

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

Β. Π. Μαρίνος

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου. e-mail: vmarinos@central.ntua.gr

Π. Γ. Μαρίνος

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου, e-mail : marinos@central.ntua.gr & Ecole des Mines de Paris, e-mail: paul.marin@ensmp.fr (2003-2004)

Ε. Hoek

Consulting Engineer, Vancouver, Canada, e-mail: ehoek@attglobal.net

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (Geological Strength Index, GSI), που έχει διεθνώς καθιερωθεί για τον ποσοτικό χαρακτηρισμό της ποιότητας μιας βραχώμαζας, έχει ευρεία χρήση και στην Ελλάδα. Ο δείκτης, GSI, εισήχθη από τους Hoek, Wood and Shah (1992), επεκτάθηκε για τις ασθενείς βραχώμαζες από τους Hoek, Marinos and Benissi (1998), Marinos and Hoek (2001, σχ.1) και για τον φλύσχη από τους Marinos and Hoek (2000, σχ.2). Ο Δείκτης εκτός από τη 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 αντιπροσωπευτικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των έργων σε περιβάλλον ρωγματωμένων βράχων\*. Ο Δείκτης βασίζεται στην εκτίμηση της δομής και της καταστάσεως των ασυνεχειών της βραχώμαζας και επομένως αποτελεί ένα φιλικό, γεωλογικά, δείκτη που μπορεί να εκτιμάται εύκολα. Ακολουθώντας δίνονται συστάσεις εφαρμογής και ορισμένοι περιορισμοί στην χρήση του δείκτη.

Γεωλογική Περιγραφή: Συνιστάται 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 εικονίδια.

Ανισοτροπία: Το κριτήριο Hoek and Brown (όπως και ανάλογα κριτήρια) προϋποθέτει ότι η βραχώμαζα συμπεριφέρεται ιστροπικά, και δεν υπάρχουν προτιμητέες διευθύνσεις αστοχίας. Ανάλογα λοιπόν περιορίζεται και η χρήση του GSI. Μπορεί όμως να εφαρμοσθεί αν η θραύση δεν ελέγχεται από αυτή την ανισοτροπία. Στην περίπτωση πάντως που η βραχώμαζα είναι έντονα διακλασμένη και η συνέχεια των εμμενουσών ασυνεχειών είναι διαταραγμένη, η βραχώμαζα μπορεί να συμπεριφέρεται γενικώς ισότροπα. Πάντως το δίλημμα ισότροπη ή όχι δεν τίθεται πρακτικώς για βραχώμαζες με δομή σαν αυτή της 6<sup>ης</sup> (τελευταίας) σειράς του διαγράμματος GSI επειδή η διαφορά της αντοχής μεταξύ θεμελιώδους μάζας και ασυνέχειας είναι μικρή.







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

Στα πρηνή ορυγμάτων αποτιμάται η βραχώμαζα εκείνη μέσα από την οποία εκτιμάται ότι μπορεί να διέλθει η επιφάνεια θραύσης. Αν υπάρχουν "νησίδες" άλλης ποιότητας υλικού απ'αυτό που επικρατεί, διορθώνεται κατά κρίση. Δεν συνιστάται γενικώς η εξαγωγή μέσων όρων.

Στις σήραγγες πρέπει να εκτιμάται η βραχώμαζα που θα φέρει τα φορτία, έστω μία ζώνη μέχρι περίπου μία διάμετρο. Η συνεκτίμηση μικρών ή μεγάλων αλλαγών στην βραχώμαζα έξω από το

\* 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)).

ορατό μέτωπο είναι θέμα κρίσεως. Αν εκτιμάται ότι πιο πτωχή ποιότητας βραχώμαζα είναι σημαντικά παρούσα (και ας μην επικρατεί) ή βρίσκεται σε καίριες θέσεις συγκέντρωσης τάσεων, 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 (ανάλογα και με τη λογική μείωσης της αποσάθρωσης του πετρώματος με το βάθος) ελαφρά προς τα αριστερά. Η μετακίνηση αυτή όμως εκτιμάται ότι δεν μπορεί να είναι μεγάλη. Τούτο ισχύει λιγότερο στις περιπτώσεις δομών των δύο τελευταίων σειρών του διαγράμματος (π.χ. σε μολονιτωμένο ή διατηρημένο υλικό).

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000)            Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχώμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας 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. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες. Στην περίπτωση που οι ασθeneίς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρανές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Η διαμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένιση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχώμαζες 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 τραχιές, μη αποσπασθαιμένες επιφάνειες</p>	<p>ΚΑΛΗ            Τραχιές, ελαφρά αποσπασθαιμένες και οξειδωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΜΕΤΡΙΑ            Λείες, μετριώς αποσπασθαιμένες και εξαλειωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΠΤΩΧΗ            Επιφάνειες ολισθητές, πολύ αποσπασθαιμένες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα</p>	<p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ            Επιφάνειες ολισθητές, πολύ αποσπασθαιμένες με μετακινώμενο 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>90</p>				N/A	N/A
 <p>BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλειδώμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p>	<p>80</p>		70			
 <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>			60			
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p>			50			
 <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλειδώμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p>			40		30	
 <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατηρημένη ασθενής βραχώμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>					20	
		N/A	N/A			10

Σχήμα 1. Το βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI

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 βραχώμαζας (π.χ. κοντά στα πρηνή) βαθμονομείται με τον δείκτη D (Hoek, Carranza-Torres and Corkum, 2002).

Πολύ μεγάλα βάθη: Σε πολύ μεγάλα βάθη (π.χ. πολλές εκατοντάδες μέτρα) οι βραχώμαζες έχουν τόσο σφικτή δομή που το πέτρωμα πλησιάζει τη συμπεριφορά του άρρηκτου βράχου. Εδώ η τιμή GSI πρέπει να μετακινείται περισσότερο προς τα αριστερά και προς τα πάνω και οριακά προς τον άρρηκτο βράχο. 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 συνίσταται η ταξινόμηση από το διάγραμμα GSI για ετερογενείς βραχώμαζες (φλύσχη), π.χ. στην περιοχή B και C.

Νερό: Η διατμητική 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 βραχώμαζα: Προφανώς οι τιμές GSI αντιστοιχούν σε πιο δεξιές θέσεις από εκείνες της ίδιας βραχώμαζας όταν δεν είναι αποσαθρωμένη. Αν η αποσάθρωση 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 μαλακοί βράχοι: Κυρίως πρόκειται για μεταλλικά πετρώματα που η θραύση ελέγχεται από την κύρια μάζα. Συνεπώς οι παράμετροι πρέπει να βασίζονται σε εργαστηριακές δοκιμές.

Συσχέτιση με άλλους δείκτες συστημάτων ταξινόμησης: Δεν συνίσταται η συσχέτιση του GSI με άλλους δείκτες ταξινόμησης για τις φτωχές και ετερογενείς βραχώμαζες αλλά η απ' ευθείας εξαγωγή του GSI από την άμεση παρατήρηση.

Τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά κάθε πετρώματος ελέγχουν τους συνδυασμούς και δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη δομών που να αντιστοιχούν σ' όλες τις περιοχές του διαγράμματος GSI. Παρουσιάζονται λοιπόν τα πιο πιθανά πεδία του GSI για τις βραχώμαζες μία σειράς πετρωμάτων από τα πλεόν συνήθη στην Ελλάδα. Τα πεδία αυτά δίνονται περιγραφικά με αναφορά στο βασικό διάγραμμα ή στο διάγραμμα για φλύσχη. Αποκλίσεις ασφαλώς υπάρχουν και δεν πρέπει τα πεδία αυτά να θεωρηθούν με λογική τυποποίησης.

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

Ιλυόλιθοι, Αργιλικό Σχιστόλιθοι, Αργιλόλιθοι: Όχι στις δύο πρώτες στήλες. Αν δεν είναι διατμημένοι, προβάλλονται κυρίως στην 4<sup>η</sup> σειρά αλλιώς στην τελευταία.

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

Φλύσχη: Βλέπε ειδικό διάγραμμα σχ. 2.

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 πηλιτικά στρώματα 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).



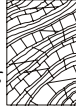





Κερατόλιθοι: Σπάνια συναντώνται μόνοι τους. Αν εναλλάσσονται με ασβεστολίθους και η βραχώμαζα έχει ψαθυρή συμπεριφορά μπορεί να αξιολογηθούν στο κανονικό διάγραμμα GSI στην περιοχή της 4<sup>ης</sup> σειράς και στη 2<sup>η</sup> με 3<sup>η</sup> στήλη. Αν οι κερατόλιθοι εναλλάσσονται με αργιλικούς σχιστολίθους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

Μεταλλικές μάρμες: Δεν συνίσταται η εφαρμογή του GSI αλλά η διεξαγωγή εργαστηριακών δοκιμών.

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 GSI.

**Βασικά-Υπερβασικά πετρώματα:** Όταν είναι υγιή βαθμονομούνται στις τρεις πρώτες σειρές και τρεις πρώτες στήλες. Αν είναι ιδιαίτερα αποσαθρωμένα, η βραχόμαζα κινείται αναλόγως με την αποσάθρωση στην προτελευταία σειρά και στο δεξιό της τμήμα. Αν η αποσαθρωμένη βραχόμαζα 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 ΕΤΕΡΕΓΟΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ ΦΛΥΣΧΗΣ		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τρυχιές, μη αποσαθρωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τρυχιές, ελαφρά αποσαθρωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και εφαλατωμένες επιφάνειες	ΠΤΟΧΗ Πολύ λείες, ενίοτε επιφανείες ολισθητές με συμπαγή επιφωρίσματα ή υλικό πληρωσής με γωνιακή θραύση	ΠΟΛΥ ΠΤΟΧΗ Πολύ λείες επιφανείες ολισθητές πολύ αποσαθρωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης							
ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ	Marinos & Hoek, 2001													
	<b>ΤΥΠΟΣ Α.</b> Παχυστρωματώδης, μερικής διαταραγμένος φαμμίτης. Η επιρροή πολύ λεπτών πληθικών ενστρώσεων είναι περιορισμένη. Σε αβάθεις 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	60	A									
	<b>ΤΥΠΟΣ Β.</b> Φαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου		<b>ΤΥΠΟΣ C.</b> Φαμμίτης και ιλυολίθος σε κανονική αναλογία		<b>ΤΥΠΟΣ D.</b> Ιλυόλιθος ή ιλυολιθικός σχιστόλιθος με στρώσεις φαμμίτη		<b>Ε.</b> Ασθενής ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με στρώσεις φαμμίτη		50	40	B	C	D	E
	<b>ΤΥΠΟΣ F.</b> Τεκτονικώς παραμορφωμένος, διατμημένος αργ. σχιστόλιθος ή ιλυόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα στρώματα φαμμίτη σε χαστική δομή									30			F	
	<b>ΤΥΠΟΣ G.</b> Πρακτικά αδιατάρακτος ιλυολιθικός ή αργιλικός σχιστόλιθος με ή χωρίς την παρουσία πολύ λεπτών ενστρώσεων φαμμίτη		<b>ΤΥΠΟΣ H.</b> Τεκτονικώς διατμημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαστική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχίδια τεμάχια								20		G	H <sup>10</sup>
			N/A	N/A										

Σχήμα 2. Εκτίμηση του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής για ετερογενείς βραχόμαζες. Εδώ ειδικά για τον φλύσχη

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

**Σχιστόλιθοι:** Κινούνται στη 3<sup>η</sup> ή 4<sup>η</sup> σειρά. Οι ισχυροί σχιστόλιθοι (μαρμαρυγιακοί) τοποθετούνται αριστερά ενώ οι ασθενείς 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 φαμμίτες 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 συνίσταται μετακίνηση, π.χ. 5 μονάδες, προς τα αριστερά για τις περιπτώσεις C,D,E,G.

Ο Δείκτης GSI έχει λοιπόν γεωλογική λογική και περιορίζει τη “λογιστική” στην συνεκτίμηση των παραγόντων που λαμβάνονται υπ’ όψη στην αριθμητική βαθμονόμηση της βραχόμαζας. 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., Benissi, M., 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for weak and sheared rock masses. *Bulletin of Eng. Geol. Env.* 57, 2, pp. 151-160.
- Hoek, E., Carranza – Torres, C. and Corkum, B., 2002. Hoek - Brown failure criterion – 2002 edition. In: H. R. W. Bawden, Curran, J., Telesnicki, M. (eds), *Proceedings of NARMS-TAC 2002*, Toronto, 267-273

- Marinos, P.G. and Hoek, E., 2000. GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proceeding of GeoEng2000, Melbourne*, pp.1422-1446, Technomic Publishers, Lancaster, Pennsylvania.
- Marinos, P.G. and 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.