



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Επεξεργασία Εργαστηριακών Μετρήσεων της Δύναμης Κοπής Πετρωμάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Ταουσανίδη Ανδρέα

Επιβλέπων: Θεόδωρος Μιχαλακόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Επεξεργασία Εργαστηριακών Μετρήσεων της Δύναμης Κοπής Πετρωμάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Ταουσανίδη Ανδρέα

Επιβλέπων: Θεόδωρος Μιχαλακόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις _____

Θ. Μιχαλακόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής _____

Γ. Παναγιώτου, Καθηγητής _____

Π. Νομικός, Επίκουρος Καθηγητής _____

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2016

.....

Ταουσανίδης Ανδρέας

Διπλωματούχος Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός Ε.Μ.Π.

Copyright © Ταουσανίδης Ανδρέας, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων

Κατάλογος Πινάκων

Πρόλογος.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract.....	3
Κεφάλαιο 1 ^ο : Εξόρυξη των Πετρωμάτων	4
1.1. Γενικά στοιχεία.....	5
1.2. Εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών.....	5
1.3. Εξόρυξη με χρήση μηχανικών μέσων.....	6
1.4. Παράμετροι που επηρεάζουν την εξορυξιμότητα ενός πετρώματος.....	8
1.5. Εκτίμηση της εξορυξιμότητας ενός πετρώματος.....	10
Κεφάλαιο 2 ^ο : Μηχανική της Κοπής των Πετρωμάτων.....	11
2.1. Εισαγωγή.....	12
2.2. Συμπεριφορά του πετρώματος κατά την κοπή.....	13
2.3. Κοπτικά εργαλεία.....	14
2.4. Κοπτικά άκρα συρόμενου τύπου.....	17
2.5. Θεωρίες κοπής των πετρωμάτων.....	19
2.6. Θεωρίες κοπής υπό συνθήκες εφελκυσμού.....	19
2.7. Θεωρία του Merchant.....	20
2.8. Η θεωρία του Evans.....	21
2.9. Η θεωρία του Nishimatsu.....	22
2.10. Η κατά Nishimatsu διαδικασία της αστοχίας στην κοπή πετρωμάτων.....	24
Κεφάλαιο 3 ^ο : Μηχανές Εξόρυξης Πετρωμάτων.....	26
3.1. Μηχανή ολομέτωπης κοπής (TBM).....	27
3.2. Μηχανή σημειακής κοπής (Roadheader).....	27
3.3. Στιγμαία απόδοση μονάδας μηχανικής εξόρυξης.....	29
3.4. Σχεδιασμός μοντέλου κοπτικής κεφαλής.....	30
3.5. Μέθοδοι πρόβλεψης της στιγμιαίας απόδοσης των μηχανών όρυξης.....	33

Κεφάλαιο 4 ^ο : Η γλώσσα προγραμματισμού Python.....	34
4.1. Γενικά Χαρακτηριστικά της γλώσσας.....	35
4.2. Η ιστορία της γλώσσας.....	36
4.3. Χρήσεις της γλώσσας.....	36
4.4. Μεταβλητές και βασικοί τελεστές.....	37
4.5. Έλεγχος Ροής Προγράμματος.....	38
4.6. Δομή ελέγχου if.....	38
4.7. Βρόγχοι επανάληψης.....	38
4.7.1. Βρόγχοι for.....	39
4.7.2. Βρόγχοι while.....	39
4.7.3. Δήλωση break.....	39
4.7.4. Δήλωση with.....	39
4.8. Συναρτήσεις.....	39
4.9. Δομές δεδομένων.....	40
4.10. Απλοί τύποι (immutable objects).....	41
4.11. Τοπικές και καθολικές μεταβλητές.....	42
4.12. Σύνθετα αντικείμενων.....	42
4.13. None.....	42
4.14. Άρθρωμα (module).....	42
4.15. Κλάσεις και αντικείμενα.....	43
4.16. Αρχεία στην Python.....	44
4.17. Φάκελοι στην Python.....	45
4.18. Εξαιρέσεις.....	45
4.19. Γεννήτορες.....	45
4.19.1. Επαναλήπτες.....	46
4.19.2. Περιγραφείς.....	46
Κεφάλαιο 5 ^ο : Επεξεργασία Εργαστηριακών Μετρήσεων Δύναμης Κοπής Πετρωμάτων..	47
5.1. Εισαγωγή.....	48
5.2. Εργαστηριακή διάταξη.....	49
5.3. Ο κώδικας της διπλωματικής.....	68
Κεφάλαιο 6 ^ο : Συμπεράσματα.....	76
Συμπεράσματα.....	77
Βιβλιογραφία.....	78

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Διάγραμμα για την επιλογή μεθόδου εξόρυξης με βάση το δείκτη ασυνεχειών κατά Franklin.....	10
Σχήμα 2: Τύποι αποσύνθεσης του πετρώματος κατά την κοπή κατά Deketh et al, 1998... 13	13
Σχήμα 3: Διακύμανση της δύναμης κοπής συναρτήσει του χρόνου για α) πολύ πλαστικό β) πλαστικό γ) ψαθυρό δ) πολύ ψαθυρό πέτρωμα.....	14
Σχήμα 4: κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου (drag pick).....	14
Σχήμα 5: κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου (disk cutters).....	15
Σχήμα 6: Δυνάμεις που προκαλούν θραύση του πετρώματος για α) κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου, β) κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου.....	15
Σχήμα 7: Κοπτικά συρόμενου τύπου: α) κοπτικά τύπου σμίλης, β) κοπτικά τύπου σμίλης, γ) κοπτικά τύπου σμίλης, δ) κοπτικό σημειακής προσβολής.....	16
Σχήμα 8: Κοπτικά τύπου δίσκου: α) κοπτικό δίσκου, β) κοπτικό οδοντωτού δίσκου, γ) κοπτικό περιστρεφόμενου τύμπανου με κομβία.....	16
Σχήμα 9: Τύποι κοπτικών άκρων συρόμενου τύπου.....	17
Σχήμα 10: Διάγραμμα δύναμης κοπής κατά Fowell.....	18
Σχήμα 11: οι συνιστώσες της δύναμης που ασκείται σε ένα κοπτικό άκρο συρόμενου τύπου.....	18
Σχήμα 12: η κατανομή των τάσεων και των δυνάμεων κοπής σύμφωνα με την θεωρία κοπής πετρωμάτων κατά Merchant.....	21
Σχήμα 13: η κατανομή των τάσεων και των δυνάμεων κοπής σύμφωνα με την θεωρία κοπής πετρωμάτων κατά Evans για κοπή γαιανθράκων.....	22
Σχήμα 14: η κατανομή των τάσεων και των δυνάμεων κοπής σύμφωνα με την θεωρία κοπής πετρωμάτων κατά Nishimatsu.....	22
Σχήμα 15: Η επίδραση της εμπρόσθιας γωνίας κλίσης στον παράγοντα διανομής των τάσεων κατά Nishimatsu.....	23
Σχήμα 16: Η φαινόμενη γωνία τριβής ως συνάρτηση της εμπρόσθιας γωνίας κλίσης του κοπτικού κατά Nishimatsu.....	23
Σχήμα 17: Μηχανισμός αστοχίας πετρώματος κατά την κοπή κατά Nishimatsu.....	24
Σχήμα 18: Παράδειγμα αυξομείωσης της δύναμης κοπής και της κάθετης δύναμης κατά την κοπή α)δύναμη κοπής και β)κάθετη δύναμη.....	25
Σχήμα 19: Μηχανή ολομέτωπης κοπής (TBM).....	27
Σχήμα 20: Roadheader με κεφαλή διαμήκους κοπής.....	28
Σχήμα 21: Roadheader με κεφαλή εγκάρσιας κοπής.....	28
Σχήμα 22: Μοντελοποίηση μηχανών όρυξης.....	29
Σχήμα 23: Τύποι περιορισμού της απόδοσης συναρτήσει της αντοχής του πετρώματος... 31	31
Σχήμα 24: Βελτίωση της απόδοσης και τάση αύξησης του βάρους των roadheaders.....	32
Σχήμα 25: Αύξηση του βάρους των roadheaders προς υποστήριξη μεγαλύτερης ισχύος κοπτικής κεφαλής.....	32

Σχήμα 26: Προδιαγραφές εργαστηριακής δοκιμής κοπής για τον υπολογισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής.....	48
Σχήμα 27: Κινήσεις κοπτικού επιφάνειας κατεργασίας σε ένα πλήρη κύκλο εργασίας....	49
Σχήμα 28: Βασικά μέρη της οριζόντιας μηχανικής ταχυπλάνης.....	50
Σχήμα 29: Συνδυασμοί οδοντοτροχών για τη μετάδοση της κίνησης σε πλάνη. Με το γράμμα Η φαίνεται ο τελικός κινητήριος τροχός.....	50
Σχήμα 30: Μηχανισμός ταλαντωτή.....	51
Σχήμα 31: Παραλλαγή μηχανισμού ταλαντωτή.....	51
Σχήμα 32: μεταβολή της διαδρομής της κεφαλής.....	52
Σχήμα 33: μεταβολή της ταχύτητας του κοπτικού εργαλείου κατά την διάρκεια της ενεργητικής και της νεκρής διαδρομής της κεφαλής.....	52
Σχήμα 34: το εργαλειοφορείο της ταχυπλάνης.....	53
Σχήμα 35: κινητό τμήμα του εργαλειοφορέα στο οποίο διακρίνονται ο κοχλίας Κ, ο χειρομοχλός Μ, ο εργαλειοδέτης Ε, η φωλιά Φ και η πλάκα Π.....	54
Σχήμα 36: η πλάκα του κινητού τμήματος και η δυνατότητα κίνησης της κατά την επιστροφή για αποφυγή φθοράς του κοπτικού άκρου.....	54
Σχήμα 37: Αισθητήρας τριών επιπέδων.....	55
Σχήμα 38: διάγραμμα του δυναμόμετρου 4 αισθητήρων με 3 επίπεδα αισθητήρων.....	55
Σχήμα 39: Οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων.....	56
Σχήμα 40: Σιαγωνωτή μέγγενη ειδικά κατασκευασμένη για τη συγκράτηση κυλινδρικών δοκιμίων για την εργαστηριακή διάταξη του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων.....	56
Σχήμα 41: το εργαλειοφορείο της ταχυπλάνης στο Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π.....	57
Σχήμα 42: το δυναμόμετρο της εταιρίας Kistler τύπου 9257BA που χρησιμοποιήθηκε στο Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π για την μέτρηση των δυνάμεων.....	57

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ανάλογα με το κοπτικό εργαλείο.....	17
Πίνακας 2: Πίνακας Αλήθειας λογικής πράξης not.....	37
Πίνακας 3: Πίνακας Αλήθειας λογικής πράξης and.....	37
Πίνακας 4: Πίνακας Αλήθειας λογικής πράξης or.....	37
Πίνακας 5: Τρόποι αλληλεπίδρασης με στοιχεία στην Python.....	45
Πίνακας 6: Εύρη μέτρησης των δυνάμεων F_x , F_y , F_z	56
Πίνακας 7: Πλήθος Μετρήσεων ανάλογα με τις διπλωματικές εργασίες.....	58
Πίνακας 8: Measuring time, Sampling rate και Samples per channel ανάλογα με την διπλωματική εργασία.....	67

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την επεξεργασία καταγραφών δυνάμεων κοπής από εργαστηριακές κοπές πετρωμάτων. Εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος του 8^{ου} εξαμήνου της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών: “Εξόρυξη Πετρωμάτων II: Εξόρυξη με χρήση μηχανικών μέσων”. Οι καταγραφές των δυνάμεων κοπής από τα μηχανήματα του εργαστηρίου απαιτούν επεξεργασία ώστε να μπορούν να γίνουν κατανοητές στον ερευνητή με στόχο να βγάλει συμπεράσματα ως προς το πέτρωμα και το κοπτικό εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί για την εξόρυξη του. Λόγω του μεγάλου πλήθους των καταγραφών η ανάλυση τους και η επεξεργασία που απαιτείται μέχρι τα τελικά αποτελέσματα είναι χρονοβόρα και για αυτό απαιτείται η χρήση κάποιου είδους κώδικα που θα διευκολύνει την διαδικασία και θα δίνει γρήγορα τα αποτελέσματα που χρειάζονται.

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται γενικά στοιχεία για την εξόρυξη των πετρωμάτων και τις μεθόδους εξόρυξης. Ακόμη ορίζεται η εξορυξιμότητα των πετρωμάτων και αναλύονται οι παράμετροι που την επηρεάζουν. Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάται γενικά η συμπεριφορά των πετρωμάτων κατά την εξόρυξη-κοπή τους και αναπτύσσονται αναλυτικά οι θεωρίες κοπής, οι οποίες επιδιώκουν την ερμηνεία των μηχανισμών αστοχίας των πετρωμάτων και την πρόγνωση των δυνάμεων που ασκούνται στα κοπτικά εργαλεία κατά την διάρκεια της κοπής τους. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται κάποιες μηχανές εξόρυξης πετρωμάτων και δίνονται χαρακτηριστικά τους. Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται αρχικά κάποια στοιχεία για την γλώσσα προγραμματισμού Python και αναλύονται πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία της γλώσσας που χρησιμοποιούνται στον κώδικα που αναπτύχθηκε. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η επεξεργασία των εργαστηριακών μετρήσεων της δύναμης κοπής πετρωμάτων. Ορίζεται η “ειδική ενέργεια εκσκαφής” και αναπτύσσονται οι ιδιότητες του πετρώματος και οι παράμετροι εκσκαφής οι οποίες την επηρεάζουν. Ακόμα μελετώνται οι μέθοδοι εκτίμησης και υπολογισμού της και περιγράφονται οι εφαρμογές της στην πράξη. Ορίζεται ο «δείκτης ειδικής ενέργειας εκσκαφής» ως η τιμή της ειδικής ενέργειας εκσκαφής, προσδιορισμένης εργαστηριακά με προδιαγεγραμμένες τις παραμέτρους εκσκαφής. Ο δείκτης αυτός μπορεί να θεωρηθεί ιδιότητα του πετρώματος. Επίσης περιγράφεται αναλυτικά η εργαστηριακή διάταξη και η πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής και τέλος ο κώδικας που αναπτύχθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Στο έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστίες εκφράζονται προς τον κύριο Θ. Μιχαλακόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, ο οποίος ήταν ο επιβλέπων της συγκεκριμένης εργασίας. Χωρίς την συνεχή καθοδήγηση του, τις επιστημονικές γνώσεις που προσέφερε και το χρόνο που δαπάνησε η συγκεκριμένη εργασία δεν θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί. Επίσης τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Μ. Τσιαβό, Μηχανικό Μεταλλείων, ο οποίος εργάζεται στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων στο Ε.Μ.Π. για την βοήθεια του στο κομμάτι που αφορούσε τον προγραμματισμό. Οι γνώσεις του πάνω στην γλώσσα προγραμματισμού Python και ο χρόνος που αφιέρωσε για να βοηθήσει ήταν αναγκαία στοιχεία για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την ανάλυση καταγραφών εργαστηριακής κοπής πετρωμάτων. Εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος του 8^{ου} εξαμήνου της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών: “Εξόρυξη Πετρωμάτων II: Εξόρυξη με μηχανικά μέσα”.

Στην μηχανική όρυξη σηράγγων, τόσο η πρόβλεψη της απόδοσης των δεδομένων μηχανών όρυξης που χρησιμοποιούνται όσο και η διαστασιολόγηση των συγκεκριμένων μηχανών για να επιτευχθεί το μέγεθος παραγωγής που χρειάζεται, εξαρτώνται από τις δυνάμεις που ασκούνται στα κοπτικά εργαλεία.

Μέσα από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες αποδείχθηκε ότι οι δυνάμεις αυτές μπορούν να εκτιμηθούν είτε από θεωρητικά μοντέλα όπως οι θεωρίες κοπής, οι οποίες μελετούν τους μηχανισμούς αστοχίας των πετρωμάτων όταν προσβάλλονται από κοπτικά εργαλεία είτε από μικρής ή μεγάλης κλίμακας δοκιμές κοπής πετρωμάτων. Σκοπός των δοκιμών κοπής είναι η προσομοίωση της αλληλεπίδρασης κοπτικού – πετρώματος στις πραγματικές συνθήκες όρυξης έτσι ώστε στη φάση μελέτης σχεδιασμού της κεφαλής να επιλέγονται οι βέλτιστες παράμετροι εκσκαφής δηλαδή ο τύπος κοπτικού εργαλείου, το βάθος κοπής και η αλληλεπίδραση διαδοχικών κοπτικών.

Επειδή, όμως οι καταγραφές από τις δοκιμές κοπής συνήθως είναι μεγάλου πλήθους, απαιτείται η χρήση ενός κώδικα για να γίνει η ανάλυση και η επεξεργασία τους γρήγορα και αποτελεσματικά. Για τον κώδικα αυτό χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python, γλώσσα ευρέως διαδεδομένη με πολλές χρήσεις, υψηλού επιπέδου ανοιχτού λογισμικού και κυρίως εύκολη στην εκμάθηση και στην συντήρηση. Ο συγκεκριμένος κώδικας αναπτύχθηκε σε 270 σειρές και έχει την δυνατότητα να επεξεργάζεται γρήγορα πολλές καταγραφές από τις κοπές πετρωμάτων και είναι πολύ εύκολος στην χρήση ακόμα και από άτομα που δεν έχουν μεγάλη εμπειρία πάνω στον προγραμματισμό.

Abstract

The purpose of this thesis is the analysis of laboratory rock cutting recordings. It was prepared for the course of the 8th semester of the School of Mining and Metallurgical Engineering "Excavation Engineering II: Mechanical Excavation".

Both predicting of the performance of burrowing machine data used and the design of these machines, to achieve the output size you need, depend on the forces applied to the cutting tools.

Through surveys carried out in recent decades it has proven that these forces can be estimated either by theoretical models such as the cutting theories, which study the rock failure mechanisms when attacked by cutting tools or small to large scale rock cutting tests. The purpose of the laboratory cutting tests is the simulation of the interaction between the cutting tool – rock. The optimal excavating parameters (i.e. type cutting tool, the cutting depth and the interaction of neighboring cutting tools) are estimated through parametric analysis.

Because the number of the recordings from the cutting tests usually are big, it is required the use of a code to analyze them and process them quickly and efficiently. For the code was used the Python programming language, a language widely used in many applications, a high level, open source programming language and especially easy to learn and maintain. This code was developed in 270 series and has the ability to process quickly multiple records from rock cuttings tests and is very easy to use even by people without much experience over programming.

Κεφάλαιο 1

Εξόρυξη των Πετρωμάτων

1. ΕΞΟΡΥΞΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

1.1. Γενικά στοιχεία

Εξόρυξη των πετρωμάτων ονομάζεται ένα σύνολο εργασιών, οι οποίες πραγματοποιούνται προκειμένου να αποσπαστεί τμηματικά το πέτρωμα από την φυσική του θέση. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών που αποσκοπούν στην κατάτμηση του επί τόπου πετρώματος σε τεμάχια κατάλληλου μεγέθους έτσι ώστε να γίνεται με ευχέρεια η φόρτωση, η μεταφορά, η απόθεση ή, και αν απαιτείται, η περαιτέρω επεξεργασία του εξορυγμένου πετρώματος. Η εξόρυξη των πετρωμάτων συμβαίνει για δύο κυρίως λόγους είτε για την οικονομική αξία του πετρώματος ως έχει ή μετά από επεξεργασία (π.χ. εκμετάλλευση κοιτασμάτων βωξιτών ή άνθρακα) είτε για δημιουργία κενού χώρου (π.χ. έργα οδοποιίας ή σήραγγες).

Μέτωπο εξόρυξης ονομάζεται ο χώρος στον οποίο πραγματοποιείται η εξόρυξη και χωρίζεται σε δύο κατηγορίες (υπαίθριο μέτωπο εξόρυξης και υπόγειο μέτωπο εξόρυξης). Τα διάφορα πετρώματα που εξορύσσει ο άνθρωπος παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις όσον αφορά τις μηχανικές τους ιδιότητες. Αυτό οφείλεται κυρίως στον τρόπο που σχηματίστηκαν και στις διάφορες επιδράσεις που υπέστησαν κατά τη διάρκεια της γεωλογικής τους ιστορίας. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα πετρώματα να παρουσιάζουν ποικίλη συμπεριφορά κατά την εξόρυξη τους και να καθιστά δύσκολη την σύγκριση μεταξύ των πετρωμάτων όσον αφορά την εξορυξιμότητα τους, δηλαδή την ευκολία ή δυσκολία που παρουσιάζει το κάθε πέτρωμα κατά την εξόρυξη του. Είναι σαφές όμως ότι η εξορυξιμότητα του κάθε πετρώματος θα εξαρτάται και από τον τρόπο εξόρυξης και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Επομένως η εξορυξιμότητα των πετρωμάτων θα πρέπει να αναφέρεται για ένα συγκεκριμένο μέσο εξόρυξης και για μια συγκεκριμένη μέθοδο. Οι μέθοδοι εξόρυξης των πετρωμάτων είναι: η εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών και η εξόρυξη με χρήση μηχανικών μέσων. Η επιλογή της σωστής μεθόδου εξόρυξης επηρεάζεται από την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και από την μέση απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών της μάζας του πετρώματος που θα εξορυχτεί.

- ❖ Μικρή αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και αραιές ασυνέχειες – εξόρυξη με χρήση μηχανικών μέσων
- ❖ Μεγάλη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και πυκνές ασυνέχειες – εξόρυξη με χρήση μηχανικών μέσων
- ❖ Μεγάλη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και αραιές ασυνέχειες – εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών

Γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι για τα «μαλακά» πετρώματα γίνεται χρήση μηχανικών μέσων, ενώ για τα «σκληρά» πετρώματα είναι αναγκαστική η χρήση εκρηκτικών υλών. Τα τεμάχια του εξορυγμένου πετρώματος πρέπει να έχουν μικρότερο μέγεθος και καλύτερη, ομοιόμορφη, κατανομή μεγέθους από τα τεμάχια του επί τόπου πετρώματος του προς εξόρυξη όγκου.

1.2. Εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών

Η εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών είναι μια ασυνεχής κυκλική διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει τις εξής εργασίες: την διάτρηση των διατρημάτων, την γόμωση των διατρημάτων με μέσα έναυσης (εναυσματική γόμωση / γόμωση πυθμένα, κυρίως γόμωση), την επιγόμωση (τοποθέτηση της επιγόμωσης) και την πυροδότηση (συνδεσμολογία των μέσων έναυσης και πυροδότηση). Οι εκρηκτικές ύλες είναι χημικές ουσίες ή συνθεστέρα μίγματα ουσιών, τα οποία με κατάλληλη διέγερση (μηχανική – κρούση ή θερμική – φλόγα) υφίστανται μια ταχύτατη εξώθερμη χημική αντίδραση κατά τη διάρκεια της οποίας

παράγονται αέρια προϊόντα μεγάλου όγκου και απελευθερώνονται τεράστια ποσά ενέργειας εντός εξαιρετικά συντόμου χρονικού διαστήματος. Η αντίδραση αυτή ονομάζεται έκρηξη. Οι εκρηκτικές ύλες μπορεί να είναι είτε υγρές είτε στερεές και συνήθως διατίθενται από τα εργοστάσια συσκευασμένες σε φυσίγγια. Συνήθως οι εκρηκτικές ύλες περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο και άλλα στοιχεία. Κατά την έκρηξη η χημική ενέργεια των εκρηκτικών υλών μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια εντός των διατρημάτων και καταρχήν προκαλεί τον κατακερματισμό του πετρώματος που βρίσκεται μεταξύ των διατρημάτων και της ελεύθερης επιφάνειας του μετώπου και στη συνέχεια προκαλεί την απόσπαση – μετακίνηση του συγκεκριμένου όγκου πετρώματος από το μέτωπο. Αν η ταχύτητα έκρηξης είναι μικρότερη από την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο υλικό της εκρηκτικής ύλης τότε η αντίδραση ονομάζεται κατάκαυση και οι εκρηκτικές ύλες της κατηγορίας αυτής βραδύκαυστες. Αν η ταχύτητα έκρηξης είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο υλικό της εκρηκτικής ύλης τότε η αντίδραση ονομάζεται εκρηκτική και οι εκρηκτικές ύλες της κατηγορίας αυτής διαρρηκτικές (πρωτογενείς διαρρηκτικές εκρηκτικές ύλες – διεγείρονται με την θερμότητα και δευτερογενείς διαρρηκτικές ύλες – διεγείρονται με μηχανικό τρόπο). Όλες οι εκρηκτικές ύλες που χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη πετρωμάτων (ANFO, δυναμίτιδα, εκρηκτικά γαλακτώματα) είναι δευτερογενείς διαρρηκτικές ύλες. Μόνο η μαύρη πυρίτιδα που ακόμη χρησιμοποιείται είναι βραδύκαυστη εκρηκτική ύλη. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα έκρηξης μιας εκρηκτικής ύλης τόσο μεγαλύτερη είναι η διαρρηκτική ικανότητα που έχει (π.χ. στα συμπαγή σκληρά πετρώματα χρησιμοποιούνται εκρηκτικές ύλες με πολύ μεγάλη ταχύτητα έκρηξης).

1.3. Εξόρυξη με χρήση μηχανικών μέσων

Στην περίπτωση της μηχανικής εξόρυξης των πετρωμάτων, με την χρήση μηχανικών μέσων ασκούνται πιέσεις επί τμήματος της μάζας του πετρώματος, οι οποίες όταν υπερβούν τις μηχανικές αντοχές του πετρώματος προκαλούν τον τεμαχισμό του και την απόσπαση τμημάτων αυτού από την φυσική του θέση. Τα κοπτικά εργαλεία είναι αυτά που μεταφέρουν την ενέργεια από το μηχανικό μέσο που χρησιμοποιείται πάνω στο πέτρωμα που εξορύσσεται. Σε αυτήν την μέθοδο αναγνωρίζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- ❖ Αποφεύγεται η διάτρηση και η ανατίναξη με αποτέλεσμα να έχουμε λιγότερες δονήσεις και δεν υπάρχουν προβλήματα από εκτοξευμένα θραύσματα (fly-rocks)
- ❖ Λιγότερος θόρυβος και σκόνη
- ❖ Μικρότερη κοκκομετρία απευθείας με την εξόρυξη χωρίς να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία
- ❖ Το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας από την εξόρυξη χωρίς περαιτέρω επεξεργασία
- ❖ Λόγω του μεγέθους του, το υλικό μπορεί να φορτωθεί χωρίς να προκληθούν ζημιές
- ❖ Το υλικό μπορεί να μεταφερθεί απευθείας από το σύστημα μεταφοράς
- ❖ Δεν είναι αναγκαία η προρηγμάτωση

Τα πετρώματα ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους και τις μεταγενετικές επιδράσεις τις οποίες υπέστησαν, παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες, με συνέπεια να παρουσιάζουν ποικίλη συμπεριφορά κατά την εξόρυξη τους. Είναι σαφές, ότι η εξορυξιμότητα του πετρώματος θα επηρεάζεται και από τον εξοπλισμό ο οποίος χρησιμοποιείται για την εξόρυξη του. Έτσι λοιπόν, η εξορυξιμότητα των πετρωμάτων θα πρέπει να αναφέρεται σε συγκεκριμένο μηχανικό μέσο εξόρυξης αλλά και μέθοδο εκσκαφής.

Η εξόρυξη των πετρωμάτων, η τμηματική δηλαδή απόσπαση του πετρώματος από την φυσική του θέση πραγματοποιείται μεταξύ άλλων μεθόδων (ανατίναξη με χρήση εκρηκτικών υλών) και με την βοήθεια διαφόρων μηχανικών μέσων εξόρυξης, τα οποία καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από πολύ απλά όπως η εκσκαπτική αερόσφουρα έως και τα πολύ ισχυρά και ογκώδη όπως είναι ο υδραυλικός μετωπικός εκσκαφέας – shovel ή ακόμα και ο καδοφόρος εκσκαφέας. Η εκσκαπτική αερόσφουρα όπως και ο υδραυλικός μετωπικός εκσκαφέας πρακτικά έχουν την δυνατότητα να εξορύξουν κάθε ένα πέτρωμα για την εξόρυξη των οποίων δεν απαιτείται η χρήση εκρηκτικών υλών. Η διαφορά μεταξύ τους όμως έγκειται στο γεγονός ότι:

- ❖ Το κόστος ανά μονάδα όγκου πετρώματος θα είναι πολύ μεγαλύτερο στην περίπτωση της εκσκαπτικής αερόσφουρας
- ❖ Η παραγωγική ικανότητα του υδραυλικού εκσκαφέα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από εκείνη της εκσκαπτικής αερόσφουρας

Συνεπώς, για την επίτευξη χαμηλού κόστους εξόρυξης και μεγάλης παραγωγής το πρώτο σύστημα της εκσκαπτικής αερόσφουρας δεν μπορεί πρακτικά να εφαρμοσθεί ενώ είναι προφανές ότι η εφαρμογή του δεύτερου συστήματος του υδραυλικού εκσκαφέα - shovel πρέπει περαιτέρω να διερευνηθεί έτσι ώστε να επιλεγεί το πλέον κατάλληλο μηχάνημα εκσκαφής από ένα ευρύ φάσμα μηχανημάτων που είναι διαθέσιμα. Κατά την διερεύνηση αυτή πρέπει να εξετασθούν όλοι εκείνοι οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος ανά μονάδα εξορυγμένου όγκου πετρώματος: χαρακτηριστικά το πετρώματος, τρόπος προσβολής, χαρακτηριστικά του μηχανήματος καθώς και η καταναλισκόμενη ενέργεια από ο μηχανήμα για την παραγωγή μιας μονάδας εξορυγμένου όγκου πετρώματος.

Το δεύτερο μέγεθος που σχετίζεται με την εξόρυξη των πετρωμάτων είναι η απαιτούμενη απόδοση του μηχανήματος εξόρυξης, η οποία προσδιορίζεται από την ζητούμενη παραγωγή της εκμετάλλευσης ή την ταχύτητα προχώρησης του τεχνικού έργου όπως στην διάνοιξη μιας οδικής σήραγγας. Μια μικρής κλίμακας εξόρυξη, όπως η εκσκαφή των θεμελίων ενός τεχνικού έργου, δικαιολογεί χρησιμοποίηση εξοπλισμού μικρής απόδοσης, ενώ μεγάλης κλίμακας εξόρυξη, όπως σε ένα υπαίθριο ορυχείο, επιβάλλει την χρησιμοποίηση εξοπλισμού υψηλής απόδοσης, του οποίου η χρήση στην πρώτη περίπτωση δεν θα ήταν συμφέρουσα.

