



# «Σχεδιασμός Υπογείων Έργων»

- 5<sup>ο</sup> Μάθημα
- Μέτρα Άμεσης Υποστήριξης

**Διδάσκων: Β. Μαρίνος, Επ. Καθηγητής**

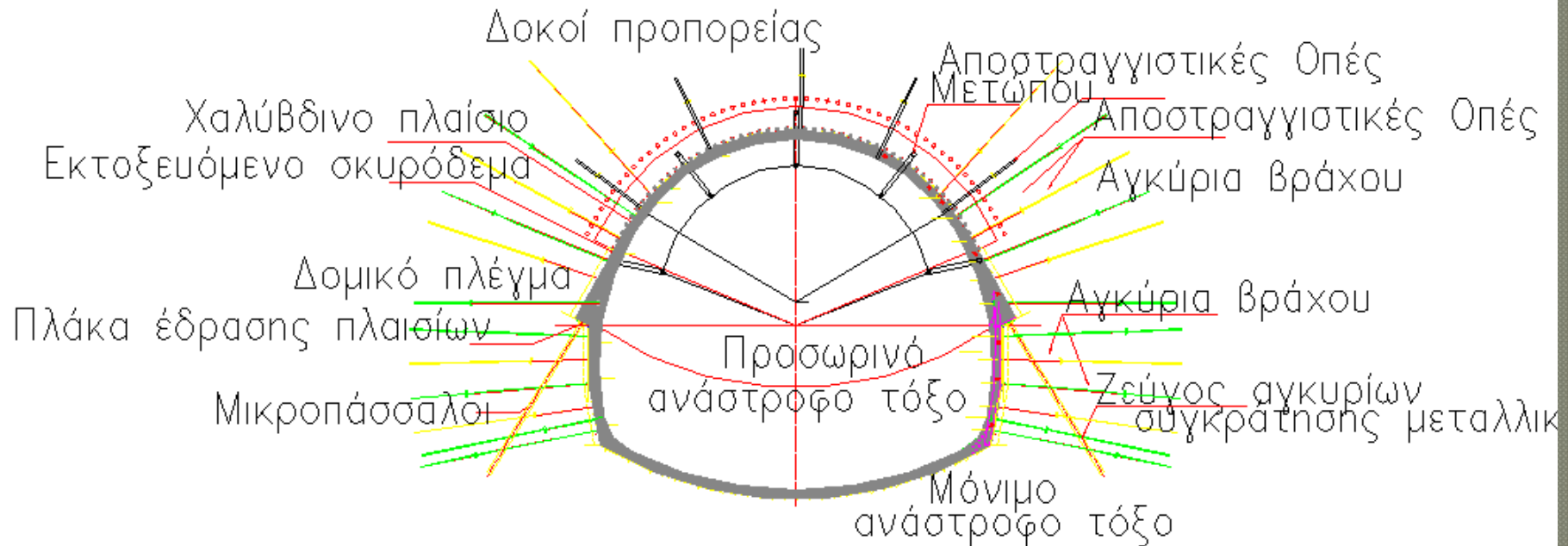
- Γεωτεχνικός Τομέας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

[marinosv@civil.ntua.gr](mailto:marinosv@civil.ntua.gr)

# Μέτρα προσωρινής υποστήριξης σήραγγας

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Μεταλλικό πλέγμα και μεταλλικές ίνες οπλισμού.
- Αγκύρια βράχου
- Μεταλλικά πλαίσια
- Μέτρα βελτίωσης των συνθηκών έδρασης του κελύφους
- Ελαφρά βλήτρα προπορείας (Spiles)
- Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)
- Αγκύρια μετώπου – κυρίως Υαλόκαρφα (fiberglass)
- Προσωρινό ανάστροφο τόξο
- Μόνιμο ανάστροφο τόξο
- Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη
- Βελτίωση γεωυλικού με χρήση ενέματος (Grouting - Jet Grouting)
- Αποστραγγιστικές και ανακουφιστικές οπές

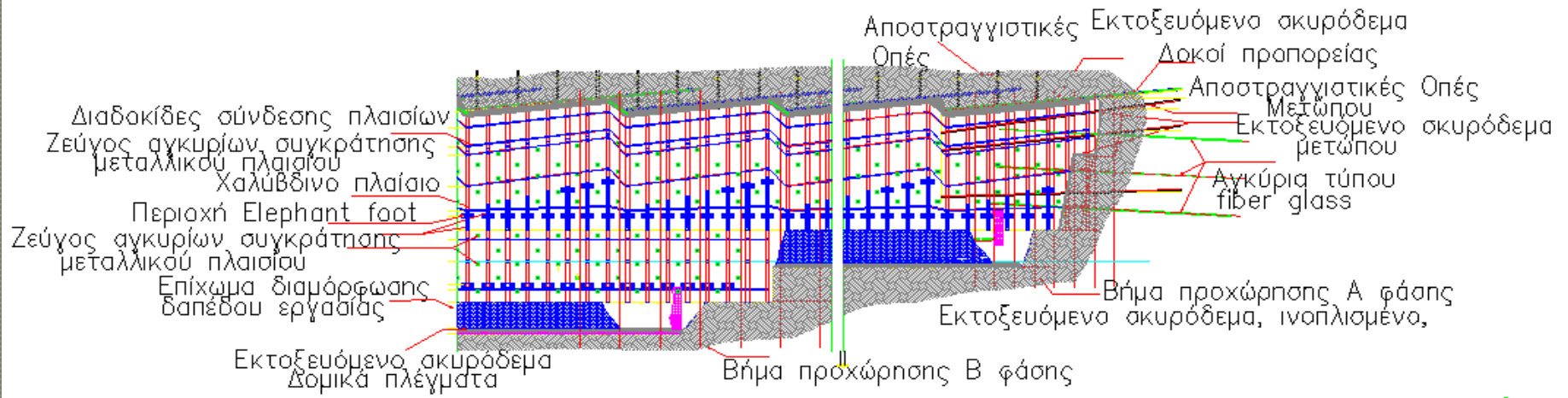
# Μέτρα προσωρινής υποστήριξης σήραγγας



Χαρακτηριστική διατομή μέτρων προσωρινής υποστήριξης για ασθενή βραχώμαζα με κατασκευή σε 2 οριζόντιες ημιδιατομές. Η ανάγκη, τα μεγέθη, οι ποσότητες και ο συνδυασμός των διαφόρων στοιχείων προκύπτει από αριθμητική ανάλυση και από βελτιστοποιήσεις με ενόργανη, αξιόπιστη, παρακολουθήση. Το βήμα προχώρησης εδώ δύσκολα ξεπερνά το 1m την ημέρα.



# Μέτρα προσωρινής υποστήριξης σήραγγας



**Διαμήκης τομή σήραγγας υπό διάνοιξη υποστήριξης για ασθενή βραχώμαζα με κατασκευή σε 2 οριζόντιες ημιδιατομές**



# Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα



# Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

- i. Αρχική του συνεισφορά είναι η προστασία των εργαζομένων Αρχικά, ένα λεπτό στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος καλύπτει την επιφάνεια της εκσκαφής με σκοπό να αποτρέψει την πτώση μικρών επισφαλών τεμαχίων βράχου που προέκυψαν από διατάραξη λόγω της εκσκαφής.
- ii. Βοηθάει στη διατήρηση του φαινομένου του θόλου αφού ο δακτύλιος θα είναι σταθερός.
- iii. Σε καλής ποιότητας ρωγματομένες βραχώμαζες ο ρόλος του συνίσταται στην παρεμπόδιση της πτώσης ή ολίσθησης τεμαχίων βράχου λόγω της ύπαρξης ασυνεχειών, μέσω της διατμητικής του αντοχής.
- iv. Σε ισχυρά κερματισμένες έως αποδομημένες βραχώμαζες, τοποθετείται κατά το δυνατόν νωρίτερα ώστε να συγκρατήσει τα ασθενώς συνδεδεμένα ή ασύνδετα τεμάχια βράχου και να βοηθήσει στον περιορισμό αστοχιών τύπου καμινάδας ή καταρροής υλικού.



# Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

- v. Κατά την κατασκευή σηράγγων σε βραχώμαζες με αντοχές πολύ χαμηλότερες των επιτόπου τάσεων όπου και αναμένονται σημαντικές παραμορφώσεις, σκοπός του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι η δημιουργία ενός δακτυλίου, συχνά κλειστού, ικανού πάχους για τον περιορισμό των παραμορφώσεων (συγκλίσεων) αυτών σε αποδεκτά επίπεδα που κάθε φορά καθορίζουν οι επιτόπου συνθήκες.
- vi. Με αντίστοιχους σκοπούς γίνεται εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος και στο μέτωπο, προκειμένου να σταθεροποιηθούν ασταθείς όγκοι πετρώματος που δημιουργούνται σε αυτό είτε λόγω μεμονωμένων ασυνεχειών είτε λόγω υψηλού βαθμού κερματισμού της βραχώμαζας. Εντούτοις η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο δεν συνεισφέρει ιδιαίτερα στη μείωση των παραμορφώσεων σε αυτό (εξώθηση μετώπου).



# Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

- Προκύπτει από τη μίξη τσιμέντου, νερού και λεπτόκοκκων αδρανών (έως 10mm), τα οποία εφαρμόζονται με εκτόξευση με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα.
- Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα παρασκευάζεται είτε ως ξηρό μείγμα με προσθήκη νερού στο στόμιο εκτόξευσης είτε ως υγρό μείγμα, όπου η ανάμειξη με το νερό γίνεται στον αναδευτήρα.
- Η παιπάλη πυριτίου είναι μία λεπτόκοκκη ποζουλάνη, η οποία αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου και συντελεί στην αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος και τη μείωση της διαπερατότητάς του.
- Με την προσθήκη της ποζουλάνης επιτυγχάνεται η μείωση της αναπήδησης (rebound) κατά την εκτόξευση, βελτίωση της πρόσφυσης στη βραχώμαζα και δυνατότητα αύξησης του πάχους της στρώσης του νωπού σκυροδέματος έως και 200mm.

# Οπλισμένο: με μεταλλικό πλέγμα και μεταλλικές ίνες οπλισμού

- Τοποθετούνται σε συνδυασμό με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για να του προσδώσουν εφελκυστική αντοχή και επομένως την ικανότητα ανάληψης καμπτικής ροπής.
- Με την τοποθέτηση πλέγματος και την κάλυψή του με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, λόγω της ελαστικότητας του πρώτου, παρατηρούνται φαινόμενα αναπήδησης του σκυροδέματος και δημιουργία κενών πίσω από το πλέγμα, με αποτέλεσμα την τοπική μείωση της φέρουσας ικανότητας του φορέα της προσωρινής υποστήριξης.
- Το πρόβλημα αυτό δεν υφίσταται κατά την προσθήκη ινών στο σκυρόδεμα πριν την εκτόξευσή του. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα προσφέρει επίσης μια θεωρητικά καλύτερη κατανομή της εφελκυστικής αντοχής στο σκυρόδεμα, υπό την προϋπόθεση όμως ότι έχει προηγηθεί σωστή ανάμιξη των ινών.

# Οπλισμός: με μεταλλικό πλέγμα και μεταλλικές ίνες οπλισμού

- Γενικά, η τοποθέτηση πλέγματος προσφέρει καλύτερη εποπτεία στην τοποθέτηση, ώστε να διασφαλίζεται η σωστή ποσότητα οπλισμού ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος, κάτι που δεν είναι εύκολο να ελεγχθεί στο ινοπλισμένο σκυρόδεμα μετά την τοποθέτηση των ινών.
- Η χρήση μεταλλικού πλέγματος πλεονεκτεί στο δάπεδο της σήραγγας (λόγω κόστους) και όπου αναμένεται πιθανή ρηγματώση του εκτοξ. σκυροδέματος (καλύτερος έλεγχος κατάρρευσης)



# Αγκύρια βράχου

Μαζί με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελούν τα βασικότερα μέτρα προσωρινής υποστήριξης σηράγγων, παρόντα στις περισσότερες των περιπτώσεων.

## Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες

- Προεντεταμένα αγκύρια (tensioned cables): Αποτελούνται από χαλύβδινους τένοντες (και βασίζονται στην ενεργητική φόρτιση της βραχόμαζας λόγω της προέντασης)
- Παθητικά αγκύρια (rock bolts): Η λειτουργία τους βασίζεται στη φόρτιση λόγω της παραμόρφωσης της βραχόμαζας

Τα παθητικά αγκύρια διακρίνονται σε:

- αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης (fully bonded)
  - Πρόσφυση με τσιμεντένεμα
  - Πρόσφυση με ρητινένεμα
  - Άμεσης πρόσφυσης ( Split set, κλπ)
- Αγκύρια πρόσφυσης άκρου (end anchored) (συνήθως είναι διαστελλόμενης κεφαλής)

# Αγκύρια βράχου (συνέχεια)

Στα αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης ανήκουν οι εξής τύποι:

## (α) Οι ηλώσεις βράχου (grouted nails)

Αποτελούνται από χαλύβδινη ράβδο ( $\Phi$  20 25 mm) η οποία τοποθετείται εντός οπής (διαμέτρου 38 50 mm) που πληρούται με ένεμα (τσιμεντένεμα ή ένεμα συνθετικής ρητίνης). Οι ηλώσεις αυτές είναι συνήθως προσωρινές, μπορούν όμως να λειτουργήσουν και ως μόνιμες με κατάλληλη προστασία από τη διάβρωση

## (β) Οι ηλώσεις χωρίς ενεμάτωση τύπου Swellex (Atlas Copco) ή τύπου Split Set (Ingersoll Rand)

Αποτελούνται από κοίλη μεταλλική διατομή και αποκτούν συνεχή πρόσφυση με τη βραχώμαζα με εισπίεση νερού στο εσωτερικό της διατομής που προκαλεί τη διόγκωσή της. Έχουν μικρή διάρκεια ζωής (λόγω έλλειψης προστασίας από τη διάβρωση και λόγω της λεπτότοιχης διατομής). Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι αναλαμβάνουν φορτία πολύ γρήγορα επειδή δεν απαιτούν την πήξη του ενέματος για την επίτευξη πρόσφυσης



# Αγκύρια βράχου

- Χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση (αγκύρωση) επισφαλών όγκων που σχηματίζονται λόγω των σχετικά αραιών ασυνεχειών.
- Η εμμονή και η απόσταση των ασυνεχειών θα καθορίσουν το μήκος και τον κάρναβο τοποθέτησής τους, ενώ τα διατμητικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών και ο προσανατολισμός τους την απαιτούμενη αντοχή των αγκυρίων.
- Σε περιπτώσεις βραχομαζών όπου πιθανές αστοχίες θα συμβούν ξαφνικά και χωρίς προειδοποίηση, η ανάληψη φορτίων από τα αγκύρια θα πρέπει να είναι άμεση. Δεν προτιμώνται τα αγκύρια πλήρους πάκτωσης που μεταφέρουν τάσεις στο έδαφος μέσω ενέματος αφού αυτό καθυστερεί να αναλάβει αντοχές. Καταλληλότερα κρίνονται τα διαστελλόμενα αγκύρια άμεσης ενέργειας, τα οποία μπορούν αμέσως να παραλάβουν σημαντικά φορτία.



# Αγκύρια βράχου



Κεφάλες αγκυρίων σε πεσσοειδή  
διάταξη



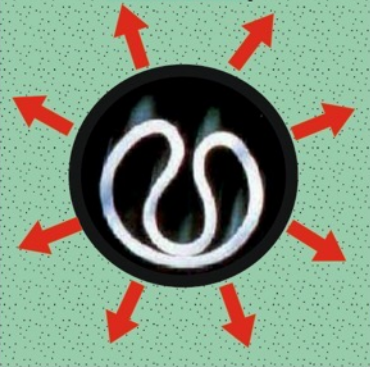
# Αγκύρια βράχου



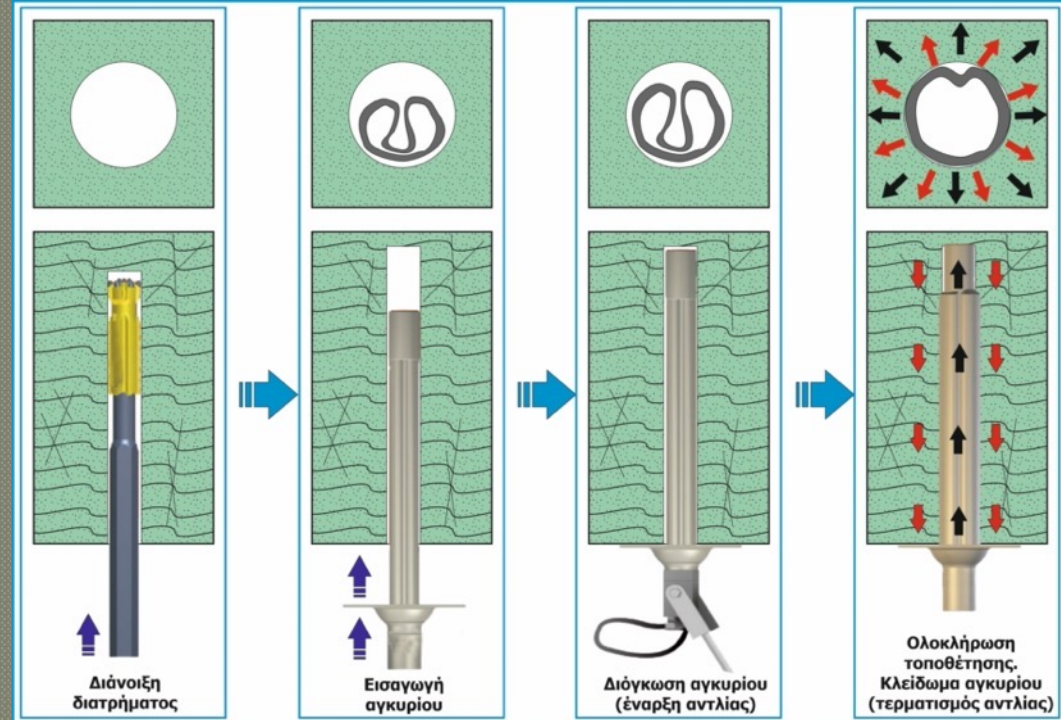
Αγκύρια τύπου Swellex  
(100 kN) (Atlas Copco)

## Αγκύριο τύπου Swellex (Atlas Copco)

Αγκύριο εντός διατρήματος  
σε διαστολή

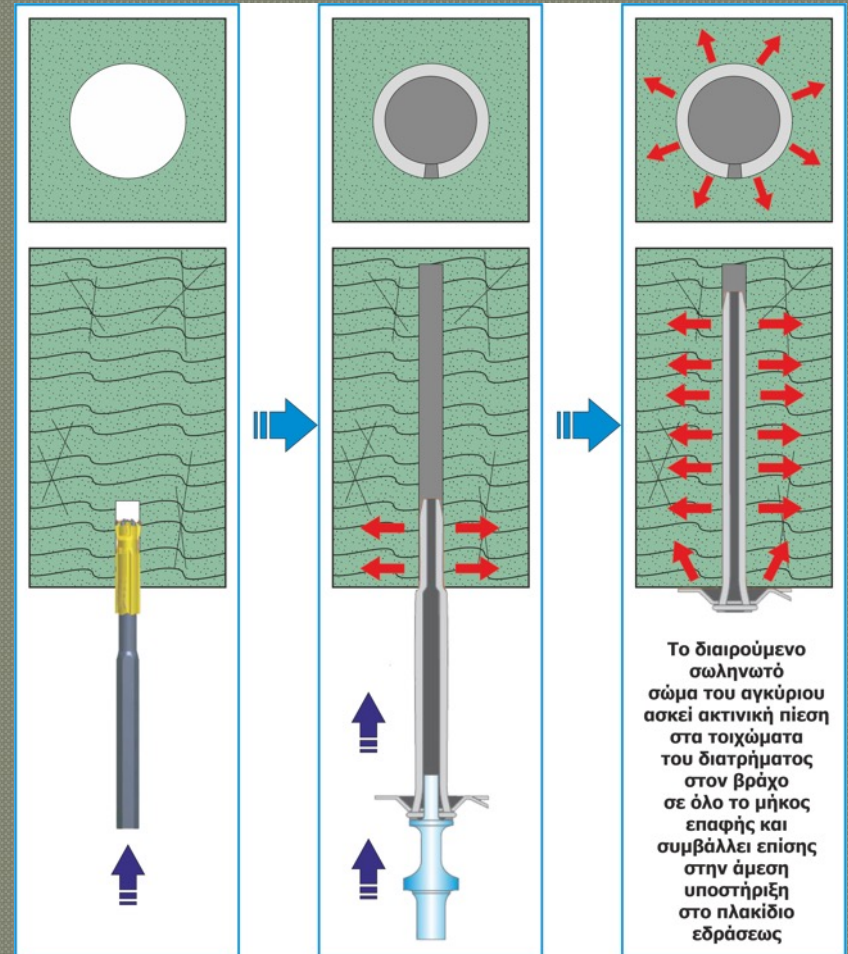


Αγκύριο εντός διατρήματος  
σε συστολή



# Αγκύρια βράχου

Αγκύρια τύπου Split Set  
(100 kN) (Ingersoll-Rand)





# Αγκύρια βράχου

- Καθώς ο κερματισμός γίνεται εντονότερος, σκοπός των αγκυρίων δεν είναι πλέον μόνο η συγκράτηση τεμαχών μέσου πλέον μεγέθους, αλλά και η, σε συνεργασία με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, παρεμπόδιση της εκτεταμένης κατάπτωσης τεμαχών βράχου. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με δύο τρόπους:
  - Με την αγκύρωση σε σταθερότερες θέσεις μακριά από την εκσκαφή (περιπτώσεις κερματισμένων ζωνών περιορισμένου σχετικά εύρους),
  - Με την ενίσχυση του αλληλοκλειδώματος μεταξύ των τεμαχών βράχου ανάμεσα στην κεφαλή και το άκρο του αγκυρίου μέσω της ορθής δύναμης που αυτό ασκεί.

# Αγκύρια βράχου

- Κατά την τοποθέτηση αγκυριών σε κατακερματισμένους ή εύθρυπτους σχηματισμούς, λόγω του κινδύνου κλεισίματος του διατρήματος από μικρά τεμάχια ή θραύσματα βράχου, προτιμώνται αυτοδιατρηούμενα αγκύρια πλήρους πάκτωσης.



**Κεφαλές αυτοδιατρηούμενων αγκυριών**



# Αγκύρια βράχου

• Στις περιπτώσεις που η κυριότερη εφαρμογή τους είναι ο περιορισμός των συγκλίσεων:

• Τοποθέτηση αγκυρίων ικανού μήκους ώστε να αγκυρώνονται πέραν της ζώνης πλαστικοποίησης της βραχόμαζας, ώστε να μπορούν να συνεισφέρουν στον περιορισμό των συγκλίσεων.

• Σχετικά σύντομη εφαρμογή τους πίσω από το μέτωπο

• Σε περίπτωση που τοποθετηθεί **πλήθος αγκυρίων μέσα στη πλαστική ζώνη**: ένα αγκύριο μέσα σε μια ζώνη διατμητικών αστοχιών, μπορεί να βελτιώσει τις ιδιότητες μέσω της παρουσίας του ενέματος που εισχωρεί και δεύτερον μέσω της ορθής τάσης που επιβάλλει στη βραχόμαζα που βρίσκεται ανάμεσα στην κορυφή και το άκρο του και έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διατμητικής της αντοχής.



# Αγκύρια βράχου



«Δάσος» αγκυρίων για την ενίσχυση της πίεσης υποστήριξης του κελύφους

# Αγκύρια βράχου

- Περιπτώσεις όπου η αποτελεσματικότητα των αγκυρίων ενδεχομένως να κριθεί αμφίβολη.

- Βραχόμαζα κατακερματισμένη έως αποδιοργανωμένη, αποτελούμενη από ψαθυρά υλικά μεγάλης αντοχής. Η αστοχία θα έχει τη μορφή εκτεταμένης και ενδεχομένως άμεσης καταρροής υλικού στο θόλο και το μέτωπο της εκσκαφής που δεν είναι εύκολο να αντιμετωπιστεί με τη σημειακή ενίσχυση που προσφέρουν τα αγκύρια, τα οποία απαιτούν και χρόνο για την τοποθέτησή τους.

- Αμφίβολη κρίνεται επίσης η συμμετοχή των αγκυρίων στην αντιμετώπιση προβλημάτων που προκαλούνται κατά την προχώρηση σε άστρωτους σχηματισμούς μεγάλης αντοχής, που δεν παρουσιάζουν κάποια κανονικότητα στην κατανομή, το εύρος και τον προσανατολισμό των ασυνεχειών τους.



# ΜΕΤΡΑ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ- Χαλύβδινες νευρώσεις



23.09.2009



# Χαλύβδινες νευρώσεις - Μεταλλικά πλαίσια

Λειτουργούν κυρίως ως οπλισμός του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την αύξηση της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητάς του αλλά και για τη βελτίωση της δυνατότητας ανάληψης φορτίων

Είναι των εξής τύπων

- Τυποποιημένες διατομές, συνήθως πλατύπελμες HEB 100-160
- Δικτυωτά πλαίσια (lattice girders). Αποτελούνται από ράβδους οπλισμού και συνδετήρες με τη μορφή χωροδικτυώματος
- Συστοιχίες χαλύβδινων ράβδων οπλισμού (π.χ. 4 6 ράβδοι  $\Phi 28$  σε παράλληλη διάταξη, συνδεδεμένες με εγκάρσιους συνδετήρες)

## Μεταλλικά πλαίσια (συνέχεια)

- Παλαιότερα, με βάση τις γνώσεις της εποχής, είχαν ένα εντελώς παθητικό ρόλο. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο για την προστασία από κατάπτωση υλικών, χωρίς να συμμετέχουν στο μηχανισμό ανάληψης των φορτίων.
- Με βάση τα σημερινά δεδομένα τα μεταλλικά πλαίσια αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού των μέτρων προσωρινής υποστήριξης μίας σήραγγας, εντεταγμένα σε λογική κελύφους.
- Τοποθετούνται με στόχο την ενίσχυση του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, **ενσωματωμένα σε αυτό.**



# Μεταλλικά πλαίσια

• Σε καταστάσεις όπου αναμένονται σημαντικές παραμορφώσεις

- i. τοποθετούνται όσο το δυνατόν γρηγορότερα
- ii. πλησιέστερα στο μέτωπο της εκσκαφής
- iii. εγκιβωτίζονται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- iv. προσφέρει το πλεονέκτημα της δυνατότητας άμεσης παραλαβής φορτίων μετά την τοποθέτηση και θεμελίωσή του, σε αντίθεση με το σκυρόδεμα που απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα προκειμένου να αναπτύξει τις αντοχές του
- v. η σημαντικότερη συνεισφορά των πλαισίων δεν είναι ο περιορισμός των παραμορφώσεων μακροπρόθεσμα, αλλά η προσφορά άμεσης πίεσης στο κέλυφος. Επίσης, απαντώνται για τη στήριξη διατάξεων προπορείας, αν χρησιμοποιούνται τέτοιες.



ΔΙΚΤΥΩΤΑ ΠΛΑΪΣΙΑ-lattice girders

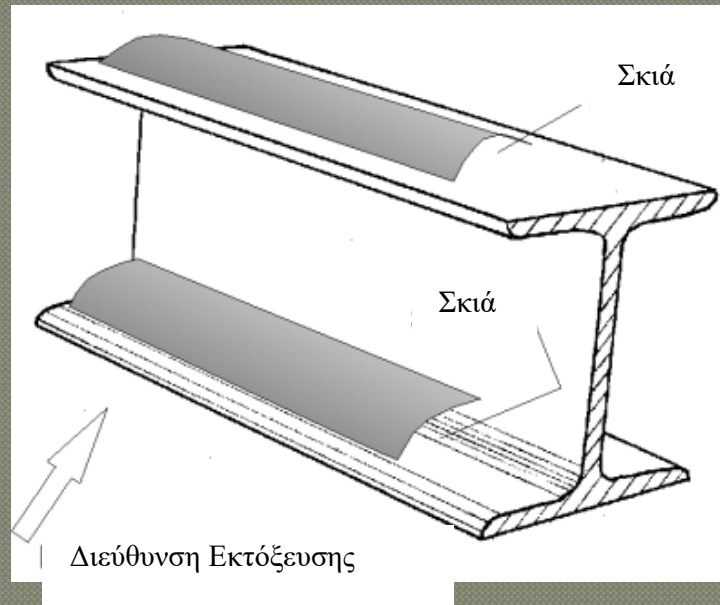


# Μεταλλικά πλαίσια τύπου ΗΕΒ



# Μεταλλικά πλαίσια

- Κρίσιμοι παράγοντες για την αποτελεσματικότητα της χρήσης μεταλλικών πλαισίων είναι η κατά το δυνατόν καλύτερη συνάφεια των πλαισίων τόσο με την περιβάλλουσα βραχόμαζα όσο και με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αλλά και η προσεκτική έδραση του κελύφους και η ομαλή μεταφορά των τάσεων που αυτό παραλαμβάνει, στο έδαφος της βάσης της σήραγγας.



Θέσεις στις οποίες είναι δύσκολο να φτάσει το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, λόγω του σχήματος και των πελμάτων του πλαισίου



# Μεταλλικά πλαίσια - Ελεφαντοπόδαρο

- Θέμα της έδρασης του κελύφους της υποστήριξης, επιτυγχάνεται:
  - με διεύρυνση της διατομής του πλαισίου με χρήση μεταλλικής διατομής γνωστής και ως ελεφαντοπόδαρο (elephant foot).



Πλαίσιο με ελεφαντοπόδαρο (ευρεία διατομή στη βάση)



# Μεταλλικά πλαίσια

- Τα πλαίσια συνδέονται με διαμήκεις δοκούς. Η στήριξη των πλαισίων γίνεται με την τοποθέτηση ζεύγους παθητικών αγκυρίων στη βάση τους («γραβάτα»).



Ζεύγος παθητικών αγκυρίων στη βάση των πλαισίων τους («γραβάτα»)



# Μέτρα βελτίωσης των συνθηκών έδρασης του κελύφους

- Στις περιπτώσεις που η φέρουσα ικανότητα του γεωυλικού στην περιοχή έδρασης δεν είναι επαρκής για την ασφαλή έδραση του ελεφαντοπόδαρου,
- Χρήση ενέματος και την εισπίεσή του στην εν λόγω περιοχή. Δημιουργείται μια δοκός ενισχυμένου υλικού στις θέσεις έδρασης κατά μήκος του άξονα της σήραγγας
- Κατασκευή μικροπασσάλων στις θέσεις θεμελίωσης του κελύφους. Τα στοιχεία αυτά σχεδιάζονται έτσι ώστε να λειτουργούν σε θλίψη και διατάσσονται κατά το δυνατόν στη διεύθυνση της θλίψης του τόξου του θόλου της σήραγγας.
- Φυσικά, και ανεξάρτητα της βελτίωσης ή μη της περιοχής θεμελίωσης, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται κατά την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής της σήραγγας, προκειμένου να αποφευχθεί η διατάραξη και η υποσκαφή της περιοχής αυτής.

# Μέτρα βελτίωσης των συνθηκών έδρασης του κελύφους



Διεύρυνση δικτυωτού πλαισίου  
στη θέση θεμελίωσης του  
κελύφους

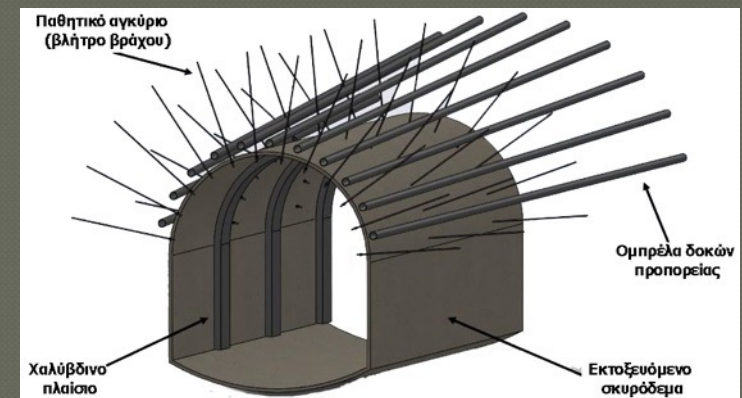
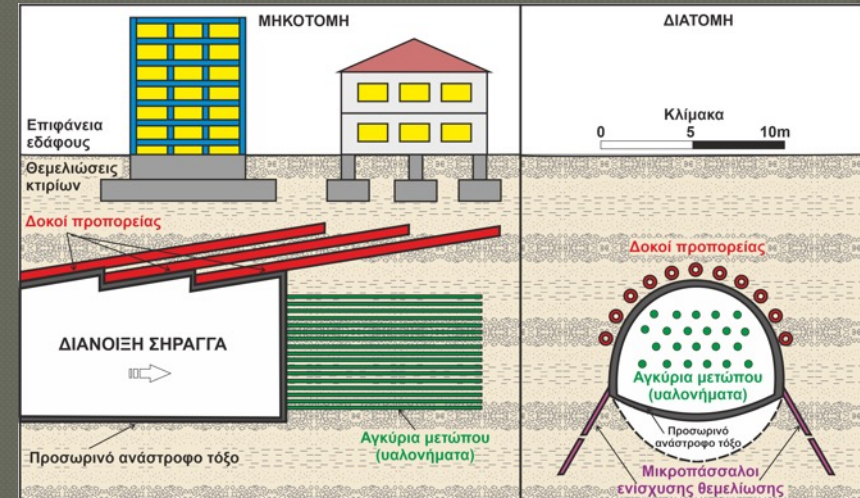


# Εφαρμογή της μεθόδου NATM

## Μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας του μετώπου

Σε γεωυλικά με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά:

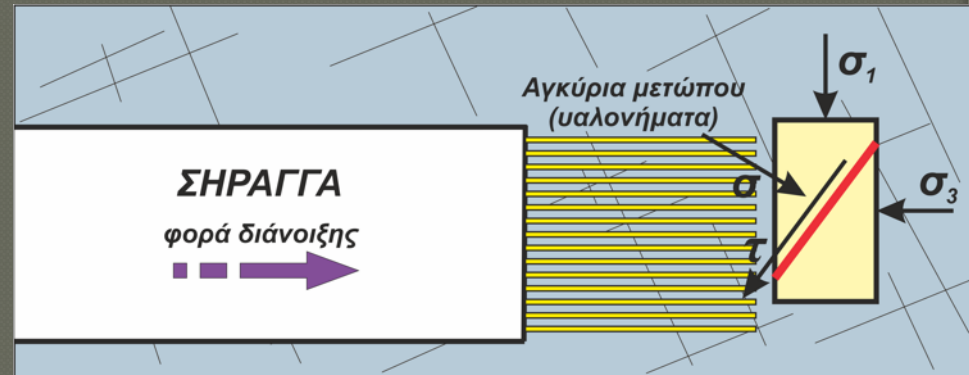
- Αύξηση του αριθμού των φάσεων εκσκαφής (μείωση των διαστάσεων του μετώπου)
- Διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο (εδαφικός τάκος)
- Ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια (συνήθως fiberglass)
- Ενίσχυση της οροφής με ράβδους ή δοκούς προπορείας (forepoling)
- Κατασκευή τσιμεντενέσεων στο μέτωπο (σε διαπερατούς σχηματισμούς)
- Προσωρινή κάλυψη του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (σε περιπτώσεις διακοπής των εργασιών διάνοιξης)



# Προ-ενίσχυση του μετώπου εκσκαφής

Η ευστάθεια του μετώπου εκσκαφής μπορεί να βελτιωθεί με τους εξής τρόπους:

1. Διατήρηση υψηλής τιμής της  $\sigma_3$ 
  - Εκσκαφή με μηχάνημα TBM (που ασκεί πίεση στο μέτωπο)
  - Ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια (π.χ. Fiberglass)
2. Μείωση της τιμής της  $\sigma_1$ 
  - Τοποθέτηση (άκαμπτων) δοκών προπορείας στη στέψη
  - Τοποθέτηση κατακόρυφων αγκυρίων από την επιφάνεια



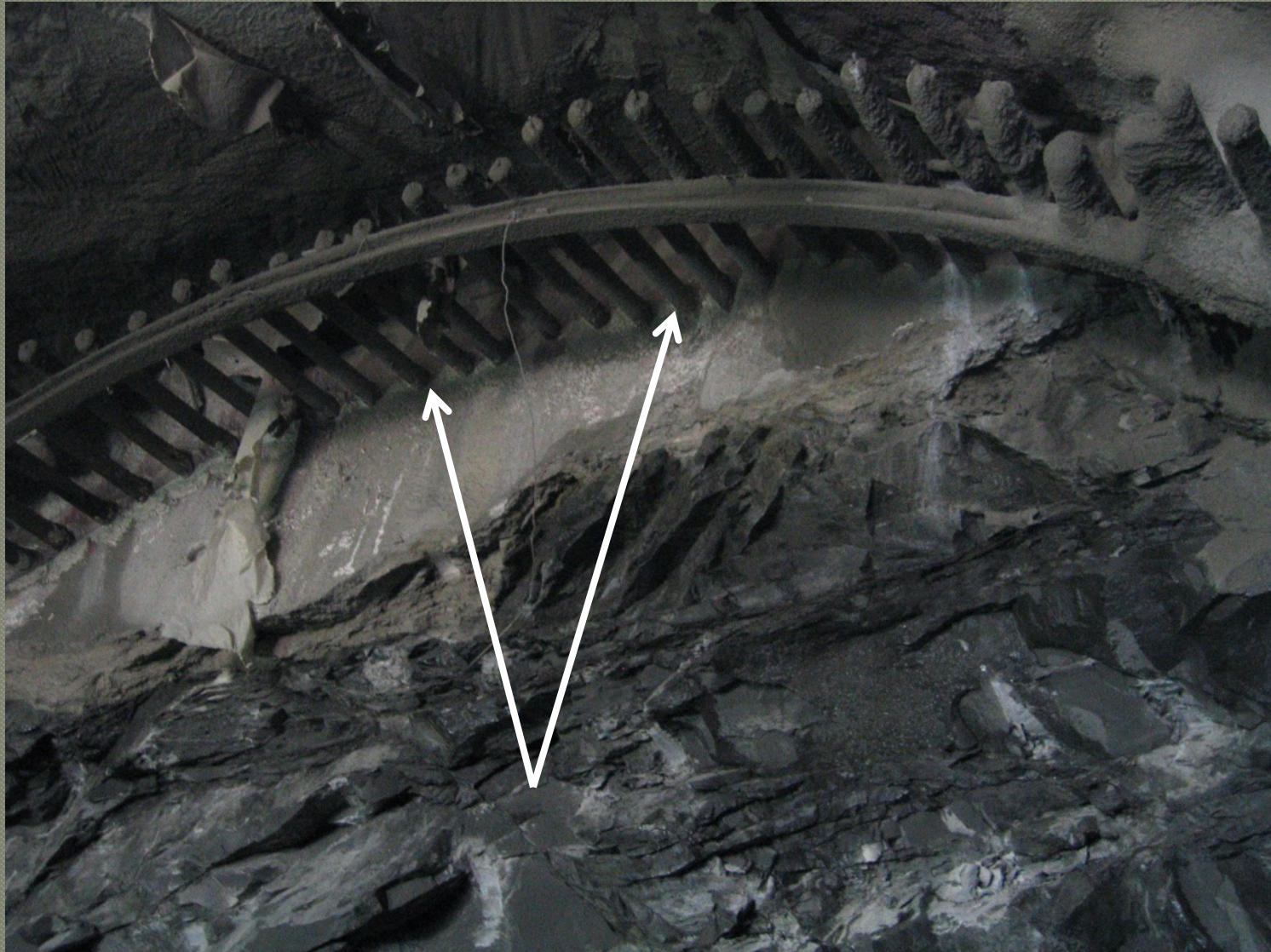


# Ελαφρά βλήτρα προπορείας (Spiles)

- Πρόκειται για απλές ράβδους οπλισμού ή κοίλες δοκούς μικρής διαμέτρου,
  - μήκους (3-6m) (διαμέτρου Φ51 έως Φ76)
  - τοποθετούνται υπό μικρή σχετικά γωνία ( $<20^\circ$ ) στο θόλο της σήραγγας
  - τόξο εφαρμογής εύρους περίπου  $120^\circ$ .
  - η στήριξή τους επιτυγχάνεται στην περιοχή της κεφαλής τους μέσω πάκτωσης (με τη βοήθεια τσιμεντενέματος) στη βραχώμαζα μπροστά από το μέτωπο, ενώ στο άκρο τους μέσω έδρασής τους στο κέλυφος της προσωρινής υποστήριξης. Επομένως στις διατομές όπου προβλέπεται η εφαρμογή τους, αναγκαία κρίνεται η τοποθέτηση ελαφρών μεταλλικών πλαισίων.

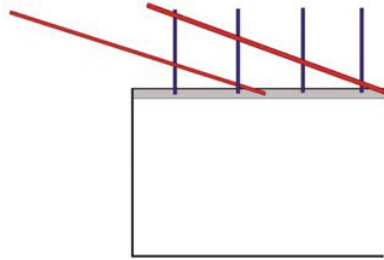


# Ελαφρά βλήτρα προπορείας (Spiles)

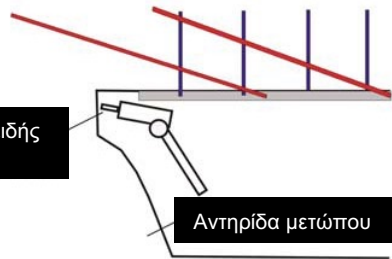




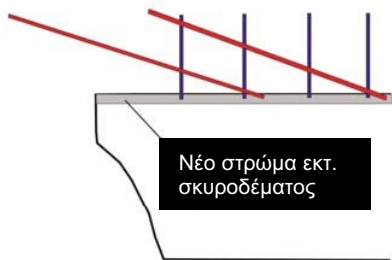
# Ελαφρά βλήτρα προπορείας (Spiles)



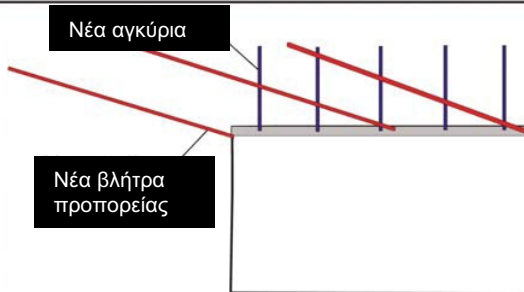
Σταθεροποιημένη σήραγγα από την προηγούμενη προχώρηση



Βήμα 1: Εκσκαφή περιμετρικής εγκοπής με υδραυλικό σφυρί βάθους 1-1,5m. Αφήνετε φυσική αντηρίδα στο κέντρο του μετώπου για να διατηρήσει τον περιορισμό της βραχόμαζας



Βήμα 2: Αμέσως μετά την εκσκαφή της εγκοπής, εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος στην εκτεθείσα βραχόμαζα της εγκοπής για την συγκράτηση των μικρών τεμαχίων. Εκτοξευμένο σκυρόδεμα και στην αντηρίδα είναι συνήθως απαραίτητο.



Βήμα 3: Εγκατάσταση νέων βλήτρων (επικαλυπτομένων με τα προηγούμενα) και νέων αγκυρίων αμέσως πίσω από το μέτωπο. Αφαίρεση της αντηρίδας. Η διατομή είναι τώρα έτοιμη για την νέα φάση εκσκαφής

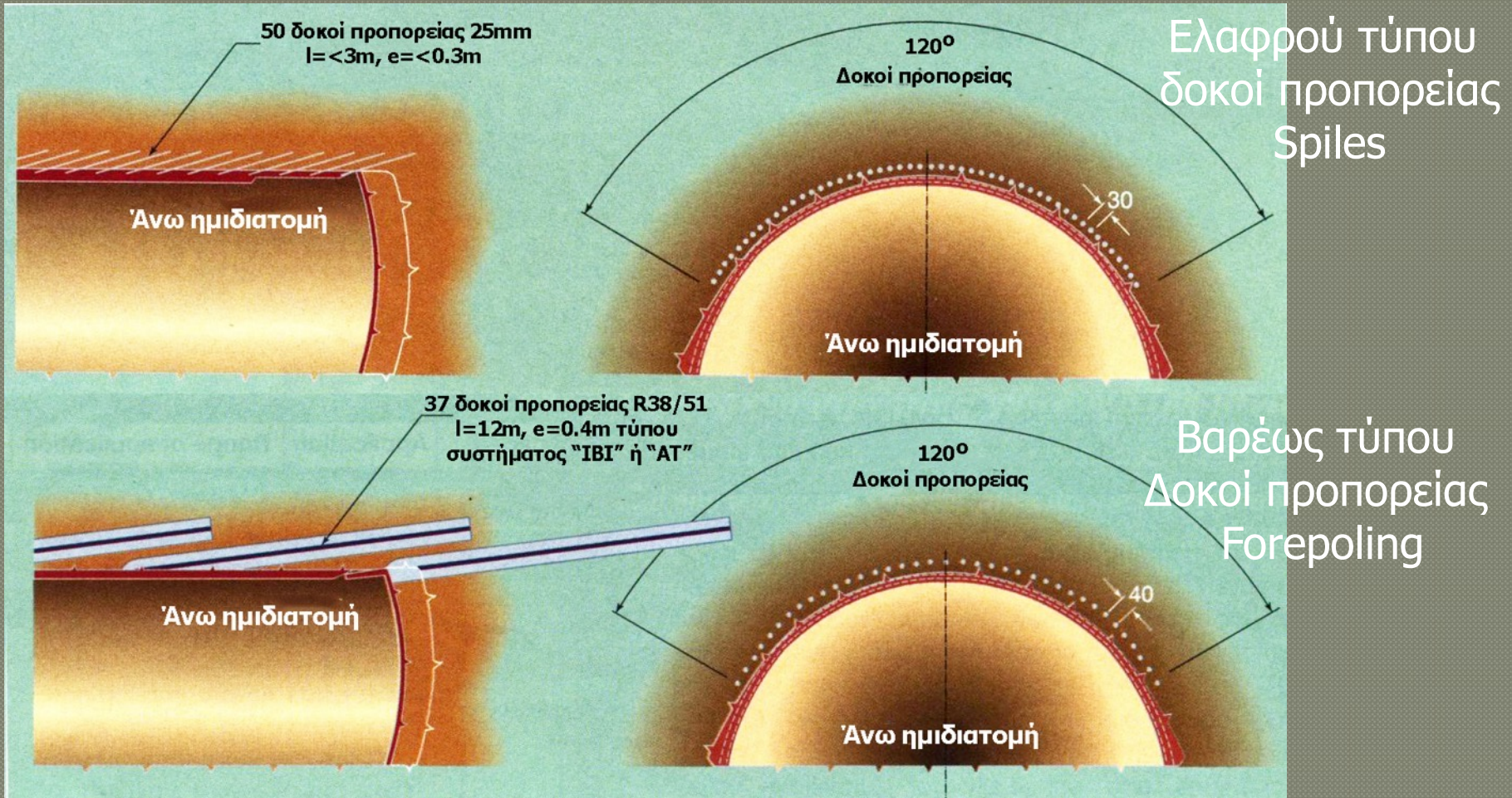
Εκσκαφή και υποστήριξη σε κατακερματισμένη βραχόμαζα με χρήση δοκίδων προπορείας (Marinos & Hoek, 2000)

# Ελαφρά βλήτρα προπορείας (Spiles)

- Η χρήση τους σε προβλήματα που αφορούν αστάθειες λόγω πτωχού αλληλοκλειδώματος των τεμαχών της βραχόμαζας και χαλαρής έως ανύπαρκτης δομής της (π.χ. κατακερματισμένη).
- Οι ράβδοι προπορείας τοποθετούνται σε κατάλληλες αποστάσεις ώστε να αποτρέψουν την κατάπτωση υλικών και τη δημιουργία υπερεκσκαφών τύπου καμινάδας, ή να εμποδίσουν τη συνεχή καταρροή υλικού σε κατακερματισμένα έως αποδομημένα υλικά, μετά την εκσκαφή της διατομής και μέχρι να διαμορφωθεί το κέλυφος της προσωρινής υποστήριξης.
- Πρόβλημα στην μετέπειτα εφαρμογή των αγκυρίων στο θόλο, καθώς η πυκνή τοποθέτησή των βλήτρων δεν αφήνει τον απαραίτητο χώρο για τη διάτρηση των οπών στο απαιτούμενο μέγεθος.
- Η μικρή διατομή των ράβδων αυτών βέβαια συνεπάγεται και μικρή φέρουσα ικανότητα σε κάμψη.



# Μέθοδοι εκσκαφής





# Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)

- Χρησιμοποιείται κυρίως σε βραχόμαζες χαμηλής ποιότητας για την εξασφάλιση της ευστάθειας του μετώπου.
- Χρησιμοποιούνται επίσης σε διατομές όπου η βραχόμαζα, ως εβρισκόμενη κοντά στην επιφάνεια μπορεί να είναι χαλαρωμένη.
- Για την κατασκευή των δοκών προπορείας διατρύονται οπές στο περίγραμμα του θόλου, στις οποίες τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες εντός των οποίων εισπνέζεται ένεμα. Το ένεμα μέσω των οπών διοχετεύεται στην περιοχή γύρω από το διάτρημα.



# Μέθοδοι εκσκαφής



Προστασία μετώπου με εφαρμογή δοκών προπορείας



# Μέθοδοι εκσκαφής



Προστασία μετώπου με εφαρμογή δοκών προπορείας



# Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)

- Χρησιμοποιείται κυρίως σε βραχόμαζες χαμηλής ποιότητας για την εξασφάλιση της ευστάθειας του μετώπου.
- Χρησιμοποιούνται επίσης σε διατομές όπου η βραχόμαζα, ως εβρισκόμενη κοντά στην επιφάνεια μπορεί να είναι χαλαρωμένη.
- Για την κατασκευή των δοκών προπορείας διατρύονται οπές στο περίγραμμα του θόλου, στις οποίες τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες εντός των οποίων εισπιέζεται ένεμα. Το ένεμα μέσω των οπών διοχετεύεται στην περιοχή γύρω από το διάτρημα.
- Αποτελείται από κοίλες δοκούς μεγάλης διαμέτρου και μήκους (π.χ. μήκος 12m, διάμετρος Φ114, Φ139 έως Φ159).
- Υπό μικρή γωνία (συνήθως 5° -7° ) στο θόλο της σήραγγας και πολύ κοντά στο μέτωπο εκσκαφής συνήθως σε ένα τόξο εύρους 120° .
- οι διαδοχικές διατάξεις δοκών προπορείας τοποθετούνται με μια επικάλυψη ίση με το 1/3 συνήθως του μήκους τους.



# Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)



Ομπρέλα δοκών προπορείας



# Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)



Ομπρέλα δοκών προπορείας

# Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)

- Η στήριξη τους επιτυγχάνεται στην περιοχή της κεφαλής τους μέσω πάκτωσης (με τη βοήθεια τσιμεντέματος) στη βραχόμαζα μπροστά από το μέτωπο, ενώ στο άκρο τους μέσω έδρασής τους στο κέλυφος της προσωρινής υποστήριξης.
- Αναγκαία κρίνεται η τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων μεγάλης διατομής, αλλά και φροντίδα για επαρκή έδραση του κελύφους της υποστήριξης.
- Στόχος: βελτίωση της ευστάθειας του μετώπου εκσκαφής, μέσω της μείωσης της έκθλιψής του, της παραμόρφωσης δηλαδή του προς εκσκαφή πυρήνα της σήραγγας, και η διασφάλιση των εργατών που εργάζονται σε αυτήν.
- Σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν ως δοκοί σε κάμψη, παραλαμβάνοντας μέρος της κατακόρυφης τάσης και μειώνοντας την τιμή της προ-σύγκλισης (έκθλιψης)



# Αγκύρια μετώπου – κυρίως Υαλόκαρφα (fiberglass)

- Συνηθέστερα, κατασκευάζονται από fibreglass.
- Τοποθετούνται στο μέτωπο εκσκαφής σχεδόν οριζόντια και παράλληλα στον άξονα της σήραγγας, με σκοπό να ενισχύσουν τη βραχόμαζα μπροστά από το μέτωπο βελτιώνοντας την ευστάθεια και μειώνοντας τις παραμορφώσεις της.
- Το υλικό κατασκευής τους προσφέρει μεγάλη εφελκυστική αντοχή και ακαμψία, αλλά αμελητέα αντοχή σε κάμψη προκειμένου να μπορούν εύκολα να καταστρέφονται από τα εκσκαπτικά μηχανήματα κατά την προχώρηση της σήραγγας (Θυσιαζόμενα αγκύρια).
- Υπάρχουν περιπτώσεις που για την ενίσχυση του μετώπου μπορεί να γίνεται χρήση απλών αγκυρίων από χάλυβα, αφού αυτά έχουν χαμηλότερη τιμή.
- Τυπικές διαστάσεις: 12m μήκος, διατομής  $\Phi 25$  και αντοχής 200-300kN.

# Αγκύρια μετώπου – κυρίως Υαλόκαρφα (fiberglass)



Αγκύρια μετώπου fiberglass



# Αγκύρια μετώπου – κυρίως Υαλόκαρφα (fiberglass)

- Το πλήθος και ο κάρναβος τοποθέτησης των αγκυρίων εξαρτάται από τις επιτόπου συνθήκες (αντοχή και παραμορφωσιμότητα του πυρήνα της προχώρησης, πεδίο τάσεων).
- Πολύ σημαντικό παράγοντα αποτελεί το μήκος και η έγκαιρη επικάλυψη των διαδοχικών διατάξεων των αγκυρίων, προκειμένου να υπάρχει πάντα ικανό μήκος τους μπροστά από τον πυρήνα προχώρησης ώστε το άκρο τους να αγκυρώνεται σε μη διαταραγμένο γεωυλικό.
- Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται σε περιοχές που παρατηρούνται μεγάλες τιμές του συντελεστή οριζοντίων τάσεων  $K$ , κάτι που σημαίνει αρκετά αυξημένη εξώθηση μετώπου σε σχέση για την αναμενόμενη για συντελεστή  $K$  μικρότερο της μονάδας.

# Αντιστήριξη μετώπου

- Για την προστασία από μικρότερα τεμάχια βράχου αρκεί:
  - η άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος
  - η διαμόρφωση πυρήνα μετώπου.
  - ενδείκνυται για προβλήματα καταπτώσεων και καταρροής υλικού και όχι παραμορφώσεων.



διαμόρφωση πυρήνα μετώπου



# Προσωρινό ανάστροφο τόξο

- Η κατασκευή του κρίνεται απαραίτητη κατά την κατασκευή σηράγγων σε μαλακούς, ασθενείς σχηματισμούς σε μεσαία έως μεγάλα βάθη.
- Αποτελείται συνήθως από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οπλισμένο με μεταλλικό πλέγμα και καταστρέφεται αργότερα κατά την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής.
- Σκοπός του είναι να διαμορφώσει ένα προσωρινό κλειστό κέλυφος στην άνω ημιδιατομή προκειμένου να αποτρέψει την ανύψωση του πυθμένα και την επακόλουθη αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας και υπερφόρτιση των στοιχείων της υποστήριξης.
- Συμβάλλει σημαντικά στην καλύτερη κατανομή των τάσεων στο κέλυφος της επένδυσης και δεν επιτρέπει την αναπτύξει υψηλών καμπτικών ροπών σε αυτήν. Δευτερευόντως βοηθάει στην ομαλότερη μεταφορά των τάσεων από τα ελεφαντοπόδαρα στο έδαφος έδρασης.

# Προσωρινό ανάστροφο τόξο



«Κλείσιμο» του κελύφους υποστήριξης της Ά φάσης με ινοπλισμένο σκυρόδεμα σε μορφή ανάστροφου τόξου (δάπεδο σήραγγας) σε περίπτωση έντονων παραμορφώσεων (τασικές αστοχίες)



# Προσωρινό ανάστροφο τόξο

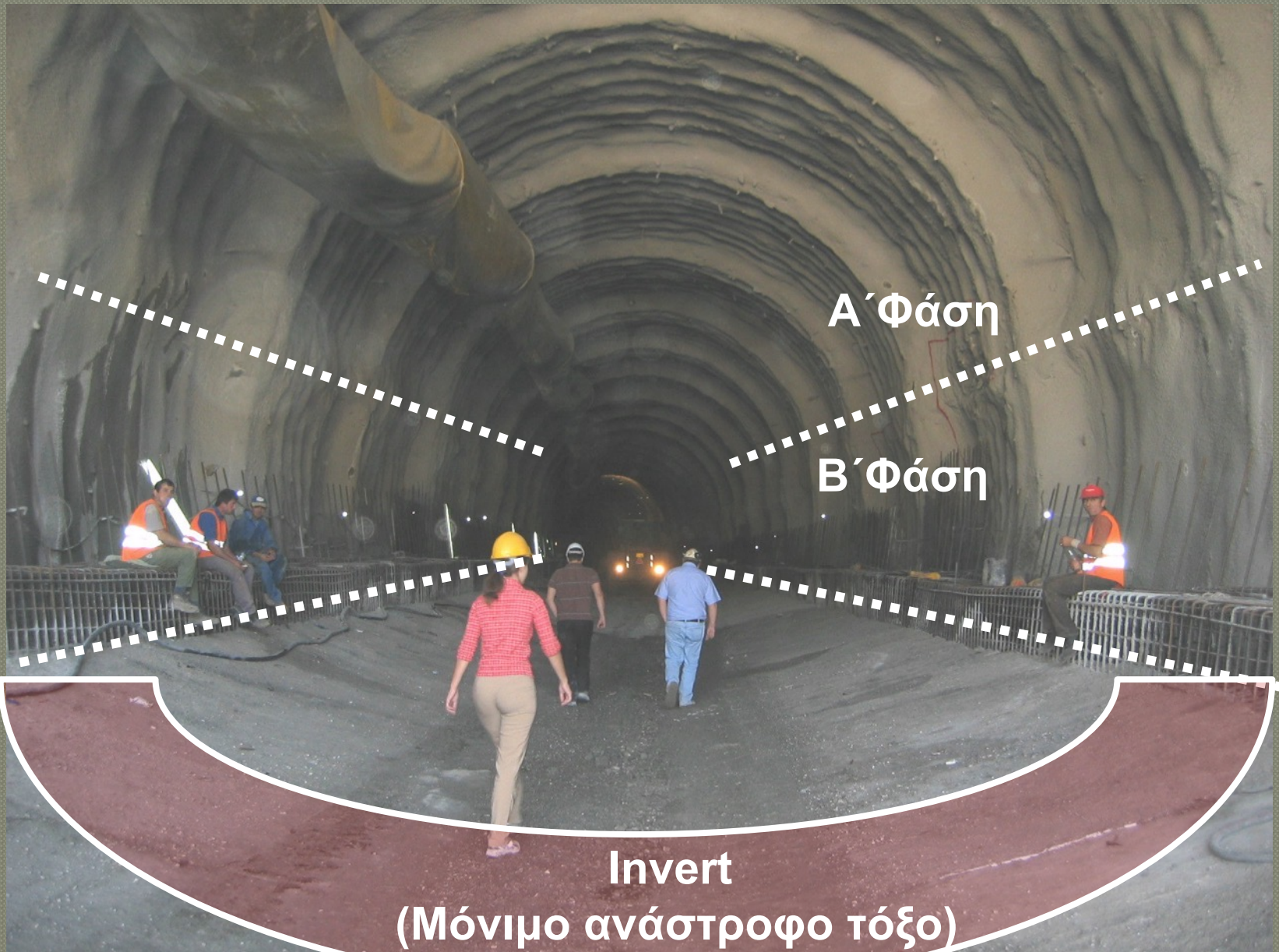
- Προκειμένου να είναι αποτελεσματικό: το ανάστροφο τόξο θα πρέπει να είναι προσεκτικά σχεδιασμένο, κατασκευασμένο και συνδεδεμένο με το υπόλοιπο κέλυφος.
- Σε περίπτωση ανεπαρκούς σύνδεσής του με τον υπόλοιπο φορέα της επένδυσης, η θέση αυτή θα αποτελεί ασθενή ζώνη στην οποία θα μπορεί εύκολα να προκληθεί ρωγμάτωση του φορέα και ανάπτυξη σημαντικών παραμορφώσεων.
- Θα πρέπει επίσης να προβλέπεται ειδικός αρμός στη σύνδεση του τόξου με τον υπόλοιπο φορέα, ώστε να μην προκαλούνται βλάβες στα ελεφαντοπόδαρα και στην περιοχή έδρασής τους κατά την καταστροφή του ανάστροφου τόξου με την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής.

# Μόνιμο ανάστροφο τόξο

- Η δημιουργία ενός κλειστού ισχυρού κελύφους επένδυσης σε σήραγγα που διανοίγεται υπό συνθήκες σύνθλιψης είναι φυσικά περισσότερο αναγκαία μετά την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής, αφού οι αυξημένες πια διαστάσεις του ανοίγματος σημαίνουν και δυσμενέστερες συνθήκες και το άνοιγμα θα μείνει έτσι μέχρι την μόνιμη επένδυση.
- Συνίσταται η όσο το δυνατόν πιο έγκαιρη κατασκευή του προσωρινού ανάστροφου τόξου και το κλείσιμο της διατομής όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής.
- Κάτι τέτοιο δεν είναι εύκολο όταν η εκσκαφή γίνεται σε δύο φάσεις και ιδιαίτερα όταν τοποθετούνται ταυτόχρονα δοκοί προπορείας.
- Καταστάσεις σύνθλιψης στην Ιταλία αντιμετωπίζονται σε προσεκτική και συνεχή ενίσχυση του μετώπου χωρίς δοκούς προπορείας και ολομέτωπη εκσκαφή με κατασκευή ισχυρού άκαμπτου κλειστού δακτυλίου επένδυσης.



# Μόνιμο ανάστροφο τόξο



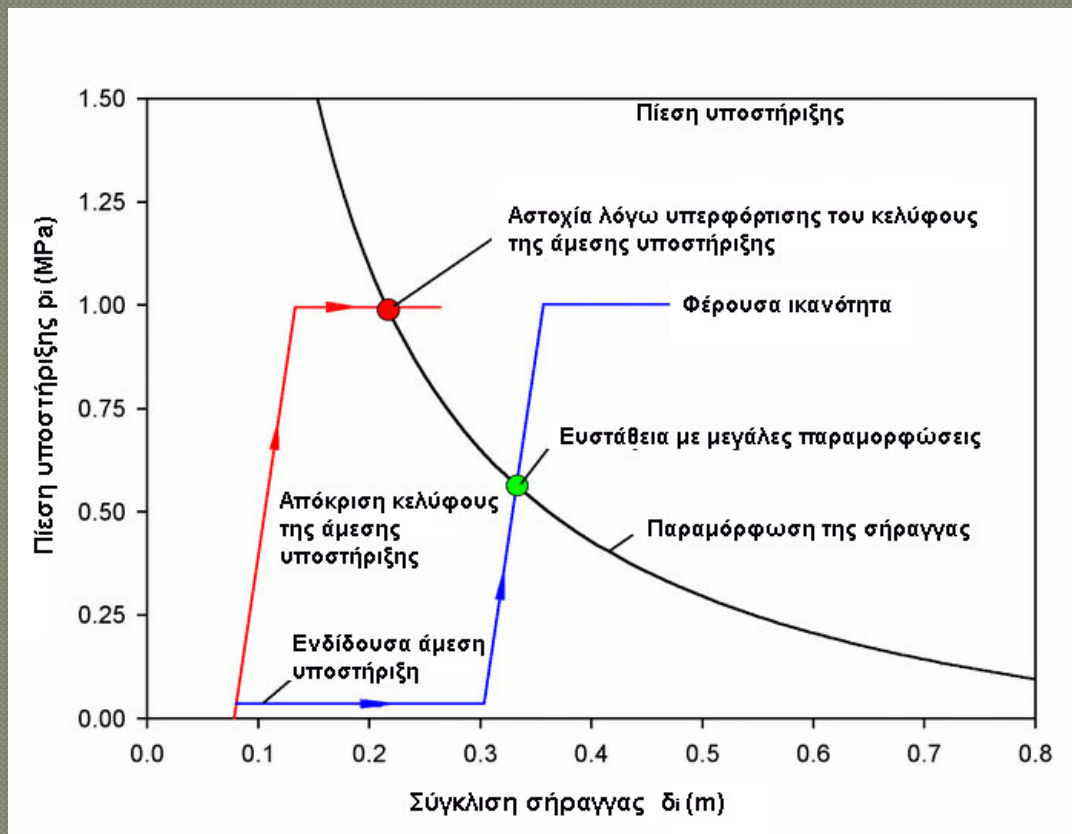
# Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη

- Σε περιπτώσεις όπου η εκσκαφή γίνεται κάτω από συνθήκες, όπου οι επιτόπου τάσεις στο επίπεδο της σήραγγας να είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερες της αντοχής της βραχόμαζας
- Το κύριο θέμα που πρέπει να αντιμετωπίζει είναι: πώς να ελεγχθούν οι μεγάλες παραμορφώσεις.
- είναι σχεδόν αδύνατον εκ των υστέρων να παραληφθούν τα φορτία της από ένα άκαμπτο κέλυφος προσωρινής υποστήριξης.
- Στις ακραίες αυτές περιπτώσεις, που παρατηρούνται συνήθως σε μαλακά αργιλικά υλικά, ή σε έντονα διατμημένους αργιλικές βραχόμαζες σε μεγάλα βάθη, λύση αποτελεί η τοποθέτηση ολισθαίνουσας υποστήριξης στο κέλυφος.
- Το εύκαμπτο αυτό σύστημα υποστήριξης μπορεί να διασφαλιστεί από διάφορα συστήματα ενδόσιμης υποστήριξης.



# Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη

• Το εύκαμπτο σύστημα υποστήριξης ακολουθεί την καμπύλη συμπεριφοράς το οποίο ξεκινάει να συγκλίνει σε μικρά φορτία. Το ποσό της σύγκλισης μπορεί να ελεγχθεί, και όταν οι προκαθορισμένες παραμορφώσεις λάβουν χώρα, το σύστημα υποστήριξης «κλειδώνει» και τότε λειτουργεί ως άκαμπτο.



Καμπύλη σύγκλισης - αποτόνωσης για την άνω βαθμίδα σήραγγας σε συνθήκες σύνθλιψης. Το άκαμπτο σύστημα υποστήριξης αστοχεί λόγω υπερφόρτισης ενώ το εύκαμπτο σύστημα συγκλίνει και επιτυγχάνει ευστάθεια σε παραμόρφωση περίπου 0,3m στο παράδειγμα αυτό (Hoek and Marinos, 2001)

# Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη



Ολισθαίνοντα πλαίσια στις παρειές. Διακρίνεται το πλέγμα για την προστασία των εργαζομένων από καταπτώσεις (Σήραγγα St. Gotthard, Ελβετία)



# Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη

- Η ολισθαίνουσα υποστήριξη αποτελείται συνήθως από διακριτά τμήματα μεταλλικών πλαισίων διατομής U (TH), που επικαλύπτονται τοποθετούμενα το ένα μέσα στο άλλο έτσι ώστε να μπορούν να ολισθαίνουν χωρίς να φορτίζονται. Όταν επιτευχθεί η απαιτούμενη παραμόρφωση, δηλαδή η αναγκαία αποτόνωση, τα πλαίσια κλειδώνουν και αρχίζουν να παραλαμβάνουν φορτία
- Φυσικά αντίστοιχο κενό θα πρέπει να προβλέπεται και στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε να μην καταστραφεί, ενώ καλό είναι να τοποθετείται μεταλλικό πλέγμα σε όλη τη διατομή ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος πτώσης τεμαχίων στις θέσεις των κενών της ολισθαίνουσας υποστήριξης, όπου «αποκαλύπτεται» η βραχώμαζα. Ολισθαίνουσες διατάξεις μπορούν να διαμορφωθούν και με δικτυωτά πλαίσια.

# Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη



Ολισθαίνοντα πλαίσια στο θόλο (Σήραγγα St. Gotthard, Ελβετία)



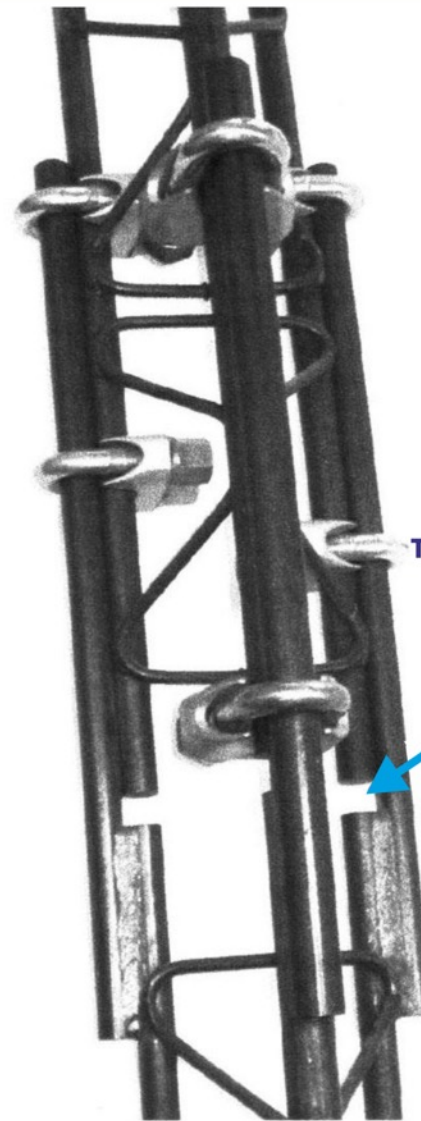
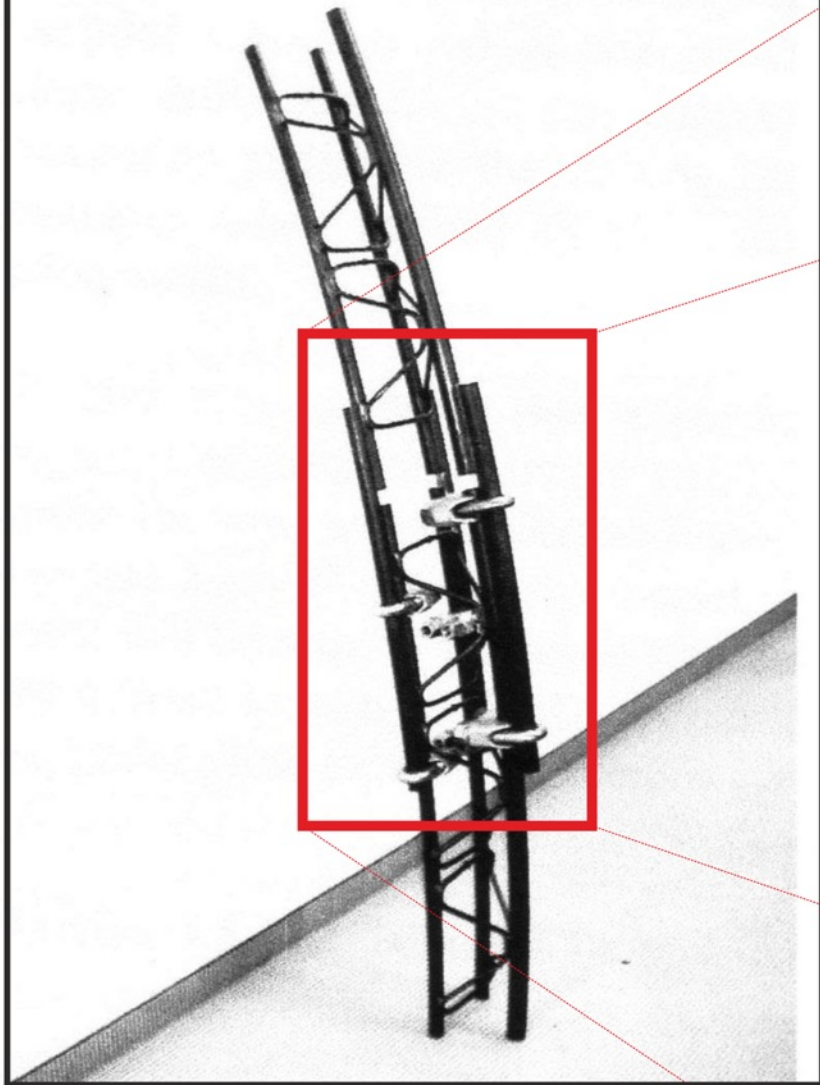


23.06.2006

Sliding support - NW excavation face from Sedrun



**Ολισθαίνοντα δικτυωτά  
μεταλλικά πλαίσια  
(Lattice girder)**



**Διάκενο, το οποίο  
θα κλείσει κατά  
την εκδήλωση τυχόν  
παραμορφώσεων/  
μετακινήσεων  
του γεωυλικού**

**Λεπτομέρεια ολισθαίνοντων  
μεταλλικών πλαισίων**



# Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη

- Σε ορισμένες σήραγγες που κατασκευάζονται κάτω από συνθήκες ισχυρής σύγκλισης (π.χ. οι υπό κατασκευή σήραγγας βάσης των Άλπεων), η ολισθαίνουσα υποστήριξη αποτελείται
  - **ενδόσιμα κυλινδρικά ελάσματα** που συμπιέζονται και καταστρέφονται κατά τη σύγκλιση είτε στοιχεία από παραμορφώσιμο ισχνό σκυρόδεμα.
  - φυσικά, μετά την ολοκλήρωση της σύγκλισης που αναμένεται, τα κενά στο φορέα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος συμπληρώνονται με εκτόξευση νέου, είτε έχουν χρησιμοποιηθεί πλαίσια, είτε όχι.

# Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη



Ενδόσιμοι κύλινδροι ανάμεσα στα πλαίσια της ολισθαίνουσας υποστήριξης  
στη σήραγγα Μετσόβου



# Βελτίωση γεωυλικού με χρήση ενέματος

- Έχει σκοπό τη βελτίωση των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητάς της. Η εισπίεση μπορεί να γίνει είτε από το εσωτερικό της σήραγγας, είτε από την επιφάνεια του εδάφους σε θέσεις μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής σε αβαθείς σήραγγες.
- Η απλή εισπίεση ενέματος (Grouting) έχει σαν αποτέλεσμα την πλήρωση των κενών της βραχώμαζας με ένεμα και τη βελτίωση των ιδιοτήτων της που ουσιαστικά προκύπτουν ως ένας σταθμισμένος μέσος όρος των ιδιοτήτων του γεωυλικού και του ενέματος.
- Προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία του grouting είναι να εφαρμοστεί σε υλικά που έχουν κάποια περατότητα, ώστε να είναι δυνατή η διάχυση του ενέματος σε ικανή απόσταση γύρω από τη θέση εισπίεσης, και να προκύψει συνεχές ενισχυμένο υλικό.

# Βελτίωση γεωυλικού με χρήση ενέματος

- *Η χρήση τους συνίσταται για τη διέλευση μέσα από:*
  - *ασθενείς ζώνες περατών υλικών χωρίς δομή και συνοχή, όπως π.χ. φακοί άμμου σε δολομιτικά πετρώματα ή κατακλαστικοί ασβεστόλιθοι.*
- *Με τη χρήση του ενέματος επιχειρείται η δημιουργία ενός βελτιωμένου υλικού πάνω από ή/και μπροστά από το μέτωπο για να αποτρέψει την καταρροή υλικού και δημιουργία «καμινάδας» που μπορούν να καταστήσουν αδύνατο το πέρασμα από μια τέτοια ζώνη, ειδικά αν αυτή είναι πληρωμένη με νερό.*



# Βελτίωση γεωυλικού με χρήση ενέματος

- Η μέθοδος του **jet grouting** διαφέρει στο ότι το στέλεχος από το οποίο εισπνέζεται το ένεμα έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης περιστροφής, με αποτέλεσμα τον εκτοπισμό του γύρω γεωυλικού και τη δημιουργία μιας στήλης ενισχυμένου υλικού που αποτελείται στο μεγαλύτερό του ποσοστό από ένεμα.
- Ανάλογα με τη φύση του υλικού και τον τύπο της αναμενόμενης αστοχίας, οι στήλες μπορούν να επικαλύπτονται δημιουργώντας μια συνεχή ισχυρή ομπρέλα προστασίας του μετώπου που μπορεί να συνεισφέρει και στην τοξωτή λειτουργία του εδάφους σε επίπεδο κάθετο στον άξονα της σήραγγας.

# Βελτίωση γεωυλικού με χρήση ενέματος

- Είναι δυνατή η ενίσχυση βραχομαζών μικρής έως ασήμαντης περατότητας. Η μέθοδος μπορεί να υιοθετηθεί για την ασφαλή διέλευση σε ζώνες αργιλικών υλικών (π.χ. σε καρστικά έγκοιλα πληρωμένα με αργιλικά υλικά, διατμημένους ερυθροπηλίτες χαοτικής δομής), τόσο δημιουργώντας μια ισχυρή και κατά το δυνατόν συνεχή ομπρέλα πάνω από το μέτωπο εκσκαφής, όσο και ενισχύοντας την αντοχή και την ακαμψία πυρήνα προόδου με την κατασκευή οριζόντιων στηλών ενέματος, με συνέπεια τη μείωση της προσύγκλισης και της αποδιοργάνωσης του υλικού μπροστά και πάνω από μέτωπο εκσκαφής.
- Μπορεί να εφαρμοστεί για την ενίσχυση τόσο του πυρήνα προχώρησης και του θόλου της σήραγγας, όσο και για την ενίσχυση της περιβάλλουσας βραχώμαζας, για να αποτραπεί η διατάραξή της λόγω της εκσκαφής, καθώς και της περιοχής θεμελίωσης του κελύφους κάτω από τα ελεφαντοπόδαρα, ώστε να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητά της.



# Αποστραγγιστικές και ανακουφιστικές οπές

• Τα προβλήματα που δημιουργούνται από την παρουσία υπόγειων νερών κατά τη διαδικασία εκσκαφής και υποστήριξης της σήραγγας, αφορούν

- την όχληση της κατασκευαστικής διαδικασίας
- τη φόρτιση και ευστάθεια του κελύφους της προσωρινής υποστήριξης και του μετώπου εκσκαφής (περιπτώσεις όπου η περατότητα των σχηματισμών είναι μικρή ή και αμελητέα, σημαντική είναι η ανακούφιση των υδατικών πιέσεων στο κέλυφος της προσωρινής υποστήριξης.

Για το λόγο αυτό προβλέπεται η διάτρηση, μετά την κατασκευή του κελύφους, ανακουφιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, σε μήκος και κάρναβο που εξαρτάται από την περατότητα του σχηματισμού.

# Επίδραση των υπογείων υδάτων στις μηχανικές ιδιότητες

- Ανάγκη συνεπώς για αποστράγγιση (αποστραγγιστικές οπές - διατρήσεις)





# Κατασκευαστική αλληλουχία φάσεων εκσκαφής

- Σε πολλές σήραγγες η εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής ξεκινάει αφού πρώτα εκσκαφτεί και υποστηριχθεί η πρώτη σε όλο το μήκος της σήραγγας.
- Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτό αφορά
  - την οικονομία χρόνου που επιτυγχάνεται με την κίνηση των μηχανημάτων σε όλο το μήκος του έργου σε ένα επίπεδο
  - την αποφυγή δημιουργίας προσωρινών κεκλιμένων προσβάσεων (ραμπών) για την κίνηση σε διαφορετικά επίπεδα και την καταστροφή τους, όταν δεν χρειάζονται πια.
  - έτσι, στις σήραγγες με καλής ποιότητας βραχόμαζα όπου ο χρόνος αποπεράτωσης είναι η πιο σημαντική παράμετρος ακολουθείται η παραπάνω τεχνική.

# Κατασκευαστική αλληλουχία φάσεων εκσκαφής

- Σε περιπτώσεις όμως πτωχής ποιότητας βραχομαζών, όπου η ασφάλεια και ο περιορισμός των ταχέως αναπτυσσόμενων παραμορφώσεων είναι παράγοντες πολύ πιο κρίσιμοι, αναγκαία είναι η σχεδόν παράλληλη κατασκευή των δύο φάσεων, ώστε να είναι εφικτό το κλείσιμο της διατομής (μόνιμο ανάστροφο τόξο) όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέτωπο εκσκαφής.



# Απόσταση μεταξύ των κλάδων δίδυμης σήραγγας

- Στην περίπτωση που οι συνθήκες ως προς τις παραπάνω παραμέτρους είναι δυσμενείς, θα πρέπει να προβλέπεται ικανή απόσταση, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, ανάμεσα στους δύο κλάδους.
- Γενικά επιδιώκεται ισορροπία, πλήρης ανάληψη των αντοχών του προσωρινού κελύφους και κλείσιμο του μόνιμου ανάστροφου τόξου του προπορευόμενου κλάδου, σε μια ικανή απόσταση (τουλάχιστον 30 μέτρα) μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής της άνω ημιδιατομής του κλάδου που ακολουθεί.
- Σε καταστάσεις όπου η αντοχή της βραχόμαζας σε σχέση με τις επικρατούσες τάσεις το επιτρέπουν, η εκσκαφή κάθε κλάδου μπορεί να εξελίσσεται ανεξάρτητα της εκσκαφής του γειτονικού του. Τα όρια πέρα από τα οποία η επίδραση μεταξύ των δύο κλάδων είναι σημαντική, επηρεάζονται βέβαια και από την εγκάρσια απόσταση μεταξύ τους (πάχος ενδιάμεσου στύλου)

# ***Βιβλιογραφία - Προδιαγραφές***

- Ο.Σ.Μ.Ε.Ο: Εγνατία Όδος Α.Ε. (Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Εγνατίας Οδού)
- Προδιαγραφές Αττικό Μετρό για τη σύνταξη Γεωλογικών και Τεχνικογεωλογικών Μελετών.
- Austrian Society for Geomechanics, 2010. Ground characterization and coherent procedure for the determination of excavation and support during design and construction. Ground characterization and coherent procedure for the determination of excavation and support during design and construction.
- Goricki, W., Schubert, G., Riedmueller, G., 2004. New Developments for the design and construction of tunnels in complex rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41(3), CD-ROM.
- Goricki A., Rachaniotis N., Hoek E., Marinos P., Tsotsos S. and Schubert W., 2006. Support Decision criteria for tunnels in fault zones. Felsbau, 24(5).
- Goodman, R., 1993. Engineering Geology. Publ. John Wiley & Sons, Inc.
- Hoek, E., 1994. Strength of rock and rock masses. ISRM News Journal, 2(2), pp. 4-16.
- Hoek, E., 1999. Putting numbers to geology - an engineers's viewpoint. The Second Glossop Lecture. Quarterly Journal of Engineering Geology, 32(1), pp. 1-19.
- Hoek, E., 1999. Support for very weak rock associated with faults and shear zones. In: Villaescusa, E., Windsor, C.R. and Thompson, A.G. (eds). Rock support and reinforcement practice in mining, pp. 19-32.



## ***Βιβλιογραφία - Προδιαγραφές***

- Hoek, E., 2000. Big tunnels in bad rock. 2000 Terzaghi lecture. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127(9), pp. 726-740.
- Hoek, E., 2007. Practical Rock Engineering. Notes on Internet ([www.rocscience.com/hoek/hoek.asp](http://www.rocscience.com/hoek/hoek.asp)).
- Hoek, E., Brown, E.T., 1980. Underground excavations in rock. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E., Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 34(8), pp. 1165-1186.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002. Hoek - Brown failure criterion - 2002 edition. In: Bawden H.R.W., Curran, J., Telesnicki, M. (eds). Proceedings of NARMS-TAC 2002, Toronto, pp. 267-273.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., and Bawden, W.F., 1995. Support of underground excavations in hard rock. Rotterdam, Balkema.

## ***Βιβλιογραφία - Προδιαγραφές***

- Hoek, E., Marinos, P., 2000. Predicting tunnel squeezing in weak heterogeneous masses. *Tunnels and Tunnelling International*, Part 1—November Issue 2000, pp. 45-51; Part 2—December 2000, pp. 34-36.
- Hoek, E., Marinos P., 1998-2006. Panel of experts Egnatia Reports.
- Hoek, E., Marinos, P. and Benissi, M., 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(2), pp. 151-160.
- Hoek, E., Marinos, P., and Marinos, V., 2004. Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42(2), pp. 277-285.
- Hoek, E., Marinos, P., Kazilis, N., Agistalis, G., Rahaniotis, N., Marinos, V., 2006. Greece's Egnatia highway tunnels. *Tunnels and Tunnelling International*, September issue, pp. 32-35.



## ***Βιβλιογραφία - Προδιαγραφές***

- Loew, S., Ziegler, H-J., Keller, F., 2000. Alptransit: Engineering Geology of the world's longest tunnel system.. In: Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, pp. 927-932.
- Lunardi, P., 2000. The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformations in rocks and soils. Tunnels and Tunnelling International, May 2000, pp. 3-30. Available at [www.rocksoil.com](http://www.rocksoil.com).
- Marinos, G., 1974. Geology of Orthrys and issues on its ophiolites. Ann Géol d Pays Helléniques, University of Athens, 26, pp. 118-148.
- Marinos, P., 2005. Experiences in tunnelling through karstic rocks. Proceedings of International Conference CVIJIC 2005: water resources and environmental problems in Karst, pp. 617-644.
- Marinos, P., Hoek, E., 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, pp. 1422-1446.

## ***Βιβλιογραφία - Προδιαγραφές***

- Marinos, P., Hoek, E., Marinos, V., 2005. Variability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index: the case of ophiolites with special emphasis on tunnelling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(2), pp. 129-142.
- Marinos, P., Hoek, E., Rahaniotis, N., Agistalis, G., Marinos, V., 2006. The tunnels of Egnatia Highway. Experiences in a variety of rock masses under complex geological conditions. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη 2006.
- Marinos, V., Marinos, P., Hoek, E., 2005. The geological strength index: applications and limitations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64, pp. 55-65.
- Muller, L., 1988. The influence of engineering geology and rock mechanics in tunnelling. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 38, pp. 5-13.
- Palmstrom, A., Stille, H., 2007. Ground behaviour and rock engineering tools for underground excavations. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 27, pp. 363-376.



## ***Βιβλιογραφία - Προδιαγραφές***

- Potsch, M., Schubert, W., Goricki, A., Steidl, A., 2004. Determination of Rock Mass Behaviour Types - a Case Study. EUROCK 2004 and 53th Geomechanics Colloquium, Schubert ed., VGE publ.
- Schubert, W., 1996. Dealing with squeezing conditions in Alpine tunnels. Rock Mechanics and Rock Engineering, 29(3), pp. 145-153.
- Russo, G., 1994. Some considerations on the applicability of major geomechanical classifications to weak and complex rocks in Tunnelling. GEAM, March issue, pp. 63-70.
- Schubert, W. and Riedmueller, G., 2000. Tunnelling in fault zones-state of the art in investigation and construction. Felsbau 18(2), pp. 8-17.
- Καββαδάς Μ., 2005. Σημειώσεις σχεδιασμού υπογείων έργων. Εκδόσεις ΕΜΠ.
- Μαρίνος Β. (2011). Παρουσιάσεις μαθήματος «Γεωλογικές και Περιβαλλοντικές Μελέτες Τεχνικών Έργων».
- Μουντράκης, Δ.Μ., 2010. Γεωλογία της Ελλάδας. UNIVERSITY STUDIO PRESS. Θεσσαλονίκη.
- Παπανικολάου, Δ.Ι., 2003. Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών.