

## ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ GSI. ΕΦΑΡΜΟΓΗ, ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΕΔΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

Μαρίνος Β.<sup>1</sup>, Μαρίνος Π.<sup>1</sup>, και Hoek Ε.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου, e-mail: vmarinos@central.ntua.gr, marinos@central.ntua.gr

<sup>2</sup> Consulting Engineer, Vancouver, Canada, e-mail: ehoeck@attglobal.net

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ύστερα από μία δεκαετία εφαρμογής του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής, GSI, για τον ποσοτικό χαρακτηρισμό μίας βραχώμαζας και των, εν τω μεταξύ, επεκτάσεων του, η παρούσα εργασία επιχειρεί να δώσει απαντήσεις στα ερωτήματα που πιθανώς να τίθενται από τους χρήστες κατά τον προσδιορισμό του δείκτη για τις διάφορες καταστάσεις μίας βραχώμαζας. Δίδονται οι σχετικές συστάσεις και επισημαίνονται περιπτώσεις που η εφαρμογή του δείκτη δεν έχει νόημα. Τέλος δίδονται, ενδεικτικά, ως γενική καθοδήγηση, τα πεδία στα οποία συνήθως κινείται ο δείκτης ανάλογα με τον πετρογραφικό τύπο του πετρώματος και τους πλέον συνήθεις χαρακτήρες της δομής του.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ. Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ, GSI.

Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (Geological Strength Index, GSI), που έχει διεθνώς καθιερωθεί για τον ποσοτικό χαρακτηρισμό της ποιότητας μιας βραχώμαζας, έχει τα τελευταία χρόνια ευρύτατη χρήση και στην Ελλάδα.

Ο δείκτης, GSI, εισήχθη από τους Hoek, Wood and Shah (1992) επεκτάθηκε ουσιαστικά για τις ασθενείς βραχώμαζες από τους Hoek, Marinos and Benissi (1998), Marinos and Hoek (2000)<sup>1</sup> και για τον φλύσχη από τους Marinos and Hoek (2000). Τα διαγράμματα του GSI είναι γνωστά αλλά για διευκόλυνση επαναλαμβάνονται στη εργασία αυτή (Σχ. 1 και Σχ. 2). Ο Δείκτης εκτός από τη γεωτεχνική ταξινόμηση, εκφράζει αριθμητικά την απομείωση των σταθερών του υλικού, ανάλογα με την ρωγμάτωση της βραχώμαζας. Αποτελεί λοιπόν σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown και προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα του προσδιορισμού των πλέον αντιπροσωπευτικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των τεχνικών έργων σε περιβάλλον ρωγματομένων βράχων<sup>2</sup>. Ο Δείκτης GSI βασίζεται στην εκτίμηση της δομής και της καταστάσεως των ασυνεχειών της βραχώμαζας και επομένως αποτελεί ένα φιλικό, γεωλογικά, δείκτη που μπορεί να εκτιμάται εύκολα.

### 2 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ

Ακολούθως δίνονται συστάσεις και ορισμένοι περιορισμοί στη χρήση του δείκτη, η ανάγκη διατύπωσης των οποίων προέκυψε από την εμπειρία της μέχρι σήμερα εφαρμογής του.

Γεωλογική Περιγραφή: Συνίσταται η χρήση του διαγράμματος να μη περιορίζεται στα εικονίδια αλλά να διαβάζονται οι περιγραφές και να αναζητείται αυτή που ταιριάζει περισσότερο. Αυτή μπορεί να βρίσκεται και ανάμεσα στα διατυπωμένα εικονίδια.

**Ανισοτροπία:** Το κριτήριο Hoek and Brown (όπως και ανάλογα κριτήρια) προϋποθέτει ότι η βραχώμαζα συμπεριφέρεται ιστροπικά, και δεν υπάρχουν προτιμητέες διευθύνσεις αστοχίας.

<sup>1</sup> Το ιστορικό μπορεί να αναζητηθεί στις εργασίες που αναφέρονται στην βιβλιογραφία

<sup>2</sup> Η πρόσφατη επίλυση του κριτηρίου Hoek and Brown γίνεται με το πρόγραμμα Roclab που μπορεί να αναζητηθεί ελεύθερα στο διαδίκτυο ([www.rocsience.com](http://www.rocsience.com)).

