

**ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΒΡΑΧΟΤΕΜΑΧΙΩΝ ΚΑΙ Η  
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΕΡΓΑ**

Μ. Σακελλαρίου <sup>1</sup>, Σ. Κοζάνης <sup>2</sup>, Σ. Γουλάκος <sup>3</sup>

Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής  
Τμήμα Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.  
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου, 157 80

**Περίληψη**

Η κατάπτωση βραχοτεμαχίων στην επιφάνεια κυκλοφορίας των συγκοινωνιακών έργων αποτελεί ένα συνήθη πρόξενο προβλημάτων στην κανονική λειτουργία τους. Το πρόβλημα συναντάται κυρίως σε ορεινές χαράξεις οδικών και σιδηροδρομικών έργων, και είναι αρκετά διαδεδομένο στον ελλαδικό χώρο.

Στην παρούσα εργασία αναφέρονται τα αίτια του φαινομένου καθώς επίσης και τα συνήθη μέτρα αντιμετώπισής του.

Για τη μελέτη του φαινομένου αναπτύχθηκε πρόγραμμα Η/Υ σε γλώσσα C++ το οποίο χαράσσει την τροχιά των βραχοτεμαχίων κατά την πτώση τους, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του πρανούς καθώς και την απορρόφηση ενέργειας κατά την κρούση.

Με χρήση αυτού του προγράμματος είναι δυνατή, με μεταβολή της αρχικής ταχύτητας, η στατιστική μελέτη της τροχιάς που διαγράφει ένα αποσπώμενο τεμάχιο βράχου κατά την πτώση του. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να διευκολυνθεί η επιλογή και ο σχεδιασμός των πλέον κατάλληλων μέτρων προστασίας, από τα αναφερόμενα στη διεθνή βιβλιογραφία.

**1. Εισαγωγή**

Το φαινόμενο της κατάπτωσης βραχοτεμαχίων ( rockfall ), αποτελεί μία από τις σημαντικότερες κατηγορίες κατολισθήσεων με επιπτώσεις στα τεχνικά έργα και ιδιαίτερα στα συγκοινωνιακά έργα. Ο Popescu ορίζει τους σχετικούς με το φαινόμενο όρους ως εξής [1] :

**Κατολίσθηση** : “ Η προς τα κάτω μετακίνηση μάζας βράχων, εδαφικού υλικού ή ( Landslide ) μάζας από απομεινάρια σε ένα πρανές “.

**Βράχος** : “ Μάζα συμπαγής ή έχουσα αντοχή, η οποία ήταν ακεραία και ( Rock ) στη φυσική της θέση πριν από την έναρξη της κίνησης”.

**Εδαφος** : “ Μίγμα στερεών σωματιδίων, τα οποία είτε έχουν μεταφερθεί ( Soil ) είτε έχουν σχηματισθεί επί τόπου από την αποσάθρωση των βράχων “.

: “ απομεινάρια (debris) : έδαφος με κόκκους  $20 \div 80\% > 2 \text{ mm}$ .

### Εδαφος

: “ εδαφικό υλικό (earth) : έδαφος με κόκκους  $> 80\% < 2\text{mm}$ .

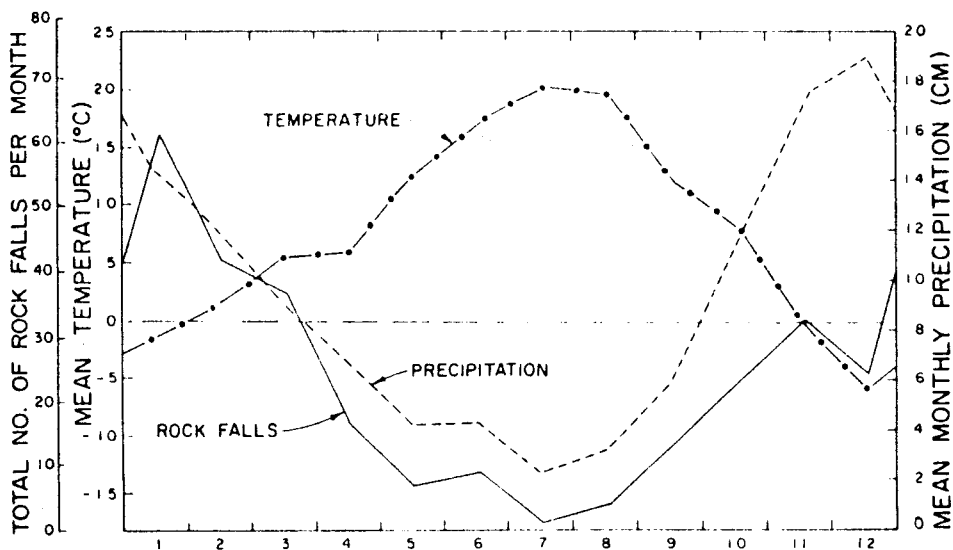
### Πτώση

( Fall )

: “ Αποκοπή εδάφους ή βράχου από ένα απότομο πρανές κατά μήκος μιάς επιφάνειας επί της οποίας συμβαίνει μικρή ή καθόλου ολίσθηση”.

