



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

Εργαστήρια Τεχνικής Γεωλογίας Ι

Άσκηση 10^η

Ανάλυση Ευστάθειας Έντονα κατακερματισμένου
Βραχώδους Πρανούς Έναντι Κυκλικής Αστοχίας



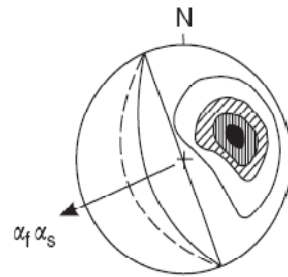
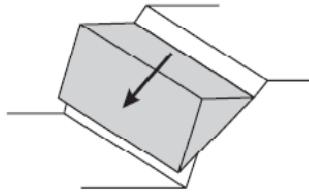
Αντικείμενο της Άσκησης

- Η ανάλυση ευστάθειας βραχώδους πρανούς, αποτελούμενου από έντονα αποσαθρωμένη ή και έντονα κατακερματισμένη βραχομάζα, έναντι κυκλικής αστοχίας.

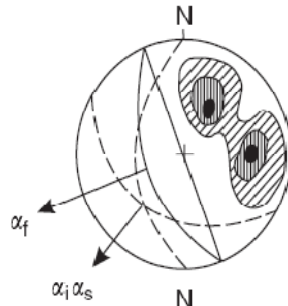
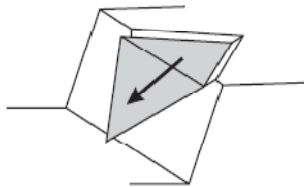
Μηχανισμοί Αστοχίας βραχωδών πρανών

- Τα βραχώδη πρανή αστοχούν με μηχανισμούς ανάλογους του βαθμού κατακερματισμού αλλά και του βαθμού αποσάθρωσής τους.
- Οι συνηθέστεροι μηχανισμοί αστοχίας των βραχωδών σχηματισμών είναι **οι επίπεδες και οι σφηνοειδείς ολισθήσεις**.
- Στις περιπτώσεις έντονου κατακερματισμού ή έντονης αποσάθρωσης τα υλικά αστοχούν εκδηλώνοντας **κυκλικές ή περιστροφικές ολισθήσεις**, ανάλογες των εδαφικών σχηματισμών.
- Όταν τα συστήματα διάρρηξης διαμορφώνουν ανορθωμένα τεμάχια κατακόρυφα ή με ελαφρώς αντίρροπη κλίση εκδηλώνονται **ανατροπές**.

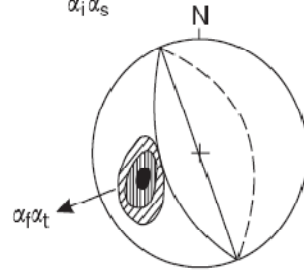
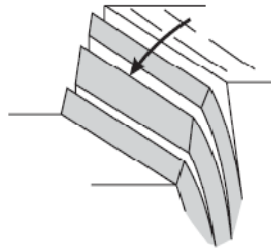
(a)



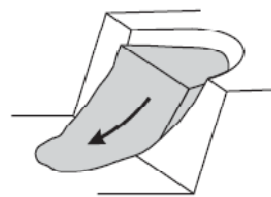
(b)



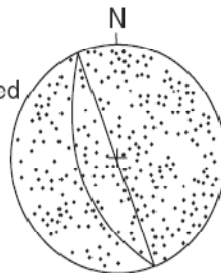
(c)



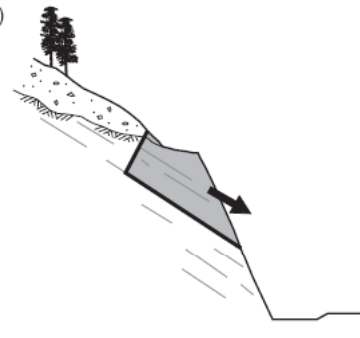
(d)



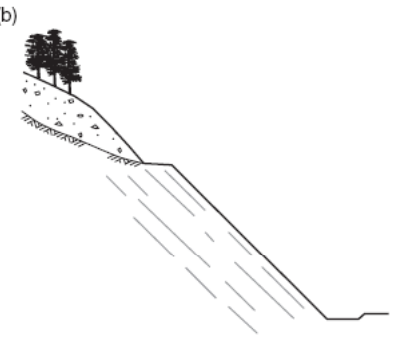
Randomly oriented
discontinuities



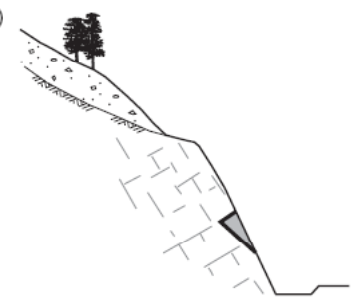
(a)



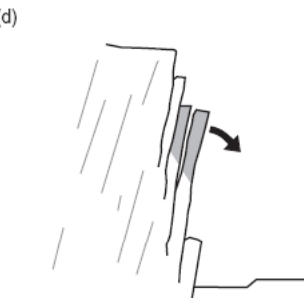
(b)



(c)



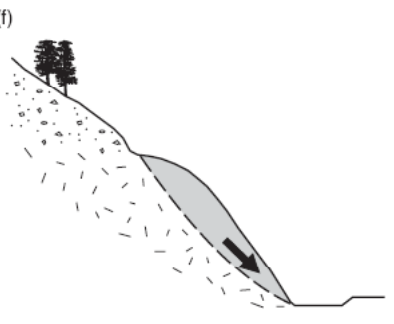
(d)



(e)



(f)



Κατολίσθηση Τεμπών



Κατολίσθηση Φράγματος
Θησαυρού



Χαροκόπι Ιωαννίνων
Κατολίσθηση σε σχηματισμούς
Φλύσχη





Κατολίσθηση στα Άλωνα Φλώρινας,
σε αρενιτοποιημένους γρανίτες.

