

Γεωτεχνική και Γεωφυσική

Έρευνα Υπεδάφους

Διδάσκων: Β. Μαρίνος, Επ. Καθηγητής

- Γεωτεχνικός Τομέας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
 - Αντιπρόεδρος της Διεθνούς Ένωσης Τεχνικής και Περιβάλλοντος (IAEG)
 - PhD, MSc, DIC

marinosv@civil.ntua.gr

«Γεωτεχνική και Γεωφυσική Έρευνα Υπεδάφους»

ΔΙΑΔΙΚΑΣΤΙΚΑ

- ▶ 3 Διαλέξεις από τον διδάσκοντα Επ. Καθ. Β. Μαρίνο
- ▶ 6 Διαλέξεις από τον Καθ. Γ. Αποστολόπουλο
- ▶ 4 Διαλέξεις από τον Επ. Καθ. Γ. Ζευγώλη

«Γεωτεχνική και Γεωφυσική Έρευνα Υπεδάφους»

Η κατασκευή κάθε τεχνικού έργου προκαλεί μεταβολές στην υπάρχουσα κατάσταση του υπεδάφους.

Το υπέδαφος “αντιδρά” σε κάθε τέτοια μεταβολή. Αν η “αντίδραση” ξεπεράσει τα όρια σχεδιασμού του έργου ή είναι μη αναμενόμενη, το έργο θα υποστεί βλάβη ή θα αστοχήσει.

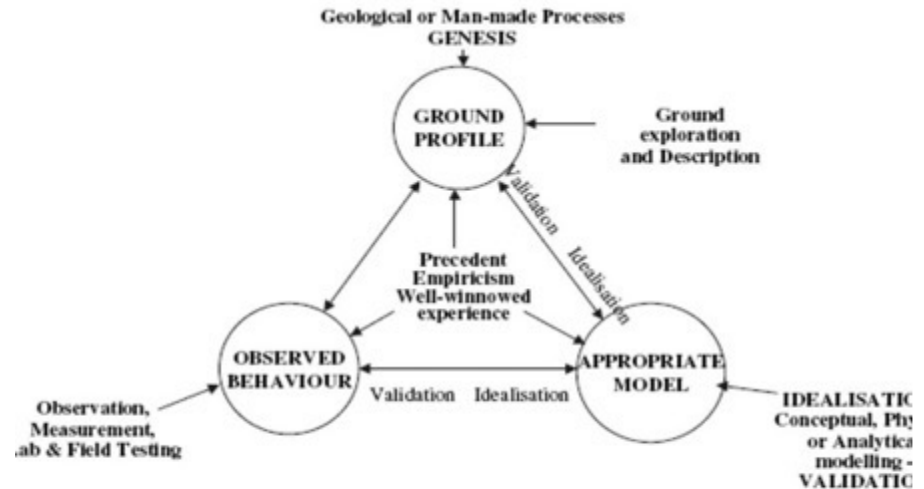
ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

1. How is the ground? (compose the ground profile)
2. How the ground works? (find the critical failure mechanism, define all the characteristic engineering geological-geotechnical “keys” that configure this behaviour)
3. Which are the critical design parameters to assign to the analytical – numerical model?

Three basic areas of activity that encapsulate the practice of geotechnical engineering

- Through the 'Ground profile'
- Into predicting 'Ground behaviour'
- Through the idealisation process where an 'Appropriate model' is designed. Ensure that the reality is modelled

Basic Principles: The Burland Triangle



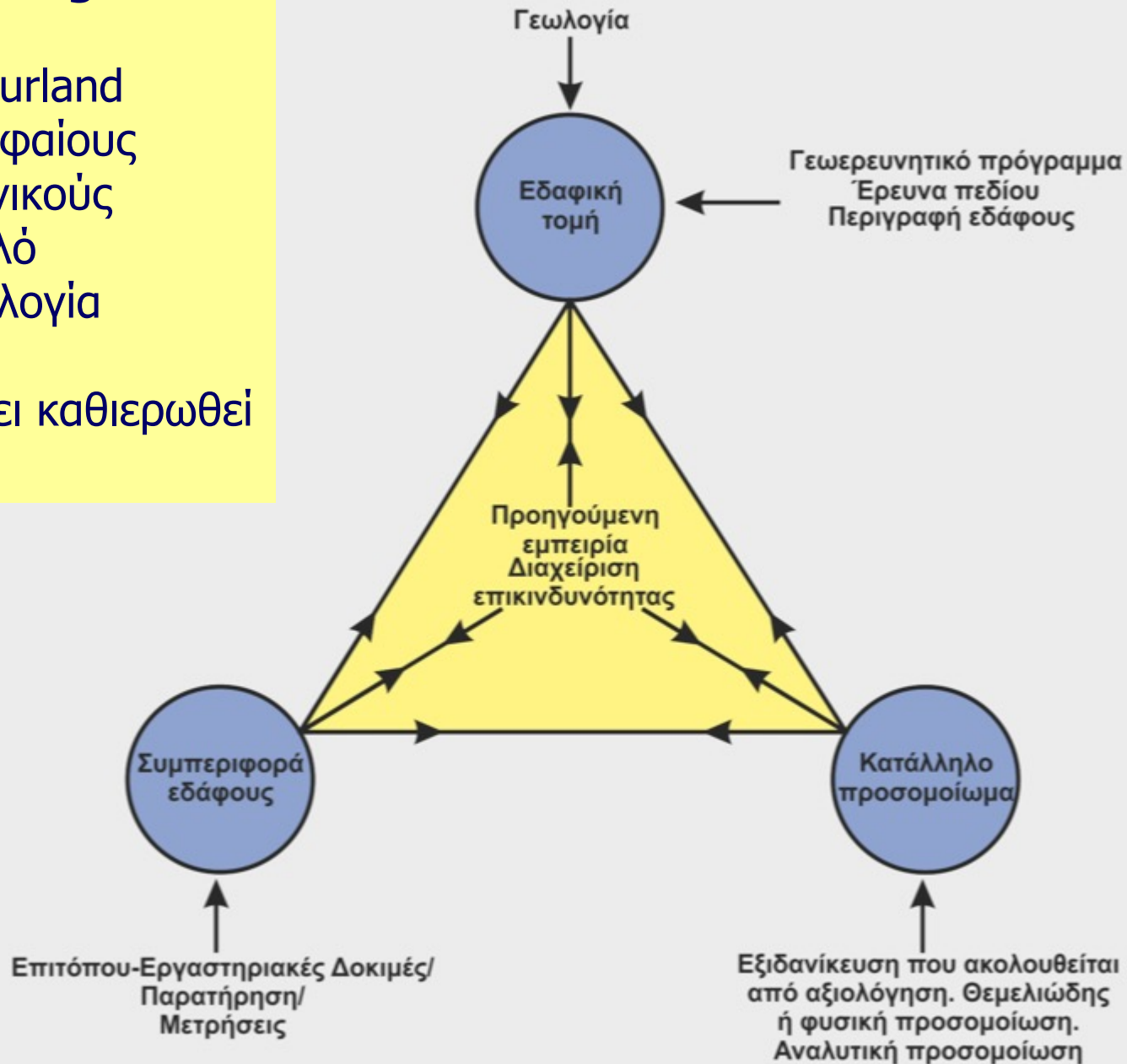
John Burland, 1987, 2007

Burland's 'ground mechanics triangle'
(Burland 1987; *Ground Engineering* 32, 1999)

Burland's Triangle

Σημείωση: Ο Καθ. Burland είναι από τους κορυφαίους Γεωτεχνικούς Μηχανικούς στον κόσμο με υψηλό σεβασμό για τη γεωλογία και το ρόλο της. Το τρίγωνο αυτό έχει καθιερωθεί και στην πράξη!

BURLAND TRIANGLE TO "ΤΡΙΓΩΝΟ ΤΟΥ BURLAND"



**ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ
«ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ»
ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ**

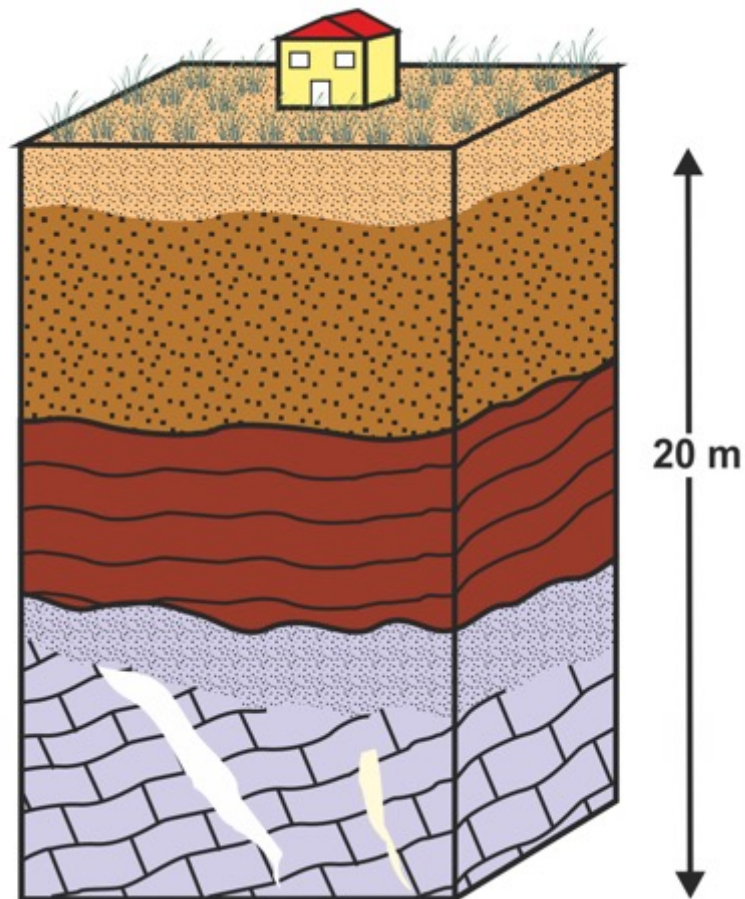
1. Τι γνωρίζουμε;
2. Τι δεν γνωρίζουμε;
3. Τι χρειάζεται να γνωρίζουμε;

Πώς διερευνούμε το υπέδαφος;
Τι είδους πληροφορίες πρέπει να συλλέξουμε;

ΕΔΑΦΟΣ

ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

ΥΠΟΒΑΘΡΟ



Γεώτρηση με
εγκατεστημένο πιεζόμετρο

Ερευνητικό φρέαρ

ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

Μετρίως πυκνή, καστανή, μεσόκοκκη,
αργιλώδης ΑΜΜΟΣ

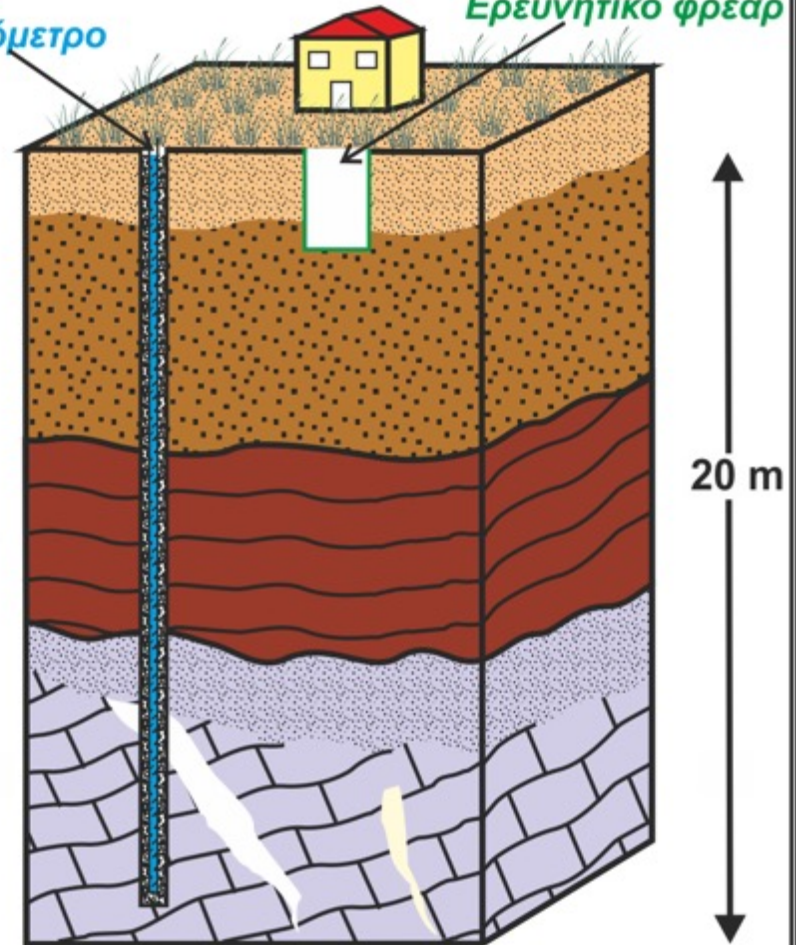
Σταθερή προς στριφρή, μέσης πλαστικότητας,
ερυθροκάστανη, ΑΡΓΙΛΟΣ κατά θέσεις με άμμο
και ασβεστιτικά συγκρίματα

ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Κατακερματισμένος - αποδιοργανωμένος
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ με παρουσία αργιλικού
υλικού στις ασυνέχειες του

ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Αδιατάρακτος μεσοστρωματώδης
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ με μικρά καρστικά έγκοιλα



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

ΚΑΠΟΙΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...



- Σε ποιο βάθος είναι το υπόβαθρο;
- Ποιο το πάχος των εδαφικών υλικών;
- Υπάρχουν τεχνητές επιχώσεις (μπάζα) και ποιο το πάχος τους; (έχουν μηδενικές αντοχές και πιθανόν σημαντικούς ρύπους)
- Υπάρχει αποσαθρωμένος μανδύας πριν το συμπαγές υπόβαθρο; (άλλες ιδιότητες έχει ο βράχος και άλλες αποσαθρωμένος μανδύας)
- Ποια η πυκνότητα και η συνεκτικότητα των εδαφών;
- Τα εδαφικά υλικά είναι χαλαρά (για τα αδρόκοκκα), μαλακά (για τα λεπτόκοκκα) ή είναι πυκνά (για τα αδρόκοκκα), σκληρά (για τα λεπτόκοκκα)
- Βελτιώνεται η ποιότητα των εδαφών με το βάθος (π.χ. γίνονται πιο συνεκτικά;) ή όχι; (π.χ. από Τεταρτογενείς αποθέσεις σε Νεογενείς)
- Πόσο κερματισμένος είναι ο βράχος; (ανάλογα πόσο κερματισμένος είναι έχει και λιγότερη αντοχή)
- Έχει και δευτερογενή υλικά ο βράχος (π.χ. αργιλικά);
- Που είναι ο υδροφόρος ορίζοντας (ελεύθερος-υπό πίεση) (για να βρούμε τις πιέσεις που αναπτύσσονται από το νερό);
- Υπάρχουν οργανικά υλικά μέσα στα εδάφη; (πρέπει να το γνωρίζουμε γιατί είναι πολύ συμπιεστά εδάφη)
- Υπάρχουν κενά στο έδαφος; (σε μια θεμελίωση θα είχαμε άμεση κατάρρευση ή μεγάλη καθίζηση)

Γεώτρηση με
εγκατεστημένο πιεζόμετρο

Ερευνητικό φρέαρ

ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

Μετρίως πυκνή, καστανή, μεσόκοκκη, αργιλώδης ΑΜΜΟΣ

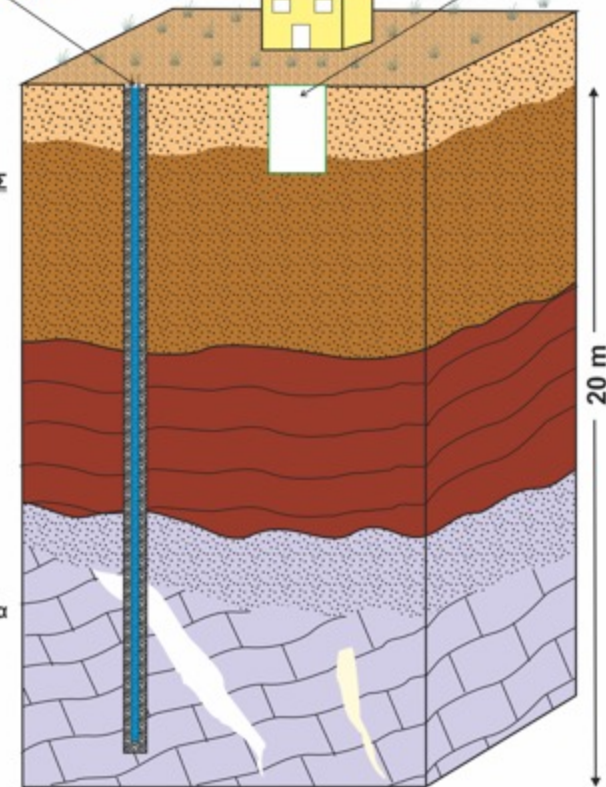
Σταθερή προς στριφνή, μέσης πλαστικότητας, ερυθροκάστανη, ΑΡΓΙΛΟΣ κατά θέσεις με άμμο και ασβεστιτικά συγκρίματα

ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Κατακερματισμένος - αποδιοργανωμένος ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ με παρουσία αργιλικού υλικού στις ασυνέχειες του

ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Αδιατάρακτος μεσοστρωματώδης ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ με μικρά καρστικά έγκοιλα



Η γνώση της συμπεριφοράς του υπεδάφους κάτω από τις νέες συνθήκες, που επιβάλλει το τεχνικό έργο, είναι καθοριστική για τη μελέτη, κατασκευή και λειτουργία του έργου, με τη μεγαλύτερη οικονομία και ασφάλεια

Η παραπάνω γνώση αποκτάται με τη λεπτομερή διερεύνηση του υπεδάφους και την κατανόηση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή κατασκευής του τεχνικού έργου

Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κάθε μελετητής στην προσπάθειά του να προβλέψει τους γεωλογικούς και γεωτεχνικούς κινδύνους στην κατασκευή τεχνικών έργων είναι η πληρότητα και ακρίβεια των στοιχείων που προκύπτουν από τη διερεύνηση του υπεδάφους

Ένα ανεπαρκές πρόγραμμα γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών έχει ως αποτέλεσμα την ανεπαρκή γνώση των συνθηκών του υπεδάφους που μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα, με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους του έργου ή ακόμα και την εκδήλωση αστοχιών

Για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών εφαρμόζονται συνήθως εθνικές ή διεθνείς οδηγίες και προδιαγραφές (γενικές αρχές και κανόνες - δεν αντιμετωπίζουν τις ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής ή γεωλογικού σχηματισμού).

«Η φύση δεν ακολούθησε κάποιες προδιαγραφές, όταν δημιούργησε τους βραχώδεις και εδαφικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Ένα «ελάττωμα» ή μια ιδιαιτερότητα των σχηματισμών αυτών, που μπορεί να διαφύγει της προσοχής κατά τη διάρκεια μιας τυπο-ποιημένης έρευνας, είναι δυνατό να αποδειχθεί μοιραίο για τη λειτουργικότητα του έργου.....

Η κρίση (βασισμένη στην εμπειρία) αποτελεί κύριο παράγοντα στη Γεωτεχνική και η κρίση αυτή δεν μπορεί να τυποποιηθεί».

Ralph Peck (1997)

ΕΡΕΥΝΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ - ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Το γεω-ερευνητικό πρόγραμμα διερευνά και εκτιμά τις συνθήκες του εδάφους πριν ξεκινήσει ο τελικός σχεδιασμός και κατασκευή ενός τεχνικού έργου.

Οι στόχοι ενός γεω-ερευνητικού προγράμματος ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση του υπό μελέτη - κατασκευή τεχνικού έργου αλλά γενικά περιλαμβάνουν ένα από τα παρακάτω.

- Καταλληλότητα της θέσης για το προτεινόμενο έργο
- Επιτόπου συνθήκες και ιδιότητες εδάφους
- Πιθανά προβλήματα στο έδαφος ή/και αστάθειες

ΕΡΕΥΝΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ - ΣΤΟΧΟΙ

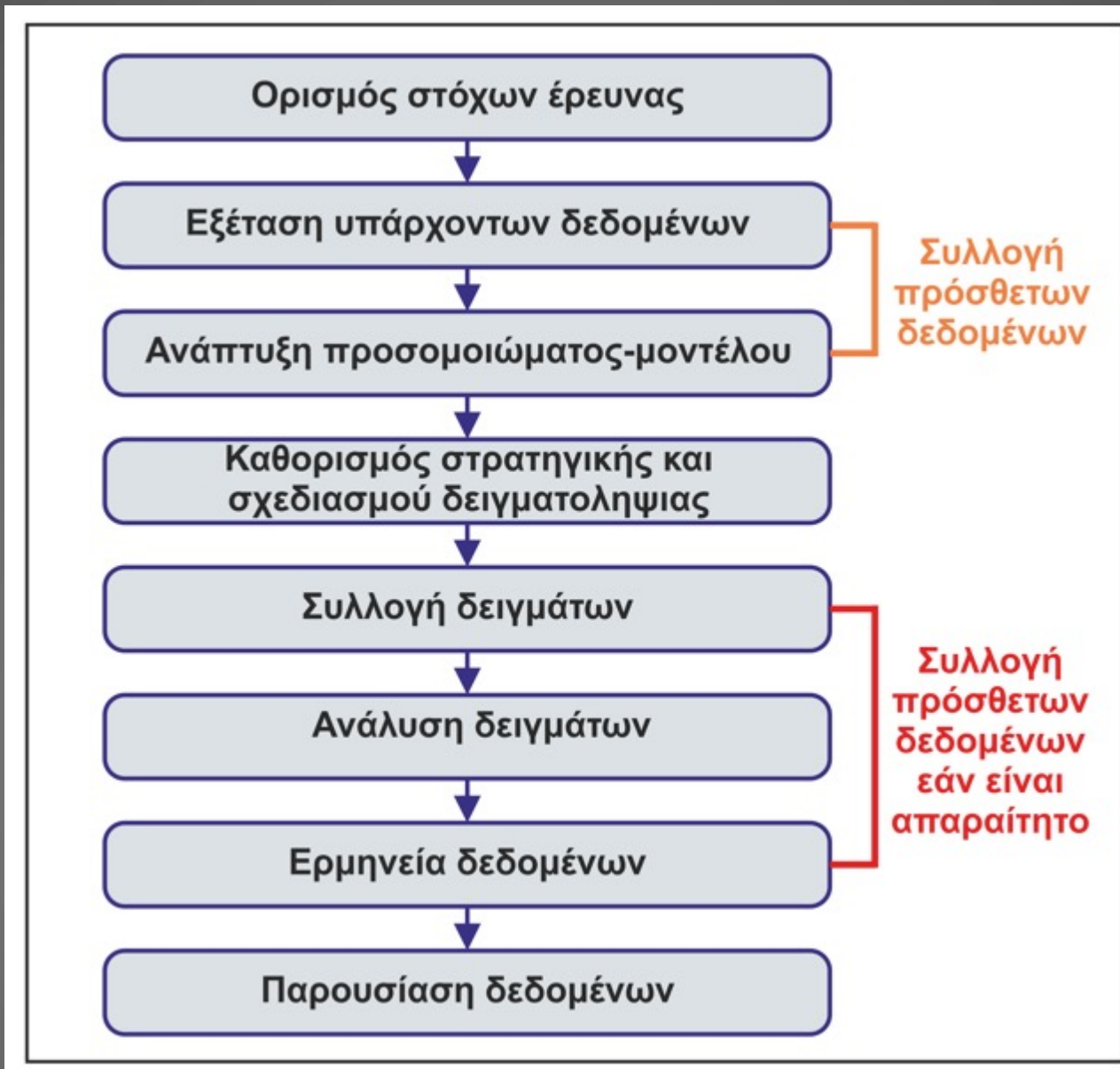
Ο Σχεδιασμός του προγράμματος είναι προσανατολισμένος να συλλέξει δεδομένα για:

- ▶ Επιφανειακή εμφάνιση και σε βάθος εξάπλωση των γεωλογικών σχηματισμών
- ▶ Τύπος εδαφικών και βραχωδών σχηματισμών, γεωμετρία και αλληλουχία στρωμάτων, φύση και πάχος πρόσφατων αποθέσεων, παρουσία εκρηξιγενών διεισδύσεων
- ▶ Οικογένειες ασυνεχειών: σπουδαιότητα, συχνότητα και προσανατολισμός. Ύπαρξη ρηγμάτων, σχέση με σεισμικότητα (ενεργά ρήγματα)
- ▶ Βαθμός αποσάθρωσης των πετρωμάτων και ιδιαίτερα φαινόμενα διάλυσης (καρστικοποίηση ασβεστολίθου, κενά σε γύψο)
- ▶ Υδρογεωλογικές συνθήκες (διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, υπόγεια ροή, εντοπισμός *επιθετικών* χημικών στοιχείων και αλάτων στο υπόγειο νερό, όπως τα θειικά που επιδρούν στο τσιμέντο)

ΕΡΕΥΝΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ - ΣΤΟΧΟΙ

- ▶ Εντοπισμός παλιών λατομείων ή στοών εκμετάλλευσης κοιτασμάτων που μπορεί να δημιουργήσουν αστάθεια στην επιφάνεια. Μαλακά, διογκούμενα και επικίνδυνα για κατολισθήσεις εδάφη
- ▶ Πιθανότητα έκλυσης επικινδύνων αερίων σε υπόγεια έργα
- ▶ Καταλληλότητα των εδαφών και πετρωμάτων, κυρίως αυτών που προβλέπεται να εκσκαφθούν λόγω κατασκευής του έργου, ως δομικά υλικά

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ



ΣΤΑΔΙΑ ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

I. Αρχικό στάδιο

- Εργασία γραφείου διαθέσιμων στοιχείων
- Επιτόπου επίσκεψη και παρατήρηση
- Προκαταρκτική έκθεση και σχεδιασμός εργασιών υπαίθρου

II. Κύριο στάδιο

• Εργασία υπαίθρου

- Γεωλογική χαρτογράφηση
- Γεωτρήσεις, σκάματα παρατήρησης
- Επιτόπου δοκιμές
- Γεωφυσική διασκόπηση
- Κατατάξεις εδαφών
- Ταξινομήσεις βραχώμαζας
- Μετρήσεις τεκτονικών στοιχείων

- Εργαστηριακές δοκιμές
- Τελική έκθεση

III. Στάδιο επισκόπησης και Λειτουργίας

- Γεωμηχανική παρακολούθηση κατά την κατασκευή και λειτουργία

ΓΕΩ-ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΟΣΤΟΣ

Το μέγεθος και το κόστος ενός γεωερευνητικού προγράμματος ποικίλει εξαιρετικά ανάλογα με το είδος του έργου, και τη πολυπλοκότητα των τοπικών γεωλογικών συνθηκών.

- Εκδηλώνεται ως ποσοστό που συνολικού κόστους του έργου (π.χ. Για τα φράγματα 1-3%, Οδοποιία 0.2-1.5%, κτίρια 0.05-0.2%)
- Η λογική κάθε γεωερευνητικού προγράμματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε να συνεχίζεται μέχρι οι εδαφικές συνθήκες να είναι γνωστές και κατανοητές τόσο ώστε τα έργα πολ. Μηχανικού να εξελιχθούν με ασφάλεια.
- Αυτή η λογική πρέπει να ακολουθείται πάντα, ανεξάρτητα του κόστους:
 - Μπορεί με το διπλασιασμό του γεω-ερευνητικού προγράμματος να προστίθεται 1% στο συνολικό κόστος αλλά σε περίπτωση πτωχής γεω-έρευνας, πιθανές απρόοπτες γεωλογικές συνθήκες (συμβαίνουν συχνά) αυξάνουν το συνολικό κόστος κατά 10% ή περισσότερο.

