

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ ΩΣ ΜΕΤΡΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Ι.Χουλιάρης¹, Σ.Τσότσος², Ν.Μισοπολινός³ και Θ.Κατζηγώγος⁴

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μεγάλα τμήματα των τεχνικών έργων μεγάλης κλίμακας, τα οποία άρχισαν να κατασκευάζονται στην Ελλάδα, όπως οδοποιίας και του αγωγού του φυσικού αερίου, αναπτύσσονται σε ασταθείς γεωλογικούς σχηματισμούς, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα ευστάθειας των πρανών. Μία περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση των προβλημάτων σταθεροποίησης των πρανών είναι η φυτοκάλυψη τους. Για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της φυτοκάλυψης, ως μέτρου σταθεροποίησης των πρανών, αναφέρονται οι κυριότεροι μηχανισμοί που εμπλέκονται και αναλύεται η επιρροή τους. Παρουσιάζεται μία μεθοδολογία υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας της ευστάθειας των πρανών και εξετάζονται τα χαρακτηριστικά και η αντοχή των ριζών. Η επιρροή της φυτοκάλυψης στην ευστάθεια των πρανών μελετάται, εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία σ' ένα παράδειγμα εκσκαφής ύψους 9m. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής δείχνουν ότι F=1,040 όταν το πρανές δεν είναι φυτευμένο και F=1,185 για σταθεροποίηση του πρανούς με φυτοκάλυψη. Η φυτοκάλυψη είναι αποτελεσματικότερη σε περιπτώσεις χαμηλής αντοχής και μικρού πάχους ανώτερης εδαφικής στρώσης. Έτσι η φύτευση δένδρων και θάμνων με βαθύ και ισχυρό ριζικό σύστημα αυξάνει τη σταθερότητα των πρανών, τα προστατεύει από τη διάβρωση και αποτελεί μία άριστη λύση από άποψη αισθητικής και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος.

ABSTRACT

In this paper the effects of vegetation on stabilization of soil slopes are examined. The role of vegetation on soil water modification and soil mechanical properties is presented. Emphasis is given in the analysis of root reinforcement of soil and in the shear strength increase of the complex soil - root system. Modifications on the limit equilibrium method of slices for slope stability analysis are proposed, in order to take into account the influence of the mechanism of root reinforcement of soil. Also, strength and root characteristics together with the shear strength characteristics of the root reinforcement of soil, are given in more details. In the last part of the paper, an example of the proposed methodology is given, for an excavation of 9m height. From the analysis of soil stability, for slopes stabilized with vegetation, compared with the bare soil conditions, it is obvious that vegetation increases stability and provides an excellent solution in the problem of environmental protection.

(1) ΓΕΝΙΚΑ

Τα επόμενα χρόνια πρόκειται να κατασκευασθούν στον Ελλαδικό χώρο γραμμικά

¹ επικ. καθηγητής, Τ.Ε.Ι. Καρδίτσας, Τμήμα Δασοπονίας
² καθηγητής, Α.Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
³ καθηγητής, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωπονίας
⁴ αναπλ. καθηγητής, Α.Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

τεχνικά έργα μεγάλου μήκους και σημασίας, όπως η Εγνατία οδός και οι άξονες εξυπηρέτησης της και ο αγωγός φυσικού αερίου. Μεγάλα τμήματα των έργων αυτών αναπτύσσονται σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και ασταθείς γεωλογικούς σχηματισμούς (φλύσχης, μάργα κ.α.) με συνέπεια να δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα σταθερότητας σε εκτεταμένα πρανή, συχνά μάλιστα μεγάλου ύψους. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη σχετική ως προς το περιβάλλον ευαισθησία της εποχής, καθιστά επίκαιρη και επιτακτική την εφαρμογή ήπιων και περιβαλλοντικά αποδεκτών μέτρων σταθεροποίησης των πρανών, όπως η φυτοκάλυψη τους. Αντίστροφα, η καταστροφή της φυτοκάλυψης προκαλεί κατολισθήσεις και επιφανειακή διάβρωση [1,10].

Οι μηχανισμοί με τους οποίους η βλάστηση επηρεάζει την ευστάθεια των πρανών μπορούν να διακριθούν σε υδρολογικούς - υδραυλικούς και μηχανικούς, [3,5]. Οι κυριότεροι μηχανισμοί αναφέρονται και αναλύονται στον Πίνακα 1.

