



ΑΣΚΗΣΗ 11^η

ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ Ι

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΕΝΤΟΝΑ ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ

ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Για τις απαιτήσεις κατασκευής έργου οδοποιίας σχεδιάζεται να διαμορφωθεί πρανές ύψους 50m σε έντονα κατακερματισμένους και καολινιτιομένους γρανίτες. Η κλίση του πρανούς θα είναι 45°. Σε απόσταση 400m από τη στέψη του πρανούς διέρχεται, σχεδόν παράλληλα στη διεύθυνσή του, ρέμα παροδικής ροής. Στο ρέμα αυτό κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών έχουν καταγραφεί σημαντικές πλημμυρικές παροχές.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των γεωυλικών που δομούν τη στενή περιοχή έχουν προσδιοριστεί σε καρότα γεωτρήσεων, μέσω προγράμματος εργαστηριακών δοκιμών, ως εξής: φαινόμενο βάρος $\gamma = 21,5 \text{ kN/m}^3$, γωνία εσωτερικής τριβής $\phi = 30^\circ$, και συνοχή $c = 70 \text{ kPa}$.

- 1) Να προσδιοριστεί ο συντελεστής ασφάλειας του πρανούς τόσο για τις ξηρές συνθήκες, όσο και για τις συνθήκες που επικρατούν όταν το ρέμα παρουσιάζει ροή. Επίσης να διερευνηθεί αν σε περιόδους παρατεταμένων βροχοπτώσεων απειλείται η ασφάλεια του πρανούς. Σε όλες τις προαναφερόμενες περιόδους να υπολογιστούν και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των επιφανειών αστοχίας.
- 2) Σε απόσταση 100m και εντός των ίδιων σχηματισμών σχεδιάζεται να κατασκευαστεί ένα επιπλέον πρανές ύψους 55m. Ποια θα πρέπει να είναι η κλίση του για να ευσταθεί με συντελεστή ασφάλειας 1,2 υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες κορεσμού; Μπορεί να είναι αποδεκτός ο σχεδιασμός του πρανούς με τη γωνία που προκύπτει από τους υπολογισμούς;
- 3) Ποιο είναι το μέγιστο ύψος του πρανούς που μπορεί να σχεδιαστεί με κλίση 1,5:1 και με συντελεστή ασφάλειας 1,2, υπό τις δυσμενέστερες

συνθήκες κορεσμού, χωρίς την εφαρμογή μέσων; Μπορεί το δεδομένο αυτό να βοηθήσει στη διαμόρφωση του πρανούς των 55 m, με κύριο γνώμονα τη μείωση του όγκου των χωματουργικών εργασιών; Να σχεδιαστεί η προτεινόμενη διαμόρφωση του πρανούς.

Ανάλυση Ευστάθειας Βραχωδών Πρανών

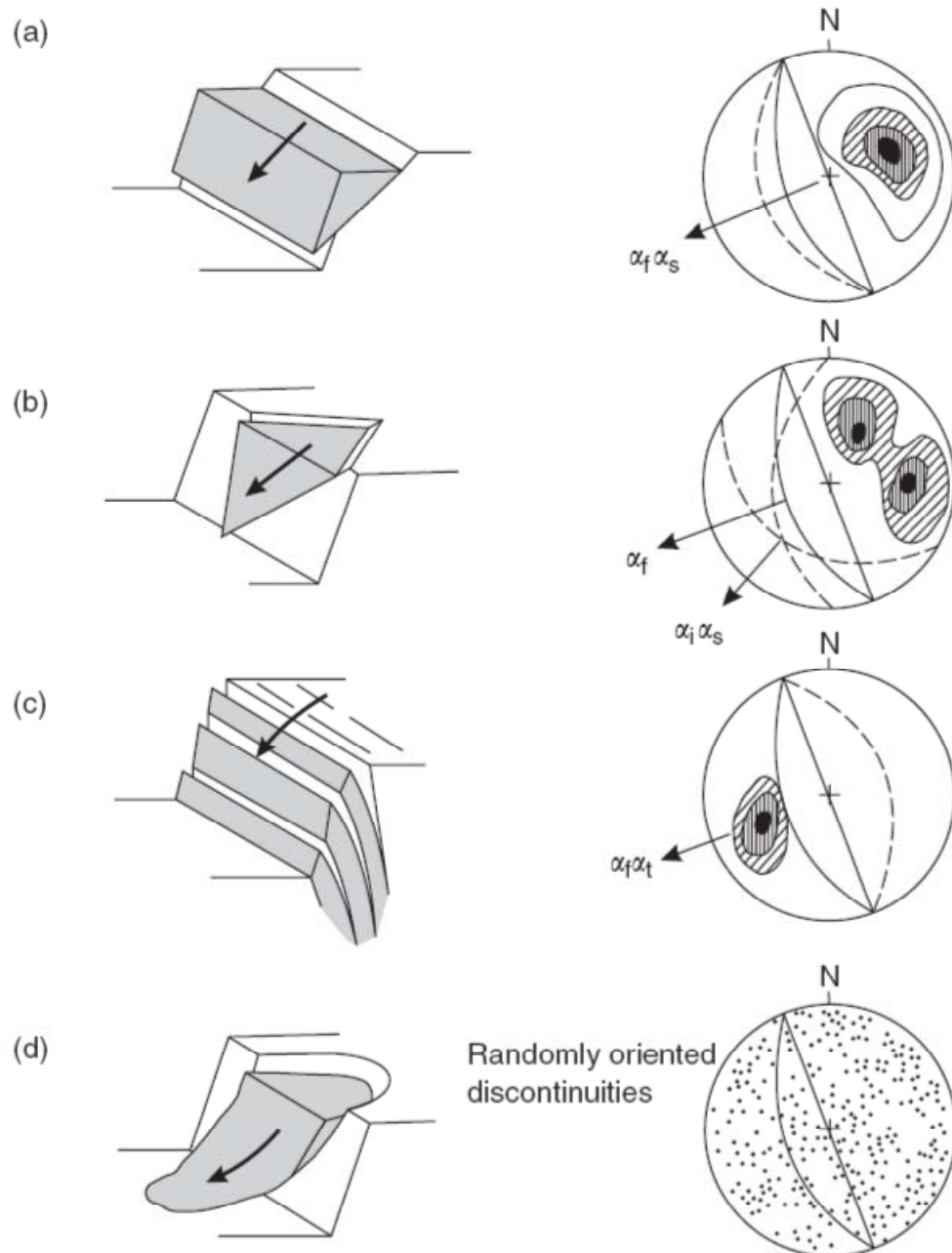
Τα βραχώδη πρανή αστοχούν με μηχανισμούς ανάλογους του βαθμού κατακερματισμού αλλά και του βαθμού αποσάθρωσής τους. Οι μηχανισμοί εκδήλωσης αστοχιών διακρίνονται σε (Σχήματα 1 & 2):