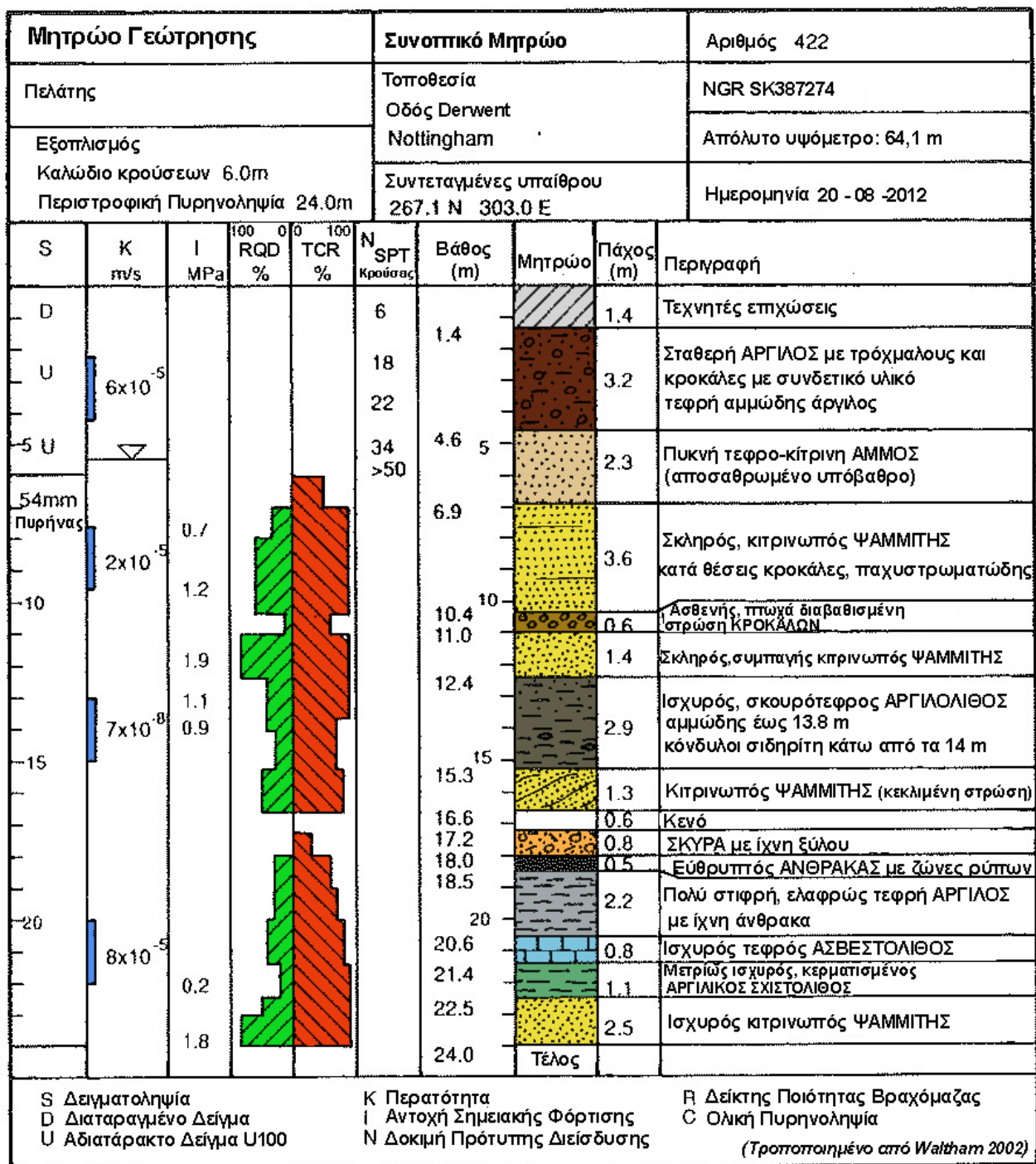
ΓΕΩ-ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΟΣΤΟΣ

Στατιστικά από έργα στην Βρετανία (από Waltham 2002)

- Το 1/3 των έργων καθυστερούν λόγω των γεωλογικών συνθηκών
- Οι απρόβλεπτες γεωλογικές συνθήκες είναι η κύρια αιτία για νομικές διεκδικήσεις.
- Μισές από τις υπερ-κοστολογήσεις των έργων οδοποιίας οφείλονται σε ατελές γεω-ερευνητικό πρόγραμμα ή σε πτωχή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Πρέπει να πληρώνετε για γεωερευνητικό πρόγραμμα
είτε έχετε είτε όχι.

- «Εργαλεία» Γεω-έρευνας
- Τι πληροφορίες αντλούμε;
- π.χ. Γεωτρήσεις
 - στρωματογραφία
 - στάθμη νερού
 - Γεω-κίνδυνοι (κενό, ρήγμα)
 - φυσικά και Μηχανικά χαρ/κα από επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές
 - όργανα παρακολούθησης



ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗ

Έστω ότι θέλουμε να κατασκευάσουμε αστική σήραγγα (Μετρό) σε περιοχή όπου έχει γίνει στο παρελθόν υπόγεια εξόρυξη λιγνίτη. Ποιες οι πληροφορίες που πρέπει να συλλέξουμε από κάθε γεώτρηση στον άξονα του μελλοντικού έργου



Γενικά

Βασικές πληροφορίες:

1. Εργασία υπαίθρου

a. Στρωματογραφία ζώνης έργου (κλίμακα δεκάδων m, π.χ. 20-30m)

b. Στάθμη υπόγειου νερού

.....Εδώ σταματάει η εργασία του Γεωλόγου;;;...OXI βέβαια...συνεχίζει

c. Ποιότητα εδαφών και βράχων με το βάθος

i. Ποιοτικά (πυκνό-χαλαρό, σκληρό-μαλακό, κερματισμένο-συμπαγές) με περιγραφή από τον Γεωλόγο

ii. Ποσοτικά με τον βαθμό κερματισμού με τον δείκτη RQD, TCR, SCR

iii. Ταξινόμηση βραχώμαζας (GSI, RMR)

iv. Με επιτόπου δοκιμές (Δοκιμή πρότυπης διείδυσης-SPT, Αντοχή σημειακής φόρτισης- I, περατότητας)

2. Εργαστηριακές δοκιμές

a. Κατάταξη (φύση υλικών)

b. Αντοχή εδαφικών και βραχωδών δειγμάτων σε διάφορα βάθη (βάθη που αφορούν το έργο - εδώ π.χ. το έργο είναι αστική σήραγγα ...άρα μας ενδιαφέρει και η ζώνη πάνω από τη σήραγγα όπου βρίσκονται σπίτια)

c. Πιθανώς δείγματα από νερό για τη μελέτη αντοχής-φθοράς του σκυροδέματος (που θα επενδύσει τη σήραγγα).

Συγκεκριμένα (για το παράδειγμα)

1. Να βρούμε το βάθος εκμετάλλευσης:

a. Γιατί;

i. Η ζώνη γύρω από τη περιοχή παλαιάς εκμετάλλευσης είναι καταπονημένη και πολύ πιθανόν να έχει αστοχήσει (να έχει καταρρεύσει το γεωυλικό μέσα στη στοά). Τεχνικογεωλογική ζώνη με χαμηλές έως μηδενικές αντοχές.

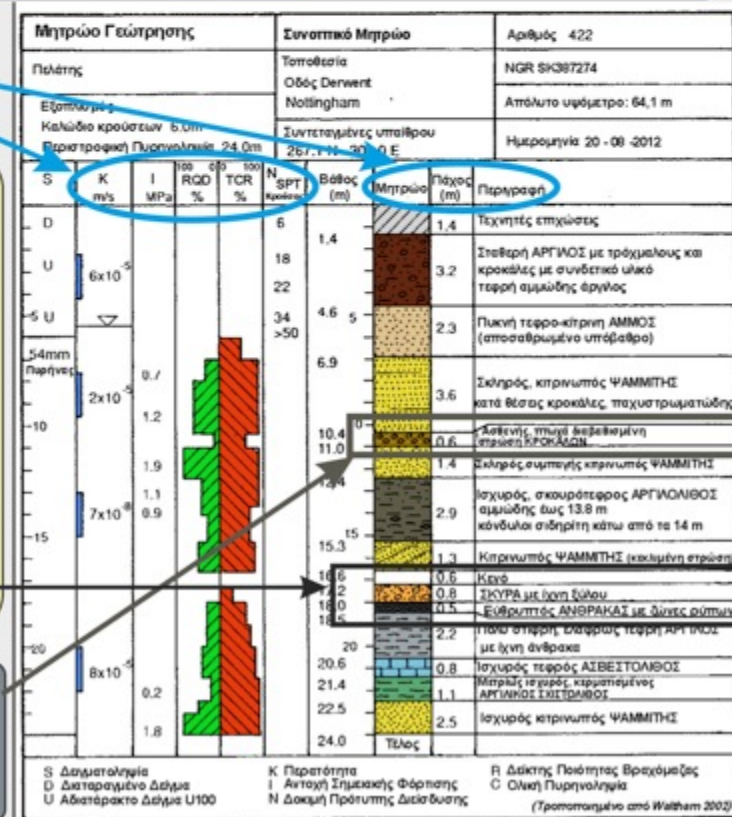
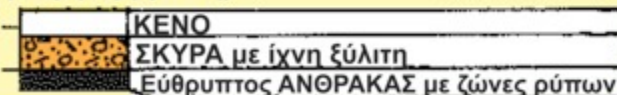
ii. Υπάρχουν κενά (από τις στοές): Κινδυνεύει η νέα σήραγγα με κατάρρευση

b. Πώς αυτό μπορεί να βρεθεί; Με παρατήρηση από τα δείγματα και την απώλεια δείγματος (πιθανό κενό):

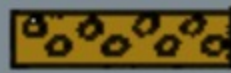
i. Κενά (από τις στοές που δεν έχουν καταρρεύσει)

ii. Σκύρα ξυλίτη (μπάζα από την εξόρυξη ξυλίτη)

iii. Ξυλίτης



*Ανεξάρτητη πληροφορία: Προσοχή, εδώ δεν σημαίνει ότι σε αυτό το βάθος έχει μόνο κροκάλες. Στην πραγματικότητα έχει και λεπτόκοκκα υλικό (π.χ. άργιλος με άμμο) το οποίο και "ξεπλύθηκε" κατά τη δειγματοληψία (Προσοχή στην δειγματοληψία! Βλ. Μάθημα Τεχνική Γεωτρήσεων)

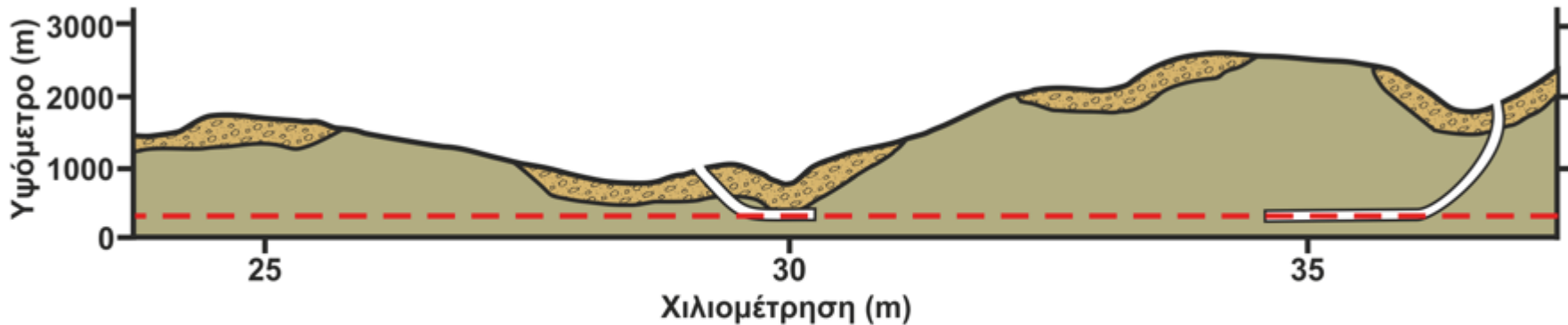


Ασθενής, πτωχά διαβαθισμένη στρώση ΚΡΟΚΑΛΩΝ

S Διαστασιολογία
D Διαπερασιμότητα Δείγμα
U Αδιατάρακτο Δείγμα U100
K Παρατήρηση
I Αντοχή Σημειακής Φόρτισης
N Δοκιμή Πρότυπης Διείδυσης
R Δείκτης Ποιότητας Βραχώμαζας
C Ολική Πυρρολογική
(Τροποποιημένο από Waltham 2002)

«ΕΡΓΑΛΕΙΑ» ΓΕΩ-ΕΡΕΥΝΑΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΒΑΘΙΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Αλλούβια



Υπόβαθρο



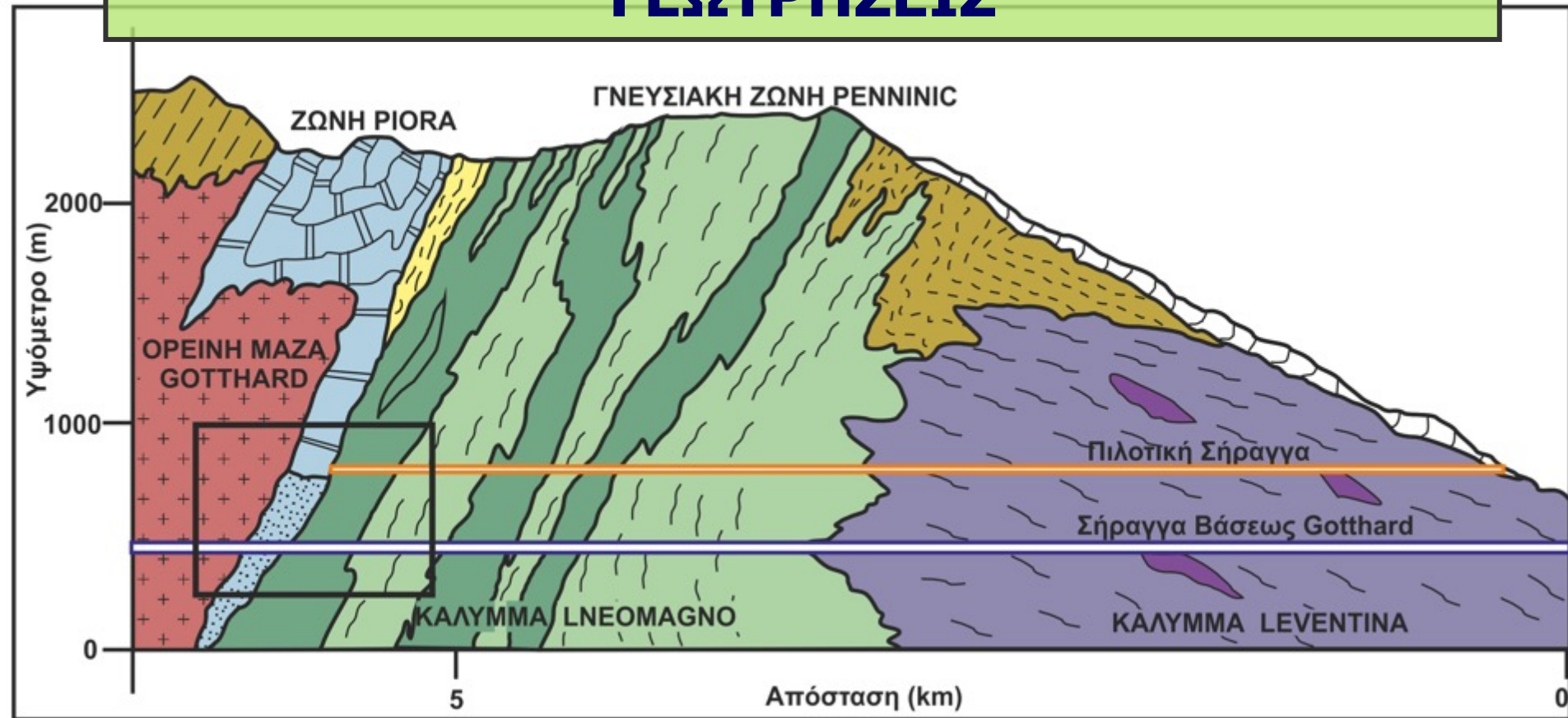
Επίπεδο σήραγγας



Κεκλιμένη γεωτρήση παράλληλα με τον άξονα του Έργου
ή ερευνητική στοά (πιλοτική σήραγγα)

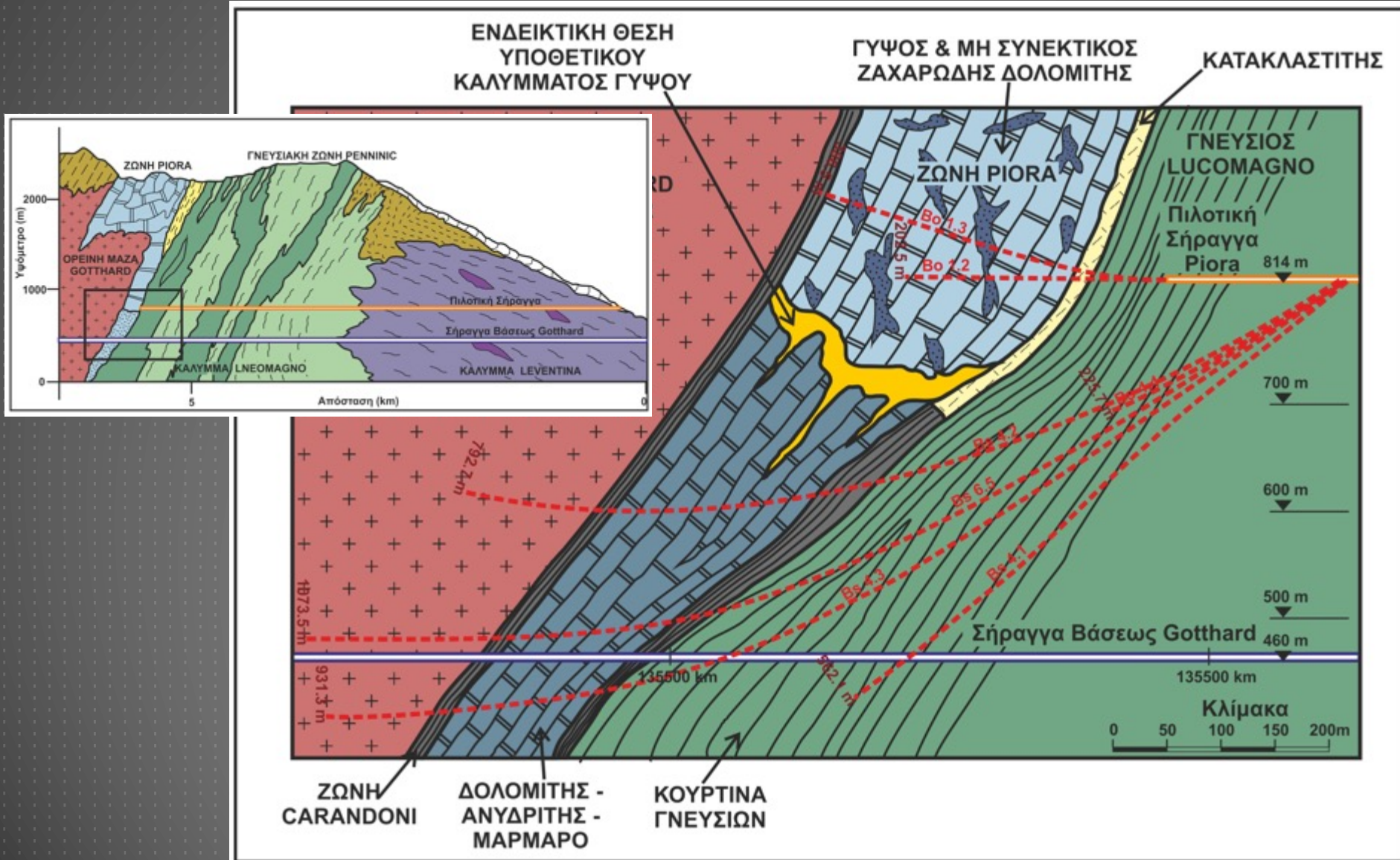
Κεκλιμένες γεωτρήσεις για την διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών σε περιβάλλον βαθιών σηράγγων

«ΕΡΓΑΛΕΙΑ» ΓΕΩ-ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ



Κεκλιμένες γεωτρήσεις μέσα από **πιλοτική σήραγγα**
(Σήραγγα Βάσεως των Άλπεων Gotthard)
για την διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών
σε περιβάλλον βαθιών σηράγγων

Κεκλιμένες γεωτρήσεις μέσα από πιλοτική σήραγγα (Σήραγγα Βάσεως των Άλπεων Gotthard) για την διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών σε περιβάλλον βαθιών σήραγγων. Εδώ για τη διερεύνηση του εύρους κατακλαστίτη από δολομίτη και γύψο (φόβος για κατάρρευση σήραγγας και πολύ μεγάλων εισροών)



Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος του ΠΟΡΤΟ



Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος του ΠΟΡΤΟ

Αποσαθρωμένος
γρανίτης

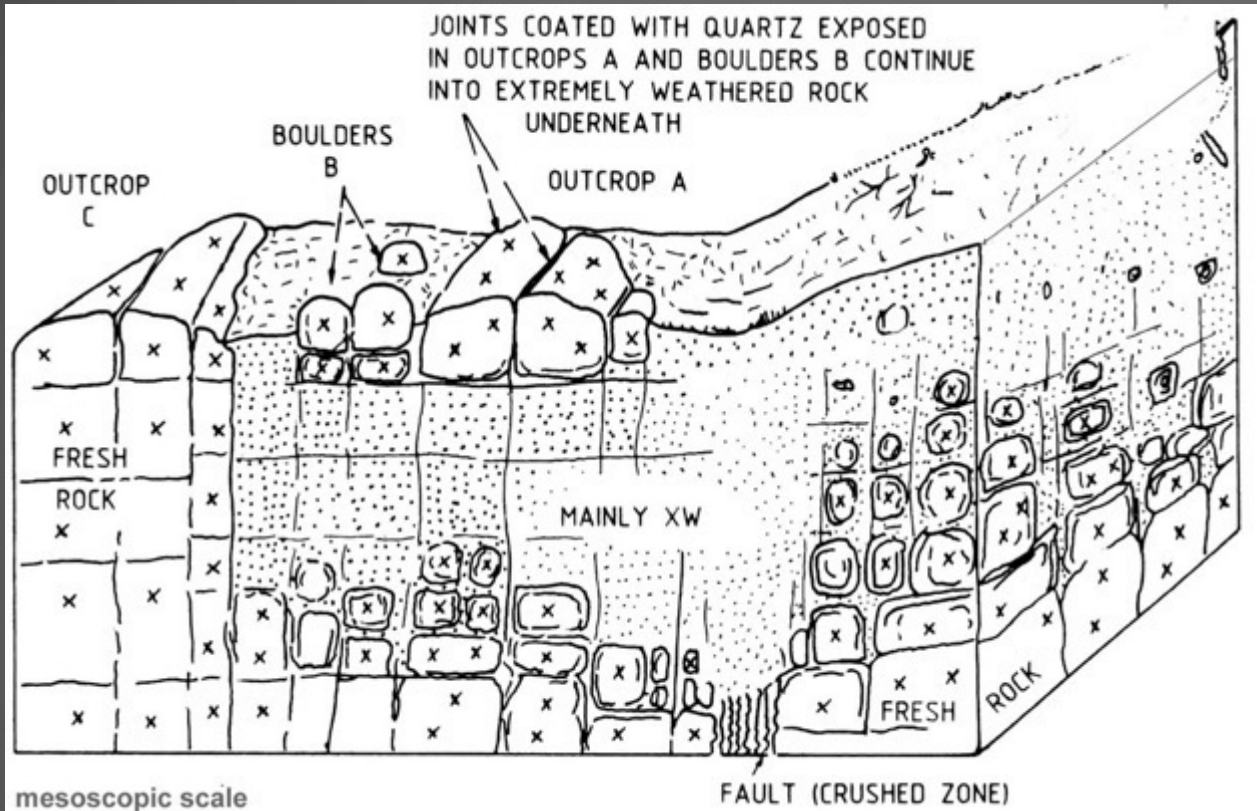
Υγιής γρανίτης





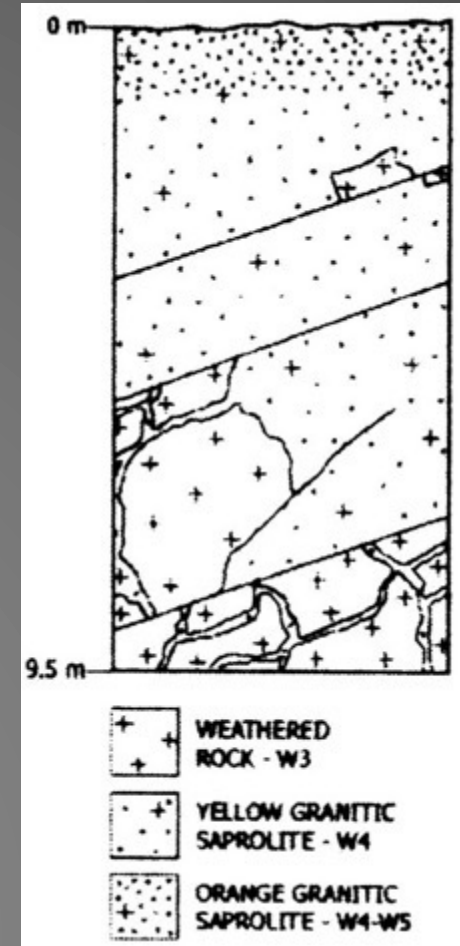
Αβεβαιότητα ποιότητας σχηματισμών σε οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος του ΠΟΡΤΟ



mesoscopic scale

Χαρακτήρες αποσθρωμένων πυριγενών πετρωμάτων
R. Fell et al. 1992

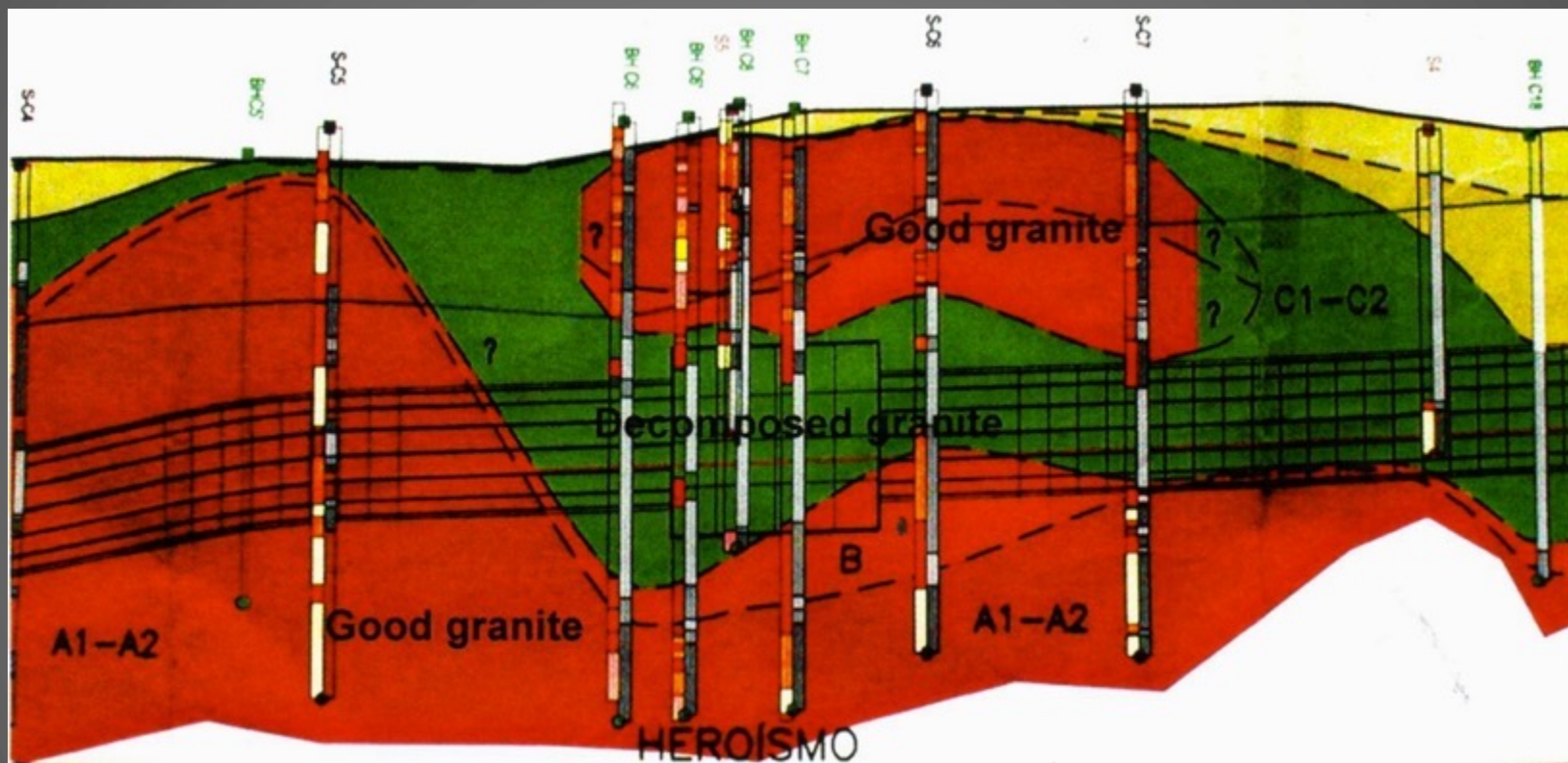


Αποσάθρωση σε βάθος στο
Faculdade de Ciências, Porto
Begonha and Braga, 2002

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος του ΠΟΡΤΟ

Γεωλογικό Προσομοίωμα

Αβεβαιότητα ποιότητας σχηματισμών σε οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση



Προβλεπόμενες γεωλογικές συνθήκες στο σταθμό Heroísmo, από *Transmetro*

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος του ΠΟΡΤΟ



Κατάρρευση στην αρχή του έργου. Διάβρωση αποσαθρωμένου γρανίτη μέσω των ασυνεχειών του υγειούς γρανίτη προς το ΤΒΜ που δούλευε με ανοικτό τρόπο λειτουργίας.

