

Συγκριτική Θεώρηση Δισδιάστατων και Τρισδιάστατων Αναλύσεων Ευστάθειας Πρανών

Comparative Study of Two-Dimensional and Three-Dimensional Slope Stability Analyses.

ΓΑΚΗΣ, Α.
ΤΣΟΤΣΟΣ, ΣΤ.

Πολιτικός Μηχανικός, MSc, Imperial College, Υπ. Διδάκτορας Α.Π.Θ.
Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην παρούσα εργασία μελετάται η σχέση μεταξύ των συντελεστών ασφάλειας σε δισδιάστατη (F_{2D}) και τρισδιάστατη (F_{3D}) ανάλυση ευστάθειας πρανών και διερευνάται η επιρροή διαφόρων παραμέτρων αναφερόμενων στα χαρακτηριστικά αντοχής του γεωυλικού και στη γεωμετρία του κατολισθαίνοντος πρανούς. Από τη μελέτη προέκυψαν διαγράμματα του λόγου των συντελεστών ασφάλειας F_{3D}/F_{2D} για διάφορες τιμές της κλίσης του πρανούς, του λόγου του πλάτους προς το μήκος της οριζόντιας προβολής του κατολισθαίνοντος στερεού και της παραμέτρου $\lambda c\phi = (\gamma \cdot H \cdot \tan\phi)/c$ και παρέχεται η δυνατότητα έμμεσης εκτίμησης του συντελεστή ασφάλειας σε τρισδιάστατη ανάλυση, με βάση τα αποτελέσματα μίας δισδιάστατης ανάλυσης.

ABSTRACT : The estimation of the relationship between two-dimensional (F_{2D}) and three-dimensional (F_{3D}) factor of safety in slope stability analysis and the effect of various parameters (width, length, height, friction angle and cohesion), is the aim of this paper. The result of this study is a set of diagrams showing the variation of the factor of safety ratio, F_{3D}/F_{2D} , for the many possible cases, allowing for the direct estimation of the three-dimensional factor of safety based on the results of a simple two dimensional slope stability analysis.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

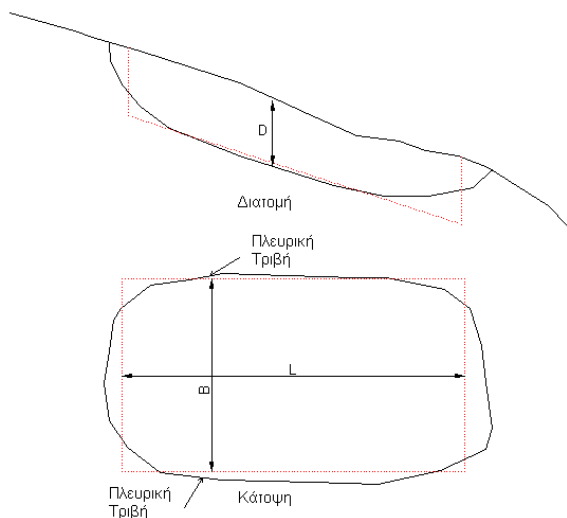
Σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική ανάλυσης, η ευστάθεια των κατολισθήσεων αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα δύο διαστάσεων. Πιο συγκεκριμένα επιλέγεται μία εγκάρσια διατομή ως χαρακτηριστική του πρανούς, η οποία συνήθως είναι είτε η διατομή μέγιστης κλίσης είτε διατομή κοντά στο μέσο της κατολίθησης η οποία αντιστοιχεί τις περισσότερες φορές στη μέγιστη επιφάνεια ολίσθησης (Cornforth 2005, Lambe & Whitman 1969). Αυτό προϋποθέτει όμως ότι η κατολίθηση εκτείνεται απεριόριστα σε πλάτος και ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά καθώς και οι υδρογεωλογικές συνθήκες δεν μεταβάλλονται κατά το μήκος της. Η διαφορά του συντελεστή F_{3D} (ο οποίος υπολογίζεται με βάση τις “πραγματικές” γεωμετρικές συνθήκες)

σε σχέση με τον F_{2D} οφείλεται παρακάτω λόγους:

1. Στην “τρειςδιάστατη” γεωμετρία της κατολίθησης (χαμηλές τιμές του λόγου B/L Σχήμα 1) και την επιρροή των δυνάμεων τριβής που αναπτύσσονται στα πλευρικά όρια του κατολισθαίνοντος σώματος.
2. Σε σημαντικές μεταβολές της γεωμετρίας της επιφάνειας του εδάφους ή της επιφάνειας ολίσθησης κατά μήκος της κατολίθησης.
3. Σε σημαντικές μεταβολές των υδρογεωλογικών συνθηκών ή των μηχανικών χαρακτηριστικών των γεωυλικών.