Τόσο η κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα εξορυγμένου όγκου, όσο και η απόδοση των μηχανημάτων εξόρυξης εξαρτώνται εκτός των άλλων παραγόντων άμεσα από την φθορά των κοπτικών εργαλείων. Αυξημένη φθορά των κοπτικών εργαλείων έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης, με παράλληλη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Όταν η φθορά των κοπτικών εργαλείων λάβει μεγάλες τιμές και οι άκρες τους από αιχμηρές γίνουν αμβλείες, τότε καθίσταται αδύνατη η περαιτέρω εξόρυξη και απαιτείται αντικατάσταση των κοπτικών εργαλείων με καινούρια.

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι η εξορυξιμότητα των πετρωμάτων είναι δυνατόν να συνδεθεί με οικονομικά και επιχειρησιακά χαρακτηριστικά της εξόρυξης, εάν εκφραστεί με την βοήθεια των εξής παραμέτρων: $F = f(X, Y, Z)$ όπου

X: η ειδική κατανάλωση ενέργειας εκσκαφής, η οποία ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται για την εκσκαφή ενός μέτρου εξορυγμένου πετρώματος (kWh / m^3l)

Y: η επιτεύξιμη ή η πραγματική απόδοση του μηχανήματος εξόρυξης (m^3l / h)

Z: η φθορά των κοπτικών εργαλείων

1.4. Παράμετροι που επηρεάζουν την εξορυξιμότητα ενός πετρώματος

Τα χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος (άρρηκτο πέτρωμα – μάζα πετρώματος) επηρεάζουν καθοριστικά την εξορυξιμότητα των πετρωμάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν ορισμένες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος. Σε ότι αφορά την εξόρυξη, επισημαίνεται πως οι ιδιότητες της μάζας του πετρώματος είναι καθοριστικής σημασίας για την εκτίμηση της εξορυξιμότητας. Ένα πέτρωμα το οποίο παρουσιάζει υψηλές τιμές μηχανικής αντοχής (χαρακτηριστικό των άρρηκτων πετρωμάτων) αλλά είναι έντονα κατακερματισμένο (χαρακτηριστικό της μάζας των πετρωμάτων) εξορύσσεται εύκολα με μηχανικά μέσα σε αντίθεση με ένα άλλο το οποίο έχει μικρότερες τιμές αντοχής αλλά όμως είναι συμπαγές. Με τον όρο πέτρωμα εννοείται ένα ευρύ φάσμα γεωλογικών σχηματισμών, όλων όσων συναντώνται στις εκμεταλλεύσεις και στα τεχνικά έργα, στα οποία πραγματοποιείται εξόρυξη με χρήση μηχανικών μέσων. Η εξόρυξη των πετρωμάτων με χρήση μηχανικών μέσων επηρεάζεται από τις παρακάτω ιδιότητες των πετρωμάτων:

- ❖ Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, όπως προκύπτει από την κλασική δοκιμή ή από την δοκιμή σημειακής φόρτισης μέσω του Δείκτη Σημειακής Φόρτισης (Is). Ο δείκτης σημειακής φόρτισης ή η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την εκτίμηση της εξορυξιμότητας και την ταξινόμηση των πετρωμάτων, μαζί με τα άλλα χαρακτηριστικά τους.
- ❖ Η αντοχή σε εφελκυσμό. Η δύναμη κοπής, την οποία πρέπει να αναπτύξουν τα κοπτικά εργαλεία τύπου σφήνας και κωνικής σφήνας για την εξόρυξη ψαθυρών πετρωμάτων, είναι συνάρτηση της αντοχής των πετρωμάτων σε εφελκυσμό (π.χ. θεωρία κοπής των πετρωμάτων κατά Evans)
- ❖ Η αντοχή σε διάτμηση. Η διατμητική αντοχή αποτέλεσε την βάση για την διατύπωση θεωριών αστοχίας των πετρωμάτων, όπως οι θεωρίες των Coulomb και Mohr. Επιπλέον η αντοχή σε διάτμηση έχει χρησιμοποιηθεί ως η βασική παράμετρος για την διατύπωση των θεωριών κοπής των πετρωμάτων κατά Merchant και κατά Nishimatsu.
- ❖ Η σκληρότητα των πετρωμάτων έχει χρησιμοποιηθεί από μεγάλο αριθμό ερευνητών για την εκτίμηση της εξορυξιμότητας των πετρωμάτων καθώς και της φθοράς των κοπτικών εργαλείων. Έχει επικρατήσει η άποψη ότι στα πετρώματα προσδιορίζεται η σκληρότητα διείδυσης και η σκληρότητα ανάκρουσης κατά Shore και κατά Schmidt. Με την βοήθεια της σκληρότητας κατά Shore, η οποία προσδιορίζεται με την βοήθεια του ομώνυμου σκληρόμετρου, υπολογίζεται ο Συντελεστής Πλαστικότητας από την σχέση των Brown, 1981 και McFeat – Smith, 1977: $K = [H_{20} - H_1] / H_{20} * 100$ όπου

K: συντελεστής πλαστικότητας, %

H₂₀: τελική τιμή σκληρότητας μετά από 20 ανακρούσεις στο ίδιο σημείο

H₁: τιμή σκληρότητας μετά από μια ανάκρουση

Με βάση τον συντελεστή πλαστικότητας τα πετρώματα διακρίνονται σε πλαστικά – μεγάλες τιμές του συντελεστή K και ψαθυρά – μικρές τιμές του συντελεστή K. Τα πλαστικά πετρώματα παραμορφώνονται περισσότερο από τα ψαθυρά κάτω από την επίδραση της ίδιας τάσης. Πολλά μαλακά πετρώματα όπως ο άνθρακας παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές συντελεστή πλαστικότητας μιας και είναι εξαιρετικά ψαθυρά. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ψαθυρότητα /

πλαστικότητα των πετρωμάτων και η σκληρότητα των πετρωμάτων όπως αυτά προκύπτουν από την δοκιμή κατά Shore, είναι δύο τελείως διαφορετικές ιδιότητες.

- ❖ Η τριβή μεταξύ πετρώματος και μετάλλων. κατά προσέγγιση ο συντελεστής τριβής πετρώματος / χάλυβα υπολογίζεται με τη βοήθεια του συντελεστή εσωτερικής τριβής του πετρώματος.
- ❖ Η αντίσταση στην κοπή. Η αντίσταση κοπής των πετρωμάτων εκφράζει την δύναμη τη οποία πρέπει να αναπτύξει η κοπτική ακμή του κοπτικού εργαλείου έτσι ώστε να αστοχήσει το πέτρωμα κατά την εκσκαφή του. Ως ειδική αντίσταση κοπής ή εκσκαφής ορίζεται η ανηγμένη αντίσταση κοπής στην μονάδα του μήκους της κοπτικής ακμής του εργαλείου (kg / cm) ή στην μονάδα επιφάνειας του αποκοπτόμενου τμήματος του πετρώματος (kg / cm²). Οι τιμές της ειδικής αντίστασης εκσκαφής των πετρωμάτων είναι προφανές ότι κυμαίνονται εντός ευρέων ορίων, ανεξάρτητα από τον τρόπο που εκφράζονται, αφού η ειδική αντίσταση εξαρτάται από την μορφή του κοπτικού εργαλείου, τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται η δύναμη κοπής και από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος. Ο προσδιορισμός της ειδικής αντίστασης εκσκαφής επιτυγχάνεται με την βοήθεια κατάλληλων διατάξεων στο εργαστήριο ή επί τόπου.

Για τον υπολογισμό της αντίστασης κοπής των πετρωμάτων επί τόπου, και κυρίως όταν εξορύσσονται με καδοφόρους εκσκαφείς, ο οίκος Orenstein & Koppel (O&K) σχεδίασε φορητή συσκευή, με την οποία επιτυγχάνεται η θραύση πρισματικών ή κυλινδρικών δοκιμίων κατά την διείδυση μιας τυποποιημένης σφήνας. Από τις δοκιμές με την συσκευή αυτή (μέθοδος O&K) υπολογίζεται η ειδική αντίσταση κοπής του πετρώματος σύμφωνα με τις σχέσεις (Orenstein & Koppel,-):

P =F/L (kg/cm) , όπου:

P : ειδική αντίσταση κοπής, kg/cm

F : φορτίο κατά την θραύση, kg

L : μήκος ακμής σφήνας, cm

- ❖ Τα συστήματα ασυνεχειών της μάζας του πετρώματος. Η πλέον σημαντική διαφορά μεταξύ της μάζας του πετρώματος του αντίστοιχου άρρηκτου πετρώματος από το οποίο συγκροτείται η μάζα του πετρώματος είναι ως γνωστό η παρουσία στην πρώτη των πάσης φύσεως συστημάτων ασυνεχειών, τα οποία διαφοροποιούν κατά πολύ τις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων στην κλίμακα που πραγματοποιείται η εξόρυξη τους με μηχανικά μέσα.

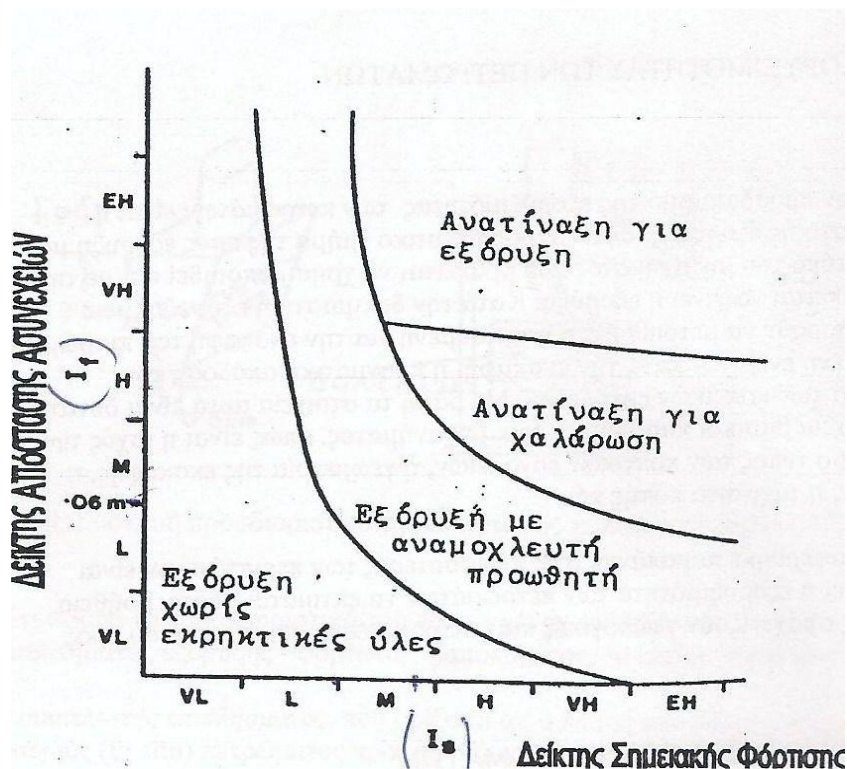
Σε ότι αφορά τα χαρακτηριστικά του εξορυγμένου πετρώματος, τα οποία επηρεάζουν την επίδοση του συστήματος εξόρυξης – φόρτωσης – αποκόμισης, τα πιο σημαντικά είναι:

- ❖ Ο συντελεστής επιπλήσματος, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του βάρους της μονάδας όγκου του συμπαγούς πετρώματος (in situ πετρώματος) προς το βάρος της μονάδας όγκου του χαλαρού πετρώματος (εξορυγμένου πετρώματος). Ο συντελεστής επιπλήσματος προσδιορίζει τον όγκο του πετρώματος που γεμίζει τους κádους των μηχανημάτων εξόρυξης.
- ❖ Το μέγεθος των παραγομένων τεμαχίων. Το μέγεθος των τεμαχίων εξαρτάται από τις διαστάσεις της εντομής που πραγματοποιεί το μηχάνημα εξόρυξης στο μέτωπο, από τα συστήματα ασυνεχειών της μάζας του πετρώματος και από την διάταξη των κοπτικών εργαλείων. Το σχήμα και το μέγεθος των τεμαχίων επηρεάζει άμεσα τον βαθμό πλήρωσης των κάδων, ενώ μεγάλα και αιχμηρά τεμάχια δημιουργούν σοβαρά προβλήματα και καθυστερήσεις στα μηχανήματα και τις διατάξεις φόρτωσης και μεταφοράς.

- ❖ Η τάση συγκόλλησης στις μεταλλικές επιφάνειες. Πετρώματα γαιώδους μορφής και ορισμένες άργιλοι και μάργες έχουν την τάση να προσκολλώνται στις μεταλλικές επιφάνειες των κάδων των μηχανημάτων εξόρυξης μειώνοντας, με αυτό τον τρόπο, την ωφέλιμη χωρητικότητα τους ή να προσκολλώνται στις επιφάνειες των μηχανημάτων και διατάξεων φόρτωσης – μεταφοράς. Η τάση συγκόλλησης εξαρτάται από την φύση του πετρώματος και το ποσοστό της υγρασίας του.

1.5. Εκτίμηση της εξορυξιμότητας ενός πετρώματος

Τα κριτήρια εξορυξιμότητας αφορούν γενικά την εξόρυξη των πετρωμάτων με διάφορους τύπους μηχανημάτων. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες εκτίμησης της εξορυξιμότητας ενός πετρώματος. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη ασυνεχειών του πετρώματος και τον δείκτη σημειακής φόρτισης κατατάσσεται η μάζα του πετρώματος από πλευράς εξορυξιμότητας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1: Διάγραμμα για την επιλογή μεθόδου εξόρυξης με βάση το δείκτη ασυνεχειών κατά Franklin.

Ο Atkinson (1971) κρίνει την δυνατότητα εξόρυξης ενός πετρώματος από την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Έχει χρησιμοποιηθεί ακόμη και ο γεωλογικός χαρακτηρισμός των πετρωμάτων ως μια πρώτη εκτίμηση της εξορυξιμότητας τους. Σύμφωνα με τους Muftuoglu και Scoble προτείνεται ένας δείκτης εξορυξιμότητας. Ο δείκτης αυτός προκύπτει από την αξιολόγηση τεσσάρων παραμέτρων, οι οποίες είναι:

- ❖ Ο βαθμός αποσάθρωσης του πετρώματος
- ❖ Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ή εναλλακτικά ο δείκτης σημειακής φόρτισης του άρρηκτου πετρώματος
- ❖ Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών
- ❖ Η απόσταση μεταξύ των επιπέδων διάστροφωσης του πετρώματος

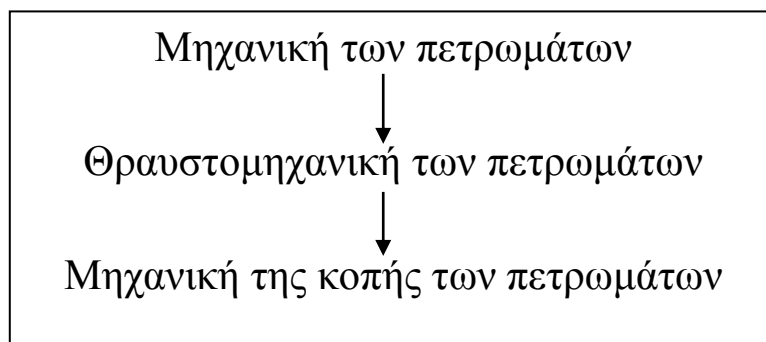
Κεφάλαιο 2

Μηχανική της Κοπής των Πετρωμάτων

2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΚΟΠΗΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

2.1. Εισαγωγή

Το φαινόμενο της θραύσεως των πετρωμάτων έχει απασχολήσει έντονα τον κλάδο της μηχανικής των πετρωμάτων με αποτέλεσμα την ανάπτυξη του κλάδου της θραυστομηχανικής των πετρωμάτων. Εργαστηριακές παρατηρήσεις, θεωρίες θραύσεως (Griffith) και εμπειρικά κριτήρια (Hoek-Brown) έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την κατανόηση του μηχανισμού θραύσεως και την πρόβλεψη της αντοχής του πετρώματος συναρτήσει της φόρτισής του ή αλλιώς της επιβολής εντατικού πεδίου.



Μία μορφή φόρτισης και θραύσεως του πετρώματος είναι η ανάπτυξη δυνάμεων στο πέτρωμα και η αποσύνθεσή του κατά την διαδικασία κοπής του με μηχανικά μέσα. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κοπής του πετρώματος σε σχέση με την κλασική μελέτη της θραύσεως του πετρώματος οδήγησε σε ξεχωριστή μελέτη της “μηχανικής της κοπής των πετρωμάτων”, εξαιτίας της ολοένα μεγαλύτερης ανάγκης για αποδοτικότερη εξόρυξη των πετρωμάτων.

Οι ιδιαιτερότητες που κατέστησαν την κοπή του πετρώματος ένα ξεχωριστό αντικείμενο μελέτης είναι:

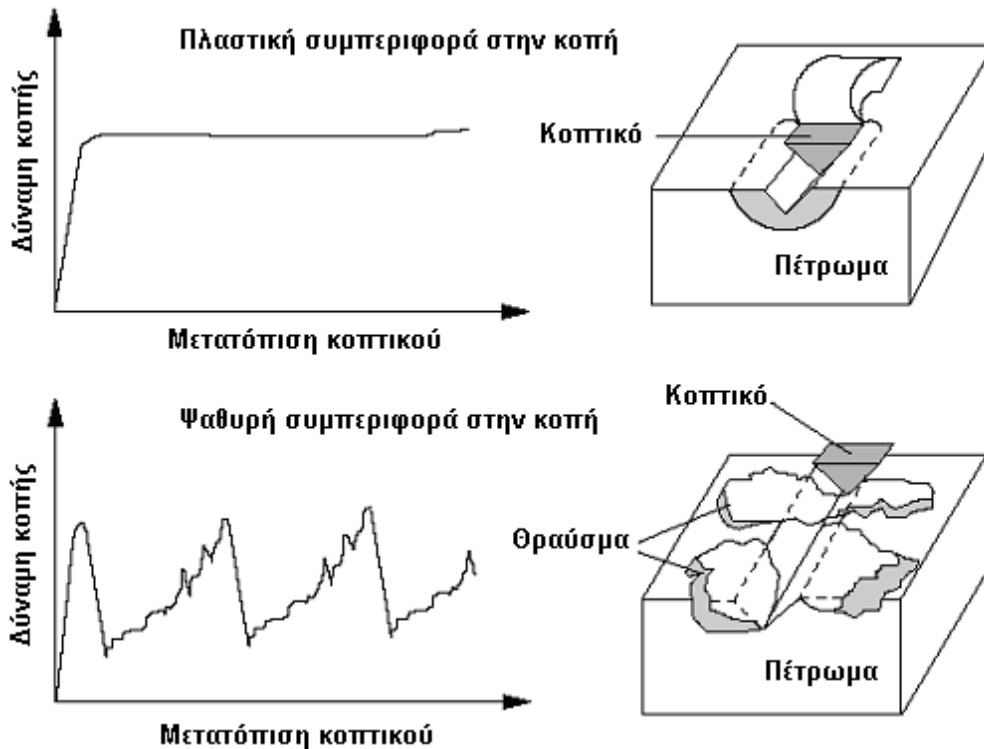
- ❖ η επιβολή στο πέτρωμα τρισδιάστατου, ανομοιομορφου εντατικού πεδίου λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας των μηχανικών μέσων επιβολής του φορτίου (κοπτικά εργαλεία)
- ❖ μεταβλητό φορτίο συναρτήσει του χρόνου και της θέσης του κοπτικού
- ❖ εμφάνιση δυναμικών φαινομένων λόγω της μεταβλητής διεπιφάνειας πετρώματος-κοπτικού εργαλείου

Από τη μελέτη της κοπής των πετρωμάτων προέκυψαν οι θεωρίες κοπής που σκοπό έχουν την ερμηνεία του μηχανισμού της κοπής των πετρωμάτων και την πρόβλεψη των δυνάμεων και κατά συνέπεια των ενεργειακών απαιτήσεων των μηχανικών μέσων για την αποσύνθεση των πετρωμάτων.

Ερευνητές με παρατηρήσεις της αστοχίας των πετρωμάτων κατά την κοπή, θεωρήσεις για την μορφή του εντατικού πεδίου και χρήση κριτηρίων αντοχής των πετρωμάτων ανέπτυξαν θεωρίες κοπής για διάφορους τύπους πετρωμάτων και κοπτικών εργαλείων από τα οποία προσβάλλονται.

2.2. Συμπεριφορά του πετρώματος κατά την κοπή

Κατά την διάρκεια της κοπής των πετρωμάτων παρατηρούνται δύο κύριοι τύποι αποσύνθεσης τους: η πλαστική ροή και η ψαθυρή αστοχία καθώς και ενδιάμεσες περιπτώσεις, οι οποίες διακρίνονται πολύ πιο δύσκολα.



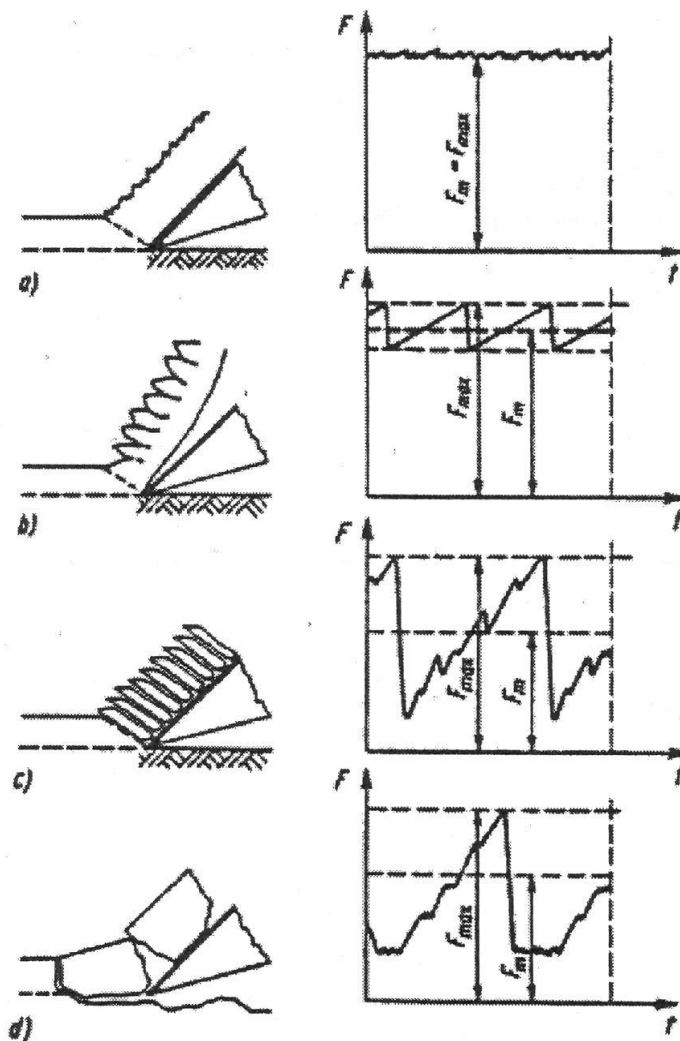
Σχήμα 2: Τύποι αποσύνθεσης του πετρώματος κατά την κοπή κατά Deketh et al, 1998

Κατά την πλαστική ροή η μάζα που αστοχεί (απόκομμα – chip) απομακρύνεται με ομοιογένεια, συνδεδεμένη με την μάζα που αμέσως πριν και μετά αστοχεί και σε συνεχή επαφή με το κοπτικό. Αντίθετα κατά την ψαθυρή αστοχία η μάζα θραύεται ασυνεχώς και θραύσματα υλικού (chips) απομακρύνονται γρήγορα, ακόμα και βίαια από το κοπτικό.

Πλαστική ροή εμφανίζεται κατά την κοπή πλαστικών, μετάλλων και ορισμένων πετρωμάτων και ειδικά των μη συνεκτικών κοκκωδών μαζών των οποίων η αστοχία εξηγείται από την θεωρία της διατμητικής θραύσης (Coulomb). Τα υλικά αυτά αστοχούν σε διάτμηση βάσει εμπειρικών κριτηρίων (Mohr – Coulomb) και μπορούν γενικά να χαρακτηριστούν ως πλαστικά.

Ψαθυρή αστοχία εμφανίζουν τα περισσότερα πετρώματα κατά την κοπή τους. Η αστοχία γενικά των πετρωμάτων εξηγείται από τη θεωρία της ψαθυρής θραύσης του Griffith λόγω υπέρβασης της αντοχής τους σε εφελκυσμό. Η αντοχή τους υπολογίζεται από εμπειρικά κριτήρια (Hoek – Brown, Johnston, Mohr – Coulomb) και μπορούν γενικά να χαρακτηριστούν ως ψαθυρά.

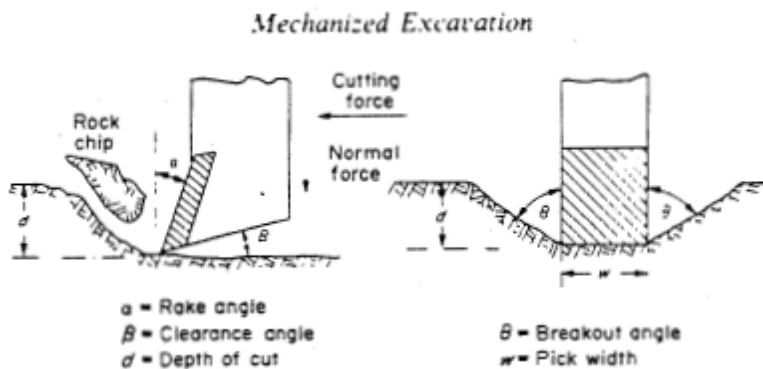
Βάσει των παραπάνω θα μπορούσαμε να προβλέψουμε τη συμπεριφορά ενός πετρώματος στην κοπή γνωρίζοντας πόσο ψαθυρό ή πλαστικό είναι. Αυτό είναι σημαντικό γιατί όσο περισσότερο ψαθυρό είναι ένα πέτρωμα τόσο μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρατηρούνται στο μέγεθος της δύναμης κοπής συναρτήσει του χρόνου. Οι διακυμάνσεις αυτές γίνονται αντιληπτές ως δονήσεις του μηχανικού μέσου εξόρυξης.



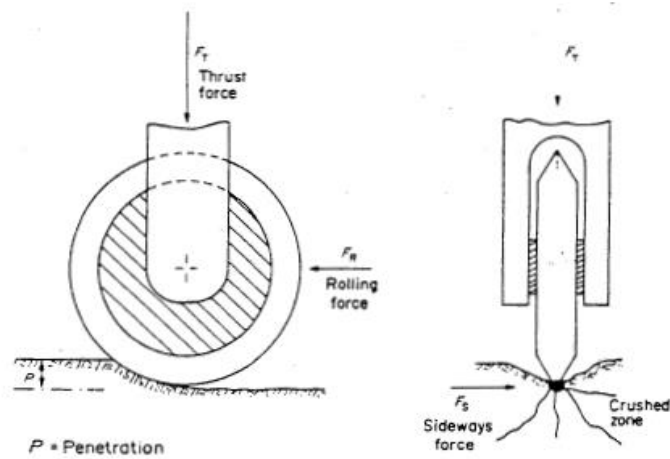
Σχήμα 3: Διακύμανση της δύναμης κοπής συναρτήσει του χρόνου για a) πολύ πλαστικό b) πλαστικό c) ψαθυρό δ) πολύ ψαθυρό πέτρωμα

2.3. Κοπτικά εργαλεία

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες κοπτικών εργαλείων για την μηχανική όρυξη των πετρωμάτων. α) τα κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου (drag picks) και β) τα κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου (disc cutters).



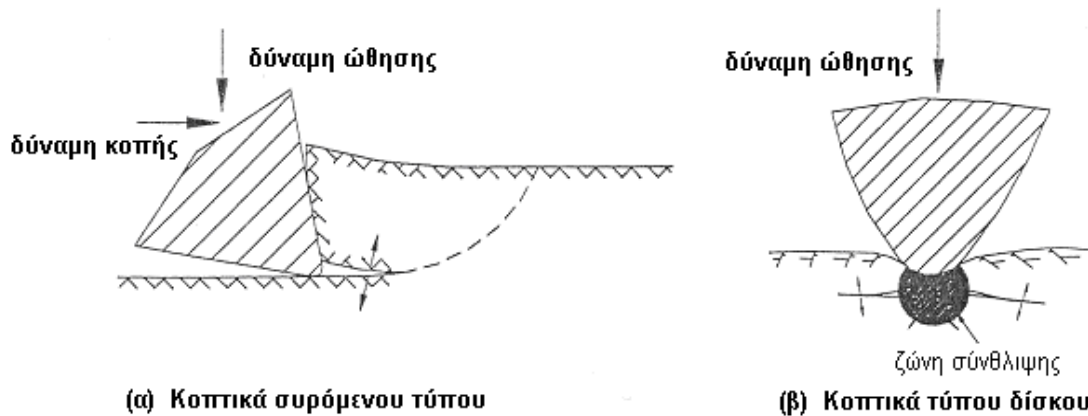
Σχήμα 4: κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου (drag pick)



Σχήμα 5: κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου (disk cutters)

Η διαφορά τους πέραν της γεωμετρίας τους βρίσκεται στον τρόπο προσβολής του πετρώματος και συνεπώς στον μηχανισμό αποσύνθεσης του. Για το λόγο αυτό αντιμετωπίζονται διαφορετικά από τις θεωρίες κοπής.