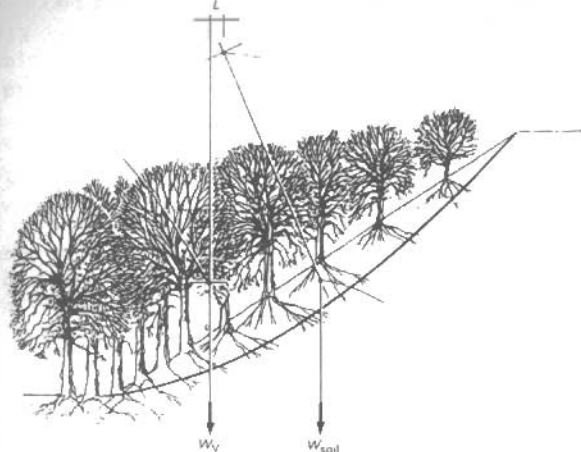
Γενικά οι ρίζες πολλών ειδών δένδρων εισχωρούν στις επάλληλες εδαφικές στρώσεις, τις οποίες ενισχύουν, οπλίζουν και προστατεύουν. Πιο αναλυτικά, οι κορμοί και οι κύριες ρίζες λειτουργούν ως σταθεροποιητικοί πάσσαλοι, εμποδίζοντας την κίνηση του εδάφους προς την κατωφέρεια. Παράλληλα, όπου η απόσταση μεταξύ των δένδρων είναι κατάλληλα μικρή, το έδαφος αμέσως πίσω από τα δένδρα και προς τα άνω του πρανού εργάζεται ως τόξο, συγκρατώντας όλη την

Πίν. 1: Η επιρροή της βλάστησης στην ευστάθεια των πρανών (Greenway)

<u>ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ</u>	<u>Επιρροή</u>
1. Το φύλλωμα αναχαιτίζει τη βροχή, προκαλώντας απορρόφηση & εξάτμιση νερού, γεγονός που ελαττώνει το διαθέσιμο για διήθηση νερό της βροχής	Ευμενής
2. Οι ρίζες αυξάνουν τη διαπερατότητα των εδαφών, οδηγώντας σε αύξηση της ικανότητας διήθησης	Δυσμενής
3. Οι ρίζες συμβάλλουν στην απομάκρυνση της από το έδαφος, η οποία μέσω της διαπνοής, μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα, οδηγώντας σε μικρότερες πιέσεις του νερού των πόρων	Ευμενής
4. Η απομάκρυνση της υγρασίας από το έδαφος μπορεί να συμβάλλει στη μεγαλύτερη ανάπτυξη ρωγμών σε αυτό, με αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας διήθησης	Δυσμενής
<u>ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ</u>	
5. Οι ρίζες οπλίζουν το έδαφος, αυξάνοντας τη διατμητική αντοχή του (<u>σχήμα 1</u>)	Ευμενής
6. Οι ρίζες των δένδρων όταν αναπτύσσονται και στηρίζονται σε συμπαγές υπόστρωμα, στηρίζουν την επιφανειακή, εδαφική στρώση προς την ανωφέρεια του πρανού μέσω αντιρίδων-τόξων (<u>σχήμα 2</u>)	Ευμενής
7. Το βάρος των δένδρων φορτίζει το πρανές αυξάνοντας την ορθή και την παράλληλη προς την κατωφέρεια συνιστώσα	Ευμενής Δυσμενής
8. Η βλάστηση που εκτίθεται στον άνεμο μεταδίδει στο πρανές δυναμικά φορτία	Δυσμενής
9. Οι ρίζες συγκρατούν τους κόκκους του εδάφους στην επιφάνεια, ελαττώνοντας τη διαβρωσιμότητα του	Ευμενής

εδαφική μάζα (σχήμα 2).

Οι ρίζες που εισχωρούν στο έδαφος δημιουργούν ένα είδος όπλισης του εδάφους, ανάλογο με την τοποθέτηση σε αυτό μεταλλικών ή συνθετικών ινών. Με την

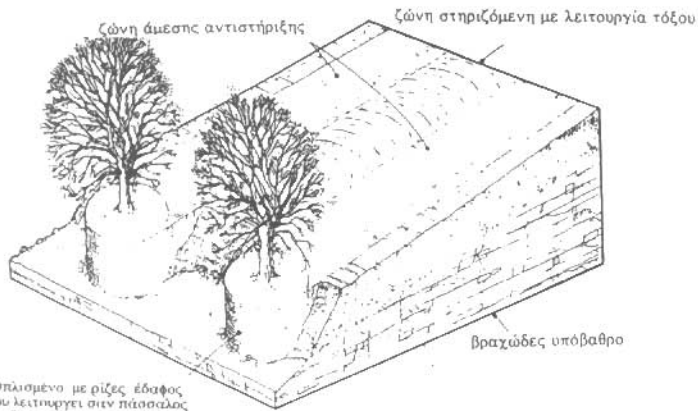


Σχ. 1 : Γενική ενδεικτική εικόνα πρανούς φυτευμένου με δένδρα ή θάμνους με σχετικά βαθύ και ισχυρό ριζικό σύστημα.

van τέσσερις (4) περιπτώσεις πρανών οπλισμένων με ρίζες δένδρων (σχήμα 4). Η εισχώρηση των ριζών στους βράχους εξαρτάται από το είδος του δένδρου, π.χ. η μαύρη πεύκη εκμεταλλεύεται τις σχισμές των βράχων και το ριζικό σύστημα της εισχωρεί σε αυτές.