Η παρούσα εργασία, έρχεται να συμπληρώσει τις προηγηθείσες έρευνες σχετικά με την τρισδιάστατη αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων (Azzouz & Baligh 1978, Azzouz et al 1981, Chen & Chameau,

1982 & 1983, Gens et al 1988, Hovland 1977, Leshchinsky et al 1985)



Σχήμα 1. Τυπική γεωμετρία μιας ολίσθησης σε τομή και κάτοψη.
Figure 1. Typical geometry of a slope (sectional and plan view).

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ $F_{3D}/F_{2D} - B/L$ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CLARA/W

Στις υπολογιστικές εφαρμογές συνήθως το πρόβλημα τίθεται κατά δύο διαφορετικούς τρόπους που αντιμετωπίζονται αντίστοιχα. Στην πρώτη περίπτωση, είναι γνωστά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πρανούς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των γεωυλικών και ζητείται να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφάλειας ενώ στη δεύτερη, γνωρίζοντας τη γεωμετρία του πρανούς αναζητώνται τα μηχανικά χαρακτηριστικά και η γεωμετρία της επιφάνειας ολίσθησης κατά την αστοχία, θεωρώντας την τιμή του συντελεστή ασφάλειας ίση με τη μονάδα (ανάστροφη ανάλυση).

Στην πρώτη περίπτωση, μίας απλής ανάλυσης ευστάθειας, ο συντελεστής που υπολογίζουμε με δισδιάστατη θεώρηση (F_{2D}) είναι μικρότερος του πραγματικού συντελεστή ασφάλειας (F_{3D}) ,όταν όπως συνήθως συμβαίνει δεν ισχύουν απόλυτα συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης. Στη δεύτερη περίπτωση των αναστροφών αναλύσεων, η κατάσταση είναι πιο περίπλοκη. Τούτο γιατί στις περιπτώσεις αυτές ο μιν F_{3D} είναι εύλογο να θεωρείται ότι έχει τιμή κοντά στη μονάδα ενώ ο F_{2D} να είναι μικρότερος. Κατά συνέπεια εάν γίνει δεκτό σε περιπτώσεις πρανών που αστοχούν ότι ο $F_{2D} = 1$, τα μηχανικά χαρακτηριστικά που υπολογίζονται, c

και ϕ , υπερεκτιμώνται σε σχέση με τα πραγματικά. Βέβαια το προς την ανασφαλή πλευρά αυτό σφάλμα, σε ένα βαθμό αναιρείται, εφόσον στη συνέχεια οι υπολογισμοί για τη μελέτη των σταθεροποιητικών μέτρων γίνονται και πάλι με δισδιάστατη θεώρηση. Όμως ακόμη και στην περίπτωση αυτή, ένα μη προσδιορισμένο μικρότερο σφάλμα παραμένει. Προκειμένου να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ του λόγου F_{3D}/F_{2D} καταρχήν με το λόγο B/L , εκτελέστηκαν αναλύσεις υπό μορφή παραμετρικής διερεύνησης με τη χρήση του λογισμικού Clara/W (Hungr 2001). Το Clara/W είναι ένα λογισμικό ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών τόσο σε δύο όσο και σε τρεις διαστάσεις που παρέχει τη δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε τέσσερις γνωστές μεθόδους ανάλυσης με επέκταση στις τρεις διαστάσεις (Hungr 1987):

- Την απλοποιημένη μέθοδο Bishop (BSM)
- Την απλοποιημένη μέθοδο Janbu (JSM).
- Την μέθοδο Spencer
- Την μέθοδο Morgenstern-Price (GLE)

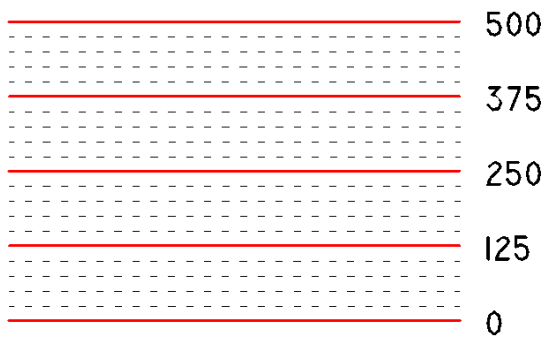
Η εισαγωγή της γεωμετρίας μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους (Hungr 1988, 1989):

1. Με την εισαγωγή εγκάρσιων διατομών (κατ' ελάχιστο δυο διατομές).
2. Με ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) με μορφή αρχείου *.grd με το οποίο εισάγονται πλήθος σημείων τα οποία ορίζουν την επιφάνεια του εδάφους, με βάση τις συντεταγμένες τους.