Οι καταπτώσεις βράχων συμβαίνουν όταν μία μάζα βράχων αποκοπεί από το μητρικό πέτρωμα και είναι δυνατή η προς τα κάτω κίνησή της , εφόσον το επιτρέπει η θέση της [2].

Κατά κανόνα ,η χαλάρωση των βράχων συνδέεται με την ύπαρξη ασυνεχειών όπως π.χ. διακλάσεις . Η άμεση αιτία χαλάρωσης είναι μία αλλοίωση ,συνδεδεμένη συνήθως με αποσάθρωση στο υλικό των επιπέδων της πιθανής κίνησης . Οι Attewell & Farmer [3] αναφέρουν ως αίτια την διάβρωση, τον κορεσμό, τον παγετό, την υποσκαφή από ροή νερού, την διαταραχή από υπερκείμενους βράχους, τους σεισμούς, το ριζικό σύστημα βλάστησης, τη θερμική διαστολή-συστολή και τις βροχοπτώσεις. Γενικά παρατηρείται ένταση του φαινομένου σε περιόδους με χαμηλή θερμοκρασία και υψηλές βροχοπτώσεις. Στο Σχήμα 1 οι Legget & Karrow παρουσιάζουν αυτή την εξάρτηση συχνότητας καταπτώσεων και κλίματος.



Σχήμα 1, Επирροή των κλιματολογικών συνθηκών στις καταπτώσεις βράχων.

Ανάλογα με το μέγεθος μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες :

- α) Καταπτώσεις μεγάλης κλίμακας με διαστάσεις φυσικής καταστροφής.
- β) Καταπτώσεις μικρότερης κλίμακας που επηρεάζουν ορεινά συγκοινωνιακά δίκτυα και δίκτυα τα οποία διέρχονται μέσα από ορύγματα.
- γ) Καταπτώσεις μικρότερης έκτασης που είναι όμως επικίνδυνες.

Επιπλέον των περιπτώσεων που έχουν χαρακτήρα μαζικό ,συμβαίνουν και μεμονωμένες καταπτώσεις βραχοτεμαχίων για τον έλεγχο των οποίων πρέπει να πραγματοποιούνται τακτικές

επιθεωρήσεις και συντήρηση των συγκοινωνιακών δικτύων. Πρέπει να τονιστεί ότι η γνώση της γεωλογίας μπορεί να κάνει ασφαλέστερη την πρόβλεψη και να ερμηνεύσει τα αίτια του φαινομένου, χωρίς τη γνώση των οποίων τα μέτρα προστασίας δεν είναι αποτελεσματικά.

Οι Koukis, Tsiambaos & Sabatakakis [4] αναφέρουν ότι, στον ελλαδικό χώρο η αστοχία υπό την μορφή των καταπτώσεων βράχων αποτελεί τον συχνότερο τύπο κατολισθήσεων σε βραχώδεις σχηματισμούς με συχνότητα 56%. Οι Ambraseys & Jackson [5] αναφέρουν περιπτώσεις καταπτώσεων που προκλήθηκαν από σεισμούς στην κεντρική Ελλάδα μεταξύ των ετών 1890 και 1988, ενώ χρήσιμες πληροφορίες για κατολισθήσεις στον ελλαδικό χώρο που προκλήθηκαν από σεισμούς δίνονται από τους Β. και Κ. Παπαζάχου [6]. Αναφέρεται συγκεκριμένα ότι κατά τους σεισμούς των Αλκυονίδων τον Φεβρουάριο του 1981 παρατηρήθηκαν καταρρέψεις βράχων στα Γεράνια, ενώ κατά τον σεισμό της Καλαμάτας τον Σεπτέμβριο του 1986, βράχοι που κατέπεσαν από τον Ταύγετο έφραξαν τον εθνικό δρόμο Σπάρτης - Καλαμάτας επί 24 ώρες. Ανάλογες περιπτώσεις αναφέρονται και στη διεθνή βιβλιογραφία [7,8]. Τέλος, οι A. Sofianos et al. [9] περιγράφουν και αναλύουν το φαινόμενο της κατάπτωσης βράχων στην περιοχή του αρχαίου Αργούς.

## 2. Μέτρα προστασίας

Στη διεθνή βιβλιογραφία [2,3,10,11,12] αναφέρονται μέτρα για την προστασία από τις καταπτώσεις βράχων. Ενδεικτικά αναφέρονται η αγκύρωση μεγάλων βραχοτεμαχίων, η επένδυση των πρηνών με χαλύβδινα δίχτυα τα οποία περιορίζουν την ορμή των βράχων, η κατασκευή τάφρων στο δάπεδο των οποίων καλό είναι να υπάρχουν χαλίκια ή άμμος για την απορρόφηση της ενέργειας κατά την κρούση, φράχτες με στύλους ή ακόμη και τοίχοι από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Στα Σχήματα 2,3 παρουσιάζονται διατάξεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν κατά τον σχεδιασμό των πρηνών.