(2) ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Στην τυχόν προσπάθεια χρησιμοποίησης της βλάστησης σε πρακτικές εφαρμογές σταθεροποίησης πρανών στον Ελλαδικό χώρο, ο μελετητής αντιμετωπίζει ορισμένες αβεβαιότητες, μεταξύ των οποίων περισσότερο σημαντικές είναι οι επόμενες:



Σχ. 2: Σχηματική παράσταση του τρόπου και των μηχανισμών ενίσχυσης της σταθερότητας των φυτευμένων με δένδρα πρανών [2].

όπλιση αυτή αυξάνεται η διατμητική αντοχή της εδαφικής μάζας και το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να εκτείνεται -στην περίπτωση των δένδρων- σε αρκετά μέτρα βάθους και πλάτους, ανάλογα με την πυκνότητα και τον όγκο των ριζών.

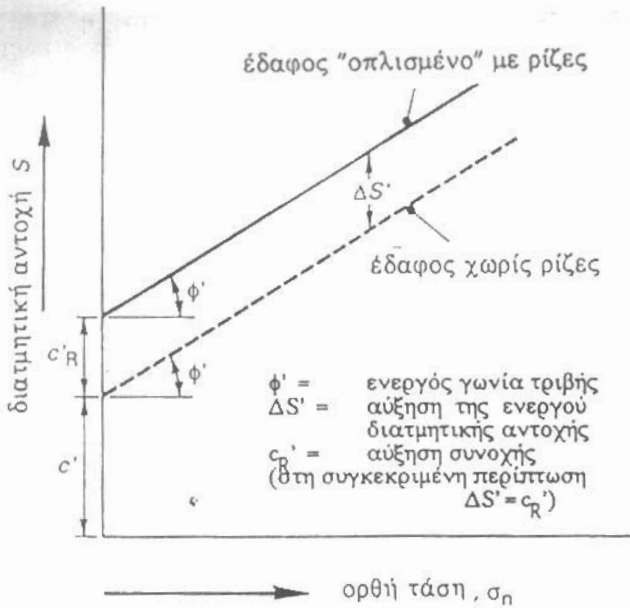
Έτσι αυξάνεται η συνοχή του εδάφους λόγω της παρουσίας των ριζών κατά CR', ενώ η γωνία εσωτερικής τριβής παραμένει περίπου η ίδια (σχήμα 3).

Η αποτελεσματικότητα της όπλισης του εδάφους με ρίζες στη σταθεροποίηση ενός πρανούς, εξαρτάται κύρια από το βάθος της πιθανής επιφάνειας ολίσθησης, σε σχέση με το μέγιστο βάθος των ριζών που αναπτύσσονται στο πρανές. Οι Tsukamoto & Kusakabe διεκρί-

* Η μεταβλητότητα και η περιορισμένη αξιοπιστία, όσον αφορά τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά των φυτών, όπως και η αβεβαιότητα, σχετικά με τη διάρκεια ζωής και την κατάσταση της υγείας τους

* Η έλλειψη δεδομένων, σχετικών με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του ριζικού συστήματος φυτών και δένδρων του Ελλαδικού χώρου, που επηρεάζουν το υπό μελέτη θέμα

Κατά τη μελέτη του θέματος, παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον η εκτίμηση του βαθμού κατά



Σχ. 3: Επίδραση της όπλισης με ρίζες στη διατμητική αντοχή του εδάφους [2]

τον οποίο αυξάνεται ο συντελεστής ασφαλείας, για διάφορες περιπτώσεις παρουσίας θάμνων και δένδρων με βαθύ και ισχυρό ριζικό σύστημα.

Ο συντελεστής ασφαλείας, F , μιας πιθανής επιφάνειας ολίσθησης μπορεί να ορισθεί σαν:

$$F = (\text{διατμητική αντίσταση καταμήκος επιφάνειας ολίσθησης}) / (\text{διατμητική δράση καταμήκος επιφάνειας ολίσθ.})$$

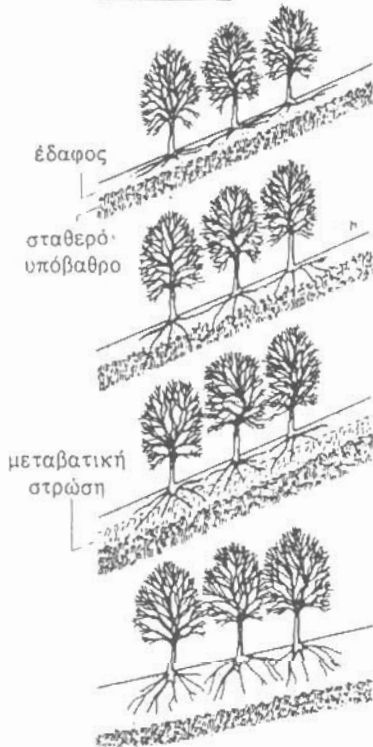
Οι παράμετροι που υπεισέρχονται στην ανάλυση για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας ενός φυτευμένου πρανού, παρουσιάζονται στο σχήμα 5.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών μπορούν να τροποποιηθούν για να περιλάβουν τη συνολική

Τύπος Πρανούς

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
Σταθεροποίησης ριζών



A. Σχετικά λεπτός, εδαφικός μανδύας πλήρως όπλισμένος με ρίζες και βραχώδες υπόστρωμα αδιαπέρατο από τις ρίζες.

Μικρή - πιθανή ολίσθηση στη διεπιφάνεια

B. Παρόμοια με το (A) εκτός του ότι ο βράχος έχει ασυνέχειες και εισχωρούν οι ρίζες.

Μεγάλη

Γ. Παχύτερος εδαφικός μανδύας που περιέχει μεταβατική στρώση αυξανόμενης διατμητικής αντοχής. Οι ρίζες εισχωρούν στη μεταβατική στρώση.

Σημαντική

Δ. Παχύς εδαφικός μανδύας. Οι ρίζες δεν εισχωρούν πρακτικά σε βαθύτερη, πιο ανθεκτική στρώση.

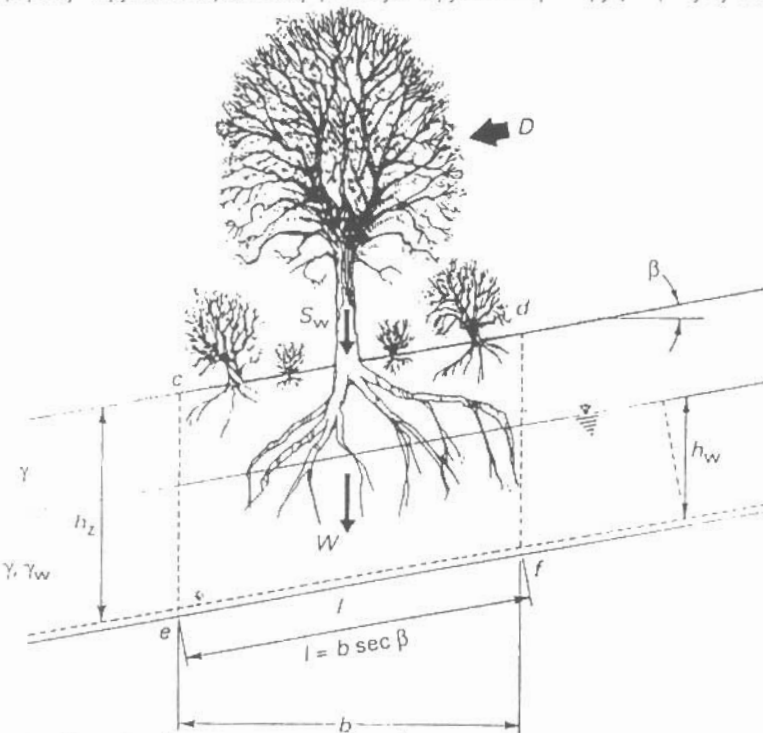
Μικρή σε βαθιές καταλισθήσεις

Σχ. 4: Κατάταξη των πρανών ανάλογα με την όπλιση με ρίζες και την αγκύρωση (κατά Tsukamoto & Kusakabe)

επιρροή της βλάστησης. Αυτές που περιγράφονται στη συνέχεια επιλέχθησαν για την εφαρμογή τους σε αβαθείς κατολισθήσεις, όπου η επιρροή της βλάστησης είναι πιο σημαντική.

Η συνηθέστερη προσέγγιση ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών είναι η τεχνική της οριακής ισορροπίας, η οποία υποθέτει ότι το γραμμικό κριτήριο αστοχίας των Mohr-Coulomb ικανοποιείται για όλη την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ότι υπάρχει ένας σταθερός συντελεστής ασφαλείας κατά μήκος αυτής της επιφάνειας για τις συνθήκες της μελέτης.

Η μέθοδος της διακριτοποίησης σε "φέτες" είναι μία καθιερωμένη προσέγγιση οριακής ισορροπίας για τον υπολογισμό της ευστάθειας των πρανών. Η πιο εύχρηστη και συνηθισμένη μορφή της μεθόδου είναι η θεώρηση διδιάστατου -απέιρου πλάτους- πρανούς. Η επιφάνεια ολίσθησης υποτίθεται ότι βρίσκεται ακριβώς κατά μήκος της διεπιφάνειας μεταξύ της οπλισμένης με ρίζες εδαφικής στρώσης και του βραχώδους υποστρώματος (σχήμα 6).



Σχ. 6: Δυνάμεις που ενεργούν σε μία φέτα φυτευμένου άπειρου πρανούς.

βραχώδους υποστρώματος (σχήμα 6).

Για λόγους απλότητας του ομοιώματος, μόνο η επιρροή της αυξημένης συνοχής (CR), του βάρους των φυτών (SW) και της δύναμης του ανέμου (D) λαμβάνονται υπόψη στη συγκεκριμένη προσέγγιση.

Για σταθερές συνθήκες αποστράγγισης και μερικά κορεσμένο έδαφος, ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$F = [C' + CR' + (W \cos \beta - ul) \tan \phi'] / W \sin \beta \quad (1)$$

και λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των φυτών, η σχέση έχει την παρακάτω μορφή:

$$F = (C' + CR') + [(W + S_w) \cos \beta ul \tan \phi' / (W + S_w) \sin \beta + D \quad (2)$$

Για συνθήκες σταθερής αποστράγγισης, η πίεση του νερού των πόρων μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση :

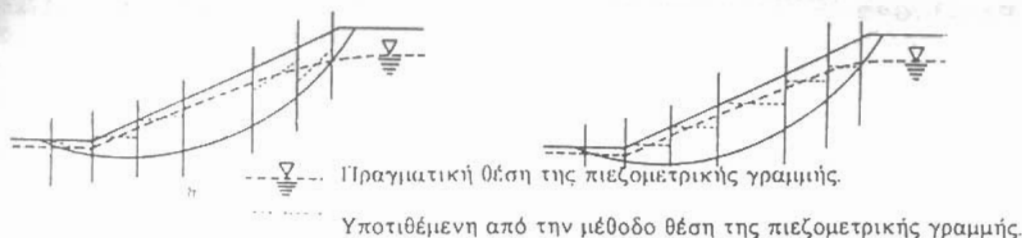
$$u = \gamma_w \cdot h_w \cdot \cos^2 \beta$$

Εάν το βάρος των φυτών (S_w) και η ανεμοφόρτιση (D) αντικατασταθούν από την ανηγμένη επιφόρτιση (W = S_w/b) και τη διατμητική τάση (d = D/b), η σχέση [2] προσλαμβάνει την επόμενη -πιο αναλυτική- μορφή :

$$F = [(C' + CR') + (\gamma h_z - \gamma_w h_w + w) \cos^2 \beta \tan \phi'] / [(\gamma h_z + w) \sin \beta + d] \cos \beta \quad (3)$$

a) Μέθοδος Fellenius

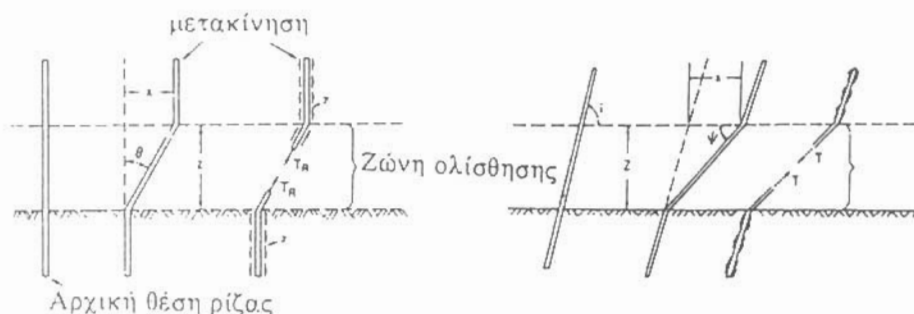
b) Μέθοδος Greenwood



Σχ. 7: Οι υποθέσεις των μεθόδων Fellenius & Greenwood

(κατακόρυφη ρίζα)

(κεκλιμένη ευθύγραμμη ρίζα)



Σχ. 8: Πρότυποι απλοποιητικοί μηχανισμοί δράσης των ριζών (κατά Gray, 1983).

Η απλούστερη μέθοδος ανάλυσης της ευστάθειας για κυκλική επιφάνεια ολίσθησης σε ομοιόμορφα πρηνή μεγάλο μήκους είναι η συνήθης μέθοδος του Fellenius. Ο Greenwood πρότεινε μία τροποποίηση αυτής, υποθέτοντας οριζόντια επιφάνεια του νερού κατά πλάτος κάθε "φέτας".

Η συνήθης μέθοδος του Fellenius, είναι στην πράξη πολύ συντηρητική για πολλές επιφάνειες ολίσθησης, επειδή η υπόθεση της παράλληλης αποστράγγισης προς την επιφάνεια ολίσθησης δεν είναι κατάλληλη όταν η επιφάνεια ολίσθησης αρχίζει από την κορυφή του πρανούς και καταλήγει στον πόδα (σχήμα 7).

Στη μέθοδο του Greenwood η επιφάνεια ολίσθησης υποτίθεται οριζόντια σε κάθε "φέτα" και ο συντελεστής ασφαλείας, F , είναι :

$$F = \frac{\Sigma [c' b \sec \alpha + (W - u_b) \cos \alpha \tan \phi']}{\Sigma (W \sin \alpha)} \quad (4)$$

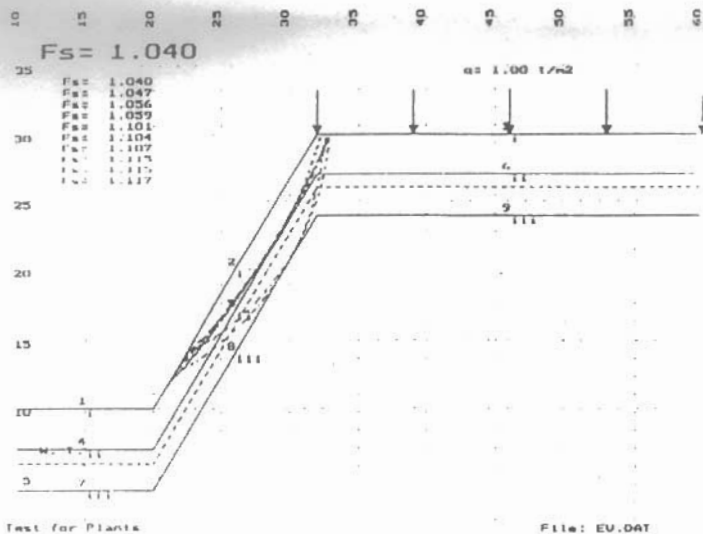
Η εξίσωση του Greenwood, τροποποιημένη για να περιλάβει τους παράγοντες της βλάστησης του σχήματος 5, γίνεται :

$$F = \frac{\Sigma (C' + C_R') b \sec \alpha + [(W + S_W) - (u - u_v) b] \cos \alpha - D \sin (\alpha - \beta) + T \sin \theta \tan \phi' + T \cos \theta}{\Sigma [(W + S_W) \sin \alpha + D \cos (\alpha - \beta)]} \quad (5)$$

Η μέθοδος αυτή δίνει ρεαλιστικούς συντελεστές ασφαλείας για αβαθή και βαθιά, κυκλική και μη-κυκλική, επιφάνεια ολίσθησης και για μεγάλες ή μικρές πιέσεις του νερού των πόρων.

(3) ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ

Το ριζικό σύστημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις περισσότερες λειτουργίες των φυτών και των δένδρων. Αυτό ποικίλει από πολύ λεπτό ινώδες σύστημα μέχρι διακλαδωτό σύστημα και μία κατακόρυφη, κεντρική ρίζα. Όλα τα φυτά έχουν ένα στρώμα επιφανειακών ριζών για συλλογή θρεπτικών στοιχείων και νερού. Οι βαθύτερες ρίζες χρησιμοποιούνται κυρίως για στήριξη, αλλά και απορρόφηση



Soil Type	gam moist. t/m ³	gam sat. t/m ³	C t/m ²	Phi deg
i	2.000	2.000	1.500	20.000
ii	2.050	2.050	3.500	25.000
iii	2.100	2.100	15.000	25.000

Σχ. 9α: Γεωμετρικά και γεωτεχνικά δεδομένα, καθώς και τα βασικά αποτελέσματα της επίλυσης για την περίπτωση πρανούς χωρίς δένδρα (συνοχή επιφ. στρώσης $c' = 15 \text{ kN/m}^2$, $F_{\text{κρίσι}} = 1,040$)

ζών, είναι ανάλογη με την πυκνότητα των ριζών στη μονάδα όγκου του εδάφους. Συνήθως μετρούνται μόνο ρίζες διαμέτρου μικρότερης από 15 - 20 mm. Μελέτες έχουν δείξει ότι ρίζες με μεγαλύτερη διάμετρο, ελάχιστα συνεισφέρουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους. Οι παχύτερες ρίζες θεωρούνται ως αγκυρώσεις.

Η αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους εξαιτίας της όπλισης του με ρίζες, μπορεί να υπολογισθεί με τη χρήση φυσικών και μαθηματικών ομοιωμάτων, όπως φαίνονται στο σχήμα 8, [4,7,8,9].

Με βάση το απλούστερο ομοίωμα του σχήματος 8α, η αύξηση της φαινόμενης συνοχής, C_R , δίνεται από τη σχέση:

$$C_R = \tau_R (\sin\theta + \cos\theta \tan\phi) \quad (6)$$

όπου: τ_R είναι η ενεργοποιούμενη ελκτική αντοχή των ριζών ανά μονάδα εδάφους.

(Η τιμή της υπολογίζεται ως γινόμενο της μέσης τάσης ελκυσμού S_R που παραλαμβάνουν οι ρίζες επί το λόγο των επιφανειών ριζών-εδάφους, AR/A)

θ είναι η γωνία διατμητικής παραμόρφωσης

ϕ είναι η γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους

(4) ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

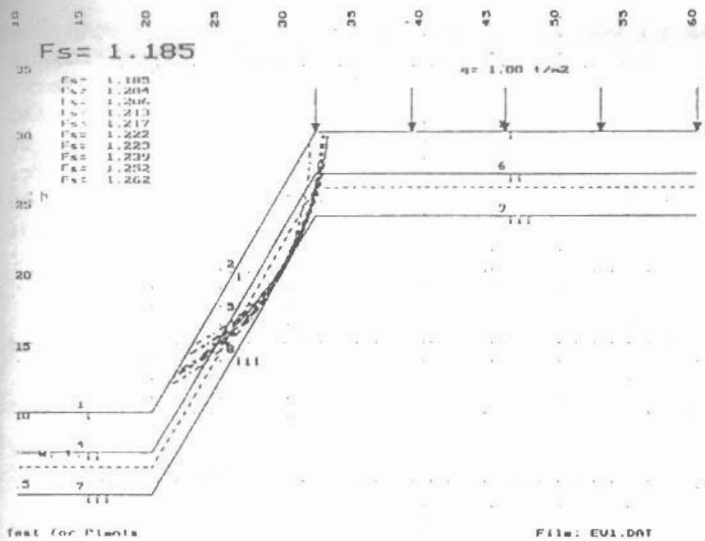
Για την καλύτερη ανάπτυξη του θέματος και την ποσοτική αποτίμηση του ρόλου της φυτοκάλυψης στη σταθερότητα των πρανών, προχωρήσαμε στη μελέτη του παραδείγματος της εκκαμής του σχήματος 9, ύψους 9m. Τα γεωμετρικά δεδομένα

νερού.

Η μορφή κάθε ριζικού συστήματος εξαρτάται κύρια από το είδος του φυτού, το έδαφος και τις τοπικές συνθήκες. Ο βαθμός συμπύκνωσης του εδάφους, η θέση και οι διακυμάνσεις του υδροφόρου οριζοντία, η υδατοπερατότητα του εδάφους, η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και η τυχόν παρουσία τοξικών, έχουν σημαντική επίρροη στην ανάπτυξη των ριζών.

Η εφαρμογή εφελκυσμού ή θλίψης στις ρίζες έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαμέτρου των. Παρατηρήθηκε ότι σε πρανή οι χονδρότερες ρίζες κατευθύνονται προς την ανωφέρεια, λειτουργώντας ως αγκυρώσεις, [5].

Η αύξηση της συνοχής του εδάφους, C_R , λόγω της παρουσίας των ρι-



Soil Type	gam moist. t/m3	gam sat. t/m3	C t/m2	Phi deg.
i	2.000	2.000	2.500	20.000
ii	2.050	2.050	3.500	25.000
iii	2.100	2.100	15.000	25.000

Σχ. 9β: Γεωμετρικά και γεωτεχνικά δεδομένα, καθώς και τα βασικά αποτελέσματα της επίλυσης για την περίπτωση πρηνούς φυτευμένου με δένδρα, $S_r = 2000 \text{ kN/m}^2$, $AR/A = 0,4\%$ (συνοχή επιφ. στρώσης $c' = 25 \text{ kN/m}^2$, $F_{\text{κρίσι}} = 1,185$)

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί την τροποποιημένη μέθοδο του Bishop, η οποία γενικά είναι πιο σύνθετη και πιο ακριβής της μεθόδου του Fellenius. Είναι ενδιαφέρον και θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο κρίσιμος κύκλος αναπτύσσεται εντός της επιφανειακής στρώσης με τιμή συντελεστή ασφαλείας $F = 1,040$, ενώ άλλοι κύκλοι, οι οποίοι βυθίζονται και στη δεύτερη στρώση, δίνουν τιμές του F περί το 1,10 έως 1,12.

Στην εικόνα του σχήματος 9β παρουσιάζεται η περίπτωση ενίσχυσης της σταθερότητας με την παρουσία φυτοκάλυψης, το βάθος των ριζών της οποίας εισχωρεί στη δεύτερη στρώση. Δεχόμενοι μέση τιμή του λόγου $AR/A = 0,40\%$, μέση τιμή της αντοχής των ριζών $s_r = 1500 \text{ kN/m}^2$ και γωνία $\theta = 50^\circ$, η τιμή της αύξησης της "πρόσθετης συνοχής" C_R υπολογίσθηκε ίση με $7,5 \text{ kN/m}^2$.

Το γεγονός αυτό, όπως φαίνεται από τις τιμές των συντελεστών ασφαλείας των δυσμενών κύκλων του σχήματος 9β, έχει ως συνέπεια την αύξηση του κρίσιμου συντελεστή ασφαλείας σε 1,185 και τη μετακίνηση του κρίσιμου κύκλου βαθύτερα.

(5) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η φύτευση των πρηνών με δένδρα και θάμνους με βαθύ και ισχυρό ριζικό σύστημα αυξάνει σημαντικά το συντελεστή ασφαλείας έναντι των κατολισθήσεων και ταυτόχρονα ενισχύει την προστασία των πρηνών από τη διάβρωση.

Στην εργασία παρουσιάζεται μία σχετικά απλή υπολογιστική διαδικασία, η οποία επιτρέπει την ποσοτική αποτίμηση της πρόσθετης σταθερότητας, που μπορεί να προσφέρει η κατάλληλη φύτευση ενός πρηνούς, ή αντίστροφα, της μείωσης που

και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των τριών (3) φυσικών εδαφικών στρώσεων αναφέρονται στο σχήμα 9α και είναι χαρακτηριστικό ότι, όπως παρατηρείται συχνά στη φύση, η αντοχή των εδαφικών στρώσεων αυξάνεται προοδευτικά από την επιφανειακή εδαφική στρώση προς το σχετικά σκληρό υπόβαθρο της τρίτης στρώσης. Το πάχος των παραπάνω δύο στρώσεων είναι σχετικά μικρό, με συνέπεια να είναι δυνατή -ορισμένα χρόνια μετά τη φύτευση κατάλληλων δένδρων- η διεύθυνση του ριζικού του συστήματος μέχρι και τη δεύτερη στρώση.

Στην εικόνα του σχήματος 9α έχουν σχεδιασθεί οι δέκα (10) περισσότερο δυσμενείς κυκλικές επιφάνειες θραύσης, όπως προσδιορίστηκαν με εφαρμογή του προγράμματος PCSTABL7.

προκαλείται από την καταστροφή των δένδρων και θάμνων στα φυσικά πρανή. Πιο συγκεκριμένα, η θεώρηση των αποτελεσμάτων του παραδείγματος δείχνει ότι το μέτρο της φυτοκάλυψης είναι ιδιαίτερα απο-τελεσματικό, όταν η ανώτερη εδαφική στρώση έχει χαμηλή αντοχή και μικρό πάχος. Εκτός όμως της ειδικής, αλλά συνηθισμένης αυτής περίπτωσης, η σταθεροποιητική δράση των ριζών των δένδρων είναι επίσης σημαντική και συχνά καθοριστική και σε πολλές άλλες περιπτώσεις.

Στις πιο πάνω παρατηρήσεις θα πρέπει να προστεθεί ότι η φύτευση των πρανών με δένδρα αποτελεί μία άριστη λύση και από άποψη αισθητικής, καθώς και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BROWN, C., SHEU, M. (1975). Effects of deforestation on slopes, J.of G.E.Div. ASCE, 101 (GT2), pp.147-165.
- COPPIN, N., RICHARDS, I. (eds) (1990). Use of vegetation in Civil Engineering, CIRIA, Butterworths, London.
- GRAY, D. (1974). Reinforcement and stabilization of soil by vegetation, J.of G.E.Div. ASCE, 100 (GT6), pp.695-699.
- GRAY, D. (1983). Mechanics of fiber reinforcement in sand, J.of G.E. ASCE, 109 #3, pp.335-353.
- GREENWAY, D. (1987). Vegetation and slope stability, Slope Stability (ed. Anderson et. al) J.Wiley, pp.187-230.
- GREENWOOD, J. (1983). A simple approach to slope stability, Ground Engng., 16(4), pp.45-98.
- JEWELL, R., WROTH C. (1987). Direct shear tests on reinforced sand, Geotechnique 37 #1, pp.53-68.
- JURAN, I., GUERMAZI, A., CHEN, C., IDER, M. (1988). Modelling and simulation of load transfer in reinforced soils: Part 1, Int.J. Num. Anal. Methods Geomech. 12, pp.141-155.
- JURAN, I., IDER, M., CHEN, C., GUERMAZI, A. (1988). Numerical analysis of the response of reinforced soils to direct shearing: Part 2, Int. J. Num. Anal. Methods Geomech. 12, pp.157-171.
- ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, Σ. (1990). Κατολισθήσεις λόγω καταστροφής της φυτοκάλυψης, 3ο Παν. Εδαφολογικό Συν., Αθήνα, σελ.103-112.
- TSUKAMOTO, Y., KUSAKABE, O. (1984). Vegetative influences on debris slide occurrences on steep slopes in Japan, Proc. Symp. Effects of Forest Land Use on Erosion & Slope Stability, Environment & Policy Institute, Honolulu - Hawaii.