



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΓΕΝΙΚΗ Δ/ΝΣΗ ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΕΩΣ  
ΜΟΥΣΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ  
Δ/ΝΣΗ ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΕΩΣ  
ΑΡΧΑΙΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

κα. Καραγιάννη:  
βυνηνούτσι

ΑΔΑ: 7ΥΝΧΓ-Ν4Α  
Αθήνα, 23 Ιανουαρίου 2015

de

6

Ταχ. Δ/ση : Πλ. Καρύτση 12  
Ταχ. Κώδικας : 105 61 – Αθήνα  
Πληροφορίες : Ι. Παπαμαντέλλου  
Τηλέφωνο : 210. 3253397  
FAX : 210. 3242509  
E-mail : [iparamantellou@culture.gr](mailto:iparamantellou@culture.gr)

Αριθμ. Πρωτ.  
ΥΠΠΟΑ/ΓΔΑΜΤΕ/ΔΑΑΜ/ΤΜΑΜ/  
10709/1090/66/35  
ΚΟΙΝ.: Πίνακας αποδεκτών

**ΘΕΜΑ:** Έγκριση μελέτης ευστάθειας του δυτικού πρανούς του ορυχείου Κυπαρισσίων στο Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης, Π.Ε. Αρκαδίας, Περιφέρειας Πελοποννήσου.

### ΑΠΟΦΑΣΗ

Έχοντας υπ' όψιν:

1. Τις διατάξεις του Π.Δ 63/2005 (ΦΕΚ 98/Α/22.4.2005) «Κωδικοποίηση της Νομοθεσίας για την Κυβέρνηση και τα Κυβερνητικά Όργανα».
2. Το Π.Δ. 104/2014 (ΦΕΚ 171/Α'/28.08.2014) «Οργανισμός του Υπουργείου Πολιτισμού και Αθλητισμού», όπως τροποποιήθηκε μια ισχύει με τα αρ. 31 και 39 του Ν.4305/2014 (ΦΕΚ 237/Α/31.10.2014).
3. Τις διατάξεις του Π.Δ. 118/2013 (ΦΕΚ 152/Α/25.06.2013) «Τροποποίηση του ΠΔ 85/2012 (Α' 141) – Ίδρυση Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και Υπουργείου Πολιτισμού και Αθλητισμού και μετονομασία των Υπουργείων Ανάπτυξης, Ανταγωνιστικότητας, Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και Παιδείας, Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού σε Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας και Πολιτισμού και Αθλητισμού αντιστοίχως.»
4. Τις διατάξεις του Π.Δ. 89/2014 (ΦΕΚ 134/Α/10.06.2014) «Διορισμός Υπουργών, Αναπληρωτών Υπουργών και Υφυπουργών».
5. Τις διατάξεις του Ν. 3028/2002 (ΦΕΚ 153/Α/28-6-2002) «Για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς» και τον Ν. 216/43 «Περί Οργανώσεως της Υπηρεσίας Αναστήλωσεως των Αρχαίων και Ιστορικών Μνημείων του Κράτους», όπως έχει διατηρηθεί σε ισχύ σήμερα (ΦΕΚ 161/Α/1.6.1943).
6. Το Ν. 3378/2005 (ΦΕΚ 203/Α/19.08.2005) «Κύρωση της Ευρωπαϊκής Σύμβασης για την Προστασία της Αρχαιολογικής Κληρονομιάς (αναθεωρημένη)».
7. Τις διατάξεις του Π.Δ. 263/87 «Όργανα που αποφασίζουν ή γνωμοδοτούν και ειδικές ρυθμίσεις έργων που εκτελούνται από το ΥΠΠΟ», όπως τροποποιήθηκε και ισχύει σήμερα (ΦΕΚ 127/Α/9.7.1987)
8. Τις εισηγήσεις των αρμόδιων εισηγητών της ΔΠΚΑ και ΔΑΑΜ επί του θέματος.
9. Τα στοιχεία του φακέλου.
10. Την ομόφωνη γνωμοδότηση του Κεντρικού Αρχαιολογικού Συμβουλίου, όπως διατυπώθηκε στην υπ' αριθμ. 41/09.12.2014 Συνεδρία του.

### ΑΠΟΦΑΣΙΖΟΥΜΕ

Την έγκριση της μελέτης ευστάθειας του δυτικού πρανούς του ορυχείου Κυπαρισσίων στο Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης, Π.Ε. Αρκαδίας, Περιφέρειας

Πελοποννήσου, δεδομένου ότι τα προτεινόμενα σε αυτήν μέτρα θα εξασφαλίσουν την προστασία του αρχαιολογικού χώρου της αρχαίας Τραπεζούντας.

**Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ  
ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΑΣΟΥΛΑΣ**

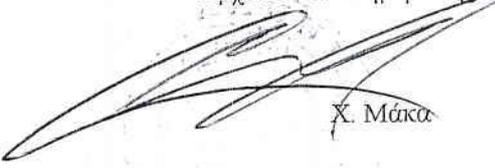
Εσωτερική Διανομή

1. ΔΑΑΜ
2. Τμήμα Μελετών
3. Ι. Παπαμαντέλλου

Πίνακας αποδεκτών

1. Γραφείο Υπουργού
2. Γραφείο Γεν. Γραμματέως Πολιτισμού
3. Γενική Δ/ση Αναστήλωσης Μουσείων & Τεχνικών Έργων.
4. Γενική Δ/ση Αρχαιοτήτων και Πολιτιστικής Κληρονομιάς.
5. ΔΠΓΚΑ
6. Εφορεία Αρχαιοτήτων Αρκαδίας
7. Γραμματεία του ΚΑΣ

Ακριβές Αντίγραφο  
Η Προϊσταμένη της Γραμματείας  
Αρχείου και Ενημέρωσης Κοινού

  
Χ. Μάκα

**ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ (ΔΕΗ)  
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΟΡΥΧΕΙΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΔΥΤΙΚΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ  
ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΚΥΠΑΡΙΣΙΩΝ (ΧΘ 21+600 έως ΧΘ 22+300)  
ΤΟΥ Λ.Κ. ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΕΙ  
ΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΤΡΑΠΕΖΟΥΝΤΟΣ**

Μελετητής :

**ΜΙΧΑΛΗΣ Ι. ΚΑΒΒΑΔΑΣ**  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός  
Αναπλ. Καθηγητής Ε. Μ. Πολυτεχνείου

Αθήνα, Μάρτιος 2010

**Μελέτη ευστάθειας του τελικού Δυτικού Πρανούς  
του Ορυχείου Κυπαρισσίων (περιοχή ΧΘ 21+600 έως ΧΘ 22+300)  
του Λ. Κ. Μεγαλόπολης που περιβάλλει  
τον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Τραπεζούντος**

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

|   |    |
|---|----|
| 1. Σύνοψη και συμπεράσματα.....   | 2  |
| 2. Εισαγωγή .....   | 7  |
| 3. Γεωτεχνικές Συνθήκες – γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού .....               | 8  |
| 4. Αναλύσεις ευστάθειας στα ανατολικά και βορείως του αρχαιολογικού χώρου ..... | 11 |
| 5. Αναλύσεις ευστάθειας στα βορειοδυτικά του αρχαιολογικού χώρου.....           | 25 |

### **1. Σύνοψη και συμπεράσματα**

Η παρούσα Μελέτη αναφέρεται στις συνθήκες ευστάθειας και τα απαιτούμενα μέτρα ενίσχυσης του τελικού Δυτικού πρανούς του Ορυχείου Κυπαρισσίων (περιοχή ΧΘ 21+600 έως ΧΘ 22+300) του Λ. Κ. Μεγαλόπολης που περιβάλλει τον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Τραπεζούντος από την ανατολική, βόρεια και βορειοδυτική του πλευρά.

Η Μελέτη συντάχθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων της Έγκρισης των Περιβαλλοντικών Όρων για την εκμετάλλευση των λιγνιτωρυχείων Μεγαλόπολης Ν. Αρκαδίας από την ΔΕΗ. Ειδικότερα, οι περιβαλλοντικοί όροι απαιτούν την «εκπόνηση ειδικής τεχνικής μελέτης για την αντιστήριξη του διατηρούμενου τμήματος της αρχαίας πόλης, η οποία θα υλοποιηθεί το ταχύτερο δυνατόν, προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος κατάρρευσης των διασωθέντων αρχαίων καταλοίπων, εξ αιτίας κατολισθήσεων και καθιζήσεως εδαφών». Ειδικότερα, η εκπόνηση της παρούσας Μελέτης έγινε με σκοπό να προταθούν τα απαιτούμενα μέτρα προστασίας του τελικού πρανούς του Ορυχείου γύρω από τον αρχαιολογικό χώρο ώστε να μην προκληθούν ρωγμές στην επιφάνεια του εδάφους που θα μπορούσαν να επηρεάσουν δυσμενώς τις αρχαιότητες μετά το πέρας της αποκατάστασης του πρανούς ορυχείου στην περιοχή που βρίσκεται κοντά στον αρχαιολογικό χώρο.

Ο υπογράφων επισκέφθηκε την περιοχή ενδιαφέροντος του λιγνιτωρυχείου Κυπαρισσίων και διαπίστωσε τα εξής :

1. Ο αρχαιολογικός χώρος εκτείνεται κατά μήκος του δυτικού πρανούς του ορυχείου μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων 21+600 και 22+300 περίπου. Το ορυχείο περιβάλλει τον αρχαιολογικό χώρο στην ανατολική, βόρεια και βορειοδυτική του

- πλευρά. Τα αρχαιολογικά ευρήματα βρίσκονται πέραν της στέψης του πρανούς, σε στάθμη +347 περίπου, αλλά αρκετά κοντά στο όριο της στέψης του πρανούς.
2. Το πρανές του ορυχείου στην περιοχή που γειτνιάζει με τον αρχαιολογικό χώρο έχει διανοιχθεί πριν από αρκετά χρόνια (περί το 2001) και παρουσιάζεται ευσταθές αφού δεν έχουν εκδηλωθεί ρωγμές ή άλλες ενδείξεις μετακινήσεων. Σύμφωνα με τα στοιχεία που μου παρασχέθηκαν από την ΔΕΗ, τα αποτελέσματα των μετρήσεων των μετακινήσεων στους εγκατεστημένους μάρτυρες δείχνουν πρακτικώς σταθερή συμπεριφορά.
  3. Το βαθύ τμήμα του ορυχείου (δάπεδο στο +290 περίπου) βρίσκεται στην ανατολική και βόρεια πλευρά του αρχαιολογικού χώρου. Το πρανές του ορυχείου στην περιοχή αυτή έχει μέση κλίση 1:4 (υ:β) με στέψη σε στάθμη +347 περίπου και τελικό δάπεδο σε υψόμετρο +287 έως +297 (αναλόγως της θέσης). Ενδιάμεσοι αναβαθμοί υπάρχουν σε στάθμες +340, +320 και +315 περίπου. Τοπικά, στα ανώτερα 10 μέτρα ύψους περίπου, η κλίση του πρανούς είναι αρκετά πιο απότομη και φθάνει το 1:2 (υ:β) και τοπικά το 1:1. Αν και δεν παρατηρούνται ίχνη αστάθειας ή παραμορφώσεων, λόγω της απότομης κλίσης του ανώτερου τμήματος, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα διαμόρφωσης της κλίσης όπως περιγράφεται στα επόμενα.
  4. Το τμήμα του ορυχείου στην βορειοδυτική (ΒΔ) πλευρά του αρχαιολογικού χώρου έχει μικρότερο βάθος (δάπεδο στο +325 περίπου) αλλά είναι διαμορφωμένο με αρκετά πιο απότομη μέση κλίση, 1:3 (υ:β) περίπου και τοπικά στις ανώτερες στάθμες φθάνει ακόμη και το 1:1. Στο όριο της στέψης του πρανούς βρίσκεται η οδός πρόσβασης στον αρχαιολογικό χώρο (χωμάτινη οδός). Αν και η οδός βρίσκεται σε απόσταση πολύ λίγων μέτρων από τη στέψη του πρανούς (το οποίο μάλιστα είναι αρκετά απότομο στα ανώτερα μέτρα του ύψους του) δεν διαπιστώθηκαν βλάβες (όπως π.χ. ρωγμές ή μετακινήσεις) στον δρόμο. Παρά ταύτα, λόγω της απότομης κλίσης του ανώτερου τμήματος, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα διαμόρφωσης της κλίσης όπως περιγράφεται στα επόμενα.
  5. Στην ακριβώς παρακείμενη (προς νότον) περιοχή του δυτικού πρανούς του ορυχείου (περιοχή από ΧΘ 21+100 έως ΧΘ 21+600), η οποία όμως δεν γειτνιάζει με τον αρχαιολογικό χώρο αλλά με τον λόφο που βρίσκεται νοτίως του αρχαιολογικού χώρου, είχε εκδηλωθεί εκτεταμένη κατολίσθηση του πρανούς στις 11/2/2000 με μετακινήσεις του πρανούς προς τα κατόντη αρκετών δεκάδων μέτρων. Η αστοχία του πρανούς είχε παρασύρει και ένα εκσκαφέα, χωρίς ευτυχώς θύματα ή τεχνικές βλάβες στο μηχάνημα. Κατά τον χρόνο της κατολίσθησης, το πρανές στην περιοχή της αστοχίας ήταν διαμορφωμένο με μέση κλίση 1:3 περίπου. Για την αστοχία αυτή είχε συνταχθεί Τεχνική Έκθεση από Ειδική Επιτροπή διερεύνησης στην οποία συμμετείχε και ο υπογράφων. Με βάση τις υποδείξεις της Επιτροπής, η περαιτέρω εκμετάλλευση του ορυχείου στην δυτική πλευρά γίνεται με μέση κλίση 1:4, η οποία έχει αποδειχθεί ευσταθής αφού έκτοτε δεν έχουν σημειωθεί άλλες αστοχίες ή και αστάθειας του πρανούς.

Με βάση τις ανωτέρω παρατηρήσεις, εκτελέστηκαν αναλύσεις ευστάθειας του πρανούς ώστε να υπολογισθεί ο διαθέσιμος συντελεστής ασφαλείας στη σημερινή κατάσταση σε διάφορες διατομές του πρανούς γύρω από τον αρχαιολογικό χώρο. Οι αναλύσεις έγιναν με το πρόγραμμα H/Y SLIDE v5 της εταιρείας ROCSCIENCE INC. Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε ένα σετ ενιαίων γεωτεχνικών παραμέτρων για τα υλικά του πρανούς (δηλαδή υπερκείμενα άγωνα και λιγνιτικές στρώσεις με τα ενδιάμεσα άγωνα) για τους εξής λόγους :

1. Από τις κοιτασματολογικές διατομές στην περιοχή ενδιαφέροντος προκύπτει ότι υπάρχει ετερογένεια της στρωματογραφικής ακολουθίας με ποικιλία στρωματογραφικών εναλλαγών, παχών και κλίσεων, των λιγνιτικών στρώσεων με τα άγονα. Τούτο οφείλεται κυρίως στην γεινίαση του κοιτάσματος με τα κράσπεδα της λεκάνης. Συνεπώς, δεν είναι αξιόπιστη η διαμόρφωση μιας (ή και περισσότερων της μιάς) τυπικής διατομής για τις αναλύσεις αφού η διαστρωμάτωση που θα γίνει δεκτή δεν είναι αντιπροσωπευτική.
2. Στην περιοχή ακριβώς νοτίως της θέσης ενδιαφέροντος συνέβη (στις 11/2/2000) αστοχία του πρανούς με μετακινήσεις προς τα κατόντη αρκετών δεκάδων μέτρων. Η αστοχία εκείνη είχε αναλυθεί από την Επιτροπή Εμπειρογνομόνων που συστάθηκε για τον σκοπό αυτό και είχαν προκύψει (από την ανάστροφη ανάλυση) οι αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων με θεώρηση ενιαίου υλικού στο πρανές. Οι τιμές αυτές είναι αντιπροσωπευτικές και για την περιοχή ενδιαφέροντος (λόγω της μικρής απόστασης) και παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία επειδή βασίζονται σε ανάστροφη ανάλυση με γνωστό συντελεστή ασφαλείας (ίσο με την μονάδα λόγω της αστοχίας).