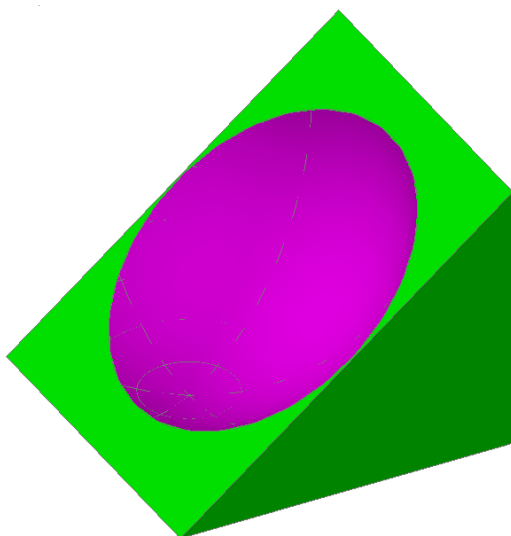
Στη συνέχεια το πρόγραμμα κατασκευάζει με παρεμβολή το τρισδιάστατο μοντέλο. Όσον αφορά στις επιφάνειες ολίσθησης, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε διάφορους τύπους. Για την εισαγωγή ελλειψοειδών επιφανειών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, απαιτούνται οι συντεταγμένες του κέντρου της έλλειψης, ένα οριζόντιο εφαπτομενικό επίπεδο και η παράμετρος λόγου διαστάσεων (aspect ratio) που ορίζεται ως ο λόγος του κάθετου προς τον παράλληλο στην κίνηση ημι-άξονα της έλλειψης (1 για σφαιρική επιφάνεια, 1000 για κυλινδρική).

Κατά τις αναλύσεις που εκτελέστηκαν, η εισαγωγή της γεωμετρίας του πρανούς έγινε με βάση πέντε διατομές όπως φαίνεται στην παρακάτω κάτοψη.

Η επιφάνεια ολίσθησης είναι ελλειψοειδής με μέγιστη επιφάνεια στην κεντρική διατομή.

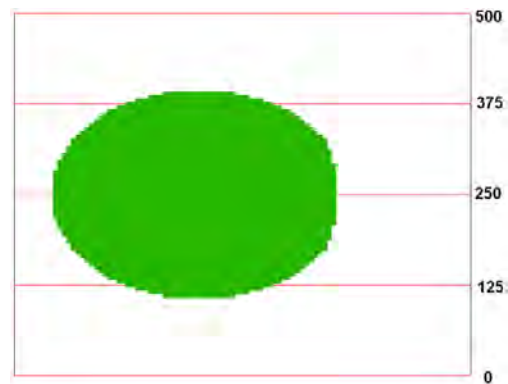


Σχήμα 2. Κάτοψη μίας τυπικής περίπτωσης στην οποία διακρίνονται οι θέσεις των διατομών που εισάγονται στο Clara/W.
Figure 2. Plan view of a typical case with the positions of the cross sections input in Clara/W.



Σχήμα 3: Τυπική κεντρική διατομή κατά μήκος της κατολίσεσης και πλάγια όψη.
Figure 3. Typical central section along the slope and side view.

Με την επιλογή της τιμής παραμέτρου λόγου διαστάσεων (aspect ratio) το πρόγραμμα υπολογίζει τη μορφή της επιφάνειας αυτής στο χώρο και έτσι ελέγχεται ο λόγος B/L . Στο παρακάτω Σχήμα 4 φαίνεται η κάτοψη της επιφάνειας ολίσθησης για τιμή της παραμέτρου λόγου διαστάσεων ίση με 0.5.



Σχήμα 4. Κάτοψη της επιφάνειας ολίσθησης για aspect ratio ίσο με 0.5.
Figure 4. Plan view of the failure surface for an aspect ratio equal to 0.5.

3. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΣΧΕΣΗ $F_{3D}/F_{2D} - B/L$.

Στο πρώτο στάδιο των αναλύσεων, υπολογίστηκε τόσο ο συντελεστής F_{3D} όσο και ο F_{2D} σε πρηνή σταθερού ύψους στα οποία μεταβαλλόταν η κλίση και ο λόγος $c/\tan\phi$. Μελετήθηκαν πρηνή κλίσεων 1:1, 1:1,25, 1:1.5 και 1:2 (οριζόντια : κατακόρυφη), ενώ οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών c και ϕ που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στον Πίνακα 1.