Λόγω των ακανόνιστων και αιφνίδιων αλλαγών στην ποιότητα του γρανίτη η λειτουργία του ΕΡΒ μετά το ατύχημα ήταν συνεχώς κλειστού που

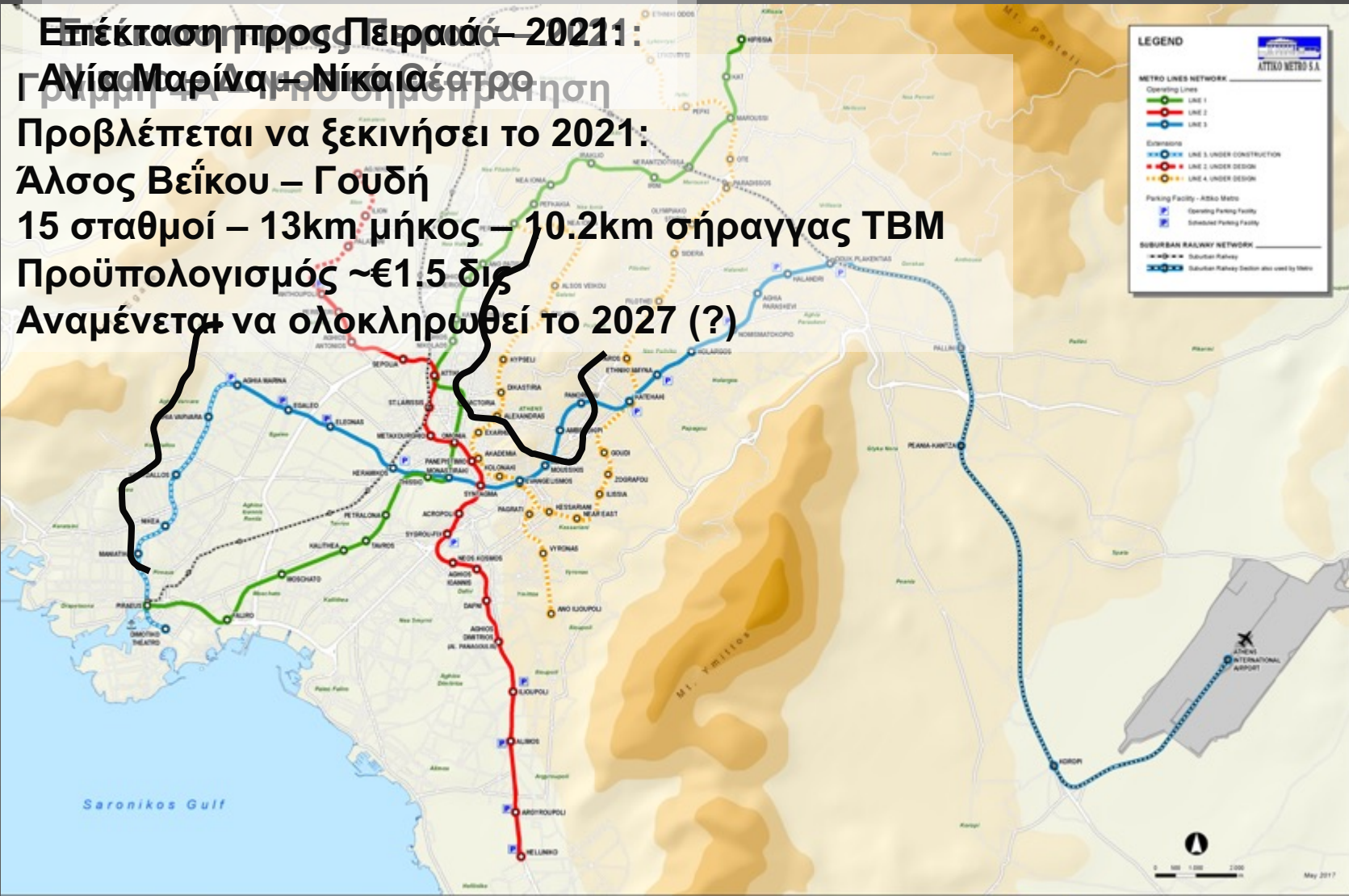
Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος του ΠΟΡΤΟ

Εκσκαφή κάτω από παλαιά κτίρια με κάλυμμα 2,5-4μ χαλαρού εδάφους.
Η ευστάθεια επετεύχθη από το σύστημα πίεσης του ΕΡΒ



Ξετύπωμα
21 Οκτ. 2002

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Επέκταση προς Πειραιά – 2021:
Αγία Μαρίνα – Νικάια θέατρο
Προβλέπεται να ξεκινήσει το 2021:
Άλσος Βεΐκου – Γουδή
15 σταθμοί – 13km μήκος – 10.2km σήραγγας TBM
Προϋπολογισμός ~€1.5 δις
Αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2027 (?)

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Έρευνα υπεδάφους

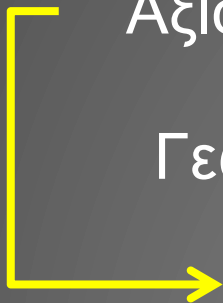
Γεωτεχνική πληροφορία

Γεωλογική πληροφορία

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών

Γεωτεχνική Μελέτη (Αντιστήριξης / Υποστήριξης)

Γεωλογική ή γεωτεχνική αξιολόγηση;



ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΕΣ

Έρευνα υπεδάφους

Γεωτεχνική πληροφορία

Γεωλογική πληροφορία

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών

Γεωτεχνική Μελέτη (Αντιστήριξης / Υποστήριξης)

Γεωλογική ή γεωτεχνική αξιολόγηση;

Για βραχόμαζες

Παράμετροι άρρηκτου βράχου

Συμπεριφορά βραχόμαζας

Τεχνικογεωλογική Αξιολόγηση

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ



ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ



Πεχλόνφρείο λούκις ενόχρησμοί

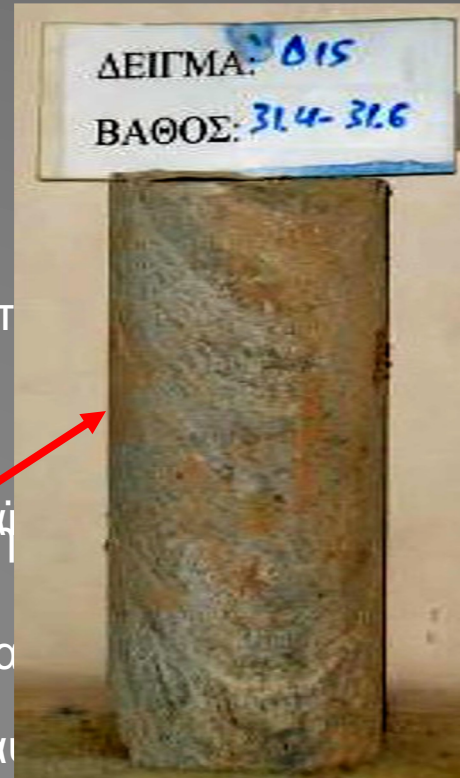
Μεταψαμμίτης
Ποταμοχειμάρεις αποθέσεις

Μετ

Μετ
Αθή

Ενο

Μετα



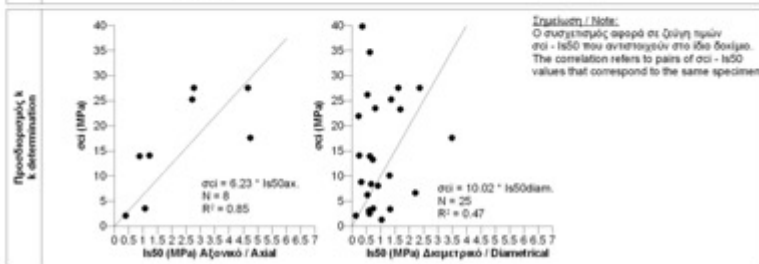
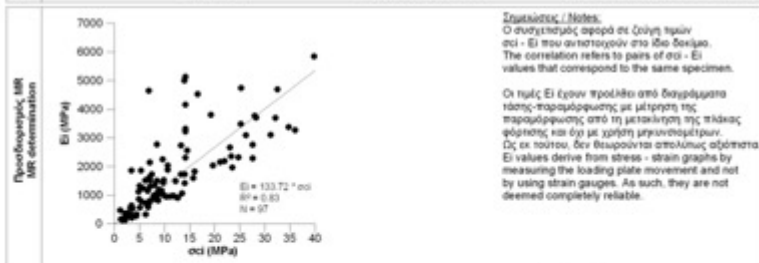
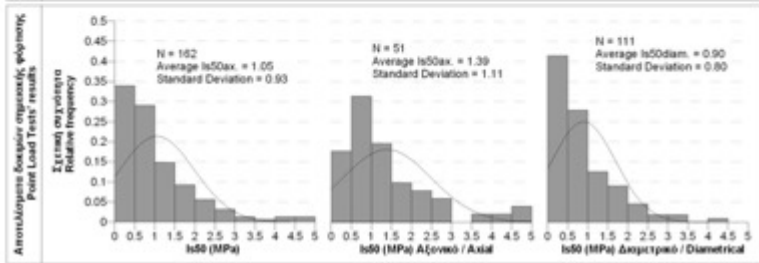
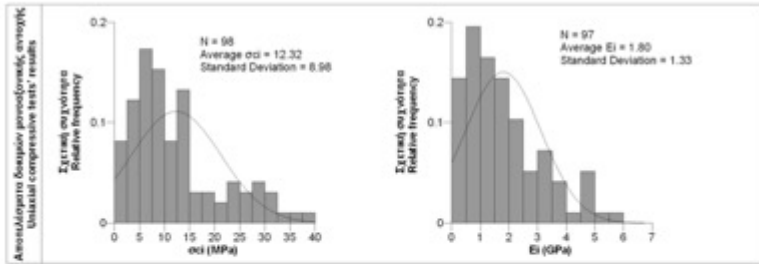
εις μεταψαμμίτη
κνώτερη γενότητα

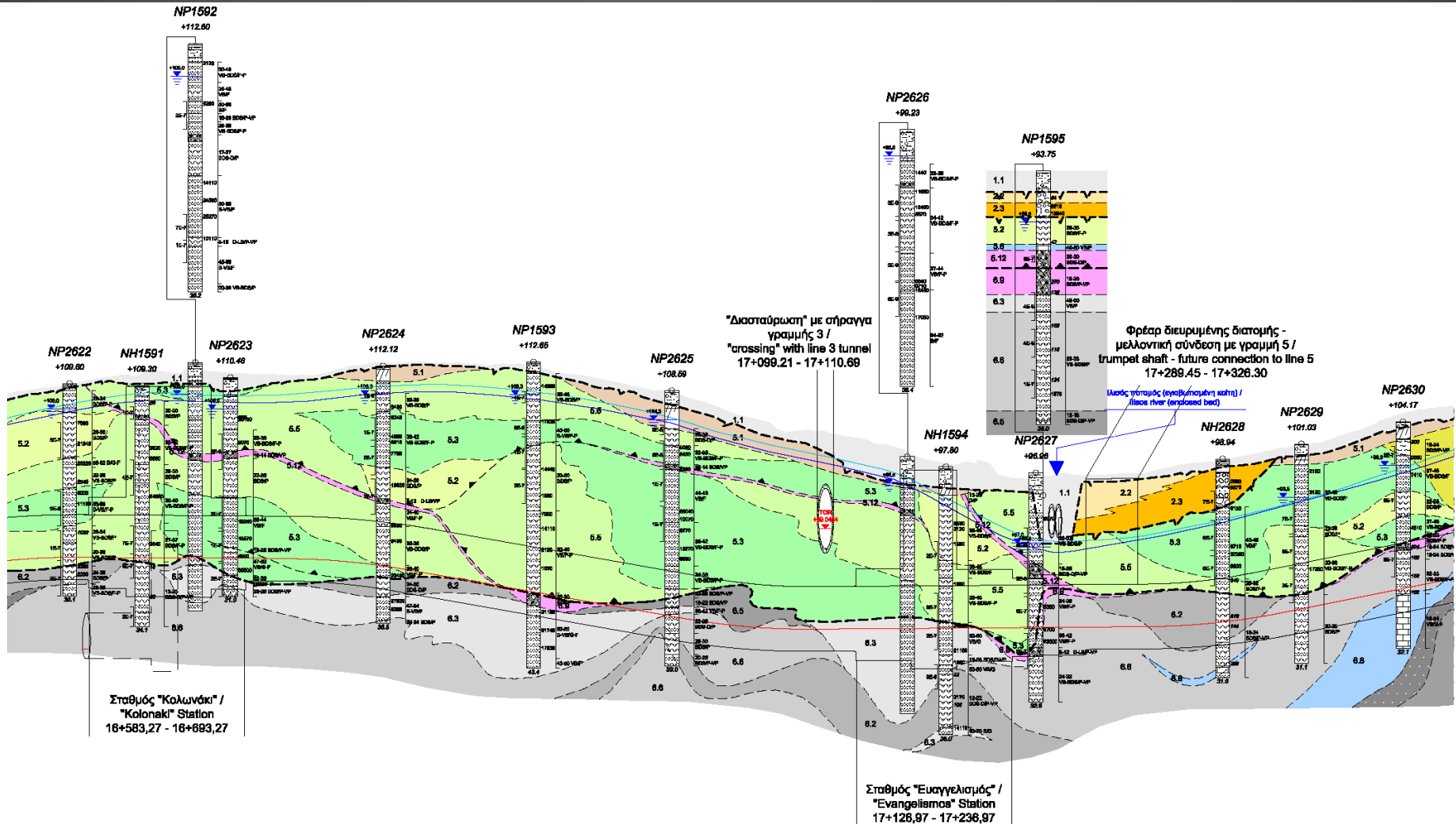
- μεταψαμμίτη

εις μεταίλυόλιθου

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

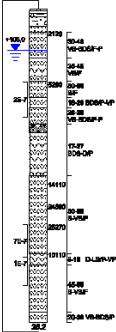
Γεωλογική Ενότητα (Geological Formation): **Αθηναϊκός Σχιστόλιθος - Ανώτερη Ενότητα (Athens Schist - Upper Unit)**
 Πετρογραφικός Τύπος (Lithological Type): **Μεταμορφίτης (Metasandstone)**
 Τεχνολογική Ενότητα (Engineering Geological Formation): **Όλες (All)**





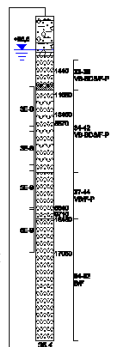
NP1592

+112.80



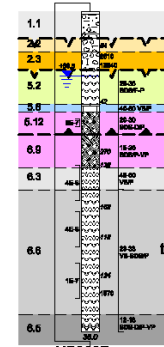
NP2626

+98.23



NP1595

+92.75



"Διασταύρωση" με σήραγγα γραμμής 3 / "crossing" with line 3 tunnel 17+099.21 - 17+110.69

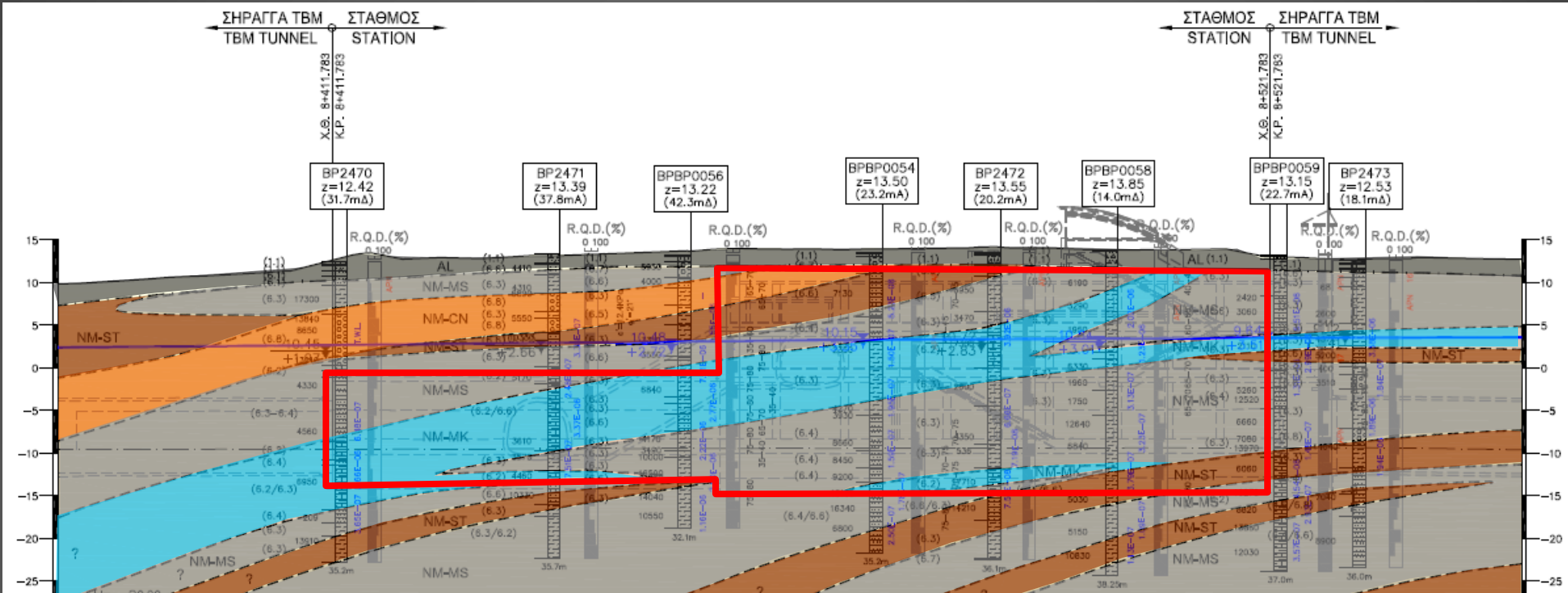
Φρέαρ διευρυμένης διατομής - μελλοντική σύνδεση με γραμμή 5 / trumpet shaft - future connection to line 5 17+289.45 - 17+326.30

Λιβάς γέφυρας (εγκιβλωμένη κοίτη) / Iliakos river (enclosed bed)

Σταθμός "Κολωνάκι" / "Kolonaki" Station 16+583,27 - 16+693,27

Σταθμός "Ευαγγελισμός" / "Evangelismos" Station 17+126,97 - 17+236,97

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ



- Τεχνητές αποθέσεις
- Μάργες
- Ψαμμίτες
- Μαργαίκοι ασβεστόλιθοι
- Κροκαλοπαγή

ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Σύνολο μελετών, ενεργειών, διαδικασιών και εργασιών που απαιτούνται από τις συνθήκες κατασκευής εκτεταμένων υπογείων έργων σε αστικό περιβάλλον.

Αφορά στην καταγραφή και παρακολούθηση των επιπτώσεων της κατασκευής των έργων τόσο στα ίδια τα στοιχεία τους όσο και στο περιβάλλον τους (κτήρια / κατασκευές, δίκτυα ΟΚΩ, έδαφος).



Η ΓΔΠ είναι απαραίτητη για:

- την κατασκευή του έργου υπό καθεστώς ασφάλειας
- τον περιορισμό οχλήσεων και ζημιών σε τρίτους
- την εφαρμογή στον σωστό χρόνο των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων
- τον έλεγχο των παραδοχών των μελετών κατά την εφαρμογή τους στην κατασκευή των έργων.

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΓΔΠ - ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ

- ▶ Μετακινήσεις κτηρίων και κατασκευών
- ▶ Μετακινήσεις της επιφάνειας του εδάφους
- ▶ Μετακινήσεις στη ζώνη κάτω από την επιφάνεια του εδάφους που περιβάλλει το Έργο
- ▶ Συγκλίσεις και μετακινήσεις των προσωρινών και μόνιμων κατασκευών
- ▶ Μεταβολές πιέσεων του εδάφους και του υπογείου νερού
- ▶ Τάσεις στα δομοστατικά στοιχεία του Έργου
- ▶ Παραμορφώσεις στο έδαφος και στα δομοστατικά στοιχεία του Έργου ή την επένδυση των σηράγγων
- ▶ Οριζόντιες παραμορφώσεις κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης κτηρίων
- ▶ Φορτία σε αγκυρώσεις και τάσεις αντηρίδων
- ▶ Μεταβολή ανοίγματος ρωγμών σε κτήρια και κατασκευές
- ▶ Στάθμη υπογείων υδάτων
- ▶ Εισροή υδάτων στις εκσκαφές και τα υπόγεια έργα
- ▶ Εισροή νερού σε ολοκληρωμένες με τελική επένδυση κατασκευές
- ▶ Μετεωρολογικά στοιχεία
- ▶ Στοιχεία Παρακολούθησης TBM (TBM-Data Monitoring) και Παρακολούθηση Προϊόντων Εκσκαφής (Muck Control)
- ▶ Στοιχεία προόδου των εκσκαφών και των δραστηριοτήτων κατασκευής του Έργου

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΓΔΠ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Όργανα ΓΔΠ τοποθετούνται:

- ▶ Σε κτήρια και κατασκευές (είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά) στα οποία συμπεριλαμβάνονται κτήρια ειδικού ενδιαφέροντος, όπως εκκλησίες, μνημεία, αρχαιότητες, κτήρια δημοσίου ενδιαφέροντος κλπ που βρίσκονται εντός της ζώνης επιρροής του Έργου
- ▶ Σε ακάλυπτες, μη δομημένες, περιοχές, μέσα την ζώνη επιρροής των έργων, π.χ. σε δρόμους, πεζοδρόμια, πλατείες, οικόπεδα, γήπεδα, πάρκα, αυλές, προαύλια, κλπ. - συνθήκες «ελεύθερου πεδίου»
- ▶ Στην περιβάλλουσα εδαφική ζώνη των υπογείων έργων (σταθμοί, σήραγγες, φρέατα)
- ▶ Στις προσωρινές και μόνιμες κατασκευές του Έργου για όλες τις μεθόδους κατασκευής

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΓΔΠ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Σύστημα χωροσταθμικών μετρήσεων

Συστήματα τρισδιάστατων τοπογραφικών

Αυτοματοποιημένο σύστημα τρισδιάστατων μετρήσεων (3D) πραγματικού χρόνου

Πιεζόμετρα

Αποκλισιόμετρα

Εκτασιόμετρα

Ολισθαίνοντα μικρόμετρα

Κυψέλες φορτίου / πίεσης

Παραμορφωσίμετρα

Ρωγμόμετρα

Ροόμετρα

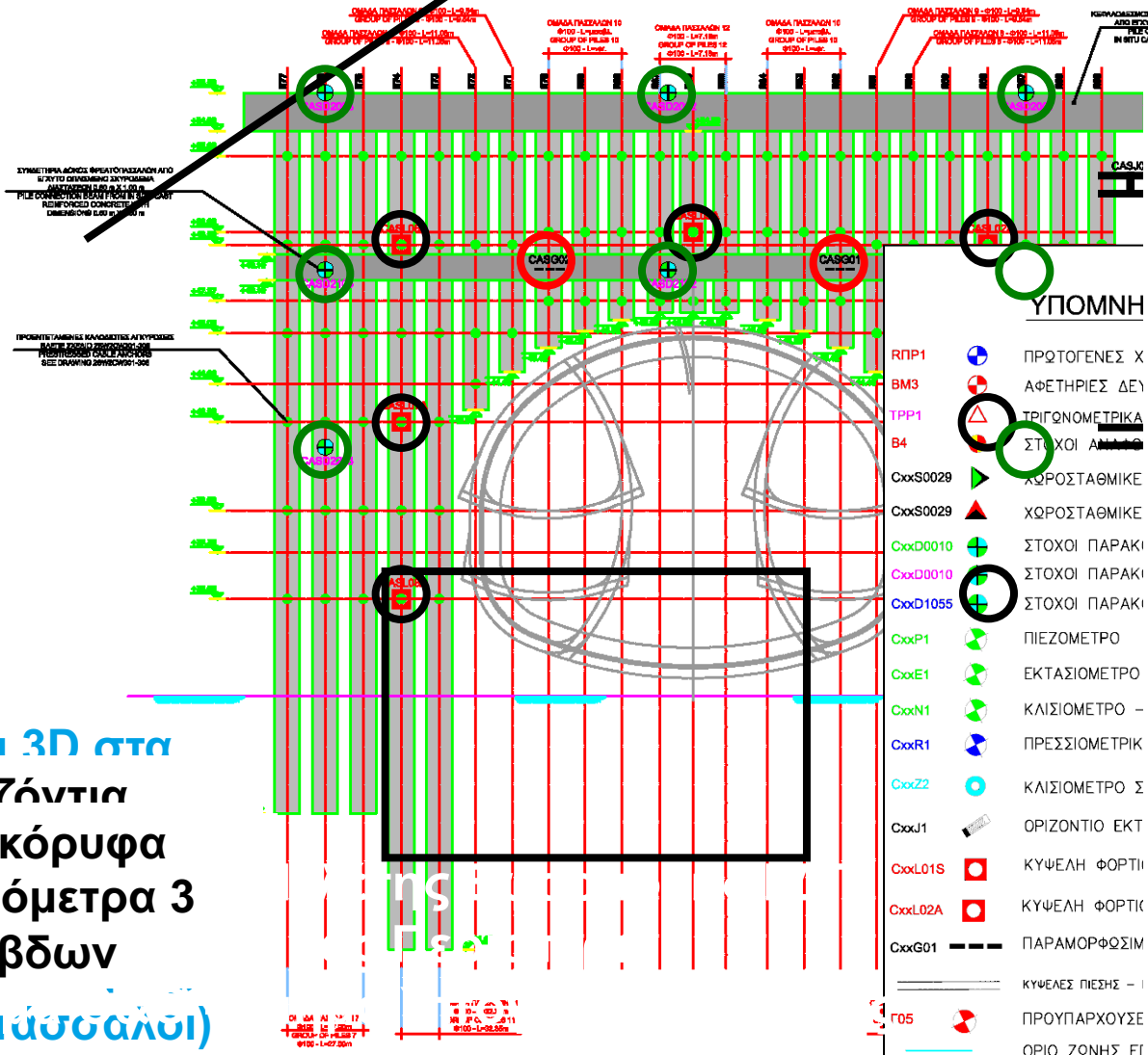
Κλισίμετρα

Επιταχυνσιογράφοι

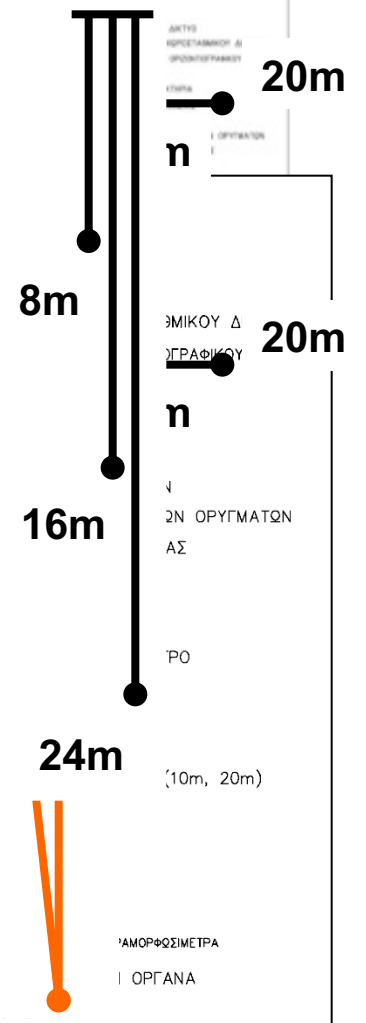


ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΓΔΠ - ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΔΠ

ΑΝΑΤΥΓΜΑ ΓΙΑΣΤΑΘΟΤΟΣΟΔΑΙ - 09H 4.4
 ΚΑΜΒΑ 1:100
 DEVELOPED VIEW OF FILE ROW - VIEW 4.4
 SCALE 1:100



- ΥΠΟΜΝΗ**
- RPP1 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΣ Χ
 - BM3 ΑΦΕΤΗΡΙΕΣ ΔΕΥ
 - TRP1 ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ
 - B4 ΣΤΟΧΟΙ ΑΝΑΤΟΛ
 - CxxS0029 ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕ
 - CxxS0029 ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕ
 - CxxD0010 ΣΤΟΧΟΙ ΠΑΡΑΚΙ
 - CxxD0010 ΣΤΟΧΟΙ ΠΑΡΑΚΙ
 - CxxD1055 ΣΤΟΧΟΙ ΠΑΡΑΚΙ
 - CxxP1 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
 - CxxE1 ΕΚΤΑΣΙΟΜΕΤΡΟ
 - CxxN1 ΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΟ -
 - CxxR1 ΠΡΕΣΣΙΟΜΕΤΡΙΚ
 - CxxZ2 ΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΟ Σ
 - CxxJ1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΚΤ
 - CxxL01S ΚΥΨΕΛΗ ΦΟΡΤΙΙ
 - CxxL02A ΚΥΨΕΛΗ ΦΟΡΤΙΚ
 - CxxG01 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜ
 - G05 ΠΡΟΥΠΑΡΧΟΥΣΣ
 - ΟΡΙΟ ΖΩΝΗΣ ΕΙ



Στόνοι 3D στα
 Οριζόντια
 Κατακόρυφα
 εκτασιόμετρα 3
 ράβδων
 δοκού, πλάσσης)

ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ



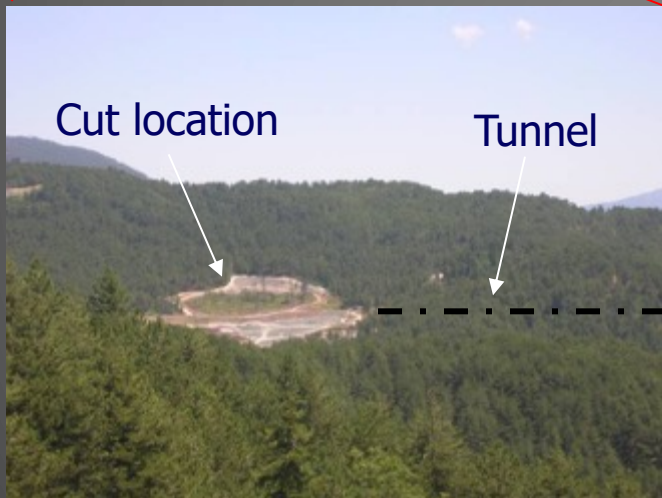
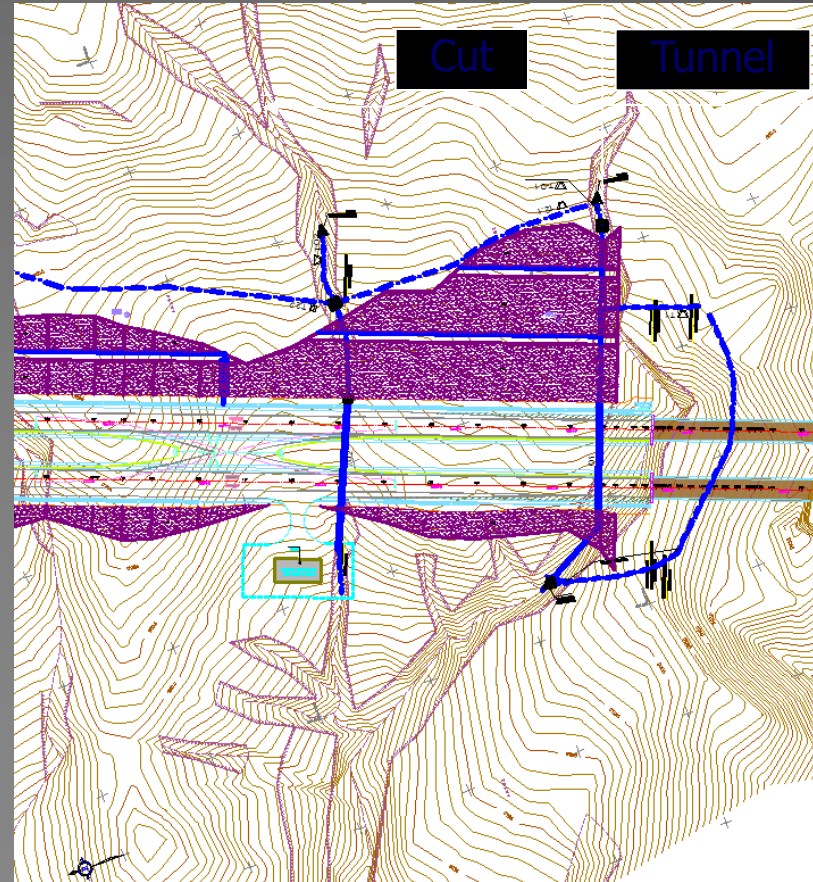
ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ



Cutting in molasse at a tunnel exit portal



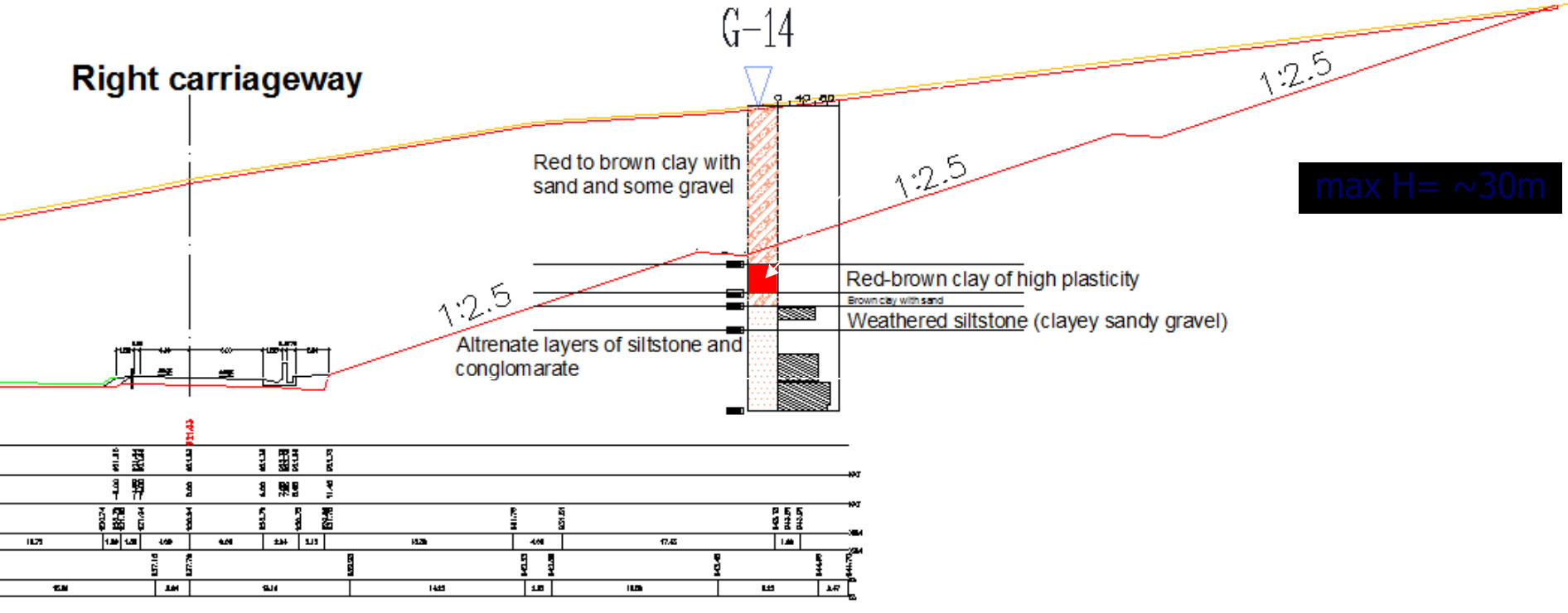
Plan view of the cut area



Cutting in molasse at a tunnel exit portal

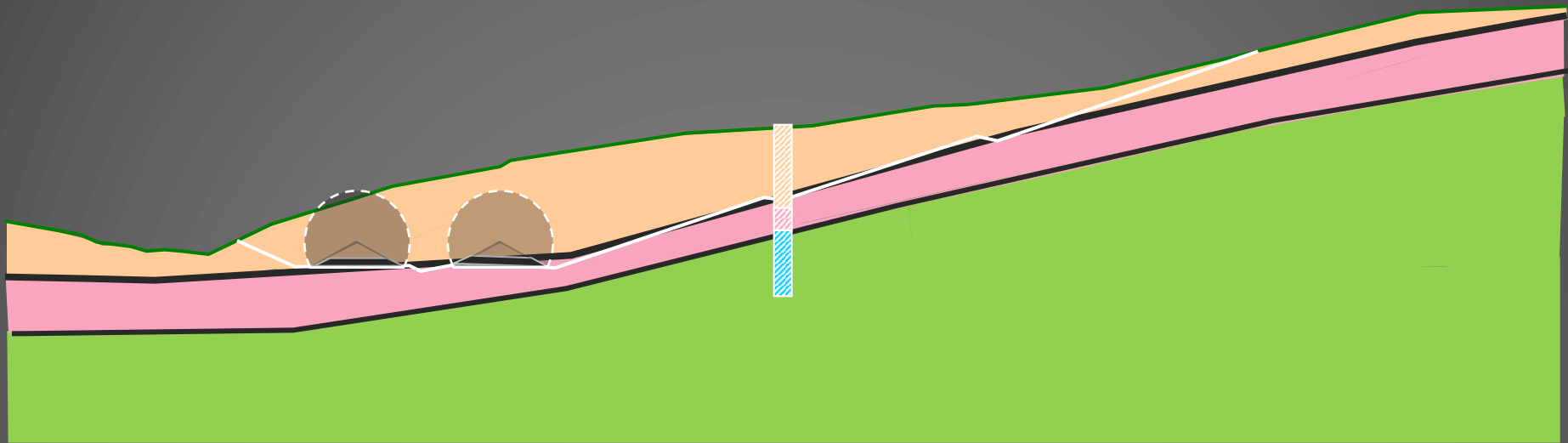
Geotechnical investigation & design




Very stiff red-brown clay of high plasticity
 $\phi'_{peak}=21^\circ$, $c'_{peak}=15\text{kPa}$ (triaxial CUPP test)



Cutting in molasse at a tunnel exit portal

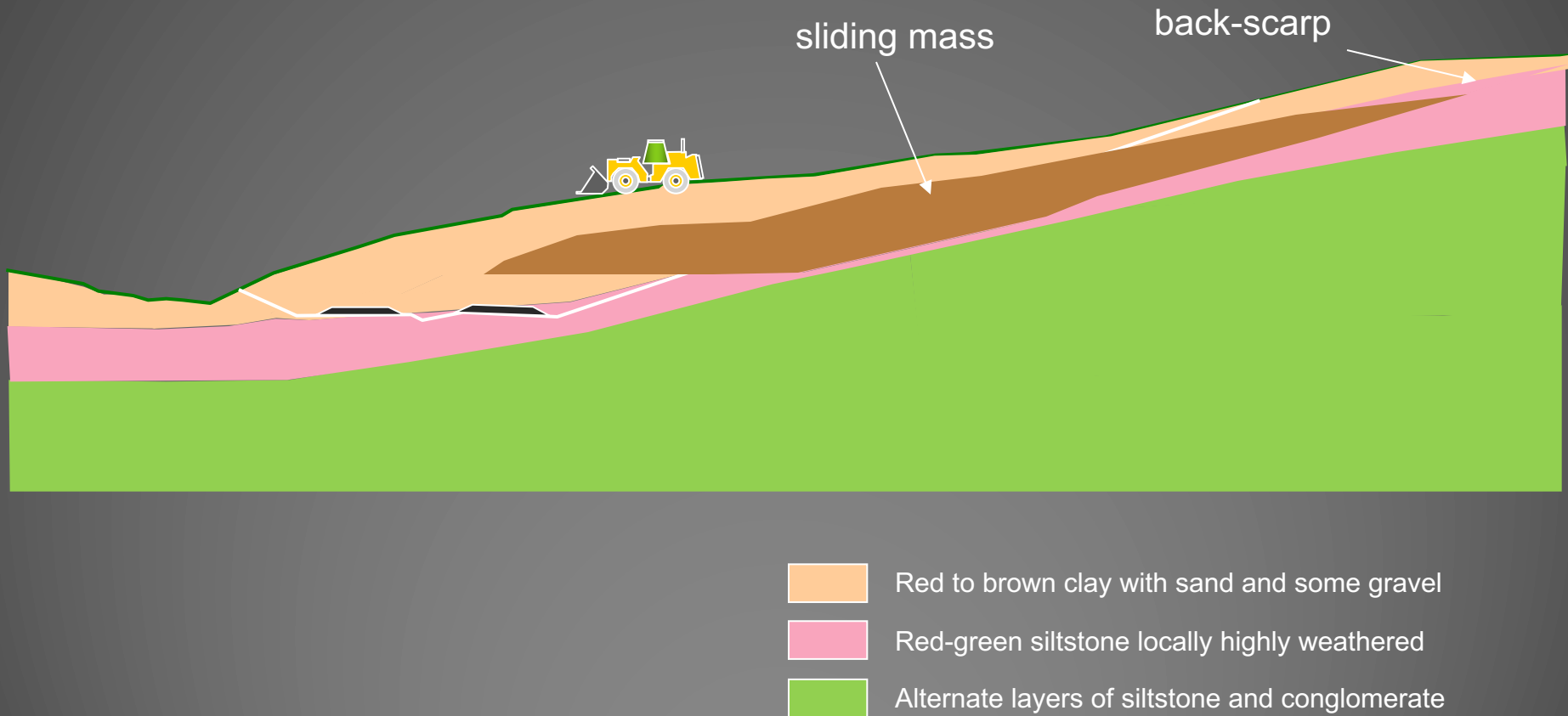
Geotechnical profile in the cut area



-  Red to brown clay with sand and some gravel
-  Red-green siltstone locally highly weathered
-  Alternate layers of siltstone and conglomerate

Cutting in molasse at a tunnel exit portal

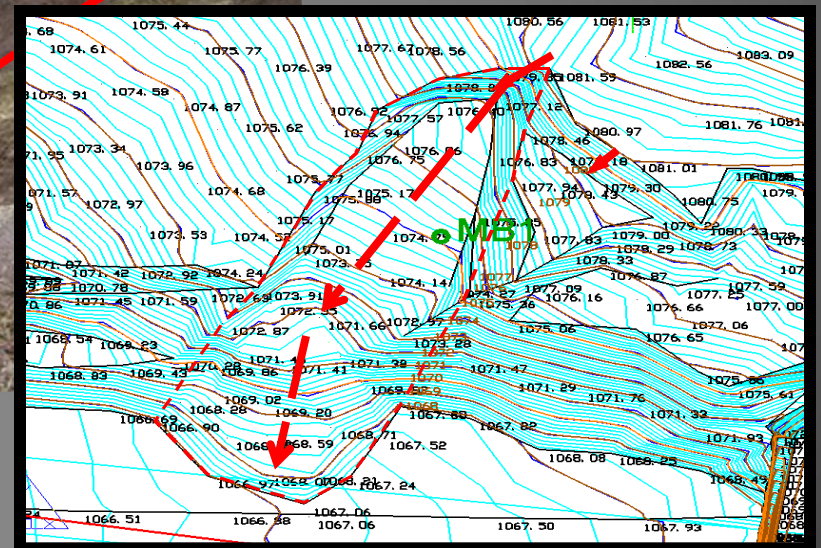
Geotechnical profile in the cut area



Cutting in molasse at a tunnel exit portal

Slip failure

Back-scarp 2m high



Cutting in molasse at a tunnel exit portal

Slip back-scarp



Cutting in molasse at a tunnel exit portal

Immediate measures

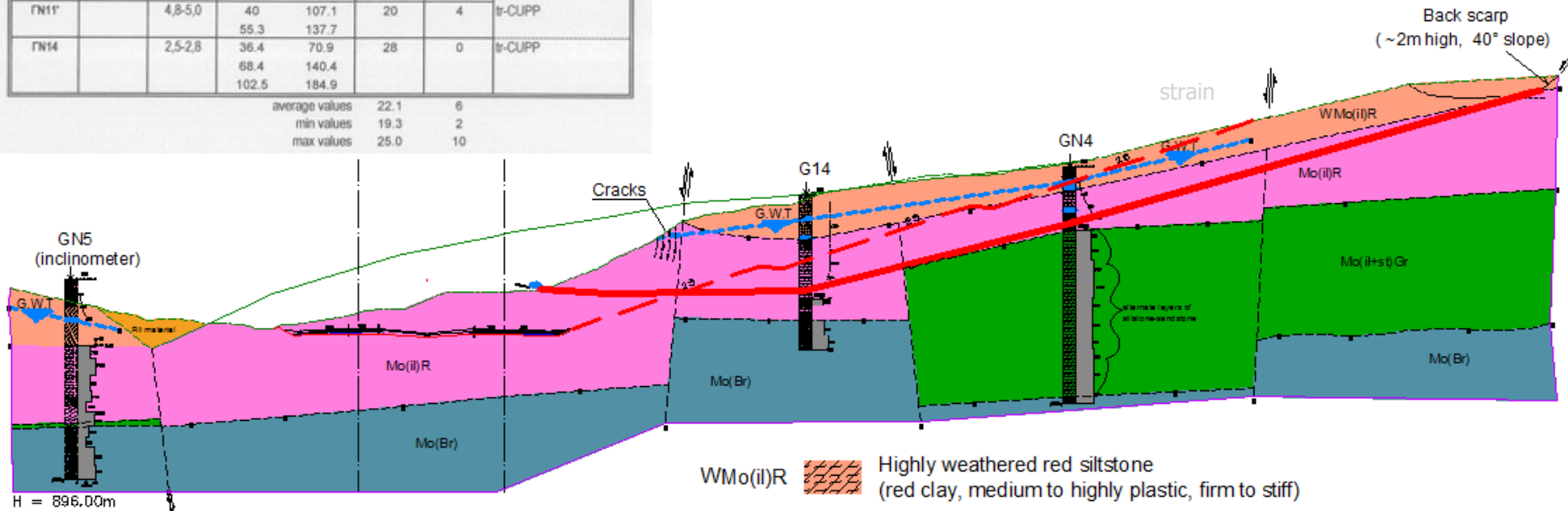
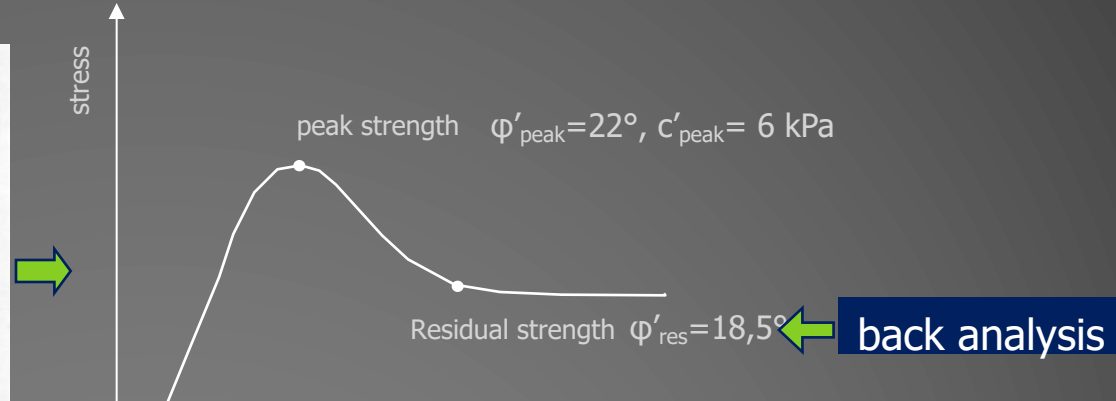


Cutting in molasse at a tunnel exit portal

Geotechnical cross-section profile after supplementary investigation

7 triaxial CUPP test results

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Δείγμα	Βάθος (m)	τ_1 (kPa)=	σ'_1 (kPa)=	ψ (°) =	c (kN/m ²) =	Παρατηρήσεις
ΓΝ1		9,1-9,5	58.2	124.1	20	12	tr-CUPP
			116.4	272.4			
			167.3	417.4			
ΓΝ2		11,5-11,7	49.5	80.9	24	10	tr-CUPP
			112.8	200.9			
			132.1	274.9			
ΓΝ3	δ	5,9	45.5	116.2	16	12	tr-CUPP
			54.5	123.1			
			83.6	241			
ΓΝ4	5,5-5,8		44	109.3	23	0	tr-CUPP
			91.9	212.3			
ΓΝ5	5,5-5,7		41.8	71.5	24	5	tr-CUPP
			83	156.9			
			112.5	289			
ΓΝ11*	4,8-5,0		40	107.1	20	4	tr-CUPP
			55.3	137.7			
ΓΝ14	2,5-2,8		36.4	70.9	28	0	tr-CUPP
			68.4	140.4			
			102.5	184.9			
average values					22.1	6	
min values					19.3	2	
max values					25.0	10	



- WMo(ii)R Highly weathered red siltstone (red clay, medium to highly plastic, firm to stiff)
- Mo(ii)R Red and green siltstone locally highly weathered
- Mo(ii+st)Gr Alternate layres of sandstone and green siltstone
- Mo(Br) Conglomerate, slightly weathered

Cutting in molasse at a tunnel exit portal

Highway re-alignment

Plan view of the cut area

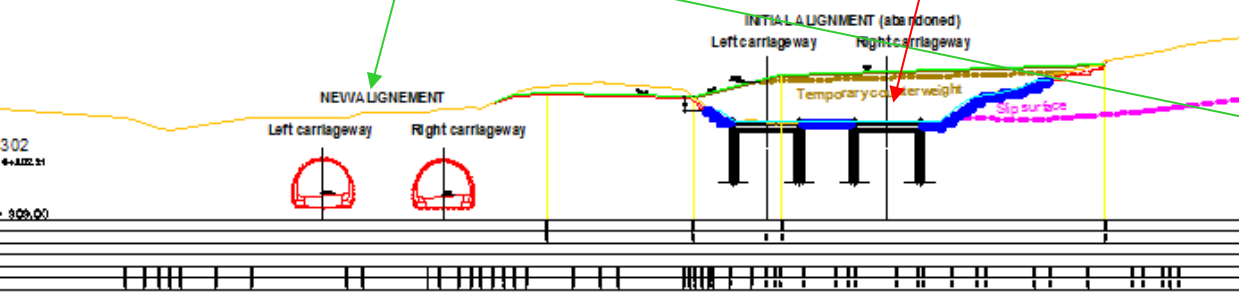
initial tunnel portal (abandoned)

new tunnel portal



new alignment

initial alignment



Cross-section of the cut area

Παράδειγμα (Case study)

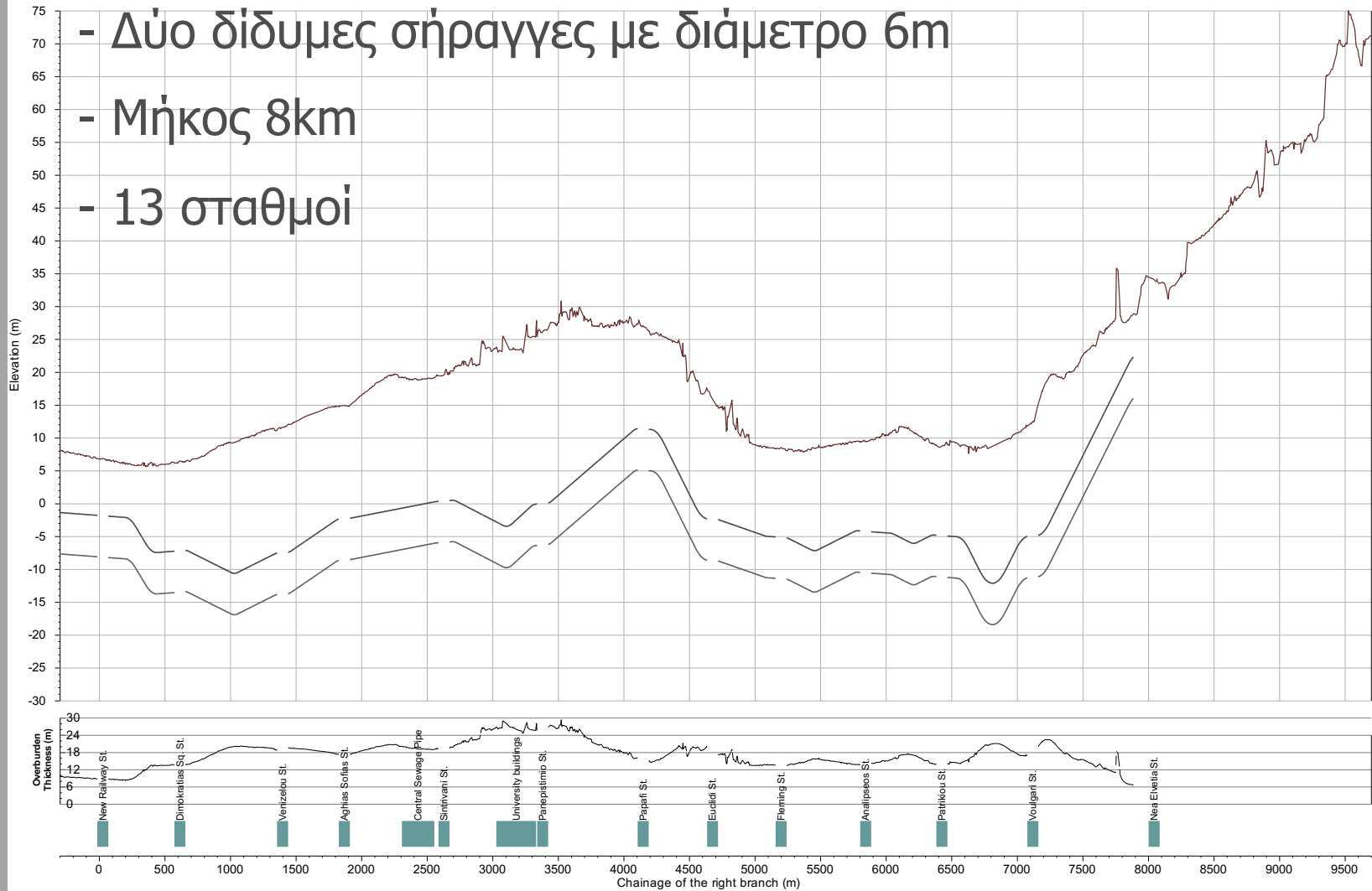
αξιολόγησης γεωερευνητικού προγράμματος

Παράδειγμα αξιολόγησης γεωερευνητικού προγράμματος Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος Θεσσαλονίκης (κύρια γραμμή)



ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- Δύο δίδυμες σήραγγες με διάμετρο 6m
- Μήκος 8km
- 13 σταθμοί



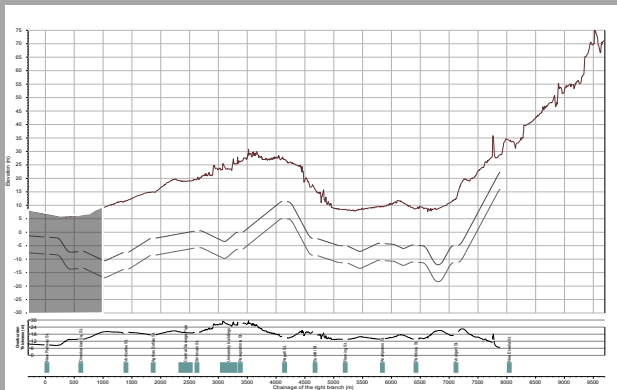
Γενικές γεωλογικές πληροφορίες της κύριας γραμμής

- Το βραχώδες υπόβαθρο: Γνεύσιος. Κάτω από το έργο.
- Νεογενείς αποθέσεις πάνω από το υπόβαθρο το οποίο αποτελείται από στιφρές έως σκληρές αργίλους: Ο κύριος σχηματισμός του έργου.
- Τεταρτογενείς αποθέσεις από αργίλους, άμμους (με άργιλο) και χαλικώδεις αποθέσεις.
- Παχύ αρχαιολογικό στρώμα σε αρκετά σημεία κατά μήκος της χάραξης.