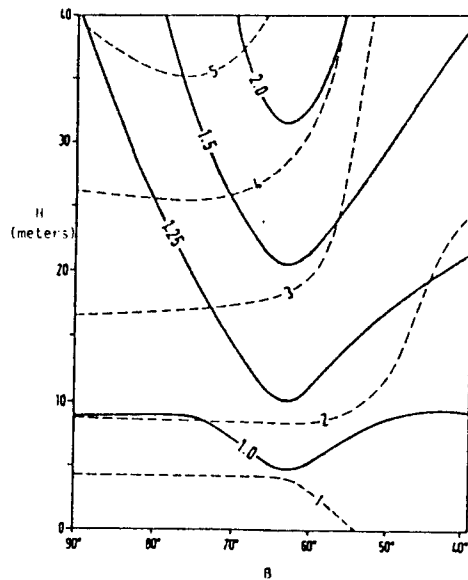
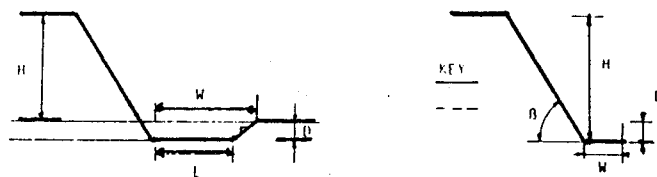
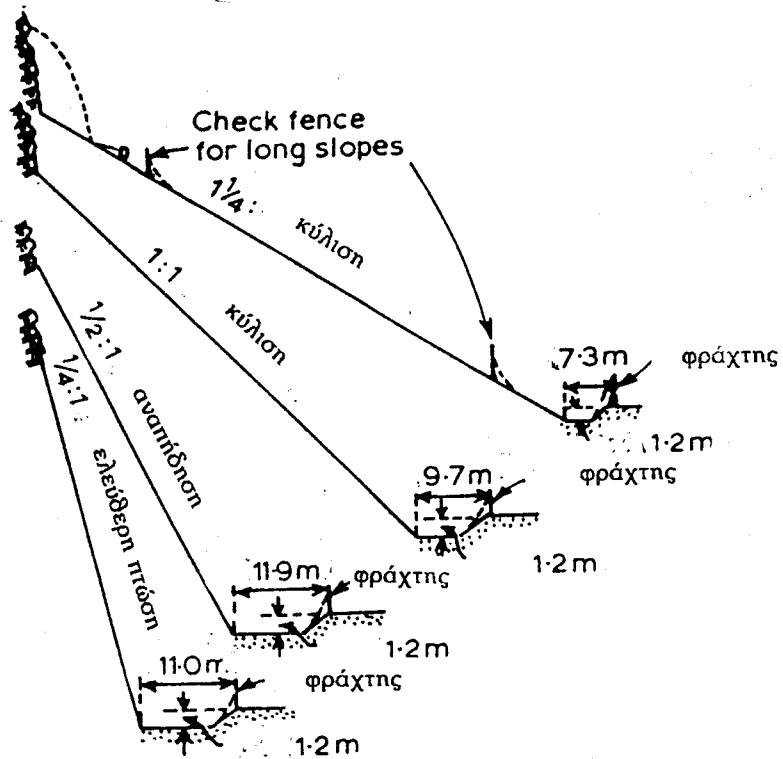
Η κλίση του πρηνούς, το μέγεθος των κορημάτων τα οποία ενδεχομένως βρίσκονται επί της επιφάνειάς του καθώς και η τραχύτητα του πρηνούς επηρεάζουν την τροχιά των βράχων κατά την πτώση τους. Κατά τον Ritchie [13] διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις :

α) Για ομαλή κλίση οι βράχοι ισορροπούν μέχρι κλίση  $1 \frac{1}{3} : 1$ . Σε πιο απότομα πρηνή οι βράχοι κυλούν επιταχυνόμενοι. Εάν τα πρηνή είναι “ λεία “ οι βράχοι κυλούν στην επιφάνειά τους. Αν και αυτή η συνθήκη σπάνια ικανοποιείται, μπορεί κατά προσέγγιση να ικανοποιηθεί όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των στοιχείων που απαρτίζουν την επιφάνεια του πρηνούς.

β) Ένα “ τραχύ ” πρηνές προκαλεί απογείωση των βράχων συχνά μετά από μία ή δύο αναπήδησεις . Για πρηνή με κλίση  $1 \frac{1}{3} : 1$  ή μεγαλύτερη τα βράχια σπάνια αγγίζουν ξανά το πρηνές μετά τυχόν αναπήδησή τους.

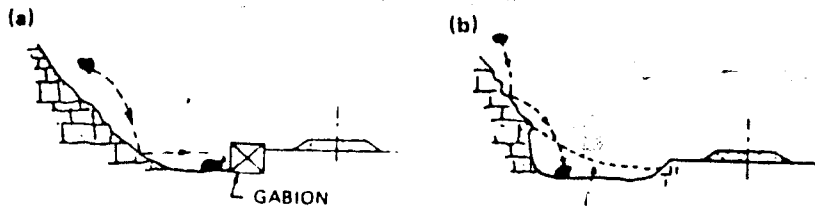
## 3. Το πρόγραμμα Rockfall

Για την ανάλυση προβλημάτων καταπτώσεων βράχων αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα σε κώδικα Borland C++, το οποίο βασίζεται σε σχετικό πρόγραμμα του Καθηγητού E. Hoek [14].

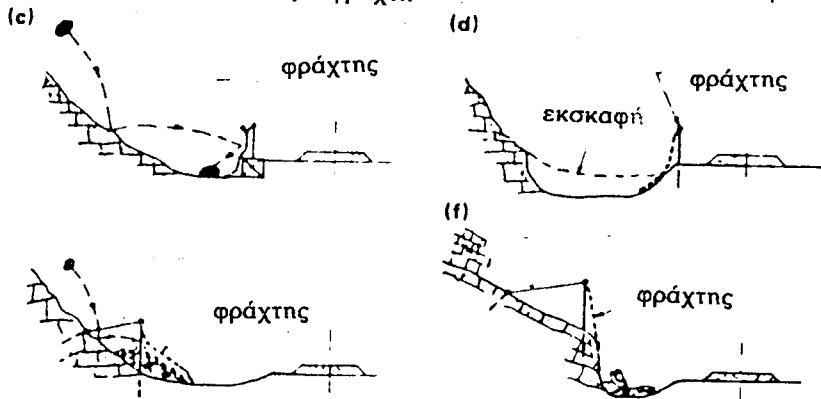


Σχήμα 2, Μέτρα αντιμετώπισης, α) επιρροή της κλίσης του πρανούς στο είδος της τροχιάς, β) νομογράφημα για την επιλογή των αναγκαίων διαστάσεων της τάφρου προστασίας.

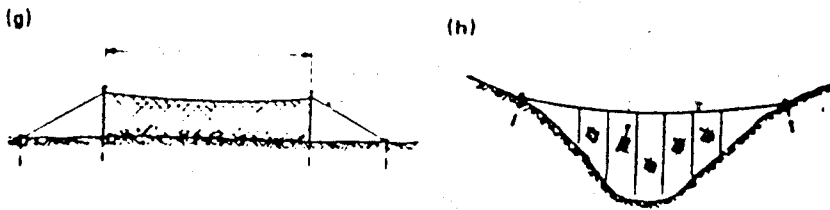
Διαμόρφωση τάφρων χωρίς φράχτη



Διαμόρφωση τάφρων με φράχτη

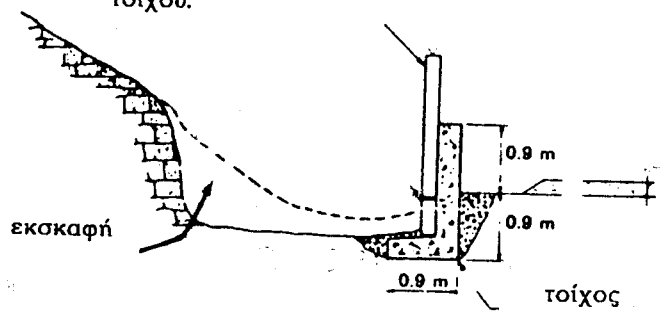


Τύποι φραχτών



Προκατασκευασμένος τοίχος  
απο σκυρόδεμα

πάσσαλοι ανα 40 cm για  
μείωση της κρούσης και  
αύξηση του ύψους του  
τοίχου.



Σχήμα 3, Μέτρα ανάσχεσης των βράχων.

Επελέγη ο συγκεκριμένος κώδικας διότι , εκτός των άλλων πλεονεκτημάτων του , είναι ευχερής η μεταγραφή του ώστε να λειτουργεί σε περιβάλλον Windows.

Η ανάλυση βασίζεται σε προγενέστερο έργο το οποίο είναι δημοσιευμένο στη διεθνή βιβλιογραφία [7,12,14,15,16] . Οι δυνατές μορφές κίνησης που μπορεί να ακολουθήσει ένα βραχοτεμάχιο είναι οι ακόλουθες : α) ολίσθηση ή κύλιση , β) ελεύθερη πτώση και γ) κίνηση με αρχική ταχύτητα .

α) Ολίσθηση ή κύλιση.

Η επιφάνεια του πρανούς θεωρείται ως μία πολυγωνική γραμμή και η ταχύτητα του σώματος υπολογίζεται από τους τύπους της επιταχυνόμενης κίνησης καθώς αυτό κινείται υπό την επίδραση της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Υπολογίζεται η τροχιά που ακολουθεί και το σημείο στο οποίο συναντά το επόμενο τμήμα της πολυγωνικής . Στο σημείο αυτό υπολογίζει την ταχύτητα που έχει αποκτήσει και εξετάζει τις συνθήκες κίνησης στη νέα επιφάνεια. Εάν η κλίση επιτρέπει την ολίσθηση ή την κύλιση ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του νέου τμήματος της πολυγωνικής.

β) Ελεύθερη πτώση.