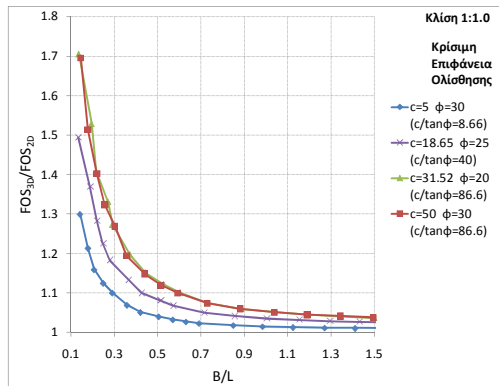
c	ϕ	$c/\tan\phi$
5	30	8.66
18.65	25	40
50	30	86.6
31.52	20	86.6

Πίνακας 1. Τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών και των αντίστοιχων τιμών του λόγου $c/\tan\phi$ που χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο στάδιο των αναλύσεων.

Table 1. Values of the strength parameters and the corresponding $c/\tan\phi$ values used in the first stage of the analyses.

Οι δύο αναλύσεις με την ίδια τιμή λόγου $c/\tan\phi$ (86.6) εκτελέστηκαν προκειμένου να

διερευνηθεί η επιρροή είτε της συνοχής είτε της γωνίας τριβής στη σχέση μεταξύ του F_{3D} και του F_{2D} . Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων ενδεικτικά για πρανές με κλίση 1:1.



Σχήμα 5 α. Αποτελέσματα των αναλύσεων για κλίση πρανού 1:1.

Figure 5 α. Results of the analyses for the four cases of slope inclination.

Παρατηρούμε ότι για πρανές σταθερού ύψους και κλίσης, η αύξηση του λόγου $c/\tan\phi$ συνδέεται με μεγαλύτερες τιμές του λόγου F_{3D}/F_{2D} για σταθερή τιμή του λόγου B/L χωρίς η σχέση να μεταβάλλεται για διαφορετικές τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών όταν παραμένει σταθερός ο λόγος $c/\tan\phi$. Επίσης, όπως αναμενόταν, όσο αυξάνει ο λόγος B/L οπότε οι συνθήκες πλησιάζουν προς την επίπεδη παραμόρφωση ο λόγος F_{3D}/F_{2D} μειώνεται.

Προκειμένου να συγκρίνουμε την επιρροή της κλίσης για σταθερό λόγο $c/\tan\phi$, σχεδιάστηκε το διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 6 για τιμή του λόγου $c/\tan\phi = 86.6$ (ως ενδεικτική περίπτωση).

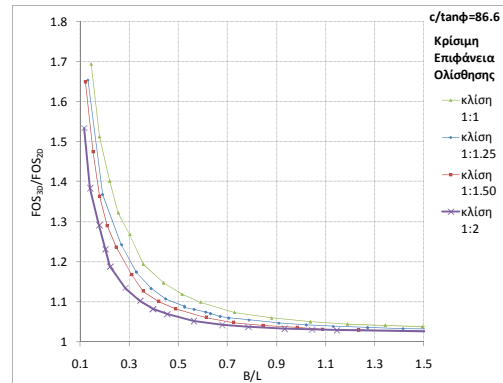
Είναι φανερό ότι καθώς αυξάνεται η κλίση του πρανού, η επιρροή της 3D λειτουργίας γίνεται εντονότερη καθώς ο λόγος F_{3D}/F_{2D} μεγαλώνει για σταθερή τιμή του B/L .

Παρότι με βάση τις παραπάνω αναλύσεις εξήχθησαν κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα, κρίθηκε απαραίτητο να διερευνηθεί και η επιρροή του ύψους του πρανού, από το οποίο εξαρτάται και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης.

Έτσι αντί του λόγου $c/\tan\phi$, επιλέχθηκε η παράμετρος $\lambda c\phi$ (Duncan et al. 2005):

$$\lambda c\phi = (\gamma \cdot H \cdot \tan\phi) / c \quad (1)$$

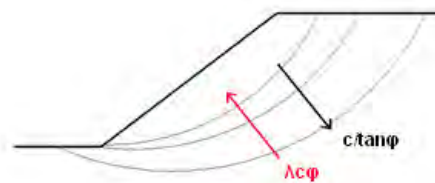
, όπου γ είναι το ειδικό βάρος του γεωυλικού (ενδεικτικά 20 kN/m^3 στις αναλύσεις) και H το ύψος του πρανού.



Σχήμα 6. Επιρροή της κλίσης του πρανού στη σχέση F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για σταθερή τιμή του λόγου $c/\tan\phi$.

Figure 6. Effect of slope inclination on the relationship of F_{3D}/F_{2D} with B/L for a constant value of $c/\tan\phi$.