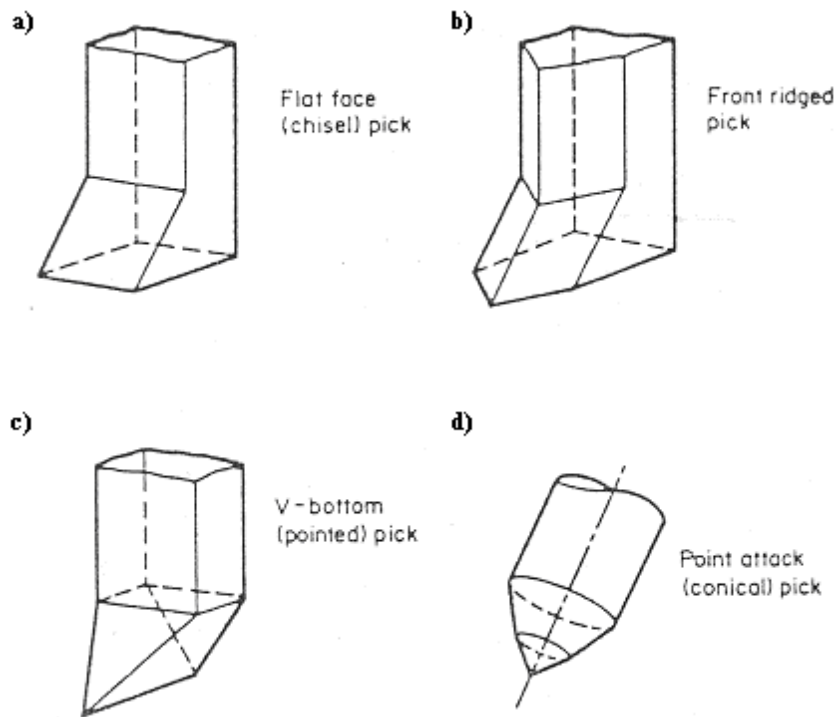
Τα κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου θραύουν το πέτρωμα εφαρμόζοντας σ' αυτό δύναμη η οποία είναι παράλληλη στην επιφάνεια του (δύναμη κοπής). Η κάθετη δύναμη στην επιφάνεια του πετρώματος (ώθηση) διατηρεί το κοπτικό στο επιθυμητό βάθος κοπής. Αντίθετα στα κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου η κύρια δύναμη που προκαλεί την θραύση του πετρώματος είναι η ώθηση



Σχήμα 6: Δυνάμεις που προκαλούν θραύση του πετρώματος για α) κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου, β) κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου

Τα κοπτικά συρόμενου τύπου διακρίνονται περαιτέρω σε:

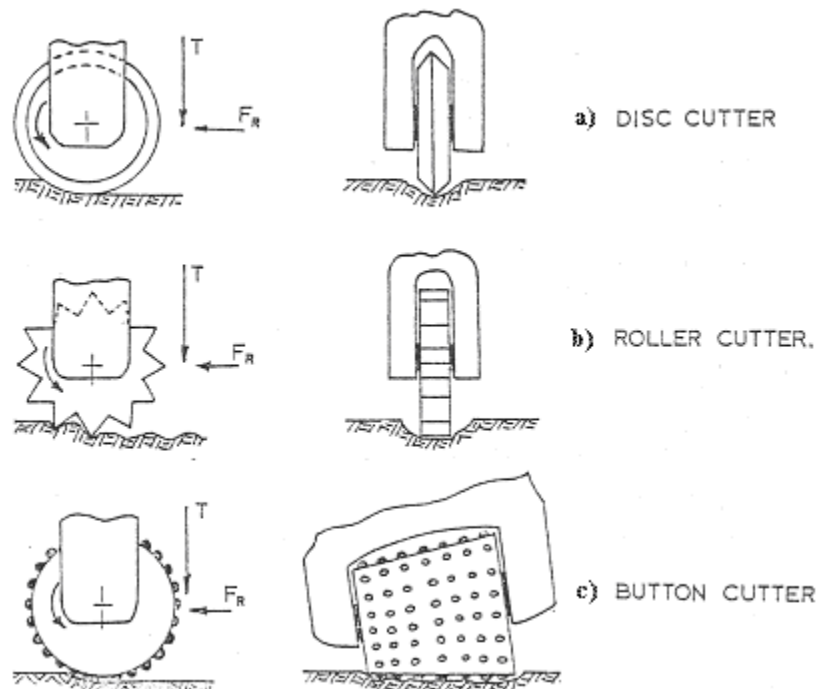
- ❖ κοπτικά τύπου σμίλης (chisel picks) και
- ❖ κοπτικά σημειακής προσβολής (point attack picks).



Σχήμα 7: Κοπτικά συρόμενου τύπου: a) κοπτικά τύπου σμίλης, b) κοπτικά τύπου σμίλης, c) κοπτικά τύπου σμίλης, d) κοπτικό σημειακής προσβολής

Τα κοπτικά τύπου δίσκου διακρίνονται περαιτέρω σε:

- ❖ κοπτικά δίσκου (disc cutters)
- ❖ κοπτικά οδοντωτού δίσκου (disc rollers ή roller cutters) και
- ❖ κοπτικά περιστρεφόμενου τύμπανου με κομβία (button cutters)



Σχήμα 8: Κοπτικά τύπου δίσκου: a) κοπτικό δίσκου, b) κοπτικό οδοντωτού δίσκου, c) κοπτικό περιστρεφόμενου τύμπανου με κομβία

Μία γενική κατηγοριοποίηση της εφαρμογής του κάθε τύπου κοπτικού εργαλείου γίνεται βάσει της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του πετρώματος το οποίο μπορούν “αποτελεσματικά” να προσβάλλουν. Η αποτελεσματικότητα ενός κοπτικού σχετίζεται τόσο με την απόδοση του (ενέργεια για την εξόρυξη μονάδας όγκου πετρώματος) όσο και με τη διατήρηση των χαρακτηριστικών του (γεωμετρία, μάζα) κατά τη διάρκεια της χρήσης του.

Γενικά τα κοπτικά συρόμενου τύπου είναι αποδοτικότερα έναντι των κοπτικών τύπου δίσκου. Αυτό οφείλεται στον αποδοτικότερο μηχανισμό με τον οποίο προκαλούν αστοχία στο πέτρωμα. Σε υψηλές όμως αντοχές του πετρώματος φθείρονται ευκολότερα, χάνουν τα αρχικά τους χαρακτηριστικά τα οποία τα καθιστούν αποδοτικά και επομένως γίνονται μη αποτελεσματικά

Κοπτικό Εργαλείο	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)
Τύπου σφήνας	< 20
Σημειακής προσβολής	< 120
Τύπου δίσκου	5 – 310
Τύπου δίσκου με κομβία	> 240

Πίνακας 1: Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ανάλογα με το κοπτικό εργαλείο

2.4. Κοπτικά άκρα συρόμενου τύπου

Τα κοπτικά άκρα συρόμενου τύπου χρησιμοποιούνται σε όλα τα μηχανήματα εκσκαφής γαιάνθρακα και “μαλακών” πετρωμάτων και έχουν διάφορα σχήματα όπως φαίνεται στο σχήμα. Συνίστανται από ένα σώμα από χαλύβδινο κράμα με προσθήκη μιας κοπτικής ακμής από καρβίδιο του βολφραμίου.

Τα κοπτικά σημειακής προσβολής είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα σε παγκόσμια κλίμακα διότι έχουν το πλεονέκτημα ότι το κοπτικό άκρο περιστρέφεται κατά τη χρήση διατηρώντας σταθερά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καθώς η επαφή με το πέτρωμα φθείρει το καρβίδιο και την περιβάλλουσα αυτό χαλύβδινη μήτρα.

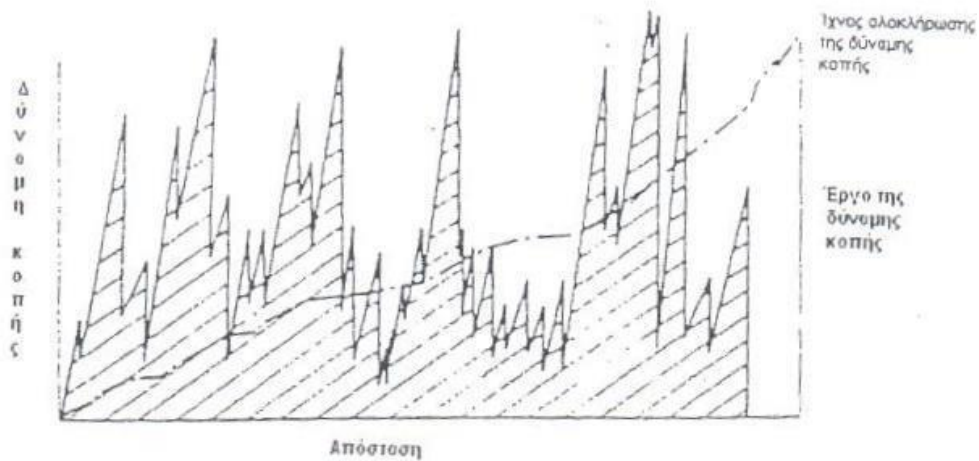
Το ακτινικής προσβολής κοπτικό άκρο διατηρεί την ίδια επιφάνεια επαφής κοπτικού άκρου – πετρώματος γεγονός που, με την πρόοδο της φθοράς του αυξάνει την απαιτούμενη για την εκσκαφή δύναμη. Οι βασικές λειτουργικές παράμετροι ενός κοπτικού άκρου συρόμενου τύπου είναι:

- ❖ Οι δυνάμεις που απαιτούνται για την προώθηση του άκρου μέσα στο πέτρωμα σε δεδομένο βάθος
- ❖ Η ποσότητα εξορυγμένου πετρώματος και η διάρκεια ζωής του



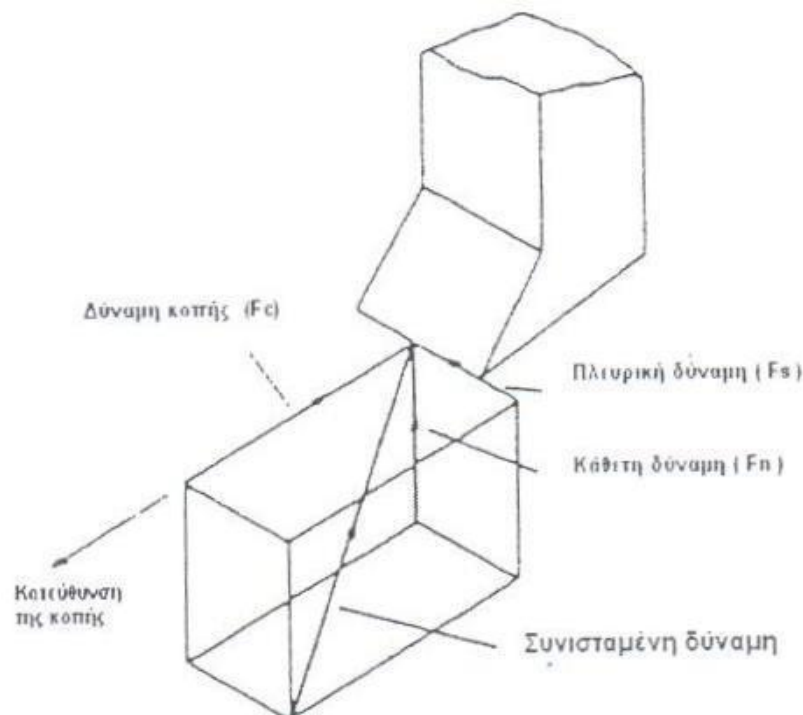
Σχήμα 9: Τύποι κοπτικών άκρων συρόμενου τύπου

Οι δυνάμεις που ασκούνται επί του κοπτικού παρουσιάζουν συχνές αλλαγές στο μέτρο τους λόγω της ψαθυρής συμπεριφοράς των περισσότερων πετρωμάτων. Το κοπτικό άκρο διεισδύει στο πέτρωμα μέχρι σχηματισμού ενός “κυρίως” θραύσματος. Δευτερογενής σύνθλιψη και δημιουργία θραυσμάτων λαμβάνουν επίσης χώρα κατά τη διάρκεια της κοπής.



Σχήμα 10: Διάγραμμα δύναμης κοπής κατά Fowell

Στο σχήμα 10 φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα δύναμης κοπής – μετατόπισης κατά την κοπή με κοπτικό άκρο συρόμενου τύπου σε σταθερό βάθος. Για την ασκούμενη επί του κοπτικού δύναμη, είναι συνήθης η ανάλυση σε τρεις ορθογωνικές συνιστώσες όπως αναλύονται στο σχήμα 11: τη δύναμη κοπής, τη δύναμη ώσης (κάθετη δύναμη) και τις πλευρικές συνιστώσες. Λόγω της μεταβλητής φύσης των δυνάμεων αυτών, οι συνιστώσες μπορούν να εκφραστούν με περισσότερους από έναν τρόπους.



Σχήμα 11: οι συνιστώσες της δύναμης που ασκείται σε ένα κοπτικό άκρο συρόμενου τύπου

Κατά τη χρήση κοπτικών άκρων συρόμενου τύπου ο κυρίαρχος μηχανισμός θραύσης του πετρώματος θεωρείται πως είναι η ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων για ψαθυρά πετρώματα και η ανάπτυξη διατμητικών τάσεων για πετρώματα με πιο πλαστική συμπεριφορά. Πρακτικά υφίστανται και οι δυο μηχανισμοί. Οι Evans, Nishimatsu, Roxborough και Deliaç έχουν προτείνει μοντέλα που περιγράφουν το μηχανισμό αστοχίας του πετρώματος υπό τη δράση κοπτικών άκρων συρόμενου τύπου. Στη συνέχεια εξετάζονται οι πλέον συνήθεις μεταβλητές που αφορούν την κοπή με κοπτικά άκρα συρόμενου τύπου.

2.5. Θεωρίες κοπής των πετρωμάτων

Η μηχανική της κοπής των πετρωμάτων υιοθετεί ως έναν από τους απώτερους στόχους της, την πρόβλεψη της δύναμης κοπής για ένα δεδομένο κοπτικό άκρο σε ποικίλους γεωλογικούς σχηματισμούς και υπό διάφορες λειτουργικές συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη τη διαδικασία σχηματισμού θραυσμάτων και τη φθορά του κοπτικού άκρου.

Υπάρχουν τρεις τύποι κοπτικών άκρων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη των πετρωμάτων και για τη διάτρηση αυτών. Τα κοπτικά άκρα συρόμενου τύπου, οι περιστρεφόμενοι κοπείς (π.χ. δίσκοι κοπής, κοπτικά τύμπανα με κομβία) καθώς και το κρουστικό διατρητικό κοπτικό άκρο. Τα κοπτικά άκρα συρόμενου τύπου είναι πολύ σημαντικά για την εξόρυξη γαιάνθρακα καθώς και για τη διάτρηση και διάνοιξη στοών σε περιβάλλον γαιανθράκων ή άλλων “μαλακών” πετρωμάτων. Τα περιστρεφόμενα κοπτικά άκρα είναι τα πιο σημαντικά κοπτικά άκρα για τη διάνοιξη στοών σε σκληρά πετρώματα καθώς και για την εκτέλεση περιστροφικής διάτρησης σε μεγάλα βάθη. Τα κρουστικά διατρητικά κοπτικά άκρα είναι τα παλιότερα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιήθηκαν για θραύση πετρωμάτων και διάτρηση. Παρόλα τα παραπάνω, τα κοπτικά συρόμενου τύπου είναι τα μόνα που ουσιαστικά κόβουν το πέτρωμα και για αυτό το λόγο το ακόλουθο κεφάλαιο ασχολείται μόνο με αυτά.

Υπάρχουν τρεις βασικοί παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση της απόδοσης της κοπής του πετρώματος. Είναι η δύναμη κοπής, η διάρκεια ζωής του κοπτικού άκρου και η ειδική ενέργεια εκσκαφής. Η ειδική ενέργεια εκσκαφής και η διάρκεια ζωής του κοπτικού συχνά έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο από τη δύναμη κοπής στη λειτουργική απόδοση των μηχανημάτων από τεχνικής και οικονομικής άποψης. Παρόλα αυτά, οι θεωρίες κοπής ασχολούνται κυρίως με τον προσδιορισμό της δύναμης κοπής ενώ οι δυο άλλες παράμετροι αναφέρονται συνήθως σε όρους συσχέτισης με την κύρια παράμετρο.

2.6. Θεωρίες κοπής υπό συνθήκες εφελκυσμού

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει ένας ξεκάθαρος διαχωρισμός ανάμεσα σε ένα φαινομενολογικό κριτήριο αστοχίας και ένα γενετικό μηχανισμό αστοχίας. Ένα κριτήριο αστοχίας απλά παρέχει μια διατύπωση, η οποία μας επιτρέπει την πρόβλεψη της αντοχής για όλες τις συνθήκες πολυαξονικής φόρτισης από μια κρίσιμη ποσότητα/τιμή η οποία προσδιορίζεται από κάποιον τύπο δοκιμής (π.χ. δοκιμή UCS).

Ένας μηχανισμός αστοχίας, περιγράφει τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο υλικό κατά τη διάρκεια της φόρτισης του, οι οποίες τελικά οδηγούν στην αστοχία του.

Είναι επιθυμητό, ένα κριτήριο αστοχίας να βασίζεται στη γνώση του μηχανισμού αστοχίας, αλλά αυτό δεν είναι πάντα εφικτό. Αντιθέτως αρκετές υποθέσεις αστοχίας, προτάθηκαν ως προϊόντα θεωρητικής και μόνο αιτιολόγησης και δεν στάθηκε δυνατό να επαληθευθούν με πειραματικά δεδομένα.

2.7. Θεωρία του Merchant

Από τεχνολογικής απόψεως, θα ήταν αναμενόμενο ότι η θεωρία κοπής των πετρωμάτων θα μπορούσε να προβλέπει τη δύναμη κοπής ως μια αναλυτική συνάρτηση των ιδιοτήτων του πετρώματος, των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κοπτικού άκρου και διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων.

Προκειμένου να το επιτύχει αυτό, κάθε θεωρία χρειάζεται γνώση, ή λογικές παραδοχές, για το κριτήριο αστοχίας του πετρώματος και την κατάσταση φόρτισης στις γειτνιάζουσες με την κοπτική ακμή περιοχές. Όσον αφορά το δεύτερο σκέλος, εάν ληφθεί υπόψη η απλότητα της θεωρητικής ανάλυσης καθώς και η απλούστερη περίπτωση που λαμβάνει χώρα ως επί το πλείστον στην πράξη, οι περισσότερες θεωρητικές αναλύσεις για τη δύναμη κοπής με τη χρήση κοπτικών άκρων με τη μορφή σφήνας προβάλλουν ως αξίωμα ότι το πλάτος της κοπτικής ακμής είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος της κοπής. Αυτό συνεπάγεται ότι η κατανομή των τάσεων σε ένα πέτρωμα που φορτίζεται από ένα κοπτικό άκρο με τη μορφή σφήνας υποδηλώνει ότι το πέτρωμα βρίσκεται σε κατάσταση πλήρους εφελκυσμού.

Εάν λοιπόν, ο σκοπός της θεωρίας είναι να δώσει μια αναλυτική εξίσωση της δύναμης κοπής, τότε η πρώτη θεωρία κοπής που διατυπώθηκε ήταν αυτή του Merchant για τη κοπή μετάλλων με τη χρήση κοπτικού άκρου με τη μορφή σφήνας. Σε αυτή τη θεωρία, γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- ❖ Το κριτήριο αστοχίας του πετρώματος δίνεται από την εξίσωση του Coulomb που εκφράζεται ως εξής:

$$t = t_0 - \sigma_n * \tan k \quad (1)$$

Όπου, t και σ_n είναι η διατμητική και η κάθετη δύναμη αντίστοιχα και k η γωνία εσωτερικής τριβής

- ❖ Η κατάσταση φόρτισης είναι σταθερή και ικανοποιεί το κριτήριο αστοχίας που έχει τεθεί από την εξίσωση (1) στο επίπεδο διάτμησης που δημιουργείται και διευρύνεται από την ακμή του κοπτικού άκρου έως και την επιφάνεια του δείγματος.

Με βάση τις δυο παραπάνω παραδοχές και με τις δυνάμεις και τις τάσεις σε ισορροπία, η δύναμη κοπής P δίνεται από την παρακάτω σχέση:

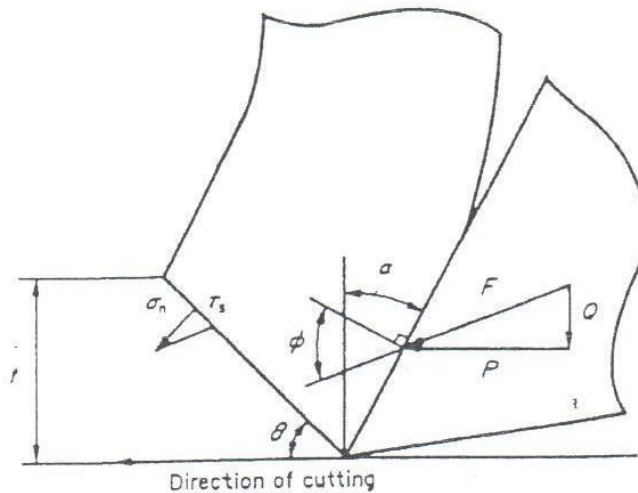
$$P = t_0 * t * B * (\cos(\varphi - \chi) / \sin\theta * \cos(\theta + \varphi - \chi))$$

Όπου, t είναι το βάθος της κοπής, B είναι το πλάτος της κοπτικής ακμής, θ είναι η γωνία διάτμησης (η γωνία μεταξύ του διατμητικού επιπέδου και της επιφάνειας που δημιουργείται), φ είναι η γωνία τριβής μεταξύ της εμπρόσθιας ακμής του κοπτικού και του δείγματος και χ η εμπρόσθια γωνία κλίσης του κοπτικού.

Η κάθετη δύναμη Q δίνεται από τη σχέση: $Q = P * \tan(\varphi - \chi)$

Προκειμένου να προσδιοριστεί η γωνία διάτμησης εφαρμόζεται η αρχή της ελάχιστης ενέργειας όπου δίνει: $2\theta = (\pi/2 - K) - (\varphi - \chi)$

Αν και η θεωρία του Merchant είχε αρχικά προταθεί για την κοπή μετάλλων και θεωρεί ως δεδομένη την πλαστική αστοχία του δείγματος, κάποιοι συγγραφείς συνέκριναν τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους με τη θεωρία και υπέδειξαν ότι συμφωνούν για κάποια είδη γαιάνθρακα και κρητιδικού ασβεστόλιθου.



Σχήμα 12: η κατανομή των τάσεων και των δυνάμεων κοπής σύμφωνα με την θεωρία κοπής πετρωμάτων κατά Merchant

2.8. Η θεωρία του Evans

Λαμβάνοντας υπόψη την ψαθυρή συμπεριφορά του γαιάνθρακα κατά τη θραύση, ο Evans παρουσίασε μια θεωρία για την κοπή του γαιάνθρακα με τη χρήση κοπτικού άκρου τύπου σφήνας.

Αν και σε αργότερη δημοσίευση του βελτίωσε κάποια τμήματα, οι βασικές παραδοχές της θεωρίας του είναι:

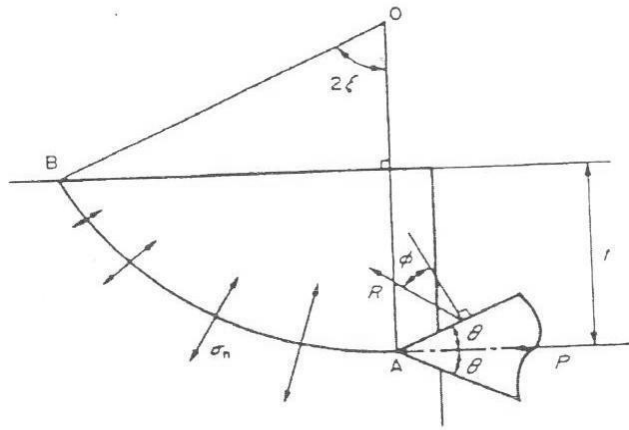
- ❖ Η ρωγμή που ξεκινά από την κορυφή της σφήνας A διευρύνεται σχηματίζοντας κυκλικό τόξο έως το σημείο B στην επιφάνεια του δοκιμίου
- ❖ Μια εφαπτομένη του τόξου της ρωγμής, συμπίπτει με τη διχοτόμο της γωνίας της κοπτικής ακμής στην κορυφή της σφήνας A.
- ❖ Η εφελκυστική τάση που δρα κάθετα στο τόξο της ρωγμής είναι ανάλογη της απόστασης από το σημείο B της επιφάνειας υψωμένης σε κάποια δύναμη n.
- ❖ Η ρωγμή σχηματίζεται και διευρύνεται όταν οι εφελκυστικές τάσεις στην κορυφή της σφήνας A φθάσουν την τιμή St του γαιάνθρακα (όπου St η αντοχή του γαιάνθρακα σε εφελκυσμό).
- ❖ Το άθροισμα των ροπών γύρω από το σημείο B των εφελκυστικών δυνάμεων που δρουν κάθετα στην ρωγμή, ισούται με τη ροπή της δύναμης R που δρα στην εμπρόσθια ακμή της σφήνας.

Με βάση αυτές τις παραδοχές και σε ισορροπία των ροπών γύρω από το σημείο B, η εξίσωση για τη δύναμη κοπής είναι:

$$P = 2 * R * \sin(\theta + \phi) = [(2St * t * B) / (n + 2)] * [\sin(\theta + \phi) / \sin \xi * \cos(\xi + \theta + \phi)]$$

Προκειμένου να προσδιοριστεί η γωνία ξ , η οποία ορίζει και το μήκος της κυκλικής ρωγμής, εφαρμόζοντας την αρχή της ελάχιστης ενέργειας τελικά προκύπτει:

$$P = [4 / (n + 2)] * St * t * B * [\sin(\theta + \phi) / (1 - \sin(\theta + \phi))]$$



Σχήμα 13: η κατανομή των τάσεων και των δυνάμεων κοπής σύμφωνα με την θεωρία κοπής πετρωμάτων κατά Evans για κοπή γαιανθράκων

2.9. Η θεωρία του Nishimatsu

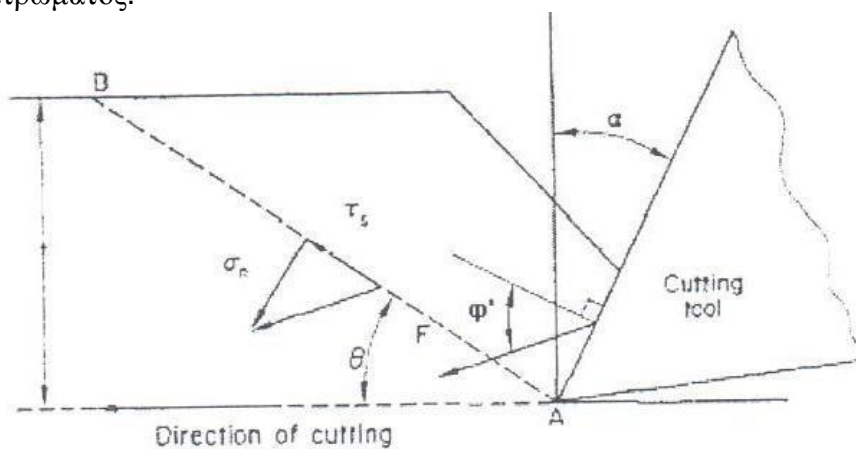
Ο Nishimatsu παρουσίασε μια θεωρία για την κοπή των πετρωμάτων και πρότεινε μια εξίσωση για τη δύναμη κοπής με τη χρήση κοπτικού άκρου με τη μορφή σφήνας. Σε αυτήν τη θεωρία γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- ❖ Η συνισταμένη των τάσεων ρ , η οποία δρα κατά μήκος της αυθαίρετης γραμμής AB είναι ανάλογη της απόστασης από το σημείο της επιφάνειας B υψωμένης σε κάποια δύναμη n και σταθερή σε κατεύθυνση . Ο παράγοντας n καλείται παράγοντας κατανομής των τάσεων .
- ❖ Η ροπή δημιουργείται και διευρύνεται προς την επιφάνεια σχηματίζοντας μια αυθαίρετη γραμμή όταν οι τάσεις που ασκούνται στην κορυφή της σφήνας A ικανοποιούν το κριτήριο αστοχίας του Coulomb.
- ❖ Η συνισταμένη τάση ρ , η οποία δρα κατά μήκος της γραμμής AB ισούται με τη συνισταμένη δύναμη κοπής F .

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές και σε ισορροπία τάσεων και δυνάμεων, η εξίσωση για τη δύναμη κοπής P δίνεται παρακάτω:

$$P = F * \cos(\varphi - \alpha) = [-1 / (n + 1)] * [(t * B) / \sin\theta] * [t_0 * \cos(\varphi - \alpha) / \tan k * \sin(\theta - \alpha + \varphi) - \cos(\theta - \alpha + \varphi)]$$

Όπου με θ συμβολίζεται η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης κοπής και της γραμμής AB και φ είναι η φαινόμενη γωνία τριβής μεταξύ της εμπρόσθιας ακμής του κοπτικού και του υπό κοπή πετρώματος.



Σχήμα 14: η κατανομή των τάσεων και των δυνάμεων κοπής σύμφωνα με την θεωρία κοπής πετρωμάτων κατά Nishimatsu

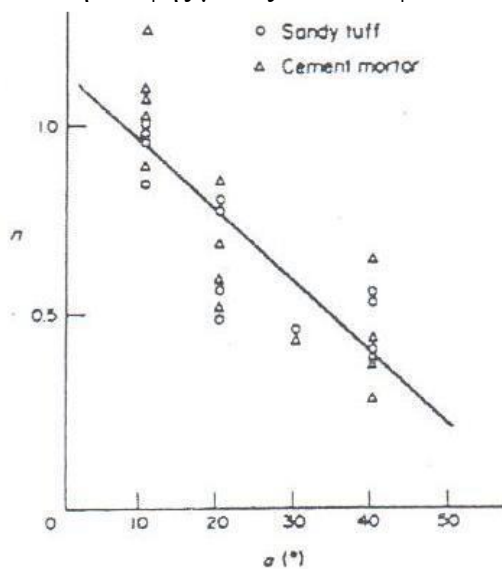
Προκειμένου να προσδιοριστεί η άγνωστη γωνία θ , εφαρμόζοντας την αρχή της ελάχιστης ενέργειας, τελικά προκύπτει:

$$P = [2 / (n + 1)] * t_0 * t * B * [\cos k * \cos(\varphi - \alpha)] / [1 - \sin(k - \alpha + \varphi)]$$

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα κοπής πετρωμάτων με ορθογώνιο κοπτικό άκρο συρόμενου τύπου, η φαινόμενη γωνία τριβής και ο παράγοντας κατανομής των τάσεων εξαρτώνται από την εμπρόσθια γωνία κλίσης του κοπτικού όπως φαίνεται και στα σχήματα 15 και 16. Είναι ευνόητο το γιατί ο παράγοντας κατανομής των τάσεων εξαρτάται από την εμπρόσθια γωνία κλίσης του κοπτικού, εφόσον η κατανομή των τάσεων εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοπτικού άκρου συμπεριλαμβανόμενης και της εμπρόσθιας γωνίας κλίσης.

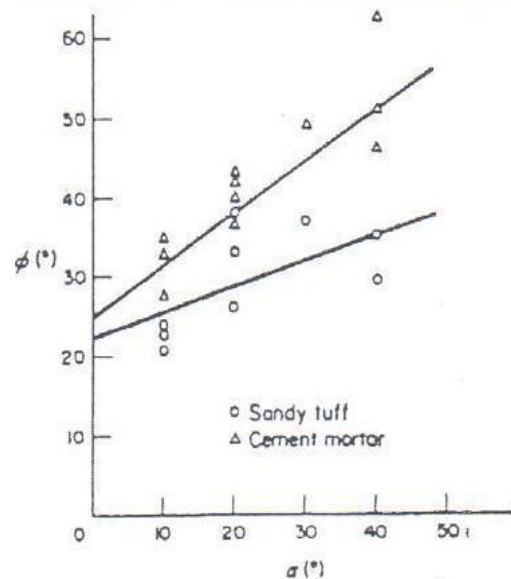
Είναι προφανές από τη σύγκριση του σχήματος 12 με το σχήμα 14, ότι η φαινόμενη γωνία τριβής στη θεωρία Nishimatsu, είναι ταυτόσημη με τη γωνία τριβής στη θεωρία του Merchant. Ωστόσο, η φαινόμενη γωνία τριβής δεν είναι σταθερή, αλλά είναι συνάρτηση της εμπρόσθιας γωνίας κλίσης στην κοπή πετρωμάτων όπως φαίνεται στο σχήμα 16. Αυτό υποδηλώνει ότι η φαινόμενη γωνία τριβής στην κοπή των πετρωμάτων, είναι μια παράμετρος που ελέγχει την αναλογία ανάμεσα στη δύναμη κοπής και την κάθετη δύναμη όπως φαίνεται παρακάτω (σχέση 9): $Q / P = \tan(\varphi - \alpha)$

Αυτή η αναλογία, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με την κατάσταση επαφής μεταξύ των επιφανειών του κοπτικού άκρου και του πετρώματος.



Σχήμα 15: Η επίδραση της εμπρόσθιας γωνίας κλίσης στον παράγοντα διανομής των τάσεων κατά Nishimatsu

Σχήμα 16: Η φαινόμενη γωνία τριβής ως συνάρτηση της εμπρόσθιας γωνίας κλίσης του κοπτικού κατά Nishimatsu



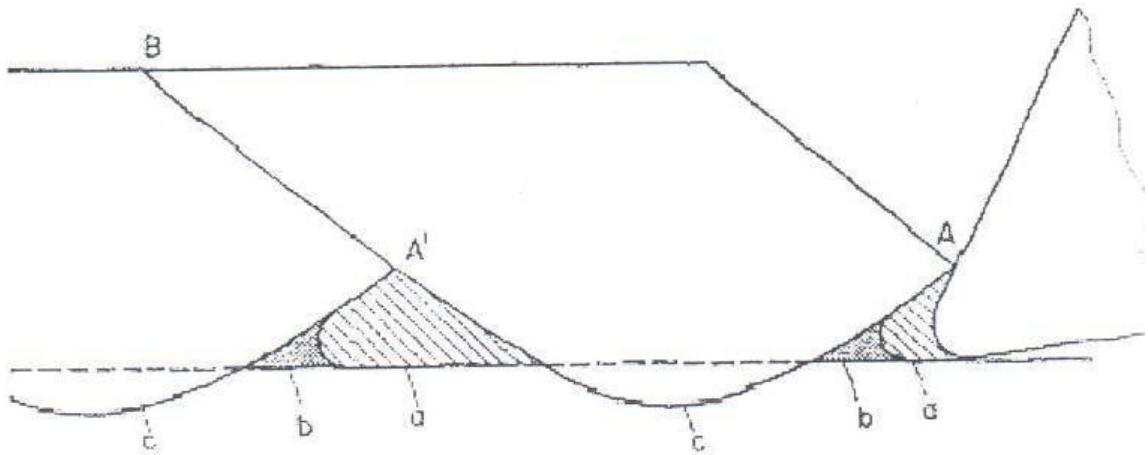
2.10. Η κατά Nishimatsu διαδικασία της αστοχίας στην κοπή πετρωμάτων

Όπως είναι γνωστό, η αστοχία των πετρωμάτων λαμβάνει χώρα με ψαθυρό τρόπο και τα θραύσματα που προκύπτουν από την κοπή δείχνουν ελάχιστα σημάδια πλαστικής παραμόρφωσης. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει σχηματικά την παρατηρηθείσα από τον Nishimatsu διαδικασία κοπής πετρώματος με κοπτικό άκρο μορφής σφήνας.

Μόλις η ακμή του κοπτικού άκρου έλθει σε επαφή με το πέτρωμα, δημιουργείται μια ζώνη σύνθλιψης γύρω από τη κοπτική ακμή. Καθώς η κοπτική ακμή πιέζεται βαθύτερα στο πέτρωμα, η ζώνη σύνθλιψης πιέζεται ενάντια στο μέτωπο του κοπτικού όπου επανασυνθλίβεται και συσσωματώνεται στο κοπτικό. Έτσι σχηματίζεται μια πρωτογενής ζώνη σύνθλιψης. Όσο βαθύτερη είναι η διείσδυση της κοπτικής ακμής τόσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει η δύναμη κοπής. Όταν επιτευχθεί μια κρίσιμη τιμή του βάθους διείσδυσης και το εντατικό πεδίο επιτρέψει τη δημιουργία μιας μικροσκοπικής ρωγμής τότε αυτή επεκτείνεται και δημιουργεί ένα θραύσμα του πετρώματος. Μετά τη δημιουργία του θραύσματος, καθώς το κοπτικό άκρο προωθείται, συνθλίβει σε λεπτομερή θραύσματα ένα μικρό παραμένον εξόγκωμα του πετρώματος, το οποίο έχει απομείνει στο κατώτερο τμήμα του σημείου έναρξης σχηματισμού της μικροσκοπικής ρωγμής. Η ζώνη αυτή ονομάζεται δευτερογενής ζώνη σύνθλιψης.

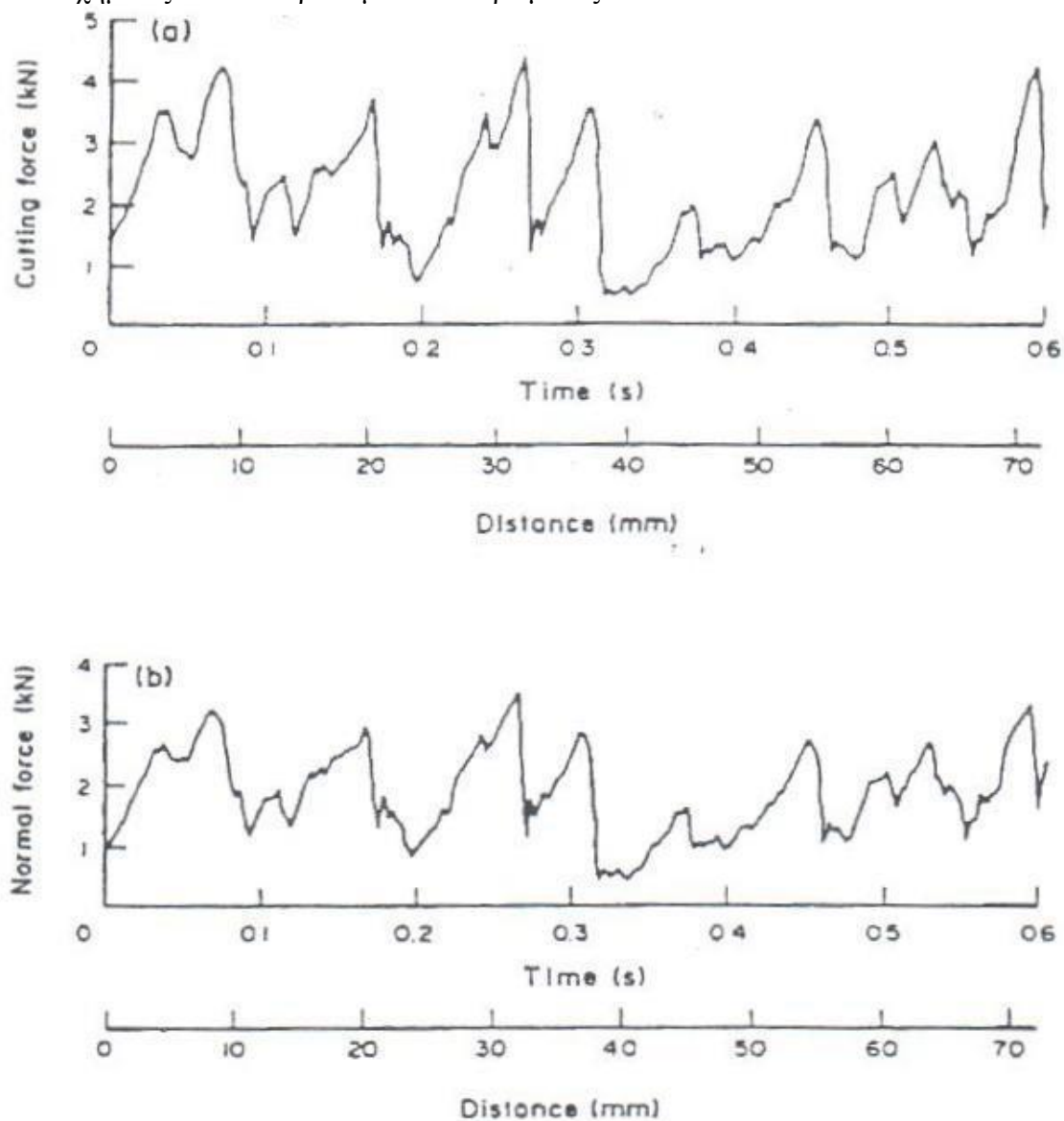
Στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας, το κοπτικό άκρο εισέρχεται σε μια ζώνη υπερεκσκαφής, όπου δεν συναντά ιδιαίτερη αντίσταση από το πέτρωμα έως ότου συναντήσει ξανά την επόμενη επιφάνεια πετρώματος που σχηματίστηκε από την ρωγμή που αναφέρθηκε προηγουμένως. Έτσι αρχίζει ένας νέος κύκλος κοπής του πετρώματος. Σε κάθε κύκλο κοπής, η δύναμη κοπής αυξάνεται με το βάθος διείσδυσης της κοπτικής ακμής έως ένα μέγιστο, το οποίο σηματοδοτεί και το σχηματισμό της ρωγμής, και στη συνέχεια μειώνεται απότομα.

Σε μια διαδικασία κοπής όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, η δύναμη κοπής καθώς και η κάθετη δύναμη αυξομειώνεται απότομα κατά τη διάρκεια του χρόνου κοπής και με την προχώρηση του κοπτικού άκρου.



Σχήμα 17: Μηχανισμός αστοχίας πετρώματος κατά την κοπή κατά Nishimatsu

Στις μέγιστες τιμές που παρατηρούνται θεωρείται ότι ξεκινά ο σχηματισμός της ρωγμής, η οποία σχηματίζει και το θραύσμα του πετρώματος.



Σχήμα 18: Παράδειγμα αυξομείωσης της δύναμης κοπής και της κάθετης δύναμης κατά την κοπή
α) δύναμη κοπής και β) κάθετη δύναμη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο:

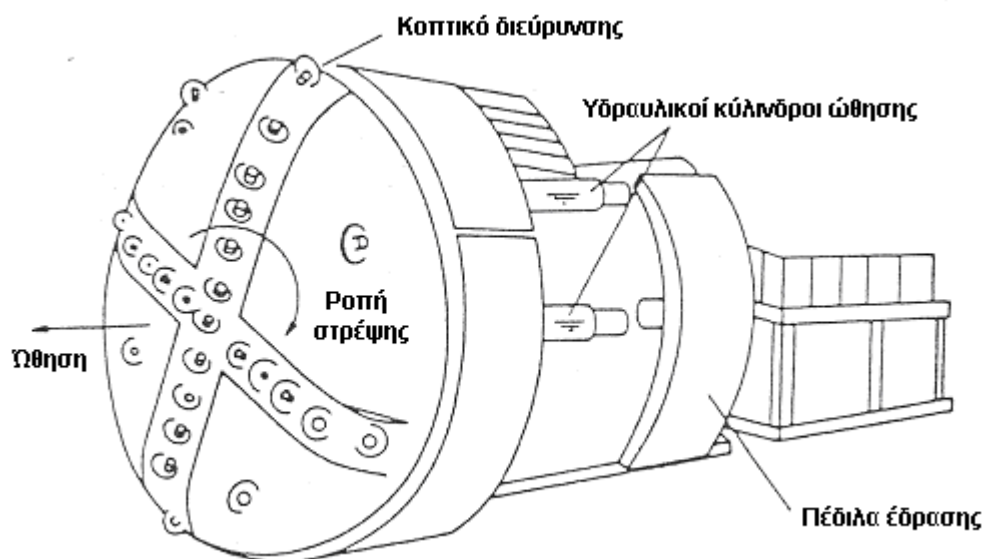
Μηχανές Εξόρυξης Πετρωμάτων

3. ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

3.1. Μηχανή ολομέτωπης κοπής (TBM)

Η μηχανή ολομέτωπης κοπής (Tunnel Boring Machine-TBM) αποτελείται από μία περιστρεφόμενη κυκλική κοπτική κεφαλή πάνω στην οποία στερεώνονται σειρές κοπτικών εργαλείων τύπου δίσκου είτε συρόμενου τύπου, έτσι ώστε να καλύπτουν όλη την επιφάνεια της διατομής της σήραγγας, (σχήμα 36). Όταν η κοπτική κεφαλή ωθείται στο μέτωπο και ταυτόχρονα περιστρέφεται τα κοπτικά δημιουργούν ομόκεντρες κυκλικές κοπές – αύλακες, οι οποίες επιτρέπουν την θραύση του μεταξύ αυτών πετρώματος και την προχώρηση έτσι του μετώπου. Όταν οι υδραυλικοί κύλινδροι ώθησης εξαντλήσουν τη διαδρομή τους, μαζεύονται τα πέδιλα έδρασης και προωθείται το σώμα του TBM. Έπειτα εκτείνονται τα πέδιλα έδρασης προς τα τοιχώματα της σήραγγας (ή προς τον δακτύλιο επένδυσης σε περίπτωση που το πέτρωμα δεν έχει επαρκή αντοχή για την ανάπτυξη της απαιτούμενης ώθησης) και ξεκινά νέος κύκλος όρυξης.

Τα TBM είναι κατάλληλα για σήραγγες μεγάλου μήκους με μικρή μεταβλητότητα στις γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες και επιτυγχάνουν υψηλούς ρυθμούς προχώρησης όταν δεν συναντώνται μεγάλα προβλήματα συγκλίσεων, ασταθειών μετώπου και εισροής υδάτων. Στο σχήμα 36 παρουσιάζονται οι δυνάμεις που ασκεί η κοπτική κεφαλή στο πέτρωμα.



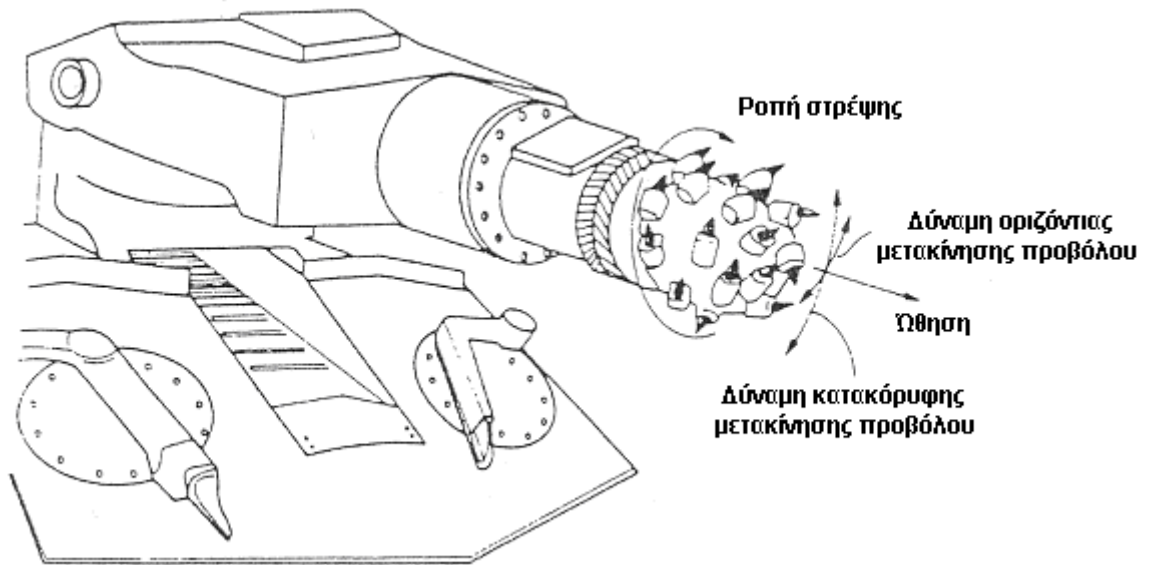
Σχήμα 19: Μηχανή ολομέτωπης κοπής (TBM)

3.2. Μηχανή σημειακής κοπής (Roadheader)

Τα τελευταία χρόνια ευρεία αποδοχή έχει βρει στα υπόγεια τεχνικά έργα και στη διάνοιξη σηράγγων η μηχανή σημειακής κοπής ή roadheader. Η κοπτική της κεφαλή προσβάλλει περιοχή μόνο του μετώπου και με κατάλληλη συστηματική μετακίνηση του προβόλου εξορύσσεται όλη η διατομή. Τα roadheaders διακρίνονται περαιτέρω σε:

❖ **μηχανές με κεφαλή διαμήκους κοπής**

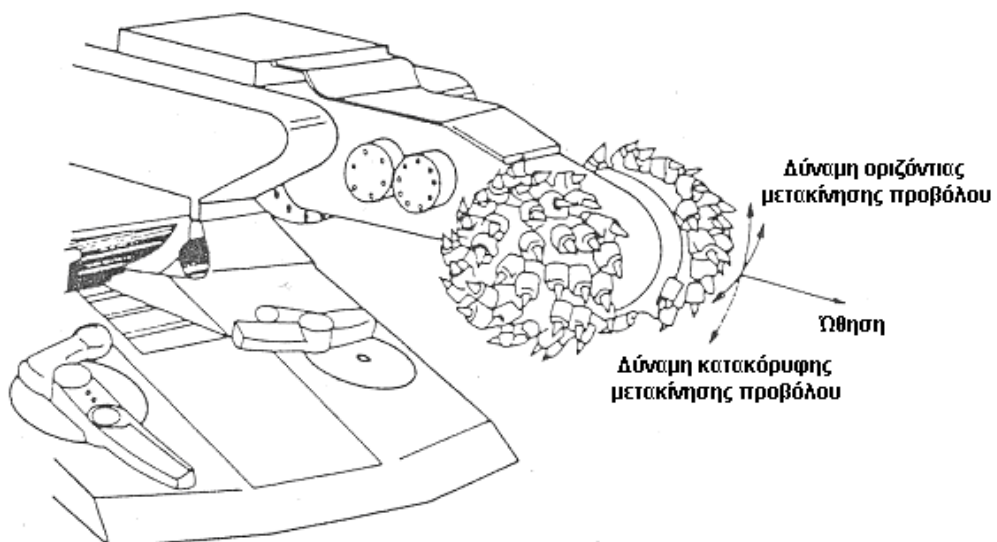
Στις μηχανές με κεφαλή διαμήκους κοπής ο άξονας περιστροφής της κοπτικής κεφαλής είναι παράλληλος με τον πρόβολο, (σχήμα 37). Στο σχήμα επίσης φαίνονται οι δυνάμεις που ασκεί η κεφαλή στο πέτρωμα.



Σχήμα 20: Roadheader με κεφαλή διαμήκους κοπής

❖ **μηχανές με διπλή κεφαλή εγκάρσιας κοπής**

Στις μηχανές με διπλή κεφαλή εγκάρσιας κοπής (κεφαλή διπλού τυμπάνου) η κοπτική κεφαλή διαμορφώνεται ως διπλό περιστρεφόμενο τύμπανο με τους δύο κοπτικούς κυλίνδρους εκατέρωθεν του άξονα του προβόλου, (σχήμα 38). Στο σχήμα επίσης φαίνονται οι δυνάμεις που ασκεί η κεφαλή στο πέτρωμα.



Σχήμα 21: Roadheader με κεφαλή εγκάρσιας κοπής

Κύριο χαρακτηριστικό των roadheaders είναι η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα στις μεταβαλλόμενες γεωλογικές και κατασκευαστικές συνθήκες. Επίσης η εξυπηρέτησή τους είναι εύκολη και δεν απαιτούνται πολυδάπανα συστήματα υποστήριξης. Σε σύγκριση με τις μηχανές ολομέτωπης κοπής έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να διανοίξουν εκτός της κυκλικής, διάφορες διατομές σήραγγας (κυκλική, πεταλοειδής, ορθογωνική, ακανόνιστη) και διατομές διαφορετικών διαστάσεων χωρίς αλλαγή των λειτουργικών τους χαρακτηριστικών. Επίσης έχουν τη δυνατότητα ταχείας αλλαγής της θέσεως εργασίας και λειτουργίας πάνω σε κλειστές καμπύλες. Τα μειονεκτήματά τους σε σύγκριση με τις μηχανές ολομέτωπης κοπής είναι ο περιορισμός χρήσης τους σε πετρώματα αντοχής μέχρι περίπου 120 MPa λόγω φθοράς των κοπτικών εργαλείων και ο περιορισμός της διατομής που μπορεί να εξορυχτεί σε μία φάση μέχρι περίπου 50m².

3.3. Στιγμαία απόδοση μονάδας μηχανικής εξόρυξης

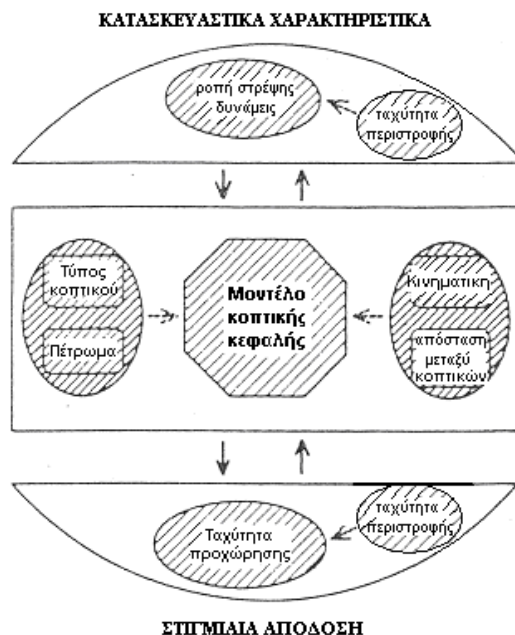
Η στιγμιαία απόδοση μίας μονάδας μηχανικής εξόρυξης εκφράζεται με δύο τρόπους:

- ❖ *ρυθμός παραγωγής*, δηλαδή ο όγκος πετρώματος που δύναται να εξορυχτεί στην μονάδα του χρόνου (m³/hr).
- ❖ *ταχύτητα προχώρησης*, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία προωθείται η μονάδα μηχανικής εξόρυξης ή τα κοπτικά της στην μάζα του πετρώματος ανά μονάδα χρόνου (m/hr ή mm/min).

Για δεδομένη μονάδα μηχανικής όρυξης, δηλαδή συγκεκριμένη μηχανή με συγκεκριμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (βάρος, ισχύς κοπτικής κεφαλής, μέγιστη δύναμη ώθησης κ.α.) είναι επιθυμητό να γνωρίζουμε την στιγμιαία απόδοση που μπορεί να επιτύχει. Η απόδοση αυτή εξαρτάται από:

- ❖ τις ιδιότητες του πετρώματος το οποίο εξορύσσει (αντοχή, σκληρότητα, ασυνέχειες κ.α.)
- ❖ την επιλογή του κοπτικού εργαλείου (τύπος και γεωμετρία)
- ❖ το σχεδιασμό της κεφαλής (γεωμετρία, κινηματική, διάταξη κοπτικών)

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά ορίζουν το μοντέλο της κοπτικής κεφαλής. Όπως φαίνεται στο σχήμα 22 εάν ορισθεί το μοντέλο της κοπτικής κεφαλής είναι δυνατόν να συσχετισθεί η απόδοση της μηχανής με τα κατασκευαστικά της χαρακτηριστικά.



Σχήμα 22: Μοντελοποίηση μηχανών όρυξης

3.4. Σχεδιασμός μοντέλου κοπτικής κεφαλής

Για το σχεδιασμό του μοντέλου της κοπτικής κεφαλής αρχικά επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο βάσει της αλληλεπίδρασης κοπτικού-πετρώματος μελετώντας τους μηχανισμούς ανάπτυξης δυνάμεων στα κοπτικά (π.χ. θεωρίες κοπής) και των μηχανισμών φθοράς τους. Στην επιλογή αυτή λαμβάνεται υπ' όψιν η αλληλεπίδραση μεταξύ των κοπτικών (βάσει του βάθους κοπής και της μεταξύ τους απόστασης) καθώς επίσης η κινηματική τους (βάσει της διάταξής τους στην κεφαλή). Στην παραπάνω διαδικασία επιχειρείται ενεργειακή και λειτουργική βελτιστοποίηση, αφού για δεδομένο όγκο εξορυσσόμενου πετρώματος επιζητούμε όσο το δυνατόν λιγότερη κατανάλωση ενέργειας με όσο το δυνατόν λιγότερη φθορά των κοπτικών. Τελικά από την βέλτιστη λύση (τύπος και γεωμετρία κοπτικού, βάθος κοπής, απόσταση διαδοχικών κοπτικών και διάταξη όλων των κοπτικών στην κεφαλή) καθορίζονται οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε κάθε κοπτικό. Γνωρίζοντας τις συνισταμένες δυνάμεις F_i -που αναπτύσσονται σε κάθε ένα από τα n κοπτικά της κεφαλής και μπορούν να αναλυθούν σε μία κάθετη συνιστώσα F_{Ni} και μία παράλληλη συνιστώσα F_{Ci} ως προς τη διεύθυνση της κοπής -μπορούμε να βρούμε την συνολικά απαιτούμενη ώθηση Ω :

$$\Omega = \sum_1^n F_{Ni}$$

και δεδομένης της μέγιστης ισχύος N της κοπτικής κεφαλής να λάβουμε τη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής της ω : (περιστροφές ανά μονάδα χρόνου)

$$N = \frac{W}{t} = \frac{\sum_1^n F_{Ci} \cdot s_i}{t} = \sum_1^n F_{Ci} \cdot v_i = \sum_1^n F_{Ci} \cdot \omega \cdot R_i \Rightarrow \omega = \frac{N}{\sum_1^n F_{Ci} \cdot R_i} \cong \frac{N}{\bar{R} \cdot \sum_1^n F_{Ci}} \quad (1)$$

Όπου:

W : συνολικό έργο δυνάμεων κοπής

t : χρόνος

s_i : απόσταση που διανύει το i κοπτικό

v_i : γραμμική ταχύτητα του i κοπτικού

R_i : απόσταση i κοπτικού από κέντρο στροφής της κοπτικής κεφαλής

$\bar{R} = \frac{\sum_1^n R_i}{n}$: σταθμισμένη απόσταση κοπτικών από το κέντρο στροφής της κοπτικής

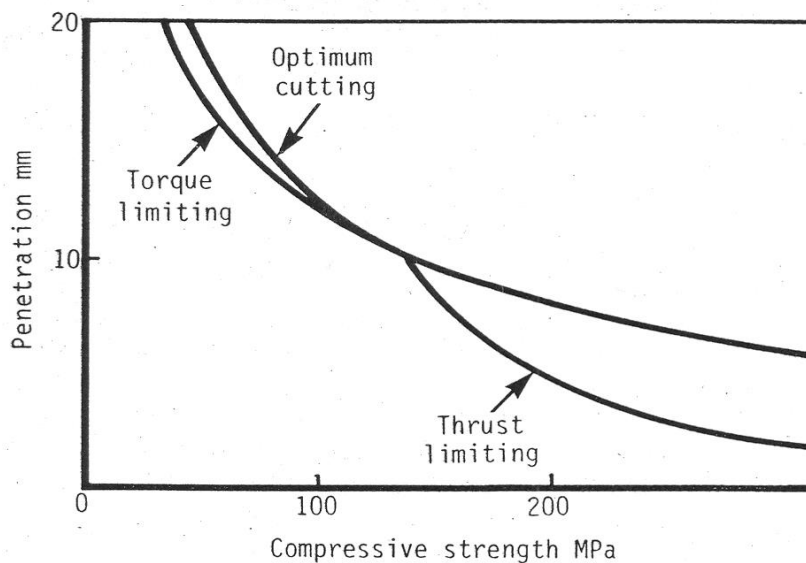
κεφαλής

Επίσης κατά τη φάση υπολογισμού των δυνάμεων προσδιορίζεται το βέλτιστο βάθος κοπής d για κάθε πέρασμα του κοπτικού, δηλαδή για κάθε περιστροφή εφόσον υπάρχει ένα κοπτικό ανά περιφέρεια κεφαλής. Επομένως ο ρυθμός προχώρησης p (penetration rate/προχώρηση ανά περιστροφή) είναι:

$$p = (\text{αριθμός κοπτικών ανά περιφέρεια κεφαλής}) \times d \quad (2)$$

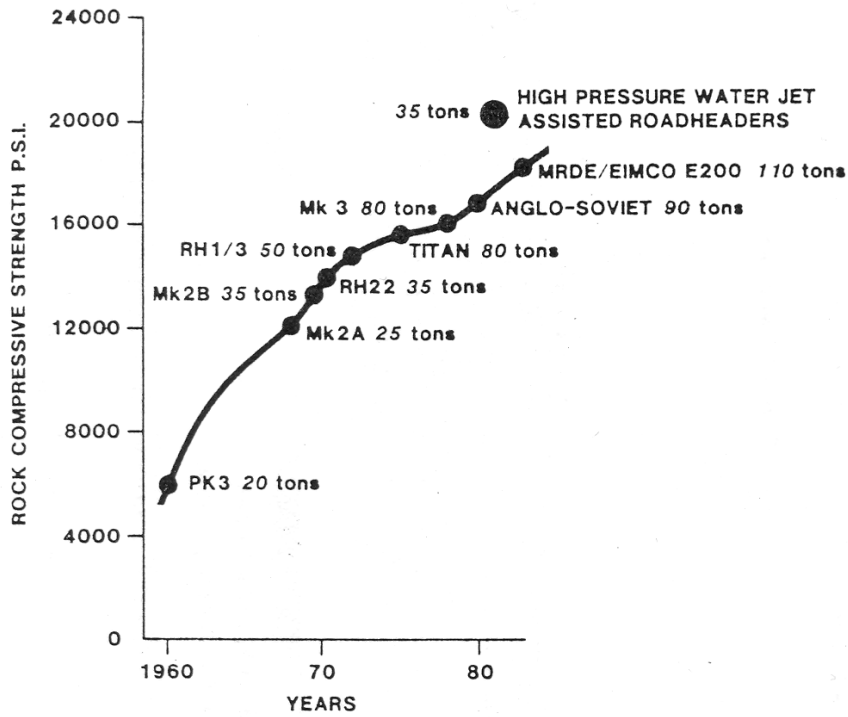
Από τις σχέσεις (1) και (2) λαμβάνουμε την επίδοση της μηχανής σε προχώρηση ανά μονάδα χρόνου. Παρατηρείται ότι εάν η μέγιστη ώθηση που μπορεί να παρέχει η μηχανή

επαρκεί για την απαιτούμενη ώθηση Ω τότε η απόδοση της μηχανής όρυξης περιορίζεται μόνο από την ισχύ της κοπτικής κεφαλής P (torque limited performance). Αντίστροφα, εάν η μέγιστη ώθηση είναι μικρότερη από την απαιτούμενη δεν αναπτύσσονται οι απαιτούμενες κάθετες δυνάμεις F_{Ni} ώστε να επιτευχθεί το αρχικά επιθυμητό βάθος κοπής d (thrust limited performance). Είναι γνωστό πως στα χαμηλής έως μέτριας αντοχής πετρώματα οι μηχανές όρυξης είναι από πολύ έως ικανοποιητικά αποδοτικές. Η απόδοσή τους περιορίζεται μόνο από την ισχύ της κοπτικής κεφαλής, (σχήμα 40). Αντίθετα στα υψηλής και πολύ υψηλής αντοχής πετρώματα η απόδοσή τους είναι σχετικά μικρή. Ακόμα και για σχετικά μικρά βάθη κοπής απαιτούνται εξαιρετικά υψηλές ωθήσεις. Οι ωθήσεις αυτές είναι δύσκολο να επιτευχθούν είτε γιατί είναι δύσκολο να παραχθούν τεχνολογικά είτε γιατί όταν παράγονται δεν μπορούν να εξασκηθούν στο πέτρωμα (thrust limited performance).

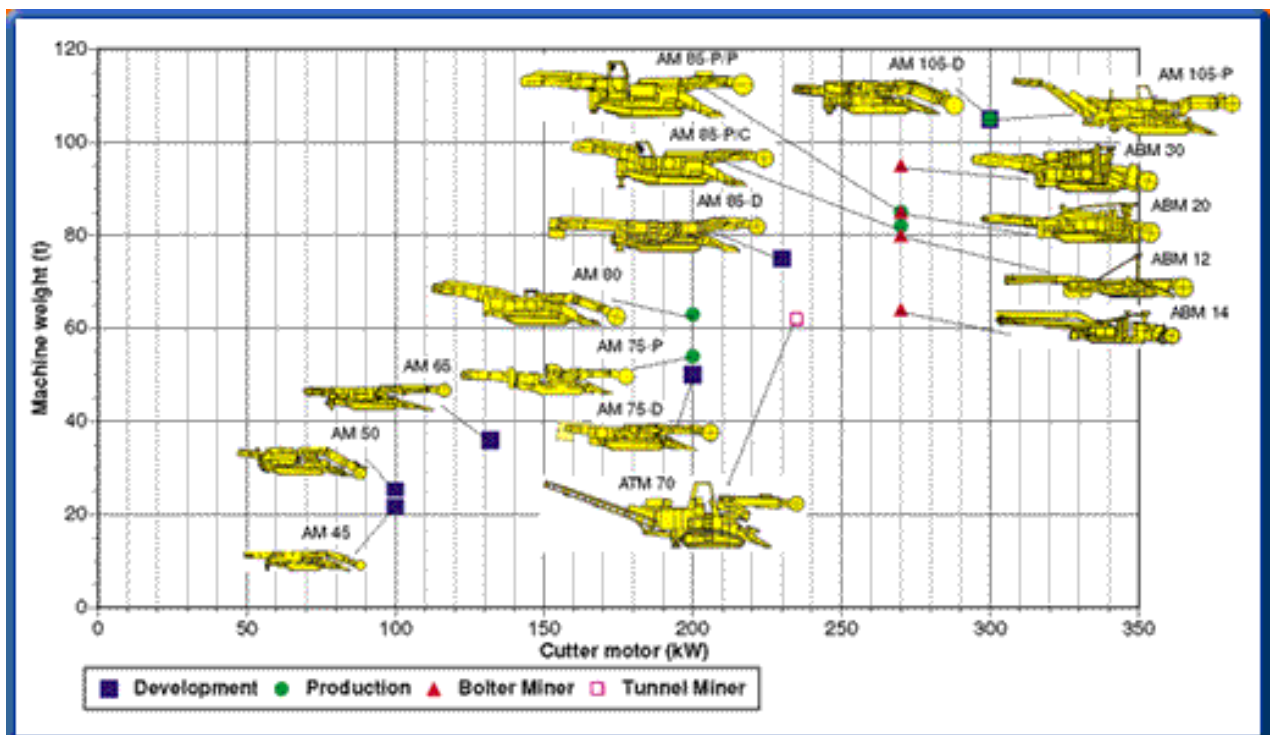


Σχήμα 23: Τύποι περιορισμού της απόδοσης συναρτήσει της αντοχής του πετρώματος

Με την τεχνολογική ανάπτυξη των μηχανών σημειακής κοπής (αύξηση ισχύος, βελτίωση κοπτικών) γίνεται δυνατή η αποδοτική εξόρυξη όλο και μεγαλύτερης αντοχής πετρωμάτων, (σχήμα 41). Καθοριστικό ρόλο στη μετάδοση των ωθήσεων στα roadheaders παίζει το βάρος τους αφού μέσω αυτού θα αναπτύξουν την απαραίτητη τριβή με το έδαφος ώστε να μεταφερθούν οι ωθήσεις στο πέτρωμα, (σχήματα 41, 42).



Σχήμα 24: Βελτίωση της απόδοσης και τάση αύξησης του βάρους των roadheaders



Σχήμα 25: Αύξηση του βάρους των roadheaders προς υποστήριξη μεγαλύτερης ισχύος κοπτικής κεφαλής

Στα TBM οι ωθήσεις μεταφέρονται μέσω πέδινων στις παρειές της σήραγγας ή μέσω ωστηρίων σε δακτύλιο επένδυσης. Έτσι η αντοχή του πετρώματος των τοιχωμάτων της σήραγγας ή η αντοχή του σκυροδέματος της επένδυσης καθορίζει τη μέγιστη ώθηση. Ειδικά για τα TBM με ασπίδα θα πρέπει να συνυπολογίζονται οι ωθήσεις οι απαραίτητες για την υπερνίκηση των τριβών μεταξύ πετρώματος και ασπίδας.

3.5. Μέθοδοι πρόβλεψης της στιγμιαίας απόδοσης των μηχανών όρυξης

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι πρόβλεψης της στιγμιαίας απόδοσης των μηχανών όρυξης.

1. Υπολογισμός επίδοσης βάσει δυνάμεων που ασκούνται στα κοπτικά συναρτήσει του βάθους κοπής
 - ❖ Θεωρίες κοπής – κοπτικά συρόμενου τύπου (π.χ. Evans, Merchant) και θεωρίες κοπής – κοπτικά τύπου δίσκου (π.χ. Roxborough)
 - ❖ Δοκιμές κοπής πετρώματος Προσομοίωση όρυξης με κοπτικό συρόμενου τύπου Προσομοίωση όρυξης με κοπτικό τύπου δίσκου
 - ❖ Αριθμητικές μέθοδοι (π.χ. μέθοδος Ingraffea)
 - ❖ Εμπειρικές και ημιεμπειρικές σχέσεις: Ημιεμπειρικές σχέσεις σε κοπτικά συρόμενου τύπου (π.χ. Goktan), ημιεμπειρικές σχέσεις σε κοπτικά τύπου δίσκου (π.χ. Farmer και Glossop), εμπειρικές σχέσεις σε κοπτικά συρόμενου τύπου (π.χ. Bilgin), εμπειρικές σχέσεις σε κοπτικά τύπου δίσκου (π.χ. Snowdon)
2. Άμεση συσχέτιση επίδοσης με μία ή περισσότερες ιδιότητες του πετρώματος
 - ❖ σε Roadheaders (π.χ. UCS-Production rate κατά Fowell)
 - ❖ σε TBM (π.χ. σκληρότητα Schmidt-προχώρηση κατά Bamford)
3. Με μοντέλα βάσει ειδικών δεικτών και συστημάτων κατάταξης της βραχομάζας
 - ❖ σε Roadheaders (π.χ. RMCI&RQD κατά Bilgin)
 - ❖ σε TBM (π.χ. Q_{TBM} κατά Barton)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: **Η γλώσσα προγραμματισμού Python**

4. Η γλώσσα προγραμματισμού Python

4.1. Γενικά Χαρακτηριστικά της γλώσσας

Η Python είναι μια διερμηνευόμενη υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού με δυναμική σημασιολογία. Η φιλοσοφία της γλώσσας ενθαρρύνει την αναγνωσιμότητα του κώδικα. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι:

- ❖ Εύκολη (τόσο στην εκμάθηση όσο και στη συντήρηση)
- ❖ Γρήγορη ανάπτυξη εφαρμογών
- ❖ Διερμηνευόμενη
- ❖ Πολύ υψηλού επιπέδου δομές δεδομένων
- ❖ Επεκτάσιμη
- ❖ Ανοικτού κώδικα
- ❖ Ωριμη
- ❖ Αυτόματη διαχείριση μνήμης

Από την αρχή της ανάπτυξης της ενθαρρύνεται η ανάπτυξη των εφαρμογών μέσω της Python να είναι όσο πιο απλή γίνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ευκολία στην συντήρηση του κώδικα και στην επέκτασή του. Όλα τα παραπάνω συνηγορούν στη δυνατότητα της Python να επιτρέπει την ταχύτερη ανάπτυξη εφαρμογών ειδικότερα σε σύγκριση με άλλες γλώσσες χαμηλότερου επιπέδου (π.χ. C, C++) ενώ λέγεται ότι συνήθως τα προγράμματα σε Python είναι 3-5 φορές μικρότερα από τα αντίστοιχα σε Java. Όσο πιο υψηλού επιπέδου είναι μια γλώσσα προγραμματισμού τόσο πιο κοντά είναι στην σκέψη του ανθρώπου. Αυτό σημαίνει ότι είναι πιο εύκολο να γραφτούν προγράμματα σε υψηλού επιπέδου γλώσσες – υψηλό επίπεδο αφαίρεσης και συνήθως λειτουργούν σε περισσότερες πλατφόρμες. Αυτό όμως επιδεινώνει την ταχύτητα ανάπτυξης των προγραμμάτων. Στις μέρες μας παρατηρείται μια σταδιακή στροφή από γλώσσες που επικεντρωνόντουσαν στην απόδοση των προγραμμάτων (efficiency) να επικεντρώνουν στην απόδοση του προγραμματιστή (productivity).

Υπάρχουν δύο είδη προγραμμάτων που ασχολούνται με την μετατροπή του προγράμματος από γλώσσα προγραμματισμού που είναι κοντά στον άνθρωπο, σε γλώσσα μηχανής. Αυτά είναι οι διερμηνείς (interpreters) και οι μεταφραστές (compilers). Οι διερμηνείς μετατρέπουν γραμμή προς γραμμή τον πηγαίο κώδικα του προγράμματος μας σε γλώσσα μηχανής και τον εκτελούν άμεσα ενώ οι μεταφραστές πρέπει να μετατρέπουν όλο το πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής και στη συνέχεια αυτό μπορεί να εκτελεστεί. Υπάρχει η ειδική περίπτωση που χρησιμοποιείται από την γλώσσα προγραμματισμού εικονική μηχανή (virtual machine) όπου εκτελείται ο κώδικας, όπως συμβαίνει και στην Python. Πριν μετατραπεί σε γλώσσα μηχανής που καταλαβαίνει ο υπολογιστής μετατρέπεται σε μια ενδιάμεση γλώσσα (bytecode). Η τελική μορφή του κώδικα που έχει μεταφραστεί και μπορεί πλέον να εκτελεστεί ονομάζεται αντικειμενικός κώδικας (object code).

Η κύρια βιβλιοθήκη της Python περιλαμβάνει σχεδόν τα πάντα από ασύγχρονη επεξεργασία έως συμπιεσμένα αρχεία. Οι ευκολίες που παρέχει αυτό είναι πολύ σημαντικές καθώς έτσι καλύπτεται ένα μεγάλο φάσμα προβλημάτων που πιθανά να συναντήσει ένα προγραμματιστής. Η γλώσσα προγραμματισμού Python είναι επεκτάσιμη καθώς ένα βασικό σύνολο της γλώσσας αποτελεί τον πυρήνα της ενώ τα υπόλοιπα είναι αρθρώματα (modules) που επεκτείνουν τη λειτουργικότητα της, γεγονός που σε συνδυασμό με το ότι είναι ανοικτού κώδικα την οδηγεί να μην μένει στάσιμη αλλά να παρακολουθεί πάντα τις εξελίξεις.

Η αυτόματη διαχείριση μνήμης σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να υπάρχει ανησυχία για το πότε πρέπει να ελευθερωθεί η μνήμη που δεσμεύτηκε κατά τη διάρκεια δημιουργίας αντικειμένων. Ακόμα η Python αντιλαμβάνεται πότε ένα αντικείμενο αναφέρεται πάνω από μία φορές και δεν το αποθηκεύει στη μνήμη αν δεν χρειάζεται. Η τεχνική αυτή ονομάζεται μέτρηση αναφορών (reference counting).

Στην γλώσσα python τα πάντα θεωρούνται αντικείμενα. Ακόμα και οι συναρτήσεις, οι γεννήτορες και οι εξαιρέσεις θεωρούνται αντικείμενα. Με αυτό τον τρόπο προσφέρεται ένας τρόπος συγγραφής των προγραμμάτων με συνέπεια στην αντικειμενοστρέφεια. Στα χαρακτηριστικά της γλώσσας είναι και ο χειρισμός των εξαιρέσεων, των κλάσεων, των συναρτήσεων με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε ένα να συμπληρώνει το άλλο για την διευκόλυνση του προγραμματιστή. Τέλος, κάθε μπλοκ κώδικα καθορίζεται από την στοίχιση του, το οποίο αναγκάζει τον προγραμματιστή να τηρεί τους κανόνες «καλής συμπεριφοράς» (στην python PEP – Python Enhancement Proposal) αλλά αναβαθμίζει την αναγνωσιμότητα του κώδικα.

4.2. Η ιστορία της γλώσσας

Αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 (πρώτη της εφαρμογή τον Δεκέμβριο του 1989) από τον Ολλανδό Guido van Rossum στο ερευνητικό κέντρο CWI (Centrum Wiskunde & Informatica). Το όνομα της προήλθε, όχι από το ομώνυμο είδος ερπετών, αλλά από την βρετανική κωμική σειρά του BBC, Monty Python's Flying Circus της οποίας ο Guido van Rossum είναι μεγάλος οπαδός. Ο Guido van Rossum συνεχίζει να επιβλέπει την εξέλιξη της γλώσσας και να παίρνει αποφάσεις όταν χρειάζεται έτσι ώστε η γλώσσα να παραμείνει πιστή στις αρχές πάνω στις οποίες είναι δημιουργημένη (Zen of Python) και έχει κερδίσει τον τίτλο Benevolent Dictator for life (BDFL) από την κοινότητα των χρηστών της Python. Αρχικά αναπτύχθηκε ως απόγονος της γλώσσας προγραμματισμού ABC. Σαν γλώσσα μοιάζει με τις γλώσσες Pearl, Ruby και Tcl ενώ έχει και κάποια στοιχεία της Modula-3. Η δεύτερη έκδοση της γλώσσας, Python 2.0 κυκλοφόρησε τον Οκτώβριο του 2000 και η τρίτη έκδοση Python 3.0 κυκλοφόρησε τον Δεκέμβριο του 2008. Αν και αρχικά η έκδοση Python 3.0 είχε την πρωτοτυπία να μην είναι προς τα πίσω συμβατή με τις προηγούμενες εκδόσεις, πολλά από τα καινούρια χαρακτηριστικά της έχουν ενσωματωθεί στις εκδόσεις 2.6 και 2.7 (αναβαθμίσεις της έκδοσης Python 2.0), που είναι προς τα πίσω συμβατές. Η Python αναπτύσσεται ως ανοιχτό λογισμικό (open source software) και η διαχείριση της γίνεται από τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό Python Software Foundation. Ο κώδικας διανέμεται με την με την άδεια Python Software Foundation License (PSFL), που είναι συμβατή με την Γενική Άδεια Δημόσιας Χρήσης GNU (GNU – General Public License ή GNU GPL).

4.3. Χρήσεις της γλώσσας

Μερικοί από τους χρήστες της Python είναι οι ακόλουθοι:

- ❖ Google (για παράδειγμα το Google App Engine)
- ❖ NASA
- ❖ Yahoo!
- ❖ Πανεπιστήμια όπως το MIT, Stanford
- ❖ Σχεδόν όλες οι διανομές Linux και τον τελευταίο καιρό και Mac OS X

Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι κάποιος επικεντρώνεται σε αυτό που θέλει να γράψει και δεν ασχολείται με τις ιδιαιτερότητες της γλώσσας. Η εύκολη εκμάθηση της δίνει την δυνατότητα σε έμπειρους προγραμματιστές να μπορούν να μάθουν την γλώσσα και να είναι παραγωγικοί. Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους κάποιος προγραμματιστής χρησιμοποιεί την Python είναι η γρήγορη προτυποποίηση (prototyping), εφαρμογές με γραφική διεπαφή, προγραμματισμός στον παγκόσμιο ιστό και άλλες.

4.4. Μεταβλητές και βασικοί τελεστές

Τιμή είναι μια ακολουθία από bit, η οποία ερμηνεύεται σύμφωνα με κάποιον τύπο δεδομένων. Είναι δυνατόν η ίδια ακολουθία από bits να έχει διαφορετική ερμηνεία ανάλογα με τον τύπο δεδομένων βάση του οποίου ερμηνεύεται.

Τύπος δεδομένων είναι ένα σύνολο τιμών και οι λειτουργίες πάνω σε αυτές. Μια γλώσσα χρησιμοποιεί δυναμικούς τύπους (dynamically typed) όταν οι έλεγχοι των τύπων της γίνονται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος και όχι κατά την ώρα της μεταγλώττισης. Με αυτόν τον τρόπο οι μεταφραστές προγραμμάτων της Python κάνουν λιγότερους ελέγχους στην μετάφραση του κώδικα και αυτοί γίνονται κατά την εκτέλεση.

Μεταβλητές είναι ένας τρόπος για να αποθηκεύσουμε δεδομένα. Η τρέχουσα τιμή είναι τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στην μεταβλητή. Επειδή αυτή η τιμή μπορεί να αλλάξει τις καλούμε μεταβλητές.

Οι εκφράσεις Boolean είναι εκφράσεις που η αποτίμηση τους είναι είτε αληθής είτε ψευδής. Από μικρότερες εκφράσεις Boolean μπορούμε να δημιουργήσουμε μεγαλύτερες χρησιμοποιώντας τους λογικούς τελεστές. Συνήθως όμως επιθυμείτε από τις μεγαλύτερες εκφράσεις να δημιουργηθούν μικρότερες ώστε να γίνεται πιο απλό αυτό που περιγράφεται. Οι βασικοί τελεστές για τις εκφράσεις Boolean είναι: Άρνηση (not), Διάζευξη (or), Σύζευξη (and).

Είσοδος	Έξοδος
Αληθής	Ψευδής
Ψευδής	Αληθής

Πίνακας 2: Πίνακας Αλήθειας λογικής πράξης not

Είσοδος A	Είσοδος B	Έξοδος
Αληθής	Ψευδής	Ψευδής
Αληθής	Αληθής	Αληθής
Ψευδής	Αληθής	Ψευδής
Ψευδής	Ψευδής	Ψευδής

Πίνακας 3: Πίνακας Αλήθειας λογικής πράξης and

Είσοδος A	Είσοδος B	Έξοδος
Αληθής	Ψευδής	Αληθής
Αληθής	Αληθής	Αληθής
Ψευδής	Αληθής	Αληθής
Ψευδής	Ψευδής	Ψευδής

Πίνακας 4: Πίνακας Αλήθειας λογικής πράξης or

Τελεστές είναι ειδικά σύμβολα που αναπαριστούν υπολογισμούς όπως η πρόσθεση και ο πολλαπλασιασμός. Οι τιμές στις οποίες εφαρμόζονται οι τελεστές ονομάζονται τελούμενα.

- ❖ Πρόσθεση (+)
- ❖ Αφαίρεση (-)
- ❖ Πολλαπλασιασμός (*)
- ❖ Διαίρεση (/)

Υπάρχουν δύο τελεστές διαίρεσης. Ο τελεστής (/) αφορά την κλασική διαίρεση και επιστρέφει το αποτέλεσμα σε δεκαδική μορφή, ενώ ο τελεστής (//) αφορά την διαίρεση που επιστρέφει μόνο το ηλίκιο χωρίς δεκαδικό μέρος – διαίρεση ακεραίων

- ❖ Ύψωση σε δύναμη (**)
- ❖ Υπόλοιπο - modulo (%)

Οι τελεστές σύγκρισης οι οποίοι χρησιμοποιούνται από την Python είναι:

- ❖ Ίσο με (==)
- ❖ Διάφορο από (!=)
- ❖ Μεγαλύτερο από (>)
- ❖ Μικρότερο από (<)
- ❖ Μεγαλύτερο ή ίσο με (>=)
- ❖ Μικρότερο ή ίσο με (<=)

4.5. Έλεγχος Ροής Προγράμματος

Πρόγραμμα είναι μια ακολουθία εντολών προς έναν υπολογιστή που προσδιορίζει μια λειτουργία (ένα σύνολο λειτουργιών). Το πρόγραμμα είναι μια εκτελέσιμη μορφή που μπορεί να χρησιμοποιήσει απευθείας ο υπολογιστής. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός προγράμματος είναι:

- ❖ Είσοδος: τα δεδομένα από το περιβάλλον τα οποία χρειάζεται το πρόγραμμα για να παράγει την επιθυμητή έξοδο
- ❖ Τρόπος εκτέλεσης: ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων (ροή εκτέλεσης, αλγόριθμοι)
- ❖ Έξοδος: τα τελικά αποτελέσματα

Ο έλεγχος ροής αφορά την σειρά με την οποία ανεξάρτητες δηλώσεις, εντολές ή κλήσεις συναρτήσεων εκτελούνται ή αποτιμώνται. Με αυτόν τον τρόπο ένα πρόγραμμα που κάνει ακολουθιακή εκτέλεση εντολών, εκτελεί κάθε φορά την επόμενη εντολή στην μνήμη. Τα είδη ελέγχου ροής είναι:

- ❖ Συνέχεια σε διαφορετική δήλωση (statement) (unconditional branch ή jump)
- ❖ Εκτέλεση ενός συνόλου δηλώσεων μόνο αν ικανοποιείται κάποια συνθήκη
- ❖ Εκτέλεση ενός συνόλου εντολών καμία ή περισσότερες φορές μέχρι κάποια συνθήκη να ικανοποιηθεί
- ❖ Εκτέλεση ενός συνόλου απομακρυσμένων εντολών μετά τις οποίες ο έλεγχος ροής συνήθως επιστρέφει (συναρτήσεις)
- ❖ Σταμάτημα ενός προγράμματος αποτρέποντας οποιαδήποτε περαιτέρω εκτέλεση

4.6. Δομή ελέγχου if

Αν η εκτέλεση μιας ακολουθίας εντολών πρέπει να γίνει μόνο εφόσον πληρείται μια συγκεκριμένη συνθήκη τότε χρησιμοποιείται η δομή if και στην συνέχεια η συνθήκη η οποία πρέπει να ελεγχτεί. Αν αυτή η συνθήκη αποτιμάται ως αληθής τότε το σύνολο των εντολών που περιέχονται στην εντολή if θα εκτελεστούν αλλιώς η ροή του προγράμματος θα συνεχίσει μετά το τέλος της if. Αν ανάλογα με την αποτίμηση της συνθήκης εκτελούνται διαφορετικές ενέργειες τότε χρησιμοποιείται η δομή if...else... Ενώ αν ανάλογα με την αποτίμηση της συνθήκης εκτελούνται χ διαφορετικές ενέργειες (όπου χ το πλήθος των διαφορετικών περιπτώσεων) τότε χρησιμοποιείται η δομή if...elif...else...

4.7. Βρόγχοι επανάληψης

Ένας βρόγχος επανάληψης είναι μια ακολουθία εντολών οι οποίες δηλώνονται μία φορά αλλά μπορούν να εκτελεστούν πολλές διαδοχικές φορές. Ο κώδικας μέσα στον βρόγχο θα εκτελείται για έναν καθορισμένο αριθμό επαναλήψεων (βρόγχοι for) ή για όσο ισχύει μια

συνθήκη (βρόγχοι while). Κατά αυτόν τον τρόπο έχουμε και τον διαχωρισμό σε for και σε while βρόγχους επανάληψης.

4.7.1. Βρόγχοι for

Οι βρόγχοι for εκτελούνται για συγκεκριμένο πλήθος φορών. Για τη δημιουργία τους χρησιμοποιείται η συνάρτηση range(). Έτσι όσο η συνάρτηση επιστρέφει ένα καινούριο αντικείμενο, οι εντολές στο σώμα του βρόγχου θα συνεχίζονται να εκτελούνται. Η συνάρτηση range() λειτουργεί μόνο για τους ακέραιους αριθμούς. Η συνάρτηση μπορεί να παράγει όλους τους αριθμούς μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος ή μόνο κάποιους από αυτούς με συγκεκριμένο βήμα.

4.7.2. Βρόγχοι while

Οι βρόγχοι while επιτρέπουν την επαναλαμβανόμενη εκτέλεση ενός τμήματος του κώδικα για όσο διάστημα μια προϋπόθεση παραμένει αληθής. Στον βρόγχο while υπάρχει η δυνατότητα να έχει μια εντολή else, το τμήμα της οποίας θα εκτελείται όταν η προϋπόθεση παίρνει την τιμή ψευδής. Αν υπάρχει η εντολή else τότε ο βρόγχος θα εκτελείται πάντα, εκτός και αν διακόπτεται με την χρήση της δήλωσης break.

4.7.3. Δήλωση break

Η δήλωση break χρησιμοποιείται για να βγει το πρόγραμμα από έναν βρόγχο μόλις τη συναντήσει. Συνήθως για να εκτελεστεί πρέπει να πληρείται μια προϋπόθεση και για αυτό τον λόγο συνοδεύεται από μια δομή ελέγχου if που καθορίζει πότε εκτελείται. Συνήθως αποφεύγεται η χρήση της γιατί γίνεται πιο δυσανάγνωστος ο κώδικας.

4.7.4. Δήλωση with

Η δήλωση with χρησιμοποιείται κυρίως για την απόκτηση και την απελευθέρωση πόρων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το άνοιγμα ενός αρχείου, ελέγχοντας ταυτόχρονα το επιτυχές άνοιγμα αυτού του αρχείου. Με τη δήλωση break εξασφαλίζεται η κατάλληλη δέσμευση και αποδέσμευση των πόρων αργότερα από το αντίστοιχο μπλοκ κώδικα ανεξάρτητα από το αν έχουν συμβεί εξαιρέσεις.

4.8. Συναρτήσεις

Οι συναρτήσεις επιτρέπουν στον προγραμματιστή να ομαδοποιεί το κομμάτι του κώδικα που επιτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία και με αυτόν τον τρόπο και την ευκολότερη επαναχρησιμοποίηση του. Επιπλέον επιτρέπουν τον σχεδιασμό του τελικού συστήματος λογισμικού σε ένα υψηλότερο επίπεδο αφαίρεσης, όπου η λειτουργικότητα παρέχεται μέσω συναρτήσεων. Έτσι στην συνέχεια απομένει η υλοποίηση αυτών μέχρι όπου οι μικρότερες δομικές μονάδες που χρησιμοποιούνται, παρέχονται ήδη από το σύστημα. Συνάρτηση είναι μια ονομαζόμενη ακολουθία δηλώσεων, που πραγματοποιεί έναν συγκεκριμένο υπολογισμό. Αποτελούν μια τεχνική αφαίρεσης μέσω της οποίας μπορεί να δοθεί όνομα σε μια σύνθετη λειτουργία και στη συνέχεια να παρέχεται η δυνατότητα να καλείται αυτή η σύνθετη λειτουργία ως μονάδα. Αν μια συνάρτηση εφαρμόζεται σε ένα αντικείμενο ονομάζεται μέθοδος. Όρισμα είναι μια τιμή η οποία παίρνεται από το πρόγραμμα στην κλίση της συνάρτησης. Μπορεί να χαρακτηριστεί και ως είσοδος της συνάρτησης από το πρόγραμμα από το οποίο καλείται. Μια συνάρτηση μπορεί να επιδέχεται πολλά ορίσματα. Επιστροφόμενη τιμή είναι η τιμή η οποία επιστρέφεται από την συνάρτηση στο περιβάλλον που την κάλεσε μέσω μιας δήλωσης return. Όταν συναντάται η δήλωση return τερματίζεται η εκτέλεση της συνάρτησης και η ροή εκτέλεσης επιστρέφει στο περιβάλλον από όπου καλέστηκε. Στις συναρτήσεις η πρώτη

γραμμή είναι η δήλωση της συνάρτησης και ξεκινάει πάντα με την λέξη def. Αγνές συναρτήσεις (Pure Functions) ονομάζονται οι συναρτήσεις που προκαλούν αλλαγές στο αντικείμενο στο οποίο καλούνται, ενώ αυτές οι συναρτήσεις που έχουν την δυνατότητα να προκαλούν αλλαγές ονομάζονται συναρτήσεις τροποποίησης (Modifier Functions)

4.9. Δομές δεδομένων

Οι δομές δεδομένων παρέχουν έναν αποτελεσματικό τρόπο διαχείρισης των διαθέσιμων πληροφοριών. Η σωστή επιλογή τους βοηθάει στην ταχύτητα εκτέλεσης των υπολογισμών του προγράμματος. Οι βασικότερες δομές δεδομένων είναι:

- ❖ **Αλφαριθμητικά (strings):** περικλείονται σε αποστρόφους και είναι σταθερά (immutable) που σημαίνει ότι δεν γίνεται να αλλάξουν αλλά μόνο να δημιουργηθούν καινούρια.
- ❖ **Πλειάδες (tuples):** τιμές χωρισμένες από κόμμα οι οποίες συνήθως περικλείονται από παρενθέσεις και μπορούν να περιέχουν οποιοδήποτε τύπο δεδομένων. Είναι σταθερά.
- ❖ **Λίστες (lists):** περικλείονται σε αγκύλες και αντικαθιστούν τους πίνακες που γνωρίζουμε από άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Γίνεται δυναμική δέσμευση της μνήμης και είναι τροποποιήσιμες (mutable).
- ❖ **Λεξικά (dictionaries):** περικλείονται σε αγκύλες με τα στοιχεία που περιέχουν να είναι διαχωρισμένα με κόμμα. Κάθε στοιχείο – ζευγάρι στοιχείων του λεξικού αποτελείται από δύο μέρη το κλειδί (key) και την τιμή (value). Τα κλειδιά είναι σταθερές τιμές που δεν αλλάζουν και οι τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε κλειδί μπορεί να είναι οποιοδήποτε τύπου και μπορούν να αλλάζουν.
- ❖ **Σύνολα (sets):** για τον ορισμό τους χρησιμοποιείται η συνάρτηση set με όρισμα μια λίστα. Κάθε τιμή στο σύνολο πρέπει να υπάρχει μια μόνο φορά. Τα σύνολα υπακούουν σε όλες τις πράξεις που είναι γνωστές από τα μαθηματικά όπως ένωση (union), τομή (intersection), διαφορά (difference), υπερσύνολο (issuperset), υποσύνολο (issubset).

Τα αλφαριθμητικά όπως και οι πλειάδες είναι αμετάβλητα, το οποίο σημαίνει ότι μετά από την δημιουργία τους δεν μπορούν να αλλάξουν τιμή. Ο τελεστής ανάθεσης μπορεί να κάνει μια μεταβλητή να δείχνει σε ένα αλφαριθμητικό όπως και στους απλούς τύπους. Τα αλφαριθμητικά αποτελούν ένα είδος ακολουθίας. Αυτό σημαίνει ότι κάθε στοιχείο είναι σε μια αριθμημένη σειρά με βάση και την οποία μπορεί να προσπελαστεί. Η προσπέλαση των στοιχείων μπορεί να ξεκινήσει μετρώντας από το τέλος του αλφαριθμητικού προς την αρχή του αν χρησιμοποιήσουμε το σύμβολο – (μείον) πριν από τον δείκτη (index). Υπάρχει η δυνατότητα να αντιστραφεί ένα αλφαριθμητικό με τη βοήθεια της συνάρτησης reverse ή να μορφοποιηθεί με τη βοήθεια της συνάρτησης string.format (για την σωστή τοποθέτηση χρησιμοποιείται το {x} όπου x είναι ένας δείκτης ο οποίος δείχνει ποια από τις μεταβλητές θα τοποθετηθεί στην θέση του).

Λίστα είναι μια δομή δεδομένων η οποία περιέχει σε συγκεκριμένη σειρά μια συλλογή τιμών. Η ίδια τιμή μπορεί να υπάρξει περισσότερες από μια φορές. Οι λίστες χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά στον προγραμματισμό. Η συμπεριφορά τους έχει όλα τα χαρακτηριστικά των πινάκων. Στην Python γίνεται αυτόματα η κατάλληλη δέσμευση της μνήμης που χρειάζεται μια λίστα. Για να οριστεί μια λίστα αρκεί μόνο να τοποθετηθούν τα αντικείμενα που θα περιέχει ανάμεσα σε δύο αγκύλες. Μια λίστα μπορεί να περιέχει οποιοδήποτε τύπου αντικείμενα ακόμα και άλλες λίστες ή αντικείμενα που αναπαριστούν συναρτήσεις. Εκτός από τον τρόπο που αναφέρθηκε πιο πάνω μια λίστα μπορεί να δημιουργηθεί και με την χρήση της συνάρτησης list(). Αλλά όμως η συνάρτηση list() επιστρέφει ένα ακριβές αντίγραφο της λίστας χωρίς να έχει αλλάξει τίποτα σε αυτήν. Η

πρόσβαση στα στοιχεία της λίστας είναι εύκολη με την αρίθμηση να ξεκινάει από το μηδέν και όχι από το ένα. Αυτό σημαίνει ότι το πρώτο στοιχείο είναι το μηδέν και το τελευταίο στοιχείο είναι το $n - 1$, αν θεωρήσουμε ότι η λίστα έχει n στοιχεία. Η συνάρτηση `len()` έχει την δυνατότητα να έχει ως επιστρεφόμενη τιμή το πλήθος των στοιχείων της λίστας. Η διάτρεξη όλων των στοιχείων μιας λίστας μπορεί να γίνει με την χρήση ενός βρόγχου `for`. Η λέξη κλειδί `del` ακολουθημένη από ένα κομμάτι της λίστας θα διαγράψει αυτές τις τιμές από την λίστα.

Πλειάδα είναι ένα στιγμιότυπο μιας λίστας. Δεν αλλάζει μέγεθος ούτε και στοιχεία. Η πλειάδα είναι χρήσιμη όταν είναι αναγκαίο να επιστρέφουν πολλές τιμές σε συναρτήσεις. Η δημιουργία μιας πλειάδας είναι απλή. Αρκεί μόνο τα αντικείμενα να είναι χωρισμένα με ένα κόμμα και ανήκουν αυτόματα σε μια πλειάδα. Προαιρετικά και για να γίνεται πιο ευανάγνωστος ο κώδικας χρησιμοποιούνται οι παρενθέσεις γύρω από αυτά τα αντικείμενα. Ουσιαστικά η πλειάδα είναι ένα αντικείμενο, το οποίο είναι μια ομάδα πολλών αντικειμένων. Αν για μια λειτουργία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε πλειάδες είτε λίστες προτιμούνται οι πλειάδες καθώς είναι ο πιο γρήγορος τρόπος.

Το λεξικό δίνει την δυνατότητα να αντιστοιχηθούν σε κάποιες λέξεις κλειδιά, κάποιες τιμές. Μπορούν να θεωρηθούν ως μια γενίκευση των λιστών, όπου αντί να δεικτοδοτείται ένα αντικείμενο μόνο με έναν ακέραιο, στα λεξικά μπορεί να δεικτοδοτείται με οποιοδήποτε αντικείμενο αρκεί αυτό να είναι σταθερό, να μην αλλάζει τιμή, και μοναδικό. Οι τιμές σε ένα λεξικό μπορούν να τοποθετηθούν είτε στην αρχή με την δημιουργία του είτε αργότερα να προστεθούν και άλλες. Οι λειτουργίες σε ένα λεξικό είναι:

- ❖ Μέγεθος: η ανάκτηση του μεγέθους ενός λεξικού (πλήθος ζευγαριών κλειδιών - τιμών) πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου `len(d)`.
- ❖ Κλειδιά: για να βρεθούν τα κλειδιά σε ένα λεξικό χρησιμοποιείται η μέθοδος `d.keys()`. (χρήσιμη ιδιότητα σε βρόγχους)
- ❖ Τιμές: αντίστοιχα για τις τιμές χρησιμοποιείται η μέθοδος `d.values()`.
- ❖ Κλειδί / τιμή: για να ανακτηθούν όλα τα ζευγάρια από ένα λεξικό (κλειδιά – τιμές) χρησιμοποιείται η μέθοδος `d.items()`, η οποία επιστρέφει πλειάδες με δύο στοιχεία στις οποίες το πρώτο στοιχείο είναι το κλειδί και το άλλο στοιχείο είναι η τιμή
- ❖ Διαγραφή: χρησιμοποιείται η εντολή `del` ακολουθημένη από την τιμή που θα διαγραφεί από το λεξικό (για παράδειγμα το `del d['value']` θα διαγράψει την αντίστοιχη εγγραφή από το λεξικό)

Η διάτρεξη των τιμών σε ένα λεξικό γίνεται όπως και στις λίστες με τη βοήθεια ενός βρόγχου `for`. Τα λεξικά είναι τροποποιήσιμα αντικείμενα (`mutable`) και όταν τροποποιείται ένα λεξικό τροποποιούνται και όλες οι αναφορές σε αυτό το λεξικό. Αν επιθυμείται η αποφυγή αυτού τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος `copy()`.

Τα σύνολα διευκολύνουν την ομαδοποίηση πολλών αντικειμένων και στην εφαρμογή στην συνέχεια πράξεων όπως η ένωση τους με αποδοτικό τρόπο, εξασφαλίζοντας πως κάθε στοιχείο, αν περιέχεται σε πάνω από ένα σύνολα τελικά θα βρεθεί μόνο μια φορά στο τελικό αποτέλεσμα. Πρόκειται για μια δομή δεδομένων που αναπαριστάται ως ένα μη διατεταγμένο σύνολο μοναδικών στοιχείων. Για την απευθείας δημιουργία ενός συνόλου χρησιμοποιούμε τις αγκύλες. Η Python καταλαβαίνει ότι δεν πρόκειται για λεξικό γιατί δεν υπάρχει η άνω – κάτω τελεία που δηλώνει την τιμή που αντιστοιχίζεται σε ένα κλειδί. Οι βασικές πράξεις συνόλων είναι: πρόσθεση στοιχείου σε ένα σύνολο, αφαίρεση στοιχείου από ένα σύνολο, ένωση συνόλων, τομή συνόλων και διαφορά συνόλων.

4.10. Απλοί τύποι (`immutable objects`)

Στην Python ακόμα και οι απλοί τύποι (`bool`, `int`, `float`, `string`) είναι αντικείμενα με δικές τους μεθόδους και δικές τους κλάσεις. Από την στιγμή που δημιουργήθηκαν όμως δεν υπάρχει η δυνατότητα να αλλάξει η τιμή τους. Αν επιθυμείται κάτι τέτοιο τότε πρέπει να

δημιουργηθεί ένα καινούριο αντικείμενο. Κάθε μεταβλητή που αναφέρεται σε διαφορετική τιμή ή σε διαφορετικό απλό τύπο αποθηκεύεται σε διαφορετική θέση μνήμης. Με τη βοήθεια της συνάρτησης `id()` μπορεί ο προγραμματιστής να βρει την θέση μνήμης όπου έχει αποθηκευτεί ένα αντικείμενο. Πρωταρχικοί τύποι που δείχνουν ακριβώς στα ίδια περιεχόμενα δείχνουν και στην ίδια θέση μνήμης και με τη βοήθεια του τελεστή `is` μπορεί να ελεγχθεί αυτό, ο οποίος τελεστής θα επιστρέψει τη τιμή `True` – όταν δείχνουν στην ίδια ακριβώς θέση μνήμης.

4.11. Τοπικές και καθολικές μεταβλητές

Η τοπική μεταβλητή είναι προσβάσιμη μόνο σε τοπικό εύρος ενώ μια καθολική μεταβλητή είναι προσβάσιμη σε κάθε εύρος (`scope`). Με τον όρο εύρος (`scope`) θεωρείται το πλαίσιο ενός προγράμματος στο οποίο το όνομα μιας μεταβλητής είναι έγκυρο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συνήθως αναφέρεται εύρος μιας συνάρτησης, μιας κλάσης, ενός αρχείου. Οι καθολικές μεταβλητές βρίσκονται συνήθως στο πάνω μέρος του αρχείου του κώδικα και δεν επιτρέπεται να τροποποιηθούν εκτός και αν δηλωθεί ρητά το αντίθετο με την λέξη κλειδί `global`. Αν μια καθολική μεταβλητή τεθεί χωρίς την χρήση της λέξης κλειδί `global` τότε είναι απλά μια καινούρια τοπική μεταβλητή και δεν επηρεάζεται το περιεχόμενο της καθολικής μεταβλητής

4.12. Σύνθετα αντικείμενα

Στην Python ως σύνθετα αντικείμενα αναφέρονται οι πλειάδες (`tuples`), τα αλφαριθμητικά (`strings`), οι λίστες (`lists`), τα σύνολα (`sets`), τα λεξικά (`dictionaries`) και γενικά όλα τα αντικείμενα που ανήκουν σε κλάσεις, τα οποία μπορεί να δημιουργήσει ο προγραμματιστής. Ακόμα και αν περιέχουν αντικείμενα, με ακριβώς τις ίδιες τιμές, καταλαμβάνουν διαφορετική θέση μνήμης. Υπάρχει η δυνατότητα να αναφερθεί ένα αντικείμενο με διαφορετικό όνομα από αυτό που έχει δηλωθεί, χρησιμοποιώντας μια διαφορετική μεταβλητή που αναφέρεται ως ψευδώνυμο (`alias`). Σε αυτήν την περίπτωση όλες οι αλλαγές στο συγκεκριμένο αντικείμενο θα επηρεάσουν και όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές που αναφέρονται σε αυτό, με ότι αυτό συνεπάγεται. Ο τελεστής `is` ελέγχει αν δυο μεταβλητές αναφέρονται στο ίδιο ακριβώς αντικείμενο (ίδια περιεχόμενα και ίδια θέση μνήμης), ενώ ο τελεστής `==` ελέγχει μόνο τα περιεχόμενα των δύο αντικειμένων.

4.13. None

Το `none` είναι ένας ειδικός τύπος, που αναπαριστά την ιδέα ότι δεν υπάρχει κάτι. Σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού συχνά χρησιμοποιείται η τιμή `Null`. Στην Python όμως η `Null` ισούται μόνο με τον εαυτό της και αναφέρεται με την χρήση της λέξης-κλειδί `None`. Η τιμή `None` είναι και η τιμή που επιστρέφει μια συνάρτηση που τελικά δεν επιστρέφει τίποτα.

4.14. Άρθρωμα (module)

Ένα άρθρωμα (`module`) είναι ένα αρχείο, το οποίο περιέχει δηλώσεις και ορισμούς (συναρτήσεις, κλάσεις, κτλ). Το όνομα του αρθρώματος είναι το όνομα του αρχείου χωρίς την κατάληξη `.py`. Οι δηλώσεις που βρίσκονται στο πιο εξωτερικό μπλοκ κώδικα, αυτές που δεν προηγούνται από κενό, εκτελούνται από πάνω προς τα κάτω την πρώτη φορά που το άρθρωμα εισάγεται κάπου αρχικοποιώντας έτσι τις μεταβλητές και τις συναρτήσεις. Ένα άρθρωμα μπορεί να εκτελεστεί απευθείας είτε να εισαχθεί `import` και να χρησιμοποιηθεί από κάποιο άλλο άρθρωμα. Όταν ένα αρχείο Python εκτελείται απευθείας η μεταβλητή ειδικού σκοπού `__name__` ορίζεται απευθείας με την τιμή `__main__`. Για αυτό το λόγο ελέγχεται η τιμή της μεταβλητής `__name__` έτσι ώστε να διαπιστώνεται αν

το συγκεκριμένο άρθρωμα που έχει εισαχθεί θα εκτελεστεί ή έχει εισαχθεί σε κάποιο άλλο άρθρωμα για να παρέχει τις λειτουργικότητες του σε εκείνο.

4.15. Κλάσεις και αντικείμενα

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός αποτελεί μια προγραμματιστική τεχνική όπου ο προγραμματιστής βασίζεται στα αντικείμενα και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους ώστε να σχεδιάζει τα προγράμματα, τα οποία επιθυμεί να αναπτύξει. Με αυτόν τον τρόπο στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, ένα πρόγραμμα κυρίως επικεντρώνονται στη οπτική μιας συλλογής αντικειμένων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Κάθε αντικείμενο μπορεί να αλληλεπιδράσει με τα υπόλοιπα στέλνοντας μηνύματα λαμβάνοντας επεξεργασμένα δεδομένα και γενικά σαν μια ανεξάρτητη οντότητα που όμως βρίσκεται σε ένα περιβάλλον αλληλεπίδρασης και συνεργασίας με τις υπόλοιπες που απαρτίζουν το πρόγραμμα. Για αυτόν τον λόγο και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στα αντικείμενα είναι στενά συνδεδεμένες με τα ίδια τα αντικείμενα. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα τρόπο προγραμματισμού που συνδυάζει τα δεδομένα και λειτουργικότητα και τα ενσωματώνει σε κάτι που ονομάζεται αντικείμενο. Οι κλάσεις και τα αντικείμενα είναι οι δύο κύριες πτυχές του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού. Ιδιαίτερα συνηθισμένη περίπτωση χρήσης κλάσεων είναι σε περιπτώσεις που δημιουργούμε δομές δεδομένων.

- ❖ Κλάση (class): καθορίζει τα βασικά χαρακτηριστικά (attributes) και συμπεριφορές των αντικειμένων που περιγράφονται από αυτήν την κλάση.
- ❖ Αντικείμενο (object): μια συγκεκριμένη μορφή μιας κλάσης, δηλαδή ένα από τα αντικείμενα που περιγράφει η κλάση που το χαρακτηρίζει
- ❖ Στιγμιότυπο (instance): η κατάσταση ενός αντικειμένου κατά την εκτέλεση του προγράμματος μέσα από την συγκεκριμενοποίηση του.
- ❖ Μέθοδος (method): η συμπεριφορά και οι δυνατότητες ενός αντικειμένου
- ❖ Κληρονομικότητα (inheritance): είναι ένας τρόπος να δημιουργηθούν κοινές κλάσεις χρησιμοποιώντας άλλες που δεν υπάρχουν. Η κληρονομικότητα εφαρμόζεται προκειμένου να γίνει επαναχρησιμοποίηση ήδη υπάρχοντα κώδικα με λίγες ή καθόλου αλλαγές. Η νέα κλάση που δημιουργείται κληρονομεί τα χαρακτηριστικά και την συμπεριφορά των ήδη υπαρχουσών κλάσεων.

Μια κλάση είναι ένας τρόπος κατασκευής ενός αντικειμένου. Ένα αντικείμενο είναι ένας απλός τρόπος να χειριζόμαστε χαρακτηριστικά και συμπεριφορές ομαδοποιημένα. Όπως και οι συναρτήσεις έτσι και οι μέθοδοι μιας κλάσης ορίζονται με την χρήση της λέξης κλειδιού def. Κάθε μέθοδος μιας κλάσης πρέπει να έχει ως πρώτο όρισμα το self, έτσι ώστε μέσω αυτού του ορίσματος να γίνεται γνωστό ποιο αντικείμενο κάλεσε την μέθοδο. Μόλις κατασκευαστεί ένα αντικείμενο καλείται η ειδική μέθοδος `_init_()`. Η `_init_()` παίρνει ως πρώτο όρισμα πάντα τη λέξη self έτσι ώστε η συμπεριφορά που προσδιορίζεται να αφορά το αντικείμενο από το οποίο καλείται. Τα επόμενα ορίσματα προσδιορίζουν τις ιδιότητες του αντικειμένου. Το self δεν αποτελεί δεσμευμένη λέξη της Python, αλλά συνηθίζεται να ακολουθείται η χρήση του ως σύμβαση. Οι κλάσεις χρησιμοποιούνται συχνά στη δημιουργία βάσεων δεδομένων. Τα περιεχόμενα ενός αντικειμένου θεωρούνται ως μεταβλητές αυτού του αντικειμένου (χαρακτηριστικά – attributes) και για να προσπελαστούν χρησιμοποιείται η τελεία. Μια μεταβλητή κλάσης δημιουργείται αμέσως με την δήλωση της μετά τον ορισμό της κλάσης. Οι μεταβλητές κλάσης είναι κοινές για όλα τα αντικείμενα της κλάσης. Η κληρονομικότητα μπορεί να θεωρηθεί ως χρήση ενός αντικειμένου (α1) μιας κλάσης A, ως μέλος μιας άλλης κλάσης B. με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατό να κληθούν κάποιες συναρτήσεις της A στα αντικείμενα της κλάσης B. Η κληρονομικότητα επιτρέπει την εφαρμογή αυτών των συναρτήσεων απευθείας στα αντικείμενα της κλάσης B.

4.16. Αρχεία στην Python

Με την βοήθεια των αρχείων υπάρχει η δυνατότητα να αποθηκευτούν και να ανακτηθούν πληροφορίες που μπορούν να εκτείνονται πέρα από τον χρόνο εκτέλεσης του κάθε προγράμματος. Η γλώσσα προγραμματισμού Python δίνει την δυνατότητα για προσπέλαση και διαχείριση αρχείων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος. Για να είναι δυνατή η όποια λειτουργία πάνω στο αρχείο, χρειάζεται πρώτα το αρχείο να ανοιχθεί. Στην Python γίνεται χρήση της συνάρτησης `open()` που παίρνει ως όρισμα το όνομα του αρχείου. Η συνάρτηση επιστρέφει έναν περιγραφέα για το αρχείο, ο οποίος χρησιμοποιείται τόσο για την προσπέλαση του αρχείου όσο και για άλλες λειτουργίες πάνω στο αρχείο. Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορούμε να ανοίξουμε ένα αρχείο μέσω της Python:

Τρόπος ανοίγματος	Χρήση
“r”	Ανάγνωση
“w”	Εγγραφή (Διαγραφή τυχόν προηγούμενων περιεχομένων)
“a”	Προσθήκη (Διατήρηση τυχόν προηγούμενων περιεχομένων)
“b”	Αρχείο δυαδικής μορφής
“+”	Προσθήκη δεδομένων στο τέλος του αρχείου, “r+” είναι άνοιγμα αρχείου και για ανάγνωση και για εγγραφή

Πίνακας 5: Τρόποι αλληλεπίδρασης με αρχεία στην Python

Αν δεν επιλεγθεί καμία «σημαία», το αρχείο ανοίγει έχοντας ως προεπιλογή τη «σημαία» “r” δηλαδή μόνο για ανάγνωση, ενώ από τις επιλογές “r”, “w”, “a” μόνο μια μπορεί να επιλεγθεί.

Για το διάβασμα των αρχείων χρησιμοποιείται κυρίως η συνάρτηση `read()`. Εάν δεν έχει κάποιο όρισμα θα διαβάσει μέχρι το τέλος του αρχείου, ενώ αλλιώς για τον αριθμό των bytes που καθορίζεται από το όρισμα. Υπάρχει και η συνάρτηση `readlines()` για το διάβασμα αρχείων που, σε αντίθεση με την `read()` η οποία διαβάζει μία μία τις γραμμές και τις επιστρέφει σε μια λίστα, διαβάζει όλο το αρχείο και επιστρέφει μια μεταβλητή. Τέλος χρησιμοποιείται και η συνάρτηση `close()`, η οποία αναλαμβάνει να κλείσει το αρχείο με σκοπό έτσι να αποδεσμεύει πόρους του συστήματος.

Εκτός από το διάβασμα αρχείων μπορεί να γίνει και εγγραφή σε ένα αρχείο, αλλά αυτό πρέπει να καθοριστεί, βάζοντας το κατάλληλο όρισμα στην συνάρτηση `open()`. Ανάλογα με τον τρόπο που ανοίγει το αρχείο είτε διαγράφονται όλα τα περιεχόμενα του και προσθέτονται τα καινούρια («σημαία» “w”), είτε διατηρούνται τα παλιά περιεχόμενα και προσθέτονται και τα καινούρια («σημαία» “a”).

Με χρήση βρόγχων `for` υπάρχει η δυνατότητα να διατρέξουμε πάνω σε ένα αρχείο παίρνοντας μία μία όλες τις γραμμές του αρχείου. Για παράδειγμα:

```
f = open('input_file.txt') #opens for read-only (default)
for line in f:
    print(line)
```

Στο παράδειγμα αυτό αν τρέξει ο κώδικας εκτυπώνει μια κενή γραμμή μετά από κάθε γραμμή του αρχείου επειδή στο τέλος της κάθε γραμμής του αρχείου υπονοείται ο χαρακτήρας αλλαγής γραμμών `\n`.

4.17. Φάκελοι στην Python

Όταν ο κώδικας χρειάζεται γνώση για κάποιους φακέλους του συστήματος η γλώσσα προγραμματισμού Python μπορεί να βοηθήσει πολύ εύκολα σε αυτό και από μόνη της ενώ ο κώδικας «τρέχει». Το άρθρωμα (module) που χρησιμοποιείται για την διαχείριση των αρχείων και των φακέλων είναι κυρίως το `os`. Οι συναρτήσεις που παρέχει το συγκεκριμένο άρθρωμα είναι στην συντριπτική τους πλειοψηφία cross-platform με εξαίρεση κάποιες περιπτώσεις (οι συναρτήσεις `os.path.split()` και `os.path.join()` πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν έχουμε cross-platform εφαρμογές επειδή υπάρχουν διαφορές στο τρόπο που αναπαρίστανται οι διαδρομές στις διάφορες πλατφόρμες). Για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει να έχει εισαχθεί η βιβλιοθήκη `os` που περιέχει τις συγκεκριμένες συναρτήσεις και στη συνέχεια με τη βοήθεια αυτών των συναρτήσεων να πάρουμε τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται ο κώδικας. Οι κυριότερες συναρτήσεις που χρειάζονται για αυτόν τον σκοπό είναι:

- ❖ `getcwd()`: επιστρέφει το όνομα του τρέχοντος φακέλου
- ❖ `listdir()`: παραθέτει τα αρχεία του τρέχοντος φακέλου
- ❖ `chdir(path)`: αλλάζει το φάκελο σε αυτόν που καταδεικνύεται από το `path`

Για την δημιουργία των φακέλων υπάρχουν δύο κύριες συναρτήσεις:

- ❖ `makedirs(path)`: δημιουργία φακέλου με το όνομα `path`
- ❖ `makedirs(path)`: δημιουργία του φακέλου που ορίζεται από το `path` καθώς και όλων των φακέλων που χρειάζεται να δημιουργηθούν μέχρι αυτόν

4.18. Εξαιρέσεις

Κάποιες φορές ο προγραμματιστής καλείται να διαχειριστεί μια ειδική περίπτωση ενός συμβάντος κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος. Οι εξαιρέσεις επιτρέπουν τον διαχωρισμό αυτών των περιπτώσεων και προσπαθούν να χειριστούν τις ειδικές αυτές συνθήκες που άλλαξαν την φυσιολογική ροή του προγράμματος. Ο γενικός μηχανισμός που λειτουργούν οι εξαιρέσεις είναι:

- ❖ όταν κάτι «πάει στραβά» στη ροή του προγράμματος η Python εγείρει μια εξαίρεση
- ❖ αναγνωρίζεται η κλάση της εξαίρεσης (π.χ. `NameError`, `TypeError`)
- ❖ εκτελείται ειδικό κομμάτι κώδικα για την συγκεκριμένη περίπτωση
- ❖ αν δεν χειριστεί σωστά μια εξαίρεση τότε το πρόγραμμα θα σταματήσει την εκτέλεση του
- ❖ οι εξαιρέσεις που δεν έχουν χειριστεί εμφανίζονται στο `trace back`, όπου και ενημερώνουν τον προγραμματιστή για το τι ακριβώς συνέβη.

Οι εξαιρέσεις χρησιμοποιούνται στις διάφορες γλώσσες προγραμματισμού έτσι ώστε να κάνουν τον έλεγχο των λαθών που προκύπτουν, πιο ευανάγνωστο (π.χ. η έλλειψη κάποιου αρχείου, η διακοπή της σύνδεσης με το διαδίκτυο ή και το τέλος αρχείου). Επομένως οι εξαιρέσεις είναι για πράγματα που συμβαίνουν εξαιρετικά, εννοώντας σπάνια. Αν κάτι συμβαίνει αρκετά συχνά πρέπει να θεωρηθεί ως περίπτωση μέσα στον γενικότερο κανόνα που επικρατεί και όχι ως εξαίρεση.

4.19. Γεννήτορες

Οι γεννήτορες δίνουν την δυνατότητα να γίνεται η δουλειά που χρειάζεται να γίνει την στιγμή που πρέπει να γίνει. Είναι μια ειδική συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή iterators. Κάθε φορά που καλείται ένας γεννήτορας συνεχίζει την εκτέλεση από το σημείο που είχε μείνει στην προηγούμενη εκτέλεση του. Με αυτόν τον τρόπο η έξοδος του γεννήτορα παράγεται τμηματικά. Μπορούν να θεωρηθούν ως συναρτήσεις, οι οποίες όμως παράγουν την επιστρεφόμενη τιμή τους ανάλογα με το τι ζητείτε. Λόγω αυτού του οφέλους που έχει στο πρόγραμμα (ιδιαίτερα όταν η παραγόμενη επιστρεφόμενη τιμή είναι πολύ μεγάλη και έτσι μπορεί να τμηματοποιηθεί), οι βιβλιοθήκες της Python κάνουν

εκτεταμένη χρήση τους. Οι γεννήτορες δημιουργούνται όταν χρησιμοποιείται η λέξη κλειδί `yield` αντί της λέξης `return`. Ένας γεννήτορας επιστρέφει μια τιμή με την `yield` και όταν ξανακληθεί αργότερα συνεχίζει από εκεί που ήταν πριν μέχρι να φθάσει ξανά σε κάποιο `yield`. Καταλαμβάνει μικρότερο χώρο στην μνήμη από μια απλή συνάρτηση αφού δεν χρειάζεται να παραχθούν όλες οι τιμές και μετά να επιστραφούν.

4.19.1. Επαναλήπτες

Επαναλήπτης (iterator) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να καταδειχθεί ότι ένα αντικείμενο έχει μια μέθοδο `next()`. Επαναλήπτες χρησιμοποιούνται κάθε φορά που γίνεται προσπέλαση των στοιχείων μιας λίστας ένα ένα. Κάθε φορά που χρησιμοποιείται ένας βρόγχος `for` η Python κάνει κάποια βήματα. Πρώτα παίρνει έναν επαναλήπτη για την μέθοδο `next()`, καλεί την `iter(mylist)` που επιστρέφει ένα αντικείμενο με τη μέθοδο `next()`. Μετά χρησιμοποιώντας ένα επαναλήπτη διατρέχει όλα τα αντικείμενα στην λίστα. Με αυτόν τον τρόπο το `i` παίρνει επαναληπτικά όλες τις τιμές που βρίσκονται στην λίστα `mylist`.

4.19.2. Περιγραφείς

Οι περιγραφείς αν χρησιμοποιηθούν σωστά διευκολύνουν τον προγραμματιστή ώστε τα αντικείμενα που κατασκευάζει για να επιτελούν μια λειτουργία να είναι πιο απλά και έτσι να τον ενθαρρύνουν να ασχοληθεί περισσότερο με το πρόβλημα που επιθυμεί να λύσει και να μην ασχολείται με τις πιθανές ιδιοτροπίες της διεπαφής των αντικειμένων.

Οι περιγραφείς δίνουν την δυνατότητα στον προγραμματιστή να δημιουργεί και να διαχειρίζεται τα χαρακτηριστικά (attributes) των αντικειμένων και των κλάσεων που δημιουργεί. Με τον όρο διαχείριση εννοείτε η εφαρμογή ορισμένων μεθόδων πριν την προσπέλαση, οι οποίες προσδιορίζουν την συμπεριφορά τους. Ένας περιγραφέας μπορεί να υλοποιηθεί με τρεις διαφορετικές μεθόδους:

- ❖ `_get_(self, instance, owner)`
- ❖ `_set_(self, instance, owner)`
- ❖ `_delete_(self, instance)`

Οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι αντιπροσωπεύουν τις τρεις βασικές πράξεις που πραγματοποιούνται στα χαρακτηριστικά αντίστοιχα, οι οποίες είναι:

- ❖ Ανάκτηση: όποτε αναζητείται μια τιμή, από το αντικείμενο καλείται η μέθοδος `_get_(self, instance, owner)` και παράγει ως επιστρεφόμενη τιμή την υπολογισμένη τιμή που ζητήθηκε ή εγείρει μια εξαίρεση τύπου `AttributeError`.
- ❖ Ανάθεση: όποτε ο προγραμματιστής αναθέτει μια τιμή στο αντικείμενο τότε καλείται η μέθοδος `_set_(self, instance, owner)`.
- ❖ Διαγραφή: όποτε επιθυμείται να διαγραφεί το αντικείμενο τότε καλείται η μέθοδος `_delete_(self, instance)`.

Εκτός από την παράμετρο `self` που πρέπει να είναι η πρώτη παράμετρος (όρισμα) σε κάθε μέθοδο μου ανήκει σε μια κλάση, υπάρχουν και τρία άλλα ορίσματα:

- ❖ `Owner`: είναι η κλάση στην οποία ανήκει το αντικείμενο από το οποίο καλέστηκε η μέθοδος.
- ❖ `Instance`: είναι το αντικείμενο από το οποίο καλέστηκε η μέθοδος. Αν είναι `None` σημαίνει ότι το αντικείμενο καλέστηκε από την κλάση αντί να είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης.
- ❖ `Value`: η τιμή η οποία θα χρησιμοποιηθεί για να τεθεί ένα χαρακτηριστικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο:

Επεξεργασία Εργαστηριακών Μετρήσεων της Δύναμης Κοπής Πετρωμάτων

5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΟΠΗΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

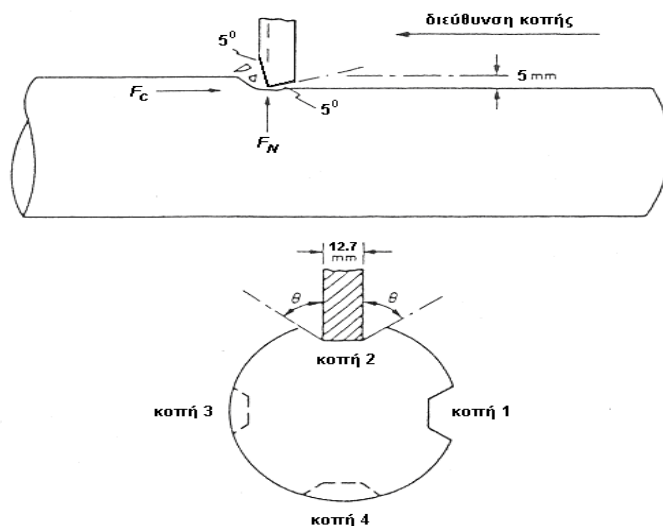
5.1. Εισαγωγή

Για τη θραύση ενός οποιουδήποτε υλικού με συγκεκριμένο αποτέλεσμα θραυσμένου υλικού (κοκκομετρίας ή σχήμα κόκκου) υπάρχει μια ελάχιστη ποσότητα ενέργειας, η οποία όταν δαπανηθεί, θα επιτύχει αυτό το αποτέλεσμα. Η ενέργεια αυτή είναι η διαφορά επιφανειακής ενέργειας του υλικού μεταξύ της αρχικής και της τελικής του κατάστασης και εξαρτάται αποκλειστικά από τις ιδιότητες του υλικού. Η θεωρητικά τέλεια μέθοδος όρυξης όσον αφορά τη διαδικασία θραύσεως θα καταναλώνει το συγκεκριμένο ποσό ενέργειας. Στην πραγματικότητα όμως, οι εφαρμοζόμενες μέθοδοι όρυξης καταναλώνουν πολύ περισσότερη έως πολλές φορές την τάξη μεγέθους αυτού του θεωρητικά ελάχιστου ποσού ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή στις εφαρμοζόμενες μεθόδους όρυξης η ενέργεια που παρέχεται στο πέτρωμα μετατρέπεται και σε θερμότητα και κυρίως σε κινητική ενέργεια των θραυσμάτων, εκτός του ωφέλιμου έργου θραύσης. Η ενέργεια που παρέχεται στη μονάδα συμπαγούς όγκου πετρώματος προκειμένου να επιτευχθεί η θραύση του ονομάζεται ειδική ενέργεια θραύσεως. Ειδικά για τις μεθόδους εξόρυξης με μηχανικά μέσα, η ενέργεια που απαιτείται για την εξόρυξη μονάδας συμπαγούς όγκου πετρώματος ονομάζεται ειδική ενέργεια εκσκαφής. Όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική ενέργεια εκσκαφής ενός πετρώματος, τόσο μεγαλύτερο ποσό ενέργεια πρέπει να καταναλωθεί για την όρυξη μονάδας όγκου του και συνεπώς τόσο δυσκολότερη και πιο δαπανηρή είναι η όρυξη του. Η ειδική ενέργεια εκσκαφής επηρεάζεται από τις εξής παραμέτρους:

- ❖ Ιδιότητες του πετρώματος όπως η αντοχή σε φόρτιση (εφελκυσμός ή θλίψη), οι ασυνέχειες του πετρώματος (απόσταση και διεύθυνση ασυνεχειών)
- ❖ Παράμετροι εκσκαφής όπως ο τύπος του κοπτικού εργαλείου, η διάταξη των κοπτικών εργαλείων, το βάθος κοπής και η ταχύτητα κοπής

Η ειδική ενέργεια εκσκαφής ενός πετρώματος μπορεί να υπολογιστεί από μια δοκιμή κοπής σε δοκίμιο πετρώματος. Ένα πέτρωμα παρουσιάζει διαφορετικές τιμές ειδικής ενέργειας εκσκαφής για διαφορετικές συνθήκες κοπής και συνεπώς οι ειδικές ενέργειες εκσκαφής διαφορετικών πετρωμάτων που προέρχονται από δοκιμές με διαφορετικές συνθήκες κοπής δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες.

Έτσι το 1978 ο McFeat-Smith θέτει τις προδιαγραφές της δοκιμής κοπής για τον προσδιορισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής:



Σχήμα 26: Προδιαγραφές εργαστηριακής δοκιμής κοπής για τον υπολογισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής

- ❖ Δοκίμιο: Γεωμετρία: κυλινδρικό δοκίμιο διαμέτρου 54.7mm (NX)
- ❖ Κοπτικό εργαλείο: συρόμενου τύπου με σύνθεση από καρβίδιο βολφραμίου με ονομαστικό μέγεθος κόκκου 3-3.5 μ m και 9-10% περιεκτικότητα σε κοβάλτιο πλάτος αιχμής (W): 12.7 mm, γωνία εμπρόσθιας ελευθερίας (α): 5⁰, γωνία οπίσθιας ελευθερίας (β): -5⁰
- ❖ Προσβολή: διεύθυνση κοπής – διαμήκης άξονας του κυλίνδρου, βάθος κοπής 5 mm από γενέτειρα και ταχύτητα κοπής 150 mm/sec

5.2. Εργαστηριακή διάταξη

Η διάταξη της δοκιμής κοπής για τον προσδιορισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων του Ε.Μ.Π περιλαμβάνει:

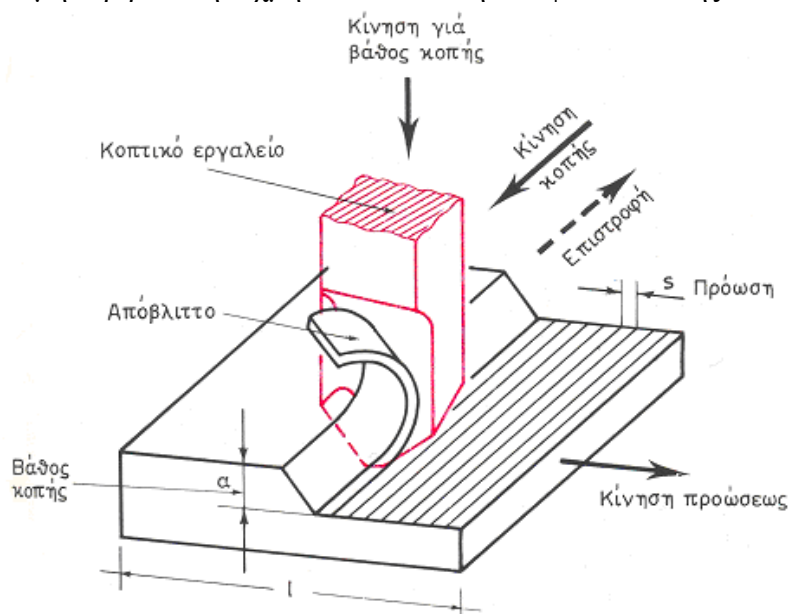
- ❖ οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη
- ❖ δυναμόμετρο
- ❖ μονάδα ελέγχου δυναμόμετρου με ενισχυτή σήματος
- ❖ κάρτα εισαγωγής δεδομένων στον υπολογιστή
- ❖ υπολογιστής και λογισμικό καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων

Οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη

Η οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη χρησιμοποιείται στην μηχανουργική επεξεργασία επιφανειών οριζόντιων, κατακόρυφων ή υπό κλίση. Η κύρια κίνηση κοπής σε αυτήν είναι ευθύγραμμη παλινδρομική. Ο πλήρης κύκλος εργασίας περιλαμβάνει:

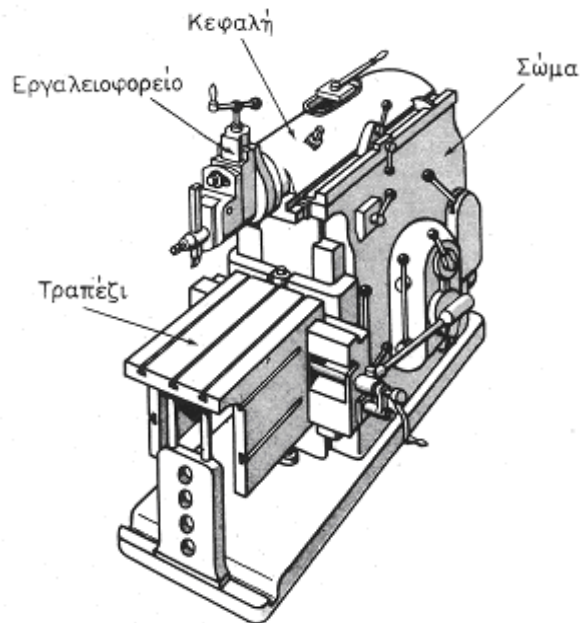
- ❖ κύρια ωφέλιμη ευθύγραμμη κίνηση του κοπτικού εργαλείου για την κοπή
- ❖ κίνηση του εργαλείου προς τα πίσω (επιστροφή, μη ωφέλιμη κίνηση)
- ❖ πρόωση του κομματιού με διεύθυνση κάθετη προς την κίνηση κοπής
- ❖ κάθετη κίνηση του εργαλείου προς την επιφάνεια κατεργασίας για νέο βάθος κοπής

Κατά την έναρξη της διαδρομής επιστροφής, το εργαλείο ανασηκώνεται ελαφρά προς τα επάνω για να μην τρίβεται η αιχμή του πάνω στην επιφάνεια κοπής.



Σχήμα 27: Κινήσεις κοπτικού και επιφάνειας κατεργασίας σε ένα πλήρη κύκλο εργασίας

Η οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη είναι μια σχετικά απλή εργαλειομηχανή, η οποία αποτελείται από τα εξής μέρη: το σώμα, το συγκρότημα των ταχυτήτων και προώσεων, την κεφαλή, το μηχανισμό μετατροπής της κίνησης, το τραπέζι, την μέγγενη και το εργαλειοφορείο.

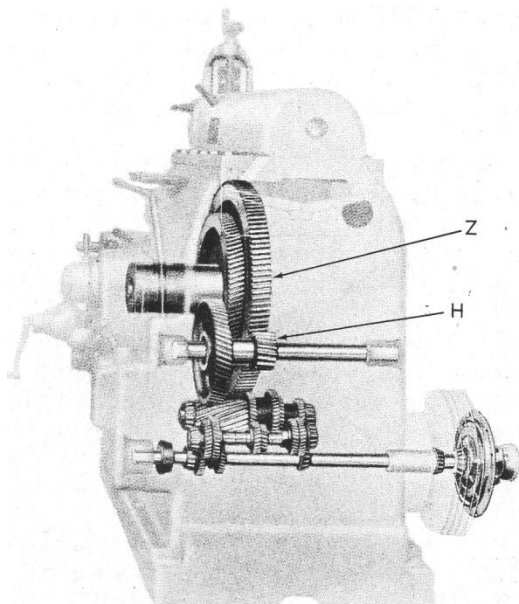


Σχήμα 28: Βασικά μέρη της οριζόντιας μηχανικής ταχυπλάνης

Το σώμα της ταχυπλάνης είναι κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο. Μέσα σε αυτό είναι τοποθετημένα ο μηχανισμός ταχυτήτων της κύριας κίνησης, το σύστημα μετατροπής της σε ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση και ο μηχανισμός των προώσεων. Στο σώμα είναι τοποθετημένος επίσης και ένας συμπλέκτης τριβής, ο οποίος θέτει σε κίνηση ή σταματά την ταχυπλάνη. Ο συμπλέκτης είναι διπλός έτσι ώστε να λειτουργεί ως φρένο της πλάνης χωρίς όμως να σταματάει την λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα. Στο κάτω μέρος του σώματος υπάρχει βάση για να τοποθετούνται οι κοχλίες αγκυρώσεως του μηχανήματος.

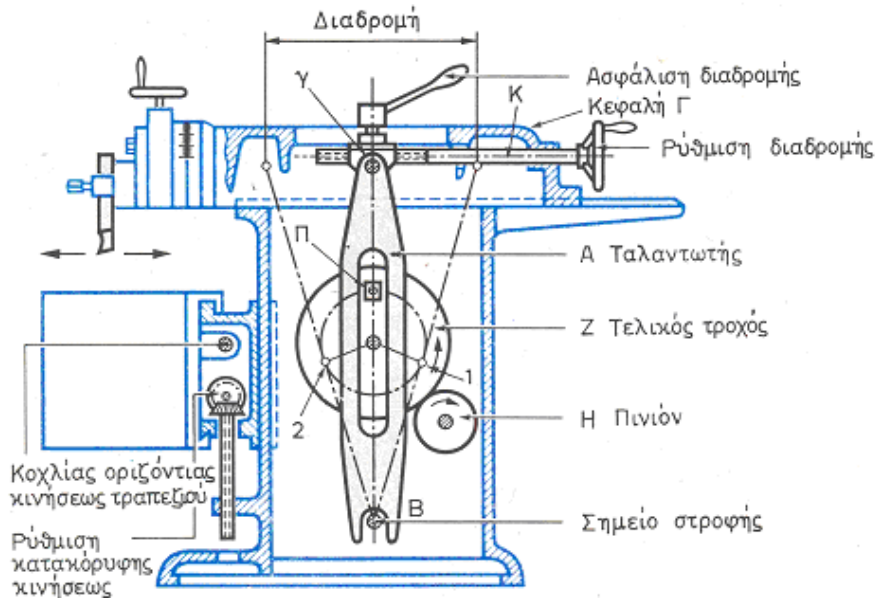
Ο μηχανισμός των ταχυτήτων και προώσεων είναι τοποθετημένος μέσα στο σώμα της ταχυπλάνης και είναι αντίστοιχος με αυτόν ενός τόννου αλλά σε πιο απλή μορφή λόγω των λιγότερων ταχυτήτων που έχουν οι ταχυπλάνες. Με κατάλληλους συνδυασμούς των μεταδόσεων των οδοντοτροχών ο τελικός κινητήριος τροχός έχει την δυνατότητα να πάρει από τις λιγότερες έως και τις περισσότερες στροφές το λεπτό. Με τον κινητήριο αυτό

τροχό αλλά και με τη βοήθεια του μηχανισμού μετατροπής της κίνησης σε ευθύγραμμη, επιτυγχάνονται βραδύτερες ή ταχύτερες παλινδρομικές κινήσεις της κεφαλής.



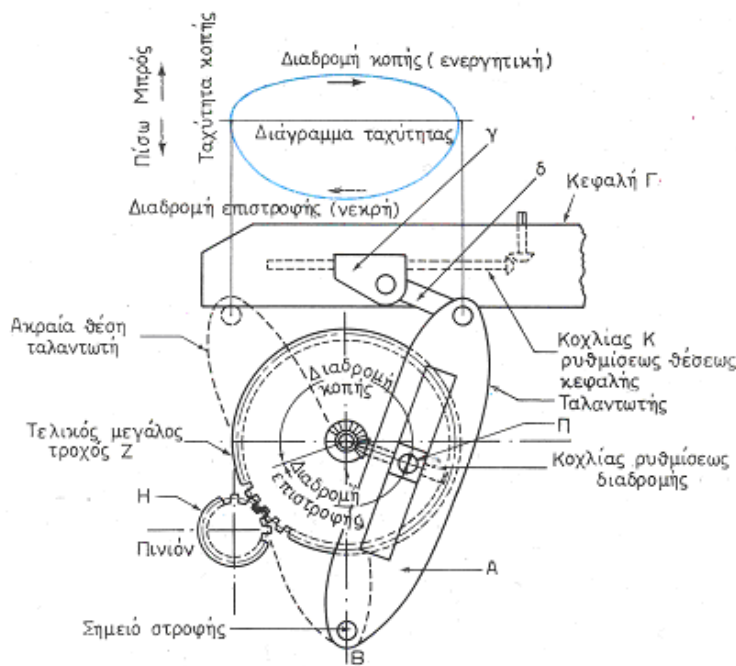
Σχήμα 29: Συνδυασμοί οδοντοτροχών για τη μετάδοση της κίνησης σε πλάνη. Με το γράμμα H φαίνεται ο τελικός κινητήριος τροχός

Το εργαλειοφορείο βρίσκεται τοποθετημένο στο εμπρόσθιο μέρος της κεφαλής και ολισθαίνει παλινδρομικά μέσα σε οδηγούς, οι οποίοι βρίσκονται στο επάνω μέρος του σώματος της πλάνης. Ο μηχανισμός μετατροπής της κινήσεως αποτελείται από τον βραχίονα – ταλαντωτή και από ένα μεγάλο γρανάξι.



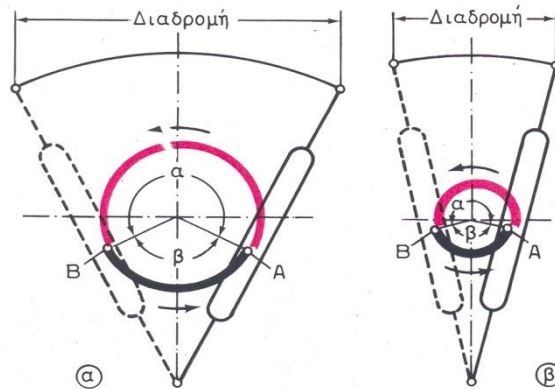
Σχήμα 30: Μηχανισμός ταλαντωτή

Κατά την λειτουργία του ταλαντωτή ο τροχός (σημείο Ζ στο σχήμα 23) περιστρέφεται και ταυτόχρονα κινείται το πινιόν (σημείο Η στο σχήμα 23) το οποίο αποτελεί μέρος του. Έτσι ταλαντεύεται ο βραχίονας (σημείο Α στο σχήμα 23) και με την ταλάντωση του μεταδίδει κίνηση στην κεφαλή (σημείο Γ στο σχήμα 23) με την οποία είναι συνδεδεμένος. Με αυτόν τον τρόπο η περιστροφική κίνηση από το κιβώτιο ταχυτήτων, καταλήγει στον οδοντοτροχό (σημείο Ζ στο σχήμα 23) και μετατρέπεται σε παλινδρομική κίνηση της κεφαλής (σημείο Γ στο σχήμα 23).

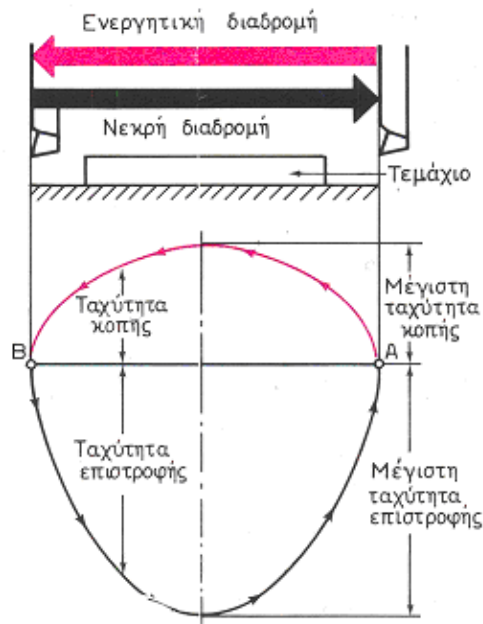


Σχήμα 31: Παραλλαγή μηχανισμού ταλαντωτή.

Στο σχήμα 24 παρουσιάζεται μια παραλλαγή του μηχανισμού του ταλαντωτή, στην οποία ο βραχίονας (σημείο A στο σχήμα 24) αντί να ολισθαίνει όπως στην προηγούμενη περίπτωση είναι συνδεδεμένος με άρθρωση στο κάτω σημείο περιστροφής (σημείο B στο σχήμα 24) και στην κεφαλή (σημείο Γ στο σχήμα 24). Στο σχήμα 23 φαίνεται η φορά περιστροφής του γραναζιού (σημείο Z στο σχήμα 23). Όταν το κομβίο (σημείο Π στο σχήμα 23) κινηθεί από τη θέση 1 στην θέση 2 τότε η κεφαλή προχωράει προς τα μπροστά ενώ όταν κινηθεί από την θέση 2 στην θέση 1 τότε η κεφαλή επιστρέφει. Όσο περισσότερο απέχει το κομβίο από το κέντρο του τροχού, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η διαδρομή της κεφαλής άρα και η διαδρομή του εργαλείου κοπής. Αντιθέτως, όσο το κομβίο πλησιάζει προς το κέντρο, τόσο μικραίνει η διαδρομή κοπής. Η προς τα εμπρός κίνηση της κεφαλής, πάνω στην οποία είναι στερεωμένο το εργαλείο αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο τόξο κύκλου και διαρκεί το 60 – 70 % του χρόνου παλινδρόμησης, ενώ το υπόλοιπο 30 – 40 % αντιστοιχεί στην επιστροφή της κεφαλής. Το εργαλείο κόβει μόνο στην προς τα μπροστά κίνηση της κεφαλής η οποία ονομάζεται ενεργητική διαδρομή σε αντίθεση με την κίνηση προς τα πίσω, η οποία ονομάζεται νεκρή διαδρομή.



Σχήμα 32: μεταβολή της διαδρομής της κεφαλής

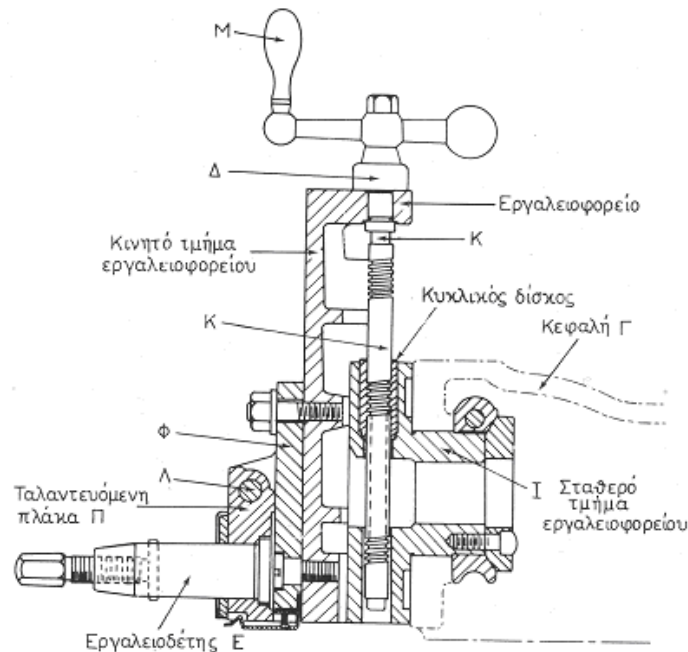


Σχήμα 33: μεταβολή της ταχύτητας του κοπτικού εργαλείου κατά την διάρκεια της ενεργητικής και της νεκρής διαδρομής της κεφαλής

Από το σχήμα 26 παρατηρείται ότι η ταχύτητα επιστροφής του κοπτικού εργαλείου κατά την νεκρή διαδρομή της κεφαλής είναι πολύ μεγαλύτερη της ταχύτητας κοπής κατά την ενεργητική διαδρομή της κεφαλής.

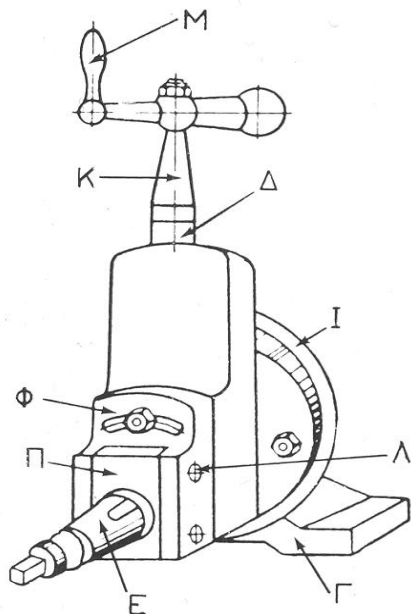
Το τραπέζι της ταχυπλάνης είναι σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου και πάνω σε αυτό είναι στερεωμένο το κομμάτι που θα πλανιστεί. Η συγκράτηση των κομματιών ή της μέγγενης, εφόσον χρησιμοποιείται, γίνεται με την βοήθεια ειδικών κοχλιών που είναι τοποθετημένοι σε τυποποιημένα λούκια στην επάνω επιφάνεια του τραπεζιού. Το τραπέζι είναι στερεωμένο στο σώμα της πλάνης με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να μετακινηθεί οριζόντια και κατακόρυφα. Η μετακίνηση αυτή γίνεται χρησιμοποιώντας δύο συστήματα γλισιέρων που είναι στον ενδιάμεσο φορέα. Η μέγγενη, η οποία χρησιμοποιείται για την συγκράτηση των κομματιών στερεώνεται και αυτή πάνω στο τραπέζι της πλάνης.

Το τμήμα της κεφαλής που φέρει το κοπτικό εργαλείο ονομάζεται εργαλειοφορείο. Το εργαλειοφορείο βρίσκεται τοποθετημένο, με βίδες πάνω στην κεφαλή και αποτελείται από δύο τμήματα, το σταθερό τμήμα και το κινητό τμήμα. Το σταθερό τμήμα έχει έναν δίσκο εδράσεως, ο οποίος υποδιαιρείται σε μοίρες έτσι ώστε ολόκληρο το εργαλειοφορείο να σταθεροποιείται με διάφορες κλίσεις με αποτέλεσμα να έχει την δυνατότητα να πλανήσει επιφάνειες που έχουν μια ορισμένη κλίση ως προς την κατακόρυφο.



