

# Μεθοδολογία Τεχνικογεωλογικής Χαρτογράφησης Υπόγειων Εκσκαφών

Κ.Ι. Σαχλάζη

Η συμπεριφορά και καταλληλότητα μίας υπόγειας εκσκαφής, π.χ. σήραγγας, υπόγειου αποθηκευτικού θαλάμου, υπόγεια μεταλλευτική εξόρυξη, κ.ά., εξαρτάται και καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της φιλόξενης βραχομάζας, δηλαδή τις ιδιότητες του υλικού του πετρώματος και τις ιδιότητες της μάζας του πετρώματος.

Οι ιδιότητες αυτές πρέπει να αποκαλύπτονται κατά την χαρτογράφηση και την εργαστηριακή έρευνα, και να παρουσιάζονται σε τεχνικογεωλογικούς χάρτες, διαγράμματα, τομές και σχέδια.

Προτείνεται, για το λόγο αυτό, μία διαδικασία και μεθοδολογία που θα πρέπει να ακολουθείται κατά τις τεχνικογεωλογικές χαρτογραφήσεις υπογείων έργων, ώστε τα χαρακτηριστικά αυτά να ανιχνεύονται και να παρουσιάζονται κατά τον πληρέστερο, διεξοδικότερο και πλέον εμπειριστατωμένο τρόπο.

## 1. Εισαγωγή

Τα γενικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας μιας περιοχής, αντανakλούν και προδιαγράφουν τα αναμενόμενα προβλήματα μίας υπόγειας εκσκαφής. Η καλύτερη πληροφόρηση των χαρακτηριστικών αυτών της βραχομάζας μπορεί να αποκτηθεί μέσω της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης, τόσο στην επιφάνεια της περιοχής ενδιαφέροντος, όσο και σε υπόγειες ερευνητικές εκσκαφές, όπως, φρεάτια, στοές, και τάφρους, καθώς και μέσω εργαστηριακών και υπαίθριων δοκιμών. Κατόπιν, τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών μεταφέρονται και στην υπόλοιπη χαρτογραφημένη περιοχή μελέτης όπου εμφανίζονται ίδιες γεωτεχνικές ενότητες βραχομαζών.

Μία βραχομάζα αποτελείται από το υλικό πετρώματος, το οποίο διατέμνεται από τις ασυνέχειες που καθορίζουν τελικά τα κύρια μηχανικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ασυνχειών, όπως, φυσικές διακλάσεις, ρήγματα, καθώς και θραυσι-

γενείς επιφάνειες που προκαλούνται κατά την εκσκαφή του πετρώματος. Οι τύποι των ασυνχειών που πρέπει να χαρτογραφούνται, καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον ποσοτικό χαρακτηρισμό τους, περιγράφονται στην Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής (I.S.R.M., 1978, 1981).

Συνήθως, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ασυνχειών που εμφανίζεται στις υπόγειες εκσκαφές και συνεπώς είναι αδύνατον να συγκεντρωθούν λεπτομερή στοιχεία σε κάθε μία από αυτές. Για το λόγο αυτό περιγράφονται στατιστικές μέθοδοι για την επέκταση των μετρήσεων που εκτελέστηκαν σε ένα περιορισμένο δείγμα ασυνχειών στον γενικό πληθυσμό των ασυνχειών που παρευρίσκονται στην βραχομάζα της περιοχής. Τέτοιες μέθοδοι αναλύονται σε εργασίες των McMahon (1971), Goodman (1976), Baecher and Lanney (1978), κ.ά.

Περιγράφονται επίσης διάφορα διεθνή συστήματα ταξινόμησης βραχομάζας, τα οποία έχουν αναπτυχθεί για να βοηθήσουν στον σχεδιασμό και στην κατασκευή υπόγειων εκσκαφών. Τα συστήματα αυτά είναι χρήσιμα επίσης για την σύγκριση μεταξύ διαφόρων θέσεων της βραχομάζας ή διαφόρων βραχομαζών για την επιλογή

Κ.Ι. Σαχλάζη  
M.Sc. Geotechnical Engineering U.K.,  
Δρ Ε.Μ.Π.

της βέλτιστης θέσης της κατασκευής. Τέτοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί από τους Terzaghi (1946), Deere (1963), Bieniawski (1973, 1976, 1978), και Barton, Lien, Lunde (1974).

### 3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

Κατά την Τεχνικογεωλογική χαρτογραφήση θα πρέπει να εκτιμώνται οι εξής παράμετροι: Χαρακτηριστικά ακέραιου πετρώματος, Ασυνέχειες, Υπόγεια νερά, Συμπεριφορά βραχομάζας, Κατάταξη βραχομάζας.

#### 3.1. Ακέραιο Πέτρωμα

Αναφέρεται το όνομα του πετρώματος που βασίζεται στην ορυκτολογική σύσταση και σύνθεση, ιστό και υφή του πετρώματος. Ο ιστός αναφέρεται στο μέγεθος, σχήμα και στην μικρή κλίμακας διάταξη των ορυκτών κόκκων ή κρυστάλλων. Η υφή αναφέρεται στην μεγάλης κλίμακας διάταξη των ορυκτών κόκκων ή κρυστάλλων στον χώρο και περιγράφεται με χαρακτηριστικά, όπως συμπαγής ή ακανόνιστη, παράλληλη ή ταινιωτή, πομφολυγώδης, σκωριώδης, λατυποπαγής, κλπ.

Το ακέραιο πέτρωμα πολλές φορές τροποποιείται λόγω αποσάθρωσης, ή υδροθερμικής εξαλλοίωσης. Στις περιπτώσεις αυτές τα ορυκτά διαλύονται, αντικαθίστανται ή οξειδώνονται, αλλάζοντας έτσι τον χαρακτήρα του πετρώματος. Η περιγραφή επομένως του ακέραιου πετρώματος πρέπει να περιλαμβάνει και την περιγραφή της επίδρασης της αποσάθρωσης ή εξαλλοίωσης, σύμφωνα με τα Βρετανικά Πρότυπα (B.S.:5930:1981) ή την Διεθνή Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας (ANON. 1977).

Επίσης μπορούν να εκτελούνται απλές δοκιμές, κατά την διάρκεια της Τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης ώστε να εκτιμώνται μερικές μηχανικές ιδιότητες του ακέραιου πετρώματος, όπως της αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας, της αντοχής σε φθορά, κλπ. Οι μηχανικές αυτές ιδιότητες εξαρτώνται προφανώς από τα άλλα χαρακτηριστικά του ακέραιου πετρώματος όπως, ορυκτολογική σύσταση, ιστός, υφή, κατάσταση αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης. Οι δοκιμές είναι χρήσιμες για την ποσοτική περιγραφή του ακέραιου πετρώματος.

#### 3.2 Ασυνέχειες

Οι ασυνέχειες περιγράφονται αναφέροντας τις ακόλουθες παραμέτρους (ANON 1977, Σαχπάκης-Κουμαντάκης 1986):

- α. Τύπος
- β. Προσανατολισμός
- γ. Πυκνότητα
- δ. Επιφανειακή έκταση ή Μήκος ίχνους
- ε. Γεωμετρία επιφάνειας ή Τραχύτητα/
- στ. Άνοιγμα
- ζ. Υλικό πλήρωσης

Οι παράμετροι β, γ και δ επηρεάζουν την γεωμετρία των τεμαχίων του πετρώματος που σχηματίζουν την βραχομάζα. Οι παράμετροι ε, στ και ζ επηρεάζουν την διατμητική αντοχή των ασυνεχειών. Οι παράμετροι β, γ, δ, στ και ζ επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές ιδιότητες της βραχομάζας. Όλοι οι παράμετροι, οπωσδήποτε επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες της βραχομάζας.

#### 3.3 Υπόγεια Νερά

Παρατηρήσεις σχετικά με την δίαιτα των υπόγειων νερών αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της Τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης για υπόγειες εκσκαφές. Τα υπόγεια νερά μπορούν να ρέουν προς την εκσκαφή μέσω των πόρων του ακέραιου πετρώματος (πρωτογενής υδροπερατότητα) ή μέσω των ασυνεχειών (δευτερογενής υδροπερατότητα). Παρατηρήσεις επί της πιεζομετρίας της ευρύτερης περιοχής, του βαθμού στεγανότητας ή της υδροπερατότητας των διαφόρων σχηματισμών, καθώς και στοιχεία περί της επιφανειακής απορροής και των πηγών, παρέχουν πολύτιμα στοιχεία όσο αφορά τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της θέσης της υπόγειας εκσκαφής.

#### 3.4 Συμπεριφορά Βραχομάζας

Το πρόγραμμα της υπόγειας τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης θα πρέπει να περιλαμβάνει κριτική και αναφορά επί της συμπεριφοράς του πετρώματος γύρω από την υπόγεια εκσκαφή. Η αναφορά περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- α. Υπερεκσκαφή στην περίμετρο της εκσκαφής και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά που ελέγχουν την υπερεκσκαφή.
- β. Παρατηρήσεις εάν το πέτρωμα γύρω από την εκσκαφή βρίσκεται σε κατάσταση υψηλών εντατικών τάσεων, όπως τοπικός θρυμματισμός σε γωνίες (spalling), εκτινάξεις τεμαχίων πετρώματος, (porring), κ.λ.π.
- γ. Ασυνέχειες που δημιουργήθηκαν από την έκρηξη.
- δ. Παρατηρήσεις επί της υπερφόρτωσης του συστήματος υποστήλωσης της εκσκαφής.
- ε. Υποβάθμιση του πετρώματος λόγω της εκθεσης του στην υπόγεια εκσκαφή.

### 3.5 Συστήματα ταξινόμησης και κατάταξης βραχομάζας

Λόγω ακριβώς της πολυπλοκότητας των υπόγειων κατασκευών, οι αναλυτικές μέθοδοι δεν βρίσκουν ορισμένες φορές άμεση πρακτική εφαρμογή στον προσδιορισμό της ευστάθειας της εκσκαφής και των απαιτήσεων υποστήριξης. Αντίθετα εμπειρικές μέθοδοι που βασίζονται σε πολυάριθμες παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται διεθνώς, για την εκτίμηση των απαιτήσεων αυτών ανάλογα με τις αναμενόμενες εδαφικές συνθήκες. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται γενικά στην ομαδοποίηση των αναμενόμενων εδαφικών συνθηκών σε διάφορες ενότητες παρόμοιας γεωτεχνικής συμπεριφοράς, και κατόπιν στην εφαρμογή της υπάρχουσας εμπειρίας που ανταποκρίνεται στην κάθε ομάδα. Η προσέγγιση της ομαδοποίησης παίρνει διάφορες μορφές. Ο Z.T. Bieniawski (1973) πρότεινε ότι το σύστημα της ταξινόμησης και ομαδοποίησης της ασυνεχούς βραχομάζας θα πρέπει:

- Να διαιρεί την βραχομάζα σε ομάδες παρόμοιας συμπεριφοράς.
- Να παρέχει μια καλή βάση για την κατανόηση των χαρακτηριστικών της βραχομάζας.
- Να διευκολύνει τον σχεδιασμό και την διάταξη της υπόγειας εκσκαφής στο πέτρωμα, παράγοντας ποσοτικά στοιχεία που απαιτούνται για την επίλυση των πραγματικών τεχνικών προβλημάτων, και
- Να περιέχει μια κοινή βάση για αποτελεσματική επικοινωνία και συνενόηση μεταξύ όλων των ατόμων και ειδικοτήτων που σχετίζονται με το γεωμηχανικό πρόβλημα.

Αυτοί οι στόχοι θα πρέπει να εκπληρώνονται με την προϋπόθεση ότι η αποδεχόμενη ταξινόμηση είναι απλή και βασίζεται σε μετρούμενες παραμέτρους οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν γρήγορα και φθηνά στην ύπαιθρο.

Υπάρχουν τέσσερα, πιο δημοφιλή, συστήματα ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται διεθνώς στις υπόγειες εκσκαφές: 1. Φορτίο Βραχομάζας Terzaghi (1946), 2. Δείκτης Ποιότητας Πετρώματος (R.Q.D), Deere (1963), 3. Γεωμηχανική Ταξινόμηση Βραχομάζας (C.S.I.R.) κατά Bieniawski (1973), και 4. Δείκτης Ποιότητας Υπόγειας Εκσκαφής (N.G.I.), Νορβηγική μέθοδος κατά Barton, Lien και Lunde (1974). Τρία από αυτά τα συστήματα ταξινόμησης, που συζητώνται πιο κάτω μπορούν να χρησιμοποιηθούν με βάση τις παρατηρήσεις και τα στοιχεία που αποκτώνται από τις υπόγειες εκσκαφές.

#### 3.5.1 Φορτίο Βραχομάζας Terzaghi

Ο Terzaghi πρότεινε ένα ποσοτικό σύστημα ταξινόμησης της βραχομάζας για να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση των φορτίων που θα υποστηριχθούν από το κέλυφος ή τα ασφάλινα υποστηλώματα της εκσκαφής. Περιγράφει διάφορους τύπους πετρωμάτων και κατόπιν, βασισμένος στην εμπειρία του στις ασφάλινες υποστηλώσεις σιδηροδρομικών σιδηροδρόμων στις Άλπεις, απέδωσε προσεγγιστικές τιμές των φορτίων των πετρωμάτων με μορφή κάποιου αντίστοιχου ύψους επιφόρτισης βράχου ( $H_p$ ) σαν συνάρτηση του πλάτους ( $B$ ) και ύψους ( $H_t$ ) της υπόγειας εκσκαφής, για κάθε τύπο πετρώματος. Τελικά ταξινόμησε τα διάφορα πετρώματα σε εννέα κατηγορίες και έδωσε τα αντίστοιχα ύψη επιφόρτισης βράχου ( $H_p$ ) όπως ακολουθούν:

Τύπος ή κατάσταση Πετρώματος	$H_p$ σε μέτρα
1. Ισχυρό και ακέραιο	0
2. Ισχυρό, στρωσιγενές ή σχιστώδες	0 έως $0.5 \times B$
3. Μέτριας πυκνότητας διακλάσεις	0 έως $0.25 \times B$
4. Μέτρια ταμαχισμένο ή στρωματοποιημένο	$0.25 \times B$ έως $0.35 \times (B + H_t)$
5. Πολύ ταμαχισμένο ή στρωματοποιημένο	$(0.35$ έως $1.10) \times (B + H_t)$
6. Εντελώς κατακερματισμένο αλλά χημικά αναλόγιστο	$1.10 \times (B + H_t)$
7. Πλαστικό πέτρωμα, Μετρίου βάθους	$(1.10$ έως $2.10) \times (B + H_t)$
8. Πλαστικό πέτρωμα, μεγάλου βάθους	$(2.10$ έως $4.50) \times (B + H_t)$
9. Διογκούμενο πέτρωμα	Έως και 83 μέτρα, άσχετα της τιμής $(B + H_t)$

Η οροφή της υπόγειας εκσκαφής, στον προηγούμενο πίνακα, θεωρείται ότι βρίσκεται κάτω από την πιεζομετρική επιφάνεια. Εάν όμως βρίσκεται μόνιμα πάνω από αυτή, τότε οι παραπάνω τιμές των πετρωμάτων 4 έως 6 μπορούν να μειωθούν κατά 50%.

Ο Terzaghi επίσης υπολόγισε την αντίστοιχη πλευρική οριζόντια ώθηση επί της πλευρικής υποστήλωσης, έως εξής:

$$P_h = (\text{περίπου}) 0.3 \times \gamma \times (H_t/2 + H_p)$$

όπου:

$$P_h = \text{Οριζόντια πλευρική τάση,}$$

Hr = Ύψος εκσκαφής,  
 γ = Μονάδα βάρους Βραχομάζας επάνω από την οροφή,  
 Hp = Αντίστοιχο ύψος επιφόρτωσης βράχου.

### 3.5.2 Γεωμηχανική ταξινόμηση βραχομάζας (C.S.I.R.)

Η γεωμηχανική ταξινόμηση τεκτονισμένης βραχομάζας, αναπτύχθηκε από τον Bieniawski (1973), και λαμβάνει υπ' όψη της στην αρχική της μορφή διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με την αντοχή του υλικού του ακέραιου πετρώματος, τον Δείκτη Ποιότητας Πετρώματος (R.Q.D.), την κατάσταση των διακλάσεων και γενικά των ασυνεχειών, και την κατάσταση των υπόγειων νερών. Αναγνωρίζει επίσης ότι η κάθε θεωρούμενη παράμετρος δεν συνεισφέρει απαραίτητα ισοδύναμα στην ολική συμπεριφορά της βραχομάζας. Ο Bieniawski ακολούθως εφάρμοσε μια σειρά βαθμονόμησης σπουδαιότητας στις παραμέτρους του, σύμφωνα με τις απόψεις των Wickham και Tiedemann (1794). Έτσι δίδεται μια κλίμακα βαθμών για την κάθε παράμετρο της βραχομάζας, ανάλογα με τον βαθμό που είναι αναπτυγμένη, και κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται, με άθροιση των επι μέρους βαθμών της κάθε παραμέτρου, μια τελική ολική τιμή της ποιότητας ή κατάστασης της βραχομάζας. Με βάση την τιμή αυτή γίνεται διαχωρισμός της βραχομάζας σε πέντε κύριες κατηγορίες ποιότητας, (πολύ καλή, καλή, μέτρια, φτωχή, πολύ φτωχή). Για κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές γίνεται συσχετισμός με τη συνοχή (c) τη γωνία τριφής (φ) της βραχομάζας και του μέτρου ελαστικότητας κατά Young, καθώς επίσης ορίζεται και η σχέση μεταξύ ανυποστηρίκτου τμήματος σήραγγας και του χρόνου διατήρησης σε σταθερή κατάσταση. Η ταξινόμηση και οι τιμές του c και φ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε μελέτες θεμελιώσεων και ευστάθειας πρανών.

Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στη γεωμηχανική ταξινόμηση είναι: 1) αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ή σε σημειακή φόρτωση ακέραιου πετρώματος, 2) δείκτη ποιότητας πετρώματος R.Q.D., 3) απόσταση μεταξύ ασυνεχειών, 4) προσανατολισμό ασυνεχειών, 5) κατάσταση ασυνεχειών, και 6) δίαυτα υπόγειων νερών.

Για την ταξινόμηση αυτή έχει αναπτυχθεί από τον συγγραφέα πρόγραμμα H/Y σε Quick Basic Ver 4, για τον ταχύ και ακριβή προσδιορισμό της ποιότητας της βραχομάζας (Rock Mass Rating) και των παράγωγων παραμέτρων της.

### 3.5.3 Δείκτης ποιότητας υπόγειας εκσκαφής (N.G.I)

Οι Barton et al (1974) από το Νορβηγικό Γεωτεχνικό Ινστιτούτο (N.G.I) πρότειναν ένα δείκτη (Q) για τον προσδιορισμό της ποιότητας της βραχομάζας των υπόγειων εκσκαφών, μετά από πολυάριθμες παρατηρήσεις και εκτιμήσεις περιπτώσεων. Η αριθμητική τιμή του δείκτη (Q) ορίζεται από την εξίσωση:

$$Q = (R.Q.D./J_n) \times (J_r/J_a) \times (J_w/S.R.F.)$$

Όπου:

- R.Q.D. = Δείκτης ποιότητας πετρώματος,  
 J<sub>n</sub> = Αριθμός των ομάδων των διακλάσεων,  
 J<sub>r</sub> = Τραχύτητα της πλέον δυσμενούς ομάδας διακλάσεων,  
 J<sub>w</sub> = Κατάσταση από πλευράς υπεδαφικού νερού,  
 J<sub>a</sub> = Βαθμός εξαλοίωσης των τοιχωμάτων της ασυνέχειας ή το υλικό πλήρωσης της πλέον δυσμενούς ομάδας διακλάσεων.  
 S.R.F. = Συντελεστής μείωσης τάσης.

Το πρώτο κλάσμα δίνει μία χονδρική εκτίμηση του μέσου μεγέθους των κομματιών του πετρώματος μεταξύ των διακλάσεων. Το δεύτερο τη διατμητική αντοχή μεταξύ των κομματιών του πετρώματος και το τρίτο την ενεργό τάση στη σήραγγα ή στην υπόγεια εκσκαφή. Οι τιμές του Q κυμαίνονται από 0,001 για εξαιρετικά φτωχής ποιότητας πέτρωμα, έως 1000 για εξαιρετικά καλής ποιότητας πέτρωμα που είναι πρακτικά συμπαγές. Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία και δίδει τις απαιτήσεις για υποστήλωση ή μη μιας υπόγειας εκσκαφής, σε σχέση με τη ποιότητα της βραχομάζας, όπως προσδιορίζεται από την τιμή του Q. Οι Barton et al δίδουν σχετικό νομογράφημα για τις απαιτήσεις σε υποστήλωση. Για περισσότερες λεπτομέρειες βλέπε τη σχετική βιβλιογραφία, και για Ελληνικές σήραγγες και κριτική των ταξινομήσεων βλ. Π. Μαρίνο 1979.

Ο Bieniawski (1978) πρότεινε μία συσχέτιση μεταξύ της δικής του μεθόδου (R.M.R.) και της Νορβηγικής (Q), που δίδεται από την εξίσωση:

$$R.M.R. = 9 \times \log Q + 44$$

## 4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Για την χαρτογράφηση των σχηματισμών και την ανάλυση των στοιχείων τους θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι, επειδή:

\* Είναι γενικά αδύνατο να μετρούνται όλα τα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στις υπόγειες εκσκαφές, και

\* Για να είναι χρήσιμα τα παρατηρηθέντα χαρακτηριστικά θα πρέπει να είναι δυνατό να μεταφέρονται σε τμήματα βραχομάζας όπου δεν μπορούν να παρατηρηθούν και να χαρτογραφηθούν.

Στις χαρτογραφήσεις των υπόγειων εκσκαφών, οι στατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κύρια στη μέτρηση και ανάλυση των διακλάσεων και των ασυνεχειών γενικότερα.

Τα δυο σπουδαιότερα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών είναι ο τύπος και ο προσανατολισμός τους. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά ορίζουν τις ομάδες των ασυνεχειών, καθώς και την κατάσταση όλων των άλλων χαρακτηριστικών. Οι ομάδες μπορούν να εντοπισθούν με την κατασκευή στερεογραφικών διαγραμμάτων (δίκτυα Schmidt ή Kamb) από τους πόλους των ασυνεχειών. Ο αριθμός των πόλων σε κάθε 1% της επιφάνειας του δικτύου μετράται για να καθορισθεί η πυκνότητα των σημείων. Κατόπιν σχεδιάζονται ισοϋψείς καμπύλες που δείχνουν περιοχές ίσης πυκνότητας σημείων. Γενικά, οι ισόπυκνες καμπύλες δηλώνουν ότι υπάρχουν συγκεντρώσεις πόλων γύρω από κάποιους προσανατολισμούς και αυτοί οι προσανατολισμοί ορίζουν «τους βέλτιστους προσανατολισμούς» των διαφόρων ομάδων των διακλάσεων.

Οι προσανατολισμοί των ασυνεχειών μέσα σε κάθε ομάδα μπορούν να περιγραφούν με κάποια συνάρτηση πιθανότητας. Έχουν εφαρμοσθεί διάφορες συναρτήσεις πιθανοτήτων για την ανάλυση του προσανατολισμού των ασυνεχειών όπως του Gauss (McMachon 1971), Arnold, Bingham, Fisher (Baecher et al 1978). Ο Dershowitz (1979) βρήκε ότι η μέθοδος του Fisher (Fisher 1953) είναι η πιο κατάλληλη για την περιγραφή των προσανατολισμών των ασυνεχειών, ειδικά στην περίπτωση μιας δυσδιάστατης μη αξονοσυμμετρικής μορφής. Ο Goodman (1980) περιγράφει μία απλή μέθοδο για τον προσδιορισμό του συντελεστή διασποράς για μια ομάδα ασυνεχειών βασισμένη στην αξονοσυμμετρική κατανομή του Fisher.

Η μέθοδος του Goodman παρατίθεται συνοπτικά παρακάτω:

1. Υπολογίζονται τα συνημίτονα της διεύθυνσης των πόλων των κάθε μετρηθέντων διακλάσεων της κάθε ομάδας, όπως ακολουθεί:

$$L = \cos(\delta) \times \cos(\theta), N = \sin(\delta), M = \cos(\delta) \times \sin(\theta)$$

όπου:

$\delta$  = είναι η γωνία του πόλου πάνω από την οριζόντια, και

$\theta$  = είναι η διεύθυνση του πόλου μετρούμενη δεξιόστροφα από το βορρά.

2. Υπολογίζονται τα συνημίτονα της διεύθυνσης της συνισταμένης (βέλτιστου προσανατολισμού) όλων των ασυνεχειών της ομάδας, όπως ακολουθεί:

$$L_R = \sum Li / |R \text{ mean}|, M_R = \sum Mi / |R \text{ mean}|, N_R = \sum Ni / |R \text{ mean}|$$

Όπου:

$$|R \text{ mean}| = [(\sum Li)^2 + (\sum Mi)^2 + (\sum Ni)^2]^{1/2}$$

Οι γωνίες  $\delta_R$  και  $\theta_R$  υπολογίζονται χρησιμοποιώντας της παραπάνω εξισώσεις σύμφωνα και με τους κανόνες για το σωστό πρόσημο του τόξου του συνημιτόνου:

$$\delta_R = \sin^{-1}(n_R) \quad 0 \leq \delta_R \leq 90^\circ$$

$$\theta_R = +\cos^{-1}(L_R / \cos \delta_R) \quad \text{εάν } M_R > 0$$

$$\theta_R = -\cos^{-1}(L_R / \cos \delta_R) \quad \text{εάν } M_R < 0$$

3. Η διασπορά της ομάδας των διακλάσεων υπολογίζονται όπως ακολουθεί:

$$K_f = N / (N - |R \text{ mean}|)$$

όπου:

$K_f$  = Η διασπορά,

$N$  = Ο αριθμός των διακλάσεων που μετρούνται,

$R$  = Το μέγεθος της συνισταμένης.

Φαίνεται ότι εάν όλες οι διακλάσεις σε μία ομάδα είναι παράλληλες, τότε η τιμή του  $K_f$  γίνεται άπειρη εάν όλες οι διακλάσεις είναι τυχαίες, η τιμή του  $K_f$  γίνεται ίση με τη μονάδα.

4. Η τιμή πιθανότητα της εμφάνισης του οποιοδήποτε προσανατολισμού μιας ασυνέχειας μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας τη τιμή του  $K_f$  ως ακολούθως:

$$\cos(\psi) = 1 + (1/K_f) \times \ln(1-p)$$

όπου:

$\psi$  = η γωνία μεταξύ της συνισταμένης και του πόλου μιας ασυνέχειας, και

$p$  = η πιθανότητα εμφάνισης.

Όταν οι ομάδες των ασυνεχειών (με βάση τον τύπο και τον προσανατολισμό) έχουν καθορισθεί, οι άλλες μετρούμενες ιδιότητες μπορούν να αναλυθούν έτσι ώστε να προσδιορισθεί μια αντιπροσωπευτική ομάδα ιδιοτήτων που να ισχύει με τη μεγαλύτερη αξιοπιστία σε κάθε ομάδα ασυνεχειών. Οι μετρούμενες ιδιότητες οι οποίες μπορούν να περιγραφούν χρησιμοποιώντας συναρτήσεις πιθανοτήτων είναι το μήκος ίχνους ασυνέχειας, η πυκνότητα, η τραχύτητα, και το άνοιγμα. Γενικά οι ιδιότητες αυτές είναι είτε εκθετικά είτε λογαριθμικά κατανομημένες, και σπανιότερα είναι κανονικά κατανομημένες (Baecher et al, 1978).

Οι στατιστικές μέθοδοι εφαρμόζονται επίσης στην ανάλυση των ποσοτικών ιδιοτήτων του ακέραιου πετρώματος, όπως π.χ. για τον αριθμό αναπήδησης της σφύρας Schmidt, που χρησιμο-

ποιείται συχνά στις εμφανίσεις πετρωμάτων. Ο δείκτης αυτός συσχετίζεται με το μέτρο ελαστικότητας Young, την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, και το ξηρό φαινόμενο βάρος. Για περισσότερες λεπτομέρειες και μελέτη των νομοδιαγραμμάτων ο αναγνώστης μπορεί να απευθυνθεί στο άρθρο των Deere D.U. και R.P. Miller (1966) και C. Sachpazis (υπό δημοσίευση στο I.A.E.G.).

Τα διάφορα συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται στη θεωρία της τεχνικής γεωλογίας και της βραχομηχανικής, και έχουν επιβεβαιωθεί σε εκατοντάδες υπόγειες εκσκαφές στην υδρόγειο. Η ευστάθεια μιας υπόγειας εκσκαφής εξαρτάται από τα ακόλουθα:

— Τα υπερκείμενα φορτία και το σχήμα και τον προσανατολισμό της εκσκαφής. Αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν την κατανομή των τάσεων γύρω από την εκσκαφή που είναι απαραίτητοι για την ανάλυση της ισοροπίας των τάσεων.

— Τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Οι ιδιότητες του αέριου πετρώματος και των ασυνεχειών, όπως περιγράφηκαν παραπάνω, καθορίζουν την αντοχή και τα χαρακτηριστικά της παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας γύρω από μια υπόγεια εκσκαφή. Αυτά τα χαρακτηριστικά οπωσδήποτε εξαρτώνται από την κλίμακα της εκσκαφής. Όσο αυξάνει η κλίμακα, τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας καθορίζονται και διαμορφώνονται κυρίως από τις ασυνέχειες, ενώ οι ιδιότητες του αέριου πετρώματος παίζουν τον πρωτεύοντα ρόλο σε μικρής κλίμακας εκσκαφές. Η αντοχή γενικά μειώνεται και η παραμορφωσιμότητα αυξάνει όσο η κλίμακα αυξάνει.

— Το μέγεθος (επιφάνεια διατομής κάθετα στον άξονα) της υπόγειας εκσκαφής. Το μέγεθος καθορίζει τον όγκο (κλίμακα) της βραχομάζας που θα επηρεασθεί καθώς η υπόγεια εκσκαφή προχωρεί. Οι μεγάλες εκσκαφές γενικά συναντούν περισσότερα προβλήματα ευστάθειας από τις μικρές εκσκαφές, επειδή ο μεγάλος όγκος του πετρώματος που επηρεάζεται από την εκσκαφή είναι σημαντικά πιο αδύνατος και πιο παραμορφώσιμος από τον μικρό όγκο που επηρεάζεται στις μικρές εκσκαφές.

— Τη δίατα των υπόγειων νερών. Η πίεση των υπόγειων νερών επιδρά στην ενεργό τάση και αντοχή της βραχομάζας. Η πίεση των υπόγειων νερών συνήθως τείνει να οδηγεί τα τεμάχια του πετρώματος, που ορίζονται από τις ασυνέχειες της βραχομάζας, προς το ελεύθερο μέτωπο της εκσκαφής.

Τα συστήματα ταξινόμησης του Bieniawski

και των Barton et al, έχουν και τα δύο προσπαθήσει να καθορίσουν την σχετική επίδραση του καθενός από αυτούς του παράγοντες επί της ευστάθειας, του χρόνου αυτουποστήριξης, και τις απαιτήσεις για υποστήλωση των υπόγειων εκσκαφών.

## 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

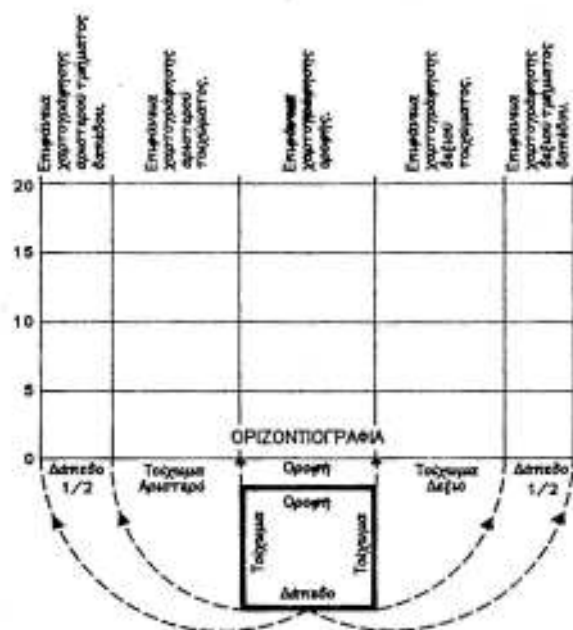
### 5.1 Γενικά

Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση στις υπόγειες εκσκαφές αποτελείται από την προετοιμασία της υπό χαρτογράφησης περιοχής, περιγραφή του αέριου υλικού πετρώματος, μετρήσεις και περιγραφές ασυνεχειών, παρατηρήσεις περί του υπόγειου νερού, περιγραφή της συμπεριφοράς της βραχομάζας, και ερμηνεία των στοιχείων.

Η προετοιμασία της περιοχής αποτελεί σπουδαίο μέρος της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκσκαφές, λόγω των δυσκολιών συνθήκων τους. Η προετοιμασία αυτή συνήθως περιλαμβάνει καθαρισμό και πλύση των τοιχωμάτων, της οροφής και του δαπέδου με άφθονο νερό για την απομάκρυνση των τοιχωμάτων, της σκόνης, του καπνού, των εκρηκτικών και των διάφορων λιπαντικών (γράσσα κ.λ.π.), που συσσωρεύονται κατά τη κατασκευή. Σε πετρώματα που είναι ευαίσθητα στο νερό, η επιφάνεια του πετρώματος μπορεί να καθαριστεί με πεπιεσμένο αέρα, με αρκετό ψεκαζόμενο νερό για τον έλεγχο της σκόνης. Σε σήραγγες όπου απαιτείται σημαντική υποστήλωση, όλη η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση πρέπει να εκτελείται κατά την κατασκευή με λίγη ή και καθόλου προετοιμασία. Φρεάτια και κατακόρυφα ορύγματα, γενικά χαρτογραφούνται κατά την κατασκευή, λόγω δυσκολιών προσπέλασης μετά την κατασκευή. Μέρος της προετοιμασίας για την χαρτογράφηση περιλαμβάνει τον καθορισμό των καλύτερων μεθόδων για την καταγραφή των στοιχείων που αποκτώνται από την εκσκαφή. Υπάρχουν τρία κύρια συστήματα χαρτογράφησης που συνήθως χρησιμοποιούνται παγκοσμίως:

α) **Χαρτογράφηση πλήρους περιφέρειας.** Περιλαμβάνει την χαρτογράφηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών επάνω σε μία «ξεδιπλωμένη» άποψη του φρεατίου ή των τοιχωμάτων της οροφής και του δαπέδου μιας σήραγγας όπως απεικονίζεται στο σχήμα (1). Χαρτογράφηση των τριών τετάρτων της περιμέτρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν το δάπεδο είναι καλυμμένο με νερό και λάσπη.

β) **Χαρτογράφηση των τοιχωμάτων της εκσκα-**



Σχήμα 1: Προετοιμασία «ξεδιπλωμένης» οριζοντιογραφίας για τη χαρτογράφηση μιας τετραγωνικής διατομής υπόγειας εκσκαφής.

Figure 2: Preparation «unfolded» plan for the mapping of a squared cross section underground excavation.

**φής.** Περιλαμβάνει χαρτογράφηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών που εμφανίζονται στα τοιχώματα της εκσκαφής και από αυτά αναπτύσσεται μία γεωλογική τομή (προφίλ) κατά μήκος του άξονα της εκσκαφής.

**γ) Χαρτογράφηση επιπέδου αναφοράς.** Περιλαμβάνει την προβολή των γεωλογικών χαρακτηριστικών επάνω σε ένα κοινό επίπεδο αναφοράς (συνήθως το δάπεδο) και προετοιμασία μιας γεωλογικής οριζοντιογραφίας.

Το πρώτο στάδιο κατά την χαρτογράφηση αποτελείται συνήθως από τη σχεδίαση των θέσεων των διάφορων τύπων πετρώματος που εμφανίζονται στην εκσκαφή και την προετοιμασία ενός γενικού γεωλογικού χάρτη. Κατόπιν γίνεται αντιπροσωπευτική δειγματοληψία διάφορων υλικών με μία σύντομη περιγραφή τους επιτόπου, που στη συνέχεια περιγράφονται σε λεπτομέρεια στο εργαστήριο.

Δοκιμές δεικτών τέτοιες όπως δοκιμή σφύρας Schmidt και σκληρότητας, μπορούν να εφαρμοσθούν για να προσδιορισθούν ποσοτικά οι περιγραφές του ακέραιου πετρώματος, ειδικά ο βαθμός αποσάθρωσης ή υδροθερμικής εξαλλοίωσής τους.

Μία χοντρική δοκιμή ταξινόμησης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αντοχής ενός δοκιμίου πετρώματος, βασίζεται στο βαθμό δυσκολίας κατά την θραύση ενός δοκιμίου με τα χέρια ή με το γεωλογικό σφυρί (σύμφωνα με τη γεωλογική ένωση του Λονδίνου 1987). Ο πίνακας (1) δείχνει την προσεγγιστική αντοχή, τον αριθμό αναπήδησης (N) της σφύρας Schmidt και του βαθμού δυσκολίας κατά την θραύση των εδαφικών ή βραχωδών δοκιμών. Σημειώνεται ότι ο αριθμός αναπήδησης (N) είναι χρήσιμος μόνο στην περίπτωση των μέτρια ισχυρών έως εξαιρετικά ισχυρών πετρωμάτων. Ο αριθμός αναπήδησης (N) ενός πετρώματος, έχει συσχετισθεί προς τον βαθμό αποσάθρωσης ή υδροθερμικής εξαλλοίωσης των γρανιτών από τον Ege 1968.

Ο περισσότερος χρόνος κατά την τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση για μηχανικούς σκοπούς, καταναλώνεται στην μέτρηση των ασυνεχειών. Οι μετρήσεις αυτές πρέπει να γίνονται σε κάθε σχεδόν ασυνέχεια ή τουλάχιστον σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των ασυνεχειών. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την θέση, τον προσανατολισμό, το άνοιγμα ή διάκενο των διακλάσεων, την τραχύτητά τους και το υλικό πλήρωσής τους.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι που συνήθως χρησιμοποιούνται για την απόκτηση ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος κατά την μέτρηση των ιδιοτήτων των διακλάσεων. Αυτοί οι μέθοδοι είναι:

**α) Γραμμική χαρτογράφηση (Piteau 1970).** Περιλαμβάνει την τοποθέτηση μιας μετροταινίας ή τη χάραξη (σχεδιασμό) μιας γραμμής σε κάποιο κατάλληλο ύψος πάνω από το δάπεδο (π.χ. 1m) και κατόπιν χαρτογραφείται κάθε χαρακτηριστικό που συναντάται επί της γραμμής.

**β) Κυκλική χαρτογράφηση (Baecher, Lanney, Einstein, 1977).** Η μέθοδος είναι μια τροποποίηση της γραμμικής χαρτογράφησης, όπου σχεδιάζονται κύκλοι στην υπόγεια εκσκαφή σε σταθερές αποστάσεις, και κατόπιν χαρτογραφείται κάθε χαρακτηριστικό που συναντάται σε αυτούς.

**γ) Χαρτογράφηση «παράθυρων».** Περιλαμβάνει λεπτομερή χαρτογράφηση κάθε χαρακτηριστικού που παρουσιάζεται σε «παράθυρα» της εκσκαφής. Τα «παράθυρα» αυτά έχουν ένα προκαθορισμένο μέγεθος (π.χ. 3m x 3m) και τοποθετούνται σε προκαθορισμένες θέσεις και αποστάσεις στην εκσκαφή, απόστασης περίπου 25m.

Τα στοιχεία που συλλέγονται για τις τρεις μεθόδους μπορούν κατευθείαν να καταγραφούν, σε ειδικό φύλλο καταγραφής όπου σημειώνονται περιληπτικά οι μετρήσεις των ιδιοτήτων των

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Περιγραφή αντοχής του πετρώματος.**

Όρος Γεωλογικής Επιχείρησης Λονδίνου	Προσεγγιστική αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	Προσεγγιστικός αριθμός αναπήδησης σφέρας Schmidt (τύπου-L)	Μακροσκοπική εκτίμηση της αντοχής στην ύπαιθρο
Εξαιρετικά ισχυρό	> 200	> 60	Απαιτεί πολλά χτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να θραυστεί.
Πολύ ισχυρό	100-200	45-59	Απαιτεί λίγα χτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να θραυστεί.
Ισχυρό	50-100	32-44	Θραύεται με ένα μόνο χτύπημα του γεωλογικού σφυριού.
Μέτρια ισχυρό	12.5-50	7-31	Χαράσσεται σε βάθος 6 mm με το οξύ άκρο του γεωλογικού σφυριού.
Μέτρια ασθενές	5.0-12.5	Δ.Ε.	Αρκετά σκληρό για να θραύεται με τα χέρια
Ασθενές	1.25-5.0	Δ.Ε.	Θρυμματίζεται με ισχυρά χτυπήματα του γεωλογικού σφυριού.
Πολύ ασθενές (Πέτραμα)	0.60-1.25	Δ.Ε.	Θραύεται με δυσκολία στα χέρια.
Πολύ σπυρό (Έδαφος)	0.30-0.60	Δ.Ε.	Χαράσσεται με τα νύχια.
Σπυρό	0.15-0.30	Δ.Ε.	Δεν μπορεί να αναζωοιωθεί στα δάκτυλα.
Μέσης συνεκτικότητας	0.08-0.15	Δ.Ε.	Αναζωοιώνεται με ισχυρή πίεση των δακτύλων.
Μαλακό	0.04-0.08	Δ.Ε.	Αναζωοιώνεται εύκολα στα δάκτυλα.

ασυνεχειών, και αργότερα να εισαχθούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι χαρτογραφούμενες περιοχές (γραμμικές, κυκλικές, παράθυρα) συνήθως φωτογραφίζονται και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους σχεδιάζονται σε φύλλο χαρτογράφησης.

Η χαρτογράφηση των ασυνεχειών περιλαμβάνει μετρήσεις διεύθυνσης, μήκος (χνους ασυνέχειας, πυκνότητα, γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τραχύτητα επιφάνειας ασυνέχειας, άνοιγμα ή διάκενο, υλικό πλήρωσης, και κατάσταση υπόγειων νερών. Λεπτομέρειες για την καταγραφή και ταξινόμηση των ιδιοτήτων αυτών των ασυνεχειών αναφέρονται στο άρθρο των Σαχπάζη Κ.-Κουμαντάκη Ι. (1976).

Τα χαρακτηριστικά τα οποία δείχνουν την συμπεριφορά της βραχομάζας, χαρτογραφούνται γενικά σε τεχνικογεωλογικούς χάρτες της εκσκαφής. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν τόσο στοιχεία της εκτεθειμένης στην εκσκαφή βραχομάζας, όσο και παρατηρήσεις επί του τρόπου αντίδρασης του συστήματος των υποστηλωμάτων της εκσκαφής λόγω των φορτίων που δέχονται από την βραχομάζα. Θραύσεις και υπερεκσκαφές συνήθως χαρτογραφούνται σε οριζοντιογραφίες και μηκοτομές που σχεδιάζονται ταυτόχρονα με την πρόοδο των εκσκαφών, ή σε διατομές που απέχουν μεταξύ τους 5 έως 10 μέτρα. Ο λόγος των υπερεκσκαφών εάν είναι γνω-

στός θα πρέπει να δηλώνεται. Οι θέσεις των θραύσεων και των μεγάλων υπερεκσκαφών θα πρέπει να σημειώνονται επί του τεχνικογεωλογικού χάρτη.

Η ερμηνεία των στοιχείων περιλαμβάνει στατιστική ανάλυση και ταξινόμηση της βραχομάζας. Η στατιστική ανάλυση των στοιχείων των ασυνεχειών μπορεί να βασισθεί σε μεθόδους που περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Γενικά, η στατιστική ανάλυση περιορίζεται στην προβολή των προσανατολισμών σε στερεογραφικά δίκτυα και κατόπιν με ανάλυση των πυκνοτήτων προσδιορίζεται ο μέσος προσανατολισμός της κάθε ομάδας των ασυνεχειών. Η συμπεριφορά της βραχομάζας συσχετίζεται γενικά με τις ιδιότητες του υλικού του ακέραίου πετρώματος καθώς και με τις ιδιότητες των ασυνεχειών. Η ταξινόμηση της βραχομάζας βασίζεται τόσο στα χαρακτηριστικά του υλικού του ακέραίου πετρώματος, όσο και στα χαρακτηριστικά των ομάδων των ασυνεχειών τα οποία φαίνονται ότι είναι τα πιο σημαντικά όσον αφορά την ευστάθεια των υπόγειων εκσκαφών. Η ταξινόμηση αυτή συσχετίζεται κατόπιν με την παρατηρηθείσα συμπεριφορά της βραχομάζας. Η ταξινόμηση μπορεί αργότερα να ρυθμίζεται έως ότου υπάρξει κάποια καλή συσχέτιση με την παρατηρηθείσα συμπεριφορά της βραχομάζας. Όταν αποκτηθεί μία αξιόπιστη συσχέτιση, η ταξινό-



μηση αυτή επεκτείνεται κατόπιν και σε άλλες υπόγειες εκσκαφές που κατασκευάζονται στην ίδια περιοχή.

## 5.2. Κόστος και διάρκεια της χαρτογράφησης

Η υπόγεια τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση είναι μία από τις λιγότερο δαπανηρές και περισσότερο αποδοτικές υπαίθριες εργασίες. Το πρόγραμμα της χαρτογράφησης θα πρέπει γενικά να είναι συνεχές κατά την διάρκεια της κατασκευής των υπόγειων εκσκαφών και για κάποιο ακόμη περισσότερο χρόνο μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής για απόκτηση περισσότερων λεπτομερειακών μετρήσεων, κάτω από καλύτερες συνθήκες. Το κόστος της χαρτογράφησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Όργανα χαρτογράφησης.
- προετοιμασία περιοχής που περιλαμβάνει καθαρισμό και πλύση των τοιχωμάτων της οροφής και του δαπέδου και εγκατάσταση καλού φωτισμού,
- απόκτηση και ανάπτυξη προγραμμάτων Η/Υ για ανάλυση στοιχείων και ευστάθειας βραχομάζας. Ο συγγραφέας έχει αναπτύξει προγράμματα όπως: α) ανάλυση αστοχίας ολίσθησης «σφήνας» ή « επιπέδου» β) έλεγχος και ανάλυση αστοχίας ομογενούς βραχομάζας κατά τη θεωρία ελαστικού μέσου, κ.ά.
- χρόνος που απαιτείται για την χαρτογράφηση,
- σχεδίαση των χαρτών και ανάπτυξη φωτογραφιών
- βοηθητικές εργαστηριακές δοκιμές,
- επιπλέον κόστος κατασκευής, αν η χαρτογράφηση καθυστερεί την κατασκευή,
- προετοιμασία τεχνικής έκθεσης,
- ανάλυση στοιχείων και ερμηνεία τους, και
- διαχείριση και συνεργασία.

Το κόστος εξαρτάται κύρια και από το εργατικό κόστος. Το κόστος χαρτογράφησης γενικά μειώνεται ελαφρά με τον χρόνο, διότι το προσωπικό γίνεται πιο αποδοτικό και η κατανόηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών αυξάνει.

## 5.3 Εκτίμηση και κριτική της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης

### 5.3.1 Περιορισμοί της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης

Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση έχει τους ακόλουθους περιορισμούς:

- Η εκτιθέμενη βραχομάζα διαταράσσεται λόγω της εκσκαφής. Αυτό συνήθως αυξάνει το

άνοιγμα ή διάκενο των φυσικών ασυνεχειών και γενικά καταλήγει στη δημιουργία νέων.

- Η μεταφορά των χαρτογραφηθέντων χαρακτηριστικών μακριά από την θέση εμφάνισης και χαρτογράφησης τους είναι δύσκολη επειδή η έκταση και ανάπτυξη στο χώρο, στερεομετρικά, των χαρακτηριστικών αυτών δεν είναι καλά γνωστή. Συσχέτιση με γεωλογικά χαρακτηριστικά σε γεωτεχνικές ερευνητικές γεωτρήσεις και σε προσκείμενες υπόγειες εκσκαφές συνήθως βοηθούν την μείωση αυτού του περιορισμού.
- Σημαντικά γεωλογικά χαρακτηριστικά τα οποία ίσως συνδέονται με φτωχές συνθήκες της βραχομάζας που απαιτούν άμεση υποστήλωση, καλύπτονται προτού τα χαρακτηριστικά αυτά χαρτογραφηθούν. Φωτογραφίσεις ή πρόχειρα και θιαστικά σχέδια, ίσως είναι τα μόνα μέσα για την καταγραφή αυτών των γεωλογικών χαρακτηριστικών. Δεν θα είναι γενικά δυνατόν να γίνουν λεπτομερείς μετρήσεις εκτός εάν αφαιρεθούν «παράθυρα» στο σύστημα υποστήλωσης.
- Οι συνθήκες στις εκσκαφές ίσως αλλάζουν με τον χρόνο. Επιπρόσθετες θραύσεις ίσως δημιουργούνται λόγω θερμοκρασίας, τάσεων, ακτινοβολίας, ή υγρασίας. Τμήματα της βραχομάζας ίσως αποσαθρώνονται ή εξαλλοιώνονται.
- Είναι αδύνατον να χαρτογραφούνται όλες οι λεπτομέρειες, επειδή κάθε γεωλογικό χαρακτηριστικό είναι μοναδικό και συνεπώς υπάρχουν πάρα πολλές μετρήσεις που θα έπρεπε να εκτελεσθούν. Είναι πάντα απαραίτητο να γίνονται μερικές γενικοποιήσεις. Έτσι ο γεωλογικός χάρτης συχνά αντιπροσωπεύει τα χαρακτηριστικά τα οποία ο γεωλόγος θεωρεί ότι είναι σπουδαιότερα.

### 5.3.2 Αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης

Η αξιοπιστία εξαρτάται κυρίως από την εμπειρία και την αφοσίωση του προσωπικού που εκτελεί την χαρτογράφηση, καθώς και τις δοκιμές δείκτου ή κατάταξης:

- Απαιτείται να ξέρει πως θα χρησιμοποιήσει τα μηχανήματα και όργανα δοκιμών.
- Απαιτείται να ξέρει να κρίνει τα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα των δοκιμών.
- Απαιτείται να είναι συνεπής και ακριβής με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται.
- Απαιτείται να έχει την υπομονή, την ακρίβεια και την λεπτομέρεια που χρειάζεται για την

ορθή και αντιπροσωπευτική χαρτογράφηση, να προσδιορίζει πια χαρακτηριστικά είναι σημαντικά και κρίσιμα για να χαρτογραφηθούν, και να διατηρεί πλήρεις καταγραφές των στοιχείων.

Η αξιοπιστία εξαρτάται επίσης από τα μηχανήματα και όργανα που χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση.

### 5.3.3 Σφάλματα ή αβεβαιότητες συσχετιζόμενες με την εκτίμηση των παραμέτρων κατά την τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση

Η επιτυχία κάθε προγράμματος τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης, εξαρτάται από την ικανότητα ξεπεράσεως των δυσκολιών που είναι συνυφασμένες με το υπόγειο γεωπεριβάλλον. Αν αυτές οι δυσκολίες ξεπεραστούν, τότε μπορούν να αποκτηθούν εξαιρετικά στοιχεία. Διαφορετικά, πολλά σημαντικά γεωλογικά χαρακτηριστικά μπορούν να διαφύγουν. Οι δυσκολίες αυτές περιλαμβάνουν:

- Στενός και επικίνδυνος χώρος,
- φτωχός φωτισμός,
- τοιχώματα, δάπεδο και οροφή καλυμένα με καπνό, σκόνη και γράσσα,
- προβλήματα με τα υπόγεια νερά,
- επικίνδυνα μηχανήματα που κινούνται εντός της εκσκαφής,
- καταπτώσεις τεμαχίων πετρώματος, σε μη υποστηλωμένα τμήματα,
- οι υποστηλώσεις ίσως κρύβουν πολλά γεωλογικά χαρακτηριστικά,
- δυσκολίες στην προσέγγιση της οροφής και των ανώτερων τμημάτων των τοιχωμάτων, και
- παραμόρφωση του φυσικού μαγνητικού πεδίου λόγω των σιδηρών και ατσάλινων αντικειμένων εντός της εκσκαφής. Το μαγνητικό πεδίο θα παραμορφωθεί σημαντικά από αυτά τα αντικείμενα. Ατσάλινα υποστηλώματα αποκλείουν την χρήση της μαγνητικής πυξίδας λόγω του φαινομένου της «θωράκισης» (Yow, 1982). Υπάρχουν επίσης επιπλέον και σφάλματα και αβεβαιότητες στην τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση των υπόγειων εκσκαφών όπως και σε κάθε πρόγραμμα γεωλογικής χαρτογράφησης,
- πολλά κριτήρια αποδίδονται ποιοτικά και όχι ποσοτικά σε σχέση με τον βαθμό αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης, τραχύτητας κ.λ.π. Έτσι ο όρος ελαφρά αποσαθρωμένο ή πολύ τραχύ σημαίνει ίσως διαφορετικό πράγμα σε διαφορετικούς ανθρώπους,
- ο αριθμός αναπήδησης (N) που καθορίζεται με την σφύρα Schmidt, εξαρτάται από την

υγρασία, την καθαρότητα της επιφάνειας του πετρώματος, την γωνία κλίσης της σφύρας κ.λ.π.,

- οι ασυνέχειες πιθανόν να αλάζουν προσανατολισμό σε μικρές αποστάσεις από την εκσκαφή,
- το μήκος ίχνους ασυνέχειας μπορεί να εκτιμάται λάθος μέσα στην εκσκαφή,
- λόγω διακύμανσης του προσανατολισμού των επιφανειών των ασυνεχειών προκύπτουν σφάλματα όταν ο προσανατολισμός τους μετράται σε στενές επιφάνειες που προβάλλουν από τα τοιχώματα της εκσκαφής,
- η διαδικασία διάνοιξης υπόγειας εκσκαφής, ίσως διαταράσσει τα χαρακτηριστικά της θραχομάζας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το διάκενο ή άνοιγμα μεταξύ των ασυνεχειών,
- χαρακτηριστικά μεγάλης επιφανειακής έκτασης είναι πιο πιθανόν να λαμβάνονται υπ' όψη και μετρώνται ακούσια επιλεκτικά από ότι τα χαρακτηριστικά μικρής έκτασης, με αποτέλεσμα την στατιστική παραμόρφωση και μη αντιπροσωπευτικότητα των γενομένων μετρήσεων.

### 5.3.4 Συσχέτιση της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης με τα αποτελέσματα άλλων δοκιμών.

Οι δοκιμές κατάταξης που χρησιμοποιούνται στην τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση μπορούν να συσχετισθούν, με τις σημαντικές ιδιότητες του πετρώματος. Αυτοί οι συσχετισμοί έχουν συζητηθεί σε προηγούμενες ενότητες. Άλλοι συσχετισμοί που μπορούν να γίνουν με άλλα αποτελέσματα δοκιμών περιγράφονται παρακάτω:

- Ο προσανατολισμός και η πυκνότητα των ασυνεχειών μπορούν να μετρηθούν χρησιμοποιώντας απόληψη προσανατολισμένων καρτών, φωτογράφιση της γεώτρησης, τηλεμαγνητισκόπηση της γεώτρησης, κλπ.. Το σφάλμα των τεχνικών αυτών είναι συνήθως μεγάλο λόγω της πολύ μικρής της επιφάνειας που μετράται.
- Το άνοιγμα ή διάκενο των ασυνεχειών μετράται με ακρίβεια εάν πριν τη διάνοιξη της δειγματοληπτικής γεώτρησης εκτελεστεί στο κέντρο αυτής μικρής διαμέτρου γεώτρηση και γεμισθεί με σιμεντένεμα ώστε να συγκρατήσει στις θέσεις τους τα διάφορα τεμάχια του πετρώματος που χωρίζονται από τις ασυνέχειες, και να αποτρέψει έτσι την διαταραχή των ασυνεχειών λόγω της διάτρησης (Rocha 1971).
- Δοκίμια πετρώματος λαμβάνονται με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις για λόγους περι-

γραφής, αναγνώρισης και ταξινόμησης, καθώς και εκτέλεσης εργαστηριακών δοκιμών. Η γεωλογική δομή της περιοχής μπορεί να προσδιορισθεί με συσχέτιση μεταξύ των διαδοχικών γεωτρήσεων και της επιφάνειας.

— Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών, η επιφανειακή γεωμετρία και η τραχύτητα των επιφανειών των ασυνεχειών, καθώς και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη των τοιχωμάτων τους, σχετίζονται με την διατμητική αντοχή των ασυνεχειών όπως μετράται στο εργαστήριο ή στην ύπαιθρο (in situ).

— Γεωφυσικές μέθοδοι:

1. Ανάκλαση και διάθλαση των σεισμικών κυμάτων. Ο λόγος της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στην ύπαιθρο (in-situ) προς την ταχύτητα διάδοσης των υπερηχητικών κυμάτων σε δοκίμια ακέραιου υλικού πετρώματος στο εργαστήριο, σχετίζεται με τον βαθμό διάρρηξης της βραχομάζας του πετρώματος.

2. Μέθοδος ηλεκτρικής αντίστασης. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των θέσεων των ασυνεχειών που είναι πληρωμένες με αργιλικό υλικό (gouge).

3. Νέα μέθοδος διασκόπησης των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων της βραχομάζας με Ραντάρ. Η μέθοδος βρίσκεται ακόμη υπό έρευνα και δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως.

## 6. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

### 6.1 Θεωρήσεις επί του σχεδιασμού του προγράμματος της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης.

Το κύριο αντικείμενο της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης, είναι να εκτιμήσει τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και συνθήκες που θα επηρεάσουν την ερμηνεία των επιτόπιων (in-situ) δοκιμών και των σχεδιασμό, την κατασκευή, την λειτουργία, και την απόδοση της υπόγειας εκσκαφής. Για να αποκτηθούν τα καλύτερα αποτελέσματα, η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση πρέπει να εκτελείται και ολοκληρώνεται σε τρεις φάσεις. Κάθε φάση θα βοηθά στην απάντηση ερωτημάτων που δημιουργούνται κατά την προηγούμενη φάση. Οι προτεινόμενες φάσεις αποτελούνται από:

**Φάση σχεδιασμού και βιβλιογραφικής ενημέρωσης.** Αποτελείται από τη συλλογή όλων των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με την γεωλογία, υδρογεωλογία, σεισμικότητα και τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας της περιοχής ενδιαφέροντος, ώστε να προσδιορισθούν ποιές γεωλογικές συνθήκες και χαρακτηριστικά αναμένονται να συναντηθούν.

**Φάση κατασκευής.** Αποτελεί την δυσκολότερη φάση για την χαρτογράφηση λόγω των επικίνδυνων συνθηκών στην υπόγεια εκσκαφή που υφίστανται κατά την κατασκευή. Η φάση αυτή εστιάζεται στην χαρτογράφηση και φωτογράφιση των γεωλογικών χαρακτηριστικών που εκτίθενται στα μέτωπα της εκσκαφής και σε περιοχές που θα καλυφθούν από τα συστήματα υποστήλωσης. Κατά τη φάση αυτή πρέπει περιοδικά να εκτελούνται αναλύσεις ώστε να επιβεβαιώνεται η ακρίβεια και συνέπεια των μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Πρέπει να γίνονται ειδικές διατάξεις στη σύμβαση για την χαρτογράφηση κατά την κατασκευή, για τους ακόλουθους λόγους:

1. Αποζημίωση του εργολάβου για την καθυστέρηση που προξενείται κατά το πρόγραμμα της χαρτογράφησης.

2. Επιβεβαίωση ότι ο εργολάβος χρησιμοποιεί κύρια υποστηλώματα που δεν θα υποκύψουν την βραχομάζα.

**Μετακατασκευαστική φάση.** Είναι η περίοδος όπου αποκτώνται τα περισσότερο λεπτομερή στοιχεία. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής θα πρέπει να εκτελείται περιοδική ανάλυση των στοιχείων ώστε να ελέγχεται η συνέπεια των μεθόδων που χρησιμοποιούνται και να επιβεβαιώνεται ότι έχουν συλλεχθεί αρκετά στοιχεία.

Κάθε φάση θα πρέπει να εκτελείται με σκοπό να απαντώνται ερωτήματα που προέκυψαν κατά την προηγούμενη φάση και επίσης να ελέγχεται η ισχύ των συμπερασμάτων των προηγούμενων φάσεων. Τα ερωτήματα και τα συμπεράσματα αυτά αφορούν:

1. Τους τύπους των πετρωμάτων,
2. Την γεωλογική δομή,
3. Τον χαρακτήρα των ασυνεχειών,
4. Τα χαρακτηριστικά και την παροχή της εισροής των υπόγειων νερών, και
5. Τα συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας.

Η τεχνική έκθεση που προετοιμάζεται σε κάθε φάση θα πρέπει να δηλώνει καθαρά τα συμπεράσματα που προέκυψαν, καθώς και τα ερωτήματα που θα πρέπει να απαντηθούν σε επόμενες φάσεις χαρτογράφησης.

Θα πρέπει να εκτελείται λεπτομερής τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση προς διάφορες κατευθύνσεις ώστε να αποκτώνται στατιστικώς σημαντικά στοιχεία για κάθε ομάδα διακλάσεων. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά θα πρέπει να συσχετίζονται μεταξύ τους στις ερευνητικές γεωτρήσεις, στις επιφανειακές εμφανίσεις, και στις υπόγειες εκσκαφές, όπου είναι δυνατό.

Τα παρακάτω θέματα είναι βασικότερα για το

πρόγραμμα της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης των υπόγειων εκσκαφών:

- Προσεκτικός και λεπτομερής σχεδιασμός των ερευνητικών εργασιών,
- Προσεκτική εκπαίδευση του προσωπικού στην ορολογία και στις μεθόδους για ποσοτική έκφραση των παρατηρήσεων,
- Περιοδική αναθεώρηση των στοιχείων και συμπερασμάτων ώστε να επιβεβαιώνεται ότι χρησιμοποιούνται οι καταλληλότερες μέθοδοι και επίσης να προσδιορίζονται τα επιπρόσθετα στοιχεία που απαιτούνται να συλλεχθούν.

## 6.2 Προτεινόμενη μεθοδολογία χαρτογράφησης

Με βάση τη κριτική αναθεώρηση των διάφορων τεχνικών χαρτογράφησης, προτείνεται μία μεθοδολογία η οποία ελλοτώνει τους περιορισμούς, τα σφάλματα και τις αβεβαιότητες στον προσδιορισμό των κρίσιμων γεωλογικών χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τον σχεδιασμό, την κατασκευή, και τον προσανατολισμό της υπόγειας εκσκαφής, καθώς και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των επιτόπιων (in-situ) δοκιμών.

### 6.2.1 Σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει αναθεώρηση όλων των διαθέσιμων στοιχείων με σκοπό την αναγνώριση και διερεύνηση των ακόλουθων θεμάτων:

- Γενική γεωλογία και χαρακτηριστικά του ακέρατου υλικού πετρώματος κατά μήκος του άξονα των υπόγειων εκσκαφών,
- Γνωστές ομάδες ασυνεχειών και χαρακτηριστικά των ασυνεχειών αυτών,
- Θέση της μεγάλης κλίμακας γεωλογικών χαρακτηριστικών τα οποία θα συναντηθούν κατά την πρόοδο της υπόγειας εκσκαφής, όπως ρήγματα, γεωλογικές επαφές, ή χαρακτηριστικά στρώματα, και
- Επιλογή τυποποιημένης μεθοδολογίας ταξινόμησης, τρόπου περιγραφής, και φύλλων - δελτίων καταγραφής στοιχείων που είναι καταλληλότερα για τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Αυτή η αναθεώρηση της διαθέσιμης πληροφορίας χρησιμοποιείται για να καθορισθεί και σχεδιαστεί με ακρίβεια ο βαθμός λεπτομέρειας του επόμενου σταδίου και να προσδιορισθούν τα σπουδαιότερα γεωλογικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να αναζητηθούν κατά την διάρκεια του προγράμματος της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης.

### 6.2.2 Όργανα και αναλώσιμα για την τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση

Ένα σπουδαίο μέρος του προτεινόμενου προγράμματος της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης είναι να υπάρχουν διαθέσιμα τα απαραίτητα όργανα και αναλώσιμα για την καταγραφή και απόκτηση των στοιχείων. Αυτά περιλαμβάνουν γεωλογικά όργανα, φωτογραφικά όργανα, και φύλλα-δελτία καταγραφής στοιχείων.

Τα προτεινόμενα όργανα και αναλώσιμα περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

#### Γεωλογικά όργανα

- Γεωλογικό σφυρί,
- Μεγεθυντικός φακός,
- Γεωλογική πυξίδα/κλισίμετρο,
- Χάρακας και μετροταινία,
- Μαχαιρίδιο,
- Σφύρα κρούσης Schmidt,
- Χρώμα σε σπρέι και μαρκαδόρους για σημείωση εμφανίσεων και δοκιμών.
- Σχεδιαστικά και προστατευτικές θήκες σχεδίων,
- Νάυλον σακούλες δοκιμών.

#### Φωτογραφικά όργανα

- Φωτογραφική μηχανή,
- Έγχρωμο φιλμ,
- Φλας,

#### Σχεδιαστικά/χάρτες

- «Ξεδιλωμένο» διάγραμμα της εκσκαφής, δείχνοντας την οροφή, το δάπεδο και τα τοιχώματα,
- Τυποποιημένοι πίνακες, δελτία-φύλλα καταγραφής στοιχείων ασυνεχειών,
- Σημειωματάρια.

#### Διάφορα

- Πτυσσόμενη σκάλα για προσπέλαση στα υψηλότερα σημεία,
- Μικρό δειγματοληπτικό τρυπάνι.

### 6.2.3 Φάση χαρτογράφησης κατά την κατασκευή

Χαρτογράφηση κατά τη διάρκεια της κατασκευής είναι η πιο επικίνδυνη και δαπανηρή μέθοδος λόγω των δύσκολων γενικά συνθηκών. Παρόλαυτά, η χαρτογράφηση κατά την κατασκευή παρέχει συνήθως τα πιο χρήσιμα στοιχεία, επειδή τα κρίσιμα γεωλογικά χαρακτηριστικά που προξενούν προβλήματα αστάθειας μπορούν να παρατηρηθούν πριν καλυφθούν από το αρχικό σύστημα υποστήλωσης. Η χαρτογράφηση κατά την διάρκεια της κατασκευής θα πρέπει να εστιάζει:

- Στα γεωλογικά χαρακτηριστικά όπως εκτίθενται στο μέτωπο της εκσκαφής,

- Στις περιοχές που θα καλυφθούν από το αρχικό σύστημα υποστήλωσης,
- Στην προκαταρκτική χαρτογράφηση της γεωλογικής δομής, περιλαμβανομένων των θέσεων των κύριων γεωλογικών επαφών, των ρηγμάτων, και των ζωνών διάτμησης,
- Στα σημεία εισροής υπόγειων νερών και παροχές τους.

Αυτά τα κρίσιμα χαρακτηριστικά που εκτίθενται κατά την πρόοδο των εκσκαφών πρέπει να χαρτογραφούνται προσεκτικά, εκτός αν οι συνθήκες είναι πολύ επικίνδυνες. Το συμβόλαιο κατασκευής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τις καθυστερήσεις του εργολάβου λόγω της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης.

Ο χάρτης που δημιουργείται κατά τη φάση αυτή παρέχει τον βασικό γεωλογικό χάρτη «σκελετό» ο οποίος θα συμπληρωθεί με λεπτομέρειες αφού ολοκληρωθεί η εκσκαφή και βελτιωθούν οι γενικές συνθήκες.

Το σπουδαιότερο μέρος της χαρτογράφησης στη φάση αυτή είναι η χαρτογράφηση των περιοχών που θα καλυφθούν από το αρχικό σύστημα υποστήλωσης. Δυστυχώς οι περιοχές αυτές είναι συχνά πολύ επικίνδυνες (γι' αυτό εξάλλου απαιτούν και υποστήλωση), και έτσι δεν είναι δυνατό να γίνονται λεπτομερείς μετρήσεις. Οι περιοχές αυτές πρέπει εναλλακτικά να φωτογραφούνται προσεκτικά και να σχεδιάζονται. Επίσης ο γενικός προσανατολισμός των επιφανειών των ασυνεχειών πρέπει να παρατηρείται και να σημειώνεται επάνω στα σχέδια. Εάν είναι δυνατόν θα πρέπει να αφήνονται «παράθυρα» μεταξύ των υποστηλωμάτων ώστε να γίνονται μερικές μετρήσεις σε επόμενες φάσεις.

#### 6.2.4 Προετοιμασία εκσκαφής μετά τη κατασκευή

Η ορθή προετοιμασία του χώρου της υπόγειας εκσκαφής θα επιτρέψει να εκτελεσθεί η πιο αποδοτική χαρτογράφηση, αυξάνοντας έτσι την ποσότητα και ποιότητα των στοιχείων που συλλέγονται. Η προετοιμασία του χώρου πρέπει να περιλαμβάνει:

- Καθαρισμό και πλύσιμο των τοιχωμάτων, της οροφής και του δαπέδου,
- Απομάκρυνση όλων των μη απαραίτητων αντικειμένων και οργάνων,
- Εγκατάσταση καλού φωτισμού,
- Ελαχιστοποίηση των κινούμενων μηχανημάτων κατά την χαρτογράφηση,
- Εγκατάσταση σταθμών - θέσεων επί των τοιχωμάτων σε απόσταση ενός μέτρου, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος της υπόγειας εκσκαφής,

Σχεδίαση γραμμής αναφοράς για μετρήσεις του σχετικού προσανατολισμού των ασυνεχειών, όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαγνητική πυξίδα λόγω παραμόρφωσης του μαγνητικού πεδίου από την ύπαρξη μεταλλικών αντικειμένων.

Ολόκληρη η υπόγεια εκσκαφή θα πρέπει να φωτογραφίζεται με λεπτομέρεια σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη κλίμακα. Επίσης θα πρέπει να προσδιορίζεται ο αριθμός αναπήδησης (N) της σφύρας Schmidt στα τοιχώματα της εκσκαφής σε απόσταση κάθε ένα μέτρο. Σαν αριθμός (N), θα λαμβάνεται η μεγαλύτερη τιμή που μετράται από πέντε συνεχόμενες προσκρούσεις σε ένα σημείο.

#### 6.2.5 Φάση μετακατασκευαστικής χαρτογράφησης

Η χαρτογράφηση κατά την μετακατασκευαστική φάση αποτελείται από την συμπλήρωση του αναγνωριστικού χάρτη που προετοιμάστηκε κατά τη διάρκεια της κατασκευής, εκτελώντας λεπτομερείς μετρήσεις για τον χαρακτηρισμό της μικρής-κλίμακας ασυνεχειών, την ερμηνεία των επιτόπιων (in-situ) δοκιμών, καθώς και την πραγματοποίηση μακροπρόθεσμων παρατηρήσεων επί της συμπεριφοράς της βραχομάζας, της ευστάθειας, και την εισροή νερού. Για να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα κατά τη χαρτογράφηση, είναι αναγκαίο να μελετάται η διαθέσιμη πληροφόρηση ώστε να προσδιορίζονται οι περιοχές που απαιτούν πιο επισταμένη μελέτη. Η διαθέσιμη πληροφόρηση θα περιλαμβάνει:

- Αναγνωριστικός χάρτης που προετοιμάστηκε κατά την κατασκευή,
- Χάρτες και φωτογραφίες των μετώπων εκσκαφής,
- Χάρτες και φωτογραφίες των περιοχών που καλύφθηκαν από την αρχική υποστήλωση,
- Φωτογραφίες ολόκληρης της υπόγειας εκσκαφής,
- Αποτελέσματα των μετρήσεων της σφύρας Schmidt.

Όλη η διαθέσιμη πληροφόρηση θα πρέπει να συγκεντρώνεται σε ένα χάρτη ώστε να προσδιορίζονται οι ανώμαλες περιοχές. Οι ανωμαλίες μπορούν να εκδηλώνονται με παρουσία ασυνήθιστου χρώματος, πολύ χαμηλό αριθμό αναπήδησης (N) της σφύρας Schmidt, ή αλλαγή στον χαρακτήρα των ασυνεχειών. «Τυπικές» και «ανώμαλες» περιοχές θα πρέπει να μελετώνται για να ολοκληρωθεί ο γεωλογικός χάρτης που άρχισε κατά τη φάση της κατασκευής. Όταν ολοκληρωθεί ο τεχνικογεωλογικός χάρτης, θα πρέπει να δείχνει τον τύπο, την θέση, και τον

προσανατολισμό όλων των σπουδαίων γεωλογικών χαρακτηριστικών που εκτίθενται στην εκσκαφή.

Η χαρτογράφηση των μονάδων των ακέραιων υλικών πετρώματος, θα πρέπει να περιλαμβάνει και αντιπροσωπευτική δειγματοληψία. Σε υπόγειες εκσκαφές με ακανόνιστη διατομή, είναι συνήθως δυνατόν να γίνεται δειγματοληψία με το γεωλογικό σφυρί, ενώ σε εκσκαφές με λεία περίμετρο απαιτείται χρήση μηχανοκίνητου δειγματολήπτη καρώτων. Αντιπροσωπευτικά δοκίμια θα πρέπει να λαμβάνονται από κάθε τύπο πετρώματος, καθώς και των αποσθρωμένων, και εξαλλοιωμένων παραλλαγών τους, που εμφανίζονται στην εκσκαφή.

Λεπτομερή στοιχεία επί των χαρακτηριστικών των ασυνεχειών πρέπει να συλλέγονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο χαρτογράφησης «κύκλου» ή «παραθύρου» σε σταθερές αποστάσεις κατά μήκος του άξονα της εκσκαφής. Η χαρτογράφηση «κύκλου» πρέπει να προτείνεται επειδή είναι ταχύτερη. Εάν όμως υπάρχουν μόνο λίγες ασυνέχειες αραιά κατανεμημένες, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιείται χαρτογράφηση «παραθύρου» ώστε να μετρώνται αρκετές ασυνέχειες. Η χαρτογράφηση αυτή πρέπει να εκτελείται χρησιμοποιώντας κύκλους διαμέτρου 1,5 μέτρου περίπου σε αποστάσεις 15 έως 30 μέτρα κατά μήκος της εκσκαφής και οι κύκλοι πρέπει να τοποθετούνται τόσο στα τοιχώματα όσο και στην οροφή ή στο δαπέδο. Ο κάθε κύκλος πρέπει να φωτογραφείται και να συλλέγονται λεπτομερή στοιχεία σε κάθε χαρακτηριστικό που συναντάνται σ' αυτόν, περιλαμβανομένων των παρακάτω:

- Τύπος της ασυνέχειας,
- Προσανατολισμός,
- Μήκος Ίχνους ασυνέχειας,
- Πυκνότητα των ασυνεχειών,
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας των ασυνεχειών και τραχύτητα.
- Άνοιγμα ή διάκενο μεταξύ των ασυνεχειών.
- Υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών. Πρέπει να δίδεται μία σύντομη περιγραφή επιτόπου, και κατόπιν να γίνεται δειγματοληψία και λεπτομερή εργαστηριακή γεωτεχνική έρευνα στο εργαστήριο.

Τα στοιχεία που λαμβάνονται από την χαρτογράφηση κύκλου πρέπει να καταγράφονται σε τυποποιημένα (κωδικοποιημένα) δελτία ή φύλλα καταγραφής τα οποία διευκολύνουν τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή για τη στατιστική ανάλυση.

Οι θέσεις εισροής νερού πρέπει να χαρτογραφούνται. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής που εκρέει το νερό, πρέπει να προσδιο-

ρίζονται. Η παροχή εκροής νερού πρέπει να μετράται περιοδικά ώστε να καθορίζεται ο ρυθμός μείωσης της παροχής.

Η συμπεριφορά της βραχομάζας καθώς και του συστήματος της υποστήλωσης πρέπει να περιγράφεται, να φωτογραφείται και να χαρτογραφείται. Η περιγραφή περιλαμβάνει τις θέσεις των θράυσεων και εκτινάξεων του πετρώματος, των νέων θράυσεων, τις ζημιές στα υποστηλώματα και στις επενδύσεις από σκυρόδεμα, κλπ.

Επίσης θα πρέπει να γίνεται λεπτομερής χαρτογράφηση σε κάθε θέση εκτέλεσης επιτόπιων (in-situ) δοκιμών. Η λεπτομερής αυτή χαρτογράφηση πρέπει να περιλαμβάνει μετρήσεις των ασυνεχειών, καθώς και να παρέχει συσχετίσεις και συγκρίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών που εμφανίζονται στην επιφάνεια του εδάφους, στην υπόγεια εκσκαφή και στις ερευνητικές γεωτρήσεις.

#### 6.2.6 Ερμηνεία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Ένα πρόγραμμα τεχνικογεωλογικής, χαρτογράφησης παρέχει ένα μεγάλο αριθμό στοιχείων. Τα σπουδαία χαρακτηριστικά μπορούν να υποσκιαστούν από λεπτομέρειες, εκτός αν τα στοιχεία συγκεντρώνονται και αναλύονται προσεκτικά. Τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να διαχωρίζονται και συγκεντρώνονται σε δύο ομάδες:

- α) Μικρής-κλίμακας χαρακτηριστικά τέτοια όπως διακλάσεις. Αυτά μετρούνται χρησιμοποιώντας μεθόδους χαρτογράφησης «κύκλου» ή «παραθύρου»,
- β) Μεγάλης-κλίμακας χαρακτηριστικά όπως γεωλογικές επαφές, ρήγματα, κύριες διακλάσεις, και κύριοι τύποι περωμάτων. Αυτά τα χαρακτηριστικά χαρτογραφούνται με τη μέθοδο της πλήρους περιμετρικής χαρτογράφησης.

Τα χαρακτηριστικά της μικρής-κλίμακας χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό της βραχομάζας μέσα σε κάθε δομική ενότητα. Οι θέσεις των μεγάλης-κλίμακας χαρακτηριστικών χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των συνόρων μεταξύ των δομικών ενοτήτων.

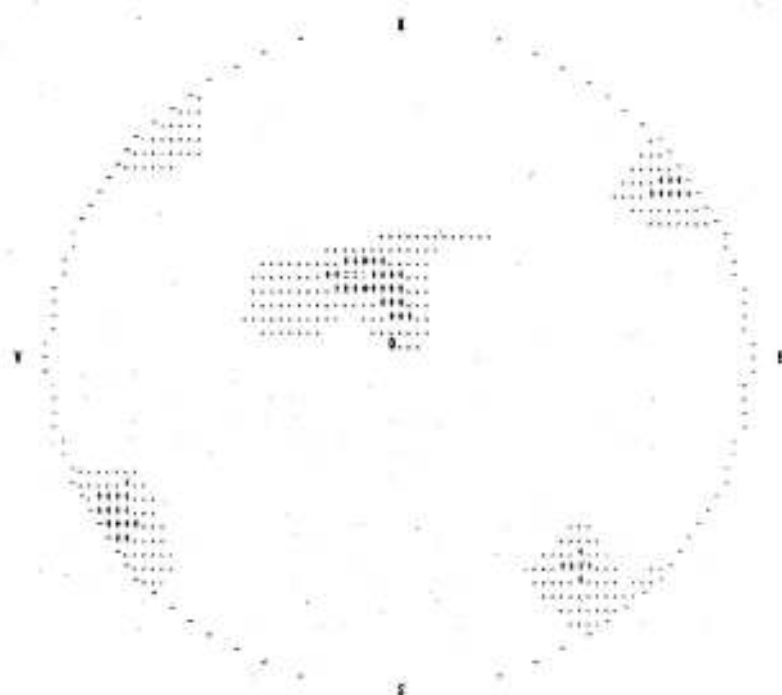
Οι περισσότερες από τις τυπικές αναλύσεις των στοιχείων των μικρής-κλίμακας χαρακτηριστικών, όπως στερεογραφικά δίκτυα κατά Schmidt και Kamb, ιστογράμματα συχνότητας παρατήρησης κάθε μετρούμενου χαρακτηριστικού (βλέπε σχήματα 2α1, 2α2, 2β, 2γ, 2δ), κλπ., μπορούν να εκτελεσθούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό υπολογιστή και ειδικά προγράμματα, όπως το STERNET, το HISTOGRAM κλπ., που έχουν αναπτυχθεί από τον συγγραφέα.

## Σχ. 2α1

ΚΕΛΤΕ : "ΣΚΑΛΙΟ ΑΛΙΟΥΡΑΤΗΣ - ΣΥΡΟΣ", όψη απόβλεψη : Β. (Κυρτερική)

ΣΤΕΡΕΟΤΥΠΟ : 40 ΣΑΒΒΙΟΝ ΕΑΤΑ ΝΕΦΙΛΟ ΣΧΙΔΤ (1925)

ΕΠΙΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ : 1010  
Η ΔΕΙΡΑ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΟΛΩΝ ΚΙΒΑΙ : ... + + + ... 111 111  
ΜΕ ΑΙΧΜΑΤΑ ΣΤΕΡΕΟΤΥΠΩ : 3 2 ΣΧΗΜΑ ΑΝΑ : 1 ΚΕΙΜΑΚΙΑ ΝΥΦΡΕΣ  
Η ΔΕΙΡΑ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΟΛΩΝ ΚΑΤΑΛΑΒΑΝΑΚΤΑΙ ΕΑΘΕ ΕΝΤΕ ΙΣΟΤΕΡΕΣ ΕΡΠΙΣΣΕΣ



Τα αποτελέσματα όλων των κυκλικών χαρτογραφήσεων πρέπει να συγκρίνονται μεταξύ τους για να προσδιορίζονται οι διάφορες δομικές ενότητες. Μέσα σε κάθε δομική ενότητα τα στερεογραφικά διαγράμματα θα πρέπει να δείχνουν περίπου τις ίδιες ομάδες διακλάσεων.

Τα σύνορα μεταξύ των δομικών ενότητων πρέπει να διακρίνονται με τα μεγάλης-κλίμακας γεωλογικά χαρακτηριστικά ολόκληρης της υπόγειας εκσκαφής. Έτσι πρέπει να προετοιμασθεί ένας χάρτης, ο οποίος θα δείχνει τα παρακάτω:

- Μεγάλης-κλίμακας χαρακτηριστικά,
- Θέση κάθε κύκλου χαρτογράφησης,
- Στερεογραφικά διαγράμματα ασυνεχειών κατά Schmidt, Kamb, κ.λ.π. κάθε δομικής ενότητας,
- Στερεογραφικά διαγράμματα τα οποία φαίνονται ανάμεσα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα της δομικής ενότητας,

- Θέσεις εισροής νερού, προέλευση και παροχή,
- Αποτελέσματα ανάλυσης ευστάθειας βραχομάζας,
- Αρχικές απαιτήσεις υποστήλωσης, και
- Περιοχές με διαφορετική συμπεριφορά της βραχομάζας.

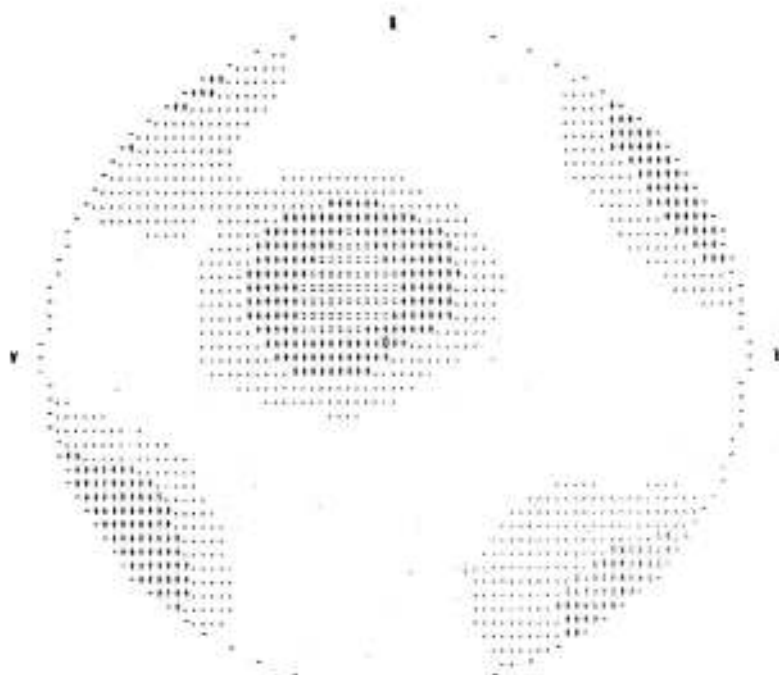
Ο χάρτης αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει την γενική διάταξη και τα χαρακτηριστικά της κάθε δοκιμής ενότητας και την συμπεριφορά της βραχομάζας μέσα σε κάθε δομική ενότητα. Κατόπιν μπορεί να εφαρμοσθεί κάποια μέθοδος ταξινόμησης της βραχομάζας όπως π.χ. του Bieniawski ή του Barton σε κάθε δομική ενότητα. Τα αποτελέσματα του κάθε συστήματος ταξινόμησης θα πρέπει να συγκρίνονται με την παρατηρηθείσα συμπεριφορά της βραχομάζας και τις πραγματικές απαιτήσεις υποστήλωσης. Αυτό θα βοηθήσει στην βαθμονόμηση του

## Σκ. 2α2.

ΑΝΑΓΝΩΣΤΗΣ : "ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΔΑΔΥΤΡΑΧΕΣ - ΣΕΠΣΕ", ΘΕΣΗ ΑΣΤΡΟΝΟΜΩΝ : Δ. (Κέντρο)

ΥΠΕΡΣΤΙΧΟΣ 88 ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΑΤΑ ΜΕΡΟΣ ΔΑΔ (1998):

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ: 100  
ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ: 0.09 ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΝΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ  
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΞΟΝΑΙΣ (ΣΙΓΜΑ) = 2.70 : (ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ) / 3.0  
0 ΣΕΙΡΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΚΙΒΩΤΙ: ... 100 ... 100 100  
00 ΑΞΙΟΤΗΤΑ ΥΠΕΡΣΤΙΧΟΥ: 3 ΣΙΓΜΑ  
0 ΣΕΙΡΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΕΚΔΗΛΩΝΕΤΑΙ ΕΑΝΟ ΣΕΙΡΗ ΙΣΟΤΗΤΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



συστήματος ταξινόμησης στην δεδομένη περιοχή και θα το κάνει πιο χρήσιμο για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη μελλοντικών εκσκαφών στην ίδια περιοχή.

Η τελική τεχνική έκθεση θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Γεωλογικό χάρτη πλήρους περιμέτρου της εκσκαφής δείχνοντας τα μεγάλης κλίμακας γεωλογικά χαρακτηριστικά, τη θέση των «κύκλων» ή «παράθυρων» χαρτογράφησης, τις εισροές των υπόγειων νερών, και τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς της βραχομάζας.
- Περίληψη των αποτελεσμάτων κάθε «κύκλου» ή «παράθυρου» χαρτογράφησης.
- Στερογραφικά διαγράμματα ασυνεχειών και στατιστική επεξεργασία, περιλαμβάνοντας κατανομές πιθανοτήτων των μετρημένων ιδιοτήτων των ομάδων ασυνεχειών στην κάθε δομική ενότητα.
- Περιληπτικοί γεωλογικοί χάρτες και μηκοτομές δείχνοντας τα μεγάλης κλίμακας γεωλογικά χαρακτηριστικά, τον χαρακτηρισμό της

κάθε δομικής ενότητας, τις εισροές υπόγειων νερών, και την συμπεριφορά της βραχομάζας.

- Ταξινομήσεις της βραχομάζας συγκρινόμενες με την παρατηρηθείσα συμπεριφορά της βραχομάζας.
- Αναλύσεις της ευστάθειας της βραχομάζας, και
- Στοιχεία εισροής υπόγειων νερών περιλαμβανομένων των θέσεων, της προέλευσης, της παροχής και του ρυθμού μείωσης της παροχής.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία πρέπει να ελέγχονται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά συσχετιζόμενα μεταξύ τους σαν μέρη ενός ενιαίου συνόλου, έτσι ώστε να επιβεβαιώνεται η γενική συμβατότητα και λογική τους σχέση.

### 6.3 Χρησιμότητα των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης των υπόγειων εκσκαφών

#### 6.3.1 Θεωρήσεις περί της καταλληλότητας της θέσης.

Η γεωλογία και τα χαρακτηριστικά της βραχο-

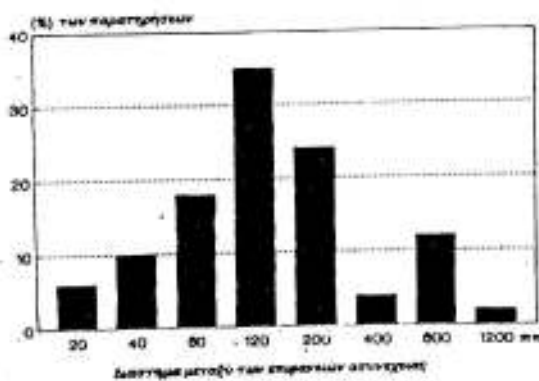


μάζας στην περιοχή διάνοιξης μιας υπόγειας εκσκαφής πρέπει να είναι γνωστά με ακρίβεια ώστε να προβλεφθεί η απόδοση και συμπεριφορά της εκσκαφής. Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση στις υπόγειες εκσκαφές παρέχει μερικά από τα σημαντικότερα στοιχεία σχετικά με την γεωλογία και τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Τα στοιχεία που αποκτώνται κατά την τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλούς σκοπούς, όπως:

- Τοποθέτηση της βέλτιστης θέσης για την εκτέλεση των επιτόπιων (in situ) δοκιμών και των οργάνων μέτρησης.
- Ερμηνεία και συσχέτιση των αποτελεσμάτων των επιτόπιων δοκιμών.
- Παρατηρήσεις επί των εισροών του νερού.
- Προσδιορισμός των πιθανών μοντέλων αστοχίας με βάση τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών και της γενικής παρατηρούμενης συμπεριφοράς της βραχομάζας.
- Εκτίμηση πολλών παραμέτρων οι οποίοι θα είναι σημαντικοί στο σχεδιασμό της υπόγειας εκσκαφής, περιλαμβανόμενης της αντοχής της βραχομάζας, του μέτρου ελαστικότητας (Young's Modulus) και της υδραυλικής αγωγιμότητάς της.
- Παροχή πολλών παραμέτρων οι οποίοι είναι απαραίτητοι για το μοντέλο της απόδοσης.

### 6.3.2 Θεωρήσεις σχεδιασμού και κατασκευής

Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση θα δώσει πολλά γεωλογικά στοιχεία που θα είναι χρήσιμα στον σχεδιασμό και την κατασκευή της υπόγειας εκσκαφής, όπως:



Σχ. 2β

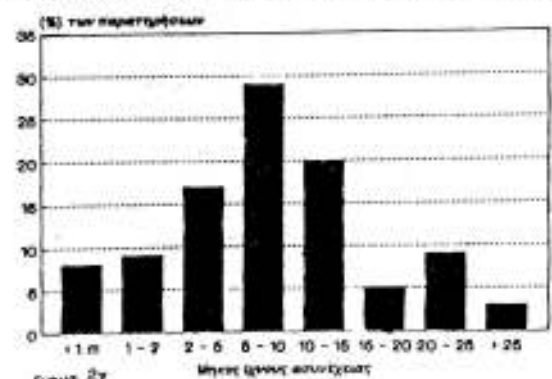
Σχ. 2β,γ,δ Ιστογράμματα των χαρακτηριστικών μιας ομάδας ασυνεχειών.

Fig. 2b,c,d Bar graphs of a characteristic joint set.

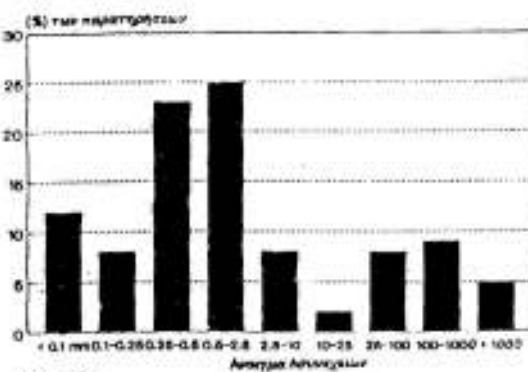
- Πρόγνωση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών που θα συναντηθούν στις εκσκαφές,
- Η χρήση των καταλληλότερων για την περιοχή ταξινομήσεων της βραχομάζας και οι παρατηρήσεις και καταγραφές των χαρακτηριστικών των ασυνεχειών θα βοηθήσουν στην βέλτιστη διάταξη και σχεδιασμό της υπόγειας εκσκαφής, ώστε αυτή να προσανατολιστεί ευνοϊκά σε σχέση με τις επιφάνειες των δυσμενέστερων ασυνεχειών,
- Πρόβλεψη των γεωλογικών χαρακτηριστικών που βρίσκονται μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής κατά την κατασκευή,
- Βελτιστοποίηση του αρχικού συστήματος υποστήλωσης που θα χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της κατασκευής,
- Προσδιορισμός των περιοχών που χρειάζονται ειδική μεταχείριση κατά την κατασκευή, όπως κατασκευή διαφραγμάτων ή κουρτίνων σιμεντενέσεων για μείωση της υδροπερατότητας, και ακόλουθο προσδιορισμό των μεθόδων και διαδικασιών που θα χρησιμοποιηθούν.

### 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η προτεινόμενη μεθοδολογία τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης των υπόγειων εκσκαφών, μειώνει μερικούς από τους περιορισμούς και τα προβλήματα αξιοπιστίας των χαρτογραφήσεων



Σχ. 2γ



Σχ. 2δ

όπως γενικά συνήθως εκτελούνται, καθώς και περιορίζει τις αβεβαιότητες που τελικά επηρεάζουν τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία της υπόγειας εκσκαφής. Οποσδήποτε όμως θα πρέπει μελλοντικά να γίνουν ορισμένες πρόοδοι και βελτιώσεις στη μεθοδολογία και στα όργανα που χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση, όπως:

1. Ανάπτυξη ειδικού οργάνου που θα προσδιορίζει συγκριτικά, με ποσοτική ένδειξη, τον βαθμό αποσάθρωσης ή εξαλλοίωσης του υλικού κάποιου πετρώματος. Το όργανο αυτό θα μπορούσε να έχει οξυά μύτη που θα αποξινεί το πέτρωμα με σταθερή πίεση, και ανάλογα με το βάθος ή τον βαθμό φθοράς που θα προκαλεί στο πέτρωμα να εκτιμάται ποσοτικά ο βαθμός αποσάθρωσης του πετρώματος σε σχέση με την υγείη του κατάστασης. Αντίστοιχο του οργάνου αυτού για τα εδάφη θα μπορούσε να αναφερθεί το πενετρόμετρο «τσέπης».

2. Όργανο περιμετρικής φωτογράφισης της υπόγειας εκσκαφής με λεπτομέρεια, ακρίβεια και υπό διάφορες ελεγχόμενες κλίμακες, για αργότερη ανάλυση σε συσχέτιση ίσως και με ειδικά προγράμματα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

3. Ανάπτυξη ειδικών προγραμμάτων Η/Υ για αποθήκευση, ανάλυση και σχεδίαση γεωλογικής πληροφόρησης. Ήδη ο συγγραφέας έχει αναπτύξει ειδικά προγράμματα για την ανάλυση της ευστάθειας, από στατικής άποψης, της βραχομάζας στα τοιχώματα, στην οροφή και στο δάπεδο μιας υπόγειας εκσκαφής. Η μεθοδολογία και τα προγράμματα αυτά πρόκειται επίσης να δημοσιευτούν.

4. Περαιτέρω μελέτη για στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των χαρακτηριστικών των ασυμμετριών.

5. Ανάπτυξη ειδικών νομογραφημάτων για τη συσχέτιση μεταξύ του αριθμού αναπήδησης (N) της σφύρας Schmidt, με την αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας (Young's Modulus) του πετρώματος. Τέτοιου είδους συσχέτιση έχει ήδη ολοκληρωθεί από το συγγραφέα για την περίπτωση μόνο των ανθρακικών πετρωμάτων. Αυτή θρίσκεται υπό δημοσίευση στο: Bulletin of the International Association of Engineering Geology.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anon, (1977). «The description of rock masses for engineering purposes», Report by the Geological Society Engineering Group Working Party. Q. J.L. Enging. Geol., 10, p.p. 355-388.
2. Baecher G.B. Et al, (1978) «Risk Analysis for Rock Slopes in Open Pit Mines», Annual Technical Report Vol. 1, Prepared for U.S. Bureau of Mines, Contract No. JO275015.
3. Baecher G.B., Lanney N.A. (1978) «Trace Length Biases in Joint Surveys», p. 56, Proceedings of the 19th U.S. Symposium on Rock Mechanics, 1.
4. Baecher G.B., Lanney N.A., Einstein H.H. (1977) «Statistical Description of Rock Properties and Sampling», p. 501-1. Proceedings of the 18th U.S. Symposium on Rock Mechanics.
5. B.S.:5930 (1981). «Site investigations», London British Standard Institution, p.p. 147.
6. Deere D.U., Miller R.P. (1966) «Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock», Technical Report No AFNL-TR-116, Air Force Weapons Laboratory, N.M.
7. Dershowitz, W.S. (1979) «Jointed Rock Mass Deformability: A Probabilistic Approach», Thesis, Master of Science, Massachusetts Institute of Technology.
8. Ege, J.R. (1968) «Stability Index for Underground Structures in Granitic Rock», in Geological Society of America Memoir 110, 185-197.
9. Fisher, R. (May 1953) «Dispersion on a Sphere», Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. 217A, 295-305.
10. Geological Society of London (1977) «The Description of Rock Masses for Engineering Purposes; Report by the Geological Society Engineering Group Working Party», Quarterly Journal of Engineering Geology 10, 355-388.
11. Goodman, R.E. (1980) «Introduction to Rock Mechanics», J. Wiley and Sons, New York.
12. Μαρίνος Π. (1979) «Γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχομάζας και υποστήριξη των σηραγγών. Μία επισκόπηση και μία προσπάθεια ελέγχου και κριτικής στις ασβεστολιθικές μάζες του Παρνασσού - Γκιώνα». Ορυκτός πλούτος Νο 3.
13. McMAHON, B.K. (1971) «A Statistical Method for the Design of Rock Slopes», pp. 314-321 in Proceedings of the Firts Australia - New Zealand Conference on Geomechanics.
14. Piteau, D.R. (1970) «Geological Factors Significant to the Stability of the Slopes Cut in Rock», in Proceedings of the Open Pit Mining Symposium, South African Institution of Mining and Metallurgy.
15. Proctor, R.J. (1971) «Mapping Geological Conditions in Tunnels», Bull. Assoc. Eng. Geol. 1 (1) f, 1-43.
16. Rocha, M. (1971) «A New Method of Integral Sampling of Rock Masses», Rock Mechanics 3.
17. Sachpazis C. «Correlating Schmidt Hardness with Compressive Strength and Young's Modulus of Carbonate Rocks». Υπό δημοσίευση στο Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Paris.
18. Σαχπάζης Κ.Ι., Κουμαντάκης Ι.Ε. (1986). «Γεωτεχνική περιγραφή, ταξινόμηση και ιδιότητες της ανθρακικής και ανθρακομιγούς βραχομάζας. Τρόπος καταγραφής». Μεταλλειολογικά-Μεταλλουργικά Χρονικά Νο. 61/1986, p.p. 43-64.
19. Wickham, G.E., and H.R. Tiedemann (1974) «Ground Support Prediction Model (RSR Concert)», Sponsored by ARPA Order No 1579, Amendment No. 3 Program Code 2F10.
20. Willis, H.B. (1970) «Geologic Mapping of Tunnels and Shafts by the Full Periphery Method», Engineering Technical Letter No 1110-1-37, Engineering and Design, prepared for the Chief Engineer, Department of the Army, Office of the Chief Engineers, Washington D.C.
21. Yow, Y.L., Jr. (May 1982) «Sources of Error in Tunnel Mapping», Byll. Assoc. Eng. Geol. 19(2), 133-140.

# Engineering Geological Mapping Methodology for Underground Excavations

C.I. Sachpazis

**ABSTRACT:** The suitability and the behaviour of a site for an underground excavation, e.g. tunnel, underground mining activities, H.L.W. repository, e.t.c., is mainly dependant on and determined by the host rock characteristics of the site, namely its rock material properties (physical, mechanical, chemical, weatherability) as well as its rock mass properties (discontinuity characteristics).

All these properties should be revealed and found out during both mapping and field – laboratory investigation, and subsequently should be demonstrated on engineering geological – geotechnical maps, plans, sections and drawings.

Thus, for this reason, a special procedure and methodology is proposed to be followed during underground excavation engineering geological mapping, in order that these characteristics are detected, measured and best demonstrated in a most precise, detailed and representative way.

---

C.I. Sachpazis  
M. Sc. Geotechnical engineering U.K.,  
Dr Mining Engineering N.T.U.A.