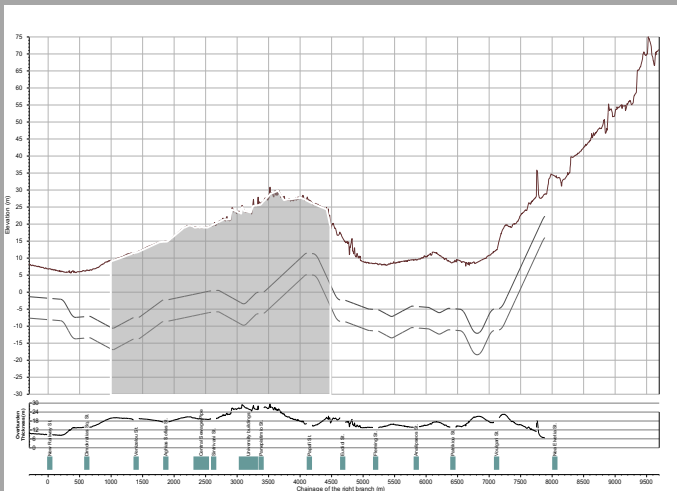
- Ποικιλία ιζημάτων με πλευρικές και κατακόρυφες μεταβάσεις.



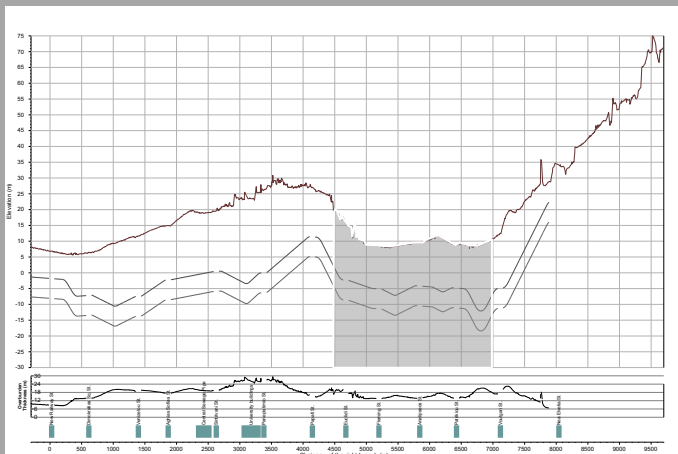
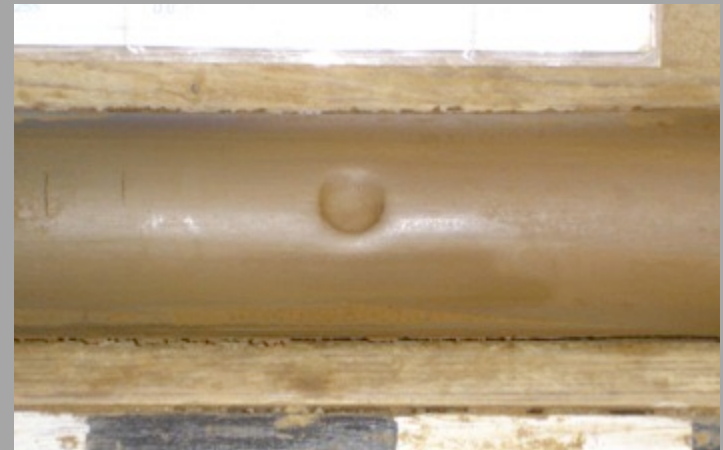
- Εναλλαγές αμμωδών και αργιλικών αποθέσεων.



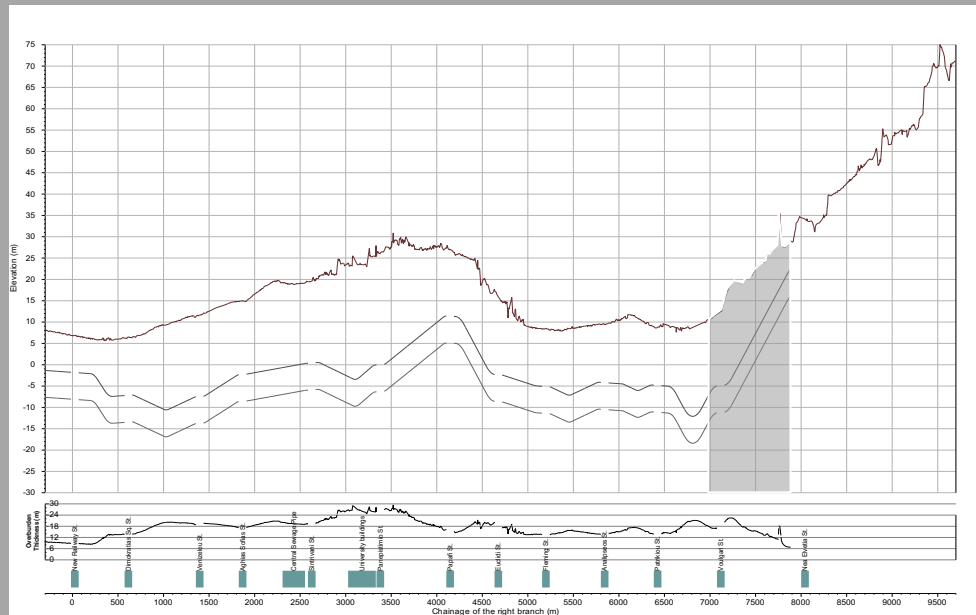
- Αρχαιολογικό στρώμα έως 15m (ιλύς με άμμους και χαλίκια και υπολείματα αρχαίων κατασκευών)
- Κυρίαρχη παρουσία στιφρών έως σκληρών αργίλων



- Πρόσφατες αποθέσεις, κυρίως μαλακές αργίλους και χαλαρές αμμώδεις και χαλικώδεις αποθέσεις



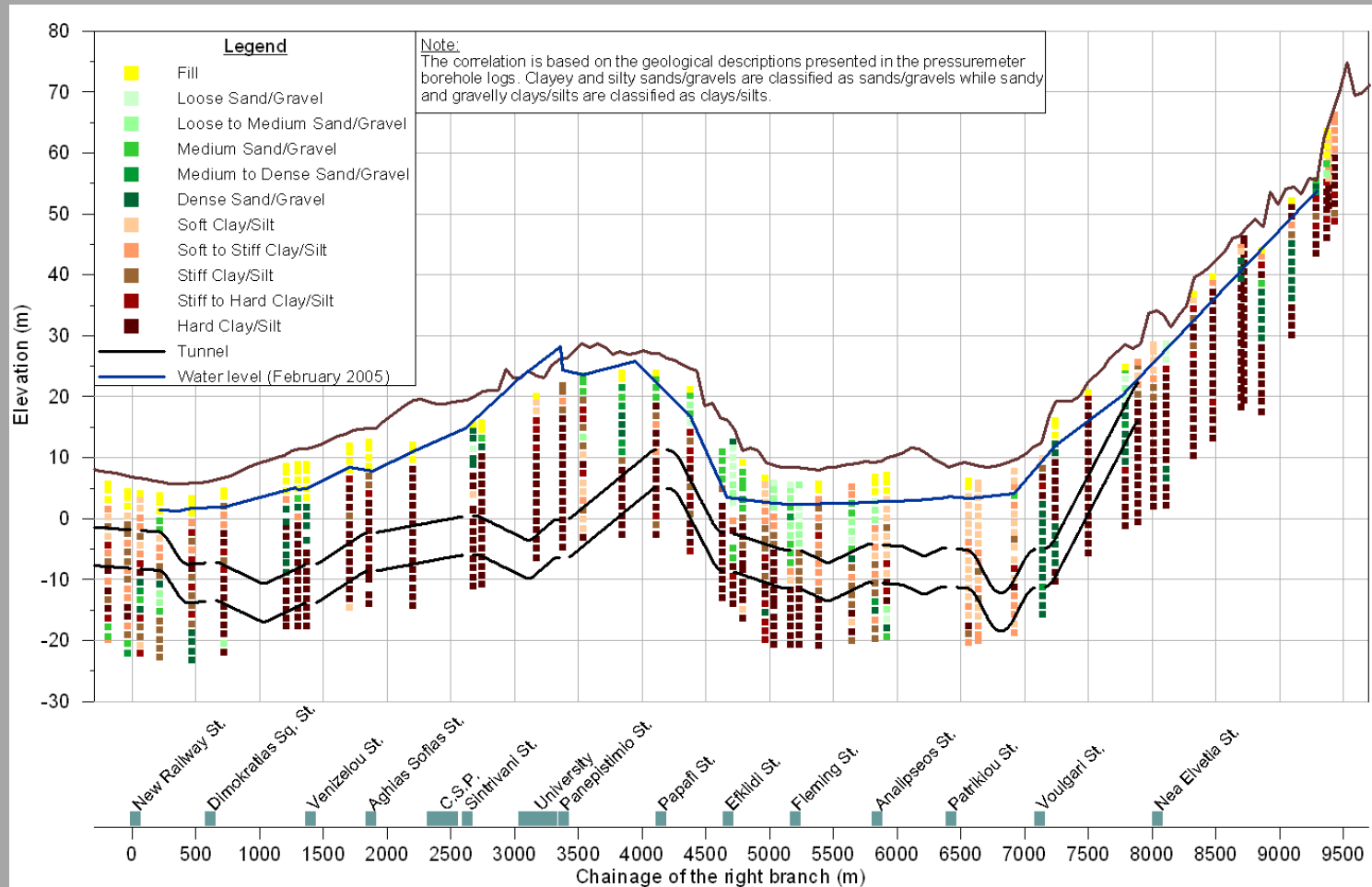
- Παρουσία στιφρών έως σκληρών αργίλων



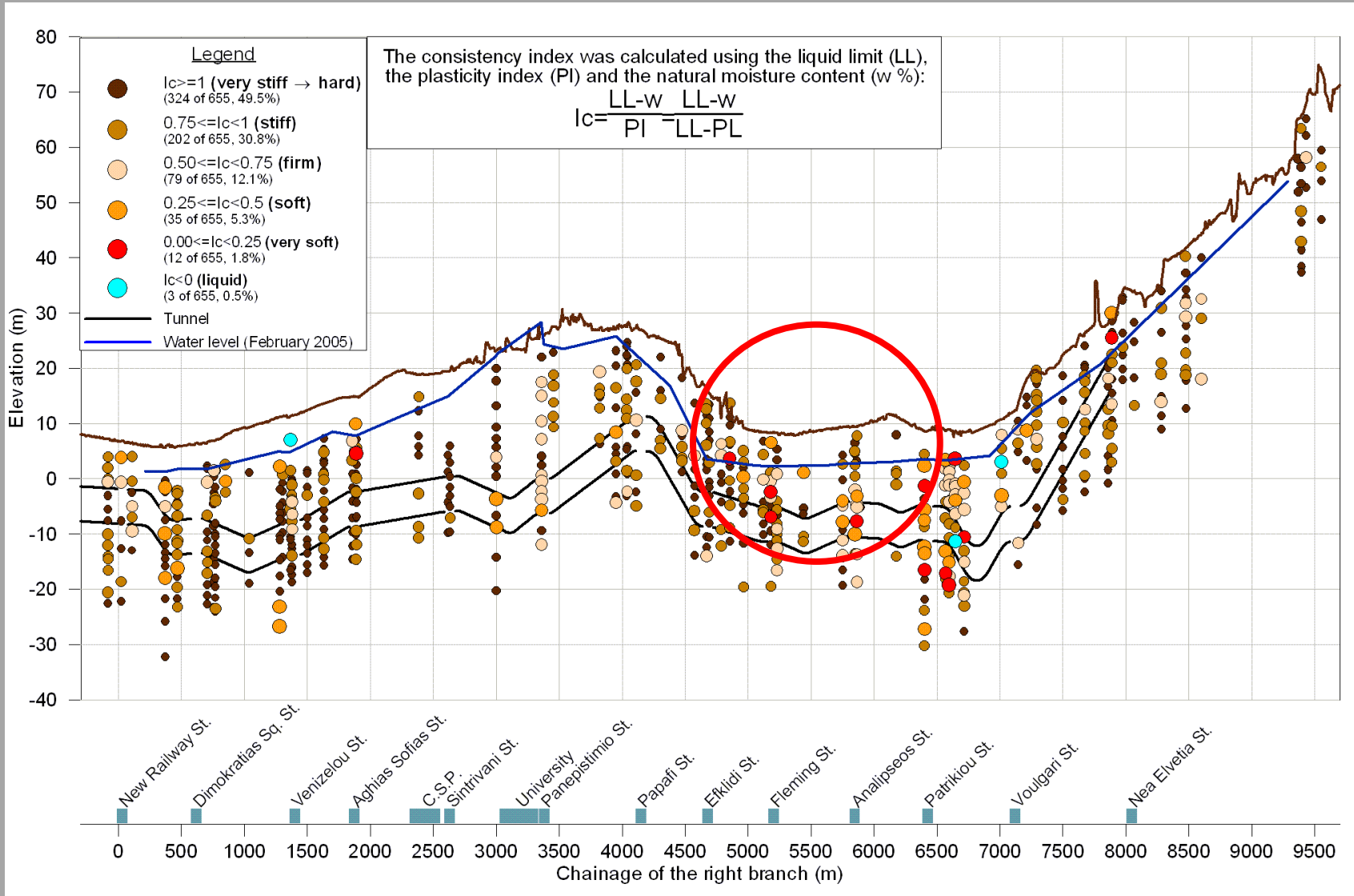
Το γεωλογικό – γεωτεχνικό μοντέλο

Βασισμένο σε δοκιμές πρεσσιόμετρησης και περιγραφή των πυρήνων δειγματοληψίας

Soil type	Clay-Silt			Sand-Gravel		
	Soft	Stiff	Hard	Loose	Medium	Dense
Limit pressure (p_l MPa)	< 0.7	1.2 – 2	> 2.5	< 0.5	1 – 2	> 2.5



Δείκτης συνεκτικότητας (Consistency Index)

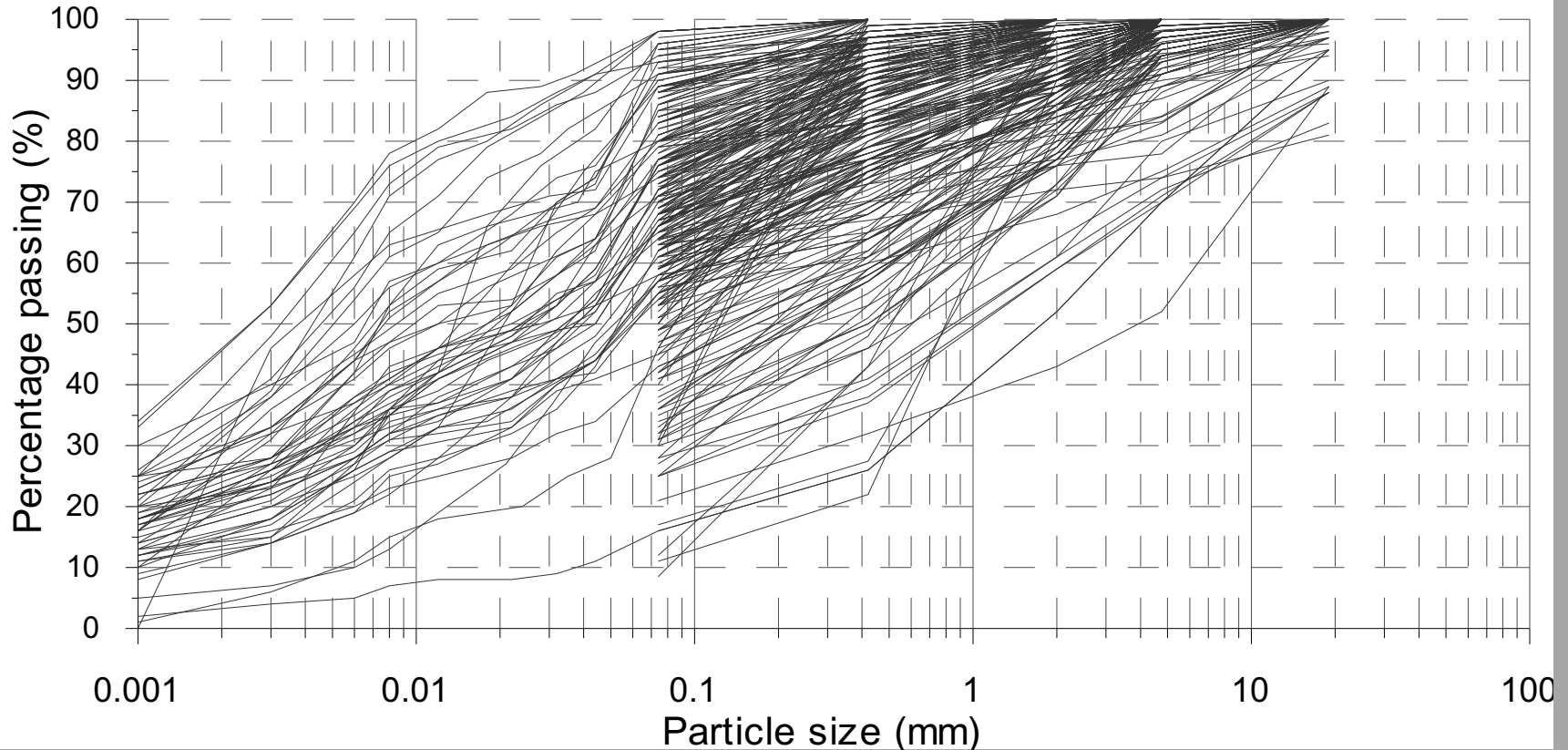


Εντοπισμός περιοχών με μαλακές έως πολύ μαλακές αργίλους

Κοκκομετρικές καμπύλες

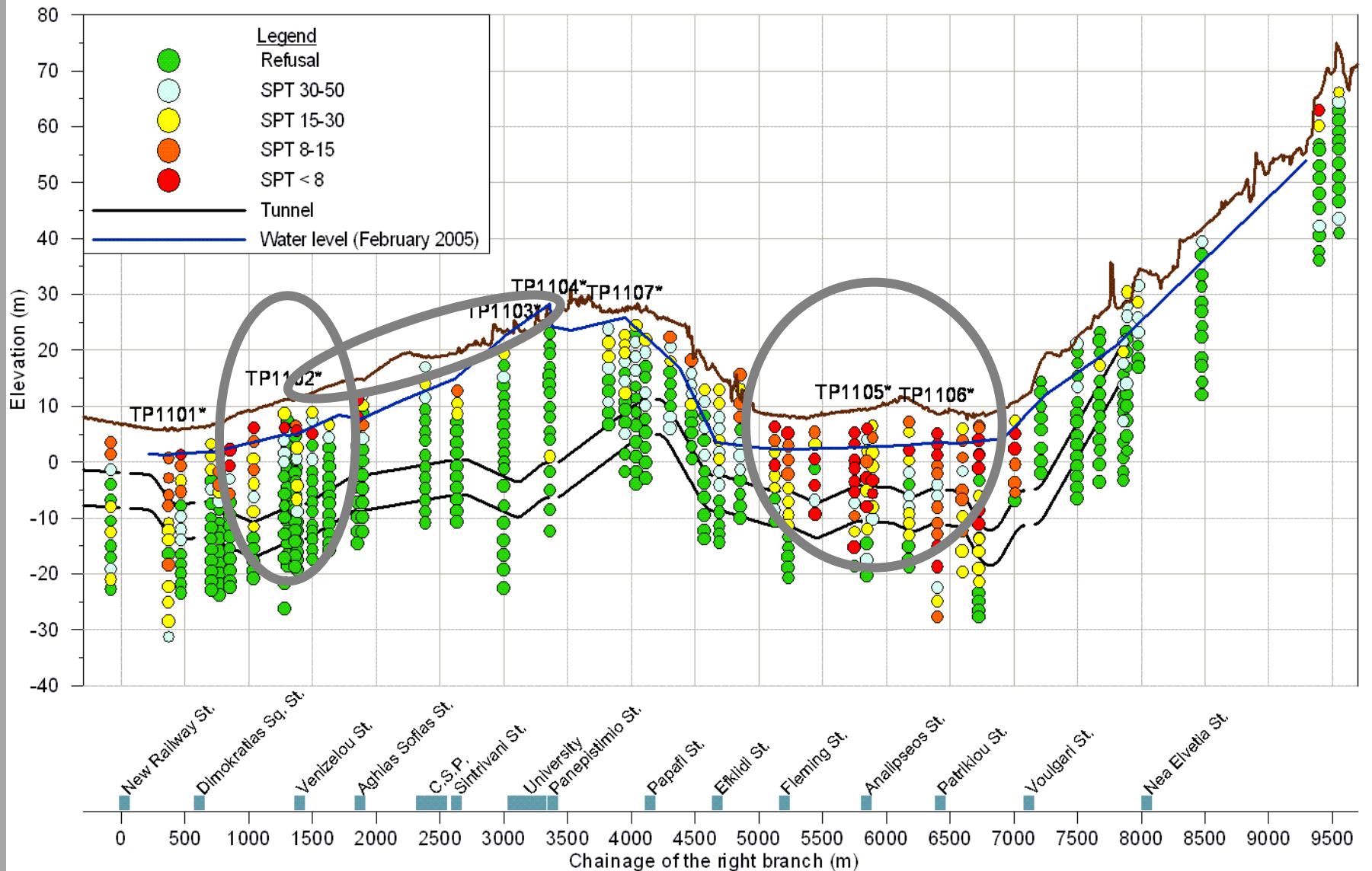
BS	Clay	Silt			Sand			Gravel		
		Fine	Medium	Coarse	Fine	Medium	Coarse	Fine	Medium	Coarse

USCS	Fines (Silt, Clay)		Sand			Gravel	
			Fine	Medium	Coarse	Fine	Coarse



Λεπτόκοκκα > 40-50%

Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης – Standard Penetration Test (SPT)