Από τις αναλύσεις ευστάθειας που εκτελέσθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα - προτάσεις :

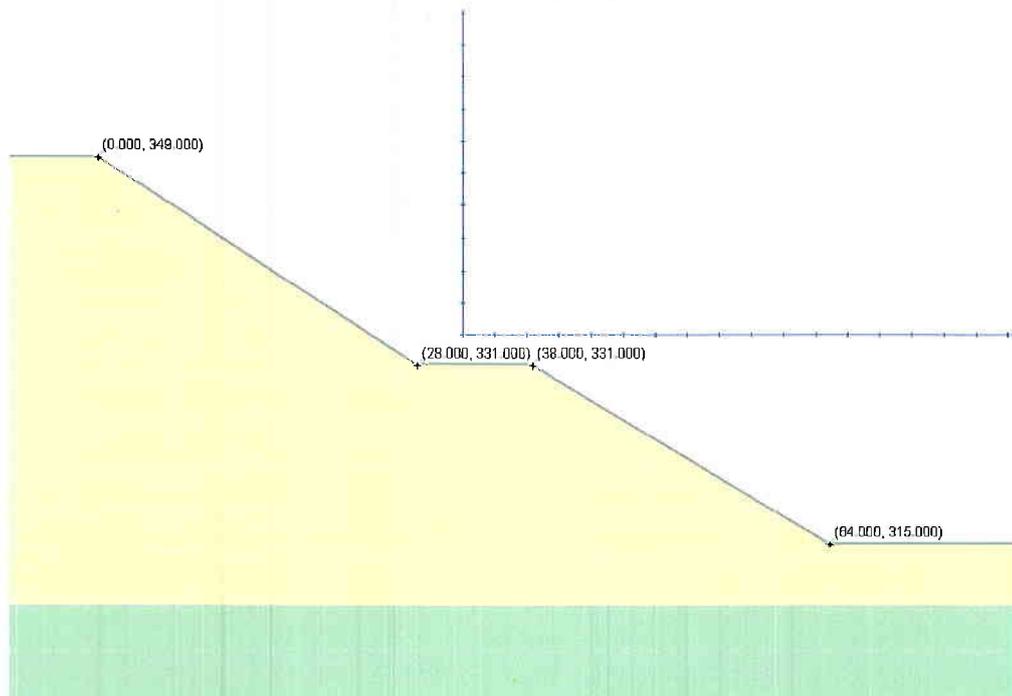
**1. Ευστάθεια του ανατολικού και βόρειου πρανούς του αρχαιολογικού χώρου :**

Ασφάλεια έναντι γενικής αστοχίας του πρανούς :

Το σημερινό υφιστάμενο πρανές του ορυχείου στην περιοχή ενδιαφέροντος έχει συντελεστή ασφαλείας έναντι γενικής αστοχίας 1.465 που κρίνεται αποδεκτός αφού είναι μεγαλύτερος του  $FS=1.375$  που θεωρείται ως ελάχιστος αποδεκτός κατά τον Ευρωκώδικα 7 για την Ελλάδα. Παρά ταύτα, και για περαιτέρω αύξηση της ασφάλειας λόγω της μεγάλης σημασίας του αρχαιολογικού χώρου, θεωρήθηκε ότι μετά το πέρας εκμετάλλευσης του ορυχείου, το δάπεδο θα επιχωθεί μέχρι τη στάθμη +310 περίπου. Αυτό το πρανές θα έχει συντελεστή ασφαλείας έναντι γενικής αστοχίας 1.723 που επίσης κρίνεται ως πολύ ικανοποιητικός. Η εκβάθυνση της εκσκαφής του σημερινού πρανούς μέχρι το τελικό δάπεδο σε στάθμη +270 θα πρέπει να γίνει με φατνώματα (ντουλάπια) εύρους της τάξεως των 100 μέτρων, και επίχωση του ενός φατνώματος πριν την εκσκαφή του επόμενου (περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στο κείμενο της μελέτης). Κατά την διάρκεια των εργασιών εκβάθυνσης, οι τυχόν μετακινήσεις της επιφάνειας του πρανούς θα πρέπει να παρακολουθούνται με τοπογραφική μέθοδο με την εγκατάσταση μαρτύρων. Θα πρέπει να παρακολουθούνται διατομές ανά 100 μέτρα με την εγκατάσταση τεσσάρων σημείων παρακολούθησης ανά διατομή.

Ασφάλεια έναντι τοπικής αστοχίας του ανώτερου τμήματος του πρανούς :

Το ανώτερο τμήμα (δηλαδή η ανώτερη βαθμίδα) του πρανούς στην ανατολική και βόρεια πλευρά του αρχαιολογικού χώρου έχει ύψος περί τα 20 μέτρα και έχει διαμορφωθεί με κλίσεις της τάξεως του 1:1 (περίπου 45 μοίρες). Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι ο συντελεστής ασφαλείας ισούται με 1.14, τιμή που είναι μεν μεγαλύτερη της μονάδας (και συνεπώς το πρανές δεν αστοχεί) αλλά δεν θεωρείται επαρκής. Με βάση τις αναλύσεις ευστάθειας που εκτελέσθηκαν, προκύπτει ότι η ανώτερη βαθμίδα (ύψους έως 20 μέτρων) πρέπει να διαμορφωθεί με κλίση 2:3 (υ:β) ώστε να επιτευχθεί ο αποδεκτός συντελεστής ασφαλείας ( $> 1.375$ ). Σε περίπτωση όπου το ύψος της ανώτερης βαθμίδας υπερβαίνει τα 20 μέτρα, θα πρέπει να παρεμβάλλεται αναβαθμός εύρους τουλάχιστον 5 μέτρων σε στάθμη +328 περίπου.



Απαιτούμενη διαμόρφωση της διατομής του ανώτερου τμήματος του πρανούς στην ανατολική και βόρεια πλευρά του αρχαιολογικού χώρου, με κλίση 2:3 (υ:β) από την επιφάνεια (στάθμη +349 περίπου) μέχρι τη στάθμη +331 και παρεμβολή ενδιάμεσου αναβαθμού εύρους τουλάχιστον 5 μέτρων σε στάθμη +331.

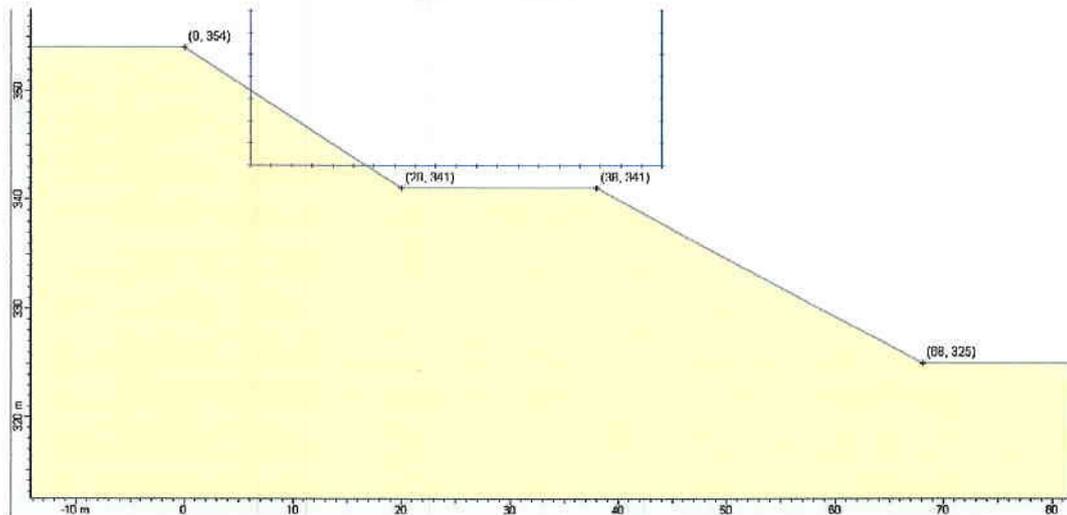
## 2. Ευστάθεια του βόρειο-δυτικού πρανούς του αρχαιολογικού χώρου :

Ασφάλεια έναντι γενικής αστοχίας του πρανούς :

Το πρανές στα βορειοδυτικά του αρχαιολογικού χώρου έχει μικρότερο ύψος από το αντίστοιχο πρανές στην ανατολική και βόρεια πλευρά του αρχαιολογικού χώρου (το οποίο έχει επαρκή ασφάλεια έναντι γενικής αστοχίας) και συνεπώς δεν υπάρχει θέμα γενικής ευστάθειας αφού το ανατολικό και βόρειο πρανές είναι ευσταθές.

Ασφάλεια έναντι τοπικής αστοχίας του ανώτερου τμήματος του πρανούς :

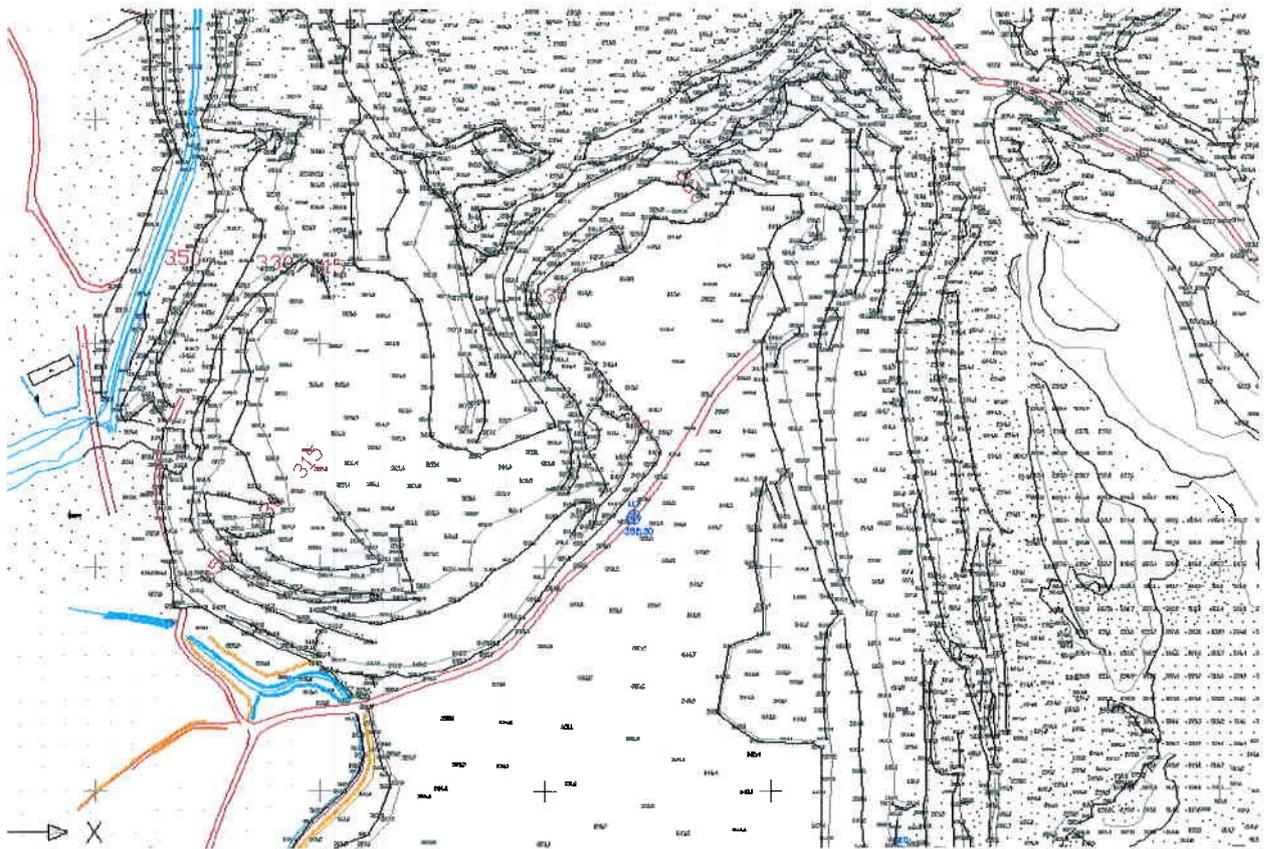
Η ανώτερη βαθμίδα του πρανούς στην περιοχή αυτή έχει ύψος 13 μέτρα (από το +354 έως το +341) και κλίση 8:13 (υ:β). Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.254$ . Ο συντελεστής αυτός είναι μεν μεγαλύτερος της μονάδας (και συνεπώς το πρανές δεν αστοχεί) αλλά δεν θεωρείται επαρκής. Για τη βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας εξετάστηκε απάλυνση της κλίσης της ανώτερης βαθμίδας σε 2:3 (υ:β). Με βάση τις αναλύσεις ευστάθειας που εκτελέστηκαν, προκύπτει ότι η ανώτερη βαθμίδα (ύψους έως 13 μέτρων) πρέπει να διαμορφωθεί με κλίση 2:3 (υ:β) ώστε να επιτευχθεί ο αποδεκτός συντελεστής ασφαλείας ( $> 1.375$ ). Σε περίπτωση όπου το ύψος της ανώτερης βαθμίδας υπερβαίνει τα 15 μέτρα, θα πρέπει να παρεμβάλλεται αναβαθμός εύρους τουλάχιστον 5 μέτρων, όπως φαίνεται στην επόμενη διατομή :



Η διαμόρφωση του ανώτερου τμήματος του πρανούς με κλίση 2:3, όπως περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να γίνει με υλικά αγόνων του ορυχείου τα οποία θα διαστρωθούν σε στρώσεις πάχους 30-50 εκατοστών. Δεν απαιτείται ιδιαίτερη συμπύκνωση των υλικών πέραν της συμπύκνωσης που θα προκύψει από την κυκλοφορία των μηχανημάτων διάστρωσης. Στη στέψη του τελικού πρανούς θα πρέπει να διαμορφωθεί αποστραγγιστική τάφος για την ελεγχόμενη απαγωγή των ομβρίων υδάτων. Τέλος, η επιφάνεια του πρανούς συνιστάται να φυτευθεί για την αποφυγή επιφανειακής διάβρωσης από όμβρια ύδατα.

## 2. Εισαγωγή

Η παρούσα Μελέτη συντάχθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων της Έγκρισης των Περιβαλλοντικών Όρων για την εκμετάλλευση των λιγνιτωρυχείων Μεγαλόπολης Ν. Αρκαδίας από την ΔΕΗ, σε σχέση με τον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Τραπεζούντος. Ειδικότερα, οι περιβαλλοντικοί όροι απαιτούν την «εκπόνηση ειδικής τεχνικής μελέτης για την αντιστήριξη του διατηρούμενου τμήματος της αρχαίας πόλης, η οποία θα υλοποιηθεί το ταχύτερο δυνατόν, προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος κατάρρευσης των διασωθέντων αρχαίων καταλοίπων, εξ αιτίας κατολισθήσεων και καθιζήσεως εδαφών». Ειδικότερα, η εκπόνηση της παρούσας Μελέτης έγινε με σκοπό να προταθούν τα απαιτούμενα μέτρα προστασίας του τελικού πρानούς του Ορυχείου γύρω από τον αρχαιολογικό χώρο ώστε να μην προκληθούν ρωγμές στην επιφάνεια του εδάφους που θα μπορούσαν να επηρεάσουν δυσμενώς τις αρχαιότητες μετά το πέρας της αποκατάστασης του πρानούς ορυχείου στην περιοχή που βρίσκεται κοντά στον αρχαιολογικό χώρο. Συγκεκριμένα, η παρούσα Μελέτη αναφέρεται στις συνθήκες ευστάθειας και τα απαιτούμενα μέτρα ενίσχυσης του τελικού Δυτικού πρानούς του Ορυχείου Κυπαρισσίων (περιοχή ΧΘ 21+600 έως ΧΘ 22+300) του Λ. Κ. Μεγαλόπολης που περιβάλλει τον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Τραπεζούντος από την ανατολική, βόρεια και βορειοδυτική του πλευρά. Το επόμενο τοπογραφικό διάγραμμα παρουσιάζει τον αρχαιολογικό χώρο και τα πρानή του ορυχείου Κυπαρισσίων που τον περιβάλλουν.



Κατά την αυτοψία που πραγματοποιήθηκε στον χώρο προέκυψαν τα εξής στοιχεία :

Ο αρχαιολογικός χώρος εκτείνεται κατά μήκος του δυτικού πρανούς του ορυχείου μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων 21+600 και 22+300 περίπου. Το ορυχείο περιβάλλει τον αρχαιολογικό χώρο στην ανατολική, βόρεια και βορειοδυτική του πλευρά. Τα

αρχαιολογικά ευρήματα βρίσκονται πέραν της στέψης του πρανούς, σε στάθμη +347 περίπου, αλλά αρκετά κοντά στο όριο της στέψης του πρανούς.

Το βαθύ τμήμα του ορυχείου (δάπεδο στο +290 περίπου) βρίσκεται στην ανατολική και βόρεια πλευρά του αρχαιολογικού χώρου. Το πρανές του ορυχείου στην περιοχή αυτή έχει μέση κλίση 1:4 (υ:β) με στέψη σε στάθμη +347 περίπου και τελικό δάπεδο σε υψόμετρο +287 έως +297 (αναλόγως της θέσης). Ενδιάμεσοι αναβαθμοί υπάρχουν σε στάθμες +340, +320 και +315 περίπου. Τοπικά, στα ανώτερα 10 μέτρα ύψους περίπου, η κλίση του πρανούς είναι αρκετά πιο απότομη και φθάνει το 1:2.

