκευή συστήματος ορθογωνίων αξόνων (X και Y). Ο άξονας X που ονομάζεται άξονας οριζοντίων αποστάσεων ισούται σε μήκος με την τομή (AB). Στον κατακόρυφο άξονα που ονομάζεται άξονας υψών, τοποθετούνται τα υψόμετρα των ισοϋψών καμπύλων του χάρτη. Για το λόγο αυτό θα πρέπει ο άξονας αυτός να έχει βαθμονομηθεί με βάση τα υψόμετρα που αντιστοιχούν στις ισοϋψείς καμπύλες του χάρτη. Δεδομένου μάλιστα ότι στον άξονα των μηκών (X) η ισχύουσα κλίμακα είναι η κλίμακα του χάρτη,

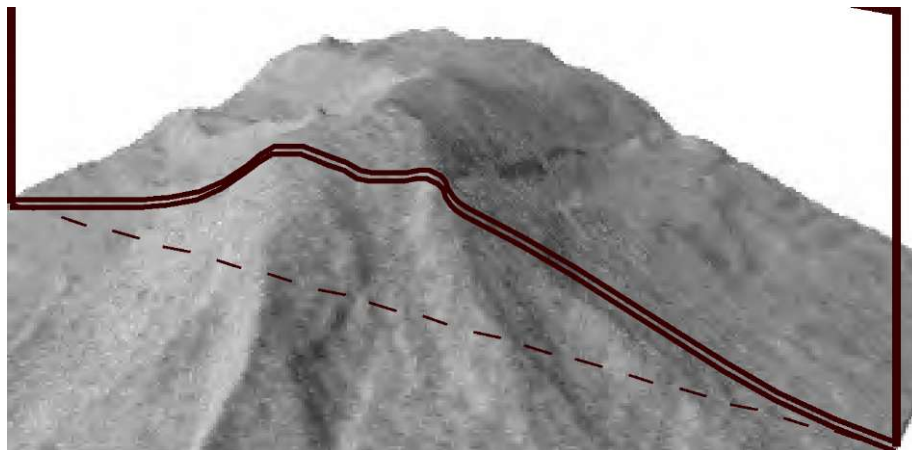
θα πρέπει η βαθμονόμηση του άξονα υψών (Υ) να γίνει με βάση την ίδια κλίμακα προκειμένου να μην υπάρχει παραμόρφωση της τομής.

Με βάση τα παραπάνω, τοποθετείται στη βάση του άξονα των υψόμετρων (Υ) (σημείο τομής των αξόνων) το χαμηλότερο υψόμετρο που συναντά η τοπογραφική τομή. Στη συνέχεια και προκειμένου να τοποθετηθούν τα υψόμετρα των επόμενων (υψηλότερων) ισοϋψών, δηλαδή να βαθμονομηθεί ο άξονας (Υ), θα πρέπει να υπολογισθεί το μήκος του άξονα (Υ) που αντιστοιχεί στην υψομετρική απόσταση μεταξύ διαδοχικών ισοϋψών (ισοδιάσταση). Η απόσταση αυτή προσδιορίζεται από την κλίμακα και την ισοδιάσταση σύμφωνα με το παρακάτω παράδειγμα.

*Παράδειγμα υπολογισμού μήκους υποδιαιρέσεων άξονα υψών*

*έστω ότι θα κατασκευασθεί τοπογραφική τομή σε χάρτη κλίμακας 1:2000, του οποίου η ισοδιάσταση είναι 20m. Η απόσταση που θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους οι υποδιαιρέσεις του άξονα υψών (Υ) για να αντιστοιχούν στις υψομετρικές αποστάσεις μεταξύ των ισοϋψών του χάρτη, θα είναι:*

*Απόσταση (cm) = Ισοδιάσταση (cm) \* Κλίμακα = 2000\*(1/2000)= 1cm*



Τομή του νοητού κατακόρυφου επιπέδου της τοπογραφικής τομής με την επιφάνεια του εδάφους.