Η περίπτωση αυτή συναντάται σε απότομα πρανή όπου υπάρχουν κατακόρυφες επιφάνειες ή ακόμη και επιφάνειες με αρνητική κλίση απόπου είναι δυνατή η πτώση των βράχων. Η ταχύτητα υπολογίζεται από τους τύπους της ελεύθερης πτώσης των σωμάτων και υπολογίζεται η θέση που συναντά την επιφάνεια του πρανούς καθώς και η ταχύτητα που έχει κατά τη στιγμή της επαφής. Στο σημείο αυτό γίνεται πρόσκρουση και υπολογίζεται η ανακλώμενη ταχύτητα λαμβάνοντας υπόψη την απώλεια ενέργειας κατά την κρούση. Η ανακλώμενη ταχύτητα υπολογίζεται με τη βοήθεια κατάλληλα επιλεγόμενων συντελεστών ανάλογα με την υφή της επιφάνειας πρόσπτωσης.Στον Πίνακα 1 δίνονται οι τιμές των συντελεστών κρούσης που συνιστά ο Hoek [14] ανάλογα με το είδος της επιφάνειας :

Πίνακας 1

| Επιφάνεια πρανούς                                    | Συντελεστές | Κρούσης       |
|--|-------------|---------------|
|  | Κάθετος     | Εφαπτομενικός |
| Καθαρή επιφάνεια βράχου                              | 0,53        | 0,99          |
| Οδόστρωμα ασφάλτου                                   | 0,40        | 0,90          |
| Εμφάνισεις βράχου με σκληρή επιφάνεια, μεγάλοι λίθοι | 0,35        | 0,85          |
| Κάλυμμα κορημάτων                                    | 0,32        | 0,82          |
| Κάλυμμα κορημάτων με βλάστηση                        | 0,32        | 0,80          |
| Μαλακό έδαφος, βλάστηση                              | 0,30        | 0,80          |

γ) Κίνηση με αρχική ταχύτητα.

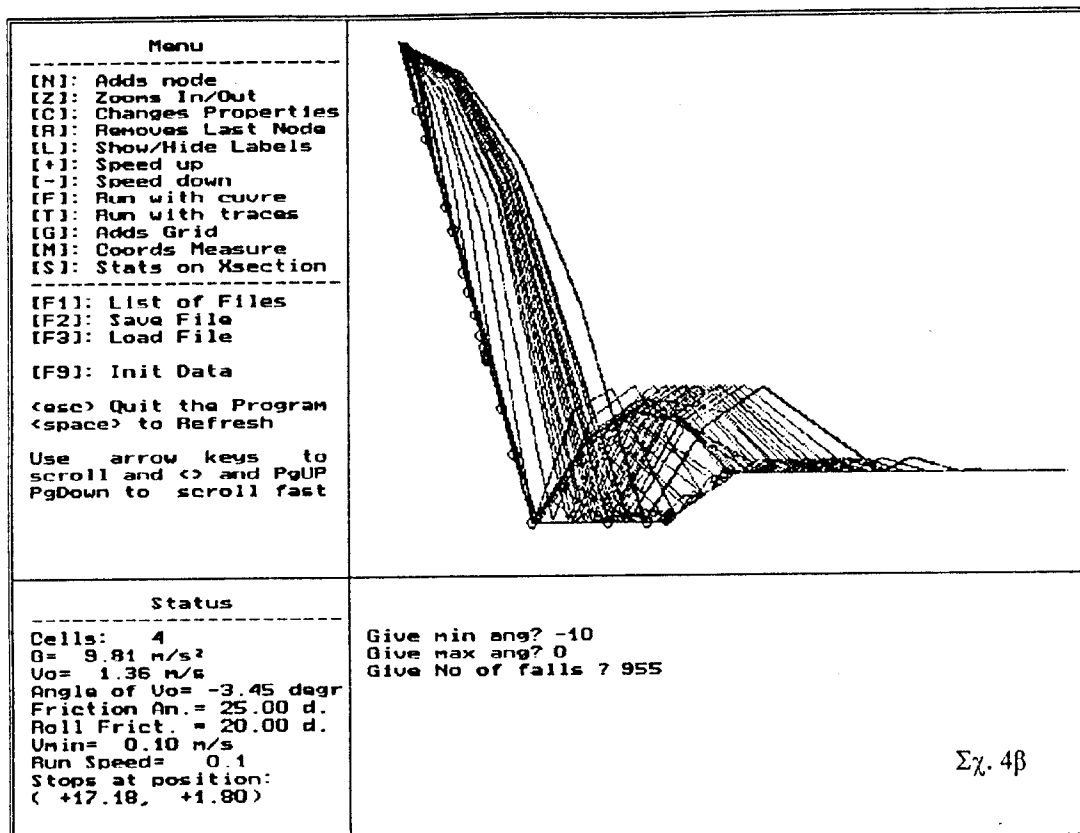
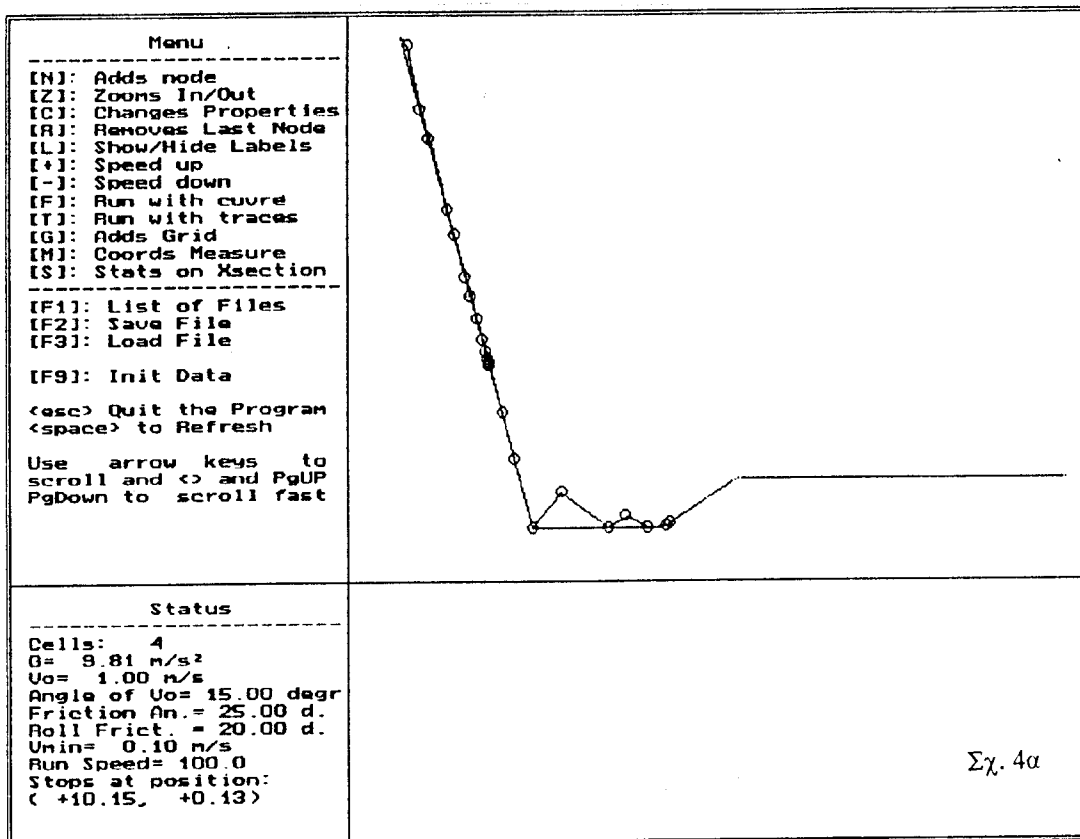
Υπολογίζεται η παραβολική τροχιά που διαγράφεται από το σώμα και υπολογίζεται το σημείο επαφής με την επιφάνεια του πρανούς καθώς και η ταχύτητα κατά την στιγμή της πρόσκρουσης . Στη συνέχεια υπολογίζεται η ταχύτητα ανάκλασης και εξετάζονται οι συνθήκες κίνησης στο τμήμα της επιφάνειας του πρανούς όπου έγινε η κρούση . Κατά τον Giani [12] η τιμή της αρχικής ταχύτητας κυμαίνεται μεταξύ 1 m/s έως 3 m/s .Στην περίπτωση πρανών σε περιοχές με έντονη σεισμική δράση θα πρέπει να εξεταστεί η σχέση της επιτάχυνσης του σεισμού με την αρχική κίνηση των βράχων.