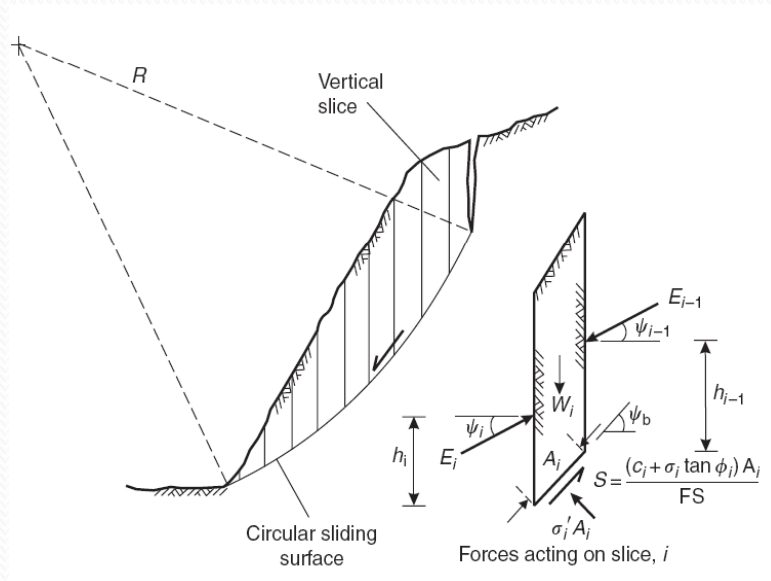


Γενική Συνθήκη Ισορροπίας

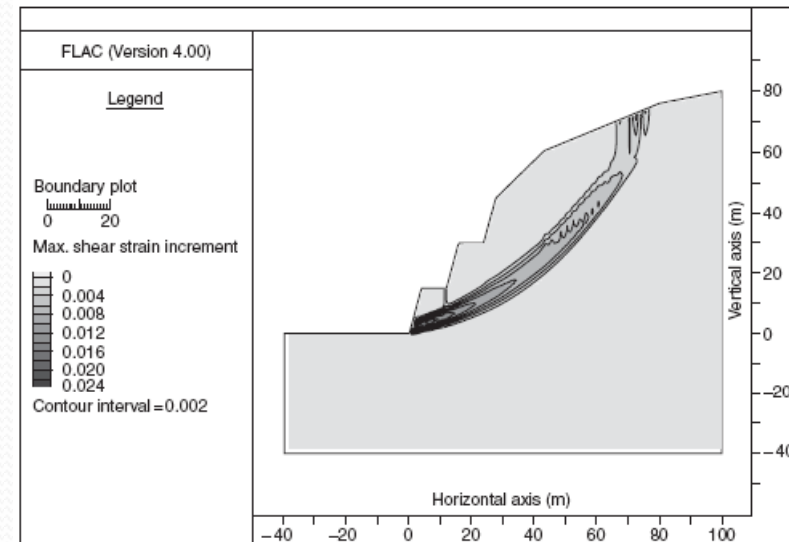
Η γενική συνθήκη ισορροπίας που ισχύει σε όλες τις επιλύσεις ευστάθειας, τόσο των βραχωδών όσο και των εδαφικών πρανών, είναι ότι **οι δυνάμεις ή οι ροπές συγκράτησης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από αυτές της ολίσθησης**. Ο συντελεστής ασφαλείας, F ή $F.S.$, καθορίζεται από το λόγο του συνόλου των 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 πρανού, προκαλώντας την ολίσθησή του. Στην περίπτωση όπου ο συντελεστής ασφάλειας ισούται με τη μονάδα το πρανές βρίσκεται σε **κατάσταση οριακής ισορροπίας**.

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

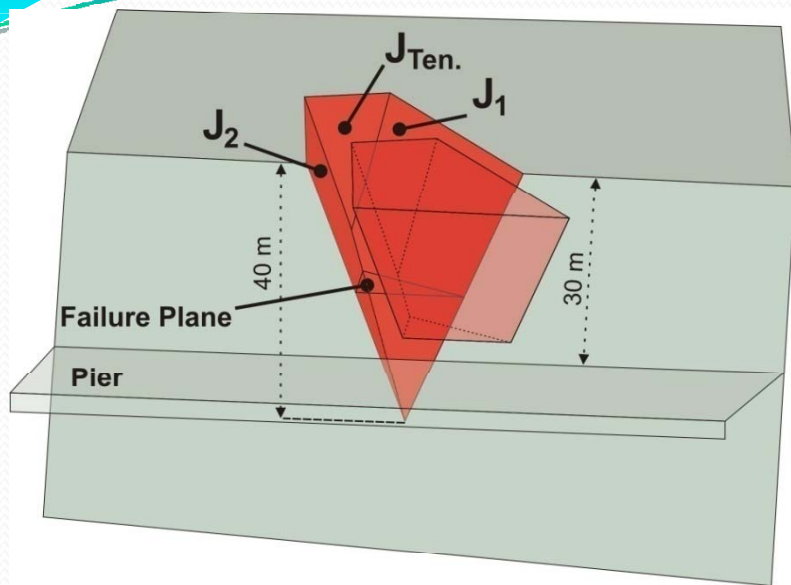
Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολυάριθμες **μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας** των πρανών. Οι μέθοδοι αυτές γενικά διακρίνονται σε **συμβατικές** και **αριθμητικές**.



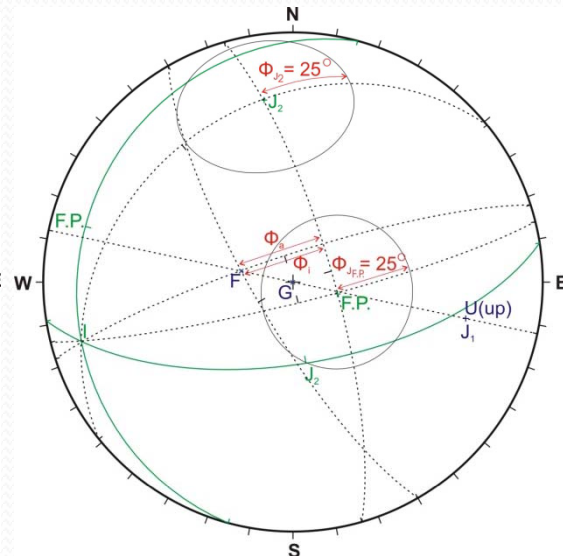
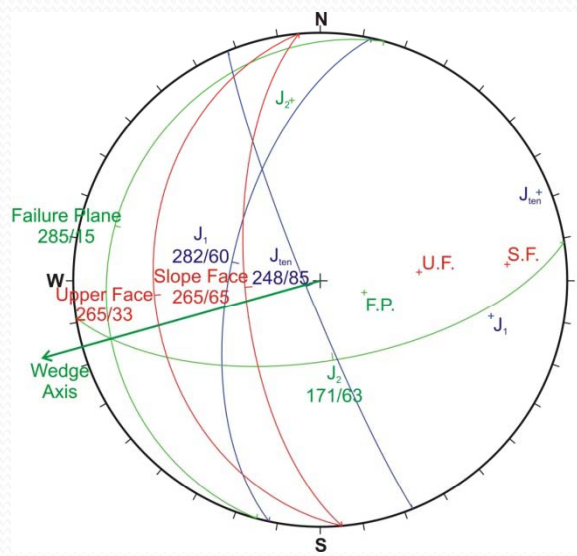
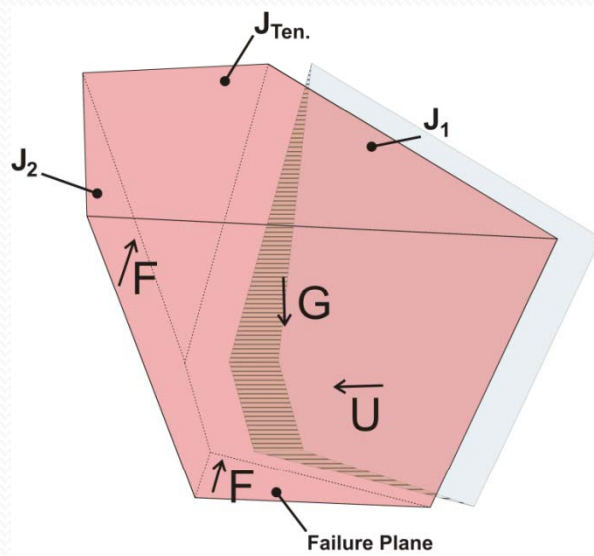
Συμβατική ανάλυση ευστάθειας με τη μέθοδο των λωρίδων - Μέθοδος οριακής ισορροπίας



Αριθμητική μέθοδος ανάλυσης ευστάθειας με πεπερασμένες διαφορές



Στερεογραφική, συμβατική,
επίλυση ευστάθειας



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

Συμβατική 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**.

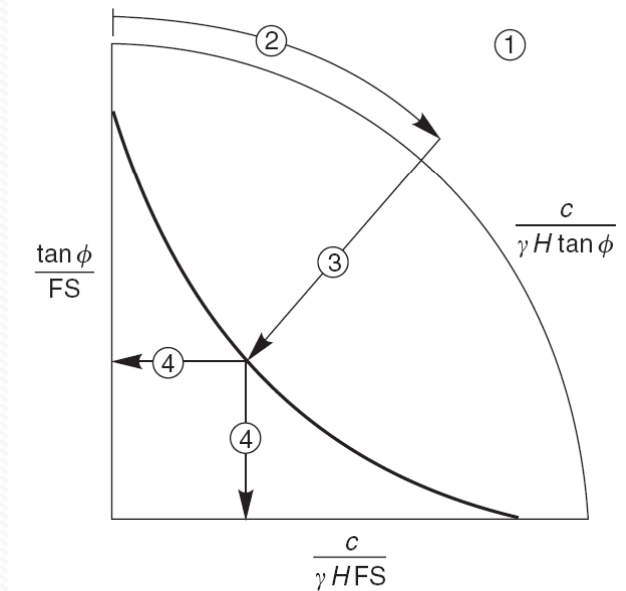
Ιδιαίτερα **εύχρηστη μέθοδος** με περιορισμούς και προϋποθέσεις που την καθιστούν **συντηρητική**.

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.

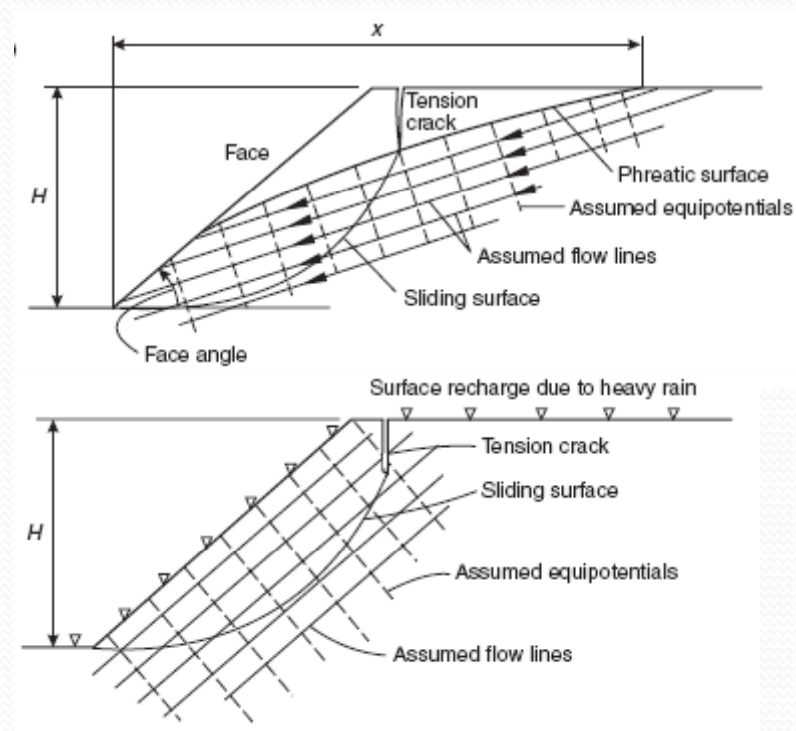
Βήματα Υπολογισμού

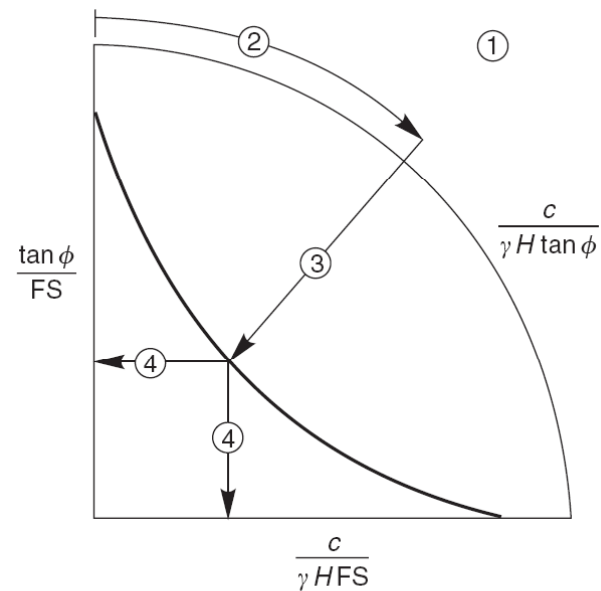
1. Εκτιμώνται οι συνθήκες υπόγειας ροής και επιλέγεται το κατάλληλο νομογράφημα.
2. Υπολογίζεται η τιμή του λόγου $c/(\gamma \cdot H \cdot \tan \phi)$ και εντοπίζεται η τιμή του λόγου αυτού στην περιφέρεια του αντίστοιχου νομογραφήματος.
3. Εντοπίζεται το σημείο τομής της καμπύλης που αντιστοιχεί στην 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.



Ground water flow conditions	Chart number
Fully drained slope	1
Surface water 8x slope height behind toe of slope	2
Surface water 4x slope height behind toe of slope	3
Surface water 2x slope height behind toe of slope	4
Saturated slope subjected to heavy surface recharge	5

Διακριτά Μοντέλα Συνθηκών Υπόγειου Νερού.





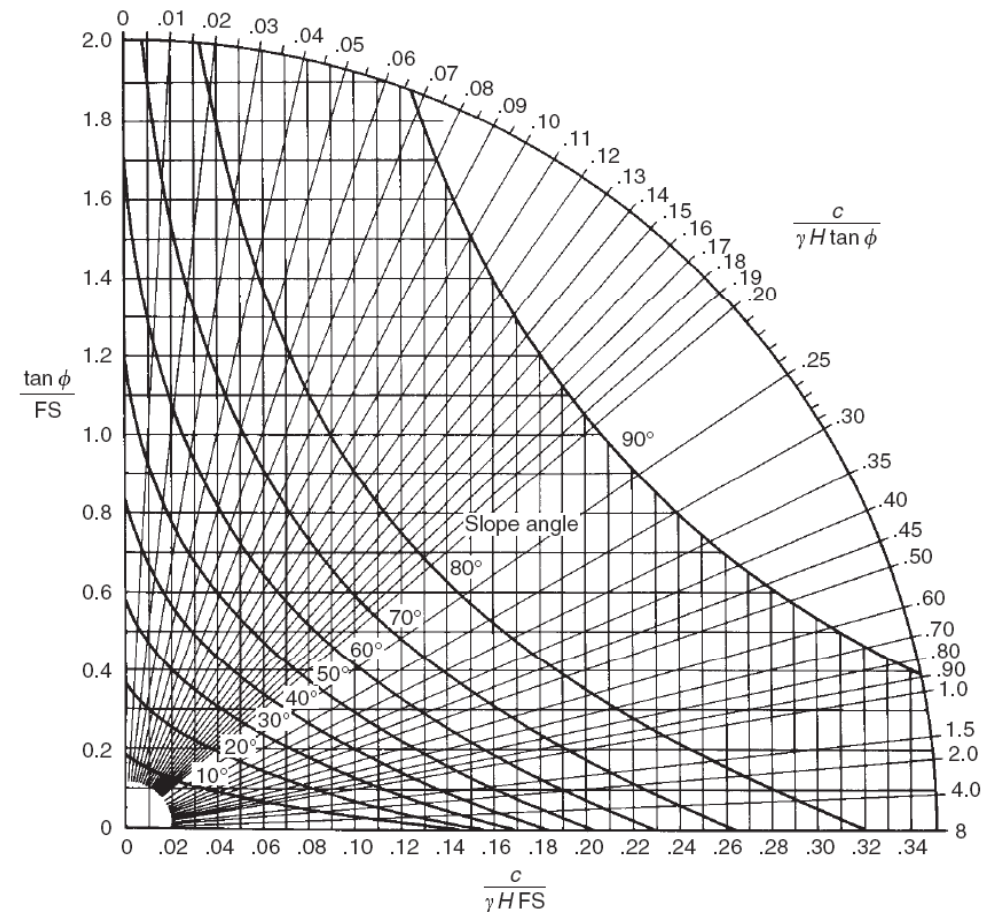
Όπου:

c : η συνοχή του υλικού,

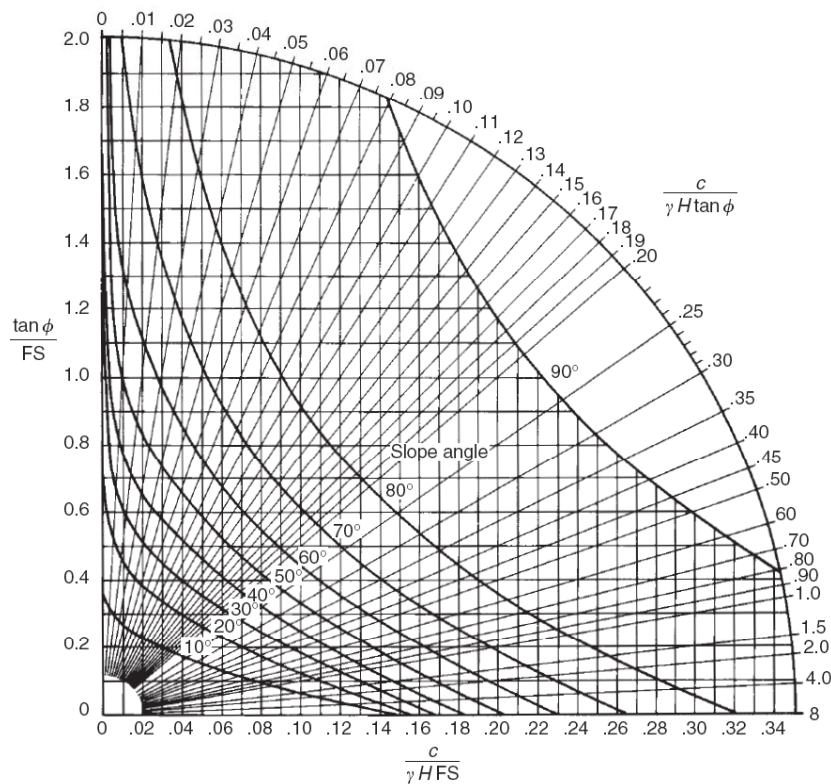
γ : το ειδικό βάρος,

H : το ύψος του πρανούς

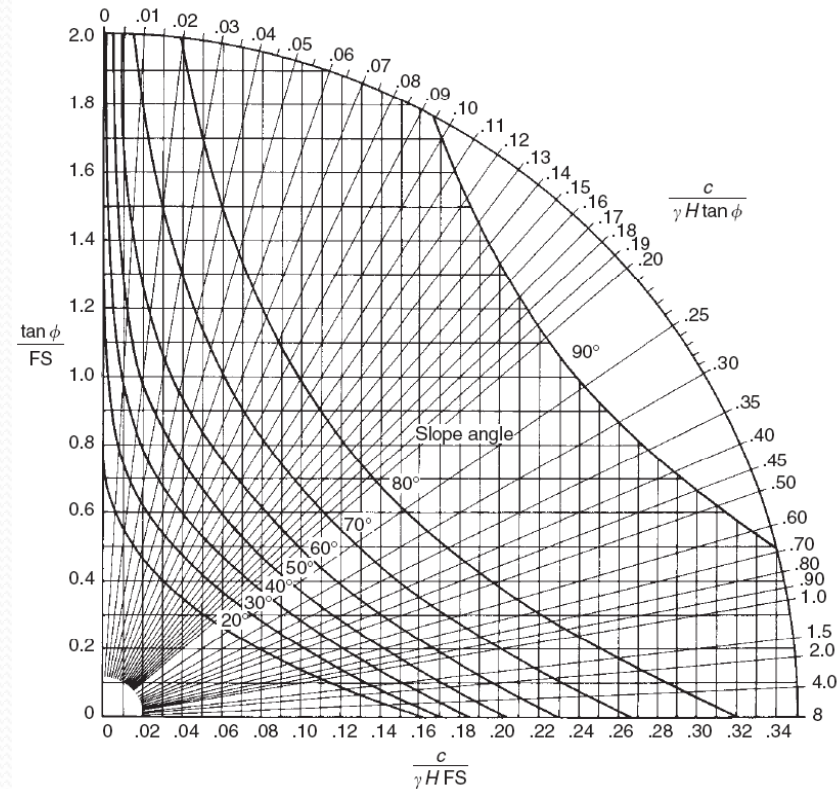
ϕ : η γωνία εσωτερικής τριβής,



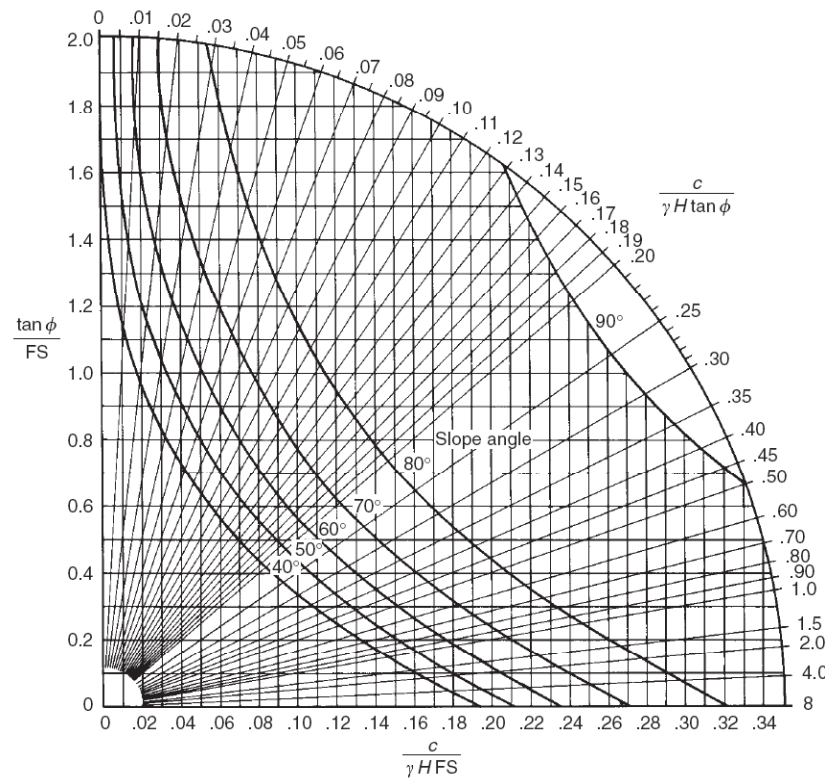
Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 1
πλήρως αποστραγγισμένο πρανές



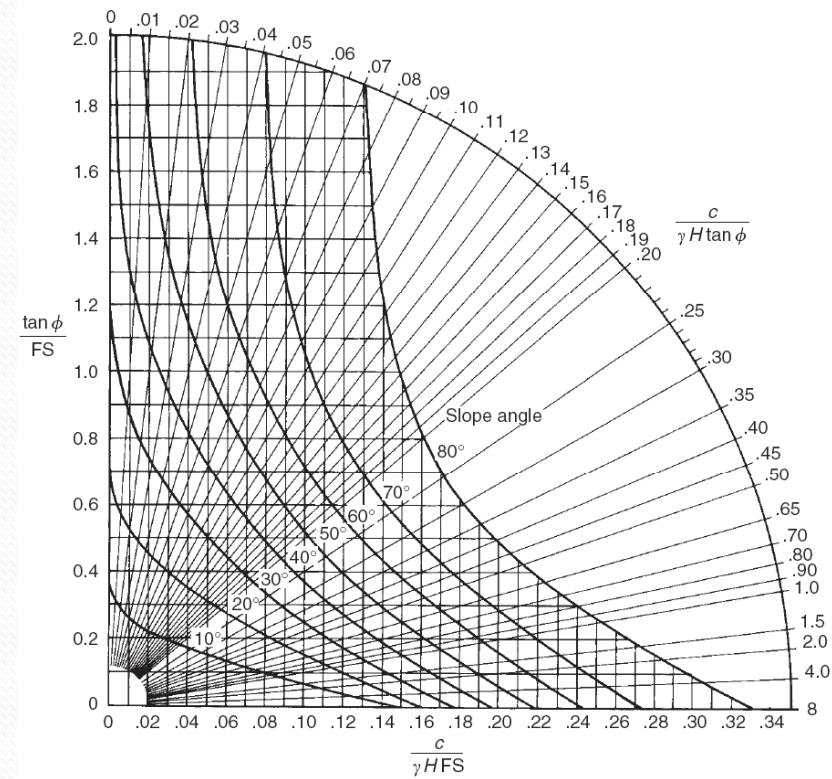
Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 2
Συνθήκες ροής 2



Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 3
Συνθήκες ροής 3

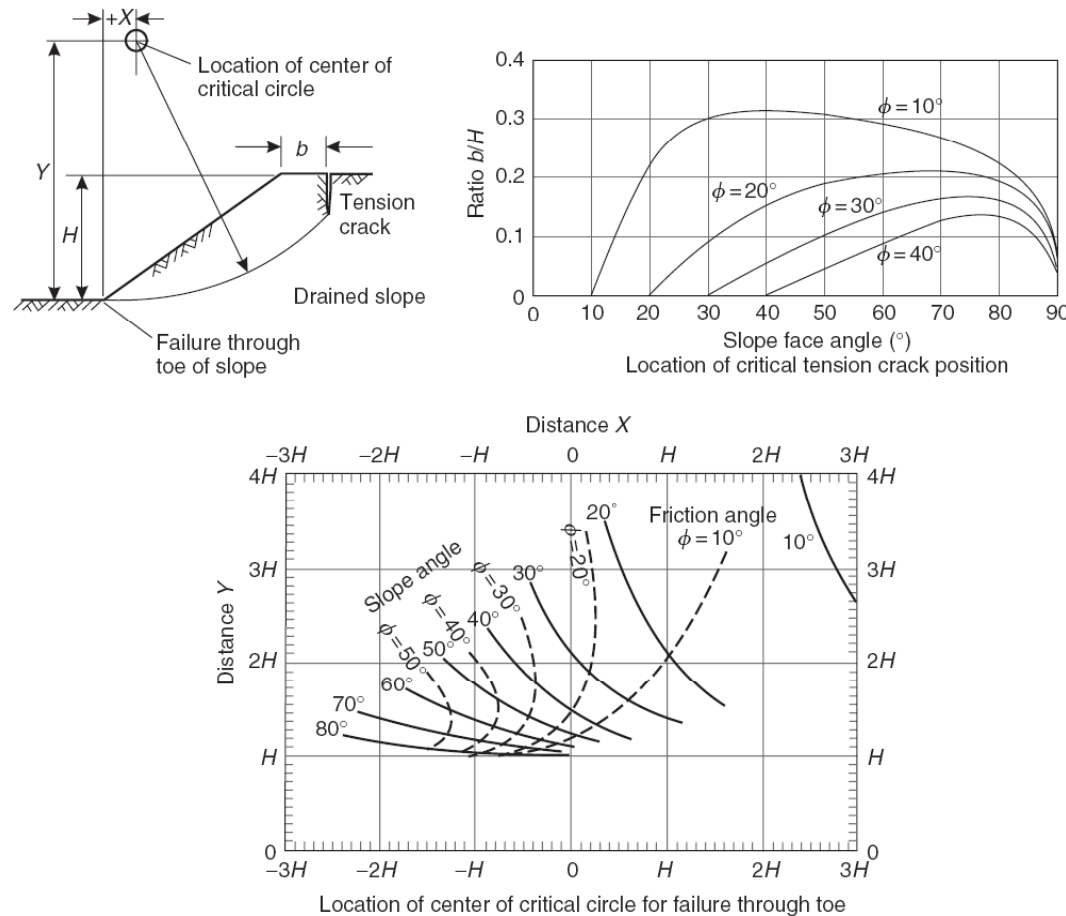


Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 4
Συνθήκες ροής 4

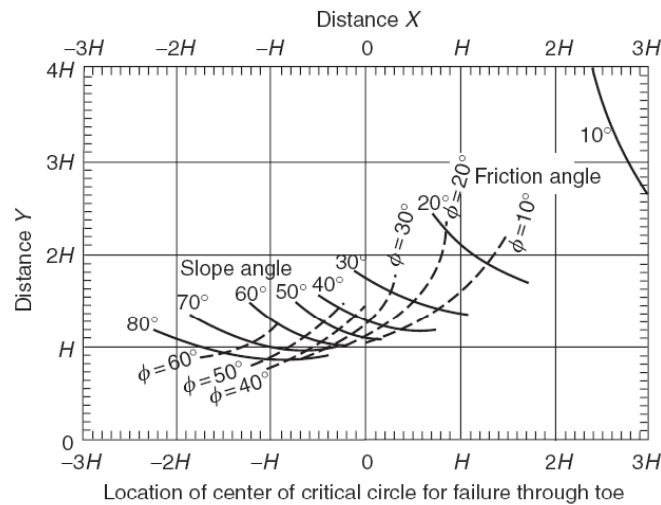
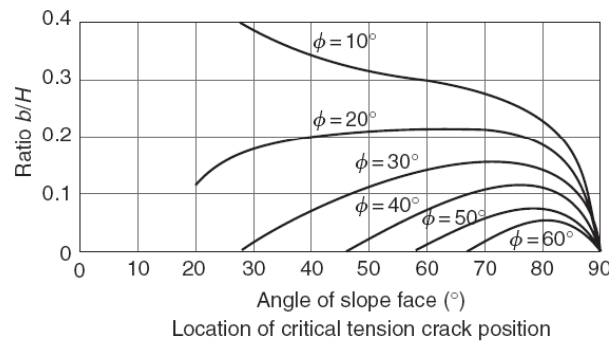
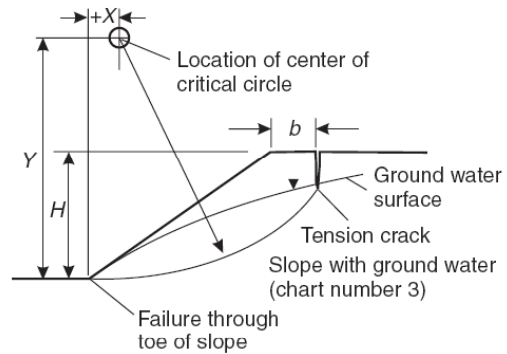


Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 5
Πλήρως Κορεσμένο Πραγές

Θρισμός της θέσης του Κύκλου Ολίσθησης και της Εφελκυστικής Ρωγμής



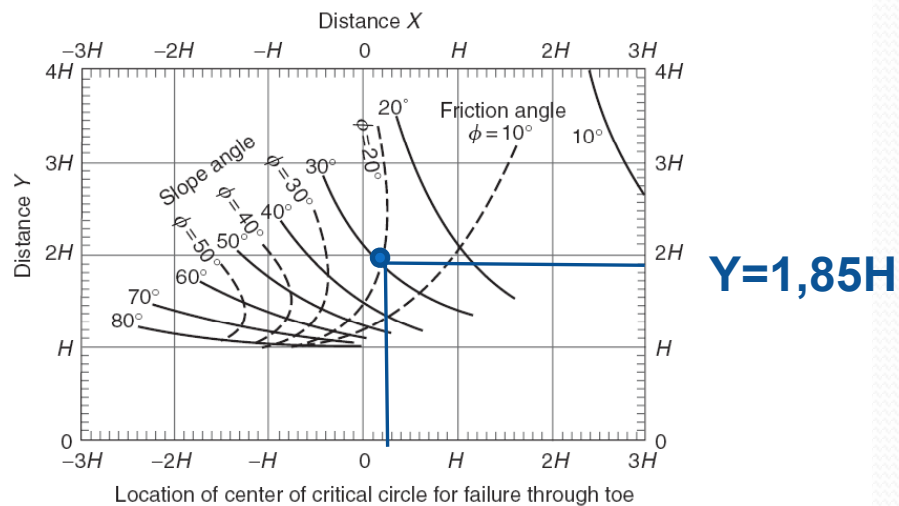
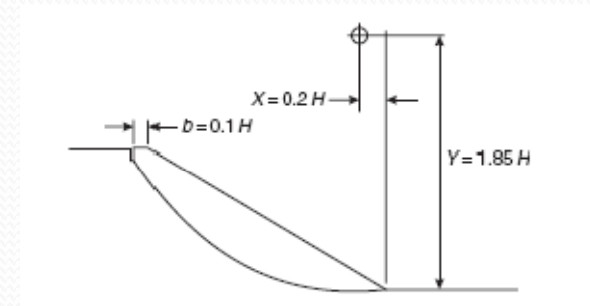
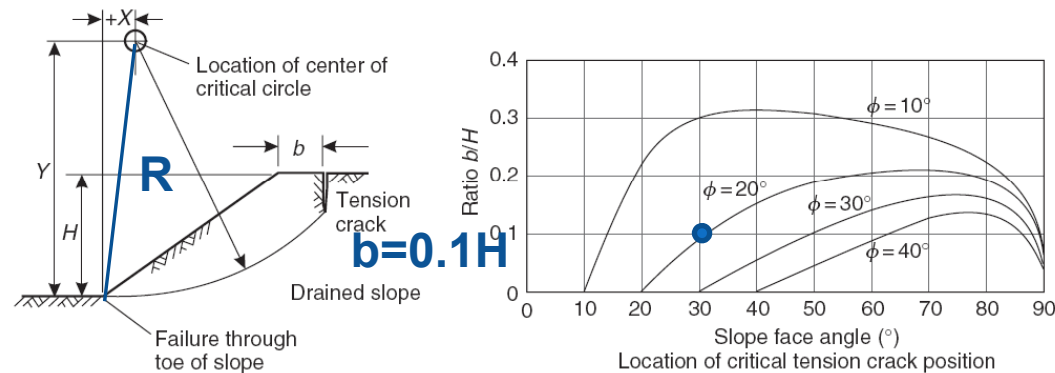
Νομογράφημα προσδιορισμού της θέσης της επιφάνειας αστοχίας και της εφελκυστικής ρωγμής σε αποστραγγισμένο πρανές.



Νομογράφημα προσδιορισμού της θέσης της επιφάνειας αστοχίας και της εφελκυστικής ρωγμής σε πρανές 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 $\Phi=20^\circ$



$$X=0,2H$$

$$X=0,2 \times 20\text{m} = 4\text{m}$$

$$Y=1,85 \times 20\text{m} = 37\text{m}$$

$$b=0.1 \times 20\text{m} = 2\text{m}$$

$$Y=1,85H$$

ΑΡΑ η ακτίνα της επιφάνειας αστοχίας είναι:

$$R^2 = 4^2 + 37^2 = 1385 \Rightarrow R = 37.2\text{m}$$