Το τμήμα του ορυχείου στην βορειοδυτική (ΒΔ) πλευρά του αρχαιολογικού χώρου έχει μικρότερο βάθος (δάπεδο στο +325 περίπου) αλλά είναι διαμορφωμένο με αρκετά πιο απότομη μέση κλίση (1:3 περίπου και τοπικά στις ανώτερες στάθμες φθάνει ακόμη και το 1:1). Στο όριο της στέψης του πρανούς βρίσκεται η οδός πρόσβασης στον αρχαιολογικό χώρο (χωμάτινη οδός). Αν και η οδός βρίσκεται σε απόσταση πολύ λίγων μέτρων από τη στέψη του πρανούς (το οποίο μάλιστα είναι αρκετά απότομο στα ανώτερα μέτρα του ύψους του) δεν διαπιστώθηκαν βλάβες (όπως π.χ. ρωγμές ή μετακινήσεις) στον δρόμο.

Το πρανές του ορυχείου στην περιοχή που γειτνιάζει με τον αρχαιολογικό χώρο έχει διανοιχθεί πριν από αρκετά χρόνια (περί το 2001) και παρουσιάζεται ευσταθές αφού δεν έχουν εκδηλωθεί ρωγμές ή άλλες ενδείξεις μετακινήσεων. Σύμφωνα με τα στοιχεία που μου παρασχέθηκαν από την ΔΕΗ, τα αποτελέσματα των μετρήσεων των μετακινήσεων στους εγκατεστημένους μάρτυρες δείχνουν πρακτικώς σταθερή συμπεριφορά.

Στην ακριβώς παρακείμενη (προς νότον) περιοχή του δυτικού πρανούς του ορυχείου (περιοχή από ΧΘ 21+100 έως ΧΘ 21+600), η οποία όμως δεν γειτνιάζει με τον αρχαιολογικό χώρο αλλά με τον λόφο που βρίσκεται νοτίως του αρχαιολογικού χώρου, είχε εκδηλωθεί εκτεταμένη κατολίσθηση του πρανούς στις 11/2/2000 με μετακινήσεις του πρανούς προς τα κατόντη αρκετών δεκάδων μέτρων. Η αστοχία του πρανούς είχε παρασύρει και ένα εκσκαφέα, χωρίς ευτυχώς θύματα ή τεχνικές βλάβες στο μηχάνημα. Κατά τον χρόνο της κατολίσθησης, το πρανές στην περιοχή της αστοχίας ήταν διαμορφωμένο με μέση κλίση 1:3 περίπου. Για την αστοχία αυτή είχε συνταχθεί Τεχνική Έκθεση από Ειδική Επιτροπή διερεύνησης στην οποία συμμετείχε και ο υπογράφων. Με βάση τις υποδείξεις της Επιτροπής, η περαιτέρω εκμετάλλευση του ορυχείου στην δυτική πλευρά γίνεται με μέση κλίση 1:4, η οποία έχει αποδειχθεί ευσταθής αφού έκτοτε δεν έχουν σημειωθεί άλλες αστοχίες ή και αστάθειας του πρανούς.

Στα επόμενα μελετώνται οι συνθήκες ευστάθειας σε διάφορες διατομές του πρανούς.

### 3. Γεωτεχνικές Συνθήκες – γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού

Το δυτικό πρανές του Ορυχείου Κυπαρισσίων δομείται από τους νεογενείς σχηματισμούς της λιγνιτοφόρου λεκάνης που αποτελούνται από αργιλο-αμμώδεις επιφανειακούς σχηματισμούς, τις αργιλικές μάργες – μαργαϊκές αργίλους (ενδιάμεσα στείρα) και τις ενδιάμεσες λιγνιτικές στιβάδες. Καθώς η περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκεται στο κράσπεδο της λιγνιτοφόρου λεκάνης, οι λιγνιτικές στιβάδες αποσφηνώνονται τοπικά και εμφανίζουν κλίσεις προς τα όρια της λεκάνης. Επιπλέον, η εναλλαγή των σχηματισμών είναι τυχαία τόσο κατά το μήκος του πρανούς όσο και εγκάρσια στην κλίση.

Για τους ανωτέρω λόγους, οι μέσες γεωτεχνικές ιδιότητες των σχηματισμών του πρανούς για πιθανές αστοχίες που περιλαμβάνουν το σύνολο του πρανούς εκτιμήθηκαν με ανάστροφη ανάλυση της διατομής στην περιοχή ΧΘ 21+400 κατά μήκος του δυτικού πρανούς του Ορυχείου (δηλαδή νοτίως της περιοχής ενδιαφέροντος, όπου είχε εκδηλωθεί η αστοχία στις 11/2/2000) με χρήση της γεωμετρίας που ίσχυε κατά τον χρόνο της αστοχίας, δηλαδή με μέση κλίση πρανούς 1:3 (αρχείο "slide failure" – βλέπε κατωτέρω).

Στο επόμενο Σχέδιο φαίνεται η διατομή που αναλύθηκε (ΧΘ 21+400). Σήμερα η περιοχή έχει επιχωθεί και συνεπώς η γεωμετρία της διατομής που αναλύθηκε δεν φαίνεται στο Σχέδιο.



Σκοπός αυτής της ανάστροφης ανάλυσης ήταν να προσδιορισθούν οι μέσες αντιπροσωπευτικές τιμές των ιδιοτήτων αντοχής (συνοχή και γωνία τριβής) του υλικού του πρανούς (λιγνιτικές στιβάδες) θεωρώντας ότι ο συντελεστής ασφαλείας λόγω της αστοχίας ήταν ίσος με την μονάδα. Με βάση τις αναλύσεις αυτές, για το υλικό του πρανούς προέκυψαν οι εξής μέσες τιμές ιδιοτήτων από την ανάστροφη ανάλυση :

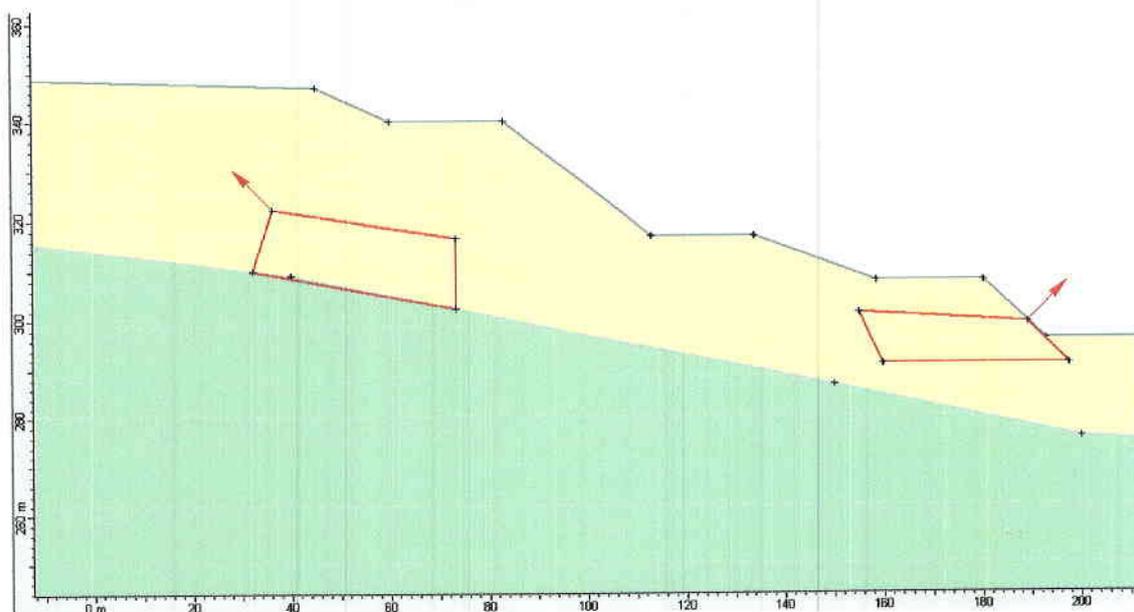
Ειδικό βάρος :  $15 \text{ kN/m}^3$

Ενεργός συνοχή :  $5 \text{ kPa}$

Ενεργός γωνία τριβής :  $15 \text{ μοίρες}$

Οι τιμές αυτές θεωρήθηκαν ως μέσες αντιπροσωπευτικές του συνολικού πρανούς (δηλαδή των υπερκείμενων αγόνων, λιγνιτικών στρώσεων και των λεπτών παραοριζώντιων μαργαϊκών ενστρώσεων επί των οποίων συνήθως εκδηλώνονται τα κατολισθητικά φαινόμενα).

Τα αποτελέσματα αυτής της ανάστροφης ανάλυσης παρουσιάζονται παρακάτω (το Σχήμα 2 δείχνει την γεωμετρία του πρανούς που αναλύθηκε) :



Σχήμα 2 : Διατομή του δυτικού πρανούς στην περιοχή της αστοχίας (ΧΘ 21+400) (αρχείο "slide failure") κατά το έτος 2000 (πριν την αστοχία). Το πρανές αστόχησε με μέση κλίση 1:3.

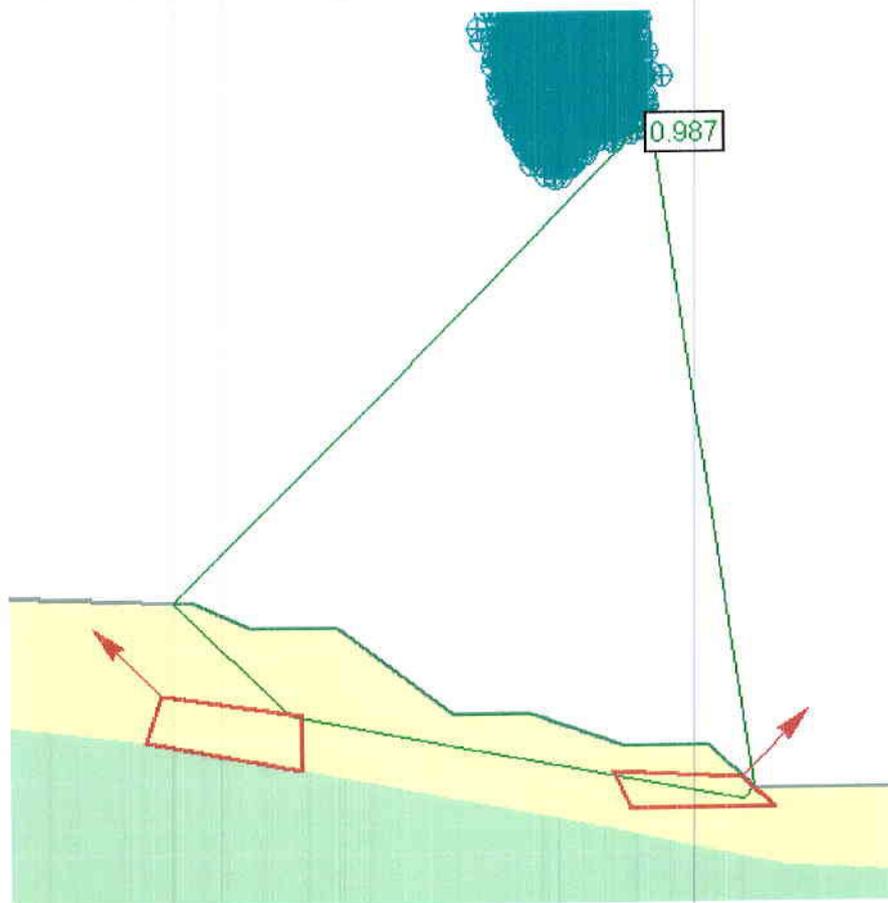
Από τις ανάστροφες αναλύσεις ευστάθειας, προέκυψαν οι εξής μέσες τιμές ιδιοτήτων για το υλικό του πρανούς, ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να είναι περίπου ίσος με τη μονάδα (μέθοδος Janbu) – βλέπε Σχήμα 3 :

Ειδικό βάρος :  $15 \text{ kN/m}^3$

Ενεργός συνοχή :  $5 \text{ kPa}$

Ενεργός γωνία τριβής :  $15 \text{ μοίρες}$

Οι τιμές αυτές θεωρήθηκαν ως μέσες αντιπροσωπευτικές του συνολικού πρανούς (δηλαδή των υπερκείμενων αγόνων, λιγνιτικών στρώσεων και των λεπτών παραοριζόντιων μαργαϊκών ενστρώσεων επί των οποίων συνήθως εκδηλώνονται τα κατολισθητικά φαινόμενα).



Σχήμα 3 : Διατομή του δυτικού πρανούς στην περιοχή της αστοχίας (ΧΘ 21+400) (αρχείο "slide failure"). Φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας με τη μέθοδο Janbu. Ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 0.987$  (περίπου ίσος με τη μονάδα).

Εκτός των αναλύσεων γενικής ευστάθειας που περιλαμβάνουν το σύνολο του πρανούς (ύψους άνω των 50 μέτρων), εκτελέστηκαν και αναλύσεις ευστάθειας των ανώτερων βαθμίδων (ύψους έως 35 μέτρων) οι οποίες θα μπορούσαν δυνητικά να επηρεάσουν τις αρχαιότητες που βρίσκονται στη στέψη του πρανούς. Οι βαθμίδες αυτές είναι διαμορφωμένες με αρκετά πιο απότομες κλίσεις επειδή το εδαφικό υλικό των ανώτερων βαθμίδων έχει καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά επειδή δομείται από σιφρές αμμώδεις αργίλους για τις οποίες εκτιμώνται τα εξής γεωτεχνικά χαρακτηριστικά (με βάση προηγούμενη εμπειρία από ανάλογους σχηματισμούς στην περιοχή του ΛΚΜ) :

Ειδικό βάρος : 18 kN/m<sup>3</sup>  
 Γωνία τριβής : 30 μοίρες  
 Συνοχή : 20 kPa

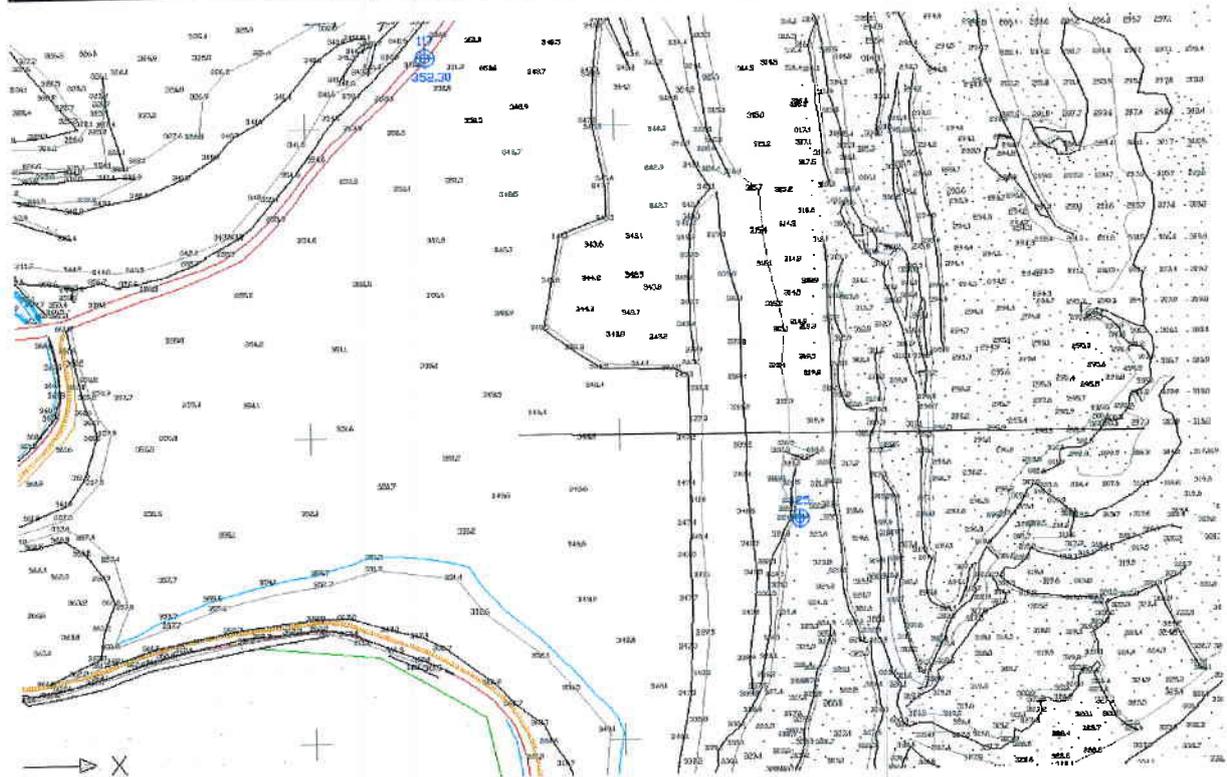
#### 4. Αναλύσεις ευστάθειας στα ανατολικά και βορείως του αρχαιολογικού χώρου

Στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης εκτελέστηκαν οι εξής αναλύσεις ευστάθειας :