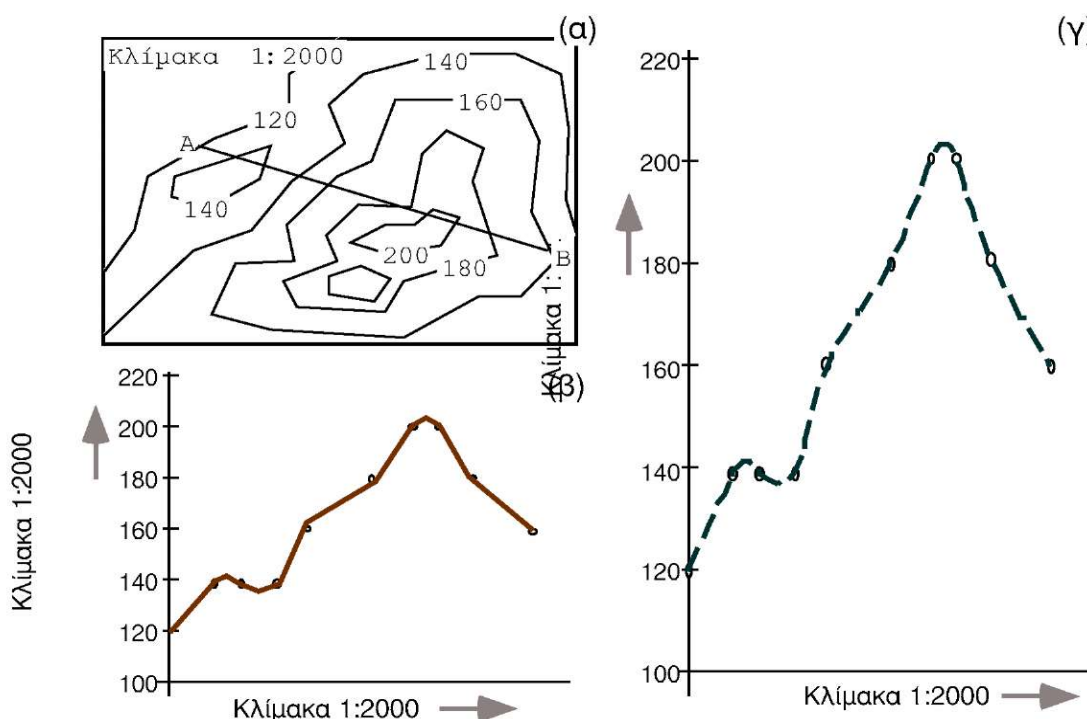


Η μέτρηση της απόστασης μεταξύ της αρχής της τομής (έστω το Α) και του σημείου στο οποίο κάποια ισοϋψής γραμμή τέμνει την τομή (ΑΒ). Η απόσταση αυτή μεταφέρεται στο σύστημα ορθογωνίων αξόνων και στο αντίστοιχο με της ισοϋψούς υψόμετρο, τοποθετείται ένα σημείο. Το ίδιο επαναλαμβάνεται για όλες τις ισοϋψείς γραμμές που τέμνουν την τομή (ΑΒ).

Τα σημεία που προκύπτουν με τον τρόπο αυτό ενώνονται με μία καμπύλη γραμμή, η οποία αποτελεί και την ανάγλυφο γραμμή (ή καμπύλη του αναγλύφου). Όταν η γραμμή του αναγλύφου, ενώ κατέρχεται, συναντήσει δύο διαδοχικά σημεία του ίδιου υψόμετρου τότε αφού περάσει από το πρώτο σημείο θα καμφθεί προς τα πάνω και ανερχόμενη θα περάσει και από το δεύτερο, σχηματίζονται έτσι ένα κοίλωμα (κοίτη). Το αντίθετο θα συμβεί εάν συναντήσει τα σημεία καθώς ανέρχεται, οπότε αφού περάσει από το πρώτο σημείο θα καμφθεί προ τα κάτω και θα περάσει από το δεύτερο, σχηματίζοντας ένα κύρτωμα (ράχη).

Η τοπογραφική τομή που κατασκευάζεται διατηρώντας την ίδια κλίμακα στους άξονες μηκών και υψών, λέγεται φυσική τομή. Στην περίπτωση που δεν διατηρηθεί η ίδια

οριζόντιο επίπεδο πληροφοριών από σημεία του χώρου), οι γεωλογικοί σχηματισμοί

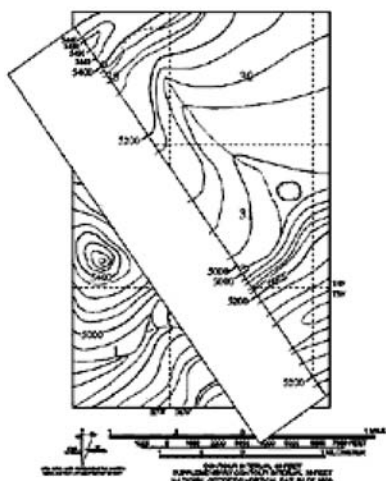


Κατασκευή τοπογραφικής τομής. Τοπογραφικός χάρτης (α), φυσική τοπογραφική τομή (β), διογκωμένη τοπογραφική τομή (γ).

κλίμακα και στους δύο άξονες, η τοπογραφική τομή που θα κατασκευασθεί θα είναι παραμορφωμένη. Στις περιπτώσεις στις οποίες η μεταβολή του αναγλύφου σε μία περιοχή είναι πολύ μικρή γιά να παρουσιασθεί σε μία φυσική τομή, είναι δυνατόν να κατασκευασθεί τοπογραφική τομή με αυξημένη την κλίμακα υψών (υπερυψωμένη ή διογκωμένη τομή).

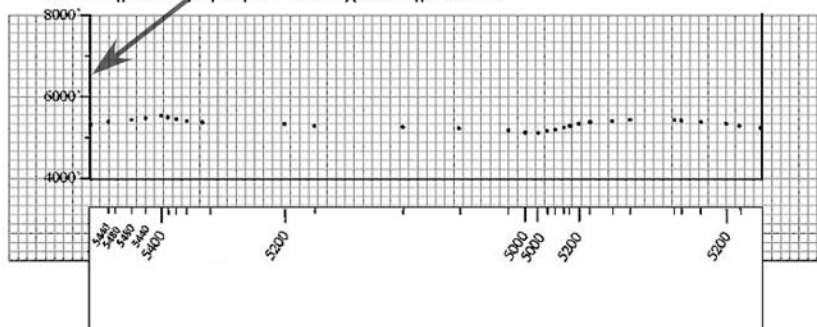
1

- α) Τοποθετείστε μία λωρίδα χαρτιού πάνω στην Τοπογραφική Τομή.
- β) Σημαδεύστε την αρχή και το τέλος της Τοπ. Τομής.
- γ) Σημαδεύστε ΚΑΘΕ σημείο στο οποίο μία ισούψης συναντά την Τοπ. Τομή και ΓΡΑΨΤΕ το υψόμετρό του.



