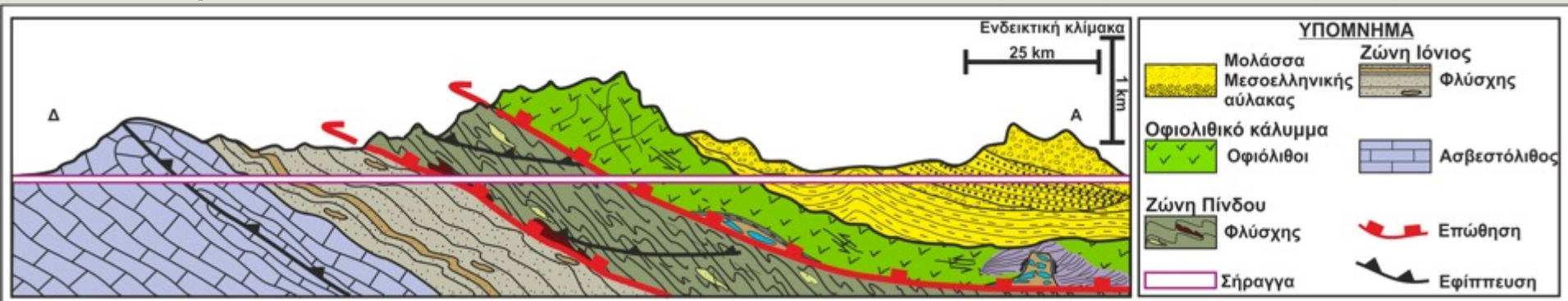


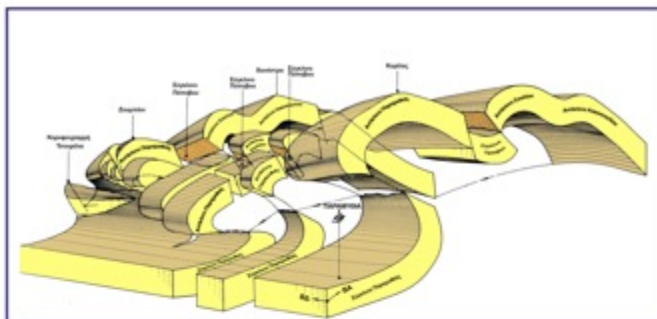
Βήματα τεχνικογεωλογικής - γεωτεχνικής αξιολόγησης σήραγγας

1. Σύνταξη τεχνικογεωλογικής μηκοτομής
2. Προσδιορισμός των τύπων βραχώμαζας
3. Εκτίμηση της συμπεριφοράς των βραχομαζών αυτών στο υπόγειο

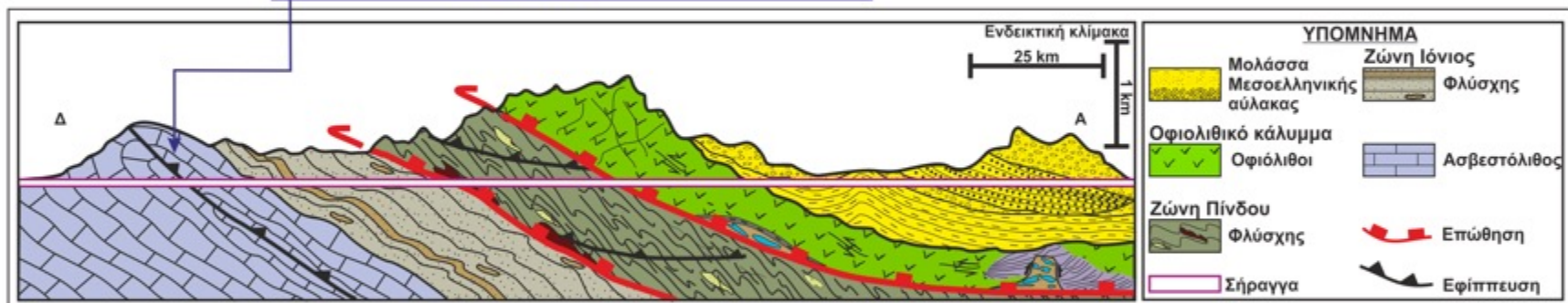


4. Καθορισμός αρχών συστήματος εκσκαφής και υποστήριξης βασισμένο σε τύπους συμπεριφοράς
5. Διακριτοποίηση περιοχών με κοινά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις εκσκαφής και υποστήριξης
6. Καθορισμός των κατηγοριών εκσκαφής και υποστήριξης σε όρους οικονομικούς, αλλά και χρόνου (Τεύχη Δημοπράτησης)

Παράδειγμα τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης σήραγγας



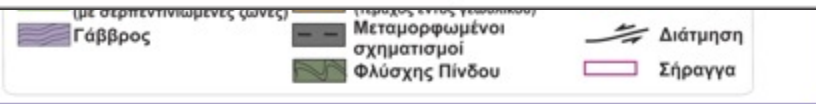
Τεχνικογεωλογικό πρότυπο σε περιβάλλον ασβεστολίθου



Γεωλογικές συνθήκες

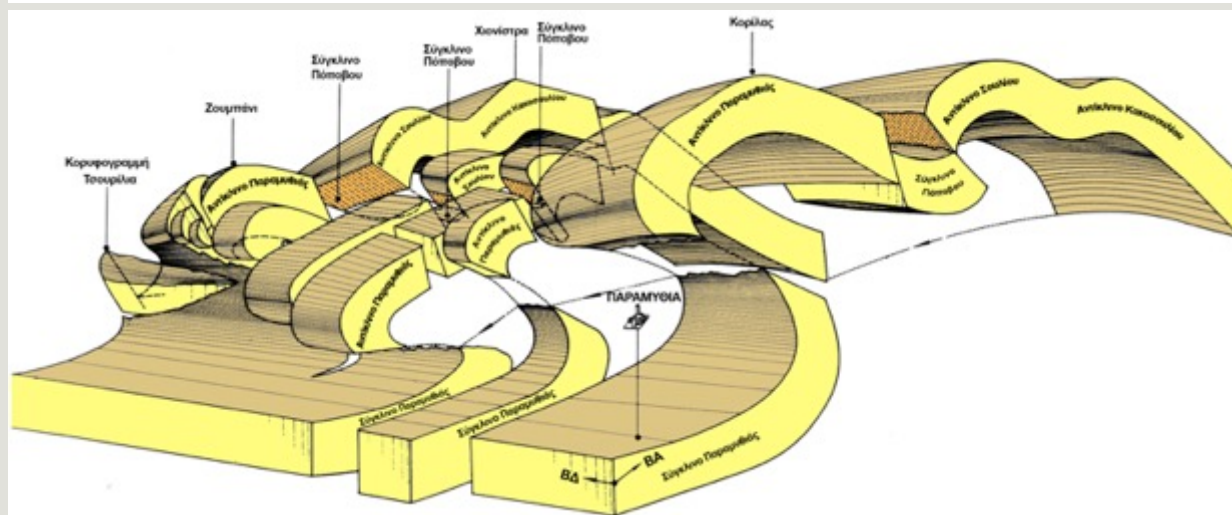
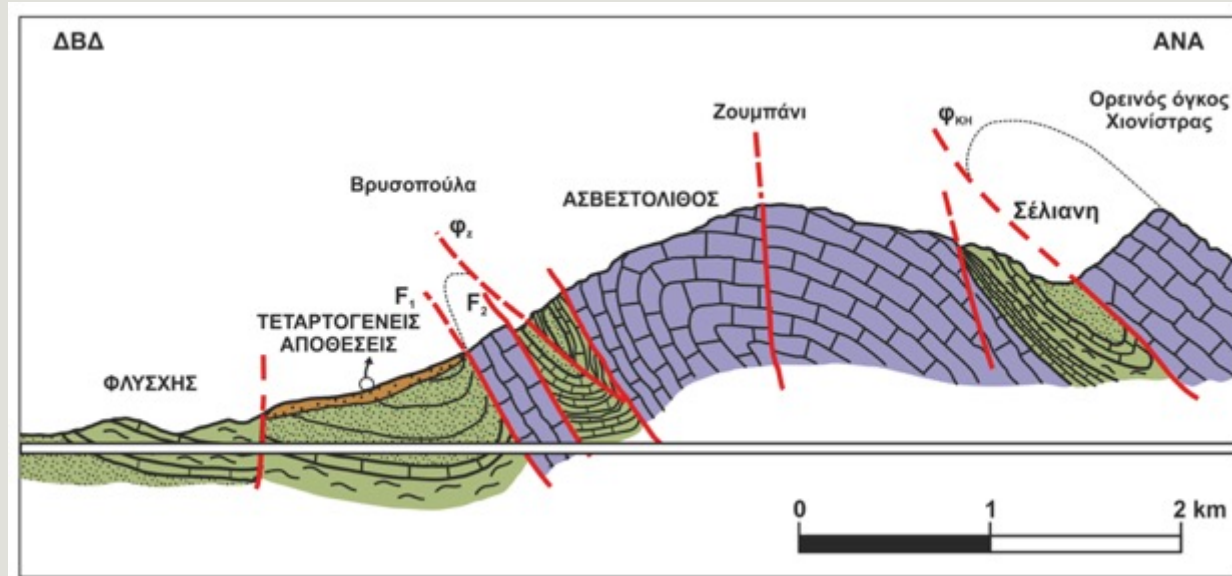
Τεχνικογεωλογικοί τύποι

Συμπεριφορά βραχομαζών



Τεχνηογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Διασχίζοντας επιρριπές σε ψαθυρά υλικά (εδώ ασβεστολίθους):
Παράδειγμα - Εγνατία Οδός, Παραμυθιά



Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Η βραχόμαζα είναι έντονα κερματισμένη και αποδιοργανωμένη από επιππευτικές κινήσεις και τεκτονικά ράκη



Κατακερματισμένος ασβεστόλιθος σε κλίμακες «ράχεων» και όχι μεμονωμένων ζωνών.



Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

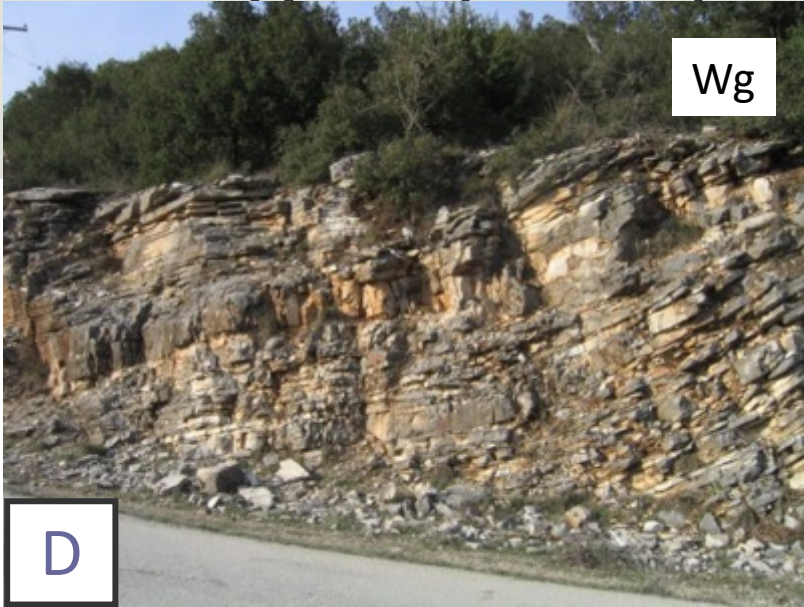


Χαρακτηριστικά Βραχόμαζας:

- Μικρή γενικά συνεκτικότητα
- Υψηλή γενικά αντοχή
- Μεγάλη γωνία τριβής (ανάλογα και με το αλληλοκλείδωμα)
- Καλή έως πτωχή αλληλεμπλοκή των τεμαχών του. Το σφικτό κλείδωμα των τεμαχών περιορίζει τη βραχόμαζα και της προσδίδει ευστάθεια ενώ το πτωχό δημιουργεί συνθήκες «επέκτασης» και ευκολότερης περιστροφής των τεμαχών που χωρίς άμεσο περιορισμό σε μία σήραγγα «απελευθερώνονται» και καταρρέουν.
- Πιθανή εμφάνιση αργιλικών υλικών ανάμεσα στα τεμάχια που μειώνουν την τριβή και διευκολύνουν την περιστροφή τους.

Τεχνηογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Wg



Τεχνηογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές

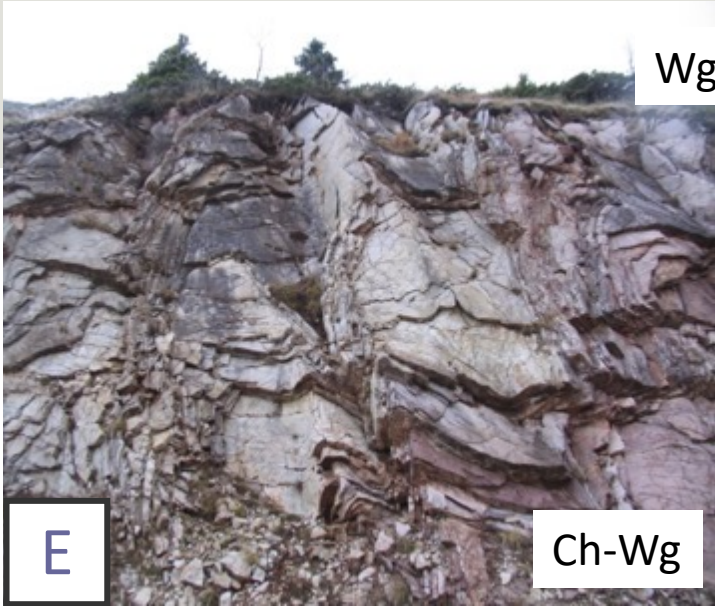
TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*

(Rock masses for up to several hundreds metres**)

ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H)			
	Small overburden		Large overburden	
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa	
	Low σ_c	High σ_c	Low σ_c	High σ_c
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	Sh	4 St
	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 150 m			3
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	5 Wg	6 Wg	Sh-Wg	8 St-Wg
	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 100 m			7
VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	9 Wg-Ch Sh	10 Wg-Ch	Sh	12 Wg
	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m			11
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	13 Ch-Wg Sh	14 Ch-Wg	S(Sh-Sq) Ch	16 Ch-Sh
	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m			15
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	17 Sh-Rv	18 Rv	Sq-Ch	20 Ch-Sh
	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m			19
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch	Sq	24 Sq
	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m			23

Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Τεχνηκογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές



Wg

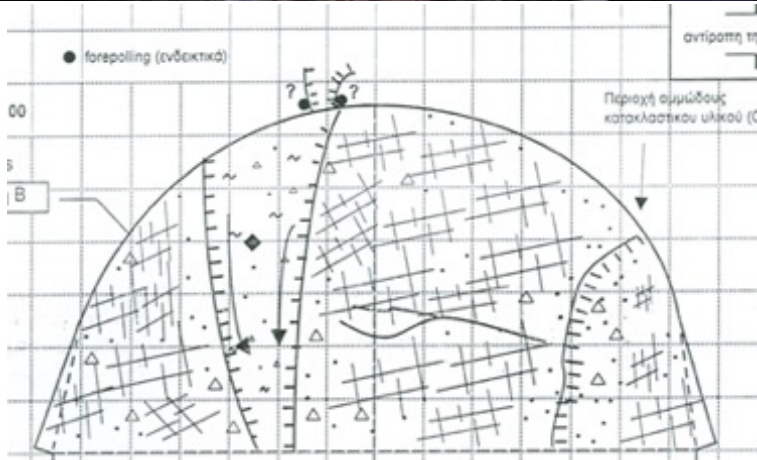
Ch-Wg

E

TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinou)*					
ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)				
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		
	Low σ_c	High σ_c	Low σ_c	High σ_c	
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m	3 Sh	4 St
	5 Wg	6 Wg		7 Sh-Wg	8 St-Wg
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	9 Wg-Ch Sh	10 Wg-Ch	H LIMIT: ~100 m	11 Sh	12 Wg
	13 Ch-Wg Sh	14 Ch-Wg		15 S(Sh-Sq) Ch	16 Ch-Sh
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	17 Sh-Rv	18 Rv	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 m	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh
	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch		23 Sq	24 Sq
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)					

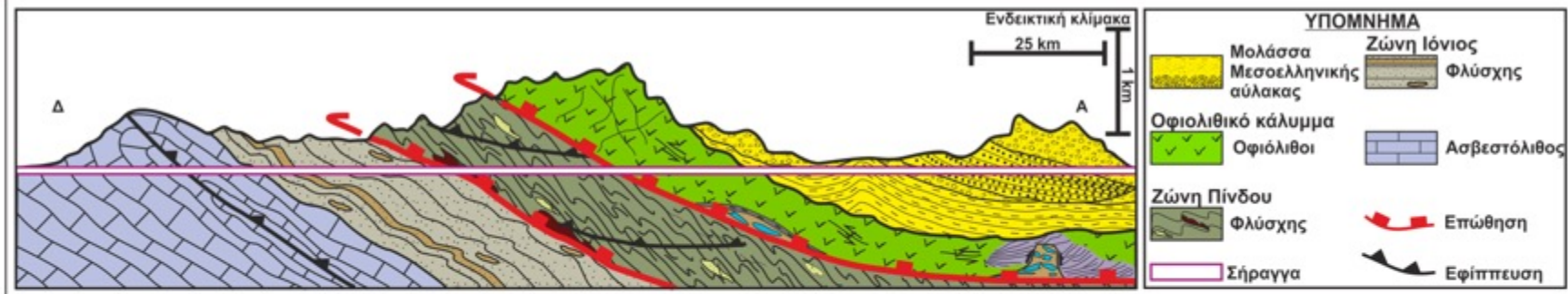
Τεχνογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Τεχνογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές



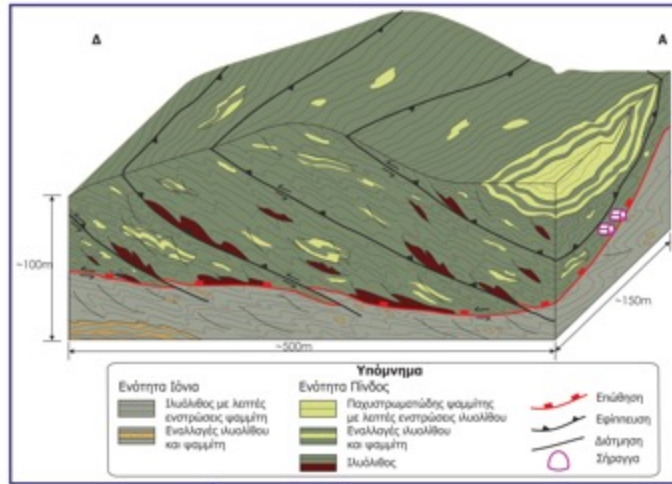
TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*					
ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)				
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci}) Indicative limit: $\sigma_{ci} \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci}) Indicative limit: $\sigma_{ci} \sim 15$ Mpa		
	Low σ_{ci}	High σ_{ci}	Low σ_{ci}	High σ_{ci}	
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	3 Sh	4 St	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m
	5 Wg	6 Wg	7 Sh-Wg	8 St-Wg	
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	9 Wg-Ch Sh	10 Wg-Ch	11 Sh	12 Wg	H LIMIT: ~100 m
	13 Ch-Wg Sh	14 Ch-Wg	15 S(Sh-Sq) Ch	16 Ch-Sh	
VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	17 Sh-Rv	18 Rv	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 m
	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch	23 Sq	24 Sq	
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed					
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)					

Τεχνηκογεωλογικοί τύποι και συμπεριφορά βραχομαζών Ασβεστολίθου

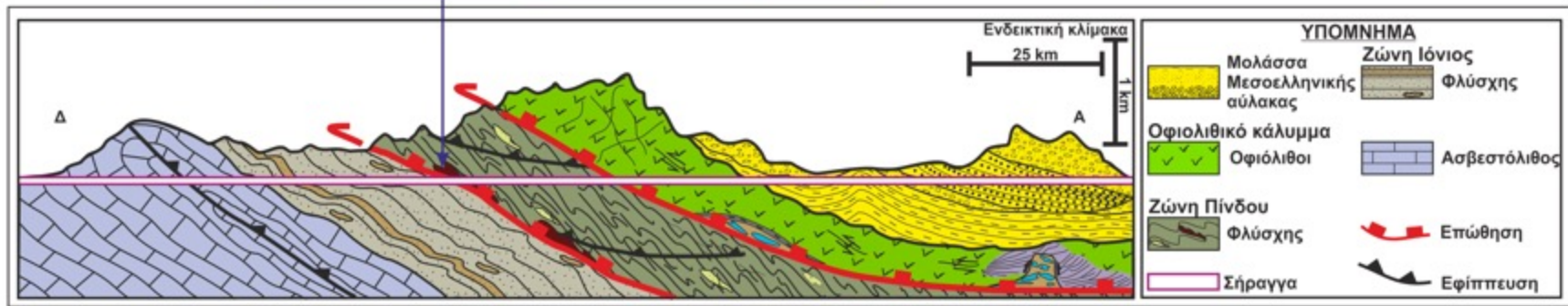


Γεωλογικές συνθήκες	Ασβεστόλιθος	Φλύσχης Ιόνιας	Φλύσχης Πίνδου	Οφιολίθοι	Μολάσσα
Τεχνηκογεωλογικοί τύποι	Τύπος D (L1)	Τύπος E (L2)	Τύπος G (L3)	Τύπος H (L4)	
Συμπεριφορά βραχομαζών	Wg	Ch - Wg	Rv	Ch	

Παράδειγμα τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης σήραγγας



Τεχνικογεωλογικό πρότυπο σε περιβάλλον φλύσχη



Γεωλογικές συνθήκες

Τεχνικογεωλογικοί τύποι

Συμπεριφορά βραχομαζών

Τεχνηογεωλογικοί τύποι Φλύσχη

Το υπό διάνοιξη γεωυλικό είναι γενικά αδιαπέρατο. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας πάνω από το επίπεδο της σήραγγας, γεγονός το οποίο προφανώς επηρεάζει τη γεωτεχνική συμπεριφορά των ασθενών σχηματισμών, ενώ δεν δημιουργούνται προβλήματα εισροών.



Στη διάνοιξη σηράγγων μέσα από μεγάλες τεκτονικές γραμμές, έστω και κάθετα σε αυτές, η βραχομάζα είναι πολύ διαταραγμένη σε ευρεία κλίμακα λόγω κυρίως των δορυφόρων επιππεύσεων και διατμήσεων.

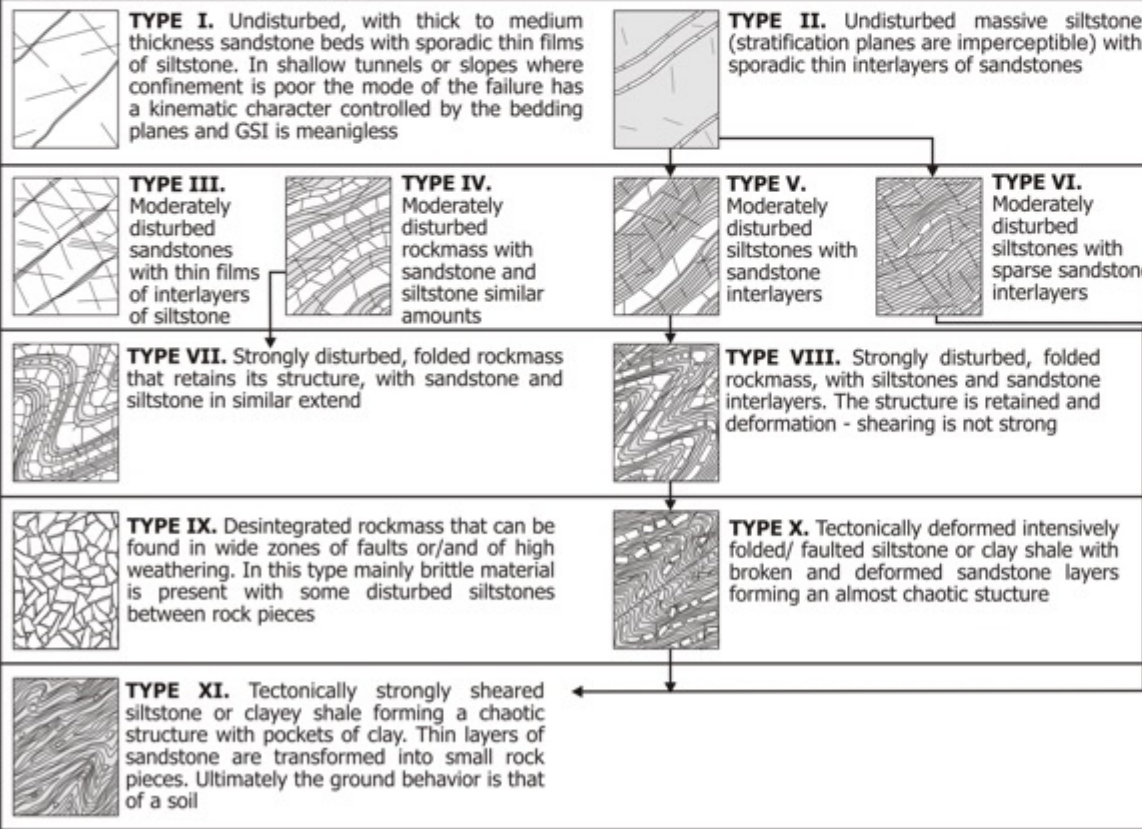


Γεωυλικά με έντονη παραμόρφωση αλλά με διατήρηση της δομής τους

Heterogeneous rock masses (Elysch type) formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of the rock mass, the GSI value should be estimated.

based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

STRUCTURE AND COMPOSITION



SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding plane)	DECREASE OF THE QUALITY OF DISCONTINUITIES →				
	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered or oxidized surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings with angular fragments	VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
80	I	II	N/A	N/A	
70					
60		III	IV	V	VI
50					N/A
	N/A		40	VII	VIII
	N/A			IX	X
	N/A	N/A			XI
					10

N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Φλύσχη

Παράμετροι άρρηκτου βράχου

ΤΥΠΟΣ ΦΛΥΣΧΗ	GSI	σ_{ci} MPa	m_i	E_i GPa	σ_{cm} MPa	E_m (2006) GPa
I	65	40	17	10	12	7
II	60	15	7	3	3	1,5
III	55	40	17	9	10	3,5
IV	50	23	10	5,5	4	1,5
V	45	18	8	4	2,5	0,9
VI	40	15	7	3	1,7	0,5
VII	35	23	10	5,5	2,5	0,6
VIII	25	18	8	4	1,5	0,25
IX	30	22	9,5	5,2	2	0,4
X	20	15	7	3,3	1	0,15
XI	15	<10	6	2	0,5	0,08



Είναι εξαιρετικά δύσκολη η λήψη δείγματος «άρρηκτου» πυρήνα και αντιπροσωπευτικού δείγματος πετρώματος καθώς επίσης και η προετοιμασία εργαστηριακών δοκιμίων.



Τοπικός λυγισμός μεταλλικού πλαισίου λόγω υπερφόρτισης του κελύφους της άνω ημιδιατομής



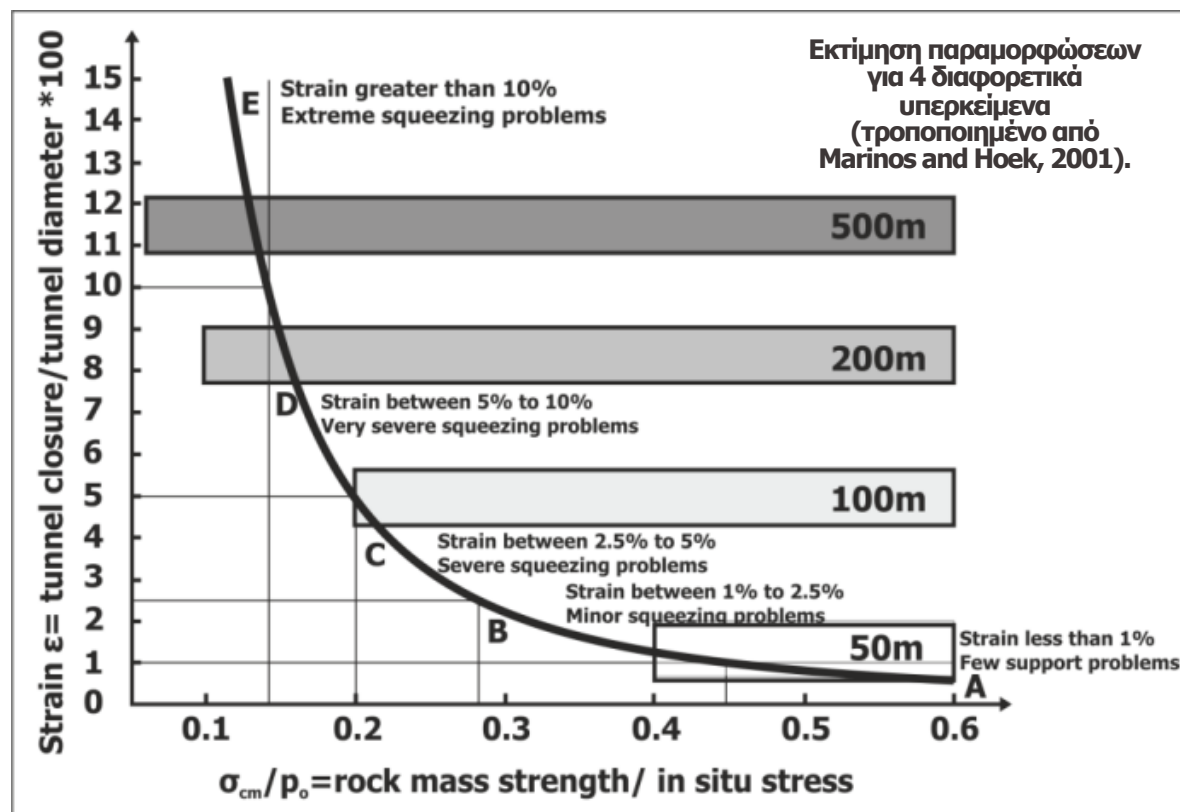
Θραύση του εκτ. σκυροδέματος στη θέση του προσωρινού ανάστροφο τόξου



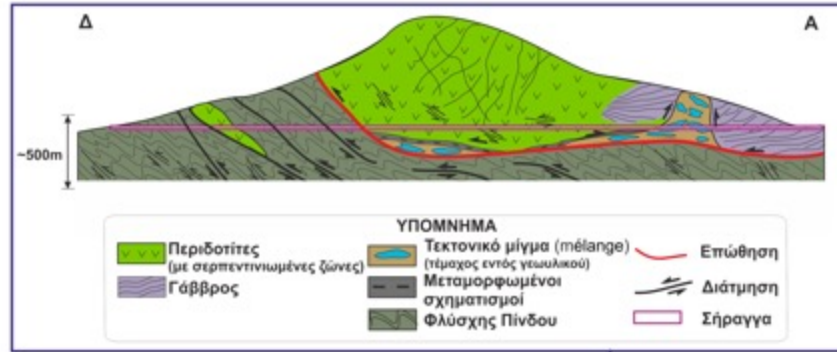
Θραύση του εκτ. σκυροδέματος



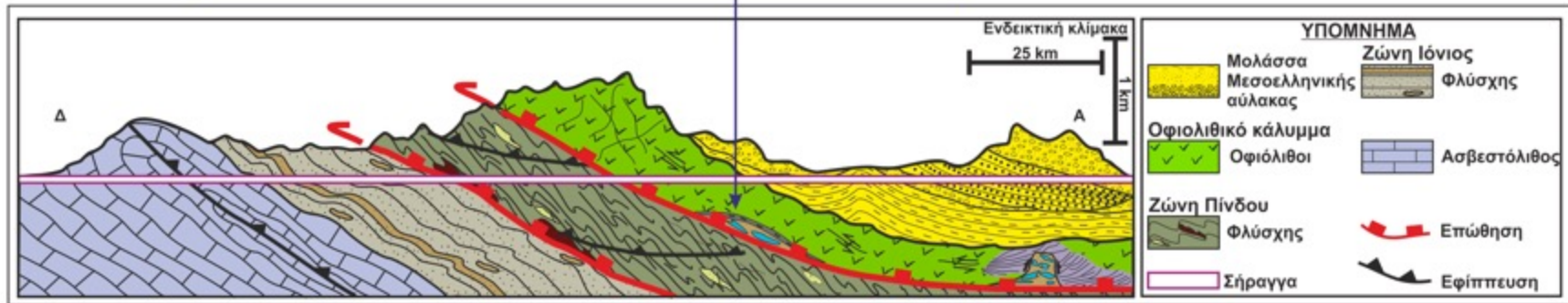
Λυγισμός δικτυωτών πλαισίων



Παράδειγμα τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης σήραγγας



Τεχνικογεωλογικό πρότυπο σε περιβάλλον οφιολιθικού συμπλέγματος



Γεωλογικές συνθήκες				
Τεχνικογεωλογικοί τύποι				
Συμπεριφορά βραχομαζών				

Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Οφιολιθικού συμπλέγματος

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα χαρακτηρίζεται από υποκείμενα

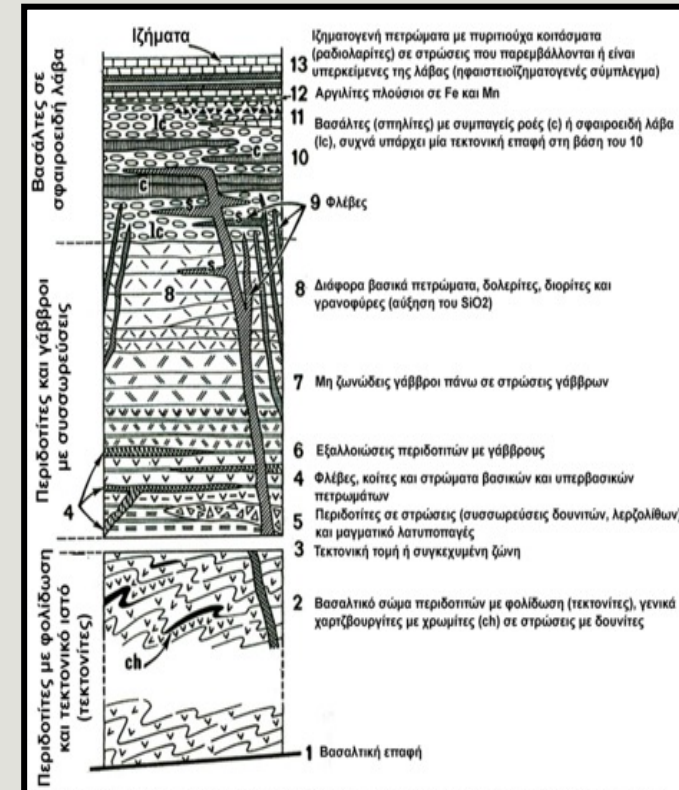
περιδοτικά πετρώματα, καλυμμένα από *γαββρικά πετρώματα*, τα

οποία με τη σειρά τους καλύπτονται από *βασάλτες ή σπηλίτες*.

Οι υπερκείμενοι βασάλτες είναι είτε *συμπαγείς ή έχουν τη μορφή*

σφαιροειδούς λάβας. Ανάμεσα υπάρχουν *αποθέσεις*

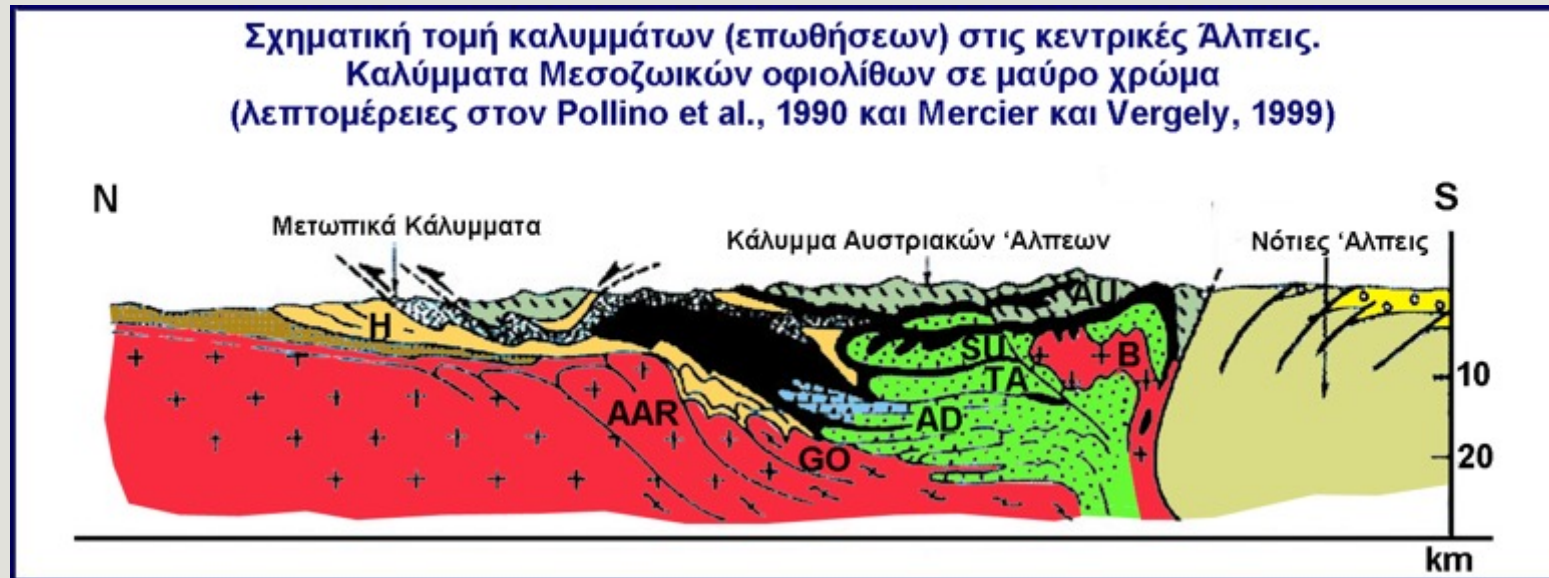
ιζηματογενών πετρωμάτων.



Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Οφιολιθικού συμπλέγματος

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα χαρακτηρίζεται από υποκείμενα *περιδοτικά πετρώματα*, καλυμμένα από *γαββρικά πετρώματα*, τα οποία με τη σειρά τους καλύπτονται από *βασάλτες ή σπηλίτες*.

Οι υπερκείμενοι βασάλτες είναι είτε *συμπαγείς ή έχουν τη μορφή σφαιροειδούς λάβας*. Ανάμεσα υπάρχουν *αποθέσεις ιζηματογενών πετρωμάτων*.



Τεχνικογεωλογικοί τύποι Οφιολιθικού συμπλέγματος

Κύρια Χαρακτηριστικά: Τεκτονική + Σερπεντινίωση

Η **εξαλλοίωση** σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών, και συγκεκριμένα του ολιβίνη σε σερπεντίνη – ένα ορυκτό με ινώδη ή φυλλώδη μορφή.

Αρχικά συμπαγές, έπειτα λιγότερο ισχυρό που εύκολα μπορεί να διατμηθεί από τεκτονικές διεργασίες.



Σύνθετη βραχόμαζα

- Η σερπεντινίωση: Ακανόνιστη και σε οποιαδήποτε βάθος
- Συνθετότητα στην οριοθέτηση συγκεκριμένων ζωνών διαφορετικής ποιότητας
- Τεκτονικές εναλλαγές με άλλα γεωυλικά όπως οι σχιστοκερατόλιθοι.

Ασθενής βραχόμαζα

- Σερπεντινίωση – Φυλλοποίηση – Αργιλοποίηση
- Κερματισμός – σχιστοποίηση – διάτμηση
- Τεκτονική καταπόνηση

Τεχνικογεωλογικοί τύποι Οφιολιθικού συμπλέγματος

Διακριτοποίηση τύπων βραχώμαζας οφιολιθικού συμπλέγματος

Περιδοτίτες

Τύπος I

Συμπαγής με λίγες μόνο ασυνέχειες σε αραιά διαστήματα, ακόμα και κοντά στην επιφάνεια σε τεκτονικά ήρεμες περιοχές ή σε ζώνες «τεκτονικής σκιάς».

Η κατάσταση των διακλάσεων είναι τραχείες με καλή έως πολύ καλή ποιότητα.

GSI >65.

$\sigma_{ci} = 100-250 \text{ MPa}$

Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Οφιολιθικού συμπλέγματος

Διακριτοποίηση τύπων βραχόμαζας οφιολιθικού συμπλέγματος

Σερπεντινωμένοι Περιδοτίτες

Τύπος II

- Η серπεντινίωση περιορίζεται στην επιφάνεια ασυνεχειών.
- Η αρχική τραχεία κατάσταση των διακλάσεων μειώνεται δραματικά σε πτωχή ή πολύ πτωχή, με επιστρώσεις λείων και ολισθηρών υλικών, όπως ο серпεντινίτης ή ακόμα και ο τάλκης.
- GSI: 40 - 65.
- $\sigma_{ci} = 100-250 \text{ MPa}$



Τεχνικογεωλογικοί τύποι Οφιολιθικού συμπλέγματος

Διακριτοποίηση τύπων βραχόμαζας οφιολιθικού συμπλέγματος

Σερπεντινίτης

Τύπος III

- Σερπεντινίωση έχει επηρεάσει το σύνολο της βραχόμαζας
- Εκτεταμένος θρυμματισμός της δομής της βραχόμαζας.
- Εάν η σερπεντινίωση σχετίζεται και με τεκτονική ώθηση, η βραχομάζα είναι πτωχή, με σχιστώδη, διαταραγμένη δομή
- GSI: 30 - 45.
- $\sigma_{ci} = 45-60$ MPa

Συμπαγής σερπεντινίτης



Σχιστοποιημένος σερπεντινίτης



Τεχνικογεωλογικοί τύποι Οφιολιθικού συμπλέγματος

Διακριτοποίηση τύπων βραχώμαζας οφιολιθικού συμπλέγματος

Διατμημένοι-Φυλλώδεις Σερπεντινίτες

Τύπος IV:

- Έλλειψη τεμαχώδους δομής: ολισθηρά φυλλώδη κομμάτια και μικρές φολίδες μεγέθους εκατοστών ή χιλιοστών.
- GSI: 15-25
- $\sigma_{ci} = 5-20$ MPa



Τεχνικογεωλογικοί τύποι Οφιολιθικού συμπλέγματος

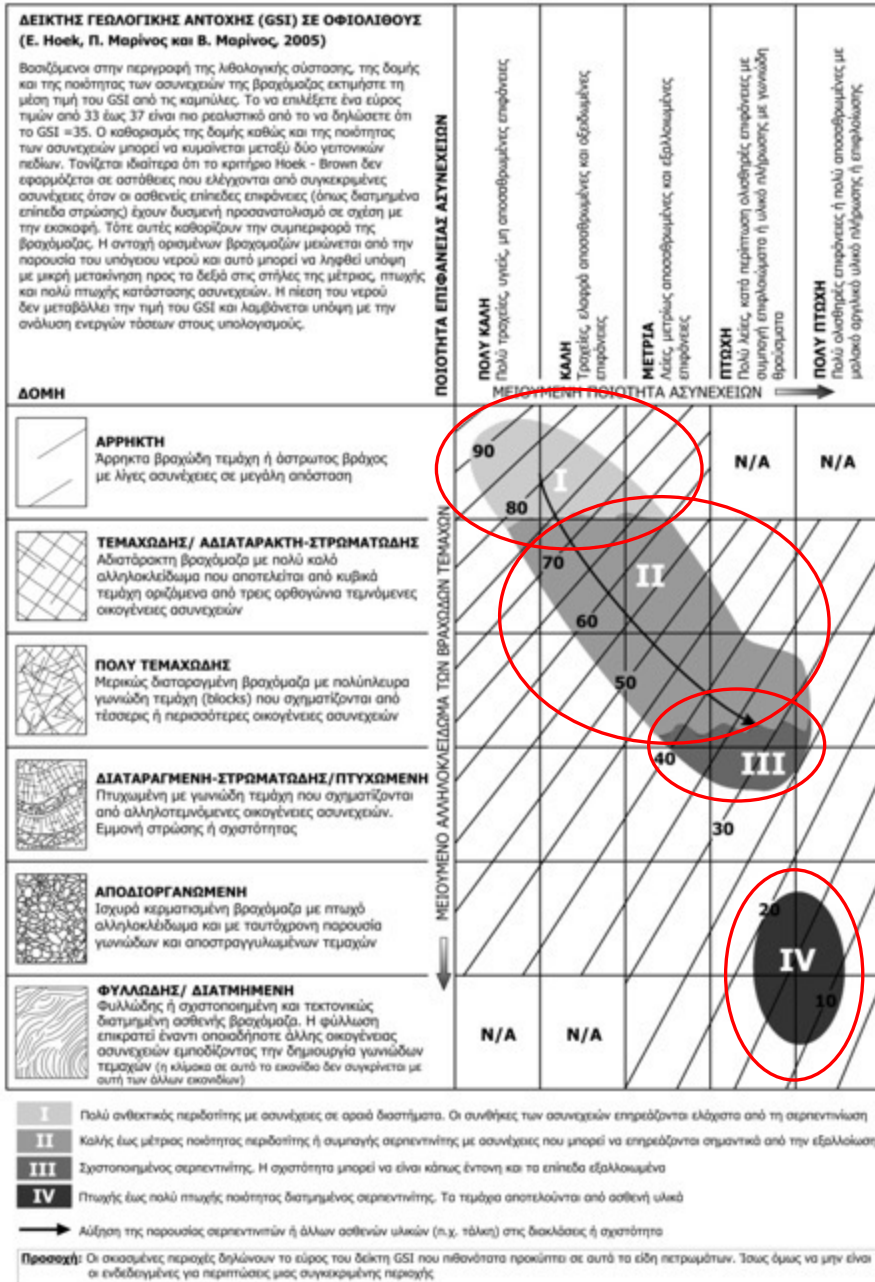
Πεδία προβολής GSI των βραχομαζών του οφιολιθικού συμπλέγματος.

Κύρια χαρακτηριστικά των βραχομαζών:

- **σερπεντινίωση** ως φαινόμενο μεταβολής τόσο των χαρακτηριστικών ασυνεχειών αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και της δομής
- **διάτμηση** της βραχόμαζας που οδηγεί στη μεταβολή της δομής

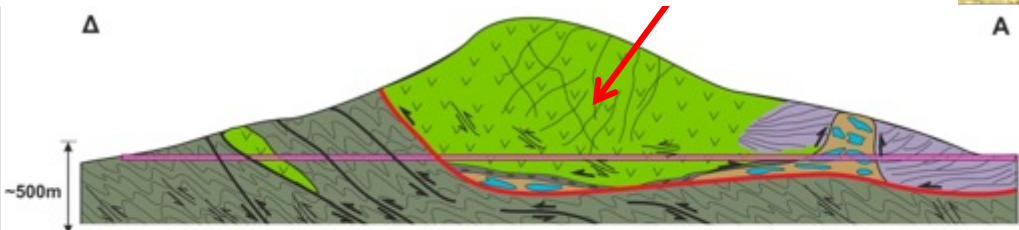
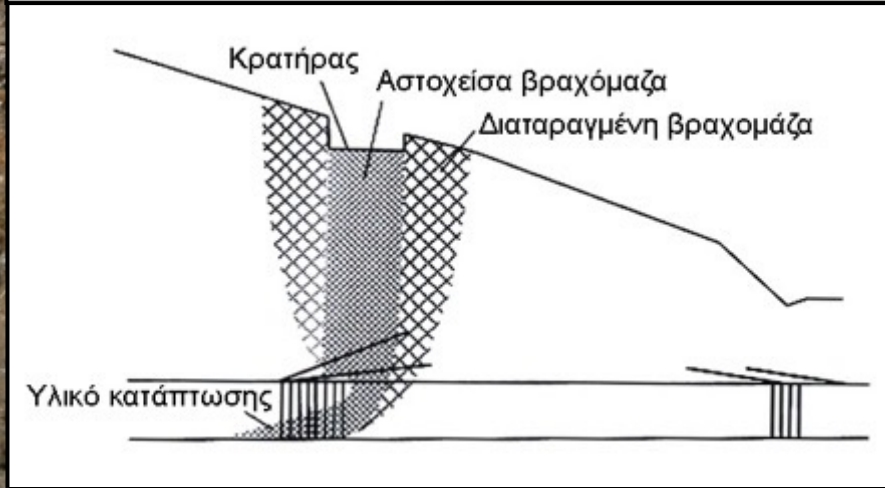


IV





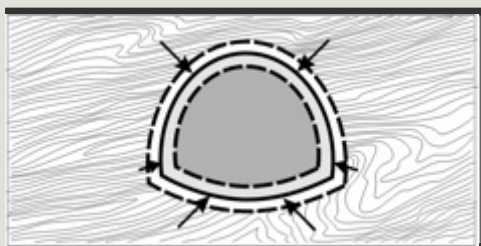
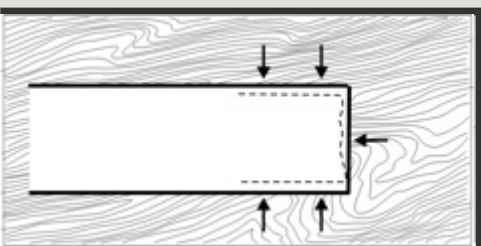
Διέλευση περιοχής αστοχίας με διπλή ομπρέλλα προπορείας



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

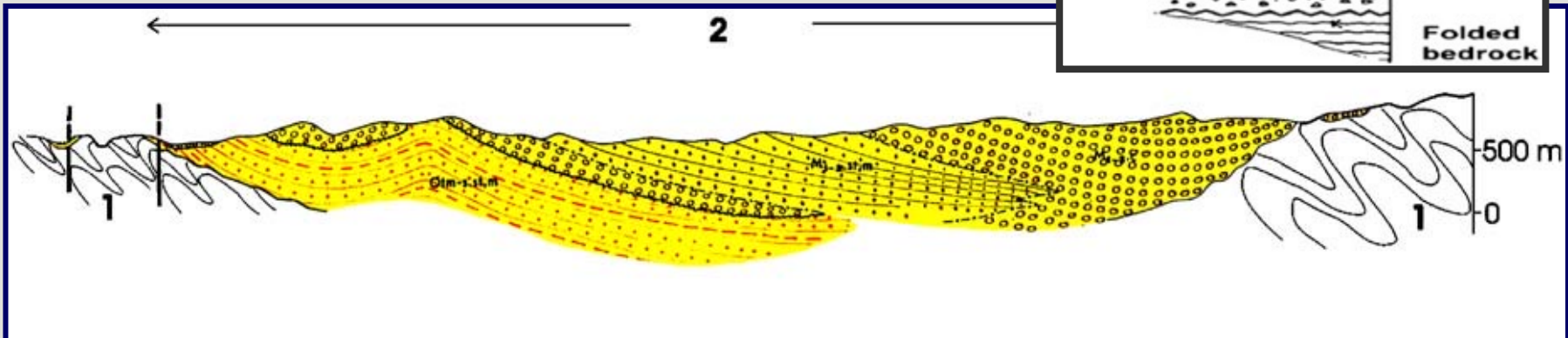
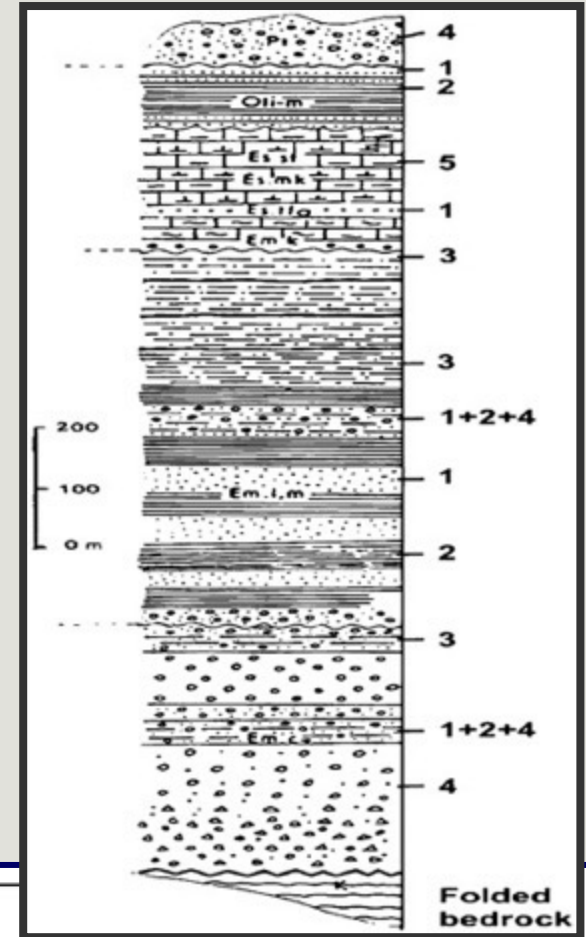
Περιδοτίτες (με σερπεντινωμένες ζώνες)	Τεκτονικό μίγμα (mélange) (τέμαχος εντός γεωυλικού)	Επώθηση
Γάββρος	Μεταμορφωμένοι σχηματισμοί	Διάτμηση
Φλύσχης Πίνδου	Σήραग्γα	

II. Ολίσθηση σφηνών ανάλογα με τη
III. Σημαντικές καταπτώσεις τύπου καμινάδας (Ch) λόγω του έντονου οξείας κερματισμού και ακανόνιστων μπλοκ που
IV. Μικρές έως μεγάλες παραμορφώσεις (Sh-Sa) ανάλογα με την πίεση των ανάλογα
I. Πιθανή ολίσθηση σφηνών ανάλογα με τη γεωμετρία των ασυνχειών και της η ή σήραγgas. Ελάχιστες εισροές - σταγόνες. Σε μεγάλα βάθη πιθανές ψαθυρές θραύσεις αν άρρηκτο οριζονται.



Τεχνηογεωλογικοί τύποι Μολάσσας

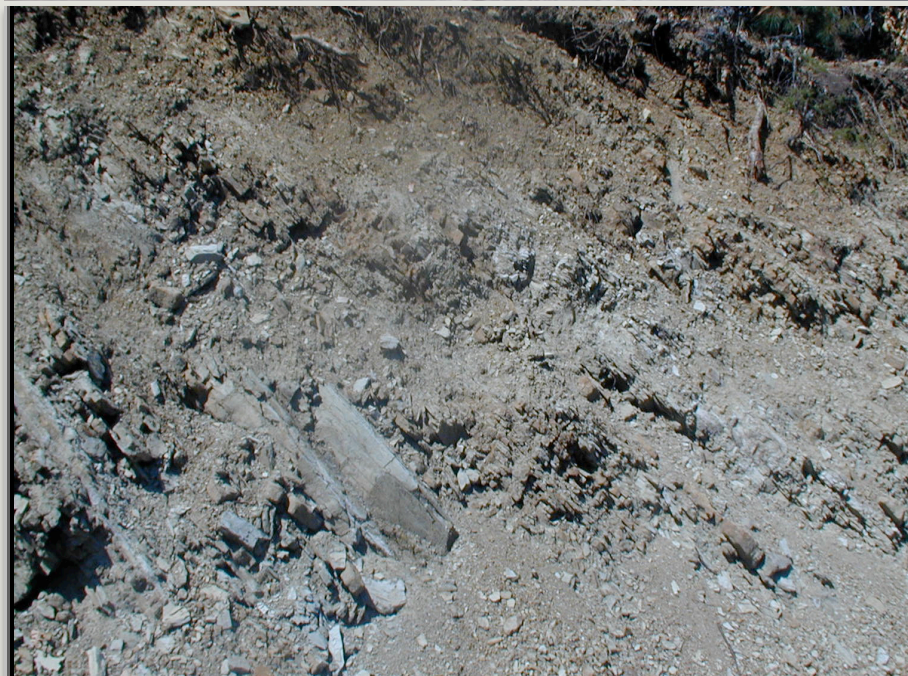
- Σειρά ιζημάτων που σχηματίστηκαν και εξελίχθηκαν μετά την ορογένεση
- Ήρεμο τεκτονικό περιβάλλον
- Δεν παρουσιάζουν πτυχώσεις ή περιέχουν ήπιες πτυχές ή καμπυλώσεις.
- Η κλίση των στρωμάτων είναι συνήθως μικρή





Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Μολάσσας

- Εναλλαγές ικανών - καλής γενικά αντοχής- τραπεζών (στρωμάτων) ψαμμίτη ή/και κροκαλοπαγούς και μη ικανών - μέτριας ή μικρής γενικά αντοχής - στρωμάτων ιλυολίθου ή αργιλολίθου
- Σχιστοποιημένοι-στρωματώδεις στην επιφάνεια (υφίστανται σχάση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες).
- Παρουσία ιλυολιθικών-αργιλικών πετρωμάτων
- Πτωχή - ασθενής διαγένεση σε ορισμένες περιπτώσεις
- Η επίδραση του νερού είναι επιβαρυντική για τα ιλυολιθικά - αργιλικά μέλη και τις ασυνέχειές τους





Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Μολάσσας

Δεν έχει υποστεί συμπίεση, διατμήσεις, πλαστική παραμόρφωση (πτυχώσεις) Μαζώδης-συνεχής-συμπαγής στο βάθος (~10-15m), λόγω του περιορισμού-περίσφιγξης της βραχώμαζας και της ήρεμης τεκτονικής εξέλιξης
Η χαμηλή ποιότητα είναι περιορισμένη και εμφανίζεται μόνο τοπικά
Δεν υπάρχουν ευρείες ζώνες πτωχών μηχανικών χαρακτηριστικών (κερματισμένες, πτυχωμένες ή διατμημένες)
Η συνολική περατότητα μειώνεται άμεσα με το βάθος.



Τεχνηογεωλογικοί τύποι Μολάσσας

Διαφορά δομής επιφάνειας-βάθους στις Μολάσσες

Αλλαγή δομής Μολάσσας (“σχάση και κατάρρευση”) μετά από έκθεση Ψαμμιτών - ιλυολίθων στην επιφάνεια.



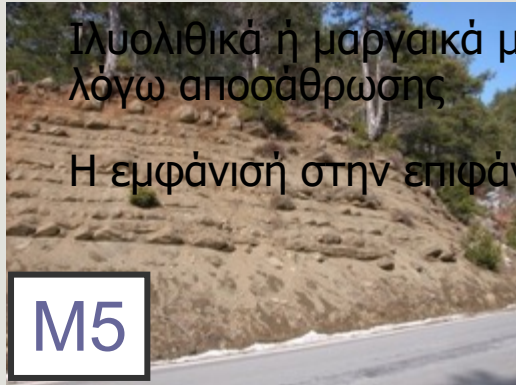
Δείγμα μολάσσας αμέσως μετά τη διάτρηση



Το ίδιο δείγμα μετά από λίγους μήνες, έχοντας “καταρρεύσει”

Τεχνηγεωλογικοί τύποι Μολάσσας

Διακριτοποίηση βραχομαζών μολάσσας στην επιφάνεια



Ιλυολιθικά ή μαργαικά μέλη εμφανίζονται με σχιστοποιημένη έως αποδιοργανωμένη δομή λόγω αποσάθρωσης. Η εμφάνισή στην επιφάνεια αντιστοιχεί σε αυτή του φλύσχου (επιφανειών).



Πεδία μεταβολών του GSI για την Μολάσσα με σχάσιμη δομή και εκπεφρασμένα επίπεδα στρώσης (κυρίως σε επιφανειακές εκσκαφές-πρανή)



STRUCTURE AND COMPOSITION (Predominantly bedding planes)	SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)				
	VERY GOOD Very rough, fresh, unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Sticksided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments	VERY POOR Sticksided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
<p>TYPE M3. Thick bedded, very blocky sandstone or strongly cemented conglomerates. The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability</p>	70	60	M3	50	
<p>TYPE M4. Sandstone or strongly cemented conglomerates with thin inter-layers of siltstone</p>			M4	M5	M6
<p>TYPE M5. Sandstone and conglomerates with fissile siltstone in similar amounts</p>					30
<p>TYPE M6. Fissile siltstone or silty shale with sandstone layers</p>					20
<p>TYPE M7. Undisturbed silty shales with or without a few very thin sandstone layers</p>				M7	10

Συμπεριφορά βραχομαζών Μολάσσας

Η πιο τυπική περίπτωση για όλες τις μολάσσες σε βάθος

Τοπικές βαρυτικές αστοχίες

Αμελητέες παραμορφώσεις

Σε μεγάλα βάθη στα συμπαγή και υψηλής αντοχής γεωυλικά μπορεί να απαντηθούν ψαθυρές θραύσεις



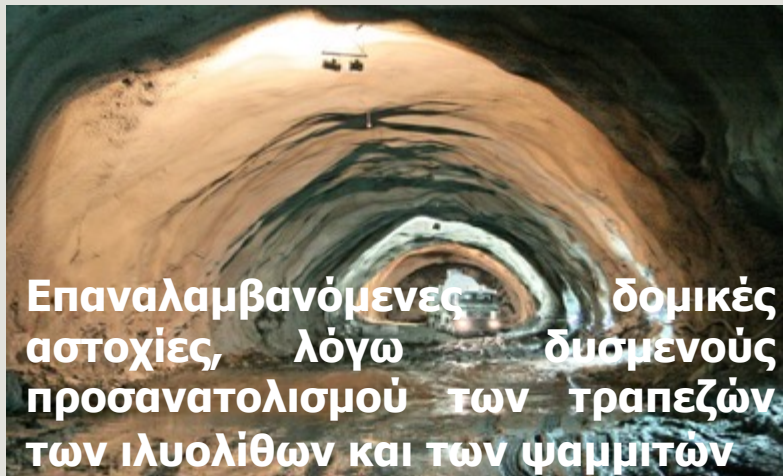
TUNNELL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*					
ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)				OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		
	Low σ_c	High σ_c	Low σ_c	High σ_c	
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 	2 	3 	4 	
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	5 	6 	7 	8 	
VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	9 	10 	11 	12 	
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	13 	14 	15 	16 	
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	17 	18 	19 	20 	
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	21 	22 	23 	24 	

M1

Συμπεριφορά βραχομαζών Μολάσσας

Συστηματικές βαρυτικές (σφηνοειδείς) αστοχίες

Περιπτώσεις χαμηλής αντοχής άρρηκτου βράχου (επικράτηση ιλυολίθου) υπό υψηλά υπερκείμενα.



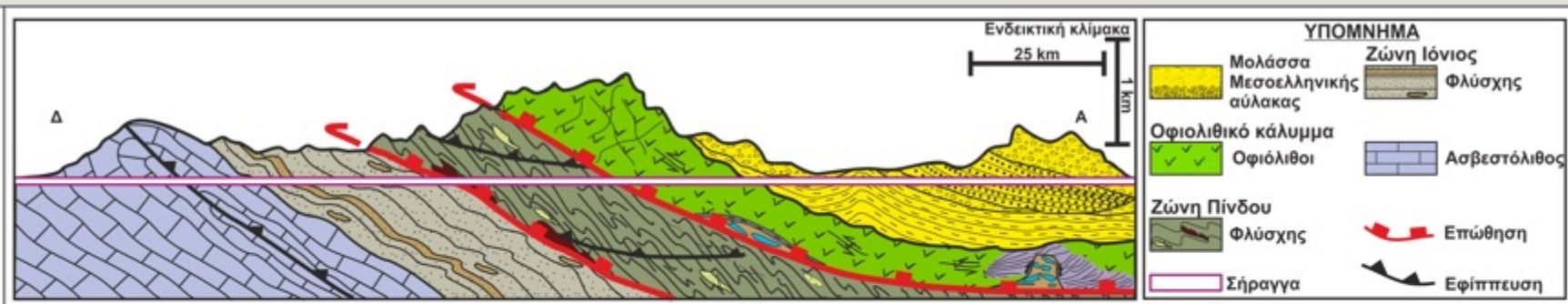
TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*						
ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)					
	Small overburden		Large overburden			
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa Low σ_c High σ_c		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa Low σ_c High σ_c			
<p>INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 150 m		1	2	3	4
	St	St	Sh	St		
<p>BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets</p>	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 100 m		5	6	7	8
	Wg	Wg	Sh-Wg	St-Wg		
<p>VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets</p>	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m		9	10	11	12
	Wg-Ch Sh	Wg-Ch	Sh	Wg		
<p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed</p>	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m		13	14	15	16
	Ch-Wg Sh	Ch-Wg	S(Sh-Sq) Ch	Ch-Sh		
<p>DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m		17	18	19	20
	Sh-Rv	Rv	Sq-Ch	Ch-Sh		
<p>LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)</p>	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m		21	22	23	24
	Sh-Ch	Sh-Ch	Sq	Sq		

Από το γεωλογικό μοντέλο

Μοντέλο της βραχομάζας (Τύποι)

Συμπεριφορά της βραχομάζας

Αρχές Υποστήριξης

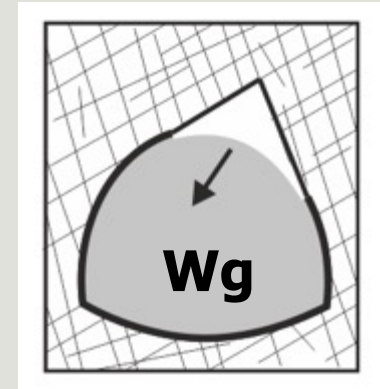


Γεωλογικές συνθήκες	Ασβεστόλιθος				Φλύσχης Ιόνιας		Φλύσχης Πίνδου		Οφιόλιθοι			Μολάσσα		
Τεχνικογεωλογικοί τύποι	L1	L2	L3	L4	F1	F2	F3	F4	O4	O2	O3	M2	M1	M3
Συμπεριφορά βραχομαζών	Wg	Ch	Rv	Ch	St	Wg	San	Sq	Sq	Wg	Ch	St	Ch-Wg	Ch-Wg
		Rv			Wg				Ch	Sh		Wg	Sh	

Αστάθεια λόγω δομικών ασυνεχειών – σφήνες

Συμπεριφορά βραχόμαζας:

Αστάθεια λόγω δομικών ασυνεχειών, π.χ σφήνες (σε χαμηλές - μέσες τάσεις)



Αρχές αντιμετώπισης:

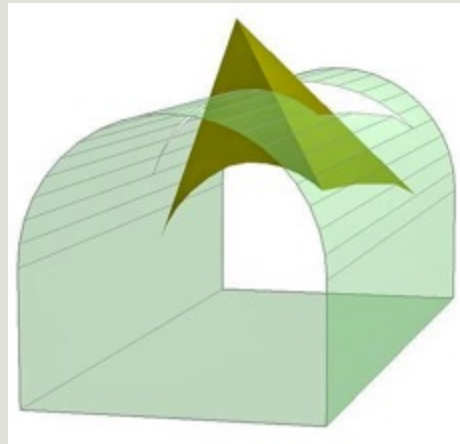
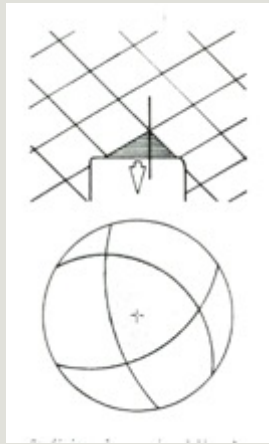
Περιορισμός χαλάρωσης και αποδιοργάνωσης της μάζας. Συγκράτηση διακριτών ασταθών τεμαχών

Σχεδιασμός:

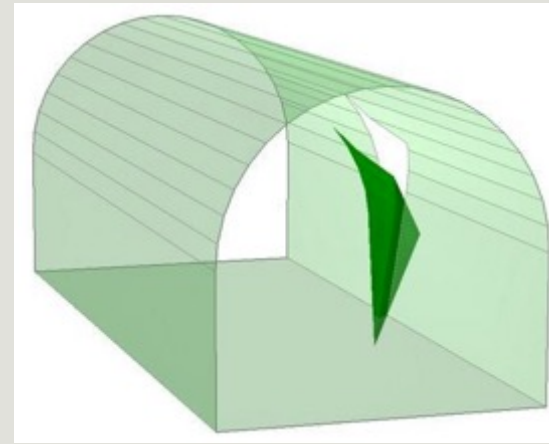
Ανάλυση σφηνών



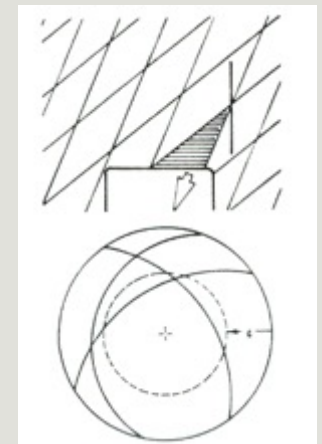
Δυσμενής δομική διάταξη ασυνεχειών: Σφήνες



Πτώση σφήνας

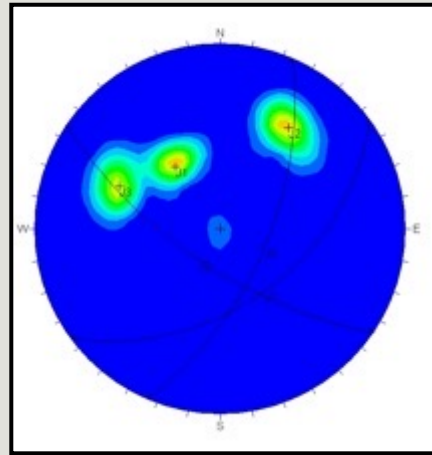
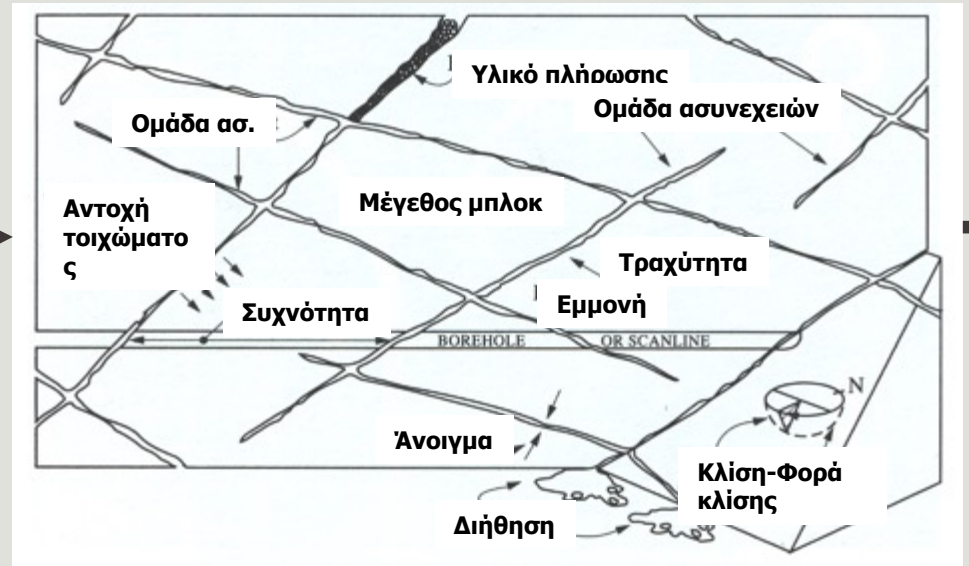


Ολισθήση σφήνας

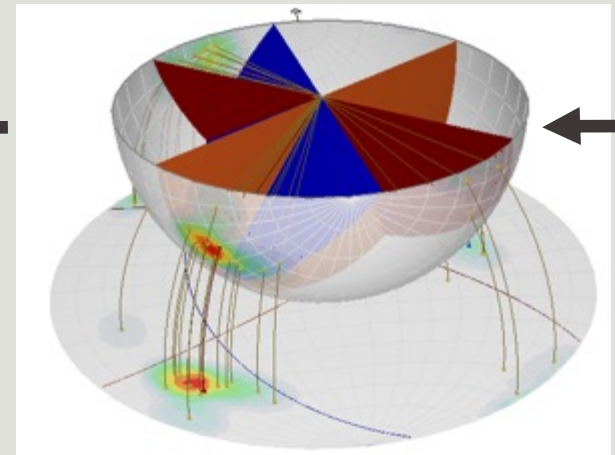


Τα απαραίτητα για την αντιμετώπιση:

1. Αναζήτηση και μετρήσεις του προσανατολισμού των σημαντικών ασυνεχειών που παρουσιάζουν και εμμόνη – Υπολογισμός της διατμητικής αντοχής ασυνεχειών
2. Προσδιορισμός των δυνητικών σφηνών που μπορούν να πέσουν ελεύθερα ή να ολισθήσουν από την οροφή ή τα τοιχώματα
3. Υπολογισμός του συντελεστού ασφαλείας αυτών των σφηνών ανάλογα με τον τρόπο αστοχίας
4. Υπολογισμός της αναγκαίας υποστήριξης ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να βρεθεί στα παραδεκτά επίπεδα



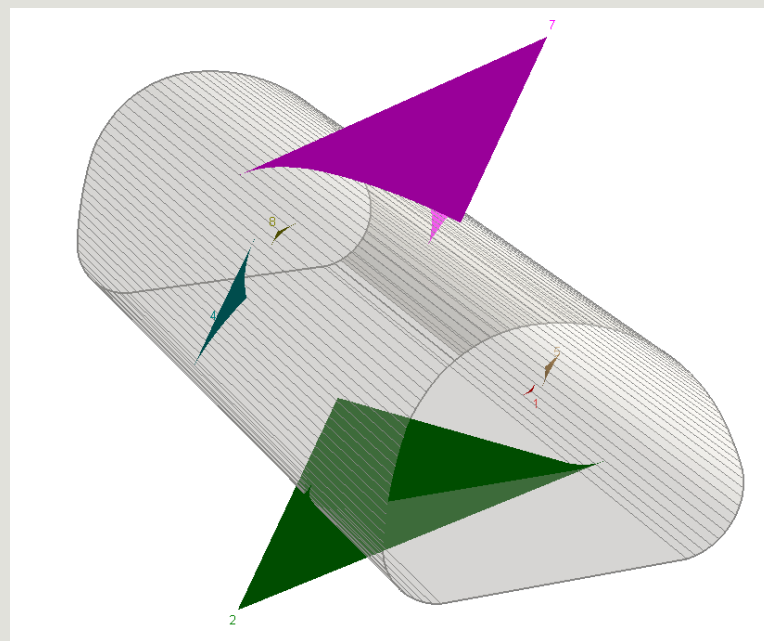
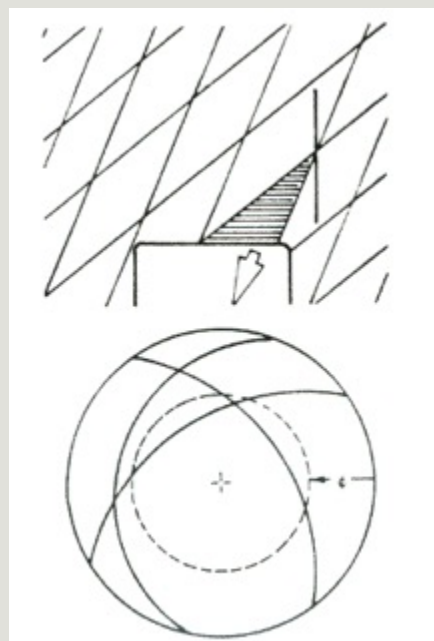
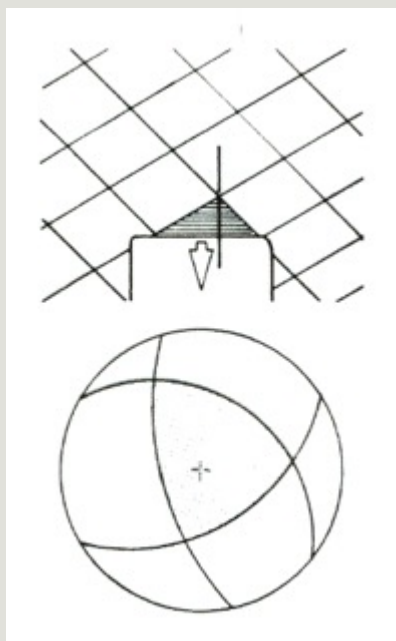
Προσδιορισμός των των ασυνεχειών και τομών



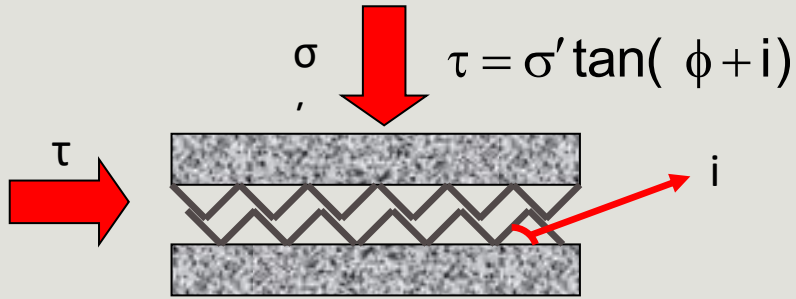
Σtereογραφική προβολή ασυνεχειών βράχου μέσω των πόλων



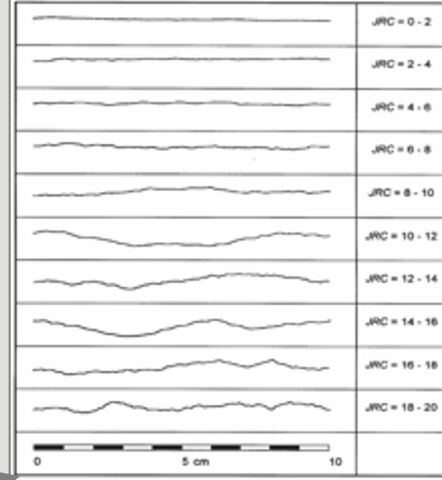
2. Προσδιορισμός των δυνητικών σφηνών που μπορούν να πέσουν ελεύθερα ή να ολισθήσουν από την οροφή ή τα τοιχώματα



Διατμητική αντοχή ασυνεχειών

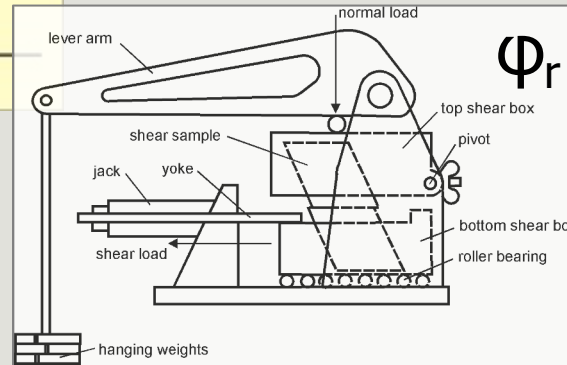
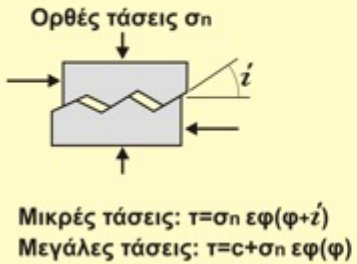


JRC

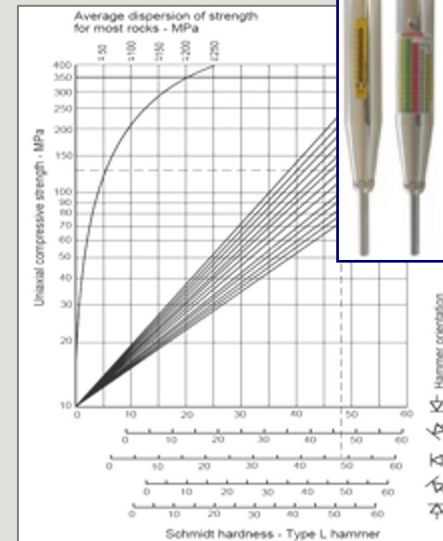


$$\tau = \tan \left\{ \phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right\}$$

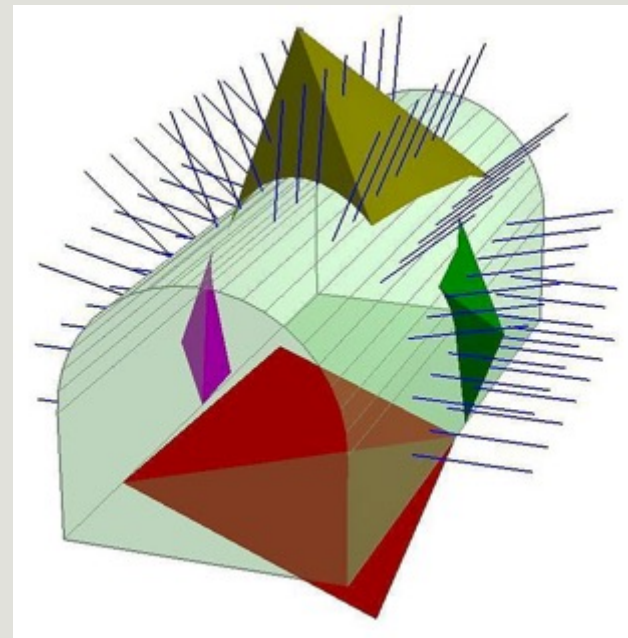
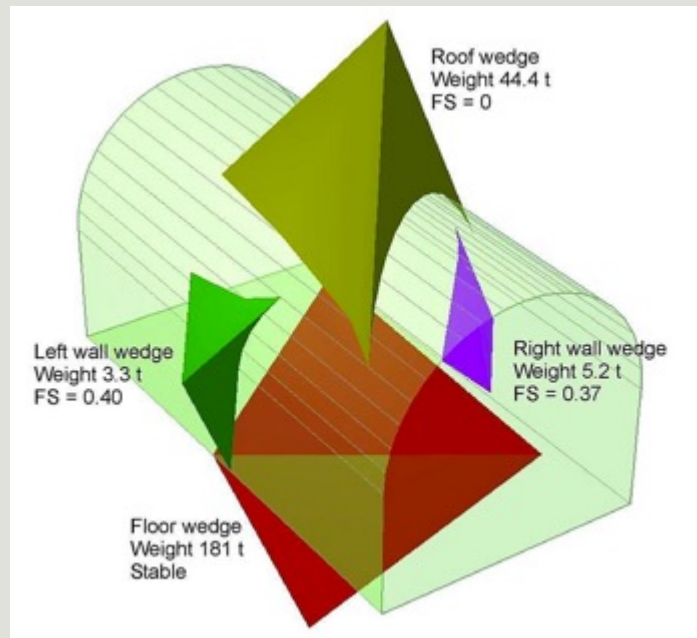
PATTON



JCS



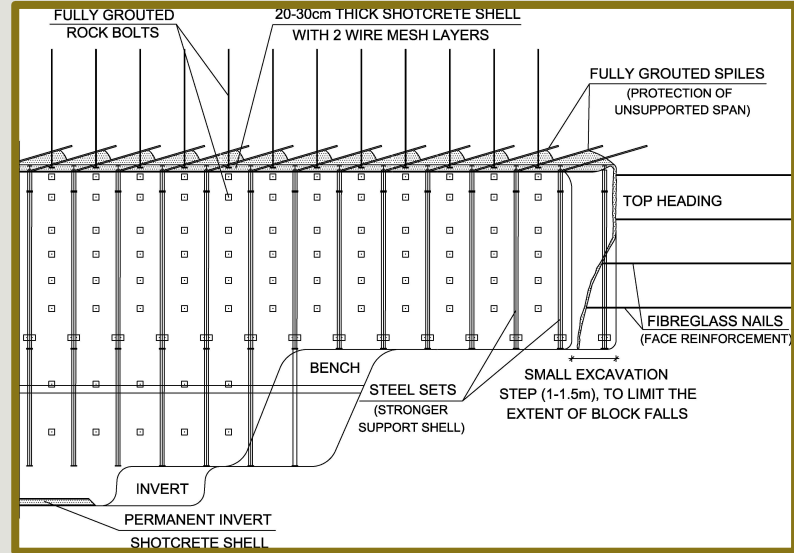
3. Υπολογισμός του συντελεστού ασφαλείας αυτών των σφηνών ανάλογα με τον τρόπο αστοχίας
 4. Υπολογισμός της αναγκαίας υποστήριξης ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να βρεθεί στα παραδεκτά επίπεδα
-



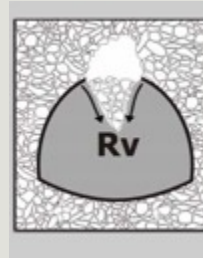
Αρχές υποστήριξης -καταπτώσεις τύπου καμινάδας (Ch)

Αφορά:

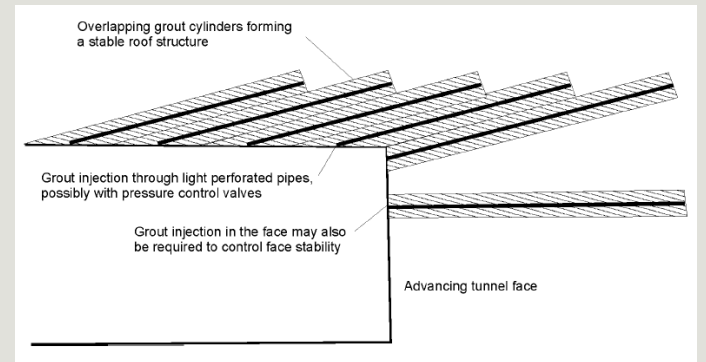
- περιοχές στομίων
- περιοχές μικρών υπερκειμένων
- Ζώνες ρηγμάτων
- Εκτός από εκτ. σκυρόδεμα και αγκύρια , ελαφρού τύπου πλαίσια μπορεί να απαιτηθούν
- Βήμα εκσκαφής περιορισμένο (~2m) για την αποφυγή βαρυτικών ασταθειών και τον έλεγχο παραμορφώσεων στα μεγάλα βάθη



Αρχές υποστήριξης σε καταρρέοντα εδάφη (Rv)



	<p>Σταθεροποιημένη σήραγγα από την προηγούμενη προχώρηση</p>
	<p>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 βραχώμαζας</p>
	<p>Βήμα 2: Αμέσως μετά την εκσκαφή της εγκοπής, εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος στην εκτεθείσα βραχώμαζα της εγκοπής για την συγκράτηση των μικρών τεμαχίων. Εκτοξευμένο σκυρόδεμα και στην αντηρίδα είναι συνήθως απαραίτητο.</p>
	<p>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</p>



Σταθεροποίηση καταρρέουσας βραχώμαζας με ομπρέλα τσιμεντενέσεων (επίσης σταθεροποίηση και του μετώπου)

Υποστήριξη σε συνθλίβοντα εδάφη (S_q)

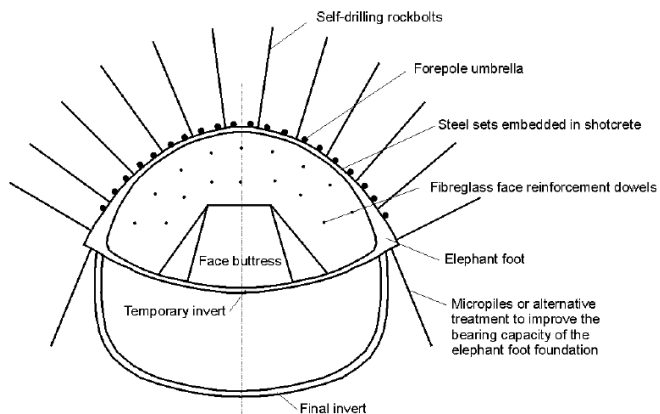
Άκαμπτη

Βαρύ κέλυφος

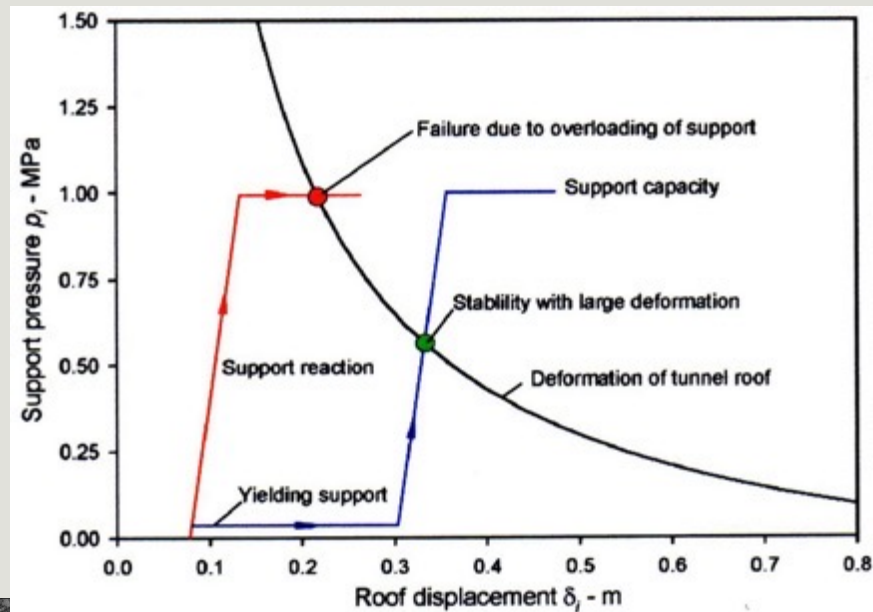


Εύκαμπτη

Υπερεκσκαφή + Σχισμές σύνθλιψης στο κέλυφος



Not to scale - final lining not shown

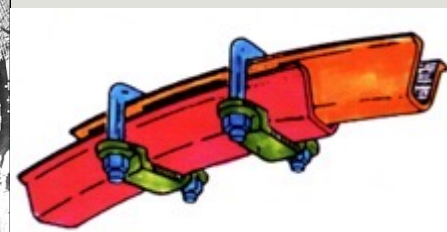


Δοκοί προπορείας, ενίσχυση μετώπου



Tunnel Faïdo

Ολισθαινόντα πλαίσια



Βιβλιογραφία - Προδιαγραφές

Καββαδάς Μ., 2005. Σημειώσεις σχεδιασμού υπογείων έργων. Εκδόσεις ΕΜΠ.

Μουντράκης, Δ.Μ., 2010. Γεωλογία της Ελλάδας. UNIVERSITY STUDIO PRESS. Θεσσαλονίκη.

Παπανικολάου, Δ.Ι., 2003. Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών.

Προδιαγραφές Αττικό Μετρό για τη σύνταξη Γεωλογικών και Τεχνικογεωλογικών Μελετών.

Ο.Σ.Μ.Ε.Ο: Εγνατία Όδος Α.Ε. (Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Εγνατίας Οδού)

Austrian Society for Geomechanics, 2010, *Guideline for the Geotechnical Design of Underground Structures with Conventional Excavation*. Translated from version 2.1, 29 p, 7-page Appendix.

Barton, N. and Choubey, V., 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*, 10(1-2), pp. 1-54.

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. 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.

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., 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).

Hoek, E., Brown, E.T., 1980. *Underground excavations in rock*. Institution of Mining and Metallurgy, London.

Βιβλιογραφία - Προδιαγραφές

- 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., Diederichs, M.S., 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, pp. 203-215.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., and Bawden, W.F., 1995. *Support of underground excavations in hard rock*. Rotterdam, Balkema.
- 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.
- Hudson A.J, and Harrison P.J, 1997. *Engineering rock mechanics*.
- Kaiser, P.K., Diederichs, M.S., Martin, D., Sharp, J. and Steiner, W., 2000. *Underground works in hard rock tunnelling and mining*. Proc. GeoEng2000, pp 841-926, Melbourne, Technomic publishers, Lancaster.
- 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.
- Marinos, G., 1974. Geology of Orthrys and issues on its ophiolites. *Ann Géol d Pays Helléniques*, University of Athens, 26, pp. 118-148.
- Marinos V. (2012). «Assessing rock mass behavior for tunnelling». *Journal of Environmental and Engineering Geoscience*, Vol. XVIII, No. 4, pp. 327-341.
- 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.

Marinos V., Goricki A., Malandrakis E. (2018). Determining the principles of tunnel support based on the engineering geological behaviour types: example on a tunnel in tectonically disturbed heterogeneous rock in Serbia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1277-7>

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.

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.

Schubert, W., 2004, Basics and Application of the Austrian Guideline for the Geomechanical Design of Underground Structures, Schubert ed., VGE publisher, *EUROCK 2004 and 53th Geomechanics Colloquium*.

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.

Terzaghi, K., 1946, Rock defects and load on tunnel supports, *Introduction to rock tunnelling with steel supports*, a book by Proctor, R.V. and White, T.L. Commercial Shearing & Stamping Co., Youngtown, Ohio, U.S.A.