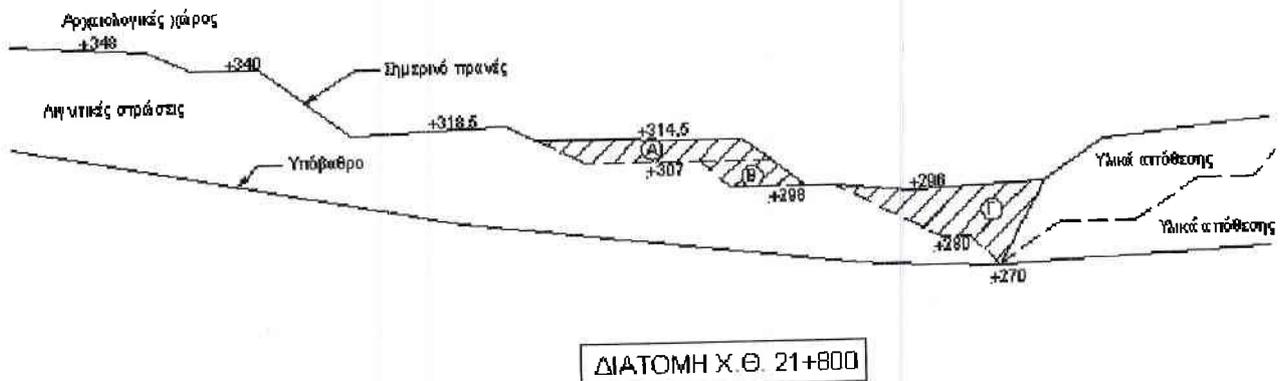
1. Ανάλυση "slide1": Περιλαμβάνει ανάλυση της διατομής στην περιοχή ανατολικά του αρχαιολογικού χώρου (περί τη ΧΘ 21+800 επί του δυτικού πρानούς του ορυχείου) με χρήση της γεωμετρίας που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο (μέση κλίση πρानούς 1:3, στέψη πρानούς στο +347 και δάπεδο στο +296). Η ανάλυση έγινε με χρήση των εδαφικών ιδιοτήτων που προσδιορίστηκαν από την ανάστροφη ανάλυση στην παρακείμενη θέση της αστοχίας και εξετάζει κύκλους και λοιπές επιφάνειες ολίσθησης που περιλαμβάνουν το σύνολο του πρानούς (δηλαδή δεν εξετάζεται η πιθανότητα τοπικής αστοχίας του ανώτερου τμήματος του πρानούς που έχει αρκετά μεγαλύτερη κλίση).
2. Ανάλυση "slide1a": Περιλαμβάνει ανάλυση της διατομής στην περιοχή ανατολικά του αρχαιολογικού χώρου (ΧΘ 21+800) με χρήση της γεωμετρίας που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο πάνω από τη στάθμη +310 και τελική επίχωση με υλικά απόθεσης από το δάπεδο μέχρι τη στάθμη +310. Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στο τελικό πρανές του ορυχείου (μόνιμη κατάσταση) μετά την αποκατάσταση του ορυχείου στην περιοχή ανατολικά του αρχαιολογικού χώρου. Η ανάλυση έγινε με χρήση των εδαφικών ιδιοτήτων που προσδιορίστηκαν από την ανάστροφη ανάλυση στην παρακείμενη θέση της αστοχίας.
3. Ανάλυση "slide3": Περιλαμβάνει ανάλυση της διατομής στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου (ΧΘ 21+800) με χρήση της γεωμετρίας που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο και περαιτέρω εκσκαφή των φάσεων Α και Β με τελικό δάπεδο στο υψόμετρο +296 (βλέπε Σχήμα 1). Η ανάλυση έγινε με χρήση των εδαφικών ιδιοτήτων που προσδιορίστηκαν από την ανάστροφη ανάλυση στην παρακείμενη θέση της αστοχίας.
4. Ανάλυση "slide2": Περιλαμβάνει ανάλυση της διατομής στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου (ΧΘ 21+800) με χρήση της γεωμετρίας που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο και περαιτέρω εκσκαφή των φάσεων Α, Β και Γ, δηλαδή μέχρι την εκσκαφή στο τελικό δάπεδο σε υψόμετρο +270 (βλέπε Σχήμα 1). Η ανάλυση έγινε με χρήση των εδαφικών ιδιοτήτων που προσδιορίστηκαν από την ανάστροφη ανάλυση στην παρακείμενη θέση της αστοχίας.
5. Ανάλυση "slide1b" "slide1ba" και "slide1bb" : Περιλαμβάνει ανάλυση του ανώτερου τμήματος του πρανούς (ανώτερα 30 μέτρα ύψους του πρανούς) στην περιοχή με την πλέον απότομη κλίση. Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να εκτιμηθεί η πιθανότητα τοπικής αστοχίας του ανώτερου τμήματος του πρανούς και να προσδιορισθεί η μέση κλίση που πρέπει να διαμορφωθεί προκειμένου να διασφαλισθεί αποδεκτή ευστάθεια έναντι τοπικών αστοχιών.

Ολες οι ανωτέρω αναλύσεις έγιναν με τις τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων που περιγράφηκαν στο προηγούμενο εδάφιο.

Το ακόλουθο Σχήμα 1 δείχνει την οριζοντιογραφία και διατομή στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε. Φαίνονται το σημερινό πρανές (με τελικό δάπεδο στο +296) και η μελλοντική εκμετάλλευση των φάσεων Α, Β και Γ (διαγραμμισμένες περιοχές).



Σχήμα 1α : Οριζοντιογραφία με την θέση της διατομής στην ΧΘ 21+800. Στο αριστερό μέρος φαίνεται ο αρχαιολογικός χώρος.



Σχήμα 1β : Διατομή του δυτικού πρανούς (με την σημερινή γεωμετρία) στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε. Φαίνονται και οι προτεινόμενες εκσκαφές (φάσεις Α, Β και Γ) της περαιτέρω εκμετάλλευσης του ορυχείου

Οι συντεταγμένες (x,y) του Σχήματος 1 έχουν ως εξής :

1. Σημερινό πρανές (δάπεδο στο +296) :  
 (0, 349), (45, 347), (60, 340), (83, 340), (113, 317), (165, 320), (175, 315), (244, 314), (265, 298), (275, 298), (300, 296), (345, 298), (365, 312), (420, 318).
2. Εκσκαφή φάσης Α (μεταξύ σταθμών + 314.5 και +307) :

(175, 315), (191, 307), (230, 307), (253, 307)

Ο όγκος της εκσκαφής για μήκος πρανούς 650 μέτρα είναι :  
 $V = 485.6 \text{ m}^2 \times 650 \text{ m} = 315.000 \text{ m}^3$

3. Εκσκαφή φάσης Β (μεταξύ σταθμών + 307 και +298) :

(230, 307), (240, 298), (265, 298)

Ο όγκος της εκσκαφής για μήκος πρανούς 650 μέτρα είναι :  
 $V = 216.8 \text{ m}^2 \times 650 \text{ m} = 140.000 \text{ m}^3$

4. Εκσκαφή φάσης Γ (μεταξύ σταθμών + 296 και +270) :

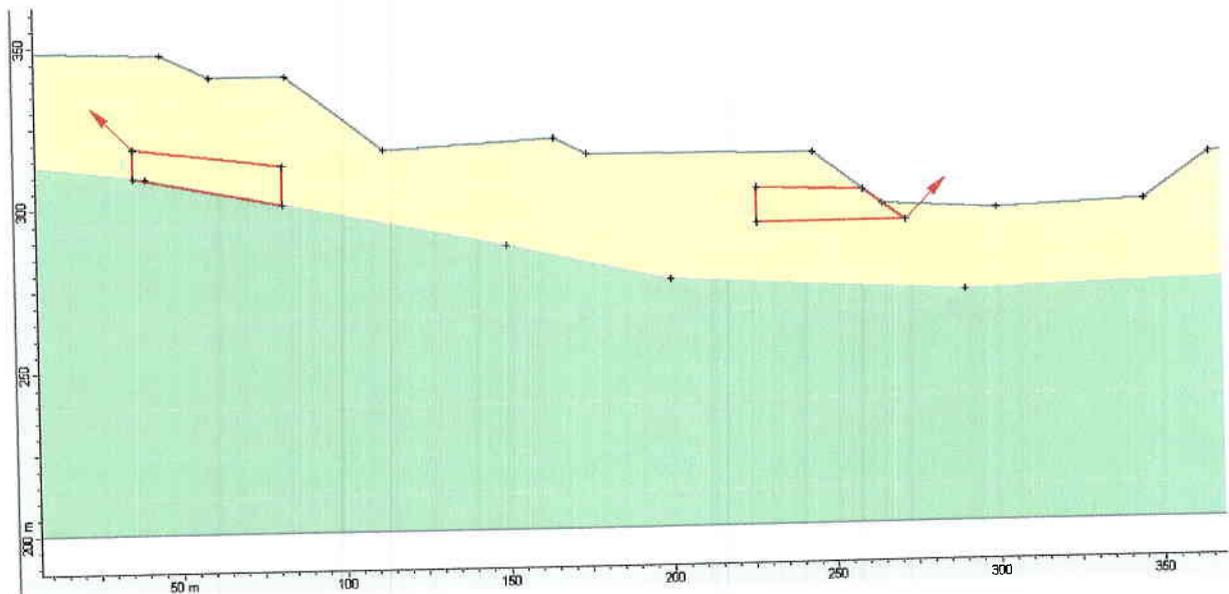
(275, 298), (310, 280), (320, 280), (330, 270), (345, 298)

Ο όγκος της εκσκαφής για μήκος πρανούς 650 μέτρα είναι :  
 $V = 865 \text{ m}^2 \times 650 \text{ m} = 560.000 \text{ m}^3$

Εκτιμώμενος συνολικός όγκος εκσκαφής των φάσεων Α+Β+Γ = 1.000.000 m<sup>3</sup>

Αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας :

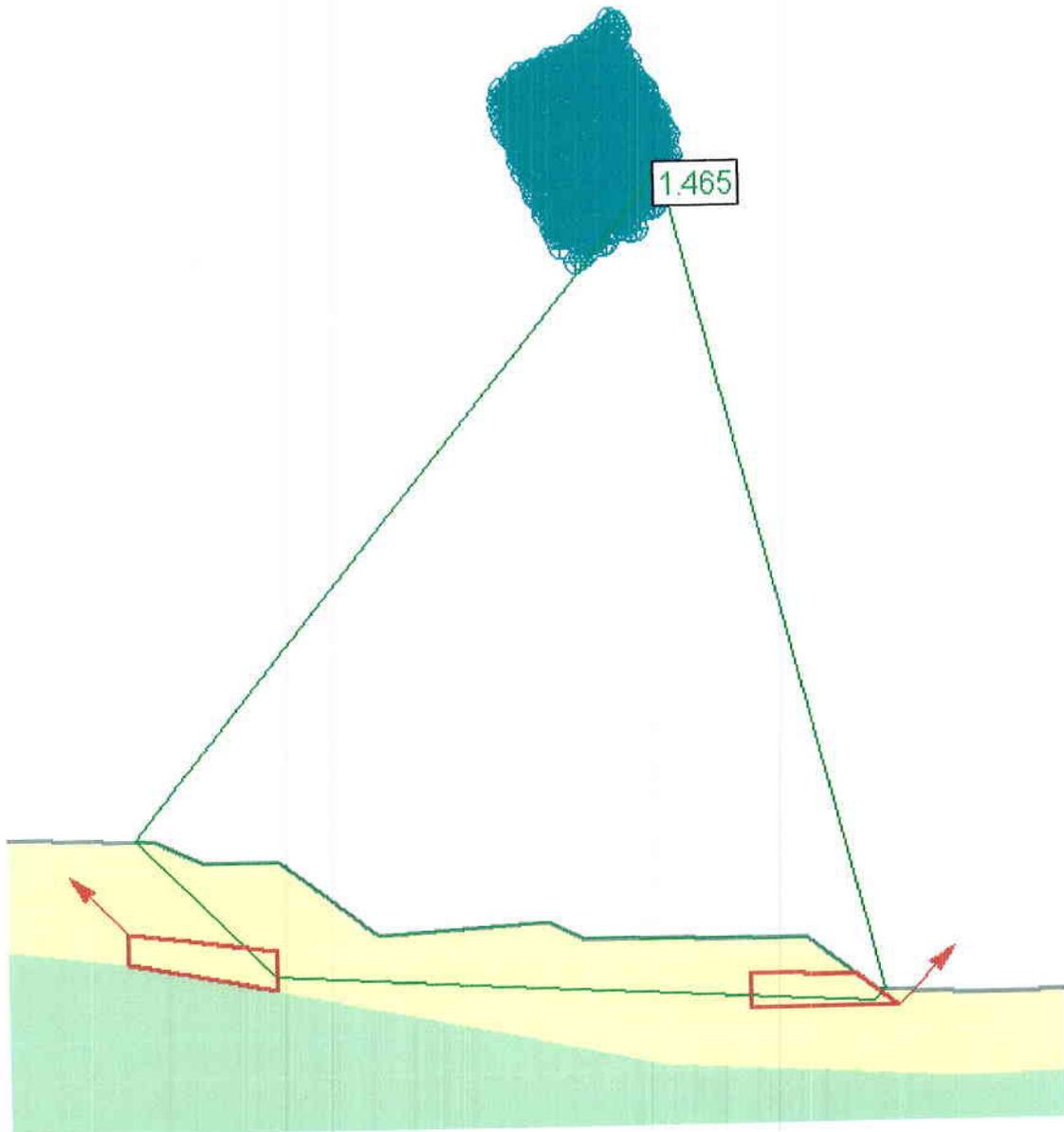
**Ανάλυση "slide1"** : Αναλύθηκε η διατομή στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου (ΧΘ 21+800) με χρήση της γεωμετρίας που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο (μέση κλίση πρανούς 1:3, στέψη πρανούς στο +347 και δάπεδο στο +296). Η ανάλυση έγινε με χρήση των εδαφικών ιδιοτήτων που προσδιορίστηκαν από την ανάστροφη ανάλυση στην παρακείμενη θέση της αστοχίας – βλέπε Σχήμα 4.



Σχήμα 4 : Διατομή του δυτικού πρανούς (με την σημερινή γεωμετρία) στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε (αρχείο "slide1").

Οι συντεταγμένες (x,y) της διατομής είναι : (-50, 350), (45, 347), (60, 340), (83, 340), (113, 317), (165, 320), (175, 315), (244, 314), (265, 298), (300, 296), (345, 298), (365, 312), (420, 318).

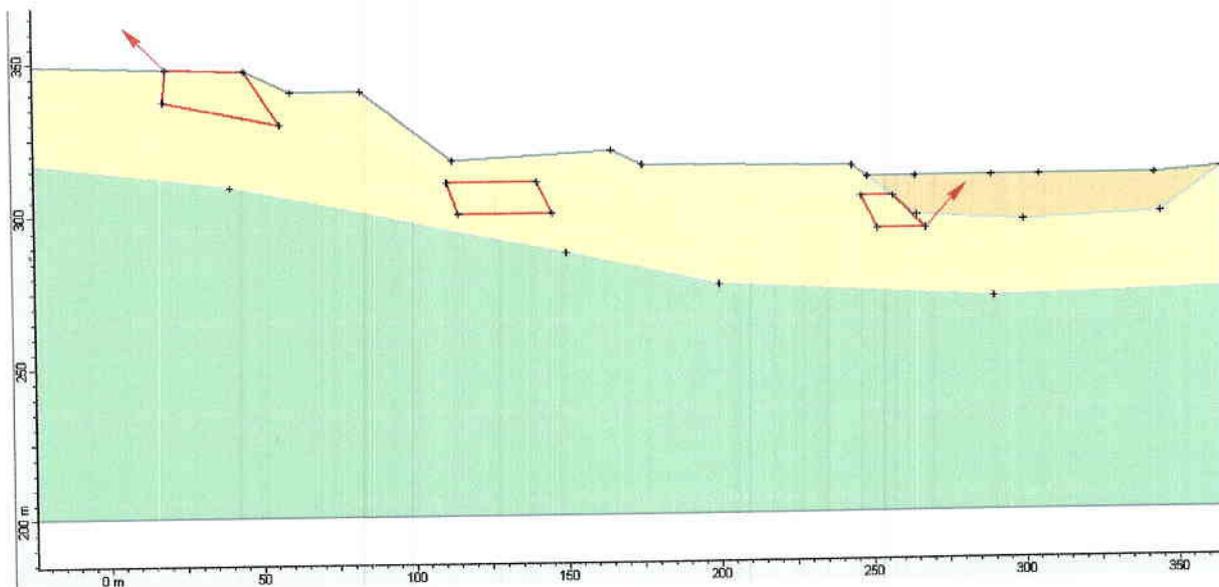
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τη μέθοδο Janbu φαίνονται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5 : Διατομή του δυτικού πρανούς (με την σημερινή γεωμετρία) στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε (αρχείο "slide1"). Φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας με τη μέθοδο Janbu. Ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.465$ .

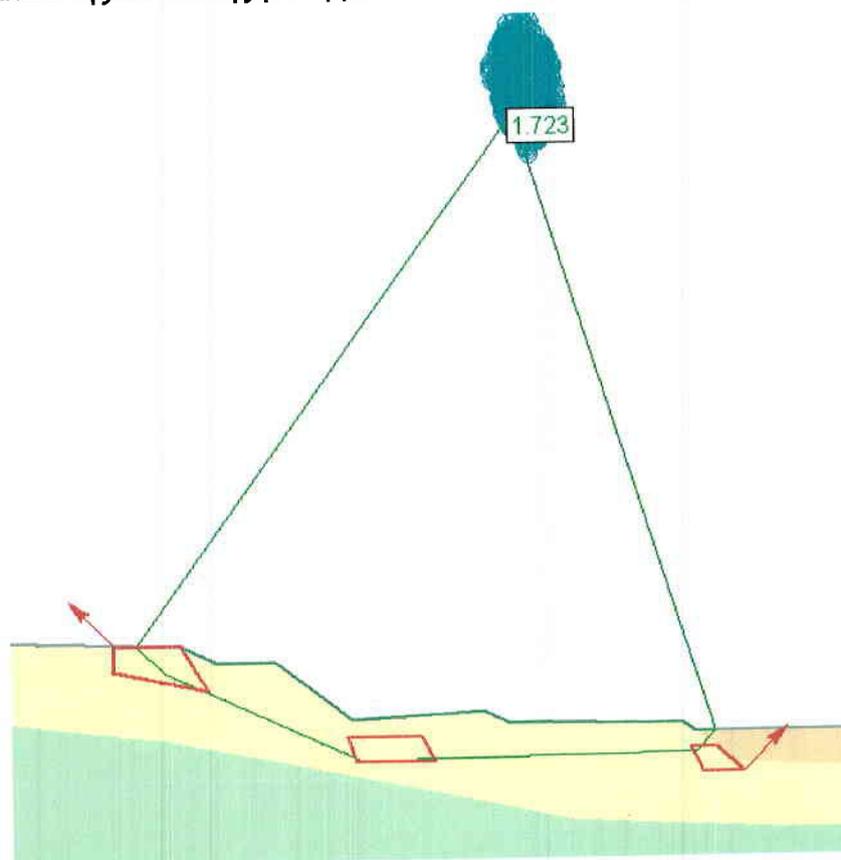
Στο Σχήμα 5 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας με τη μέθοδο Janbu. Ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.465$ . Ο συντελεστής αυτός είναι αποδεκτός αφού είναι μεγαλύτερος του  $FS=1.375$  που θεωρείται ως ελάχιστος αποδεκτός κατά τον Ευρωκώδικα 7 για την Ελλάδα ( $FS = 1.25 \times 1.10 = 1.375$ ).

**Ανάλυση "slide1"** : Για την περαιτέρω αύξηση της ασφάλειας λόγω της μεγάλης σημασίας του αρχαιολογικού χώρου, θεωρήθηκε ότι μετά το πέρας εκμετάλλευσης του ορυχείου, το δάπεδο θα επιχωθεί μέχρι τη στάθμη +310 περίπου. Η διατομή που αναλύθηκε φαίνεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6 : Διατομή του δυτικού πρανούς στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε (αρχείο "slide1a"). Θεωρήθηκε η σημερινή γεωμετρία με επίχωση του ποδός μέχρι τη στάθμη +310.

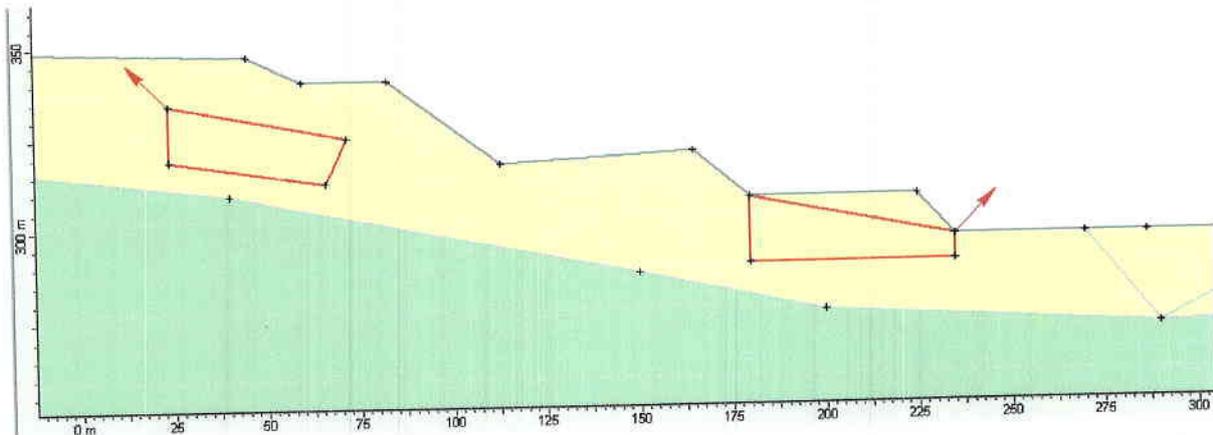
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τη μέθοδο Janbu φαίνονται στο Σχήμα 7.



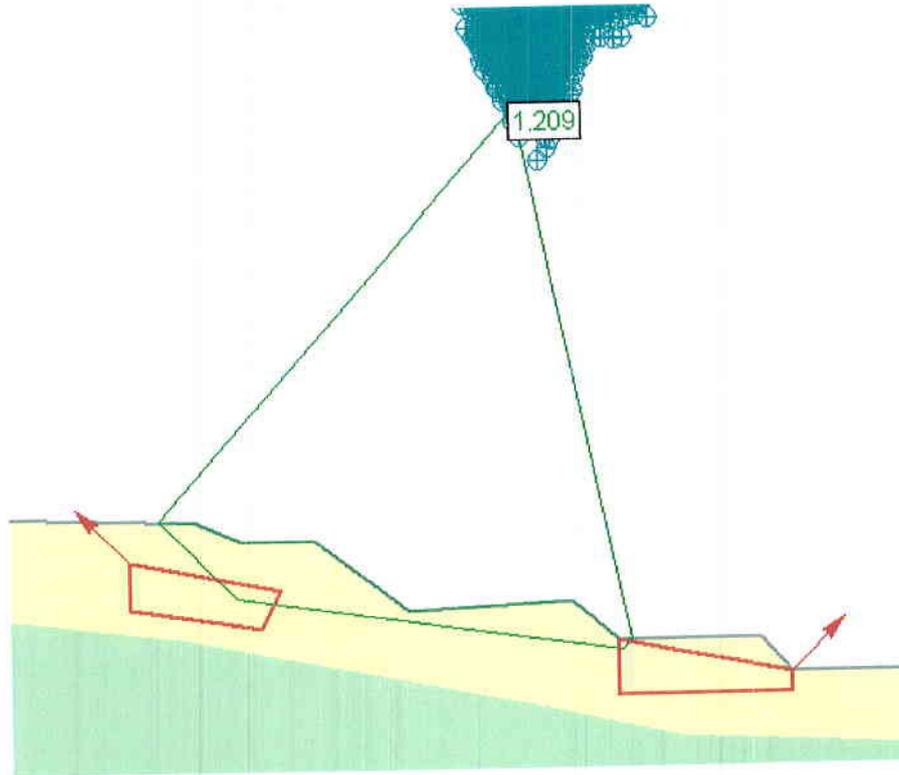
Σχήμα 7 : Διατομή του δυτικού πρανούς (με την σημερινή γεωμετρία και επίχωση ποδός μέχρι τη στάθμη +310) στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε (αρχείο "slide1a"). Φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας με τη μέθοδο Janbu. Ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.723$ .

Στο Σχήμα 7 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας με τη μέθοδο Janbu. Ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.723$ . Ο συντελεστής αυτός είναι αποδεκτός αφού είναι μεγαλύτερος του  $FS=1.375$  που θεωρείται ως ελάχιστος αποδεκτός κατά τον Ευρωκώδικα 7 για την Ελλάδα ( $FS = 1.25 \times 1.10 = 1.375$ )

**Ανάλυση "slide 3"** : Στη συνέχεια αναλύθηκε η διατομή στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου (ΧΘ 21+800) με χρήση της γεωμετρίας που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο και περαιτέρω εκσκαφή των φάσεων Α και Β με τελικό δάπεδο στο υψόμετρο +296 (αρχείο "slide3") – βλέπε Σχήμα 1. Η ανάλυση έγινε με χρήση των εδαφικών ιδιοτήτων που προσδιορίστηκαν από την ανάστροφη ανάλυση στην παρακείμενη θέση της αστοχίας.

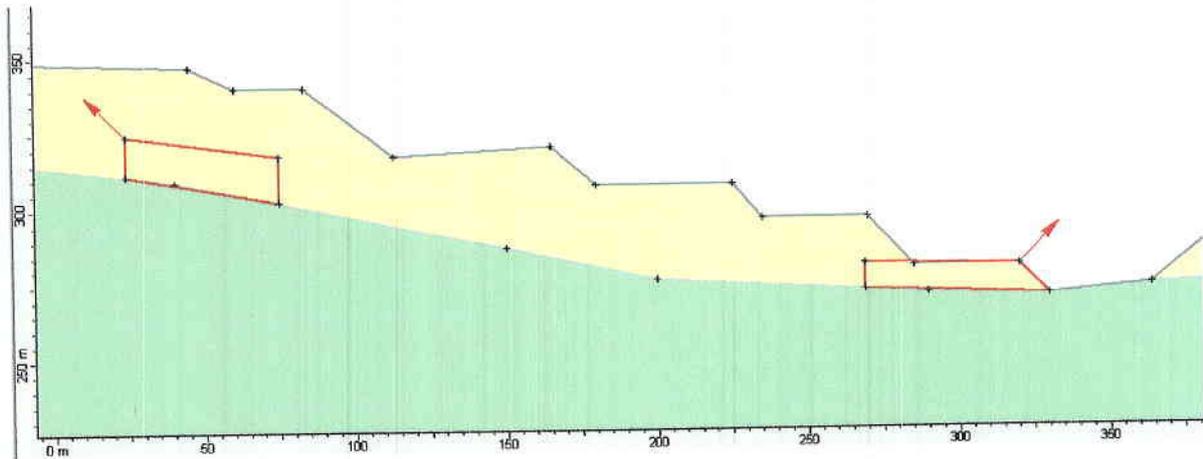


Σχήμα 8 : Διατομή του δυτικού πρανούς στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε (αρχείο "slide3"). Θεωρήθηκε η γεωμετρία που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο και περαιτέρω εκσκαφή των φάσεων Α και Β με τελικό δάπεδο στο υψόμετρο +296.

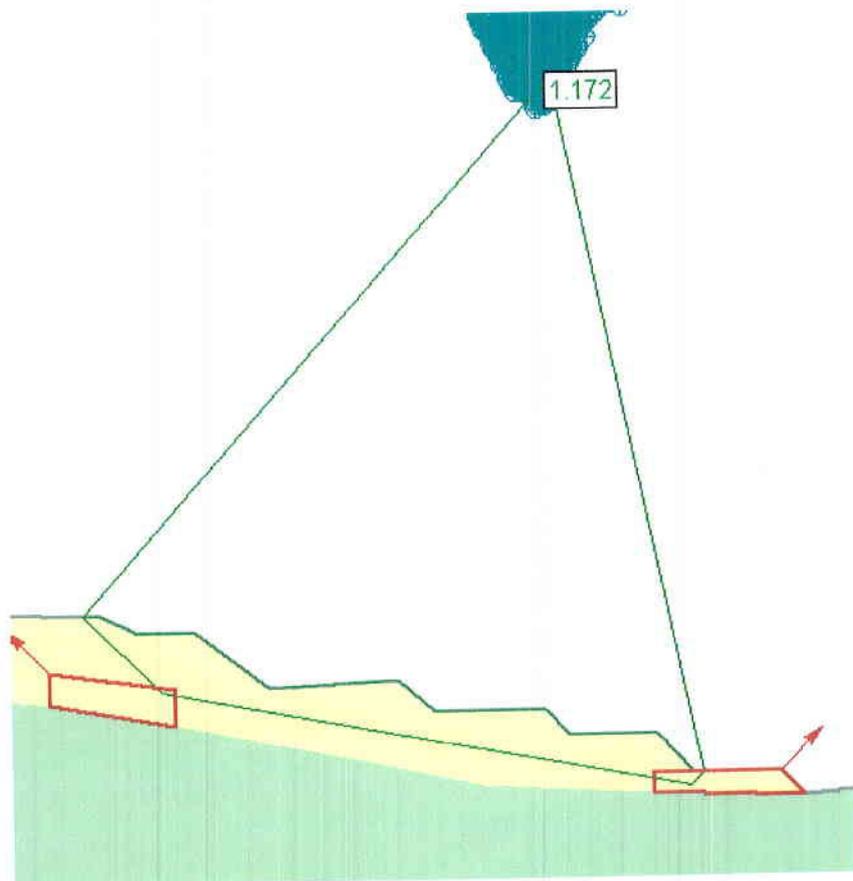


Σχήμα 9 : Διατομή του δυτικού πρानούς στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε (αρχείο "slide3"). Θεωρήθηκε η γεωμετρία που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο και περαιτέρω εκσκαφή των φάσεων Α και Β με τελικό δάπεδο στο υψόμετρο +296. Φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας με τη μέθοδο Janbu. Ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.21$ . Ο συντελεστής αυτός κρίνεται αποδεκτός για το προσωρινό πρानές της εκσκαφής.

**Ανάλυση "slide2"** : Αναλύθηκε η διατομή στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου (ΧΘ 21+800) με χρήση της γεωμετρίας που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο και περαιτέρω εκσκαφή των φάσεων Α, Β και Γ, δηλαδή μέχρι την εκσκαφή στο τελικό δάπεδο σε υψόμετρο +270 (αρχείο "slide2") – βλέπε Σχήμα 1. Η ανάλυση έγινε με χρήση των εδαφικών ιδιοτήτων που προσδιορίστηκαν από την ανάστροφη ανάλυση στην παρακείμενη θέση της αστοχίας.



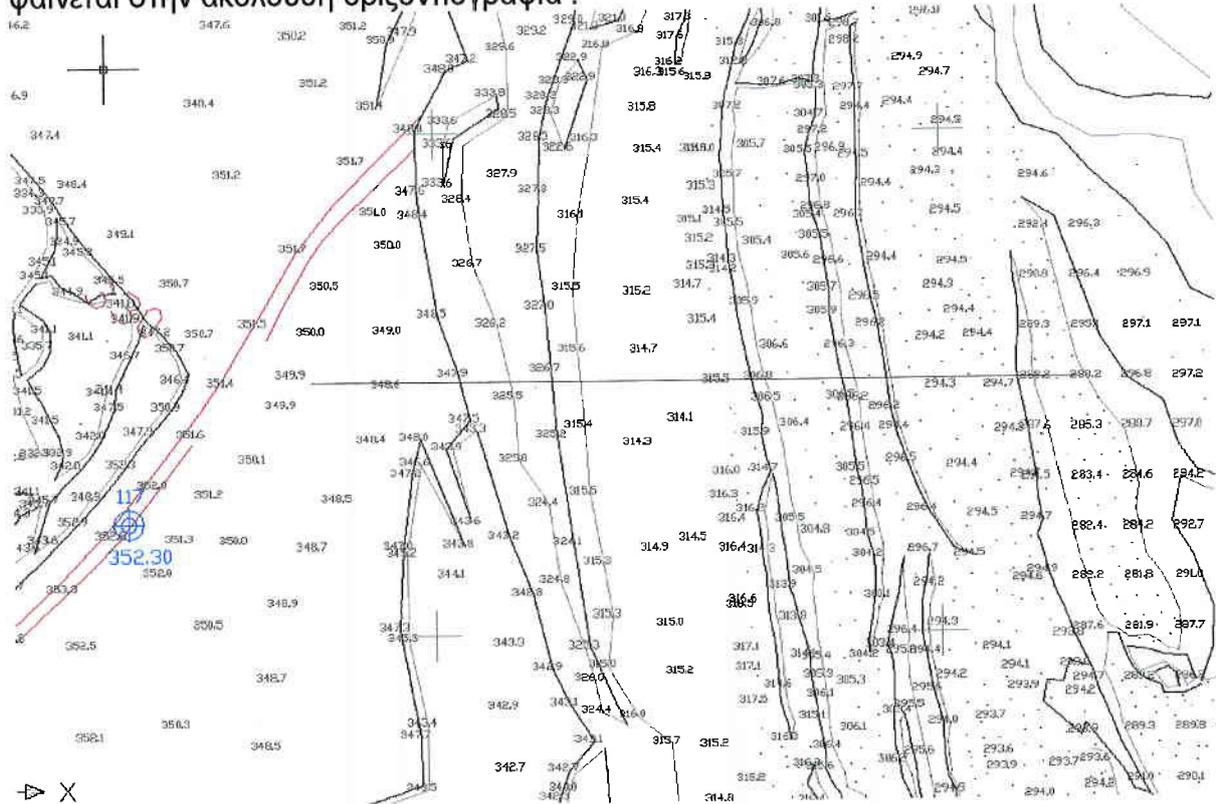
Σχήμα 10 : Διατομή του δυτικού πρανούς στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε (αρχείο "slide2"). Θεωρήθηκε η γεωμετρία που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο και περαιτέρω εκσκαφή των φάσεων Α, Β και Γ με τελικό δάπεδο στο υψόμετρο +270.



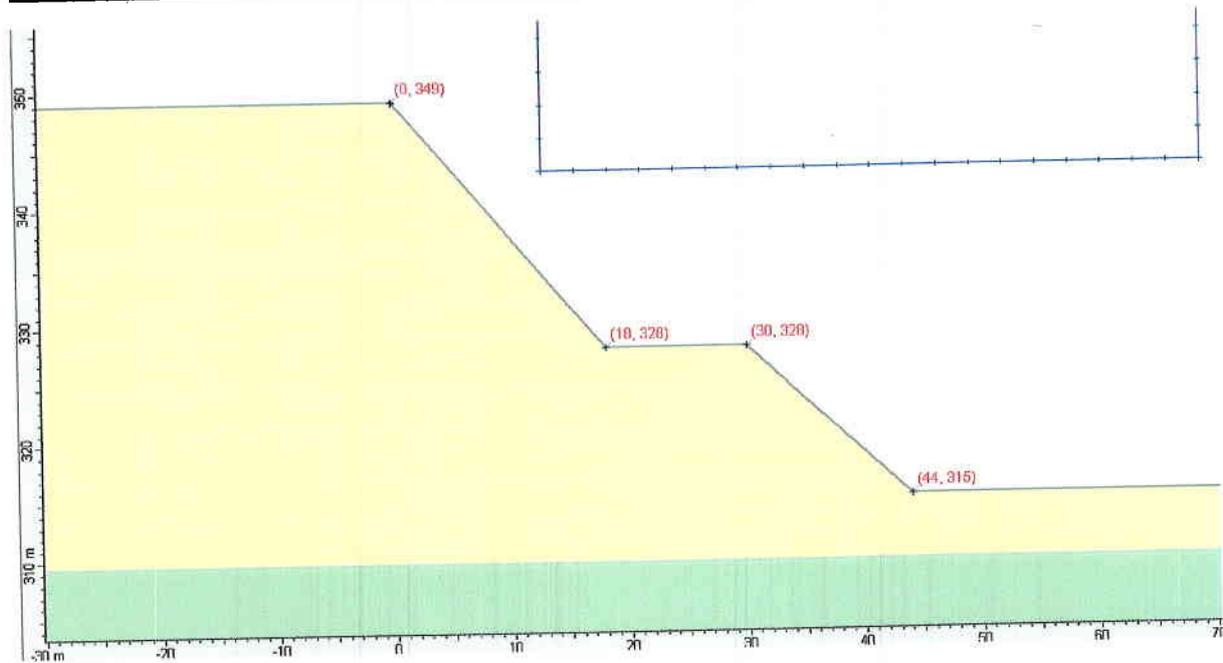
Σχήμα 11 : Διατομή του δυτικού πρανούς στην περιοχή της ΧΘ 21+800 που αναλύθηκε (αρχείο "slide2"). Θεωρήθηκε η γεωμετρία που υφίσταται κατά τον παρόντα χρόνο και περαιτέρω εκσκαφή των φάσεων Α, Β και Γ με τελικό δάπεδο στο υψόμετρο +270. Φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας με τη μέθοδο Janbu. Ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.17$ . Ο συντελεστής αυτός κρίνεται ελαφρώς μικρότερος του αποδεκτού για το προσωρινό πρανές της εκσκαφής. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η εκμετάλλευση της φάσης Γ να γίνει με φατνώματα (ντουλάπια) εύρους της τάξεως των 100 μέτρων, και επίχωση του ενός φατνώματος πριν την εκσκαφή του επόμενου.

Στο Σχήμα 11 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας με τη μέθοδο Janbu. Ο υπολογισθείς συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.17$ . Ο συντελεστής αυτός κρίνεται ελαφρώς μικρότερος του αποδεκτού για το προσωρινό πρανές της εκσκαφής. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η εκμετάλλευση της φάσης Γ να γίνει με φατνώματα (ντουλάπια) εύρους της τάξεως των 100 μέτρων, και επίχωση του ενός φατνώματος πριν την εκσκαφή του επόμενου.

**Ανάλυση “slide1b” :** Αναλύθηκε το ανώτερο τμήμα του πρανούς στην ανατολική πλευρά του αρχαιολογικού χώρου (ανώτερα 34 μέτρα ύψους του πρανούς) στην περιοχή με την πλέον απότομη κλίση (ΧΘ 22100 περίπου). Η θέση της διατομής φαίνεται στην ακόλουθη οριζοντιογραφία :



Η κλίση της ανώτερης βαθμίδας (ύψους έως 20 μέτρων) είναι περίπου 1:1. Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να εκτιμηθεί η πιθανότητα τοπικής αστοχίας του ανώτερου τμήματος του πρανούς και να προσδιορισθεί η μέση κλίση που πρέπει να διαμορφωθεί προκειμένου να διασφαλισθεί αποδεκτή ευστάθεια έναντι τοπικών αστοχιών.



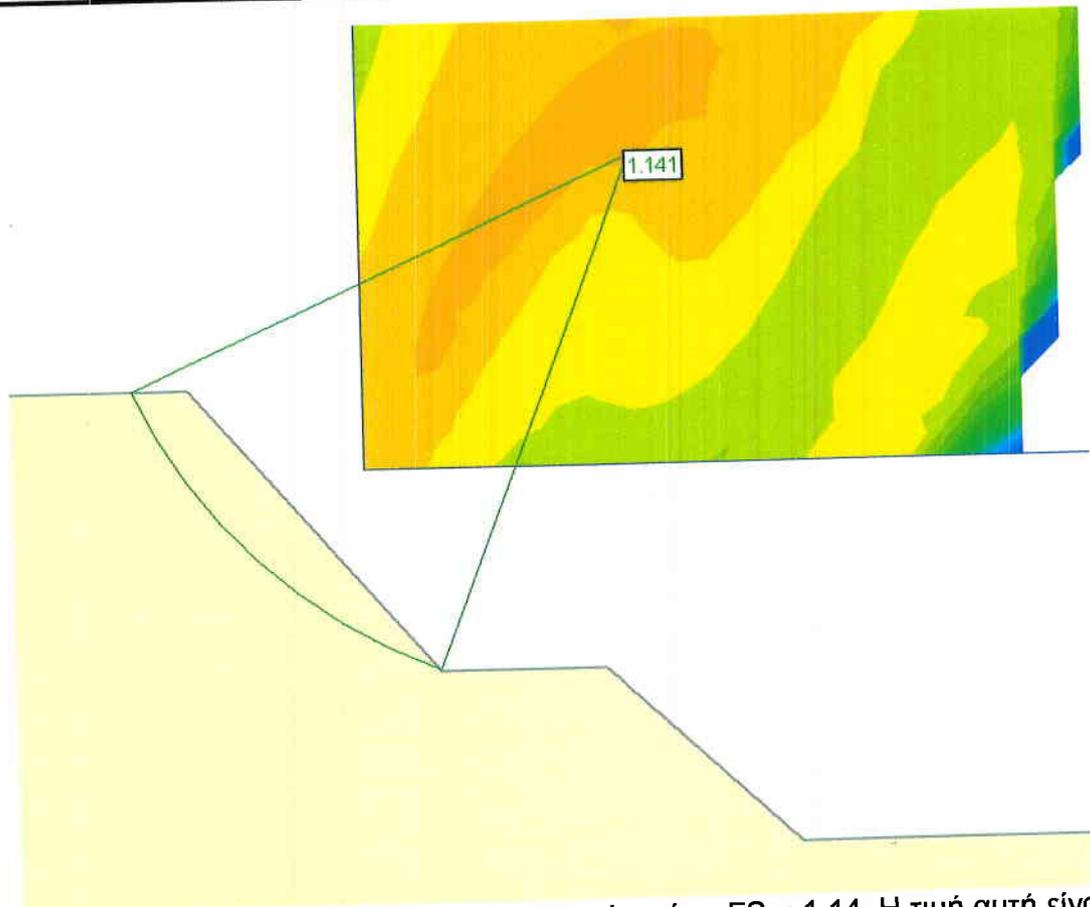
Το ανωτέρω Σχήμα παρουσιάζει την τυπική διατομή (στην ΧΘ 22100 περίπου) που αναλύθηκε. Το ανώτερο τμήμα του πρανούς δομείται από στιφρές αμμόδεις αργίλους για τις οποίες εκτιμώνται τα εξής γεωτεχνικά χαρακτηριστικά (με βάση προηγούμενη εμπειρία από ανάλογους σχηματισμούς στην περιοχή του ΛΚΜ) :

Ειδικό βάρος :  $18 \text{ kN/m}^3$

Γωνία τριβής : 30 μοίρες

Συνοχή :  $20 \text{ kPa}$

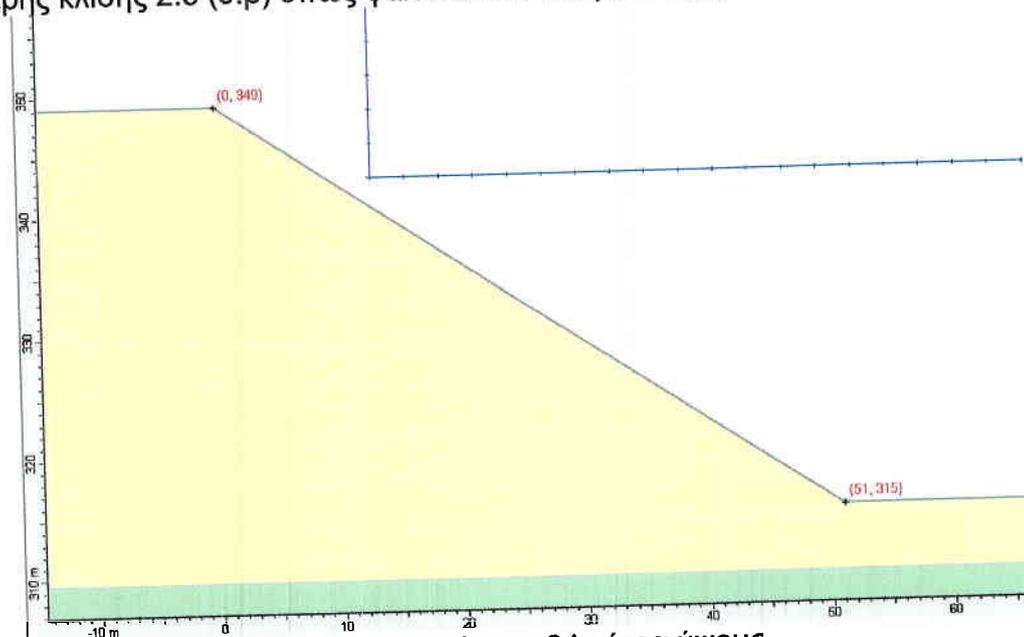
Η ανάλυση της ανωτέρω γεωμετρίας έδωσε τα αποτελέσματα που φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα :



Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι τοπικής αστοχίας είναι  $FS = 1.14$ . Η τιμή αυτή είναι μεν μεγαλύτερη της μονάδας, όμως προτείνεται να αυξηθεί (σε τιμή  $> 1.30$ ) με απάλυνση της κλίσης των ανώτερων τμημάτων του πρανούς. Η ανάλυση αυτή έγινε κατωτέρω :

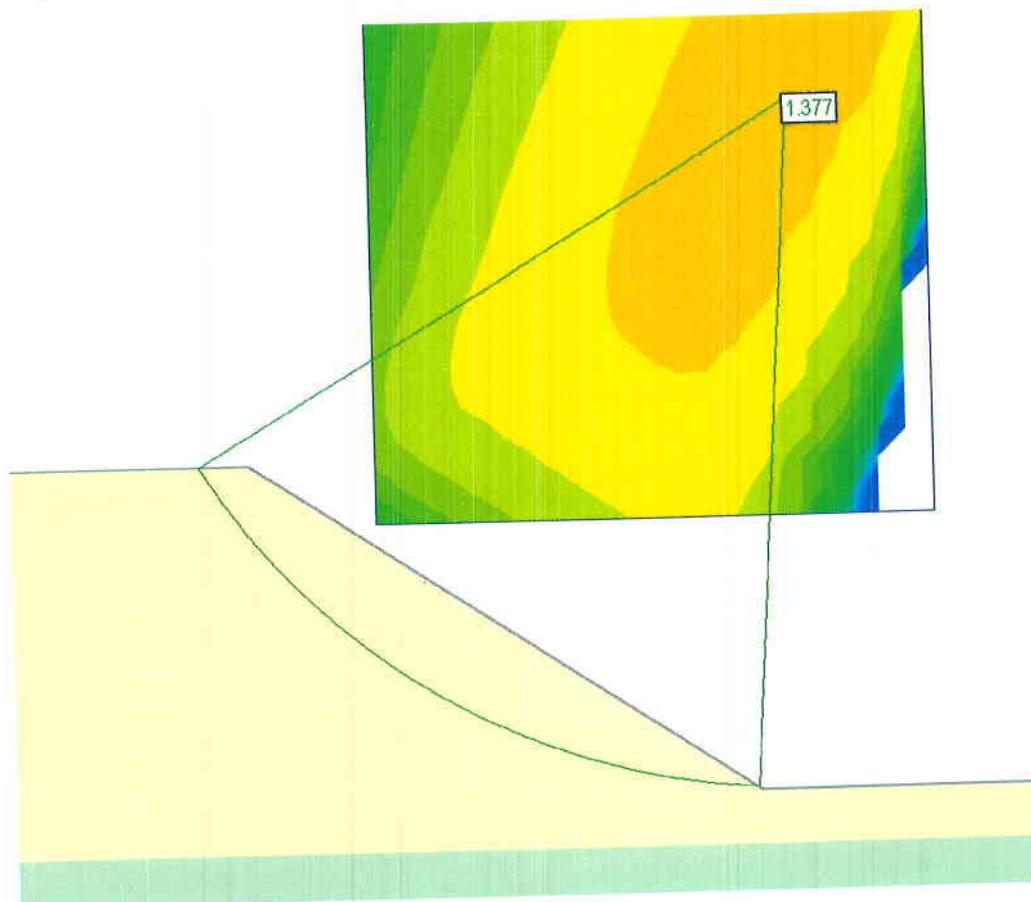
**Ανάλυση “slide1ba” :**

Η ανάλυση αυτή είναι ανάλογη με την προηγούμενη (slide 1b) με διαμόρφωση ενιαίας ηπιότερης κλίσης 2:3 (υ:β) όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα :

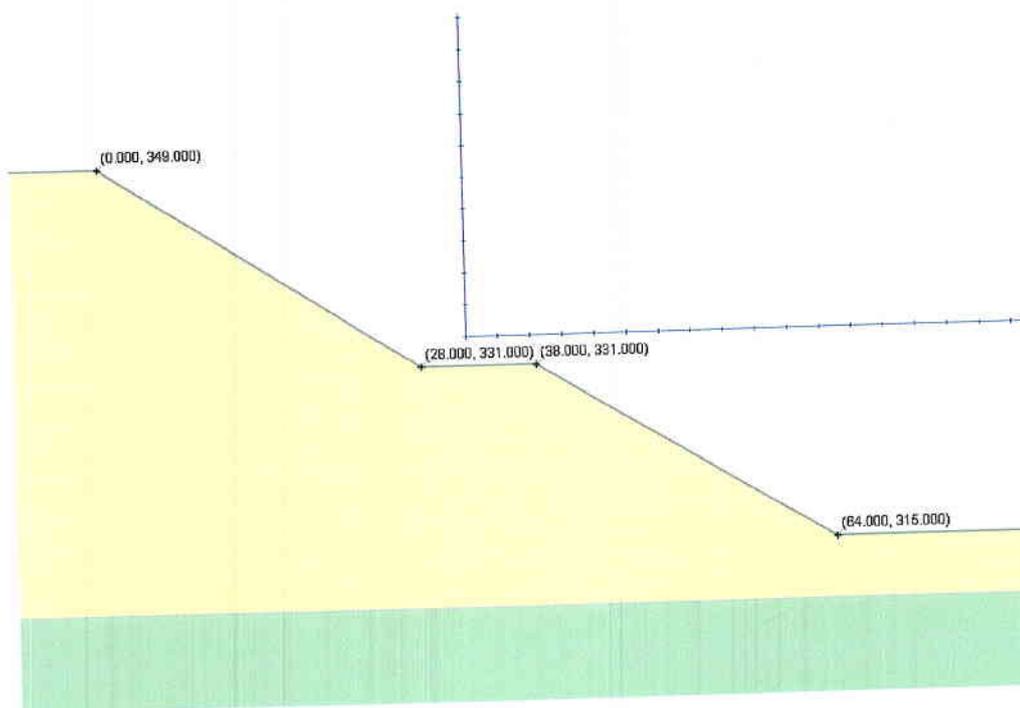


Πρανές με μέση κλίση 2:3 (υ:β) στα ανώτερα 34 μέτρα ύψους.

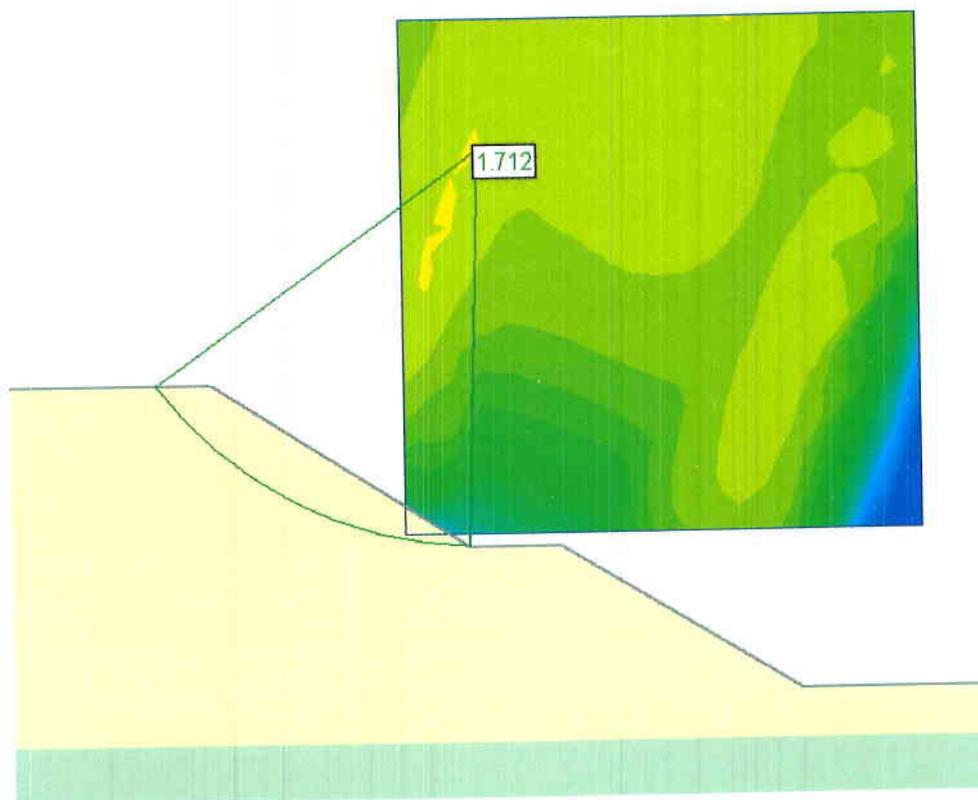
Το ακόλουθο Σχήμα δείχνει τα αποτελέσματα των αναλύσεων που δίνουν συντελεστή ασφαλείας  $FS = 1.38 > 1.30$ , που κρίνεται αποδεκτός.



Εξετάσθηκε επίσης (περίπτωση "slide 1bb") πρανές με δύο βαθμίδες, ύψους εκάστης 17 μέτρων περίπου με κλίση 2:3 και ενδιάμεσο αναβαθμό εύρους 10 μέτρων περίπου.



Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι ο συντελεστής ασφαλείας είναι ίσος με 1.712 (βλέπε επόμενο Σχήμα).



### Συμπεράσματα για την ανατολική και βόρεια πλευρά του πρανούς του αρχαιολογικού χώρου :

#### 1. Ασφάλεια έναντι γενικής αστοχίας του πρανούς :

Το σημερινό υφιστάμενο πρανές του ορυχείου στην περιοχή ενδιαφέροντος έχει συντελεστή ασφαλείας έναντι γενικής αστοχίας 1.465 που κρίνεται αποδεκτός αφού είναι μεγαλύτερος του  $FS=1.375$  που θεωρείται ως ελάχιστος αποδεκτός κατά τον Ευρωκώδικα 7 για την Ελλάδα. Παρά ταύτα, και για περαιτέρω αύξηση της ασφαλείας λόγω της μεγάλης σημασίας του αρχαιολογικού χώρου, θεωρήθηκε ότι μετά το πέρας εκμετάλλευσης του ορυχείου, το δάπεδο θα επιχρωθεί μέχρι τη στάθμη +310 περίπου. Αυτό το πρανές θα έχει συντελεστή ασφαλείας έναντι γενικής αστοχίας 1.723 που επίσης κρίνεται ως πολύ ικανοποιητικός.

Η περαιτέρω εκμετάλλευση του ορυχείου μπορεί να γίνει με εκσκαφή σε τρεις φάσεις (Α, Β και Γ) όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Οι εκτιμώμενοι όγκοι του απολήψιμου υλικού (για εύρος πρανούς 650 μέτρα – από ΧΘ 21+600 έως ΧΘ 22+250) είναι :

Φάση Α : όγκος  $315.000 \text{ m}^3$

Φάση Β : όγκος  $140.000 \text{ m}^3$

Φάση Γ : όγκος  $560.000 \text{ m}^3$

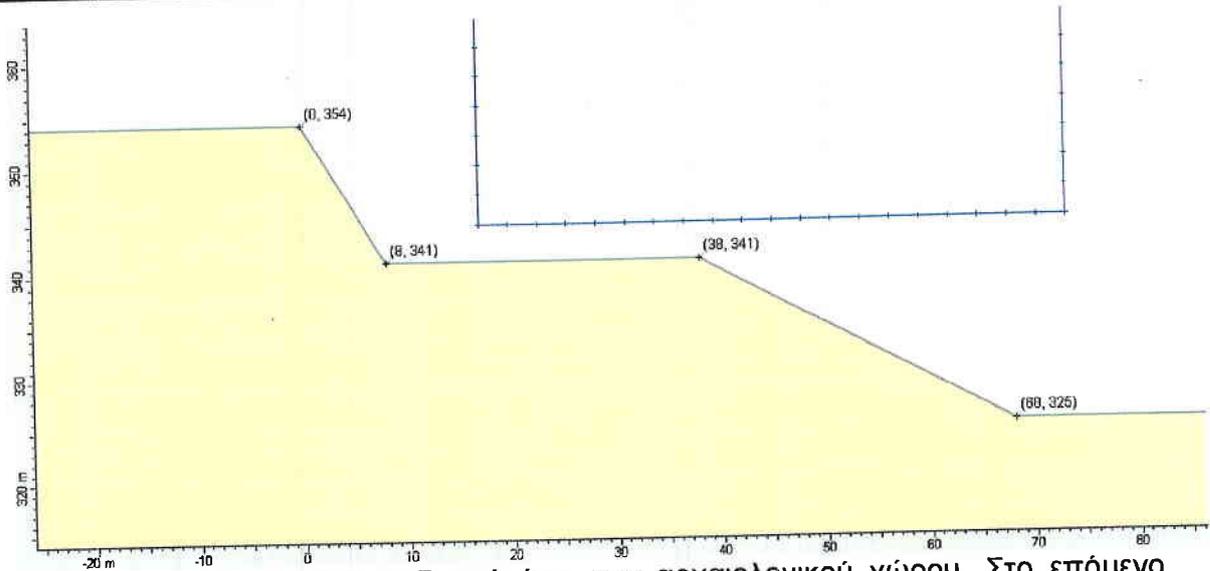
Εκτιμώμενος συνολικός όγκος εκσκαφής των φάσεων Α+Β+Γ =  $1.000.000 \text{ m}^3$

Οι φάσεις Α και Β μπορούν να εκσκαφτούν ταυτόχρονα (ή διαδοχικά) σε όλο το εύρος της περιοχής ενδιαφέροντος. Ο υπολογιζόμενος συντελεστής ασφαλείας στην κατάσταση αυτή είναι 1.20 περίπου που κρίνεται αποδεκτός για το προσωρινό πρανές της εκμετάλλευσης. Η εκσκαφή της Φάσης Γ απαιτείται να γίνει με φατνώματα (ντουλάπια) εύρους της τάξεως των 100 μέτρων, και επίχωση του ενός φατνώματος πριν την εκσκαφή του επόμενου, επειδή ο υπολογιζόμενος συντελεστής ασφαλείας είναι 1.17 ( $< 1.20$ ) για συνολική αποκάλυψη του πρανούς. Τέλος, επιβάλλεται η συνεχής παρακολούθηση των μετακινήσεων του πρανούς σε όλες τις φάσεις της εκμετάλλευσης με την εγκατάσταση τοπογραφικών μαρτύρων κατά μήκος της στέψης του πρανούς (και στις ενδιάμεσες αναβαθμίδες) σε αποστάσεις 75 μέτρων περίπου. Εφόσον παρατηρηθεί αύξηση των μετακινήσεων θα πρέπει να ενημερωθεί η αρμόδια υπηρεσία της ΔΕΗ και να εξετασθεί η λήψη μέτρων.

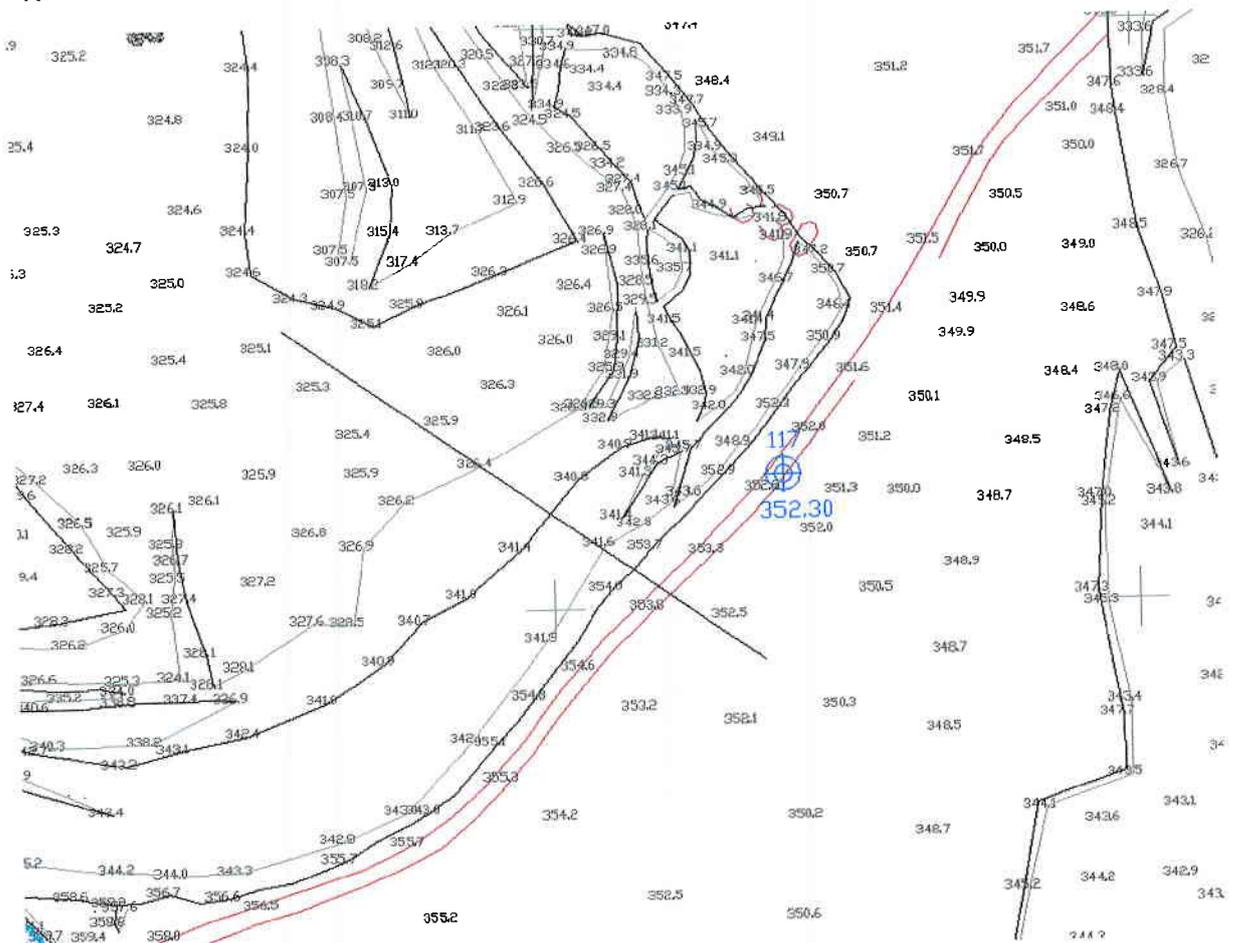
2. Ασφάλεια έναντι τοπικής αστοχίας του ανώτερου τμήματος του πρανούς :  
Το ανώτερο τμήμα (δηλαδή η ανώτερη βαθμίδα) του πρανούς στην ανατολική και βόρεια πλευρά του αρχαιολογικού χώρου έχει ύψος περί τα 20 μέτρα και έχει διαμορφωθεί με κλίσεις της τάξεως του 1:1 (περίπου 45 μοίρες). Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι ο συντελεστής ασφαλείας ισούται με 1.14, τιμή που είναι μεν μεγαλύτερη της μονάδας (και συνεπώς το πρανές δεν αστοχεί) αλλά δεν θεωρείται επαρκής. Με βάση τις αναλύσεις ευστάθειας που εκτελέστηκαν, προκύπτει ότι η ανώτερη βαθμίδα (ύψους έως 20 μέτρων) πρέπει να διαμορφωθεί με κλίση 2:3 (υ:β) ώστε να επιτευχθεί ο αποδεκτός συντελεστής ασφαλείας ( $> 1.375$ ). Σε περίπτωση όπου το ύψος της ανώτερης βαθμίδας υπερβαίνει τα 20 μέτρα, θα πρέπει να παρεμβάλλεται αναβαθμός εύρους τουλάχιστον 5 μέτρων.

## 5. Αναλύσεις ευστάθειας στα βορειοδυτικά του αρχαιολογικού χώρου

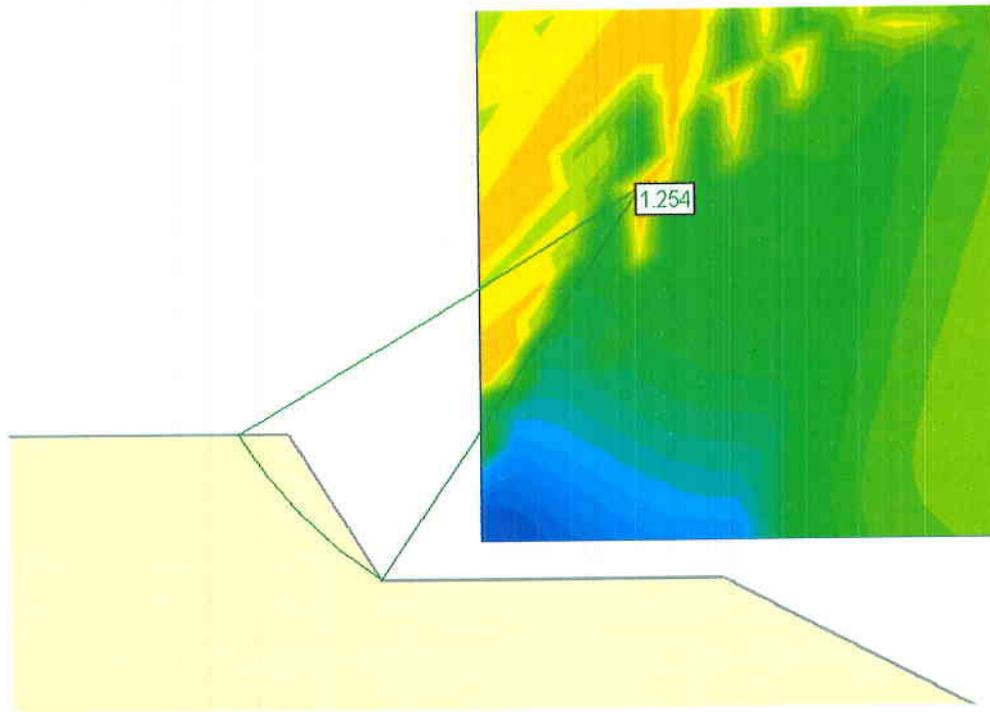
1. Ασφάλεια έναντι γενικής αστοχίας του πρανούς :  
Το πρανές στα βορειοδυτικά του αρχαιολογικού χώρου έχει μικρότερο ύψος από το αντίστοιχο πρανές στην ανατολική και βόρεια πλευρά του αρχαιολογικού χώρου (το οποίο έχει επαρκή ασφάλεια έναντι γενικής αστοχίας) και συνεπώς δεν υπάρχει θέμα γενικής ευστάθειας (βλέπε προηγούμενο εδάφιο για την γενική ευστάθεια του πρανούς στα ανατολικά του αρχαιολογικού χώρου).
2. Ασφάλεια έναντι τοπικής αστοχίας του ανώτερου τμήματος του πρανούς :  
Το επόμενο σχήμα δείχνει μια τυπική δυσμενή διατομή στο ΒΔ τμήμα του πρανούς του αρχαιολογικού χώρου καθώς και την θέση της διατομής στην οριζοντιογραφία. Η ανώτερη βαθμίδα έχει ύψος 13 μέτρα (από το +354 έως το +341) και κλίση 8:13 (υ:β). Στα επόμενα γίνεται ανάλυση της ευστάθειας αυτής της βαθμίδας έναντι τοπικής αστοχίας.



Τυπική διατομή στο βορειο-δυτικό όριο του αρχαιολογικού χώρου. Στο επόμενο Σχέδιο φαίνεται η θέση της διατομής σε οριζοντιογραφία.

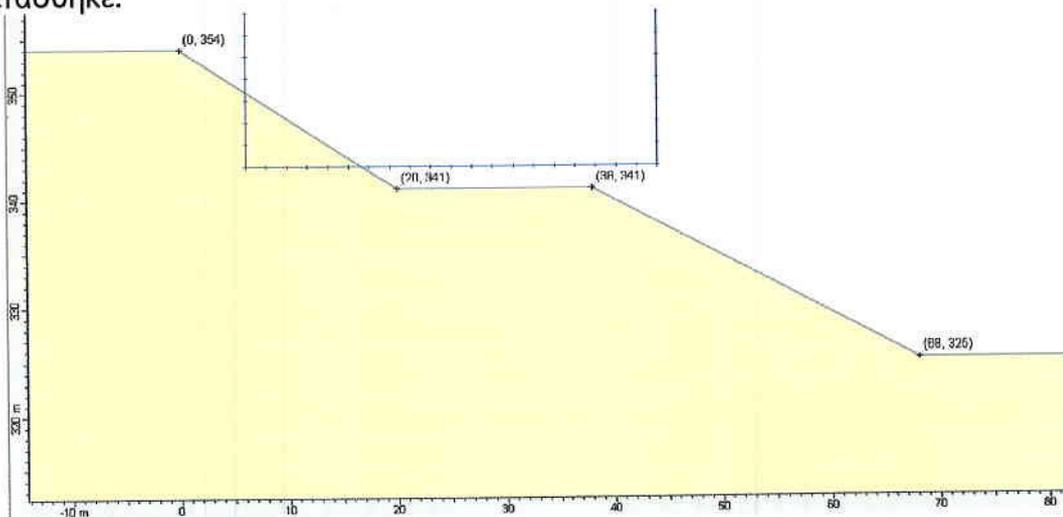


Θέση της διατομής που αναλύθηκε σε οριζοντιογραφία.

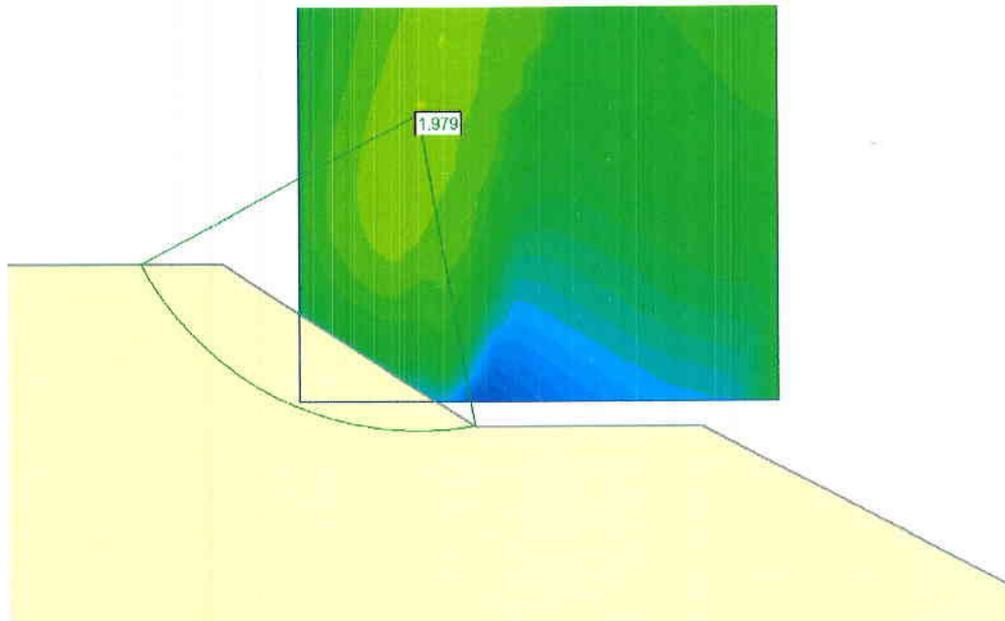


Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.254$ . Ο συντελεστής αυτός είναι μεν μεγαλύτερος της μονάδας (και συνεπώς το πρηνές δεν αστοχεί) αλλά δεν θεωρείται επαρκής.

Για τη βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας εξετάσθηκε απάλυνση της κλίσης της ανώτερης βαθμίδας σε 2:3 (υ:β). Το επόμενο Σχήμα δείχνει τη γεωμετρία που εξετάσθηκε.



Το επόμενο Σχήμα δείχνει τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας :



Ο συντελεστής ασφαλείας είναι  $FS = 1.98$  Που είναι αποδεκτός.

Με βάση τις αναλύσεις ευστάθειας που εκτελέστηκαν, προκύπτει ότι η ανώτερη βαθμίδα (ύψους έως 13 μέτρων) πρέπει να διαμορφωθεί με κλίση 2:3 (υ:β) ώστε να επιτευχθεί ο αποδεκτός συντελεστής ασφαλείας ( $> 1.375$ ). Σε περίπτωση όπου το ύψος της ανώτερης βαθμίδας υπερβαίνει τα 15 μέτρα, θα πρέπει να παρεμβάλλεται αναβαθμός εύρους τουλάχιστον 5 μέτρων.

*M. Kavvas*

Μ. Καββαδάς  
Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## ΤΥΠΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

***Slide Analysis Information*****Document Name**

File Name: slide1.sli

**Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Failure Direction: Left to Right  
Units of Measurement: SI Units  
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Groundwater Method: Water Surfaces  
Data Output: Standard  
Calculate Excess Pore Pressure: Off  
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
Random Numbers: Pseudo-random Seed  
Random Number Seed: 10116  
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Analysis Methods**

Analysis Methods used:  
Bishop simplified  
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
Janbu simplified  
Spencer

Number of slices: 25  
Tolerance: 0.005  
Maximum number of iterations: 50

**Surface Options**

Surface Type: Non-Circular Block Search  
Number of Surfaces: 5000  
Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
Convex Surfaces Only: Enabled  
Left Projection Angle (Start Angle): 135  
Left Projection Angle (End Angle): 135  
Right Projection Angle (Start Angle): 45  
Right Projection Angle (End Angle): 45

**Material Properties**

Material: Lignite  
Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 15 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 5 kPa  
Friction Angle: 15 degrees  
Water Surface: None

Material: Bedrock  
Strength Type: Infinite strength  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>

### **Global Minimums**

Method: bishop simplified

FS: 1.527750  
Axis Location: 205.743, 546.460  
Left Slip Surface Endpoint: 44.498, 347.016  
Right Slip Surface Endpoint: 268.552, 297.797  
Resisting Moment=3.50065e+006 kN-m  
Driving Moment=2.29138e+006 kN-m

Method: janbu simplified

FS: 1.465150  
Axis Location: 202.509, 551.536  
Left Slip Surface Endpoint: 38.650, 347.201  
Right Slip Surface Endpoint: 267.662, 297.848  
Resisting Horizontal Force=16433.8 kN  
Driving Horizontal Force=11216.5 kN

Method: spencer

FS: 1.573930  
Axis Location: 208.006, 545.769  
Left Slip Surface Endpoint: 47.877, 345.658  
Right Slip Surface Endpoint: 272.017, 297.599  
Resisting Moment=3.34664e+006 kN-m  
Driving Moment=2.12629e+006 kN-m  
Resisting Horizontal Force=12938.6 kN  
Driving Horizontal Force=8220.57 kN

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.531300  
Axis Location: 208.006, 545.769  
Left Slip Surface Endpoint: 47.877, 345.658  
Right Slip Surface Endpoint: 272.017, 297.599  
Resisting Moment=3.34587e+006 kN-m  
Driving Moment=2.18498e+006 kN-m  
Resisting Horizontal Force=12918.5 kN  
Driving Horizontal Force=8436.25 kN

### **Valid / Invalid Surfaces**

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 5000  
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 5000  
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 5000  
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 5000  
Number of Invalid Surfaces: 0

## **Slide Analysis Information**

### **Document Name**

File Name: Slide2.sli

### **Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Failure Direction: Left to Right  
Units of Measurement: SI Units  
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Groundwater Method: Water Surfaces  
Data Output: Standard  
Calculate Excess Pore Pressure: Off  
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
Random Numbers: Pseudo-random Seed  
Random Number Seed: 10116  
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

### **Analysis Methods**

Analysis Methods used:  
Bishop simplified  
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
Janbu simplified  
Spencer

Number of slices: 25  
Tolerance: 0.005  
Maximum number of iterations: 50

### **Surface Options**

Surface Type: Non-Circular Block Search  
Number of Surfaces: 5000  
Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
Convex Surfaces Only: Enabled  
Left Projection Angle (Start Angle): 135  
Left Projection Angle (End Angle): 135  
Right Projection Angle (Start Angle): 45  
Right Projection Angle (End Angle): 45

### **Material Properties**

Material: Lignite  
Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 15 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 5 kPa  
Friction Angle: 15 degrees  
Water Surface: None

Material: Bedrock  
Strength Type: Infinite strength  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>

### **Global Minimums**

Method: bishop simplified

FS: 1.204380

Axis Location: 232.172, 562.845

Left Slip Surface Endpoint: 40.390, 347.146

Right Slip Surface Endpoint: 289.662, 280.000

Resisting Moment=4.46433e+006 kN-m

Driving Moment=3.70673e+006 kN-m

Method: janbu simplified

FS: 1.171780

Axis Location: 230.497, 564.788

Left Slip Surface Endpoint: 37.680, 347.231

Right Slip Surface Endpoint: 288.853, 280.000

Resisting Horizontal Force=16444.7 kN

Driving Horizontal Force=14033.9 kN

Method: spencer

FS: 1.224860

Axis Location: 232.172, 562.845

Left Slip Surface Endpoint: 40.390, 347.146

Right Slip Surface Endpoint: 289.662, 280.000

Resisting Moment=4.45182e+006 kN-m

Driving Moment=3.63456e+006 kN-m

Resisting Horizontal Force=15535.3 kN

Driving Horizontal Force=12683.3 kN

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.191520

Axis Location: 232.172, 562.845

Left Slip Surface Endpoint: 40.390, 347.146

Right Slip Surface Endpoint: 289.662, 280.000

Resisting Moment=4.44124e+006 kN-m

Driving Moment=3.72736e+006 kN-m

Resisting Horizontal Force=15493.8 kN

Driving Horizontal Force=13003.4 kN

**Valid / Invalid Surfaces**Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4345

Number of Invalid Surfaces: 655

Error Codes:

Error Code -99 reported for 1 surface

Error Code -105 reported for 654 surfaces

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 4345

Number of Invalid Surfaces: 655

Error Codes:

Error Code -99 reported for 1 surface

Error Code -105 reported for 654 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 4345

Number of Invalid Surfaces: 655

Error Codes:

Error Code -99 reported for 1 surface

Error Code -105 reported for 654 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4345

Number of Invalid Surfaces: 655

Error Codes:  
Error Code -99 reported for 1 surface  
Error Code -105 reported for 654 surfaces

### **Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-99 = Slip surface intersects an infinite strength material. If infinite strength regions are defined for a model, a large number of potential slip surfaces may show this error code. This is Normal.

-105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.

## ***Slide Analysis Information***

### **Document Name**

File Name: Slide3.sli

### **Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Failure Direction: Left to Right  
Units of Measurement: SI Units  
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Groundwater Method: Water Surfaces  
Data Output: Standard  
Calculate Excess Pore Pressure: Off  
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
Random Numbers: Pseudo-random Seed  
Random Number Seed: 10116  
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

### **Analysis Methods**

Analysis Methods used:  
Bishop simplified  
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
Janbu simplified  
Spencer

Number of slices: 25  
Tolerance: 0.005  
Maximum number of iterations: 50

### **Surface Options**

Surface Type: Non-Circular Block Search  
Number of Surfaces: 5000  
Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
Convex Surfaces Only: Enabled  
Left Projection Angle (Start Angle): 135

Left Projection Angle (End Angle): 135  
Right Projection Angle (Start Angle): 45  
Right Projection Angle (End Angle): 45

### **Material Properties**

Material: Lignite  
Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 15 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 5 kPa  
Friction Angle: 15 degrees  
Water Surface: None

Material: Bedrock  
Strength Type: Infinite strength  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>

### **Global Minimums**

#### Method: bishop simplified

FS: 1.209050  
Axis Location: 148.739, 477.915  
Left Slip Surface Endpoint: 32.997, 347.379  
Right Slip Surface Endpoint: 183.722, 307.000  
Resisting Moment=1.28068e+006 kN-m  
Driving Moment=1.05925e+006 kN-m

#### Method: janbu simplified

FS: 1.162820  
Axis Location: 148.739, 477.915  
Left Slip Surface Endpoint: 32.997, 347.379  
Right Slip Surface Endpoint: 183.722, 307.000  
Resisting Horizontal Force=7095.71 kN  
Driving Horizontal Force=6102.14 kN

#### Method: spencer

FS: 1.250150  
Axis Location: 147.449, 479.729  
Left Slip Surface Endpoint: 30.746, 347.450  
Right Slip Surface Endpoint: 183.251, 307.000  
Resisting Moment=1.29795e+006 kN-m  
Driving Moment=1.03824e+006 kN-m  
Resisting Horizontal Force=7198.88 kN  
Driving Horizontal Force=5758.42 kN

#### Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.209560  
Axis Location: 150.462, 480.792  
Left Slip Surface Endpoint: 33.288, 347.370  
Right Slip Surface Endpoint: 186.895, 307.000  
Resisting Moment=1.41001e+006 kN-m  
Driving Moment=1.16572e+006 kN-m  
Resisting Horizontal Force=7691.45 kN  
Driving Horizontal Force=6358.88 kN

### **Valid / Invalid Surfaces**

#### Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4998  
Number of Invalid Surfaces: 2  
Error Codes:  
Error Code -105 reported for 2 surfaces

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 4998

Number of Invalid Surfaces: 2

Error Codes:

Error Code -105 reported for 2 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 4998

Number of Invalid Surfaces: 2

Error Codes:

Error Code -105 reported for 2 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4998

Number of Invalid Surfaces: 2

Error Codes:

Error Code -105 reported for 2 surfaces

**Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-105 = More than two surface / slope  
intersections with no valid slip surface.

***Slide Analysis Information*****Document Name**

File Name: slide4.sli

**Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Failure Direction: Left to Right

Units of Measurement: SI Units

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>

Groundwater Method: Water Surfaces

Data Output: Standard

Calculate Excess Pore Pressure: Off

Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off

Random Numbers: Pseudo-random Seed

Random Number Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Analysis Methods**

Analysis Methods used:

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Janbu corrected

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

**Surface Options**

Surface Type: Circular  
Radius increment: 10  
Minimum Elevation: Not Defined  
Composite Surfaces: Disabled  
Reverse Curvature: Create Tension Crack

### **Material Properties**

#### **Material: soil 1**

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 18 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 20 kPa  
Friction Angle: 30 degrees  
Water Surface: None

#### **Material: soil 2**

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 18 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 30 kPa  
Friction Angle: 30 degrees  
Water Surface: None

### **Global Minimums**

#### **Method: bishop simplified**

FS: 1.253820  
Center: 30.877, 375.340  
Radius: 41.243  
Left Slip Surface Endpoint: -4.415, 354.000  
Right Slip Surface Endpoint: 7.975, 341.041  
Resisting Moment=26992.5 kN-m  
Driving Moment=21528.1 kN-m

#### **Method: janbu corrected**

FS: 1.278370  
Center: 30.877, 375.340  
Radius: 41.243  
Left Slip Surface Endpoint: -4.415, 354.000  
Right Slip Surface Endpoint: 7.975, 341.041  
Resisting Horizontal Force=462.058 kN  
Driving Horizontal Force=361.444 kN

#### **Method: gle/morgenstern-price**

FS: 1.248860  
Center: 30.877, 375.340  
Radius: 41.243  
Left Slip Surface Endpoint: -4.415, 354.000  
Right Slip Surface Endpoint: 7.975, 341.041  
Resisting Moment=26885.5 kN-m  
Driving Moment=21528.1 kN-m  
Resisting Horizontal Force=450.866 kN  
Driving Horizontal Force=361.023 kN

### **Valid / Invalid Surfaces**

#### **Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 4797  
Number of Invalid Surfaces: 54  
Error Codes:  
Error Code -103 reported for 22 surfaces  
Error Code -106 reported for 1 surface  
Error Code -108 reported for 30 surfaces