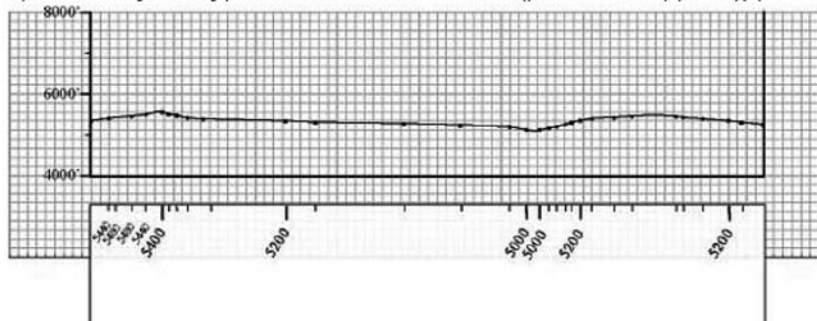
2

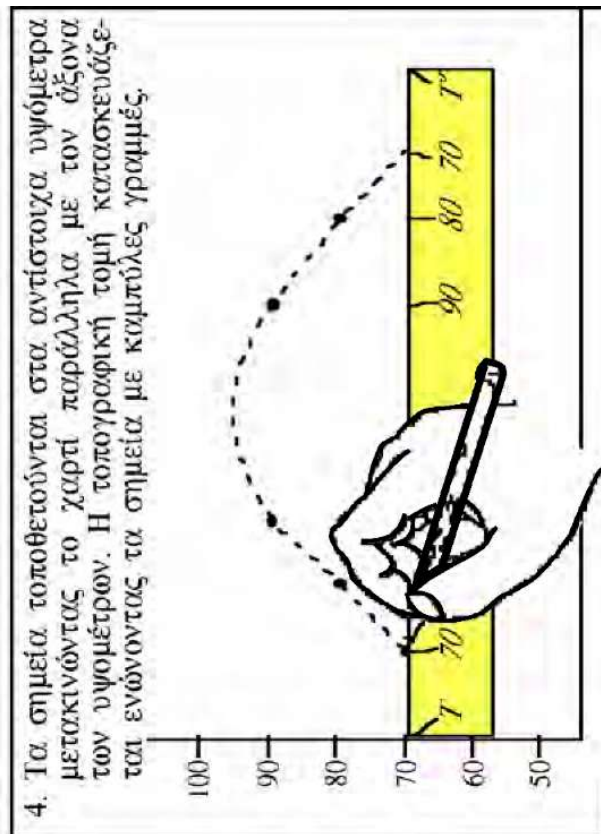
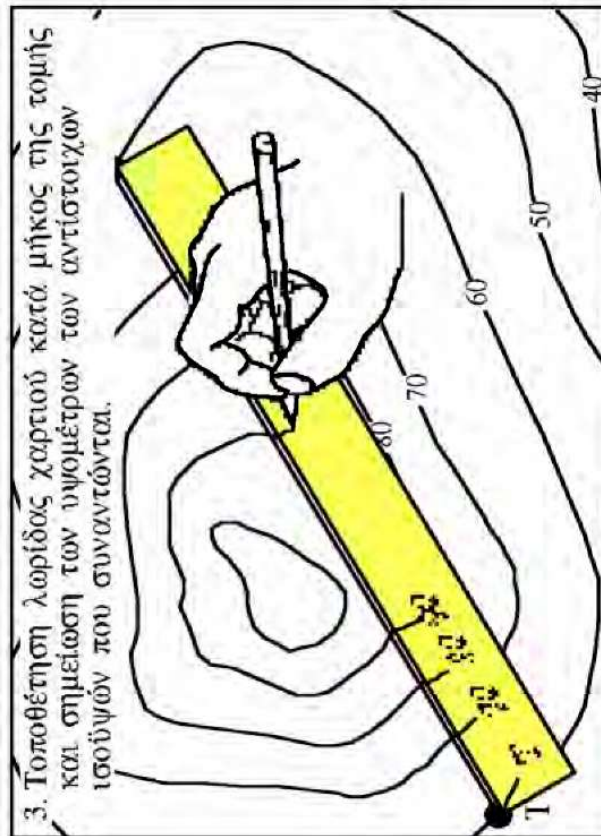
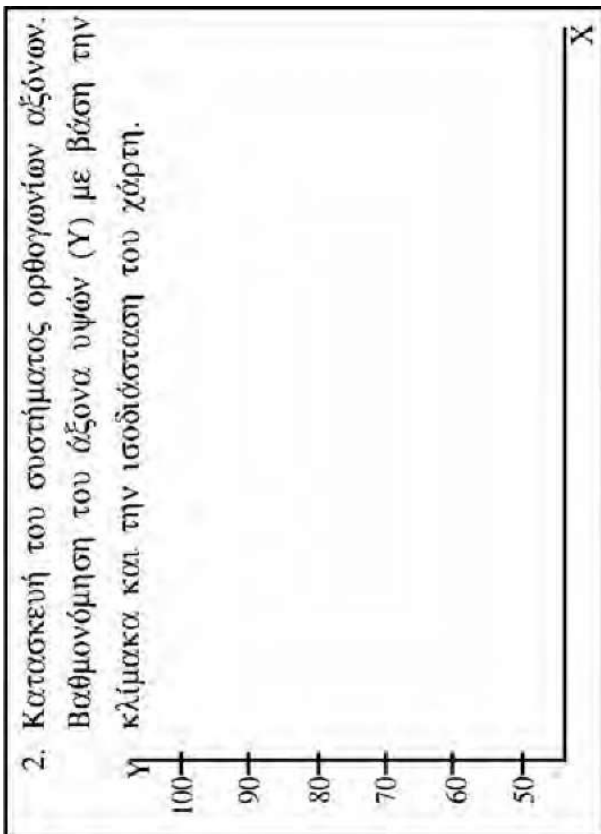
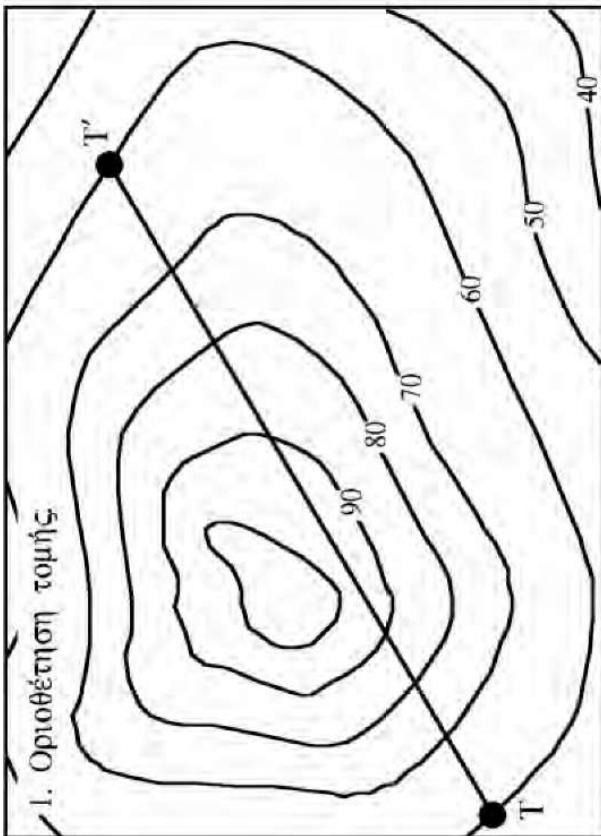
- α) Κατασκευάστε τον ΑΞΟΝΑ των ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ και βαθμονομήστε τον.
- β) Τοποθετείστε το χαρτί όπως στο σχήμα και βάλτε μία τελεία στο μιλιμετρέ σε κάθε σημείο υψόμετρου που έχετε σημειώσει.



3

- α) Ενώστε τις τελείες με ΜΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΓΡΑΜΜΗ (μονοκοντυλιά) με το χέρι.





### 10.7. Μορφή των γεωλογικών σχηματισμών

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλέπε 2.4), τα προϊόντα της διάβρωσης των γεωλογικών σχηματισμών μεταφέρονται από τα επιφανειακά νερά, τον άνεμο και τη βαρύτητα προς τα χαμηλότερα σημεία της επιφάνειας του εδάφους και τελικά καταλήγουν σε κοιλάτητες της στεριάς, σε λίμνες ή στη θάλασσα. Εκεί αποτίθενται σε οριζόντιες συνήθως στρώσεις. Το φαινόμενο ονομάζεται ιζηματογέννεση και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που σχηματίζονται, ιζηματογενείς.

Το χαρακτηριστικό των ιζηματογενών σχηματισμών είναι η οριζόντια απόθεσή τους. Η ιζηματογέννεση δεν είναι όμως τις περισσότερες φορές συνεχής. Διακόπτεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα και επαναλαμβάνεται στη συνέχεια και ακόμη το είδος των υλικών που αποτίθενται δεν είναι πάντοτε το ίδιο. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής, είναι ο διαχωρισμός των ιζηματογενών σχηματισμών από επιφάνειες οι οποίες είναι οριζόντιες και ονομάζονται στρωσιγενείς επιφάνειες.

Ο γεωλογικός σχηματισμός που βρίσκεται μεταξύ δύο στρωσιγενών επιφανειών ονομάζεται στρώμα. Ένα στρώμα λοιπόν οριοθετείται από την πάνω επιφάνειά του που λέγεται οροφή και την κάτω που ονομάζεται δάπεδο.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η οροφή ενός στρώματος αποτελεί δάπεδο για τον υπερκείμενο του. Επειδή λοιπόν οι επιφάνειες διαχωρισμού είναι κοινές ανάμεσα σε δύο στρώματα, ονομάζονται και επιφάνειες επαφής.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στο χώρο, περιορίζονται ανάμεσα σε δύο επιφάνειες που στην κλίμακα των μικρών τεχνικών έργων θεωρούνται επίπεδες χωρίς η παραδοχή αυτή να εισάγει σημαντικό σφάλμα. Για τον ίδιο λόγο, επίπεδη θεωρείται η (κατά τα άλλα ακανόνιστη) επιφάνεια επαφής ανάμεσα στο βραχώδες υπόβαθρο και στα εδάφη που το καλύπτουν καθώς και η πιεζομετρική επιφάνεια των ελεύθερων υδροφόρων οριζόντων. Σε ένα γεωλογικό χάρτη (που όπως έχει προαναφερθεί είναι η μεταφορά σε οριοθετούνται από καμπύλες γραμμές. Οι γραμμές αυτές που ονομάζονται γραμμές επαφής, προέρχονται από την τομή των επιφανειών επαφής με την επιφάνεια του εδάφους.

Ακόμη και στην περίπτωση που οι επιφάνειες επαφής μεταξύ των γεωλογικών

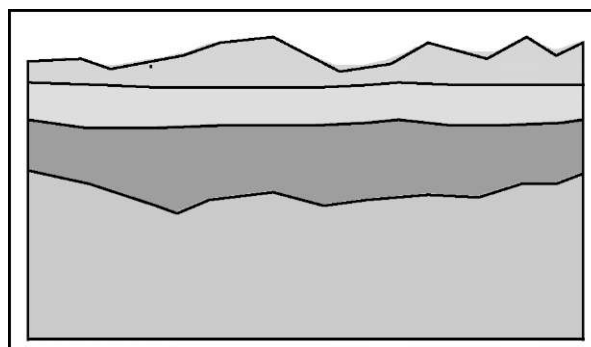
σχηματισμών είναι επίπεδες, η επιφάνεια του εδάφους συνήθως δεν είναι. Η τομή συνεπώς των δύο επιφανειών είναι καμπύλη γραμμή.

Γιά να είναι μία γραμμή επαφής ευθεία γραμμή, θα πρέπει η επιφάνεια επαφής να είναι κατακόρυφη ή στην περίπτωση που αυτή είναι κεκλιμένη, η επιφάνεια του εδάφους να είναι επίπεδη.

### 10.8. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στρωμάτων 10.8.1. Πάχος στρώματος

Η κάθετη απόσταση μεταξύ των δύο στρωσιγενών επιφανειών που οριοθετούν έναν γεωλογικό σχηματισμό (στρώμα), ονομάζεται πραγματικό πάχος του στρώματος ενώ η κατακόρυφη απόστασή τους ονομάζεται κατακόρυφο πάχος. Η επιφάνεια του εδάφους σε σχέση με τις στρωσιγενείς επιφάνειες έχει συνήθως τυχαία θέση. Γιά τον λόγο αυτό, το πάχος των στρωμάτων που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους πολύ σπάνια αντιστοιχεί στο πραγματικό.

Το πάχος στρώματος που εμφανίζεται συνήθως στη επιφάνεια του εδάφους, μεταβάλλεται ανάλογα με τη κλίση του στρώματος και το μορφολογικό ανάγλυφο και ονομάζεται φαινόμενο πάχος.



Στρωσιγενείς επιφάνειες μεταξύ γεωλογικών σχηματισμών.

### 10.8.2. Κλίση και παράταξη στρώματος

Η θέση ενός επιπέδου επαφής (στρωσιγενής επιφάνεια) σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται κλίση του επιπέδου επαφής και η αντίστοιχη επίπεδη γωνία της διέδρου που σχηματίζουν τα δύο αυτά επίπεδα, ονομάζεται γωνία κλίσης. Το επίπεδο που περιέχει τη γωνία κλίσης ονομάζεται επίπεδο κλίσης.

Η τομή του οριζόντιου επιπέδου με το επίπεδο επαφής είναι μία ευθεία γραμμή η οποία ονομάζεται παράταξη του επιπέδου επαφής.

Επειδή τα σημεία της γραμμής αυτής ανήκουν στο οριζόντιο επίπεδο, η γραμμή αυτή είναι οριζόντια και ανήκει στο επίπεδο επαφής.

Γενικεύοντας λοιπόν το γεγονός αυτό, μπορούμε να θεωρήσουμε ως παράταξη ενός επιπέδου κάθε οριζόντια ευθεία γραμμή που ανήκει στο επίπεδο αυτό. Το μέτρο της παράταξης δίνει η οριζόντια γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας της παράταξης και του γεωγραφικού Βορρά και ονομάζεται γωνία παράταξης.

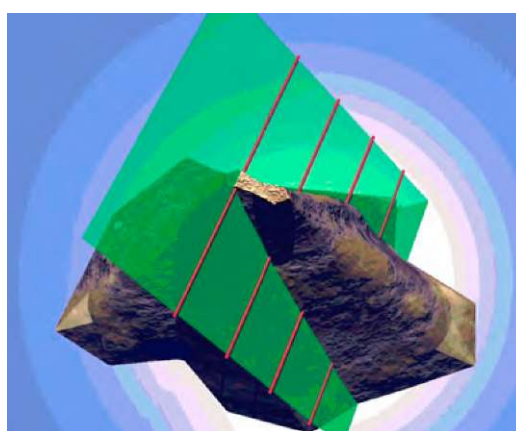
### 10.8.3. Πραγματική και φαινόμενη γωνία κλίσης

Η θέση μίας γεωλογικής διεπιφάνειας (διάκλασης, επιφάνειας στρώσης, ρήγματος κ.λ.π) στο χώρο, καθορίζεται με βάση τα γεωμετρικά της στοιχεία.

Η θέση του επιπέδου της διεπιφάνειας σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται κλίση του επιπέδου αυτού και η αντίστοιχη επίπεδη γωνία της διέδρου που σχηματίζουν τα δύο αυτά επίπεδα, ονομάζεται γωνία κλίσης.

Το κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει τη γωνία κλίσης ονομάζεται επίπεδο κλίσης και είναι κάθετο στην παράταξη του επιπέδου της γεωλογικής διεπιφάνειας (περίπτωση α). Η γωνία κλίσης που προσδιορίζεται σύμφωνα με τα παραπάνω, δίνει το μέγεθος της πραγματικής κλίσης του επιπέδου και ονομάζεται αληθινή ή μέγιστη γωνία κλίσης. Σε κάθε άλλη περίπτωση κατά την οποία ένα επίπεδο τέμνει πλάγια την παράταξη (περίπτωση β), η γωνία που σχηματίζεται είναι μικρότερη από την αληθινή και ονομάζεται φαινόμενη γωνία κλίσης.

Η σχέση που συνδέει την πραγματική ( $\varphi$ ) με τη φαινόμενη γωνία κλίσης ( $\delta$ ) είναι:  
 $\varepsilon\varphi\delta = \varepsilon\varphi\varphi * \eta\mu\alpha$

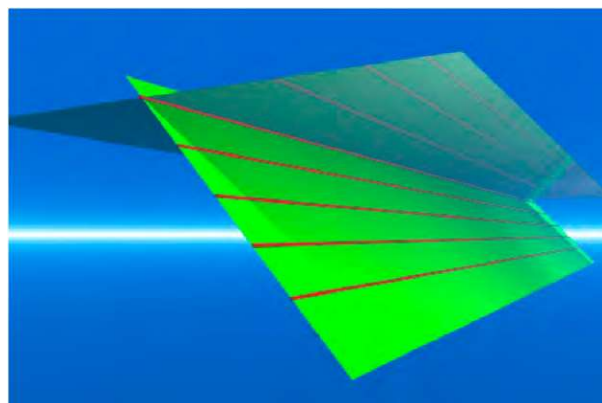


Τομή της επιφάνειας του εδάφους από μία νοητή επίπεδη επιφάνεια επαφής.

όπου  $\varphi$  : η πραγματική γωνία κλίσης  $\delta$  : η φαινόμενη γωνία κλίσης  
 $\alpha$  : η οριζόντια γωνία μεταξύ παράταξης της γεωλογικής διεπιφάνειας και του επίπεδου της τομής.

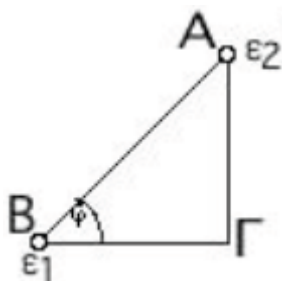
Η πραγματική γωνία κλίσης ενός στρώματος υπολογίζεται εάν είναι γνωστές δύο τουλάχιστον ευθείες παράταξής του.

Γιά να υπολογίσουμε την κλίση μίας γεωλογικής διεπιφάνειας, θεωρούμε μία τομή της από ένα κατακόρυφο επίπεδο που είναι κάθετο στην παράταξή της.



Κεκλιμένο και οριζόντιο επίπεδο. Διακρίνονται οι ευθείες παράταξης.

Στην περίπτωση αυτή οι ευθείες παράταξης του επιπέδου θα είναι κάθετες στο κατακόρυφο επίπεδο (αφού είναι οριζόντιες ευθείες). Έστω ότι δύο από τις ευθείες παράταξης της διεπιφάνειας σε διαφορετικά υψόμετρα, τέμνουν το επίπεδο της τομής στα σημεία A και B αντίστοιχα.



Η πραγματική γωνία κλίσης ( $\varphi$ ) του επιπέδου της διεπιφάνειας, δεδομένου ότι το τρίγωνο ΑΓΒ είναι ορθογώνιο, μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\varepsilon\varphi = (ΑΓ)/(ΒΓ)$$

όπου  $(ΑΓ)$  : η υψομετρική διαφορά μεταξύ των ευθειών παράταξης και  $(ΒΓ)$  : η μεταξύ τους οριζόντια απόσταση.

**\*Σημείωση:** Λυμένες ασκήσεις με την ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ περιγραφή της διαδικασίας θα βρείτε στο *elearning*

Αν ληφθεί υπόψη ότι ο χάρτης αποτελεί την προβολή όλων των στοιχείων του χώρου στο οριζόντιο επίπεδο, τότε η (ΒΓ) θα είναι ίση με την απόσταση μεταξύ των δύο αυτών ευθειών παράταξης στον χάρτη, η οποία μπορεί εύκολα να μετρηθεί. Το τρίτο από τα γεωμετρικά στοιχεία με βάση τα οποία καθορίζεται η θέση μίας γεωλογικής διεπιφάνειας, είναι η διεύθυνση κλίσης της. Αυτή περιγράφει την κατεύθυνση προς την οποία κλίνει η γεωλογική διεπιφάνεια σε σχέση με κάποιο από τα σημεία του ορίζοντα.

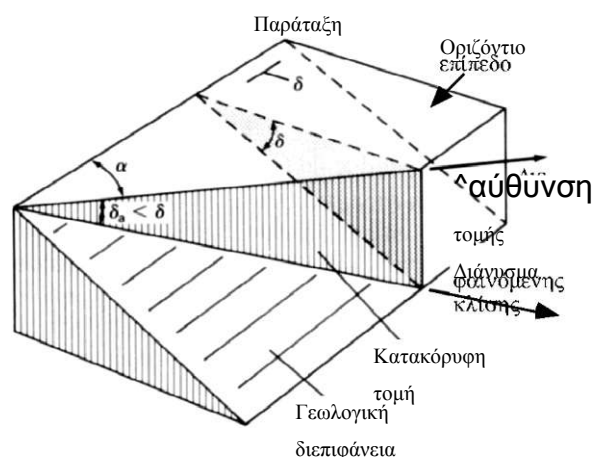
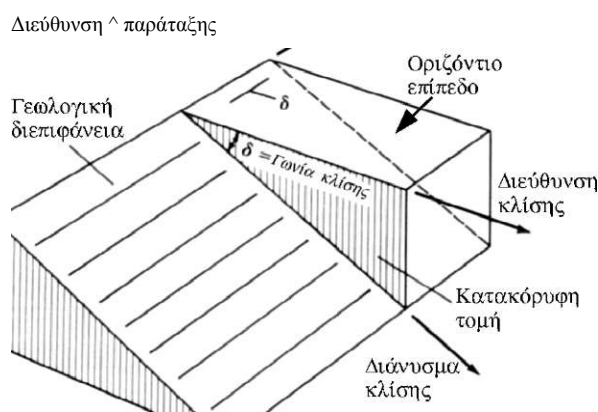
*Παράδειγμα.*

*Με βάση τα παραπάνω, εάν η θέση μίας επιφάνειας προσδιορίζεται σαν 130/46ΒΑ, τότε 130° είναι η διεύθυνση της παράταξης, 46° η πραγματική γωνία κλίσης και η επιφάνεια κλίνει προς τα βορειοανατολικά.*

### 10.9. Κατασκευή γεωλογικής τομής

Οι γεωλογικές τομές είναι νοητές τομές του υπεδάφους, στις οποίες περιγράφονται με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα, το είδος και η διαδοχή των γεωλογικών σχηματισμών που το αποτελούν.

Το πρώτο στάδιο της κατασκευής μίας γεωλογικής τομής κατά μήκος μίας νοητής ευθείας, είναι η κατασκευή μίας τοπογραφικής τομής στη συγκεκριμένη θέση. Στη συνέχεια πρέπει να αναγνωρισθούν οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή του χάρτη (ο αριθμός τους και το είδος



Προσδιορισμός των γεωμετρικών στοιχείων επιπέδου, φ: γωνία κλίσης, δ: φαινόμενη γωνία κλίσης.



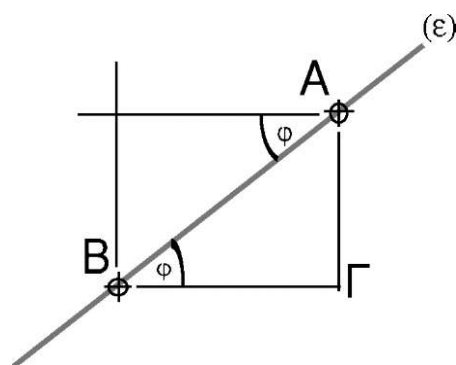
τους). Επίσης πρέπει να διακριθούν με σαφήνεια οι γεωλογικές διεπιφάνειες που τους διαχωρίζουν μεταξύ τους (επιφάνειες επαφής). Στο επόμενο στάδιο πρέπει να προσδιορισθούν οι ευθείες παράταξής τους (τουλάχιστον δύο από κάθε γεωλογικό σχηματισμό) έτσι ώστε να προσδιορισθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη θέση των γεωλογικών σχηματισμών στο χώρο.

Υπολογίζονται τα γεωμετρικά στοιχεία προσανατολισμού (η γωνία της παράταξης, η κλίση και η διεύθυνση κλίσης). Δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στο σχετικό προσδιορισμό της διεύθυνσης κλίσης (εάν δηλαδή τα επίπεδα κλίνουν προς την αρχή ή το τέλος της τομής).

Εάν η διεύθυνση της τομής σχηματίζει με τις ευθείες παράταξης των επιφανειών επαφής γωνία διαφορετική από την ορθή ( $90^\circ$ ), τότε πρέπει να υπολογισθεί και η φαινόμενη γωνία κλίσης ( $\delta$ ). Αυτή υπολογίζεται από τη σχέση  $\epsilon\phi\delta = \epsilon\phi\phi \cdot \eta\mu\alpha$ , όπου  $\alpha$  η γωνία μεταξύ ευθειών παράταξης και διεύθυνσης τομής.

Τέλος, για κάθε σχηματισμό, προσδιορίζεται στη μορφολογική τομή, το σημείο που αντιστοιχεί στην τομή της γραμμής επαφής με την ευθεία της τομής (τομή του κατακόρυφου επιπέδου τομής με την επιφάνεια του εδάφους). Από το σημείο αυτό και με γωνία ίση, κατά περίπτωση (βλ. προηγούμενο στάδιο), με τη γωνία κλίσης ή με τη φαινόμενη γωνία κλίσης που έχει ήδη υπολογισθεί, χαράσσεται ευθεία προς τη διεύθυνση κλίσης που έχει επίσης προσδιορισθεί. Αυτή η ευθεία είναι η ζητούμενη τομή του επιπέδου επαφής με το επίπεδο της τομής.

Εάν το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός του βάθους κάποιας από τις επιφάνειες επαφής ή του πάχους κάποιου στρώματος, τότε τα μεγέθη αυτά είναι δυνατόν να μετρηθούν επάνω στην τομή που έχει ήδη σχεδιασθεί (βλέπε δεύτερο παράδειγμα). Πρέπει όμως να γίνει αναγωγή τους σε πραγματικά μεγέθη με τη βοήθεια της κλίμακας του χάρτη.



(ε) η τομή του επιπέδου της διεπιφάνειας με το κατακόρυφο επίπεδο.

**Επιλεγμένη ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Bieniawski Z.T. (1989): Engineering rock mass classifications. Wiley, New York.  
Blyth F.G.H. and de Freitas M.H. (1984): A geology for engineers. 7th ed.  
2. Edward Arnold, London.
3. Δεμίρης Κ. (1983): Τεχνική Γεωλογία, Γεωλογικοί σχηματισμοί, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
4. Δεμίρης Κ (1983): Τεχνική Γεωλογία, διερεύνηση των γεωλογικών σχηματισμών, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
5. Goodman R. E. (1993): Engineering Geology. Rock in engineering construction. Dept. of Civil Engineering, University of California, Berkley, John Wiley & Sons Inc.
6. Goodman R.E. (1989): Introduction to rock mechanics, 2nd ed., Wiley. New York.
7. Hsai-Yang Fang (1997): Introduction to Environmental Geotechnology, CRC  
8. Press, New York.
9. Καλλέργης Γ. Α. (1986): Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
10. Klengel J. und Wagenbreth O. (1987): Ingenieurgeologie für Bauingenieure,  
11. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin. Krynine D. P. and Judd W. R. (1957) Principles of Engineering Geology and  
12. Geotechnics, McGraw-Hill Book Company, New York. Legget R.F. and Hatheway A.W. (1988): Geology and Engineering, 3rd edition,  
13. McGraw-Hill, New York.