- Επίπεδες ολισθήσεις
- Σφηνοειδείς ολισθήσεις
- Ανατροπές, και
- Κυκλικές ή περιστροφικές ολισθήσεις

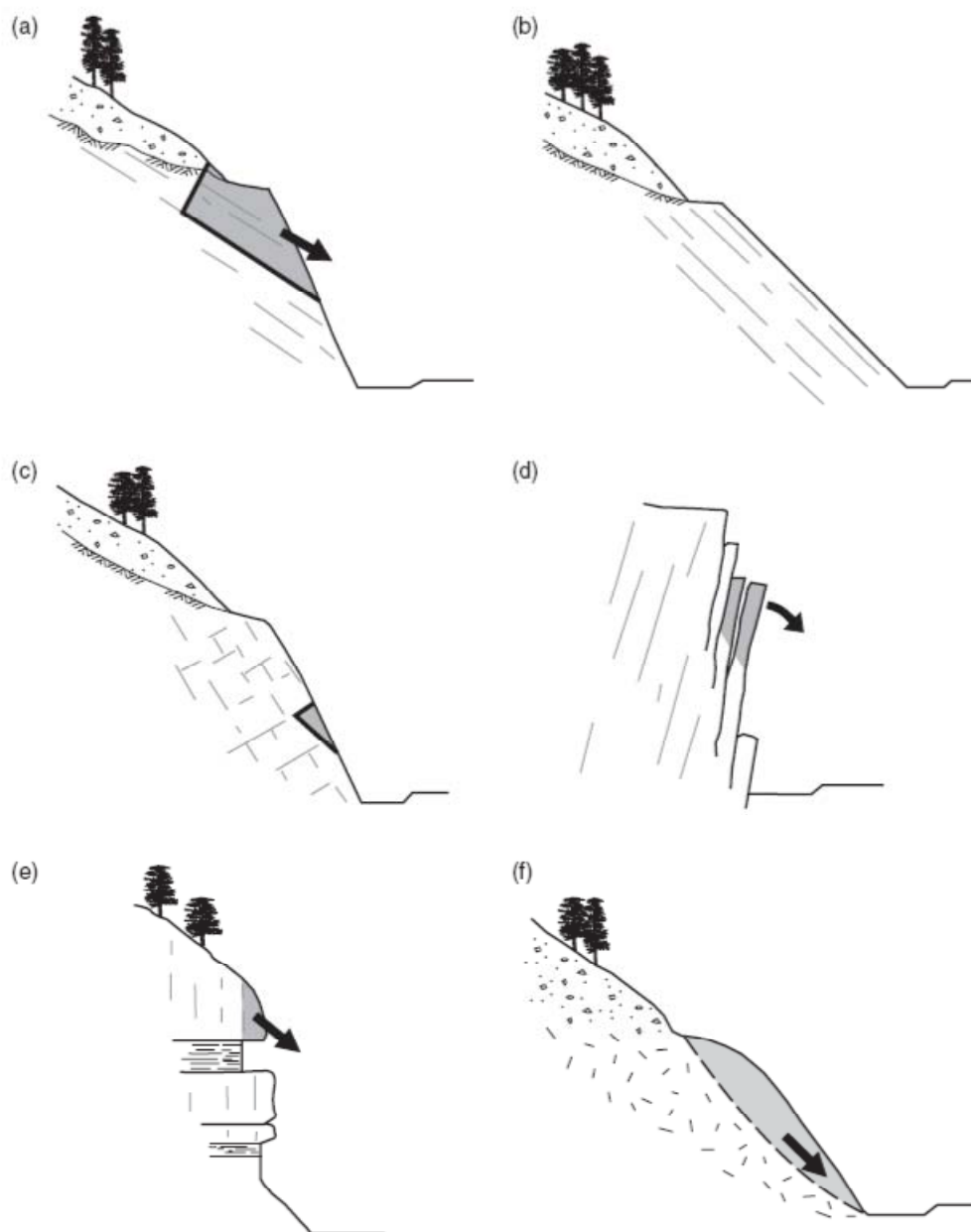
Η εκδήλωση επίπεδων ή σφηνοειδών ολισθήσεων επηρεάζεται από τα υπάρχοντα συστήματα των συνεχειών. Ο αριθμός και ο προσανατολισμός των συστημάτων καθώς και η πυκνότητα των ασυνεχειών καθορίζουν τον ακριβή μηχανισμό ολίσθησης καθώς και το μέγεθος των οριζόμενων βραχοτεμαχίων.

Ανατροπές εκδηλώνονται στα πρανή όπου οι επιφάνειες των ασυνεχειών (επιφάνειες σχιστότητας ή στρώσεις, διακλάσεις, ρήγματα) ορίζουν ανορθωμένα τεμάχια βράχου, κατακόρυφα ή με ελαφρώς αντίρροπη κλίση, τα οποία δύνανται να ανατραπούν προς το πρανές.

Οι κυκλικές ή περιστροφικές ολισθήσεις εκδηλώνονται κατά αποκλειστικότητα σε εδαφικά υλικά. Ως εκ τούτου για να εκδηλωθεί αυτού του είδους η ολίσθηση σε βραχώδεις σχηματισμούς θα πρέπει η πυκνότητα των διακλάσεων και ο έντονος τεκτονισμός να έχουν υποβαθμίσει το βράχο σε σχηματισμό με χαρακτηριστικά εδάφους. Εκτός από τον έντονο τεκτονισμό η εκδήλωση έντονης αποσάθρωσης συμβάλει εξίσου στην υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους.



Σχήμα 1. Μηχανισμοί εκδήλωσης αστοχιών σε βραχώδεις σχηματισμούς. α) επίπεδη ολίσθηση, β) σφηνοειδής ολίσθηση, γ) ανατροπή, δ) κυκλική ή περιστροφική ολίσθηση.

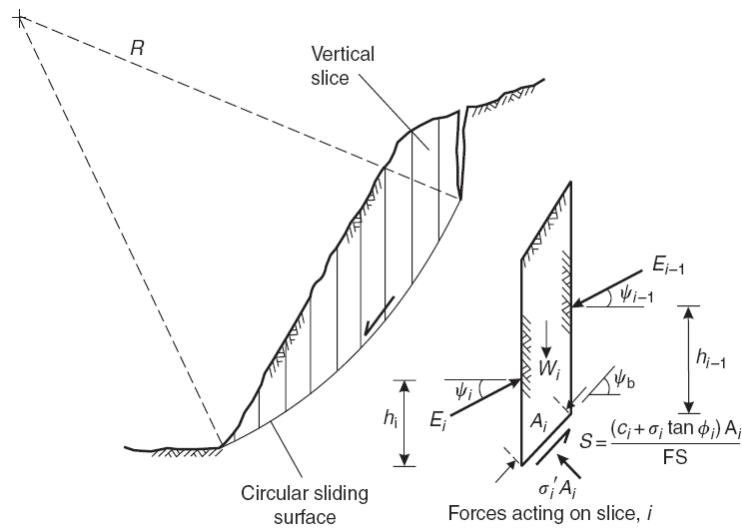


Σχήμα 2. Σκαριφηματικές τομές πρανών στα οποία εκδηλώνονται αστοχίες

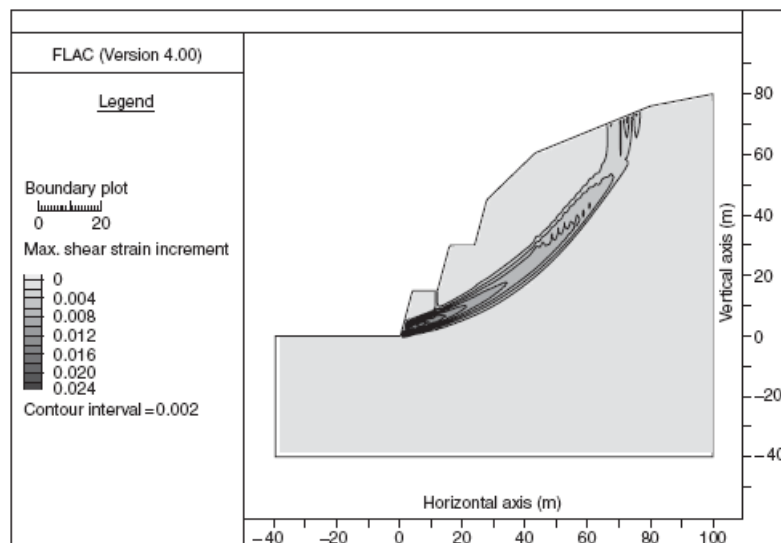
Η γενική συνθήκη ισορροπίας που ισχύει σε όλες τις επιλύσεις ευστάθειας, τόσο των βραχωδών όσο και των εδαφικών πρανών, είναι ότι οι δυνάμεις ή οι ροπές συγκράτησης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από αυτές της ολίσθησης. Ο συντελεστής ασφαλείας, F ή $F.S.$, καθορίζεται από το λόγο του συνόλου των δυνάμεων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

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

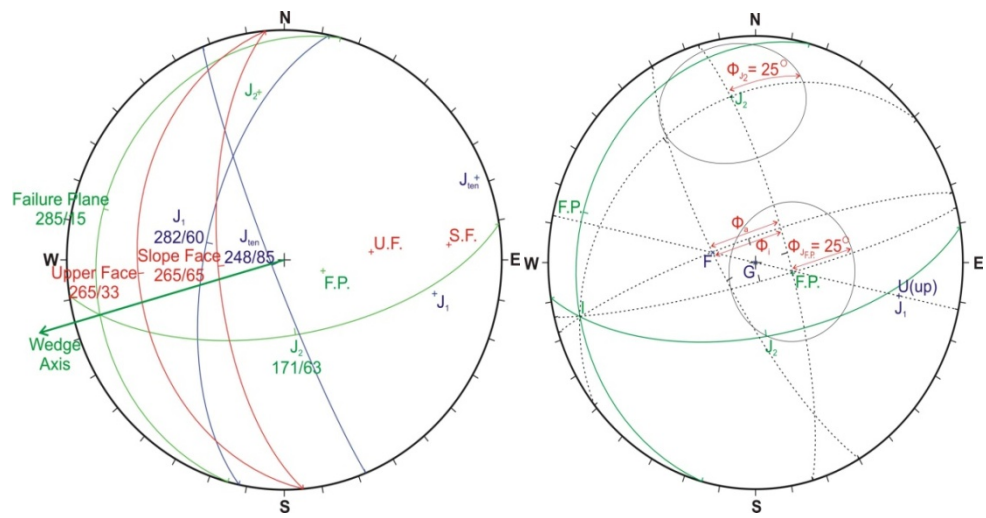
Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολυάριθμες μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας των πρανών. Οι μέθοδοι αυτές γενικά διακρίνονται σε συμβατικές και αριθμητικές.



Σχήμα 3. Συμβατική ανάλυση ευστάθειας με τη μέθοδο των λωρίδων - Μέθοδος οριακής ισορροπίας



Σχήμα 4. Αριθμητική μέθοδος ανάλυσης ευστάθειας με πεπερασμένες διαφορές



Σχήμα 5. Στερεογραφική, συμβατική, επίλυση ευστάθειας

Ανάλυση Ευστάθειας έντονα κατακερματισμένων και αποσαθρωμένων βραχωδών πρανών με τη Χρήση των Νομογραφημάτων Hoek & Bray (1977)

Η μέθοδος ανάλυσης ευστάθειας με τη χρήση νομογραφημάτων Hoek & Bray (1977) υπάγεται στις συμβατικές μεθόδους. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται εκτίμηση των τιμών του συντελεστή ασφάλειας, F , σε έντονα κατακερματισμένα και αποσαθρωμένα πρανή που αστοχούν με την εκδήλωση κυκλικής αστοχίας. Η θεωρούμενη γεωμετρία των υπό επίλυση πρανών είναι απλή, ενώ η μέθοδος παρέχει τη δυνατότητα επίλυσης για διάφορες συνθήκες υπόγειου νερού. Με τη χρήση συμπληρωματικών νομογραφημάτων δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης της γεωμετρίας της επιφάνειας ολίσθησης.

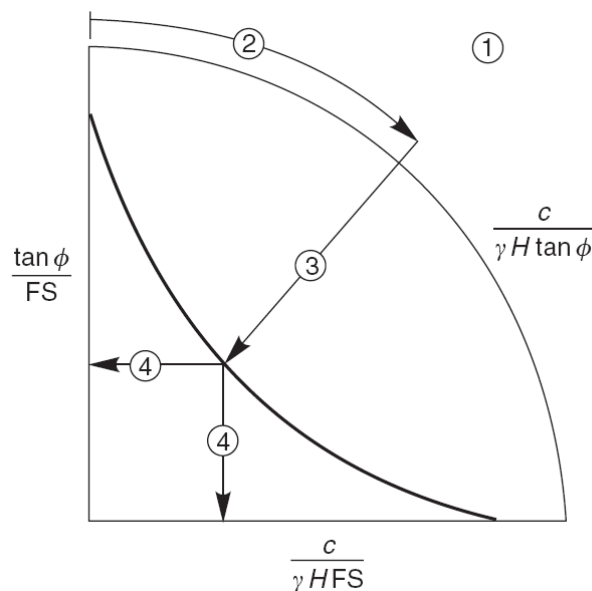
Πρόκειται για μια ιδιαίτερα εύχρηστη μέθοδο με περιορισμούς και προϋποθέσεις που την καθιστούν συντηρητική. Οι περιορισμοί προκύπτουν από τις παραδοχές βάσει των οποίων έχουν υπολογιστεί τα νομογραφήματα, και οι οποίες διατυπώθηκαν ως εξής:

- 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 ασφάλειας ενώ για υψηλότερες το αντίστροφο. Όταν οι τιμές της πυκνότητας

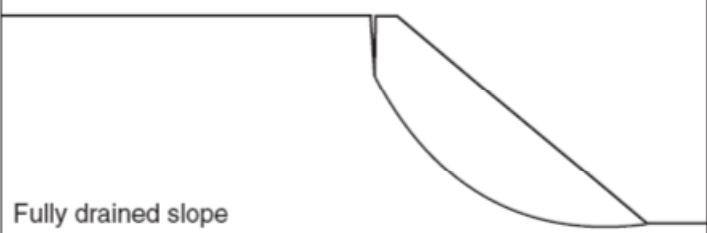
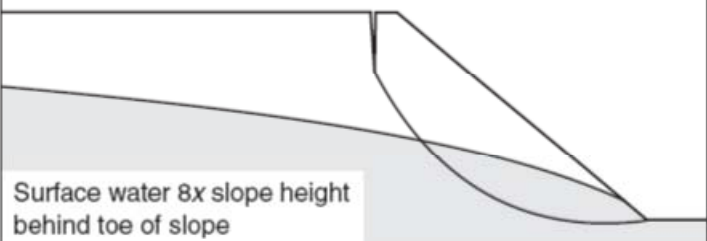
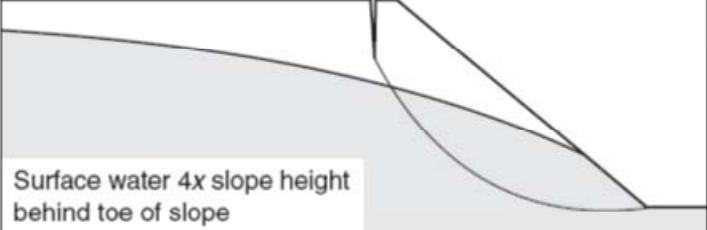
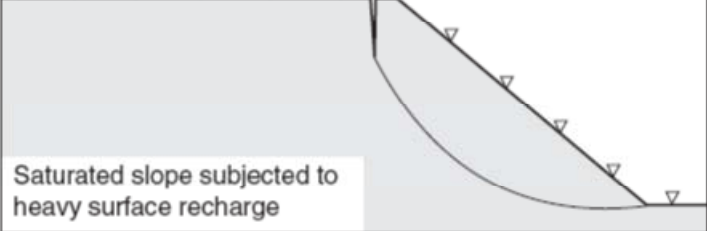
διαφοροποιούνται σημαντικά η χρήση των νομογραφημάτων κρίνεται επισφαλής.

Τα βήματα υπολογισμού που ακολουθούνται για την εκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας είναι τα εξής:

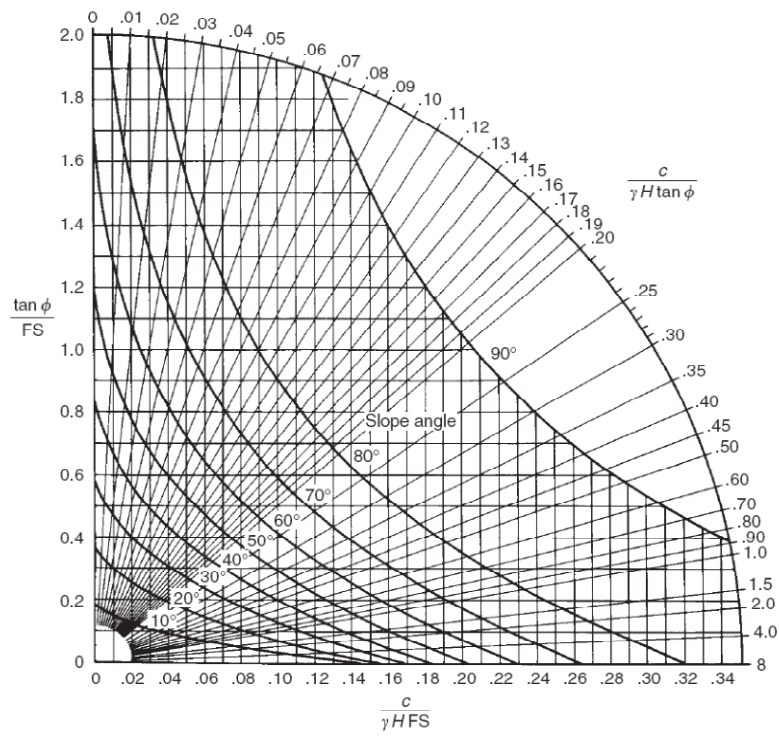
- 1) Εκτιμώνται οι συνθήκες υπόγειας ροής και επιλέγεται το κατάλληλο νομογράφημα (σχήμα 7).
- 2) Υπολογίζεται η τιμή του λόγου $c/(\gamma \cdot H \cdot \tan \phi)$ και εντοπίζεται η τιμή του λόγου αυτού στην περιφέρεια του αντίστοιχου νομογραφήματος (σχήματα 8-12).
- 3) Εντοπίζεται το σημείο τομής της καμπύλης που αντιστοιχεί στην κλίση του πρανούς, με την ακτίνα που ξεκινά από την τιμή στην περιφέρεια του διαγράμματος που υπολογίστηκε στο πρώτο βήμα (σχήματα 8-12).
- 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 (σχήματα 8-12).



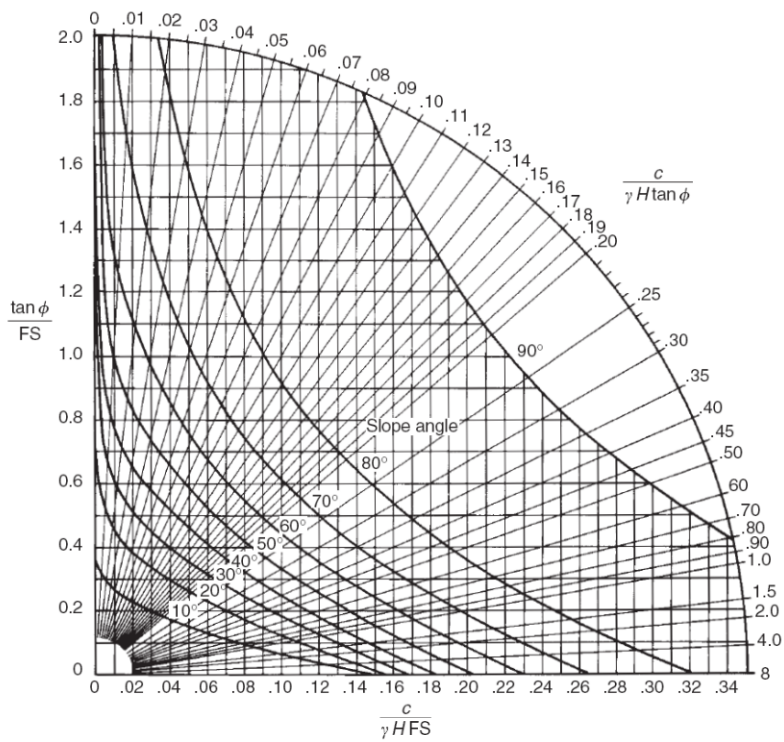
Σχήμα 6. Κλείδα χρήσης των νομογραφημάτων.

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

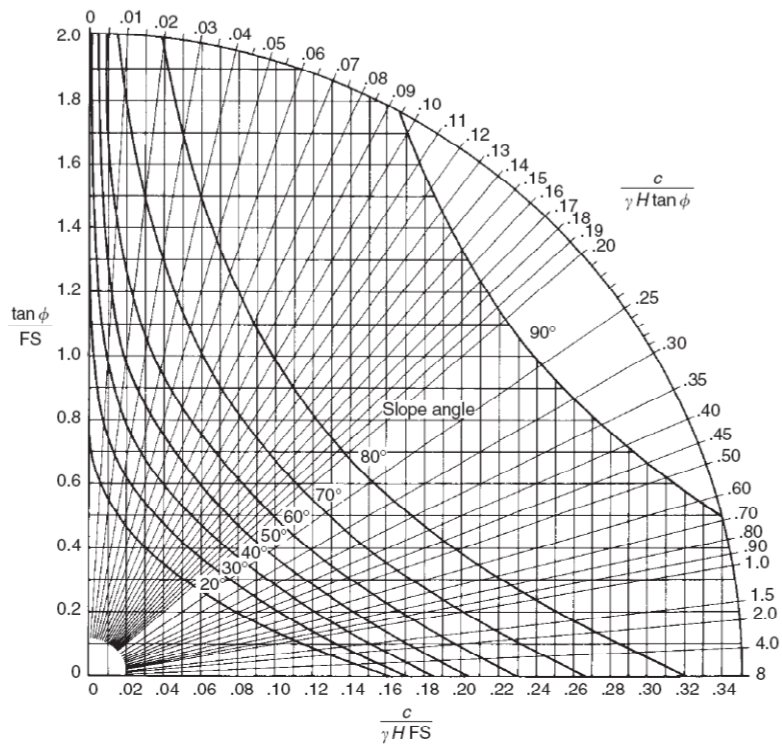
Σχήμα 7. Διακριτά μοντέλα συνθηκών υπόγειου νερού.



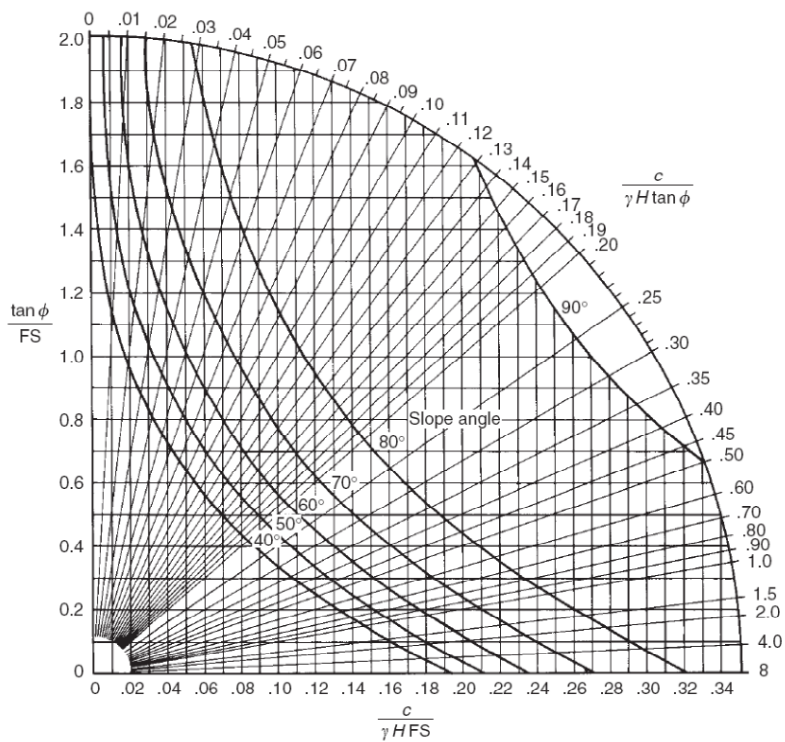
Σχήμα 8. Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 1 - πλήρως αποστραγγισμένο πρανές.



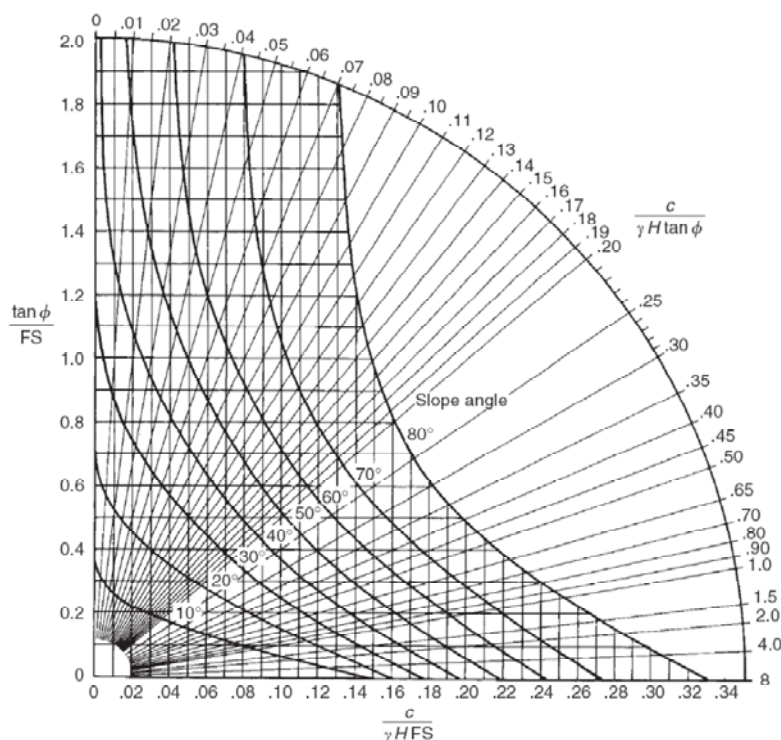
Σχήμα 9. Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 2 - Συνθήκες ροής 2.



Σχήμα 10. Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 3 - Συνθήκες ροής 3.



Σχήμα 11. Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 4 - Συνθήκες ροής 4.

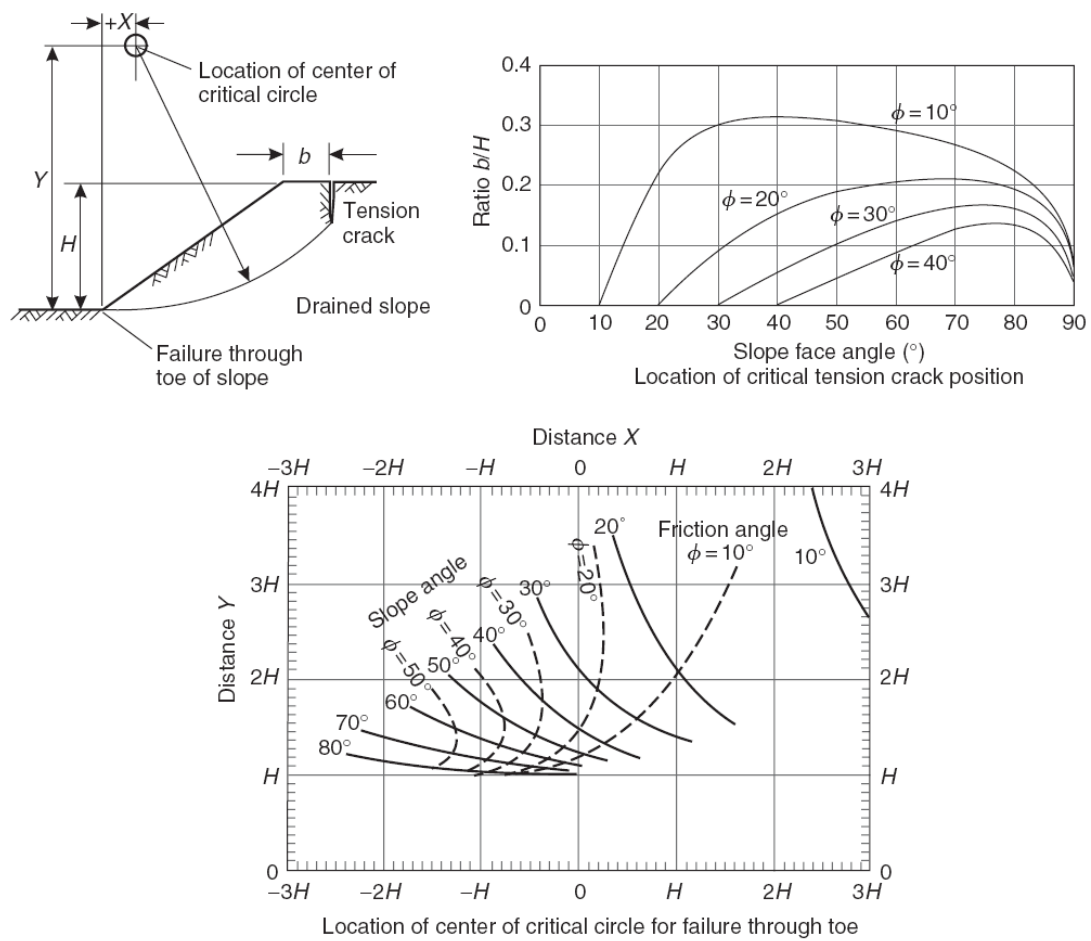


Σχήμα 12. Νομογράφημα κυκλικής αστοχίας Νο 5 - Πλήρως Κορεσμένο Πρανές.

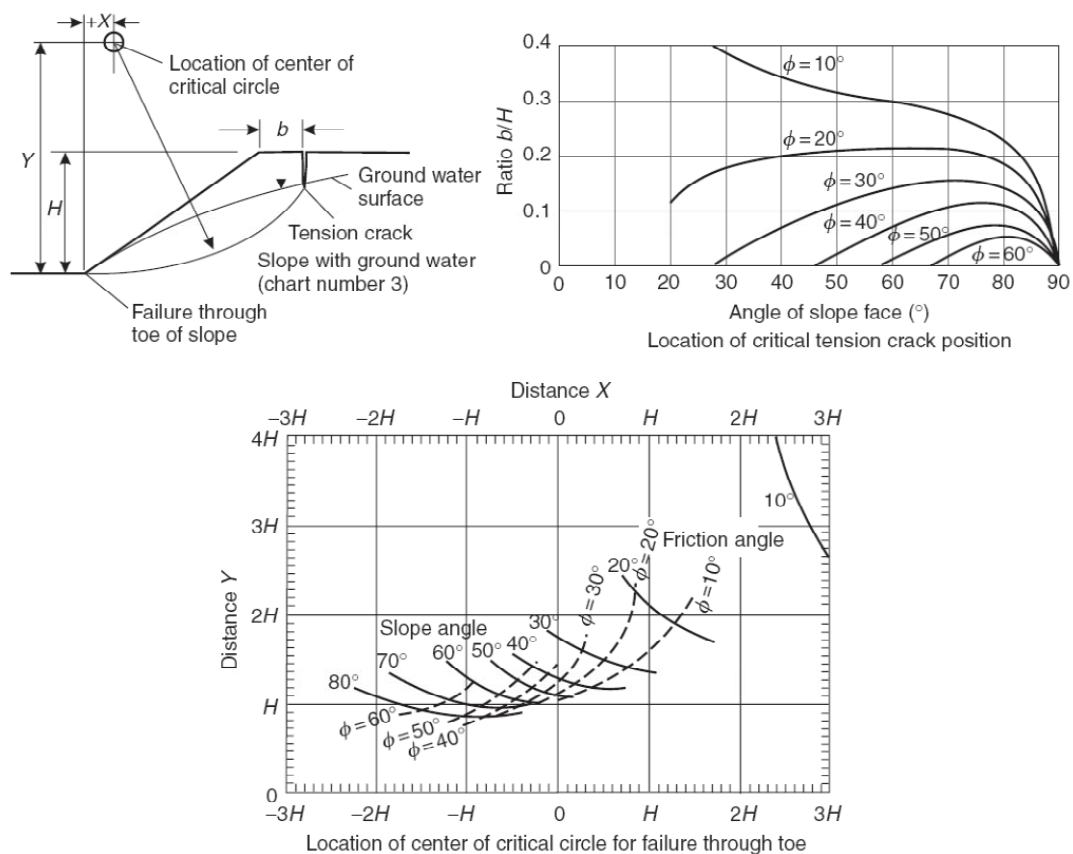
Συμπληρωματικά, για τον ορισμό της θέσης του κύκλου ολίσθησης και της εφελκυστικής ρωγμής έχουν προταθεί δύο νομογραφήματα (Σχήματα 13, 14), ένα για αποστραγγισμένο πρανές και ένα για πρανές με παρουσία νερού. Τα νομογραφήματα είναι μόνο δύο καθώς η γνώση της παρουσίας του υπόγειου νερού αρκεί και δεν είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του εύρους της επιφάνειας διαστάλαξης.

Απαραίτητες γνώσεις για τον πλήρη ορισμό του κύκλου ολίσθησης είναι η ακτίνα, R , και η θέση του κέντρου περιστροφής, βάσει του οποίου χαράσσεται ο κύκλος. Ενώ, για τον ορισμό της θέσης της εφελκυστικής ρωγμής απαιτείται η γνώση της απόστασής της από το χείλος του πρανούς. Επισημαίνεται ότι ως εφελκυστική ρωγμή ορίζεται η ρωγμή που ανοίγει στη στέψη της ολίσθησης λόγω των εφελκυστικών, και όχι των διατμητικών, τάσεων που αναπτύσσονται στη συγκεκριμένη θέση.

Η γνώση των στοιχείων αυτών είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό των μέτρων προστασίας και αντιστήριξης του πρανούς. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η θέση της επιφάνειας αστοχίας καθορίζει το μήκος των αγκυρίων ή των πασάλων που θα εφαρμοστούν για την αντιστήριξη του πρανούς. Ενώ ο όγκος του κατολισθαίνοντος τεμαχίου θα καθορίσει το σχεδιασμό του τοίχου βαρύτητας.



Σχήμα 13. Νομογράφημα προσδιορισμού της θέσης της επιφάνειας αστοχίας και της εφελκυστικής ρωγμής σε αποστραγγισμένο πρανές.



Σχήμα 14. Νομογράφημα προσδιορισμού της θέσης της επιφάνειας αστοχίας και της εφελκυστικής ρωγμής σε πρανές με παρουσία υπόγειου νερού.