Ανάλογα λοιπόν περιορίζεται και η χρήση του GSI. Μπορεί όμως να εφαρμοσθεί με παραδεκτή ανοχή και σε ανισότροπα μέσα αν η θραύση δεν ελέγχεται από την ανισοτροπία. Πάντως στην περίπτωση που η βραχόμαζα είναι έντονα διακλασμένη και η συνέχεια των εμμενουσών ασυνεχειών, είναι διαταραγμένη, η βραχόμαζα μπορεί να συμπεριφέρεται ισότροπα. Τέλος το δίλημμα ισότροπη ή όχι πρακτικώς δεν τίθεται στις βραχόμαζες με δομή σαν αυτή της 6ης (τελευταίας) σειράς του διαγράμματος GSI επειδή, εκεί, η διαφορά της αντοχής μεταξύ θεμελιώδους μάζας και ασυνέχειας είναι μικρή.

**Πεδίο παρατήρησης και προεκβολή πληροφορίας:** Ο δείκτης εξάγεται από την οπτική εξέταση της βραχόμαζας σε επιφανειακές εμφανίσεις, εκσκαφές, μέτωπα σηράγγων ή πυρήνες γεωτρήσεων. Η εκτίμηση του GSI από γεωτρήσεις είναι αξιόπιστη αρκεί να προεκβάλλεται στον χώρο η γραμμική πληροφορία των πυρήνων.

Στα πρηνή ορυγμάτων αποτιμάται η βραχόμαζα εκείνη μέσα από την οποία εκτιμάται ότι μπορεί να διέλθει μία επιφάνεια θραύσης. Αν υπάρχουν “νησίδες” άλλης ποιότητας υλικού απ’ αυτό που επικρατεί, διορθώνεται κατά κρίση. Δεν συνίσταται γενικώς η εξαγωγή μέσων όρων.

Στις σήραγγες πρέπει να εκτιμάται η βραχόμαζα που θα φέρει τα φορτία, έστω μία ζώνη μέχρι περίπου μία διάμετρο. Η συνεκτίμηση μικρών ή μεγάλων αλλαγών στην βραχόμαζα έξω από το ορατό μέτωπο είναι θέμα κρίσεως. Αν εκτιμάται ότι πιο πτωχή ποιότητας βραχόμαζα είναι σημαντικά παρούσα (και ας μην επικρατεί) ή βρίσκεται σε καίριες θέσεις συγκέντρωσης τάσεων (π.χ. περιοχής ελεφαντοπόδαρου), συνίσταται οι τιμές του GSI να αντιστοιχούν στη ποιότητα αυτή. Αν δεν υπάρχει δυνατότητα προσδιορισμού του GSI ευθέως στο βάθος, εκεί που θα διανοιγεί το έργο, και η εκτίμηση γίνεται από τις επιφανειακές εμφανίσεις λογικό είναι να γίνεται, με γεωλογική πάντα κρίση, μια μετακίνηση προς τα πάνω και ίσως ελαφρά προς τα αριστερά (ανάλογα με τη λογική μείωσης της αποσάθρωσης του πετρώματος με το βάθος). Τούτο ισχύει λιγότερο στις περιπτώσεις δομών των δύο τελευταίων σειρών του διαγράμματος (π.χ. σε μυλονιτωμένο ή διατημημένο υλικό).

**Ανοιγμα ασυνεχειών:** Σε βάθος, η δομή είναι προφανώς πιο πυκνή. Το γεγονός, εκτός ακραίων περιπτώσεων, δεν πρέπει να προβληματίζει αφού στην εφαρμογή του κριτηρίου Hoek and Brown η χαλάρωση της βραχόμαζας (π.χ. κοντά στα πρηνή) βαθμονομείται με τον δείκτη διαταραχής D (Hoek, Carranza-Torres and Corkum, 2002).