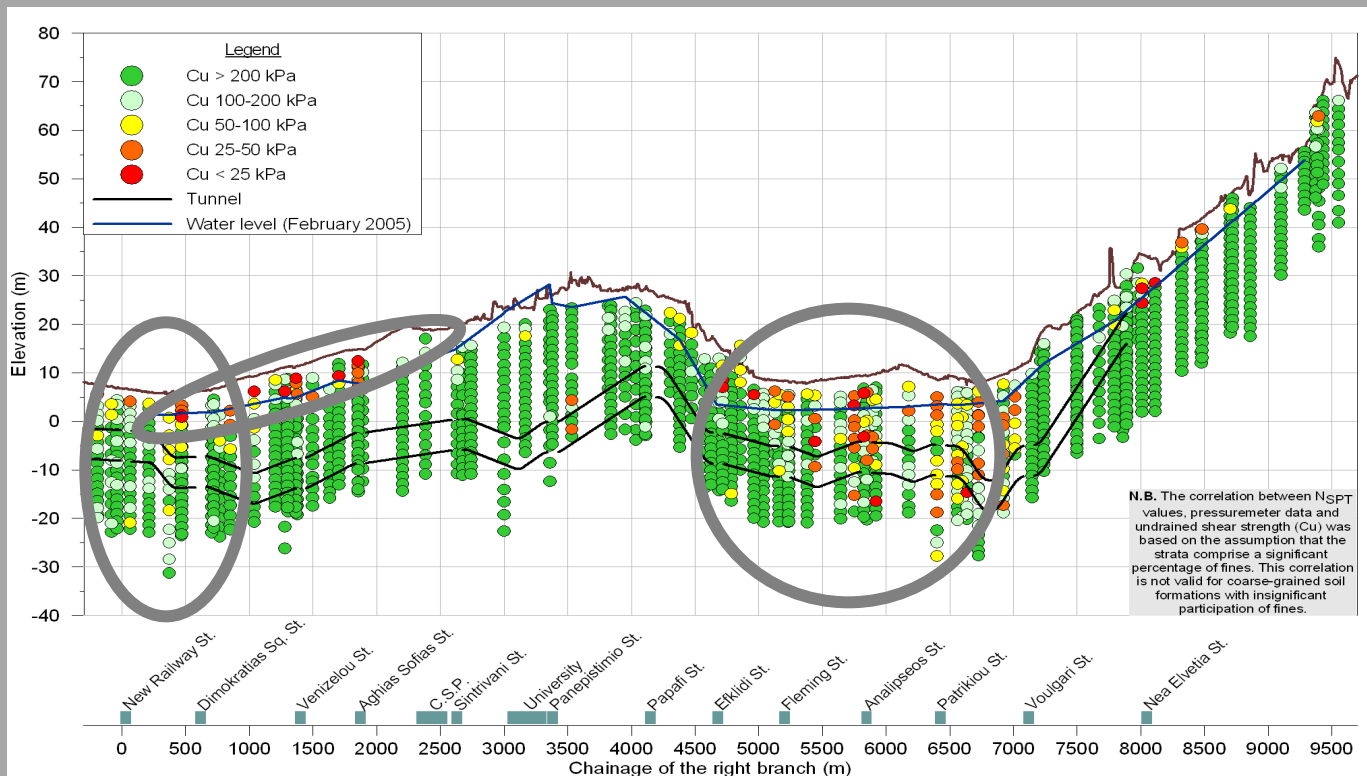


Σημειώνονται οι περιοχές με χαμηλές τιμές

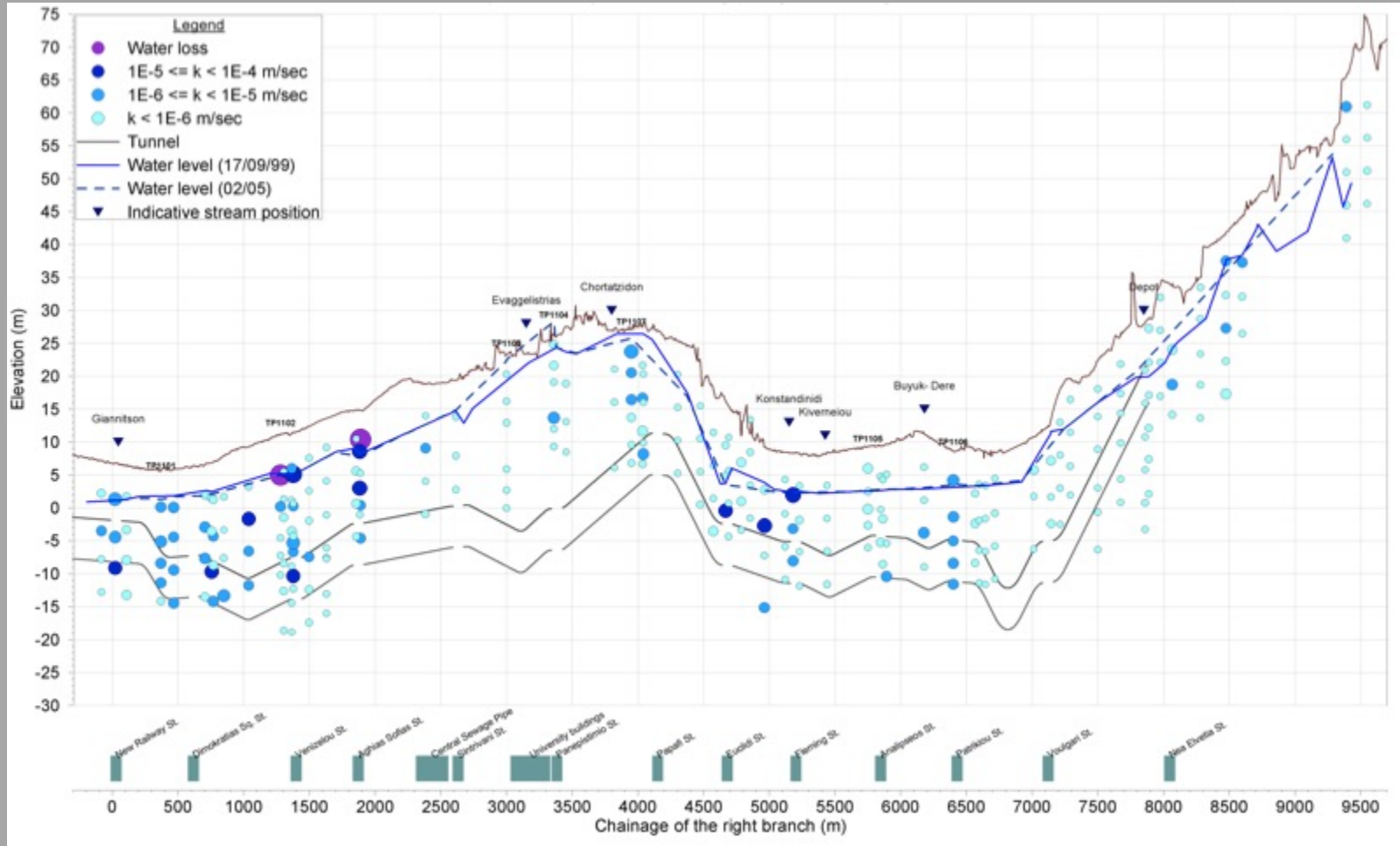
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή

Είτε από πρεσσιομετρήσεις (επιτόπου δοκιμή) είτε από SPT
($q_u = 2C_u$)

N_{SPT}	<2	2-4	4-8	8-15	15-30	>30
Soil consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Very stiff	Hard
q_u (kPa)	<25	25-50	50-100	100-200	200-400	>400



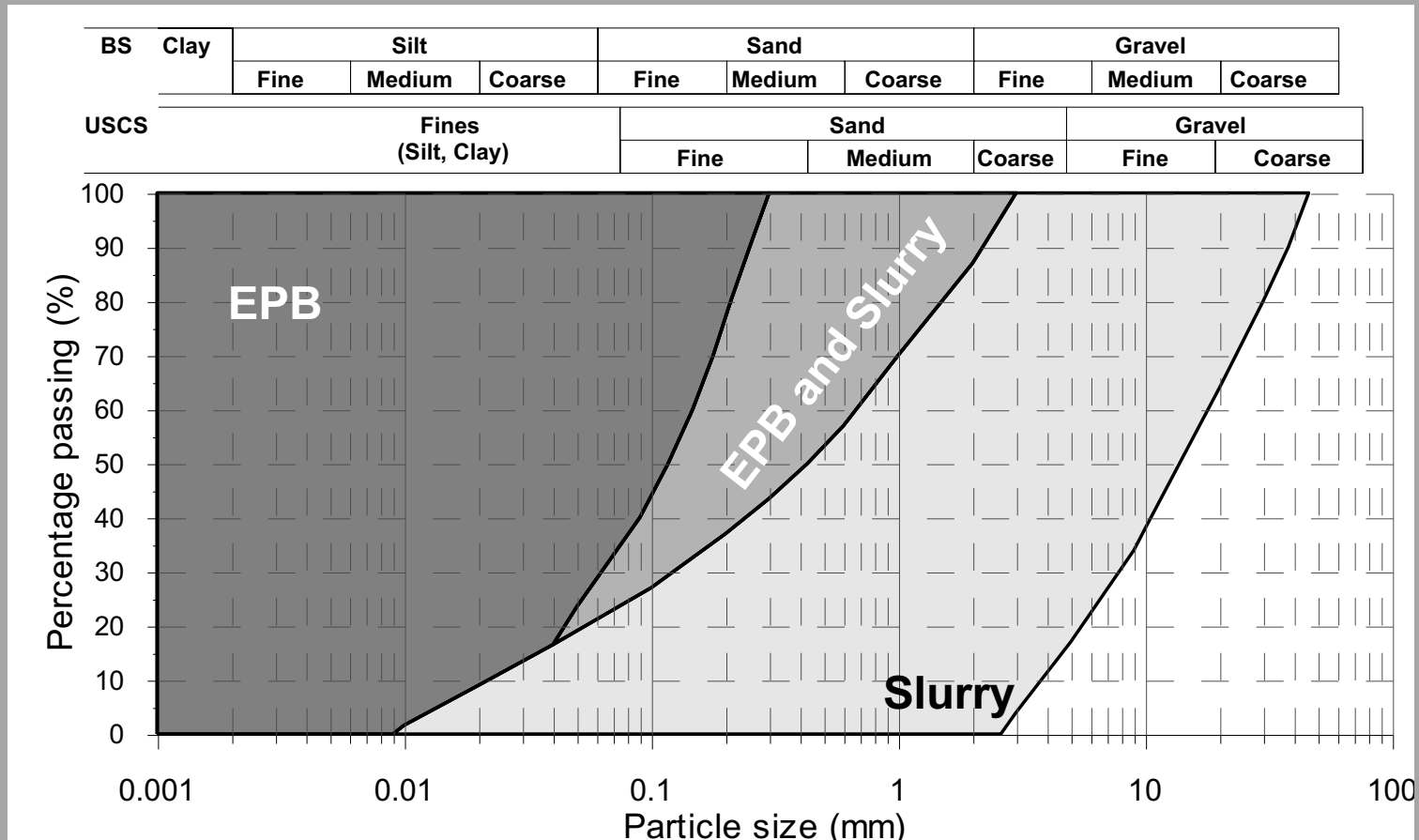
Υδρογεωλογικό μοντέλο



- Δοκιμές υδροπερατότητας κυρίως από δοκιμές μεταβλητού φορτίου
- Κυρίως από 10^{-6} έως 10^{-8} m/sec
- Τοπικά υψηλές τιμές ($>1 \cdot 10^{-5}$ m/sec)

Από το Γεωλογικό μοντέλο στην επιλογή μηχανήματος εκσκαφής

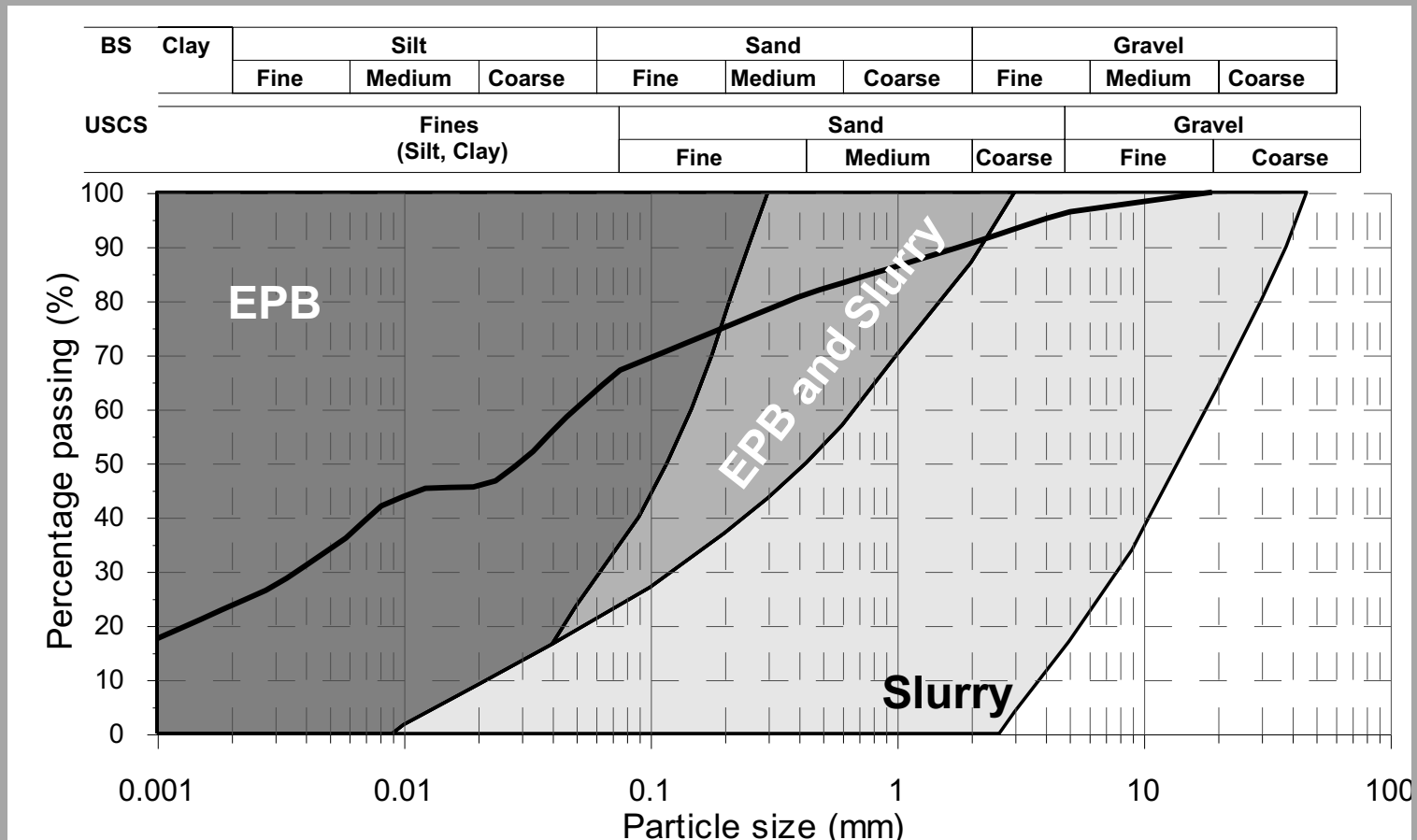
- 1) Έδαφος: Ανάγκη για μηχάνημα που ασκεί πίεση στο μέτωπο εκσκαφής
- 2) Βασικό κριτήριο για επιπλέον επιλογή: η κοκκομετρία των εδαφών



Διάγραμμα με τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB – TBM και πολφού TBM από τις κοκκομετρικές καμπύλες

Από το Γεωλογικό μοντέλο στην επιλογή μηχανήματος εκσκαφής

- 1) Έδαφος: Ανάγκη για μηχάνημα που ασκεί πίεση στο μέτωπο εκσκαφής
- 2) Βασικό κριτήριο για επιπλέον επιλογή: η κοκκομετρία των εδαφών

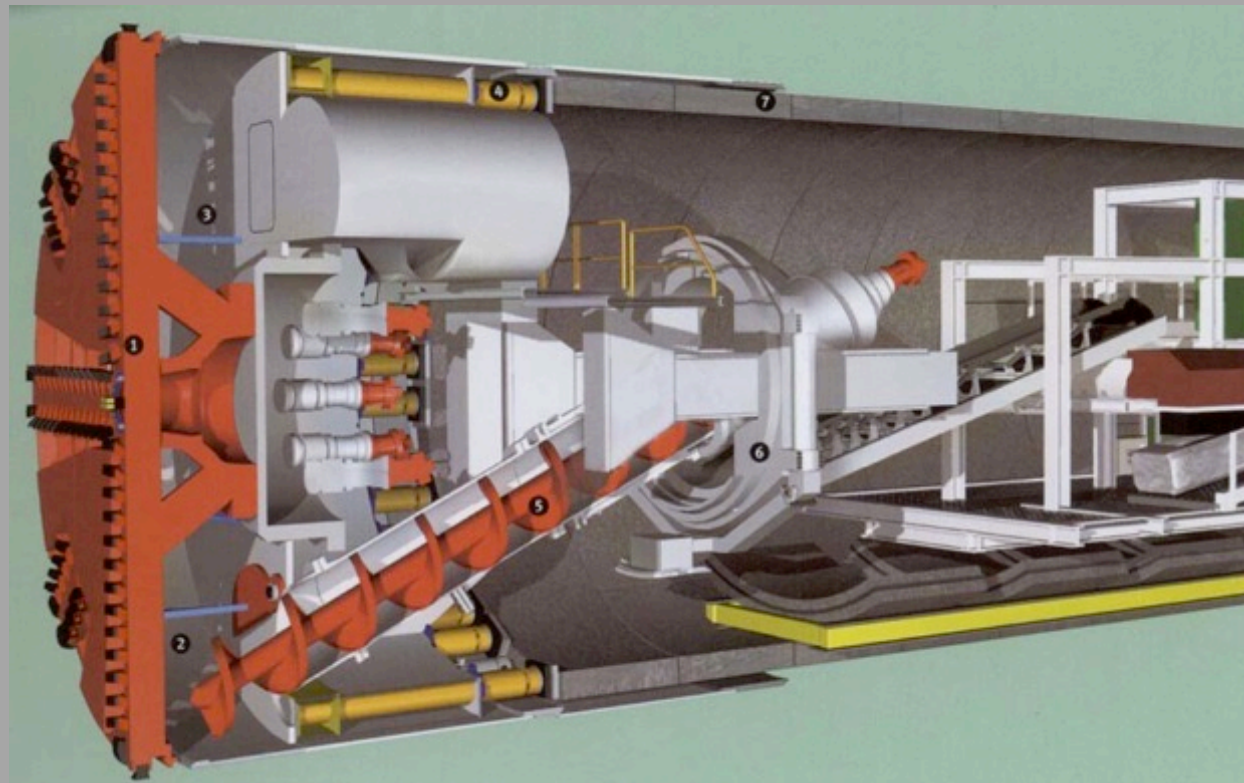


Είναι σαφές ότι τα εδάφη στον άξονα του έργου προβάλλονται στην περιοχή του EPB

Από το Γεωλογικό μοντέλο στην επιλογή μηχανήματος εκσκαφής

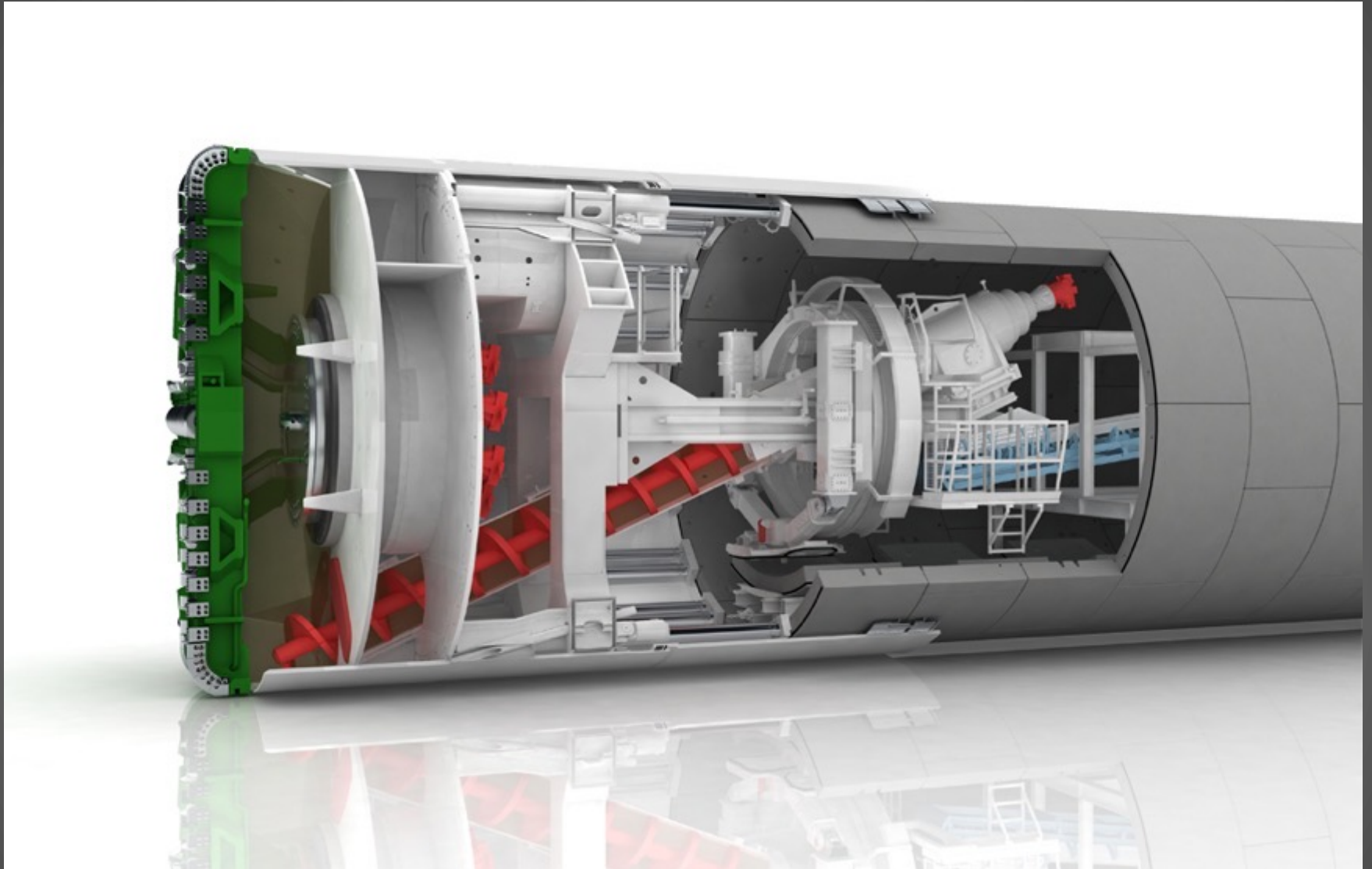
- 1) Έδαφος: Ανάγκη για μηχάνημα που ασκεί πίεση στο μέτωπο εκσκαφής
- 2) Βασικό κριτήριο για επιπλέον επιλογή: η κοκκομετρία των εδαφών
- 3) Κριτήριο περατότητας: Η υψηλή περατότητα των εδαφών ευνοεί την επιλογή μηχανήματος πολφού. Στη περίπτωση του μετρό Θεσσαλονίκης η παρουσία τέτοιων εδαφών θα αντιμετωπιστεί με ειδικά πρόσθετα στο μέτωπο εκσκαφής.

**Μηχάνημα
μηχανοποιημένης
διάνοιξης EPB**



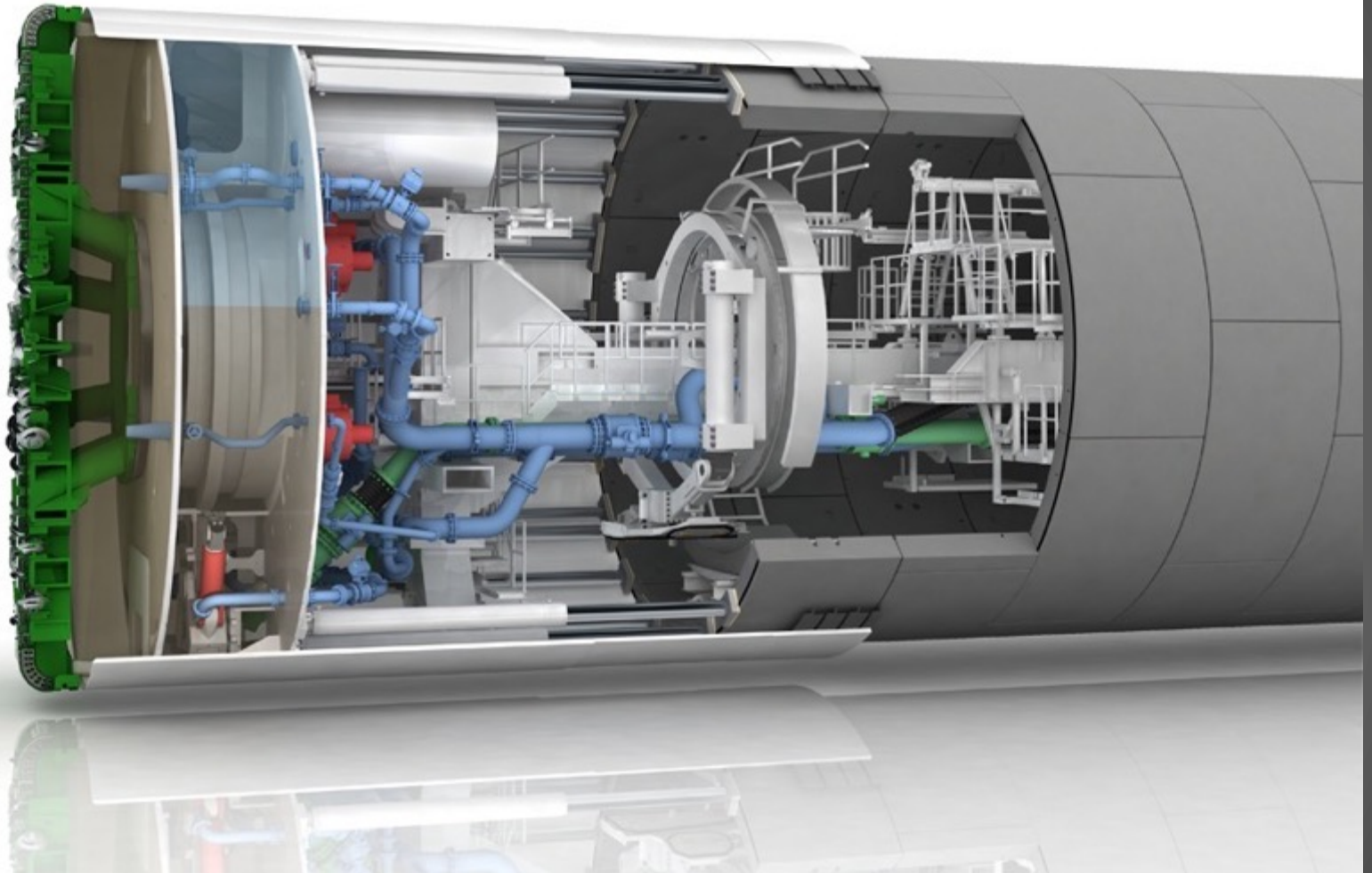
ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΤΥΠΟΙ ΤΒΜ

ΤΒΜ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΤΙΚΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (ΕΡΒ)



Συνήθεις τύποι ΤΒΜ

ΤΒΜ Πολφού (Slurry)



TBM – ΒΑΣΙΚΟ ΕΡΓΟ – ΜΟΝΗ ΑΣΠΙΔΑ



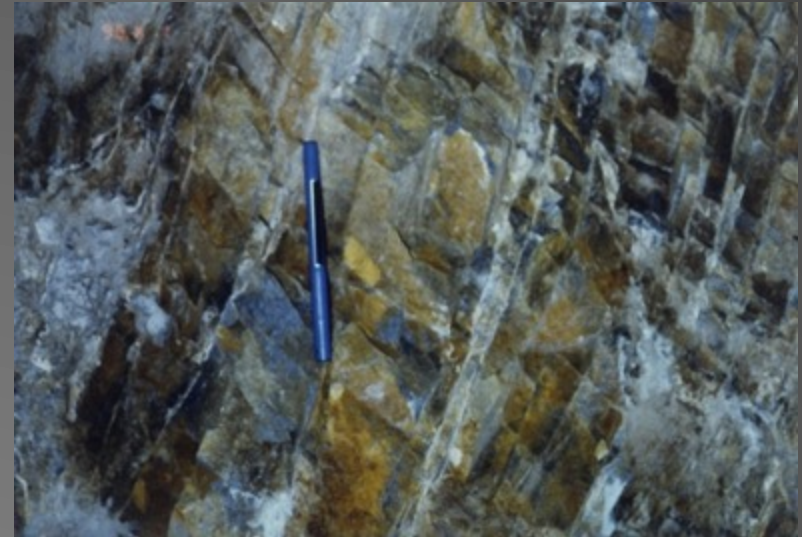
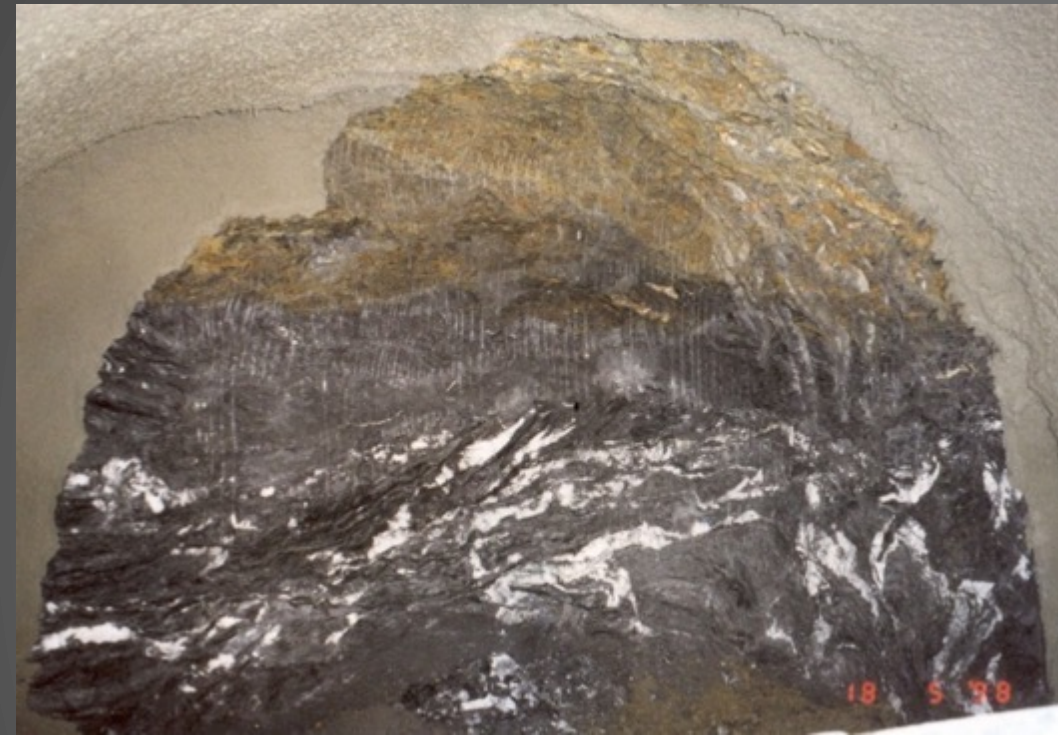
Av.
Ev.:



Kat.
Ev.:



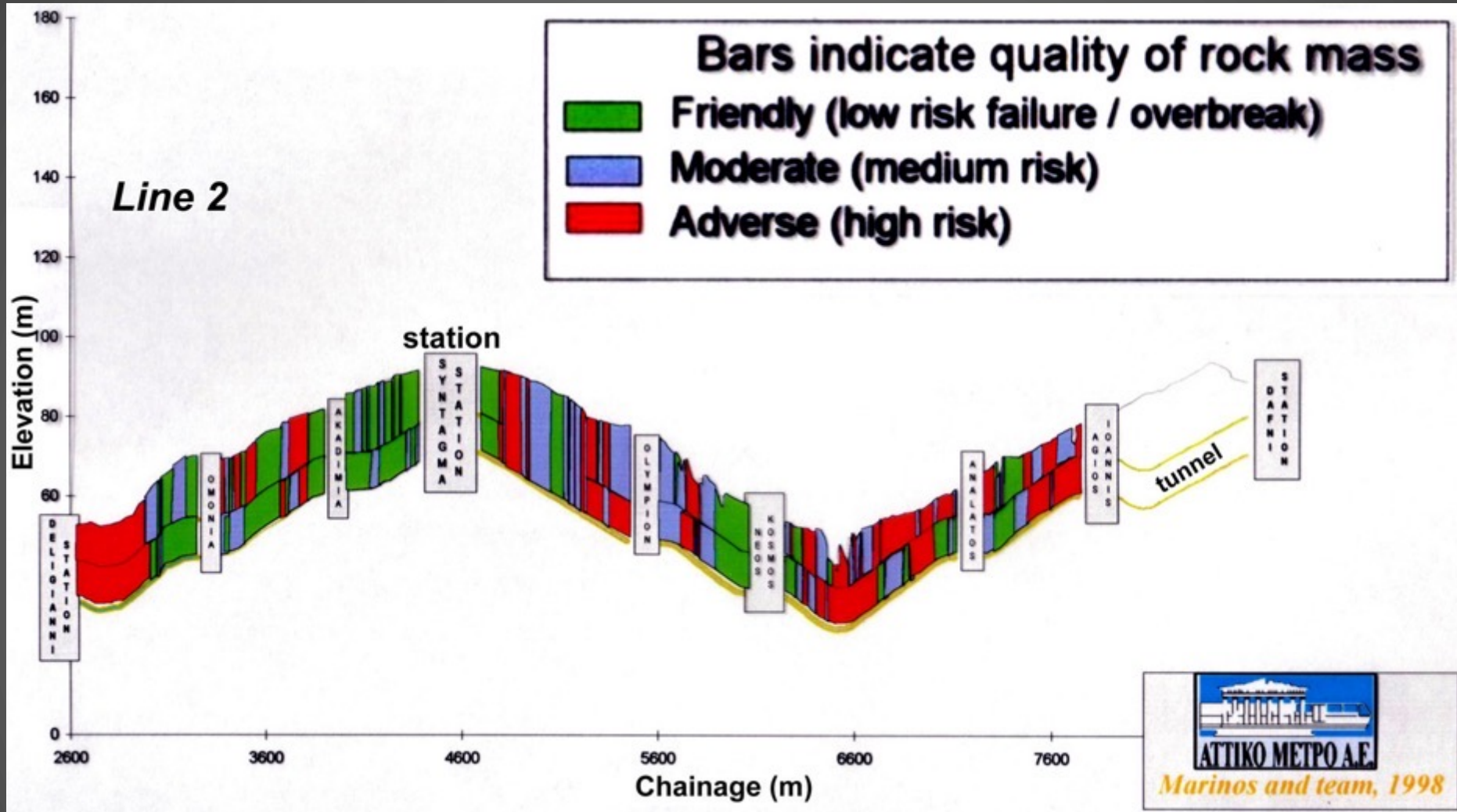
ΤΒΜ – ΒΑΣΙΚΟ ΕΡΓΟ – ΜΟΝΗ ΑΣΠΙΔΑ



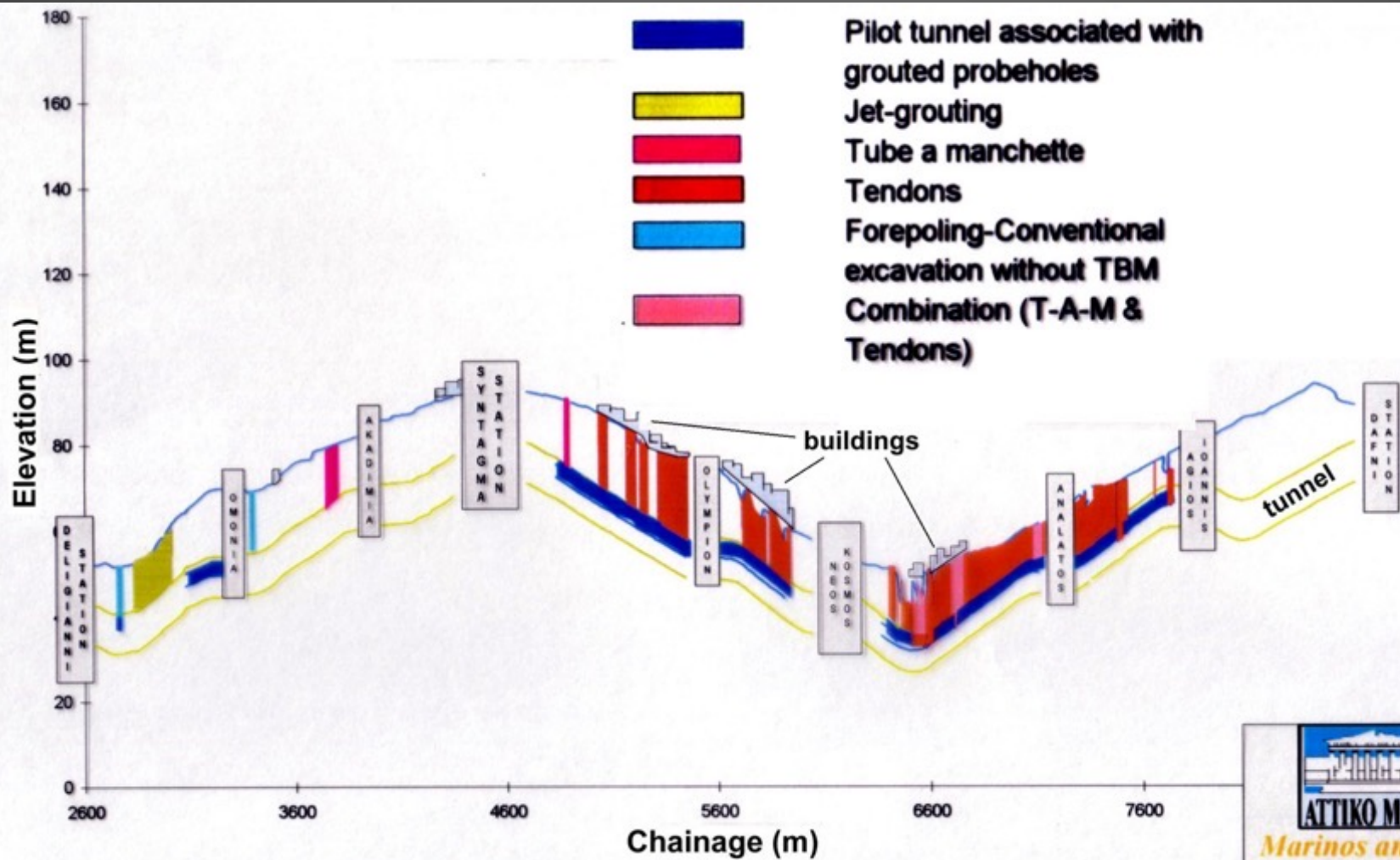
TBM – ΒΑΣΙΚΟ ΕΡΓΟ – ΜΟΝΗ ΑΣΠΙΔΑ



TBM – ΒΑΣΙΚΟ ΕΡΓΟ – ΜΟΝΗ ΑΣΠΙΔΑ



TBM – ΒΑΣΙΚΟ ΕΡΓΟ – ΜΟΝΗ ΑΣΠΙΔΑ



ΤΒΜ – ΒΑΣΙΚΟ ΕΡΓΟ – ΜΟΝΗ ΑΣΠΙΔΑ



TBM – ΒΑΣΙΚΟ ΕΡΓΟ – ΜΟΝΗ ΑΣΠΙΔΑ

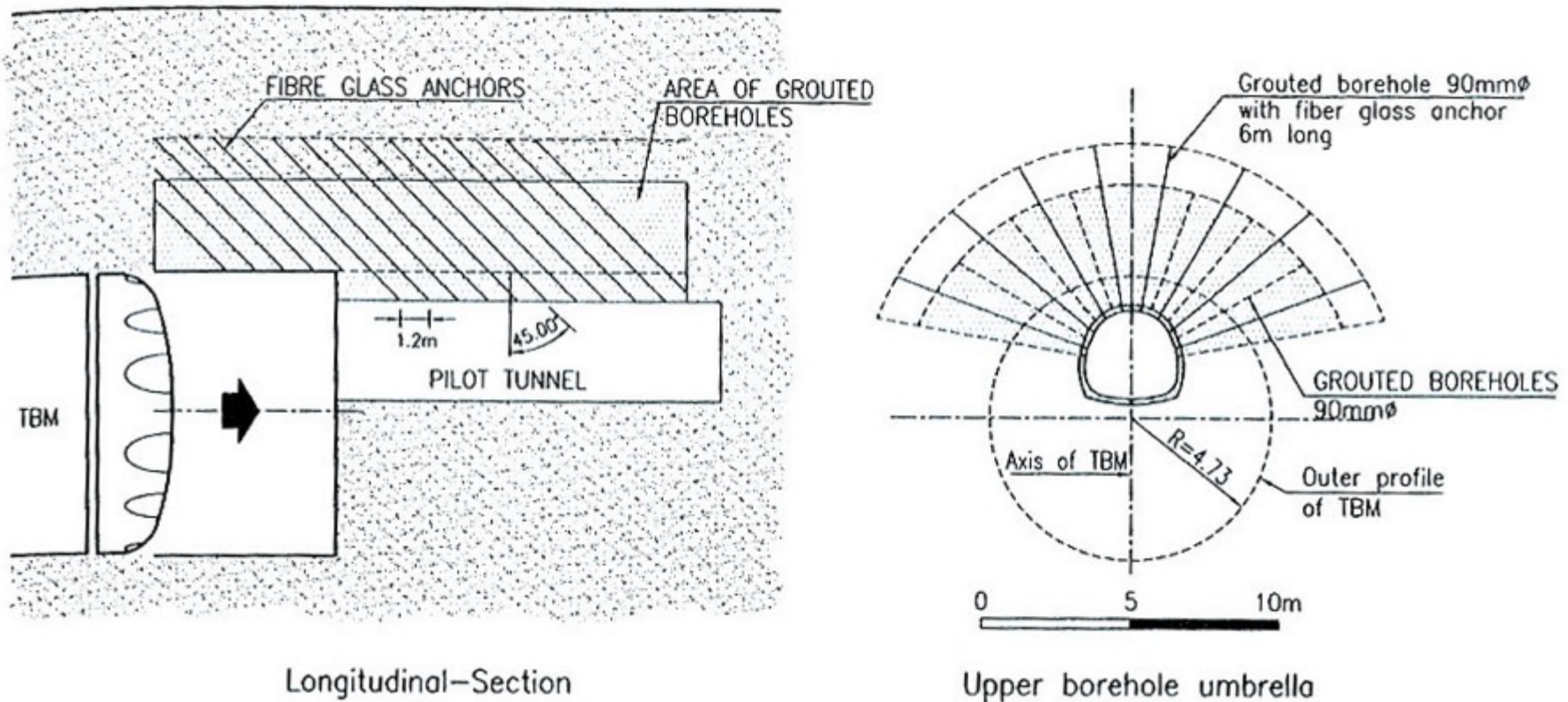
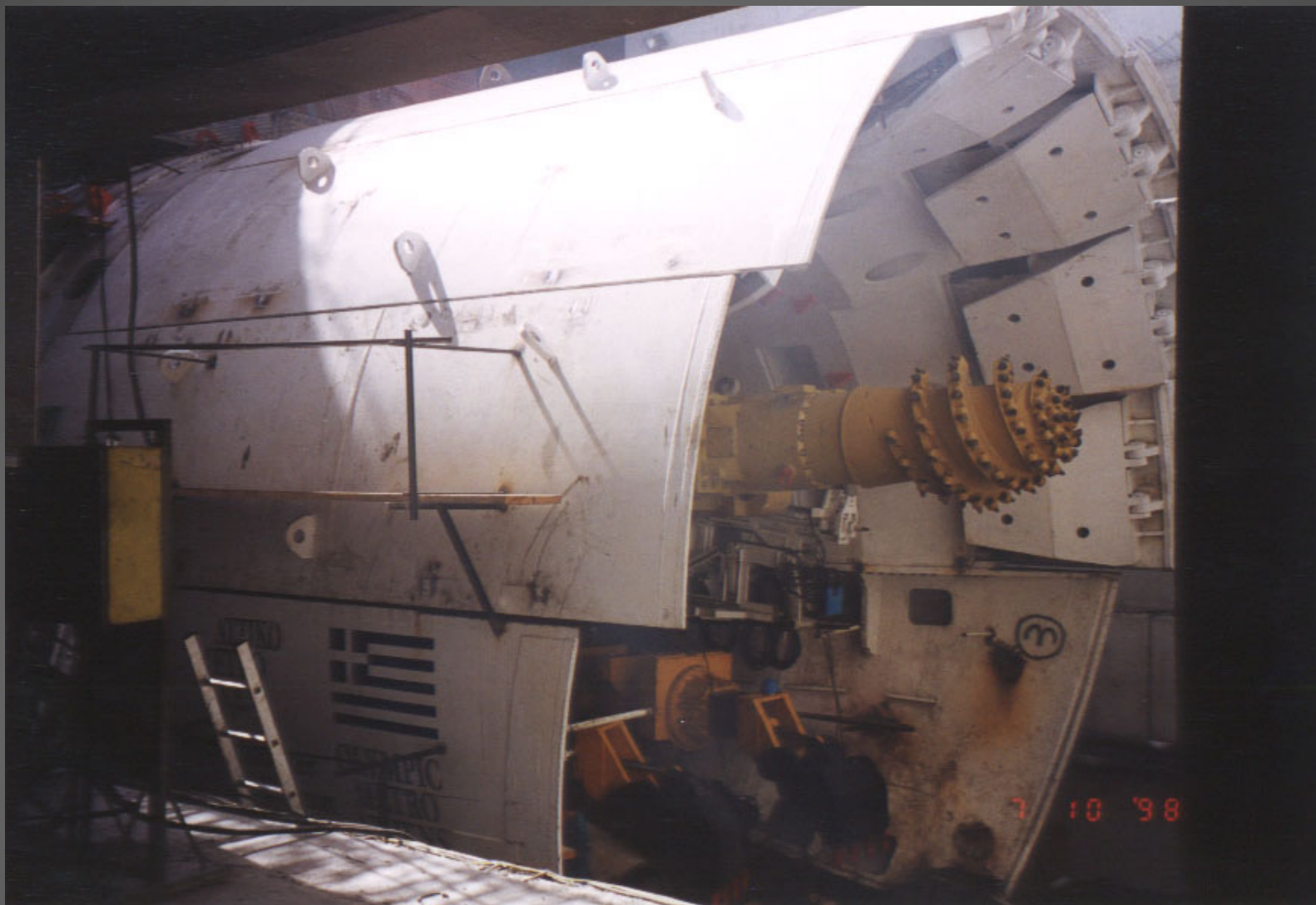


Figure 10. Investigation and treatment by pilot tunnel

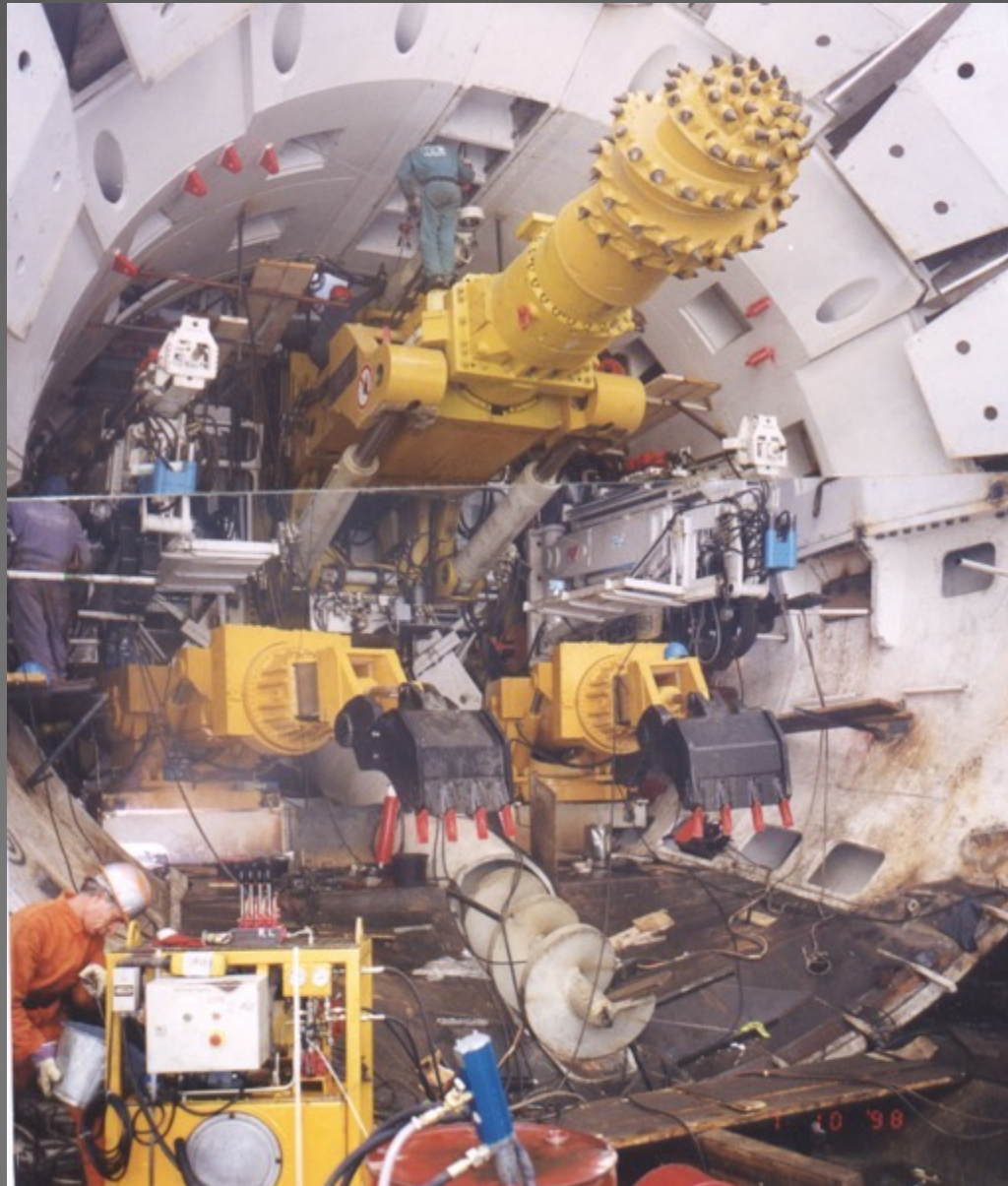
ΤΒΜ – ΒΑΣΙΚΟ ΕΡΓΟ – ΜΟΝΗ ΑΣΠΙΔΑ



TBM – ΠΡΩΤΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ – OFS



TBM – ΠΡΩΤΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ – OFS



TBM – ΠΡΩΤΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ – OFS

Πολύ καλή απόδοση σε μάργες...



TBM – ΠΡΩΤΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ – OFS

...όμως στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο



TBM – ΠΡΩΤΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ – OFS

...όμως στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο



TBM – ΠΡΩΤΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ – OFS

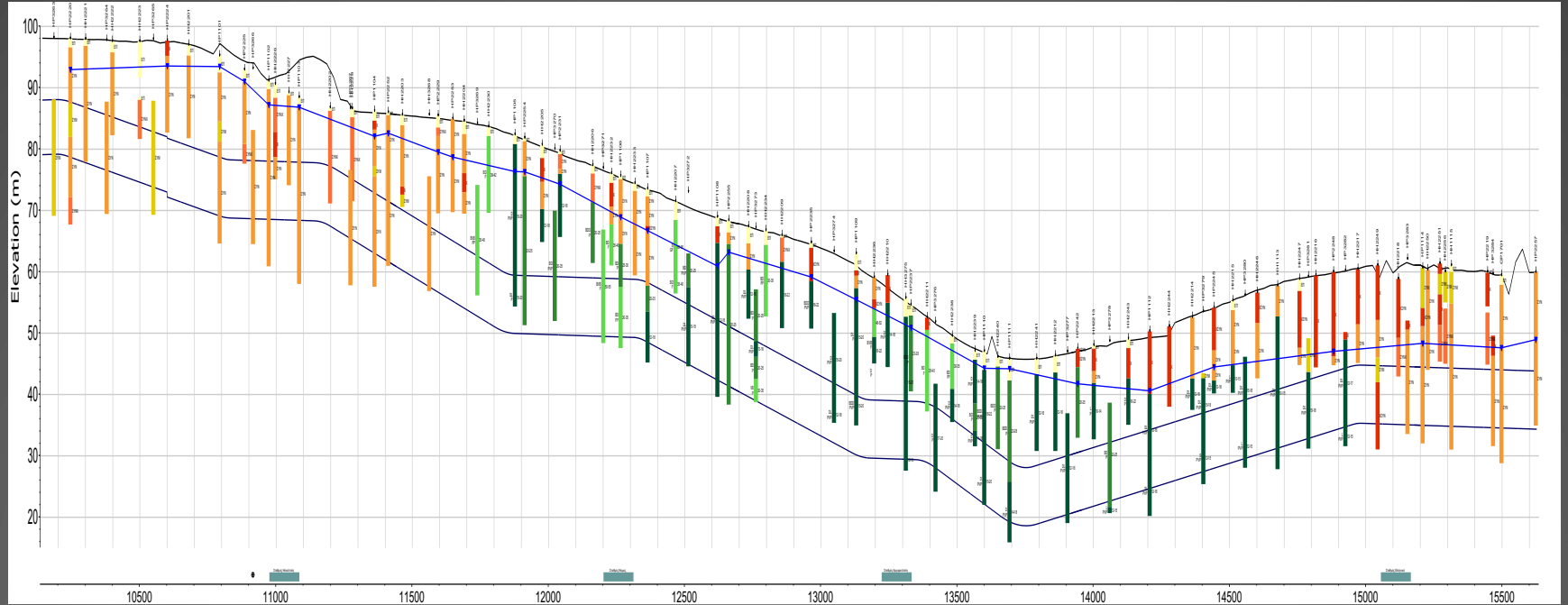
...κρίθηκε αναγκαία η βελτίωση εδάφους.



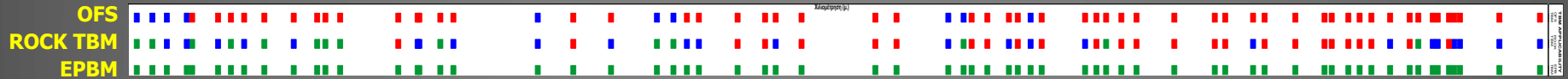
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟ - ΕΡΒ



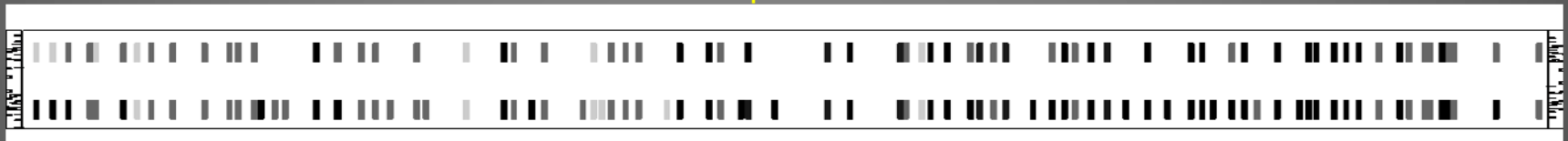
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟ - EPB



Ground behaviour against TBM tunnelling



EPBM Operation Mode

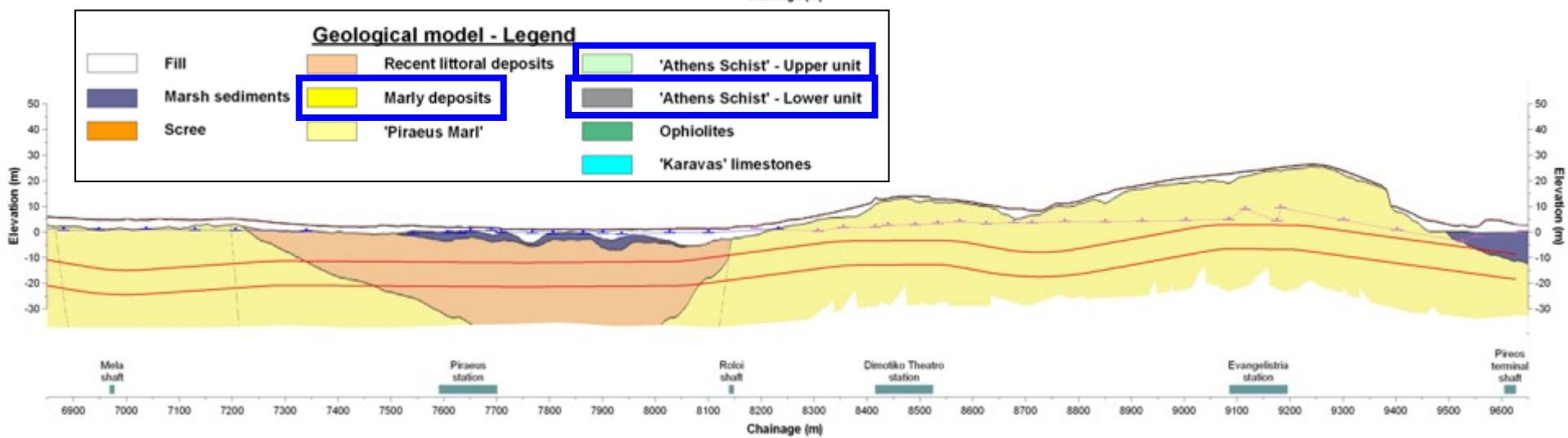
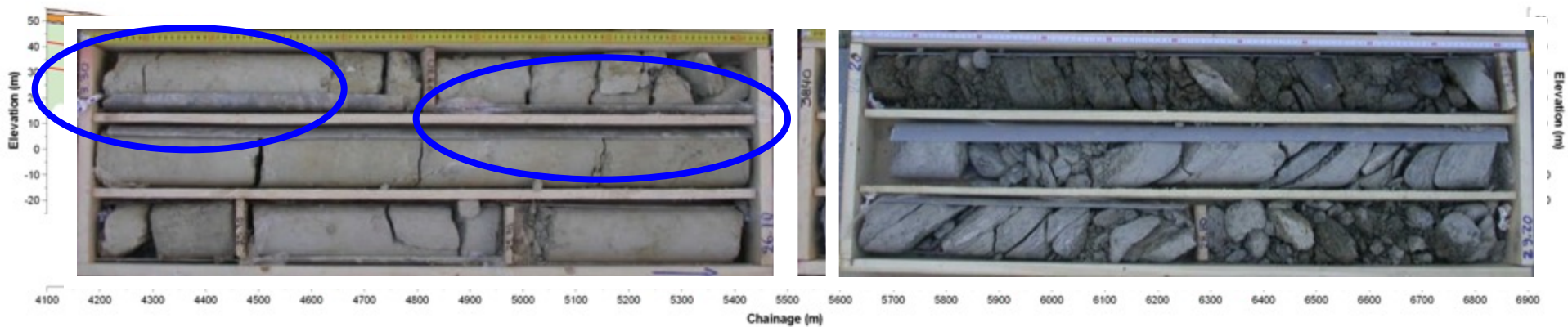
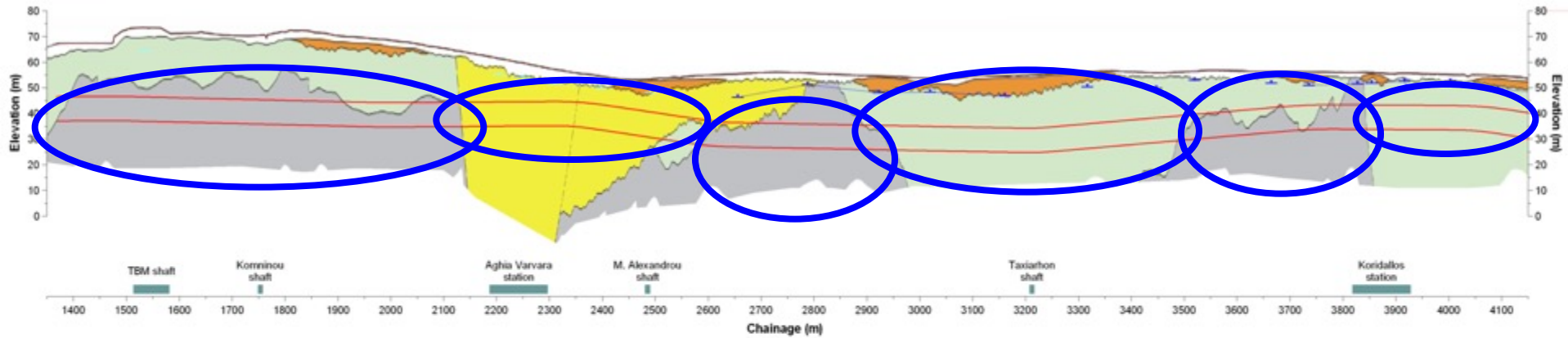


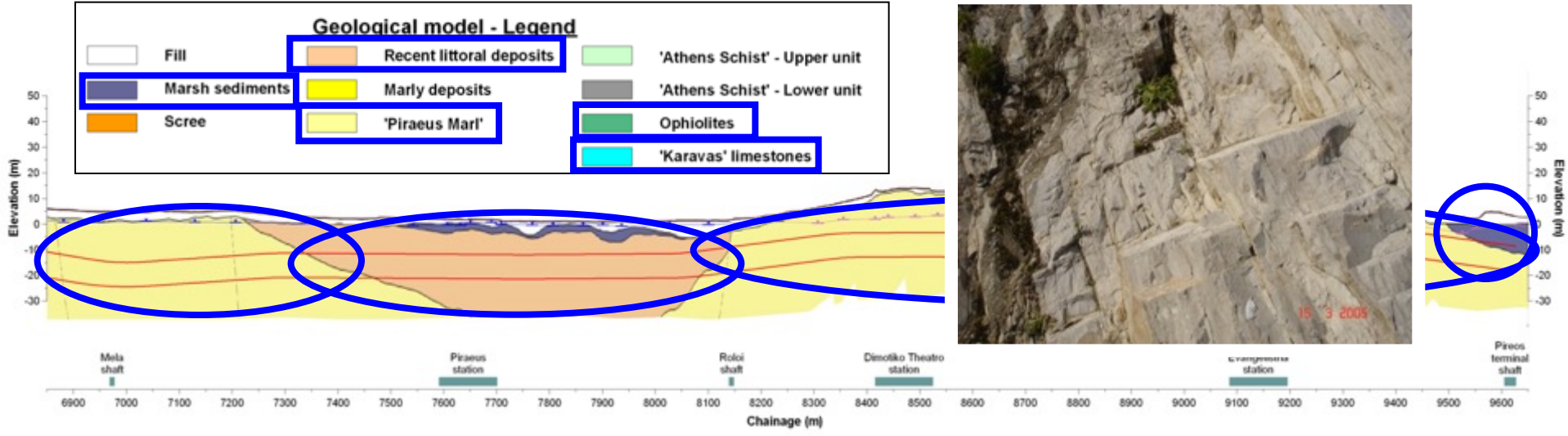
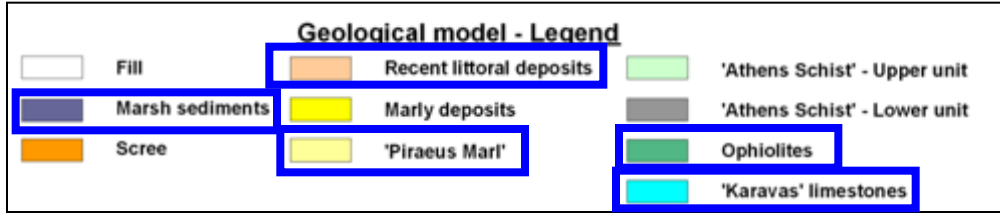
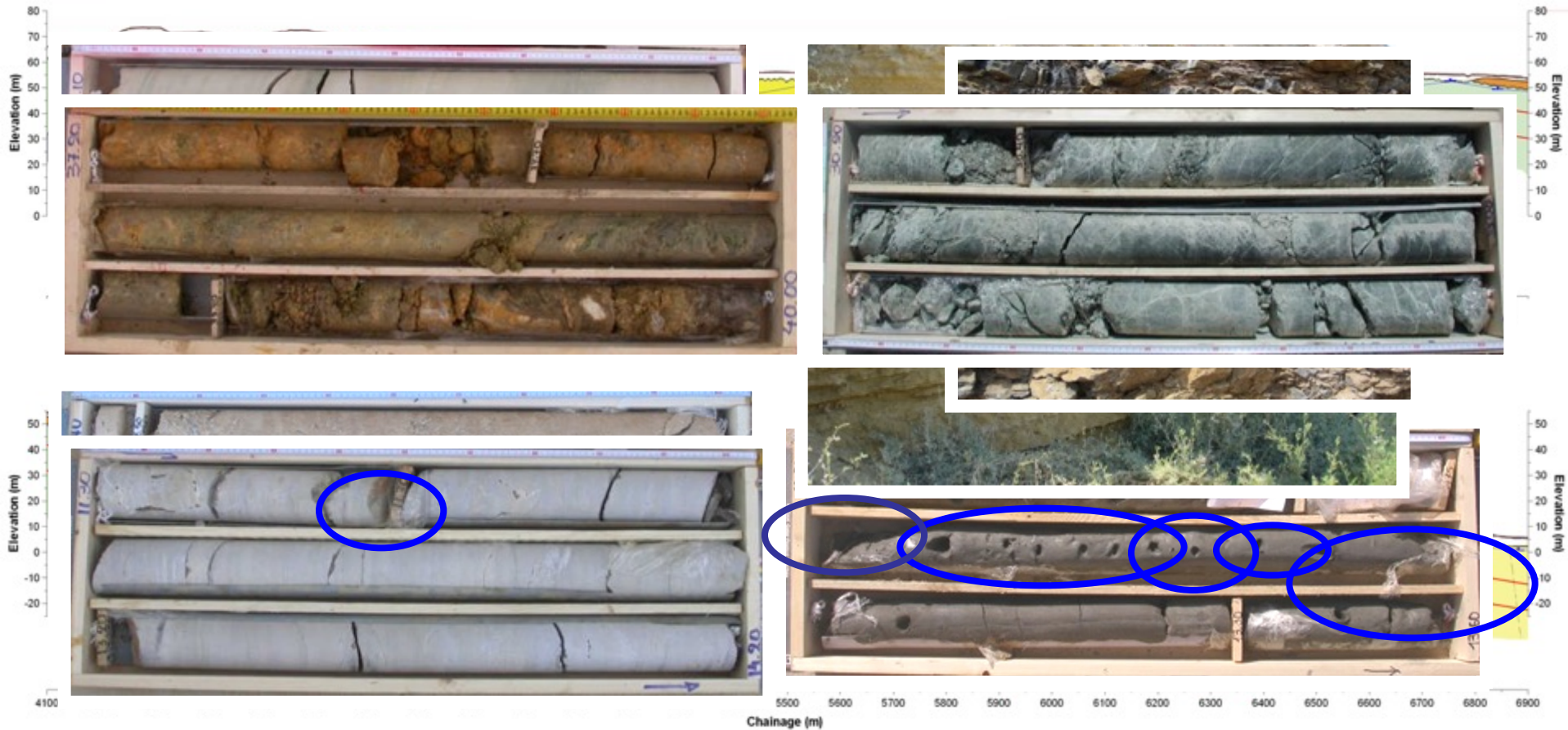
- | | | |
|------------|--------------------------------------|---|
| TBM | ■ | Friendly behaviour. |
| | ■ | Friendly behaviour.
Occasionally with possibility of overbreaks. |
| | ■ | High risk overbreak |

- | | | |
|-----------------|--|------------------|
| EPB MODE | ■ | Open mode |
| | ■ | Semi-closed mode |
| | ■ | Closed mode |

ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟ - ΕΡΒ

Tunnel section (ch.)	OFS		TBM		EPB		
	TBM risk assessment	Percentage (%) per category in respect with the characterization of ground behaviour	TBM risk assessment	Percentage (%) per category in respect with the characterization of ground behaviour	TBM risk assessment	Percentage (%) per category in respect with the characterization of ground behaviour	
10+100 -11+700	High risk overbreak		Friendly behaviour. Occasionally with possibility of overbreaks.		Friendly behaviour	O	25
						S	70
						C	5
11+700 - 15+000	High risk overbreak		High risk overbreak		Friendly behaviour	O	10
						S	30
						C	60
15+000 - 15+600	High risk overbreak		High risk overbreak		Friendly behaviour	O	0
						S	80
						C	20
Total tunnel length	High risk overbreak		High risk overbreak		Friendly behaviour	O	10
						S	50
						C	40

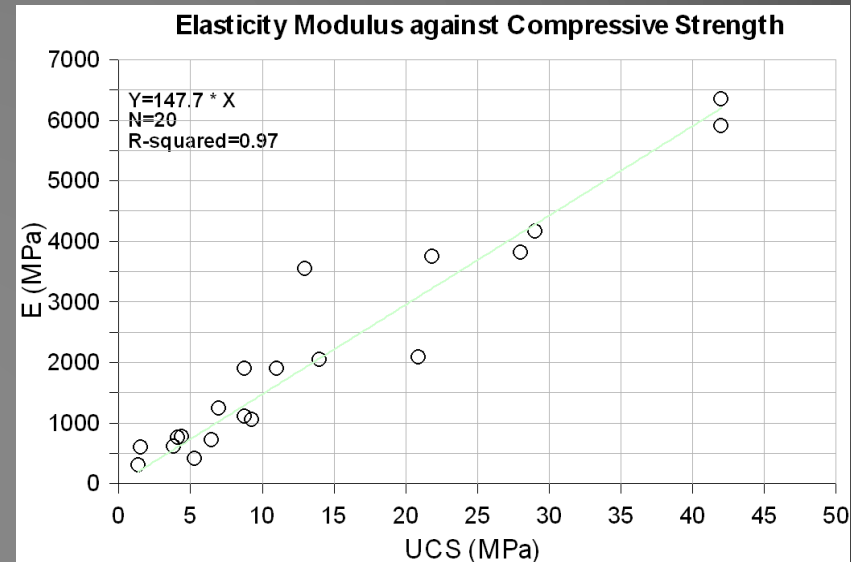
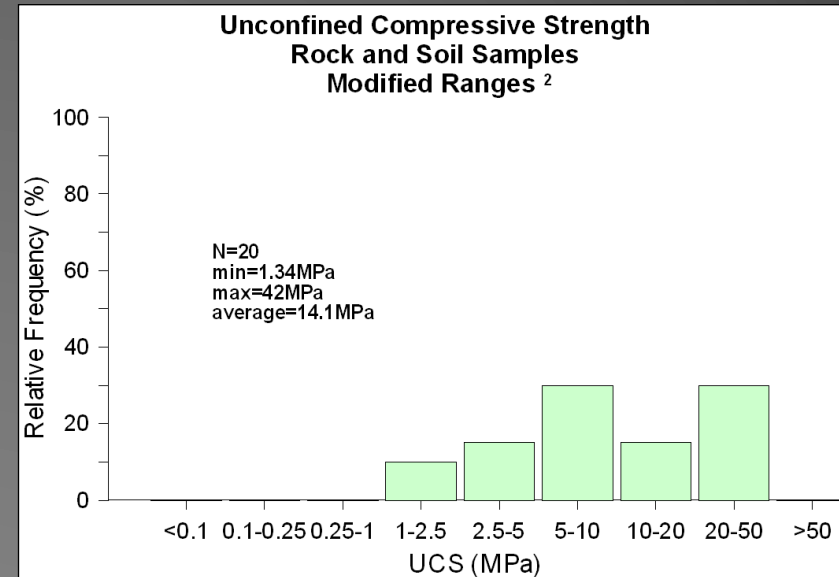
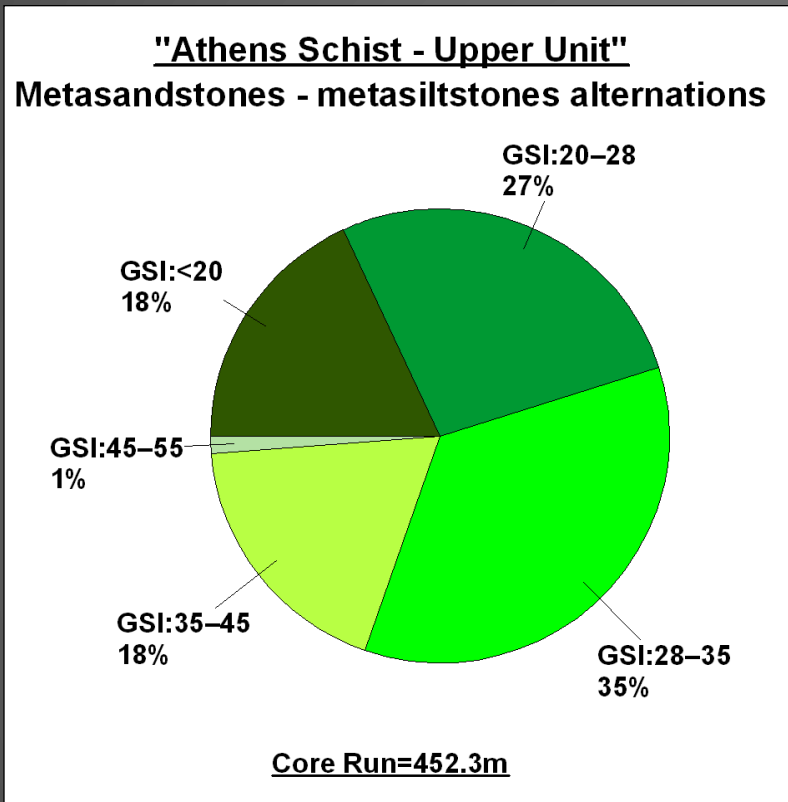




ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ - ΕΡΒ

- ▶ Τα γεωυλικά αξιολογούνται με διαφορετικό τρόπο αναλόγως της φύσης ΤΟΥΣ...

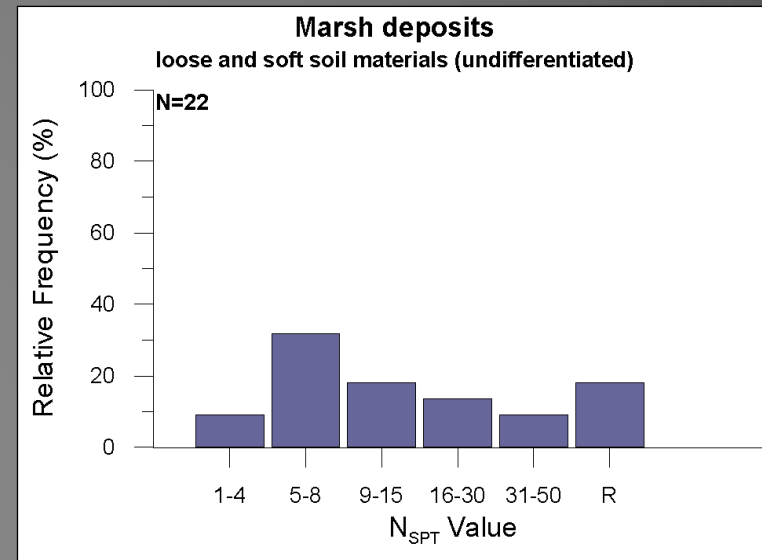
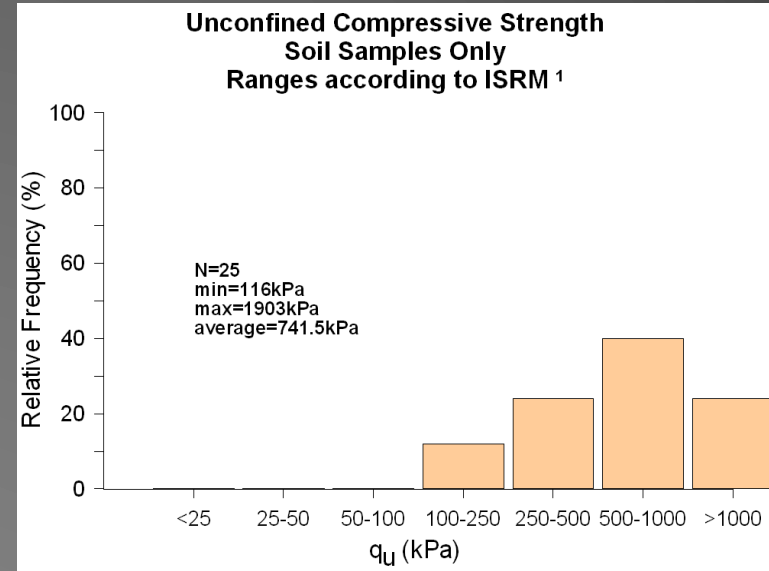
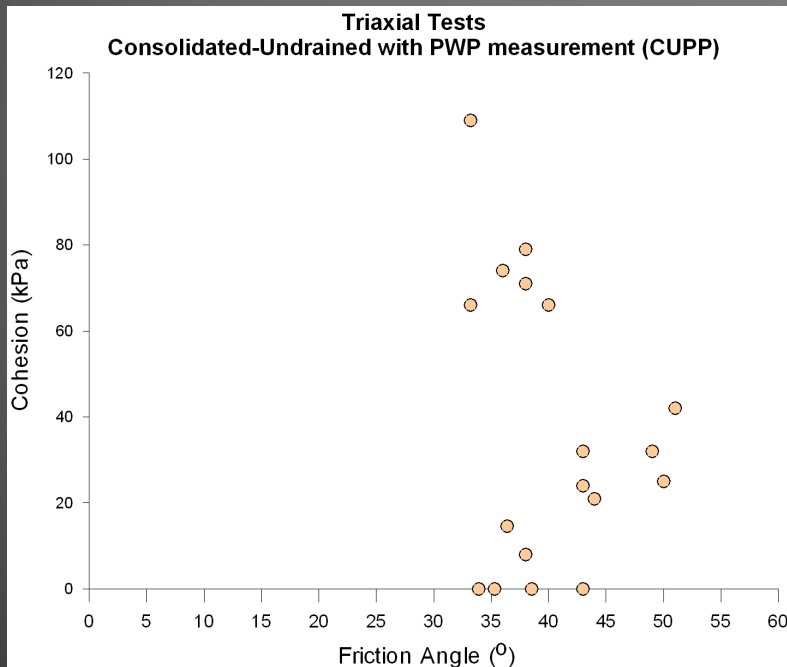
Βραχώμαζες



ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ - ΕΡΒ

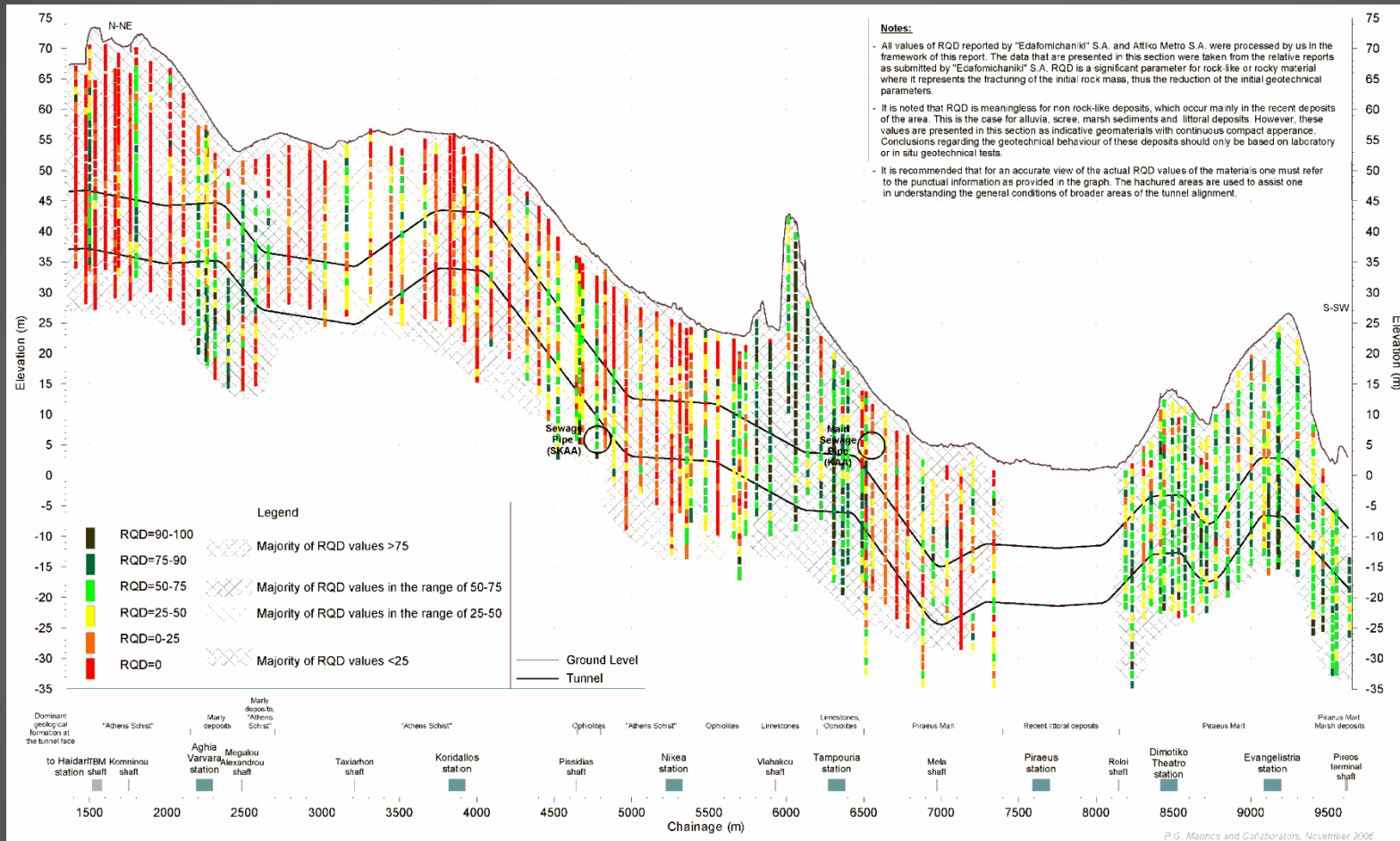
- Τα γεωϋλικά αξιολογούνται με διαφορετικό τρόπο αναλόγως της φύσης τους...

Εδαφικοί σχηματισμοί



ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ - ΕΡΒ

- Εξαιρετικά χρήσιμη η χρήση θεματικών μηκοτομών...



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aik N.C. Site Investigation for Civil Engineering Projects.
2. Anonymous, 1979, Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I: Rock and soil materials. Bulletin International Association Engineering Geology, No.19, pp. 364-371.
3. Bell F.G. (2000) "Engineering Properties of Soils and Rocks", Blackwell Science
4. Clayton, C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and Use," Construction Industry Research and Information Association Report 143. CIRIA, London. 143 pp.
5. Décourt, L. (1990) "The Standard Penetration Test," State of the Art Report, Norwegian Geotechnical Institute Publication, vol. 179 , 1-12. Part II. Oslo, Norway.
6. Marinos P., Novack M., Benissi M, Panteliadou M., Papouli D., Stoumpos G., Marinos V., Korkkaris K. (2007) «Ground information and selection of TBM for the Thessaloniki Metro, Greece». Journal of Environmental and Engineering Geoscience, XIV,1, 17-30.
7. Robertson, P.K. (2006). "Guide to In-Situ Testing," Gregg Drilling & Testing Inc.
8. Terzaghi K. and Peck R.B. (1967) "Soils Mechanics in Engineering Practice", John Wylie & Sons, New York, U.S.A.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7. Waltham T., (2002). Foundations of Engineering Geology, Spon Press.
8. Κούκης Γ. – Σαμπατακάκης Ν. (2002) «Τεχνική Γεωλογία» Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Κανονισμοί / Οδηγίες

1. Ευρωκώδικας 7 (ΕΛΟΤ EN 1997-2)
2. BS 5930, BSI, London, U.K.
3. ASTM D2487 – 00 USC «Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών»