



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΕΡΙΦΥΛΗ-ΑΓΓΕΛΙΚΗ Π. ΧΑΣΤΑΟΓΛΟΥ

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ HOEK AND BROWN ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019





ΕΡΙΦΥΛΗ-ΑΓΓΕΛΙΚΗ Π. ΧΑΣΤΑΟΓΛΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5494

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ HOEK AND BROWN ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Μαρίνος Βασίλειος



© Εριφύλη-Αγγελική Π. Χαστάογλου , Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ HOEK AND BROWN ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ- *Διπλωματική Εργασία*

© Erifyli Angeliki P. Chastaoglou, School of Geology, Dept. of Applied Geology, 2018
All rights reserved.

UNCERTAINTY OF GEOTECHNICAL AND HOEK-BROWN PARAMETERS IN FLYSCH ENVIRONMENT- *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων κ. Βασίλειο Μαρίνο Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, το ενδιαφέρον του και τις πολύτιμες συμβουλές κατά την συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω ευχαριστίες στον υποψήφιο Διδάκτορα του τμήματος Γεωλογίας Λάζο Ηλία για την σημαντική ενημέρωση που μου προσέφερε, κατά τα πρώτα στάδια της εργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ Γεωλόγους αλλά και Πολιτικούς Μηχανικούς της ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. για το ενδιαφέρον τους απέναντι στο περιεχόμενο της εργασίας και την ανιδιοτελή προσφορά χρήσιμης πληροφόρησης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την κατανόησή τους και την οικονομική υποστήριξη, καθώς και φίλους για την σημαντική τους συμπαράσταση και βοήθεια.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

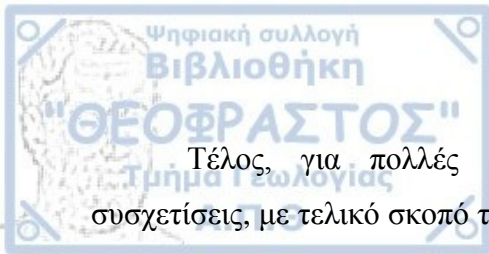
Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων και παραμέτρων Hoek and Brown που χαρακτηρίζουν ένα φλύσχο περιβάλλον και ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας που αυτοί εγκυμονούν στον συγκεκριμένο σχηματισμό.

Αρχικά, για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, αναλύεται γεωλογικά ο σχηματισμός του φλύσχη και δίνονται στοιχεία για την στρωματογραφική και γεωγραφική θέση του στον Ελληνικό χώρο. Ακόμη, τονίζονται λιθολογικά στοιχεία του, προσδιορίζονται ορισμένα ενδιαφέροντα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του και χωρίζεται σε τεχνικογεωλογικούς τύπους.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται πληθώρα δεδομένων από 130 γεωτρήσεις οι οποίες εκτελέστηκαν στον φλύσχη των ζωνών Πίνδου και Ιονίου κοντά στην περιοχή Μετσόβου και Ιωαννίνων με τελικό στόχο την κατασκευή 12 σηράγγων της Εγνατία Οδός Α.Ε. Τα συγκεκριμένα δεδομένα λήφθηκαν από το σύστημα TIAS της ίδιας εταιρίας και στην παρούσα εργασία επεξεργάζονται και αξιολογούνται στατιστικά, καθώς έτσι προκύπτουν ενδιαφέροντα προς ανάλυση γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά συμπεράσματα.

Ειδικότερα, τα δεδομένα αφορούν τον δείκτη κερματισμού του πετρώματος (RQD), την ολική πυρηνοληψία (TCR), το σύστημα ταξινόμησης RMR, τις τιμές υδροπερατότητας (k), τον Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI), τις τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) και σε σημειακή φόρτιση $I_{S(50)}$ και τον βαθμό αποσάθρωσης. Παραθέτονται επίσης γενικά στοιχεία για την κάθε παράμετρο.

Ακολούθως, γίνεται χρήση του προγράμματος RocData της εταιρίας Rocscience στο οποίο, η εφαρμογή του κριτηρίου Hoek and Brown υπολογίζει άμεσα σημαντικές παραμέτρους της βραχώμαζας, όπως τις τιμές διατμητικής αντοχής (παράμετροι Mohr-Coulomb), το μέτρο παραμορφωσιμότητας και τις παραμέτρους Hoek-Brown (m_b , s , a).



Τέλος, για πολλές από τις παραπάνω παραμέτρους πραγματοποιούνται συσχετίσεις, με τελικό σκοπό τον προσδιορισμό του μεγέθους της αβεβαιότητάς τους στο εξεταζόμενο περιβάλλον.



ABSTRACT

This undergraduate thesis deals with the study of geotechnical and Hoek-Brown parameters in flysch environment and the uncertainty with which they are characterized in this particular environment.

In order to achieve this purpose, flysch rock mass is analyzed according to its geology and information about the lithostratigraphy and its geographical position in Greek area are given. Also, the lithology of flysch is highlighted, some of its interesting geotechnical characteristics are described and it is divided into certain litho-types.

Subsequently, huge amounts of data extracted from 130 boreholes at Pindus and Ionian flysch near Metsovo and Ioannina region are used, while they are statistically processed and evaluated, in order to infer useful geological and geotechnical conclusions. These data was used for the construction of 12 tunnels of Egnatia Odos S.A. and was downloaded from TIAS system owned by the same company.

Especially, borehole data are related with the Rock Quality Designation (RQD), the Total Core Recovery (TCR), the Rock Mass Rating System (RMR), the permeability index values (k), the Geological Strength Index (GSI), the Uniaxial Compressive Strength of the intact rock (σ_{ci}), the Point Load Index ($I_{S(50)}$) and the values of degree of disintegration. General information about each of the above geotechnical parameters is given.

Afterwards, the RocData program owned by the Rocscience company, is used; through it Hoek-Brown criterion is applied and finally important parameters such as shear strength (Mohr-Coulomb parameters), modulus ratio and Hoek-Brown parameters (m , s , a) are immediately calculated.

In the end, many of previous parameters are correlated to each other, with the ultimate goal of determining the magnitude of their uncertainty in the flysch environment.





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1. ΣΚΟΠΟΣ	3
1.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	4
1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΛΥΣΧΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ	15
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΦΛΥΣΧΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ	15
2.2. ΦΛΥΣΧΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΛΥΣΧΙΚΩΝ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ -ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ	23
3.1. ΑΠΑΝΤΩΜΕΝΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ –ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	23
3.2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΛΥΣΧΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ	27
3.2.1.1 Τεκτονική	27
3.2.1.2 Υδροπερατότητα	28
3.2.1.3 Αντοχή και Παραμορφωσιμότητα	29
3.2.1.4 Αποσάθρωση	30
3.2.2. Περιγραφή των τεχνικογεωλογικών τύπων (I-XI)	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ...	51
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	51
4.2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	54



4.2.1. Παράμετροι: Ολική Πυρηνοληψία TCR (Total Core Recovery) και Στερεή Πυρηνοληψία SCR (Solid Core Recovery).	54
4.2.1.1. Στατιστική επεξεργασία της παραμέτρου TCR και η σχέση της με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων	55
4.2.2. Δείκτης κερματισμού του πετρώματος RQD (Rock Quality Designation)	65
4.2.2.1. Στατιστική επεξεργασία του δείκτη RQD και η σχέση του με το βάθος – Εξαγωγή συμπερασμάτων.	68
4.2.3. Δείκτης Σημειακής Φόρτισης Is (Point Load Index)	83
4.2.3.1. Στατιστική επεξεργασία του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ και η σχέση του με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων	87
4.2.4. Σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating).	95
4.2.4.1. Στατιστική επεξεργασία του RMR και η σχέση του με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων	101
4.2.5. Τιμές υδροπερατότητας(k) - δοκιμή εισπίεσης Lugeon	113
4.2.5.1. Στατιστική επεξεργασία των τιμών περατότητας και η σχέση τους με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων	114
4.2.6. Βαθμός αποσάθρωσης	130
4.2.6.1. Στατιστική επεξεργασία των τιμών και η σχέση τους με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων	133
4.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ HOEK AND BROWN	146
4.3.1. Κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown	146
4.3.2. Δείκτης GSI (Geological Strength Index).	148
4.3.2.1 Στατιστική επεξεργασία του δείκτη και η σχέση του με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων	153
4.3.3. Παράμετρος σ_{ci}	165



4.3.3.1. Στατιστική επεξεργασία των τιμών σ_{ci} και η σχέση τους με το βάθος- Εξαγωγή συμπερασμάτων	170
4.3.4. Σταθερά m_i	177
4.3.5. Χρήση του λογισμικού προγράμματος RocData 5.0 στους σχηματισμούς του φλύσχη για την εξαγωγή παραμέτρων Hoek and Brown (m_b , s , a) και Mohr- Coulomb (c , ϕ) καθώς και του μέτρου παραμορφωσιμότητας (ϵ) – σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	179
4.4. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ	184
4.4.1. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci})-Αντοχή σε σημειακή φόρτιση ($I_{s(50)}$) .	185
4.4.2. Αντοχή βραχόμαζας (σ_{cm})- Παραμορφωσιμότητα βραχόμαζας (E_m).....	189
4.4.3. Δείκτης ποιότητας πετρώματος (RQD)-Περατότητα(k)	190
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	195
5.1. ΓΕΝΙΚΑ	195
5.2. ΣΥΝΟΨΗ	196
5.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	199
Μικρή αβεβαιότητα	200
Μεγάλη αβεβαιότητα.....	202
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ.....	207
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	211

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τις υπό εξέταση τεχνικογεωλογικές παραμέτρους της βραχόμαζας, τις παραμέτρους Hoek and Brown και αυτές που προκύπτουν από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου. Τα παραπάνω εστιάζουν στην περίπτωση της κατασκευής των 12 σηράγγων τις Εγνατίας Οδού σε φλυσχικό περιβάλλον, στην περιοχή του Μετσόβου και των Ιωαννίνων και βασίζονται σε στοιχεία από 130 γεωτρήσεις και ειδικότερα σε επιτόπου αλλά και εργαστηριακές δοκιμές που έχουν εκτελεστεί σε αυτές.

Αρχικά, στην εργασία αυτή, συγκεντρώνονται σε πίνακες στοιχεία για τους έντεκα τεχνικογεωλογικούς τύπους του φλύσχη, ο οποίος έπειτα χωρίζεται σε έξι αντιπροσωπευτικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Οι τελευταίοι, διαμέσου των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων, προσεγγίζονται στατιστικά ως προς τις ιδιότητές τους και εν συνεχεία εξάγονται συμπεράσματα για αυτές. Στις εξεταζόμενες ιδιότητες της φλυσχικής βραχόμαζας περιλαμβάνονται η αντοχή, η παραμορφωσιμότητα, ο βαθμός κερματισμού και η ποιότητα, η υδροπερατότητα, η αποσάθρωση, η συνοχή και η γωνία τριβής των βραχοτεμαχών της.

Βασικός στόχος, εκτός από την μελέτη της διακύμανσης των τιμών των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων και παραμέτρων Hoek and Brown κάθε φλυσχικού σχηματισμού, είναι η διερεύνηση της σχέσης τους με το βάθος για την εκτίμηση της αβεβαιότητας που τις διακρίνει στο συγκεκριμένο περιβάλλον αλλά και ο μεταξύ τους συσχετισμός. Συνοψίζοντας, ως προσδοκώμενο αποτέλεσμα ορίζεται, η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με: τις διαφορετικές τεχνικογεωλογικές ιδιότητες που εμφανίζουν οι διάφοροι ορισθέντες φλυσχικοί σχηματισμοί μεταξύ τους και εν συναρτήσει του βάθους, τα μηχανικά χαρακτηριστικά της φλυσχικής βραχόμαζας ως σύνολο και την αβεβαιότητα που τους διακρίνει.



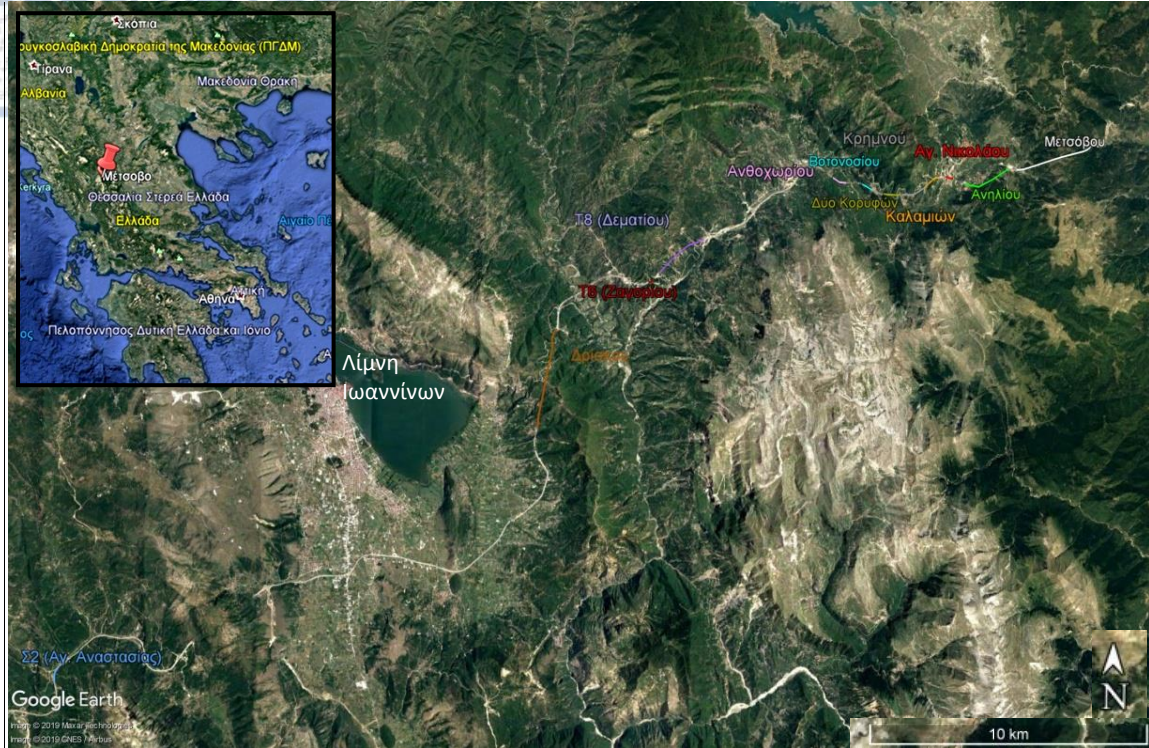
1.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα αυτής της εργασίας προέρχονται, όπως προαναφέρθηκε, από τις μελέτες σε δώδεκα σήραγγες της Εγνατίας οδού που διανοίχτηκαν στον φλύσχη των γεωτεκτονικών ζωνών Πίνδου και Ιονίου και βρίσκονται καταχωρημένα στην βάση δεδομένων TIAS (Tunnel Analysis Information System). Οι σήραγγες αυτές που καλύπτουν την γεωγραφική περιοχή από το Μέτσοβο έως την Αγ. Αναστασία (~18km Νοτιοδυτικά των Ιωαννίνων), είναι οι παρακάτω και από αυτές προέκυψε πλήθος γεωλογικών και γεωτεχνικών στοιχείων για τον φλύσχη, όπως αυτά μελετώνται στην παρούσα εργασία.

Σήραγγα	Περιοχή	Ζώνη
Σ2 (Αγ. Αναστασίας)	Ιωαννίνων	Ιόνιος
Δρίσκου	Ιωαννίνων	Ιόνιος
T6 (Ζαγορίου)	Ιωάννινα-Μέτσοβο	Ιόνιος
T8 (Δεματίου)	Ιωάννινα-Μέτσοβο	Ιόνιος
Αγ. Νικολάου	Μετσόβου	Πίνδου
Ανθοχωρίου	Μετσόβου (Περιστερί)	Πίνδου
Βοτονοσίου	Μετσόβου (Περιστερί)	Πίνδου
Δύο Κορυφών	Μετσόβου (Περιστερί)	Πίνδου
Καλαμιών	Μετσόβου	Πίνδου
Κρημνού	Μετσόβου	Πίνδου
Ανηλίου	Μετσόβου (Ανήλιο)	Πίνδου
Μετσόβου	Μετσόβου	Πίνδου

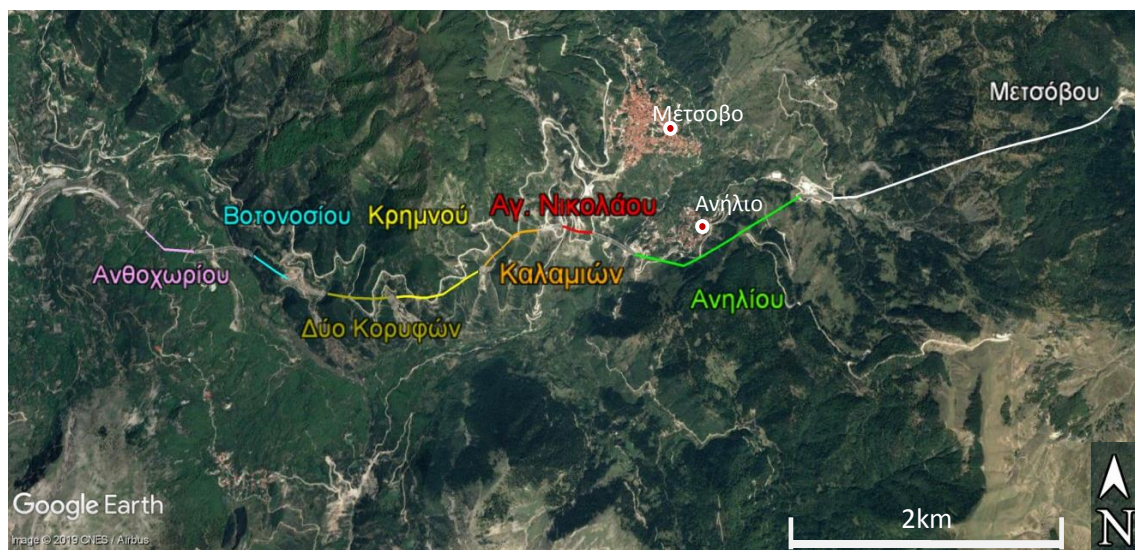
Πίνακας 1.1.2.1: Συνοπτικός πίνακας με τις σήραγγες και την αντίστοιχη περιοχή και ζώνη στην οποία ανήκουν.

Από το Google Earth Pro της εταιρείας Google λήφθηκαν και επεξεργάστηκαν οι παρακάτω φωτογραφίες με σκοπό την ανάδειξη της γεωγραφικής θέσης των εξεταζόμενων σηράγγων.



Εικόνα 1.1.2.2: Σήραγγες της Εγνατίας Οδού σε περιβάλλον φλύσχη (τροποποιημένο από τη συγγραφέα, από Google Earth Pro). Διακρίνεται με διαφορετικά χρώματα η χάραξη των σήραγγων κατά μήκος της Εγνατίας Οδού και τα αντίστοιχα ονόματά τους. Ανατολικότερη η σήραγγα Μετσόβου, δυτικότερη η Σ2.

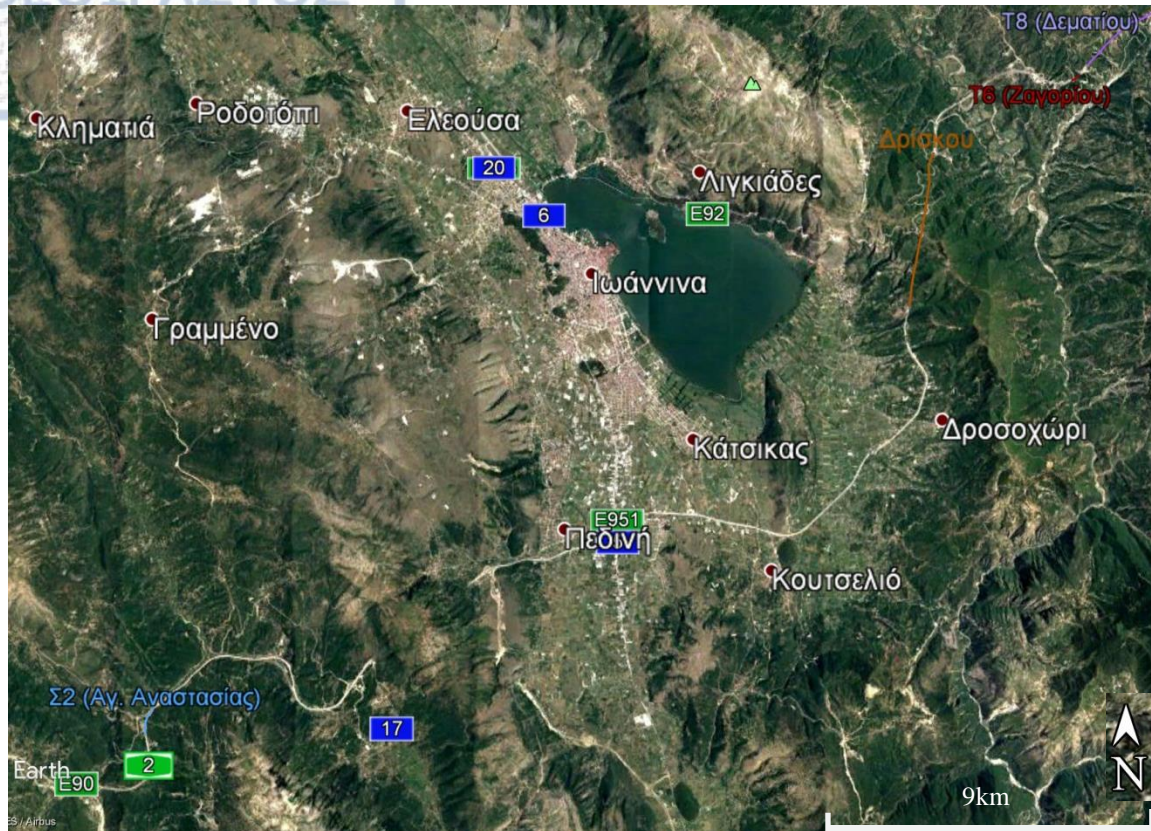
Παρακάτω παρουσιάζονται με μεγαλύτερη ευκρίνεια οι προαναφερθείσες σήραγγες.



Εικόνα 1.2.2.3: Εστίαση στις σήραγγες της Εγνατίας Οδού σε περιβάλλον Πινδικού φλύσχη (τροποποιημένο από τη συγγραφέα, από Google Earth).



Εικόνα 1.3.2.4: Εστίαση στις σήραγγες της Εγνατίας Οδού σε περιβάλλον Ιόνιου φλύσχη- T8, T6, Δρίσκου (τροποποιημένο από τη συγγραφέα, από Google Earth).



Εικόνα 1.4.2.5: Εστίαση στις σήραγγες της Εγνατίας Οδού σε περιβάλλον Ιόνιου φλύσχη- T8, T6, Δρίσκου, Σ2 (τροποποιημένο από τη συγγραφέα, από Google Earth).

Από την τράπεζα TIAS, έγινε εξαγωγή με μορφή excel, δεδομένων που αφορούν: τον δείκτη κερματισμού του πετρώματος RQD (Rock Quality Designation), την ολική πυρηνοληψία (TCR-Total Core Recovery), το σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating System), τις τιμές υδροπερατότητας (k), τον δείκτη γεωλογικής αντοχής (GSI) (Marinos V., Marinos P. and Hoek, 2005· Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007 και 2002· Μαρίνος Β., 2007· Marinos V., 2017· Marinos V. & Carter, 2018· Μαρίνος Β., Μαρίνος Π. & Hoek), τις τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_c) και σε σημειακή φόρτιση $I_s(50)$ και τον βαθμό αποσάθρωσης που, προκύπτουν από την εξέταση πυρήνων γεωτρήσεων ή την εκτέλεση δοκιμών σε αυτές. Συνολικά εξετάστηκαν:

- 2548 τιμές RQD
- 2320 τιμές TCR
- 426 τιμές RMR
- 234 τιμές υδροπερατότητας (k)



- 321 τιμές GSI
- 735 τιμές αποσάθρωσης
- 937 τιμές του δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$
- 403 τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci})

Οι παραπάνω τιμές προήλθαν από επιτόπου ή εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε 130 γεωτρήσεις, οι περισσότερες από τις οποίες είναι κοινές για τις διάφορες δοκιμές. Το βάθος τους έφτανε μέχρι τα:

- 255m στις τιμές RQD
- 255m στις τιμές TCR
- 130m στις τιμές RMR
- 115 στις τιμές υδροπερατότητας (k)
- 230m στις τιμές GSI
- 195m στις τιμές αποσάθρωσης
- 165m στις τιμές του δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$
- 172m στις τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci})

Κάθε υπολογιστικό φύλλο excel περιλάμβανε στήλες με το γενικό γεωυλικό ή/ και το λεπτομερές γεωυλικό, το όνομα της σήραγγας όπου εκτελέστηκε η γεώτρηση, τον κωδικό της γεώτρησης από την οποία λήφθηκε το δείγμα, το βάθος του δείγματος ή το βάθος εκτέλεσης της δοκιμής, την αντίστοιχη τιμή της παραμέτρου που προέκυψε και σε ορισμένες από τις παραμέτρους η χιλιομετρική θέση (Χ.Θ.) στην οποία αντιστοιχεί, όπως φαίνεται παρακάτω.

Γεωμολικό	Ελάχιστη τιμή βαθμολόγησης	Μέγιστη τιμή βαθμολόγησης	Χ.Θ	Είδος θέσης βαθμολόγησης	Από (Βάθος)	Έως (Βάθος)
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΙΣΕΣ ΑΝΑΛΟΠΕΣ)	24	34	8460	Γραμμική διαδρομή ή γραμμή αναγνώρισης σε σήραγγα		
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΙΣΕΣ ΑΝΑΛΟΠΕΣ)	24	34	8460	Γραμμική διαδρομή ή γραμμή αναγνώρισης σε σήραγγα		
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΙΣΕΣ ΑΝΑΛΟΠΕΣ)	32		8550	Περιτροφική δειγματοληψία	20	29.9
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΙΣΕΣ ΑΝΑΛΟΠΕΣ)	33		5201	Περιτροφική δειγματοληψία		
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΙΣΕΣ ΑΝΑΛΟΠΕΣ)	33	34	8550	Περιτροφική δειγματοληψία	29.9	35.8
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΙΣΕΣ ΑΝΑΛΟΠΕΣ)	33	37	7350	Περιτροφική δειγματοληψία	38.8	48
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΙΣΕΣ ΑΝΑΛΟΠΕΣ)	34		8550	Περιτροφική δειγματοληψία	58.1	66
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΙΣΕΣ ΑΝΑΛΟΠΕΣ)	34	36	8860	Περιτροφική δειγματοληψία	145.7	153.2

Εικόνα 1.1.5.6: Παράδειγμα εμφάνισης των δεδομένων στο υπολογιστικό φύλλο excel, για την παράμετρο RQD (πηγή: Βάση δεδομένων ΤΙΑΣ της Εγνατίας Οδού Α.Ε.)

Με βάση τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών των παραπάνω παραμέτρων με τρόπο που θα αναλυθεί ακολούθως, εξάχθηκαν συμπεράσματα για την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των φλυσχικών σχηματισμών. Έπειτα με χρήση των στατιστικά επεξεργασμένων τιμών των παραμέτρων GSI, σ_{ci} και συγκεκριμένες τιμές m_i (Κούκης & Σαμπατακάκης 2007· Μαρίνος Β., 2007) προέκυψαν οι παράμετροι Hoek and Brown (Wood D., Eberhard, 2012· Hoek and Brown, 2019) και Mohr-Coulomb, μέσω του λογισμικού Roclab.

1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκε η μεθοδολογία που παρουσιάζεται αναλυτικότερα παρακάτω και η οποία περιλαμβάνει μία σειρά βημάτων.

Αρχικά, ομαδοποιήθηκαν τα γεωυλικά του φλύσχη σε έξι αντιπροσωπευτικούς γεωλογικούς σχηματισμούς κατά την κρίση της γράφουσας, οι οποίοι στη συνέχεια εξετάστηκαν αναλυτικότερα ως προς τις γεωτεχνικές τους ιδιότητες. Για τους έξι φλυσχικούς σχηματισμούς, επεξεργάστηκαν στατιστικά τα προαναφερθέντα δεδομένα

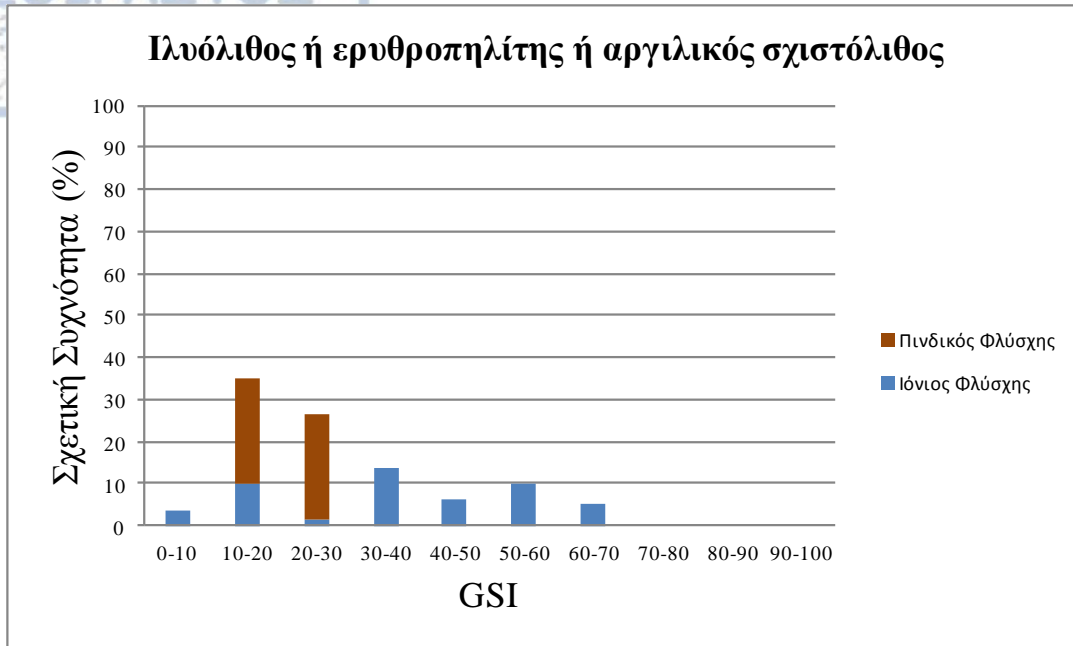
και κατασκευάστηκαν πίνακες «σχετικής συχνότητας(%) -τιμής παραμέτρου», με σκοπό την διερεύνηση της κατανομής των διαφόρων τιμών στο σύνολο του σχηματισμού (αναγωγή στο 100) και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, καταμετρήθηκαν για κάθε τεχνικογεωλογική παράμετρο οι τιμές που ανήκουν σε κάθε εύρος-φάσμα τιμών για τις διάφορες κατηγορίες (π.χ. χαμηλής αντοχής, μέτριας αποσάθρωσης, υψηλής περατότητας, κ.λπ.) που έχουν οριστεί στο παρελθόν από ερευνητές. Έγινε αναγωγή τους στο εκατό και με τα αποτελέσματα κατασκευάστηκαν τα ανάλογα ιστογράμματα για κάθε γεωλογικό σχηματισμό και για όλες τις υπό εξέταση παραμέτρους, καθώς επίσης σχολιάστηκαν. Η διαδικασία αυτή γίνεται εμφανής στην παρακάτω εικόνα.

Γεωλικό: Κροκαλοπαγές		
Εύρη GSI (άξονας χ)	Πλήθος τιμών	Πλήθος ανοιγμένο σε % (άξονας γ)
0-10	3	6,82
10-20	10	22,73
20-30	3	6,82
30-40	11	25
40-50	5	11,36
50-60	8	18,18
60-70	4	9,09
70-80	0	0
80-90	0	0
90-100	0	0

Πίνακας 1.1.3.1: Παράδειγμα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών GSI (επεξεργασμένα στοιχεία με πηγή την βάση δεδομένων TIAS)

Ειδικότερα για το RQD και το GSI έγινε λεπτομερέστερη στατιστική κατανομή, με ξεχωριστή προβολή των τιμών που αναλογούν στον φλύσχη της Πίνδου και Ιονίου ώστε να αναδεικτεί η συμβολή του καθενός στο σύνολο.



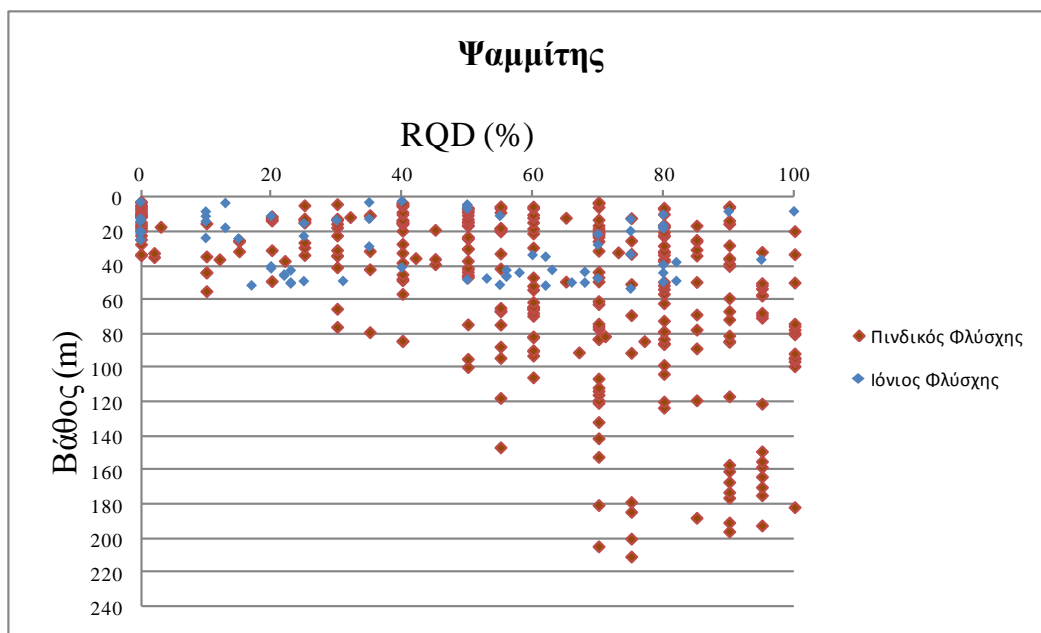
Εκόνα 1.1.3.2: Παράδειγμα ιστογράμματος για τις τιμές GSI του ιλυόλιθου με διαχωρισμό των τιμών που προέρχονται από τον Πινδικό και Ιόνιο φλύσχη (πηγή: βάση δεδομένων TIAS)

Έπειτα, ορίστηκαν εύρη βαθών ανά 5m και οι τιμές των παραμέτρων ταξινομήθηκαν σε αυτά, ανάλογα το βάθος στο οποίο αντιστοιχούν (βάθος εκτέλεσης της κάθε δοκιμής). Κατασκευάστηκαν διαγράμματα διασποράς με χ άξονα τις τιμές της τεχνικογεωλογικής παραμέτρου και y άξονα τιμές βάθους (εικόνα 1.1.3.4.) που στόχο είχαν την μεταξύ τους συσχέτιση για κάθε γεωλογικό σχηματισμό και για όλες τις υπό εξέταση παραμέτρους. Η διαδικασία αυτή γίνεται εμφανής στον παρακάτω πίνακα.

Γεωλικό: Κροκαλοπαγές	
Βάθος (m)	Απαντώμενες τιμές GSI στα διάφορα βάθη
0-5	-
5-10	-
10-15	-
15-20	67
20-25	67, 55, 65
25-30	65, 58
30-35	68
35-40	68, 57
40-45	-

45-50	62
50-55	62, 52
55-60	57, 59
60-65	57, 59
65-70	54, 59, 48
70-75	59, 48
75-80	59
80-85	59

Πίνακας 1.1.3.3: Παράδειγμα αντιστοίχισης των βαθών με τις τιμές GSI (πηγή: βάση δεδομένων TIAS)



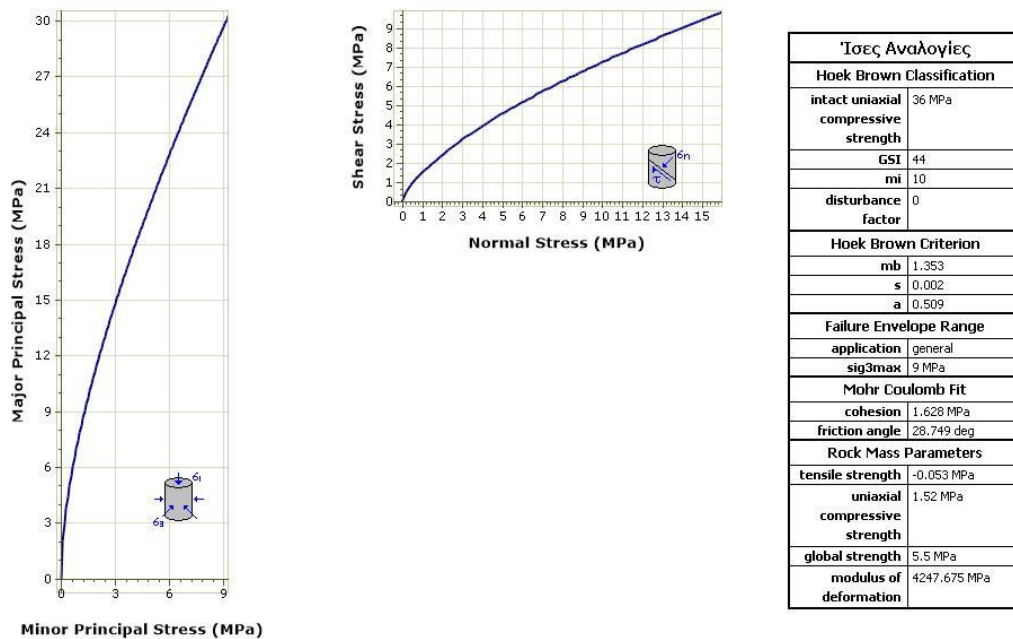
Εικόνα 1.1.3.4: Παράδειγμα διαγράμματος διασποράς για τις τιμές RQD του ψαμμίτη με διαχωρισμό των τιμών που προέρχονται από τον Πινδικό και Ιόνιο φλύσχη (πηγή: βάση δεδομένων TIAS)

Αξιολογήθηκαν οι «ακραίες» τιμές κάθε διαγράμματος ενώ αφαιρέθηκαν σε ορισμένες περιπτώσεις ώστε να φανεί ξεκάθαρα η συσχέτιση βάθους-παραμέτρου.

Ακόμη, με την χρήση της εντολής STDEV υπολογιστικού φύλλου excel, υπολογίστηκαν οι τιμές τυπικής απόκλισης (Standard Deviation) κάθε σχηματισμού για τις περισσότερες από τις τεχνικογεωλογικές παραμέτρους που τους χαρακτηρίζουν,

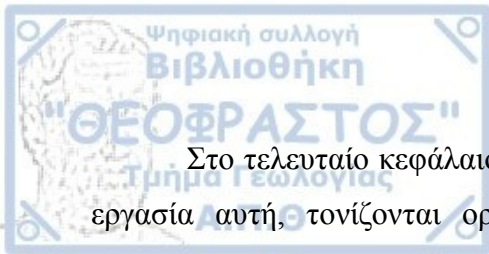
υποδεικνύοντας έμμεσα τον βαθμό αβεβαιότητας που παρατηρείται στις τιμές τους, δηλαδή κατά πόσο (τυπικά) τα δεδομένα αποκλίνουν από την μέση τιμή. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή τυπικής απόκλισης, τόσο τα στοιχεία «απλώνονται» πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα της μέσης τιμής.

Στη συνέχεια, με στόχο την ανεύρεση των παραμέτρων Hoek and Brown (m_b , s , a), της παραμορφωσιμότητας (E), των παραμέτρων Mohr-Coulomb (c , ϕ) και τον μετέπειτα σχολιασμό τους, εφαρμόστηκαν οι αντιπροσωπευτικές τιμές GSI, σ_{ci} και m_i στο πρόγραμμα RocData της Rocscience, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 1.1.3.5: Το αποτέλεσμα της εφαρμογής των παραμέτρων Hoek-Brown στο RocData

Ακολούθως, εξετάστηκε η συσχέτιση ορισμένων από τις παραπάνω παραμέτρους μεταξύ τους (είτε για το σύνολο του φλύσχη, είτε για κάθε σχηματισμό του ξεχωριστά) μέσω της κατασκευής διαγραμμάτων διασποράς με άξονες τις δύο εξεταζόμενες κάθε φορά παραμέτρους. Αυτές είναι η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_{ci})- αντοχή σε σημειακή φόρτιση ($I_{s(50)}$), αντοχή σε μονοαξονική θλίψη της βραχώμαζας (σ_{cm})- παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας (E_m) και ο δείκτης ποιότητας πετρώματος (RQD)-περατότητα(k).



Στο τελευταίο κεφάλαιο, συνοψίζονται όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν στην εργασία αυτή, τονίζονται ορισμένα βασικά στοιχεία και παραθέτονται σημαντικά συμπεράσματα.

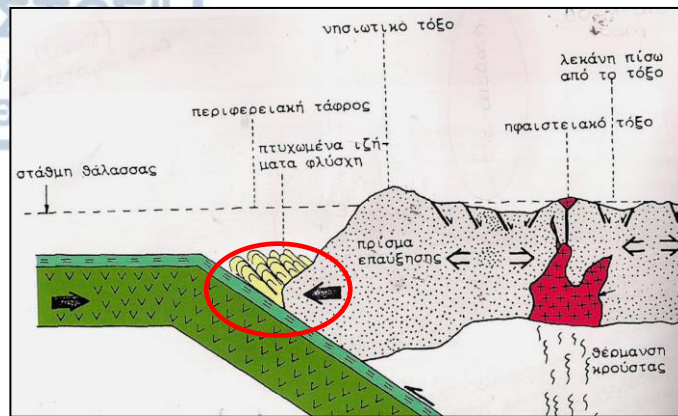
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΛΥΣΧΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΦΛΥΣΧΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ

Το όνομα «φλύσξης» εισήχθη στην γεωλογική βιβλιογραφία από τον Σουηδό Γεωλόγο Bernhard Studer το 1827, ο οποίος χρησιμοποίησε τον όρο για να χαρακτηρίσει την εμφάνιση εναλλαγών ψαμμίτη και σχιστολίθου στην περιοχή των Άλπεων. Προέρχεται από την γερμανική λέξη «fliessen» που σημαίνει «ροή», διότι ο Studer, λανθασμένα βέβαια, θεώρησε την απόθεση του φλύσχη, ποτάμια. Στην πραγματικότητα ο φλύσξης, όπως προέκυψε αργότερα, είναι μία παχιά ακολουθία θαλάσσιων ιζημάτων που αποτέθηκαν σε βαθιά ωκεάνια τάφρο και συνδέονται άρρηκτα με την τεκτονική (Μαρίνος Β., 2007, Τσιραμπίδης, 2008, ανώνυμος, 2017)

Συγκεκριμένα, ο φλύσξης είναι ένας περιγραφικός όρος μίας ακολουθίας ιζηματογενών πετρωμάτων (Τσιραμπίδης, 2008) που συνδυάζονται ποικιλοτρόπως και σχηματίζουν πολλαπλούς τύπους βραχομαζών.

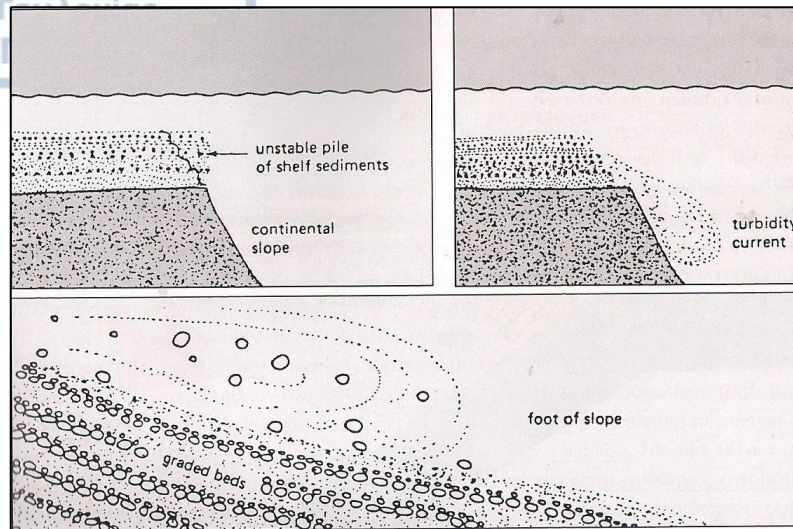
Παλαιογεωγραφικά, αποτέθηκαν από τα τουρβιδικά ρεύματα (ή αλλιώς τυρβώδη ρεύματα υποθαλάσσιων ριπιδίων) μέσα σε βαθιές και στενές περιθωριακές τάφρους, μπροστά και πάνω στις ηπειρωτικές κατωφέρειες, στο μέτωπο του αναδυόμενου ορογενούς. Τα μεγάλου πάχους αποτιθέμενα στην τάφρο υλικά του φλύσχη προέρχονται από τα κλαστικά υλικά της διάβρωσης της ανερχόμενης οροσειράς. Ταυτόχρονα, η ωκεάνια πλάκα υποβυθίζεται κάτω από την ηπειρωτική, η τάφρος στη συνέχεια γίνεται όλο και ρηχότερη και τέλος, μολάσσα επικάθεται με ασυμφωνία πάνω στα πτυχωμένα στρώματα του φλύσχη. Έτσι, ο φλύσξης σηματοδοτεί την λήξη της ιζηματογένεσης στην ωκεάνια λεκάνη, πριν την πτύχωσή της και αποτελεί το τελευταίο Αλπικό ορογενετικό ίζημα στον Ελληνικό χώρο (Μουντράκης, 2010, Ψιλοβίκος Α., 2010).



Εικόνα 2.2.1.1: Σκαριφηματική τομή ανάδειξης της θέσης απόθεσης των φλυσχικών ιζημάτων σε σχέση με το συνολικό σύστημα σύγκλησης μίας ωκεάνιας πλάκας και μίας ηπειρωτικής (τροποποιημένο από την συγγραφέα, Park & Siever, 1994, από Μουντράκη, 2010)

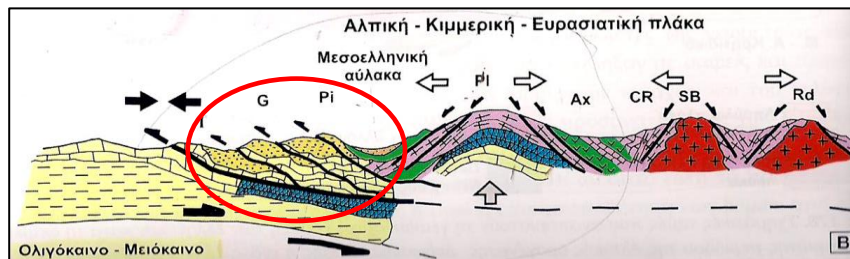
Στην **ιζηματολογία**, η φάση αυτή ονομάζεται «ιζηματογενής φάση του φλύσχη». Ο φλύσχος λοιπόν, αποτελείται από επαναλαμβανόμενους κύκλους ιζημάτων που ανοδικά μεταπίπτουν σε όλο και πιο λεπτόκοκκα. Συνήθως στην βάση κάθε ιζηματογενούς κύκλου απαντάται χονδρόκοκκο κροκαλοπαγές ή λατυποπαγές που βαθμιαία εκτυλίσσεται σε ψαμμίτη, έπειτα σε αργιλόλιθο και ιλυόλιθο. Ακόμη δύναται να παρατηρηθούν και στρώσεις ασβεστιτικού υλικού προερχόμενο από την υφαλοκρηπίδα (ολισθόλιθοι συμπαρασυρόμενοι από τα τυρβώδη ρεύματα) ή από την αργή απόθεση ιζημάτων στην πλευρά της ωκεάνιας πλάκας. Από την τελευταία, αποτίθενται δευτερευόντως και πυριτικά ιζήματα

Είναι ουσιαστικά μία ακολουθία ρυθμικών εναλλαγών ψαμμιτών και λεπτόκοκκων πηλινικών υλικών, με εξαίρεση την περίπτωση της εμφάνισης χαοτικού χαρακτήρα στον σχηματισμό που ονομάζεται «άγριος φλύσχος» και υποδηλώνει συνθήκες υποβύθισης. Ο τελευταίος αποτελεί μία δομή τουρβιδιτική, λόγω ακατάστατης απόθεσης των υλικών που σχηματίζεται στα κράσπεδα μεγάλων λεκανών «φλυσχικής ιζηματογένεσης». Ο φλύσχος είναι ένας «σχηματισμός» και όχι ένα αυτό καθ' αυτό «πέτρωμα», αφού απαρτίζεται από ποικιλία lithολογικών τύπων (Μαρίνος, 2007, Μουντράκης, 2010, Ψιλοβίκος Α., 2010)



Εικόνα 2.2.1.2: Συνθήκες ρυθμικής απόθεσης του φλύσχη στις ηπειρωτικές κατωφέρειες από τουρβιδικά ρεύματα (Μουντράκης, 2010)

Εξαιτίας της υψηλής ετερογένειάς του, της έντονης τεκτονικής του διαταραχής (πτυχές, ανάστροφα ρήγματα, λεπιώσεις), της διάβρωσης, της μετατεκτονικής του ρηγμάτωσης, ο φλύσχος σχηματίζει κυρίως βραχώμαζες πολύ χαμηλής ποιότητας και συνήθως απαιτεί ιδιαίτερη γεωτεχνική ταξινόμηση, ανάλογη των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών του.



Εικόνα 2.2.1.3: Λεπίωση του φλύσχη των Εξωτερικών Ελληνίδων (Πίνδος, Γάβροβο, Ιόνιος) κατά την Αλπική ορογένεση (τροποποιημένο από τη συγγραφέα, από Μουντράκη, 2010)

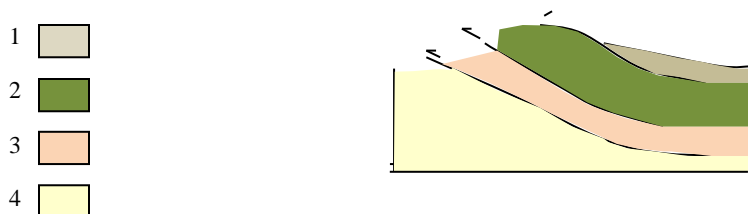
Ηλικιακά, ο φλύσχος της Πίνδου που μελετάται σε αυτή την εργασία ,αποτίθεται κατά το Τριτογενές, μέχρι και το Α. Ηώκαινο και της Ιονίου από το Ολιγόκαινο έως το Μειόκαινο (Μουντράκης ,2010).

2.2. ΦΛΥΣΧΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

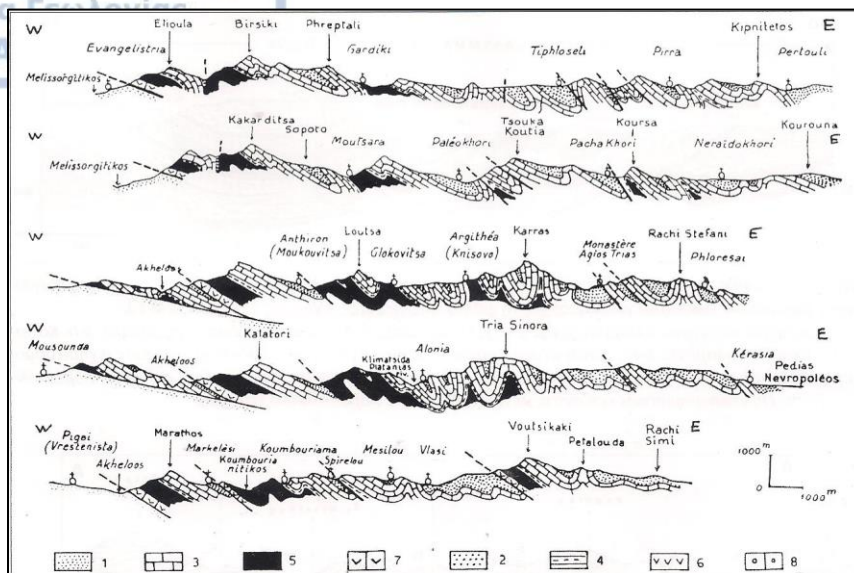
Εμφάνιση φλύσχη παρατηρείται όχι μόνο στην υπό εξέταση ζώνη «Ωλονού-Πίνδου» και «Ιονίου», αλλά και στις γεωτεκτονικές ζώνες: «Παρνασσού-Γκιώνας», «Γαβρόβου-Τρίπολης», «Πελαγονικής», «Υποπελαγονικής», στην υποζώνη «Αλμωπίας», «Πάικου», «Παιονίας», καθώς και στις ενότητες: «Μελισσοχωρίου-Χολωμόντα» (φλύσχη Σβούλας), «Βοιωτίας», «Βορείων Κυκλάδων», και στην σειρά του Ολύμπου (Μουντράκης, 2010).

Η ηλικία του φλύσχη γίνεται νεότερη όσο κινείται κανείς από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά του Ελληνικού χώρου, γιατί η απόθεσή του έγινε κατά την σταδιακή ορογένεση των Ελληνίδων από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά. Ομοίως, η τεκτονική καταπόνηση είναι εντονότερη προς τα Δυτικά. Εστιάζοντας στις εξωτερικές Ελληνίδες, παρατηρούμε πως ο φλύσχη της Πίνδου αποτίθεται στο Τριτογενές έως Α. Ηώκαινο, του Γαβρόβου από Ηώκαινο έως Ολιγόκαινο και της Ιονίου από Ολιγόκαινο έως Μειόκαινο.

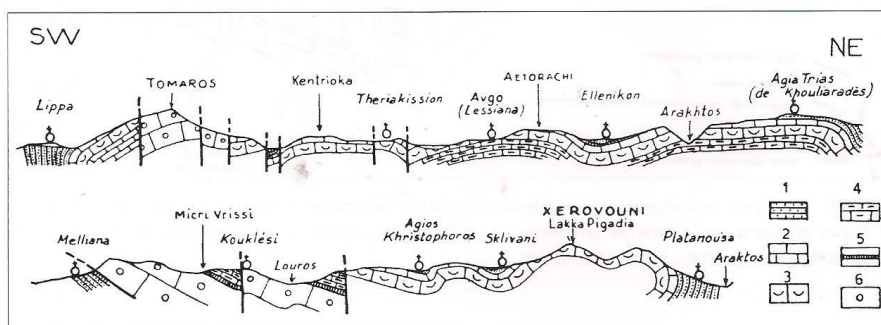
Γενικά, στον Ελληνικό χώρο ο φλύσχη εντοπίζεται σε λωρίδες μεταβλητού πάχους που οφείλονται στην λεπιοειδή τεκτονική καθώς επίσης παρατηρείται εμφάνιση επαναλήψεων στρωμάτων από την προς τα Δυτικά επώθηση της ενότητας πάνω στην ζώνη Γαβρόβου ή Ιονίου.



Εικόνα 2.2.2.1: Απλοποιημένο σκαρίφημα της γεωτεκτονικής θέσης του φλύσχη Πίνδου: 1- Μολάσσα (Ηώκαινο-Μειόκαινο), 2-Οφειόλιθοι Πίνδου(Κ. Ιουρασικό –Α. Κρητιδικό), 3- Φλύσχη Πίνδου (Τριτογενές), 4- Ανθρακική πλατφόρμα (Πέρμιο-Α. Κρητιδικό) (τροποποιημένο από τη συγγραφέα, από Jones &Robertson, 1991, από Μουντράκη, 2010)



Εικόνα 2.2.2.2: Αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές των σχηματισμών της ζώνης Πίνδου στον χώρο της Νότιας Πίνδου-Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και η χαρακτηριστική λεπιοειδής τεκτονική. 1-Φλύσχη Ιονίου, 2-Φλύσχη Πίνδου, 3-Α.Κρητιδικό ασβεστόλιθοι, 4 -Κ. Κρητιδικό ασβεστόλιθοι, 5-Ραδιολαρίτες, 6-Βασικά πυριγενή, 7,8-Τριαδικό ασβεστόλιθοι (κατά Aubouin, 1959 από Μουντάκη, 2010)



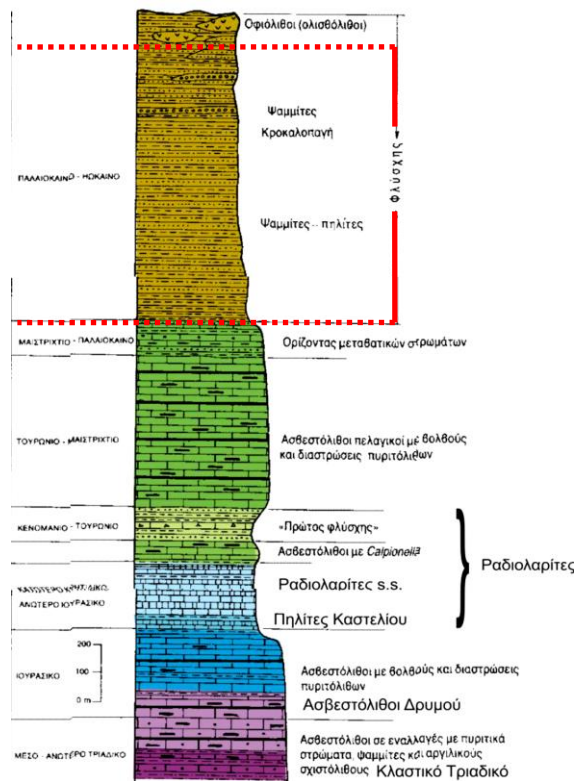
Εικόνα 2.2.2.3: Σχηματική γεωλογική τομή της Αδριατικοϊονίου ζώνης στην Ήπειρο και την Ακαρνανία: 1.φλύσχη, 2. Ασβεστόλιθοι Ηωκαίνου, 3.ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς Άνω Κρητιδικού, 4. Ασβεστόλιθοι Βίγλας, 5.σχηματισμοί Άνω Τριαδικού και Κάτω Λιάσιου (κατά Aubouin, 1959 από Μουντράκης Δ., 2010)

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010), στην **λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Ωλονού-Πίνδου** εντοπίζονται ο «πρώτος φλύσχη» και ο «δεύτερος φλύσχη» της Πίνδου, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται Άνω-Κρητιδικό πελαγικό πλακώδες ασβεστόλιθοι.

Ο Κάτω-Κρητιδικός «πρώτος φλύσχη» της Πίνδου αποτελείται από ρυθμικές εναλλαγές πηλολίθων, μαργών, ψαμμιτών, λατυποπαγών και πελαγικών ασβεστολίθων. Αυτός, διακρίνεται από τον Τριτογενή «δεύτερο φλύσχη» της Πίνδου που είναι πιο αντιπροσωπευτικός του

Ελληνικού χώρου και κυρίως ψαμμίτο-μαργαϊκός, σπανίως με κροκαλοπαγή ή/και ασβεστολίθους (Μουντράκης, 2010, Τσιραμπίδης, 2008).

Η ζώνη Πίνδου διακρίνεται για τα τεκτονικά της λέπια που δημιουργούν επαναλήψεις των στρωμάτων της ζώνης, καθώς επίσης κατά την διάρκεια της πτύχωσης δημιουργήθηκαν σε όλη την ζώνη εγκάρσια ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. Μετά το τέλος της απόθεσης του φλύσχη στο Ολιγόκαινο-Μειόκαινο, τοποθετήθηκαν τεκτονικά πάνω σε αυτόν, οι «οφιόλιθοι της Πίνδου».



Εικόνα 2.2.2.4: Λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Πίνδου και ανάδειξη της θέσης του «2^{ου} Φλύσχη Πίνδου» (Κατά Δ. Ματαραγκα, κ.α. από γεωλογικό χάρτη φύλλου «Κλεπάς», κλίμακας 1:50000, Ι.Γ.Μ.Ε., 1985, από Σκούρτσος, 2015)

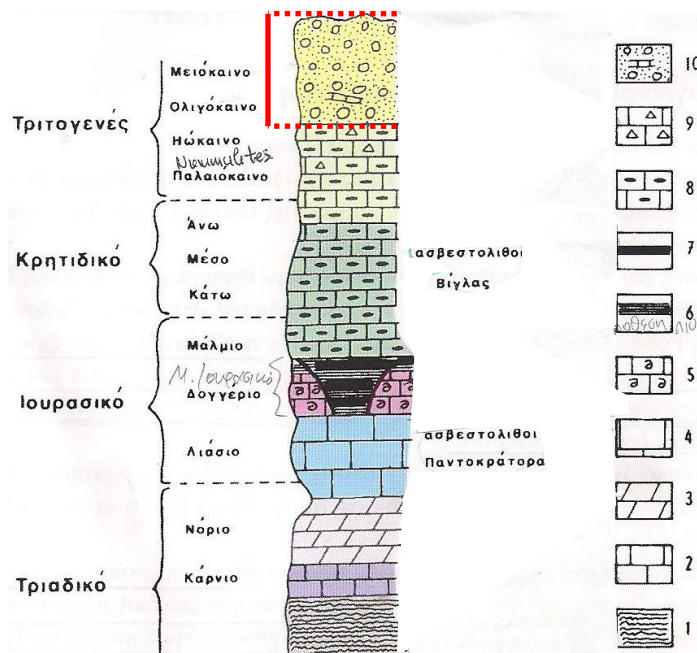
Ο φλύσχη της **Ιονίου ή Αδριατικοϊονίου ζώνης**, αποτελεί την τελευταία απόθεση στην λιθοστρωματογραφική στήλη της που ξεκινά από το τέλος του Ηωκαίνου και συνεχίζεται μέχρι το Κάτω Μειόκαινο, οπότε έλαβε χώρα και η πτύχωση της ζώνης. Πριν την έναρξη της απόθεσης του φλύσχη, αποθέτονταν πλακώδεις πελαγικοί

ασβεστόλιθοι με Numulites, οι γνωστοί «ασβεστόλιθοι του Ηωκαίνου», αφού η Ιόνιος λεκάνη εκείνη της εποχής βυθίστηκε και ομογενοποιήθηκαν οι συνθήκες ιζηματογένεσης.

Ο συγκεκριμένος φλύσχος, σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) έχει συνολικό φαινόμενο πάχος περίπου 1000m, όντας όμως επηρεασμένο από τις πτυχώσεις.

Έχει σύσταση ψαμμιτική-μαργαϊκή στα κατώτερα στρώματα, ενώ εξελίσσεται στα ανώτερα στρώματα σε εναλλαγές ιλυολίθων, μαργών, μαργαϊκών ασβεστόλιθων, ψαμμιτών και σπανίως κροκαλοπαγών(Μουντράκης Δ., 2010).

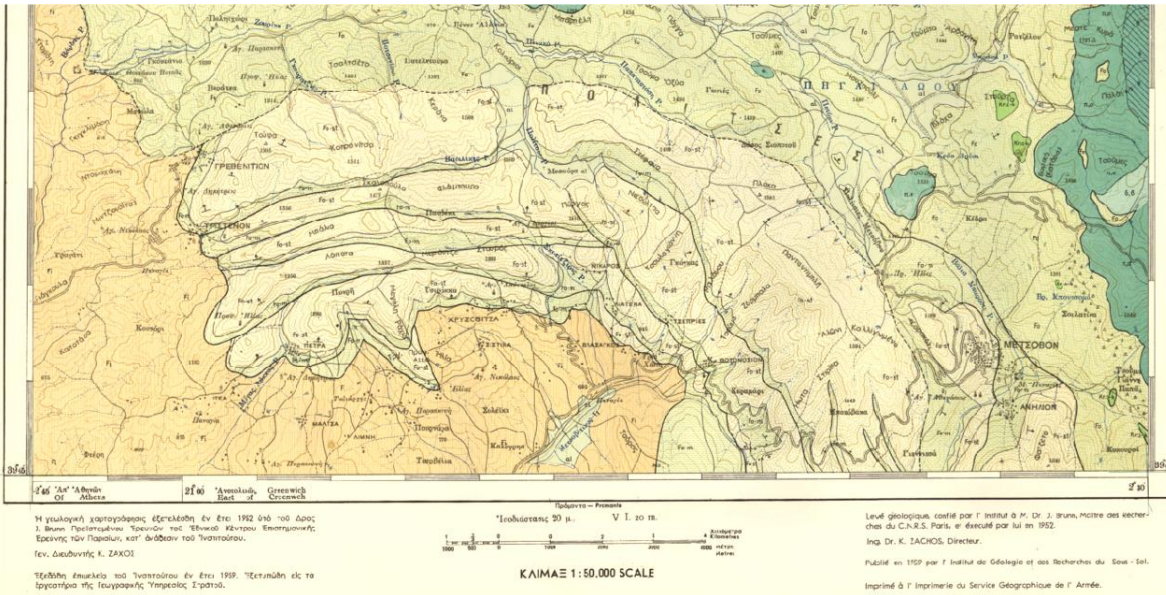
Η τεκτονική της Ιονίου ζώνης χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεγασυγκλίμων και μεγααντικλίμων που επωθούνται ή επιπεύουν το ένα πάνω στο άλλο προς τα Δυτικά. Τόσο οι μεγαπτυχές όσο και οι μικρότερης κλίμακας πτυχές, είναι συνήθως ασύμμετρες. Τέλος, η δομή της Ιονίου ζώνης σχηματίζεται και από μεγάλα εγκάρσια ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης που σχηματίστηκαν κατά την τελική πτύχωση, καθώς και ρήγματα ανάστροφα (της λεπίωσης) και κανονικά που σχηματίστηκαν μεταγενέστερα (μετατεκτονικά).



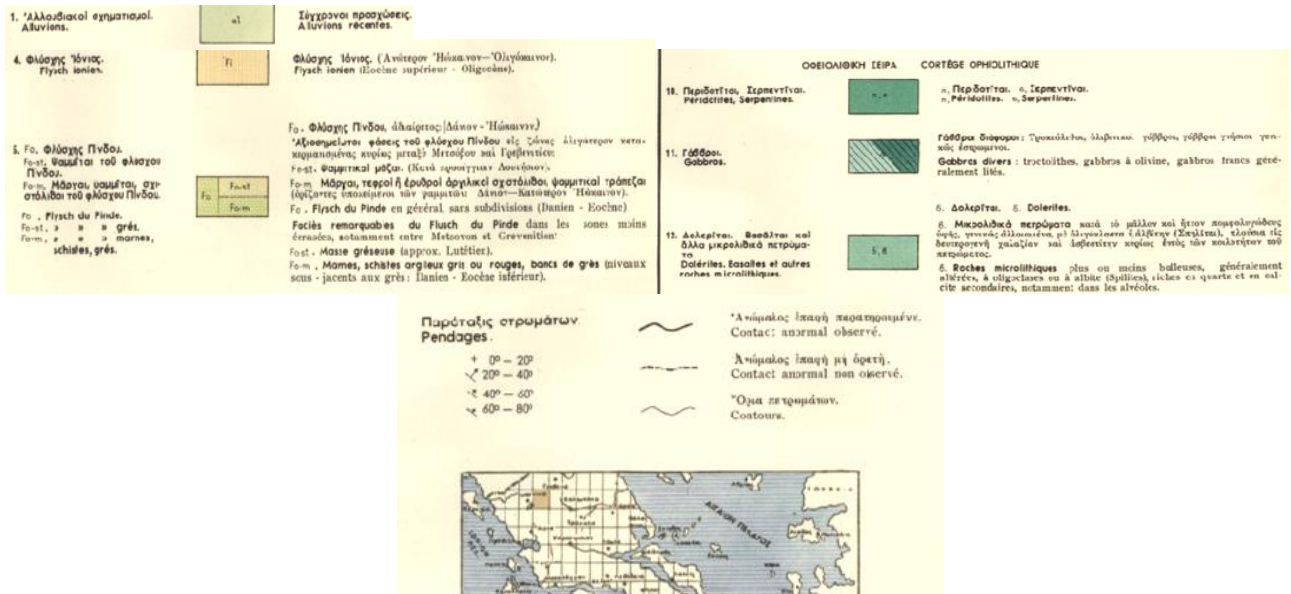
Εικόνα 2.2.2.5: Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της Αδριατικοϊονίου ζώνης ανάδειξη της θέσης του Φλύσχη της Ιονίου: 1:γύψος, 2:μαύροι ασβεστόλιθοι, 3:δολομίτες, 4:ασβεστόλιθοι νηριτητικοί «Παντοκράτορα», 5:ασβεστόλιθοι του Ammonitico rosso, 6:σχιστόλιθοι με

Posidonomyes, 7:κερατόλιθοι, 8:ασβεστόλιθοι πελαγικοί «Βίγλας», 9:ασβεστόλιθοι ημι-πελαγικοί Ηωκαίου, 10:φλύσχης (από Μουντράκη Δ. ,2010)

Ακολουθεί αντιπροσωπευτικός της περιοχής μελέτης γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε.(φύλλο: Μέτσοβο), οπού γίνεται εμφανής ο φλύσχης της Ιονίου με πορτοκαλί χρώμα, σε επαφή με τον φλύσχη της Πίνδου και πτυχώσεις και λεπιώσεις του τελευταίου.



Υπόμνημα



Εικόνα 2.2.2.6: Τμήμα Γεωλογικού Χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., 1959. Κλίμακα 1:50.000, φύλλο: Μέτσοβο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΛΥΣΧΙΚΩΝ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ -ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ

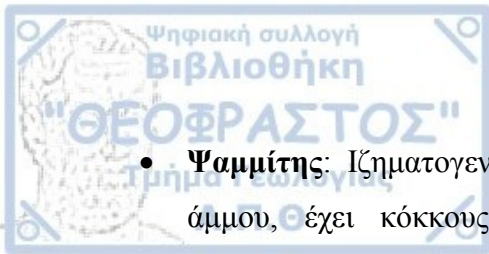
3.1. ΑΠΑΝΤΩΜΕΝΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ –ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Όπως προαναφέρθηκε, ο σχηματισμός του φλύσχη διακρίνεται για τους διάφορους λιθότυπους που μπορεί να εμπεριέχει κατά μήκος της έκτασής του και τους ποικίλους συνδυασμούς και πάχη με τους οποίους αυτοί εμφανίζονται (π.χ. ιλυολιθική μάζα με λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη ,εναλλαγές ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες, κ.α.).

Συγκεκριμένα, μέσα στον σχηματισμό κυριαρχούν ρυθμικές εναλλαγές ψαμμιτικών και ιλυολιθικών πετρωμάτων, σε διαφορετική κάθε φορά ποσόστωση και με μεταβαλλόμενα πάχη στρωμάτων, καθώς και στρώσεις κροκαλοπαγών, ασβεστολίθων ή/και μαργών σε ορισμένες θέσεις (Μαρίνος Β., 2007). Κάθε ρυθμός απόθεσης αποτελείται από ένα τεφρό-χακί-μπεζ ψαμμιτικό στρώμα και ένα σκούρο-μαύρο αργιλικό στρώμα ίδιου ή διαφορετικού πάχους, από μερικά εκατοστά μέχρι και μερικά μέτρα. Τα κυρίαρχα στην μάζα του φλύσχη γεωυλικά θα αναλυθούν λεπτομερώς στην συνέχεια.

Η συνολική μάζα του χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική και νεότεκτονική καταπόνηση αλλά και διάβρωση κυρίως των πηλιτικών πετρωμάτων του, ως ασθενέστερα μέλη του σχηματισμού. Είναι λοιπόν ο φλύσχη, μία βραχόμαζα με εμφανή λιθολογική, δομική και γεωτεχνική ανομοιομορφία σε μακροσκοπική κλίμακα.

Από την μελέτη των στοιχείων της βάσης γεωτεχνικών δεδομένων σηράγγων-«Σύστημα Ανάλυσης Πληροφοριών-ΤΙΑΣ» που λήφθηκαν για την παρούσα εργασία, απαντώνται στην περιοχή μελέτης της ζώνης Πίνδου, κυρίως ψαμμίτης και ιλυόλιθος. Παρακάτω δίνονται αναλυτικά στοιχεία για το κάθε ένα από τα γεωυλικά αυτά.



- **Ψαμμίτης:** Ιζηματογενές πέτρωμα που έχει προκύψει από την διαγένεση της άμμου, έχει κόκκους μεγέθους 2-1/16mm και εμφανίζει χαρακτηριστική στρωμάτωση.

Τα κύρια συστατικά του είναι: α) κόκκοι χαλαζία, β) κόκκοι αστρίων, γ) θραύσματα πετρωμάτων, δ) υλικό πλήρωσης, ε) συγκολλητικό υλικό. Το τελευταίο, ανάλογα την σύστασή του χαρακτηρίζει το πέτρωμα του ψαμμίτη ως χαλαζιακό (πυριτικό), ασβεστιτικό ή αργιλικό (Τσιραμπίδης, 2008). Η παρουσία αργίλου ή μάργας ως συγκολλητικό υλικό, προσδίδει πτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά στον ψαμμίτη αφού αποσαθρώνεται και μειώνεται η συνεκτικότητα του βράχου, σε αντίθεση με το ασβεστιτικό συγκολλητικό υλικό που ενισχύει την αντοχή του, αλλά και αυτό διαλύεται δημιουργώντας κενά.

Ειδικότερα, η διαγένεση ξεκινά αμέσως μετά την απόθεση της άμμου στην ωκεάνια λεκάνη (που προέρχεται από την διάβρωση της αναδυόμενης οροσειράς). Έπειτα, με την αύξηση της πίεσης, της θερμοκρασίας και τον ενταφιασμό σε μεγαλύτερα βάθη, το πορώδες μειώνεται. Αυτό περιορίζεται επίσης και από τα χημικά συγκολλητικά υλικά. Τέλος, πτυχώνονται τα στρώματα και σχηματίζονται μεταμορφικά ορυκτά (π.χ. χλωρίτης). Εμφανίζεται στρωματωμένος και κατά τόπους άστρωτος.

- **Πηλόλιθος:** Ιζηματογενές πέτρωμα που αποτίθεται στην ωκεάνια λεκάνη και αποτελεί έναν από τους πετρογραφικούς τύπους των πηλόλιθων (τραχείς και αποσκληρυμένοι πηλόλιθοι). Καταλήγει στην τάφρο ιζηματογένεσης του φλύσχη, είτε από τα τουρβιδικά ρεύματα της ηπείρου(ελαφρύτερο άρα μεταφορά και απόθεση σε μεγαλύτερη απόσταση), είτε ως ωκεάνιο ίζημα. Έχει μέγεθος κόκκων μεταξύ λεπτής άμμου και αργίλου (0.075-0.002mm) και λιγότερο από 32% περιεκτικότητα στους τελευταίους. Το χρώμα τους είναι φαιότεφορο ή ερυθρό (ερυθροπηλίτες).

Είναι λεπτά στρωματωμένοι ή φυλλώδεις (Τσιραμπίδης, 2008). Έχουν πολύ χαμηλή περατότητα, χαμηλή αντοχή και προκαλούν προβλήματα αστάθειας στη βραχώμαζα. Συνήθως περιέχουν ποικίλου πάχους ψαμμιτικές ενστρώσεις και σπάνια ενστρώσεις κροκαλοπαγών.



- **Κροκαλοπαγές:** Συμπαγή κλαστικά ιζήματα με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 2mm. (Τσιραμπίδης,2008). Στην λεκάνη ιζηματογένεσης του φλύσχη, αντιπροσωπεύουν τοπικές ακατάστατες αποθέσεις, προερχόμενες από τα υλικά την αναδύομενης οροσειράς. Αποτελούνται από συγκολλημένα καλά στρογγυλεμένα κλαστικά τεμάχια(κροκάλες), υλικό πλήρωσης(συνήθως ψαμμιτικό) και συγκολλητικό ή συνδετικό υλικό (ιλυοαργιλώδες, ιλυοψαμμιτικό ή ψαμμιτοανθρακικό). Οι κροκάλες είναι συνήθως σύστασης ασβεστολιθικής, οφιολιθικής, ψαμμιτικής, κερατολιθικής και το μέγεθός τους ποικίλει από μέγεθος κόκκων χονδρής άμμου, μέχρι διάμετρο μερικών εκατοστών (Μαρίνος Β.,2007).

Είναι δηλαδή πολύμικτος σχηματισμός, χωρίς στρώση. Μέσα στη μάζα του δύναται να εμφανίζει χωρίς συγκεκριμένη διάταξη και με ποικίλο πάχος, ιλυολιθικά στρώματα και ψαμμίτες Βέβαια στην παρούσα εργασία ο συγκεκριμένος σχηματισμός του κροκαλοπαγούς με ενστρώσεις ιλυολίθων ή/και ψαμμιτών δεν μελετάται, εξαιτίας της πολυπλοκότητάς του ως προς τα μηχανικά του χαρακτηριστικά και το μικρό πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων. Παρουσιάζει όμοιες μηχανικές ιδιότητες με τον ψαμμίτη, όπως σκληρότητα και συγκόλληση ανάλογη του συνδετικού του υλικού, αλλά μικρότερη γωνία τριβής και αντοχή.

Τα παραπάνω γεωυλικά και ορισμένα δευτερεύοντα ακόμα που απαρτίζουν έναν φλυσχικό σχηματισμό, παρουσιάζονται σήμερα σχεδόν όλα πτυχωμένα και λεπιωμένα εξαιτίας της δράσης έντονων τεκτονικών κινήσεων στην ζώνη σύγκρουσης των δύο λιθοσφαιρικών πλακών. Ακόμη, όπως προαναφέρθηκε συνδυάζονται μεταξύ τους ποικιλοτρόπως και προκύπτουν πολλαπλοί λιθολογικοί σχηματισμοί.

Συγκεκριμένα στο σύστημα TIAS της Εγνατίας Οδού, έχουν δοθεί για τον φλύσχη οι εξής λεπτομερείς ονομασίες λιθολογικών σχηματισμών:

Ασβεστόλιθοι, Ασβεστομάργες
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες
Εναλλαγές μαργαϊκού ασβεστολίθου και ιλυόλιθου
Αργιλικός σχιστόλιθος
Ιλυόλιθος
Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη
Ιλυόλιθος-Αργιλικός σχιστόλιθος
Ιλυόλιθος με φακούς κροκαλοπαγούς ή/και λεπτές ενστρώσεις ή παρεμβολές ψαμμίτη
Ερυθροπηλίτης
Ερυθροπηλίτης με λεπτούς σποραδικούς ορίζοντες ή φακούς ψαμμίτη
Ερυθροπηλίτης χαοτικής δομής με τεμάχη ψαμμίτη
Κροκαλοπαγές με ενστρώσεις ιλυόλιθου ή/και ψαμμίτη
Κροκαλοπαγές -Ψηφιδοπαγές –Λατυποπαγές
Ψαμμίτης
Ψαμμίτης με ενστρώσεις κροκαλοπαγούς ή/και ιλυόλιθου ή αργιλικού σχιστολίθου.
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου
Φακοί μεγάλων διαστάσεων εναλλαγών ψαμμιτών και ιλυολίθων, με σαφή δομή, που περικλείονται εντός χαοτικής μάζας ιλυόλιθου.

Πίνακας 3.3.1.1: Λεπτομερείς ονομασίες όλων των λιθολογικών σχηματισμών και γεωυλικών του φλύσχη από το σύστημα TIAS.

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτή η συχνότητα εμφάνισης των ψαμμιτικών και ιλυολιθικών ή ερυθροπηλιτικών μελών και οι εναλλαγές με διαφορετική κάθε φορά ποσοτική συμμετοχή του καθενός. Δευτερευόντως η παρουσία κροκαλοπαγών με ή χωρίς ενστρώσεις ιλυόλιθου ή/και ψαμμίτη και επίσης η χαοτική μάζα ιλυόλιθου με τεμάχη ψαμμίτη.

Αναμφισβήτητη είναι η αξιοπιστία των στοιχείων που λαμβάνονται από τις γεωτρήσεις ,λόγω της εστίασής τους ακριβώς στο βάθος του σχεδιαζόμενου έργου (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002, p.218).

Μετά από ομαδοποίηση των παραπάνω στοιχείων κατά την κρίση της συγγραφέα, με σκοπό την αποτελεσματικότερη επεξεργασία των δεδομένων τους, προκύπτουν οι εξής γενικές κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών του φλύσχη:



1. Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες
2. Ιλυόλιθος ή Ερυθροπηλίτης
3. Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη
4. Ψαμμίτης
5. Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου
6. Κροκαλοπαγές

Με βάση την παραπάνω ομαδοποίηση, θα επεξεργαστούν στα επόμενα κεφάλαια τα δεδομένα γεωτρήσεων που λήφθηκαν από την βάση TIAS.

3.2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΛΥΣΧΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ

Σύμφωνα με τον Μαρίνο Β. (2007) η συμπεριφορά του φλύσχη παρουσιάζει σημαντικές ιδιαιτερότητες που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως την διαφορική ποσόστωση των ψαμμιτικών και ιλυολιθικών μελών του (ετερογένεια), την διαφορική του αποσάθρωση, την τεκτονική του καταπόνηση, την συμμετοχή υλικών τόσο με χαμηλή όσο και με υψηλή αντοχή και περατότητα. Συγκεκριμένα, το φλυσχικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω στοιχεία.

3.2.1.1 Τεκτονική

Έντονη τεκτονική καταπόνηση έχει υποστεί ο φλύσχος της ζώνης Πίνδου και Ιονίου, στις θέσεις επώθησης και λεπίωσης αλλά και στην υπόλοιπη μάζα του, με την παρουσία πτυχώσεων (σύγκλινα και αντίκλινα) και διατμήσεων.

Η επώθηση του τεκτονικού καλύμματος της Πίνδου έχει γίνει από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά πάνω στην ζώνη Γαβρόβου ή Ιονίου και τα λείπια της βρίσκονται επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο δημιουργώντας συνεχείς επαναλήψεις στρωμάτων της ενότητας.

Γίνονται λοιπόν ελαφρά διαταραγμένες έως εντελώς εξαφανισμένες (χαοτικές) οι αρχικές δομές, κυρίως των πηλιτικών (πλαστικών) μελών: ιλυόλιθου, αργιλικού

σχιστολίθου και των λεπτοστρωματωδών εναλλαγών ιλυολίθου-ψαμμιτών που ορίζονται ως τα ασθενέστερα μέλη του σχηματισμού. Επιπλέον, σε συνδυασμό με την μετατεκτονική ρηγμάτωση, υποβαθμίζεται η ποιότητα του σχηματισμού. Περισσότερο υποβαθμισμένη ποιοτικά είναι η βραχώμαζα «στρωσιγενούς» δομής, σε σχέση με αυτήν «χαοτικής» δομής.

Τα ιλυολιθικά μέλη εμφανίζονται αργιλοποιημένα, πολυπτυχωμένα, διατμημένα, ενώ τα ψαμμιτικά ως σχεδόν άκαμπτα, με ανοικτές πτυχές και θραυσιγενή τεκτονική. Μπορεί να απαντώνται και ανάστροφα επιπλευτικά ρήγματα ακόμη και μέσα στους παχυστρωματώδης ψαμμίτες. Βέβαια, εξαιτίας της «αντίστασης» των ψαμμιτικών μελών στις πτυχώσεις, σε περιοχές λεπίωσης μακριά από το κύριο μέτωπο μίας μεγάλης επώθησης, είναι δυνατόν να μην απαντώνται οι χαοτικές δομές των ζωνών εφίπλευσης, αλλά μία ομαλή φλυσική στρωματογραφική ακολουθία (Μαρίνος Β., 2007). Προφανώς, τόσο τα ψαμμιτικά όσο και ιλυολιθικά μέλη επιδέχονται διαφορετική τεκτονική καταπόνηση λόγω της διαφορετικής φύσης του υλικού (ψαθυρά και πλαστικά αντίστοιχα) και σήμερα εμφανίζονται ασθενέστερα ή εντονότερα επηρεασμένα από αυτήν.

3.2.1.2 Υδροπερατότητα

Ο σχηματισμός του φλύσχη σε γενικές γραμμές είναι αδιαπέρατος. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της λιθολογικής ετερογένειας. Τόσο ο ψαμμίτης όσο και τα ιλυολιθικά-αργιλοσχιστολιθικά μέλη έχουν μικρό συντελεστή υδροπερατότητας (k), με εξαίρεση την περίπτωση της χαλάρωσης του ψαμμίτη, κατά την διάλυση του συνδετικού του υλικού (αργιλικό ή ασβεστολιθικό) ή την παρουσία ρωγμών σε αυτόν ως δευτερογενές πορώδες (ψαθυρή θραύση). Άρα, αν και το νερό δύναται να περάσει από τον υδροπερατό ψαμμίτη, στην πορεία του μέσα στον σχηματισμό συναντά τον αδιαπέρατο ιλυόλιθο ή αργιλικό σχιστόλιθο και «φρενάρει», περνώντας έπειτα στο επόμενο ψαμμιτικό στρώμα μικρότερη ποσότητα νερού. Έτσι, μόνο στα πρώτα μέτρα στην μάζα του ιλυολίθου θα μπορούσε να αποθηκευτεί υπόγειο νερό, καθώς επίσης αυτό απομειώνει και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του.

Ψαμμιτικό τέμαχος που περιβάλλεται από ιλυολιθική ή αργιλική μάζα, ίσως να βρίσκεται υπό-πίεση, αφού το νερό αδυνατεί να κυκλοφορήσει και να διαφύγει

περιμετρικά. Ακόμη, πίσω από έντονα διατμημένες και αργιλοποιημένες ζώνες παγιδύεται πιθανόν το υπόγειο νερό με αποτέλεσμα την αδυναμία αποστράγγισης και εκτόνωσης των αναπτυσσόμενων στους πόρους πιέσεων (Μαρίνος Β.,2007).

Με τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι η παρουσία ιλυολίθου εμποδίζει την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων στον φλύσχη, παρά μόνο συμβάλλει στην δημιουργία ορισμένων επικρεμάμενων. Αντίθετα, οι ψαμμιτικοί πάγκοι ευνοούν την κίνησή του.

3.2.1.3 Αντοχή και Παραμορφωσιμότητα

Τα ψαμμιτικά μέλη του φλύσχη συνήθως είναι ικανά-μεγάλης αντοχής και εμφανίζουν μόνο επιφανειακές ρωγματώσεις και ζώνες χαλάρωσης. Τα ιλυολιθικά ή αργιλοσχιστολιθικά μέλη είναι μη ικανά, μικρής έως μέτριας αντοχής (ημίβραχοι), και μόλις εκτεθούν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες επιδέχονται το φαινόμενο της σχιστοποίησης-σχάσης, ενώ οι ρωγμές τους με το βάθος κλείνουν.

Η αντοχή και η παραμορφωσιμότητά τους μειώνεται με την αύξηση της τεκτονικής τους διαταραχής και της αποσάθρωσης που αλλοιώνει τον άρρηκτο βράχο. Τα κροκαλοπαγή και οι ασβεστόλιθοι που δύνανται να συμμετέχουν σε μικρότερο ποσοστό στον σχηματισμό του φλύσχη έχουν επίσης μεγάλη αντοχή σαν του ψαμμίτη. Στην κλίμακα του βράχου πάλι, δηλαδή στα γεωυλικά, ισχύει ότι οι δύο παράμετροι είναι ανάλογες μεταξύ τους (όπως θα διαπιστωθεί σε επόμενο κεφάλαιο) και εξαρτώνται παράλληλα και από την λιθολογική σύστασή του γεωυλικού.

Η αντοχή του άρρηκτου βράχου εκτιμάται στην παρούσα εργασία μέσα από δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση και αντοχής σε μονοαξονική θλίψη που, έχουν εκτελεστεί σε ένα μόνο και όχι σε περισσότερα γεωυλικά του ίδιου γεωλογικού σχηματισμού, λόγο της μικρής διάσταση του δείγματος, στο οποίο εκτελούνται οι δοκιμές. Το μέτρο παραμορφωσιμότητας έχει προκύψει από την χρήση του προγράμματος RocData. Η παραμορφωσιμότητα της βραχόμαζας εκτιμάται πέρα από εργαστηριακά και εμπειρικά (στην περίπτωση αυτή εμπεριέχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα), μέσω των γεωτεχνικών ταξινομήσεων (εδώ από την χρήση του προγράμματος RocData) και εξαρτάται τόσο από την παραμορφωσιμότητα του άρρηκτου πετρώματος, όσο και από εκείνη των ασυνεχειών της.

Η αντοχή και η παραμόρφωση εξαρτάται επιπλέον από τα πάχη των στρωμάτων που, όσο μεγαλύτερα είναι (συμπαγή) τόσο πιο άκαμπτα και λιγότερο παραμορφωμένα εμφανίζονται. Η παρουσία νερού μειώνει την αντοχή. Η συνολική αντοχή του φλυσχικού σχηματισμού καθορίζεται κυρίως από το επικρατέστερο γεωλικό.

Φλυσχικό μέλος	Ψαμμίτης	Ιλυόλιθος	Κροκαλοπαγές
$I_{s(50)}$ (MPa)	3,57	1,5	0,853
Πλήθος τιμών (N)	110	107	23

Πίνακας 1.2.1.3.1: Αποτελέσματα από τα επεξεργασμένα εργαστηριακά δεδομένα αντοχής σε σημειακή φόρτιση, της βάσης TIAS

Φλυσχικό μέλος	Ψαμμίτης	Ιλυόλιθος	Κροκαλοπαγές	Αργιλικός σχιστόλιθος
σ_{ci} (MPa)	44	17	15*	11

Πίνακας 3.2.1.3.2: Εργαστηριακά αποτελέσματα μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής UCS- σ_{ci} φλύσχη, από επεξεργασία τους μέσα από την βάση TIAS (B. Μαρίνος, 2007)

*λόγω διαφορετικού λιθολογικά συγκολλητικού υλικού μπορεί να παρουσιάζει διαφορετικές τιμές αντοχής

Φλυσχικό μέλος	Ψαμμίτης	Ιλυόλιθος	Κροκαλοπαγές
E_i (MPa)	12400	4200	4200

Πίνακας 3.2.1.3.3: Εργαστηριακά αποτελέσματα τιμών μέτρου παραμορφωσιμότητας E_i φλύσχη, από επεξεργασία τους μέσα από την βάση TIAS (B. Μαρίνος, 2007)

3.2.1.4 Αποσάθρωση

Κατά την ISRM (International Society of Rock Mechanics), 1981, η κατηγοριοποίηση της αποσάθρωσης λαμβάνει χώρα σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Βαθμοί αποσάθρωσης βραχωδών δειγμάτων		
Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή	Κατηγορία κατά την ISRM
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	I
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II
Ολίγον αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III

Μετρίως αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα.	IV
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού	V
Πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής	VI
Έδαφος	Η υφή και δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-

Πίνακας 3.2.1.4.1: Βαθμοί αποσάθρωσης βραχωδών δειγμάτων που προτείνει η ISRM (anonymous, 1981)

Γενικά ισχύει για τα πηλινικά πετρώματα ότι υφίστανται σχάση όταν αποσυμπιεστούν, εκτεθούν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και γενικώς πάντως να περιορίζονται από το αρχικό τους περιβάλλον, με αποτέλεσμα την αύξηση των ασυνεχειών των στρώσεων και την επακόλουθη εύκολη αποσάθρωσή τους.

Ο ιλυόλιθος όταν εκτεθεί σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (π.χ. ύγρανση-ξηράνση, θέρμανση), επιδράσει το νερό στην μάζα του και χαλαρώσει, **αποσαθρώνεται** στα πρώτα μέτρα, ενώ με το βάθος το πέτρωμα είναι όλο και πιο υγιές. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση της παρουσίας ψαμμιτών στην μάζα τους οι οποίοι μπορούν μεταφέρουν το νερό σε μεγαλύτερο βάθος. Είναι επίσης εύθρυπτοι αφού παρουσιάζουν το φαινόμενο της σχιστοποίησης-σχάσης-απόσχισης σε φυλλάρια (slaking) ή παρουσιάζουν διογκούμενα αργιλικά ορυκτά.

Με την κυκλοφορία νερού στις ρωγμές των ψαμμιτικών πάγκων, παρατηρείται σφαιρική αποσάθρωσή τους με συγκεντρικούς κύκλους και απομειούμενο βαθμό αποσάθρωσης ανά εσωτερικότερο κύκλο. Η αποσάθρωση αυτή λαμβάνει χώρα στα πρώτα μέτρα βάθους (επιφανειακές συνθήκες), σε αντίθεση με τις ζώνες ρηγμάτων που ευνοούν την διέλευση του νερού σε πολύ μεγαλύτερα βάθη και δημιουργούν ζώνες έντονης εξαλλοίωσης. Η ευθρυπτότητα του ψαμμίτη αυξάνεται με την αύξηση της παρουσίας αστρίων οι οποίοι παθαίνουν την εξαλλοίωση «καολινίωση».

Τέλος, στα κροκαλοπαγή (χωρίς ενστρώσεις ψαμμίτη ή/και ιλυόλιθου) δύναται να αποπλυθεί το συγκολλητικό υλικό κατά μήκος των ασυνεχειών των πρώτων μέτρων βάθους και συνήθως εμφανίζει μόνο επιφανειακή αποσάθρωση, για του ίδιους λόγους με

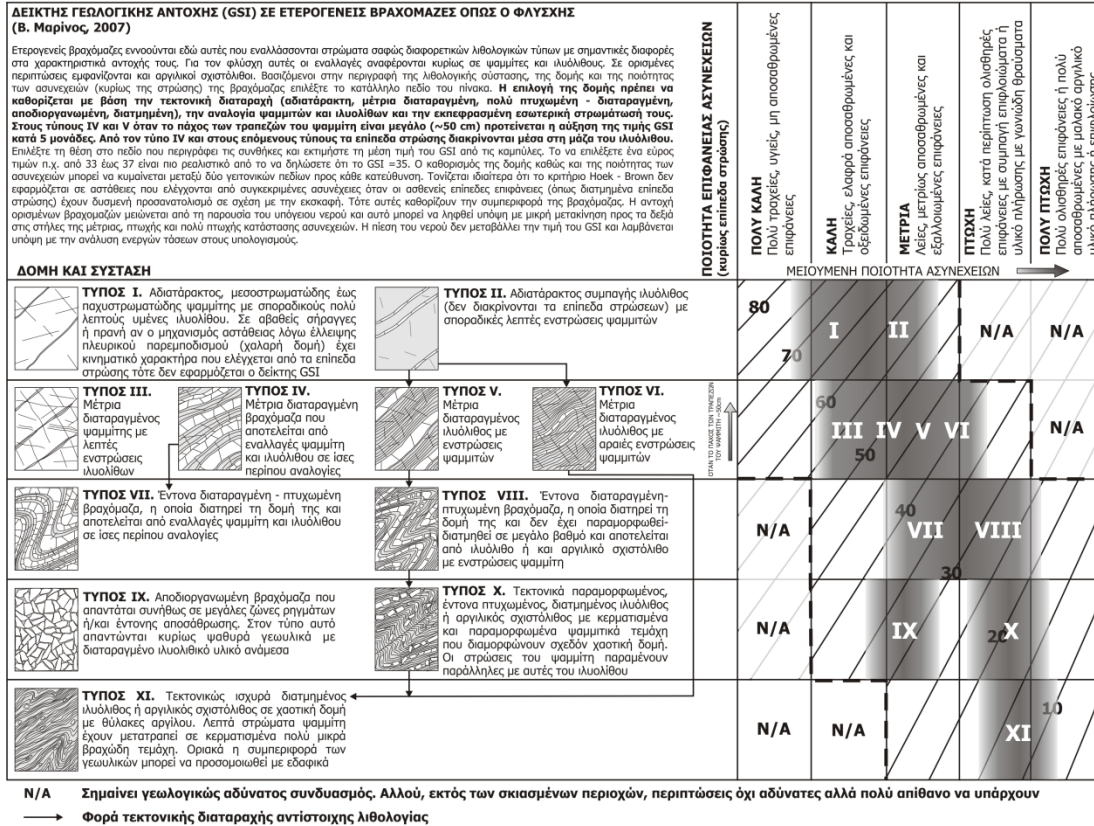
τα υπόλοιπα γεωλικά. Εξαιρέση αποτελεί και εδώ η περίπτωση παρουσίας ζώνης ρήγματος σε μεγαλύτερα βάθη.

3.2.2. Περιγραφή των τεχνικογεωλογικών τύπων (I-XI)

Κατά τον Μαρίνο Β. (2007), ο φλύσχος ταξινομείται σε 11 λιθότυπους (I έως XI) που διακρίνονται με βάση το ποσοστό συμμετοχής των ψαμμιτικών έναντι των ιλυολιθικών μελών και την τεκτονική τους διαταραχή, δηλαδή την δομή των διάφορων λιθότυπων.

ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΔΟΜΗ – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ GSI	ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΔΟΜΗ – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ GSI	ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΔΟΜΗ – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ GSI
Τύπος I. Αδιάτακτος μεσοστρωματώδης έως ηχοστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου	Δομή: Τεμαχώδης (B) Ποιότητα Ασυνεχών: Πολύ Καλή - Καλή (VG-G) GSI : 60-65		Τύπος II. Αδιάτακτος ιλυόλιθος με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη	Δομή: Τεμαχώδης (B) Ποιότητα Ασυνεχών: Καλή - Μέτρια (G - F) GSI : 55-65	
Τύπος III. Μέτρια διαταραγμένος ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυολίθου	Δομή: Πολύ Τεμαχώδης (VB) Ποιότητα Ασυνεχών: Καλή - Μέτρια (G - F) GSI : 50-65		Τύπος IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από εναλλαγές ψαμμίτη-ιλυολίθου σε ίσες αναλογίες	Δομή: Πολύ Τεμαχώδης (VB) Ποιότητα Ασυνεχών: Καλή - Μέτρια (G - F) GSI : 45-55	
Τύπος V. Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη	Δομή: Πολύ Τεμαχώδης (VB) Ποιότητα Ασυνεχών: Μέτρια - Πτωχή (P - VP) GSI : 40-55		Τύπος VI. Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με αραιές λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη	Δομή: Πολύ Τεμαχώδης (VB) Ποιότητα Ασυνεχών: Μέτρια - Πολύ Πτωχή (F-VP) GSI : 35-45	
Τύπος VII. Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατρέχει τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη - ιλυολίθου σε ίσες αναλογίες	Δομή: Πτυχωμένη - Πολύ Διαταραγμένη (BD) Ποιότητα Ασυνεχών: Μέτρια - Πτωχή (F -P) GSI : 25-40		Τύπος VIII. Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατρέχει τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί- διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται κυρίως από ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη	Δομή: Πτυχωμένη - Πολύ Διαταραγμένη (BD) Ποιότητα Ασυνεχών: Μέτρια - Πτωχή (F -P) GSI : 20-35	
Τύπος IX. Αποδιοργανωμένη - Κατακερματισμένη βραχώμαζα	Δομή: Αποδιοργανωμένη (D) Ποιότητα Ασυνεχών: Καλή - Μέτρια (G - F) GSI : 25-40		Τύπος X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, ρηγματωμένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμιτικά τεμάχια τα οποία διασπείρονται σχεδόν χαστική δομή	Δομή: Φυλλώδης-Διατημένη (F) Ποιότητα Ασυνεχών: Πτωχή - Πολύ Πτωχή (P-VP) GSI : 10-20	
					Η γεωτεχνική ταξινόμηση βασίστηκε στο νέο διάγραμμα GSI για ετερογενείς βραχώμαζες όπως ο φλύσχος (Μαρίνος, 2007)

Εικόνα 3.2.2.1: Τεχνικογεωλογικοί τύποι βραχώμαζας σε περιβάλλον φλύσχη (Μαρίνος 2007) Γεωλογικής Αντοχής (GSI) με βάση το νέο διάγραμμα ταξινόμησης GSI για ετερογενείς βραχώμαζες όπως ο φλύσχος που εισήχθη από τον Β. Μαρίνο το 2007 και στηρίζεται στην εμπειρία διάνοιξης σηράγγων σε φλυσχικό περιβάλλον. Στην εικόνα 2, δηλαδή πάνω στο διάγραμμα GSI, προβάλλονται οι λιθότυποι του φλύσχη και έτσι χαρακτηρίζονται από το εύρος τιμών της σκιαγραφημένης κάθε φορά περιοχής. Προφανώς λαμβάνεται υπόψη η δομή και η σύσταση της βραχώμαζας και η ποιότητα των ασυνεχειών της.



Εικόνα 3.2.2.2: Ο νέος Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (GSI) σε ετερογενείς βραχώμαζες όπως ο φλύσχη (B. Μαρίνος, 2007)

Για τους λιθότυπους I-IX του φλύσχη, συλλέχθηκαν στοιχεία με βασική πηγή την διδακτορική διατριβή του κ. Β. Μαρίνου (2007) και κατασκευάστηκαν συγκεντρωτικοί πίνακες, με σκοπό την ολοκληρωμένη έκθεση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των 11 λιθότυπων ή απλά τύπων, του σχηματισμού του φλύσχη. Ακολουθεί η λεπτομερής τεχνικογεωλογική περιγραφή των τύπων I-XI με μορφή πινάκων.

Οι τιμές σ_{cm} και οι τιμές m_i του κάθε τύπου που ακολουθούν, προκύπτουν από τον πίνακα 4.3.3.4 για τις προτεινόμενες αναλογίες των παραμέτρων σ_{ci} και m_i των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση των παραμέτρων του φλύσχη ανάλογα με τον τύπο του (Μαρίνος Β.,2007, p.291). Οι τιμές m_i είναι ενδεικτικές και όχι τυπικές και υπολογίστηκαν από τον ίδιο (p.299), μέσω του λογισμικού RocData. Οι τιμές παραμορφωσιμότητας της βραχώμαζας ανάλογα τον τύπο του φλύσχη, προέκυψαν από αντίστοιχες προτεινόμενες αναλογίες του E_i για τον άρρηκτο βράχο (Μαρίνος Β.,2007 , p.292).

Τύπος I: Αδιατάρακτος μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ιλυόλιθου

Γενική περιγραφή		Υγιής σχηματισμός. Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης σε ποσοστό 50-80%, λεπτοστρωματώδεις ιλυόλιθοι.	
Χαρακτηριστικό		Τιμή Παρατηρήσεις	
Ποιότητα		Βελτιώνεται με το βάθος.	
Δομή		Συμπαγής για τους ψαμμιτικούς πάγκους	
Πτύχωση		Απούσα Λόγω ακαμψίας, από την επικράτηση του ψαμμίτη στον σχηματισμό.	
Τεκτονισμός		Έχει εκτονωθεί στα πλαστικά μέλη (ιλυόλιθος).	
Κερματισμός		RQD>60 Μικρός έως μέτριος	
Αποσάθρωση		Μέτρια Με ένταση κυρίως στα πρώτα μέτρα από την επιφάνεια.	
Αντοχή	Ψαμμιτικοί πάγκοι	Μεγάλη	
Ποιότητα ασυνεχειών	Διακλάσεων	Τραχείες ή ελαφρά αποσαθρωμένες ή λείες με παρουσία ιλυολιθικού υμένα.	
Εμμόνη	Στρώσεων	Μεγάλη	
	Διακλάσεων	Μεγάλη	
Ευστάθεια-Αστάθεια		Οι ψαμμιτικοί πάγοι δύναται να είναι ασταθείς λόγω ολίσθησής τους πάνω στους ιλυολιθικούς υμένες	
σ_{ci}(MPa)	40	Εξαρτώνται εξολοκλήρου από την τιμή του ψαμμίτη.	
m_i	17		
σ_{cm}(MPa)	12		
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση των αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου I		Χρήση τιμών για τους ψαμμιτικούς πάγκους.	
GSI		65	
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i (GPa)		10	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Χρήση τιμών E_i των ψαμμιτικών πάγκων
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας $E_{m(2006)}$ (GPa)		7	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Πολύ μικρή	

Πίνακας 3.2.2.3: Τύπος I του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος II: Αδιατάρακτος ιλυόλιθος με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη			
Γενική περιγραφή		Υγής. Ιλυόλιθος σε ποσοστό 60-80%.	
Χαρακτηριστικό		Τιμή	Παρατηρήσεις
Δομή		Συμπαγής	Μαζώδης (αδιατάρακτο πέτρωμα)
Πτύχωση			
Τεκτονισμός			Απαντάται σε ήρεμες τεκτονικά ζώνες.
Κερματισμός		RQD>95	Ελαφρύς έως μέτριος. Μεγαλύτερος στα επιφανειακά τμήματα.
Αποσάθρωση		Περιορίζεται μόνο στα πρώτα μέτρα βάθους.	
Αντοχή	Ιλυόλιθος	Μέτρια έως χαμηλή	
	Λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη	Δεν συμβάλλουν στην αύξηση της αντοχής του σχηματισμού εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους.	
Ποιότητα ασυνεχειών	Ασυνέχειες Ιλυολίθου	Καλή έως μέτρια	Λείες έως τραχείες. Ανοικτές επιφανειακά πληρωμένες με υλικό και κλειστές με το βάθος.
Εμμογή	Στρωμάτωση	Απούσα	Επιφανειακά μόνο μπορεί να εμφανίζεται η στρωσιγένεια και η σχιστοποίηση λόγω της σχάσης (slaking)
	Ασυνέχειες Ιλυολίθου	Μικρή	Λόγω πλαστικότητάς του.
σ_{ci}(MPa)		15	Εξαρτώνται εξολοκλήρου από την τιμή του ιλυόλιθου
m_i		7	
σ_{cm}(MPa)		3	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου II		Χρήση τιμών για ιλυολιθικούς πάγκους	
GSI		60	
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i(GPa)		3	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Χρήση τιμών για ιλυολιθικούς πάγκους.
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας $E_{m(2006)}$ (GPa)		1,5	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Πολύ μικρή	

Πίνακας 3.2.2.4: Τύπος II του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος III: Μέτρια διαταραγμένος ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου			
Γενική περιγραφή		Υγής σχηματισμός. Οι ενστρώσεις ιλυόλιθου έχουν πάχος 20-30cm ενώ ο ψαμμίτης 2m (πάγκοι σημαντικού πάχους).	
Χαρακτηριστικό		Τιμή	Παρατηρήσεις
Ποιότητα		Βελτιώνεται με το βάθος.	
Δομή		Ο ιλυόλιθος έχει πιο κλειστή δομή με το βάθος αλλά οδηγεί και πάλι τη συνολική βραχώμαζα σε λιγότερο συμπαγή δομή.	
Πτύχωση		Η διαταραχή στον ψαμμίτη δεν είναι έντονη (όχι πολύ πτυχωμένη) αφού, τα πλαστικότερα μέλη του σχηματισμού έχουν αποσβέσει την τεκτονική πίεση.	
Τεκτονισμός		Σπανίως ζώνες ρηγμάτων, στους άξονες των πτυχώσεων	
Κερματισμός		RQD>50	Μέτριος
Αποσάθρωση		Περιορίζεται επιφανειακά μόνο, κυρίως στον ιλυόλιθο.	
Αντοχή	Ψαμμίτης	Μεγάλη	Απομειώνεται από την παρουσία του ιλυόλιθου(χαμηλής αντοχής)
Ποιότητα ασυνεχειών	Ιλυόλιθος	Λείες έως φυλλώδεις	Με μαλακό ή σκληρό ιλυολιθικό υλικό πλήρωσης.
	Ψαμμίτης	Τραχείες έως ελαφρά τραχείες	
Εμμογή	Στρωμάτωση	Μεγάλη	Δεν συνεχίζεται στα ιλυολιθικά στρώματα εξαιτίας της πλαστικής παραμόρφωσής τους
	Διακλάσεις	Μέτρια	Καλής ποιότητας, κλειστές, λείες έως τραχείες και χωρίς υλικό πλήρωσης
Ευστάθεια- Αστάθεια		Πάνω στις επιφάνειες του ιλυόλιθου δύναται να ολισθήσουν τα ψαμμιτικά τεμάχια (κινηματική αστάθεια)	
σ_{ci}(MPa)		40	Εξαρτώνται εξολοκλήρου από τις τιμές του ψαμμίτη
m_i		17	
σ_{cm}(MPa)		10	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου III		Χρήση τιμών για ψαμμιτικούς πάγκους	
GSI		55	
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i (GPa)		9	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Χρήση τιμών για ψαμμιτικούς πάγκους μειωμένες κατά 10%.
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας $E_m(2006)$ (GPa)		3,5	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Ναι	

Πίνακας 3.2.2.5: Τύπος III του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος IV: Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από εναλλαγές ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες.

Γενική περιγραφή		Υγής. Ίσες αναλογίες ψαμμιτών και ιλυολίθων πάχη στρωμάτων 10-50cm. Η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της βραχώμαζας εξαρτάται από τα πάχη των στρωμάτων (π.χ. αν είναι λεπτά, περίπου 10-30cm, ο ιλυόλιθος επιδρά περισσότερο στην δομή και την αντοχή του άρρηκτου βράχου).	
Χαρακτηριστικό		Τιμή	Παρατηρήσεις
Ποιότητα		Βελτιώνεται με το βάθος.	
Δομή		Στρωματώδης (λέπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης)	
Πτύχωση		Ελάχιστη	
Κερματισμός		Μέτριος	
Αποσάθρωση		Μέτρια, αλλά εντονότερη στα ιλυολιθικά μέλη και με το βάθος μειώνεται. Όταν οι ψαμμιτικοί πάγκοι είναι έντονα κερματισμένοι, το νερό αποσαθρώνει βαθύτερα τους ιλυόλιθους.	
Αντοχή	Ψαμμίτης	Μεγάλη	Απομειώνεται από την παρουσία του ιλυόλιθου.
Ποιότητα ασυνεχειών	Ιλυόλιθος	Λείες έως φυλλώδεις	Με μαλακό έως σκληρό ιλυολιθικό υλικό πλήρωσης.
	Ψαμμίτης	Τραχείες έως ελαφρά τραχείες	Λόγω της ψαθυρότητάς του, έχει περισσότερες ρωγμές, οι οποίες δεν συνεχίζονται στον ιλυόλιθο λόγω πλαστικότητάς του
Εμμόνη	Στρώση	Μεγάλη	Δεν συνεχίζεται στα ιλυολιθικά στρώματα εξαιτίας της πλαστικής παραμόρφωσής τους.
	Διακλάσεις	Μικρή	Διότι δεν συνεχίζονται στα πλαστικά παραμορφωμένα στρώματα
Ευστάθεια-Αστάθεια		Πάνω στις επιφάνειες του ιλυόλιθου δύναται να ολισθήσουν τα ψαμμιτικά τεμάχια.	
σ_{ci}(MPa)		23	Εξαρτώνται από τις τιμές του ψαμμίτη και ιλυόλιθου.
m_i		10	
σ_m(MPa)		4	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου IV		Αν τα στρώματα είναι λεπτά, απομειώνεται η τιμή του ψαμμίτη κατά 20% και η τιμή του ιλυόλιθου λαμβάνεται πλήρως. Αν έχουν μεγαλύτερο πάχος τότε και οι δύο τιμές λαμβάνονται ισόποσες.	
GSI		50	Αύξηση κατά 5 μονάδες αν οι ψαμμιτικοί πάγκοι έχουν μεγάλο πάχος
E_i (GPa)		5,5	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Μείωση των ψαμμιτικών τιμών κατά 20% και χρήση της πλήρους τιμής του ιλυόλιθου
E_m (2006) (GPa)		1,5	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Ναι	Ανάλογα τον προσανατολισμό των στρώσεων, τα διατμητικά χαρακτηριστικά αντοχής και των ασυνεχειών.

Πίνακας 3.2.2.6: Τύπος IV του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος V: Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη.			
Περιγραφή		Υγής. Οι παρεμβαλλόμενοι μέσα στον ιλυόλιθο ψαμμιτικοί πάγκοι, έχουν μικρό πάχος 10-20cm. Ιλυόλιθος 60-80%.	
Χαρακτηριστικό		Τιμή	Παρατηρήσεις
Δομή		Δεν εμφανίζεται διατμημένη. Με το βάθος είναι πιο κλειστή.	
Πτύχωση		Ελαφριά	
Τεκτονισμός		Απαντάται σε ήρεμες τεκτονικά ζώνες.	
Κερματισμός		RQD= 40-60	Μέτριος
Αποσάθρωση		Χαμηλός βαθμός αποσάθρωσης στο βάθος και μεγαλύτερος επιφανειακά. Τα κερματισμένα ψαμμιτικά τεμάχια, διευκολύνουν την κίνηση του νερού και η αποσάθρωση συνεχίζεται και σε βάθος, με χαλάρωση της βραχώμαζας.	
Αντοχή	Ιλυόλιθος	Μικρή έως μέτρια	Βελτιώνεται σε έναν βαθμό από την παρουσία του ψαμμίτη.
	Ψαμμίτης	Μεγάλη	
Ποιότητα ασυνεχειών	Ιλυόλιθος	Καλή έως μέτρια και οριακά πτωχή	Η στρώση και οι διακλάσεις, παρουσιάζουν λείες έως ολισθηρές επιφάνειες. Οι ασυνέχειες με το βάθος είναι πιο κλειστές.
Εμμόνη	Στρώση	Εμφανίζει μεγάλη συνέχεια στον ιλυόλιθο.	
	Διακλάσεις	Μικρή εξαιτίας της πλαστικότητας του ιλυολίθου.	
Ευστάθεια-Αστάθεια		Η παρουσία διογκούμενων ορυκτών στον ιλυόλιθο δύναται να αποτελέσει ένα εξαιρετικά αρνητικό στοιχείο στην εκσκαφή για κατασκευή τεχνικού έργου.	
σ_{ci}(MPa)		18	Εξαρτώνται κυρίως από την τιμή του ιλυόλιθου.
m_i		8	
σ_{cm}(MPa)		2,5	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου V		Μείωση της τιμής του ψαμμίτη κατά 40% και του ιλυόλιθου χρησιμοποιείται πλήρως.	
GSI		45	Με την αποσάθρωση, η ποιότητα των ασυνεχειών χειροτερεύει και η τιμή του μειώνεται περίπου 5 μονάδες προς τα δεξιά του νέου διαγράμματος
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i (GPa)		4	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Μείωση ψαμμιτικών τιμών κατά 40% και χρήση της πλήρους τιμής του ιλυόλιθου.
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας E_m (2006) (GPa)		0,9	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Ναι	

Πίνακας 3.2.2.7: Τύπος V του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος VI: Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με αραιές λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη.			
Γενική περιγραφή		Υγής. Οι πάγκοι ψαμμίτη έχουν πάχος περίπου 10cm. Ιλυόλιθος σε ποσοστό 60-80%.	
Χαρακτηριστικό		Τιμή	Παρατηρήσεις
Δομή		Έντονη στρωσιγένεια. Δεν εμφανίζεται διατμημένη (εκτός από ορισμένες σποραδικές διατμήσεις μικρού εύρους). Οι πάγκοι ψαμμίτη συμβάλλουν στην καλή δομή της βραχώμαζας. Με το βάθος είναι πιο κλειστή από ότι κοντά στο έδαφος	
Πτύχωση		Ελάχιστη	
Τεκτονισμός		Δεν απαντάται σε μεγάλες τεκτονικές γραμμές	
Κερματισμός		RQD=40-60	Μέτρια
Αποσάθρωση		Χαμηλού βαθμού αποσάθρωσης στο βάθος και μεγαλύτερου βαθμού επιφανειακά	
Αντοχή	Ιλυόλιθος	Μικρή	Ελάχιστη αύξηση χάρη στις ψαμμιτικές παρεμβολές μεγαλύτερης αντοχής
Ποιότητα ασυνεχειών	Στρώση	μέτρια έως πτωχή	Λείες-ολισθηρές και ίσως τοπικά αργιλοποιημένες
	Διακλάσεις		
Εμμόνη	Ιλυόλιθος	Μικρή	Λόγω της πλαστικότητας του
	Ψαμμίτης	Μικρή	Λόγω διακοπής τους από τους ιλυόλιθους.
Ευστάθεια-Αστάθεια		Η παρουσία διογκούμενων ορυκτών στον ιλυόλιθο δύναται να αποτελέσει ένα εξαιρετικά αρνητικό στοιχείο στην εκσκαφή για κατασκευή τεχνικού έργου.	
σ_{ci}(MPa)		15	Εξαρτώνται πλήρως από την τιμή του ιλυολίθου.
m_i		7	
σ_{cm}(MPa)		1,7	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου VI		Χρήση τιμών για ιλυολιθικούς πάγκους.	
GSI		40	Σε αποσαθρωμένη κατάσταση, η ποιότητα των ασυνεχειών γίνεται πτωχότερη και η τιμή του GSI μειώνεται κατά περίπου 5 μονάδες προς τα δεξιά του νέου διαγράμματος
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i (GPa)		3	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Χρήση τιμών για ιλυόλιθο
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας $E_m(2006)$ (GPa)		0,5	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Μικρή	Ανάλογα τα μηχανικά χαρακτηριστικά αντοχής των ασυνεχειών και τον προσανατολισμό των στρώσεων μπορεί να συμπεριφερθεί ανισότροπα.

Πίνακας 3.2.2.8: Τύπος VI του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος VII: Έντονη διαταραγμένη-πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατηρεί την δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες.			
Γενική περιγραφή		Πτυχωμένες λεπτοστρωματώδεις εναλλαγές ιλυολίθων-ψαμμιτών, ίδιας ποσόστωσης, με παράλληλες στρώσεις πάχους περίπου 0,5cm. Υγής.	
Ποιότητα		Βελτίωση με το βάθος	
Χαρακτηριστικό		Τιμή	Παρατηρήσεις
Δομή		Πολύ διαταραγμένη	
Πτύχωση		Έντονη	
Τεκτονισμός		Έντονη τεκτονική καταπόνηση	
Κερματισμός	Ψαμμίτης	Κερματισμένος. Δύναται να πτυχωθεί εξαιτίας του μικρού πάχους των στρώσεων του.	
	Ιλυόλιθος	Διαταραγμένος με μικροδιατμήσεις.	
Αποσάθρωση		Ελαφριά έως μέτρια μόνο στα πρώτα μέτρα βάθους, ενώ φαίνεται εντονότερη στον ιλυόλιθο.	
Αντοχή	Ψαμμίτης	Μέτρια έως μεγάλη	Δεν επηρεάζεται από την διαταραχή αλλά απομειώνεται σημαντικά από την μικρή αντοχή των ιλυολίθων.
Ποιότητα ασυνεχειών	Ψαμμίτης	Λεία	
	Ιλυόλιθος	Ολισθηρή-φυλλώδης	Λόγω της έντονης πτύχωσης και τοπικά διάτμησης. Κατά τόπους παρουσία αργιλώδους υλικού πλήρωσης.
Εμμονή	Στρώση	Μεγάλη	
	Διακλάσεις	Μικρή	
Ευστάθεια-Αστάθεια		Λόγω πτύχωσης η φορά των στρωμάτων αλλάζει και συνδυαστικά με το λεπτό πάχος τους, σχηματίζονται μικρού μεγέθους δυνητικά ολισθαίνοντα(ασταθή) ψαμμιτικά τεμάχια πάνω στις λείες επιφάνειες των ιλυολίθων.	
σ_{ci}(MPa)		23	Εξαρτώνται από την τιμή του ιλυολίθου αλλά και του ψαμμίτη.
m_i		10	
σ_{cm}(MPa)		1,5	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου VII		Μείωση της τιμής του ψαμμίτη κατά 20% και του ιλυόλιθου χρησιμοποιείται πλήρως.	
GSI		35	Αυξάνεται περίπου 5 μονάδες αν οι ψαμμιτικοί πάγοι συμμετέχουν με μεγάλο πάχος αφού, θα είναι λιγότερο πτυχωμένη η βραχώμαζα με πιο συμπαγή δομή.
E_i (GPa)		5,5	Μείωση της τιμής του ψαμμίτη κατά 20% και του ιλυόλιθου χρησιμοποιείται πλήρως.
$E_{m(2006)}$(GPa)		0,6	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Όχι	

Πίνακας 3.2.2.8: Τύπος VII του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος VIII: Έντονα διαταραγμένη-πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατηρεί την δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί-διατηρηθεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται κυρίως από ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη.			
Γενική περιγραφή		Λιθολογική σύσταση ίδια με αυτή του τύπου V, αλλά πιο πτυχωμένη. Πάχος στρώσεων 0,2-0,3cm. Ιλυόλιθος σε ποσοστό 60-80%.	
Χαρακτηριστικό		Τιμή	Παρατηρήσεις
Δομή		Διατηρημένη η ιλυολιθική βραχώμαζα με ενστρώσεις κερματισμένων ψαμμιτών οι οποίοι ακολουθούν παράλληλα, με συνέχεια την έντονη πτύχωση των ιλυολίθων.	
Πτύχωση		Έντονη. Αποτρέπει την δημιουργία επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα	
Αποσάθρωση		Καλό αλληλοκλείδωμα κόκκων και απουσία αποσάθρωσης με το βάθος, ενώ επιφανειακά η δομή των στρώσεων είναι ανοικτή και η αποσάθρωση δεσπόζει.	
Αντοχή	Ψαμμίτης	Μέτρια έως μεγάλη	Αυξάνει σε μικρό βαθμό την αντοχή κυρίαρχου άρρηκτου ιλυόλιθου.
	Ιλυόλιθος	Μικρή	
Ποιότητα ασυνεχειών	Ψαμμίτης	Λείες	
	Ιλυόλιθος	ολισθηρές-φυλλώδεις οι μικροδιατημήσεις	Με πιθανότητα για κατά τόπους εμφάνιση μαλακού υλικού λόγω αργιλοποίησης.
Εμμονή	Στρώση	Μεγάλη	
	Διακλάσεις	Μικρή	Εξαιτίας της πλαστικότητάς του.
Ευστάθεια-Αστάθεια		Η μικρή εμμονή, το μικρό πάχος των στρωμάτων και η συνεχής αλλαγή της φοράς της κλίσης τους λόγω πτύχωσης, δημιουργεί μικρά τεμάχια. Τα διογκούμενα ορυκτά του ιλυόλιθου που πιθανόν να περιέχει θα δημιουργήσουν αξιόλογες παραμορφώσεις.	
σ_{ci}(MPa)		18	Εξαρτώνται πλήρως από την τιμή του ιλυόλιθου αλλά και του ψαμμίτη
m_i		8	
σ_{cm}(MPa)		1,5	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου VIII		Απομείωση της τιμής του ψαμμίτη κατά 40% και λήψη της πλήρους τιμής του ιλυόλιθου	
GSI		30	
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i (GPa)		4	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Μείωση της τιμής του ψαμμίτη κατά 40% και λήψη της πλήρους τιμής του ιλυόλιθου.
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας $E_m(2006)$ (GPa)		0,25	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Όχι	Αν και η βραχώμαζα είναι ετερογενής λιθολογικά, συμπεριφέρεται ισότροπα.
Υδατικές συνθήκες		Πρακτικά αδιαπέρατος. Το νερό απομειώνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας και αυτό οφείλεται στα αργιλικά της ορυκτά. Συγκεντρώνεται κυρίως στα ψαμμιτικά τεμάχια, αλλά αδυνατεί να εκτονωθεί, με συνέπεια να δημιουργούνται προβλήματα πίεσεων.	

Πίνακας 3.2.2.9: Τύπος VIII του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος IX: Αποδιοργανωμένη-Κατακερματισμένη βραχώμαζα			
Γενική περιγραφή		Αποτελείται κυρίως από ψαμμίτη αλλά και ιλυόλιθο. Τα μηχανικά της χαρακτηριστικά εξαρτώνται από: α) βαθμό αλληλοκλιδώματος των τεμαχών(σφικτή ή ανοικτή δομή), β)παρουσία δευτερογενών υλικών(μείωση βαθμού αλληλοκλιδώματος), γ)παρουσία γωνιωδών ή μη τεμαχών.	
Χαρακτηριστικό		Τιμή	Παρατηρήσεις
Δομή		Κατακερματισμένη, «αποδιοργανωμένη». Επιφανειακά η βραχώμαζα είναι χαλαρή και σε βάθος πιο σφικτή. Η δομή αυτή δημιουργείται σε μεγάλης αντοχής ψαθυρό βράχο (ψαμμίτης και μετά-ιλυόλιθος).	
Τεκτονισμός		Εντοπίζεται κυρίως σε ζώνες έντονης ρηγμάτωσης.	
Κερματισμός		Αποτέλεσμα του κερματισμού είναι η απομείωση της αντοχής της βραχώμαζας και όχι της αντοχής του ίδιου του άρρηκτου βράχου.	
Αποσάθρωση		Δύναται να υπάρξει	
Ποιότητα ασυνεχειών	Ψαμμίτης	Μέτρια αποσαθρωμένες. Ελαφρά τραχείες έως λείες	Η παρουσία αργιλοαμμώδους υλικού μειώνει την ποιότητα των ασυνεχειών, ενώ η συρραφή τους με ασβεστιτικό υλικό, αυξάνει την συνοχή τους.
	Ιλυόλιθος	Λείες έως ολισθηρές	
Μεγάλη γωνία τριβής και καλό αλληλοκλείδωμα κόκκων απαντάται στην περίπτωση γωνιωδών τεμαχών με απουσία αποσάθρωσης («καλή» ποιότητα ασυνεχειών). Αντίθετα, πτωχό αλληλοκλείδωμα σημειώνεται την περίπτωση της παρουσίας αργιλοαμμώδους υλικού, αποσάθρωσης, ή όταν υλικό έχει προκύψει από τεκτονική καταπόνηση και τριβή («μέτρια» ποιότητα ασυνεχειών)			
Εμμονή		Οι ασυνέχειες είναι πάρα πολλές, χωρίς να διακρίνονται συγκεκριμένες οικογένειες.	
Ευστάθεια-Αστάθεια		Ο όγκος των σχηματιζόμενων τεμαχών που συνθέτουν την βραχώμαζα είναι 0,1-0,3m ³ .	
σ_{ci} (MPa)		22	Εξαρτώνται από την τιμή του γεωυλικού που απαντάται.
m_i		9,5	
σ_{cm}(MPa)		2	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου IX		Χρήση πλήρους τιμής των εμπλεκόμενων γεωυλικών και μείωση τελικά κατά 20%.	
GSI		35	
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i (GPa)		5,2	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E _i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E _m : Χρήση πλήρους τιμής των εμπλεκόμενων γεωυλικών και μείωση τελικά κατά 20%
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας E_m (2006) (GPa)		0,4	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς		Όχι	Ομοιογενής. Ισότροπη συμπεριφορά λόγω του κερματισμού της.
Υδατικές συνθήκες		Εξαιτίας του κερματισμού, το νερό δύναται να κινηθεί στο εσωτερικό των ασυνεχειών και έτσι ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται μέτριας έως μεγάλης περατότητας, με εξαίρεση την περίπτωση της παρουσίας αργιλοαμμώδους υλικού μέσα στις ασυνέχειες.	

Πίνακας 3.2.2.10: Τύπος IX του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007)

Τύπος X: Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, ρηγματωμένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμιτικά τεμάχια τα οποία διαμορφώνουν σχεδόν χαοτική δομή.		
Χαρακτηριστικό	Τιμή	Παρατηρήσεις
Δομή	Έντονα διατμημένη ιλυολιθική βραχώμαζα, τοπικά αργιλοποιημένη. Δομή οριακά πριν την χαοτική.	
Πτύχωση	Ενστρώσεις ψαμμιτών ακολουθούν την διατμημένη και πτυχωμένη δομή των ιλυολίθων.	
Τεκτονισμός	Παραμορφωμένοι ψαμμίτες με διακοπή της συνέχειά τους κατά μήκος της στρώσης (στρώσεις πάγκων 0,2-0,3cm).	
Αποσάθρωση	Ελαττώνεται με το βάθος χάρη στην κλειστή-σφικτή δομή, σε αντίθεση με την επιφάνεια.	
Αντοχή	Οι παραμορφωμένες ψαμμιτικές ενστρώσεις επαυξάνουν ελάχιστα την μικρή αντοχή της άρρηκτης ιλυολιθικής μάζας.	
Ποιότητα ασυνεχειών	Ψαμμίτης	Λείες
	Ιλυόλιθος	Ολισθηρές-φυλλώδεις
Εμμονή	Η μικρή εμμονή, τα μικρά πάχη στρωμάτων και η αλλαγή της φοράς κλίσης λόγω πτύχωσης, δημιουργούν μικρά μπλοκ. Πρόβλημα με την ύπαρξη διογκούμενων ορυκτών.	
Ευστάθεια-Αστάθεια		
σ_{ci} (MPa)	15	Εξαρτώνται κυρίως από την τιμή του ιλυολίθου και ελάχιστα από την τιμή του ψαμμίτη
m_i	7	
σ_{cm} (MPa)	1	
Αναλογία σ_{ci} , m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου X	Μείωση της τιμής του ψαμμίτη κατά 60% και λήψη πλήρους τιμής του ιλυόλιθου.	
GSI	20	
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i (GPa)	3,3	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Μείωση της τιμής του ψαμμίτη κατά 60% και λήψη πλήρους τιμής του ιλυόλιθου.
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας E_m (2006) (GPa)	0,15	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς	Όχι	Ετερογενής αλλά συμπεριφέρεται συνολικά ισότροπα.
Υδατικές συνθήκες	Αδιαπέρατος σχηματισμός. Η κυκλοφορία του νερού λαμβάνει χώρα κυρίως στα ψαμμιτικά παραμορφωμένα τεμάχια τα οποία επίσης δύναται να αποθηκεύσουν νερό, αλλά με αδυναμία εκτόνωσής του (προβλήματα πιέσεων). Όταν υπάρχει παρουσία νερού και αργιλικά ορυκτά στην βραχώμαζα, συνεπάγεται απομείωση των μηχανικών της χαρακτηριστικών.	

Πίνακας 3.2.2.11: Τύπος X του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Τύπος XI: Τεκτονικός έντονα διατμημένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου.		
Γενική περιγραφή	Η πτωχότερη ποιότητα από όλους τους τύπους του φλύσχη. Υλικό μαλακό, αργιλοποιημένο-φυλλοποιημένο εντός του οποίου πλέουν και ορισμένα σκληρότερα τεμάχια, όπως τα ψαμμιτικά. Χαρακτηριστικό του σχηματισμού ακόμα και με το βάθος είναι η ευθρυπτότητα.	
Χαρακτηριστικό	Τιμή	Παρατηρήσεις
Δομή	Χαοτική. Διατμημένη- Φυλλώδης, ιλυολιθική ή αργιλοσχιστολιθική βραχώμαζα.	
Πτύχωση	Πολύ έντονη	
Κερματισμός	Έχει μεγάλο ψευδό-RQD, λόγω του στερεοποιημένου χαλαρού σχηματισμού (μη εφαρμόσιμο)	
Αποσάθρωση	Η αποσάθρωση περιορίζεται μόνο επιφανειακά και δημιουργεί εικόνα εδάφους.	
Αντοχή	Εξαιρετικά χαμηλή. Τα ψαμμιτικά τεμάχια δεν βελτιώνουν αισθητά την συνολική αντοχή.	
Ποιότητα ασυνεχειών	Ολισθηρές	Πτωχή - πολύ πτωχή
Εμμονή	Μη αναγνωρίσιμη στρωμάτωση εξαιτίας της πτύχωσης και της ρωγμάτωσης. Δεν διακρίνονται ασυνέχειες.	
Ευστάθεια-Αστάθεια	Η ετερογένεια του σχηματισμού, οδηγεί στην επικράτηση διαφορετικών συνθηκών κατά την έκταση ενός τεχνικού έργου (π.χ. κατά την διάνοιξη μίας σήραγγας).	
σ_{ci}(MPa)	<10	Εξαρτώνται μόνο από την τιμή του ιλυολίθου και καθόλου από αυτήν του ψαμμίτη.
m_i	6	
σ_{cm}(MPa)	0,5	
Αναλογία σ_{ci}, m_i των λιθολογικών μελών για εκτίμηση αντίστοιχων παραμέτρων του τύπου XI	Χρήση πλήρους τιμής του ιλυόλιθου ή αργιλικού σχιστόλιθου.	
GSI	15	
Παραμορφωσιμότητα άρρηκτου βράχου E_i (GPa)	2	Προτεινόμενη αναλογία των τιμών της E_i των μελών του φλύσχη για την εκτίμηση της E_m : Χρήση της πλήρους τιμής του ιλυόλιθου (που εδώ ίσως είναι μικρότερη λόγω της δυναμικής καταπόνησης του άρρηκτου υλικού) ή αργιλικού σχιστόλιθου.
Παραμορφωσιμότητα βραχώμαζας $E_{m(2006)}$ (GPa)	0,08	
Πιθανότητα ανισότροπης συμπεριφοράς	Όχι	Παρά την ετερογένεια, συνολικά συμπεριφέρεται ισότροπα.
Υδατικές συνθήκες	Πρακτικά αδιαπέρατη. Η παρουσία νερού απομειώνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά της. Η γειτνίαση με πιο περατούς φλυσχικούς ορίζοντες προκαλεί προβλήματα πίεσεων αφού το νερό παγιδεύεται πίσω από τις διατμημένες ζώνες και υπάρχει αδυναμία εκτόνωσής του. Πρόβλημα με διογκούμενα ορυκτά και παραμορφώσεις.	

Πίνακας 3.2.2.12: Τύπος XI του φλύσχη (στοιχεία πίνακα από Μαρίνος Β., 2007).

Ακολουθούν χαρακτηριστικές εικόνες τύπων του φλύσχη από την περιοχή μελέτης που λήφθηκαν από την γράφουσα αλλά και συνοπτικός πίνακας με εικόνες όλων των τύπων από Μαρίνο Β. (2007).



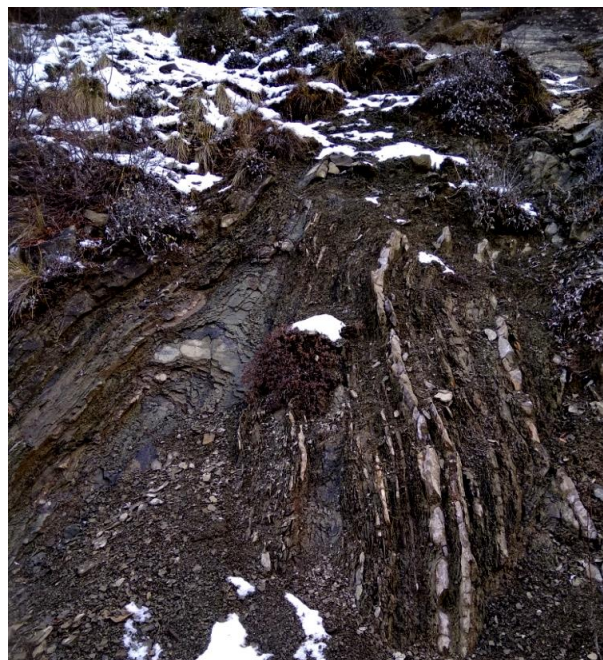
Εικόνα 3.2.2.13: Ιλύολιθος με λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη που εμφανίζεται με ανοικτή πτύχωση- Τύπος VI (εικόνα από πρανάς στην περιοχή Χρισοβίτσα του Δήμου Μετσόβου, 2019)



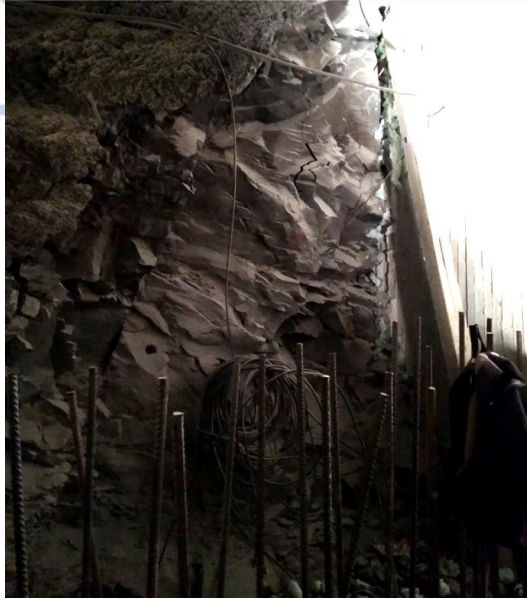
Εικόνα 3.2.2.14: Χαοτική μάζα ιλύολιθου (έντονη τεκτονική διαταραχή) με ψαμμιτικά εγκλείσματα- Τύπος X (περιοχή Μετσόβου,2019).



Εικόνα 3.2.2.15: Αναβαθμίδες από εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυόλιθου σε ίσες περίπου αναλογίες, με έντονη πτύχωση, αποσάθρωση και σχάση του ιλυόλιθου επιφανειακά, δίνοντας την εντύπωση χαοτικής μάζας- Τύπος VII(εικόνα από την περιοχή της Πίνδου,2019)



Εικόνα 3.2.2.16: Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους ψαμμίτη και ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες- Τύπος VII (περιοχή Μετσόβου, 2018)



Εικόνα 3.2.2.17: Γκριζοπράσινος ιλυόλιθος από την περιοχή της ζώνης επώθησης της Πίνδου πάνω στην Ιόνιο, με στιλπνές επιφάνειες, εξαιτίας έντονης τεκτονικής καταπόνησης-Τύπος XI (Υδροηλεκτρικό έργο Δ.Ε.Η. στον Μετσοβίτικο ποταμό του νομού Ιωαννίνων, 2019).



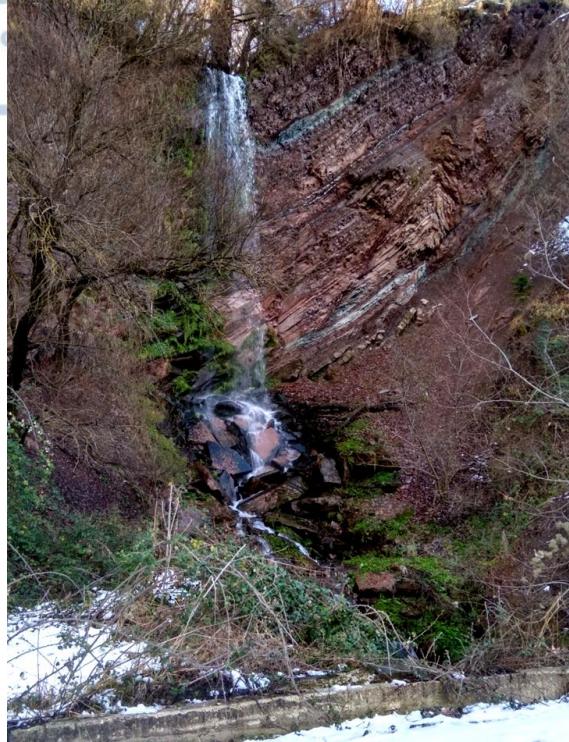
Εικόνα 3.2.2.18: Κροκαλοπαγές του φλύσχη (εικόνα από την περιοχή της Πίνδου,2019)



Εικόνα 3.2.2.19: Ψαμμίτης του φλύσχη με σαφή διάκριση της στρώσης και των διακλάσεων- Τύπος I. (περιοχή Μετσόβου, 2018)



Εικόνα 6: Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με αραιές λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου- Τύπος III (περιοχή Μετσόβου, 2018)



Εικόνα 3.2.2.21: Η έντονη στρωσιγένεια του σχηματισμού του φλύσχη-Τύπος VIII (περιοχή Μετσόβου, 2018)



Εικόνα 3.2.2.22: Ιλυόλιθος με αραιές ενστρώσεις ψαμμιτών-Τύπος VI (περιοχή Μετσόβου, 2018)



Τύπος I. Αδιάτακτος μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμίτης με αποραδικές λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου



Τύπος II. Αδιάτακτος ιλυόλιθος με αποραδικές λεπτές ενστρώσεις ψαμίτη



Τύπος III. Μέτρια διαταραγμένος ψαμίτης με ενστρώσεις ιλυολίθου



Τύπος IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από εναλλαγές ψαμίτη-ιλυολίθου σε ίσες αναλογίες



Τύπος V. Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμίτη



Τύπος VI. Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με αραιές λεπτές ενστρώσεις ψαμίτη



Τύπος VII. Έντονα διαταραγμένη – πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατηρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμίτη – ιλυολίθου σε ίσες αναλογίες



Τύπος VIII. Έντονα διαταραγμένη – πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί – διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται κυρίως από ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμίτη



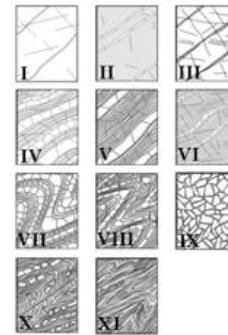
Τύπος IX. Αποδιοργανωμένη – Κατακερματισμένη βραχώμαζα



Τύπος X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, ρηγματωμένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμικά τεμάχια τα οποία διαμορφώνουν σχεδόν χαστική δομή



Τύπος XI. Τεκτονικώς έντονα διατηρημένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος σε χαστική δομή με θύλακες αργίλου



Εικόνα 3.2.2.23: Εικόνες από τους έντεκα λιθότυπους του φλύσχη (Μαρίνος Β., 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για τον σχεδιασμό κάθε τεχνικού έργου, είναι απαραίτητη η γνώση της μηχανικής συμπεριφοράς της βραχώμαζας η οποία εκτιμάται με μεθόδους που βασίζονται στη συσσωρευμένη αποκτηθείσα εμπειρία κατασκευής τεχνικών έργων σε διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς και στην συγκεκριμένη περίπτωση εστιάζει στον σχηματισμό του φλύσχη.

Οι εμπειρικές μέθοδοι βασίζονται στην χρήση των συστημάτων ταξινόμησης της βραχώμαζας (Rock Mass Classification Systems) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007, p.22), τα οποία παρέχουν ικανοποιητικές πληροφορίες για την μηχανικές της ιδιότητες και η αξιοπιστία τους θεωρείται πλέον δεδομένη. Βέβαια, οι εμπειρικές συσχετίσεις εμπεριέχουν πολλές φορές μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας και για αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη η γεωλογική λογική και οι επιτόπου παρατηρήσεις. Η υπερεκτίμηση ή υποεκτίμησή τους κατά την κατασκευή τεχνικού έργου μπορεί να οδηγήσει σε τεχνικά και οικονομικά προβλήματα.

Αρχικά, αξίζει να τονισθούν ορισμένα γενικά στοιχεία για τις ταξινομήσεις.

Για την δημιουργία μίας ταξινόμησης, αναπτύσσονται τα κατάλληλα κριτήρια έτσι ώστε να λάβει χώρα αξιολόγηση της βραχώμαζας ως προς τα διάφορα χαρακτηριστικά της, βάση ορισμένων μετρούμενων μεγεθών και έπειτα γίνεται κατάταξη της σε ομάδες κοινής μηχανικής συμπεριφοράς. Σαφώς, για την ανάπτυξη μίας ταξινόμησης κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη πολλών εφαρμογών (case histories) – «δοκιμασιών» της κάθε ταξινόμησης, ώστε να είναι εφαρμόσιμη ακολούθως, στις διάφορες περιπτώσεις.

Στόχος ,λοιπόν, των συστημάτων ταξινόμησης της βραχώμαζας είναι:



- Να μετατρέψουν τα ποιοτικά στοιχεία του βράχου σε ποσοτικά για να διευκολύνουν τον σχεδιασμό τεχνικών έργων.
- Να αποτελέσουν κοινή γλώσσα συνεννόησης μεταξύ των Γεωλόγων και των Πολιτικών μηχανικών.
- Να ομαδοποιήσουν την βραχώμαζα σε κατηγορίες παρόμοιας μηχανικής συμπεριφοράς που χρήζουν συνεπώς παρόμοια αντιμετώπιση (π.χ. ως προς τα απαιτούμενα μέτρα αντιστήριξης ή υποστήριξης) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007, p.21-23, Wood D., p.23)

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται λόγος για μερικά από τα συστήματα ταξινόμησης της βραχώμαζας εστιασμένα στο υπό εξέταση φλυσχικό περιβάλλον. Αυτά είναι:

1. Ο δείκτης ποιότητας του πετρώματος RQD (Rock Quality Designation)
2. Οι παράμετροι: TCR (Total Core Recovery) ή ολική πυρηνοληψία και SCR(Solid Core Recovery) ή στερεή πυρηνοληψία
3. Το σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating)

Επίσης η βραχώμαζα ταξινομείται με βάση:

1. Την αντοχή της σε σημειακή φόρτιση, μέσω του δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ (Point Load Index)
2. Τις τιμές υδροπερατότητας (k)
3. Τον βαθμό αποσάθρωσης

Σε επόμενο κεφάλαιο εξετάζεται το σύστημα ταξινόμησης GSI και η ταξινόμηση των πετρωμάτων με βάση την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci} .

Οι τιμές τους επεξεργάζονται στατιστικά και έπειτα εξάγονται συμπεράσματα, για την σχετική συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων τιμών των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων ως προς το σύνολο των τιμών του κάθε συστήματος ταξινόμησης, αλλά και για τη σχέση των τιμών αυτών με το βάθος. Στην τελευταία περίπτωση, οι δύο μεταβλητές (τιμές τεχνικογεωλογικών παραμέτρων και βάθος) δύναται να σχετίζονται μεταξύ τους (αύξηση ή μείωση των τιμών των παραμέτρων με το βάθος) ή να είναι ασυσχέτιστες.

Στο ακόλουθο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές παράμετροι, για τις οποίες δίνονται αρχικά ορισμένα γενικά στοιχεία και έπειτα πραγματοποιείται εστιασμένη ανάλυση πάνω στον φλυσχικό σχηματισμό. Βέβαια, προς διευκόλυνση της μελέτης του πολύπλοκου λιθολογικά φλύσχη, έγινε χωρισμός του στους έξι (6) πιο συνήθεις και αντιπροσωπευτικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, κατά την κρίση της συγγραφέα, οι οποίοι και εξετάζονται στα ακόλουθα κεφάλαια. Αυτοί είναι:

- i. Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες.
- ii. Ιλυόλιθος ή Ερυθροπηλίτης
- iii. Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη
- iv. Ψαμμίτης
- v. Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου
- vi. Κροκαλοπαγές

Αξίζει να επισημανθεί ότι από τις προαναφερθείσες τεχνικογεωλογικές παραμέτρους, οι περισσότερες δύναται να υπολογιστούν στο ύπαιθρο ως επιτόπου «δοκιμές» (in situ testing), που είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικές σε σχέση με τις εργαστηριακές (π.χ. δοκιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη), αφού εκτελούνται σε πετρώματα που βρίσκονται στην φυσική τους κατάσταση, μαζί με τις ασυνέχειές τους. Για αυτό, παρέχουν αποτελέσματα πολύ πιο κοντά στην πραγματικότητα σε αντίθεση με τις εργαστηριακές δοκιμές, αλλά το υψηλό τους κόστος, η ανάγκη για παρουσία ειδικών συνθηκών και άλλοι παράγοντες, περιορίζουν την ευρεία χρήση τους.

4.2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

4.2.1. Παράμετροι: Ολική Πυρηνοληψία TCR (Total Core Recovery) και Στερεή Πυρηνοληψία SCR (Solid Core Recovery).

Ο υπολογισμός της αποσκοπεί στην ανεύρεση του βαθμού της ολικής πυρηνοληψίας ή αλλιώς του βαθμού ανάκτησης του συνολικού πυρήνα δειγματοληπτικής γεώτρησης (τεμάχια και θραύσματα μαζί). Δεν συνυπολογίζονται τα κενά, δηλαδή υλικό που έχει χαθεί κατά την ανάσυρση του δειγματολήπτη.

Ορίζεται ως το συνολικό μήκος των πυρήνων μήκους μεγαλύτερου μικρότερου ή ίσου των 10cm και των θραυσμάτων του πετρώματος, προς το συνολικό μήκος της δειγματοληψίας και υπολογίζεται σε ποσοστό επί τις εκατό:

$$TCR = \frac{\text{Άθροισμα πυρήνων μήκους } > \text{ ή } < \text{ ή } = 10\text{cm και του μήκους των θραυσμάτων}}{\text{Συνολικό μήκος της πυρηνοληψίας}} 100\%$$

Οι μετρήσεις για την εξαγωγή του TCR πρέπει να διεξάγονται μόνο όταν τα τεμάχια του πυρήνα της γεώτρησης είναι αντιπροσωπευτικά της θέσης από την οποία λήφθηκαν μέσα στο έδαφος (συνθήκες φυσικού περιβάλλοντος) (Valentine & Norbury, 2011).

Αναφορικά, αξίζει να διατυπωθεί ότι, η στερεή πυρηνοληψία SCR (Solid Core Recovery), ορίζεται με τον ίδιο τρόπο, μόνο που εδώ δεν συνυπολογίζονται στον αριθμητή τα θραύσματα της πυρηνοληψίας. Αν όμως αυτά απουσιάζουν, τότε η TCR ισούται με την SCR. Τα κενά, δηλαδή το εύθρυπτο υλικό που έχει χαθεί, π.χ. λόγω διάβρωσης και απόπλυσής του από το νερό της γεώτρησης, δεν συνυπολογίζεται σε καμία περίπτωση στον υπολογισμό της TCR, SCR και της RQD.

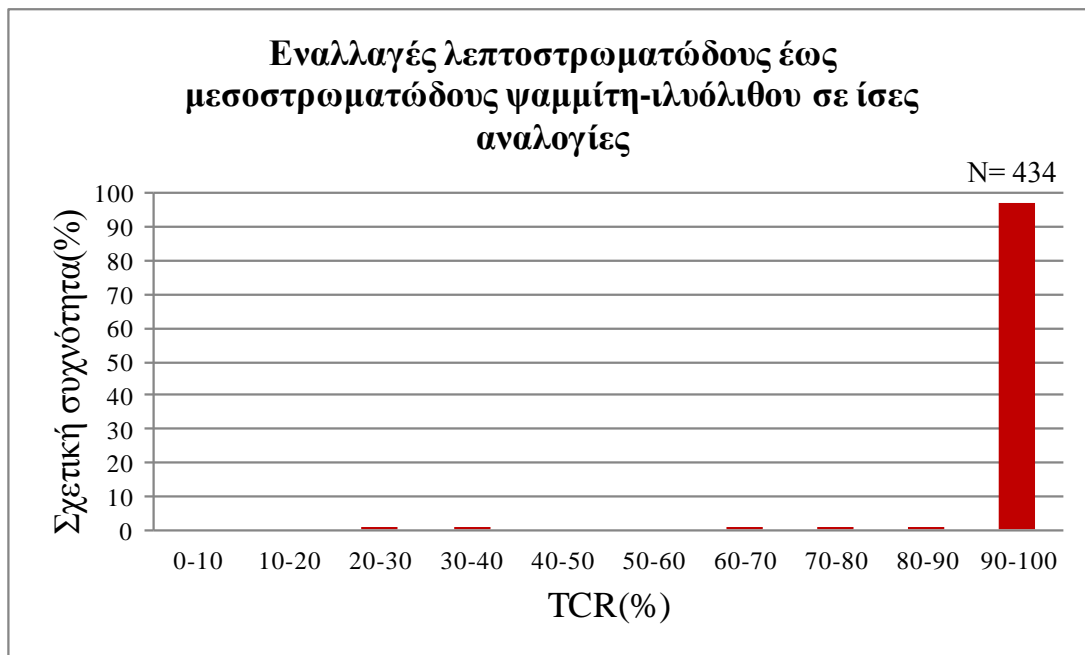
Ισχύει ότι: $TCR > SCR > RQD$. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι η παράμετρος TCR εστιάζει σε όλα τα τεμάχια του πυρήνα, ανεξαρτήτως μεγέθους (ακόμα και θραύσματα) που έχουν εξέλθει της γεώτρησης. Η παράμετρος SCR αναφέρεται μόνο στα «στερεά» τεμάχια, δηλαδή αυτά που είναι μεγαλύτερα ή μικρότερα των 10cm, αλλά όχι στα θραύσματα, με συνέπεια την μείωση του αριθμητή. Τέλος, ο δείκτης RQD

ειδικεύεται αποκλειστικά στα μεγάλα τεμάχια (>10cm) που ορίζονται από τις ασυνέχειες και για αυτό εκφράζει την ποιότητα του πετρώματος και την απόσταση των ασυνεχειών.

4.2.1.1. Στατιστική επεξεργασία της παραμέτρου TCR και η σχέση της με το βάθος-Εξαγωγή συμπερασμάτων

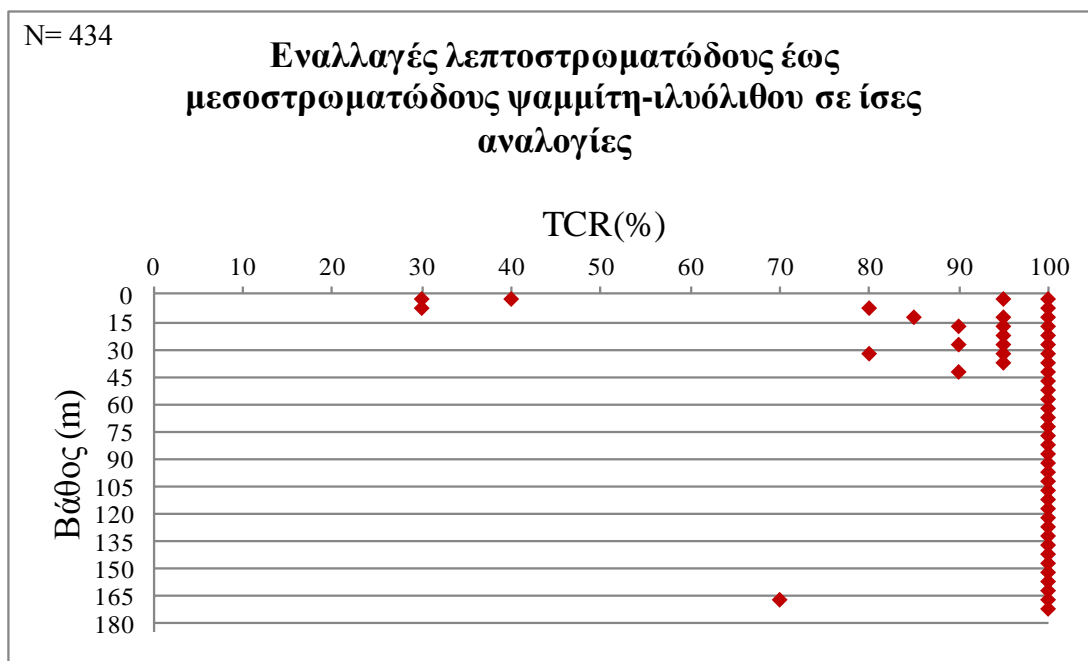
Στο κεφάλαιο αυτό παραθέτονται διαγράμματα «εύρους TCR(%)-σχετικής συχνότητας(%)» και «τιμής TCR(%)-βάθους(m)» για τους σχηματισμούς του φλύσχη που έχουν οριστεί ως οι αντιπροσωπευτικότεροι του σχηματισμού. Από αυτά, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τον βαθμό ολικής πυρηνοληψίας στις διάφορες γεωτρήσεις και ερμηνεύονται γεωλογικά.

Στο παρακάτω ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας-TCR γίνεται εμφανής η επικράτηση των τιμών TCR στο εύρος 90-100, με ποσοστό 97%. Αυτό σημαίνει ότι στο σύνολο σχεδόν του συγκεκριμένου σχηματισμού, έγινε ανάκτηση όλου του πυρήνα (τεμάχια και θραύσματα) στις διάφορες γεωτρήσεις, με εξαίρεση μόνο ορισμένα τμήματα αυτών στα οποία το «δείγμα» απουσίαζε.



Ακολουθεί το διάγραμμα βάθους-TCR για τον σχηματισμό που αποτελείται από ψαμμίτη και ιλυόλιθο σε ίσες αναλογίες. Συνδυάζοντας τις τιμές TCR και βάθους από τα διαθέσιμα δεδομένα, συμπεραίνεται ότι οι χαμηλές τιμές ολικής πυρηνοληψίας έχουν δοθεί σε τμήματα πυρήνων γεωτρήσεων μικρού εύρους βάθος, δηλαδή το βαθμονομούμενο τμήμα είναι λίγα εκατοστά μέχρι και 2m. Τούτο εξηγείται γεωλογικά από την διάβρωση του υλικού στα συγκεκριμένα βάρη και την μετατροπή του σε μαλακό και εύθρυπτο (π.χ. λόγω παρουσίας ζώνης διάτμησης με αργιλοποιημένο υλικό) εξαιτίας της κυκλοφορίας του νερού κατά την διάτρωση.

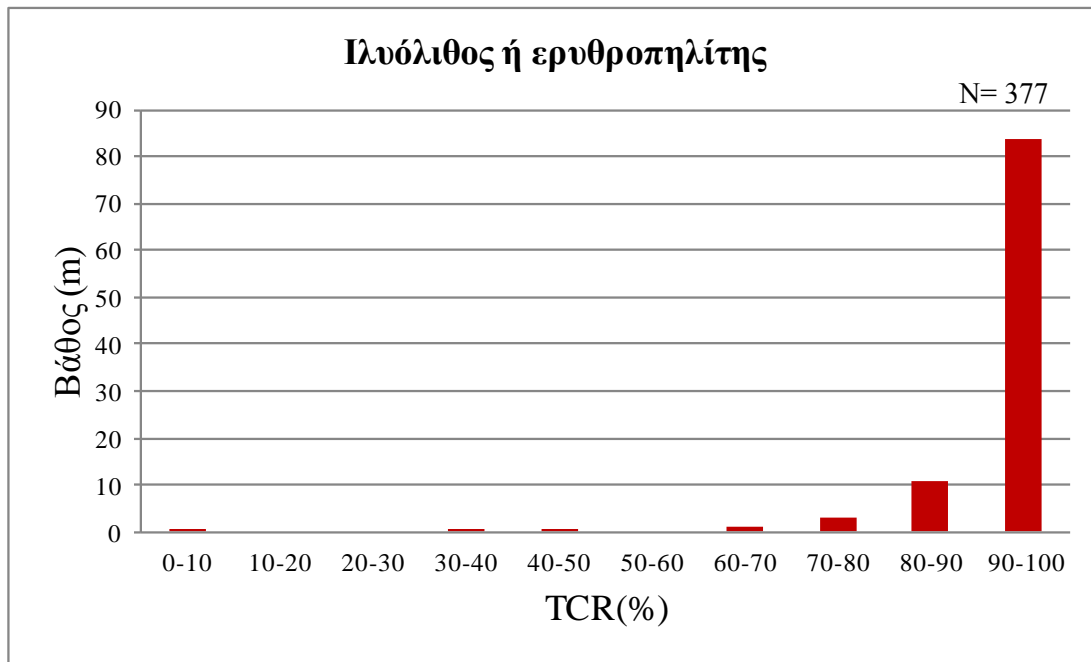
Σε μεγάλα βάρη, (βλέπε τιμή 70 σε βάθος 167,3-168,3m του διαγράμματος «TCR-βάθους») η πιθανότητα για ύπαρξη ζώνης ρήγματος είναι πολλαπλή. Σε μικρά βάρη, οι χαμηλές τιμές ολικής πυρηνοληψίας (βλέπε τιμές 30 και 40 του διαγράμματος σε βάθος μέχρι περίπου 5m) δύναται να οφείλονται επίσης και στην πιο «ανοικτή» επιφανειακά δομή του σχηματισμού στην οποία πιθανόν έχει φτάσει να επιδράσει το μετεωρικό νερό, οι μεταβολές στην θερμοκρασία, κ.λπ. (π.χ. TCR=30 σε βάθος 4,4-6,2m)



Ομοίως με τον προηγούμενο σχηματισμό, ο **ιλυόλιθος** παρουσιάζει κυρίως υψηλές τιμές TCR με ποσοστό 83,81% στο εύρος 90-100, ενώ ακολουθεί με ποσοστό

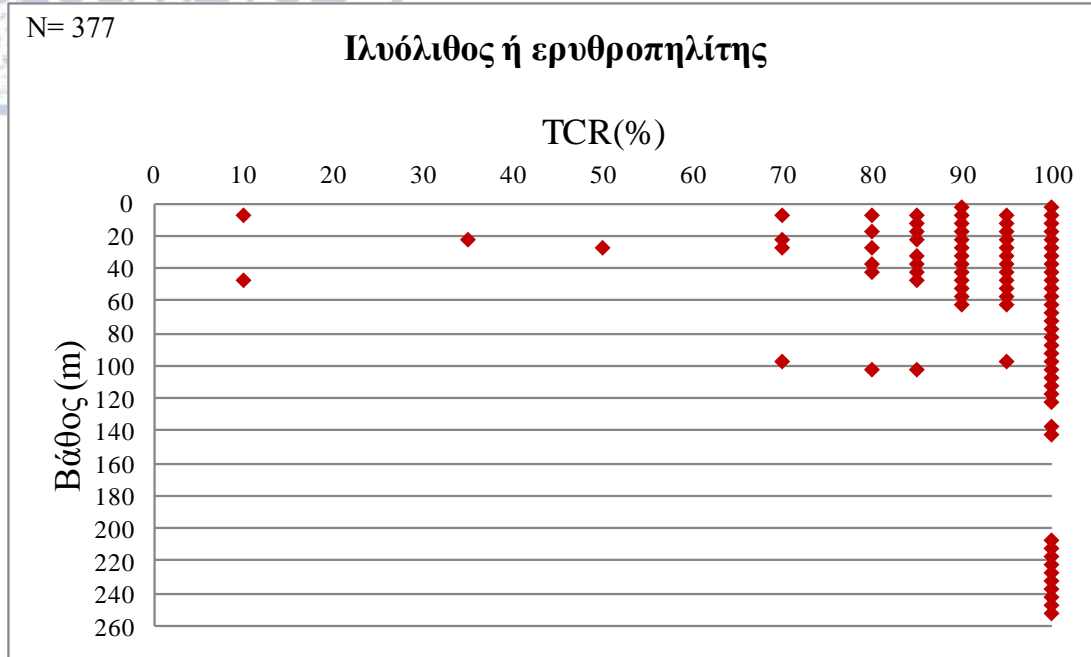
10,88% το εύρος 80-90. Δεν απουσιάζουν βέβαια κάποιες πολύ χαμηλές τιμές, για τις οποίες θα γίνει αναφορά στη συνέχεια.

Παρατηρείται ότι, σε σχέση με τον προηγούμενο σχηματισμό, ιλυόλιθος εμφανίζει περισσότερες χαμηλές τιμές TCR. Πιθανόν, ως πιο ευάλωτος απέναντι στην διάβρωση, η χρήση νερού κατά την διάτρηση να εμπόδιζε την λήψη ορισμένων «δειγμάτων».

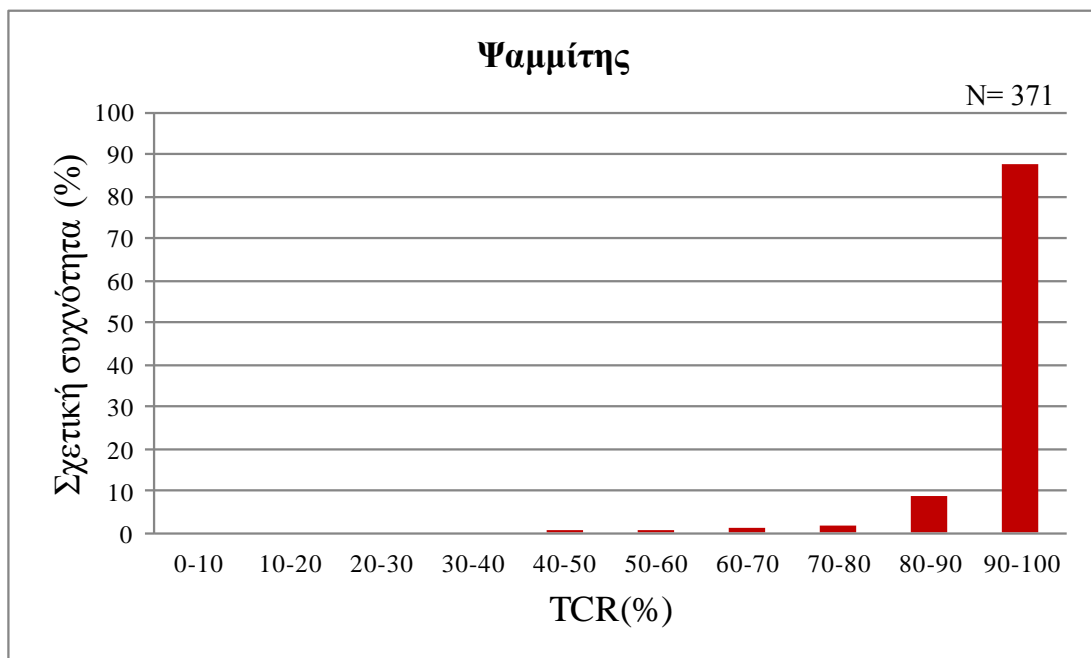


Στο παρακάτω διάγραμμα διασποράς «TCR-Βάθους» για τον ιλυόλιθο, γίνεται εμφανής κυρίως σε μικρά βάθη η παρουσία μικρών τιμών TCR (βλέπε τιμή 10 σε βάθος 6,4-7,8m) που πιθανόν οφείλεται στην επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών προς διάβρωση του ιλυολίθου.

Σε μεγαλύτερα βάθη, οι χαμηλές τιμές εξηγούνται είτε από την παρουσία ζώνης διάτμησης, είτε από την κακή δειγματοληψία (σφάλμα του γεωτρυπανιστή). Και εδώ, οι πολύ χαμηλές τιμές ολικής πυρηνοληψίας έχουν δοθεί σε τμήματα πυρήνων γεωτρήσεων μικρού εύρους βάθους, δηλαδή το βαθμονομούμενο τμήμα είναι λίγα εκατοστά μέχρι και 1,2m.

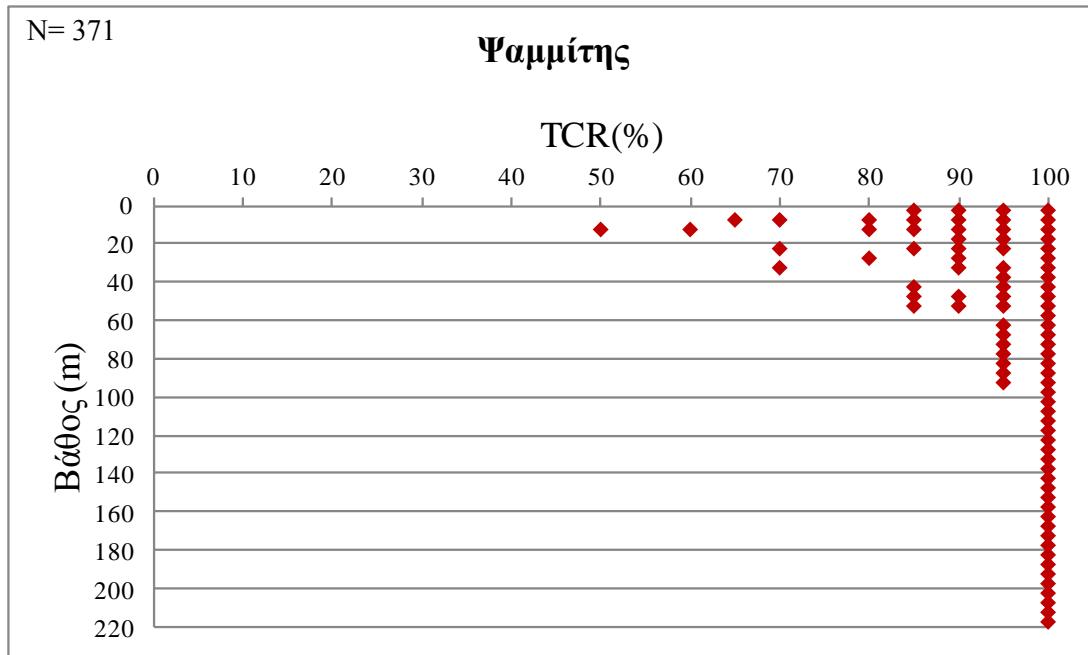


Από το ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας-TCR για τον σχηματισμό του φλύσχη που αποτελείται από **ψαμμίτη** συμπεραίνεται, όπως και στους προηγούμενους σχηματισμούς ότι η τιμή ολικής πυρηνοληψίας που επικρατεί σε ποσοστό 87,87% είναι το εύρος 90-100 και ακολουθεί το εύρος 80-90 με ποσοστό 8,63%. Δεν απουσιάζουν βέβαια και οι χαμηλότερες τιμές TCR, αλλά αυτές καταλαμβάνουν πολύ μικρό ποσοστό.

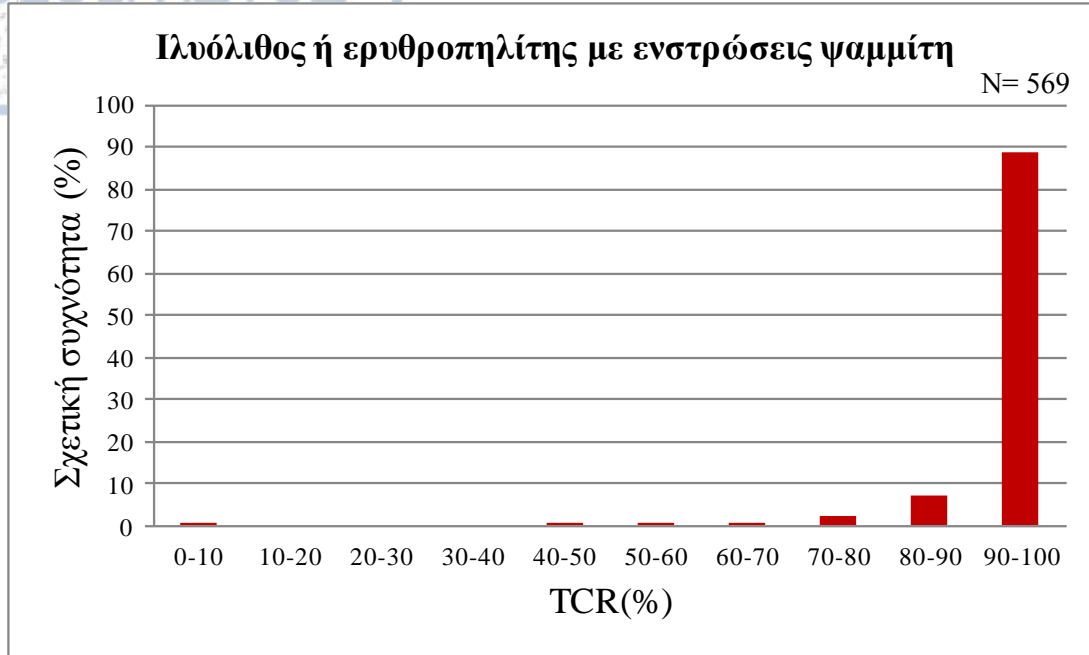


Από τον συνδυασμό των τιμών TCR με το βάθος, παρατηρούνται ελάχιστες χαμηλές τιμές σε σχετικά μικρά βάθη που έχουν δοθεί σε τμήματα πυρήνων γεωτρήσεων μικρού εύρους βάθος (δηλαδή το βαθμονομούμενο τμήμα είναι από λίγα εκατοστά μέχρι και 1m) και πιθανόν οφείλονται στους προαναφερθείσαντες λόγους.

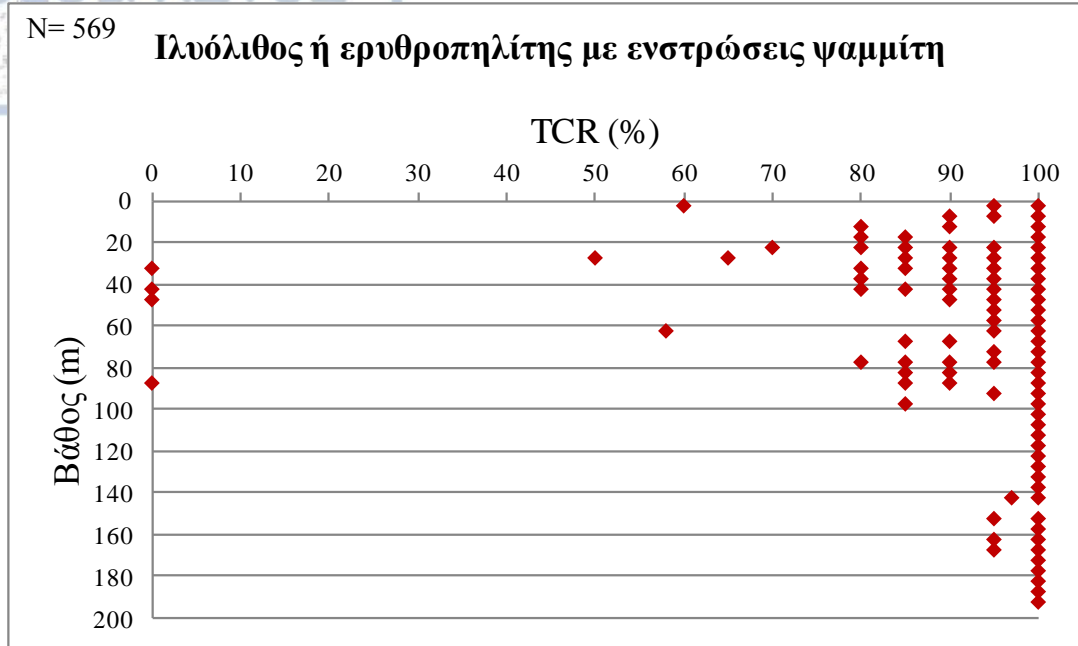
Αξίζει να επισημανθεί ότι, χαμηλές τιμές TCR στον ψαμμίτη δεν απαντώνται κάτω από την τιμή 50, συγκριτικά με τους προηγούμενους σχηματισμούς που περιείχαν ιλύολιθο και περιλάμβαναν ακόμα και την τιμή 10. Ο ψαμμίτης δεν επηρεάζεται άμεσα από την χρήση νερού στη διάτρηση και γενικώς είναι ανθεκτικότερος στην αποσάθρωση και την διάβρωση.



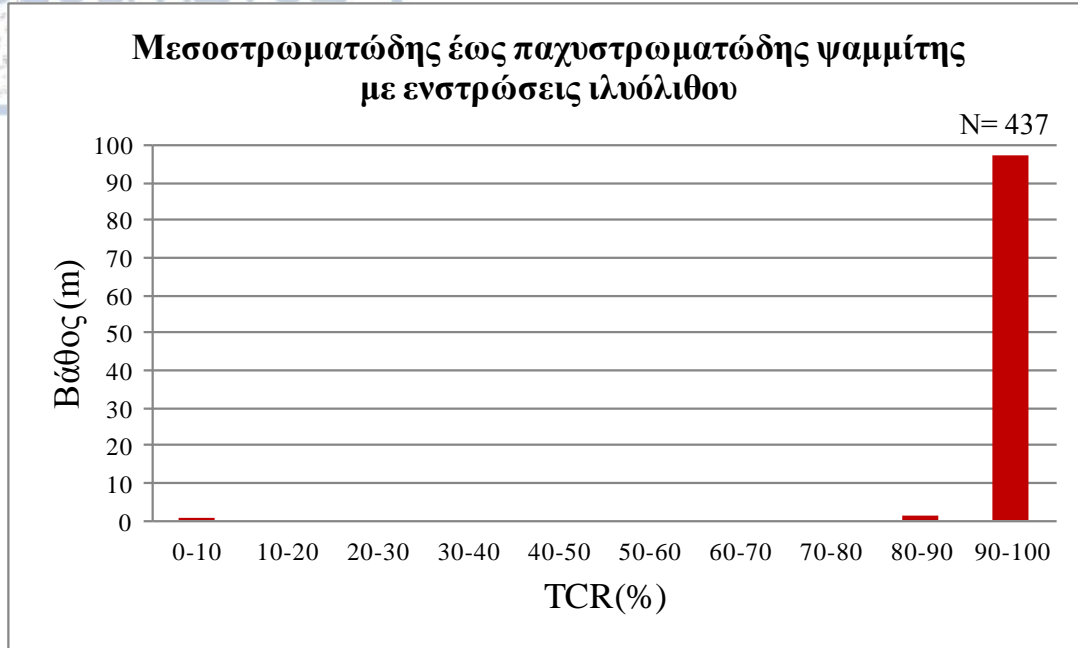
Για τον σχηματισμό του **ιλύολιθου ή ερυθροπηλίτη με ενστρώσεις ψαμμίτη** κατασκευάστηκε επίσης ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας-τιμής TCR καθώς και διάγραμμα TCR με το βάθος. Παρουσιάζει κυρίως υψηλές τιμές TCR με ποσοστό 88,93% στο εύρος 90-100, ενώ ακολουθεί με ποσοστό 7,21% το εύρος 80-90. Στον σχηματισμό αυτό, η κυριαρχία του ιλύολιθου δικαιολογεί τη ποικιλία χαμηλών τιμών TCR.



Στο διάγραμμα διασποράς «βάθους-TCR» για τον ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη, φαίνεται ότι οι χαμηλές τιμές εντοπίζονται σε βάθη μικρότερα των 85m. Το μεγαλύτερο σε μήκος βαθμονομούμενο τμήμα στο οποίο δόθηκε η τιμή 0 είχε βάθος 42,5-50m, το δεύτερο 86,3-88m και το μικρότερο 34,6-35m. Οι πιθανές αιτίες της απουσίας «δείγματος», στα μεγάλα αυτά βάθη είναι ενδεχομένως, είτε κάποια ζώνη διάτμησης, είτε ζώνη έντονης εξαλλοίωσης που οφείλεται, για παράδειγμα στην κατά βάθος επίδραση του νερού, σε ανορθωμένα στρώματα, είτε σφάλμα του γεωτρυπανιστή.

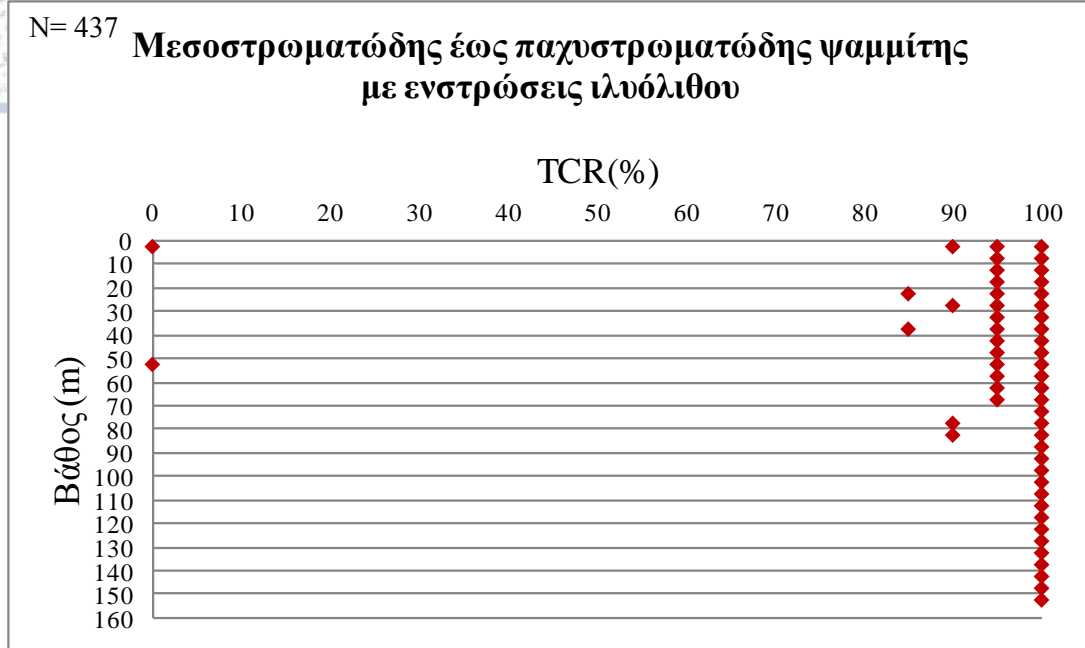


Για τον σχηματισμό που αποτελείται από **ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλυόλιθου**, κατασκευάστηκε ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας-τιμής TCR καθώς και διάγραμμα TCR με το βάθος. Το φάσμα 90-100 κυριαρχεί με ποσοστό 97,48%. Εντοπίζονται επίσης, τέσσερις τιμές TCR=0 και επτά τιμές TCR=80-90. Το γεγονός της απουσίας «ενδιάμεσων» τιμών TCR οφείλεται πιθανόν στην ανθεκτικότητα του ψαμμίτη στην αποσάθρωση και την διάβρωση και στο ότι δεν επηρεάζεται άμεσα από τα νερά της γεώτρησης.

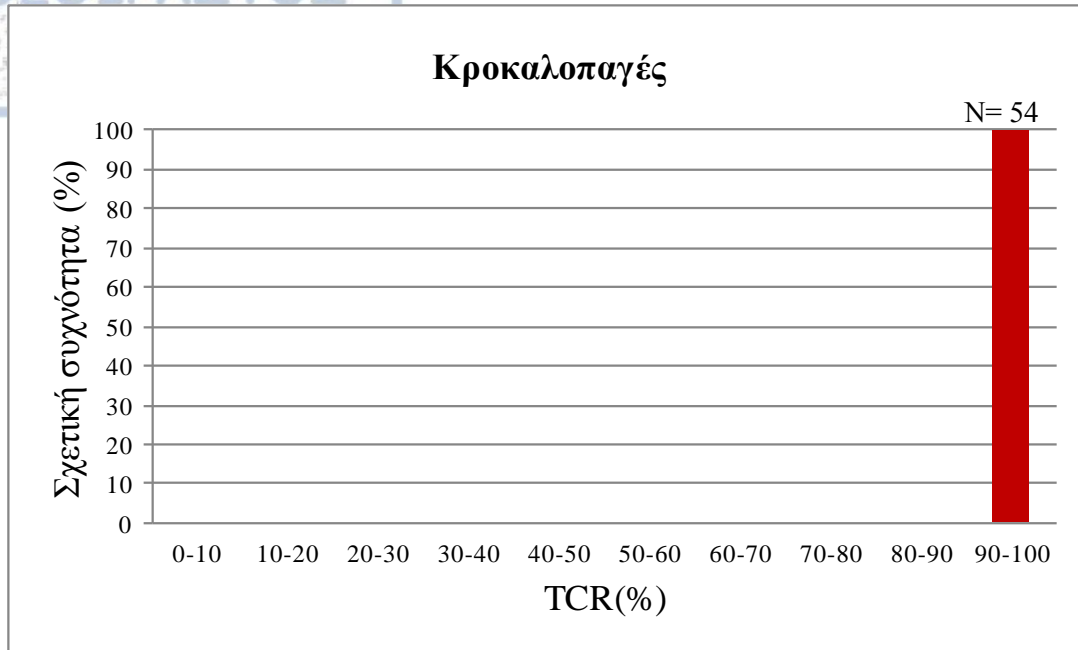


Στο παρακάτω διάγραμμα βάθους-TCR για τον ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλυόλιθου, λαμβάνοντας υπόψη ότι στον εξεταζόμενο σχηματισμό κυριαρχεί ο ψαμμίτης, οι τρεις εκ των τεσσάρων μηδενικές τιμές στο βάθος των 0,5-1m οφείλονται στην επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην μάζα του σχηματισμού που οδήγησαν απώλεια δείγματος (π.χ. λόγω ύγρανσης-ξήρανσης).

Η τιμή TCR=0 στο βάθος των 49-56m οφείλεται είτε στο γεγονός της ύπαρξης ζώνης διάτμησης ή απλής βαθειάς ασυνέχειας με εξαλλοιωμένο υλικό, είτε στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη τιμή αντιπροσωπεύεται για παράδειγμα από ένστρωση ιλυόλιθου που διαταράχτηκε άμεσα από τα νερά της γεώτρησης κατά την διάτρωση.



Για τον σχηματισμό του **κροκαλοπαγούς**, τα διαθέσιμα δεδομένα είναι ελάχιστα και συνεπώς θα εξαχθούν συμπεράσματα για αυτόν, αλλά με αμφιβολία ως προς την αξιοπιστία τους. Από τα δύο παρακάτω διαγράμματα, φαίνεται πως το σύνολο των τιμών TCR, για όλα τα βάθη, ισούται με 100. Αυτό σημαίνει πως πραγματοποιήθηκε ολική ανάκτηση του πυρήνα, κάτι αναμενόμενο για ένα κροκαλοπαγή σχηματισμό αφού διακρίνεται για την σπανιότητα εμφάνισης ασυνεχειών, την συμπαγή δομή του και την απουσία στρώσης. Όπως και ο ψαμμίτης, δεν επηρεάζεται άμεσα από τα χρησιμοποιούμενα κατά την διάτρηση νερά.



Από όλα τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι σε ένα φλυσχικό περιβάλλον, δεν υπάρχει αμφιβολία για την ανάκτηση του ολικού πυρήνα της γεώτρησης. Εξαιρέση αποτελούν μόνο ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες το TCR έχει μικρότερη τιμή, αλλά αυτές τις καταλαμβάνουν κυρίως τα μικρά βάθη που είναι λογικό να βρίσκονται τα γεωυλικά σε πιο «διαταραγμένη» κατάσταση λόγω της επίδρασης σε αυτά των

ατμοσφαιρικών συνθηκών, ιδιαίτερα στην περίπτωση που αυτά είναι ευαίσθητα στην αποσάθρωση και την διάβρωση. Μικρές τιμές TCR σε μεγαλύτερα βάθη δικαιολογούνται κυρίως από παρουσία ζώνης διάτμησης ή αργιλικού υλικού που αποπλένεται από τα νερά της γεώτρησης ή ακόμα και από σφάλμα του γεωτρυπανιστή.

Οι μικρές τιμές τυπικής απόκλισης επιβεβαιώνουν τα παραπάνω συμπεράσματα, καθώς τα δεδομένα τείνουν να είναι κοντά στο μέσο όρο των τιμών TCR.

Φλυσχικός σχηματισμός	Τυπική απόκλιση- Standard Deviation (STDEV)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες	5,49
Ιλυόλιθος ή Ερυθροπηλίτης ή Αργιλικός σχιστόλιθος Ψαμμίτης	6,2 4,96
Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ή εγκλείσματα ψαμμίτη	7,46
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου	8,62
Κροκαλοπαγές	2,39

Πίνακας 4.2.1.1.1: Τιμές τυπικής απόκλισης των τιμών TCR

4.2.2. Δείκτης κερματισμού του πετρώματος RQD (Rock Quality Designation)

Ο δείκτης RQD προτάθηκε από τον Deere το 1963 ως μία παράμετρος ποιότητας των πυρήνων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Εκφράζεται σε ποσοστό επί τις εκατό (%) και ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού μήκους των τεμαχίων του πυρήνα που είναι μεγαλύτερα ή ίσα των 10cm, προς το συνολικό μήκος του πυρήνα και, υπολογίζεται ανά «βουτιά».

$$RQD = \frac{\text{Αθροισμα πυρήνων μήκους} \geq 10\text{cm}}{\text{Συνολικό μήκος πυρηνοληψίας}} \cdot 100\%$$

Είναι δηλαδή μία έμμεση μέτρηση της απόστασης των ασυνεχειών. Δεν λαμβάνονται υπόψη τα σπασίματα που δημιουργήθηκαν εξαιτίας της διάτρησης, ή κατά την μεταφορά ή λόγω κακής συντήρησης των πυρήνων.

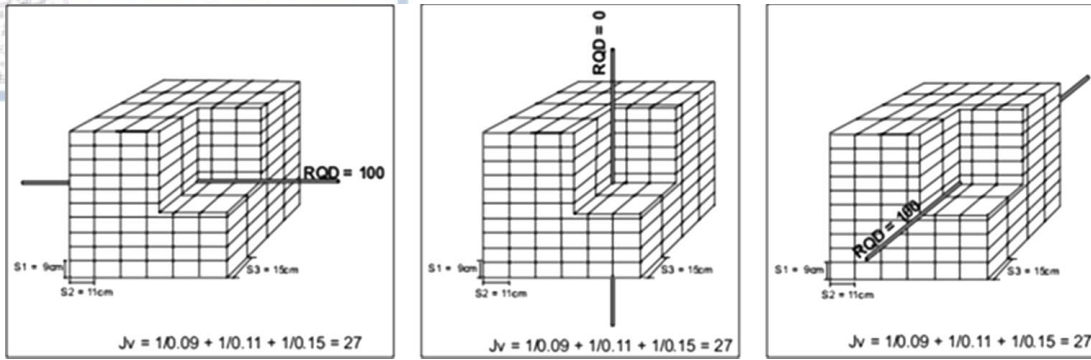


$$RQD = \frac{20cm + 40cm + 30cm}{100} 100\% = 90\%$$

Εικόνα 4.2.2.1: Παράδειγμα υπολογισμού του δείκτη ποιότητας RQD σε κροκαλοπαγές από κασάκι γεώτρησης της ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. (λήψη φωτογραφίας και τροποποίηση από τη γράφουσα, 2019)

Βέβαια, πέρα από την μέθοδο της πυρηνοληψίας, υπάρχουν και άλλες διαθέσιμες μέθοδοι προσδιορισμού του δείκτη RQD , αλλά δεν αποτελούν στόχο της παρούσας εργασίας (μεταφρασμένο από Lianyang Zhang, 2016). Η εφαρμογές του έχουν επεκταθεί σε πολλούς τομείς της βραχομηχανικής και πλέον αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο της γεωτεχνικής μηχανικής (μεταφρασμένο από Abdolazim Azimian, 2014).

Αν και αποτελεί μία εύκολη και οικονομική μέθοδο και παρά την δυνατότητα απάλειψης του ανθρώπινου σφάλματος και της μηχανικής διατάραξης, υπάρχουν ορισμένα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην κατεύθυνση με την οποία πραγματοποιείται η δειγματοληπτική γεώτρηση, διότι σε διαφορετικές διευθύνσεις «κόβονται» διαφορετικές οικογένειες ασυνεχειών και έτσι δύναται να προκύψει για την ίδια βραχόμαζα διαφορετική τιμή RQD. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ότι με αλλαγή της διεύθυνσης της πυρηνοληψίας προκύπτει τιμή RQD=0 αλλά και RQD=100, για την ίδια ακριβώς βραχόμαζα.



Εικόνα 4.2.2.2: Τρεις γεωτρήσεις διαφορετικών διευθύνσεων στην ίδια βραχώμαζα που δίνουν συγχρόνως τιμές RQD τόσο 0 όσο και 100 (Palmstrom, 2005 από Abdolazim Azimian, 2014)

Εκτός του προσανατολισμού της πυρηνοληψίας, άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές RQD είναι η ποιότητα της πυρηνοληψίας, η αντοχή του βράχου, το μέγεθος του πυρήνα, οι υδατικές συνθήκες, η αποσάθρωση, η τραχύτητα και το άνοιγμα των ασυνεχειών.

Ο δείκτης αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν προειδοποίηση για ύπαρξη ζώνης χαμηλής ποιότητας που χρίζει μεγαλύτερης προσοχής ή απαιτεί επιπρόσθετη έρευνα. Αποτελεί βασικό στοιχείο άλλων γεωτεχνικών παραμέτρων, όπως του συστήματος Q και του RMR, αλλά μόνο του δεν επαρκεί για να περιγράψει με απόλυτη ακρίβεια την ποιότητα της βραχώμαζας (Abdolazim Azimian, 2014), παρά μόνο δίνει μία πρώτη αδρή πληροφορία για τον κερματισμό του γεωυλικού.

Ποιότητα πετρώματος (RQD)	Τιμή RQD(%)
Πολύ φτωχή (Very poor)	0-25
Φτωχή (Poor)	25-50
Μέτρια (Fair)	50-75
Καλή (Good)	75-90
Εξαιρετική (Excellent)	90-100

Πίνακας 4.2.2.3: Εύρη τιμών RQD και η περιγραφή τους

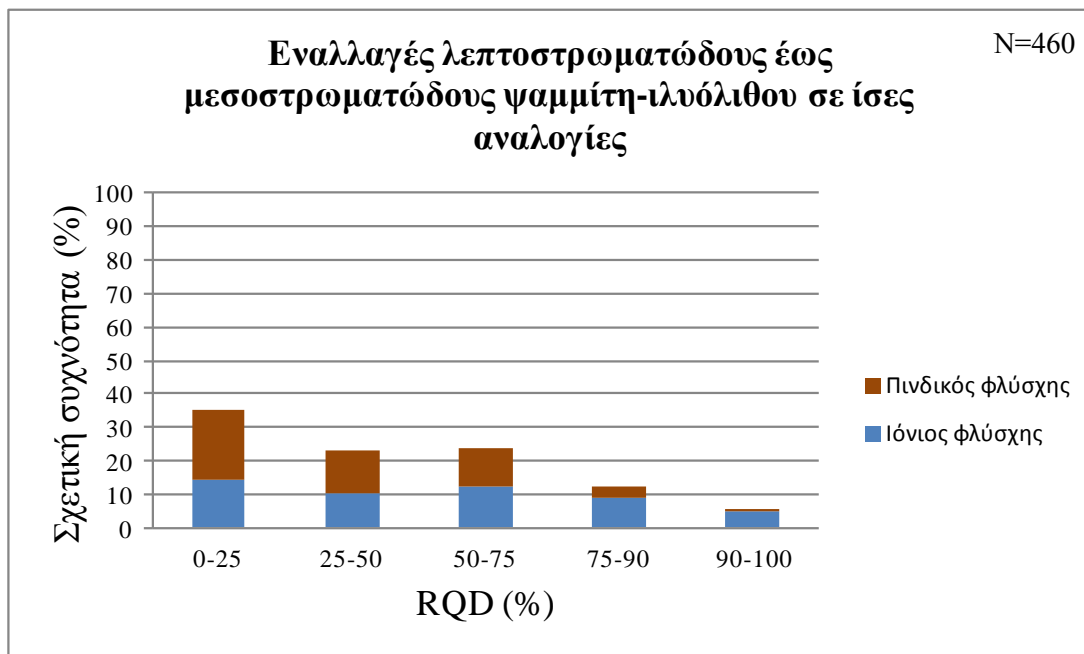
Συνήθως σε μία δειγματοληπτική γεώτρηση, μαζί με το RQD υπολογίζεται και η ολική και στερεή πυρηνοληψία (T.C.R και S.C.R. αντίστοιχα). Περεταίρω στοιχεία δόθηκαν σε προηγούμενο υποκεφάλαιο.

4.2.2.1. Στατιστική επεξεργασία του δείκτη RQD και η σχέση του με το βάθος – Εξαγωγή συμπερασμάτων.

Ενδιαφέρουσα θα ήταν η διερεύνηση των τιμών RQD που έχουν καταγραφεί στη βάση δεδομένων TIAS για τον σχηματισμό του φλύσχη και η εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων που αφορούν την κατασκευή οποιουδήποτε τεχνικού έργου σε φλυσχικό περιβάλλον. Τα συμπεράσματα, σχετίζονται με την κατανομή των τιμών στα διάφορα φάσματα RQD που ορίζονται, αλλά και σε σχέση με το βάθος.

Για αυτόν τον λόγο, επεξεργάστηκαν στατιστικά με τρόπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και, για κάθε γεωυλικό κατασκευάστηκε διάγραμμα «σχετικής συχνότητας (%) - τιμής RQD(%)» που προβάλλει την συμμετοχή των τιμών RQD στα διάφορα εύρη τιμών του πίνακα 4.2.1.3 που ορίζουν τις κατηγορίες ποιότητας της βραχώμαζας. Έπειτα κατασκευάστηκαν διαγράμματα «RQD(%) - βάθους(m)», με στόχο την εύρεση της σχέσης των δύο παραμέτρων.

Στο παρακάτω ιστόγραμμα, παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής των τιμών RQD στα ορισθέντα εύρη, για τον σχηματισμό που αποτελείται από **εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες**.

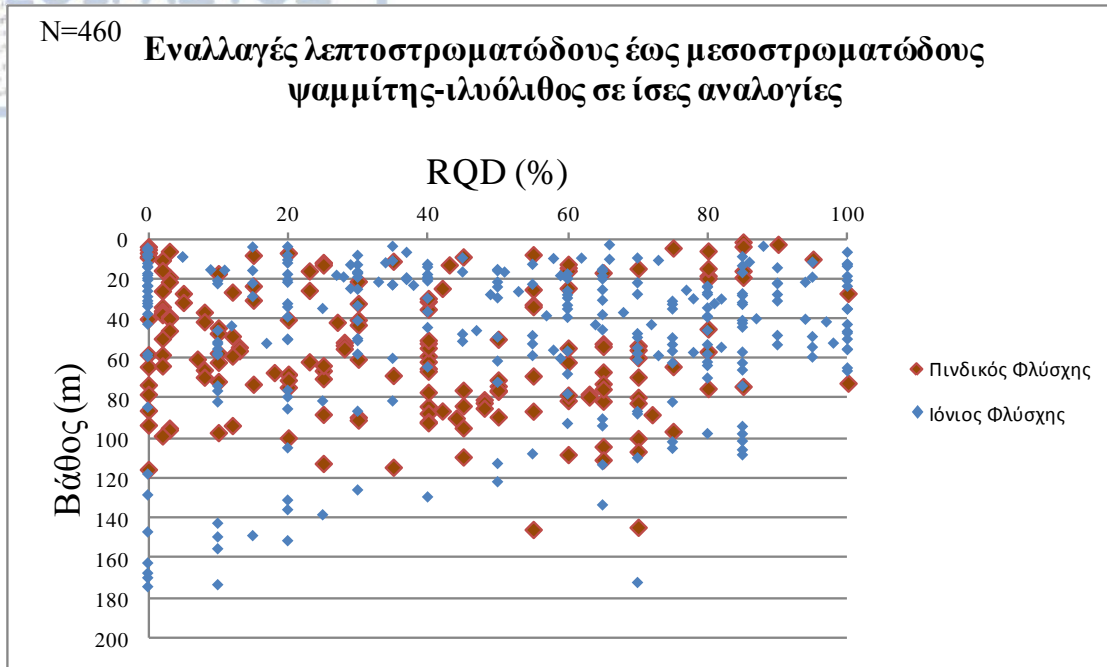




Για παράδειγμα, συμπεραίνεται ότι η συγκεκριμένη βραχώμαζα, χαρακτηρίζεται σε ποσοστό 34,3% του συνόλου της από πολύ πτωχή ποιότητα, σε ποσοστό μόλις 3,6% από εξαιρετική ποιότητα και ούτω καθεξής. Οι παραπάνω τιμές συγκεντρώνονται κυρίως στην περιοχή των κατηγοριών «πολύ πτωχή» έως και «μέτρια» ποιότητα για τη συγκεκριμένη βραχώμαζα.

Από την χρωματική διαφοροποίηση του φλύσχη στο ιστόγραμμα, με βάση την γεωτεκτονική ζώνη στην οποία ανήκει, φαίνεται ότι ο Ιόνιος φλύσχη «συνεισφέρει» περισσότερο στις υψηλές τιμές RQD ενώ ο Πινδικός ενισχύει κυρίως τις χαμηλές τιμές. Αυτό είναι λογικό καθώς η Ιόνιος ζώνη είναι λιγότερο καταπονημένη τεκτονικά σε σχέση με την ζώνη Πίνδου και συνεπώς μπορεί κατά τόπους στον Ιόνιο φλύσχη ο κερματισμός να είναι μικρότερος, κάτι το οποίο σχεδόν εκλείπει από τον Πινδικό.

Από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς «RQD(%)-βάθους(m)» παρατηρείται γραφικά, απουσία ανάλογης σχέσης μεταξύ των παραμέτρων ακόμα και αν αφαιρούνταν οι ακραίες τιμές. Οι περισσότερες τιμές έχουν εξαχθεί σε βάθος μέχρι 90m περίπου. Ειδικότερα από το βάθος των 120m και κάτω, γίνεται εμφανής η μείωση των τιμών RQD (απουσία υψηλών τιμών), σε αντίθεση με βάθη πάνω από τα 120m που αυξάνονται. Η ποιότητα του σχηματισμού δεν βελτιώνεται με το βάθος, όπως θα ήταν γεωλογικά αναμενόμενο.



Το παραπάνω οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι η βραχώμαζα που αποτελείται από εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες, αντιπροσωπεύει εκτός από τον τύπο IV «Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από εναλλαγές ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες» και τον τύπο VII του φλύσχη: «Έντονα διαταραγμένη-πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατηρεί την δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες».

Γενικά, ο κερματισμός οφείλεται στην πτύχωση που προκαλεί θραύση στα ψαμμιτικά μέλη (εμφάνιση διακλάσεων), στην μεγάλη εμμόνη της στρώσης, στις διατμήσεις του ιλυόλιθου και την διατάραξη που αυτός έχει υποστεί, και πιθανόν στην μετατεκτονική ρηγμάτωση που οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας του σχηματισμού.

Αξιοσημείωτη είναι η τιμή RQD=0 στο βάθος των 170m, καθώς επίσης παρατηρούνται στον σχηματισμό πολλές ακόμα παρόμοιες χαμηλές τιμές σε μεγάλο βάθος. Ενδεχομένως να εμφανίζονται ζώνες διάτμησης ή ανορθωμένα στρώματα που έχουν υποστεί έντονη χημική αποσάθρωση, στα πολύ μεγάλα βάθη και έτσι να εμφανίζονται εκεί τιμές RQD=0-10 (πολλές φορές μεμονωμένα ιλυολιθικά στρώματα λειτουργούν ως ζώνες διάτμησης παράλληλες στην στρώση). Επίσης πιθανή κρίνεται η



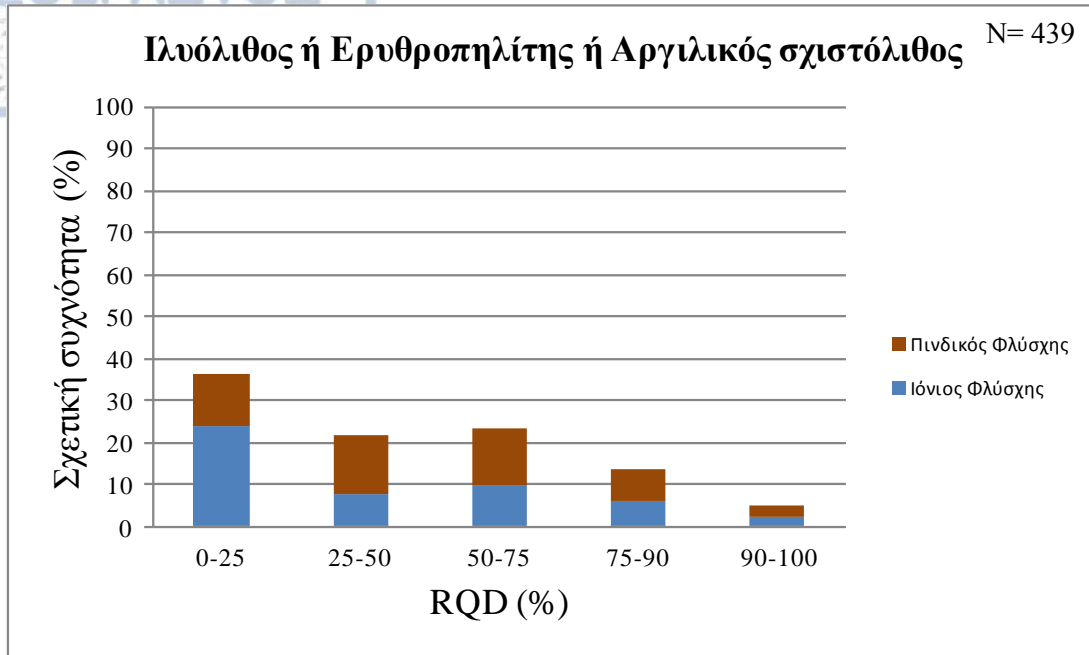
παρουσία ακέραιων ψαμμιτικών πάγκων στα πολύ μικρά βάθη, όπου απαντάται RQD=90-100.

Η προαναφερθείσα κατάσταση της εμφάνισης εξαιρετικής έως και πολύ πτωχής ποιότητας πετρώματος, τόσο επιφανειακά όσο και στο βάθος, εξηγείται από το γεγονός ότι ο φλύσχος διακρίνεται για τον έντονο τεκτονισμό του (πολυπτυχωμένος, λεπιωμένος), σε συνδυασμό με την ετερογένεια της μάζας του εξεταζόμενου γεωλογικού σχηματισμού (που υποδεικνύει διαφορετικές μηχανικές συμπεριφορές των δύο συμμετεχόντων γεωυλικών).

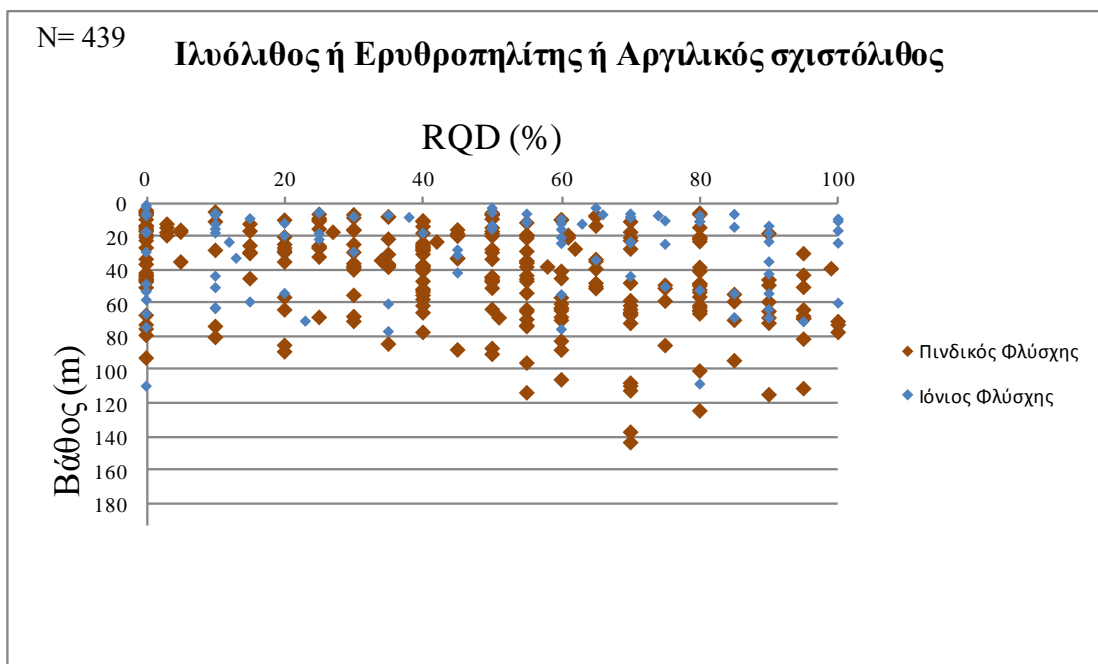
Σε μικρά βάθη, χαμηλές τιμές RQD είναι λογικό να απαντώνται, λόγω της επιφανειακής αποσάθρωσης, διάβρωσης και χαλάρωσης της βραχώμαζας (π.χ. λόγω ύγρανσης-ξηράνσης, θέρμανσης-ψύξης, κ.λπ.).

Στο παρακάτω ιστόγραμμα παρουσιάζεται για τον σχηματισμό που αποτελείται από **ιλυόλιθο ή ερυθροπηλίτη ή αργιλικό σχιστόλιθο**, το ποσοστό συμμετοχής των τιμών RQD στα διάφορα εύρη τιμών του πίνακα 1 που ορίζουν τις κατηγορίες ποιότητας της βραχώμαζας. Γίνεται φανερό ότι η πλειονότητα των τιμών βρίσκεται προς τις χαμηλές κατηγορίες, δηλαδή η βραχώμαζα χαρακτηρίζεται κατά βάση από «πολύ πτωχή» έως «μέτρια» ποιότητα.

Από την χρωματική διαφοροποίηση του φλύσχη στο ιστόγραμμα, με βάση την γεωτεκτονική ζώνη στην οποία ανήκει, δεν παρατηρείται κάποια αξιόλογη διαφορά στις τιμές RQD του Ιόνιου και Πινδικού φλύσχη.



Στο παρακάτω διάγραμμα διασποράς «RQD(%)-βάθους(m)» συμπεραίνεται γραφικά, ότι η σαφής συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων απουσιάζει κυρίως για τον Ιόνιο φλύσχη, αλλά η γραμμική γραμμή τάσης που προέκυψε, δείχνει μία γενική τάση για αύξηση της τιμής RQD με το βάθος για τον Πινδικό φλύσχη (με απάλειψη των ακραίων τιμών), καθώς η κλίση της είχε θετική τιμή.



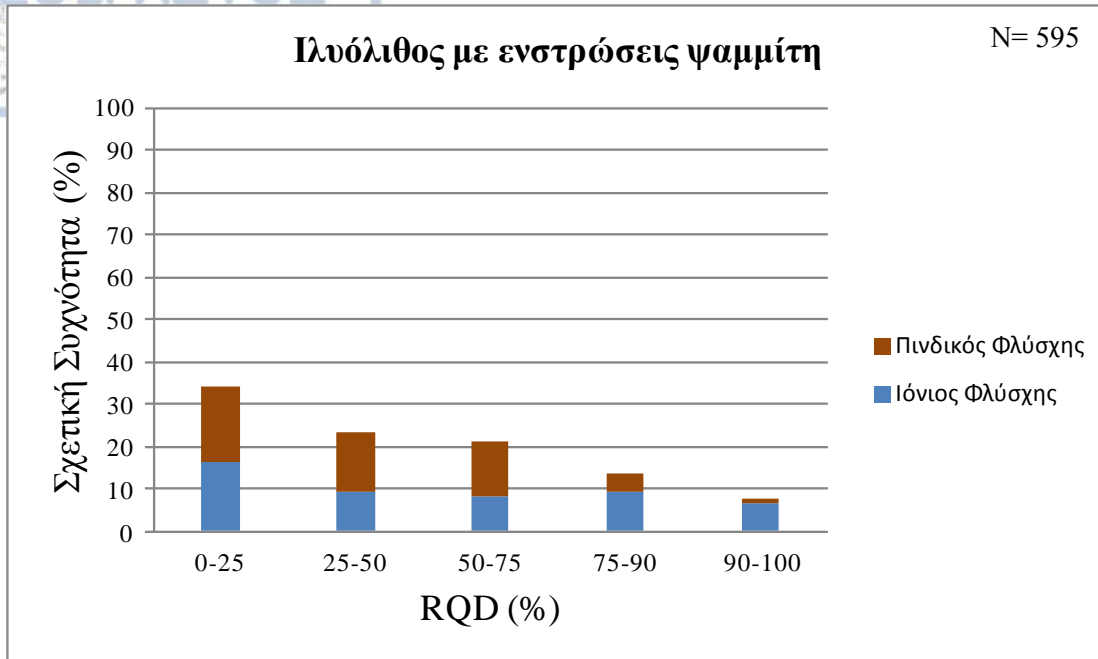
Οι χαμηλές τιμές στους ιλυόλιθους και αργιλοσχιστόλιθους, προκύπτουν κατά βάση από τις διατμήσεις, τις λεπιώσεις και τις πτυχώσεις που δημιουργούνται κυρίως στα πλαστικά μέλη και τους προσδίδουν ευθρυπτότητα, την παρουσία διογκούμενων ορυκτών και το φαινόμενο της αργιλοποίησης (αποσάθρωση) σε περίπτωση παρουσίας νερού. Επίσης, με την αποσυμπίεση και την έκθεση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, η βραχώμαζα χαλαρώνει, εκτονώνεται και το φαινόμενο της σχιστοποίησης-σχάσης (slaking) στα πρώτα μέτρα βάθους μειώνει τις τιμές RQD.

Δεν αποκλείεται η παρουσία πολύ χαμηλών τιμών σε μεγάλα βάθη, στα πηλιτικά μέλη, να οφείλεται στην ύπαρξη βαθιών αργιλοποιημένων ζωνών διάτμησης (π.χ. RQD=15 σε βάθος 230m). Επίσης η έντονη τεκτονική καταπόνηση των ιλυολιθικών μελών ως πλαστικά μέλη, απομειώνει ακόμη και σε βάθος την ποιότητα του σχηματισμού.

Οι υψηλές τιμές οφείλονται στο γεγονός ότι οι ρωγμές με το βάθος κλείνουν και ο σχηματισμός εμφανίζεται όλο και πιο υγιής (π.χ. RQD=100 σε βάθος 250m). Σε μικρά βάθη όμως, οι υψηλές τιμές εξηγούνται είτε από το γεγονός ότι πρόσφατα έχουν αποκαλυφθεί με τεχνητό τρόπο (π.χ. κατά την διαμόρφωση πρανούς για διάνοιξη δρόμου), είτε από το γεγονός ότι το μεγάλο RQD είναι ένα ψευδό-RQD που εμφανίζεται λόγω του στερεοποιημένου χαλαρού σχηματισμού.

Έτσι, στις διάφορες γεωτρήσεις αλλά σε ίδια βάθη, δύναται να εμφανίζεται με διαφορετική ποιότητα ο ίδιος σχηματισμός.

Στο παρακάτω ιστόγραμμα για τον **ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη**, παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής των τιμών RQD στα διάφορα φάσματα τιμών του πίνακα 4.2.1.3 που ορίζουν τις κατηγορίες ποιότητας της βραχώμαζας. Η πλειονότητα των τιμών βρίσκεται προς τις χαμηλές κατηγορίες, δηλαδή η βραχώμαζα χαρακτηρίζεται κατά βάση από «πολύ πτωχή» έως «μέτρια» ποιότητα.

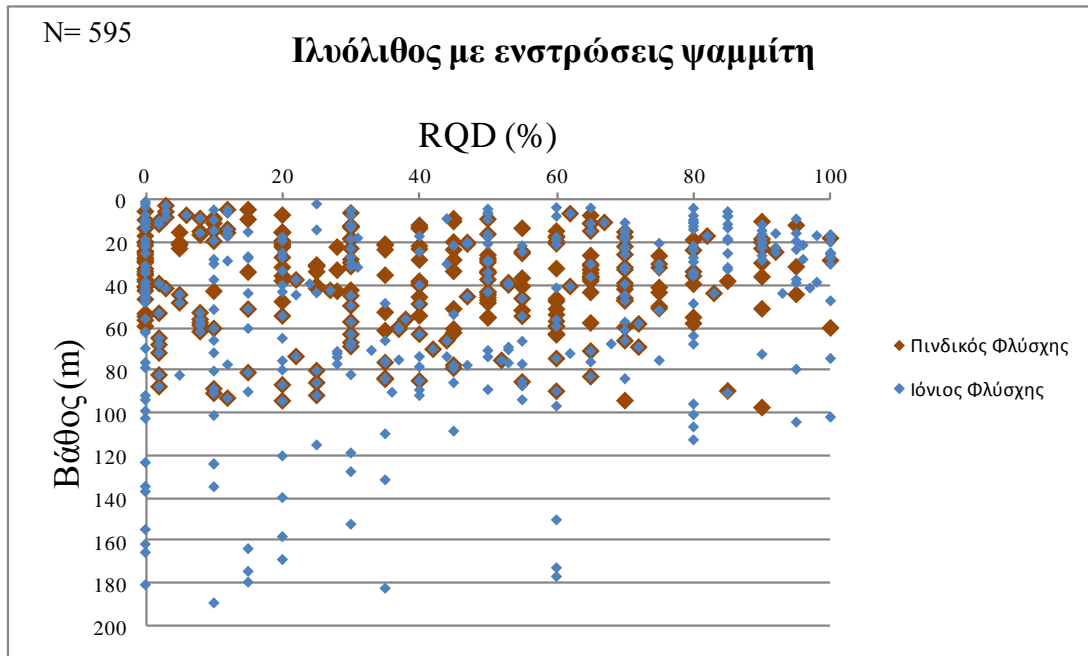


Από την χρωματική διαφοροποίηση του φλύσχη στο ιστόγραμμα, με βάση την γεωτεκτονική ζώνη στην οποία ανήκει, φαίνεται ότι ο Ιόνιος φλύσσης «συνεισφέρει» περισσότερο στις υψηλές τιμές RQD ενώ ο Πινδικός ενισχύει κυρίως τις χαμηλές τιμές, για τον ίδιο λόγο που προαναφέρθηκε σε αντίστοιχη περίπτωση παραπάνω.

Στο διάγραμμα διασποράς «RQD(%)-βάθους(m)» για τον σχηματισμό που αποτελείται από ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη, παρατηρείται γραφικά ότι μεταξύ των παραμέτρων δεν υπάρχει σαφής συσχέτιση (ακόμα και αν οι ακραίες τιμές δεν συμπεριλαμβάνονταν).

Ο συγκεκριμένος σχηματισμός, με βάση τους λιθότυπους του φλύσχη κατά Β. Μαρίνο (2007), εμφανίζεται από αδιατάρακτος και συμπαγής (τύπος II), έως και έντονα διαταραγμένος, πολυπτυχωμένος, με σχεδόν χαοτική μάζα μέσα στην οποία περικλείονται ψαμμιτικά τεμάχια (τύπος X). Φυσικά συμπεριλαμβάνονται και τα ενδιάμεσα στάδια, δηλαδή οι τύποι V, VI, VIII του ιλυόλιθου με ενστρώσεις ψαμμίτη. Είναι λοιπόν αναμενόμενο να παρατηρούνται χαμηλές αλλά και υψηλές τιμές RQD σε μεγάλα και μικρά βάθη, ανάλογα με τον τύπο φλύσχη που συναντήθηκε και αξιολογήθηκε. Όπως και στους προηγούμενους σχηματισμούς, έτσι και εδώ δεν

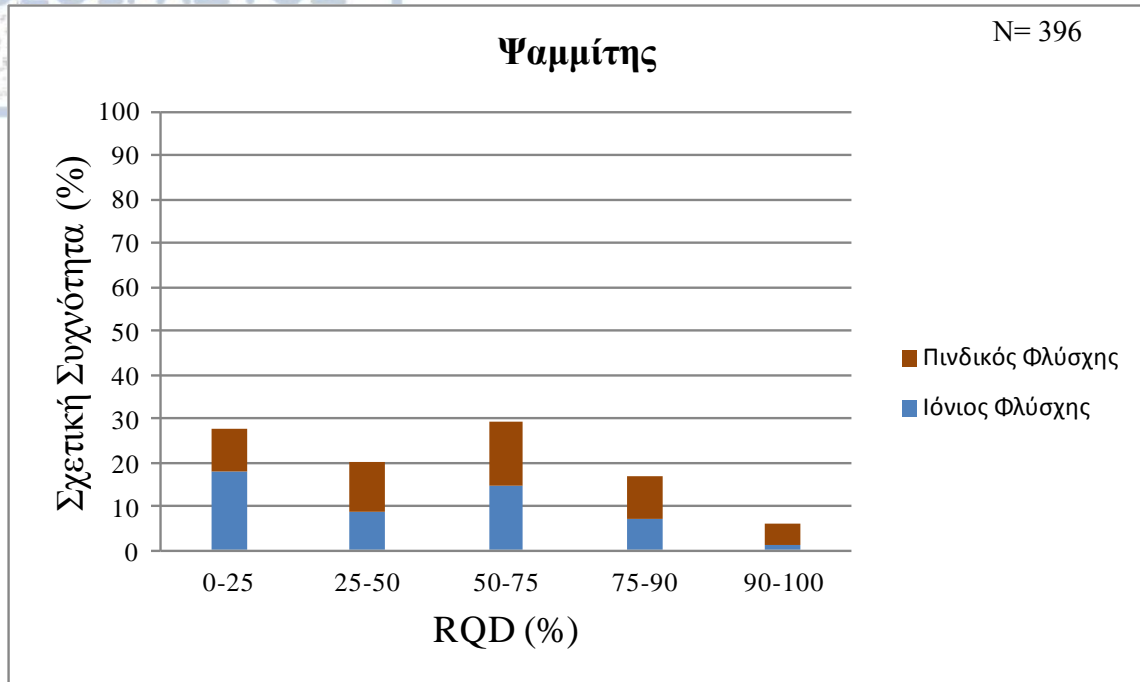
αποκλείεται η παρουσία σε βάθος ζωνών διάτμησης που δικαιολογούν τις πολύ χαμηλές τιμές RQD σε μεγάλα βάθη (π.χ. RQD=0 σε βάθος 180m)



Στο παρακάτω ιστόγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής των τιμών RQD στα διάφορα εύρη τιμών του πίνακα 4.2.1.3 που ορίζουν τις κατηγορίες ποιότητας της **ψαμμιτικής** βραχώμαζας.

Η πλειονότητα των τιμών (30%) αντιστοιχεί στην κατηγορία «μέτριας» ποιότητας βραχώμαζας, ενώ αμέσως μετά συμμετέχει η κατηγορία, «πολύ πτωχή», «πτωχή» και «καλή» με ποσοστό περίπου 20% έκαστη. Η ψαμμιτική βραχώμαζα είναι καλύτερης ποιότητας σε σχέση με τις προηγούμενες βραχώμαζες που αναλύθηκαν και αφορούσαν σχηματισμούς με βασικό γεωυλικό τον ιλυόλιθο, αλλά και τις ισόποσες εναλλαγές ιλυόλιθου-ψαμμίτη, στις οποίες μεγαλύτερη συμμετοχή τιμών παρατηρούνταν στην κατηγορία «πολύ πτωχής» ποιότητας. Στο ιστόγραμμα περιλαμβάνονται όλες οι τιμές, ακόμα και οι ακραίες.

Από την χρωματική διαφοροποίηση του φλύσχη στο ιστόγραμμα, με βάση την γεωτεκτονική ζώνη στην οποία ανήκει, δεν παρατηρείται κάποια αξιόλογη διαφορά στις τιμές RQD του Ιόνιου και Πινδικού φλύσχη.



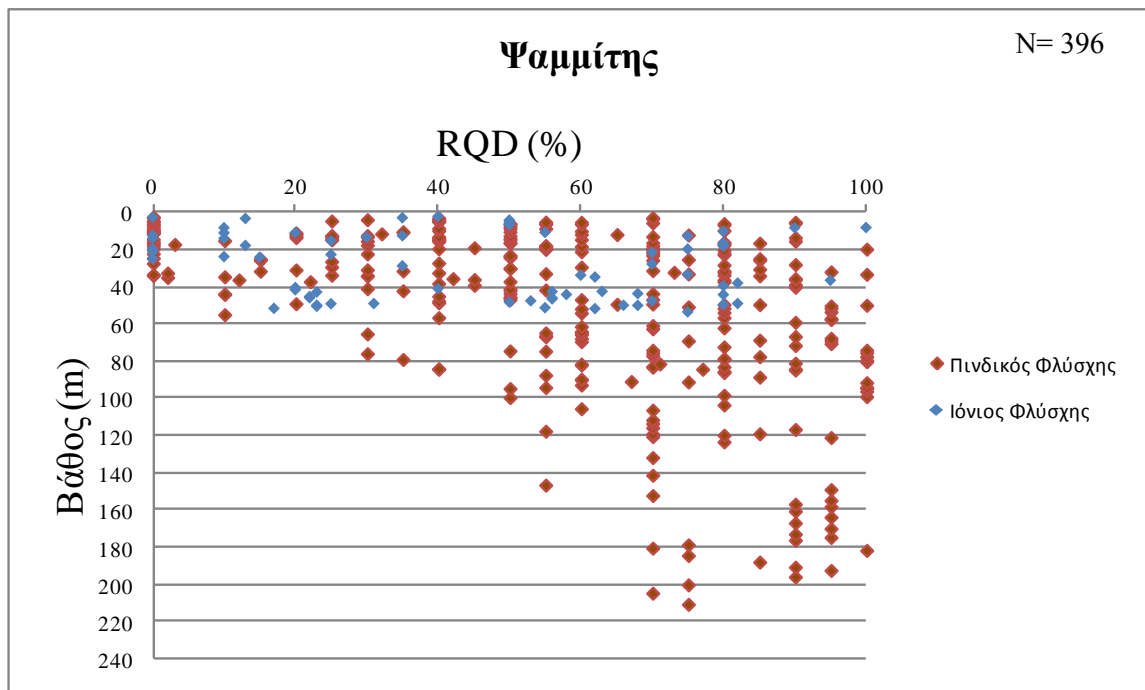
Από την κατανομή των σημείων του διαγράμματος διασποράς «RQD(%) - βάθους(m)» για τον σχηματισμό του ψαμμίτη, είναι εμφανής η ανάλογη σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων με αύξηση των τιμών RQD με το βάθος, αλλά μόνο για τον Πινδικό φλύσχη. Τούτο, γίνεται φανερό γραφικά, απαλείφοντας τις ακραίες τιμές, διότι ο κύριος «όγκος» σημείων δείχνει να κατευθύνεται προς τις μεγαλύτερες τιμές RQD με το βάθος. Αυτό είναι λογικό για τους ψαμμιτικούς πάγκους αφού χαρακτηρίζονται από ακαμψία, συμπαγή δομή (ακόμα και επιφανειακά), και γενικά από μικρό έως μέτριο κερματισμό που οφείλεται κατά βάση στην ψαθυρή θραύση. Υψηλές τιμές RQD κοντά στην επιφάνεια (π.χ. RDQ=100 σε βάθος 8,5m) σχετίζονται με την τιμολόγηση λιγότερο κερματισμένου ψαμμίτη στα συγκεκριμένα βάθη.

Οι μικρές τιμές RQD στα μικρά βάθη οφείλονται λογικά στις επιφανειακές ρωγματώσεις και ζώνες χαλάρωσης της βραχώμαζας, από την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών (π.χ. ύγρανση-ξήρανση, θέρμανση-ψύξη, κ.α.).

Η παρουσία νερού προκαλεί την αλλοίωση «καολινίωση» στο συγκολλητικό υλικό των ψαμμιτών, ιδιαίτερα όταν παρουσιάζονται ζώνες διάτμησης που τις εξαλλοιώνει. Ενδεχομένως στο παραπάνω να οφείλονται οι πολύ χαμηλές τιμές RQD σε

πολύ μεγάλο βάθος (π.χ. RQD=20 σε βάθος 210m) που όμως αφαιρέθηκαν από το διάγραμμα ως ακραίες καθώς οδηγούσαν σε αποκλίσεις από την ξεκάθαρη συσχέτιση.

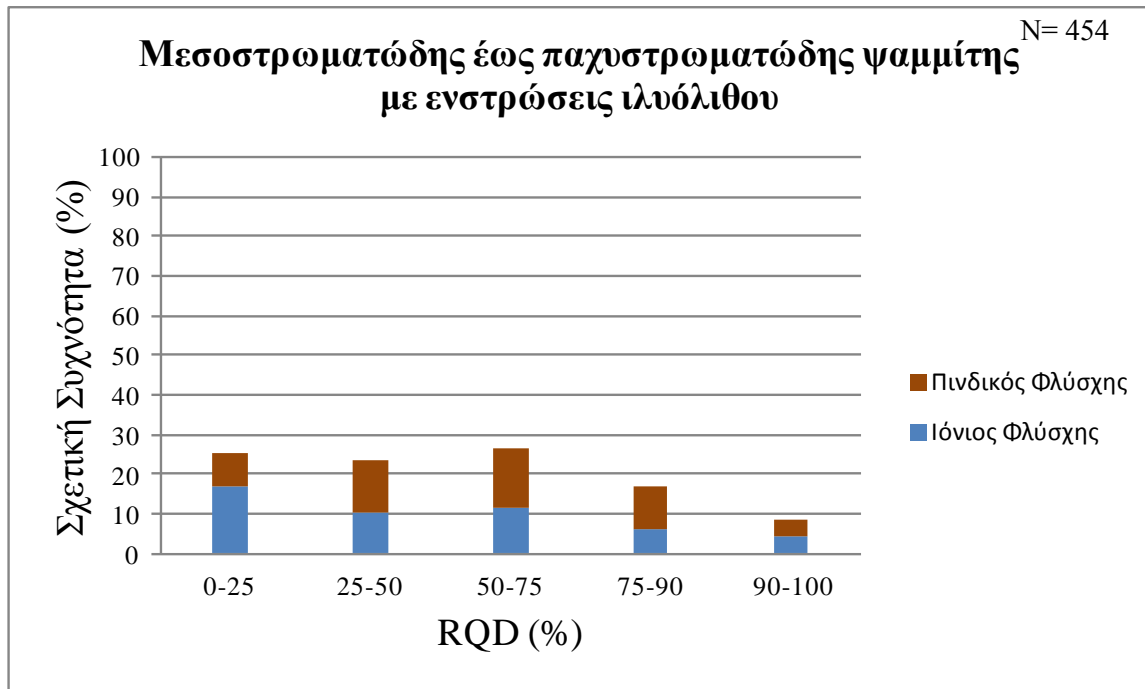
Δύναται να παρατηρηθούν ακόμα και ανάστροφα επιπευτικά ρήγματα μέσα στην μάζα των παχυσωματωδών ψαμμιτών που θα απομειώσουν το RQD σε βάθος, κατά το μήκος τους. Γενικά, ο ψαμμίτης υπόκειται μόνο σε θραυσιγενή τεκτονική, η οποία μαζί με την μεγάλη εμμόνη της στρώσης και των διακλάσεων, απομειώνουν την τιμή του RQD.



Στο παρακάτω ιστόγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής των τιμών RQD στα διάφορα φάσματα τιμών του πίνακα 4.2.1.3 που ορίζουν τις κατηγορίες ποιότητας της βραχώμαζας που αποτελείται από **ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλυόλιθου**.

Η πλειονότητα των τιμών (~28%) αντιστοιχεί στην κατηγορία «μέτριας» ποιότητας βραχώμαζας, ενώ αμέσως μετά συμμετέχει η κατηγορία, «πολύ πτωχή», και «πτωχή», με συμμετοχή περίπου 25% έκαστη. Ομοιάζει δηλαδή αρκετά με την ποιότητα του απλού γεωυλικού του ψαμμίτη. Στον συγκεκριμένο σχηματισμό, κυριαρχεί ο ψαμμίτης, οπότε είναι λογικό να έχει καθορίσει σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με τον ιλυόλιθο, τις τιμές RQD.

Ο ιλυόλιθος οδηγεί τη συνολική βραχώμαζα σε μία λιγότερο συμπαγή δομή και εμποδίζει το νερό να διεισδύσει βαθύτερα, κρατώντας το στο εσωτερικό του. Επιπροσθέτως, οι ψαμμιτικοί πάγκοι επηρεάζονται ασθενώς από το τεκτονισμό λόγω της ακαμψίας τους, ενώ οι ιλυολιθικοί υμένες που τους περιβάλλουν, ως πιο εύθρυπτοι, διευρύνουν τις ασυνέχειες μεταξύ των πάγκων.



Από την χρωματική διαφοροποίηση του φλύσχη στο ιστόγραμμα, με βάση την γεωτεκτονική ζώνη στην οποία ανήκει, δεν παρατηρείται κάποια αξιόλογη διαφορά στις τιμές RQD του Ιόνιου και Πινδικού φλύσχη.

Συμπεραίνεται γραφικά από το διάγραμμα διασποράς «RQD(%) - βάθος(m)», μετά από αφαίρεση των ακραίων τιμών, ότι υπάρχει σαφής συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων μόνο στην περίπτωση του Πινδικού φλύσχη. Κάτω από το βάθος των 40m οι τιμές RQD του φλύσχη της Πίνδου αυξάνονται με την αύξηση του βάθους. Ο μεγαλύτερος όγκος τιμών βρίσκεται στο βάθος 0-40m για τον Ιόνιο φλύσχη και κατανέμονται σχεδόν ομοιόμορφα.

Ο εξεταζόμενος σχηματισμός αντιπροσωπεύεται κυρίως από τον τύπο III αλλά και τον I (κατά Μαρίνο Β., 2007). Οι χαμηλές τιμές RQD σε μικρό βάθος, όπως

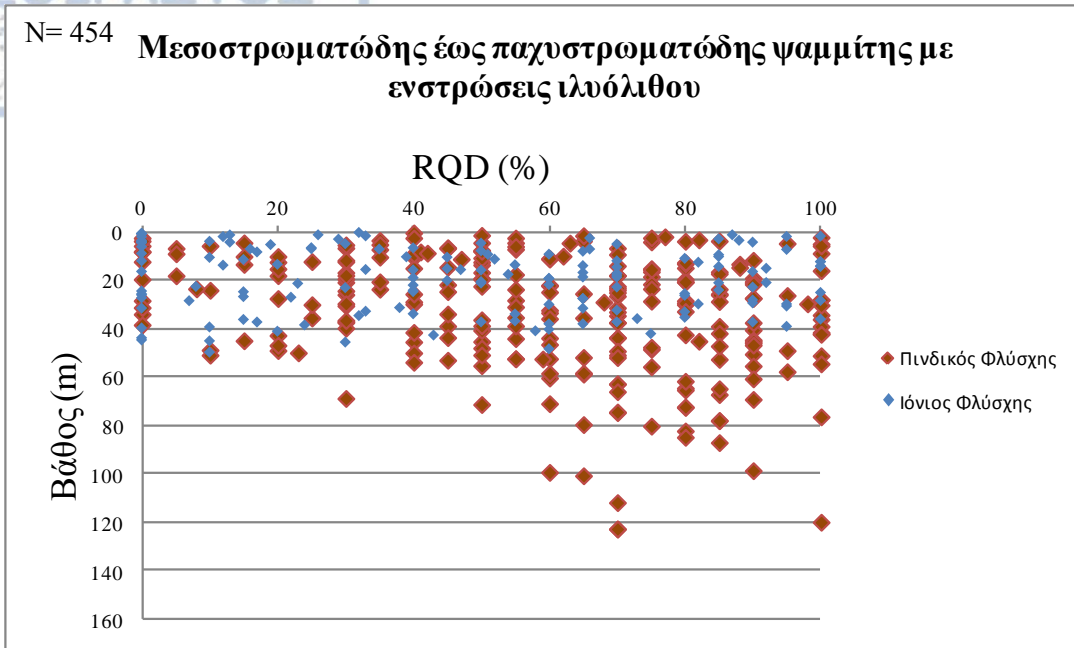


προαναφέρθηκε, οφείλονται μεταξύ άλλων στις επιφανειακές ρωγματώσεις και ζώνες χαλάρωσης του ψαμμίτη και την αλλοίωση «καολινίωση» του συγκολλητικού υλικού τους (παρουσία νερού).

Από την άλλη πλευρά, πολύ χαμηλή ποιότητα πετρώματος σε πολύ μεγάλα βάθη(π.χ. RQD=0 σε βάθος 130m), αντιπροσωπεύει πιθανότατα εξαλλοιωμένες ζώνες μετατεκτονικής ή συντεκτονικής ρηγμάτωσης ή και ιλυολιθικά βαθμονομούμενα τμήματα. Οι τιμές αυτές αφαιρέθηκαν από το διάγραμμα καθώς απέκλιναν από την γενική κατανομή.

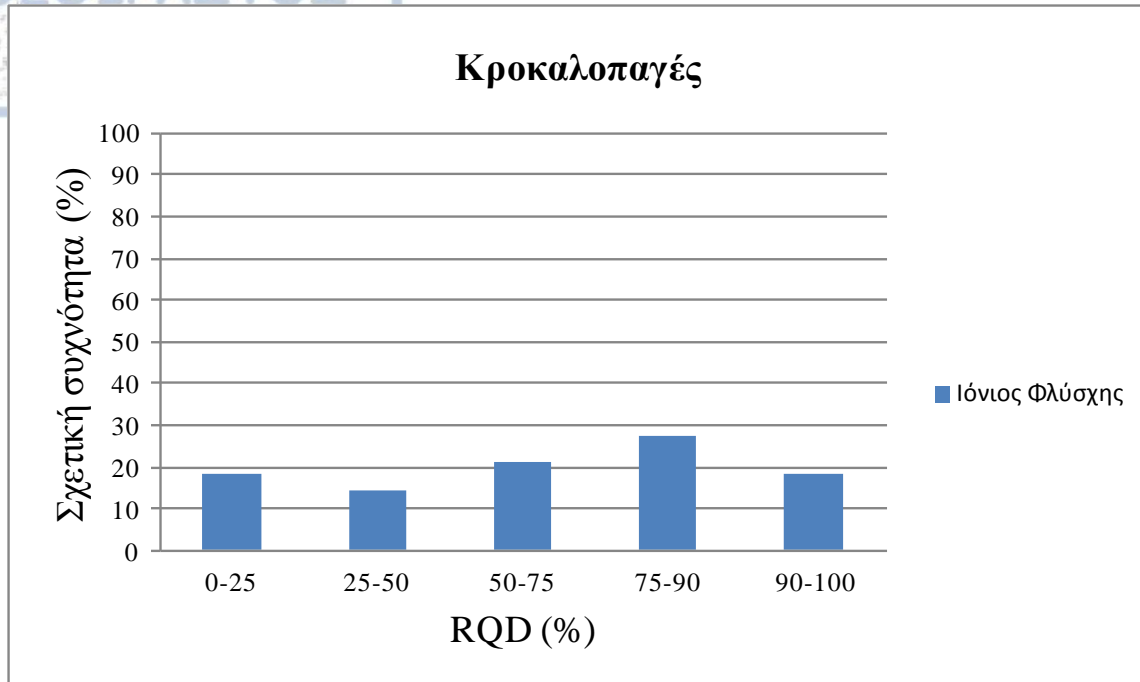
Υψηλές τιμές RQD σε μικρά βάθη οφείλονται στην παρουσία μη κερματισμένου ψαμμιτικού πάγου λόγω, για παράδειγμα, του σκληρού του συνδετικού υλικού ή της «προστασίας» του από υπερκείμενο ιλυολιθικό υμένα ή και οποιονδήποτε άλλον εξωγενή παράγοντα. Ακόμη μπορεί, το μεγάλο πάχος του και συνεπώς η απουσία ακαμψίας να οδήγησαν σε πιο άρρηκτη δομή στην επιφάνεια (τύπος I)

Γενικά, η διαταραχή στον ψαμμίτη δεν είναι έντονη αφού, τα πλαστικότερα μέλη του σχηματισμού έχουν αποσβέσει την τεκτονική πίεση, με αποτέλεσμα την ώθηση προς αύξηση του RQD. Η μεγάλη εμμονή της στρωμάτωσης στον ψαμμίτη, οι διακλάσεις και η θραυσιγενής τεκτονική του ψαμμίτη, απομειώνουν το RQD. Τέλος, το συγκολλητικό υλικό του ψαμμίτη είναι ύψιστης σημασίας, καθώς το πυριτικό και ασβεστιτικό υλικό ως «σκληρότερα», αποτρέπουν τον έντονο κερματισμό, δηλαδή οδηγούν σε μεγαλύτερες τιμές RQD, ενώ το αργιλικό ως πιο μαλακό, σε χαμηλότερες.



Στο παρακάτω ιστόγραμμα του **κροκαλοπαγούς** του φλύσχη, παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής των τιμών RQD στα διάφορα εύρη τιμών του πίνακα 4.2.1.3 που ορίζουν τις κατηγορίες ποιότητας της βραχώμαζας. Η πλειονότητα των τιμών αντιστοιχεί στην κατηγορία «καλής» ποιότητας βραχώμαζας, ενώ αμέσως μετά συμμετέχει η κατηγορία «μέτρια».

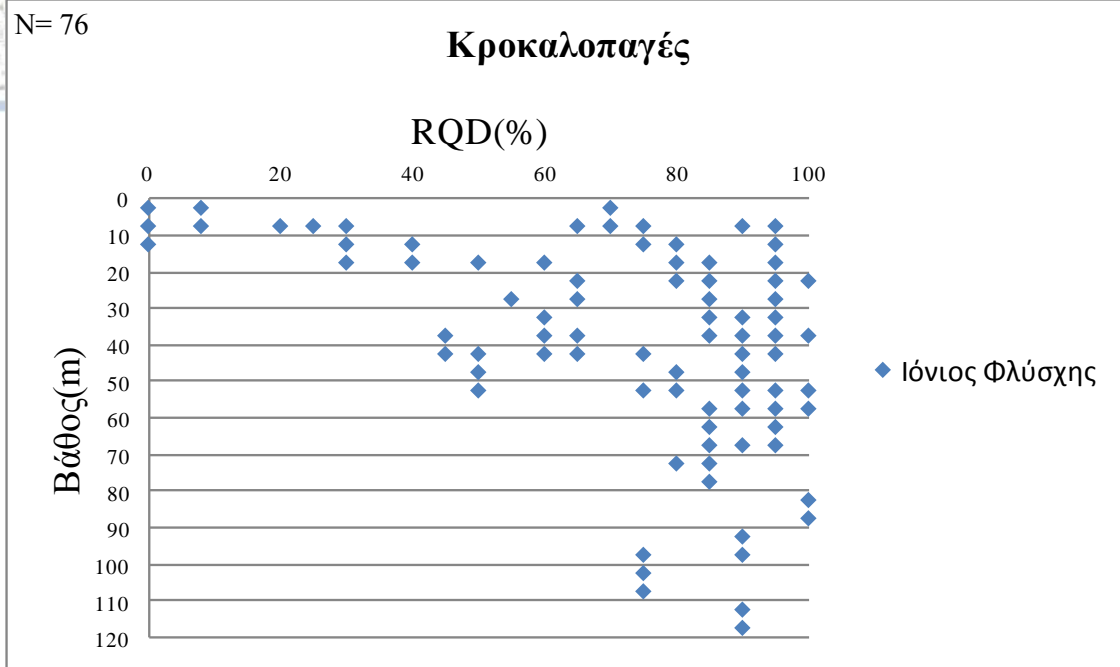
Όλα τα δεδομένα προέρχονται από τον φλύσχη της Ιονίου ζώνης, καθώς απουσίαζαν αντίστοιχα για τον Πινδικό φλύσχη και συνεπώς είναι αδύνατη η μεταξύ τους σύγκριση.



Συμπεραίνεται γραφικά από το αμέσως επόμενο διάγραμμα διασποράς ότι υπάρχει σαφής συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων και μία τάση για βελτίωση των τιμών RQD με το βάθος, χωρίς βέβαια την απουσία τιμών που αποκλίνουν από την προαναφερθείσα κατάσταση, αλλά αυτές έχουν αφαιρεθεί από το διάγραμμα με στόχο την ξεκάθαρη προβολή την συσχέτισης.

Συγκεκριμένα, παρατηρούνται αρκετές υψηλές τιμές σε μικρά βάθη (π.χ. RQD=90 σε βάθος 6,5m), αλλά και ορισμένες πολύ χαμηλές σε μεγάλα βάθη (π.χ. RQD=10% στα 110m βάθος) που όμως έχουν απαλειφθεί.

Οι πρώτες, οφείλονται στο γεγονός των περιορισμένων ασυνεχειών στα κροκαλοπαγή και στην συμπαγή, «αδόμητη» και άστρωτη δομή τους που έχει ως αποτέλεσμα την διατήρηση μιας καλής ποιότητας στο πέτρωμα ακόμα και στα πρώτα μέτρα. Οι δεύτερες, οφείλονται πιθανόν στην παρουσία ζωνών έντονης καταπόνησης ή απλά ασυνεχειών σε μεγάλα βάθη και την απόπλυση του συγκολλητικού υλικού στη στενή ζώνη κατά μήκος αυτών, πόσο μάλλον όταν η σύστασή τους είναι ενδεχομένως αργιλική (συνδετικό υλικό κροκαλοπαγούς αργιλικό).



Ο σημαντικότερος όγκος τιμών RQD εντοπίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 60m και ταυτόχρονα στο εύρος τιμών του 60-100 γεγονός που δηλώνει μέτρια έως εξαιρετική ποιότητα του εξεταζόμενου γεωλικού.

Εξαιτίας της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών στα πρώτα μέτρα βάθους, απαντάται απομειωμένη τιμή του RQD επιφανειακά. Σε μεγάλα βάθη είναι αναμενόμενο να απαντάται καλή έως εξαιρετική ποιότητα κροκαλοπαγούς.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι γενικά ο φλύσχος είναι ένας «ανακατεμένος» σχηματισμός και συνεπώς είναι αναμενόμενο στους περισσότερους σχηματισμούς του, να μην υπάρχει συσχέτιση του RQD με το βάθος, δηλαδή δεν είναι παράλογο να απαντώνται διάφορες ποιότητες πετρώματος στα διάφορα βάθη και να απουσιάζει η συνήθης βελτίωση της ποιότητας του πετρώματος με το βάθος.

Από τον ακόλουθο πίνακα φαίνεται ότι οι τιμές τυπικής απόκλισης είναι μεγάλες, της τάξης των 30 μονάδων και συνεπώς η αβεβαιότητα στην περίπτωση αυτή ενισχύεται, καθώς μία τέτοια μεταβολή στην τιμή του RQD οδηγεί κάθε φορά σε διαφορετικό φάσμα τιμών του πίνακα 4.2.2.3 και άρα σε διαφορετικό χαρακτηρισμό της βραχόμαζας.

Από τις μέσες τιμές συμπεραίνεται ότι η αύξηση του ψαμμιτικού υλικού στον σχηματισμό μειώνει κατά μερικές μονάδες μόνο, τον κερματισμό.

Φλυσχικός σχηματισμός	Μέση τιμή RQD (MEAN)	Τυπική απόκλιση (STDEV)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες	49	30,8
Ιλυόλιθος ή Ερυθροπηλίτης	43	31
Ψαμμίτης	55	30,6
Ιλυόλιθος με ενστρώσεις Ψαμμίτη	46	30,9
Ψαμμίτης με ενστρώσεις Ιλυόλιθου	53	30,8
Κροκαλοπαγές	66	30,2

Πίνακας 4.2.2.1.1: Μέσες τιμές και τιμές τυπικής απόκλισης για το RQD των σχηματισμών

4.2.3. Δείκτης Σημειακής Φόρτισης Is (Point Load Index)

Σε αυτήν την περίπτωση, προσδιορίζεται η αντοχή του ακέραίου πετρώματος ,μέσω της δοκιμής σημειακής φόρτισης (Point Load Test). Αποτελεί μία γρήγορη, απλή και οικονομική μέθοδο (οικονομικότερη από την τριαξονική δοκιμή παρόλο που προσδιορίζουν την ίδια παράμετρο αντοχής του πετρώματος).

Κατά την δοκιμή, ασκείται βαθμιαία και με σταθερή ταχύτητα, αντιδιαμετρική δύναμη στο δοκίμιο που έχει τοποθετηθεί μεταξύ των κωνικών άκρων και αυτή καταγράφεται στα μανόμετρα. Για τον υπολογισμό του δείκτη σημειακής φόρτισης, λαμβάνεται υπόψη η ελάχιστη δύναμη (P) που χρειάστηκε μόλις για την θραύση του δοκιμίου, δηλαδή το φορτίο την στιγμή της θραύσης. Είναι ουσιαστικά μία δοκιμή εφελκυσμού.

Πλεονεκτήματά της είναι το γεγονός ότι ο εξοπλισμός δοκιμής σημειακής φόρτισης μεταφέρεται εύκολα, άρα οι δοκιμές μπορούν να πραγματοποιηθούν εκτός από το εργαστήριο και στο πεδίο και, ότι απαιτεί την κατασκευή λιγότερων ή και καθόλου δοκιμίων (δύναται να εκτελεστεί σε ακανόνιστου σχήματος δοκίμιο).

Ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου θραύσης (P) προς το τετράγωνο της ισοδύναμης απόστασης D_e^2 (τετράγωνο της διαμέτρου του δοκιμίου) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002).

$$I_S = \frac{P}{D_e^2},$$

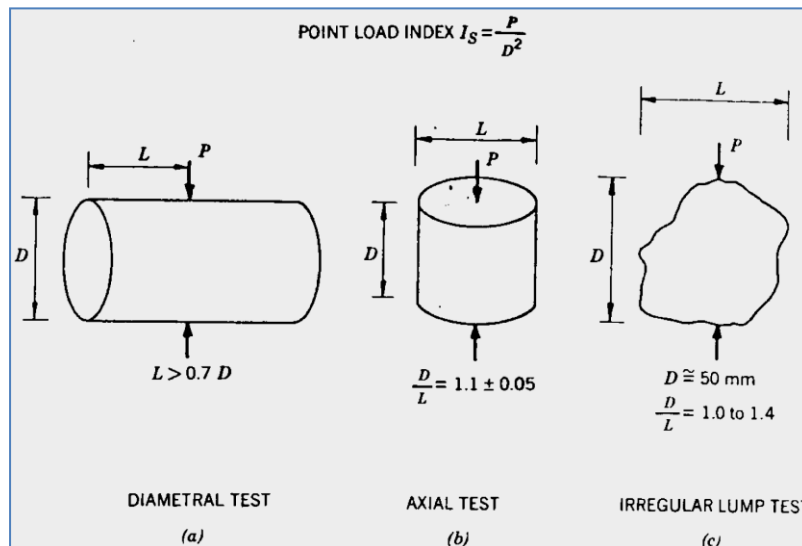
όπου P σε Newton, D_e^2 σε mm^2 , I_S σε MPa.

Στην περίπτωση όμως που η δοκιμή δεν είναι διαμετρική αλλά αξονική τότε η παράμετρος D_e^2 είναι:

$$D_e^2 = \frac{4 \cdot D \cdot W}{\pi},$$

όπου D = η απόσταση των κωνικών άκρων (διάμετρος) σε mm , W = η χαρακτηριστική διάσταση σε mm .

Η διαφορά αξονικής και διαμετρικής δοκιμής έχει να κάνει με την τοποθέτηση του δοκιμίου (κυλινδρικό, ακανόνιστο ή κυβικό) κατακόρυφα ή οριζόντια, δηλαδή φόρτιση κατά το ύψος του ή κατά την διάμετρό του, αντίστοιχα.



Εικόνα 4.2.3.1: (α) Διαμετρική δοκιμή, (β) Αξονική δοκιμή, (γ) Δοκιμή σε ακανόνιστης μορφής δείγμα

Οποσδήποτε, στους ιλυόλιθους και τους αργιλικούς σχιστόλιθους η δοκιμή εκτελείται σε καθαρά δείγματα, κάθετα στην σχιστότητά τους και τις εμφανείς μικροασυνέχειες (Μαρίνος Β., 2007).

Η δοκιμή, ανάλογα με τον τρόπο θραύσης μπορεί να είναι είτε έγκυρη είτε άκυρη με την πρώτη να δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα όταν η αυτή είναι διαμετρική και $D > 42\text{mm}$.

Επειδή ο δείκτης σημειακής φόρτισης I_s μεταβάλλεται ανάλογα με την διάμετρο του δοκιμίου D_e , απαιτείται διόρθωσή του και υπολογισμός σε MPa του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ για τυποποιημένη διάμετρο δοκιμίου $D=50\text{mm}$ (Νιμέρτης και Κορδούλης, 2005). Αυτός υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_{s(50)} = F * I_s,$$

$$\text{όπου } F = \text{Συντελεστής διόρθωσης}, F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45}$$

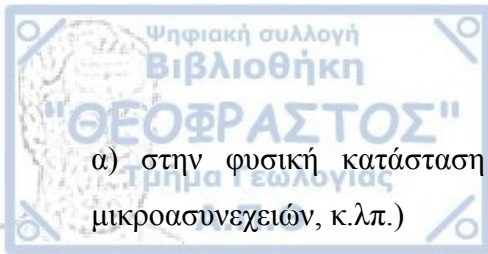
$$\text{άρα } I_{s(50)} = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} * I_s$$

Τα αποτελέσματα της δοκιμής χρησιμοποιούνται για την **ταξινόμηση των πετρωμάτων ως προς την αντοχή τους** με βάση τον παρακάτω πίνακα.

Χαρακτηρισμός αντοχής	Δείκτης σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ (MPa)
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4-8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	Δεν συνιστάται δοκιμή

Πίνακας 4.2.3.2: Ταξινόμηση ακέραίου πετρώματος με βάση τον δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ (Beniawski, 1975).

Το εύρος τιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση ($I_{s(50)}$) από το αρχείο ΚΕΔΕ για τον ψαμμίτη του Ελληνικού χώρου είναι <1-5 MPa και για τον μαργόλιθο-ιλυόλιθο είναι <1-3 MPa. Σύμφωνα με τους Κούκη & Σαμπατακάκη (2002) το εύρος των τιμών αντοχής για το ίδιο πέτρωμα, οφείλεται:



α) στην φυσική κατάσταση των δειγμάτων (π.χ. βαθμός αποσάθρωσης, ύπαρξη μικροασυνεχειών, κ.λπ.)

β) στον βαθμό διαγένεσής τους

γ) στην μεταβαλλόμενη ορυκτολογική τους σύσταση (π.χ. ανάλογα το συγκολλητικό υλικό του ψαμμίτη: ασβεστιτικό, μαργαϊκό, αργιλικό, κ.λπ.)

δ) στην πιθανή ύπαρξη ανισοτροπίας αντοχής

Εκτός του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$, πληροφορίες για την αντοχή δίνει και η παράμετρος αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}), που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει διάφορες εξισώσεις συσχέτισης της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με τον $I_{s(50)}$ και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο μετασχηματισμός αυτός εξαρτάται από το είδος του εκάστοτε πετρώματος. Συμπεραίνεται πάντως από την μελέτη των εξισώσεων ότι πάντοτε ο $I_{s(50)}$ είναι μικρότερος του σ_{ci} δηλαδή,

$$\sigma_{ci} = k * I_{s(50)}$$

,όπου στη συσκευή σημειακής φόρτισης χρησιμοποιείται συμβατικώς $k=23-25$, αν και αυτός παρουσιάζει διακυμάνσεις.

Για πτωχής ποιότητας πετρώματα με $I_{s(50)} < 2\text{MPa}$, όπου $I_{s(50)}$ κατά ISRM(1985), είναι $k=13$ (Μαρίνος Β., 2007)

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τις γνωστές μέσες τιμές σ_{ci} για τα βασικά γεωυλικά του σχηματισμού του φλύσχη, κατά Β. Μαρίνο (2007), όπως παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα και επίσης την σχέση των παραμέτρων $I_{s(50)}$ και σ_{ci} που προαναφέρθηκε, δύναται να εξαχθούν τα πρώτα αδρά συμπεράσματα για την διακύμανση των αντίστοιχων μέσων τιμών του δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$.

Γεωυλικό	Μέση Τιμή Μονοαξονικής Θλιπτικής αντοχής UCS- σ_{ci} (MPa)
Ψαμμίτης	44
Ιλυόλιθος	17
Κροκαλοπαγές	15

Πίνακας 4.2.3.3: Μέσες Τιμές Μονοαξονικής Θλιπτικής αντοχής UCS- σ_{ci} (MPa)

Στο ακόλουθο κεφάλαιο βέβαια, θα εξαχθούν, έπειτα από επεξεργασία των δεδομένων, οι ακριβείς μέσες τιμές του δείκτη.

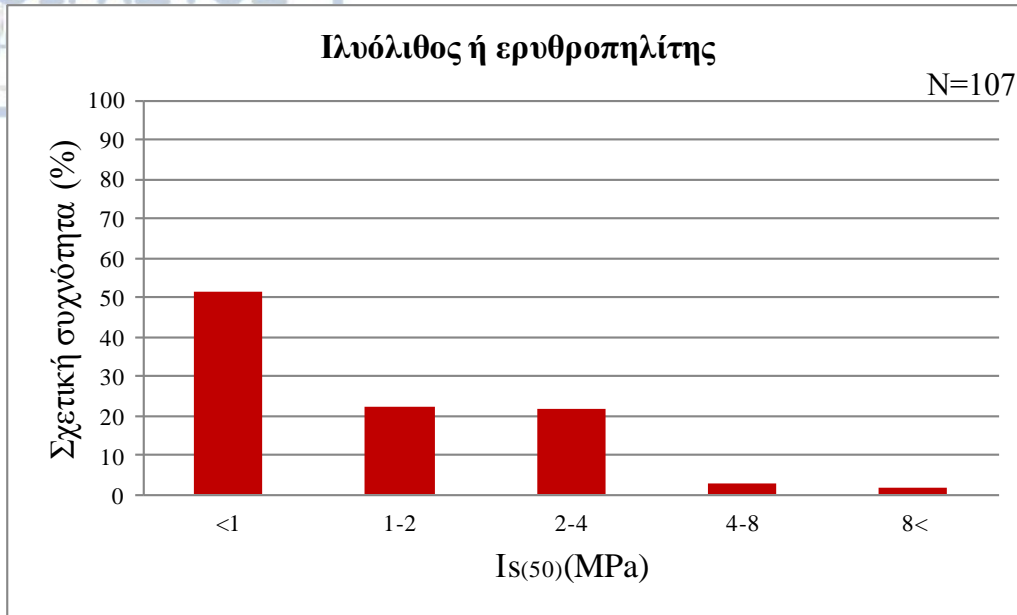
4.2.3.1. Στατιστική επεξεργασία του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ και η σχέση του με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθούν ξεχωριστά ως προς την αντοχή τους τα παρακάτω γεωυλικά του φλύσχη:

- 1) Ιλυόλιθος ή Ερυθροπηλίτης
- 2) Ψαμμίτης
- 3) Κροκαλοπαγές

Αυτό συμβαίνει γιατί η δοκιμή εκτελέστηκε σε ένα μόνο από τα γεωυλικά (ιλυόλιθος, ψαμμίτης, κροκαλοπαγές) που απλά περιλαμβάνονται μέσα σε κάποιον λιθότυπο και όχι σε περισσότερα γεωυλικά, λόγω της μικρής διάστασης του δείγματος στο οποίο εκτελούνται οι δοκιμές.

Οι **ιλυόλιθοι** χαρακτηρίζονται σε γενικές γραμμές από μέτρια προς χαμηλή αντοχή, η οποία μεταπίπτει σε πολύ χαμηλή με την τη διατάραξή του, ενώ δύναται να απομειωθεί περαιτέρω από την παρουσία ανισοτροπίας, λόγω της φύλλωσης και της σχιστότητας . Από το ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας-τιμής $I_{s(50)}$ που κατασκευάστηκε για τον ιλυόλιθο, φανερώνεται η κυριαρχία των πολύ χαμηλών τιμών αντοχής, όπως και είναι αναμενόμενο για έναν φλυσχικό ιλυόλιθο.



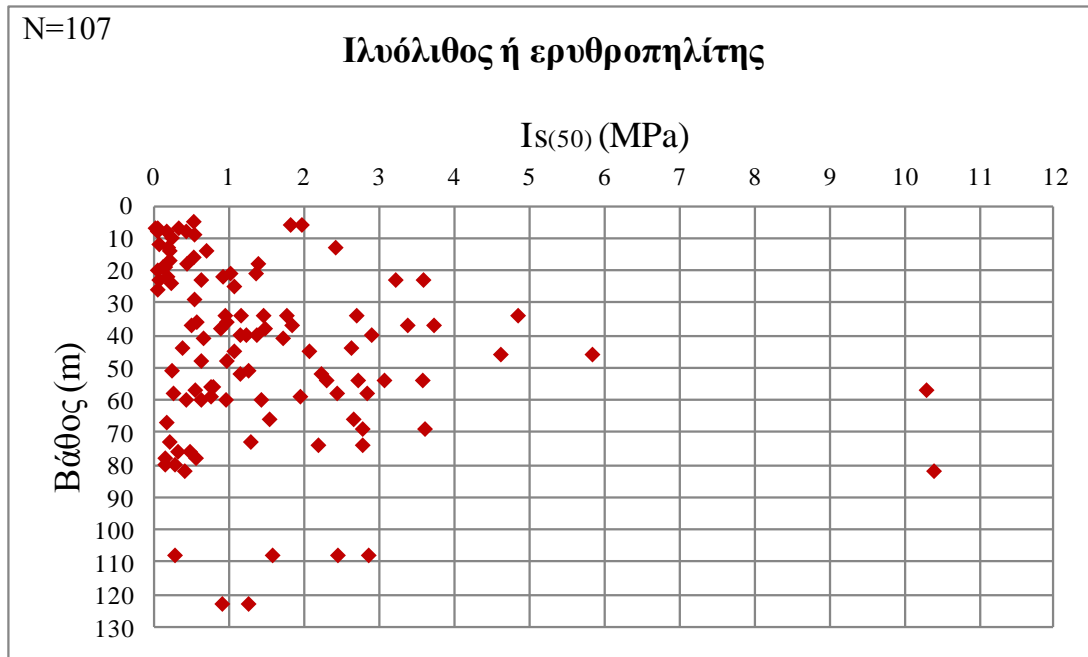
Μόλις 2 τιμές από το σύνολο που αξιολογήθηκαν (N=107) ανήκει στην κατηγορία της πολύ υψηλής αντοχής που όμως απαντώνται σε σχετικά μεγάλα βάθη, το οποίο ίσως να δικαιολογεί την παρουσία τους και, εκεί ο ιλυόλιθος να είναι αδιατάρακτος (βλέπε διάγραμμα διασποράς για τον ιλυόλιθο).

Το 2,8% του ιλυολίθου αποδείχτηκε ότι είναι υψηλής αντοχής με τις τιμές αυτές επίσης να απαντώνται σε μεγάλα βάθη, όπου ο ιλυόλιθος είναι πιθανόν συμπαγούς και μαζώδους δομής, με ελαφρύ έως μέτριο κερματισμό και με προσανατολισμό της φύλλωσης και της σχιστότητας τέτοιο, ώστε να μην ευνοείται η μεγάλη διατάραξη των δειγμάτων κατά την δειγματοληψία. Όσο βαθύτερα απαντάται το «δείγμα» τόσο μεγαλύτερη δύναμη έχει ασκηθεί σε αυτό από τα υπερκείμενά του και τόσο πιο μεγάλη αντοχή έχει αποκτήσει.

Το διάγραμμα διασποράς βάθους-αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τον ιλυόλιθο, φανερώνει γραφικά ότι οι εξεταζόμενες παράμετροι δεν παρουσιάζουν σαφή συσχέτιση μεταξύ τους ακόμη και με την απαλοιφή των ακραίων τιμών. Παρόλα αυτά, η γραμμική γραμμή τάσης έδειξε μία ελαφριά αύξηση του $I_{s(50)}$ με την αύξηση του βάθους. Οι περισσότερες δοκιμές εκτελέστηκαν μέχρι το βάθος των 80m περίπου, από τις οποίες προέκυψαν τιμές κυρίως μέχρι τα 4MPa, δηλαδή έως μέσης αντοχής.

Σε μικρά βάθη, όπως και είναι λογικό, ο ιλυόλιθος παρουσιάζει χαμηλές και πολύ χαμηλές τιμές αντοχής (έως 2MPa), κάτι το οποίο οφείλεται στην γνωστή σχιστοποίηση-σχάση-απόσχιση σε φυλλάρια όταν αυτός εκτεθεί σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, αποσυμπιεστεί, επιδράσει στην μάζα του το νερό, χαλαρώσει και αποσαθρωθεί.

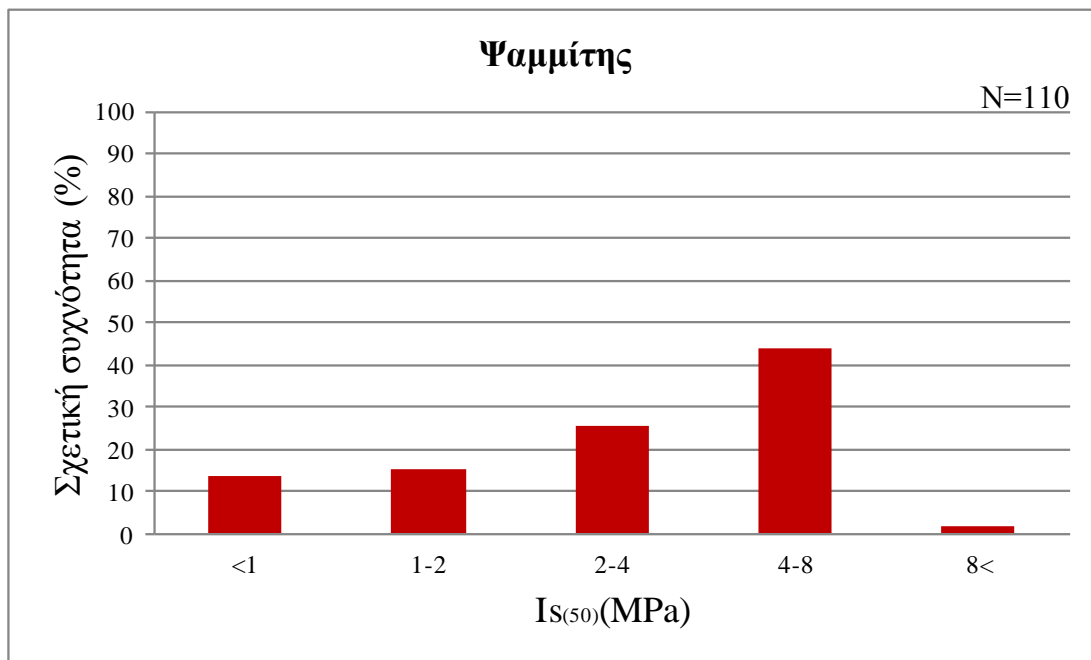
Στο μεγάλο βάθος των 108m η πολύ μικρή τιμή αντοχής ίση με 0,29MPa οφείλεται πιθανόν σε ζώνη διάτμησης μέσα στην ιλυολιθική μάζα, με υπολειμματικό της αποσάθρωσης αργιλικό υλικό ή σε βαθμονόμηση τεκτονικώς ισχυρά διατμημένου ιλυολιθικού μέλους, ενδεχομένως χαοτικής δομής, με θύλακες αργίλου, στοιχεία που απομειώνουν σημαντικά την αντοχή.



Παραθέτονται ορισμένες χαρακτηριστικές τιμές με τα αντίστοιχα βάθη τους: μέγιστη τιμή (MAX)=10,4 MPa σε βάθος 82m, ελάχιστη τιμή (MIN)=0,03 MPa σε βάθος 7m, μέση τιμή (MEAN)=1 MPa. Η τελευταία τιμή, πιστοποιεί το γεγονός ότι ο ιλυόλιθος χαρακτηρίζεται από χαμηλή κυρίως αντοχή και προέκυψε μετά από απαλοιφή των ακραίων τιμών.

Το ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας- $I_{s(50)}$ του **ψαμμίτη** είναι σχεδόν αντίστροφο του ιλουλίθου. Αυτό είναι απόλυτα λογικό, αφού ο ψαμμίτης παρουσιάζει κατά βάση υψηλή αντοχή. Παρόλαυτα, δύναται να εμφανίζει τιμές σε διάφορα εύρη αντοχής λόγω του ορυκτολογικά διαφορετικού συγκολλητικού του υλικού αλλά και της διαφορικής αποσάθρωσης, καθώς και μικρών, μη εντοπίσιμων μακροσκοπικά ασυνεχειών που παρευρίσκονται μέσα στον άρρηκτο βράχο και του απομειώνουν την τελική του αντοχή.

Τα παραπάνω στοιχεία δικαιολογούν τις χαμηλές τιμές αντοχής σε σημειακή φόρτιση. Όπως γίνεται αντιληπτό, κυριαρχούν οι τιμές στο φάσμα της «υψηλής» αντοχής με ποσοστό 43,64%, καθώς ακολουθούν μειούμενες και στα υπόλοιπα εύρη χαμηλότερης αντοχής.



Από το παρακάτω διάγραμμα συμπεραίνεται ότι οι πολύ χαμηλές τιμές του δείκτη σημειακής φόρτισης στον ψαμμίτη, αντιστοιχούν σε βάθη μεγάλα (π.χ. 0,65MPa στα 118m) αλλά και μικρά. Στην πρώτη περίπτωση, αυτό οφείλεται, όπως προαναφέρθηκε, στο γεγονός της διαφορικής ορυκτολογικής σύστασης του συγκολλητικού του υλικού του ψαμμίτη που προσδίδει μικρότερη ή μεγαλύτερη αντοχή, στην παρουσία ανισοτροπίας (π.χ. στρώση) ή και σε ζώνη ρηγμάτωσης, ενώ στην δεύτερη περίπτωση στους παράγοντες που επηρεάζουν την φυσική κατάσταση των

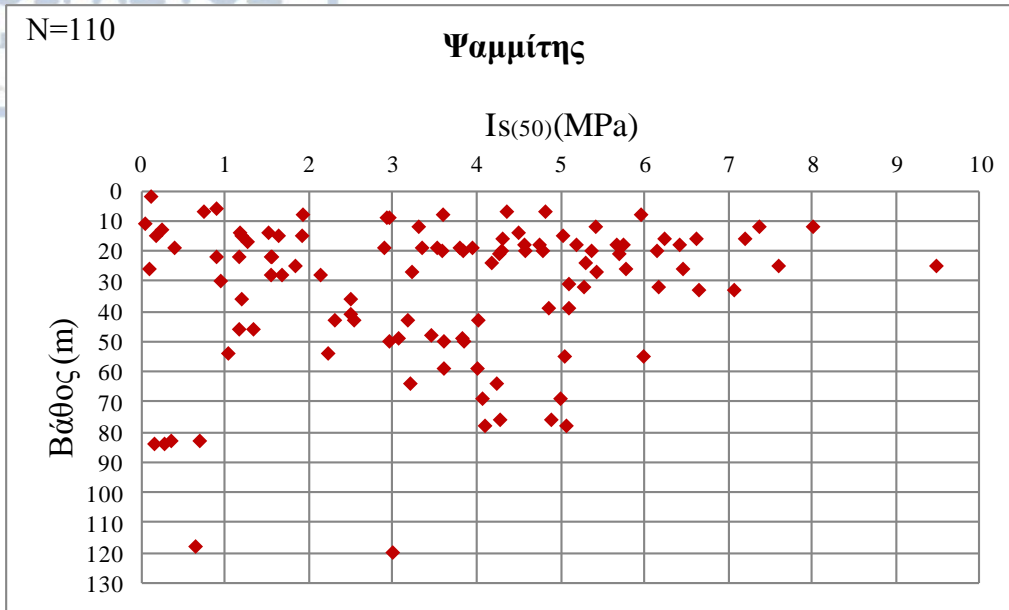


δειγμάτων (π.χ. η αποσάθρωση, οι μικροασυνέχειες που τέμνουν την ψαμμιτική μάζα, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες).

Οι πολύ υψηλές τιμές του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης δεν απαντώνται οπωσδήποτε σε πολύ μεγάλα βάθη. Για παράδειγμα, η τιμή των 5,96MPa στο μικρό βάθος των 8m υποδεικνύει την παρουσία ενός ψαμμίτη μεγάλης αντοχής, πιθανόν με ισχυρό συγκολλητικό υλικό και ελάχιστο κερματισμό (περισσότερο συμπαγή και μαζώδη) που δεν επηρεάστηκε έντονα από τις επιφανειακές συνθήκες.

Η πλειονότητα των δοκιμών εκτελέστηκε σε βάθος έως 60m και οι τιμές που προέκυψαν παρουσιάζονται κατανεμημένες σχεδόν ομοιόμορφα στα διάφορα φάσματα αντοχής (με εξαίρεση την περίπτωση μικρής συμμετοχής της «πολύ υψηλής» αντοχής). Γραφικά, αν αφαιρεθούν οι ακραίες τιμές γίνεται εμφανής μία ελαφριά (ανάλογη) συσχέτιση των παραμέτρων βάθους και αντοχής, δηλαδή με την αύξηση του βάθους, η αντοχή του ψαμμίτη σε ανεμπόδιση θλίψη είναι σε ορισμένες περιπτώσεις μεγαλύτερη.

Παραθέτονται ορισμένες χαρακτηριστικές τιμές με τα αντίστοιχα βάθη τους: μέγιστη τιμή (MAX)=9,48 MPa σε βάθος 25m, ελάχιστη τιμή(MIN)=0,05 MPa σε βάθος 11m, μέση τιμή (MEAN)= 4MPa. Η τελευταία τιμή, πιστοποιεί το γεγονός ότι ο ψαμμίτης χαρακτηρίζεται από μέτρια κυρίως αντοχή και για τον υπολογισμό της δεν συνυπολογίστηκαν οι ακραίες τιμές.



Παρά το μικρό πλήθος δεδομένων (που οδηγεί πιθανώς σε λιγότερο βέβαια συμπεράσματα), για το **κροκαλοπαγές** του φλύσχη κατασκευάστηκε επίσης ιστόγραμμα «σχετικής συχνότητας- τιμές ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης» από το οποίο λαμβάνονται επιφυλακτικά τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Το μεγαλύτερο πλήθος τιμών, ποσοστού 82,61% συγκεντρώνεται στη κατηγορία τιμών υπό της μονάδας που υποδηλώνει πολύ χαμηλή αντοχή για το υπό εξέταση γεωυλικό. Βασικό ρόλο στην δημιουργία αυτής της κατάστασης διαδραμάτισε ενδεχομένως, η ορυκτολογική σύσταση του συνδετικού υλικού του κροκαλοπαγούς (ίλυοαργιλώδες, ίλυοψαμμιτικό, ψαμμιτοανθρακικό) καθώς είναι γνωστό ότι παρουσιάζει μηχανικές ιδιότητες ανάλογες του συγκολλητικού του υλικού. Ισχυρή συγκόλληση λαμβάνει χώρα στην περίπτωση παρουσίας ασβεστιτικού υλικού, έναντι αργιλικού και ίλυοαμμώδους. Βέβαια, για μεγαλύτερη ακρίβεια θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η παράμετρος του βάθους.

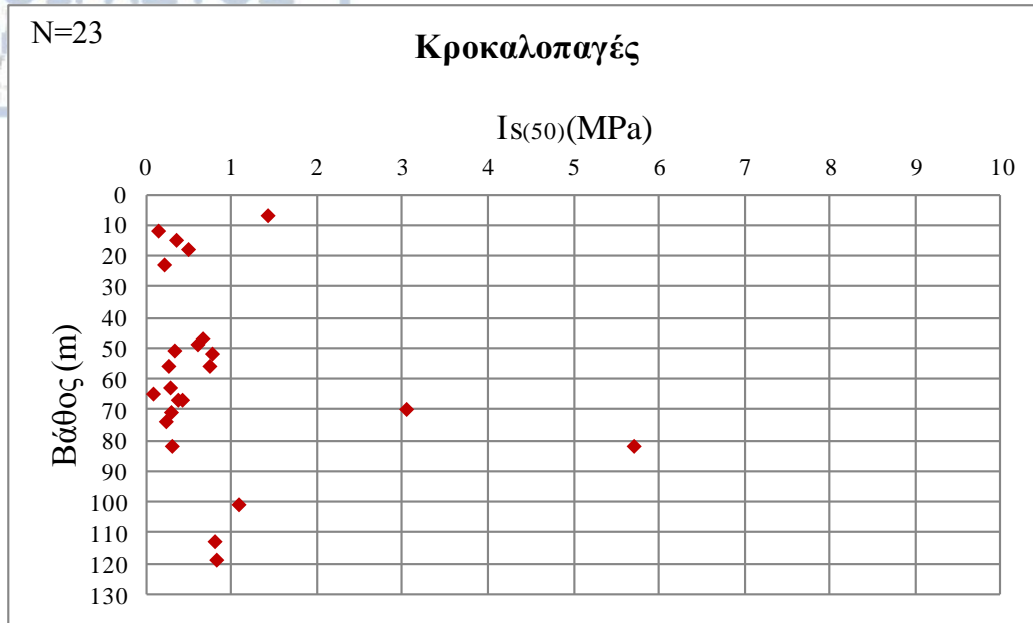
Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η αναλογία «συνδετικού υλικού-κροκαλών» που διαθέτει το δείγμα της δοκιμής. Όσο περισσότερο όγκο στο δοκίμιο καταλαμβάνει το συνδετικό υλικό (π.χ. αργιλικό) έναντι των κροκαλών, τόσο πιο χαμηλή τιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση θα προκύψει.



Τα κροκαλοπαγή, θεωρητικά παρουσιάζουν στα πρώτα 4-5 μέτρα βάθους χαλαρή και ασθενή συγκόλληση, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη με τη παρουσία ανοικτών τεκτονικών ασυνεχειών, η αποσάθρωση δύναται να φτάσει και βαθύτερα. Στο ακόλουθο διάγραμμα διασποράς του δείκτη σημειακής φόρτισης με το βάθος, παρατηρείται ότι οι χαμηλές τιμές αντοχής απαντώνται σε όλα τα βάθη.

Γραφικά, γίνεται αντιληπτό ότι δεν υπάρχει σαφής συσχέτιση των παραμέτρων, ενώ η γραμμική γραμμή τάσης με τη θετική της κλίση, φανερώνει μία ελαφριά ώθηση προς αύξηση του $I_{s(50)}$ με την αύξηση του βάθους, όπως και είναι αναμενόμενο, αφού το κροκαλοπαγές αποκτά πιο κλειστή δομή.

Παραθέτονται ορισμένες χαρακτηριστικές τιμές με τα αντίστοιχα βάθη τους: μέγιστη τιμή (MAX)=5,71 MPa σε βάθος 82m, ελάχιστη τιμή(MIN)=0,09 MPa σε βάθος 65m, μέση τιμή (MEAN)=0,632 MPa. Η τελευταία τιμή υποδεικνύει ότι ο εξεταζόμενος σχηματισμός χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή αντοχή κυρίως αντοχή και για την εξαγωγή της δεν συνυπολογίστηκαν οι ακραίες τιμές.



Συμπερασματικά για τον φλύσχη, προκύπτει ότι απαντώνται αντοχές τόσο χαμηλές όσο και υψηλές, ανάλογα με τον εξεταζόμενο κάθε φορά γεωυλικό. Ο ψαμμίτης εμφανίζει την μεγαλύτερη μέση αντοχή σε σημειακή φόρτιση και ο ιλύολιθος την μικρότερη. Ωστόσο, δεν αποκλείεται να απαντηθεί πολύ υψηλή αντοχή σε μαζώδη ιλύολιθο αλλά και εξαιρετικά χαμηλή αντοχή σε ψαμμιτικό πάγκο, γεγονότα που ενισχύουν την αβεβαιότητα για την κατασκευή τεχνικού έργου σε φλυσχικό περιβάλλον.

Ακολουθεί πίνακας με την τυπική απόκλιση των τιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση (από την μέση τιμή) για τα τρία βασικά γεωυλικά

Φλυσχικός σχηματισμός	Τυπική απόκλιση-Standard Deviation (STDEV)
Ιλύολιθος	2
Ψαμμίτης	2,02
Κροκαλοπαγές	1,7

Πίνακας 4.3.2.1.2: Τυπική απόκλιση των τιμών $I_{s(50)}$ των τριών βασικών γεωυλικών του φλύσχη.

Συμπεραίνεται λοιπόν από τον παραπάνω, ότι η τυπική απόκλιση των τιμών της αντοχής σε σημειακή φόρτιση κυμαίνεται από 1,7 έως 2,02.

Η συγκεκριμένη απόκλιση είναι μικρή για τα γεωυλικά μεγάλης γενικά αντοχής, δηλαδή η αβεβαιότητα που διακρίνει την συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική παράμετρο

στα γεωυλικά «μέσης» έως «πολύ υψηλής αντοχής», είναι μικρή. Αυτό συμβαίνει διότι η συνήθης μεταβολή κατά μία με δύο μονάδες της αντοχής σε σημειακή φόρτιση, δεν αλλάζει σε μεγάλο βαθμό την κατηγορία του πετρώματος κατά Beniaowski, 1975.

Αντίθετα, στα γεωυλικά μικρής γενικά αντοχής η αβεβαιότητα ενισχύεται, καθώς το «ευαίσθητο»- μικρό σε όρια φάσμα τους, επηρεάζεται εύκολα από μία μικρή μεταβολή της τιμής της αντοχής και αλλάζει κατηγορία.

4.2.4. Σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating).

Προτάθηκε από τον Bieniawski το 1973 και πήρε την τελική του μορφή το 1989 από τον ίδιο. Στόχος αυτού του συστήματος ταξινόμησης είναι ο προσδιορισμός της βραχώμαζας από «πολύ καλή» έως «πολύ πτωχή», συνυπολογίζοντας ένα πλήθος παραμέτρων και όχι μία μόνο παράμετρο, κάτι το οποίο προσδίδει μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία. Είναι ημι-εμπειρική μέθοδος.

Είχε αρχική εφαρμογή στην Νότια Αφρική, συσχετίζει έξι παραμέτρους που μπορούν εύκολα να μετρηθούν στο ύπαιθρο και από τις οποίες είναι δυνατή η ποσοτική περιγραφή και η ταξινόμηση της βραχώμαζας:

Παράμετρος	Ορισμός
R1	Αντοχή του άρρηκτου βράχου (σ_{ci} ή $I_{s(50)}$)
R2	Δείκτης Ποιότητας Πετρώματος RQD
R3	Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών
R4	Κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών
R5	Παρουσία του υπόγειου νερού
R6	Προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με την φορά διάνοιξης της σήραγγας

Όπως αναφέρεται από τον Palmström (2009), κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους βαθμολογείται ξεχωριστά και εκφράζει την επιρροή της στην ευστάθεια της σήραγγας. Το άθροισμα των επιμέρους τιμών των βαθμολογιών, αποτελεί την τελική τιμή RMR η οποία κυμαίνεται από 0 έως 100:

$$RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

Τιμές του δείκτη RMR	Περιγραφή βραχώμαζας	Κατηγορία βραχώμαζας
81-100	Πολύ καλή	I
61-80	Καλή	II
41-60	Μέτρια	III
21-40	Φτωχή	IV
0-20	Πολύ φτωχή	V

Η βαθμολόγηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες.

Αντοχή «συμπαγούς» πετρώματος σε μοναξονική θλίψη (σ _{ci})	
Αντοχή σ _{ci} (MPa)	Δείκτης R1
>250	15
100-250	12-15
50-100	7-12
25-50	4-7
5-25	2-4
1-5	1-2
<1	0

Δείκτης κερματισμού της βραχώμαζας (RQD)	
RQD (%)	Δείκτης R2
>90	20
75-90	17-20
50-75	13-17
25-50	8-13
<25	3

Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών*	
Απόσταση (m)	Δείκτης R3
>2	20
0,6-2	15-20
0,2-0,6	10-15
0,06-0,2	8-10
<0,06	5

*Έχει οριστεί για 3 οικογένειες ασυνεχειών. Σε περίπτωση διαφορετικού αριθμού ασυνεχειών, γίνεται αναπροσαρμογή της αντίστοιχης βαθμολογίας είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω.

Κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών	
Κατάσταση επιφανειών των ασυνεχειών	Δείκτης R4
Πολύ τραχείες χωρίς εξαλλοίωση	30
Ελαφρώς τραχείες, ελαφρά εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης <1mm	25
Ελαφρώς τραχείες, πολύ εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης <1mm	20
Λείες ή γυαλιστερές (slickensided), υλικό πλήρωσης 1-5mm	10
Υλικό πλήρωσης πάχους άνω των 5mm	0

Οι ασυνέχειες διαδραματίζουν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο, αφού αποτελούν πιθανά και επικίνδυνα επίπεδα αστοχίας, το οποίο γίνεται εμφανές από το μεγάλο ποσοστό συμμετοχής της παραμέτρου R4 στην τελική τιμή του δείκτη RMR.

Παρουσία υπόγειου νερού	
Παρουσία υπόγειου νερού	Δείκτης R5
Καθόλου νερό	15
Παρουσία υγρασίας	10
Υγρές επιφάνειες	7
Στάγδην	4
Με ροή	0

Ο προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με την φορά διάνοιξης του έργου αποτελεί την παράμετρο R6. Βέβαια, αυτή συνυπολογίζεται μαζί με τις υπόλοιπες 5 παραμέτρους, μόνο στην περίπτωση εξαγωγής συμπερασμάτων για τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης, το βήμα προχώρησης και τον τρόπο εκσκαφής. Αντίθετα, η παράμετρος R6 αμελείται όταν ο δείκτης RMR χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχώμαζας.

Πίνακας σημασίας του προσανατολισμού των ασυνεχειών σε σήραγγα (Wickham et al)					
Διεύθυνση κάθετη στον άξονα της σήραγγας					
Προχώρηση σύμφωνα με την κλίση		Προχώρηση αντίθετα με την κλίση		Διεύθυνση παράλληλη στον άξονα της σήραγγας	
Κλίση 45-90°	Κλίση 20-45°	Κλίση 45-90°	Κλίση 20-45°	Κλίση 45-90°	Κλίση 20-45°
Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής	Μέτρια
Κλίση 0-20°	Δυσμενής ανεξάρτητα από την διεύθυνση				

Προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με την φορά διάνοιξης του έργου.	
Προσανατολισμός ασυνεχειών	Δείκτης R6
Πολύ ευμενής	0
Ευμενής	-2
Αδιάφορος	-5
Δυσμενής	-10
Πολύ δυσμενής	-15

Το σύστημα αυτό, είναι αποτελεσματικό στην εκτίμηση της ποιότητας της βραχώμαζας (μηχανική της συμπεριφορά) που περιβάλλει μία σήραγγα καθώς και στην επιλογή προτάσεων για μεθόδους εκσκαφής και συστήματα υποστήριξης που γίνεται με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων (μεταφρασμένο από Jianqin Chen, Xiaojun Li, Hehua Zhu, Yoram Rubin, 2017, p.1; Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007, p.38). Ανάλογα λοιπόν με την τιμή του RMR, προτείνονται μέτρα υποστήριξης σε σήραγγες όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία βραχομάζας	Εκσκαφή	ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ		
		ΗΛΩΣΕΙΣ – ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ (ολικής πάκτωσης, διαμέτρου 20 mm)	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Χαλύβδινα πλαίσια
I RMR: 81 – 100	Ολομέτωπη, προχώρηση 3m	Γενικά δεν χρειάζεται υποστήριξη εκτός από περιστασιακές σημειακές αγκυρώσεις		
II RMR: 61 – 80	Ολομέτωπη, 1.0– 1.5 m προχώρηση. Πλήρης υποστήριξη 20 m πριν το μέτωπο	Τοπικές αγκυρώσεις στην οροφή μήκους 3m ανά 2.5 m με μεταλλικό πλέγμα τοπικά	50 mm στην οροφή όπου χρειάζεται	
III RMR: 41 – 60	Προχώρηση πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1.5– 3 m. Έναρξη υποστήριξης αμέσως μετά από κάθε ανατίναξη. Πλήρης υποστήριξη 10 m πριν το μέτωπο	Συστηματικές αγκυρώσεις με αγκύρια μήκους 4m ανά 1.5 – 2 m στην οροφή και στα τοιχώματα και με μεταλλικό πλέγμα στην οροφή	50 – 100mm στην οροφή και 30 mm στα τοιχώματα	
IV RMR: 21 – 40	Προχώρηση πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1.0 – 1.5 m. Εγκατάσταση υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή 10 m από το μέτωπο	Συστηματικές αγκυρώσεις μήκους 4 – 5 m ανά 1 – 1.5 m στην οροφή και στα τοιχώματα με μεταλλικό πλέγμα	100 - 150mm στην οροφή και 100 mm στα τοιχώματα	Ελαφρά πλαίσια ανά 1.5m όπου χρειάζεται
V RMR: <20	Πολλαπλά τμήματα προχώρησης. Προχώρηση στο ανώτερο τμήμα 0.5–1.5m εγκατάσταση υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή. Τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος αμέσως μετά την έκρηξη	Συστηματικές αγκυρώσεις μήκους 5 – 6 m ανά 1 – 1.5 m στην οροφή και τα τοιχώματα με μεταλλικό πλέγμα. Αγκύρωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου (invert)	150 – 200 mm στην οροφή 150 mm στα τοιχώματα και 50 mm στο μέτωπο	Μέσα ως βαριά πλαίσια ανά 0.75m, με σύνδεση μεταξύ τους και δοκοί προπορείας (αν χρειάζονται). Κλείσιμο invert.

Εικόνα 4.2.4.1: Προτεινόμενος τρόπος εκσκαφής και μόνιμης υποστήριξης σηράγγων (Bieniawski, 1989). Αναφέρεται για σήραγγα διαμέτρου 10m, με κατακόρυφες τάσεις <25MPa, πεταλοειδούς διατομής που διανοίγεται με χρήση συμβατικού τρόπου εκσκαφής, δηλαδή με σημειακή διάτρηση και χρήση εκρηκτικών (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2004, p.43)

Παραθέτονται στη συνέχεια ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του εξεταζόμενου συστήματος.

<u>Πλεονεκτήματα του συστήματος RMR</u>	<u>Μειονεκτήματα του συστήματος RMR</u>
Εύκολο και απλό στην χρήση του με επιτυχή αποτελέσματα τα τελευταία τριάντα χρόνια.	Δεν παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα για βραχώμαζες μαλακές και πτωχής ποιότητας, διότι διαθέτει μικρό εύρος τιμών ανά κατηγορία

<p>Λαμβάνει χώρα ποσοτική περιγραφή των διάφορων κριτηρίων ταξινόμησης της βραχώμαζας, σε αντίθεση με άλλα συστήματα ταξινόμησης (π.χ. RQD) που βασίζονται σε ποιοτικές εκτιμήσεις των χαρακτηριστικών της βραχώμαζας, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη σημαντικές παραμέτρους, όπως τον προσανατολισμό των ασυνεχειών, την ποιότητά τους κ.τ.λ. (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007, p.25,26).</p>	<p>(Tallon, 1982, Douglas and Arthur, 1983, Dearman, 1983, κ.α.). Άρα στις βραχώμαζες χαμηλής βαθμολογίας μεταβάλλεται η τιμή του RMR κατά πολύ, στην περίπτωση μικρής μεταβολής κάποιας παραμέτρου. Αντίθετα, στις μέσης και υψηλής βαθμολογίας, το σύστημα δεν είναι πολύ «ευαίσθητο».</p>
<p>Δυνατότητα εφαρμογής σε όλα τα τεχνικά έργα (πρανή, θεμελιώσεις, μεταλλεία, σήραγγες).</p>	<p>Δεν εφαρμόζεται σε ειδικές περιπτώσεις π.χ. σε ζώνες διαταραγμένες από ρήγματα, έντονα πτυχωμένες ή διατμημένες βραχώμαζες, κ.λπ.</p>
<p>Εκτιμά τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχώμαζας.</p>	<p>Δεν συμπεριλαμβάνει την κατάσταση των επιτόπου τάσεων (π.χ. μικρό ή μεγάλο βάθος κατασκευής του τεχνικού έργου) και πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις στην εκτίμηση της αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχώμαζας που αναφέρονται στον τίτλο της εικόνας 4.</p> <p>Δημιουργήθηκε από εμπειρία σε υπόγειες εκσκαφές σε εκρηξιγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα και όχι σε ιζηματογενή, με τα τοιχώματα των ασυνεχειών να μην είχαν υλικό πλήρωσης και αποσάθρωση.</p> <p>Στην κατηγορία V έχουν ταξινομηθεί μόνο λίγα περιστατικά αποκλειστικά σε λατυποπαγές και γρανίτες, κάτι το οποίο δεν είναι αντιπροσωπευτικό για τα χαμηλής ποιότητας πετρώματα (Μαρίνος Π., 1993) Συνεπώς, εφαρμόζεται κυρίως στα ψαθυρές θραύσης πετρώματα παρά σε αυτά με «πλαστιμότητα».</p>

Σύμφωνα με τον Π. Μαρίνο (1997) το σύστημα ταξινόμησης RMR, έχει καλή εφαρμογή σε προβλέψεις υποστήριξης υπόγειων έργων για τις κατηγορίες I (πολύ καλή) μέχρι και III (μέτρια), αλλά για τις κατηγορίες IV (πτωχή) και V (πολύ πτωχή) έχει περιορισμένη και όχι ακριβή εφαρμογή.

Πίνακας 4.2.4.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος RMR.

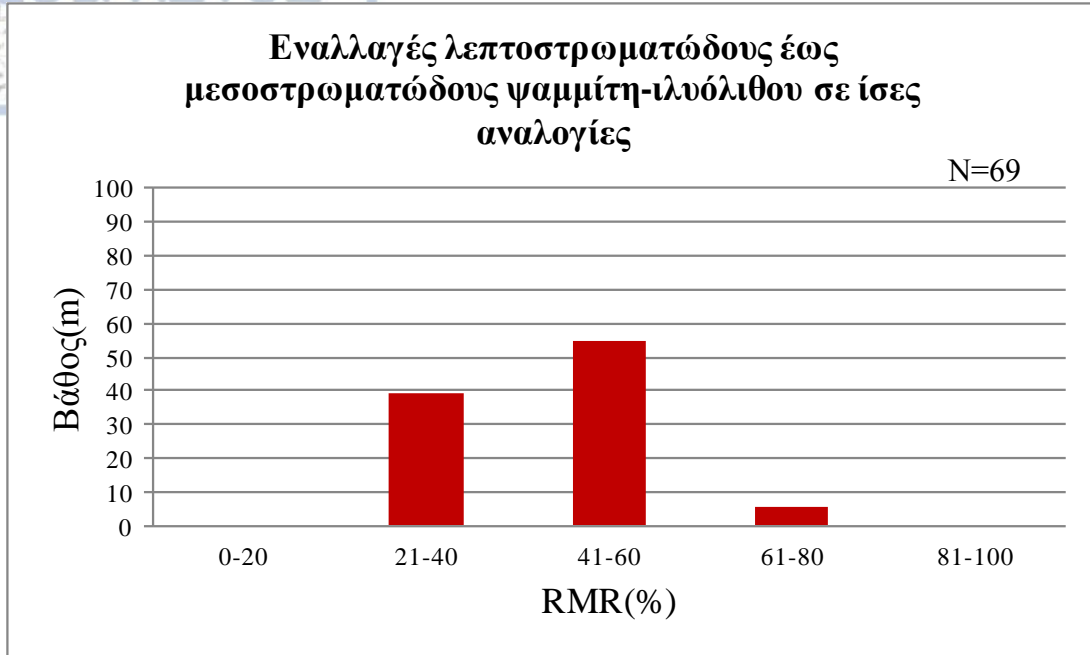
4.2.4.1. Στατιστική επεξεργασία του RMR και η σχέση του με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων

Όπως πραγματοποιήθηκε για τις υπόλοιπες παραμέτρους, έτσι και για τον δείκτη RMR, για τους διάφορους σχηματισμούς του φλύσχη, κατασκευάστηκαν ιστογράμματα «σχετικής συχνότητας(%)–τιμής RMR(%)» και διαγράμματα διασποράς που συσχετίζουν τις τιμές RMR με το βάθος.

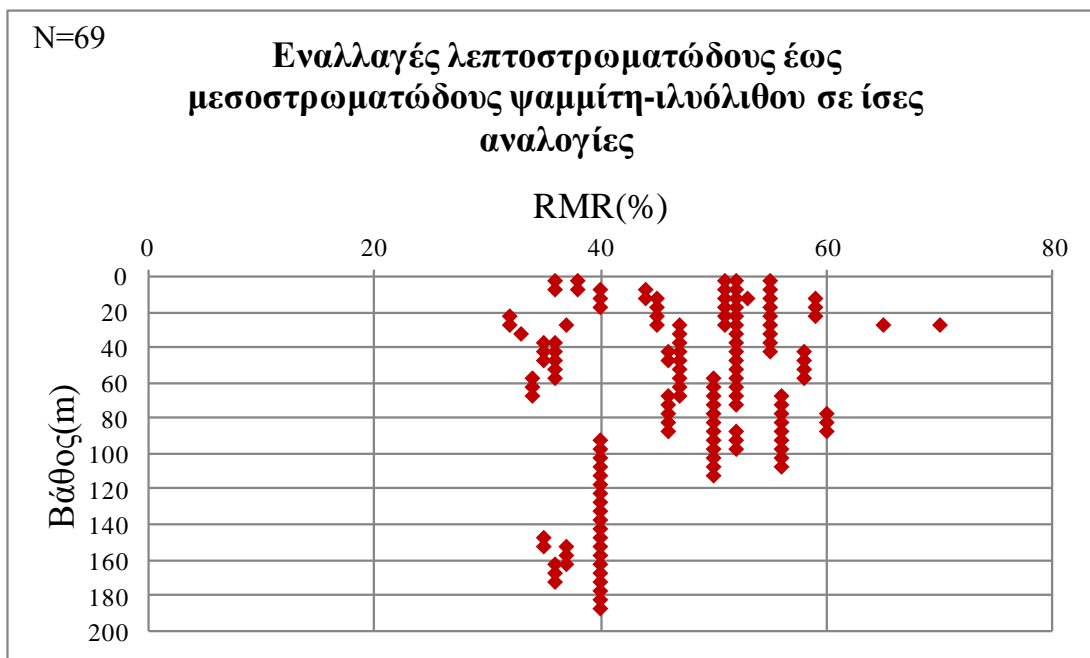
Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δεδομένα της παρούσας εργασίας, αφορούν την ταξινόμηση με βάση το σύστημα RMR για την περίπτωση κατασκευής σηράγγων σε περιβάλλον φλύσχη, τότε εκτιμάται η μηχανική συμπεριφορά της βραχώμαζας που περιβάλλει τις υπό εξέταση σήραγγες καθώς επίσης έχει συμπεριληφθεί, βάση της λογικής και η παράμετρος R6.

Ακριβής αιτιολόγηση των «ακραίων» τιμών των διαγραμμάτων με βάση την γεωλογική λογική, δεν μπορεί να γίνει, λόγω της πληθώρας φυσικών παραμέτρων που συνιστούν την τιμή του RMR, οπότε δεν είναι γνωστό ποια παράμετρος απομειώθηκε κάθε φορά και ποια όχι.

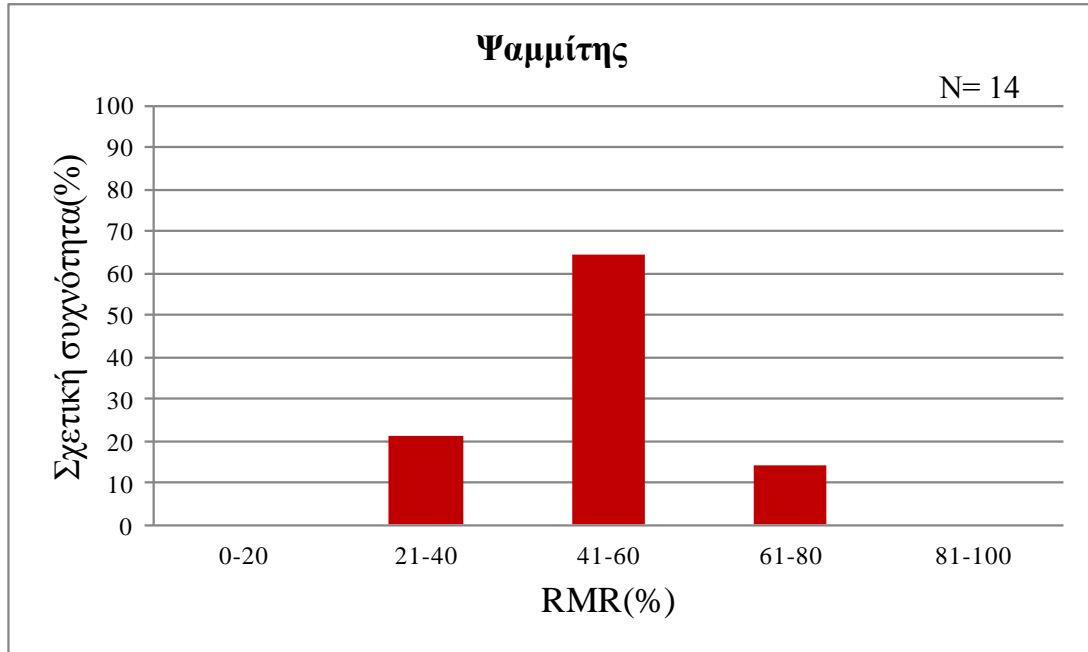
Για τον σχηματισμό που αποτελείται από **ίσες εναλλαγές ψαμμίτη και ιλύόλιθου** κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα σχετικής συχνότητας-RMR. Προκύπτει ότι κυριαρχεί με ποσοστό 55,08% το εύρος 41-60, δηλαδή μέτριας κατηγορίας βραχώμαζα, ενώ ακολουθεί το εύρος 21-40 με ποσοστό 39,13%, δηλαδή πτωχής κατηγορίας βραχώμαζα.



Για το ακόλουθο διάγραμμα RMR-βάθους, δεν γίνεται αντιληπτή γραφικά κάποια σαφής συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων. Η γραμμική γραμμή τάσης με αρνητική κλίση, φανερώνει ακόμη και μείωση της τιμής RMR με το βάθος. Η «μέτριας» κατηγορίας βραχώμαζα απαντάται σε βάθη από 0 έως ~120m, η «πτωχή» βραχώμαζα σε βάθη μικρά αλλά και μεγάλα, ενώ η «καλή» στο βάθος των 30m περίπου.



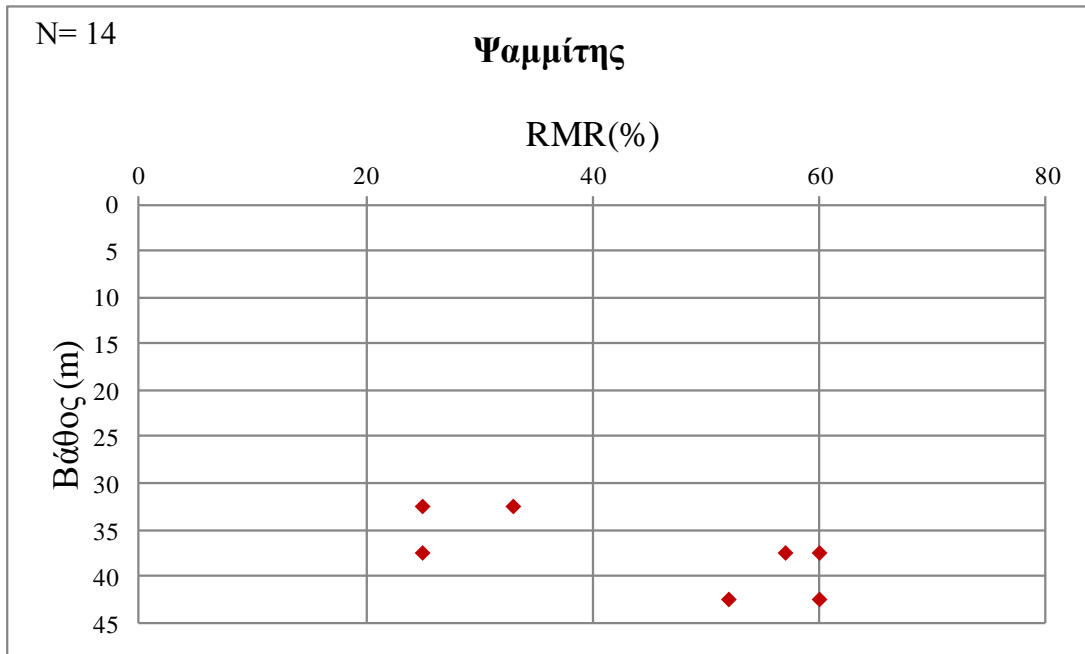
Για τον σχηματισμό που αποτελείται από **ψαμμίτη** κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα σχετικής συχνότητας-RMR, παρά το μικρό πλήθος δεδομένων που ίσως οδηγήσει σε αναξιόπιστα συμπεράσματα (συνεπώς λαμβάνονται επιφυλάξεις). Προκύπτει ότι κυριαρχεί με ποσοστό 64,28% το εύρος 41-60, δηλαδή «μέτριας» κατηγορίας βραχώμαζα, ενώ ακολουθεί το εύρος 21-40 με ποσοστό 21,43%, δηλαδή «πτωχής» κατηγορίας βραχώμαζα με την βαθμονόμηση κατά RMR.



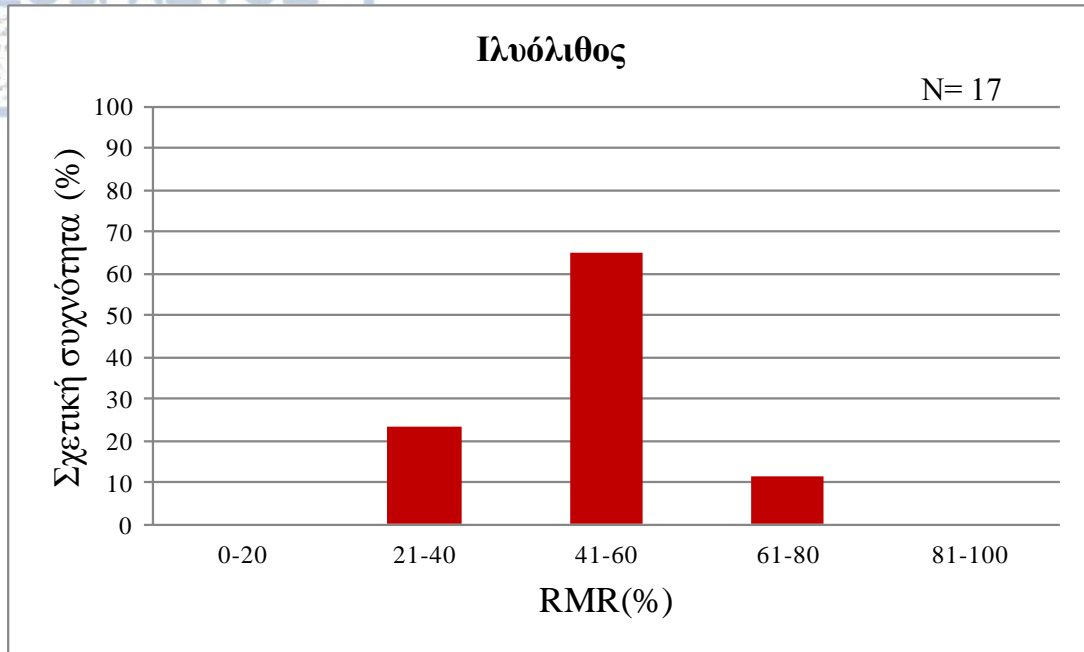
Για το ακόλουθο διάγραμμα RMR-βάθους, προκύπτει συντελεστής συσχέτισης $R^2=0,4597$ που φανερώνει ότι οι δύο παράμετροι σχετίζονται εν μέρη μεταξύ τους, αφού πλησιάζει περισσότερο την μονάδα. Η γραμμική γραμμή τάσης με θετική κλίση, φανερώνει την αύξηση της τιμής RMR με το βάθος.

Τούτο οφείλεται φυσικά, στις διάφορες βαθμονομούμενες παραμέτρους (R1-R6), των περισσότερων εκ των οποίων η τιμή δύναται να αυξάνεται έστω και λίγο με το βάθος για την ψαμμιτική βραχώμαζα. Η μέτριας κατηγορίας βραχώμαζα απαντάται σε βάθη από 35-45m, η πτωχή βραχώμαζα σε βάθη 30-40m, ενώ για την καλή απουσίαζαν τα δεδομένα βάθους.

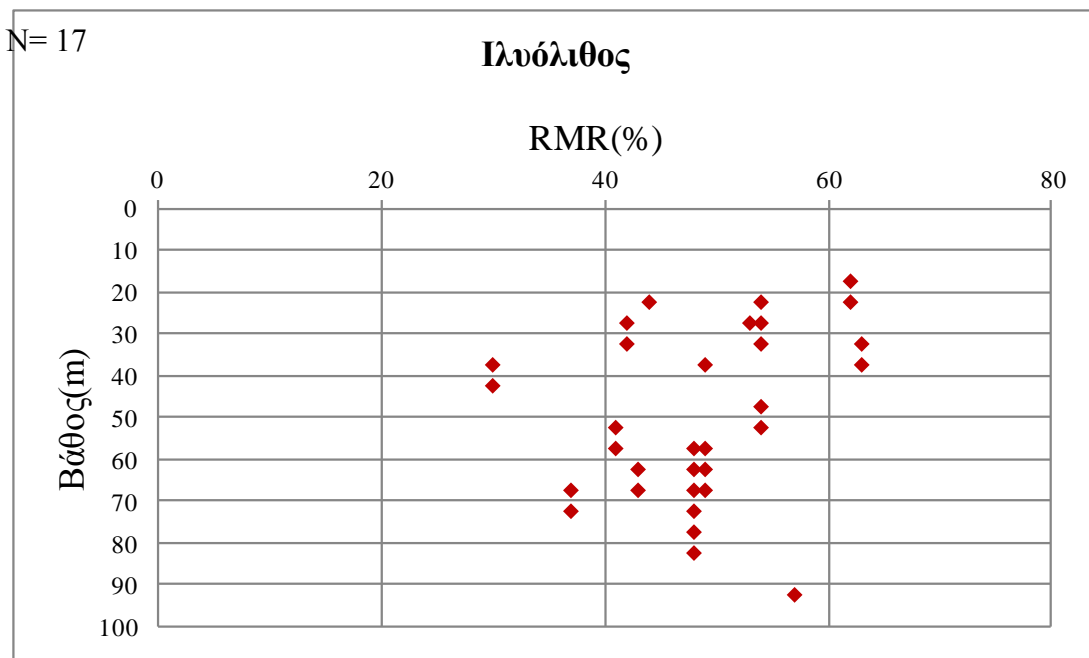
Βέβαια ίσως συμπεράσματα να είναι αναξιόπιστα, όπως προαναφέρθηκε, λόγω του μικρού πλήθους δεδομένων.



Για τον σχηματισμό που αποτελείται από **ιλύλιθο**, κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα σχετικής συχνότητας-RMR. Προκύπτει ότι κυριαρχεί με ποσοστό 64,70% το εύρος 41-60, δηλαδή μέτριας κατηγορίας βραχώμαζα, ενώ ακολουθεί το εύρος 21-40 με ποσοστό 23,53%, δηλαδή πτωχής κατηγορίας βραχώμαζα. Το πλήθος των εξεταζόμενων δεδομένων δεν είναι μεγάλο, συνεπώς λαμβάνεται επιφύλαξη ως προς την αξιοπιστία των συμπερασμάτων.

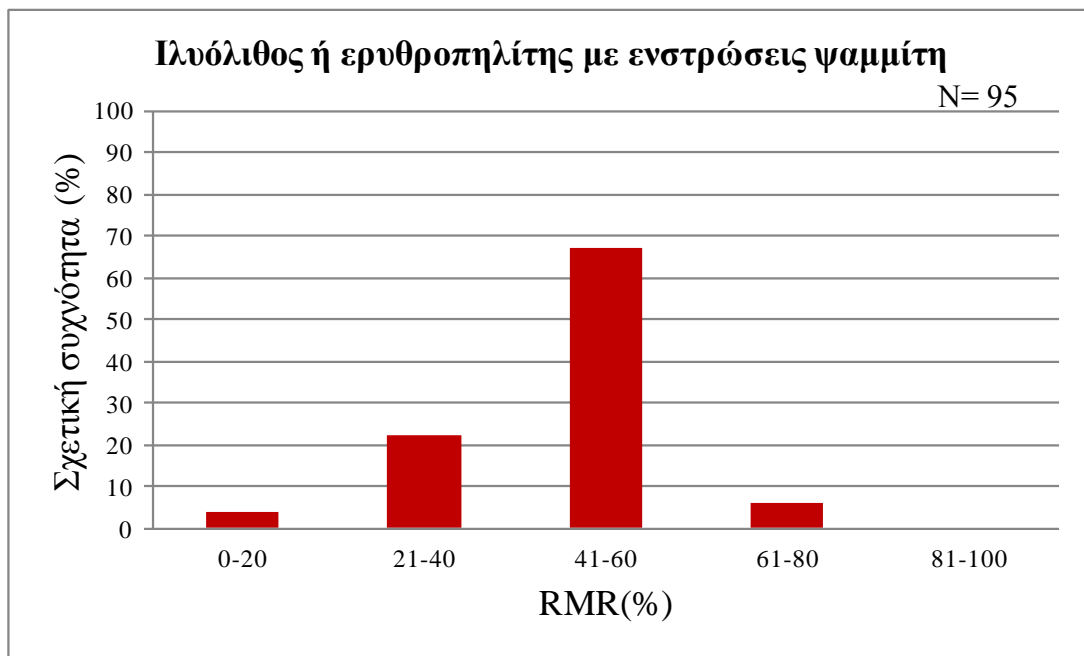


Για το ακόλουθο διάγραμμα RMR-βάθους, προκύπτει γραφικά ότι οι δύο παράμετροι δεν σχετίζονται μεταξύ τους. Η γραμμική γραμμή τάσης με αρνητική κλίση, φανερώνει ακόμη και μείωση της τιμής RMR με το βάθος. Η «μέτριας» κατηγορίας βραχώμαζα απαντάται σε βάθη από 20-90m περίπου, η «πτωχή» βραχώμαζα στα βάθη των 40 αλλά και 70m, ενώ η καλή στα 15-40m.

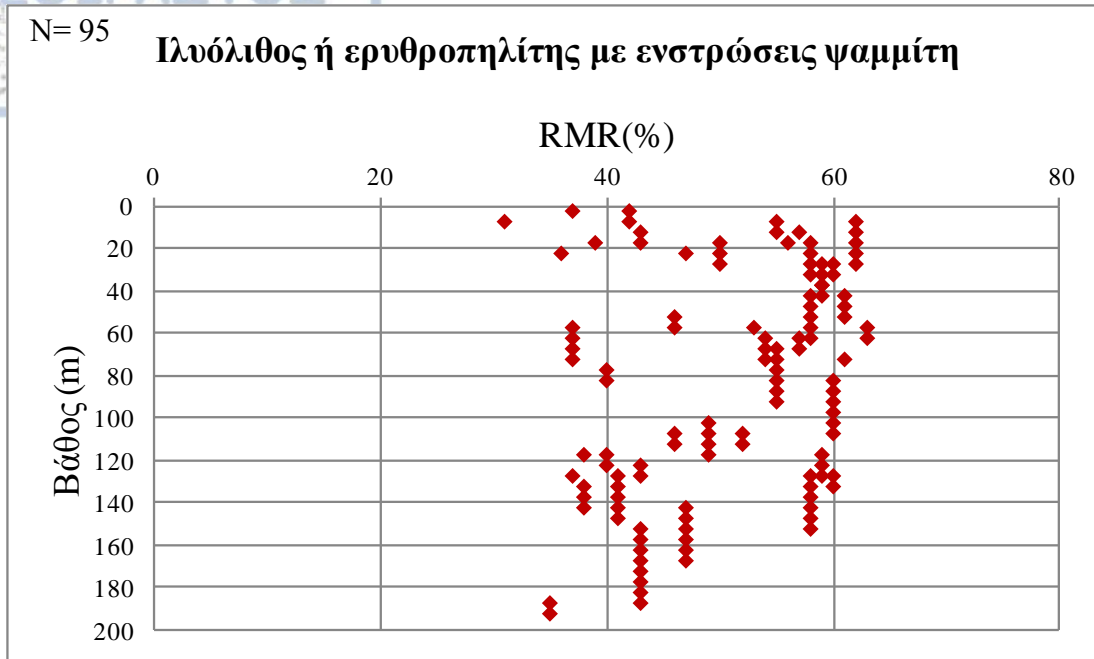


Για τον σχηματισμό που αποτελείται από **ιλύλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη**, κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα σχετικής συχνότητας-RMR. Προκύπτει ότι κυριαρχεί με ποσοστό 67,37% το εύρος 41-60, δηλαδή μέτριας κατηγορίας βραχώμαζα, ενώ ακολουθεί το εύρος 21-40 με ποσοστό 22,10%, δηλαδή πτωχής κατηγορίας βραχώμαζα.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό για τον σχηματισμό είναι ότι, εκτός από την μέτρια, την πτωχή και την καλή κατηγορία βραχώμαζας που απαντιόνταν και στους προηγούμενους εξεταζόμενους σχηματισμούς, υπάρχει ακόμη εδώ και πολύ πτωχής μηχανικής συμπεριφοράς βραχώμαζα (σε ποσοστό 4,21%). Η αντοχή, η ποιότητα και η κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών, είναι παράγοντες που έχουν οπωσδήποτε απομειωθεί κατά την αξιολόγηση του συγκεκριμένου σχηματισμού.

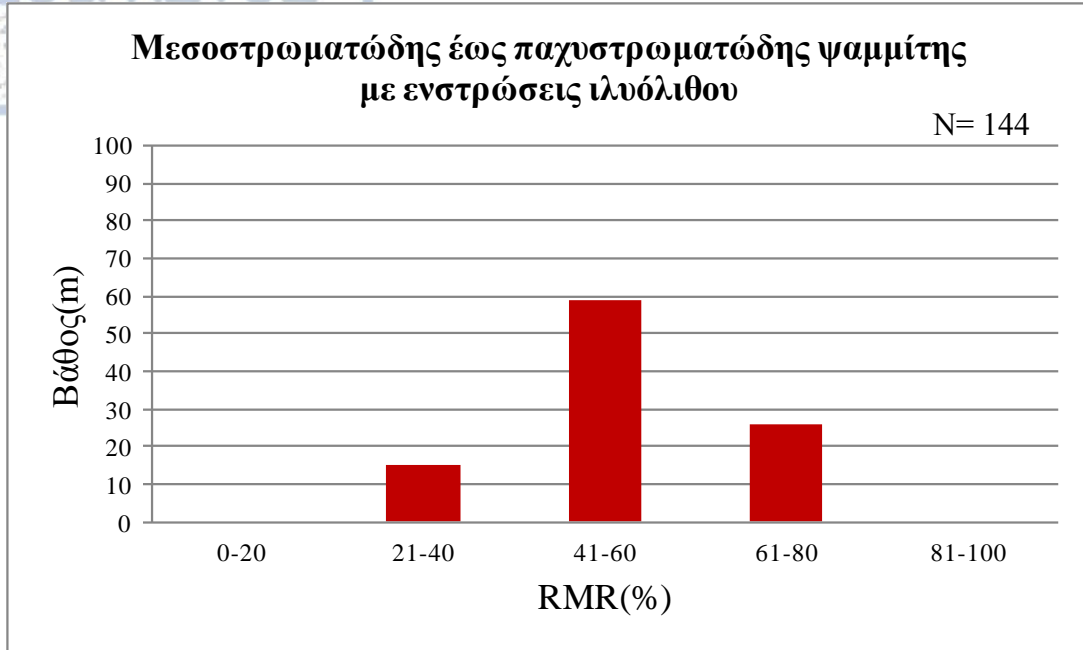


Για το ακόλουθο διάγραμμα RMR-βάθους, προκύπτει γραφικά ότι οι δύο παράμετροι δεν εμφανίζουν συγκεκριμένη σχέση μεταξύ τους, ενώ η γραμμική γραμμή τάσης με αρνητική κλίση, πόσο μάλλον φανερώνει ελαφριά μείωση της τιμής RMR με το βάθος. Η μέτριας και πτωχής κατηγορίας βραχώμαζα απαντάται σε βάθη από 0-190m περίπου, η καλής κατηγορίας στα 0-80m, ενώ για την πολύ πτωχή μηχανική συμπεριφορά της τα δεδομένα βάθους απουσιάζουν.



Για τον σχηματισμό που αποτελείται από **ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλυόλιθου**, κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα σχετικής συχνότητας-RMR. Προκύπτει ότι κυριαρχεί με ποσοστό 59,03% το εύρος 41-60, δηλαδή «μέτρια» κατηγορίας βραχώμαζα, ενώ ακολουθεί το εύρος 61-80 με ποσοστό 25,69%, δηλαδή «καλή» κατηγορίας βραχώμαζα.

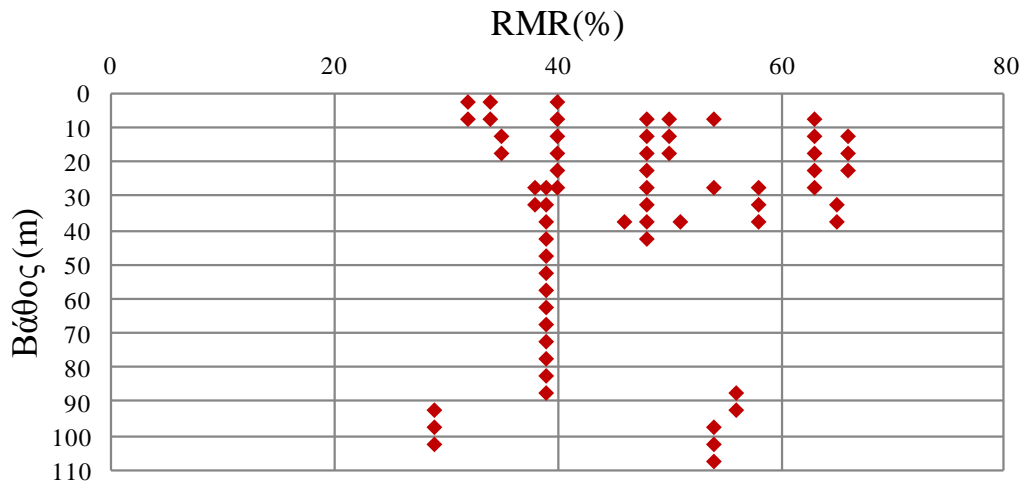
Το γεγονός ότι την δεύτερη θέση καταλαμβάνει η καλή κατηγορία βραχώμαζας, σε αντίθεση με τον σχηματισμό του ιλυόλιθου με ενστρώσεις ψαμμίτη που η δεύτερη θέση καταλαμβάνεται από την κατηγορία «πτωχή», οφείλεται στην επικράτηση, εδώ, του ψαμμίτη και όχι του ιλυόλιθου. Παράγοντας ο οποίος έχει πιθανότατα μεγάλη τιμή κατά την αξιολόγηση του σχηματισμού κατά RMR, είναι η αντοχή του άρρηκτου πετρώματος.



Στο το ακόλουθο διάγραμμα RMR-βάθους, δεν γίνεται εμφανής κάποια σαφής συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Η «μέτρια» και «πτωχή» κατηγορία βραχώμαζας απαντάται σε βάθη από 0-110m, ενώ η καλή σε βάθη έως και 40m. Οι μικρές τιμές του RMR σε μεγάλα βάθη μπορεί να οφείλονται σε ποικίλους παράγοντες, όπως είναι η παρουσία ζώνης διάτμησης που οδηγεί σε σίγουρη μείωση των παραμέτρων R4 και R5 ή η βαθμονόμηση ψαμμίτη επηρεασμένου- αποσαθρωμένου από βαθεία ασυνέχεια, πληρωμένη με ιλυολιθικό υλικό(ιλυολιθική ένστρωση), στην οποία υπάρχει νερό. Στην περίπτωση αυτή απομειώνεται και η R1, λόγω αποσαθρωμένης μάζας.

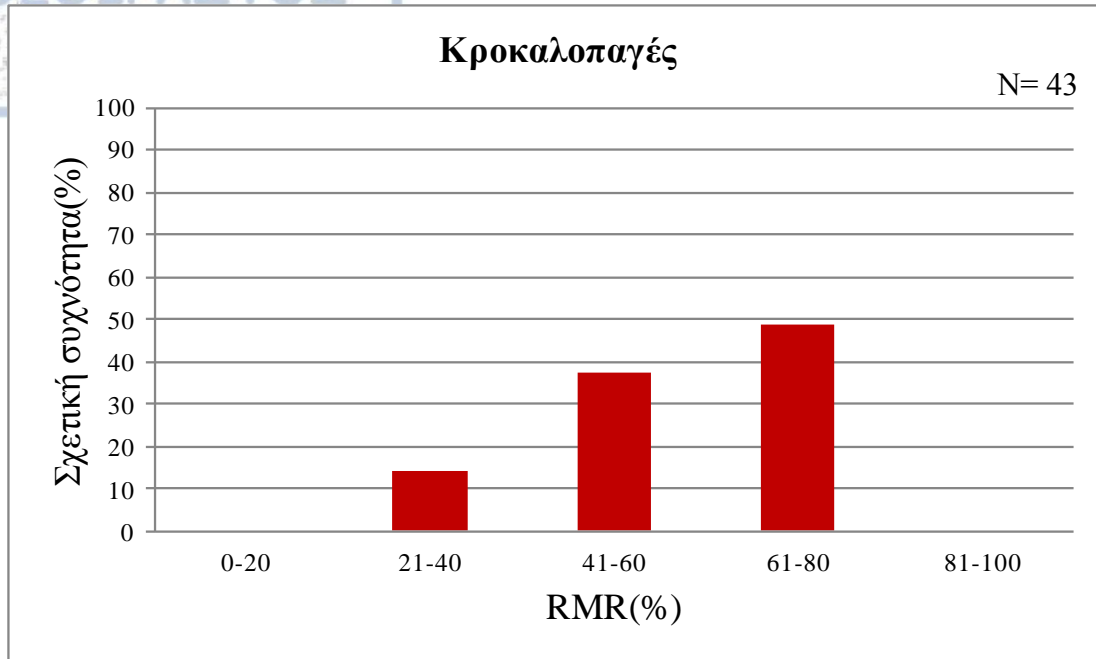
N= 144

Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλύολίθου

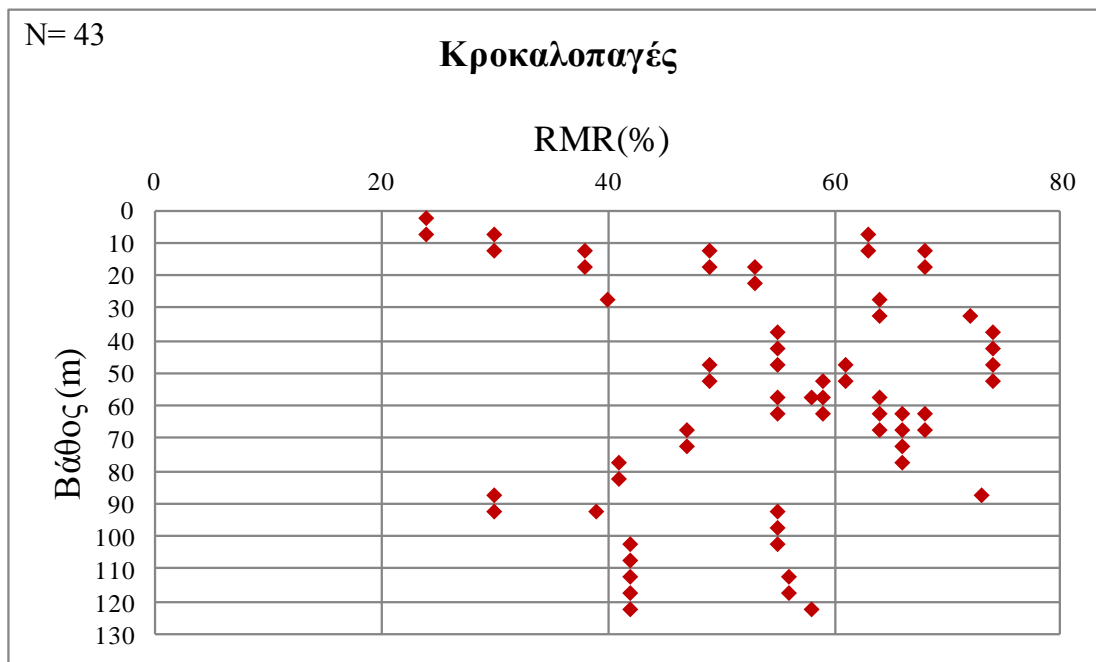


Για τον σχηματισμό του φλύσχη που αποτελείται από **κροκαλοπαγές**, κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα σχετικής συχνότητας-RMR. Προκύπτει ότι κυριαρχεί με ποσοστό 48,83% το εύρος 61-80, δηλαδή καλής κατηγορίας βραχόμαζα, ενώ ακολουθεί το εύρος 41-60 με ποσοστό 37,21%, δηλαδή μέτριας κατηγορίας βραχόμαζα.

Τούτος ο σχηματισμός, σε σχέση με τους προηγούμενους, εμφανίζει τις περισσότερες πιο υψηλές τιμές RMR. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού το κροκαλοπαγές χαρακτηρίζεται από περιορισμένο αριθμό ασυνεχειών οι οποίες εμφανίζονται κυρίως στα πρώτα μέτρα, με συνέπεια οι παράμετροι R2, R3 και R6 να παρουσιάζουν σίγουρα υψηλότερες τιμές. Η αντοχή του, άρα και η R1, είναι επίσης μεγάλη.



Για το ακόλουθο διάγραμμα RMR-βάθους, προκύπτει ότι οι δύο παράμετροι δεν σχετίζονται μεταξύ τους ακόμη και με αφαίρεση των ακραίων τιμών. Η γραμμική γραμμή τάσης είναι σχεδόν οριζόντια. Καλή και πτωχή κατηγορία βραχόμαζας απαντάται σε βάθη έως 90m, ενώ η μέτρια σε βάθη έως και 130m.



Ακολουθεί πίνακας με τις μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές RMR, καθώς και τα αντίστοιχα βάθη τους που, απαντήθηκαν για τους διάφορους σχηματισμούς του φλύσχη. Για τον υπολογισμό των μέσων τιμών έχουν απαλειφθεί οι ακραίες τιμές.

Φλυσχικός σχηματισμός	MAX	Βάθος(m)	MIN	Βάθος(m)	MEAN
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλιόλιθου σε ίσες αναλογίες	70	29	29	ΑΔ*	49
Ιλιόλιθος ή Ερυθροπηλίτης	63	35	30	40	47
Ψαμμίτης	62	ΑΔ*	25	35	50
Ιλιόλιθος με ενστρώσεις Ψαμμίτη	69	ΑΔ*	17	ΑΔ*	48
Ψαμμίτης με ενστρώσεις Ιλιόλιθου	77	34	29	ΑΔ*	54
Κροκαλοπαγές	76	ΑΔ*	24	6	60

*ΑΔ: Απουσία Δεδομένων

Πίνακας 4.2.4.1.1: Μέγιστες, ελάχιστες, μέσες τιμές RMR και τα αντίστοιχα βάθη των σχηματισμών του φλύσχη.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ως προς την ταξινόμηση με βάση το σύστημα RMR, σε ένα φλυσχικό περιβάλλον, δεν δύναται να υπάρξει πολλής καλής κατηγορίας (I) βραχώμαζα παρά μόνο «καλή», που σε κροκαλοπαγές υπερισχύει. Αντιθέτως, μπορεί να απαντηθεί φλυσχική βραχώμαζα με πολύ πτωχή μηχανική συμπεριφορά (κυρίως όταν το ιλιολιθικό υλικό είναι κυρίαρχο ιλιόλιθου). Περισσότερο συνήθης όμως, είναι στον φλύσχη, η μέτρια και πτωχή κατηγορία βραχώμαζας, ενώ ακολουθεί στην τρίτη θέση η «καλή».

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε γενικές γραμμές, η τιμή RMR δεν σχετίζεται με την παράμετρο του βάθους, εξαιρουμένης της περίπτωσης του ψαμμίτη που όμως για τον οποίο δεν υπήρχαν αρκετά διαθέσιμα δεδομένα (αναξιόπιστο συμπέρασμα).

Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακα οι τιμές της τυπικής απόκλισης για κάθε σχηματισμό.

Φλυσχικός σχηματισμός	Τυπική απόκλιση-Standard Deviation (STDEV)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες	9,2
Ιλυόλιθος ή Ερυθροπηλίτης	9,55
Ψαμμίτης	10,92
Ιλυόλιθος με ενστρώσεις Ψαμμίτη	10,3
Ψαμμίτης με ενστρώσεις Ιλυόλιθου	11,8
Κροκαλοπαγές	12,9

Πίνακας 4.2.4.1.2: Τιμές τυπικής απόκλισης (STDEV) για κάθε σχηματισμό.

Από τον πίνακα γίνονται εμφανείς οι τιμές τυπικής απόκλισης που χαρακτηρίζουν τους σχηματισμούς όταν αυτοί ταξινομούνται με βάση το σύστημα ταξινόμησης RMR και υποδεικνύουν ότι τα δεδομένα απλώνονται πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα των μέσων τιμών. Οι συγκεκριμένες τιμές απόκλισης δεν είναι μικρές, καθώς οι μέσες τιμές RMR εμφανίζουν ένα εύρος τιμών περίπου ± 10 .

Ως αποτέλεσμα, η αβεβαιότητα σε περιβάλλον φλύσχη των έξι αξιολογούμενων παραμέτρων του RMR ενισχύεται, καθώς το «αναστατωμένο» από πλευράς αποσάθρωσης, δομής, τεκτονικής, κ.λπ., φλυσχικό περιβάλλον δικαιολογεί την προαναφερθείσα επίσης «αναστατωμένη» κατάσταση.

Από την άλλη πλευρά, οι συγκεκριμένες τιμές τυπικής απόκλισης, δεν είναι όμως και πάρα πολύ μεγάλες καθώς η μεταβολή κατά 10 μονάδες δεν οδηγεί πάντα σε διαφορετική κατηγορία βραχώμαζας κατά Bieniawski 1973, δηλαδή παρουσιάζουν μία μέτρια ευαισθησία.

4.2.5. Τιμές υδροπερατότητας(k) - δοκιμή εισπίεσης Lugeon

Η υδροπερατότητα διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Η πρώτη δίνει πληροφορίες για την πιθανή επικοινωνία των πόρων και των μικρορωγμών του ακέραιου πετρώματος μεταξύ τους και έχει ιδιαίτερη σημασία για τα τεχνικά έργα. Η δεύτερη, εξαρτάται από την ύπαρξη ασυνεχειών στο πέτρωμα που έχουν δημιουργηθεί από την «ταλαιπωρία» του και παίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο στο έργο (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002).

Ο συντελεστής υδροπερατότητας k (m/sec) υπολογίζεται από τον νόμο του Darcy,

$$q_x = k \cdot (dh/dx) \cdot A,$$

όπου q_x = παροχή, (dh/dx) =υδραυλική κλίση, A = επιφάνεια διατομής

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης παίζουν καθοριστικό ρόλο στον σχεδιασμό και την διαστασιολόγηση κάθε τεχνικού έργου. Για παράδειγμα, η γνώση της υδροπερατότητας είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της στεγανότητας του υποβάθρου των τεχνικών έργων (π.χ. σε φράγματα, Χ.Υ.Τ.Α.) καθώς και για θέματα αποστραγγίσεων στις σήραγγες, σε κατολισθήσεις, κ.λπ.(Κούκης & Σαμπατακάκης ,2002).

Για τον λόγο αυτό, ύψιστης σημασίας είναι οι δοκιμές εισπίεσεων (Lugeon, Maag, Lefranc) με τις οποίες προσδιορίζεται η υδροπερατότητα του πετρώματος του υπεδάφους ή του εδάφους αντίστοιχα, μέσω υπολογισμού του συντελεστή υδροπερατότητας (k).

Ειδικότερα για την εξεταζόμενη στο παρόν υποκεφάλαιο δοκιμή εισπίεσης Lugeon, αυτή πραγματοποιείται στο εσωτερικό δειγματοληπτικής γεώτρησης, με διοχέτευση νερού. Μετριέται εκείνη η ποσότητα του νερού που απορροφάται από το υπέδαφος σε σχέση με την επιβαλλόμενη πίεση αποστολής του νερού (Κούκης & Σαμπατακάκης ,2002).

Συγκεκριμένα, κατά την διάρκεια της δοκιμής μετριέται η απορροφούμενη ποσότητα νερού σε συνάρτηση με τον χρόνο, στο εισπιεζόμενο τμήμα μήκους 3m έως 5m, με διάφορες βαθμίδες πίεσεως που εφαρμόζονται με αύξουσα και έπειτα με φθίνουσα σειρά. Τελικά, η μέση τιμή των περατοτήτων (k) από όλα τα βήματα, στο συγκεκριμένο βάθος της δοκιμής, αποτελεί την ενδεικτική τιμή περατότητας στο βάθος αυτό.

Η δοκιμή θεωρείται κατάλληλη για βραχώδη πετρώματα και κυρίως για έντονα διακλασμένες βραχώμαζες μέχρι και σκληρά εδάφη αλλά με την προϋπόθεση ότι μπορούν να αντέξουν τις πιέσεις που εξασκούνται κατά την δοκιμή.

Κατηγορία	Τιμές περατότητας k (m/sec)
Πολύ υψηλής υδροπερατότητας	$>10^{-2}$
Υψηλής υδροπερατότητας	$10^{-2} - 10^{-4}$
Μέσης υδροπερατότητας	$10^{-4} - 10^{-5}$
Χαμηλής υδροπερατότητας	$10^{-5} - 10^{-7}$
Πολύ χαμηλής υδροπερατότητας	$10^{-7} - 10^{-9}$
Πρακτικά αδιαπέρατος	$<10^{-9}$

Πίνακας 4.2.5.1: Κατηγοριοποίηση του συντελεστή υδροπερατότητας k κατά Bulletin of IAEG (No19, pp 364-371, 1979)

4.2.5.1. Στατιστική επεξεργασία των τιμών περατότητας και η σχέση τους με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων

Ως γνωστόν, ο φλύσχος είναι σε γενικές γραμμές στεγανός σχηματισμός με μικρή διαπερατότητα. Συνεπώς, αναμένεται εξαγωγή παρόμοιων συμπερασμάτων από τα ακόλουθα διαγράμματα που, προέκυψαν από επεξεργασία των στοιχείων γεωτρήσεων στην βάση ΤΙΑΣ, μετά από εκτέλεση δοκιμών Lugeon και εξαγωγή των τιμών k, στον υπό εξέταση φλύσχη.

Συχνά, τα δεδομένα των δοκιμών εισπίεσης είναι η μοναδική πηγή ποιοτικής πληροφόρησης για τις υδραυλικές παραμέτρους του σχηματισμού του φλύσχη (Jan Jetel, 1985, Kwartalnik Geologiczny, Vol.29, No.1, r. p.167 -178)

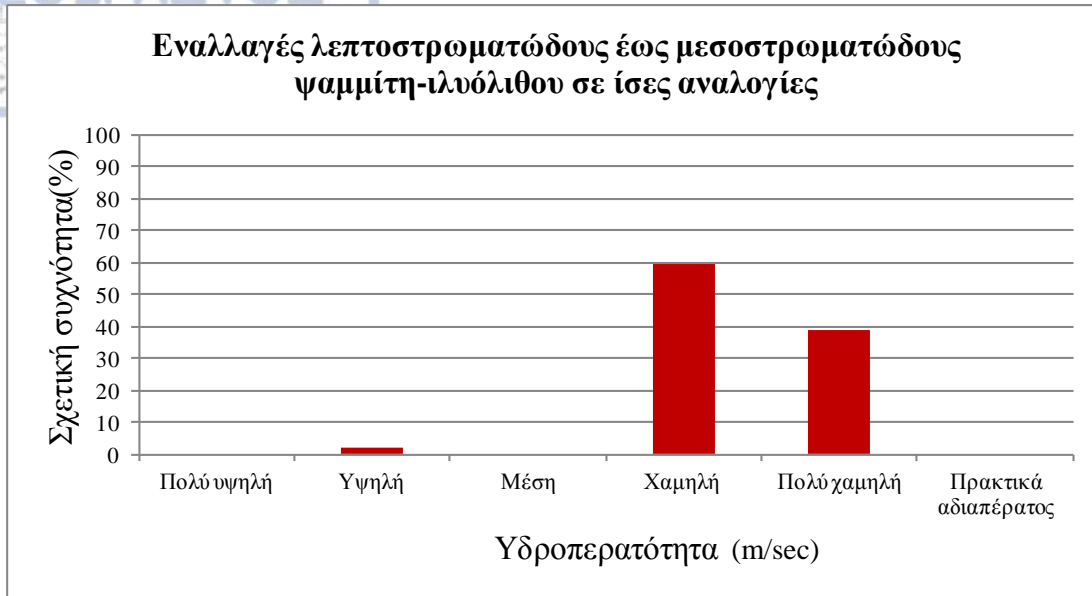
Συγκεκριμένα, εκτελέστηκαν δοκιμές για κάθε έναν από τους έξι αντιπροσωπευτικούς σχηματισμούς του και τα αποτελέσματα αναλύονται ξεχωριστά για κάθε διάγραμμα «σχετικής συχνότητας-τιμής περατότητας» και «βάθους-τιμής περατότητας». Οι κατηγορίες, ως προς την υδροπερατότητα, των πετρωμάτων των διαγραμμάτων έχουν ομαδοποιηθεί με βάση τις τιμές περατότητας του πίνακα 4.2.5.1 κατά την IAEG.

Το πρώτο ιστόγραμμα αναφέρεται στον σχηματισμό που αποτελείται από **εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες** και φανερώνει την επικράτηση των τιμών χαμηλής και πολύ χαμηλής περατότητας με ποσοστά 59,65% και 38,6% αντίστοιχα.

Τούτο φαίνεται λογικό, διότι στον συγκεκριμένο σχηματισμό, εμφανίζεται μεν ψαμμίτης που μπορεί να παρουσιάζει ψαθυρή θραύση και μεγαλύτερη περατότητα, ταυτόχρονα δε, εναλλάσσεται με ιλυόλιθο ο οποίος θεωρείται αδιαπέρατος και εν τέλει δημιουργείται ένας συνολικά στεγανός σχηματισμός. Αξίζει να σημειωθεί ότι εντοπίζεται μία τιμή στη κατηγορία της υψηλής υδροπερατότητας. Περισσότερα στοιχεία παραθέτονται ακολούθως, λαμβάνοντας υπόψη και την παράμετρο του βάθους.

Σύμφωνα με τον Jan Jetel (1985) ,συνήθως η μεγαλύτερη περατότητα στον φλύσχη παρατηρείται στην περίπτωση των εναλλαγών λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες και κυρίως όταν αυτοί εμφανίζονται τεκτονισμένοι.

Κατά την άποψη της γράφουσας, αυτό πιθανόν οφείλεται στις συχνότερα απαντώμενες εναλλαγές και άρα στην εντονότερη ετερογένεια στον σχηματισμό, με αποτέλεσμα οι διαφορές στην μηχανική συμπεριφορά των δύο γεωυλικών να κορυφώνονται, οδηγώντας στον σχηματισμό περισσότερων ασυνεχειών, πόσο μάλλον όταν είναι ισχυρά τεκτονισμένοι.



Από το διάγραμμα διασποράς γίνεται εμφανές ότι η υψηλή τιμή υδροπερατότητας αντιστοιχεί στο βάθος των 17-21m και πιθανόν να εξηγείται από την παρουσία ζώνης διάτμησης στο συγκεκριμένο βάθος, η οποία επιτρέπει με ευκολία την κυκλοφορία του εισπιεζόμενου νερού της δοκιμής στο εσωτερικό της. Παρατηρήθηκε ότι άλλες δοκιμές που έχουν εκτελεστεί βαθύτερα στην ίδια γεώτρηση, έδωσαν συντελεστή υδροπερατότητας πολύ μικρότερο. Δεν αποκλείεται βέβαια η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και η επιφανειακή αποσυμπίεση, αποδιοργάνωση και χαλάρωση της βραχώμαζας, να συνεχίζονται μέχρι το βάθος αυτό.

Ενδεχομένως, οι περισσότερες από τις χαμηλές τιμές να αντιστοιχούν στην περίπτωση εκτέλεσης της δοκιμής κυρίως στο ψαμμιτικό μέλος του σχηματισμού, αφού όπως προαναφέρθηκε, η θραυσιγενής τεκτονική δημιουργεί ρωγμές που αυξάνουν το δευτερογενές του πορώδες και εν τέλει την περατότητα. Βέβαια, οι ψαμμιτικοί πάγκοι, αν δεν είναι κερματισμένοι μπορεί να εμφανίζουν περατότητα ακόμα μικρότερη και από αυτήν των πηλιτών.

Από την άλλη πλευρά, οι περισσότερες από τις «πολύ χαμηλές» τιμές πιθανόν να αντιπροσωπεύονται από δοκιμές σε ιλυολιθικά μέλη του σχηματισμού, ως πιο στεγανά. Παρόλα ταύτα, στην περίπτωση της εμφάνισης των ιλυολιθικών πάγκων σε μικρότερα βάθη ή της έντονα διατμημένης- τεκτονισμένης εμφάνισής τους σε βάθος, αυτοί να δίνουν «χαμηλές» τιμές περατότητας.

Στο διάγραμμα διασποράς του βάθους με τη τιμή περατότητας (k), φαίνεται ότι η πλειονότητα των δοκιμών εκτελέστηκε μέχρι τα 110m του βάθους περίπου και ότι αυτές βρίσκονται ομοιόμορφα κατανεμημένες στα βάθη αυτά.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι προκύπτει συντελεστής $k=9,4 \cdot 10^{-8}$ m/sec, μόλις στο βάθος των 6-6,5m. Έστω ότι στο συγκεκριμένο μικρό βάθος τιμολογήθηκε ψαμμιτικό μέλος, τότε αυτό θα έπρεπε να δώσει υψηλότερη τιμή, λόγω του κερματισμού του από την θραυσιγενή τεκτονική και την παράλληλη επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Άρα η τιμή αυτή αντιστοιχεί πιθανότατα σε ιλυόλιθο.

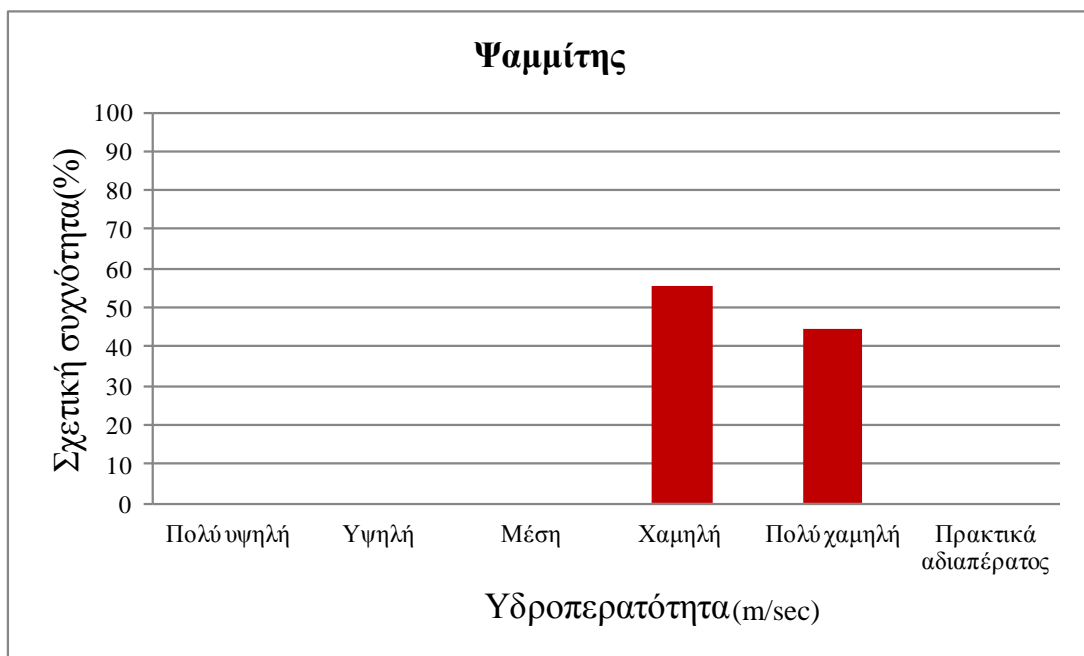


Στη συνέχεια εξετάζεται ως προς την περατότητά του ο **ψαμμίτης** φλύσχης, για τον οποίο όμως τα δεδομένα είναι πολύ περιορισμένα (N=9) και συνεπώς πρέπει να ληφθούν σημαντικές επιφυλάξεις ως προς την εγκυρότητα των τελικών συμπερασμάτων.

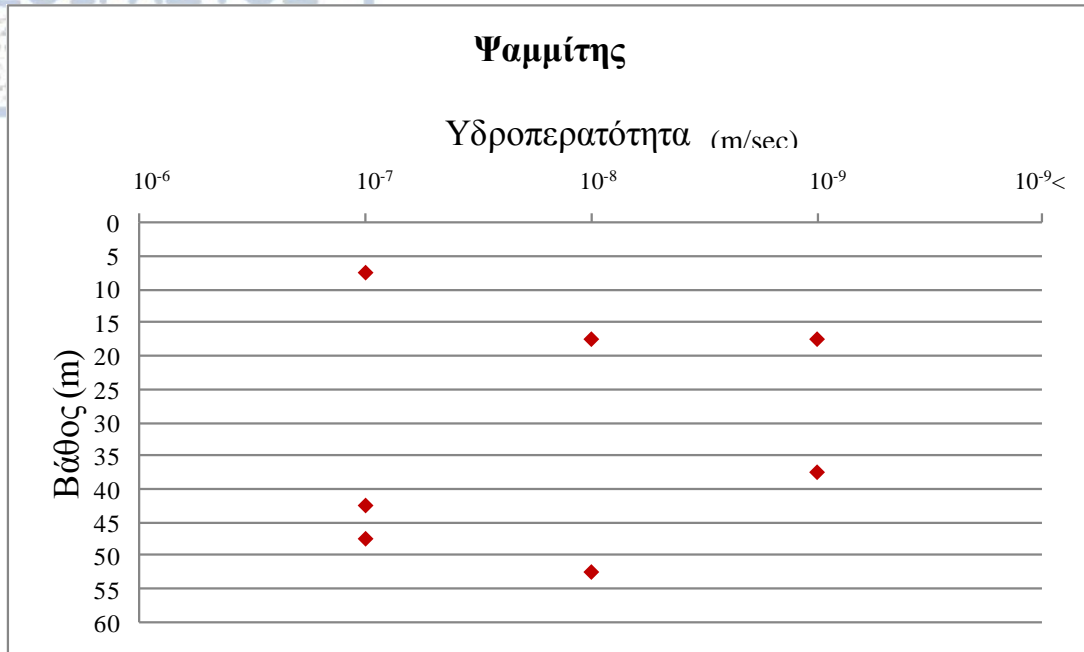
Στον συγκεκριμένο σχηματισμό κυριαρχεί με ποσοστό 55,56 % η κατηγορία της χαμηλής περατότητας και ακολουθεί με ποσοστό 44,44% αυτή της πολύ χαμηλής περατότητας. Οι προαναφερθείσες τιμές είναι λογικές για τον ψαμμίτη, ο οποίος στην αδιατάρακτη του μορφή εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές υδροπερατότητας, διότι αποτελεί πρακτικά στεγανό σχηματισμό.

Παρόλη την απουσία τιμών μεγάλης υδροπερατότητας στα συγκεκριμένα εξεταζόμενα δεδομένα, αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση του ψαμμίτη φλύσχη, υδροφορείς σχηματίζονται κυρίως στην ζώνη κοντά στην επιφάνεια. Στις αδιατάρακτες φλυσχικές βραχώμαζες, ο κερματισμός μειώνεται αισθητά με το βάθος και η συνολική διαπερατότητα εξαρτάται ολοένα και περισσότερο από την ενδοκοκκώδη διαπερατότητα (cf. V.F. Linecki, 1961; R.S. Kopystiansky, 1966, and others). Σε πολύ μεγάλα βάθη το νερό απουσιάζει, εκτός από την περίπτωση παρουσίας μεμονωμένων ανοικτών ασυνεχειών ή ζωνών διάτμησης τεκτονικής προέλευσης.

Λίγο μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή υδροπερατότητας της τάξης του 10^{-5} - 10^{-7} m/sec, παρατηρούνται στον ψαμμίτη λόγω του δευτερογενούς του πορώδους, δηλαδή όταν αυτός είναι κερματισμένος (ψαθυρή θραύση) ή όταν το συγκολλητικό υλικό του έχει διαλυθεί.



Από το διάγραμμα βάρους-υδροπερατότητας γίνεται αντιληπτό ότι η πλειονότητα των δοκιμών εκτελέστηκε σε βάθος μεγαλύτερο των 15m περίπου. Ένα βάθος στο οποίο αποκλείεται η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και έτσι στον στεγανό εκ φύσεως ψαμμίτη δικαιολογούνται οι χαμηλές και πολύ χαμηλές τιμές υδροπερατότητας.

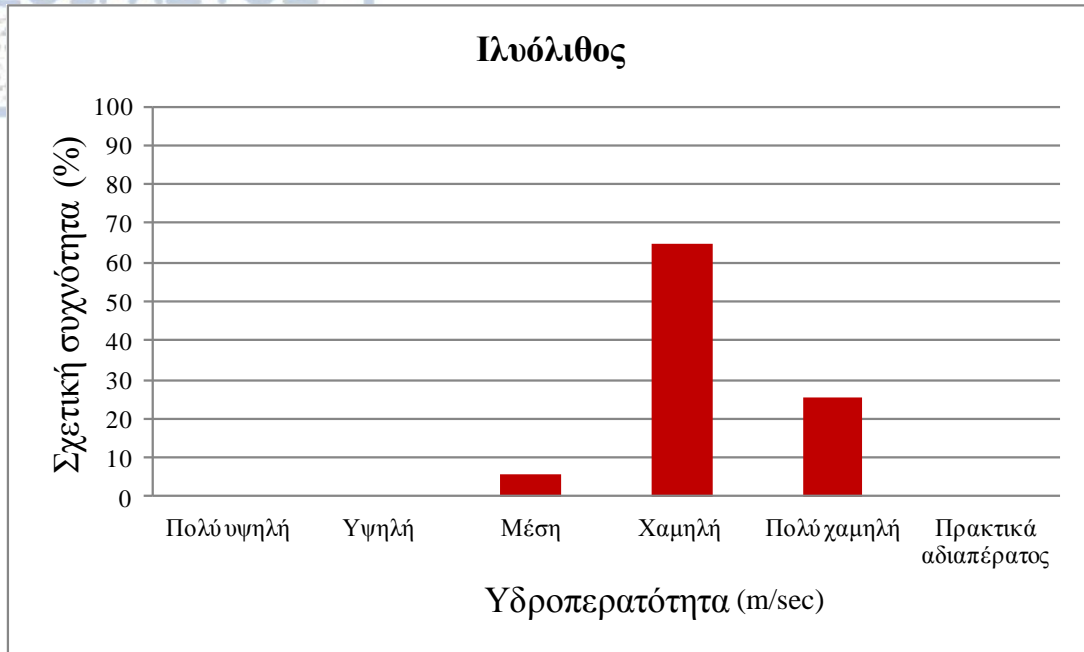


Για τον σχηματισμό του φλύσχη που αποτελείται από **ιλυόλιθο**, το πλήθος των εξεταζόμενων τιμών περατότητας ήταν επίσης μικρό (N=17) που οδηγεί στην ανάγκη για επιφύλαξη ως προς την ορθότητα των παρακάτω αποτελεσμάτων.

Είναι προφανές από το ακόλουθο ιστόγραμμα ότι το σύνολο των εξεταζόμενων τιμών καταλαμβάνει κυρίως την κατηγορία «χαμηλής» υδροπερατότητας, ενώ ακολουθεί η αυτή της «πολύ χαμηλής». Αυτό είναι αναμενόμενο και λογικό αφού ο ιλυόλιθος διακρίνεται για το μικρό του πορώδες, τις κλειστές του ασυνέχειες, την αδυναμία κίνησης του νερού στο εσωτερικό του και γενικώς την στεγανότητά του που οδηγεί σε τιμές υδροπερατότητας περίπου 10^{-7} - 10^{-9} m/sec.

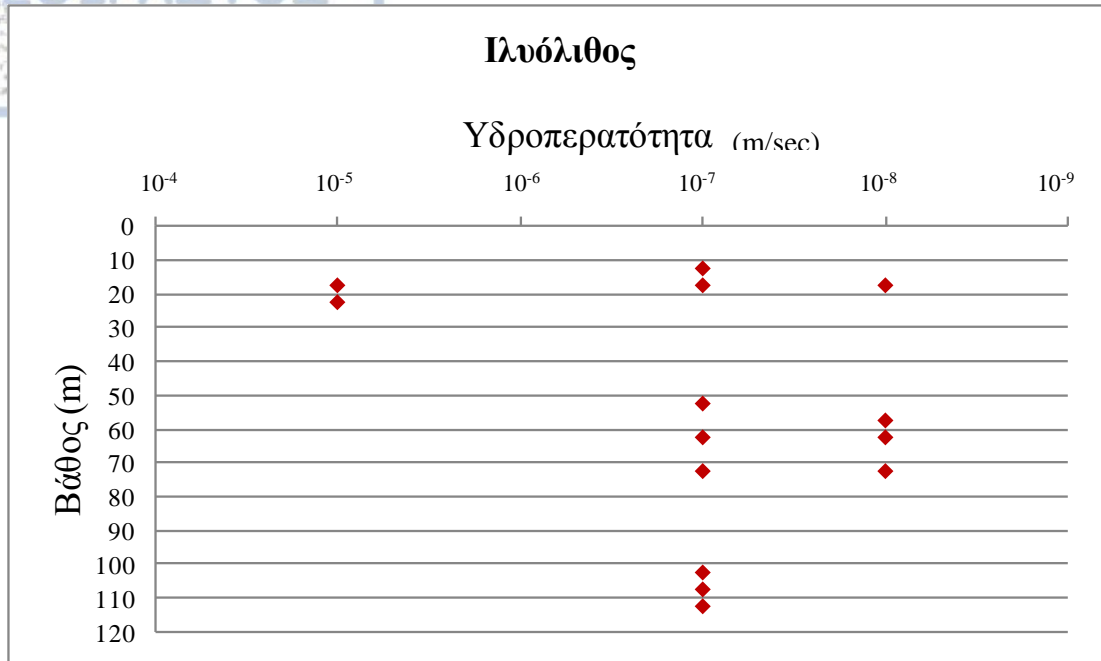
Αξίζει να διευκρινισθεί ότι οι τιμές της κατηγορίας «χαμηλής περατότητας» (εύρος τιμών 10^{-5} - 10^{-7} m/sec), είναι όλες της τάξης του 10^{-7} αλλά χάρη των ορίων των κατηγοριών του πίνακα 4.2.5.1, συμπεριλήφθηκαν, αντί στην ομάδα της «πολύ χαμηλής» (εύρος 10^{-7} - 10^{-9} m/sec), σε αυτήν της «χαμηλής» περατότητας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της «μέσης» τιμής $k=1,10 \cdot 10^{-5}$ στον ιλυόλιθο. Αυτή θα προσδιοριστεί αναλυτικά ακολούθως, λαμβάνοντας υπόψη και την παράμετρο του βάθους.



Από το διάγραμμα διασποράς για το ιλυόλιθο, γίνεται εμφανές ότι η τιμή $k=1,10 \cdot 10^{-5}$ αντιστοιχεί στο βάθος των 18-23m. Το συγκεκριμένο εύρος βάθους, πιθανόν να έχει επηρεαστεί από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (ύγρανση- ξήρανση, μεταβολές θερμοκρασίας, κ.λπ.) και ο ιλυόλιθος να έχει υποστεί ακόμα σχάση και χαλάρωση της μάζας του ώστε το νερό να κυκλοφορεί και να αποθηκεύεται. Αυτό που πιθανόν συμβαίνει είναι η ύπαρξη κάποιας ζώνης ρήγματος, με αργιλοποιημένο και αποσαθρωμένο υλικό που επιτρέπει σε ένα βαθμό την κυκλοφορία του εισπνεζόμενου νερού.

Χαμηλές και πολύ χαμηλές τιμές απαντώνται σε βάθη μεγαλύτερα των 10m (από όπου ξεκινά και η εκτέλεση των δοκιμών στον ιλυόλιθο γενικότερα), κατανεμημένες ομοιόμορφα μέχρι και τα 110m περίπου.



Το παρακάτω ιστόγραμμα αναφέρεται στον σχηματισμό που αποτελείται από **ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη** και συμπεραίνεται ότι η πλειονότητα των τιμών αντιστοιχεί σε πολύ χαμηλή περατότητα (74,29 %), ενώ ακολουθούν με συμμετοχή 25,71 % οι τιμές της «χαμηλής αντοχής».

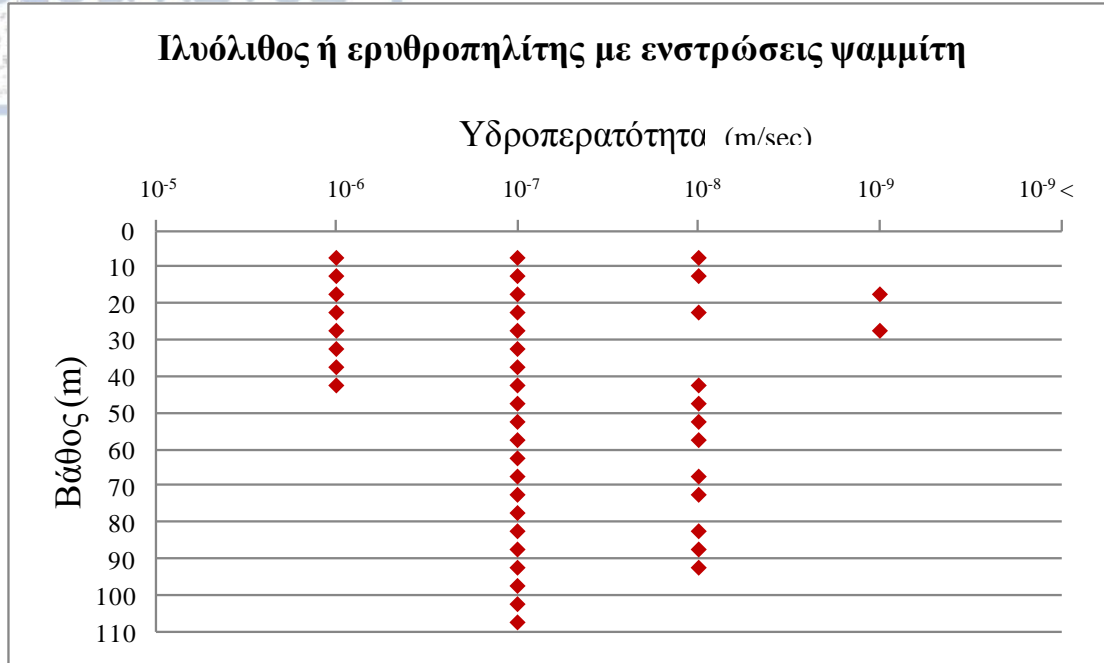
Δεδομένου ότι στον σχηματισμό επικρατεί ο αδιαπέρατος ιλυόλιθος (πολύ χαμηλή περατότητα) και δεδομένου ότι ακόμα και στην μικρή συμμετοχή τους, οι ψαμμιτικές ενστρώσεις αν δεν είναι κερματισμένες μπορεί να εμφανίζουν περατότητα ακόμα μικρότερη και από αυτήν των πηλιτών, οι τιμές κρίνονται λογικές.



Το παρακάτω διάγραμμα διασποράς, προβάλλει τις διάφορες τιμές περατότητας ισοκατανεμημένες στα διάφορα βάθη εκτέλεσης της δοκιμής Lugeon (6 έως 110m), χωρίς να παρατηρείται κάποια ακραία τιμή προς περαιτέρω ανάλυση.

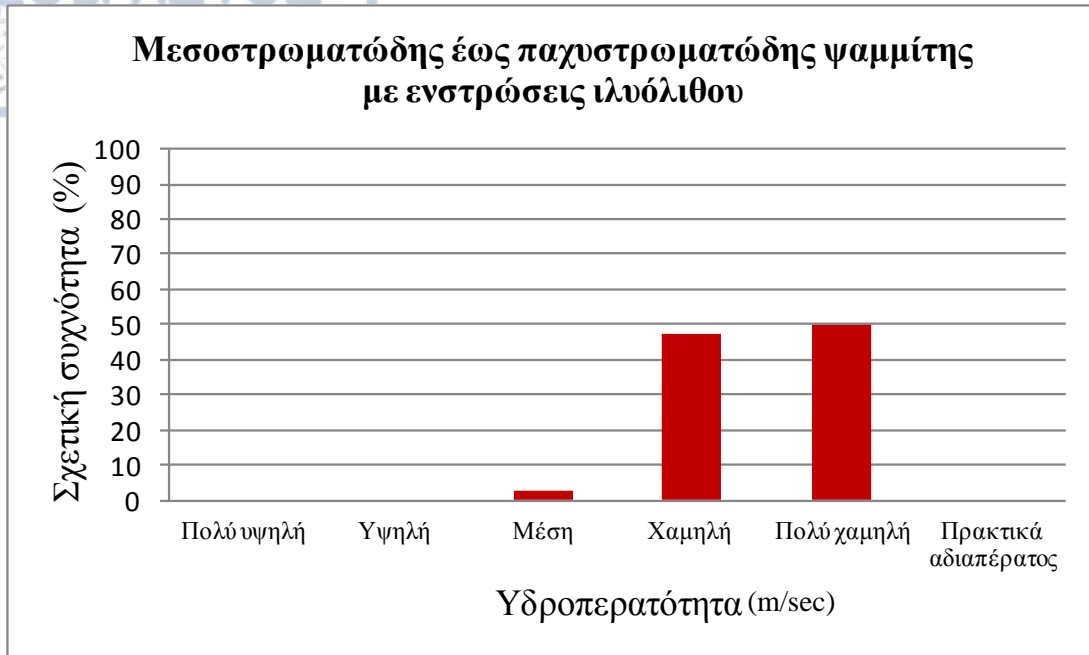
Μόνο αξίζει να επισημανθεί ότι, οι είναι πιθανότερο οι τιμές της τάξης του 10^{-6} που δεν συνεχίζονται σε πολύ μεγάλο βάθος, να αντιπροσωπεύουν τιμές που έχουν δώσει οι μικρού βάθους κερματισμένες ψαμμιτικές ενστρώσεις ή ψαμμιτικά εγκλείσματα μέσα στη ιλυολιθική μάζα ή ακόμη και κάποια ζώνη αποσαθρωμένη, αποδιοργανωμένη σε ιλυολιθική βραχώμαζα που ίσως έχουν επηρεαστεί από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και διευκολύνουν την κίνηση του νερού.

Ψαμμιτικό τέμαχος που περιβάλλεται από ιλυολιθική ή αργιλική μάζα, ίσως να βρίσκεται υπό-πίεση, αφού το νερό αδυνατεί να κυκλοφορήσει και να διαφύγει περιμετρικά.



Για τον σχηματισμό του **ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλύολιθου** κατασκευάστηκε το παρακάτω ιστόγραμμα από το οποίο προκύπτει ότι η πλειονότητα των τιμών ανήκει ισόποσα στην κατηγορία της «χαμηλής» και «πολύ χαμηλής» υδροπερατότητας, ενώ μόνο μία τιμή εμφανίζει «μέση» τιμή περατότητας (θα αναλυθεί ακολούθως αφού ληφθεί υπόψη και η παράμετρος του βάθους).

Είναι γνωστό ότι ο ψαμμίτης στην αδιατάρακτη του μορφή είναι πολύ χαμηλής περατότητας (10^{-9} - 10^{-7} m/sec), ενώ στην κερματισμένη του μορφή είναι πιο υδροπερατός και συγκεκριμένα μπορεί να εμφανίζει τιμές από 10^{-7} - 10^{-5} m/sec. Οι τιμές του ιστογράμματος λοιπόν, θεωρούνται λογικές.



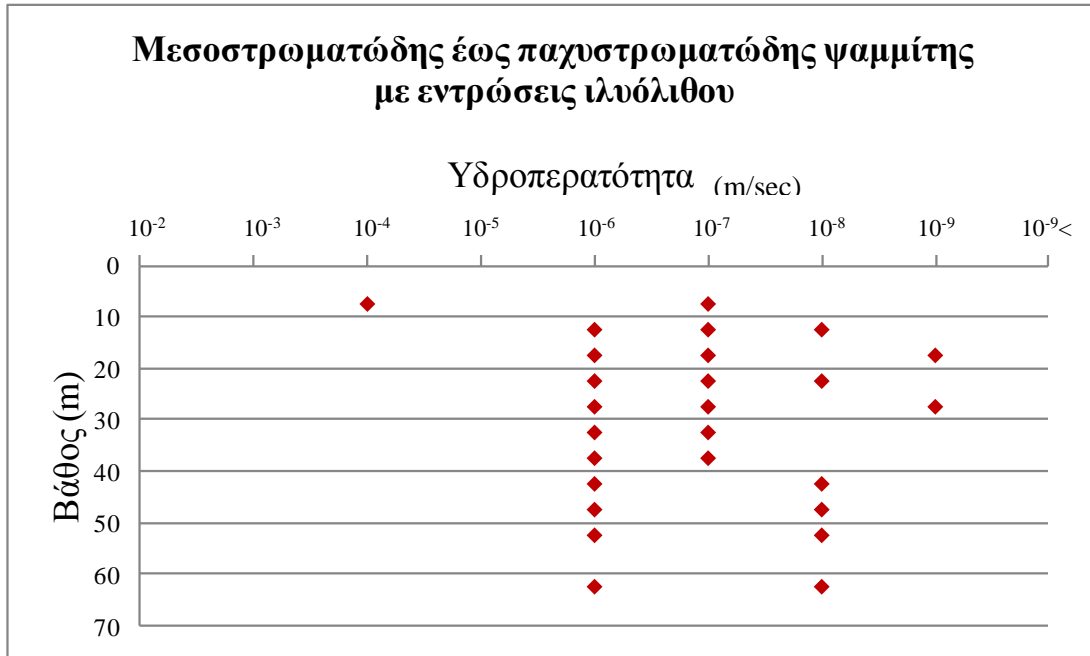
Το διάγραμμα διασποράς του βάθους με την υδροπερατότητα υποδεικνύει ομοιόμορφη κατανομή των τιμών στα βάθη εκτέλεσης της δοκιμής Lugeon από 10m έως 60m. Η παρουσία τόσο χαμηλών όσο και πολύ χαμηλών τιμών περατότητας, οφείλεται στην παρουσία και αξιολόγηση περισσότερο ή λιγότερο κερματισμένου ψαμμίτη.

Η τιμή $k=1 \cdot 10^{-4}$ m/sec απαντήθηκε στο μικρό βάθος των 5-10m ενώ παρατηρείται ότι στην ίδια γεώτρηση, η τιμές περατότητας σε μεγαλύτερα βάθη είναι πολύ μικρότερες. Το παραπάνω σημαίνει ότι η μεγάλη τιμή οφείλεται πιθανόν στην παρουσία κερματισμένου επιφανειακά ψαμμίτη, με επίδραση στην μάζα του των ατμοσφαιρικών συνθηκών (θερμοκρασία, κατακρημνίσματα, κ.α.), καθώς και της αποσυμπίεσης, αποδιοργάνωσης και χαλάρωσης της βραχώμαζας.

Κατά τον W. Jawanski, K. Thiel (1979), ως επιφανειακή ζώνη ορίζεται το βάθος των 1-5 m μέχρι 10-15 m το πολύ. Στην περίπτωση του ψαμμίτη φλύσχη, υδροφορείς σχηματίζονται κυρίως στην ζώνη κοντά στην επιφάνεια (Jan Jetel, 1985, Kwartalnik Geologiczny, Vol.29, No.1, r. p.167 -178).

Στις αδιατάρακτες φλυσχικές βραχώμαζες, ο κερματισμός μειώνεται αισθητά με το βάθος και η συνολική διαπερατότητα εξαρτάται ολοένα και περισσότερο από την

ενδοκοκκώδη διαπερατότητα (cf. V.F. Linecki, 1961; R.S. Korystiansky, 1966, and others). Στην περίπτωση αυτή όμως, το παραπάνω δεν παρατηρείται, καθώς όλες οι τιμές περατότητας εμφανίζονται σε όλα τα βάθη και για αυτό συμπεραίνεται ότι ο ψαμμίτης εμφανίζεται ενδεχομένως κερματισμένος κατά βάθος.



Το ιστόγραμμα του **κροκαλοπαγούς** προβάλλει την μεγάλη συμμετοχή των τιμών στην κατηγορία της «πολύ χαμηλής» περατότητας και του «πρακτικά αδιαπέρατου» σχηματισμού με ίση ποσόστωση. Ακολουθεί με ποσοστό 25% η κατηγορία «χαμηλής» περατότητας. Ο σχηματισμός του κροκαλοπαγούς είναι εκ φύσεως υδατοστεγής λόγω του μικρού του πορώδους, της συμπαγούς του δομής και της απουσίας ασυνεχειών με το βάθος. Για αυτό, οι τιμές του ιστογράμματος είναι απολύτως λογικές.

Μόνο μία εκ του συνόλου των τιμών αντιστοιχεί στην ομάδα της χαμηλής περατότητας και η οποία θα αναλυθεί στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη την σχέση της με το βάθος.



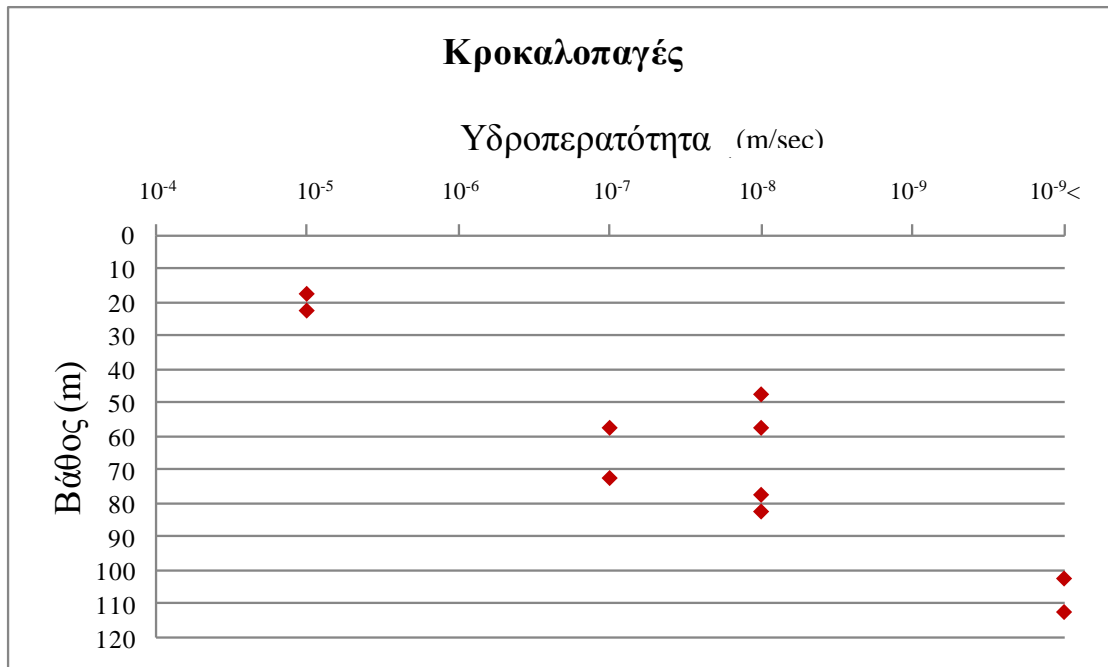
Η τιμή $k=1,10 \cdot 10^{-5}$ m/sec εντοπίζεται στο βάθος των 18-23m. Το συγκεκριμένο βάθος δύναται να περιλαμβάνει τις τελευταίες (σε βάθος) από τις ασυνέχειες στην επιφανειακή ζώνη των κροκαλοπαγών και να βρίσκεται υπό την επιρροή των ατμοσφαιρικών συνθηκών (π.χ. ύγρανση- ξήρανση, αποσάθρωση συγκολλητικού υλικού, χαλάρωση, αποσυμπίεση, αποδιοργάνωση, κ.α.). Ειδικά αποτελεί ζώνη διάτμησης. Αν το συγκολλητικό υλικό του κροκαλοπαγούς είναι ασβεστιτικό τότε στο βάθος αυτό πιθανόν να απαντήθηκε καρστικοποιημένο, κάτι που αυξάνει την ευκολία κίνησης του εισπνεζόμενου νερού και συνεπώς την τιμή περατότητας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρείται γραφικά μία συνεχής μείωση των τιμών περατότητας με την αύξηση του βάθους (μετά από απόλειψη των ακραίων τιμών), το οποίο επιβεβαιώνεται από τον συντελεστή συσχέτισης $R^2=0,8466$ που πλησιάζει περισσότερο την μονάδα, παρά το μηδέν και συνεπώς υποδεικνύει ότι η παράμετρος περατότητας και η παράμετρος του βάθους σχετίζονται μεταξύ τους.

Το παραπάνω, βρίσκεται εντός λογικών πλαισίων, διότι γενικά, ισχύει ότι στις αδιατάρακτες φλυσχικές βραχώμαζες, ο κερματισμός μειώνεται αισθητά με το βάθος και η συνολική διαπερατότητα εξαρτάται ολόενα και περισσότερο από την ενδοκοκκώδη διαπερατότητα (cf. V.F. Linecki, 1961; R.S. Korystiansky, 1966 et al). Το κροκαλοπαγές

είναι θετικό ως προς τα προαναφερθέντα και σε συνδυασμό με το γεγονός του μικρού του πορώδους, αποτυπώνεται ως προς την περατότητά του με βάση το ακόλουθο διάγραμμα διασποράς.

Από την προηγούμενη γραμμική συσχέτιση αποκλείει μόνο η τιμή $k=3,59 \cdot 10^{-7}$ m/sec και $k=1 \cdot 10^{-10}$ m/sec οι οποίες παρατηρούνται σε μικρότερο βάθος των 4,5-6,3m και 44-49m αντίστοιχα, συγκριτικά με τις όμοιές τους στα 60-70m και 100-110m αντίστοιχα. Αυτές δεν συμπεριλήφθηκαν στο διάγραμμα.



Ο πίνακας 4.2.5.1.1 που παραθέτεται στη συνέχεια συγκεντρώνει τις μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές υδροπερατότητας των σχηματισμών καθώς και το πλήθος τιμών που αξιολογήθηκαν.

Φλύσχος σχηματισμός	MAX (m/s)	Βάθος (m)	MIN (m/s)	Βάθος (m)	MEAN (m/s)	N
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες	$1 \cdot 10^{-4}$	19	$5,5 \cdot 10^{-9}$	60	$2,45 \cdot 10^{-6}$	57
Ιλυόλιθος	$1,1 \cdot 10^{-5}$	21	$1 \cdot 10^{-8}$	58	$1,1 \cdot 10^{-6}$	17
Ψαμμίτης	$7,6 \cdot 10^{-7}$	10	$1,9 \cdot 10^{-9}$	18	$2,09 \cdot 10^{-7}$	9
Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	$4 \cdot 10^{-6}$	9	$8,9 \cdot 10^{-9}$	28	$5,72 \cdot 10^{-7}$	70
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου	$1 \cdot 10^{-4}$	8	$7,7 \cdot 10^{-9}$	18	$3,6 \cdot 10^{-6}$	42
Κροκαλοπαγές	$1 \cdot 10^{-5}$	21	$1 \cdot 10^{-10}$	47	$1,7 \cdot 10^{-6}$	12

Πίνακας 4.2.5.1.1: Μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές υδροπερατότητας με το αντίστοιχο βάθος τους για κάθε σχηματισμό του φλύσχη

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η επίδραση το υπόγειου νερού στις μηχανικές ιδιότητες των βράχων του φλύσχη είναι ιδιαίτερα σημαντική και ειδικότερα στον ιλυόλιθο και αργιλικό σχιστόλιθο που είναι πιο επιδεκτικοί στις μεταβολές τις υγρασίας και προκαλούν προβλήματα στα τεχνικά έργα.

Από τα 234 δεδομένα των γεωτρήσεων του συστήματος TIAS, ως μέση περατότητα για τον φλύσχη, υπολογίζεται η τιμή $k=2,02 \cdot 10^{-6}$ m/sec, που ανήκει στην κατηγορία της «χαμηλής» περατότητας, δηλαδή αποτελεί σχηματισμό τυπικά αδιαπέρατο.

Αν απαλειφθούν οι πολύ μεγάλες (ακραίες) τιμές, προκύπτει συντελεστής υδροπερατότητας $k=7,46 \cdot 10^{-7}$ m/sec, της ίδιας κατηγορίας. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από την παρατήρηση των μέσων τιμών των παραπάνω σχηματισμών του φλύσχη. Ως αποτέλεσμα της χαμηλής περατότητας, το νερό δεν μπορεί να αποστραγγιστεί και συνεπώς μειώνει την ενεργό τάση και την διατμητική αντοχή της βραχώμαζας.

Επίσης από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι τιμές περατότητας των έξι αντιπροσωπευτικών σχηματισμών του φλύσχη δεν διαφέρουν αισθητά μεταξύ τους. Σύμφωνα με τον Μαρίνο Β. (2014), αυτό οφείλεται στην τεκτονική διαταραχή που υπέστη το σύνολο του σχηματισμού του φλύσχη και στην «ομογενοποίηση» που έχει επιτευχθεί από την συμπίεση και την πτύχωσή του. Μόνο το κροκαλοπαγές εμφανίζει ορισμένες πολύ χαμηλότερες τιμές περατότητας.

Υπάρχει απουσία συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων βάθους και τιμής περατότητας, εκτός από την περίπτωση του κροκαλοπαγούς. Είναι προφανές όμως ότι, η κάθε μέγιστη και ελάχιστη τιμή του πίνακα 4.5.2.1.1 για τους παραπάνω σχηματισμούς, βρίσκεται αντίστοιχα σε μικρότερο και μεγαλύτερο βάθος, με μεταξύ τους σύγκριση.

Επίσης, οι γραμμικές γραμμές τάσης για κάθε διάγραμμα διασποράς φανέρωσαν μία ελαφριά τάση για μείωση της περατότητας με το βάθος, αλλά προφανώς, η τεκτονική διαταραχή στο σύνολο της μάζας του φλύσχη και οι άστατες συνθήκες υπό τις οποίες παρουσιάζεται σήμερα, δεν επιτρέπουν την ξεκάθαρη αυτή σχέση.

Σύμφωνα με τον Jan Jetel (1985), συνήθως η μεγαλύτερη περατότητα στον φλύσχη παρατηρείται στην περίπτωση των εναλλαγών λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες και κυρίως όταν αυτοί εμφανίζονται τεκτονισμένοι. Αυτό ενισχύεται από την παρατήρηση της γραμμικής γραμμής τάσης που για το συγκεκριμένο διάγραμμα του σχηματισμού, αυξάνονταν ελαφριά με το βάθος.

Ακολουθεί πίνακας με την τυπική απόκλιση των σχηματισμών.

Φλυσχικός σχηματισμός	Τυπική απόκλιση- Standard Deviation (STDEV)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες	$1,13 \cdot 10^{-5}$
Ιλυόλιθος	$1,07 \cdot 10^{-5}$
Ψαμμίτης	$1,78 \cdot 10^{-6}$
Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	$9,73 \cdot 10^{-6}$
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου	$1,16 \cdot 10^{-5}$
Κροκαλοπαγές	$2,5 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 4.2.5.1.2: Τυπική απόκλιση των τιμών υδροπερατότητας των φλυσχικών σχηματισμών.

4.2.6. Βαθμός αποσάθρωσης

Αποσάθρωση ονομάζεται το σύνολο των διεργασιών που συντελούν στην καταστροφή των πετρωμάτων (θρυμματισμός και χαλάρωση) εξαιτίας της έκθεσής τους κοντά στην επιφάνεια της γης, δηλαδή οφείλεται καθαρά στην επίδραση εξωγενών παραγόντων. Αναμένεται λοιπόν στην ακόλουθη εξέταση του σχηματισμού του φλύσχη, η βραχόμαζα επιφανειακά να χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο βαθμό αποσάθρωσης, συγκριτικά με το βάθος.

Αυτή, διακρίνεται σε φυσική ή μηχανική και σε χημική αποσάθρωση. Λαμβάνει χώρα είτε στις επιφάνειες των ασυνεχειών, είτε στην μάζα του υλικού, είτε και στα δύο. Συγκεκριμένα, η φυσική αποσάθρωση περιλαμβάνει τις διεργασίες κρυστάλλωσης (π.χ. πάγος), διεργασίες μεταβολής της θερμοκρασίας και της πίεσης (π.χ. έκθεση στον ήλιο, απολέπιση), τη μεταβολή της υγρασίας (ύγρανση- ξήρανση, διόγκωση) και τις οργανικές διεργασίες όπως την επίδραση του ριζικού συστήματος των φυτών στα πρώτα μέτρα από την επιφάνεια. Από την άλλη πλευρά, κύριος παράγοντας της χημικής αποσάθρωσης είναι το νερό.

Η ένταση της αποσάθρωσης, δηλαδή ο «βαθμός αποσάθρωσης» εξαρτάται από:

- τη φύση και τη δομή του ιστού του «άρρηκτου» πετρώματος, μικροσκοπικά
- τον κερματισμό της δομής, μακροσκοπικά
- την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος
- το πορώδες
- την κατανομή και την έκταση των ασυνεχειών που το διατέμνουν
- τις επαφές και τις συνδέσεις των ορυκτών μεταξύ τους (όσο πιο ισχυρές τόσο περισσότερο η βραχόμαζα διατηρεί την ακεραιότητά της)(Knill,1993)
- τις κλιματολογικές συνθήκες
- τη σύσταση του υλικού συγκόλλησης για τον ψαμμίτη και την φύση των ιλυολιθικών και αργιλικών ορυκτών για τις ιλυοαργιλικές βραχόμαζες.

Η εξεταζόμενη περίπτωση, αφορά είτε κρυσταλλικές βραχώμαζες (π.χ. ψαμμίτης) των οποίων αλλοιώνονται τα ορυκτολογικά τους συστατικά και παράγονται δευτερογενή αργιλικού χαρακτήρα, είτε ιλυοαργιλικές βραχώμαζες με ορυκτά ευαίσθητα στην ύγρανση-ξήρανση που οδηγεί σε χαλάρωμα των δεσμών και σε αποδιοργάνωσή τους (Μαρίνος Β., 2007).

Στην περίπτωση των κρυσταλλικών βραχομαζών, τα παράγωγα της φυσικής και χημικής αποσάθρωσης επιφέρουν αύξηση του όγκου της βραχώμαζας και των εσωτερικών πιέσεων ανάμεσα στα ορυκτά της, καθώς καλύπτουν συνήθως το υγιές πέτρωμα. Επίσης ως αποτέλεσμα, αυξάνεται το πορώδες, χαλαρώνουν οι συνδέσεις των ορυκτών μεταξύ τους, μειώνεται η αντοχή των ασυνεχειών ή/και της βραχώμαζας και τα νέα παραγόμενα ορυκτά επικάθονται στους πόρους και στις ασυνέχειες (Μαρίνος Β., 2007). Ακόμη, οι ασυνέχειες επιμηκύνονται και όταν η αποσάθρωση επεκταθεί πέρα από αυτές, στον άρρηκτο βράχο, τότε του απομειώνει την αντοχή.

Στην περίπτωση των ιλυοαργιλικών βραχομαζών, η επιφανειακή διαδικασία της ύγρανσης-ξήρανσης επιταχύνει την φυσική και χημική αποσάθρωση, αποδιοργανώνει τους δεσμούς μεταξύ των ορυκτών και αλλοιώνει τα αρχικά χαρακτηριστικά της, μειώνοντας την ανθεκτικότητά της στην περίπτωση που «φιλοξενεί» τεχνικό έργο. Αυτά υφίστανται σχάση όταν αποσυμπιεστούν, εκτεθούν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και γενικώς πάψουν να περιορίζονται από το αρχικό τους περιβάλλον, με αποτέλεσμα την αύξηση των ασυνεχειών των στρώσεων και την επακόλουθη αποσάθρωσή τους.

Ταξινόμηση	Περιγραφή
Υγιές (fresh)	Κανένα ίχνος αποσάθρωσης
Αποχρωματισμένο (discoloured)	Το χρώμα του μητρικού πετρώματος έχει αλλάξει. Αν η αλλαγή του χρώματος περιορίζεται σε μερικά ορυκτά πρέπει να αναφέρεται.
Αποσυνθεμένο (decomposed)	Το πέτρωμα έχει μετατραπεί σε έδαφος, ο αρχικός του ιστός διατηρείται, αλλά μερικοί ή όλοι οι κρύσταλλοι έχουν αποσυντεθεί.
Θρυμματισμένο (disintegrated)	Το πέτρωμα έχει μετατραπεί σε εύθρυπτο υλικό, ο αρχικός του ιστός διατηρείται και οι κρύσταλλοι δεν έχουν αποσυντεθεί

Πίνακας 4.2.6.1: Αποσάθρωση βραχώδους υλικού (ISRM, 1981 και B.S. 5930, 1981)

Σύμφωνα λοιπόν με την ISRM (International Society of Rock Mechanics), ο βαθμός αποσάθρωσης κατατάσσεται σε έξι κατηγορίες (I έως VI), με θεωρητική «έβδομη» την δημιουργία ακόμη και εδάφους στο τελικό στάδιο, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Βαθμοί αποσάθρωσης βραχωδών δειγμάτων		
Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή	Κατηγορία κατά ISRM
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	I
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II
Ολίγον αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III
Μετρίως αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα.	IV
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού	V
Πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής	VI
Έδαφος	Η υφή και δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-

Πίνακας 4.2.6.2: Βαθμοί αποσάθρωσης βραχωδών δειγμάτων που προτείνει η ISRM (anonymous, 1981)

Η υπό εξέταση φλυσική βραχώμαζα είναι μία από τις σύνθετες βραχώμαζες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ακανόνιστη αποσάθρωση, έχοντας διάφορους τρόπους γένεσης και ανάπτυξης της (Μαρίνος Β., 2007), καθώς είναι δεδομένη η δυσκολία κατηγοριοποίησης της βραχώμαζας ξεκάθαρα σε μία μόνο από τις έξι κατηγορίες αποσάθρωσης. Συνεπώς, προκύπτει η ανάγκη για τον χαρακτηρισμό της με συνδυασμό δύο κατηγοριών αποσάθρωσης(π.χ. II-III).

Όπως προαναφέρθηκε, ισχύει η γενική παραδοχή ότι, τόσο οι ασυνέχειες όσο και η μάζα του βραχώδους δείγματος παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό αποσάθρωσης ανάλογα με το βάθος και συγκεκριμένα αυτός μειώνεται με την αύξηση του βάθους, αφού οι ασυνέχειες είναι όλο και πιο κλειστές. Αναμένουμε λοιπόν στα ακόλουθα διαγράμματα «βαθμού αποσάθρωσης – βάθους (m)», με την αύξηση του βάθους, να απαντάται μικρότερη κατηγορία βαθμού αποσάθρωσης («ανεβαίνει» κατηγορία), δηλαδή πιο υγιές πέτρωμα.

Από την άλλη πλευρά, είναι γενικά αποδεκτό ότι με την αύξηση της παρουσίας «ευκολότερα αποσαθρώσιμων» ορυκτών (π.χ. ασβεστιτικά, αστριούχα, σιδηρούχα, κ.λπ.), την αύξηση του κερματισμού, των ασυνεχειών και του πορώδους και άρα την ευκολότερη κίνηση του νερού μέσα στο πέτρωμα, η αποσάθρωση να αυξάνεται και να «πέφτει» κατηγορία, πλησιάζοντας τη μορφή εδάφους.

4.2.6.1. Στατιστική επεξεργασία των τιμών και η σχέση τους με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων

Στη συνέχεια παραθέτονται τα ιστογράμματα και τα διαγράμματα διασποράς για τον βαθμό αποσάθρωσης των σχηματισμών του φλύσχη και σχολιάζονται. Η κατηγοριοποίηση λαμβάνει χώρα με βάση τον πίνακα 4.2.6.2 της ISRM και τα δεδομένα προέρχονται από την βάση TIAS.

Για τα τελευταία διευκρινίζεται ότι, οι καταγραφές που περιλάμβαναν δύο κατηγορίες αποσάθρωσης ως χαρακτηρισμό της βραχώμαζας, δηλαδή τα ζεύγη: I-II, II-III, III-IV, IV-V, V-VI, συμπεριλήφθηκαν σε μία από τις έξι βασικές κατηγορίες,

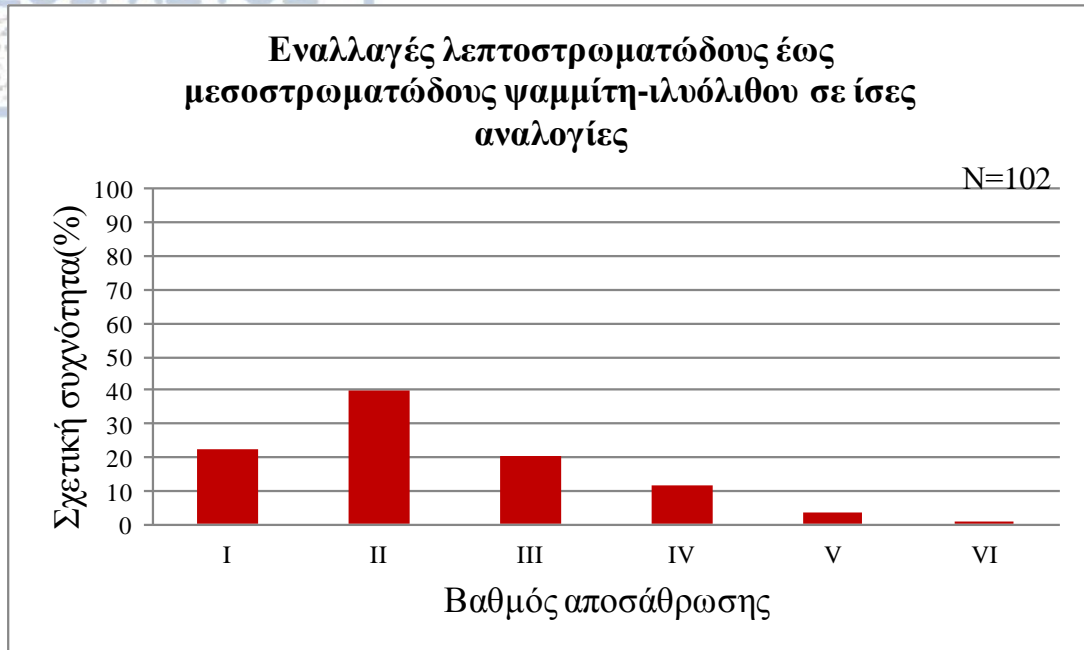


θέτοντας σε ισχύ την παραδοχή του «χειρότερου» σεναρίου (π.χ. η τιμή I-II συμπεριλήφθηκε-καταμετρήθηκε στην κατηγορία II και όχι στην I).

Στα παρακάτω διαγράμματα δεν έχουν αφαιρεθεί οι ακραίες τιμές που επηρεάζουν την στατιστική κατανομή και την συσχέτιση της αποσάθρωσης με το βάθος, με σκοπό τον εντοπισμό και σχολιασμό τους ως προς της γεωλογία. Παρόλαυτα δεν παρεμποδίζεται η εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την σχέση των δύο παραμέτρων, αντιθέτως, είναι προφανής (εκθετική).

Αρχικά, για τον σχηματισμό του φλύσχη που αποτελείται **από εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες**, γίνεται εμφανές από το αντίστοιχο ιστόγραμμα ότι, κυριαρχεί ο βαθμός αποσάθρωσης II (40,2%), δηλαδή, με βάση την περιγραφή του πίνακα 6, η αποσάθρωση περιορίζεται κυρίως στις επιφάνειες των ασυνεχειών, ενώ ακολουθούν σχεδόν ισόποσες (~21%) οι κατηγορίες I και III (καθόλου έως λίγο αποσαθρωμένο). Συνεπώς, σε ποσοστό περίπου 83% ο συγκεκριμένος σχηματισμός χαρακτηρίζεται από απουσία αποσάθρωσης έως και έντονα αποσαθρωμένες ασυνέχειες, με ελαφριά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού.

Βέβαια, δεν απουσιάζουν οι μικρότερες τιμές αποσάθρωσης IV έως και VI, αλλά αυτές καταλαμβάνουν πολύ μικρότερο ποσοστό. Μόλις μία τιμή από τις 102 αντιστοιχήθηκε στην κατηγορία VI, τέσσερις τιμές στην V και 12 τιμές στην IV.

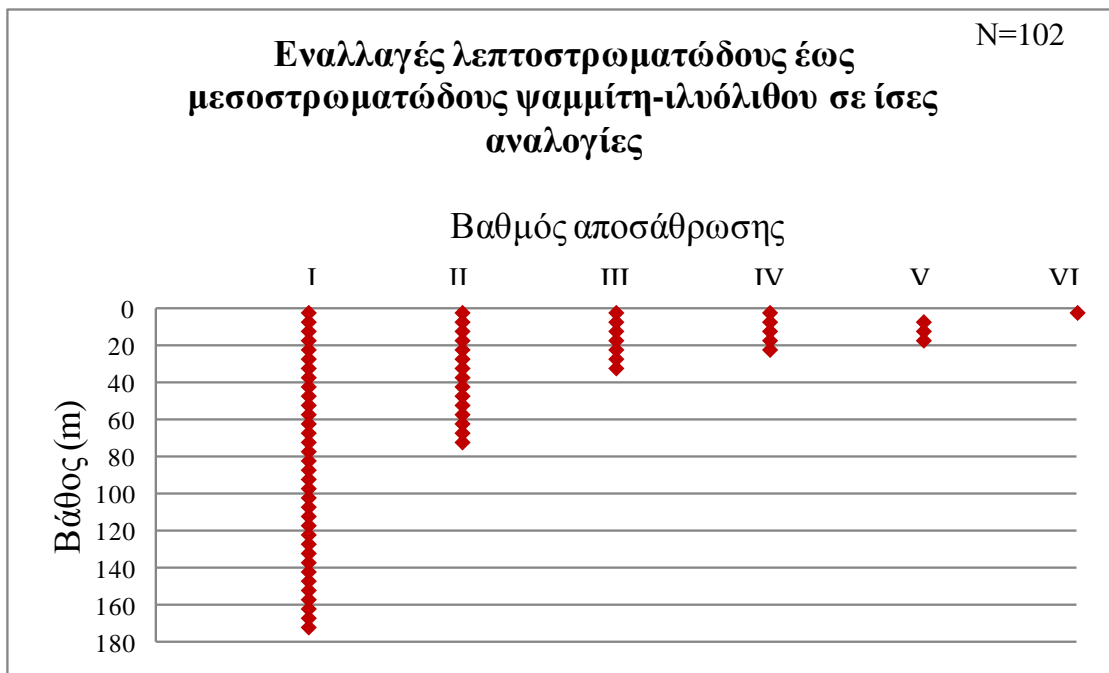


Από το διάγραμμα διασποράς για τον υπό εξέταση σχηματισμό, γίνεται αντιληπτό ότι, οι τιμές αποσάθρωσης παρουσιάζουν αύξηση με την αύξηση του βάθους, δηλαδή οι μεγαλύτερες τιμές αποσάθρωσης (εντονότερη αποσάθρωση) εντοπίζονται μόνο στα πρώτα μέτρα βάθους (έως ~20m), ενώ οι μικρότερες τιμές συνεχίζουν βαθύτερα. Η σχέση των δύο παραμέτρων είναι εκθετική. Αυτό είναι λογικό, διότι η επιφανειακή αποσάθρωση της βραχώμαζας, είναι η εντονότερη όλου του σχηματισμού και οφείλεται στην επίδραση των προαναφερθέντων (ατμοσφαιρικών) παραγόντων που οδηγούν σε φυσική και χημική αποσάθρωση.

Η επιφανειακή ζώνη ορίζεται έως το βάθος των 2-3m, όμως στην συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται εντονότατη αποσάθρωση κατηγορίας V και IV, σε βάθος έως και 20m περίπου. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στην τεκτονική διαταραχή του συγκεκριμένου σχηματισμού, στην παρουσία πτυχωμένων και ανορθωμένων στρωμάτων που διευκολύνουν κυρίως την διαδικασία της χημικής αποσάθρωσης.

Αξίζει να αναλυθεί περεταίρω η παρουσία αποσάθρωσης κατηγορίας I, ήδη από το βάθος των 1,20m έως τα 20,4m. Η απουσία αποσάθρωσης και η παρουσία υγιούς πετρώματος στο βάθος μέχρι τα 2-3m που ανήκει στην επιφανειακή ζώνη, σχετίζεται πιθανόν με την τιμολόγηση ψαμμιτικού και όχι ιλυολιθικού σώματος των εναλλαγών,

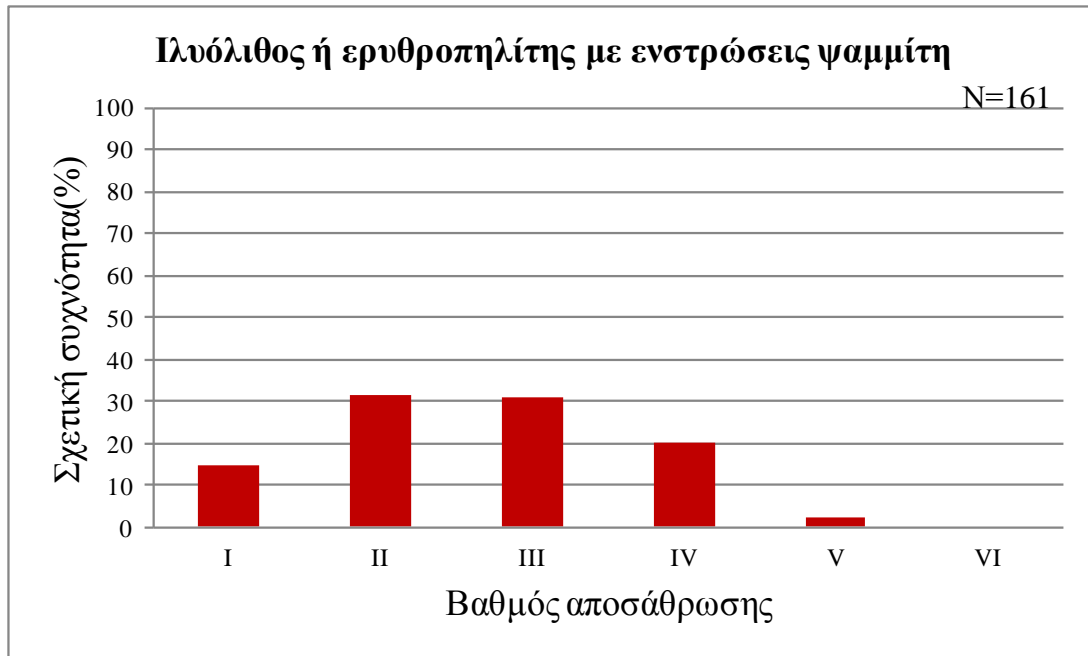
αφού το τελευταίο, αμέσως μετά την έκθεσή του στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, υπόκειται σε σχάση, μεταπίπτει σε εύθρυπτο και χαλαρώνει η μάζα του, όντας πιο ευαίσθητος στην επιφανειακή αποσάθρωση. Εξαιρέση αποτελεί η περίπτωση βαθμονόμησης τμήματος που πρόσφατα έχει αποκαλυφθεί στην επιφάνεια με τεχνητό τρόπο και η αποσάθρωση δεν έχει προλάβει ακόμη να επιδράσει. Αντίθετα, η ψαμμιτική βραχώμαζα εμφανίζεται ανθεκτικότερη στην αποσάθρωση από τον ιλυόλιθο, καθώς σημαντικό ρόλο παίζει και το συνδετικό της υλικό.



Για τον σχηματισμό του φλύσχη που αποτελείται από **ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη**, παραθέεται το παρακάτω ιστόγραμμα, στο οποίο φαίνεται να συμμετέχουν κυρίως οι κατηγορίες II και III με ποσοστό 31% έκαστη, ενώ ακολουθεί η IV με ποσοστό συμμετοχής 19,88%. Παρατηρήθηκαν επίσης ορισμένες τιμές αποσάθρωσης I (λογικά σε βάθος που δεν επηρεάζεται από τις επιφανειακές συνθήκες), καθώς και τέσσερις τιμές από τις 161 με αποσάθρωση V (λογικά από τιμολόγηση ιλυόλιθου ή ψαμμίτη στην επιφανειακή ζώνη). Ακριβής γεωλογική επεξήγηση θα δοθεί στην συνέχεια.

Στον σχηματισμό κυριαρχεί ο ιλυόλιθος με αποτέλεσμα να καθορίζει σε μεγαλύτερο βαθμό, σε σχέση με τον ψαμμίτη, τον βαθμό αποσάθρωσης. Σύμφωνα με τον

πίνακα 4.2.6.2, ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται κυρίως από ελάχιστη αποσάθρωση έως μέτρια αποσάθρωση (εκτεταμένη στην μάζα του υλικού).



Το διάγραμμα διασποράς για τον εξεταζόμενο σχηματισμό παρουσιάζει τις τιμές αποσάθρωσης να αυξάνονται με την αύξηση του βάθους και συσχετίζονται εκθετικά.

Από την παραπάνω κατάσταση αποκλίνει η περίπτωση της αποσάθρωσης III στο μεγάλο βάθος των 169-174m που οφείλεται πιθανόν στην παρουσία ζώνης διάτμησης στο συγκεκριμένο βάθος. Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι στα αμέσως προηγούμενα και αμέσως επόμενα εκατοστά της ίδιας γεώτρησης, η αποσάθρωση είναι μικρότερου βαθμού (II).

Ακόμη, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της ύπαρξης τιμών αποσάθρωσης I, σε βάθος μόλις 1,3-6,1m. Η συγκεκριμένη τιμή στο μικρό βάθος, δεν βρίσκεται εντός λογικών πλαισίων, αφού ο ιλυόλιθος επηρεάζεται επιφανειακά μέχρι και το βάθος των 5m περίπου, από τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν για τους προηγούμενους σχηματισμούς. Ο μοναδικός πιθανός λόγος για τον οποίο δύναται να απουσιάζει η αποσάθρωση από το βάθος των 1,3-6,1m είναι η πρόσφατη τεχνητή αποκάλυψη του σχηματισμού, ο οποίος δεν έχει «προλάβει» να επηρεαστεί από τις ατμοσφαιρικές

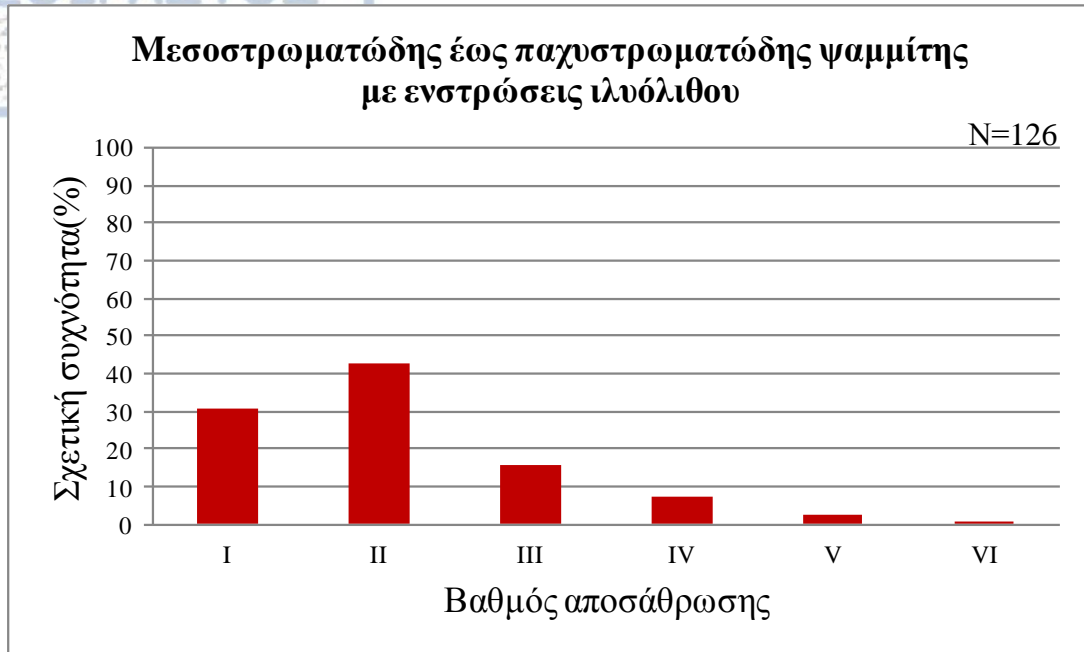
συνθήκες ή ακόμη και η παρουσία ανθεκτικής στην αποσάθρωση ψαμμιτικής ένστρωσης ή ενστρώσεων σε πολύ μικρό βάθος που εμποδίζουν την εισχώρηση του νερού στα βαθύτερα στρώματα.



Το ιστόγραμμα του μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλύολιθου τονίζει την κυριαρχία των τιμών αποσάθρωσης II με ποσοστό 42,86%, ενώ ακολουθεί η αποσάθρωση κατηγορίας I και III με ποσοστά 30,95% και 15,87% αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.2.6.2, ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται κυρίως από απουσία αποσάθρωσης έως λίγη αποσάθρωση (έντονη στις ασυνέχειες, ελαφριά στην μάζα του υλικού).

Στον συγκεκριμένο σχηματισμό, ο ψαμμίτης επικρατεί του ιλύολιθου και δεδομένου ότι είναι περισσότερο ανθεκτικός στην αποσάθρωση, οι τιμές της καθορίζονται κυρίως από αυτόν και είναι προφανώς μεγαλύτερες συγκριτικά με τον προηγούμενο εξετασθέντα σχηματισμό του ιλύολιθου με ενστρώσεις ψαμμίτη.

Μόνο μία εκ των 126 τιμών ανήκει στην VI κατηγορία, μόνο τρεις στην V και εννιά στην IV. Η σημασία των τιμών αυτών αναλύεται ακολούθως, με τη βοήθεια της παραμέτρου του βάθους.



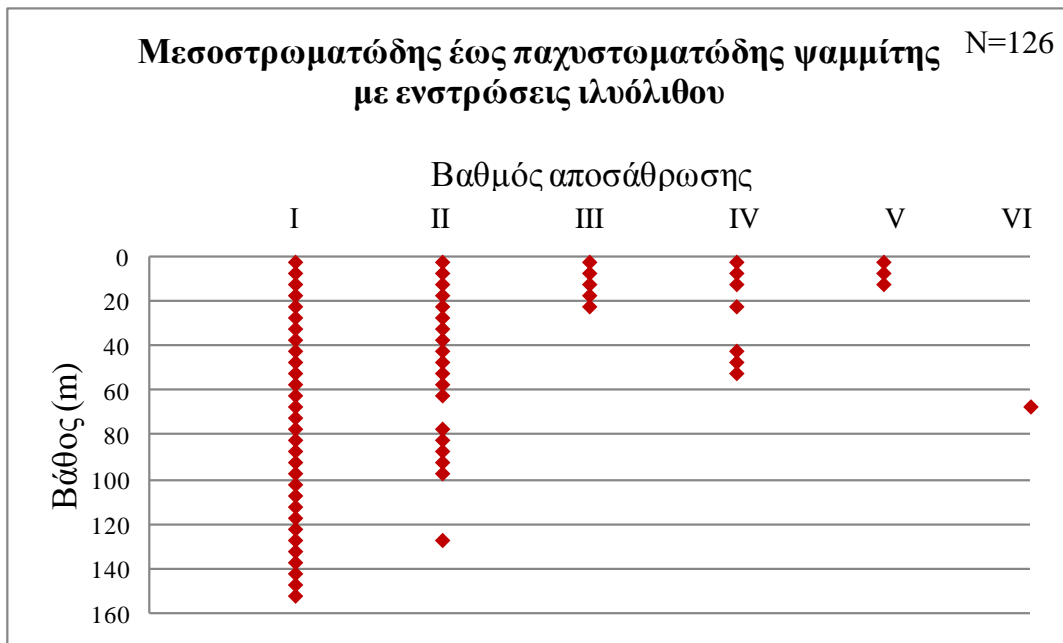
Γενικά οι παράμετροι σχετίζονται εκθετικά μεταξύ τους.

Η IV τιμή αποσάθρωσης βρίσκεται στο σημαντικό βάθος των 64-70m που υποδεικνύει ξεκάθαρα την ύπαρξη ζώνης ρήγματος. Η άποψη αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι στα δεδομένα των γεωτρήσεων, αμέσως ρηχότερα, στο βάθος 13-64m και αμέσως βαθύτερα στα 70-155m, η αποσάθρωση είναι απύσα και βαθμολογείται με I. Ως γνωστόν, είναι δυνατό το νερό της βροχής διαμέσου ρηγμάτων, να φτάσει σε μεγάλα βάθη και να δημιουργήσει ζώνες έντονης εξαλλοίωσης, με αποχωρισμό των επιφανειών στρώσης, ακόμη και απουσία υλικού πλήρωσης. Επίσης, οι λεπτές ενστρώσεις ιλυόλιθου λειτουργούν πολλές φορές ως «παγίδες» νερού περιμετρικά των ψαμμιτικών πάγκων και τους αποσαθρώνουν κατά μήκος τους.

Όσον αφορά τις τιμές V, εντοπίζονται από το βάθος των 1 έως 13m και προφανώς οφείλονται στην επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην μάζα του πετρώματος, όπως προαναφέρθηκαν στην εισαγωγή του κεφαλαίου της αποσάθρωσης. Ο τρόπος με τον οποίο αποσαθρώνονται επιφανειακά οι ψαμμιτικοί πάγκοι, είναι σφαιρικά, με συγκεντρικούς φλοιούς απομειούμενου βαθμού αποσάθρωσης που σχηματίζονται με την κυκλοφορία του νερού σε ασυνέχειες που περιβάλλουν τον άρρηκτο βράχο. Έπειτα η αποσάθρωση μεταφέρεται από τις ασυνέχειες και στην μάζα του βράχου και εν τέλει

αυτοί, σχηματίζουν ασύνδετους ψαμμιτικούς ογκόλιθους. Επίσης, η παρουσία αστρίων στην ψαμμιτική μάζα ενισχύει την επιφανειακή αλλοίωση-καολινίωση, κατά τις θερμές και ψυχρές περιόδους και αυξάνει την ευθρυπτότητά τους.

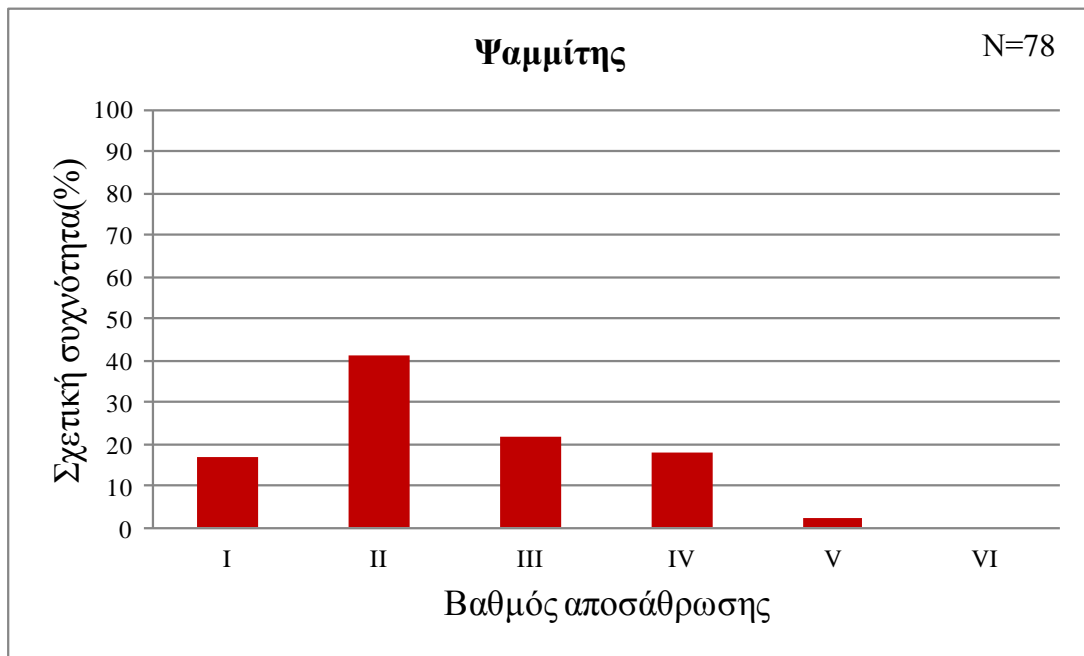
Η τιμή IV καταλαμβάνει βάθη μικρά (όπως είναι λογικό από την επιφανειακή αποσάθρωση του ψαμμίτη) αλλά και μεγαλύτερα, μέχρι τα 52,5m. Παρατηρώντας τα δεδομένα των γεωτρήσεων, εντοπίστηκε η συγκεκριμένη τιμή στο βάθος 41-52,5 m μεταξύ δύο μικρότερων τιμών αποσάθρωσης κατηγορίας II, στα βάθη 1,7-30m και 52,5-52,7m, ενώ απουσιάζουν δεδομένα αποσάθρωσης για το βάθος των 30-41m. Το γεγονός ότι σε μικρότερο βάθος η αποσάθρωση έχει μικρότερη ένταση από αυτήν σε μεγαλύτερο βάθος, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η εξεταζόμενη ζώνη έχει πάχος 10m τουλάχιστον, προϋποθέτει για την ενδεχόμενη παρουσία κάποιας εξαλλοιωμένης ψαμμιτικής ζώνης ή/και ιλυολιθικής ένστρωσης μαζί, στην οποία μεταφέρθηκε νερό διαμέσου των ασυνεχειών και εξαλλοιώθηκε (ανάλογα το συγκολλητικό υλικό του ψαμμίτη, αν ασβεστιτικό, δύναται να καρστικοποιήθηκε).



Το ιστόγραμμα για τον **ψαμμίτη** φανερώνει την κυριαρχία, στον σχηματισμό, της αποσάθρωσης II με ποσοστό 41,03%, ακολουθούν σχεδόν ισόποσες οι κατηγορίες I, III, IV με συμμετοχή περίπου 17-21%, ενώ δύο τιμές απαντήθηκαν στην κατηγορία V. Ο

ψαμμίτης παρουσιάζεται σχετικά ανθεκτικός στην αποσάθρωση, η οποία ξεκινά από τις ασυνέχειες της ψαμμιτικής μάζας και επεκτείνεται έπειτα προς το εσωτερικό της. Συνεπώς, η ελάχιστη αποσάθρωση που κυριαρχεί, κρίνεται λογική.

Περαιτέρω ανάλυση πραγματοποιείται ακολούθως, λαμβάνοντας υπόψη και την παράμετρο του βάθους.

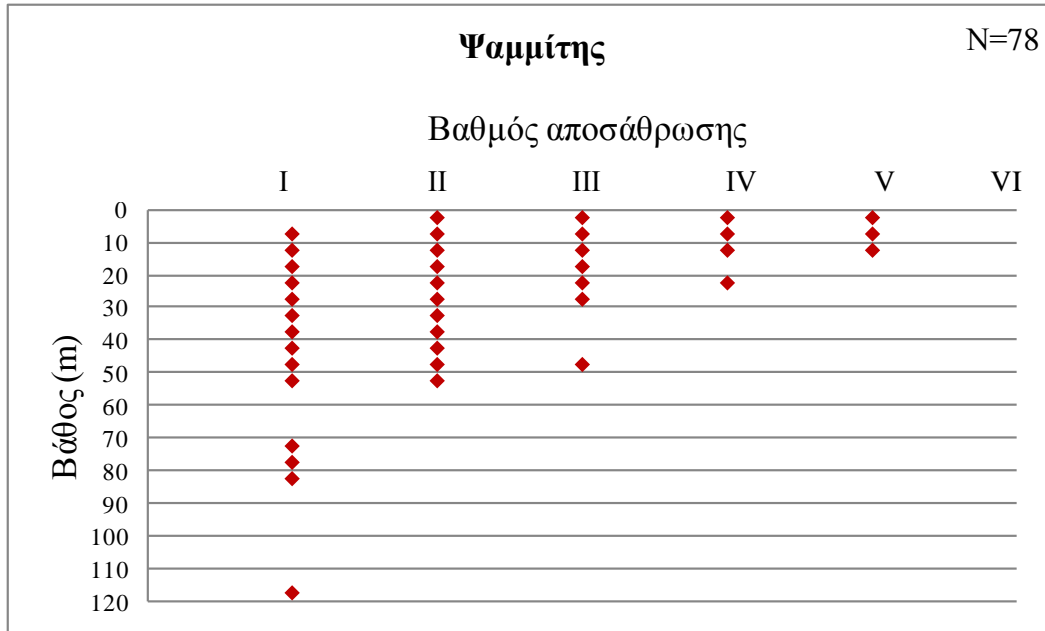


Στο διάγραμμα βάθους-αποσάθρωσης φαίνεται γραφικά η τάση για μείωση της αποσάθρωσης, με την αύξηση του βάθους (εκθετικά). Αυτό κρίνεται λογικό, διότι με το βάθος η δομή μεταπίπτει σε πιο κλειστή, δεν λαμβάνει χώρα χημική αποσάθρωση διαμέσου των ασυνεχειών και η επιφανειακή αποσάθρωση εξαιτίας της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών απουσιάζει. Η αποσάθρωση I ξεκινά να εμφανίζεται από τα 5m και κάτω, δηλαδή κάτω από την επιφανειακή ζώνη.

Η εντονότερη αποσάθρωση, κατηγορίας IV και V, περιορίζεται κυρίως στα πρώτα μέτρα βάθους, όπως είναι αναμενόμενο.

Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση που η IV αποσάθρωση εντοπίζεται σε βάθος 22-22,2m ενώ στην ίδια γεώτρηση, στο αμέσως προηγούμενο βάθος των 20,2-22 m, η αποσάθρωση είναι κατηγορίας II. Αυτό υποδεικνύει την ενδεχόμενη ύπαρξη ζώνης

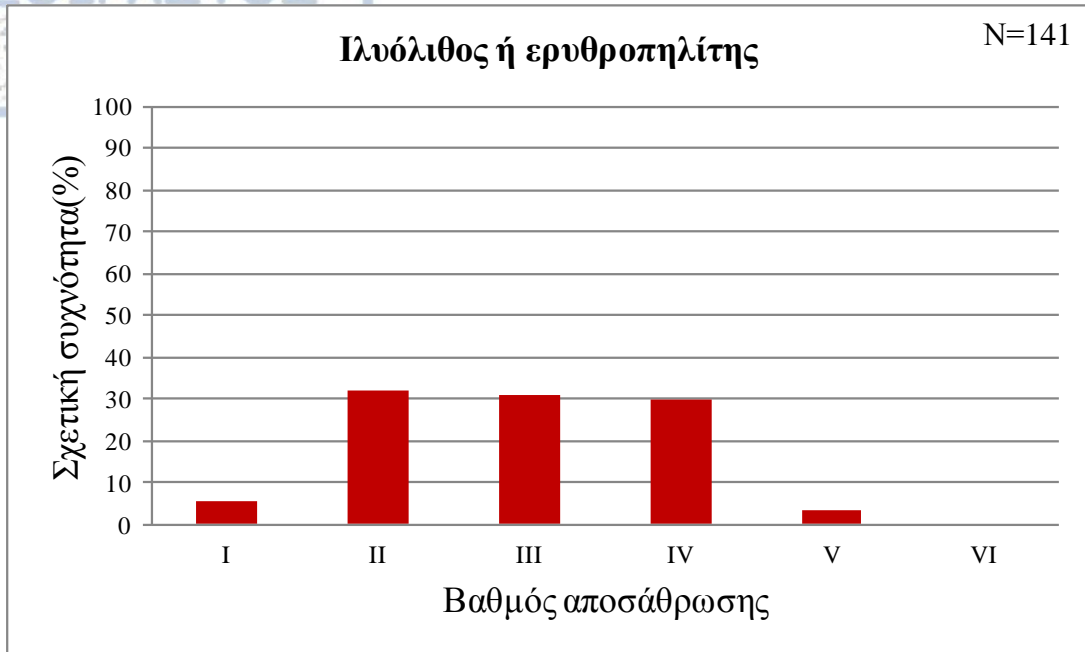
ρήγματος στο συγκεκριμένο βάθος. Δεδομένα για το βάθος των 22,2m και κάτω, απουσιάζουν, συνεπώς είναι αδύνατος ο προσδιορισμός του πάχους της. Στην ίδια κατάσταση εμφανίζεται πιθανόν το βάθος 45,6-46m με αποσάθρωση III, όπου ρηχότερά του στην ίδια γεώτρηση, απαντήθηκε αποσάθρωση μικρότερου βαθμού.



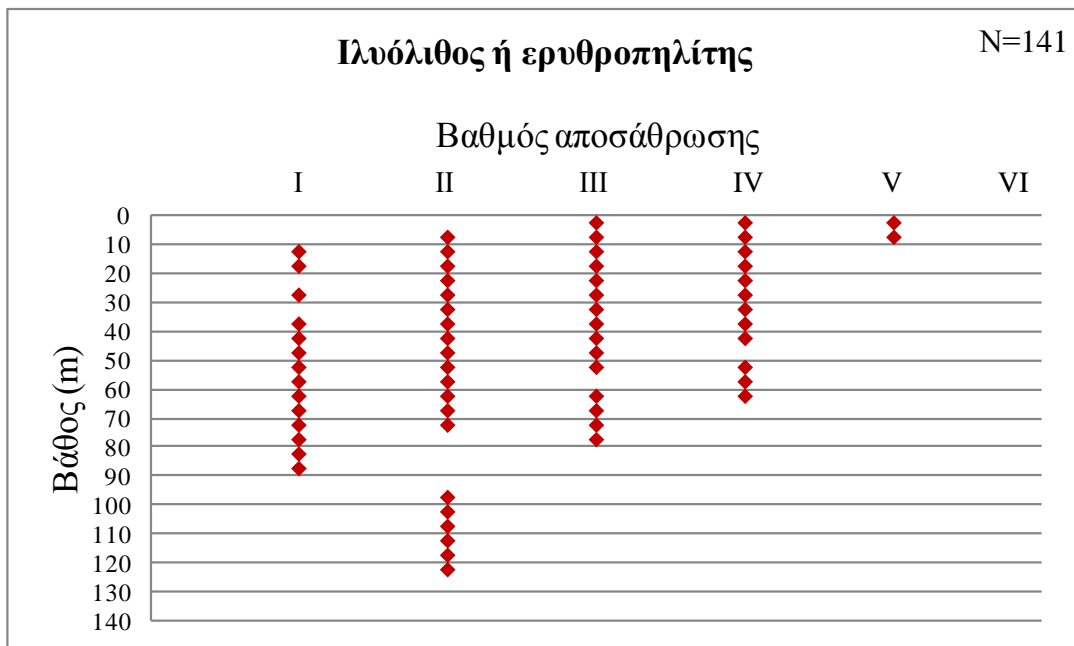
Από το ιστόγραμμα του **ιλύλιθου**, συμπεραίνεται ότι, κυριαρχούν οι κατηγορίες αποσάθρωσης II, III και IV με ποσοστό 30% έκαστη.

Ο ιλύλιθος εμφανίζεται πιο ευαίσθητος στην αποσάθρωση από τον ψαμμίτη. Αυτή περιορίζεται επιφανειακά κυρίως, αφού ως αδιαπέρατος σχηματισμός δεν επιτρέπει την κατείσδυση του νερού βαθύτερα και συνεπώς δεν ευνοεί την χημική αποσάθρωση.

Οι πέντε τιμές που έδωσαν απουσία αποσάθρωσης αναμένεται να παρατηρήθηκαν σε βάθος, ενώ οι 8 τιμές V της αποσάθρωσης επιφανειακά.

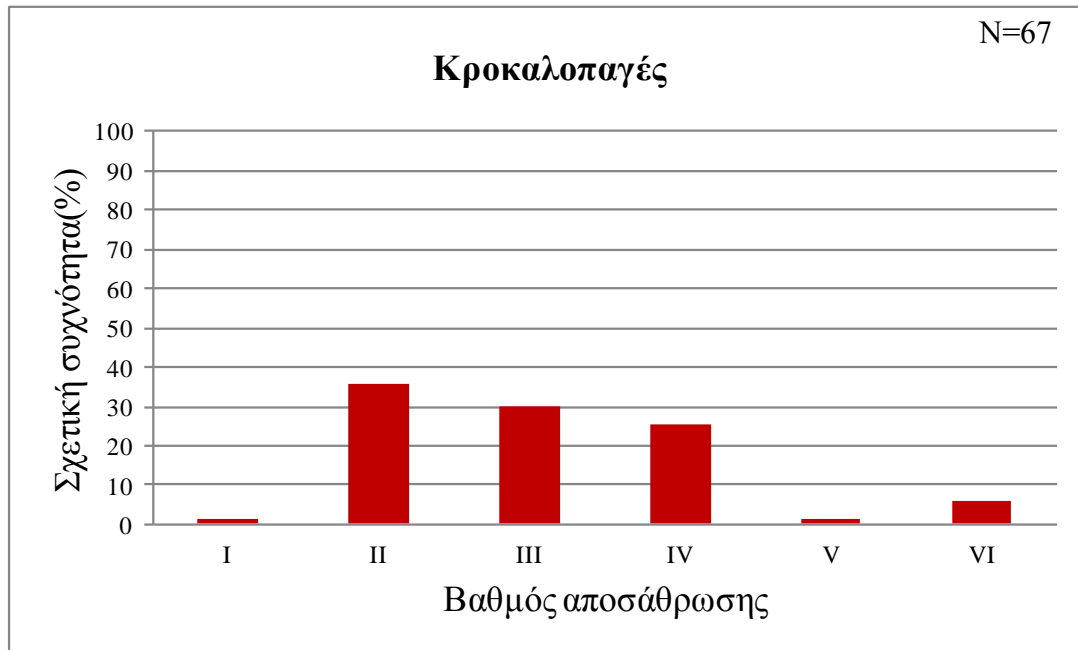


Με την παρατήρηση του παρακάτω διαγράμματος διασποράς επιβεβαιώνεται η προαναφερθείσα υπόθεση και γίνεται αντιληπτό ότι η αποσάθρωση μειώνεται εκθετικά με το βάθος.



Για τον σχηματισμό του **κροκαλοπαγούς**, κατασκευάστηκε ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας, από το οποίο συμπεραίνεται ότι η πλειοψηφία των τιμών ανήκει στην

κατηγορία II με ποσοστό 35,82%, ακολουθεί η IV με συμμετοχή 29,85% και η III με ποσοστό 25,37%. Μία μόνο τιμή εκ των 67, απαντήθηκε στην κατηγορία I, μία στην V, ενώ τέσσερις τιμές στην VI, οι οποίες θα αναλυθούν ακολούθως λαμβάνοντας υπόψη την παράμετρο του βάθους.



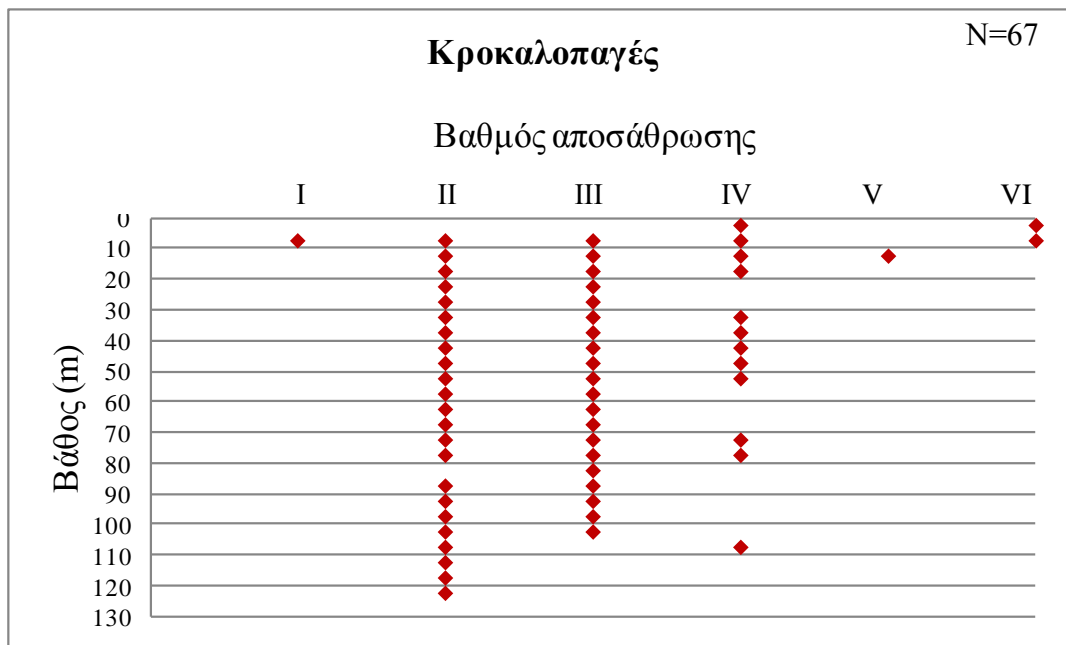
Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, η κατηγορία αποσάθρωσης I απουσιάζει από τα μεγάλα βάθη καθώς εντοπίζεται μόνο στο βάθος των 6,5-6,8m. Ο κροκαλοπαγής φλύσχος χαρακτηρίζεται κατά βάση από αποσάθρωση II και III δηλαδή αποσάθρωση που περιορίζεται κυρίως στην επιφάνεια των ασυνεχειών του και ελάχιστα στην μάζα του.

Το διάγραμμα διασποράς για το κροκαλοπαγές προβάλλει την κατηγορία VI της αποσάθρωσης να καταλαμβάνει τα πρώτα μέτρα από την επιφάνεια, όπως και είναι λογικό αυτός να έχει επηρεαστεί από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και την χαλάρωση της βραχώμαζας.

Από την άλλη πλευρά, με λεπτομερή παρατήρηση των βαθών και της αντίστοιχης αποσάθρωσής τους στη γεώτρηση που εντοπίστηκε η κατηγορία V, συμπεραίνεται ότι το βάθος των 10,2-13m αποτελεί ενδεχομένως ζώνη διάτμησης, αφού ρηχότερα αλλά και

βαθύτερα του συγκεκριμένου βάθους, η αποσάθρωση είναι μικρότερης κατηγορίας (II). Ο βαθμός αποσάθρωσης V, όπως υποδεικνύεται από τον πίνακα 4.2.6.2, οδήγησε σε ευθρυπτότητα και έντονη αποσάθρωση της μάζας του κροκαλοπαγούς, κάτι που ενισχύει την προαναφερθείσα άποψη. Ομοίως συμβαίνει και στο βάθος των 108-110,2m που εμφανίζει αποσάθρωση IV. Η ίδια κατηγορία αποσάθρωσης παρατηρείται και σε άλλα μεγάλα βάθη, ανάμεσα σε μικρότερες κατηγορίες αποσάθρωσης, και πιθανόν αποτελεί περιοχές ασυνεχειών που διατέμνουν βαθύτερα την μάζα του κροκαλοπαγούς.

Σε γενικές γραμμές, εντοπίζεται και εδώ η εκθετική σχέση των παραμέτρων, αν εξαιρεθεί η απουσία της αποσάθρωσης I από τα μεγάλα βάθη.



Από την παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων και την απάλειψη των «ακραίων» τιμών συμπεραίνεται ότι για κάθε σχηματισμό η αποσάθρωση μειώνεται με την αύξηση του βάθους, δηλαδή υπάρχει σαφής εκθετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Ειδικότερα, δύναται να εμφανιστεί επιφανειακά κάθε βαθμού αποσάθρωση αλλά με το βάθος μειώνεται, καθώς οι σχηματισμοί παύουν να επηρεάζονται από την ατμόσφαιρα, οι συνθήκες είναι πιο πλαστικές και το πέτρωμα υγιέστερο.

4.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ HOEK AND BROWN

4.3.1. Κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown

Το κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown προτάθηκε το 1980 έπειτα από μελέτες των δυο ερευνητών για τις μορφές αστοχίας του άρρηκτου βράχου και για την συμπεριφορά της βραχώμαζας αντίστοιχα. Δημιουργήθηκε για να περιγράφει τις οριακές καταστάσεις τασικής αστοχίας (σχέση μεταξύ των δύο κύριων τάσεων σ_1 και σ_3) των ισότροπων βραχομαζών που η συμπεριφορά τους ελέγχεται από το αλληλοκλείδωμα μεταξύ των βραχωδών τεμαχών. Αστοχία συμβαίνει επειδή η δημιουργούμενη εντατική κατάσταση ξεπερνάει την αντοχή της.

Εφαρμόζεται μόνο σε άρρηκτη βραχώμαζα, σε βραχώμαζα άνω των τριών ασυνχειών και σε έντονα ρωγματομένη βραχώμαζα. Το γενικευμένο κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown (2002) έχει την εξής μορφή:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} [m_b * (\sigma_3' / \sigma_{ci}) + s]^a$$

οπού,

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right),$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right),$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

Απομειωμένο m_i , $s=1$, $a=0,5$ ανάλογα με το πόσο απέχει η «βραχώμαζα» από τον «άρρηκτο» βράχο (από παρουσιάσεις Μαρίνου Β. στο διαδίκτυο, 2012)

- σ_{ci} = μέγιστη ορθή ενεργός τάση που αναπτύσσεται κατά την στιγμή της αστοχίας της βραχώμαζας.
- σ_3 = ελάχιστη ορθή ενεργός τάση που αναπτύσσεται κατά την στιγμή της αστοχίας της βραχώμαζας.
- **GSI** = η τιμή του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (Hoek and Marinos, 2000).

- s και a είναι ζεύγος σταθερών που εκφράζει την διαφοροποίηση της βραχώμαζας από τον άρρηκτο βράχο εξαιτίας της πολύπλοκης δομής της. Ισχύει ότι $s=1$ και $a_{\min}=0,5$ όταν $GSI=100$, $a_{\max}=0,6665$ όταν $GSI=0$.
- m_i = πετρογραφική σταθερά η οποία θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.
- D = συντελεστής που εκφράζει τον βαθμό διαταραχής της βραχώμαζας γύρω από την διάνοιξη της σήραγγας, προερχόμενη είτε από τον τρόπο εκσκαφής είτε από την χαλάρωση της βραχώμαζας. $D=1$ για πλήρως διαταραγμένη βραχώμαζα ($D \leq 1$, χρήση σε πρηνή θεμελιώσεις, αβαθείς σήραγγες), $D=0$ για αδιατάρακτη βραχώμαζα (χρήση σε βαθιές σήραγγες) (Τσιαμπάος, 2009).
- σ_{ci} = η αντοχή του βράχου σε μονοαξονική θλίψη που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Για τον λόγο ότι η παραπάνω εξίσωση του κριτηρίου Hoek and Brown είναι της μορφής $\sigma_1' = f(\sigma_3')$, μπορεί να απεικονιστεί σε ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων με άξονες σ_1' και σ_3' . Η καμπύλη που δημιουργείται αποτελεί την περιβάλλουσα αστοχίας της βραχώμαζας και αποτελεί τον γεωμετρικό τόπο όλων των ζευγών των κύριων τάσεων που οδηγούν σε αστοχία (Μαρίνος Β., 2007). Στα συγκεκριμένα διαγράμματα, όσα σημεία βρίσκονται υπό της περιβάλλουσας αστοχίας, δεν αντιπροσωπεύουν κατάσταση αστοχίας, όσα βρίσκονται επί της περιβάλλουσας δίνουν οριακές καταστάσεις αστοχίας, ενώ στα σημεία που βρίσκονται άνω της περιβάλλουσας, η βραχώμαζα έχει ήδη αστοχήσει.

Το κριτήριο Hoek-Brown ενσωματώθηκε σε λογισμικά των εταιριών Rocscience (RocData) και Itasca, παρέχοντας την δυνατότητα του απευθείας υπολογισμού, όχι μόνο των παραμέτρων Hoek and Brown (m_b , s , a), αλλά και των παραμέτρων Mohr-Coulomb διατμητικής αντοχής c (GPa) και ϕ ($^\circ$), καθώς και του μέτρου παραμορφωσιμότητας E (GPa).

Συγκεκριμένα το c είναι η συνοχή της βραχώμαζας, δηλαδή το «δέσιμο» των κόκκων του άρρηκτου βράχου ή των τεμαχών στη βραχώμαζα. Το ϕ είναι η γωνία εσωτερικής τριβής, δηλαδή η τριβή ανάμεσα στα ορυκτά ή τα τεμάχια που αντιστέκεται την διάτμηση.

Όσον αφορά το μέτρο ελαστικότητας E , ορίζεται ως $E = \sigma/\epsilon$ (τάση ανά την παραμόρφωση)(I.S.R.M., 1981). Αυτό, αυξάνεται με την αύξηση της αντοχής του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη (σ_c), με την αύξηση του GSI, με την μείωση του συντελεστή D (διαταραχή βραχόμαζας) και με την μείωση της υγρασίας. Εξαρτάται από την φορά του εφαρμοζόμενου φορτίου και είναι μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερη χρονικά φόρτιση υπέστη το πέτρωμα στο παρελθόν. Είναι ανάλογο και μεγαλύτερο από το σ_c κατά μία τιμή που ονομάζεται MR (Modulus Ratio):

$$E_i = MR * \sigma_{ci},$$

και ο οποίος κυμαίνεται ανάλογα το γεωλικό:

Γεωλικό	Μέση τιμή MR
Ψαμμίτης	140
Ιλύλιθος	245
Κροκαλοπαγές	280

Πίνακας 4.3.1.2: Μέσες τιμές MR για φλυσικά γεωλικά κατά Β. Μαρίνος (2007)

Γενικά, τα πετρώματα δεν εμφανίζουν γραμμική ελαστικότητα.

Το E_i για τον άρρηκτο βράχο, προσδιορίζεται εργαστηριακά. Για τον υπολογισμό της παραμέτρου παραμορφωσιμότητας E_m της βραχόμαζας, έχουν προταθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις.

4.3.2. Δείκτης GSI (Geological Strength Index).

Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (GSI) που έχει πλέον διεθνώς καθιερωθεί, εισήχθη από τους Hoek, Wood και Shah το 1992 και επεκτάθηκε από τους Hoek, Marinos και Benissi για τις ασθενείς βραχόμαζες το 1998, έπειτα από τους Hoek και Marinos το 2000, και τέλος η έκδοση για «ετερογενείς βραχόμαζες όπως ο φλύσχης», από τους Marinos και Hoek, το 2001.



Μερικά στοιχεία για τον γεωλογικό δείκτη αντοχής:







- Το GSI αποτελεί ένα σύστημα ταξινόμησης της βραχώμαζας που προσδιορίζει τιμές βασικών παραμέτρων σχεδιασμού των έργων σε περιβάλλον ρωγματομένων βράχων.
- Επίσης εκφράζει την απομείωση των σταθερών του άρρηκτου υλικού, ανάλογα με την ρωγμάτωση της βραχώμαζας (σε διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες).
- Είναι εύκολος και απλός στην εφαρμογή του διότι, εστιάζει στην μακροσκοπική αξιολόγηση της δομής της βραχώμαζας (η οποία χαρακτηρίζει τον βαθμό αλληλεμπλοκής των βραχωδών τεμαχών) και της κατάστασης των ασυνεχειών της: τραχύτητα και αποσάθρωση των τοιχωμάτων, τα οποία καθορίζουν τη διατμητική αντοχή των ασυνεχειών.
- Στοχεύει στην ποσοτική αξιολόγηση των ιδιοτήτων της βραχώμαζας και όχι στην ενίσχυση και υποστήριξη της σήραγγας και για αυτό το λόγο δεν αντικαθιστά τα συστήματα RMR και Q.
- Θετικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι βρίσκει εφαρμογή όχι μόνο σε καλής ποιότητας βραχώμαζες αλλά ακόμα και σε πτωχής ποιότητας, σε αντίθεση με το RMR.
- Δεν ενδείκνυται ο υπολογισμός του GSI μέσω κάποιου άλλου δείκτη (π.χ. $RMR = GSI - 5$) –για τις ασθενείς και ετερογενείς βραχώμαζες κυρίως-, αλλά η απευθείας εξαγωγή του από άμεσες παρατηρήσεις υπαίθρου.
- Αποτελεί σημαντική παράμετρο επίλυσης του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown.
- Εξάγεται από επιφανειακές παρατηρήσεις της βραχώμαζας, από εκσκαφές, από μέτωπα σηράγγων και πυρήνες γεωτρήσεων (η γραμμική πληροφορία των γεωτρήσεων πρέπει να προεκβάλλεται στον χώρο ώστε να είναι αξιόπιστη).
- Με το GSI παρέχεται η δυνατότητα για ποσοτικοποίηση της γεωλογικής πληροφορίας και συνεπώς μείωση της μηχανικής αβεβαιότητας.
- Δύναται, μέσω του GSI να αξιολογηθεί ένα μεγάλο εύρος βραχομαζών και συνθηκών. Δίνεται επίσης και η δυνατότητα για τροποποίηση των αξιολογούμενων χαρακτηριστικών της βραχώμαζας, βάση της γεωλογικής κρίσης,

ανάλογα τις ιδιαιτερότητες του ίδιου τύπου πετρώματος (π.χ. παρουσία ή απουσία νερού)

- Δεν εφαρμόζεται στις ανισότροπες βραχώμαζες και στα μικρής αντοχής συμπαγή, χωρίς ασυνέχειες πετρώματα.









(Μαρίνος Β., Μαρίνος Π., Hoek E., p.1; Μαρίνος Β., 2007, p.99, Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007, p.72,81).

Ακολουθεί η πρόσφατη έκδοση του πίνακα GSI για **ομοιογενή πετρώματα**, από Hoek και Marinos (2000).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγρές, μη αποσπασθείσες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθείσες και υδραυλικώς επιφανείς	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθείσες και εραλλαιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επιφύλαξη ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθείσες με μαλακό αργιλικό πλήρωσης ή επιφύλαξη				
							ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →			
ΔΟΜΗ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	90	80	70	60	50	40	30	20	10
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ							N/A	N/A	
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιάτακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	ΚΑΛΗ									
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών	ΜΕΤΡΙΑ									
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή οχιστότητας	ΠΤΩΧΗ									
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ									
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή οχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ	N/A	N/A							

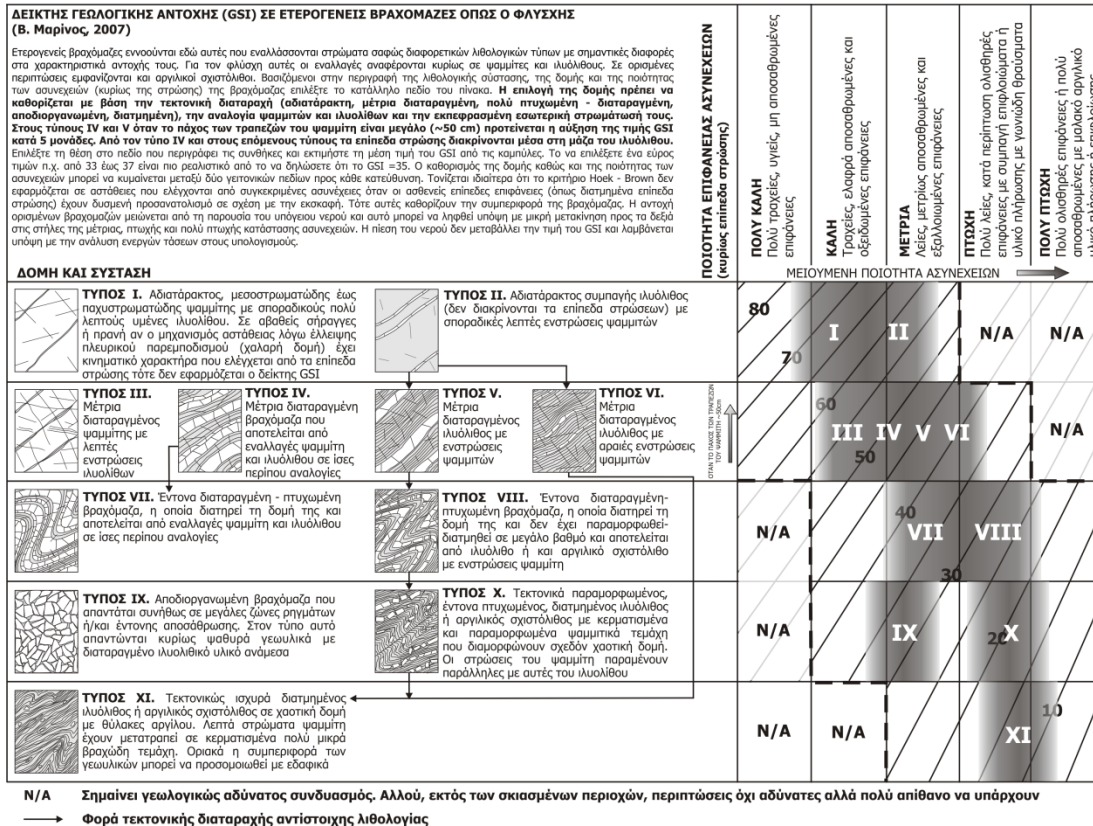
Εικόνα 4.3.2.1: Πρόσφατη έκδοση του πίνακα GSI για ομοιογενή πετρώματα (Hoek & Marinos, 2000)

Ειδικότερα για **ανομοιογενείς βραχώμαζες** όπως αυτή του φλύσχη, ο παραπάνω πίνακας επεκτάθηκε από τους **Marinos P. and Hoek E.** το 2000, όπως φαίνεται παρακάτω.

GSI FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (Marinos. P and Hoek. E, 2000)		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)				
From a description of the lithology, structure and surface conditions (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. Locate the position in the box that corresponds to the condition of the discontinuities and estimate the average value of GSI from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than giving GSI = 35. 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.		VERY GOOD - Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD - Rough, slightly weathered surfaces	FAIR - Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR - Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR - Very smooth slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
COMPOSITION AND STRUCTURE						
	A. Thick bedded, very blocky sandstone 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.	70 60	A			
	B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone		B			
	C. Sandstone and siltstone in similar amounts		C			
	D. Siltstone or silty shale with sandstone layers		D			
	E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers		E			
C, D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H.						
	F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure					
	G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers					
	H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.					
→ : Means deformation after tectonic disturbance						

Εικόνα 4.3.2.2: Πίνακας GSI για ανομοιογενείς βραχώμαζες όπως αυτή του φλύσχη (Hoek & Marinos, 2000)

Η τελική μορφή του GSI για **ετερογενείς βραχώμαζες** όπως ο φλύσχη, δόθηκε από τον Μαρίνο B. (2007):



Εικόνα 4.3.2.3: Η τελική μορφή του GSI για ετερογενείς βραχώμαζες όπως ο φλύσχη (Μαρίνος Β.,2007)

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι, για κάθε λιθότυπο του φλύσχη ορίζεται ένα μέσο εύρος τιμών GSI.

Λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες τιμές από το παραπάνω διάγραμμα GSI για τους διάφορους λιθότυπους του φλύσχη, προκύπτει ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας.

Τύπος φλύσχη	GSI
I	65
II	60
III	55
IV	50
V	45
VI	40
VII	35
VIII	25
IX	30
X	20
XI	15

Πίνακας 4.3.2.4: Μέσες τιμές GSI των τύπων του φλύσχη (Μαρίνος Β.,2007)

4.3.2.1 Στατιστική επεξεργασία του δείκτη και η σχέση του με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι σχετικές συχνότητες του δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI, καθώς και η σχέση του με το βάθος, για τους φλυσχικούς σχηματισμούς. Στόχος είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για την διακύμανση των τιμών GSI στους διάφορους σχηματισμούς, ο υπολογισμός των μέσων τιμών GSI που θα χρησιμοποιηθούν στο λογισμικό Roclab και τέλος η διερεύνηση της σχέσης των παραμέτρων GSI-βάθους.

Τα στοιχεία που επεξεργάστηκαν λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων TIAS και προέκυψαν μέσω γραμμικής διαδρομής ή γραμμής αναγνώρισης σε σήραγγα ή από στοιχεία περιστροφικής δειγματοληψίας (στοιχεία γεωτρήσεων).

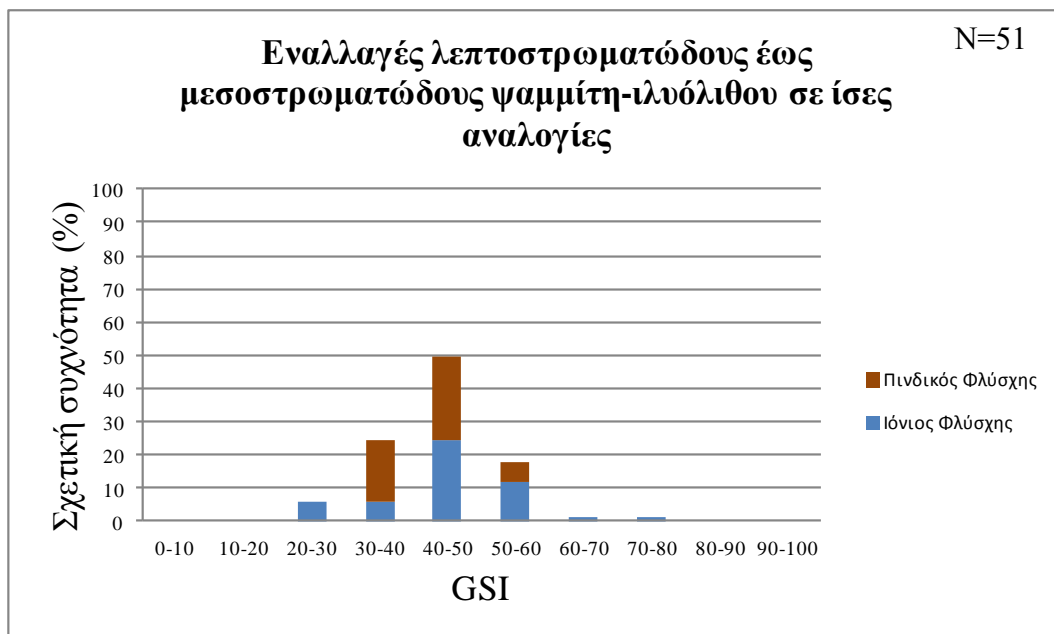
Εξετάζονται οι εξής σχηματισμοί: 1) εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες, 2) ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη, 3) μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης ενστρώσεις ιλυόλιθου, 4)ψαμμίτης, 5)ιλυόλιθος, 6)κροκαλοπαγές.

Για τον σχηματισμό που αποτελείται από **εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες**, παρατηρείται από το ακόλουθο ιστόγραμμα ότι η πλειοψηφία των τιμών GSI εντοπίζεται με ποσοστό 50% στο εύρος 40-50. Αρκετές τιμές επικρατούν με ποσοστό 18% στο εύρος 50-60, και με

ποσοστό 23% στο εύρος 30-40. Οι τιμές αυτές είναι εντός των πλαισίων τιμών που έχουν οριστεί από Μαρίνο Β. (2007) για τους τύπους IV και VII του φλύσχη, όπως προβάλλονται στον παραπάνω πίνακα για τις ετερογενείς βραχώμαζες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι απαντήθηκαν 5 τιμές στο εύρος 20-30, ενώ από μία τιμή στο εύρος 60-70 και 70-80. Θα πρέπει να συσχετιστούν με το βάθος οι τιμές των παραπάνω αποκλίσεων από τις καθορισμένες, ώστε να αποδοθεί καλύτερα η πιθανή αιτία υπάρξεώς τους.

Χρωματικά, παρατηρείται ότι οι τιμές του φλύσχη της Ιονίου ζώνης εμφανίζουν τιμές σε όλα τα φάσματα, από 20 έως 70, ενώ ο Πινδικός φλύσχη μόνο στο εύρος 30-60. Βέβαια, τα διαθέσιμα δεδομένα για τον τελευταίο ήταν μόνο N=8 κάτι το οποίο οδηγεί σε αβέβαια συμπεράσματα. Οι τιμές στο φάσμα των 50-60 ανήκουν κατά βάση στον φλύσχη της Ιονίου όπως επίσης και οι ακραίες τιμές της τάξης των 60 και 70 μονάδων, καθώς αυτή είναι λιγότερο καταπονημένη τεκτονικά σε σχέση με την ζώνη Πίνδου και συνεπώς μπορεί κατά τόπους στον Ιόνιο φλύσχη ο κερματισμός να είναι μικρότερος, κάτι το οποίο σχεδόν εκλείπει από τον Πινδικό.

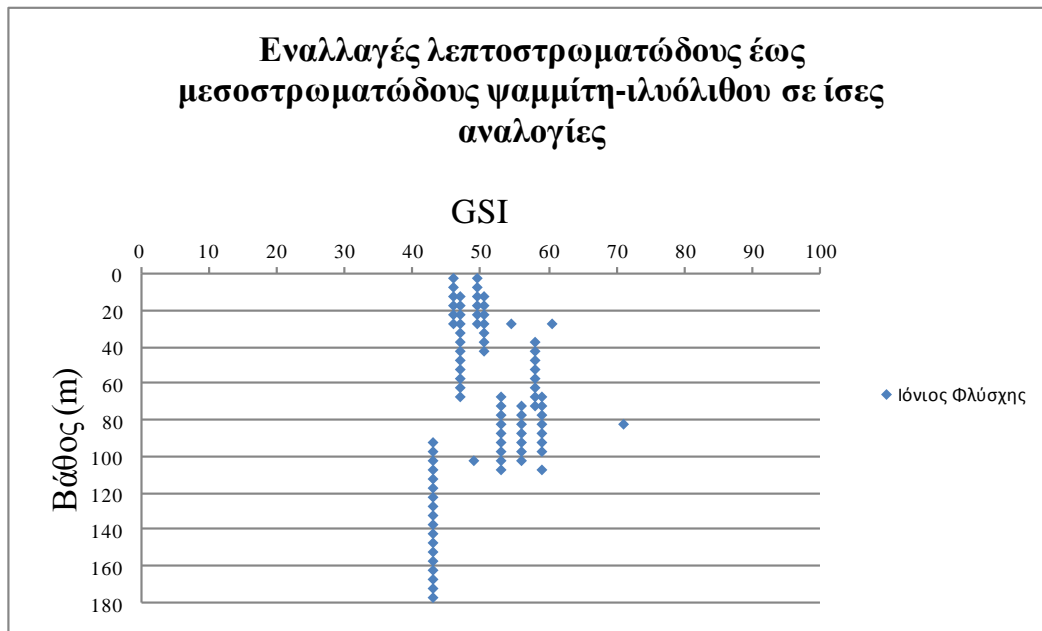


Ακολουθεί το διάγραμμα διασποράς βάθους-GSI, για το οποίο διαθέσιμα δεδομένα υπήρχαν μόνο για τον Ιόνιο Φλύσχη. Γίνεται εμφανής η απουσία δεδομένων

βάθους για τις εξαιρετικά χαμηλές τιμές GSI του εύρους 20-30 του σχηματισμού. Συνεπώς, δεν μπορεί να εξασφαλιστεί ο ακριβής προσδιορισμός τους (π.χ. βαθμονόμηση κάποιας επιφανειακής εμφάνισης του σχηματισμού, ύπαρξη σε βάθος αποδιοργανωμένης βραχώμαζας σε ζώνη διάτμησης με ή χωρίς αποσάθρωση, κ.α.).

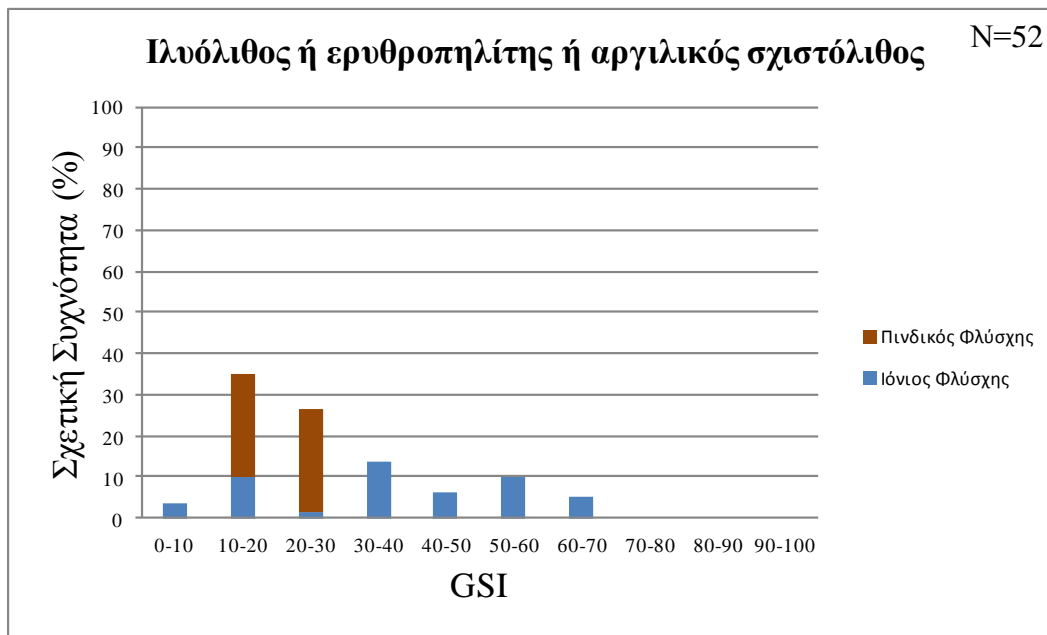
Παρατηρείται επίσης ότι η πολύ υψηλή τιμή $GSI=72$ απαντάται στο μεγάλο βάθος των 83m, κάτι που πιθανόν τη δικαιολογεί, αφού εκεί δύναται να συναντήθηκε πιο κλειστή δομή του συγκεκριμένου φλυσχικού σχηματισμού ή/και με καλύτερη ποιότητα των ασυνεχειών.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί το γεγονός ότι εντοπίζονται τιμές GSI κοντά στο 40 σε μεγάλα βάθη (έως και 180m), και υψηλότερων τιμών κοντά στο 60 σε βάθος 28m περίπου. Τούτο πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι, συναντήθηκε ο τύπος VII της έντονα διαταραγμένης βραχώμαζας ίσων αναλογιών, στην πρώτη περίπτωση (βαθύτερα) και ο τύπος IV της μέτριας διαταραγμένης βραχώμαζας, στην δεύτερη περίπτωση (ρηχότερα).

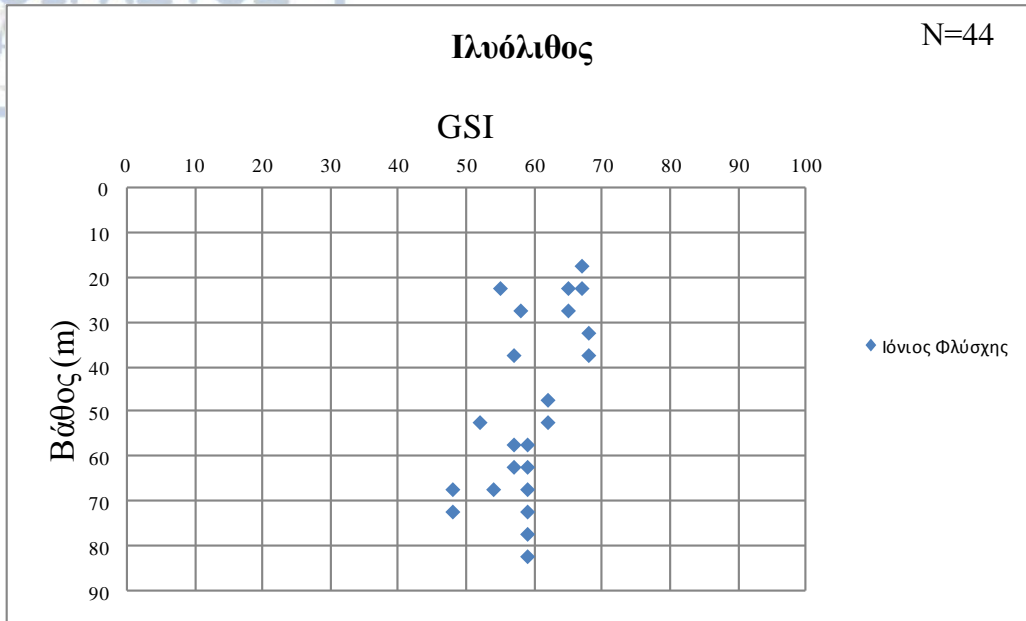


Από το ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας-τιμής GSI για τον σχηματισμό του ιλυόλιθου και αργιλικού σχιστόλιθου, γίνεται εμφανής η επικράτηση του εύρους 10-30 ενώ διακρίνεται μία σχετικά ομοιόμορφη κατανομή των τιμών στα υπόλοιπα φάσματα.

Χρωματικά, ο Πινδικός φλύσχος αντιστοιχεί στα χαμηλά εύρη GSI των 10-30 ενώ ο φλύσχος της Ιονίου παρουσιάζει κυρίως υψηλότερες τιμές αλλά και ορισμένες επίσης χαμηλές. Η αιτία αυτού αναφέρθηκε παραπάνω. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι το πλήθος τιμών του φλύσχη της Πίνδου ήταν μόνο N=4 και άρα τα συγκεκριμένα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά αμφιλεγόμενα.



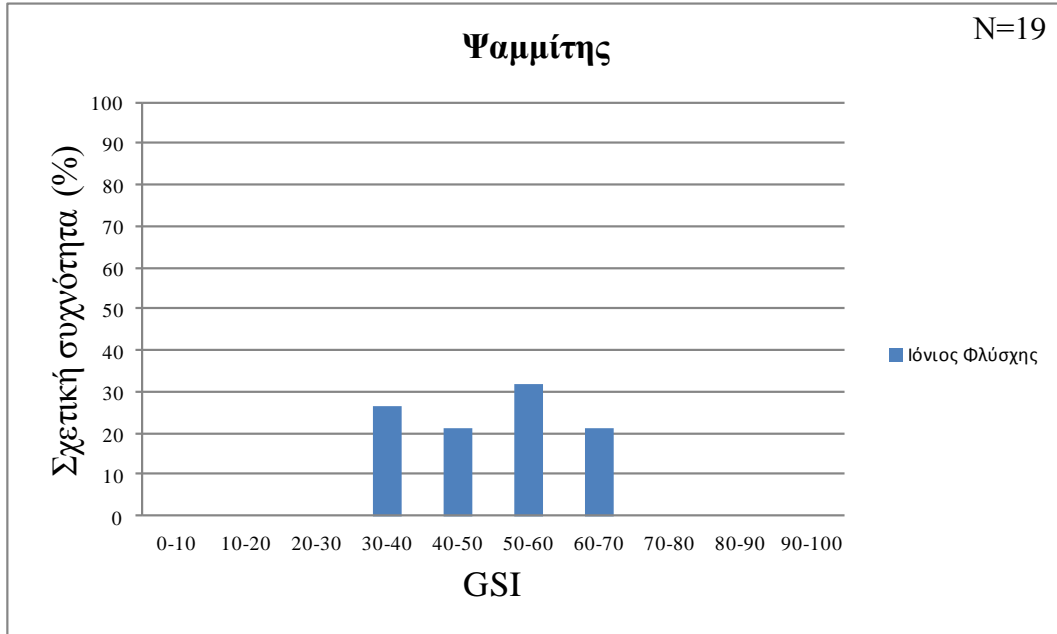
Για το παρακάτω διάγραμμα διασποράς βάθους-GSI, αξίζει να σημειωθεί ότι απουσιάζουν τα αντίστοιχα σημαντικά δεδομένα βάθους για τις χαμηλές τιμές του GSI από την τιμή 0 έως 45. Για αυτόν τον λόγο, για τις πολύ χαμηλές τιμές του ιλυόλιθου δεν θα ήταν πρόπον να εξαχθούν συμπεράσματα αιτιολόγησης αυτών (π.χ. ότι οφείλονται στην σχάση, την αποσάθρωση, την χαλάρωση της βραχώμαζας αν απαντήθηκαν επιφανειακά ή σε ζώνη διάτμησης με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης αν απαντήθηκαν στο βάθος, κ.α.). Οι μεγάλες τιμές οφείλουν την ύπαρξή τους πιθανόν στην βαθμονόμηση αδιατάρακτου, μαζώδους και συμπαγούς ιλυολιθικού πετρώματος, σε βάθος μεγαλύτερο από 20m περίπου.



Ακολουθεί το ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας για τον **ψαμμίτη** φλύσχη. Είναι εμφανές ότι όλες οι τιμές GSI βρίσκονται μεταξύ του 30 και 70, με περίπου ίσο ποσοστό (20-30%) σε όλα τα φάσματα που ορίστηκαν ανά 10 μονάδες. Βέβαια το πλήθος των διαθέσιμων επεξεργασίμων δεδομένων είναι μικρό (N=19), με αποτέλεσμα την ανάγκη για επιφύλαξη ως προς τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν. Στην περίπτωση αυτή όλα τα διαθέσιμα δεδομένα αντιστοιχούσαν μόνο στον Ιόνιο φλύσχη.

Χαμηλές τιμές GSI πιθανόν προκύπτουν λόγω της περισσότερο κερματισμένης δομής (λόγο θραυστιγενούς τεκτονικής, μετατεκτονικής ρωγμάτωσης, κ.λπ.) του εξεταζόμενου κάθε φορά ψαμμιτικού πάγκου ή/και της πτωχότερης ποιότητας των ασυνεχειών του (π.χ. της στρώσης). Το αντίστροφο ισχύει για τις υψηλότερες τιμές. Παρόλα ταύτα δύναται, σε γενικές γραμμές, να παρατηρηθεί στη φύση και σχεδόν «άρρηκτος» ψαμμίτης, με πολύ υψηλότερο GSI από αυτό το GSI που τον χαρακτηρίζει όντας μέρος ενός φλυσχικού σχηματισμού. Με άλλα λόγια ο ψαμμίτης του φλύσχη, απαρτίζεται προφανώς από μεγαλύτερο πλήθος ασυνεχειών (στρώσεις, διακλάσεις, κ.α.), αφού η τεκτονική έχει επιδράσει στη μάζα του, όντας κομμάτι του «ταλαιπωρημένου» (τεκτονικά) φλύσχη, με αποτέλεσμα την ανάγκη για απομείωση του GSI.

Ο συσχετισμός των παραμέτρων βάθους και τιμής GSI αδυνατεί να πραγματοποιηθεί εξαιτίας της απουσίας δεδομένων βάθους για τις αντίστοιχες τιμές του ιστογράμματος.

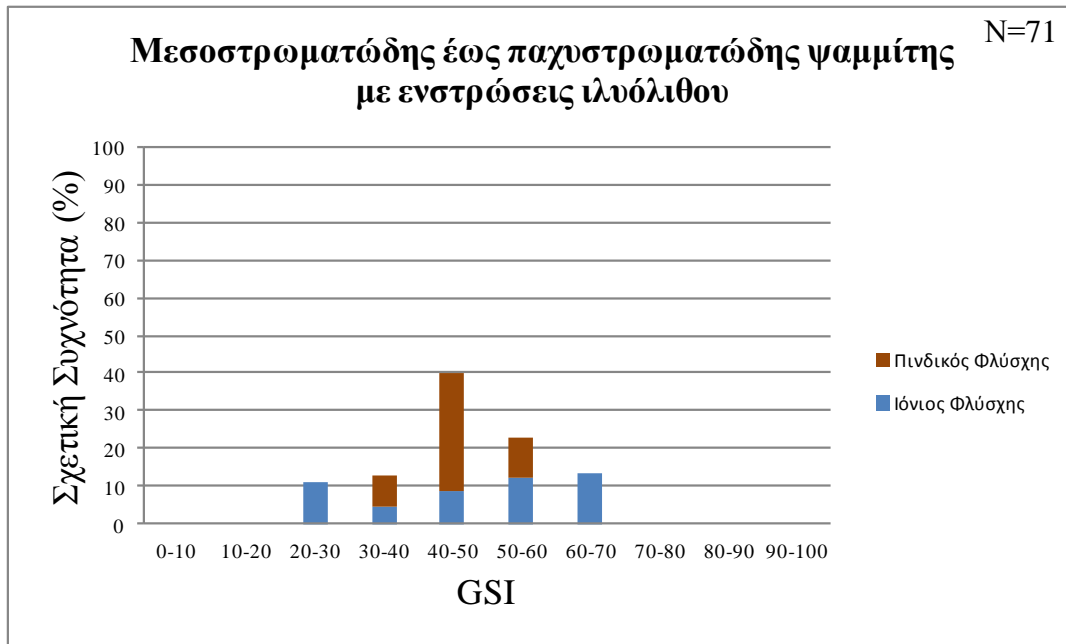


Από το ιστόγραμμα του φλύσχη που αποτελείται από **ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλύολιθου** συμπεραίνεται ότι το επικρατέστερο εύρος με ποσοστό 40% είναι το 40-50 ενώ ακολουθούν τα εύρη 50-60 και 60-70 με ποσοστό περίπου 22% και 13% αντίστοιχα.

Ο συγκεκριμένος σχηματισμός αντιπροσωπεύεται από τον τύπο I και III, των οποίων οι τιμές GSI από τον πίνακα GSI για ετερογενείς βραχώμαζες (2007), ταυτίζονται με αυτές του ιστογράμματος στο μεγαλύτερο μέρος τους. Βέβαια, παρατηρούνται τιμές και στο εύρος 20-40, μικρότερες από τις αναμενόμενες.

Με βάση το ποσοστό συμμετοχής του κάθε φλύσχη στα διάφορα φάσματα, φαίνεται ότι ο Ιόνιος φλύσχος συμμετέχει σε όλα τα εύρη από GSI=20 έως 70 (λογικό, αφού κατά περιοχές είναι λιγότερο κερματισμένος στην ελαφρύτερα τεκτονικά καταπονημένη Ιόνιο ζώνη), ενώ ο φλύσχος της Πίνδου μόνο στο εύρος των 30-60 και εκ του οποίου υπερисχύει στο φάσμα των 40-50.

Για τον συγκεκριμένο σχηματισμό δεν υπάρχουν τα αντίστοιχα δεδομένα βάθους για τις τιμές GSI και συνεπώς δεν δύναται να εξαχθούν και τα ανάλογα συμπεράσματα (π.χ. πιθανή αιτία τιμολόγησης με πολύ χαμηλές τιμές GSI είναι η βαθμονόμηση σχηματισμού από επιφανειακή εμφάνισή του).

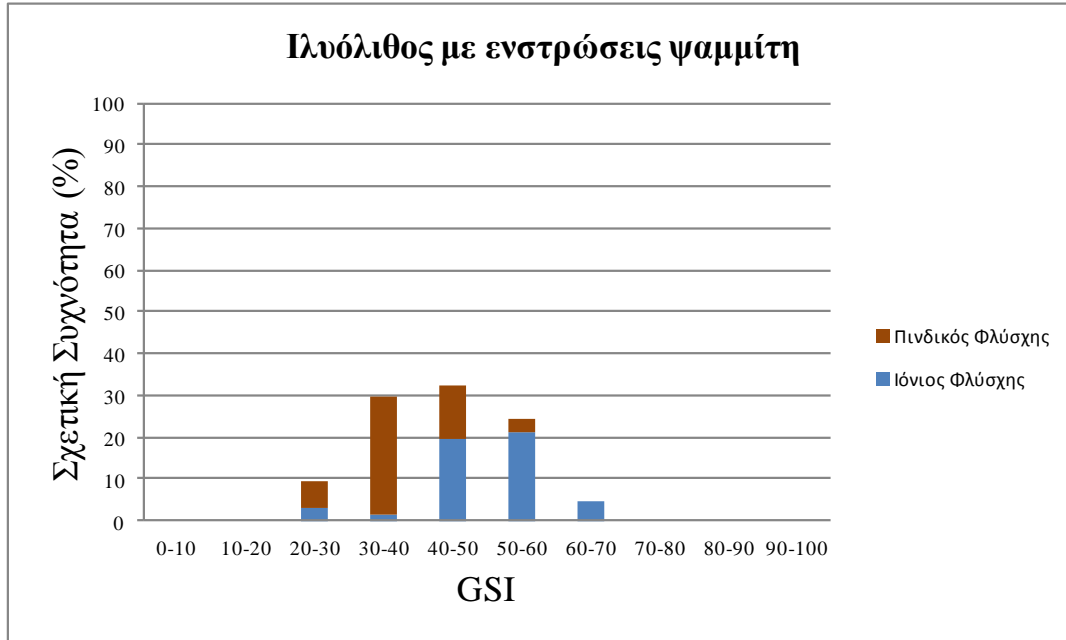


Στο ιστόγραμμα του ιλυόλιθου ή ερυθροπηλίτη με ενστρώσεις ψαμμίτη φαίνεται ότι το μεγαλύτερο πλήθος τιμών GSI (86,54%), βρίσκεται μεταξύ του 30 και 60. Ορισμένες τιμές απαντώνται επίσης και στο εύρος 20-30 (9%) αλλά και στο 60-70 (5,77%).

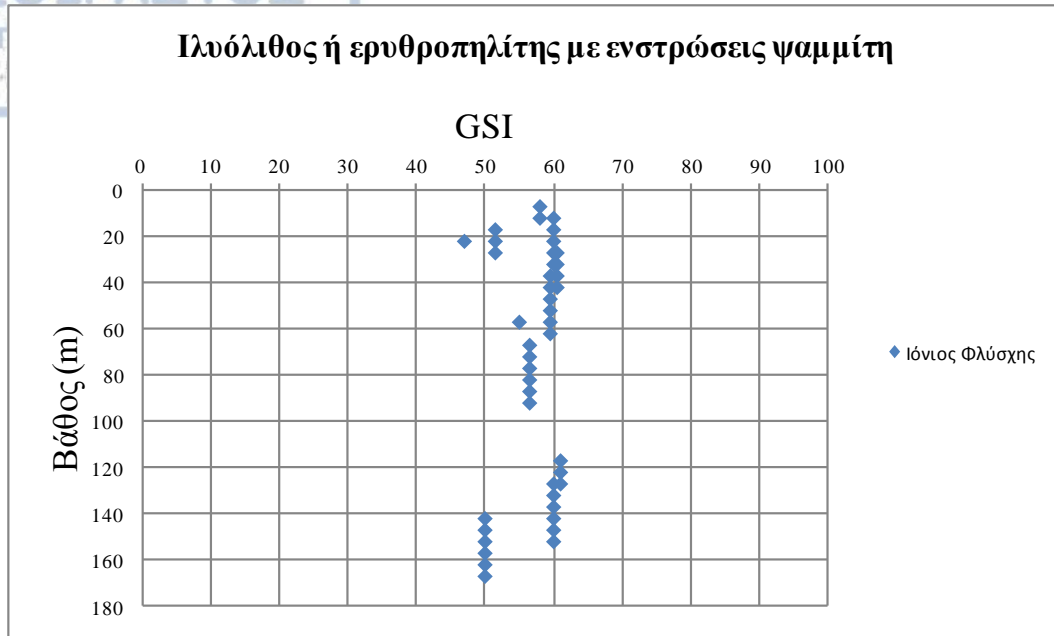
Η διακύμανση τούτων των τιμών είναι απόλυτα αναμενόμενη βάση του πίνακα GSI για ετερογενείς βραχώμαζες όπως ο φλύσχη (B. Μαρίνος, 2007). Ο συγκεκριμένος σχηματισμός αντιπροσωπεύεται από τους τύπους II, V, VI και VIII του αδιατάρακτου έως έντονα διαταραγμένου ιλυόλιθου με αραιές, λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη, με τους τύπους V και VI να απαντήθηκαν, πιθανόν, τις περισσότερες φορές.

Όσον αφορά τον διαχωρισμό του φλύσχη των δύο ζωνών, είναι ξεκάθαρη η τάση για αύξηση του ποσοστού συμμετοχής του Ιόνιου φλύσχη όσο κινείται κανείς προς τις υψηλότερες τιμές GSI, ενώ αύξηση του ποσοστού συμμετοχής του φλύσχη της Πίνδου

κυρίως στα χαμηλότερα φάσματα. Η λιγότερο καταπονημένη τεκτονικά Ιόνιος ζώνη δημιουργεί ενδεχομένως περιοχές μικρότερου κερματισμού συγκριτικά με την περίπτωση της Πινδικής ζώνης και άρα περισσότερες τιμές μεγαλύτερου GSI.



Στο ακόλουθο διάγραμμα διασποράς για το βάθος, τα διαθέσιμα δεδομένα αντιστοιχούσαν μόνο στον Ιόνιο φλύσχη και δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ουσιαστική αριθμητική απόσταση μεταξύ της μεγαλύτερης διαθέσιμης τιμής $GSI=62$ και της μικρότερης $GSI=48$, δεν υπάρχει λόγος για εκτενή σχολιασμό των βαθών στα οποία αυτές απαντώνται και ερμηνεία τους. Ωστόσο, αξίζει να υπογραμμιστεί το γεγονός ότι και οι δύο προαναφερθείσες τιμές απαντώνται στο ίδιο βάθος των 20m περίπου, αλλά βρίσκονται εντός των ορίων τιμών των αντίστοιχων τύπων του φλύσχη, με συνέπεια να μην αποτελούν «ακραίες» τιμές προς ανάλυση.

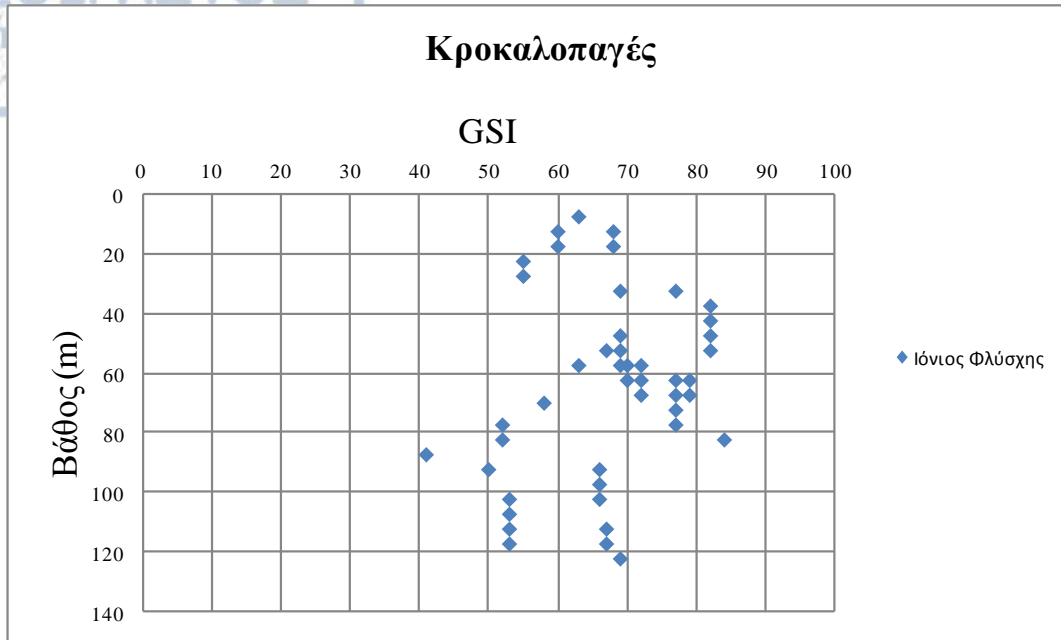


Για τον σχηματισμό του **κροκαλοπαγούς** του φλύσχη κατασκευάστηκε επίσης ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας από το οποίο γίνεται γνωστό ότι η πλειονότητα των τιμών GSI βρίσκεται μεταξύ του 60 και 80 (74,47%). Η απουσία πολλαπλών ασυνεχειών που χαρακτηρίζει το κροκαλοπαγές (πιο κοντά στην άρρηκτη δομή) δικαιολογεί τις προαναφερθείσες -συγκριτικά με τον υπόλοιπο σχηματισμό του φλύσχη- υψηλές τιμές GSI.

Όλες οι διαθέσιμες προς επεξεργασία τιμές αντιστοιχούν μόνο στο κροκαλοπαγές του φλύσχη της Ιονίου ζώνης.



Από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς, γίνεται επίσης εμφανές ότι το μεγαλύτερο πλήθος δοκιμών εκτελέστηκε σε βάθος μέχρι 120m. Οι δύο χαμηλότερες τιμές GSI του εύρους 40-50, απαντώνται στο μεγάλο βάθος των 90m περίπου, ενώ οι τρεις υψηλότερες τιμές GSI του κροκαλοπαγούς, συναντώνται σε βάθος 40-50m και στα 80m. Το προαναφερθέν γεγονός πιστοποιεί το αποτέλεσμα του συντελεστή συσχέτισης $R^2=0,0579$ που πλησιάζει το μηδέν. Δεν αποκλείεται οι χαμηλές τιμές GSI να έχουν αποδοθεί σε αποδιοργανωμένη βραχώμαζα που οφείλεται στην ύπαρξη κάποιας ζώνης ρήγματος σε βάθος, εντός του κροκαλοπαγούς ή απλά στην ύπαρξη διευρυμένων σε βάθος ασυνεχειών, με ή χωρίς «ξεπλυμένο» συγκολλητικού υλικό του κροκαλοπαγούς. Υψηλές τιμές GSI είναι λογικό να υπάρχουν τόσο σε βάθος όσο και «ρηχότερα», σε ένα κροκαλοπαγές.



Οι ακραίες τιμές που σχολιάστηκαν παραπάνω, δεν συνυπολογίστηκαν για την εξαγωγή της μέσης τιμής του GSI και της τυπικής απόκλισης.

Γεωλογικός σχηματισμός	Μέγιστη τιμή (MAX)	Ελάχιστη τιμή (MIN)	Μέση τιμή (MEAN)	Πλήθος τιμών (N)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλύλιθου σε ίσες αναλογίες	71	28	44	51
Ιλύλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	69	25	47	52
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης ενστρώσεις ιλύλιθου	69	28	48	71
Ψαμμίτης	65	35	49	19
Ιλύλιθος ή Ερυθροπηλίτης ή Αργιλικός σχιστόλιθος	68	8	29	44
Κροκαλοπαγές	84	41	68	47

*Σε ορισμένες περιπτώσεις γεωλογικών σχηματισμών καθίσταται επισφαλής η εξαγωγή ακριβών συμπερασμάτων λόγω παρουσίας μικρού σχετικά πλήθους τιμών (N).

Πίνακας 4.3.2.1.1: Χαρακτηριστικές τιμές GSI για τους διάφορους φλυσχικούς σχηματισμούς

Από τον παραπάνω πίνακα, συμπεραίνεται ότι για τους τρεις πρώτους σχηματισμούς του φλύσχη που αποτελούν καθαρά **ετερογενείς** βραχομαζες (ψαμμίτης-ιλύλιθος σε διάφορες αναλογίες), οι τιμές GSI σχεδόν ταυτίζονται. Πιο συγκεκριμένα, χαρακτηρίζονται από μέση τιμή (MEAN) περίπου ίση με 44-48, από μέγιστη τιμή (MAX) κοντά στο 70 και ελάχιστη τιμή (MIN) 25-28.

Αντίθετα, παρατηρείται σχετικά μεγάλη διαφοροποίηση στις τιμές των «καθαρών» γεωλικών του ψαμμίτη, του ιλύλιθου και του κροκαλοπαγούς φλύσχη. Το κροκαλοπαγές παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές, ενώ ο ιλύλιθος τις μικρότερες.

Αξίζει να σημειωθεί η παρατήρηση ότι οι τιμές GSI των ετερογενών βραχομαζών δεν είναι «άσχετες», αλλά βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ των τιμών GSI του ψαμμίτη φλύσχη και του ιλύλιθου φλύσχη, πλησιάζοντας άλλοτε αυτές του ιλύλιθου (π.χ. στην περίπτωση της μέγιστης τιμής) και άλλοτε αυτές του ψαμμίτη (π.χ. στην περίπτωση της μέσης τιμής).

Από τις παρατηρήσεις των διαγραμμάτων συμπεραίνεται γραφικά η απουσία συσχέτισης των παραμέτρων βάθους-GSI καθώς ο φλύσχης έχει έντονη τεκτονική καταπόνηση (σε αντίθεση με την μολάσσα) με αποτέλεσμα η ποιότητα να μην βελτιώνεται με το βάθος.

Ακολουθεί πίνακας με την τυπική απόκλιση κάθε φλυσχικού σχηματισμού.

Γεωλογικός σχηματισμός	Τυπική απόκλιση Standard deviation (STDEV)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλύλιθου σε ίσες αναλογίες	13,18
Ιλύλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	11,27
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης ενστρώσεις ιλύλιθου	13,63
Ψαμμίτης	11,66
Ιλύλιθος ή Ερυθροπηλίτης ή Αργιλικός σχιστόλιθος	16,16
Κροκαλοπαγές	10,49

Πίνακας 4.3.2.1.2: Τυπική απόκλιση των τιμών GSI των φλυσχικών σχηματισμών

Παρατηρείται ότι η τυπική απόκλιση είναι γενικά μεγάλη, δηλαδή οι τιμές GSI κάθε σχηματισμού δύναται να απέχουν αρκετά από την μέση τιμή του, τα στοιχεία απλώνονται πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα των μέσων τιμών και συνεπώς η αβεβαιότητα ενισχύεται.

Ειδικότερα, οι λιθότυποι του φλύσχη κατά Μαρίνο Β. (2007) ορίζονται από ένα φάσμα τιμών της τάξης των 10 μονάδων ο καθένας. Έτσι, η μεταβολή κατά 10-15 μονάδες του GSI, όπως προκύπτει από την τυπική απόκλιση, οδηγεί οπωσδήποτε σε διαφορετικό λιθότυπο και συνεπώς σε διαφορετικά στοιχεία δομής, ποιότητας ασυνεχειών και λιθολογικής σύστασης. Είναι δηλαδή οι τιμές του ευαίσθητες.

Η υψηλότερη τιμή τυπικής απόκλισης $STDEV=16,16$ ανήκει στον ιλυόλιθο που σημαίνει ότι αυτός χαρακτηρίζεται από την μεγαλύτερη αβεβαιότητα ως προς την ταξινόμηση κατά GSI και οι τιμές του παρουσιάζουν διακυμάνσεις-διασπορά σε ένα φλυσχικό περιβάλλον.

4.3.3. Παράμετρος σ_{ci}

Γενικά, η αντοχή του άρρηκτου πετρώματος αναπαριστά το μέγεθος της εφαρμοζόμενης σε αυτό τάσης, έτσι ώστε να επέλθει η θραύση του. Η τάση η οποία εφαρμόζεται μπορεί να είναι θλιπτική (compressive), διατμητική (shear) ή εφελκυστική (tensile), με την πρώτη να είναι η πιο σημαντική και να υπολογίζεται από εργαστηριακές (ανεμπόδιστη θλίψη) ή επιτόπου δοκιμές (σημειακής φόρτισης, σφύρα Schmidt) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002, p.170).

Ειδικότερα για την παράμετρο σ_{ci} (UCS-Uniaxial Compressive Strength), ορίζεται ως η αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική ή ανεμπόδιστη θλίψη και η τιμή της προσδιορίζεται πειραματικά. Αυτό σημαίνει ότι εφαρμόζεται μόνο αξονική τάση σ_1 , ενώ οι πλευρικές σ_2, σ_3 απουσιάζουν.

Με βάση την αντοχή σε μοναξονική θλίψη, το βραχώδες υλικό κατατάσσεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (I.S.R.M., 1981).

Κατάταξη πετρώματος	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	Επί τόπου εκτίμηση
Εξαιρετικά υψηλής αντοχής	>250	Ο πυρήνας (δείγμα) δεν σπάει με το γεωλογικό σφυρί
Πολύ υψηλής αντοχής	100 – 250	Για να σπάσει ο πυρήνας (δείγμα) χρειάζονται πολλά κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί
Υψηλής αντοχής	50 – 100	Για να σπάσει ο πυρήνας χρειάζονται περισσότερα από ένα κτυπήματα
Μέσης αντοχής	25 – 50	Ο πυρήνας δεν χαράσσεται με μαχαίρι και μπορεί να σπάσει με ένα κτύπημα γεωλογικού σφυριού.
Χαμηλής αντοχής	5 – 25	Ο πυρήνας χαράσσεται δύσκολα με το μαχαίρι και η μύτη του γεωλογικού σφυριού δημιουργεί αβασθείς χαραγιές
Πολύ χαμηλής αντοχής	1 – 5	Ο πυρήνας σπάει σε πολλά κομμάτια με ένα κτύπημα με το γεωλογικό σφυρί και χαράσσεται εύκολα με το μαχαίρι.
Εξαιρετικά χαμηλής αντοχής	0.25 – 1	Ο πυρήνας χαράσσεται εύκολα με το νύχι του αντίχειρα

Πίνακας 4.3.3.1: Ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (I.S.R.M., 1981)

Σύμφωνα με τους Hawkes και Mellor(1970), η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη εξαρτάται κυρίως από:

1. Το υλικό του πετρώματος: ορυκτολογική σύσταση, μέγεθος και σχήμα των κόκκων, ανισοτροπία, κ.α.
2. Την περιεχόμενη υγρασία του (π.χ. η αύξηση της υγρασίας συνεπάγεται με μείωση της αντοχής)
3. Τις συνθήκες εκτέλεσης της δοκιμής και την διαμόρφωση των δειγμάτων (π.χ. ο λόγος μήκους προς διάμετρο του δοκιμίου, ο ρυθμός φόρτισης, κ.α.) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002, p.170,171)

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την αντοχή του πετρώματος σε σημειακή φόρτιση, έτσι και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, σχετίζεται με την φυσική κατάσταση του πετρώματος (π.χ. αποσάθρωση) και την ανισοτροπία. Το δείγμα θα

πρέπει προφανώς να είναι αντιπροσωπευτικό της φυσικής του κατάστασης, στη θέση του τεχνικού έργου.

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται εμφανές σε ποιά φάσματα αναμένεται να παρατηρηθούν οι τιμές των διάφορων λιθολογιών.

Περιγραφή	σ_c (MPa)	Παραδείγματα
Πολύ υψηλή αντοχή	>200	Χαλαζίτης, Δολερίτης, Γάββρος, Βασάλτης
Υψηλή αντοχή	100-200	Μάρμαρο, Γρανίτης, Γνεύσιος, Ασβεστόλιθος
Μέση αντοχή	60-100	Ψαμμίτης, Μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Χαμηλή αντοχή	20-60	Ψαμμίτης μέτρια συνεκτικός, Τόφος, Ιλυόλιθος, Αργιλικός σχιστόλιθος
Πολύ χαμηλή αντοχή	<20	Ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος, Κρητίς, Ορυκτό αλάτι, Αποσαθρωμένα πετρώματα
	<20	Μαλακοί βράχοι
	<1	Έδαφος

Πίνακας 4.3.3.2: Τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη διάφορων λιθολογιών

Έστω λοιπόν ότι λαμβάνεται άρρηκτος βράχος για δοκιμή, τότε αυτός μπορεί να περιέχει επίπεδα ασυνεχειών χαμηλής αντοχής που όμως να υποβαθμίζουν την τιμή σ_{ci} .

Για τα τρία βασικά γεωυλικά του φλύσχη προκύπτουν, κατά Μαρίνο Β.(2007) οι παρακάτω μέσες τιμές αντοχής.

Γεωυλικό	Μέση Τιμή Μονοαξονικής Θλιπτικής αντοχής UCS- σ_{ci} (MPa)
Ψαμμίτης	44
Ιλυόλιθος	17
Κροκαλοπαγές	15

Πίνακας 4.3.3.3: Μέσες τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής για τα γεωυλικά του φλύσχη

Ιδιαίτερη όμως αβεβαιότητα, επικρατεί στην περίπτωση πειραματικού προσδιορισμού της τιμής σ_{ci} σε πτωχούς βράχους. Ειδικότερα σε ετερογενείς και σύνθετες βραχώμαζες, με πυκνά επίπεδα ασυνεχειών και αποσάθρωση, ίσως να υπάρχει ακόμα και αδυναμία εκτέλεσης των δοκιμών μονοαξονικής θλίψης. Ένας λόγος είναι δυσκολία διαμόρφωσης άρρηκτου αντιπροσωπευτικού δοκιμίου για τα διάφορα γεωυλικά αλλά και δυσκολία λήψης στοιχείων που διαμορφώνουν την βραχώμαζα. Σε

αυτές τις ασθενείς και τεκτονικά διαταραγμένες βραχώμαζες, η τιμή σ_{ci} τείνει να υποβαθμίζεται και για αυτό είναι απαραίτητη η διόρθωση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων (Μαρίνος Β., 2007).

Συγκεκριμένα για τον φλυσχικό σχηματισμό, το γεγονός ότι απαρτίζεται από συχνές εναλλαγές γεωυλικών (ετερογένεια) και συχνή παρουσία ασυνεχειών, οδηγεί σε αδυναμία λήψης αντιπροσωπευτικού δοκιμίου άρρηκτου φλυσχικού γεωυλικού. Συνεπώς, η εκτέλεση δοκιμής σε ανεμπόδιστη θλίψη σε ένα τέτοιο δείγμα που περιλαμβάνει στοιχεία «βραχώμαζας», δίνει μη αντιπροσωπευτικές τιμές αντοχής για τον άρρηκτο βράχο.

Γενικά όμως, η δοκιμή εκτελείται κάθε φορά σε ένα μόνο από τα γεωυλικά του σχηματισμού, λόγω της μικρής διάστασης του δείγματος, και για την απομείωση της τιμής της αντοχής του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) σε αντοχή ολόκληρου του σχηματισμού, προτάθηκαν από τον Μαρίνο Β.(2007), αναλογίες και ποσοστά και της τιμής της σταθεράς m_i των ψαμμιτικών και ιλυολιθικών μελών, για κάθε λιθότυπο του φλύσχη, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Τύπος φλύσχη	Προτεινόμενες αναλογίες των παραμέτρων σ _{ci} και m _i των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση των παραμέτρων του φλύσχη ανάλογα με τον τύπο του
I και III	Χρήση τιμών για ψαμμιτικούς πάγκους
IV	<u>Λεπτά στρώματα</u> : Μειώστε τις ψαμμιτικές τιμές κατά 20% και χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυόλιθου <u>Παχιά στρώματα</u> : Χρησιμοποιείτε ισοδύναμα τις τιμές του ψαμμιτικού και ιλυολιθικού πάγκου
V και VIII	Μειώστε τις ψαμμιτικές τιμές κατά 40% και χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυόλιθου
VII	Μειώστε τις ψαμμιτικές τιμές κατά 20% και χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυόλιθου
X	Μειώστε τις ψαμμιτικές τιμές κατά 60% και χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυόλιθου
II, VI και XI	Χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυόλιθου ή αργιλικού σχιστόλιθου
IX	Χρησιμοποιείτε τις πλήρεις τιμές των εμπλεκόμενων γεωυλικών

Πίνακας 4.3.3.4: Προτεινόμενες αναλογίες των παραμέτρων σ_{ci} και m_i των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση των παραμέτρων του φλύσχη ανάλογα με τον τύπο του (Μαρίνος Β., 2007).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω απομειώσεις στην τιμή σ_{ci} και m_i , πραγματοποιούνται ανάλογα με τον τύπο του φλύσχη, αλλά και κατά αναλογία με το ποσοστό συμμετοχής του κάθε γεωυλικού στον τύπο.

Αρνητικό στοιχείο του σ_{ci} αποτελεί η αδυναμία εκτίμησής του απευθείας από παρατήρηση στο πεδίο. Η αντοχή της βραχώμαζας μπορεί να υπολογιστεί απευθείας από το RocData της Rocscience.

Από συσχετίσεις της παραμέτρου αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με άλλες παραμέτρους του βραχώδους υλικού, προκύπτουν τα εξής γενικά συμπεράσματα:

- Οι ψαμμίτες με αργλικής σύστασης θεμελιώδη μάζα, είναι μικρότερης αντοχής από αυτούς με ασβεστιτική θεμελιώδη μάζα. Η αντοχή αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού του περιεχόμενου χαλαζία στον ψαμμίτη (Price, 1966; Sabatakakis, Koukis, Tsiambaos, Papanakli, 2008).
- Η αντοχή του ακέραίου πετρώματος επηρεάζεται και από την απαντώμενη κάθε φορά δομή, όπως την φύλλωση και την σχιστότητα (ανισοτροπία αντοχής)(Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).
- Αύξηση της πυκνότητας οδηγεί σε αύξηση της αντοχής(Koukis et al., 1998)
- Αύξηση του πορώδους οδηγεί σε μείωση της αντοχής (στοιχεία από ΚΕΔΕ)
- Η παρουσία νερού μειώνει την αντοχή του πετρώματος. Με την αποστράγγιση, μεταβάλλονται οι υπόγειες υδατικές συνθήκες και η βραχώμαζα χαλαρώνει και φθείρεται με συνέπεια την μείωση των παραμέτρων αντοχής. Μεγαλύτερη αντοχή απουσιάζουν ξηρά, παρά υγρά δοκίμια του ίδιου υλικού(Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).

4.3.3.1. Στατιστική επεξεργασία των τιμών σ_{ci} και η σχέση τους με το βάθος– Εξαγωγή συμπερασμάτων

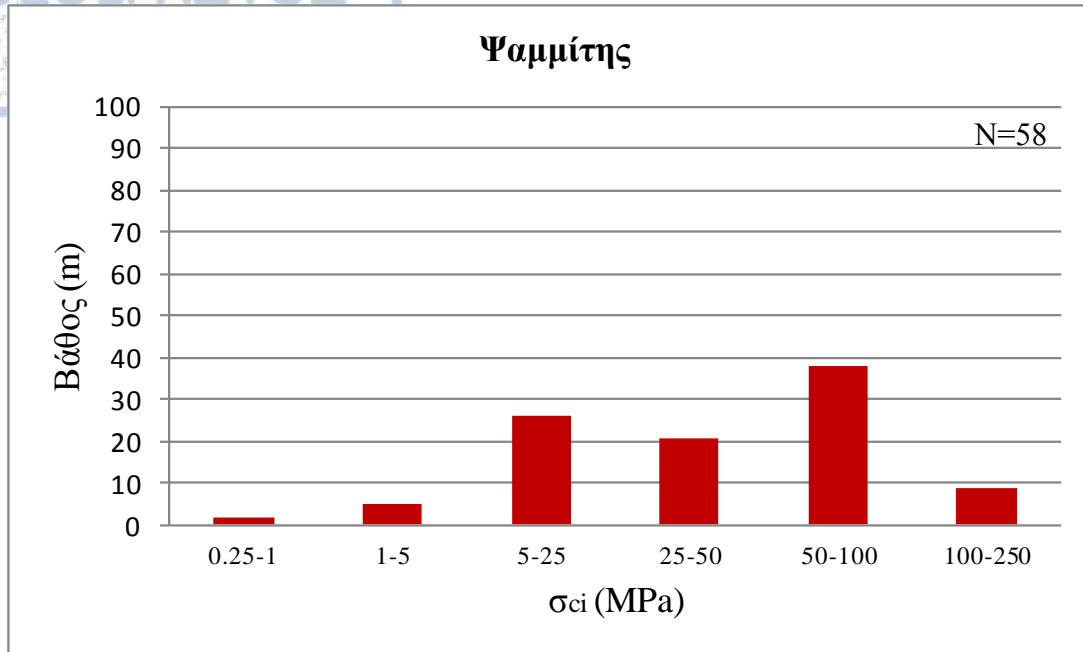
Στα ακόλουθα διαγράμματα εξετάζονται τα τρία βασικά γεωυλικά του φλύσχη ως προς την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη: 1) Ιλυόλιθος 2) Ψαμμίτης και 3) Κροκαλοπαγές.

Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν στατιστικά σύμφωνα με την κατάταξη των πετρωμάτων ως προς την αντοχή τους, στα φάσματα του πίνακα 4.3.3.1.

Η δοκιμή εκτελέστηκε σε ένα μόνο από τα γεωυλικά (ιλυόλιθος, ψαμμίτης) κάθε φλυσχικού σχηματισμού. Η εκτέλεση των δοκιμών σε ένα μόνο και όχι σε περισσότερα γεωυλικά του ίδιου σχηματισμού οφείλεται στη μικρή διάσταση του δείγματος, στο οποίο εκτελούνται οι δοκιμές.

Για τον **ψαμμίτη** φλύσχη, το ακόλουθο ιστόγραμμα πληροφορεί για την επικράτηση του εύρους 50-100 των τιμών σ_{ci} με ποσοστό 37,93% και έπειτα την συμμετοχή του εύρους 5-25 (25,86%) και 25-50(20,69%). Η κατανομή των τιμών στα εύρη με την μεγαλύτερη συμμετοχή, φαίνεται λογική ως βαθμονόμηση ψαμμιτικού γεωυλικού που είναι εκ φύσεως μεγάλης αντοχής.

Δεν απουσιάζουν φυσικά και οι πολύ χαμηλές και εξαιρετικά χαμηλές τιμές αντοχής αλλά και οι πολύ υψηλές, σε μικρότερα, βέβαια, ποσοστά. Ο ακόλουθος συσχετισμός των παραμέτρων σ_{ci} και βάθους, δίνει περαιτέρω πληροφορίες για την ερμηνεία των στατιστικών στοιχείων.



Το μεγαλύτερο μέρος των δοκιμών εκτελέστηκαν μέχρι το βάθος των 80m περίπου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, στο διάγραμμα σ_{ci}-βάθος, παρατηρούνται οι εξής «ακραίες τιμές»: σ_{ci}=0,72MPa σε βάθος 10m και σ_{ci}=8,73MPa σε βάθος 55m, σ_{ci}=107MPa στα 14m και σ_{ci}=79MPa μόλις στα 3m βάθος.

Η ύπαρξη χαμηλών τιμών αντοχής σε μεγάλα βάθη σχετίζεται ενδεχομένως με την βαθμολόγηση αποσαθρωμένου ψαμμίτη, ο οποίος ίσως διακρίνεται από την παρουσία νερού στη μάζα του που του απομειώνει την αντοχή. Βέβαια, το παραπάνω πιθανόν να συμβεί μόνο στην περίπτωση ανορθωμένων φλυσικών στρωμάτων που ευνοούν την κατείσδυση του νερού σε βάθος.

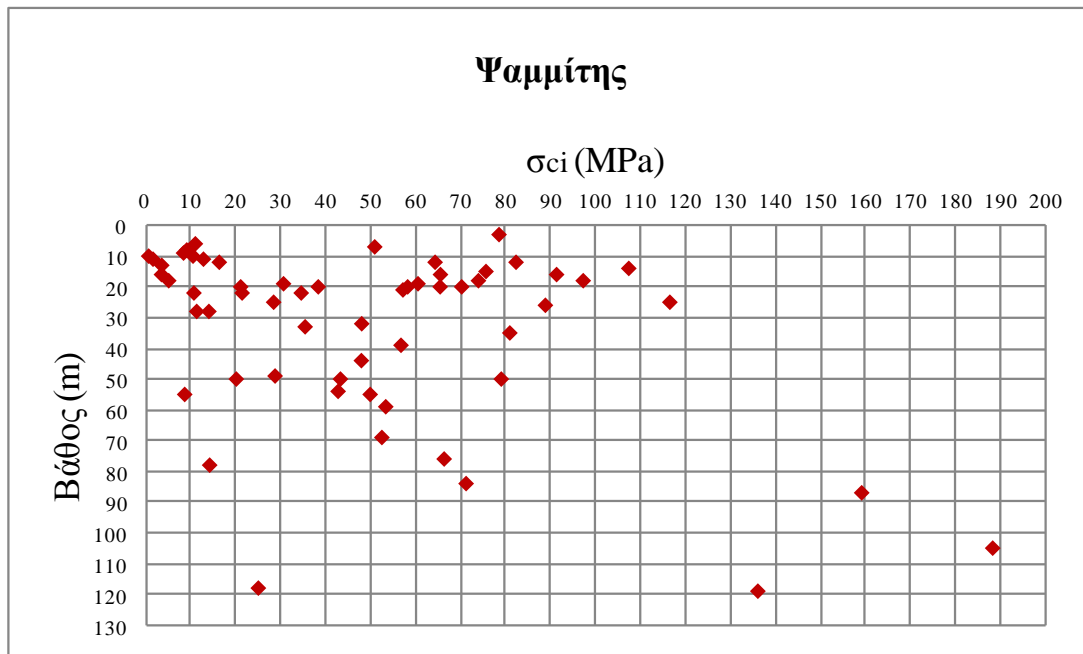
Η χαμηλή τιμή αντοχής σε μεγάλο βάθος, σχετίζεται ενδεχομένως και με παρουσία ζώνης διάτμησης ή γενικώς κάποιας ασυνέχειας λόγω θραυσιγενούς τεκτονικής που εξαιτίας της παρουσίας νερού σε αυτή, ο βράχος αποσαθρώνεται

Χαμηλή περιεκτικότητα σε χαλαζία του ψαμμίτη και αργιλικής ή ιλυολιθικής σύστασης θεμελιώδης μάζα (π.χ. ιλυούχος ψαμμίτης), είναι στοιχεία που απομειώνουν επιπλέον την αντοχή του.

Η τιμή των 0,72MPa στα 10m πιθανόν να βρίσκεται μέσα σε λογικά πλαίσια, αφού το συγκεκριμένο βάθος δεν είναι υπερβολικά μεγάλο και επίσης, δύναται μέσα σε αυτά τα πρώτα μέτρα από την επιφάνεια, ο ψαμμίτης να εμφανίζεται περισσότερο αποσαθρωμένος, κερματισμένος, ρηγματωμένος, επηρεασμένος από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (ύγρανση- ξήρανση, κ.α.).

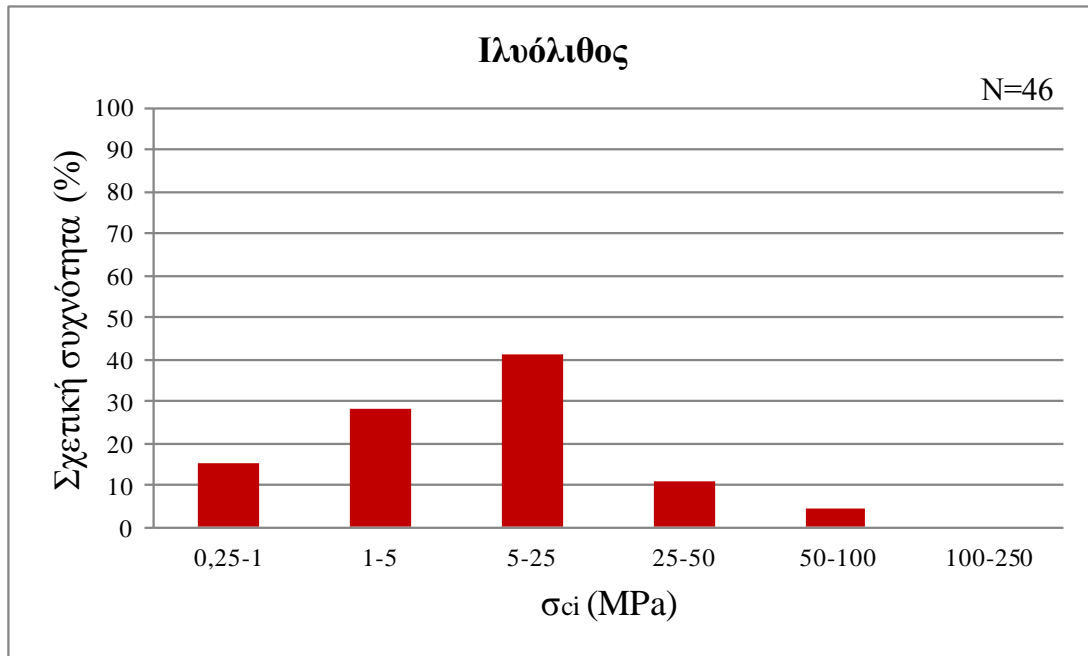
Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση των υψηλών τιμών σε μικρό βάθος, αξιολογήθηκε λογικά, ψαμμιτικό γεωυλικό πολύ υψηλής αντοχής, που πιθανόν χαρακτηρίζεται από απουσία υγρασίας ή και από ασβεστιτική θεμελιώδη μάζα ή και από μεγάλη περιεκτικότητα σε χαλαζία, διότι οι τιμές σ_{ci} απέχουν αρκετά από την μέση τιμή του ψαμμίτη φλύσχη (πίνακας 4.3.3.3).

Αν αφαιρεθούν οι ακραίες τιμές, παρατηρείται μικρή αλλά υπαρκτή συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων βάθους και αντοχής, δηλαδή με την αύξηση του βάθους υπάρχει τάση για αύξηση της τιμής της αντοχής του σχηματισμού.



Για τον σχηματισμό του φλύσχη που αποτελείται από **ιλυόλιθο**, εξάγεται το συμπέρασμα ότι επικρατούν σε ποσοστό 41,3% οι τιμές 5-25 MPa, ενώ ακολουθούν σε ποσοστό 28,26% οι τιμές 1-5 και σε ποσοστό 15,22% η εξαιρετικά χαμηλή αντοχή.

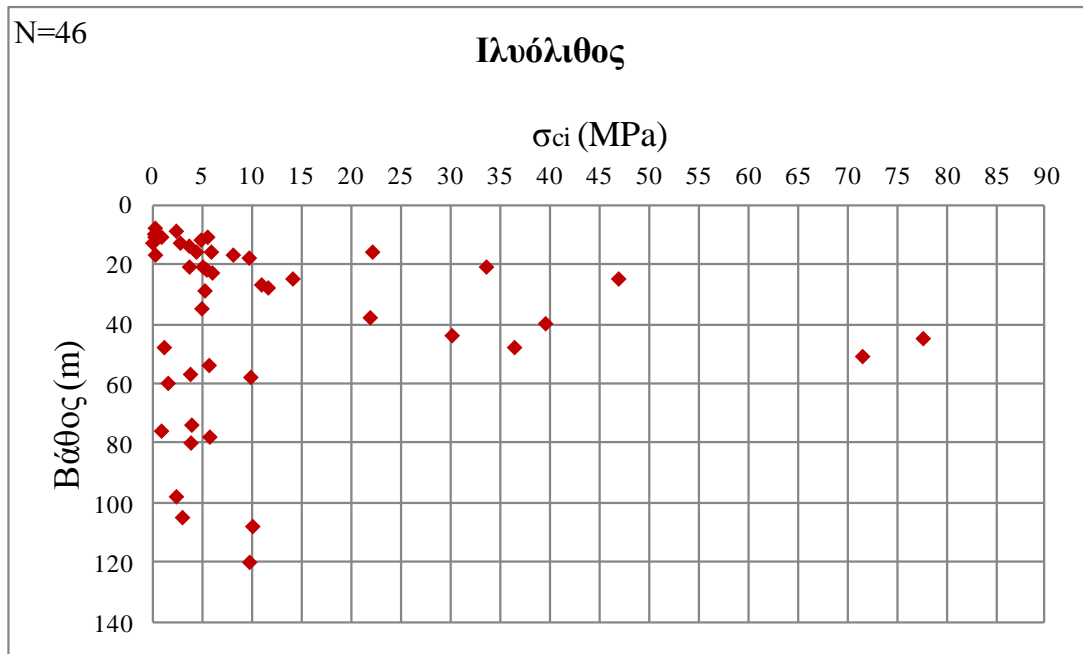
Απουσιάζουν, όπως και είναι αναμενόμενο και λογικό, τιμές πολύ υψηλής αντοχής καθώς μόνο δύο τιμές απαντήθηκαν στην κατηγορία της υψηλής αντοχής.



Η πλειοψηφία των δοκιμών μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής εκτελέστηκαν μέχρι και το βάθος των 60m περίπου. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της εμφάνισης τιμών πολύ χαμηλής αντοχής $\sigma_{ci}=0,96\text{MPa}$ στα 76m βάθος και $\sigma_{ci}=3\text{MPa}$ στα 105m βάθος. Ως γνωστόν ο ιλυόλιθος παρουσιάζει εκ φύσεως χαμηλές τιμές αντοχής, αλλά οι προαναφερθείσες τιμές απέχουν αρκετά από την μέση τιμή αντοχής του πετρώματος και παράλληλα εντοπίστηκαν σε σημαντικά μεγάλο βάθος. Στα συγκεκριμένα βάθη πιθανόν να παρουσιάζεται ιλυόλιθος διαρρηγμένος, θρυμματισμένος, με κατατμήσεις, αποσαθρωμένος. Τα παραπάνω ενδεχομένως οφείλονται σε ζώνη διάτμησης, με ή χωρίς παρουσία νερού (που αποσαθρώνει εκατέρωθεν τον ιλυόλιθο) ή οφείλονται στην συμμετοχή ιλυόλιθου ισχυρά διατμημένου τεκτονικά, πολυπτυχωμένου, με θύλακες αργίλου και σχεδόν χαοτική δομή, που προσομοιάζει ακόμη και εδαφικό υλικό.

Επιπροσθέτως, είναι άξια αναφοράς και η περίπτωση εμφάνισης της τιμής $\sigma_{ci}=47,02\text{MPa}$ στα 25m. Θα ήταν παράλογο, για ένα «κοινό- σύνηθες» ιλυολιθικό πέτρωμα χαμηλής αντοχής, να δίνει υψηλή τιμή αντοχής και ιδιαίτερα στην περίπτωση που αυτή δεν έχει ληφθεί από αρκετά μεγάλο βάθος. Στην περίπτωση αυτή ο ιλυόλιθος

εμπεριέχει ασβεστιτικές φλέβες όπως φανερώνει η λεπτομερής περιγραφή των δεδομένων. Στις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις όπου απαντάται υψηλή τιμή αντοχής το πέτρωμα είναι μεν καθαρά ιλυολιθικό αλλά βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, δηλαδή τιμολογήθηκε αδιατάρακτος και συμπαγής ιλυόλιθος.

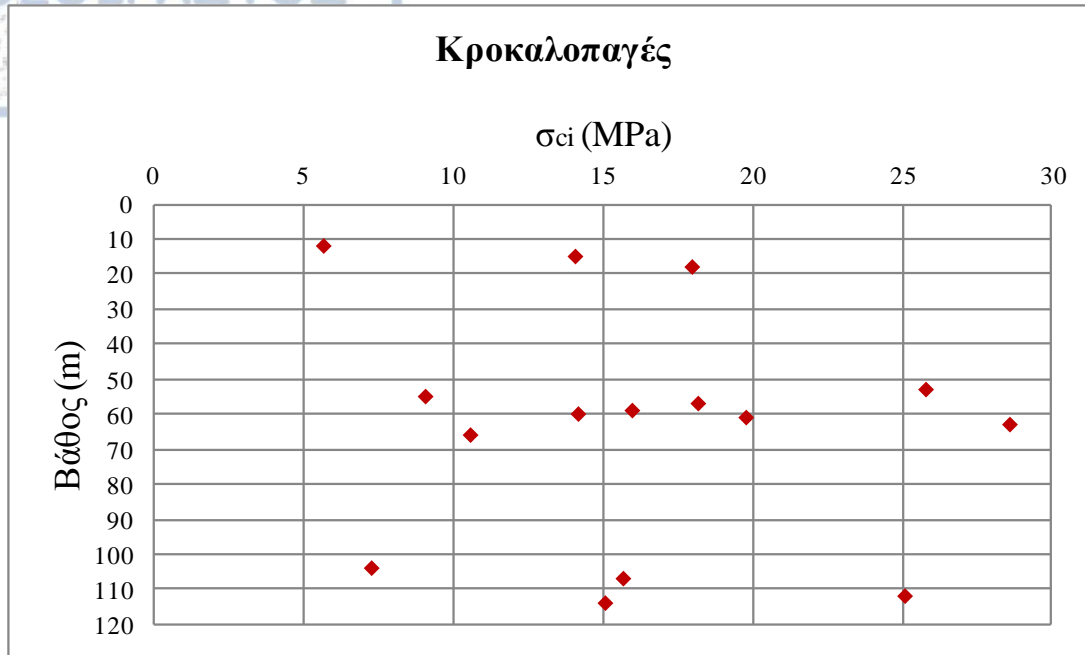


Για τον **κροκαλοπαγή** φλύσχη, το πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων προς επεξεργασία ήταν μικρό (N=15), με συνέπεια την ανάγκη επιφύλαξη κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων. Το 80% των τιμών ανήκει στο εύρος των 5-25 MPa (χαμηλή αντοχή) ενώ το υπόλοιπο 20% στο εύρος των 25-50MPa (μέτρια αντοχή). Οι τιμές του ιστογράμματος βρίσκονται σε συμφωνία με αυτές που έχουν προκύψει για το κροκαλοπαγές, κατά Β. Μαρίνο (2007).



Το παρακάτω διάγραμμα διασποράς για το υπό εξέταση φλυσχικό γεωυλικό, υποδεικνύει ότι το μεγαλύτερο πλήθος δοκιμών έχει εκτελεστεί μέχρι το βάθος των 70m περίπου. Από το σύνολο των τιμών, ξεχωρίζει αυτή των 7,3MPa στο βάθος των 104m. Παρόλο που τα κροκαλοπαγή χαρακτηρίζονται σε γενικές γραμμές από την μέση αντοχή των 15-16MPa, η προαναφερθείσα τιμή, απέχει αρκετά και ταυτόχρονα βρίσκεται σε πολύ μεγάλο βάθος, κάτι που την καθιστά άξια προς μελέτη.

Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην παρουσία ζώνης διάτμησης που επιτρέπει την κίνηση του νερού στο εσωτερικό της και το οποίο εξαλλοιώνει το συγκολλητικό υλικό του κροκαλοπαγούς περιφερειακά της ζώνης αυτής. Επίσης, σημαντική παράμετρος της αντοχής είναι και η ορυκτολογική σύσταση του συγκολλητικού υλικού του κροκαλοπαγούς σε συνδυασμό με το ποσοστό συμμετοχής του στο συνολικό όγκο του δείγματος. Ειδικότερα, αν το δείγμα αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από συγκολλητικό υλικό, τότε η αντοχή του θα είναι αρκετά απομειωμένη σε σχέση με αυτήν που θα είχε εάν στην μάζα του δοκιμίου συμπεριλαμβανόταν και κροκάλες. Πόσο μάλλον, αν το συγκολλητικό υλικό είναι αργιλικής ή ασβεστιτικής σύστασης, η αντοχή απομειώνεται περισσότερο ή λιγότερο αντίστοιχα.



Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών σ_{ci} τριών γεωυλικών του φλύσχη.

Φλυσχικός σχηματισμός	Μέγιστη τιμή (MAX)	Βάθος (m)	Ελάχιστη τιμή (MIN)	Βάθος (m)	Μέση τιμή (MEAN)	Πλήθος τιμών (N)
Ψαμμίτης	188,33	105	0,72	10	48	58
Ιλύολιθος	77,71	45	0,08	13	9	63
Κροκαλοπαγές	28,6	63	5,7	12	16	15

*Σε ορισμένες περιπτώσεις γεωλογικών σχηματισμών καθίσταται επισφαλής η εξαγωγή ακριβών συμπερασμάτων λόγω παρουσίας μικρού σχετικά πλήθους τιμών (N). Για την εξαγωγή των μέσων τιμών, απαλείφθηκαν οι ακραίες τιμές.

Πίνακας 4.3.3.1.1: Χαρακτηριστικές τιμές σ_{ci} για τα τρία βασικά γεωυλικά του φλύσχη.

Από παρατηρήσεις των διαγραμμάτων συμπεραίνεται γραφικές η απουσία συσχέτισης των παραμέτρων βάθους- σ_{ci} .

Ακολουθεί πίνακας με τις τιμές τυπικής απόκλισης για τα τρία βασικά γεωυλικά του φλύσχη, μετά από αφαίρεση των ακραίων τιμών.

Φλυσχικός σχηματισμός	Τυπική απόκλιση-Standard Deviation (STDEV)
Ψαμμίτης	27,7
Ιλύολιθος	12,6
Κροκαλοπαγές	6,5

Πίνακας 4.3.3.1.2: Τυπική απόκλιση των τιμών σ_{ci} τριών φλυσχικών γεωυλικών.

Οι τιμές τυπικής απόκλισης είναι σχετικά μεγάλες, της τάξης του 25-35, με εξαίρεση την περίπτωση του κροκαλοπαγούς που όμως για αυτό τα δεδομένα ήταν ελάχιστα. Εστιάζοντας λοιπόν στις τιμές των υπόλοιπων σχηματισμών, συμπεραίνεται ότι η διασπορά των τιμών είναι μεγάλη δηλαδή απλώνονται πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα των μέσων τιμών, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της αβεβαιότητας ως προς την παράμετρο της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε φλυσχικό περιβάλλον.

Ισχύει επίσης ότι στην περίπτωση των πετρωμάτων χαμηλής έως εξαιρετικά χαμηλής αντοχής, οπου τα εύρη τιμών τους είναι πιο μικρά-«ευαίσθητα», η μεταβολή των τιμών κατά 25-35 μονάδες θα οδηγήσει άμεσα σε διαφορετική κατηγορία πετρώματος.

4.3.4. Σταθερά m_i

Προτάθηκε από τους Hoek and Brown (1980) και σχετίζεται με τις παραμέτρους αντοχής του βραχώδους υλικού. Είναι μία πετρογραφική σταθερά που αναφέρεται στον άρρηκτο βράχο (m_{intact}) και εκφράζει το αλληλοκλείδωμα των συστατικών των ορυκτών και των κόκκων, δηλαδή την γωνία τριβής του υλικού. Η τιμή της παρουσιάζει διακυμάνσεις (Tsiambaos & Sabatakakis, 2004). Εξαρτάται από την δομή και σύσταση του βραχώδους υλικού.

Προκύπτει από τριαξονικές δοκιμές στον άρρηκτο βράχο και είναι ανάλογη του εκάστοτε πετρογραφικού τύπου. Στην συγκεκριμένη δοκιμή, αύξηση της πλευρικής τάσης σ_3 , οδηγεί σε μείωση της τιμής m_i (Tsiambaos & Saroglou, 2006; δεδομένα από Hoek & Franklin, 1970 – Διπλωματική Εργασία Δ. Ντούλιας, Γεωτεχνικός Τομέας, ΕΜΠ, 2008).

Η σταθερά m_i μπορεί να υπολογιστεί άμεσα από το λογισμικό RocData της Rocscience, που βασίζεται στα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών τριαξονικής φόρτισης.

Επίσης, για τον κατά προσέγγιση υπολογισμό της σταθεράς m_i για τον άρρηκτο βράχο, ισχύει ο παρακάτω πίνακας σύμφωνα με τους Marinis and Hoek (2000). Κυρίως

χρησιμοποιείται προς εξοικονόμηση χρόνου και όταν υπάρχει δυσκολία διαμόρφωσης δειγμάτων για δοκιμή (π.χ. ιζηματογενή πετρώματα χαμηλής αντοχής, όπως ο ιλυόλιθος).

Είναι ωστόσο, καθαρά ενδεικτικές τιμές.

Τύπος	Κατηγορία	Ομάδα	Υφή			
			Αδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικά		Κροκαλοπαγή *	Ψαμμίτες 17 ± 4	Ιλυόλιθοι 7 ± 2 Γραουβάκες (18 ± 3)	Αργιλόλιθοι 4 ± 2 Αργιλικό Σχιστόλιθοι (6 ± 2) Μάργες (7 ± 2)
		Λατυποπαγή *				
	Μη κλαστικά	Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12 ± 3)	Σπαρτικοί Ασβεστόλιθοι (10 ± 2)	Μικριτικοί Ασβεστόλιθοι (9 ± 2)	Δολομίτες (9 ± 3)
		Εβαπορίτες		Γύψος 8 ± 2	Ανυδρίτης 12 ± 2	
	Οργανικά				Κρητίς 7 ± 2	
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩ- ΜΕΝΑ	Μη πτυχωμένα		Μάρμαρο 9 ± 3	Κερατίτες 20 ± 3 Μεταψαμμίτες 19 ± 3	Χαλαζίτες 19 ± 4	
	Ελαφρά πτυχωμένα		Μιγματίτες 29 ± 3	Αμφιβολίτες 26 ± 6	Γνεύσιοι 28 ± 5	
	Πτυχωμένα**			Σχιστόλιθοι 12 ± 3	Φυλλίτες (7 ± 3)	Σχιστόλιθοι 7 ± 4
ΠΥΡΙΓΕΝΗ	Πλουτώνια	Ανοιχτόχρωμα	Γρανίτης 32 ± 3	Διορίτης 25 ± 5		
		Γρανодиορίτης (29 ± 3)				
		Σκοτεινό - χρωμα	Γάββρος 27 ± 3	Δολερίτης (16 ± 5)		
	Υποαββυσικά		Νορίτης 20 ± 5			
			Πορφύρης (20 ± 5)		Διαβάσης (15 ± 5)	Περιδοίτης (25 ± 5)
Ηφαιστειακά	Λάβες		Ρυόλιθος (25 ± 5) Ανδεσίτης 25 ± 5	Δακίτης (25 ± 3) Βασάλτης (25 ± 5)		
	Πυροκλαστικά	Ηφαιστειακά Κροκαλοπαγή (19 ± 3)	Ηφαιστειακά Λατυποπαγή (19 ± 5)	Τόφφοι (13 ± 5)		

Πίνακας 4.3.4.1: Τιμές σταθεράς m_i για το βραχύδες υλικό (ακέραιο πέτρωμα) κατά λιθολογικό τύπο πετρώματος (Hoek and Marinos, 2000)

Κατά Β. Μαρίνο (2007), οι τιμές m_i για τα φλυσικά πετρώματα είναι:

1. Ψαμμίτης: 17 ± 4
2. Ιλυόλιθος: 7 ± 2
3. Κροκαλοπαγές: Η τιμή εξαρτάται από το είδος του συνδετικού υλικού και από τον βαθμό συγκόλλησης. Συνεπώς η τιμή του m_i κυμαίνεται, αλλά σε ένα συμπαγές κροκαλοπαγές είναι περίπου 21.

Μικροσκοπικά, το εύρος των τιμών εξαρτάται από τον κοκκώδη ή μη κοκκώδη ιστό και από το αλληλοκλείδωμα των κρυσταλλικών κόκκων. Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο σφικτό είναι το αλληλοκλείδωμα των κόκκων και συνεπώς όσο πιο καλή είναι η τριβή μεταξύ τους, τόσο πιο υψηλή θα είναι και η τιμή του m_i .

Για τους λιθότυπους του φλύσχη, παραθέτονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα, ενδεικτικές και όχι τυπικές τιμές m_i , όπως υπολογίστηκαν από τον Β. Μαρίνο (2007) μέσω του λογισμικού RocData.

Τύπος φλύσχη	m_i
I	17
II	7
III	17
IV	10
V	8
VI	7
VII	10
VIII	8
IX	9,5
X	7
XI	6

Πίνακας 4.3.4.2: Ενδεικτικές τιμές m_i των τύπων του φλύσχη

Η τιμή m_b αντιπροσωπεύει την απομειωμένη τιμή m_i και αφορά τη βραχύμαζα. Μόνο όταν $GSI=100$, δηλαδή όταν ο βράχος είναι άρρηκτος, ισχύει $m_b=m_i$.

4.3.5. Χρήση του λογισμικού προγράμματος RocData 5.0 στους σχηματισμούς του φλύσχη για την εξαγωγή παραμέτρων Hoek and Brown (m_b , s , a) και Mohr-Coulomb (c , ϕ) καθώς και του μέτρου παραμορφωσιμότητας (ϵ) – σχολιασμός αποτελεσμάτων

Με βάση την στατιστική επεξεργασία, λήφθηκαν οι αντιπροσωπευτικές τιμές σ_{ci} , GSI και m_i κάθε ξεταζόμενου φλυσχικού σχηματισμού και χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα RocData, με στόχο τον προσδιορισμό των τιμών συνοχής (c), γωνίας τριβής (ϕ) και μέτρου παραμορφωσιμότητας (E_m) των σχηματισμών αυτών και των σταθερών s , a , και m_b .

Ως βαθμός διατάραξης εφαρμόστηκε στο πρόγραμμα D=0. Χρησιμοποιήθηκε το γενικευμένο κριτήριο Hoek and Brown και μέθοδος εκτίμησης κατά Hoek, Carranza-Tores, Corkum (2002), με γενική εφαρμογή (application:general).

Πρέπει όμως να τονιστεί πρώτα ότι, για τους σύνθετους σχηματισμούς, δηλαδή: 1) τις εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες, 2) τον ιλυόλιθο ή ερυθροπηλίτη με ενστρώσεις ψαμμίτη και 3) τον μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλυόλιθου, χρησιμοποιήθηκαν τιμές σ_{ci} που προέκυψαν με βάση την συμμετοχή του ψαμμίτη και του ιλυόλιθου στον κάθε σχηματισμό. Πιο αναλυτικά, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του άρρηκτου βράχου, οι δοκιμές στους παραπάνω σχηματισμούς, εκτελέστηκαν σε ένα μόνο από τα γεωυλικά (ιλυόλιθος, ψαμμίτης) και συνεπώς αυτά επεξεργάστηκαν και μελετήθηκαν ξεχωριστά. Στο παρόν κεφάλαιο, οι τιμές του κάθε γεωυλικού (ιλυόλιθος, ψαμμίτης) ανάγονται με βάση την συμμετοχή τους στον σχηματισμό (π.χ. ίση αναλογία) και προκύπτει τελική τιμή σ_{ci} (MPa) που εφαρμόζεται ακολούθως στο RocData.

Ειδικότερα, ο σχηματισμός του ιλυόλιθου ή ερυθροπηλίτη με ενστρώσεις ψαμμίτη, διακρίθηκε σε δύο τύπους, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, εξάχθηκε τιμή σ_{ci} για τον ιλυόλιθο ή ερυθροπηλίτη (χαοτικής δομής) με λεπτούς σποραδικούς ορίζοντες ή εγκλείσματα ψαμμίτη που αντιπροσωπεύει τους τύπους VI και XI και, τιμή σ_{ci} για τον ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη που αντιπροσωπεύει τους τύπους V και VIII. Για την πρώτη περίπτωση προέκυψε μέση τιμή GSI=50 και για την δεύτερη GSI=39.

Έτσι, με βάση τις προτεινόμενες αναλογίες σ_{ci} των λιθολογικών μελών κατά Μαρίνο Β.,2007 (πίνακας 8) , υπολογίστηκαν τα παρακάτω.

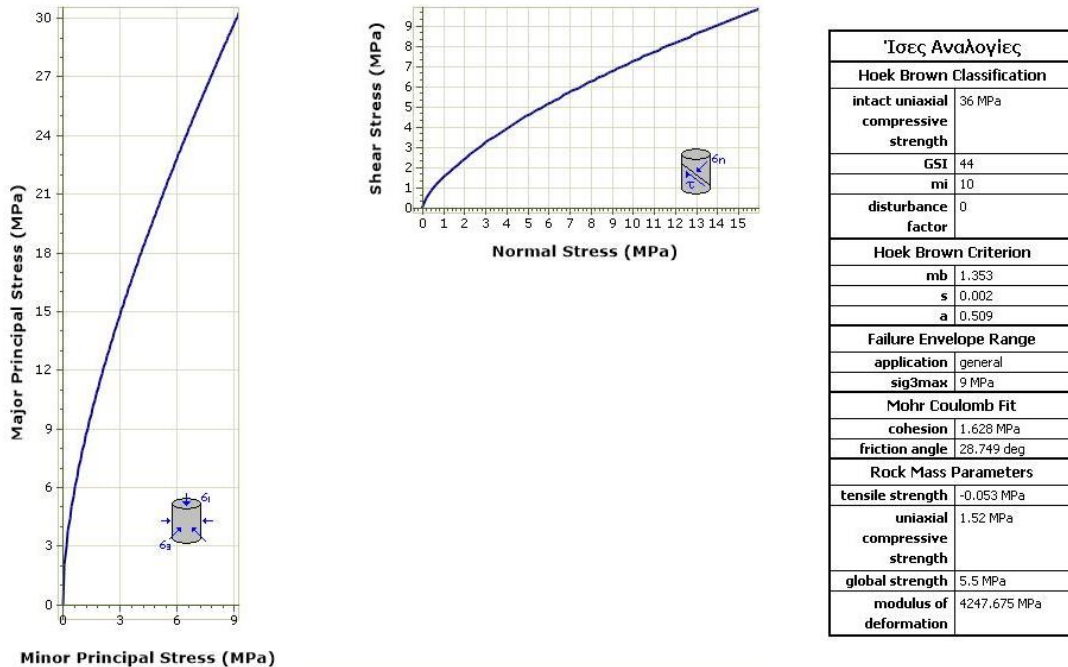
Φλυσχικός σχηματισμός	Γεωυλικό	Τιμή γεωυλικού σ_{ci} (MPa)	Αναγωγή		Τελική τιμή σχηματισμού (MPa)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες	Ψαμμίτης	51,22	Ισοδύναμη χρήση των τιμών των γεωυλικών (τύπος IV, VII)		36
	Ιλυόλιθος	19,55			
Ιλυόλιθος ή ερυθροπηλίτης (χαοτικής δομής) με λεπτούς σποραδικούς ορίζοντες ή εγκλείσματα ψαμμίτη	Ιλυόλιθος	11,35	Χρήση πλήρους τιμής του ιλυόλιθου (τύπος VI, XI)		11,35
Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη (τύπος V, VIII)	Ψαμμίτης	55,7	Μείωση των ψαμμιτικών τιμών κατά 40%	$(0,3 \times (0,4 \times 55,7)) = 6,68$	<u>Αναλογία ιλυόλιθου-ψαμμίτη = 70-30</u> Άρα: $6,68 + 18,8 = 25,5$
	Ιλυόλιθος	26,83	Χρήση πλήρους τιμής του ιλυόλιθου	$0,7 \times 26,8 = 18,8$	
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου	Ψαμμίτης	49,73	Χρήση πλήρους τιμής του ψαμμίτη (τύπος I, III)		49,73

Πίνακας 4.3.5.1: Τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τους σχηματισμούς του φλύσχη, με βάση την συμμετοχή του κάθε γεωυλικού στον σχηματισμό

Παρακάτω παραθέτεται ενδεικτική εικόνα του RocLab, όπως εξάγεται για τον σχηματισμό των ίσων αναλογιών ψαμμίτη και ιλυόλιθου. Οι εικόνες για τους υπόλοιπους φλυσχικούς σχηματισμούς βρίσκονται στο παράρτημα της εργασίας.

Σε αυτές περιλαμβάνεται το διάγραμμα μέγιστης(σ_1)-ελάχιστης(σ_3) κύριας τάσης, το διάγραμμα διατμητικής(τ)-ορθής τάσης(σ_n) καθώς και πίνακας με τα δεδομένα που

εφαρμόστηκαν (Hoek Brown Classification) στο πρόγραμμα και τα στοιχεία που προκύπτουν από την επεξεργασία. Τα τελευταία, αφορούν τις παραμέτρους του κριτηρίου Hoek-Brown (m_b , s , a), τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής (c, ϕ) (Mohr-Coulomb) και τις παραμέτρους της βραχώμαζας: εφελκυστική αντοχή (σ_t), θλιπτική αντοχή (σ_{cm}), μέτρο παραμορφωσιμότητας (E_m).



Εικόνα 4.3.5.2: Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος RocData για το λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη ψαμμίτη – ιλύλιθο σε ίσες αναλογίες.

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων των παραπάνω στοιχείων που προέκυψαν από την εφαρμογή του RocData.

Φλυσχικός σχηματισμός	Συνοχή (Cohesion) c (MPa)	Γωνία τριβής (Friction Angle) φ (deg)	Μέτρο παραμορφωσιμότητας (Modulus of Deformation) E_m (MPa)	mb	s	a
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλύλιθου σε ίσες αναλογίες	1,628	28,749	4247,675	1,353	0,002	0,509
Ιλύλιθος ή ερυθροπηλίτης (χαοτικής δομής) με λεπτούς σποραδικούς ορίζοντες ή εγκλείσματα ψαμμίτη	0,508	27,533	3368,976	1,174	0,004	0,506
Ιλύλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	0,940	24,404	2680,84	0,792	0,001	0,512
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης ενστρώσεις ιλύλιθου	2,825	34,479	6285,057	2,654	0,003	0,507
Ψαμμίτης	2,766	34,781	6540,65	2,751	0,003	0,506
Ιλύλιθος	0,377	21,53	895,62	0,554	3E-04	0,524
Κροκαλοπαγές	1,288	42,295	11273,53	6,697	0,029	0,502

Πίνακας 4.3.5.3: Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το RocData

Παρατηρείται ότι η μέγιστες τιμές διατμητικής αντοχής (c, φ) ανήκουν στο γεωυλικό του ψαμμίτη του φλύσχη και στον μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλύλιθου. Οι χαμηλότερες τιμές ανήκουν, δικαιολογημένα, στο γεωυλικό του ιλύλιθου, ενώ ακολουθεί ο σχηματισμός του ιλύλιθου ή ερυθροπηλίτη (χαοτικής δομής) με λεπτούς σποραδικούς ορίζοντες ή εγκλείσματα ψαμμίτη και ιλύλιθου με ενστρώσεις ψαμμίτη. Η ίδια σχέση επικρατεί στο μέτρο παραμορφωσιμότητας και στην τιμή m_b της βραχόμαζας η οποία αντιπροσωπεύει την απομειωμένη τιμή πετρογραφικής σταθεράς m_i . Αξιοσημείωτο είναι ότι το κροκαλοπαγές



παρουσιάζει την μεγαλύτερη γωνία τριβής και πολύ μεγάλο μέτρο παραμορφωσιμότητας, αλλά μέτρια συνοχή.

Συνεπώς, με την αύξηση της συμμετοχής του ψαμμιτικού υλικού στον σχηματισμό, αυξάνεται-βελτιώνεται η συνοχή, η γωνία τριβής και η παραμορφωσιμότητά του, ενώ με την αύξηση του ιλυολιθικού ποσοστού, οι συγκεκριμένες τιμές μειώνονται.

Όσον αφορά τις σταθερές s και a , αυτές εκφράζουν την «απόκλιση» της βραχόμαζας από τον άρρηκτο βράχο, εξαιτίας της πολύπλοκης δομής της. Παρατηρείται ότι η σταθερά a είναι αντιστρόφως ανάλογη του GSI και της σταθεράς s . Όταν $GSI=0$, τότε η σταθερά a παίρνει την μέγιστη τιμή της $a_{max}=0,6665$ και $s_{max}=0$. Στην αντίθετη περίπτωση, είναι $a_{min}=0,5$ και $s_{max}=1$

4.4. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, λαμβάνονται υπόψη ορισμένες από τις τιμές των παραμέτρων και συσχετίζονται μεταξύ τους ανά δύο (παραμέτρους), με στόχο τον προσδιορισμό της ανάλογης ή μη σχέσης τους, και επεξηγείται γεωλογικά η σημασία της συσχέτισης.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται στη συνέχεια. Αρχικά, στα δεδομένα των excel του κάθε ζεύγους παραμέτρων, εφαρμόζεται «φίλτρο» και επιλέγονται μόνο οι κοινές γεωτρήσεις στις οποίες έχουν εκτελεστεί και οι δύο δοκιμές. Έπειτα, αναζητούνται τα επίσης κοινά βάθη στις προαναφερθείσες κοινές, για τις δοκιμές, γεωτρήσεις και από αυτά λαμβάνεται το αντίστοιχο ζεύγος τιμών. Ουσιαστικά, οι συντεταγμένες κάθε σημείου στο διάγραμμα των δύο, κάθε φορά, παραμέτρων αποτελούν τιμές οι οποίες προέκυψαν από δύο διαφορετικές δοκιμές (π.χ. αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη και αντοχή σε σημειακή φόρτιση) που όμως εκτελέστηκαν στο ίδιο βάθος της ίδιας γεώτρησης (προφανώς και για την ίδια σήραγγα). Από το σύνολο αυτό

των ζευγών τιμών, κατασκευάζεται διάγραμμα διασποράς και εξάγεται ο συντελεστής συσχέτισης (R^2) ο οποίος φανερώνει την συσχέτιση ή μη των εξεταζόμενων παραμέτρων.

Η διαδικασία αυτή εκτελείται με τον ίδιο τρόπο, για κάθε έναν από τους έξι αντιπροσωπευτικούς φλυσχικούς σχηματισμούς:

- 1) Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλιόλιθου σε ίσες αναλογίες
- 2) Ιλιόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη
- 3) Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης ενστρώσεις ιλιόλιθου
- 4) Ψαμμίτης
- 5) Ιλιόλιθος
- 6) Κροκαλοπαγές

Εξάιρεση αποτελούν τα ζεύγη αντοχής σε μονοαξονική θλίψη(σ_{ci})- παραμορφωσιμότητας βραχώμαζας(E_m), γεωλογικού δείκτη αντοχής (GSI)- παραμορφωσιμότητας βραχώμαζας(E_m), και συνοχής(c)- γωνίας τριβής(ϕ) στα οποία η συσχέτιση πραγματοποιήθηκε για το σύνολο του σχηματισμού του φλύσχη, λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες τιμές των παραπάνω παραμέτρων κάθε φλυσχικού σχηματισμού.

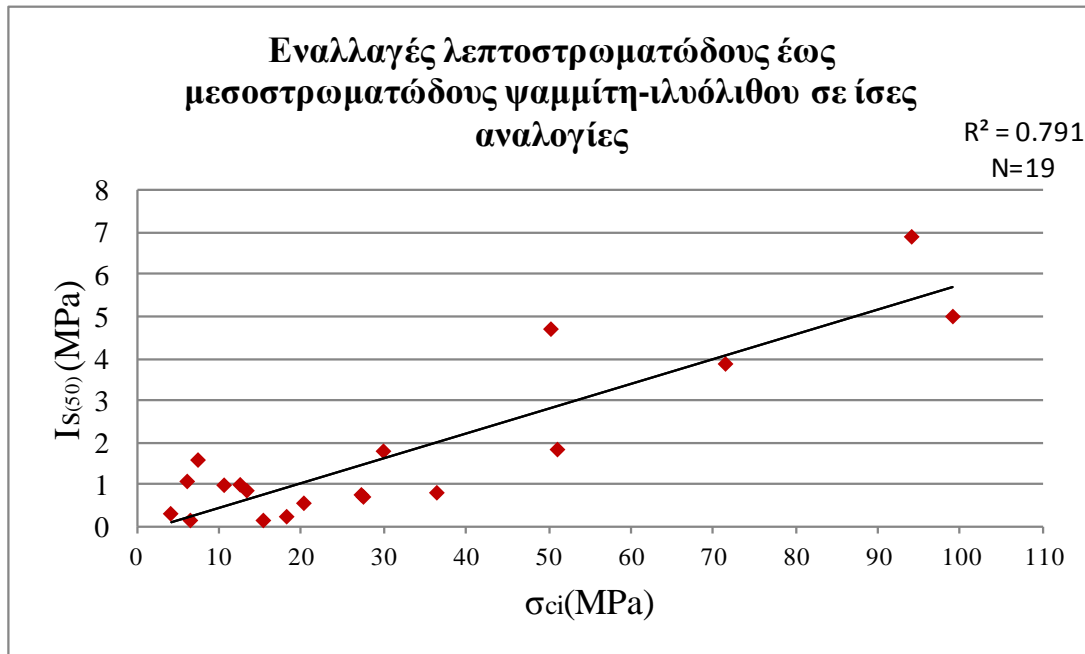
Αυτό συνέβη διότι, οι τιμές της παραμέτρου GSI που θα εφαρμόζονταν στο πρόγραμμα RocData για την εξαγωγή αντίστοιχων τιμών E_m , c , ϕ και την συσχέτιση των GSI- E_m και σ_{ci} - E_m , δεν έχουν εξαχθεί εξολοκλήρου από πυρήνες γεωτρήσεων («περιστροφική δειγματοληψία»), αλλά και από απλές παρατηρήσεις μέσα σε εκσκαφές («γραμμική διαδρομή ή γραμμή αναγνώρισης σε σήραγγα»). Αυτό σημαίνει ότι ήταν αδύνατη η ταύτιση τιμών σ_{ci} και GSI της ίδιας γεώτρησης και του ίδιου βάθους, αφού απουσίαζαν ολοκληρωτικά οι ονομασίες (τουλάχιστον) των γεωτρήσεων.

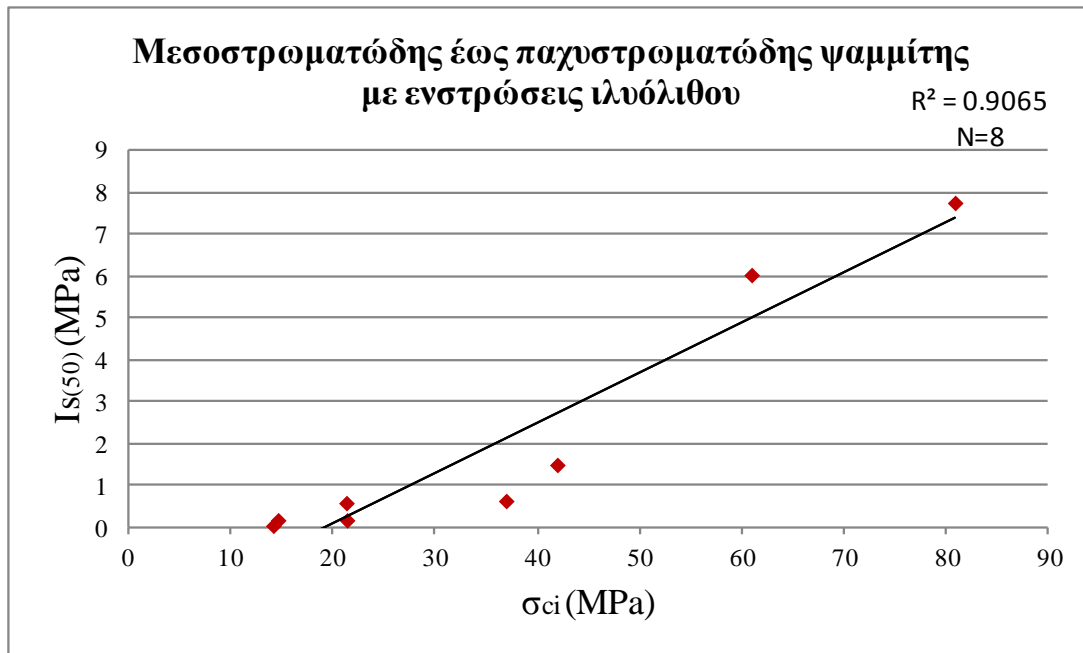
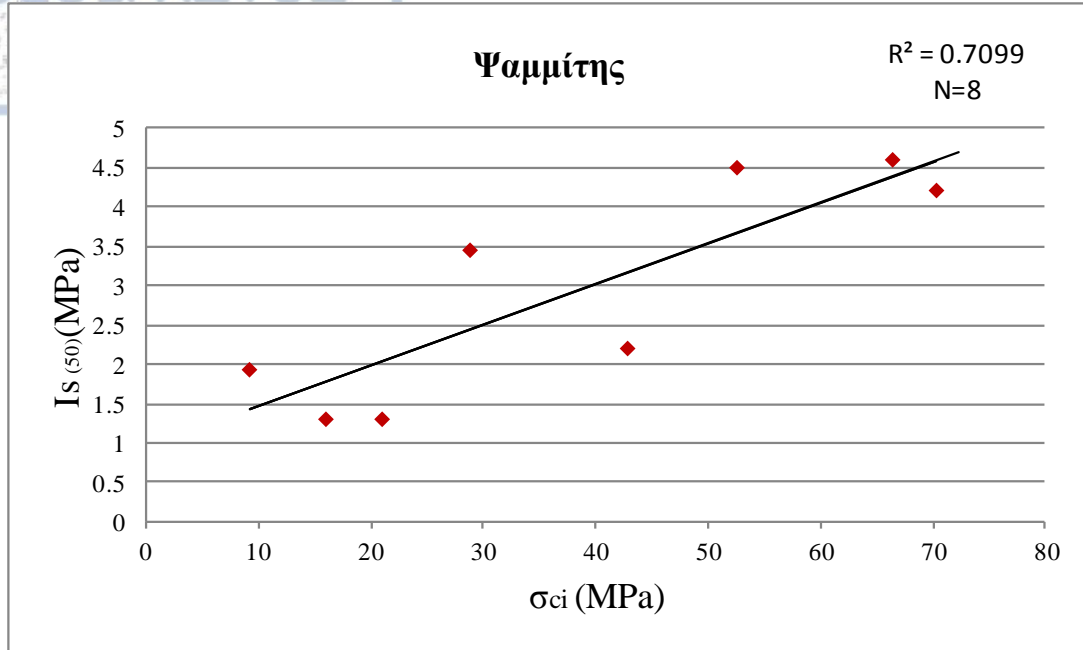
4.4.1. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci})-Αντοχή σε σημειακή φόρτιση ($I_s(s_0)$)

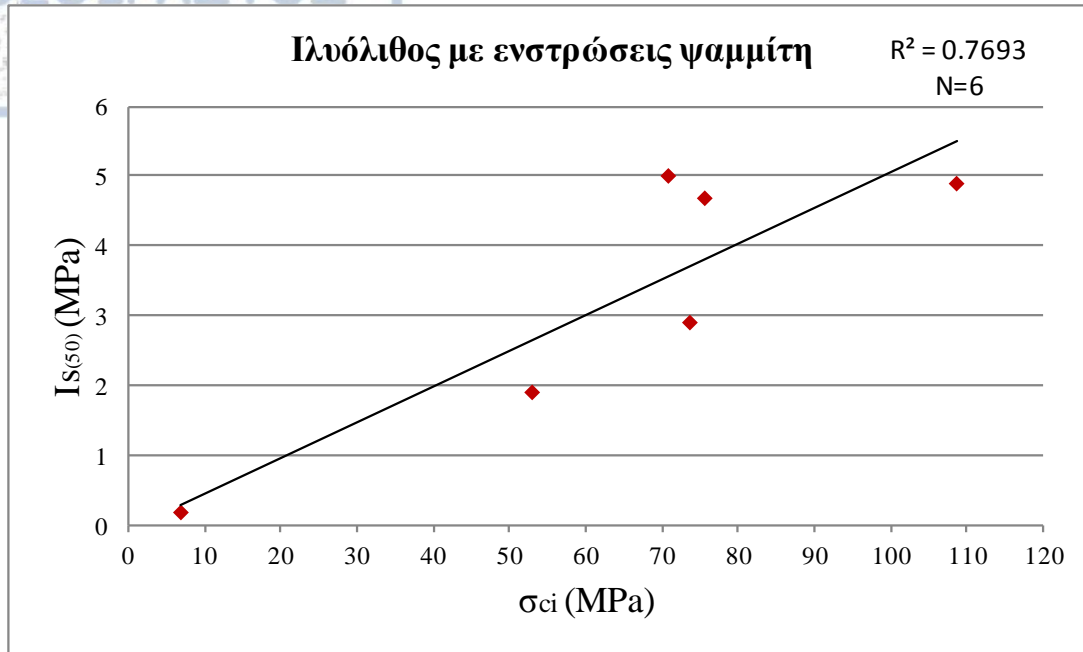
Με την παρατήρηση των ακόλουθων διαγραμμάτων αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και αντοχής σε σημειακή φόρτιση τεσσάρων φλυσχικών σχηματισμών, συμπεραίνεται τόσο γραφικά όσο και από τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης (R^2)

πλησιάζει την μονάδα) ότι, οι δύο εξεταζόμενες παράμετροι σχετίζονται μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, είναι ανάλογες και με την αύξηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη παρατηρείται και αύξηση των τιμών της αντοχής σε σημειακή φόρτιση.

Λόγω της απουσίας δεδομένων για το κροκαλοπαγές και τον ιλυόλιθο, δεν κατασκευάστηκαν ανάλογα διαγράμματα.







Είναι προφανές ότι και οι δύο παράμετροι πρεσβεύουν την ίδια ιδιότητα της αντοχής του γεωυλικού και συνεπώς η αναλογία τους αυτή, είναι αναμενόμενη. Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τον συντελεστή συσχέτισης κάθε διαγράμματος-σχηματισμού.

Γεωλογικός σχηματισμός	Συντελεστής συσχέτισης R (CORREL)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλύολιθου σε ίσες αναλογίες	0,791
Ιλύολιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	0,7693
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης ενστρώσεις ιλύολιθου	0,9065
Ψαμμίτης	0,7099

Πίνακας 4.4.1.1: Συντελεστής συσχέτισης R^2 των σ_{ci} - $I_{s(50)}$ των εξεταζόμενων φλυσχικών σχηματισμών

Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει διάφορες εξισώσεις συσχέτισης της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με την αντοχή σε σημειακή φόρτιση και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο μετασχηματισμός αυτός εξαρτάται από το είδος του εκάστοτε πετρώματος. Συμπεραίνεται πάντως έπειτα από μελέτη των εξισώσεων ότι πάντοτε ο $I_s(50)$ είναι μικρότερος του σ_{ci} δηλαδή ισχύει η σχέση:

$$\sigma_{ci} = k \cdot I_s(50),$$

όπου στη συσκευή σημειακής φόρτισης χρησιμοποιείται η τιμή $k=23-25$, αν και αυτή παρουσιάζει διακυμάνσεις.

Για πτωχής ποιότητας πετρώματα με $I_s(50) < 2\text{MPa}$, είναι $k=13$, όπου $I_s(50)$ κατά ISRM(1985) (Μαρίνος Β., 2007).

Για τους ακόλουθους σχηματισμούς του φλύσχη, εξάχθηκε η εξίσωση της μορφής $y=ax$ των ευθειών, εκ των οποίων η κλίση a της κάθε ευθείας αποτελεί την τιμή k ($k=a$). Ακολουθεί πίνακας των τιμών k κάθε εξεταζόμενου σχηματισμού.

Φλύσχικός σχηματισμός	k
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλύλιθου σε ίσες αναλογίες	16-17
Ψαμμίτης	19-20
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης ενστρώσεις ιλύλιθου	8-9
Ιλύλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	19-20

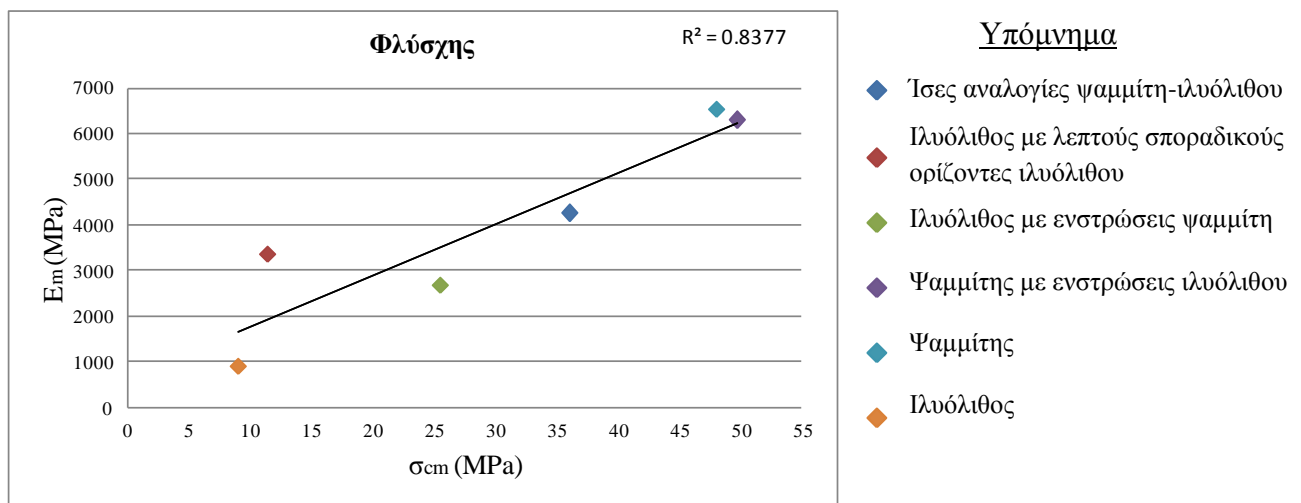
Πίνακας 4.4.1.2: Τιμές k των εξεταζόμενων σχηματισμών.

4.4.2. Αντοχή βραχόμαζας (σ_{cm})- Παραμορφωσιμότητα βραχόμαζας (E_m)

Για την κατασκευή του παρακάτω διαγράμματος, χρησιμοποιήθηκαν οι απομειωμένες τιμές σ_{ci} του άρρηκτου βράχου, δηλαδή οι τιμές σ_{cm} της βραχόμαζας, καθώς και οι τιμές παραμορφωσιμότητας της βραχόμαζας που προέκυψαν από το RocData, του καθένα από τους επτά εξεταζόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς και απεικονίστηκαν σε ένα διάγραμμα, όλοι μαζί. Αφαιρέθηκε μόνο η τιμή του γεωλικού του κροκαλοπαγούς, που απέκλειε πολύ από τα υπόλοιπα δεδομένα.

Από το παρακάτω διάγραμμα αντοχής σε μονοαξονική θλίψη της βραχώμαζας (σ_{cm}) και παραμορφωσιμότητας της βραχώμαζας (E_m), συμπεραίνεται τόσο γραφικά όσο και από την υψηλή τιμή του συντελεστή συσχέτισης ($R=0,8377$), ότι οι εξεταζόμενες παράμετροι είναι ανάλογες μεταξύ τους. Όσο αυξάνεται η αντοχή της βραχώμαζας, τόσο αυξάνεται και η παραμορφωσιμότητά της.

Η αντοχή εξαρτάται με την σειρά της από την ορυκτολογική σύσταση του γεωυλικού και συνεπώς, βασικό συμπέρασμα που εξάγεται από το διάγραμμα είναι το ακόλουθο. Όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου 4.3.5., με την αύξηση της συμμετοχής του ψαμμιτικού υλικού στον σχηματισμό, αυξάνεται-βελτιώνεται η αντοχή και η παραμορφωσιμότητά του, ενώ με την αύξηση του ιλυολιθικού ποσοστού, οι συγκεκριμένες τιμές μειώνονται.

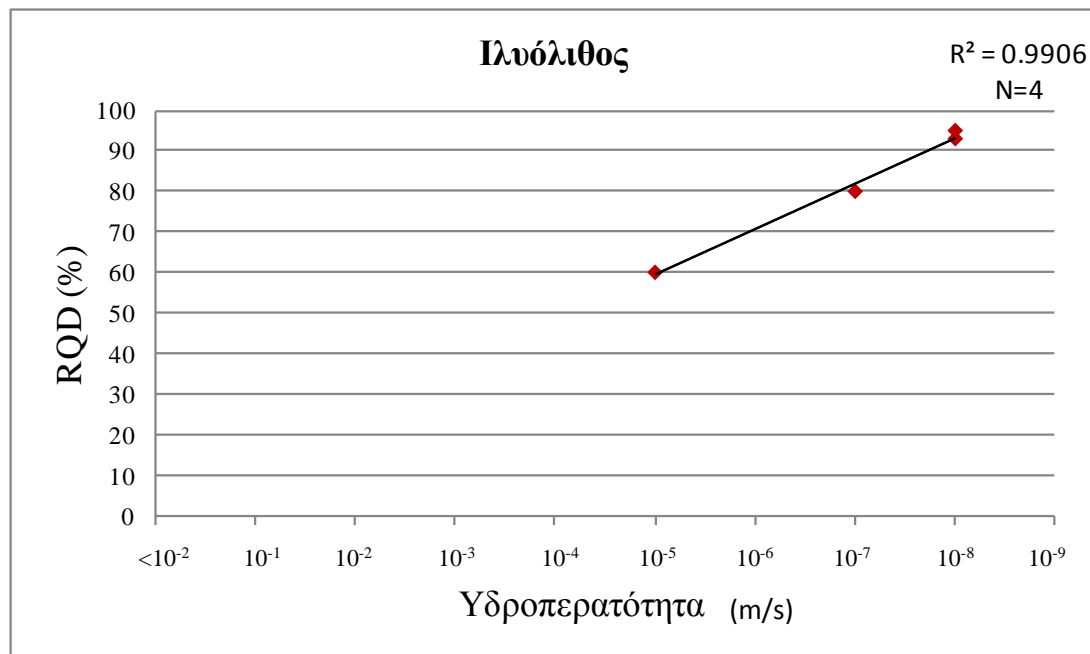
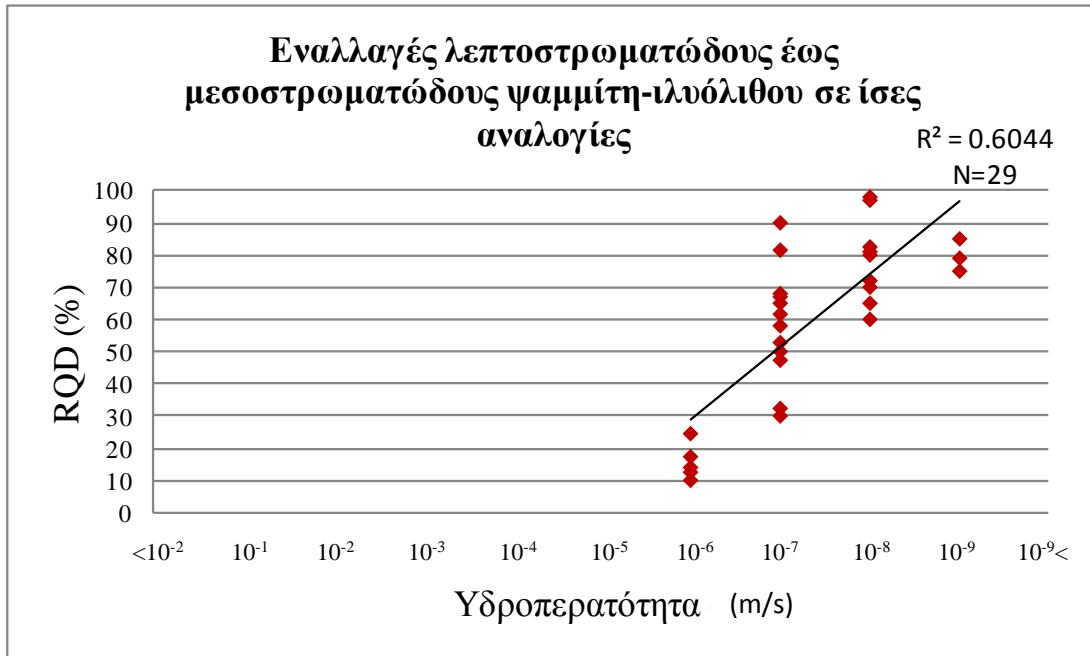


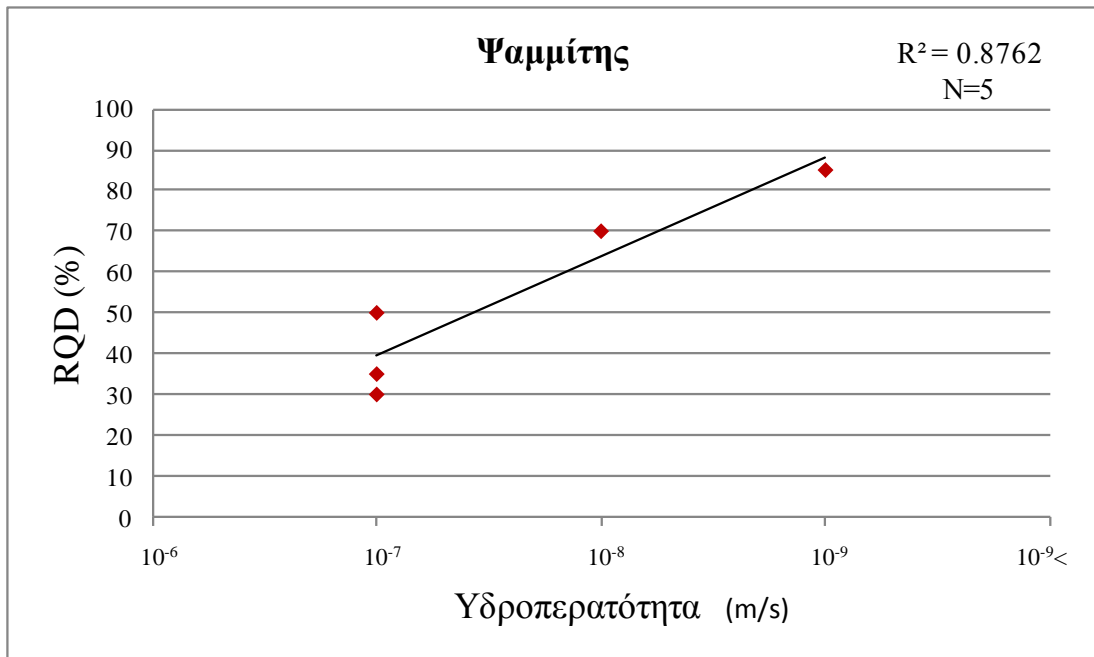
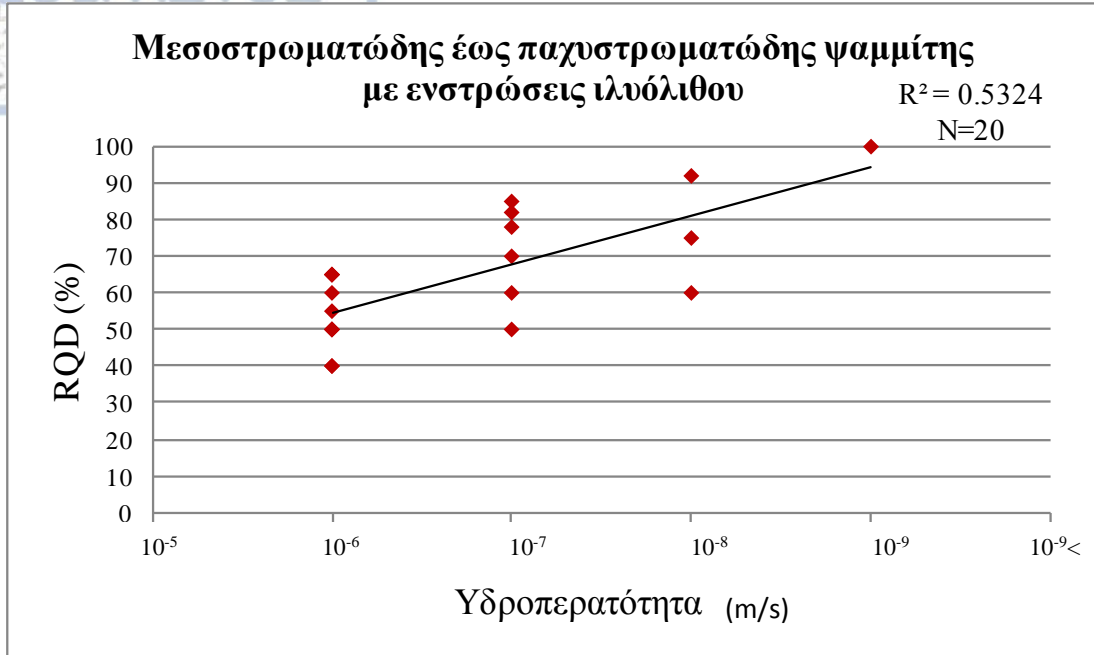
4.4.3. Δείκτης ποιότητας πετρώματος (RQD)-Περατότητα(k)

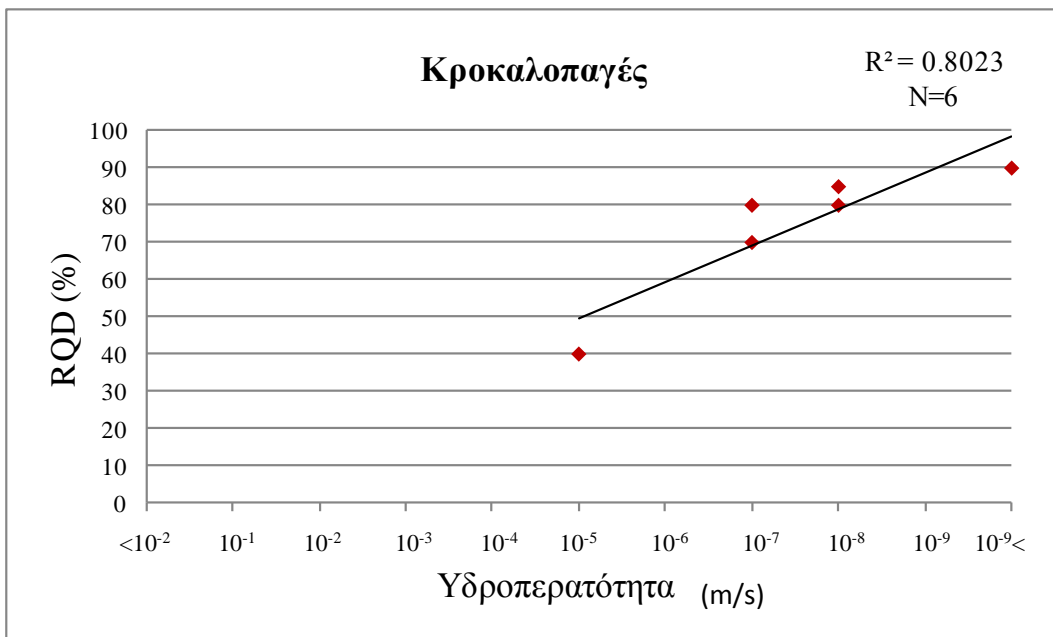
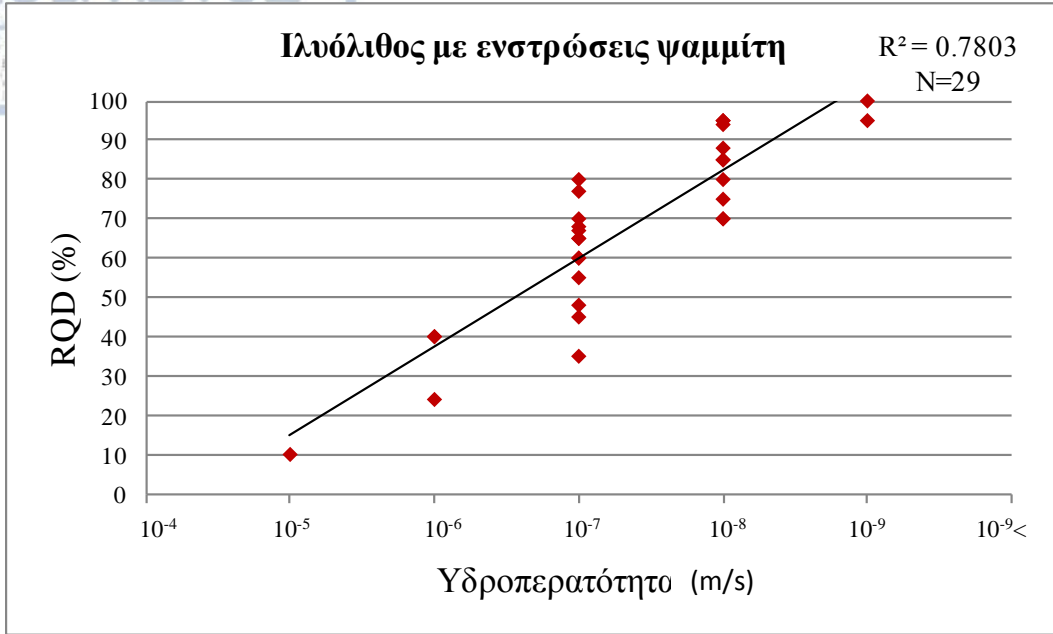
Από την παρατήρηση των παρακάτω διαγραμμάτων και από τον συντελεστή συσχέτισης που προκύπτει για το καθένα, φαίνεται ότι οι συγκεκριμένες παράμετροι είναι ανάλογες μεταξύ τους. Αυτό είναι λογικό αφού, όσο πιο κερματισμένο είναι το γεωυλικό, δηλαδή όσο πιο χαμηλό RQD έχει, τόσο πιο εύκολα δύναται να κινηθεί το εισπιεζόμενο νερό της δοκιμής Lugeon στο εσωτερικό του, εξαιτίας των πολλαπλών

ασυνεχειών και διόδων που βρίσκει, οπότε τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η περατότητα, δηλαδή η ποσότητα του διερχόμενου νερού ανά τον χρόνο.

Τα διαγράμματα κατασκευάστηκαν για κάθε έναν από τους έξι αντιπροσωπευτικούς σχηματισμούς ξεχωριστά με τον τρόπο που προαναφέρθηκε.







Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τον συντελεστή συσχέτισης κάθε διαγράμματος-σχηματισμού.

Γεωλογικός σχηματισμός	Συντελεστής συσχέτισης R (CORREL)
Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλύλιθου σε ίσες αναλογίες	0,6044
Ιλύλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	0,7803
Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης ενστρώσεις ιλύλιθου	0,5324
Ψαμμίτης	0,8762
Ιλύλιθος	0,9906
Κροκαλοπαγές	0,8023

Πίνακας 4.4.3.1: Συντελεστής συσχέτισης R^2 των RQD- k(m/sec) των εξεταζόμενων φλυσχικών σχηματισμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στόχος της παρούσας εργασίας, όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της εισαγωγής, είναι η εκτίμηση της αβεβαιότητας που διακρίνει τις τεχνικογεωλογικές παραμέτρους και τις παραμέτρους Hoek and Brown όταν αυτές αναφέρονται σε περιβάλλον φλυσχικό.

Η ιδιαιτερότητα του φλύσχη και η ακόλουθη ανάγκη για την μελέτη της αβεβαιότητας που «κρύβουν» οι παράμετροί του, έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι αποτελεί ασθενή και σύνθετη βραχώμαζα με απρόβλεπτη συμπεριφορά των γεωυλικών του. Τα χαρακτηριστικά που τον ανακηρύσσουν ασθενή βραχώμαζα είναι η παρουσία αργιλικών πετρωμάτων, η έντονη τεκτονική καταπόνηση που υποβαθμίζει την αρχική ποιότητα, η επιδεκτικότητα στην αποσάθρωση και επακόλουθη σχιστοποίηση-σχάση των ιλυοαργιλικών μελών και η επίδραση του νερού. Σύνθετη βραχώμαζα χαρακτηρίζεται λόγω των εναλλαγών ποικίλου πάχους, ικανών και μη ικανών στρωμάτων (ψαμμιτών και ιυολίθων αντίστοιχα), της έντονης στρωσιγένειας με μεγάλη εμμόνη και της τεκτονικής διαταραχής που δημιουργεί τεκτονικά μίγματα και χαοτικές δομές (Μαρίνος Β., 2007, p.235).

Συνεπώς, η κατασκευή οποιουδήποτε τεχνικού έργου σε φλυσχικό σχηματισμό απαιτεί σημαντική και προπάντων ορθή γνώση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων του. Στόχος είναι, οι γεωλογικά και γεωτεχνικά δυσμενείς συνθήκες που αυτός εγκυμονεί, να μη επιφέρουν οικονομικά προβλήματα που αφορούν, είτε τον υπερσχεδιασμό του έργου, είτε την αστοχία αυτού, λόγο κακής εκτίμησης των παραμέτρων.

Η εκτίμηση των ιδιοτήτων αυτών, πραγματοποιείται μέσω των συστημάτων ταξινόμησης που έχουν αναπτυχθεί και τα οποία ποσοτικοποιούν τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας εκφράζοντας ουσιαστικά, την «γεωλογική» πληροφορία με αριθμούς. Βέβαια, η αβεβαιότητα που διακρίνει τα συστήματα των γεωτεχνικών ταξινομήσεων δεν είναι μικρή και πόσο μάλλον για αυτό, πρέπει να αποφεύγεται η «τυφλή» χρήση τους και

να λαμβάνεται υπόψη η εκτίμησή τους πρωτίστως, βάση της γεωλογικής λογικής. Αξίζει να σημειωθεί παράλληλα ότι, οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτόνομα, χωρίς να συνοδεύονται από τον πιθανό μηχανισμό αστοχίας της βραχώμαζας σε κάθε τεχνικό έργο, αλλά αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο ανάλυσης της παρούσας εργασίας.

5.2. ΣΥΝΟΨΗ

Για την επίτευξη του στόχου της εργασίας, ακολουθήθηκε μία σειρά αξιολογών βημάτων, η οποία θα συνοψισθεί ακολούθως.

✓ Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει τον ορισμό του φλύσχη και δίνει μία πρώτη εντύπωση σχετικά με τις συνθήκες δημιουργίας του, δηλαδή το περιβάλλον στο οποίο σχηματίστηκε (παλαιογεωγραφία), τα γεωτεκτονικά γεγονότα που έλαβαν χώρα, τα υλικά που συμμετείχαν στην διαδικασία αυτή και την προέλευσή τους και τέλος την σημασία του στην γεωλογική ιστορία. Ακόμη, δίνονται στοιχεία για την σύνδεση των παραπάνω γεγονότων με την σημερινή «εικόνα» του σχηματισμού και την γεωμηχανική του συμπεριφορά που όλες αυτές οι διεργασίες έχουν πλέον διαμορφώσει.

✓ Σε δεύτερο βήμα, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την ηλικία και την σημερινή μορφή εμφάνισης του υπό μελέτη φλύσχη της Πίνδου και της Ιονίου, αλλά και στοιχεία που αφορούν την λιθοστρωματογραφία της εξεταζόμενης περιοχής.

✓ Το επόμενο κεφάλαιο εστιάζει περισσότερο στον υπό εξέταση φλύσχη, προσδιορίζοντας ορυκτολογικά και αναλύοντας ως προς τις συνθήκες δημιουργίας τους, τα δύο επικρατέστερα γεωυλικά του, τον ψαμμίτη και τον ιλυόλιθο αλλά και το κροκαλοπαγές που επίσης απαντάται, όμως σε πολύ μικρότερη ποσότητα. Αναφορικά καταγράφονται και τα υπόλοιπα γεωυλικά του φλύσχη βάση δεδομένων γεωτρήσεων που συναντώνται σε πολύ μικρότερη ποσότητα μέσα στον σχηματισμό.

Στη συνέχεια, μέσα από το σύνολο των γεωυλικών του απαρτίζουν τον φλύσχη, διακρίνονται οι έξι πιο αντιπροσωπευτικές κατηγορίες γεωλογικών

σηματισμών που είναι: 1. Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες 2. Ιλυόλιθος ή Ερυθροπηλίτης, 3. Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη, 4. Ψαμμίτης, 5. Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου, 6. Κροκαλοπαγές και οι οποίες είναι αυτές που αναλύονται περεταίρω στα επόμενα κεφάλαια.

✓ Στο τέταρτο βήμα αναλύονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του φλύσχη που αφορούν την τεκτονική, την υδροπερατότητα, την αντοχή, τη παραμορφωσιμότητα και την αποσαθρωσιμότητά του. Επιπλέον κατασκευάζονται συγκεντρωτικοί πίνακες με σημαντικά στοιχεία για τους τύπους I έως IX του φλύσχη.

✓ Πέμπτον, επεξεργάζονται στατιστικά (χειρόγραφα αλλά και με τη βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου Excel) και αξιολογούνται, τα δεδομένα των γεωτρήσεων έχουν ληφθεί από το σύστημα TIAS της Εγνατίας Οδού.

Αυτά είναι: ο δείκτης ποιότητας του πετρώματος RQD, η παράμετρος TCR, το σύστημα ταξινόμησης RMR, οι τιμές υδροπερατότητας (k) και ο βαθμός αποσάθρωσης, ενώ τα εργαστηριακά δεδομένα περιλαμβάνουν τον ανοιγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$. Για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους κατασκευάζεται ένα ιστόγραμμα «σχετικής συχνότητας(%) - τιμής παραμέτρου» και ένα διάγραμμα διασποράς «βάθους(m) - τιμής της παραμέτρου», τα οποία σχολιάζονται και προκύπτουν συμπεράσματα.

Το ιστόγραμμα στοχεύει στον προσδιορισμό της κατανομής των τιμών των παραμέτρων στο σύνολο του σχηματισμού και στην επίδειξη των λιγότερο ή περισσότερο κυρίαρχων τιμών (για το RQD διακρίνεται ξεχωριστά η συμμετοχή του Πινδικού και Ιόνιου φλύσχη).

Τα διαγράμματα διασποράς υποδεικνύουν την σχέση ή μη των τιμών παραμέτρων (τιμές ιστογράμματος), με το βάθος, καθώς αναλύονται περεταίρω ως προς την λογική τους ή μη εμφάνιση, οι πιο ακραίες παρατηρούμενες τιμές (π.χ. πολύ χαμηλή αντοχή σε πολύ μεγάλο βάθος για τον ψαμμίτη) και επίσης εξηγούνται γεωλογικά.

Στο τέλος της ανάλυσης για πολλές από τις παραμέτρους, οι μέγιστες, οι μέσες και οι ελάχιστες τιμές τους συγκεντρώνονται σε πίνακα, έπειτα από απάλειψη των ακραίων τιμών.

Ακόμη παραθέτονται για ορισμένες από αυτές, οι τιμές τυπικής απόκλισης (STDEV) που υποδεικνύουν έμμεσα, το μέγεθος της αβεβαιότητας που τις διακρίνει, μέσω υπολογισμού της «συνήθους» διασποράς των τιμών γύρω από την μέση τιμή.

✓ Στο έκτο βήμα, έπειτα από μικρή αναφορά στο κριτήριο Hoek and Brown, αναλύονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που προαναφέρθηκε, οι δύο από τις παραμέτρους του κριτηρίου, δηλαδή ο δείκτης γεωλογικής αντοχής (GSI) και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci}). Επίσης δίνονται στοιχεία για την σταθερά m_i και τις τιμές που λαμβάνει στους φλυσχικούς λιθότυπους.

Στη συνέχεια, στο πρόγραμμα RocData 5.0 εφαρμόζονται οι πιο αντιπροσωπευτικές τιμές των τριών παραπάνω παραμέτρων κάθε σχηματισμού και υπολογίζονται άμεσα οι παράμετροι Hoek-Brown m_b , s , a , το μέτρο παραμορφωσιμότητας E_m για την βραχώμαζα και οι τιμές διατμητικής αντοχής c και ϕ (Mohr-Coulomb), καθώς επίσης παραθέτονται τα διαγράμματα τ - σ_{η} και σ_1 - σ_3 κάθε σχηματισμού που προέκυψαν στο πρόγραμμα. Όλα τα παραπάνω σχολιάζονται και προκύπτουν σημαντικά γεωλογικά συμπεράσματα.

✓ Στο τελευταίο βήμα, συσχετίζονται μεταξύ τους ορισμένες από τις προαναφερθείσες παραμέτρους, μέσω της κατασκευής διαγραμμάτων διασποράς ανά δύο παραμέτρους και εξάγονται συμπεράσματα.

Συγκεκριμένα συσχετίζονται: η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci}) με την αντοχή σε σημειακή φόρτιση ($Is_{(50)}$), η αντοχή (σ_{cm}) με την παραμορφωσιμότητα (E_m) της βραχώμαζας και ο δείκτης ποιότητας του πετρώματος RQD με την υδροπερατότητα (k).

5.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

i.Εξαιτίας της υψηλής ετερογένειάς του (διαφορική ποσόστωση ψαμμιτικών και ιλυολιθικών μελών), της έντονης τεκτονικής του διαταραχής, της διάβρωσης και της διαφορικής αποσάθρωσης, της μετατεκτονικής του ρηγμάτωσης και της παρουσίας τόσο χαμηλής όσο και υψηλής αντοχής και περατότητας γεωυλικών, ο φλύσχη έχει ιδιαίτερα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά.

Σχηματίζει κυρίως βραχώμαζες χαμηλής ποιότητας και συνεπώς απαιτεί ιδιαίτερη γεωτεχνική ταξινόμηση, ανάλογη των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών του.

ii.Σε αυτόν, δύναται να συνυπάρχουν και να εναλλάσσονται στρώματα ποικίλου πάχους, δηλαδή λεπτοστρωματώδη γεωυλικά μερικών εκατοστών μαζί με παχυστρωματώδη αρκετών εκατοστών ή και μέτρων που ουσιαστικά με τον συνδυασμό τους σχηματίζονται οι διάφοροι φλυσχικοί σχηματισμοί-λιθότυποι. Από τους τελευταίους διακρίνονται έξι, ως πιο αντιπροσωπευτικοί:

1. Εναλλαγές λεπτοστρωματώδους έως μεσοστρωματώδους ψαμμίτη-ιλυόλιθου σε ίσες αναλογίες
2. Ιλυόλιθος ή Ερυθροπηλίτης
3. Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη
4. Ψαμμίτης
5. Μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλυόλιθου
6. Κροκαλοπαγές

iii.Από πλευράς τεκτονικής συμπεραίνεται ότι τα ιλυολιθικά μέλη εμφανίζονται αργιλοποιημένα, πολυπτυχωμένα, διατμημένα, ενώ τα ψαμμιτικά ως σχεδόν άκαμπτα, με ανοικτές πτυχές και θραυσιγενή τεκτονική. Η τεκτονική, συνδέεται άρρηκτα με την συνολική μηχανική συμπεριφορά του φλύσχη και επηρεάζει το RQD, το GSI, τον βαθμό πυρηνοληψίας και εν μέρη την αποσάθρωση, την αντοχή, την παραμορφωσιμότητα και την περατότητα.



ίν. Στην παρούσα εργασία επεξεργάζονται δεδομένα από τα ακόλουθα συστήματα ταξινόμησης:

- Δείκτης ποιότητας του πετρώματος RQD (Rock Quality Designation)
- Παράμετρος TCR (Total Core Recovery) ή ολική πυρηνοληψία
- Σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating)
- Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (GSI)

Επίσης κατατάσσονται τιμές με βάση την αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci}), την αντοχή σε σημειακή φόρτιση ($I_{S(50)}$), την υδροπερατότητα (k), τον βαθμό αποσάθρωσης και επεξεργάζονται, καθώς καταγράφονται και τιμές της πετρογραφικής σταθεράς m_i για τα φλυσχικά γεωυλικά και λιθότυπους.

Η αβεβαιότητα που διακρίνει κάθε παράμετρο προκύπτει μέσα από την σχετική συχνότητα των τιμών της, από την σχέση ή μη αυτών με το βάθος και από τις μεγάλες ή μικρές τιμές τυπικής απόκλισης. Συγκεκριμένα αυτή ενισχύεται, όταν στους σχηματισμούς εντοπίζεται μία ποικιλία τιμών, δηλαδή δύναται να απαντηθούν τιμές που αποκλείουν αρκετά από την μέση τιμή και μάλιστα όταν αυτές δεν συσχετίζονται με το βάθος, αλλά κάθε τιμή μπορεί να απαντηθεί σε οποιοδήποτε βάθος.

Παρακάτω οι εξεταζόμενες τεχνικογεωλογικές παράμετροι κατανέμονται με βάση την μικρή ή μεγάλη αβεβαιότητά τους στο φλυσχικό περιβάλλον.

Μικρή αβεβαιότητα

➤ TCR

Σε ένα φλυσχικό περιβάλλον, δεν υπάρχει αμφιβολία για την ανάκτηση του ολικού πυρήνα της γεώτρησης, χωρίς σημαντικές απώλειες δείγματος, δηλαδή σε κάθε περίπτωση απαντάται πολύ υψηλή τιμή της παραμέτρου TCR. Η μικρές τιμές τυπικής απόκλισης (STDEV) επιβεβαιώνουν το παραπάνω.

Εξαιρέση αποτελούν μόνο ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες το TCR έχει μικρότερη τιμή, η οποία βρίσκεται είτε σε μικρά βάθη όπου τα γεωυλικά βρίσκονται

σε πιο «διαταραγμένη» κατάσταση, είτε σε μεγαλύτερα βάθη λόγω της παρουσίας ζώνης διάτμησης ή αργιλικού υλικού που αποπλένεται από τα νερά της γεώτρησης ή λόγω σφάλματος του γεωτρυπανιστή κατά την λήψη του δείγματος.

Σε όλους τους σχηματισμούς του φλύσχη, με απάλειψη των ακραίων τιμών, που οφείλονται σε έναν από τους προαναφερθέντες λόγους, διακρίνεται ανάλογη συσχέτιση του βάθους με την παράμετρο TCR.

➤ Υδροπερατότητα k

Ο φλύσχος είναι πρακτικά αδιαπέρατος εξαιτίας της ετερογένειάς του (ο ψαμμίτης και τα ιλυολιθικά-αργιλοσχιστολιθικά μέλη έχουν μικρό συντελεστή υδροπερατότητας). Οι τιμές περατότητας των έξι αντιπροσωπευτικών σχηματισμών του φλύσχη δεν διαφέρουν αισθητά μεταξύ τους και αντιπροσωπεύονται κυρίως από τιμές «χαμηλής» και «πολύ χαμηλής» υδροπερατότητας. Μόνο το **κροκαλοπαγές** δύναται να εμφανίσει, εκτός από τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες, και πρακτικά αδιαπέρατη μάζα καθώς επίσης είναι το μοναδικό που εμφανίζει ξακάθαρη συσχέτιση των τιμών υδροπερατότητάς του με το βάθος.

Στους υπόλοιπους σχηματισμούς η συσχέτιση απουσιάζει, για τους ακόλουθους λόγους. Στον ψαμμίτη, εξαιτίας της διάλυσης του συνδετικού του υλικού ή της παρουσίας μεμονωμένων ανοικτών ασυνεχειών (ψαθυρή θραύση) ή ζωνών διάτμησης τεκτονικής προέλευσης, ως δευτερογενές πορώδες, μπορεί να παρατηρηθούν ακόμη και υψηλές τιμές υδροπερατότητας σε μεγάλα βάθη. Ψαμμιτικό τέμαχος που περιβάλλεται από ιλυολιθική ή αργιλική μάζα, ίσως να βρίσκεται υπό-πίεση, αφού το νερό αδυνατεί να κυκλοφορήσει και να διαφύγει περιμετρικά. Στον ιλυόλιθο δύναται να παρατηρηθεί μεγάλη υδροπερατότητα επίσης σε βαθιές ζώνες διάτμησης. Η ετερογένεια στον φλύσχη οδηγεί επίσης σε απουσία συσχέτισης των τιμών περατότητας με το βάθος, λόγω της διαφορετικής συμπεριφοράς που εμφανίζουν τα γεωυλικά κατά τη δοκιμή Lugeon.

Οι τιμές τυπικής απόκλισης είναι γενικά μικρές.



➤ Αποσάθρωση

Επιφανειακά, οι ιλυόλιθοι είναι εύθρυπτοι αφού παρουσιάζουν το φαινόμενο της σχιστοποίησης-σχάσης-απόσχισης σε φυλλάρια (slaking) όταν εκτεθούν σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (π.χ. ύγρανση-ξηράνση, θέρμανση, κ.α.) ή επειδή εμφανίζουν διογκούμενα αργιλικά ορυκτά. Στους ψαμμίτες, επίσης στα πρώτα μέτρα βάθους λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών, παρατηρείται σφαιρική αποσάθρωση με συγκεντρικούς κύκλους απομειούμενης αποσάθρωσης, καθώς και αποσάθρωση στις επιφανειακές ρωγμές. Στα κροκαλοπαγή δύναται να αποπλυθεί το συγκολλητικό υλικό κατά μήκος των ασυνεχειών των πρώτων μέτρων βάθους.

Η αποσάθρωση στον φλύσχη καταλαμβάνει κυρίως τις τέσσερις πρώτες κατηγορίες από I (υγιές) έως IV(μέτρια), δηλαδή από απουσία αποσάθρωσης μέχρι και εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα. Οι σχηματισμοί στους οποίους ο ιλυόλιθος είναι το κυρίαρχο γεωυλικό (πιο ευαίσθητος στην αποσάθρωση και διάβρωση), εμφανίζουν κυρίως τις II, III και IV κατηγορίες αποσάθρωσης, ενώ όταν ο ψαμμίτης είναι το επικρατέστερο γεωυλικό, τις I, II, III. Σε όλους τους σχηματισμούς δύναται να εμφανιστεί επιφανειακά κάθε βαθμού αποσάθρωση αλλά με το βάθος μειώνεται, καθώς παύουν να επηρεάζονται από την ατμόσφαιρα. Σε βαθιές ζώνες διάτμησης, η αποσάθρωση είναι έντονη ακόμα και σε μεγάλο βάθος.

Αν απαλειφθούν οι ακραίες αυτές περιπτώσεις, συμπεραίνεται ότι σε όλους τους σχηματισμούς υπάρχει εκθετική σχέση μεταξύ των παραμέτρων βάθους και αποσάθρωσης.

Μεγάλη αβεβαιότητα

➤ RQD

Οι σχηματισμοί του φλύσχη που περιλαμβάνουν ιλυόλιθο ως κύριο γεωυλικό, εμφανίζουν περισσότερες χαμηλές τιμές RQD, δηλαδή μεγαλύτερο κερματισμό του πετρώματος, σε αντίθεση με τους σχηματισμούς που κυριαρχεί ο ψαμμίτης ή κροκαλοπαγές που παρουσιάζουν περισσότερες υψηλές τιμές.

Μόνο οι τιμές RQD του σχηματισμού του κροκαλοπαγούς και του ιλυολίθου της Ιονίου ζώνης, του Πινδικού ψαμμίτη και Πινδικού μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη ψαμμίτη με ενστρώσεις ιλυόλιθου παρουσιάζουν συσχέτιση με το βάθος (ανάλογα).

Στους υπόλοιπους σχηματισμούς οι τιμές RQD δεν σχετίζονται με το βάθος για τους ακόλουθους λόγους. Ο φλύσχος, με τον περισσότερο ή λιγότερο έντονο τεκτονισμό του (πολυπτυχωμένος, λεπιωμένος) που προκαλεί πτύχωση και θραύση στα ψαμμιτικά μέλη· η μεγάλη εμμονή της στρώσης, οι διατμήσεις και λεπιώσεις του ιλυόλιθου, η διατάραξη που αυτός έχει υποστεί, η παρουσία σε αυτόν διογκούμενων ορυκτών και το φαινόμενο της αργιλοποίησης σε περίπτωση παρουσίας νερού· η μετατεκτονική ρηγμάτωση και η ετερογένεια της μάζας των σχηματισμών (που υποδεικνύει διαφορετικές μηχανικές συμπεριφορές των δύο συμμετεχόντων γεωυλικών), οδηγούν σε μειωμένες τιμές RQD σε διάφορα βάθη.

Οι τιμές τυπικής απόκλισης είναι μεγάλες, της τάξης των 30 μονάδων.

➤ **Is₍₅₀₎ και σ_{ci}**

Ο φλυσχικός σχηματισμός διακρίνεται για τις εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων, δηλαδή ικανών-μεγάλης αντοχής πετρωμάτων και μη ικανών-μικρής αντοχής πετρωμάτων. Ωστόσο, δεν αποκλείεται να απαντηθεί πολύ υψηλή αντοχή σε συνεκτικό ιλυόλιθο (συνήθως σε βάθος) αλλά και εξαιρετικά χαμηλή αντοχή σε ψαμμιτικό πάγκο, γεγονότα που ενισχύουν την αβεβαιότητα για την κατασκευή τεχνικού έργου σε φλυσχικό περιβάλλον. Το τελευταίο επιβεβαιώνεται και από τον υπολογισμό των τιμών τυπικής απόκλισης των παραμέτρων των γεωυλικών, καθώς προκύπτει ότι η τυπική απόκλιση για τον Is₍₅₀₎ είναι μεταξύ 1,7-2 και για το σ_{ci} 25-35.

Στους σχηματισμούς που αποτελούνται από συνδυασμό γεωυλικών σε διαφορετική ποσόστωση, συνολική αντοχή καθορίζεται κυρίως από το επικρατέστερο γεωυλικό.

Οι τιμές αντοχής σε σημειακή φόρτιση ($I_{s(50)}$) και σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci}) των σχηματισμών του φλύσχη, έχουν προκύψει από δοκιμή σε ένα μόνο γεωλικό (ψαμμίτης, ιλυόλιθος, κροκαλοπαγές) και εξετάστηκαν κατά τον ίδιο τρόπο.

Από τα τρία εξεταζόμενα βασικά γεωλικά, μόνο οι τιμές σ_{ci} και $I_{s(50)}$ του ψαμμίτη εμφανίζουν κάποια υποτυπώδη ανάλογη σχέση με το βάθος.

Στα υπόλοιπα γεωλικά οι τιμές αντοχής του άρρηκτου βράχου δεν σχετίζονται με το βάθος, λόγω της παρουσίας ζωνών διάτμησης στο κροκαλοπαγές ή μέσα στην ιλυολιθική μάζα, ή σε βαθμονόμηση τεκτονικώς ισχυρά διατμημένου ιλυολιθικού μέλους, ενδεχομένως χαοτικής δομής, με θύλακες αργίλου, στοιχεία που απομειώνουν σημαντικά την αντοχή σε ποικίλα βάρη.

➤ **RMR**

Τα διαθέσιμα δεδομένα RMR, έδειξαν ότι σε περιβάλλον φλυσχικό απουσιάζει η «πολύ καλή» κατηγορία βραχόμαζας (I), παρά μόνο εντοπίζεται η «καλή» κατηγορία η οποία επικρατεί στο κροκαλοπαγές. Αντιθέτως, μπορεί να απαντηθεί φλυσχική βραχόμαζα με πολύ πτωχή μηχανική συμπεριφορά (κυρίως σε περιβάλλον ιλυόλιθου με ψαμμιτικές ενστρώσεις). Περισσότερο συνήθης όμως, είναι στον φλύσχη, η «μέτρια» (III) και «πτωχή» (IV) κατηγορία βραχόμαζας, ενώ ακολουθεί στην τρίτη θέση η «καλή» (II).

Σε κανέναν σχηματισμό δεν εμφανίζεται συσχέτιση του RMR με το βάθος. Η παρουσία ποικίλων τιμών RMR στα διάφορα βάρη οφείλεται επίσης σε ποικίλους παράγοντες (αφού προκύπτει μέσα από το άθροισμα έξι φυσικών παραμέτρων). Για παράδειγμα, η παρουσία ζώνης διάτμησης οδηγεί σε σίγουρη μείωση των παραμέτρων R4 και R5 και άρα σε απομείωση του RMR. Η βαθμονόμηση ψαμμίτη επηρεασμένου-αποσαθρωμένου από βαθειά ασυνέχεια, πληρωμένη με ιλυολιθικό υλικό (ιλυολιθική ένστρωση), στην οποία υπάρχει νερό, απομειώνει επίσης και την R1, λόγω αποσαθρωμένης μάζας, κ.λπ.

Οι τιμές τυπικής απόκλισης της τάξης του 10, δεν ήταν ούτε μικρές αλλά ούτε και μεγάλες.



Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής εστιάζει στην μακροσκοπική αξιολόγηση της δομής της βραχώμαζας και της κατάστασης των ασυνεχειών της (τραχύτητα και αποσάθρωση) και αποτελεί παράμετρο επίλυσης του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown.

Οι μέσες τιμές GSI για όλους τους σχηματισμούς κυμαίνονται από το 40 έως 50, με εξαίρεση αυτόν του ιλύολιθου και του κροκαλοπαγούς που εμφανίζουν τις μέσες τιμές τους στο εύρος 30-40 και 60-70, αντίστοιχα. Γενικά, η πλειονότητα των τιμών GSI απαντάται μεταξύ της τιμής 30 και 60. Όταν επικρατεί το ψαμμιτικό γεωυλικό τότε παρατηρούνται περισσότερες υψηλότερες τιμές, σε αντίθεση με την επικράτηση του ιλύολιθου. Οι τιμές GSI του κροκαλοπαγούς βρίσκονται κυρίως εντός των τιμών 60 και 80, ενώ του ιλύολιθου ξεκινούν ήδη από την τιμή 10.

Σε κανέναν σχηματισμό δεν εμφανίζεται συσχέτιση του GSI με το βάθος καθώς είναι τεκτονικά καταπονημένοι με αποτέλεσμα η ποιότητα να μην βελτιώνεται με το βάθος. Οι τιμές τυπικής απόκλισης της τάξης του 10-15 είναι μεγάλες.

- v. Όσον αφορά τις τιμές διατμητικής αντοχής, της παραμορφωσιμότητας και τις τιμές m_b και s που προκύπτουν στο RocData, συμπεραίνεται ότι αυξάνουν με την αύξηση της συμμετοχής του ψαμμιτικού υλικού στους σχηματισμούς και μειώνονται με την αύξηση του ιλυολιθικού υλικού. Η μεγαλύτερη τιμή συνοχής ($c=2,881$ MPa) και γωνία τριβής ($\phi=34,781^\circ$) αντιστοιχεί στον ψαμμίτη και η μικρότερη στον ιλύολιθο: $c=0,505$ MPa και $\phi=22,111^\circ$. Η μεγαλύτερη τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας $E=11273,53$ MPa ανήκει στο κροκαλοπαγές και η μικρότερη $E=1339,86$ MPa, στον ιλύολιθο.
- vi. Από τις προαναφερθείσες συσχετίσεις παραμέτρων, συμπεραίνεται ότι όλα τα ζευγάρια προέκυψαν ανάλογα μεταξύ τους:
- Η αντοχές σε σημειακή φόρτιση και σε μονοαξονική θλίψη εκφράζουν ουσιαστικά την ίδια παράμετρο της αντοχής και ο λόγος $\sigma_{ci}/I_s(s_0)$ ισούται με την υπολογίσιμη τιμή k , διαφορετική για κάθε σχηματισμό.

- Το RQD και η περατότητα είναι ανάλογες τεχνικογεωλογικές παράμετροι, αφού όσο πιο κερματισμένο είναι το γεωυλικό, τόσο πιο εύκολα κινείται το εισπιεζόμενο νερό της δοκιμής Lugeon στο εσωτερικό του.
- Ακόμη, όσο αυξάνεται η αντοχή της βραχώμαζας(σ_{cm}), τόσο περισσότερο μπορεί να παραμορφωθεί (E_m), καθώς το γεγονός της εξάρτησης της αντοχής από το επικρατέστερο γεωυλικό, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι ψαμμιτικά κυριαρχούμενοι σχηματισμοί παρουσιάζουν μεγαλύτερο μέτρο παραμορφωσιμότητας.

Από όλα τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο φλύσχος αποτελεί ετερογενή, ασθενή και σύνθετη βραχώμαζα με παρουσία μελών χαμηλής αντοχής και τεκτονικά διαταραγμένων δομών, με την ποιότητα της βραχώμαζας να σχετίζεται με αδιατάρακτες, διατμημένες, πολύ διαταραγμένες ή χαοτικές δομές.

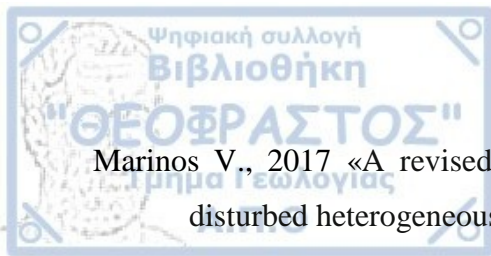
Οι γεωμηχανικές ιδιότητές του που εκφράζονται μέσω των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων και παραμέτρων Hoek and Brown, παρουσιάζουν μεν διακυμάνσεις αλλά σε γενικές γραμμές είναι μέτριες έως πτωχές. Για αυτό, ο σχηματισμός του φλύσχη επιβάλλει δυσκολίες στον σχεδιασμό και την κατασκευή των σηράγγων αλλά και άλλων τεχνικών έργων. Η αβεβαιότητα που διακρίνει τις εξεταζόμενες παραμέτρους, δηλαδή οι απρόσμενες τιμές τους και τα ποικίλα βάθη στα οποία αυτές απαντώνται σε ένα φλυσχικό περιβάλλον, είναι πλέον δεδομένα. Αβεβαιότητα υπάρχει σε κάθε περίπτωση, όμως άλλοτε μικρή και άλλοτε μεγάλη.

Η ορθή γνώση των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών φλυσχικής βραχώμαζας είναι απαραίτητη σε κάθε περίπτωση για τον ρεαλιστικό και ασφαλή γεωτεχνικό σχεδιασμό καθώς και την οικονομική κατασκευή όχι μόνο των σηράγγων αλλά και οποιουδήποτε τεχνικού έργου.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

- Abdolazim A., 2014. «A New Method for Improving the RQD Determination of Rock Core in Borehole» *Rock Mech Rock Eng* (2016) 49:1559–1566, DOI 10.1007/s00603-015-0789-8
- DAVID F. W., «Estimating Hoek-Brown Rock Mass Strength Parameters from Rock Mass Classifications»
- Eberhard E., 2012. “The Hoek–Brown Failure Criterion”, *Rock Mech. Rock. Eng.* (2012) 45:981–988 DOI 10.1007/s00603-012-0276-4, Springer-Verlag
- Hoek E. and Brown T. E., June 2019. «The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition», *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* Volume 11, Issue 3, Pages 445-463
- Jetel J., 1985. «Vertical variations in permeability of flysch rocks in the Czechoslovak Carpathians», *Kwartalnik Geologiczny*, t. 29, nr I. 1985, r. p. 167 -178 (https://gq.pgi.gov.pl/article/view/8953/pdf_979)
- Jianqin Ch., Xiaojun L., Hehua Z. and Yoram R., 2017. «Geostatistical method for inferring RMR ahead of tunnel face excavation using dynamically exposed geological information», *Elsevier, Engineering Geology* 228 (2017),p. 214–223
- Lianyang Z., 2016. «Determination and applications of rock quality designation (RQD)» *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 8(2016), pg.:389-397
- Marinos P. and Hoek E., 2001. “Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch”. *Bull. Engg. Geol. Env.* 60, 85-92
- Marinos V., 2014. “Tunnel behaviour and support associated with the weak rock masses of flysch”. *Science Direct, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 6, Issue 3, Pages 227-239



Marinos V., 2017 «A revised, geotechnical classification GSI system for tectonically disturbed heterogeneous rock masses, such as flysch», Bull. Eng. Geol. Environ. DOI 10.1007/s10064-017-1151-z, Springer-Verlag GmbH Germany 2017

Marinos V., Carter T., 2018. «Maintaining geological reality in application of GSI for design of engineering structures in rock». Elsevier, Engineering Geology 239 (2018) 282–297.

Marinos V., Marinos P. and Hoek E, 2005. « The geological strength index: applications and limitations», Bull Eng Geol Environ (2005) 64: 55–65, DOI 10.1007/s10064-004-0270-5, Springer-Verlag 2005

Marinos V., Fortsakis P., and Stoumpos G., 2015. «Classification of Weak Rock Masses in Dam Foundation and Tunnel Excavation», Engineering Geology for Society and Territory – Volume 6, DOI: 10.1007/978-3-319-09060-3_155, Springer International Publishing Switzerland 2015

Valentine S. and Norbury D., 2011 «Measurement of total core recovery; dealing with core loss and gain». Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 44, 397–403 1470-9236/11. Geological Society of London DOI 10.1144/1470-9236/10-009 (p.1)

Zhai H., Canbulat I., Hebblewhite B., Zhang Ch., 2017. «Review of Current Empirical Approaches for Determination of the Weak Rock Mass Properties». School of Mining Engineering, The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia. Symposium of the International Society for Rock Mechanics, Procedia Engineering 191 (2017) 908 – 917, Elsevier.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ασημομύτη Α., 2013. Διπλωματική εργασία: «Εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικές σε ανδεσίτες, δακίτες και περιδοτίτες περιοχών Μεθάνων και Καλλιδρόμου» Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας ([file:///C:/Users/user/Downloads/Nimertis_Asimomyti\(geo\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/Nimertis_Asimomyti(geo).pdf))



Βουβαλίδης Κ., 2011. «Φυσική Γεωγραφία», Εκδόσεις Δίσιγμα.

Βουδούρης Κ. και Μαρίνος Β., 2010. «Τεχνική Γεωτρήσεων»

Κεχαγιάς Κ., Ιούνιος, 2012. Διπλωματική Εργασία: «Σύγκριση αποτελεσμάτων συμβατικής τριαξονικής δοκιμής και πολυεπίπεδης τριαξονικής δοκιμής σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο». Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων (<http://artemis.library.tuc.gr/DT2013-0039/DT2013-0039.pdf>)

Κουγιουμτζής Δ., 2009. «ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ», μέρος Β (<http://users.auth.gr/dkugiu/Teach/CivilEngineer/all.pdf>).

Κούκης Γ. και Σαμπατακάκης Ν., 2002. «Τεχνική Γεωλογία» Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Κούκης Γ. και Σαμπατακάκης Ν., 2007. «Γεωλογία Τεχνικών Έργων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Λάζος Η., 2014. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης: «Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση αντοχής και παραμορφωσιμότητας μολασσικών σχηματισμών της μεσοελληνικής αύλακας. Εκτίμηση τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς και προσωρινής υποστήριξης στα υπόγεια έργα». Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Μαρίνος Π. Β., 2007. Διδακτορική διατριβή: «Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά την διάνοιξη σηράγγων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής.

Μαρίνος Β. Π., Μαρίνος Π. Γ., Hoek E. « Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής, GSI: Εφαρμογή, Συστάσεις, Περιορισμοί και Πεδία μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος»

Μουντράκης Μ. Δ., 2010. «Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας», UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη.



Τσιραμπίδης Α., 2008. «Ιζηματογενή πετρώματα», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΓΙΑΧΟΥΔΗ (128-131), Θεσσαλονίκη

Ψιλοβίκος Αν. και Ψιλοβίκος Αρ., 2010. «Ιζηματολογία», Εκδόσεις Τζιόλα

Διαδικτυακές Πηγές

Geology Page, 2017 (<http://www.geologypage.com/2017/07/flysch-formation.html>)

Fine Civil Engineering Software: Calculation of Hoek-Brown Parameters

(<https://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/calculation-of-hoek-brown-parameters-01/>)

Αποθετήριο Κάλλιπος (Ελληνικά ακαδημαϊκά συγγράμματα και βοηθήματα)

https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3988/1/06_chapter5.pdf

Τσιαμπάς Γ., Ιανουάριος 2019. «Νεότερες απόψεις για τις παραμέτρους μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων», Αθήνα.

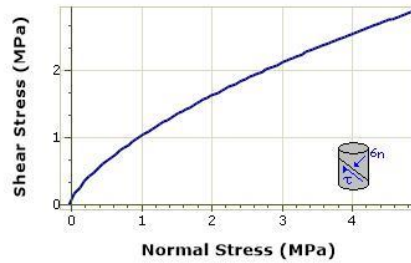
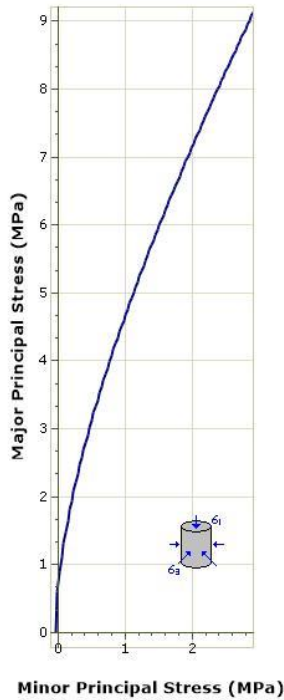
(http://www.hssmge.gr/TSIAMBAMOS_Neoterres%20Apopsis%20gia%20tis%20Parametrous.pdf)

Issuu, 2012 “Texniki Geologia_4o Mathima_Rock Mass_Classifications_United_”

(https://issuu.com/enggeoauth/docs/texniki_geologia_4o_mathima_rock_mass_classification)

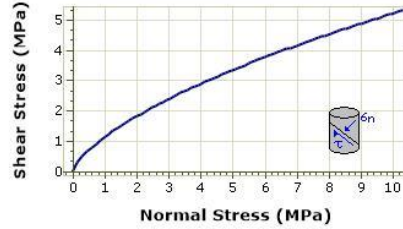
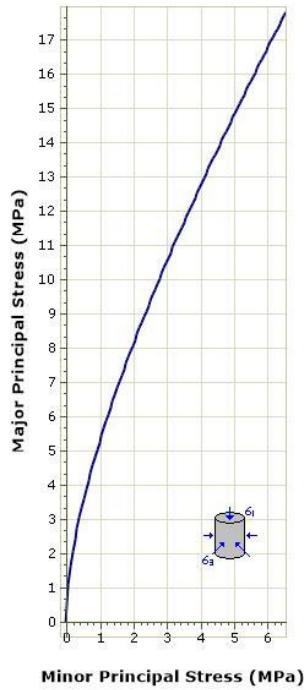
RocScience (https://www.rocscience.com/help/rocdata/rocdata/Hoek-Brown_Parameters.htm)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



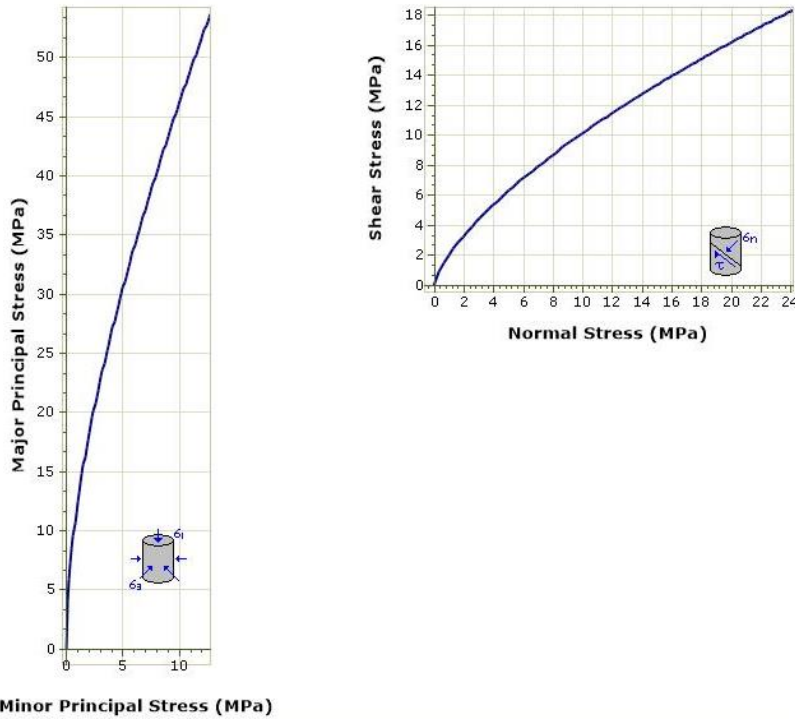
Ίλιόλ. με λεπτός εν. ψαμμ	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	11.35 MPa
GSI	50
mi	7
disturbance factor	0
Hoek Brown Criterion	
mb	1.174
s	0.004
a	0.506
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	2.837 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.508 MPa
friction angle	27.533 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.037 MPa
uniaxial compressive strength	0.684 MPa
global strength	1.674 MPa
modulus of deformation	3368.976 MPa

Εικόνα 4.3.5.3: Αποτελέσματα από την εφαρμογή του προγράμματος RocData για τον Ίλιόλιθο ή ερυθροπηλίτη (χαοτικής δομής) με λεπτούς σποραδικούς οριζόντες ή εγκλείσματα ψαμμίτη



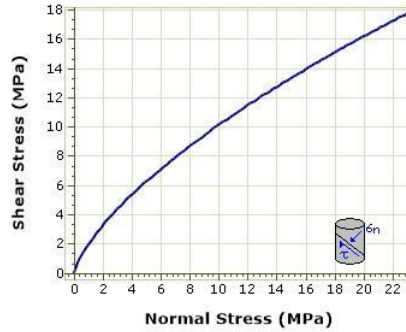
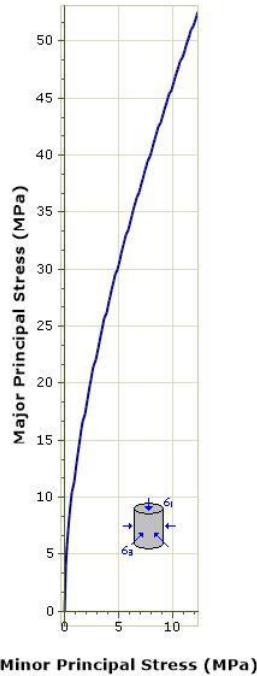
Ιλυόλ. με ενστρ. ψαμμ	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	25,5 MPa
GSI	39
mi	7
disturbance factor	0
Hoek Brown Criterion	
mb	0.792
s	0.001
a	0.512
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	6.375 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.94 MPa
friction angle	24.404 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.037 MPa
uniaxial compressive strength	0.792 MPa
global strength	2.918 MPa
modulus of deformation	2680.835 MPa

Εικόνα 4.3.5.4: Αποτελέσματα από την εφαρμογή του προγράμματος RocData για τον Ιλυόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη



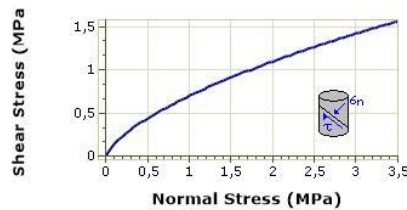
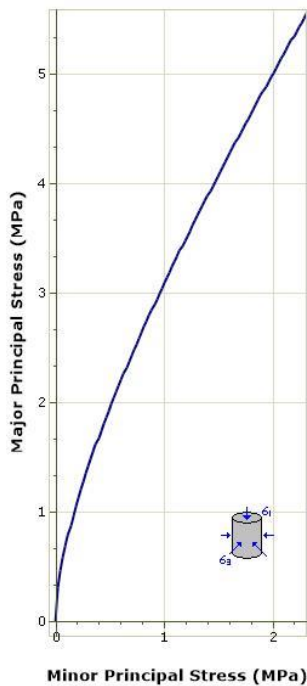
Ψαμμίτης με ίλιολίθο	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	49.73 MPa
GSI	48
mi	17
disturbance factor	0
Hoek Brown Criterion	
mb	2.654
s	0.003
a	0.507
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	12.432 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	2.825 MPa
friction angle	34.479 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.058 MPa
uniaxial compressive strength	2.664 MPa
global strength	10.733 MPa
modulus of deformation	6285.057 MPa

Εικόνα 4.3.5.5: Αποτελέσματα από την εφαρμογή του RocData για το μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη ψαμμίτη με λεπτούς σποραδικούς οριζοντες ιλύολίθου



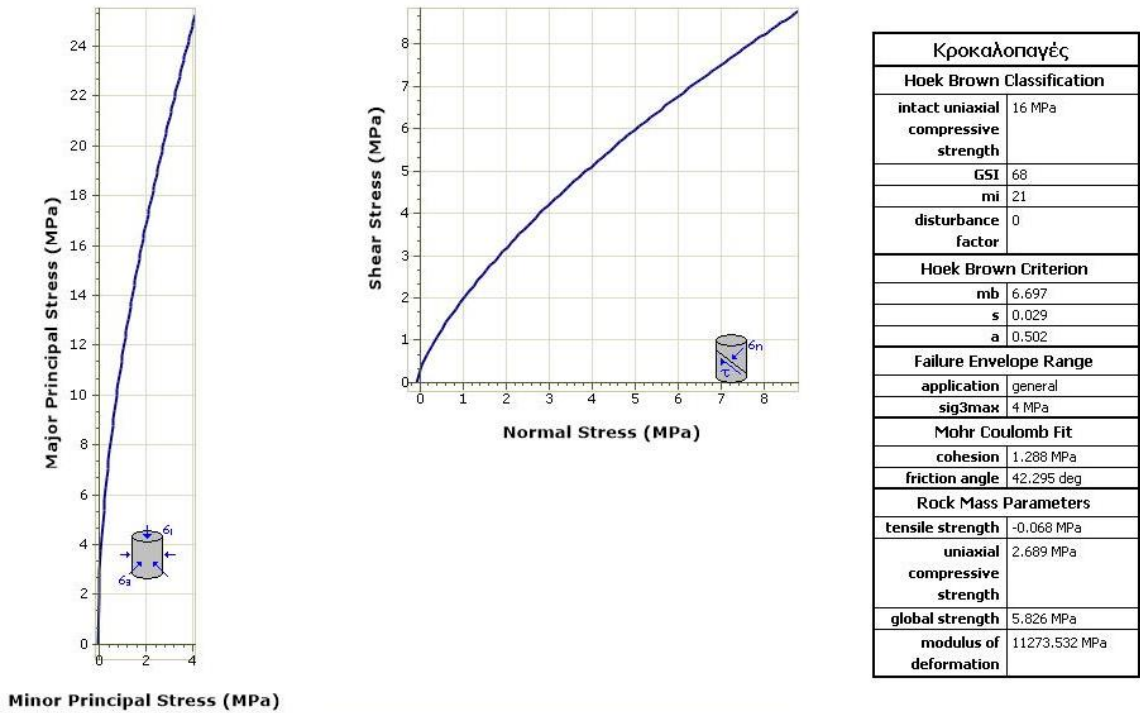
Ψαμμίτης	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	48 MPa
GSI	49
mi	17
disturbance factor	0
Hoek Brown Criterion	
mb	2,751
s	0,003
a	0,506
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	12 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	2,766 MPa
friction angle	34,781 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0,06 MPa
uniaxial compressive strength	2,727 MPa
global strength	10,578 MPa
modulus of deformation	6540,646 MPa

Εικόνα 4.3.5.6: Αποτελέσματα από την Εφαρμογή του RocData για τον ψαμμίτη.



Ιλιόλιθος	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	9 MPa
GSI	29
mi	7
disturbance factor	0
Hoek Brown Criterion	
mb	0,554
s	3,749e-004
a	0,524
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	2,25 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0,272 MPa
friction angle	21,53 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0,006 MPa
uniaxial compressive strength	0,144 MPa
global strength	0,799 MPa
modulus of deformation	895,615 MPa

Εικόνα 4.3.5.7: Αποτελέσματα από την εφαρμογή του προγράμματος RocData για τον ιλιόλιθο.



Εικόνα 4.3.5.8: Αποτελέσματα από την εφαρμογή του προγράμματος RocData για το κροκαλοπαγές του φλύσχη