

Γεωτεχνική Έρευνα (σε υπόγεια έργα & σήραγγες)

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΔΠΜΣ Σχεδιασμός & Κατασκευή Υπογείων Έργων

Μάθημα: *Γεωτεχνική και Γεωφυσική Έρευνα Υπεδάφους*

Αναπλ. Καθηγητής Ι. Ζευγώλης

Διδάσκων (ένας εκ των τριών)...

Γιάννης Ζευγώλης

Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΜΜΜ (Εργ. Τεχνολογίας Διάνοιξης Σηράγγων)

Διπλ. Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός ΕΜΠ

MSc, PhD Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Purdue University ΗΠΑ

Γνωστικό Αντικείμενο: *Γεωτεχνική Μηχανική στα Μεταλλευτικά και Τεχνικά Έργα*

Γραφείο 2.39 κτ. Μεταλλειολόγων (2^{ος} όροφος)

210 772 2194

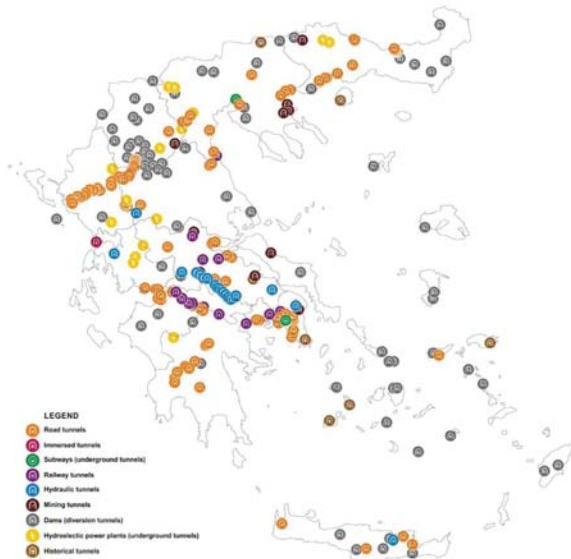
izevgolis@metal.ntua.gr

<http://users.ntua.gr/izevgolis/>



Εισαγωγή

Συνολικό μήκος οδικών και σιδηροδρομικών σηράγγων που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα την τελευταία εικοσαετία **≈ 350 km!**



Είναι τόσο «απλό» να κατασκευάζονται σήραγγες και υπόγεια έργα;;;

ΜΙΑ ΨΕΥΔΟΠΟΣΟΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΟΛΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

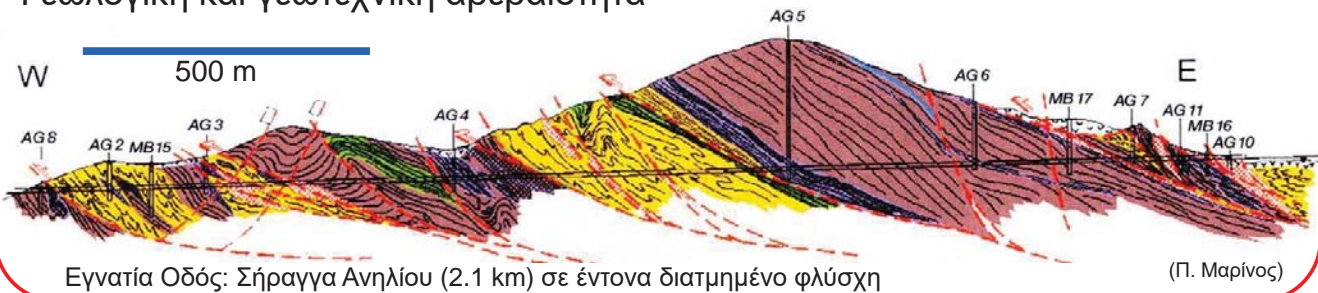
Θ.Π. Τάσιος
Έλληνας ακαδημαϊκός,
Καθηγητής ΕΜΠ,
αρθρογράφος και
συγγραφέας (1930 -).

Μεγάλη η φιλοδοξία-μας να τα βάλουμε με τον Πλούτο-να: Καί θεός είναι, καί σκοτεινός, καί εκδικητικός. Έτσι εξηγείται γιατί η Μηχανική των Σηράγγων δέν έχει ακόμη αρτιωθεί σε «ακριβή» επιστήμη. Παρα ταύτα, ο ωραίος αγώνας του Μηχανικού «ενάντια στο βάθος και στο νερό», βρίσκει τρόπους να παλεύει με τον θεό και να κατασκευάζει σήραγγες – και μόνον οι γραφειοκράτες των Βρυξελλών γκρινιάζουν «διати αι μελέται δέν ησαν ακριβείς;».

*Τάσιος, Θ. Π. (2004). Μία ψευδοποσοτική θεώρηση σχεδιασμού σηράγγων έναντι ολικής αστοχίας διατομής. *Ανάλυση & Διαστασιολόγηση Μόνιμης Επένδυσης Σηράγγων*. Αθήνα, ΕΕΣΥΕ.

Ιδιαιτερότητες σηράγγων (και λοιπών υπόγειων έργων)

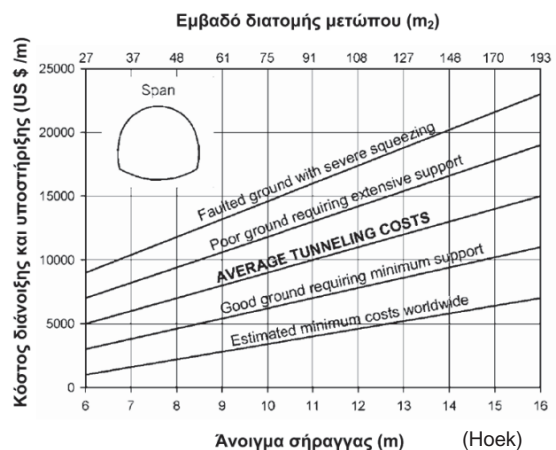
Γεωλογική και γεωτεχνική αβεβαιότητα



Υψηλές τεχνικές απαιτήσεις



Υψηλό κόστος



Θεμελιώδης διαφορά στον σχεδιασμό επιφανειακών και υπόγειων έργων:

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή σηράγγων και υπόγειων έργων αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο τεχνικό πρόβλημα, καθώς είναι **πολύ δύσκολος** ο *a priori* (εκ των προτέρων) **καθορισμός** των βασικών **παραμέτρων σχεδιασμού** (σε σύγκριση με τα επιφανειακά έργα).

Επιφανειακά vs. Υπόγεια Έργα		
Μέσο (υλικό κατασκευής)	●	○
Δράσεις (φορτία επί της κατασκευής)	●	○
Αντιστάσεις (απόκριση υπό την έννοια τάσεων – παραμορφώσεων)	●	○
● a priori καθορισμένα ○ μη προκαθορισμένα		(Lunardi 2008)

Τις επιπτώσεις από αυτή τη δυσκολία έρχεται κατά το δυνατόν να μετριάσει η **γεωτεχνική έρευνα**...

Γεωτεχνική έρευνα (ή διασκόπηση ή διερεύνηση) – geotechnical investigation

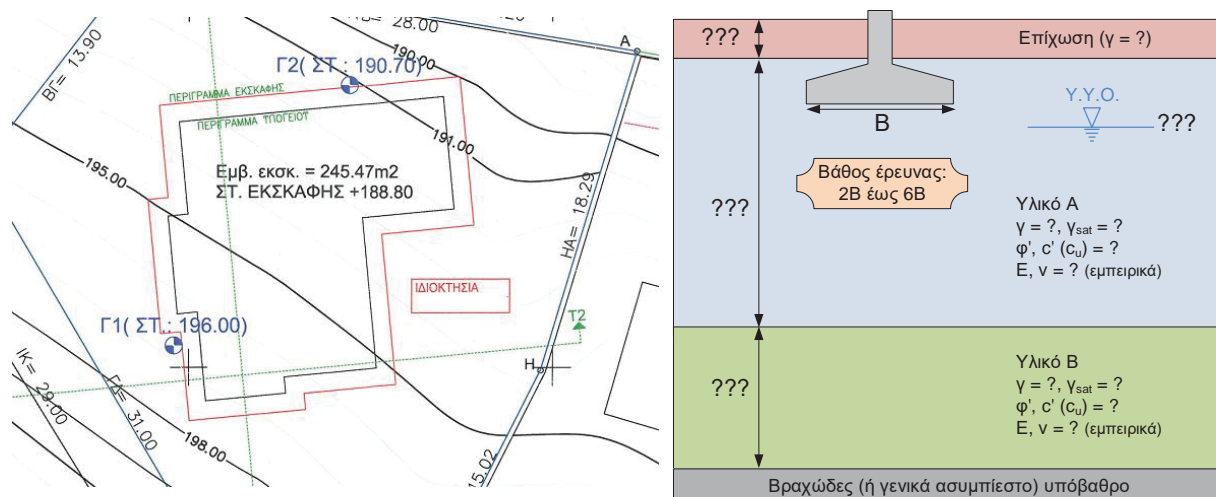
Το σύνολο των δραστηριοτήτων που έχει ως στόχο τη μόρφωση μιας **3Δ*** εικόνας των θέσεων (αλληλουχία, πάχος, πλευρική έκταση) και των **γεωτεχνικών χαρακτηριστικών** όλων των βασικών γεωλογικών στρώσεων [οι οποίες επηρεάζονται ή/και επηρεάζουν την υλοποίηση μιας γεωτεχνικής κατασκευής], καθώς και τον προσδιορισμό του σχετικού **υδραυλικού καθεστώτος**. (Κωστόπουλος, 2005)

* Συνήθης μόρφωση σε 2Δ «εικόνες» (κάτοψη / οριζοντιογραφία, διατομές σε κρίσιμες ή χαρακτηριστικές θέσεις, μηκοτομή, κ.λπ.), οι οποίες συνολικά συνθέτουν μια προσεγγιστική 3Δ απεικόνιση.

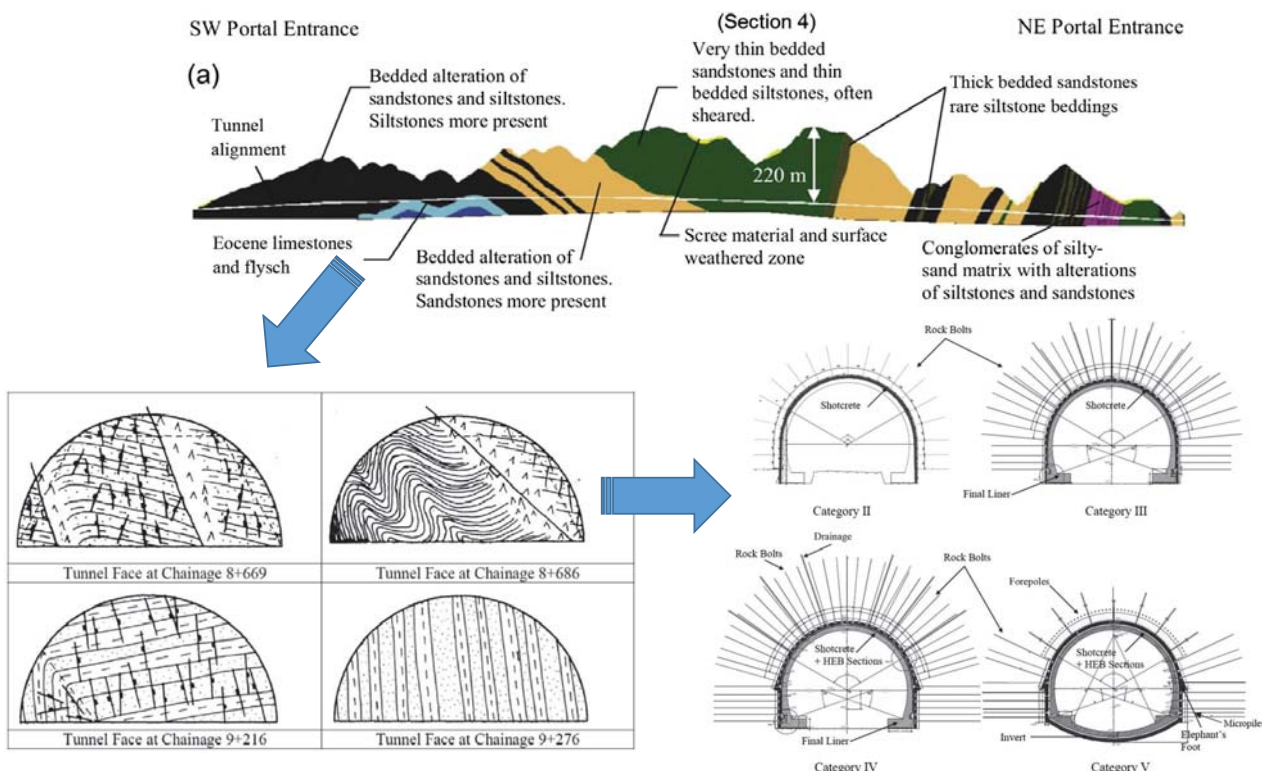
Όσο πιο σύνθετο και «μεγαλύτερο» είναι ένα έργο, τόσο δυσκολότερη είναι η μόρφωση της 2Δ/3Δ απεικόνισης!

Ξεκινώντας από ένα σχετικά απλό πρόβλημα γεωτεχνικής διερεύνησης, π.χ. **θεμελίωση κτηρίου 1-ορόφου με μεμονωμένα επιφανειακά πέλδια...**

Μικρός αριθμός γεωτρήσεων («μία = καμία»), δοκιμές κατάταξης, προσδιορισμός διατμητικής αντοχής



... έως κάτι πιο σύνθετο, π.χ. **σχεδιασμός και κατασκευή σήραγγας σε δύσκολες και μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες**



Πηγή: Langford, J.C., Vlachopoulos, N., Diederichs, M.S. (2016). Revisiting support optimization at the Driskos tunnel using a quantitative risk approach, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 8:147-163.

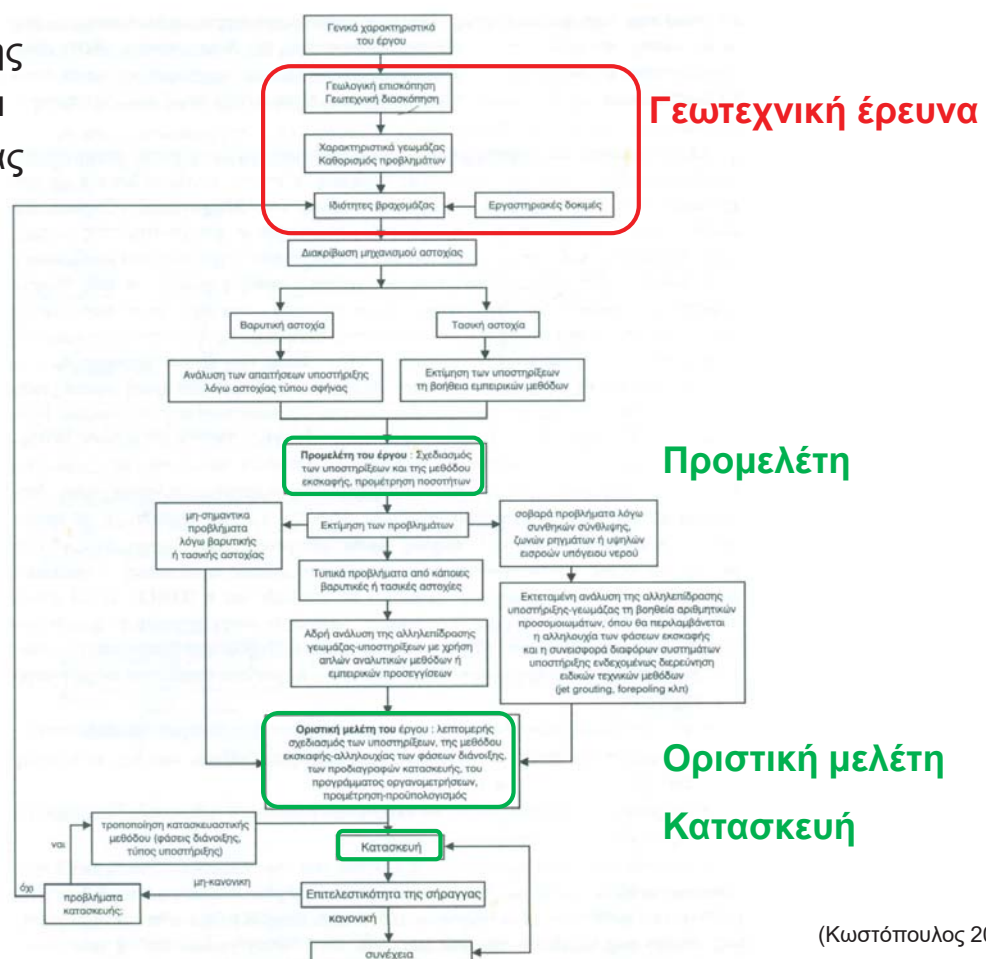
Σκοπός της **γεωτεχνικής έρευνας** είναι η **πρόγνωση των γεωτεχνικών συνθηκών** που θα συναντηθούν κατά τη **διάνοιξη της σήραγγας** (και γενικότερα κατά την κατασκευή οποιουδήποτε γεωτεχνικού έργου).

Η μελέτη του έργου θα στηριχθεί στις συνθήκες αυτές για:

- την επιλογή της μεθόδου εξόρυξης,
- τη διαστασιολόγηση των μέτρων υποστήριξης,
- (την εκτίμηση του μεγέθους των υπερεκσκαφών)

Από την **ορθή (προ)εκτίμηση των γεωτεχνικών συνθηκών**, δηλαδή από τη **σωστή γεωτεχνική διερεύνηση** θα εξαρτηθεί η **επιτυχία του έργου!**

Διάγραμμα ροής
σχεδιασμού και
κατασκευής μιας
σήραγγας



Στάδια γεωτεχνικής έρευνας

Για όλα τα έργα (όχι μόνο σήραγγες):

- **Μελέτη γραφείου** (desk study) – συλλογή και αξιολόγηση διαθέσιμων προκαταρκτικών πληροφοριών

Γεωλογικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες, παλαιότερες γεωλογικές ή γεωτεχνικές μελέτες, τοπογραφικοί χάρτες, στοιχεία παλαιότερων γεωτρήσεων, κ.λπ.

- **Αναγνώριση - επιθεώρηση (επί τόπου) περιοχής έργου**

Μεταξύ άλλων, παρατήρηση και καταγραφή γειτονικών κατασκευών (αν υπάρχουν) – το είδος τους ενδέχεται να επηρεάσει το πρόγραμμα των γεωτεχνικών ερευνών (αποφυγή διαταραχής).

- **Έρευνα πεδίου** (site investigation)

- Σχεδιασμός και **εκτέλεση γεωτρήσεων** ή/και δοκιμαστικών εκσκαφών.
- Προσδιορισμός στοιχείων ενδεικτικών της στρωματογραφίας.
- **Εκτέλεση επί τόπου δοκιμών** (άμεσος ή έμμεσος – μέσω εμπειρικών σχέσεων – προσδιορισμός φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων εδάφους, προσδιορισμός στάθμης υπογείου υδάτινου ορίζοντα)
- **Δειγματοληψία** για εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών.

- **Εργαστηριακή έρευνα** (laboratory investigation)

Εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών για άμεσο προσδιορισμό φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών γεωμάζας.

- **Οργανομετρήσεις – παρακολούθηση (monitoring)**

Εγκατάσταση ειδικών οργάνων παρακολούθησης κατά τη διάρκεια κατασκευής ή/και λειτουργίας του έργου (για πολύπλοκα και κρίσιμα έργα).

Παρατηρήσεις

- Ανάλογα με την πολυπλοκότητα του έργου, η γεωτεχνική έρευνα μπορεί να αποτελέσει ένα σύνθετο οικονομοτεχνικό πρόβλημα.
- Ιδιαίτερα σε έργα υποδομής, ο προγραμματισμός της γεωτεχνικής έρευνας δεν είναι άκαμπτος, αλλά δίνει τη δυνατότητα τροποποίησης ορισμένων φάσεων με βάση ευρήματα προηγούμενων (φάσεων).
- Αν οι συνθήκες κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου το υπαγορεύουν, μπορεί να πραγματοποιηθούν επιπλέον έρευνες οι οποίες δεν προβλέπονταν αρχικά.
- Βάση για τον σχεδιασμό μιας γεωτεχνικής διερεύνησης αποτελεί η γνώση του τι αναζητείται από αυτή.

Γεωτεχνική έρευνα σε έργα σηράγγων

Σε έργα σηράγγων, η γεωτεχνική έρευνα αρχίζει από την απλή αναγνώριση της περιοχής και γίνεται όλο και λεπτομερέστερη με την προχώρηση του σταδίου της μελέτης του έργου.

Στάδια απόκτησης γεωτεχνικών πληροφοριών στη σηραγγοποιία

(κατά ΟΜΟΕ)

Στάδιο αναγνωριστικής μελέτης

- προσδιορισμός διαδρόμων
- μελέτη γραφείου
- αναγνώριση πεδίου
- **προκαταρκτική έρευνα υπεδάφους** (αν είναι απαραίτητο)

Στάδιο προμελέτης – προκαταρκτικής μελέτης

- κύρια έρευνα υπεδάφους επί τόπου
- κύρια έρευνα υπεδάφους στο εργαστήριο
- αξιολόγηση κύριων ευρημάτων έρευνας υπεδάφους

Στάδιο οριστικής μελέτης

- συμπληρωματική έρευνα υπεδάφους (αν είναι απαραίτητο)
- αξιολόγηση ευρημάτων συμπληρωματικής έρευνας υπεδάφους (αν έχει πραγματοποιηθεί)
- επιλογή τιμών παραμέτρων γεωτεχνικού σχεδιασμού
- προετοιμασία έκθεσης γεωτεχνικών συνθηκών αναφοράς (RGCR)

Στάδιο κατασκευής του έργου

- αναθεώρηση κατά τη διάρκεια της κατασκευής

Παρατηρήσεις (Σοφιανός 2018):

- Κατά τη γεωτεχνική έρευνα σε έργα σιράγγων δίνεται έμφαση στην ανάγκη να λαμβάνονται **αποφάσεις κατά τη διάρκεια της διαδικασίας**. Δηλαδή, κατά τη διάρκεια λήψης των πληροφοριών της έρευνας σε διάφορα στάδια, η στρατηγική μπορεί να αλλάξει και το πρόγραμμα να μεταβληθεί κατάλληλα.
- Αριθμός γεωτρήσεων = f (προβλήματα προς διερεύνηση)
Σε κάθε περίπτωση, λόγω συνήθως μεγάλου μήκους του έργου, δεν είναι δυνατή η πλήρης διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών με γεωτρήσεις. Άρα, η **έρευνα** πρέπει να είναι **στοχευμένη** και με **συγκεκριμένους σκοπούς** (και όχι «έρευνα για την έρευνα»).
- Γεωτρήσεις προηγούμενης φάσης μπορούν για οικονομικούς λόγους να εξυπηρετήσουν και σκοπούς επόμενης φάσης, π.χ. για εγκατάσταση πιεζομέτρων.

- **Πρόγραμμα γεωτεχνικής έρευνας → εκτελείται σε φάσεις**
Τα συμπεράσματα μιας **προκαταρκτικής έρευνας** επιτρέπουν στην **κύρια έρευνα** να προσαρμοστεί καλύτερα στις αναμενόμενες συνθήκες, ενώ μια **συμπληρωματική διερεύνηση** μπορεί να προγραμματιστεί λόγω αμφιβολιών και κενών γνώσης που παρέμειναν μετά από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της κύριας διερεύνησης.
- Κάθε συνδυασμός έργου και περιοχής είναι μοναδικός. **Δεν υπάρχει σύνολο κανόνων που μπορεί να εφαρμοστεί απαρέγκλιτα σε κάθε περίπτωση.**
- Απαιτείται συναξιολόγηση γεωλογίας με αποτελέσματα γεωτεχνικών ερευνών (εκ των οποίων ουκ άνευ η αμοιβαία **συνεργασία τεχνικού γεωλόγου – γεωτεχνικού μηχανικού**).

- Απαιτείται **στενή συνεργασία Μελετητή και Κατασκευαστή** στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού της σήραγγας για την **αξιολόγηση ερευνών και δοκιμαστικών διατρήσεων σε πραγματικές συνθήκες κατασκευής** και την εξαγωγή συμπερασμάτων χρήσιμων για τις αναλυτικές προσεγγίσεις. (Λέφας et al. 2001)
- Λόγω σημαντικής **μεταβλητότητας** των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των γεωυλικών η μέθοδος της **στοχαστικής προσομοίωσης** των τιμών των παραμέτρων βοηθά στην επιλογή παραμέτρων με επιθυμητό βαθμό εμπιστοσύνης. (Λέφας et al. 2001)

Αιτίες εσφαλμένης εκτίμησης συνθηκών υπεδάφους

Υπό την παραδοχή σωστού προγραμματισμού και εκτέλεσης γεωτεχνικών ερευνών, μια σειρά άλλων παραμέτρων μπορεί να επηρεάσει τη σωστή εκτίμηση των επί τόπου γεωτεχνικών συνθηκών:

- Επίδραση **διαταραχής εδαφικών δειγμάτων** στις εργαστηριακές δοκιμές ή ύπαρξη **σημαντικών διαφορών μεταξύ επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών**.
- **Εσφαλμένη ερμηνεία** αποτελεσμάτων δοκιμών (που οδηγεί σε εσφαλμένη εκτίμηση γεωτεχνικών συνθηκών).
- **Ανεπαρκής συνεργασία** μεταξύ των φορέων **μελέτης και κατασκευής** του έργου (→ αδυναμία επισήμανσης σημαντικών αποκλίσεων των συνθηκών ή μεθόδων κατασκευής σε σχέση με τις συνθήκες που είχαν προβλεφθεί ή προδιαγραφεί από τον μελετητή).

Κόστος, αβεβαιότητα και γεωτεχνικές έρευνες

Το **κόστος** κατασκευής μιας σήραγγας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για αυτό που ονομάζεται **επιτυχής ολοκλήρωση του έργου**.

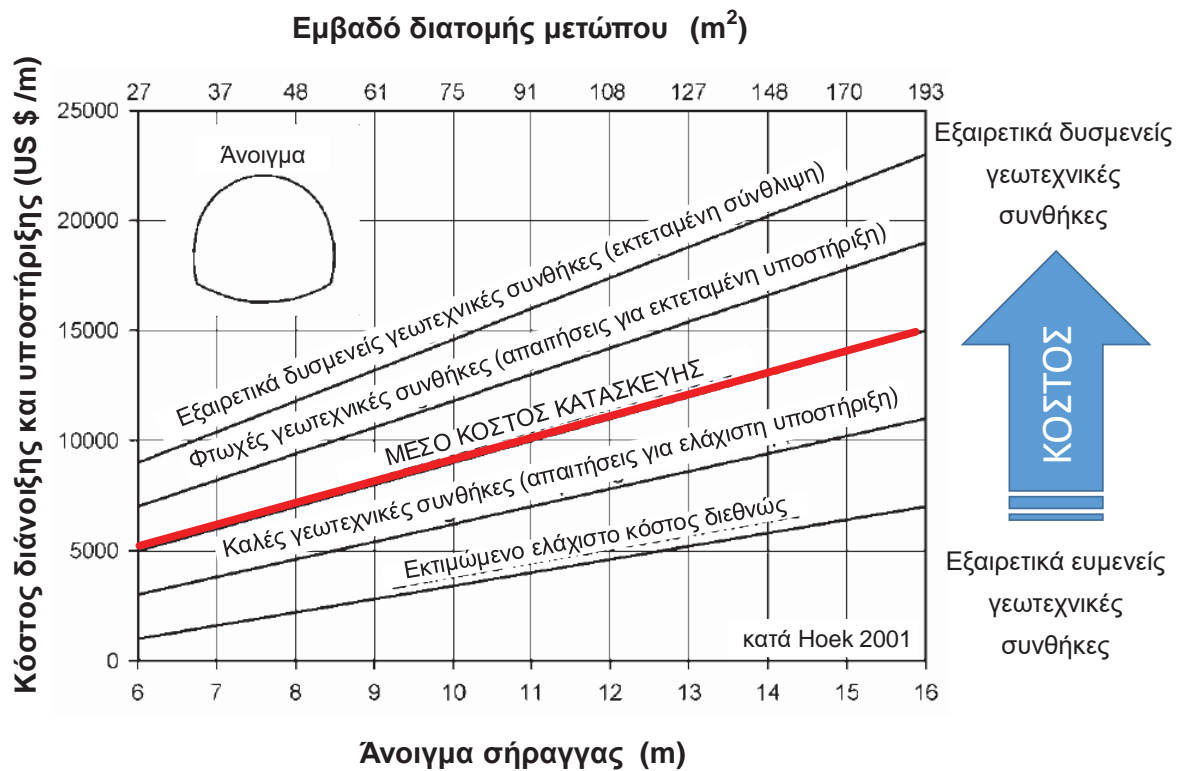
Παρατηρήσεις:

- Συχνά επανεξετάζεται και τροποποιείται κατά την κατασκευή.
- Διαφέρει από έργο σε έργο.
- Διεθνές φαινόμενο η υπέρβαση του αρχικά εκτιμώμενου κόστους.

US National Committee on Tunnelling Technology (1984):

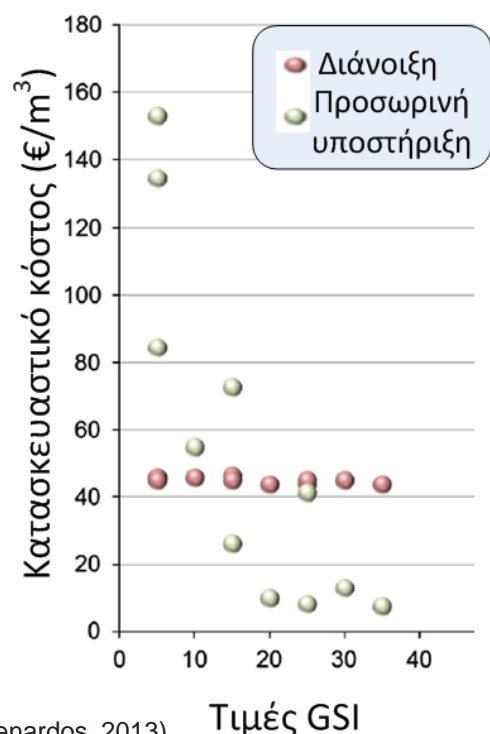
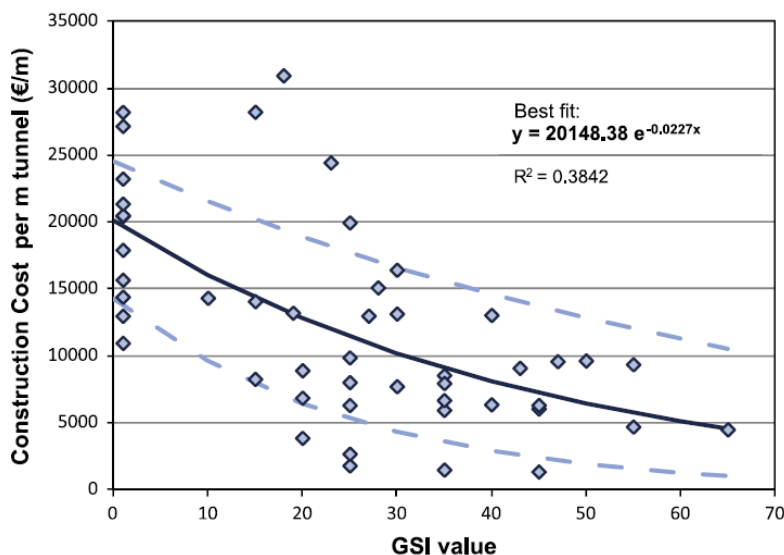
- ✓ Σχεδόν το 60% κατασκευασμένων σηράγγων, κατέληξαν σε υπέρβαση του κόστους και «διαμάχες» μεταξύ του κατασκευαστή και του κύριου του έργου.
- ✓ Το τελικό κόστος (συμπεριλαμβανομένων των αξιώσεων εκ μέρους του εργολάβου) έφθανε ως και 50% πάνω από τον αρχικό προϋπολογισμό του έργου.

Κόστος → συνάρτηση πολλών παραμέτρων, μεταξύ των οποίων κρίσιμο ρόλο έχουν οι **γεωλογικές & γεωτεχνικές συνθήκες έργου!**



Π.χ. στις σήραγγες Εγνατίας Οδού, με συνολικό μέσο κόστος πλήρως κατασκευασμένου κλάδου σήραγγας 17000 €/m, το 62% του κόστους αφορούσε θέματα εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης!

Κόστος κατασκευής ελληνικών σηράγγων - εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη (τιμές 2011):



(Paraskevopoulou and Benardos, 2013)

Η σηραγγοποιία (σχεδιασμός + κατασκευή σηράγγων) ως δραστηριότητα ενέχει μεγάλη αβεβαιότητα και εγκυμονεί πολλούς κινδύνους!

Βασικοί κίνδυνοι στη σηραγγοποιία*:

- **Γεωτεχνική αβεβαιότητα και διακινδύνευση**
- Ανεπαρκής σχεδιασμός έργου
- Φτωχός προγραμματισμός έργου
- Ανεπαρκείς ή φτωχές κατασκευαστικές πρακτικές
- Άλλοι («υπόγειοι») κίνδυνοι

* Manzari M. (2015). Soft Ground Site Investigation & Managing Geotechnical Risks In Tunnelling. In: Challenges and Innovations in Tunnelling, Tunnelling Association of Canada, Octo 4-6 2015, Kingston, ON Canada.

Κατά ΕΛΟΤ (και ISO):

Διακινδύνευση (risk): η αρνητική ή θετική επίδραση της αβεβαιότητας στην επίτευξη των στόχων.

Αβεβαιότητα (uncertainty): κατάσταση μερικής τουλάχιστον έλλειψης πληροφόρησης και γνώσης για μελλοντικά συμβάντα, της πιθανότητας εμφάνισης και των συνεπειών τους.

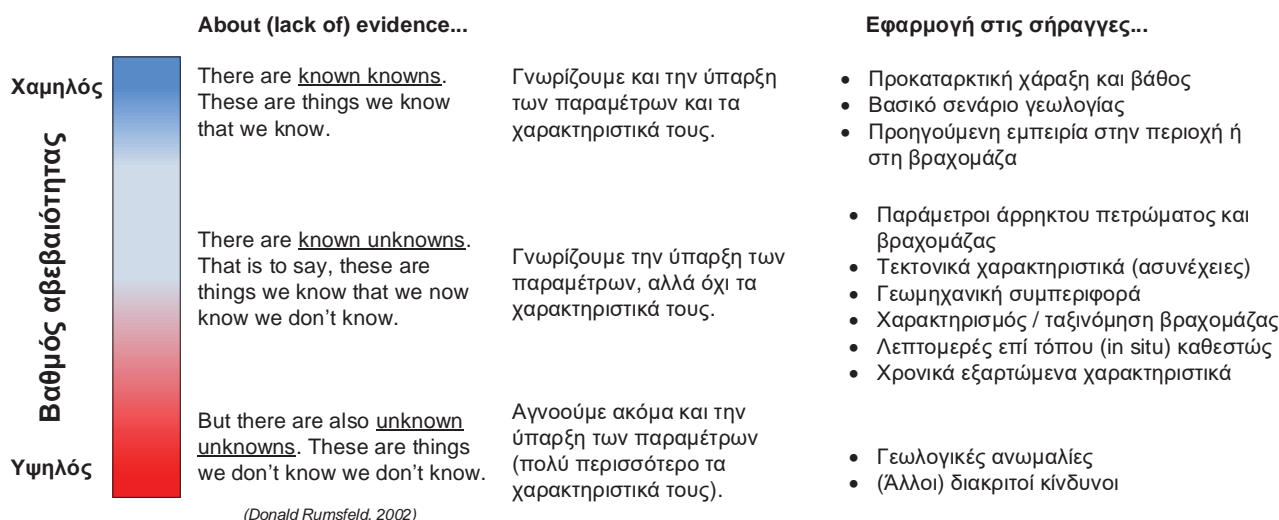
"There are known knowns" ...



Reports that say that something hasn't happened are always interesting to me, because as we know, there are known knowns; there are things we know we know. We also know there are known unknowns; that is to say we know there are some things we do not know. But there are also unknown unknowns—the ones we don't know we don't know. And if one looks throughout the history of our country and other free countries, it is the latter category that tends to be the difficult ones.

Φράση από απάντηση που έδωσε ο υπ. Άμυνας των ΗΠΑ, Donald Rumsfeld, σε ερώτηση (κατά τη διάρκεια συνέντευξης τύπου στις 12/02/2002) σχετικά με την έλλειψη αποδεικτικών στοιχείων (lack of evidence) που να συνέδεαν την κυβέρνηση του Ιράκ με την προμήθεια όπλων μαζικής καταστροφής σε τρομοκρατικές οργανώσεις. Είχε προηγηθεί η επίθεση στους Δίδυμους Πύργους στις 11/09/2001. Η εισβολή στο Ιράκ ξεκίνησε στις 19/03/2003.

Κατηγορίες αβεβαιοτήτων στον σχεδιασμό (γενικά) και αντίστοιχες συνιστώσες γεωτεχνικού σχεδιασμού σηράγγων.



Τροποποιημένο από Langford J.C. (2013). Application of Reliability Methods to the Design of Underground Structures. PhD Dissertation, Queens University, Kingston, ON, Canada.

Γεωτεχνική αβεβαιότητα

... στη «μικρή» κλίμακα (π.χ. ανά γεώτρηση) (κατά μήκος χάραξης Γραμμής 4: Φάρος Ψυχικού – Μαρούσι)

Βάθος (m)	Περιγραφές στρωμάτων
0 – 0.60	Αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ , καστανοκόκκινου χρώματος
0.60 – 1.50	Ιλυώδης / αργιλώδης ΑΜΜΟΣ , με λίγα χαλίκια, ανοιχτού καστανοπράσινου χρώματος
1.50 – 3.30	Ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) χωρίς πλαστικότητα, ανοιχτού καστανοπράσινου χρώματος (αποσαθρωμένος αργιλόλιθος)
3.30 – 9.70	ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ , καστανοπράσινου έως πρασινωπού χρώματος, κερματισμένος, οξειδωμένος, τοπικά αποσυντίθεται σε χάλικες και λατύπες. Βραχώδες υλικό .
9.70 – 21.20	Ασβεστιτικός ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ , γκριζοπράσινου χρώματος, με εδαφοποιημένες ζώνες από ιλυώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SM) χωρίς πλαστικότητα μετά το βάθος 15.50 μ (15.50-16.20, 16.60, 18.50, 19.00, 19.40 μ). Λείες επιφάνειες ασυνεχειών. Βραχώδες υλικό .
21.20 – 28.10 (τέλος γεώτρησης)	Ασβεστιτικός ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ , γκριζοπράσινου χρώματος, κατακερματισμένος, με εδαφοποιημένες ζώνες. Αποσυντίθεται σε ΑΜΜΟ κακής διαβαθμίσης με ιλύ και χαλίκια, ΧΑΛΙΚΕΣ καλής διαβάθμίσης με άργιλο και άμμο έως ιλυωδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SP-SM) (GW-GC) (SM) χωρίς πλαστικότητα έως μέσης πλαστικότητας. Μικτό υλικό (βραχώδες – εδαφικό).

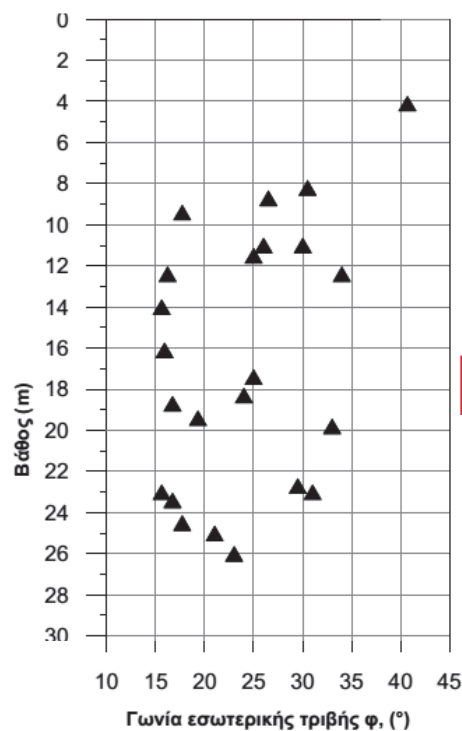
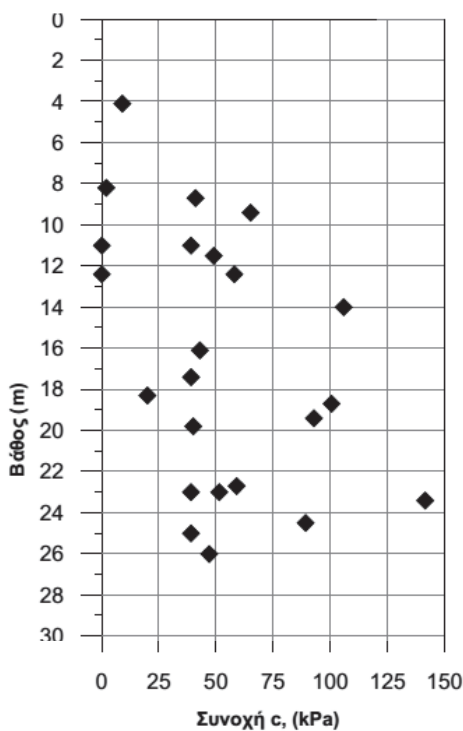


Δοκιμές βραχομηχανικής στο βραχώδες υλικό (3.30 – 21.20 m)

Βάθος (m)		Μονοαξονική θλίψη		Σημειακή φόρτιση	
από	έως	σ_c (MPa)	E (MPa)	$I_{s50/}$ (MPa)	I_{s50L} (MPa)
5.00	5.20			0.19	0.39
6.20	6.50			0.20	0.25
9.00	9.40	5.39	567.64	0.24	0.20
10.20	10.50	4.83	1065.30		
13.00	13.20	5.46	1033.88		
13.60	13.90			0.23	0.20
19.50	19.60			0.21	0.27
Μέση τιμή		5.23	888.94	0.21	0.26
Τυπ. απόκλιση		0.35	278.70	0.02	0.04
Συντ. μεταβλητότητας		7%	31%	9%	14%

αβεβαιότητα

... σε μεγαλύτερη κλίμακα (π.χ. ανά γεωτεχνική ενότητα, ως αποτέλεσμα πολλών γεωτρήσεων) (κατά μήκος χάραξης Γραμμής 4: Φάρος Ψυχικού – Μαρούσι)



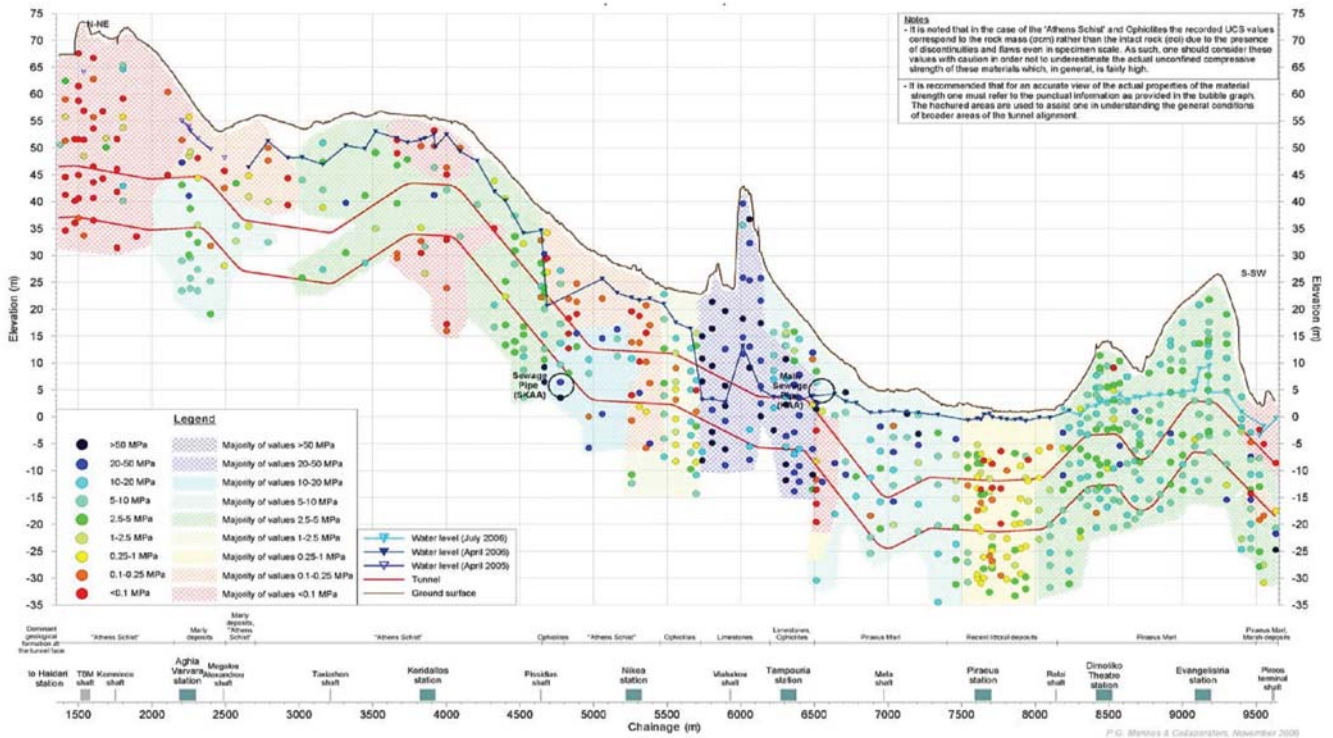
	c (kPa)	ϕ (°)
n	23	23
min	0.0	15.6
max	141.5	40.7
μ	50.9	23.9
σ	35.9	7.1
COV	70.5 %	29.7 %

αβεβαιότητα

COV: coefficient of variation (συντελεστής μεταβλητότητας)

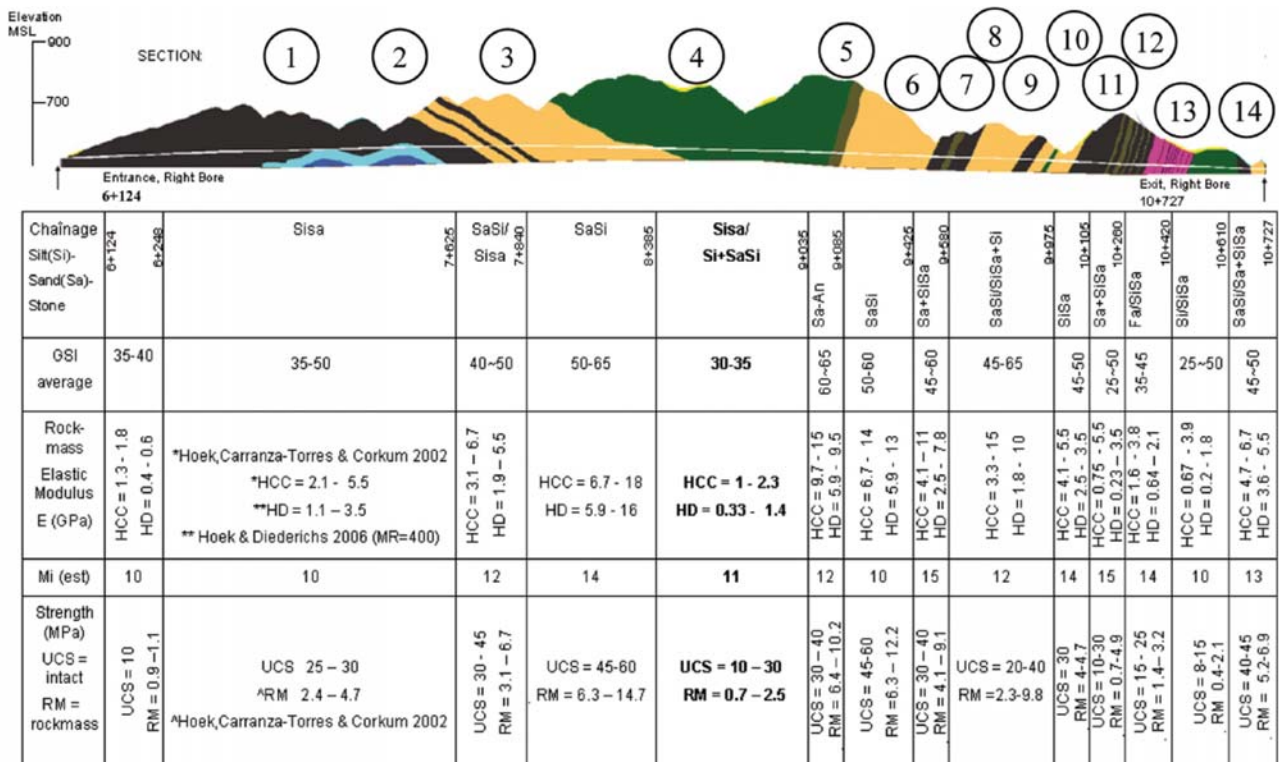
... αβεβαιότητα στη μεγάλη κλίμακα (χάραξη)

Π.χ. μεταβολή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη κατά μήκος της χάραξης των επεκτάσεων του μετρό των Αθηνών προς Πειραιά



Πηγή: Π. Μαρίνος et al. (2007) - ACUUS

Π.χ. μεταβολή λιθολογικών ενοτήτων και μηχανικών χαρακτηριστικών στη σήραγγα Δρίσκου (Εγγατία Οδός)



Πηγή: Vlachopoulos et al. (2012)

Πηγές γεωτεχνικής αβεβαιότητας και διακινδύνευσης:

- Εγγενής πολυπλοκότητα, ετερογένεια και χωρική μεταβλητότητα του γεωλογικού μέσου (εδαφικού, βραχώδους ή μικτού) και περιβάλλοντος
- Αβεβαιότητα στις δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές)
- Αβεβαιότητα στις εκτιμήσεις (του μηχανικού, του γεωλόγου)
- Τα κάθε λογής προσομοιώματα (τεχνικογεωλογικά – γεωτεχνικά, φυσικά – εργαστηριακά, αναλυτικά ή αριθμητικά, κ.λπ.) είναι αδρομερείς αναπαραστάσεις του φυσικού περιβάλλοντος.

Βασικός σκοπός της γεωτεχνικής διερεύνησης είναι η **κατανόηση της συμπεριφοράς του γεω-υλικού**, ώστε:

- Ο μελετητής να εκτιμήσει σωστά τα φορτία και την απόκριση του γεωυλικού και να προτείνει ασφαλή και οικονομικό σχεδιασμό.
- Ο κατασκευαστής να εκτιμήσει τη βέλτιστη μέθοδο κατασκευής, τον απαιτούμενο απαραίτητο εξοπλισμό, και φυσικά το κόστος και τον χρονικό προγραμματισμό του έργου.
- Ο κύριος του έργου να εκτιμήσει τον αρχικό προϋπολογισμό, τα εκτιμώμενα κόστη, και τον χρονικό προγραμματισμό.

Στις σήραγγες δεν είναι αρκετό να περιγράφεται απλώς η στρωματογραφία και η στάθμη του υπόγειου υδάτινου ορίζοντα!

Η **αποτελεσματικότητα** της γεωτεχνικής διερεύνησης εξαρτάται από:

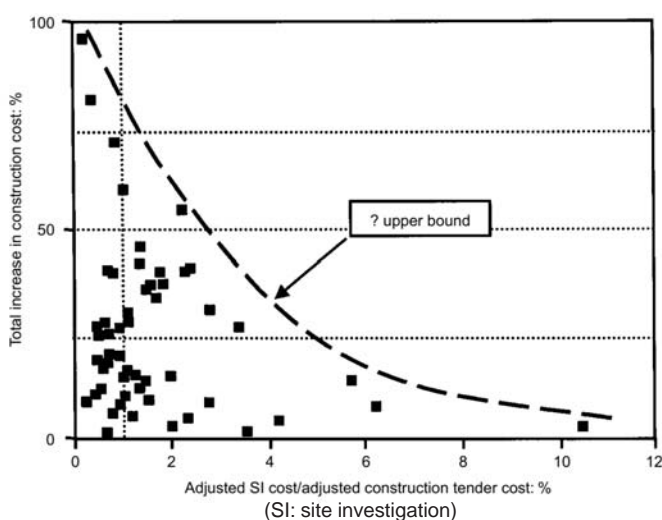
- την **κλίμακα (εύρος) της διερεύνησης**,
- την **ποιότητα της διερεύνησης**, και
- τη **σωστή εκτίμηση** των αποτελεσμάτων της διερεύνησης

Συνήθως, η γεωτεχνική αβεβαιότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη των παραπάνω παραμέτρων!

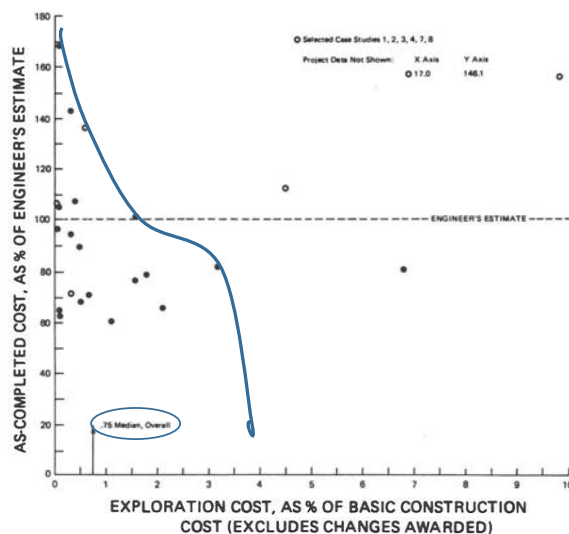
Υπάρχει διεθνώς αποδεκτή συσχέτιση μεταξύ κλίμακας (εύρους) διερεύνησης και διακινδύνευσης (ρίσκου); **ΌΧΙ!**

- Διαφορετικά γεωλογικά υπόβαθρα → διαφορετική αβεβαιότητα και μεταβλητότητα εδαφικών / βραχωδών σχηματισμών
- Η διακινδύνευση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από την κατασκευαστική μέθοδο (π.χ. διάνοιξη με συμβατικά μέσα vs. εκμηχανισμένης διάνοιξης).

Αλληλεπίδραση κόστους γεωτεχνικής διερεύνησης με κατασκευαστικό κόστος



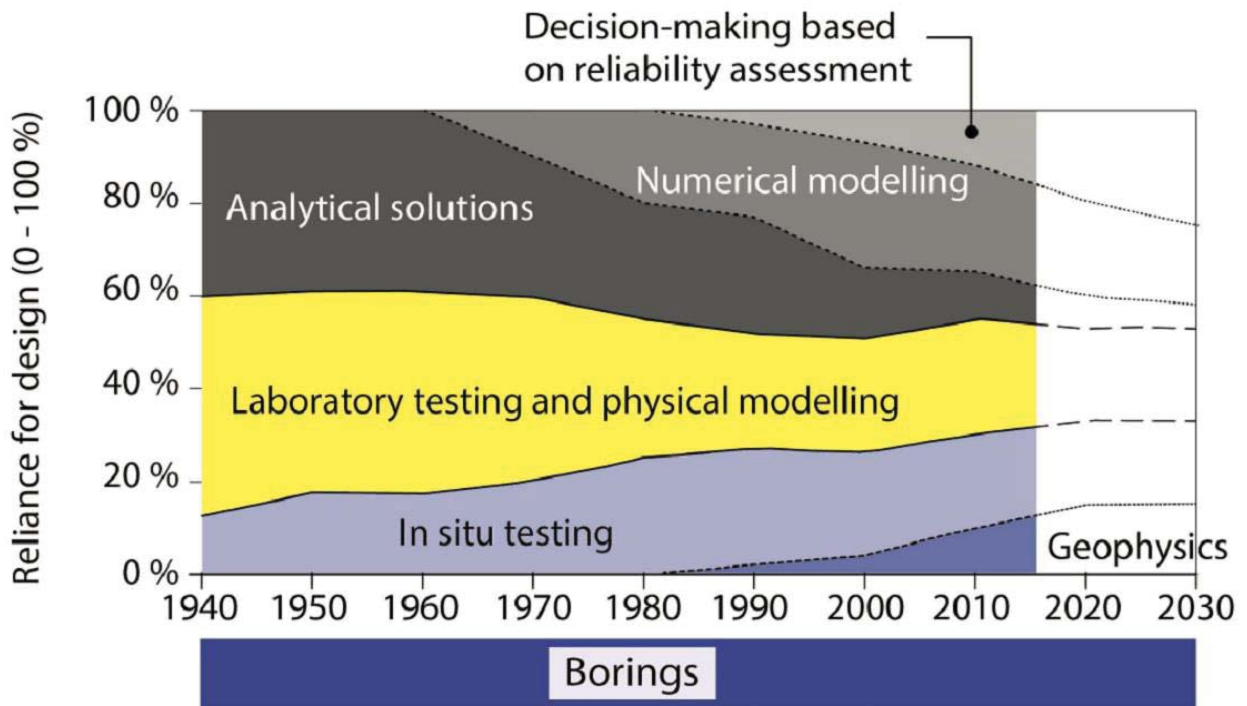
(Clayton 2001)



(US National Committee on Tunneling Technology, 1984)

**Τη γεωτεχνική έρευνα θα την πληρώσεις,
είτε την κάνεις είτε δεν την κάνεις...**

Εξέλιξη γεωτεχνικής πρακτικής...



Πηγή: Lacasse S. (2015). Hazard, risk and reliability in geotechnical practice, 55th Rankine Lecture.