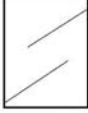
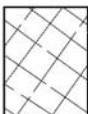




**Πολύ μεγάλα βάθη:** Σε πολύ μεγάλα βάθη (π.χ. πολλές εκατοντάδες μέτρα) οι βραχόμαζες έχουν τόσο σφικτή δομή που το πέτρωμα πλησιάζει τη συμπεριφορά του άρρηκτου βράχου. Εδώ η τιμή GSI πρέπει να μετακινείται πολύ περισσότερο προς τα αριστερά και προς τα πάνω και οριακά προς την κατάσταση του άρρηκτου βράχου. Η ανωτέρω διόρθωση δεν ισχύει όταν η τεκτονική καταπόνηση είναι έντονη.

**Ασυνέχειες με υλικό πλήρωσης:** Η κατάσταση μπορεί να προσομοιωθεί με πτωχή κατάσταση ασυνεχειών και ήδη το βασικό διάγραμμα GSI την περιγράφει. Αν το υλικό πλήρωσης είναι συστηματικό και παχύ η βραχόμαζα μπορεί να ταξινομηθεί από το διάγραμμα GSI για ετερογενείς βραχόμαζες (φλύσχη), π.χ. στην περιοχή B και C.

**Νερό:** Η διατημητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται με την παρουσία νερού σε πετρώματα ή σε υλικό πλήρωσης που είναι επιδεικτικά σε εξασθένηση από μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας. Αυτό αναφέρεται πρακτικά σε περιπτώσεις που αντιστοιχούν στις τρεις τελευταίες κολώνες. Συνίσταται η μετακίνηση προς τα δεξιά. Η πίεση του νερού λαμβάνεται υπ’ όψη ανεξάρτητα, στην ανάλυση κατά τον σχεδιασμό.

**Αποσαθρωμένη βραχόμαζα:** Προφανώς οι τιμές GSI αντιστοιχούν σε πιο δεξιές θέσεις από εκείνες της ίδιας βραχόμαζας όταν δεν είναι αποσαθρωμένη. Αν η αποσάθρωση ή η εξαλλοίωση έχει προχωρήσει και στη θεμελιώδη μάζα, τότε (μόνο) θα πρέπει να μειώνεται ανάλογα και το  $m_i$ ,  $\sigma_{ci}$ . Αν η αποσάθρωση έχει προχωρήσει ώστε να εξαφανισθεί η λογική των ασυνεχειών τότε η μάζα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με τη λογική του εδάφους.

**Άρρηκτοι βράχοι:** Κυρίως πρόκειται για μεταλλικά πετρώματα που η ενδεχόμενη αστοχία τους ελέγχεται πλήρως από την κύρια μάζα και συνεπώς οι γεωτεχνικές παράμετροι πρέπει να βασίζονται σε εργαστηριακές δοκιμές.

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφάνειας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. <u>Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες.</u> Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων. <b>ΔΟΜΗ</b></p>	<p>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</p>	<p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσπασθωμένες με σημαντή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα</p>	<p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης</p>
<p>ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →</p>						
 <p>INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p>	<p>ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ</p>	90			N/A	N/A
 <p>BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p>		80	70			
 <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>		60	50			
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p>		40	30			
 <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p>		20				
 <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>		N/A	N/A		10	

Σχήμα 1. Το βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI

### **Συσχέτιση με άλλους δείκτες συστημάτων ταξινόμησης:**

Δεν συνιστάται, πλέον, η συσχέτιση του GSI με άλλους δείκτες ταξινόμησης για τις πτωχές και ετερογενείς βραχώμαζες αλλά η απ' ευθείας εξαγωγή του από την άμεση παρατήρηση. Έτσι διατηρείται η λογική του χαρακτηρισμού και η συνέπεια στην τήρηση της λογικής που έχει κάθε διαφορετικό σύστημα ταξινόμησης.

### **3 ΠΕΔΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ**

Τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά κάθε πετρώματος ελέγχουν τους συνδυασμούς των δύο παραμέτρων του GSI και δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη δομών που να αντιστοιχούν σ' όλες τις περιοχές του διαγράμματος. Παρουσιάζονται λοιπόν τα πιο πιθανά πεδία του GSI για τις βραχώμαζες μίας σειράς πετρωμάτων από τα πλέον συνήθη στην Ελλάδα. Τα πεδία αυτά δίνονται περιγραφικά με αναφορά στο βασικό διάγραμμα GSI ή στο διάγραμμα GSI για φλύσχη και έχουν χαρακτήρα προσανατολισμού. Αποκλίσεις ασφαλώς υπάρχουν αλλά πρόκειται για εξαιρέσεις. Επαναλαμβάνεται πάντως ότι η εφαρμογή του διαγράμματος GSI δεν έχει νόημα όταν η τυχόν ανισοτροπία της βραχώμαζας ελέγχει αποκλειστικά την συμπεριφορά της

**Ψαμμίτες-Κροκαλοπαγή:** Όχι στην τελευταία σειρά και όχι στις δύο τελευταίες στήλες.

**Ιλυόλιθοι, Αργιλικό Σχιστόλιθοι, Αργιλόλιθοι:** Όχι στις δύο πρώτες στήλες. Αν δεν είναι διατηρημένοι, προβάλλονται κυρίως στην 4η σειρά αλλιώς στην τελευταία.

**Ασβεστόλιθοι:** Κινούνται σε όλες τις σειρές εκτός από την τελευταία και σε όλες τις κολώνες εκτός από τις δύο τελευταίες. Αν εναλλάσσεται με πηλικά στρώματα συνίσταται η χρήση του διαγράμματος GSI για ετερογενείς βραχώμαζες (φλύσχη) (π.χ. τύπος B ή C)

**Φλύσχη:** Βλέπε ειδικό διάγραμμα σχ. 2. Το διάγραμμα έχει ευρύτητα χρησιμοποιηθεί από την πρώτη εφαρμογή του (Marinos and Hoek, 2000 και 2002) στην Ελλάδα, αλλά επίσης και διεθνώς. Η χρήση του δοκιμάστηκε επιτυχώς με την κατασκευή των έργων στον σχεδιασμό των οποίων η εισαγωγή των παραμέτρων σχεδιασμού στηρίχθηκε στο GSI. Μία παρατήρηση εντούτοις χρήσιμη είναι ότι από την εφαρμογή του πίνακα στην πράξη φαίνεται ότι στην περίπτωση του τύπου G είναι δυνατόν η ανάπτυξη βραχώμαζας φλύσχη με λίγες ασυνέχειες στα επίπεδα των στρωμάτων του ιλυόλιθου και η ανάπτυξη πιο συνεχούς βραχώμαζας. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται μια μετακίνηση, ίσως σημαντική (π.χ. κατά 10 μονάδες)

**Μολάσση:** Η δομή της είναι πολύ πιο ήρεμη από αυτή του φλύσχη. Αν τα στρώματα-μέλη είναι παχυπλακώδη χωρίς εναλλαγές προτείνεται να αξιολογείται στο κανονικό διάγραμμα. Αν υπάρχουν συχνές εναλλαγές ψαμμιτικών με πηλικά στρώματα και αυτές είναι εκπεφρασμένες με διακριτές ασυνέχειες στα επίπεδα στρώσης, μπορεί να χρησιμοποιείται το διάγραμμα του φλύσχη εκτός από τις περιοχές F,H. Για τις περιοχές C,D,E συνίσταται μια μικρή μετακίνηση προς τα αριστερά (όχι πάντως πάνω από 5 μονάδες). Η κατάσταση αυτή είναι συνηθισμένη στα επιφανειακά τμήματα της βραχώμαζας. Σε βάθος, λόγω της ήρεμης γεωλογικής εξέλιξης της βραχώμαζας, οι στρώσεις αυτές μπορεί να μη διακρίνονται και να είναι «παγιδευμένες» μόνο στη μνήμη της βραχώμαζας (Hoek, et al., 2004).

**Κερατόλιθοι:** Σπάνια συναντώνται μόνοι τους. Αν εναλλάσσονται με ασβεστολίθους ή η βραχώμαζα έχει ψαθυρή συμπεριφορά μπορεί να αξιολογηθούν στο κανονικό διάγραμμα GSI στην περιοχή της 4ης σειράς και στη 2η με 3η στήλη. Αν οι κερατόλιθοι εναλλάσσονται με αργιλικούς σχιστολίθους τότε το σύστημα μπορεί να αξιολογηθεί από το διάγραμμα τύπου φλύσχη.

**Μεταλλικές μάργες:** Συνιστάται η διεξαγωγή εργαστηριακών δοκιμών για την επιλογή των γεωτεχνικών παραμέτρων. Οι όποιες ασυνέχειες είναι αραιές και δεν έχουν παρά ασήμαντη επίδραση στην ίδια την βραχώμαζα (εκτός για τυχόν τοπική κινηματική αστοχία)

**Γρανιτικά πετρώματα:** Όταν είναι υγιή αξιολογούνται στις τρεις πρώτες σειρές και δύο πρώτες στήλες. Αν είναι αποσαθρωμένα ο δείκτης μετακινείται προς τα δεξιά και φυσικά αλλάζει και το  $m_i$  και το  $\sigma_{ci}$ . Αν είναι αρκετά αποσαθρωμένα αλλά όχι πλήρως τότε το υλικό μπορεί να ταξινομηθεί στην προτελευταία σειρά και δεξιά. Αν είναι εντελώς αποσαθρωμένα τότε είναι εκτός της λογικής του GSI.

**Βασικά-Υπερβασικά πετρώματα:** Όταν είναι υγιή βαθμονομούνται στις τρεις πρώτες σειρές και τρεις πρώτες στήλες. Αν είναι ιδιαίτερα αποσαθρωμένα, η βραχώμαζα κινείται αναλόγως με την

αποσάθρωση στην προτελευταία σειρά και στο δεξιό της τμήμα. Αν η αποσαθρωμένη βραχώμαζα είναι και διατμημένη προβάλλεται στη τελευταία σειρά και στις δύο τελευταίες στήλες.

**Ηφαιστειακά:** Κινούνται στις τρεις πρώτες γραμμές του διαγράμματος εφόσον δεν είναι κατακερματισμένα και στις τρεις πρώτες στήλες εφόσον δεν είναι αποσαθρωμένα.

GSI ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ ΦΛΥΣΧΗΣ (Marinos & Hoek, 2001)		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, μη αποσαθρωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσαθρωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΟΧΗ Πολύ λείες, ενίοτε επιφάνειες ολισθητής με συμπαγή επιφωροποίηση ή υλικού πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΟΧΗ Πολύ λείες επιφάνειες ολισθητής Πολύ αποσαθρωμένες ή μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης		
ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ									
	<b>ΤΥΠΟΣ Α.</b> Παχυστρωματώδης, μερικών διαταραγμένους ψαμμίτης. Η επιρροή πολύ λεπτών πηλίκων ενστρώσεων είναι περιορισμένη. Σε αβαθείς σήραγγες ή πρανή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω έλλειψης πλευρικού παρεμποδισμού (χαλαρή δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από τα επίπεδα στρώσης και τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI.		70						
	<b>ΤΥΠΟΣ Β.</b> Ψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυόλιθου								
	<b>ΤΥΠΟΣ Δ.</b> Ιλυόλιθος ή ιλυολιθικός σχιστόλιθος με στρώσεων του ψαμμίτη								
		<b>Ε.</b> Ασθενής ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με στρώσεις ψαμμίτη	50		B	C	D	E	
		<b>ΤΥΠΟΣ Φ.</b> Τεκτονικώς παραμορφωμένοι, διατμημένοι αργ. σχιστόλιθος ή ιλυόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα στρώματα ψαμμίτη σε χαοτική δομή							
						30		F	
							20		
	<b>ΤΥΠΟΣ Γ.</b> Πρακτικά αδιατάρακτος ιλυολιθικός ή αργιλικός σχιστόλιθος με ή χωρίς την παρουσία πολύ λεπτών ενστρώσεων ψαμμίτη								
		<b>ΤΥΠΟΣ Η.</b> Τεκτονικώς διατμημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια	N/A	N/A				G	H <sup>10</sup>

Σχήμα 2. Εκτίμηση του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής για ετερογενείς βραχώμαζες. Εδώ ειδικά για τον φλύσχη. Σημείωση: από την εφαρμογή του πίνακα στην πράξη φαίνεται ότι στην περίπτωση του τύπου G είναι δυνατόν η ανάπτυξη βραχώμαζας φλύσχη με λίγες ασυνέχειες στην επιφάνεια των στρωμάτων του ιλυόλιθου και η αναστολή στις συνεχείς βραχώμαζες. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται μια μετακίνηση, ίσως σημαντική (π.χ. κατά 10 μονάδες)

**Γνεύσιος:** Ο δείκτης κινείται κατ' αναλογία με το γρανίτη.

**Σχιστόλιθοι:** Κινούνται στη 3η ή 4η σειρά. Οι ισχυροί σχιστόλιθοι (π.χ. μαρμαρυγιακοί) τοποθετούνται αριστερά ενώ οι ασθενείς προς τα δεξιά. Στους τελευταίους αν είναι και διατμημένοι (π.χ. διατμημένοι φυλλίτες), ο δείκτης μετακινείται στην τελευταία σειρά και στις δύο τελευταίες στήλες.

**Χαλαζίτες:** Όπως οι ψαμμίτες αλλά ο δείκτης GSI περιορίζεται στις δύο πρώτες στήλες.

**Μάρμαρο:** Όπως ο ασβεστόλιθος.

**Εναλλαγές χαλαζιτών-φυλλιτών:** Ο δείκτης κινείται κατά τη λογική του διαγράμματος του φλύσχη. Λόγω όμως της ισχυροποιημένης κατάστασης των πετρογραφικών μελών και συνεπώς και της καλύτερης κατάστασης των ασυνεχειών συνιστάται μετακίνηση, π.χ. 5 μονάδες, προς τα αριστερά αλλά βέβαια μόνο για τις περιπτώσεις C,D,E,G.

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Δείκτης GSI έχει γεωλογική λογική και περιορίζει τη “λογιστική” στην συνεκτίμηση των παραγόντων που λαμβάνονται υπ’ όψη στην αριθμητική βαθμονόμηση της βραχώμαζας.

Περιορισμοί βέβαια υπάρχουν αλλά η ταξινόμηση καλύπτει με τη γεωλογική κρίση ένα πολύ μεγάλο εύρος βραχομαζών και καταστάσεων.

## **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- Hoek, E., Wood, D., and Shah, S., 1992. A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses, *Proc. Rock Mech. Symp. Int. Soc. Rock Mech.: Eurock '92*, (ed. J.A. Hudson), 209-214. London, Brit. Geotech. Soc.
- Hoek, E., Marinos, P., and Benissi, M., 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for weak and sheared rock masses – The case of the Athens Schist formation. *Bulletin of Eng. Geol. Env.* 57, 2, 151-160.
- Hoek, E., Marinos, P., and Marinos, V., 2004. Characteristics and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses, (to be published)
- Marinos, P.G., Hoek, E., 2000. GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proceeding of GeoEng2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*, Melbourne, pp.1422-1446, Technomic Publishers, Lancaster, Pennsylvania.
- Marinos, P.G., Hoek, E., 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60, pp.82-92.

## **ABSTRACT**

### **THE USE OF GEOLOGICAL STRENGTH INDEX GSI. RECOMMENDATIONS, LIMITATIONS AND RANGES OF VALUES IN MOST COMMON ROCK TYPES**

Marinos V.<sup>1</sup>, Marinos P.<sup>1</sup>, and Hoek E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *National Technical University of Athens, School of Civil Engineering, Geotechnical Department, 9 Iroon Polytechniou str., 157 80, Athens, Greece, e-mail: vmarinos@central.ntua.gr, marinos@central.ntua.gr*

<sup>2</sup> *Consulting Engineer, Vancouver, Canada*

After one decade of application of the Geological Strength Index, GSI, and its extensions, in the quantitative characterisation of the rock mass, the present paper attempts to answer the questions that have been raised by the users about the determination of the GSI for various qualities of rock masses and various conditions. Recommendations are given and cases are discussed where GSI is not applicable. The paper also gives general guidance on the field of GSI values of rock masses for the most common rock types based on their petrographic and their most usual structural characteristics.