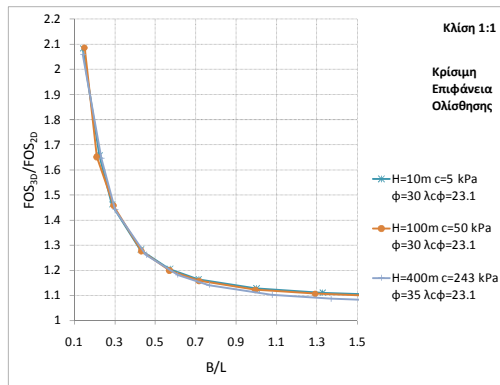
Μία ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι τυχόν αύξηση της τιμής της $\lambda c\phi$ συνεπάγεται μείωση του βάθους της επιφάνειας ολίσθησης (λόγω της μείωσης του λόγου $c/\tan\phi$).



Σχήμα 7. Ενδεικτική μεταβολή του βάθους της επιφάνειας ολίσθησης με την μεταβολή της παραμέτρου $\lambda c\phi$ (ή του λόγου $c/\tan\phi$).

Figure 7. Change of the depth of slope surface with the change of parameter $\lambda c\phi$ (ratio $c/\tan\phi$)

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα αναλύσεων σε πρανές με κλίση 1:1 για τρεις διαφορετικές ομάδες τιμών των H , c , ϕ ώστε η παράμετρος $\lambda c\phi$ να παραμένει σταθερή.



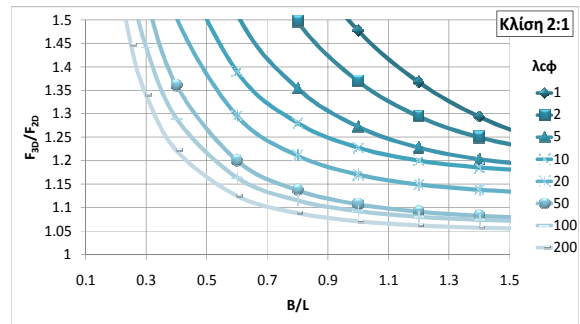
Σχήμα 8. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για σταθερή τιμή της $\lambda c\phi$ σε πρηνές κλίσης 1:1 μεταβάλλοντας το ύψος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Figure 8. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with B/L for a constant value of $\lambda c\phi$ in a slope with 1:1 inclination, with the height and the strength parameters varying.

Παρατηρείται ότι παρότι τα 3 μεγέθη μεταβάλλονται, εφόσον η παράμετρος $\lambda c\phi$ παραμένει σταθερή, η σχέση μεταξύ του λόγου F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L είναι η ίδια.

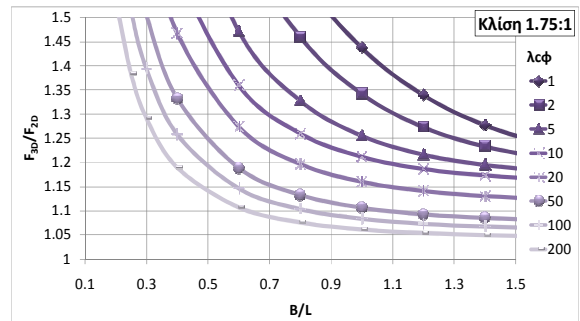
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.

Με βάση τα σημαντικά παραπάνω συμπεράσματα, ακολούθησαν πλήθος (864) αναλύσεων για εννέα διαφορετικές κλίσεις πρηνούς (2:1 έως 1:2) με τιμές της παραμέτρου $\lambda c\phi$ μεταξύ 1 και 200, ώστε να καλύπτονται στο μέγιστο δυνατό βαθμό οι πιθανές περιπτώσεις που μπορεί να συναντηθούν. Τα συνολικά αποτελέσματα αυτής της διερεύνησης παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων στα παρακάτω Σχήματα 10 έως 18.



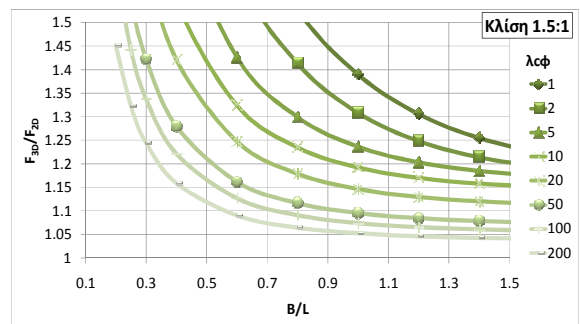
Σχήμα 10. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου $\lambda c\phi$ σε πρηνή με κλίση 2:1.

Figure 10. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter $\lambda c\phi$ for slope inclination 2:1.



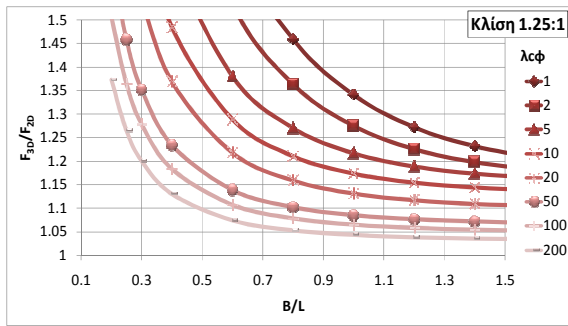
Σχήμα 11. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου $\lambda c\phi$ σε πρηνή με κλίση 1.75:1.

Figure 11. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter $\lambda c\phi$ for slope inclination 1.75:1.

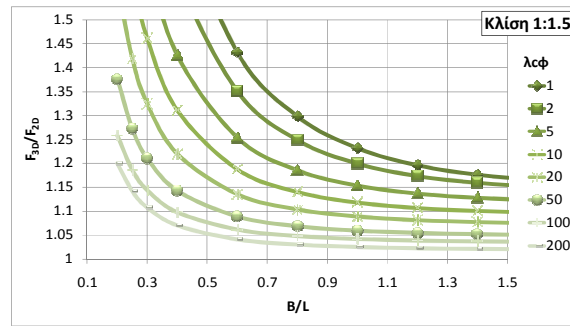


Σχήμα 12. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου $\lambda c\phi$ σε πρηνή με κλίση 1.5:1.

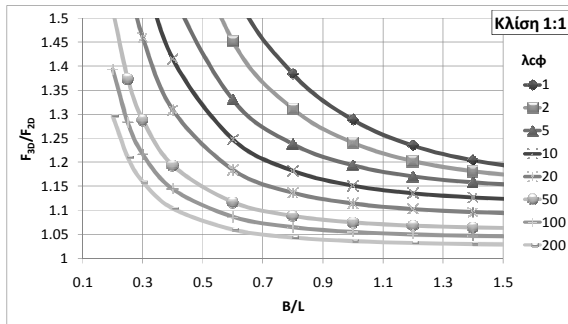
Figure 12. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter $\lambda c\phi$ for slope inclination 1.5:1.



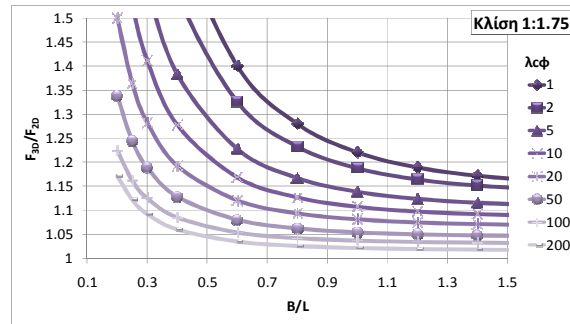
Σχήμα 13. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου λ_{cf} σε πρανή με κλίση 1.25:1.
 Figure 13. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter λ_{cf} for slope inclination 1.25:1.



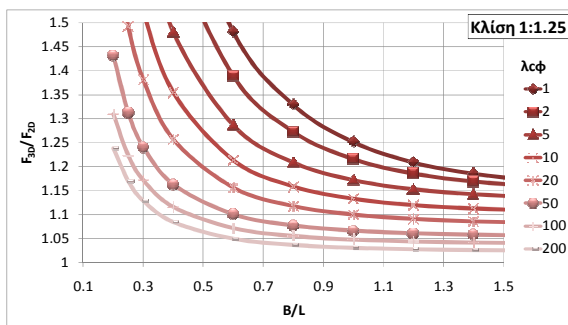
Σχήμα 16. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου λ_{cf} σε πρανή με κλίση 1:1.5.
 Figure 16. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter λ_{cf} for slope inclination 1:1.5.



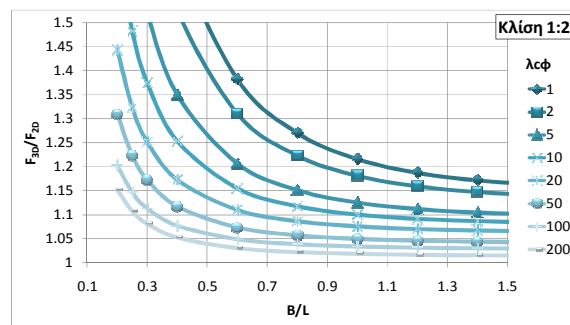
Σχήμα 14. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου λ_{cf} σε πρανή με κλίση 1:1.
 Figure 14. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter λ_{cf} for slope inclination 1:1.



Σχήμα 17. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου λ_{cf} σε πρανή με κλίση 1:1.75.
 Figure 17. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter λ_{cf} for slope inclination 1:1.75.



Σχήμα 15. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου λ_{cf} σε πρανή με κλίση 1:1.25.
 Figure 15. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter λ_{cf} for slope inclination 1:1.25.



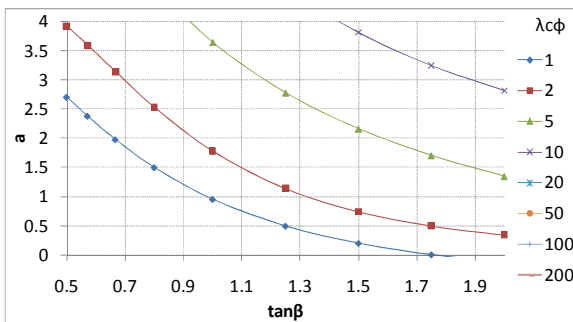
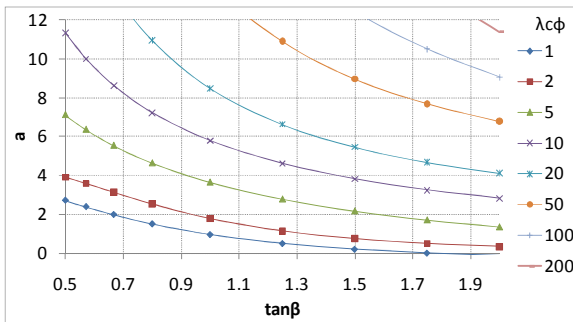
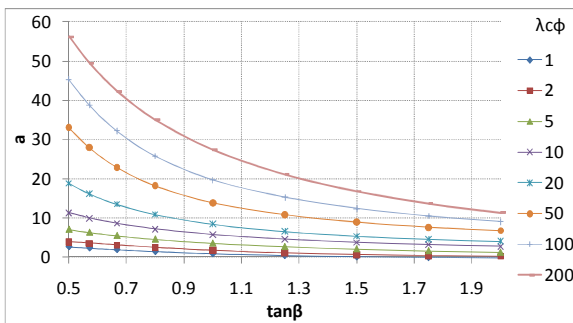
Σχήμα 18. Σχέση του F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L για διάφορες τιμές της παραμέτρου λ_{cf} σε πρανή με κλίση 1:2.
 Figure 18. Relationship of F_{3D}/F_{2D} with ratio B/L for various values of parameter λ_{cf} for slope inclination 1:2.

5. ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ F_{3D} .

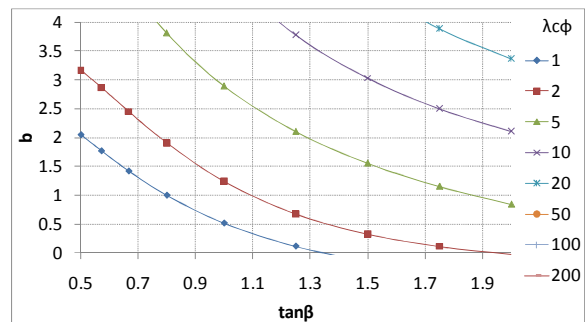
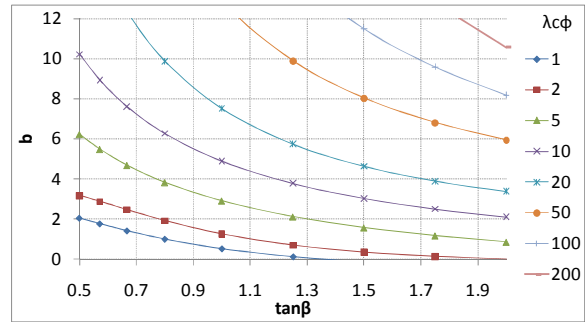
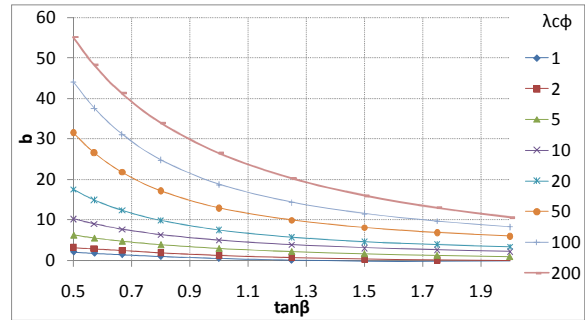
Προκειμένου να διευκολυνθεί η απευθείας εκτίμηση του συντελεστή F_{3D} , ακολούθησε μαθηματική επεξεργασία όλων των αποτελεσμάτων για να προσδιορισθεί η μαθηματική έκφραση που εκφράζει το δυνατόν καλύτερα τις υπολογισθείσες τιμές. Η εξίσωση που προέκυψε είναι η εξής:

$$\frac{F_{3D}}{F_{2D}} = \frac{a + (B/L)^{-1.5}}{b + (D/L)^{-0.75}} \quad (2)$$

,όπου a και b παράμετροι που υπολογίζονται με βάση τα διαγράμματα των Σχημάτων 19 και 20 σε σχέση με την κλίση του πρανούς ($\tan\beta$) και την παράμετρο $lc\phi$.



