



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

Τεχνική Γεωλογία Ι

Διδάσκοντας:
Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων
Μεταλλουργών

Μεθοδολογία έρευνας κατολισθητικών φαινομένων

Τα συνήθη στάδια διερεύνησης των κατολισθητικών φαινομένων είναι:

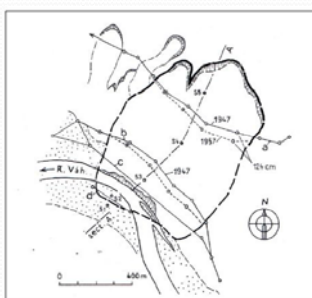
- Βιβλιογραφική αναζήτηση (γενικότερες γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες των σχηματισμών της περιοχής, αναζήτηση πληροφοριών για παλαιότερα φαινόμενα στην υπό διερεύνηση ή σε παρακείμενη θέση)
- Τηλεπισκόπηση της υπό διερεύνηση περιοχής (αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες)
- Αυτοψία - επιτόπου αναγνώριση του φαινομένου
- Τεχνικογεωλογική – γεωτεχνική μελέτη (αποτυπώσεις, χαρτογραφήσεις, γεωτεχνικές γεωτρήσεις, γεωφυσικές διασκοπήσεις κ.α.)
- Ενόργανη παρακολούθηση της κατολίσθησης (τοπογραφικές μετρήσεις, GPS, αποκλισιόμετρα, τεχνικές συμβολομετρίας - PSI (Persistent Scatterer Interferometry) κ.α.)
- Ανάλυση ευστάθειας – διαστασιολόγηση των μέτρων υποστήριξης
- Εφαρμογή – εγκατάσταση μέτρων υποστήριξης

Ενόργανη παρακολούθηση

Για την ενόργανη παρακολούθηση των κατολισθήσεων χρησιμοποιούνται:

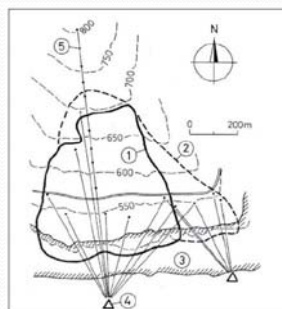
- Τοπογραφικά όργανα (κλασικά και GPS)
- Κλισιόμετρα ή αποκλισιόμετρα
- Μόνιμα αποκλισιόμετρα
- Επιμηκυνσιόμετρα
- Ρωγμόμετρα
- Radar

Τοπογραφικά όργανα (κλασικά και GPS)



Γεωδαιτικές
οδεύσεις ελέγχου
μετακινήσεων

Έλεγχος μετακινήσεων με
μετρήσεις τριγωνομετρικού
δικτύου και επιλεγμένων
σημείων παρακολούθηση



Σταθμός βάσης
GPS

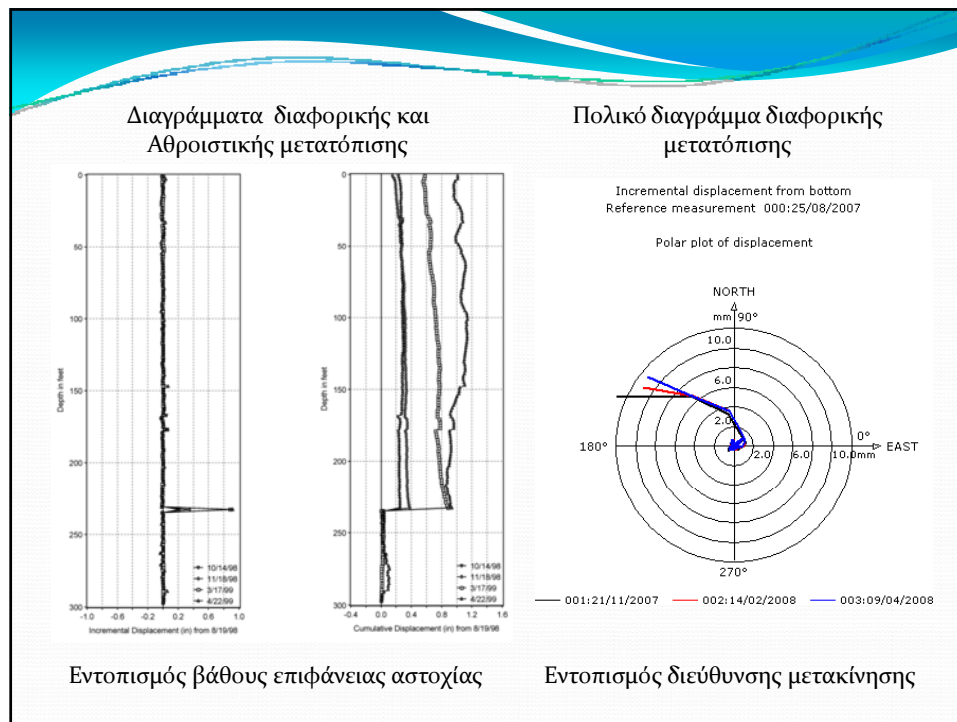


Τα αποκλισιόμετρα επιτρέπουν:

- Τον **εντοπισμό του βάθους της επιφάνειας** ή των επιφανειών ολίσθησης
- Τον ακριβή **υπολογισμό της ταχύτητας** και της διεύθυνσης της ολίσθησης

Διαδικασία εγκατάστασης και εκτέλεσης μετρήσεων:

- Μετά την ολοκλήρωση της δειγματοληπτικής γεώτρησης τοποθετούνται οι αποκλισιομετρικοί σωλήνες. Οι αρμοί των σωλήνων σφραγίζονται για την εξασφάλιση στεγανότητας.
- Ο χώρος μεταξύ του διατρήματος και του σωλήνα πληρώνεται με υδαρές ένεμα που αποτελείται από μείγμα μπετονίτη με μικρή ποσότητα τσιμέντου και νερό. Οι σωλήνες πρέπει να «πακτώνονται» κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης.
- Μετά το πέρας 5 ημερών για την πήξη του ενέματος πραγματοποιείται η πρώτη μέτρηση αναφοράς. Ο σωλήνας μπορεί να πληρωθεί με νερό για την απόσβεση ταλαντώσεων του οργάνου.
- Σε τακτά χρονικά διαστήματα, ανάλογα με την ταχύτητα της μετακίνησης πραγματοποιούνται οι υπόλοιπες μετρήσεις. Σε κάθε μέτρηση οι μετρήσεις των αποκλίσεων πραγματοποιούνται ανά μισό μέτρο βάθους της γεώτρησης.



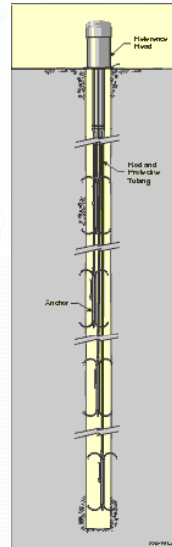
Επιμηκυνσιόμετρα (extensometers)



Μαγνητικά επιμηκυνσιόμετρα
(Magnet Extensometer)



Επιμηκυνσιόμετρα
με ράβδους
(Rod Extensometer)

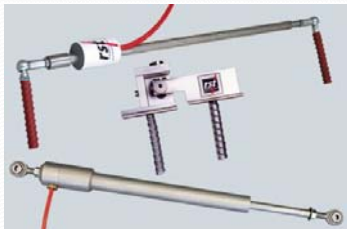


Επιμηκυνσιόμετρα ταινίας
(Tape Extensometer)

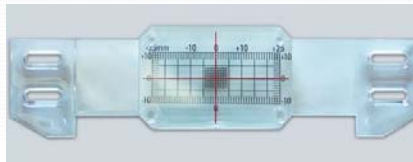


Επιμηκυνσιόμετρα Laser
(Laser Extensometer)

Ρωγμόμετρα (crack meters, Tell-tails)



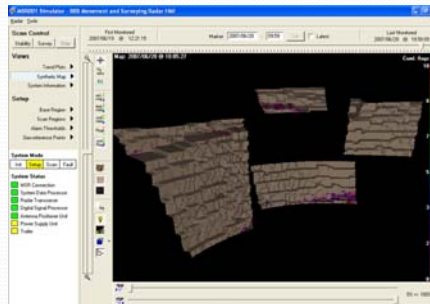
Ηλεκτρονικά ρωγμόμετρα

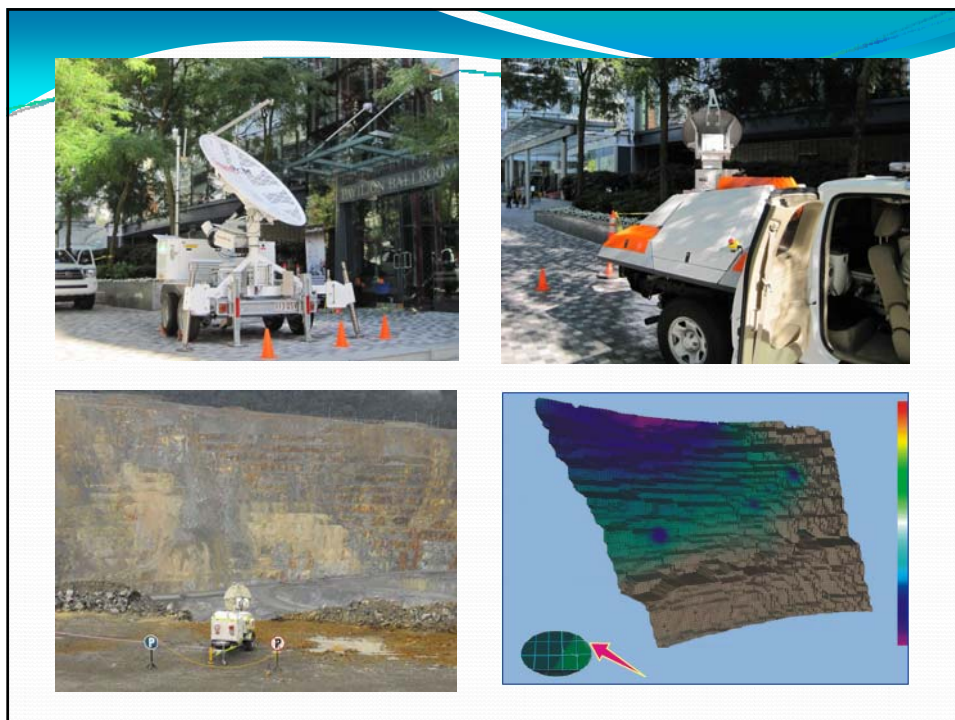


Ρωγμόμετρα
Tell-tails



Radar παρακολούθησης μετακινήσεων (Movement and Surveying Radar)





Ενδεικτικά Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Απόσταση στόχευσης από 600 έως και 2500m.
- Κάνναβος μετρήσεων < 10 cm.
- Γρήγορη ανάπτυξη - εγκατάσταση < 30min.
- Λειτουργεί σε συνθήκες έντονης σκόνης.
- Θερμοκρασίες λειτουργίας -10 έως +55.
- Άνεμος < 80km/h.
- Βροχή < 60mm/h.



Ανάλυση ευστάθειας

Οι μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας των πρανών διακρίνονται στις Συμβατικές, στις Εμπειρικές και στις Αριθμητικές.

Στις συμβατικές μεθόδους περιλαμβάνονται οι:

- Μέθοδοι οριακής ισορροπίας
- Στερεογραφικές ή κινηματικές μέθοδοι ανάλυσης
- Μέθοδοι προσομοίωσης καταπτώσεων

Στις εμπειρικές μεθόδους περιλαμβάνονται:

- Μέθοδοι που συνδυάζονται με τις ταξινομήσεις βαραχομάζας
- Μέθοδοι που βασίζονται σε εμπειρικά νομοδιαγράμματα

Στις αριθμητικές μεθόδους περιλαμβάνονται οι:

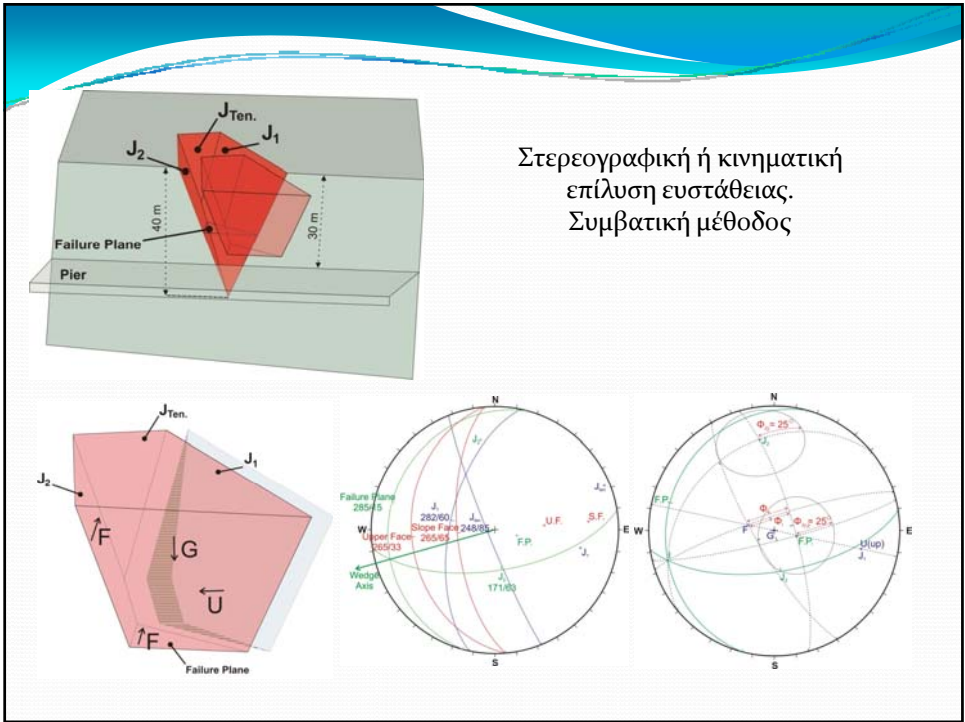
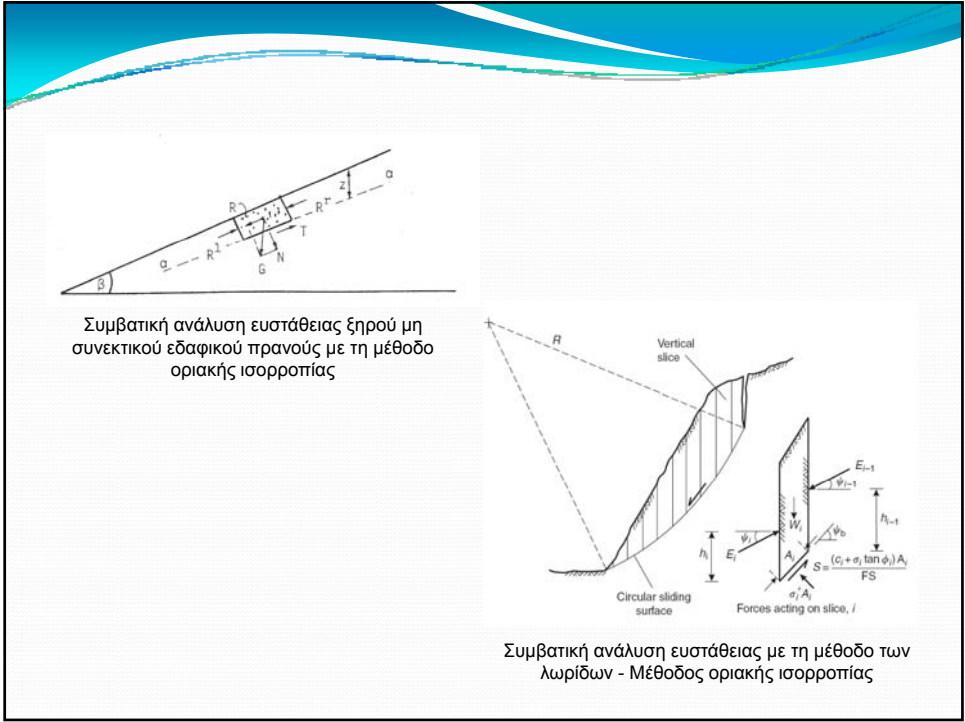
- Μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών
- Μέθοδοι διακριτών στοιχείων και οι αναλύσεις παραμόρφωσης ασυνεχούς μέσου.

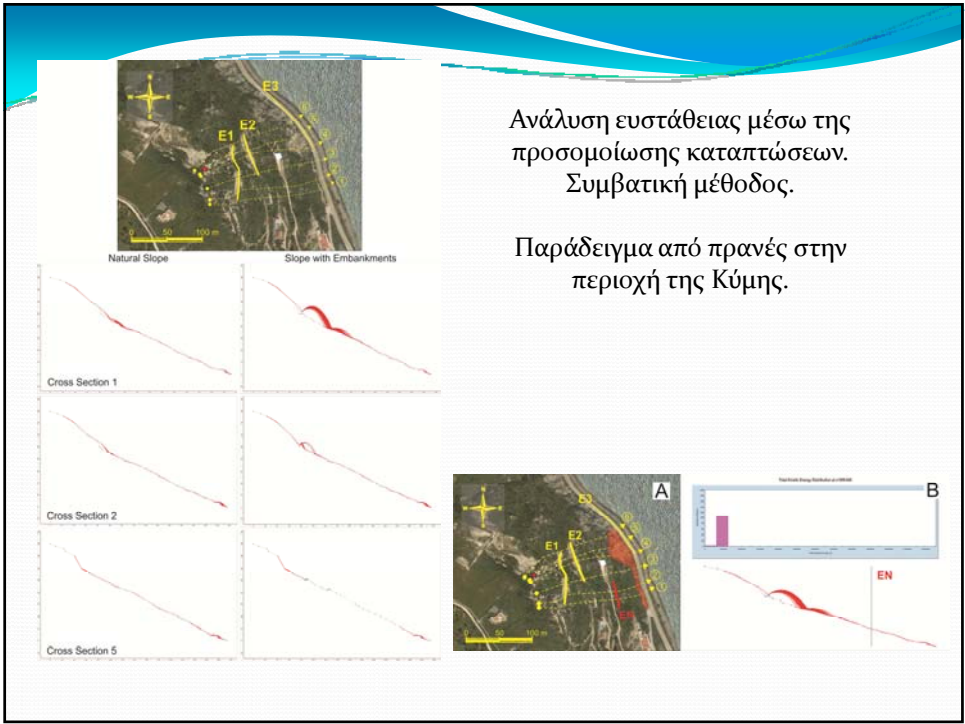
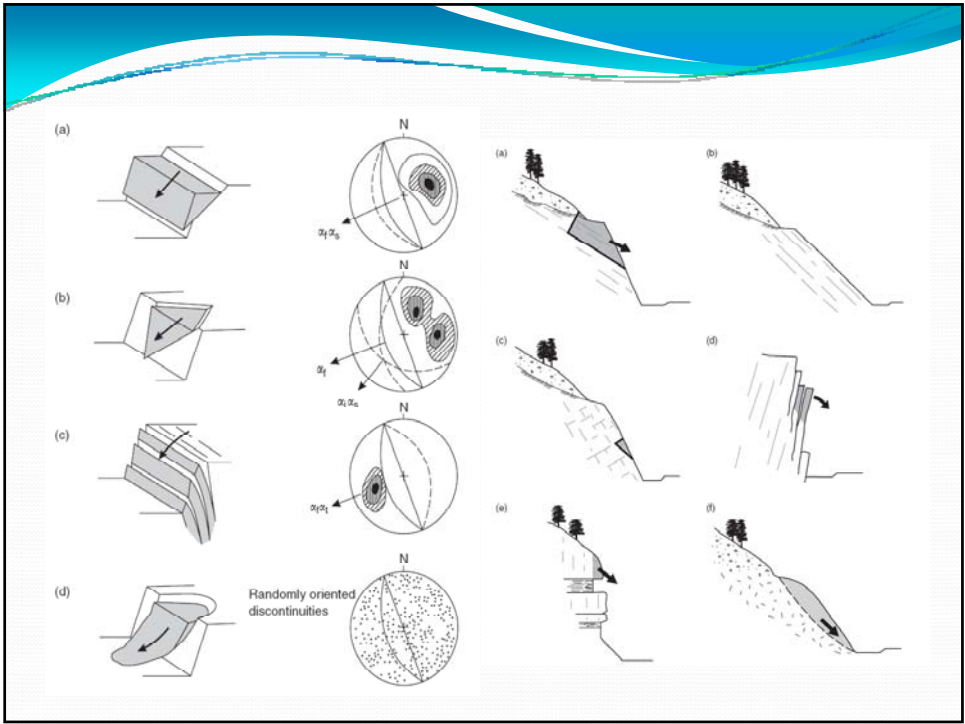
Τέλος υπάρχουν και οι υβριδικές μέθοδοι που συνδυάζουν κάποιες από τις προαναφερόμενες μεθόδους.

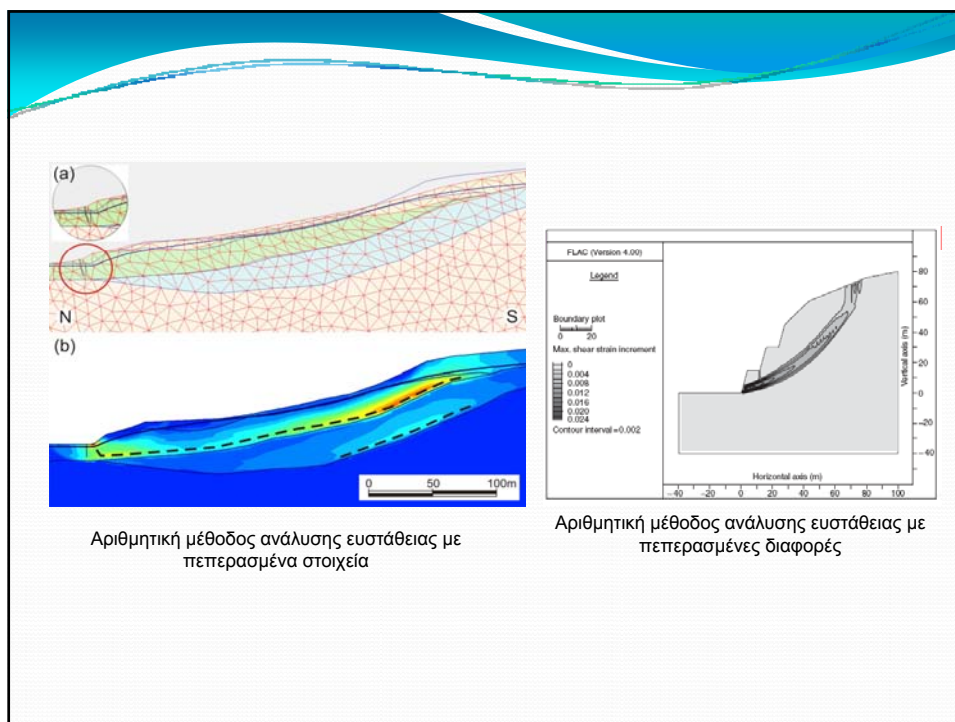
Γενική συνθήκη ισορροπίας των συμβατικών μεθόδων οριακής ισορροπίας

Η γενική συνθήκη ισορροπίας που ισχύει στις συμβατικές μεθόδους οριακής ισορροπίας είναι ότι **οι δυνάμεις ή οι ροπές συγκράτησης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από αυτές της ολίσθησης**. Ο συντελεστής ασφαλείας, F ή $F.S.$, καθορίζεται από το λόγο του συνόλου των δυνάμεων ή ροπών που ανθίστανται στην ολίσθηση και που οφείλονται στη διατμητική αντοχή του εδάφους, προς τις αντίστοιχες δυνάμεις ή ροπές που συνεισφέρουν στην αστάθεια του πρανούς, προκαλώντας την ολίσθησή του. Στην περίπτωση όπου ο συντελεστής ασφαλείας ισούται με τη μονάδα, το πρανές βρίσκεται σε **κατάσταση οριακής ισορροπίας**.

$$F = \frac{\text{Δυνάμεις ή Ροπές Συγκράτησης}}{\text{Δυνάμεις ή Ροπές Ολίσθησης}}$$







Ανάλυση Ευστάθειας με τη Χρήση των Νομογραφημάτων Hoek & Bray (1977)

Εμπειρική μέθοδος η οποία βασίζεται στη χρήση νομογραφημάτων.

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται εκτίμηση των τιμών του συντελεστή ασφάλειας, F , σε πρανή με **απλή γεωμετρία** και για **διάφορες συνθήκες υπόγειου νερού**.

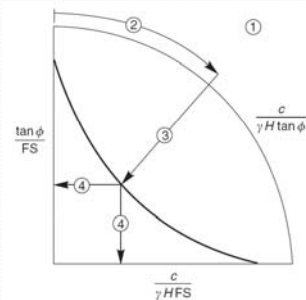
Ιδιαίτερα **εύχρηστη μέθοδος** με περιορισμούς και προϋποθέσεις που την καθιστούν **συντηρητική**.

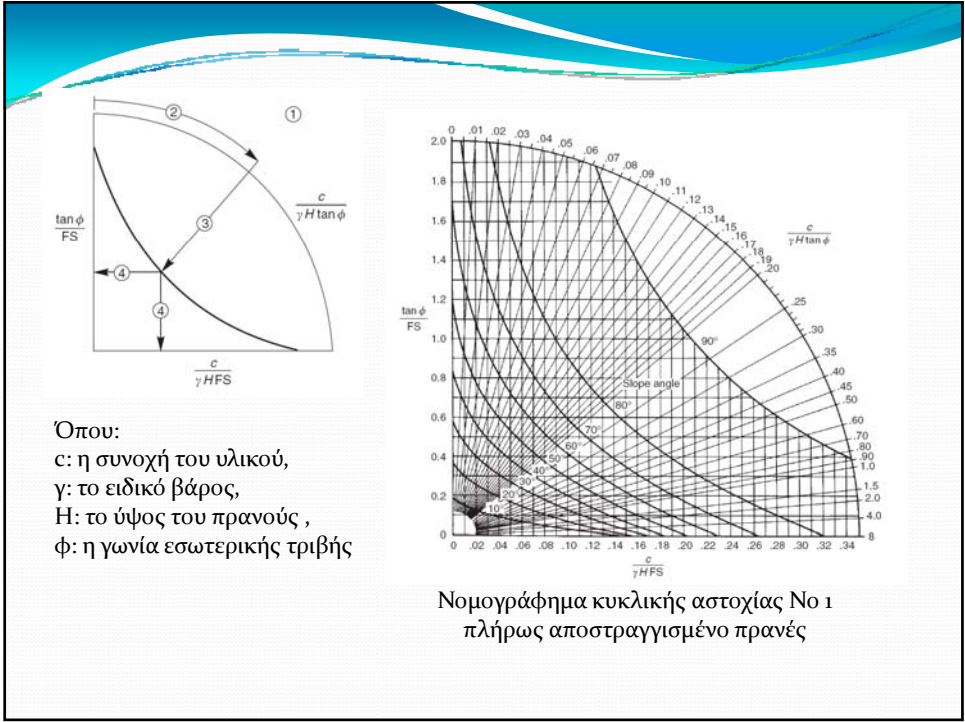
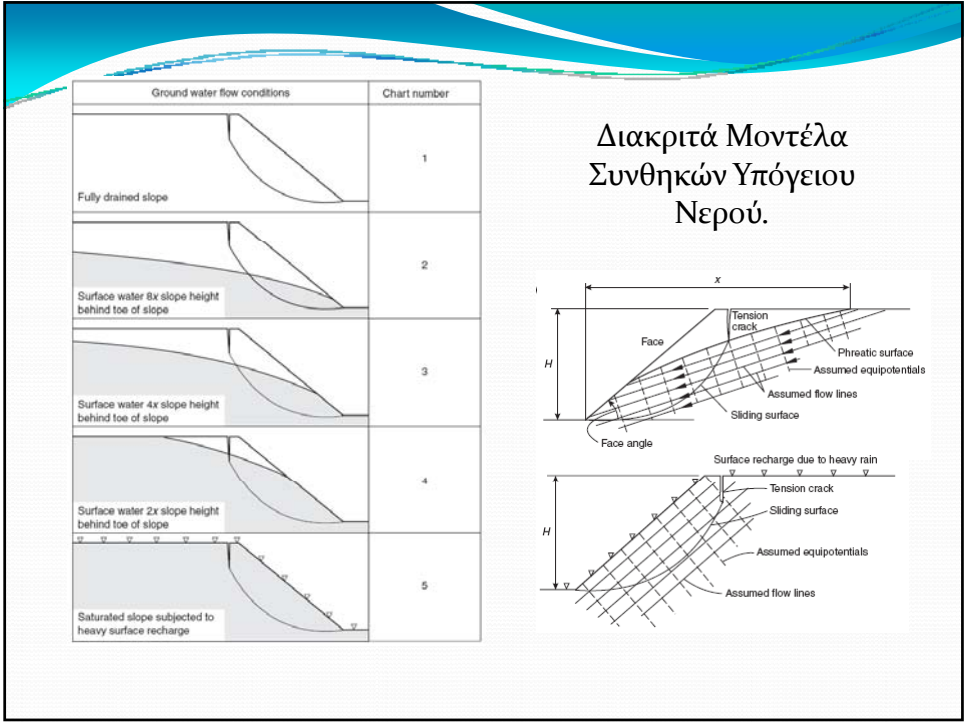
Προϋποθέσεις Υπολογισμού των Νομογραφημάτων

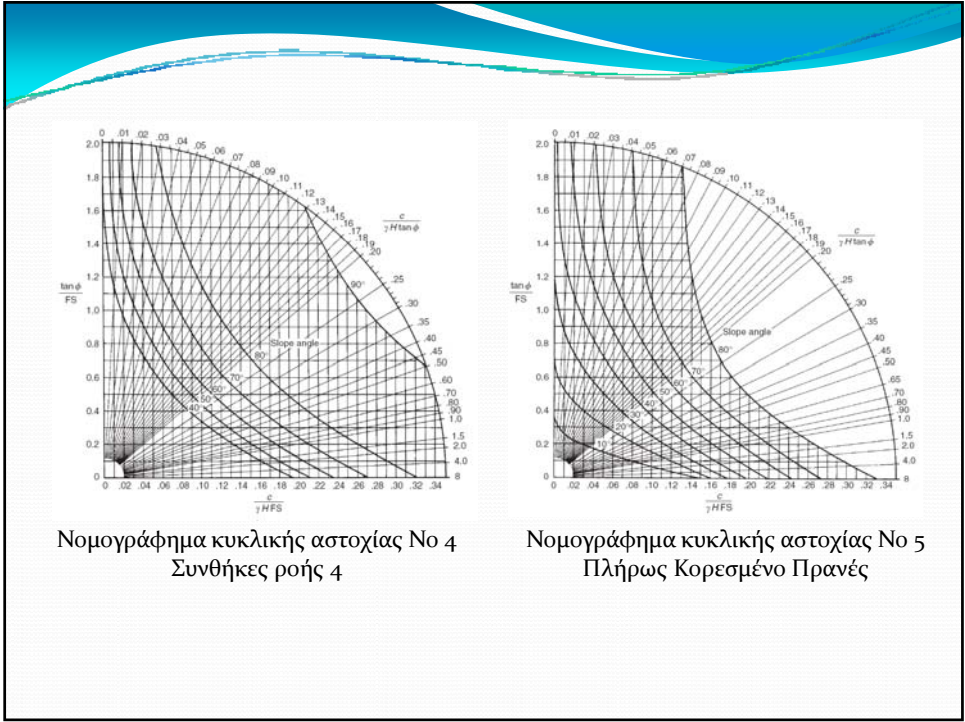
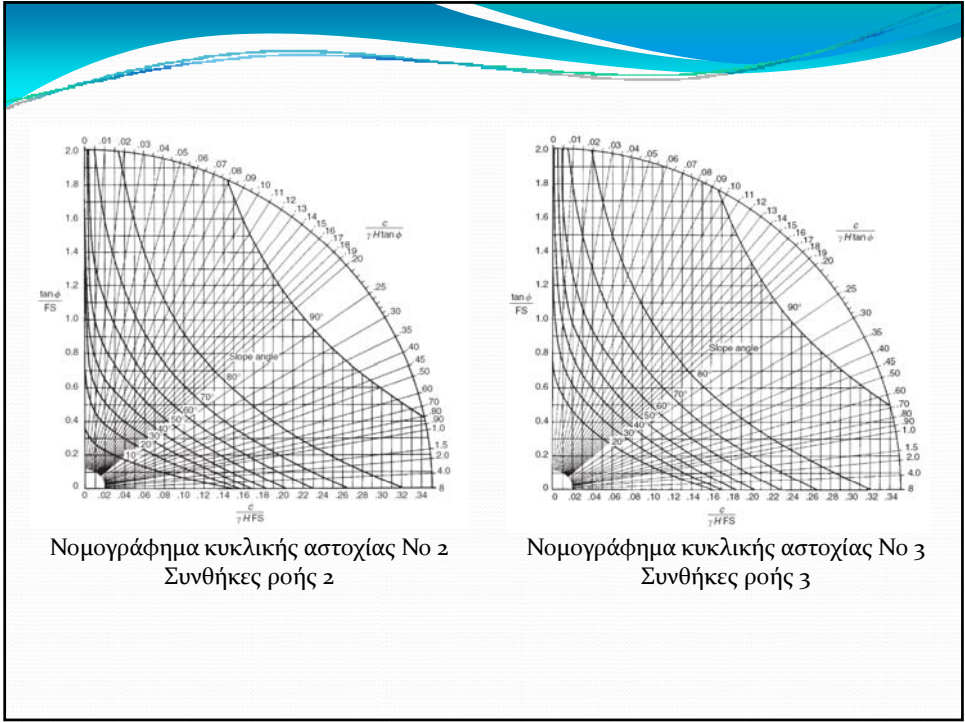
- Το εδαφικό υλικό του πρανούς είναι **ομογενές** και οι παράμετροι **διατμητικής αντοχής** είναι σταθερές κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας.
- Η αντοχή του εδάφους ορίζεται σύμφωνα με το **κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb** ($\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$). Παραδοχή ελαστικής - τέλεια πλαστικής συμπεριφοράς.
- Υπάρχει **κατακόρυφη εφελκυστική ρωγμή** στην επιφάνεια του πρανούς.
- Το πρανές αστοχεί σε **κυκλική επιφάνεια** που διέρχεται από τον πόδα του.
- Τα διαγράμματα αυτά ισχύουν για **πέντε επιλεγμένες συνθήκες κορεσμού** και υπόγειας ροής νερού προς το μέτωπο του πρανούς.
- Η θέση της εφελκυστικής ρωγμής καθώς και η επιφάνεια της κυκλικής αστοχίας, είναι τέτοιες ώστε, να λαμβάνεται η **ελάχιστη τιμή συντελεστή ασφαλείας** για το πρανές, ανάλογα με τη γεωμετρία και τις συνθήκες κορεσμού του πρανούς.
- Τα νομογραφήματα έχουν υπολογιστεί για πετρώματα με **πυκνότητα $18,9 \text{ kN/m}^3$** . Για μικρότερες τιμές πυκνότητας προκύπτουν μικρότερες τιμές συντελεστή ασφαλείας ενώ για υψηλότερες το αντίστροφο.

Βήματα Υπολογισμού

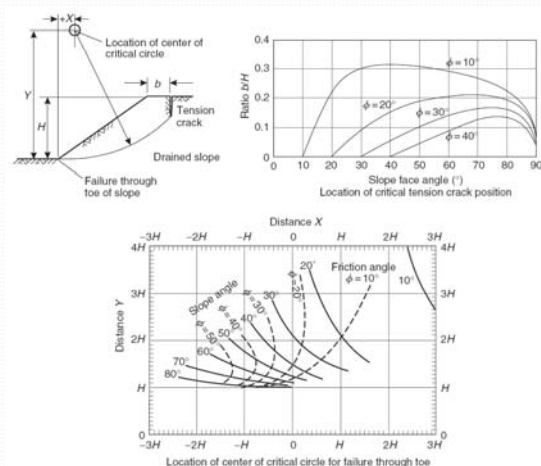
1. Εκτιμώνται οι συνθήκες υπόγειας ροής και επιλέγεται το κατάλληλο νομογράφημα.
2. Υπολογίζεται η τιμή του λόγου $c/(\gamma \cdot H \cdot \tan \phi)$ και εντοπίζεται η τιμή του λόγου αυτού στην περιφέρεια του αντίστοιχου νομογραφήματος.
3. Εντοπίζεται το σημείο τομής της καμπύλης που αντιστοιχεί στην κλίση του πρανούς, με την ακτίνα που ξεκινά από την τιμή στην περιφέρεια του διαγράμματος που υπολογίστηκε στο πρώτο βήμα.
4. Βρίσκεται η αντίστοιχη τιμή των λόγων $\tan \phi / F$ και $c/\gamma \cdot H \cdot F$ στους άξονες x και y του νομογραφήματος και υπολογίζεται η τιμή του συντελεστή ασφαλείας F με όποια από τις δύο σχέσεις κρίνεται περισσότερο εύχρηστη.



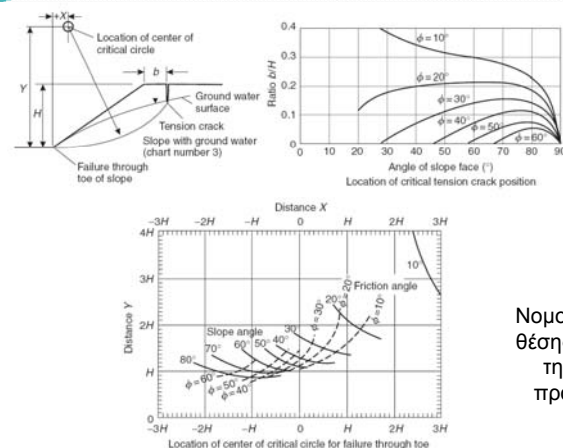




Θρισμός της θέσης του Κύκλου Ολίσθησης και της Εφελκυστικής Ρωγμής



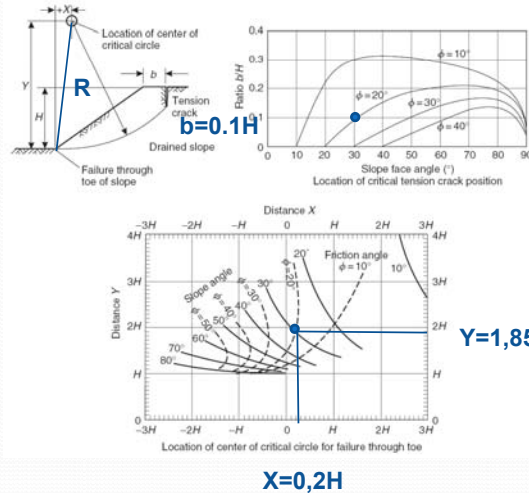
Νομογράφημα προσδιορισμού της θέσης της επιφάνειας αστοχίας και της εφελκυστικής ρωγμής σε αποστραγγισμένο πρηνές.



Νομογράφημα προσδιορισμού της θέσης της επιφάνειας αστοχίας και της εφελκυστικής ρωγμής σε πρηνές με παρουσία υπόγειου νερού.

Η γνώση της παρουσίας του υπόγειου νερού αρκεί και δεν είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του εύρους της επιφάνειας διαστάλαξης.

**Παράδειγμα Προσδιορισμού της θέσης των Επιφανειών Αστοχίας σε
Αποστραγγισμένο πρανές ύψους $H=20\text{m}$ με κλίση 30° και $\Phi=20^\circ$**



$$X = 0,2 \times 20\text{m} = 4\text{m}$$
$$Y = 1,85 \times 20\text{m} = 37\text{m}$$
$$b = 0,1 \times 20\text{m} = 2\text{m}$$

ΑΡΑ η ακτίνα της επιφανείας
αστοχίας είναι:
 $R^2 = 4^2 + 37^2 = 1385 \Rightarrow R = 37.2\text{m}$

**Μέτρα σταθεροποίησης κατολισθήσεων
και ανάσχεσης κινδύνου καταπτώσεων**

Πρόκειται για μέτρα τα οποία αποσκοπούν:

- Στην παροδική ή μόνιμη βελτίωση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών και
- Στην αποτροπή ή εξάλειψη του κινδύνου αστοχιών

Κύριος στόχος τους είναι η ανάσχεση των προπαρασκευαστικών αιτιών και η παρεμπόδιση των αιτιών που αποτελούν τα ενάυσματα για την πρόκληση αστοχιών.

Μέθοδοι στράγγισης επιφανειακών υδάτων και υπόγειων υδροφόρων



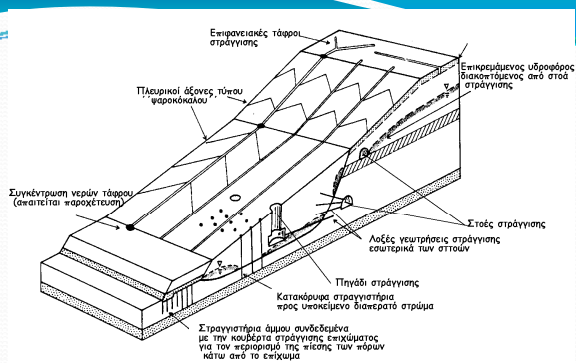
Δίκτυο σημείων άντλησης



Σήραγγα αποστράγγισης

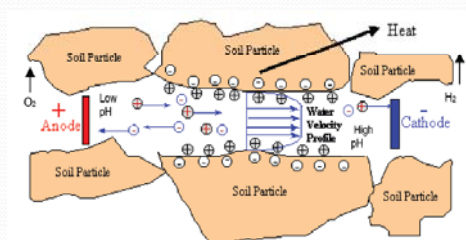


Γεώτρηση μεγάλου βάθους



Τάφροι αποστράγγισης

Ηλεκτροκινητικές τεχνικές σταθεροποίησης

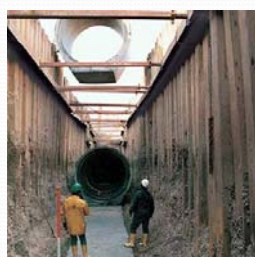


Θερμικές μέθοδοι σταθεροποίησης



Ψύξη Σχηματισμών

Μέθοδοι αντιστήριξης



Τοίχοι βαρύτητας



Τοίχος βαρύτητας από οπλισμένη γη με συρματοκιβώτια

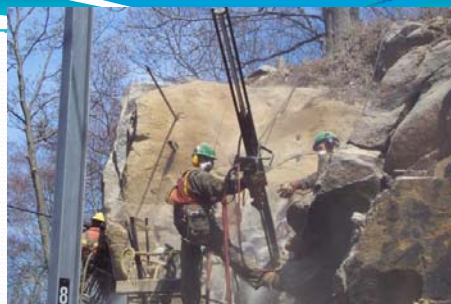


Αντίβαρα ποδός- Τοίχοι βαρύτητας



Εικόνες από την
κατολίσθηση της
Μαλακάσας

Τεχνικές ανάσχεσης καταπτώσεων



Εφαρμογές γεωσυνθετικών υλικών



Γεωφάσματα, γεωμεμβράνες, Γεωκυψέλες

Γεωτεχνική βιοσταθεροποίηση εδαφών



Βιβλιογραφία

- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2007) Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Εκδ. Παπασωτηρίου, σελ.575.
- Λουπασάκης Κ., (2013) Διαφάνειες παρουσιάσεων του μαθήματος Μέθοδοι Βελτίωσης της Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς των Γεωλογικών Σχηματισμών, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Ρόζος Δ. (2007) Μέθοδοι Βελτίωσης - Αντιστήριξης Εδάφους - Υπεδάφους, Σημειώσεις ΕΜΠ
- Ρόζος Δ., (2007) Τεχνική Γεωλογία Ι, Διδακτικές σημειώσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
- Ρόζος Δ., (2013) Διαφάνειες παρουσιάσεων του μαθήματος Τεχνική Γεωλογία Ι, ΕΜΠ, Αθήνα.