Λόγω του στοχαστικού χαρακτήρα του φαινομένου, ακολουθήθηκε η μέθοδος της στατιστικής ανάλυσης της τροχιάς με την παραγωγή διαγραμμάτων συχνότητας (Ιστογράμματα) για τα μεγέθη της ταχύτητας και του ύψους αναπήδησης σε σημείο του πρανούς που επιλέγουμε .Υπολογίζεται επίσης και το διάγραμμα συχνότητας της απόστασης στην οποία σταματά να κινείται ο βράχος.Το δεδομένο για τους υπολογισμούς αυτούς είναι το εύρος τιμών της αρχικής ταχύτητας καθώς και το εύρος τιμών της γωνίας της ταχύτητας αυτής. Το πρόγραμμα παράγει τυχαίες τιμές ταχυτήτων και γωνιών ,μέσα στο διάστημα που ορίσαμε και ακολουθούν οι υπολογισμοί για την σχεδίαση των διαγραμμάτων συχνότητας.Η μέθοδος αυτή της στατιστικής ανάλυσης έχει εφαρμοστεί με επιτυχία όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία [15,16,17].

Το πρόγραμμα έχει σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολη η χρήση του .Η οθόνη του παρουσιάζει τέσσερα παράθυρα,ένα παράθυρο επιλογών,ένα παράθυρο γραφικών,ένα εισαγωγής δεδομένων και ένα όπου εμφανίζεται σύνοψη των δεδομένων και των αποτελεσμάτων. Στο Σχήμα 4α φαίνεται η οθόνη με τα παράθυρα, στα οποία φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για συγκεκριμένη τιμή αρχικής ταχύτητας και διεύθυνσης καθώς και η τροχιά της πτώσης. Είναι όμως δυνατή η επιλογή της στατιστικής ανάλυσης για κάποια θέση του πρανούς που επιθυμούμε. Στο Σχήμα 4β φαίνονται οι 45 από τις 1000 τροχιές που παράγονται κατά τον τρόπο που περιγράφηκε ,ενώ στα Σχήματα 5α, 5β, 5γ και 5δ παρουσιάζονται τα διαγράμματα συχνοτήτων και ο πίνακας δεδομένων της στατιστικής ανάλυσης .

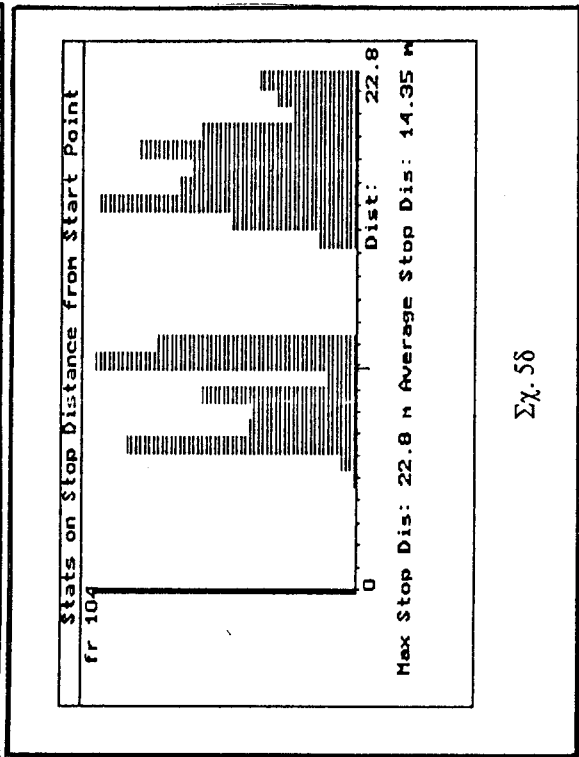
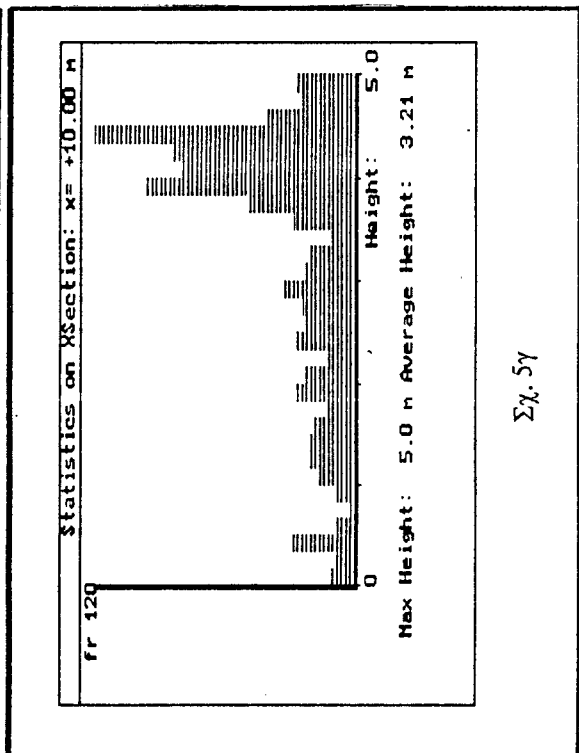
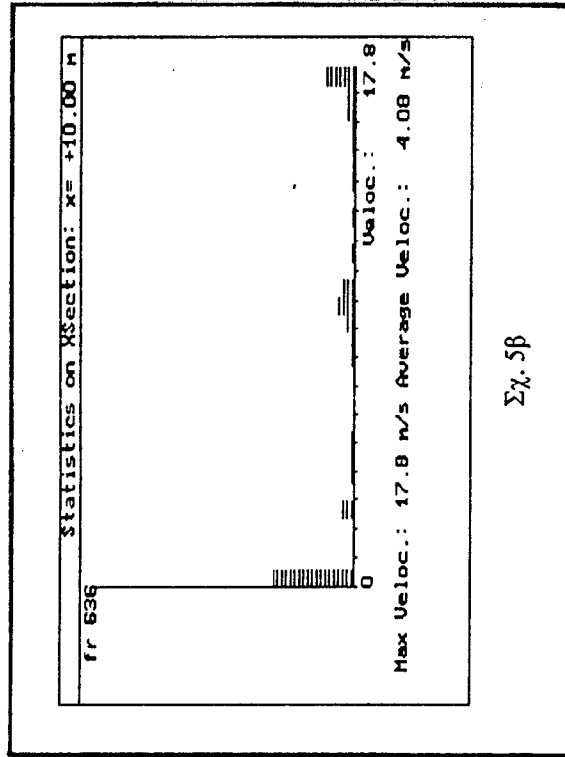
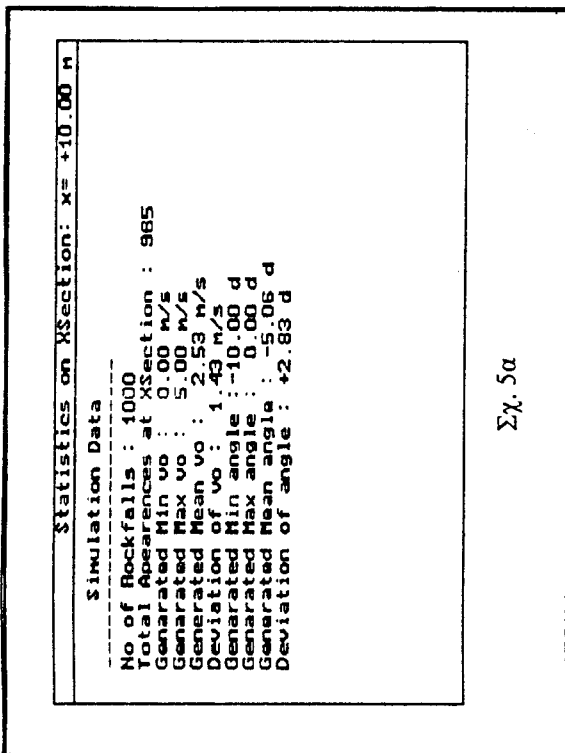
#### **4. Συμπεράσματα**

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα Borland C ++ με το οποίο είναι δυνατή η παραμετρική ανάλυση του προβλήματος των καταπτώσεων των βραχοτεμαχίων σε πρανή . Με την ανάλυση αυτή μπορεί να γίνει εκτίμηση των αναγκαίων μέτρων προστασίας ,καθώς θα έχουμε εκτιμήσει τα μεγέθη ταχύτητας και ύψους αναπήδησης των βράχων.



Σχήμα 4, Οθόνη του προγράμματος Rockfall ,α) η τροχιά που διαγράφεται για συγκεκριμένη αρχική ταχύτητα, β) οι 45 από τις 1000 τροχιές που υπολογίζονται κατά την στατιστική ανάλυση.





Σχ. 5, Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, α) ο πίνακας δεδομένων, β) το διάγραμμα συχνοτήτων των ταχυτήτων, γ) το διάγραμμα συχνοτήτων του ύψους αναπήδησης, δ) το διάγραμμα συχνοτήτων της απόστασης.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **Popescu M.**: “ Recent Progress in the Activity of the Unesco Working Party on World Landslide Inventory with special reference to Landslide Causes “, **1<sup>st</sup> Tokushima International Seminar on Slope Stability Engineering**, pp 52-72, December 1993.
- [2] **Legget R. and P. Karrow** : **Handbook of Geology in Civil Engineering** , McGraw-Hill, N.York ,1982 .
- [3] **Attewell P. and I. Farmer** : **Principles of Engineering Geology**, Chapman and Hall, London 1976.
- [4] **Koukis G., G. Tsiambaos and N. Sabatakakis** : “ Slope movements in the Greek territory: A statistical approach ” , **Proceedings ,7<sup>th</sup> International IAEG Congress**, pp 4621-4628, Balkema ,Rotterdam, 1994.
- [5] **Ambraseys N.N. and J.A. Jackson** : “ Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988 “ , **Geophys. J. Int.** 101 , pp. 663-708 ,1990.
- [6] **Παπαζάχου Β. και Κ. Παπαζάχου** : **Οι Σεισμοί της Ελλάδας** , Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη ,1989 .
- [7] **Pariseau W. G. and B. Voight** : **Rockslides and Avalanches** , Vol . 1 (1978), Vol. 2 (1979), Elsevier ,Amsterdam .
- [8] **Govi M.** : “ Landslides “ , in **Proceedings of the International Meeting on the Friuli Earthquake, Udine 1976**, Section 1: Seismology-Geophysics-Geology, **Bollettino di Geofisica Vol. XIX**, Special Issue, pp 788-791, Dicembre 1976
- [9] **Sofianos A., C. Constantinidis, J. Christodoulis and A. Anagnostopoulos** : “Rockfall analysis at the ancient region of Argos “, in **Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites**, **Marinos & Koukis (eds.)** ,pp 213-216, Balkema, Rotterdam, 1988.
- [10] **Hoek E. and J.W. Bray** : **Rock Slope Engineering**, Second edition, Institution of Mining and Metallurgy, London ,1977.
- [11] **Piteau D.R. and F.L. Peckover** : **Engineering of Rock Slopes** , in **Landslides-Analysis and Control**, eds. R.L. Schuster and R.J. Krizek, **TRB Special Report 176**, National Academy of Sciences, Washington ,D.C. ,pp 192-228, 1978.
- [12] **Giani G.P.** : **Rock Slope Analysis** , Balkema, Rotterdam ,1992.
- [13] **Ritchie A.M.** : “ Evaluation of rockfall and its control “ , **Record 17**, Highway Research Board, pp 13-28, 1963.
- [14] **Hoek E.** : “ Rockfall - A Program for the Analysis of Rockfalls from Slopes “.
- [15] **Bozzolo D. and R. Pamini** : “ Simulation of Rock Falls down a Valley Side “ , **Acta Mechanica** 63, pp 113-130, 1986.
- [16] **Kobayashi Y. , E.L. Harp and T. Kagawa** : “ Simulation of Rockfalls Triggered by Earthquakes “, **Rock Mechanics and Rock Engineering** 23, pp 1-20, 1990 .
- [17] **Colorado Department of Transportation** : **Users guide to ROCKFALL II**., Denver , Colorado.

---

<sup>1</sup> Λέκτορας Ε.Μ.Π. , <sup>2</sup> Σπουδαστής Α.Τ.Μ. , <sup>3</sup> Διπλωματούχος Α.Τ.Μ.