Σχήμα 19. Διάγραμμα υπολογισμού της παραμέτρου a (δύο μεγεθύνσεις).
Figure 19. Diagrams of estimation of parameter a (magnified twice).



Σχήμα 20. Διαγράμματα υπολογισμού της παραμέτρου b (δύο μεγεθύνσεις)..
Figure 20. Diagrams of estimation of parameter b (magnified twice).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μία απλή διαδικασία εκτίμησης του μεγέθους του τρισδιάστατου συντελεστή ασφάλειας ενός πρανού (F_{3D}) σε σχέση με τον υπολογισθέντα σε δισδιάστατη ανάλυση συντελεστή F_{2D} και τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της υπό εξέταση περίπτωσης. Ως κύριες παράμετροι συσχέτισης του λόγου F_{3D}/F_{2D} επιλέχθηκαν η παράμετρος $lc\phi = (\gamma \cdot H \cdot \tan\phi) / c$ και ο λόγος του πλάτους προς το μήκος της επιφάνειας ολίσθησης, B/L . Τα βασικότερα συμπεράσματα συνοψίζονται στις παρακάτω τρεις παρατηρήσεις:

1. Καθώς η παράμετρος $lc\phi$ μειώνεται, η επιρροή 3D γίνεται εντονότερη και ο

λόγος F_{3D}/F_{2D} αυξάνεται, ενώ όταν παραμένει σταθερή (Σχήμα 8) για πρανές σταθερής κλίσης, η σχέση του λόγου F_{3D}/F_{2D} με το λόγο B/L παραμένει ίδια.

2. Αύξηση του λόγου B/L συνεπάγεται μείωση της επιρροής του τρισδιάστατου χαρακτήρα και άρα του λόγου F_{3D}/F_{2D} .
3. Με τη χρήση των διαγραμμάτων που περιέχονται στα Σχήματα 10 έως 18, ή εμμέσως με βάση τη Σχέση 2 και τα διαγράμματα των Σχημάτων 19 και 20, είναι δυνατή η εκτίμηση του συντελεστή ασφάλειας F_{3D} με βάση τον συντελεστή F_{2D} δίχως να απαιτείται εκτέλεση 3D ανάλυσης.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Azzouz, A.S., Baligh, M.M. 1978, "Three-dimensional stability of slopes", Final Report, 15 Mar.1976-31 Aug.1978 Massachusetts Inst.of Tech., Cambridge.Constructed Facilities Div.
- Azzouz, A.S., Baligh, M.M. & Ladd, C.C. 1981, "Three-dimensional stability analysis of four embankment failures", Proc.X ICSMFE, Stockholm, vol. 3, pp. 343-346.
- Chen, R.H. & Chameau, J.L. 1982, "Three-Dimensional Slope Stability Analysis", Numerical Methods in Geomechanics, Edmonton 1982: Proceedings of the Fourth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Edmonton, Canada, May 31-June 4, 1982AA Balkema, , pp. 671.
- Chen, R.H. & Chameau, J.L. 1983, "Three-dimensional limit equilibrium analysis of slopes", Geotechnique, vol. 33, pp. 31-40.
- Cornforth, D.H. 2005, "Landslides in practice: investigation, analysis and remedial/preventative options in soils", Wiley & Sons.
- Duncan, J.M., Wright, S.G. & Knovel (Firm) 2005, Soil Strength and Slope Stability, John Wiley & Sons.
- Gens, A., Hutchinson, J. & Cavounidis, S. 1988, "Three-dimensional analysis of slides in cohesive soils.", Geotechnique, vol. 38, no. 1, pp. 1-23.
- Hovland, H.J. 1977, "Three-Dimensional Slope Stability Analysis Method", Journal of Geotechnical Engineering Division, vol. 103, no. 9, pp. 971-986.
- Hungr, O., Salgado, F.M. & Byrne, P.M. 1989, "Evaluation of a three-dimensional method of slope stability analysis", Canadian Geotechnical Journal, vol. 26, no. 4, pp. 679-686.
- Hungr, O. 1988, "CLARA: Slope stability analysis in two or three dimensions [M]. O. Hungr geotechnical Research", Inc., Vancouver, BC, Canada.
- Hungr, O. 1987, "Extension of Bishop's simplified method of slope stability analysis to three dimensions", Geotechnique, vol. 37, pp. 113-117.
- Hungr, O. 2001, "Clara/W User's Manual".
- Lambe, T.W. & Whitman, R.V. 1969, Soil Mechanics, Wiley.
- Leshchinsky, D., Baker, R. & Silver, M.L. 1985, "Three Dimensional Analysis of Slope Stability", International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, vol. 9, no. 2, pp. 199-223.