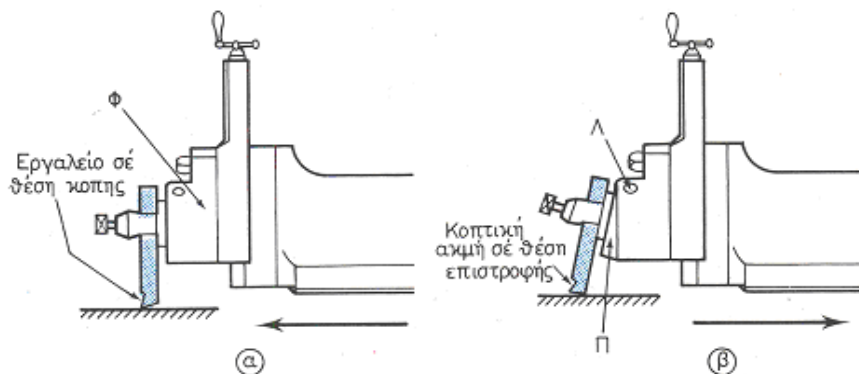
Σχήμα 34: το εργαλειοφορείο της ταχυπλάνης

Το κινητό τμήμα του εργαλειοφορείου μαζί με το εργαλείο κοπής ανεβοκατεβαίνει με την βοήθεια του μεταφορικού κοχλία (σημείο Κ στο σχήμα 28), ο οποίος χειρίζεται από τον χειρομοχλό (σημείο Μ στο σχήμα 28). Ο εργαλειοδέτης (σημείο Ε στο σχήμα 28) μαζί με το κοπτικό εργαλείο βρίσκονται στην φωλιά (σημείο Φ στο σχήμα 28) πάνω στο κινητό τμήμα. Η φωλιά τοποθετημένη πάνω στην πλάκα (σημείο Π στο σχήμα 28) έχει την δυνατότητα να στρέφεται και να σταθεροποιείται με κλίση προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά αν είναι αναγκαίο.



Σχήμα 35: κινητό τμήμα του εργαλειοφορέα στο οποίο διακρίνονται ο κοχλίας Κ, ο χειρομοχλός Μ, ο εργαλειοδέτης Ε, η φωλιά Φ και η πλάκα Π

Η πλάκα έχει επίσης και τη δυνατότητα να κάνει μικρή περιστροφή προς τα επάνω, γύρω από τον πείρο (σημείο Λ στο σχήμα 28) με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε όταν η κεφαλή κινείται προς τα εμπρός, η πλάκα στέκεται στην υποδοχή της και δημιουργείται σταθερή στήριξη του κοπτικού εργαλείου. Όταν η κεφαλή επιστρέφει η πλάκα σηκώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το εργαλείο κοπής να γλιστρά πάνω από το κομμάτι κατά την επιστροφή του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην φθείρεται το άκρο του κοπτικού. Η πλάκα είναι ασφαλισμένη με έναν πείρο για να εμποδίζεται η ταλάντευση της όταν δεν είναι αναγκαίο να σηκωθεί.



Σχήμα 36: η πλάκα του κινητού τμήματος και η δυνατότητα κίνησης της κατά την επιστροφή για αποφυγή φθοράς του κοπτικού άκρου

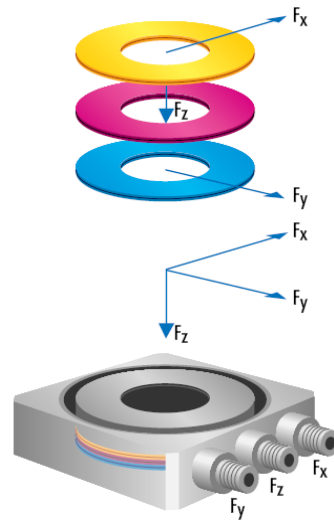
Το δυναμόμετρο είναι τοποθετημένο μεταξύ του εργαλειοφορείου και του εργαλειοδέτη και σκοπός του είναι η μέτρηση των δυνάμεων κατά την διάρκεια της κοπής. Για την μέτρηση των δυνάμεων υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι:

- ❖ μέτρηση παραμόρφωσης ελατηρίου υπό τη δράση δύναμης
- ❖ μέτρηση μεταβολής πτώσης τάσης ηλεκτρικού αντιστάτη υπό τη δράση δύναμης
- ❖ μέτρηση τάσης στα άκρα πιεζοηλεκτρικού υλικού υπό τη δράση δύναμης

Κατά τη διάρκεια κοπής παρατηρούνται μεγάλες δυνάμεις και πολύ συχνές μεταβολές του φορτίου. Επομένως οι δύο πρώτοι τρόποι μετρήσεων απαιτούν μεγάλες παραμορφώσεις των υλικών, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να συμβούν στην συχνότητα μεταβολής του

φορτίου κατά την διάρκεια της κοπής, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται υστέρηση. Σε πιεζοηλεκτρικά υλικά υπάρχει ελάχιστη παραμόρφωση ακόμη και σε υψηλά φορτία με αποτέλεσμα το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι κατάλληλο για μέτρηση πολύ γρήγορων μεταβολών δυνάμεων όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια των κοπών.

Το δυναμόμετρο λειτουργεί με βάση την αρχή του φαινομένου του πιεζοηλεκτρισμού. Αποτελείται από 4 αισθητήρες με 3 επίπεδα αισθητήρων: 2 αισθητήρες διάτμησης για την μέτρηση της πλάγιας δύναμης F_x και της κάθετης δύναμης F_y και 1 αισθητήρας πίεσης για την μέτρηση της δύναμης κοπής F_z ο καθένας.



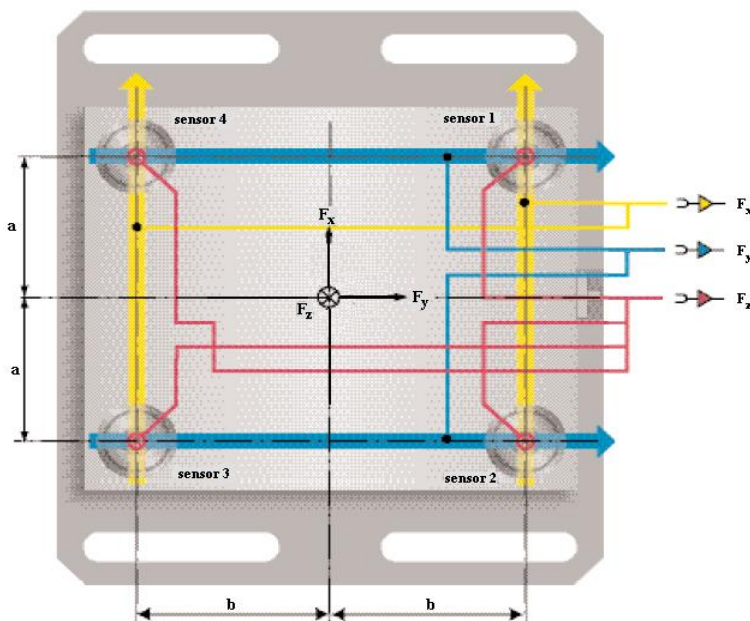
Σχήμα 37: Αισθητήρας τριών επιπέδων.

Οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένες με τέτοιο τρόπο ώστε το δυναμόμετρο να εξάγει τρία διαφορετικά σήματα F_x , F_y , F_z (δυνάμεις σε τρισδιάστατο σύστημα αξόνων xyz):

$$F_x = F_{x_{1+2}} + F_{x_{3+4}}$$

$$F_y = F_{y_{1+4}} + F_{y_{2+3}}$$

$$F_z = F_{z_1} + F_{z_2} + F_{z_3} + F_{z_4}$$



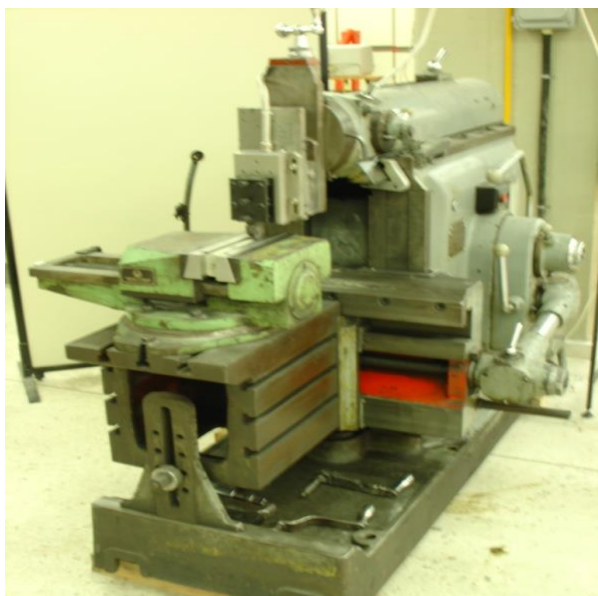
Σχήμα 38: διάγραμμα του δυναμόμετρου 4 αισθητήρων με 3 επίπεδα αισθητήρων

Στην επιφάνεια του δυναμόμετρου προσαρμόζεται ο εργαλειοδέτης και με τη βοήθεια ενός καλωδίου το δυναμόμετρο συνδέεται με την μονάδα ελέγχου του δυναμόμετρου. Αυτή η μονάδα ελέγχου έχει ως είσοδο τα 3 σήματα F_x , F_y , F_z του δυναμόμετρου και εξόδους που μεταφέρουν τα σήματα των δυνάμεων στον υπολογιστή. Επιπλέον με εξόδους στην μονάδα ελέγχου υπάρχει η δυνατότητα να καθοριστεί το εύρος μέτρησης των δυνάμεων στο δυναμόμετρο.

	Εύρος Μέτρησης F_x , F_y (kN)	Εύρος Μέτρησης F_z (kN)
Εύρος 1	$\pm 0,5$	± 1
Εύρος 2	± 1	± 2
Εύρος 3	± 2	± 5
Εύρος 4	± 5	-5 ... 10

Πίνακας 6: Εύρη μέτρησης των δυνάμεων F_x , F_y , F_z

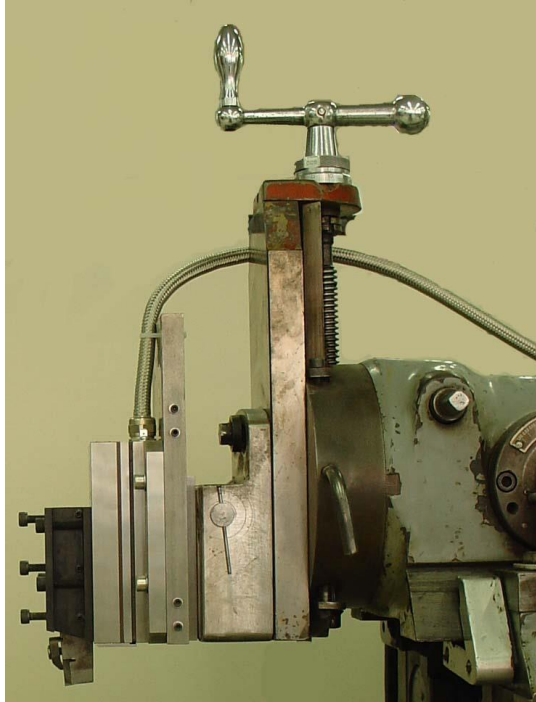
Στο εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων του Ε.Μ.Π. υπάρχει η οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη της φωτογραφίας, στην οποία έγιναν οι μετρήσεις .



Σχήμα 39: Οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π.



Σχήμα 40: Σιαγωνωτή μέγγενη ειδικά κατασκευασμένη για τη συγκράτηση κυλινδρικών δοκιμίων για την εργαστηριακή διάταξη του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π.



Σχήμα 41: το εργαλειοφορείο της ταχυπλάνης στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π

Σχήμα 42: το δυναμόμετρο της εταιρίας Kistler τύπου 9257BA που χρησιμοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π για την μέτρηση των δυνάμεων



Η ταχυπλάνη πρέπει να ρυθμιστεί σωστά ώστε να γίνουν οι μετρήσεις. Αρχικά πρέπει να μετρηθούν οι διαστάσεις (διάμετρος και ύψος) και το βάρος του κυλινδρικού δοκιμίου του πετρώματος, σταθεροποιείται στην ταχυπλάνη με την βοήθεια της μέγγενης με τέτοιο τρόπο ώστε το κοπτικό εργαλείο να προσβάλλει συμμετρικά τη γενέτειρα. Με τη χρήση του χειρομοχλού του εργαλειοφορείου ρυθμίζεται το βάθος κοπής στα 5 mm και επιλέγεται η βαθμίδα ταχύτητας παλινδρόμησης του κοπτικού εργαλείου και η διαδρομή της κεφαλής ώστε το μήκος της διαδρομής να είναι μεγαλύτερο του ύψους του δοκιμίου και η ταχύτητα κατά την κοπή να είναι περί τα 150mm/sec. Ακόμη ρυθμίζεται και η θέση έναρξης και πέρατος της διαδρομής έτσι ώστε το μέσο της διαδρομής να βρίσκεται στο μέσο του στερεωμένου δοκιμίου.

Από την μονάδα ελέγχου του δυναμόμετρου επιλέγεται το εύρος μέτρησης των δυνάμεων ανάλογα του επιπέδου των δυνάμεων που αναμένονται να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια της κοπής των πετρωμάτων. Στον υπολογιστή, που είναι συνδεδεμένος γίνονται ρυθμίσεις στο λογισμικό καταγραφής σήματος Dynoware. (ρύθμιση ρυθμού δειγματοληψίας π.χ. 1000Hz)

Με το συμπλέκτη να βρίσκεται σε θέση αποσύμπλεξης τίθεται σε λειτουργία ο ηλεκτροκινητήρας της πλάνης. Η κεφαλή και το κοπτικό εργαλείο δεν παλινδρομούν ακόμα. Για την έναρξη των μετρήσεων γίνεται έναρξη καταγραφής σήματος από το λογισμικό καταγραφής σήματος και αμέσως μετά τοποθετείται ο συμπλέκτης σε θέση

σύμπλεξης με αποτέλεσμα η κεφαλή και το κοπτικό εργαλείο να παλινδρομούν και εκτελείται η κοπή. Όταν το κοπτικό φθάσει στο πέρας της διαδρομής της κεφαλής τοποθετείται ο συμπλέκτης σε θέση αποσύμπλεξης και τερματίζεται από το πρόγραμμα η καταγραφή του σήματος. Τερματίζεται η λειτουργία της πλάνης και μετράται η διαφορά μάζας του δοκιμίου.

Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις όπως έχουν οριστεί από τους κανόνες. Προέρχονται από πυρηνοληψία σε μεγάλα τεμάχια (block) πετρωμάτων από τα οποία λαμβάνονται κυλινδρικοί πυρήνες διαμέτρου NX (54.7mm). Οι μετρήσεις που έγιναν στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π και οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα στον κώδικα είναι συνολικά 248, οι οποίες προήλθαν από 9 διαφορετικές διπλωματικές φοιτητών της σχολής.

Διπλωματική	Μετρήσεις
2006-Anagnostou	44
2006-Demenegas	28
2007-Koullapis	78
2009-Kravvaritis	14
2009-Patsidis	27
2011-Lazaros	12
2011-Vasilopoulos	8
2012-Koutromanos	25
2012-Patsidis	12

Πίνακας 7: Πλήθος Μετρήσεων ανάλογα με τις διπλωματικές εργασίες

Λόγω κάποιων σφαλμάτων στην διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας κάποιες μετρήσεις θεωρήθηκαν ότι πραγματοποιήθηκαν εσφαλμένα και δεν έγινε περαιτέρω ανάλυση τους, οπότε από τις αρχικές 248 μετρήσεις έγινε ανάλυση στις 225 μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα για κάθε μέτρηση που έγινε αναφέρεται η διπλωματική εργασία του φοιτητή και το πέτρωμα πάνω στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις.

2006-Anagnostou: 43 μετρήσεις

- ❖ K-Y1-1-1 Ασβεστόλιθος λευκότεφρος ζαχαρώδους υφής του Τριαδικού. Λέμφι Ελευσίνας.
- ❖ K-Y1-1-2 Ασβεστόλιθος λευκότεφρος ζαχαρώδους υφής του Τριαδικού. Λέμφι Ελευσίνας.
- ❖ K-Y1-1-3 Ασβεστόλιθος λευκότεφρος ζαχαρώδους υφής του Τριαδικού. Λέμφι Ελευσίνας.
- ❖ K-Y1-2-1 Ασβεστόλιθος λευκότεφρος ζαχαρώδους υφής του Τριαδικού. Λέμφι Ελευσίνας.
- ❖ K-Y1-2-2 Ασβεστόλιθος λευκότεφρος ζαχαρώδους υφής του Τριαδικού. Λέμφι Ελευσίνας.
- ❖ K-Y1-2-3 Ασβεστόλιθος λευκότεφρος ζαχαρώδους υφής του Τριαδικού. Λέμφι Ελευσίνας.
- ❖ K-Y1-2-4 Ασβεστόλιθος λευκότεφρος ζαχαρώδους υφής του Τριαδικού. Λέμφι Ελευσίνας.

- ❖ T5-1-cut3 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-1-cut4 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-2-cut1 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-2-cut2 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-3-cut1 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-3-cut2 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-3-cut3 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-5-cut1 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-5-cut2 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-5-cut3 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-7-cut1 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-7-cut2 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)
- ❖ T5-7-cut4 Ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού από τον ορεινό όγκο Λέμφι της Ελευσίνας (TITAN)

2009-Kranvaritis: 13 μετρήσεις

- ❖ X11-CUT1 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X11-CUT2 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X11-CUT3 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X12-CUT2 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X13-CUT1 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X13-CUT3 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X13-CUT4 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X14-CUT1 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X14-CUT2 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X14-CUT3 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X15-CUT1 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X15-CUT3 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ
- ❖ X15-CUT4 Ασβεστόλιθος Λατομείο Μάνδρας ΧΑΛΥΨ

2009-Patsidis: 27 μετρήσεις

- ❖ LA12-CUT1 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA12-CUT2 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA12-CUT3 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA12-CUT4 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA13-CUT1 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA14-CUT2 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ

- ❖ LA14-CUT3 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA14-CUT4 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA15-CUT1 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA15-CUT2 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA15-CUT3 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA17-CUT1 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA17-CUT2 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LA17-CUT3 Ασβεστόλιθος άνω Κρητιδικού Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL11-CUT1 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL11-CUT2 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL11-CUT3 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL11-CUT4 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL12-CUT1 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL12-CUT2 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL13-CUT1 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL13-CUT2 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL14-CUT1 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL14-CUT2 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL14-CUT3 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL15-CUT1 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ
- ❖ LL15-CUT2 Σιδηρονικελιούχος Λατερίτης Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη ΛΑΡΚΟ ΑΕ

2011-Lazaros: 12 μετρήσεις

- ❖ Pa_01_cut1 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_01_cut2 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_01_cut3 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_01_cut4 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_02_cut3 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_02_cut4 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_04_cut1 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_04_cut2 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_04_cut3 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_04_cut4 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_07_cut1 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης
- ❖ Pa_07_cut2 Ασβεστόλιθος Ιουρασικού Λατομεία Πρεβέζης

2011-Vasilopoulos: 8 μετρήσεις

- ❖ Ta_04b_cut1 Ασβεστόλιθος νηρητικός Παλαιόκαινου Λατομείο Καγιάννη Τρίπολη
- ❖ Ta_04b_cut2 Ασβεστόλιθος νηρητικός Παλαιόκαινου Λατομείο Καγιάννη Τρίπολη
- ❖ Ta_04b_cut3 Ασβεστόλιθος νηρητικός Παλαιόκαινου Λατομείο Καγιάννη Τρίπολη
- ❖ Ta_04b_cut4 Ασβεστόλιθος νηρητικός Παλαιόκαινου Λατομείο Καγιάννη Τρίπολη
- ❖ Ta_05b_cut1 Ασβεστόλιθος νηρητικός Παλαιόκαινου Λατομείο Καγιάννη Τρίπολη
- ❖ Ta_05b_cut2 Ασβεστόλιθος νηρητικός Παλαιόκαινου Λατομείο Καγιάννη Τρίπολη
- ❖ Ta_05b_cut3 Ασβεστόλιθος νηρητικός Παλαιόκαινου Λατομείο Καγιάννη Τρίπολη
- ❖ Ta_05b_cut4 Ασβεστόλιθος νηρητικός Παλαιόκαινου Λατομείο Καγιάννη Τρίπολη

2012-Koutromanos: 14 μετρήσεις

- ❖ Ka_05_cut1 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα

- ❖ Ka_05_cut2 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_05_cut3 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_05_cut4 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_09_cut1 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_09_cut2 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_10_cut1 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_10_cut2 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_10_cut3 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_10_cut4 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_11_cut1 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_11_cut2 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_11_cut3 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα
- ❖ Ka_11_cut4 Ασβεστόλιθος κρυσταλλικός Λατομείο Βούλας Τρίκαλα

2012-Patsidis: 8 μετρήσεις

- ❖ Ik_A_03-cut2 Οφθαλμώδης Ορθογνέσιος Δυτικής Ικαρίας
- ❖ Ik_A_03-cut3 Οφθαλμώδης Ορθογνέσιος Δυτικής Ικαρίας
- ❖ Ik_A_06-cut1 Οφθαλμώδης Ορθογνέσιος Δυτικής Ικαρίας
- ❖ Ik_B_01-cut3 Οφθαλμώδης Ορθογνέσιος Δυτικής Ικαρίας
- ❖ Ik_B_04-cut1 Οφθαλμώδης Ορθογνέσιος Δυτικής Ικαρίας
- ❖ Ik_B_04-cut2 Οφθαλμώδης Ορθογνέσιος Δυτικής Ικαρίας
- ❖ Ik_B_04-cut3 Οφθαλμώδης Ορθογνέσιος Δυτικής Ικαρίας
- ❖ Ik_B_04-cut4 Οφθαλμώδης Ορθογνέσιος Δυτικής Ικαρίας

Όλες αυτές οι μετρήσεις των δυνάμεων που παίρνονται με την βοήθεια του δυναμόμετρου, επεξεργάζονται στον υπολογιστή, ο οποίος μας δίνει κάποια αρχεία σε μορφή .txt που τα περιέχουν. Οι πρώτες 20 σειρές των αρχείων περιέχουν στοιχεία που αφορούν τις ρυθμίσεις που έγιναν στο λογισμικό καταγραφής και έχουν την παρακάτω μορφή. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται το αρχείο LA12 – CUT1 από την διπλωματική εργασία 2009-Patsidis.

1. File Type:
2. Path: C:\Kistler\DynoWare\Data\
3. Filename: test1-data.dwd
4. Config ID: test1-data.cfg
5. Setup ID: 0
6. Manipulated: 0
7. Filename 1:
8. Filename 2:
9. Date:
10. Time:
11. Sampling rate [Hz]: 1000
12. Measuring time [s]: 3
13. Delay time [s]:0.
14. Cycle time [s]:0.
15. Cycles:1
16. Samples per channel: 3001
17. Cycle interval:0
18. Channel enabled: 1 1 1
19. Cycle No: 1
20. Time [s] Fx Fy Fz

Τα χρήσιμα στοιχεία που χρησιμοποιούνται από αυτά που δίνει το λογισμικό είναι η γραμμή 11 – Sampling rate, η γραμμή 12 – Measuring time και η γραμμή 16 – Samples per channel και φυσικά όλες οι μετρήσεις των δυνάμεων από τις οποίες δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στην δύναμη κοπής – δύναμη Fz. Ανάλογα με το Measuring time που χρησιμοποιήθηκε το κάθε αρχείο μπορεί να περιέχει διαφορετικό πλήθος μετρήσεων.

Διπλωματική	Measuring time	Sampling rate	Samples per channel
2006-Anagnostou	5	1000	5001
2006-Demenegas	5	1000	5001
2007-Koullapis	3	1000	3001
2009-Kravvaritis	3	1000	3001
2009-Patsidis	3	1000	3001
2011-Lazaros	4	1000	4001
2011-Vasilopoulos	4	1000	4001
2012-Koutromanos	4	1000	4001
2012-Patsidis	4	1000	4001

Πίνακας 8: Measuring time, Sampling rate και Samples per channel ανάλογα με την διπλωματική εργασία

5.3. Ο κώδικας της διπλωματικής

Για τον κώδικα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση Python(x,y) 2.7. η οποία είναι γραμμένη έτσι ώστε να βοηθάει προγραμματιστές, οι οποίοι ασχολούνται με επιστημονικά και μηχανικά ζητήματα. Έχει όλα τις επιστημονικές βιβλιοθήκες της Python και είναι κατάλληλη για τον κώδικα που γράφτηκε αφού είναι φτιαγμένη για μαθηματικούς υπολογισμούς, ανάλυση και απεικόνιση στοιχείων – δεδομένων.

Αρχικά στον κώδικα πρέπει να οριστεί ο φάκελος, root directory (rootdir στον κώδικα), από τον οποίο το πρόγραμμα παίρνει τις μετρήσεις. Αφού οριστεί, η Python μπορεί να ανοίξει τον φάκελο και να διαβάσει ότι αυτός περιέχει (στο συγκεκριμένο σημείο τα ονόματα των διπλωματικών εργασιών από τα οποία πήραμε τις μετρήσεις των δυνάμεων της κοπής πετρωμάτων). Όσες σειρές ξεκινάνε με το σύμβολο # θεωρούνται ως σχόλια και δεν αποτελούν εντολές του κώδικα.

```
#opening raw_data file to get the directories or Thesis
folder_list = []
for folder in os.listdir(rootdir):
    if os.path.isdir(folder):
        folder_list.append(folder)
print(folder_list)
```

Αφού ανοιχτεί ο φάκελος – folder, ο οποίος στην συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται η κάθε διπλωματική εργασία διαβάζονται όλες τα αρχεία για κάθε ένα διαφορετικό δοκίμιο μέσα στην διπλωματική.

```
for folder in folder_list:
    print(folder)
    file_list = os.listdir(folder)
```

Αφού ανοιχτεί το αρχείο – file, το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται το κάθε δοκίμιο που χρησιμοποιήθηκε διαβάζονται όλες οι διαφορετικές οι πρώτες 20 σειρές ώστε να παρθούν σημαντικές πληροφορίες για την μέτρηση όπως Sampling rate, Measuring time και Samples per channel.

Μετά διαβάζονται και οι υπόλοιπες σειρές του κάθε αρχείου από τις οποίες παίρνονται οι πληροφορίες για τις δυνάμεις που ασκούνται κατά την κοπή (Fx, Fy, Fz). Από αυτές τις δυνάμεις όπως αναφέρθηκε και πρωτύτερα μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στην δύναμη κοπής Fz για την οποία αφού διαβαστούν όλες οι τιμές που μετρήθηκαν γράφονται σε ένα καινούριο αρχείο txt (ανάλογα με το Sampling rate που έχει το κάθε αρχείο διαβάζονται και ανάλογες τιμές για την κάθε δύναμη).

```

#opening Samples
infile = open(os.path.join(folder, file))
#setting the values going to be used
headerlines = []
sampling_rate = -1
measuring_time = -1
samples_per_channel = -1
#reading lines from Sample till line 20
headerlines = infile.readlines()[:20]
#setting Sampling rate as line 10
sampling_rate = headerlines[10]
#setting Sampling rate as line 11
measuring_time = headerlines[11]
#setting Sampling rate as line 15
samples_per_channel = headerlines[15]
infile.close()

#opening Samples
infile = open(os.path.join(folder, file))
#setting the values going to be used
datalines = []
#reading lines from Sample from line 21 and on
datalines = infile.readlines()[21:]
#setting the lists going to be used as null
timepoint, Fx, Fy, Fz = [], [], [], []
for dataline in datalines:
    #splitting the lines to give the right values
    data = dataline.split()
    #adding timepoint as the first column
    timepoint.append(float(data[0]))
    #adding Fx as the second column
    Fx.append(float(data[1]))
    #adding Fy as the third column
    Fy.append(float(data[2]))
    #adding Fz as the forth column
    Fz.append(float(data[3]))
infile.close()

```

Οι δυνάμεις Fz αφού διαβαστούν, γράφονται σε ένα καινούριο αρχείο txt, για να αποθηκευτούν για περαιτέρω επεξεργασία, αν είναι αναγκαίο, μιας και οι δυνάμεις αυτές είναι οι δυνάμεις κοπής που ασκούνται στο πέτρωμα.

```
#making new file (outfile) with the Fz values
#name of the new file
fn = 'Fz-' + file
with open(os.path.join(f, fn), 'w') as outfile:
    #writing a column with all Fz lines in the file
    for item in Fz:
        outfile.write("{}\n".format(item))
```

Οι καταγραφές των δυνάμεων μπορούν να χωριστούν σε τέσσερα τμήματα, για να είναι πιο εύκολη η διαχείριση τους. Αναλυτικότερα τα τέσσερα αυτά τμήματα είναι:

1. Τμήμα noise: Είναι το πρώτο τμήμα, όπου οι καταγραφές αντιστοιχούν στο θόρυβο του συστήματος καταγραφής. Δεν είναι πάντοτε σίγουρο ότι πράγματι έχει καταγραφεί, διότι ενδέχεται από κακό χειρισμό η καταγραφή να άρχισε μετά τη θέση του εργαλειοφορέα σε κίνηση. Ωστόσο, φαίνεται ότι συνήθως τουλάχιστον τα πρώτα 0.2 seconds αντιστοιχούν σε αυτό το τμήμα. Φαίνεται οι τιμές της δύναμης κοπής να κυμαίνονται αρμονικά στα 15-25 Newton.
2. Τμήμα transient: Είναι το δεύτερο τμήμα, όπου οι καταγραφές αντιστοιχούν σε δυνάμεις που αναπτύσσονται από την επιτάχυνση του εργαλειοφορέα. Υπάρχουν διακριτές καταγραφές της δύναμης κοπής που ξεπερνούν τα 35 Newton. Ωστόσο, εάν ο εργαλειοφορέας δεν εκκινείται από το νεκρό σημείο της διαδρομής του, αλλά καλύπτει μικρό διάστημα προς τα πίσω πριν κατευθυνθεί προς το δοκίμιο, αυτές οι καταγραφές δεν αντιστοιχούν ακριβώς στην εκκίνηση και απαιτείται επιπλέον επεξεργασία. Φαίνεται αυτό το τμήμα να διαρκεί περίπου 1.1-1.3 seconds.
3. Τμήμα contact: Είναι το τρίτο τμήμα, όπου οι καταγραφές αντιστοιχούν σε δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την επαφή του κοπτικού με το δοκίμιο. Η έναρξη είναι σαφέστατα διακριτή διότι απότομα αυξάνει η δύναμη κοπής από τις μερικές δεκάδες Newton σε τιμές πάνω από τα 500 Newton. Αντίστοιχα διακρίνεται και το πέρας της επαφής, όπου οι τιμές επανέρχονται στα επίπεδα του τμήματος noise. Αυτό το τμήμα δεν έχει σταθερή διάρκεια διότι αυτή εξαρτάται από το μήκος του δοκιμίου.
4. Τμήμα cut: Είναι υποσύνολο του τμήματος contact. Ως cut θεωρούμε την «καθαρή» κοπή, δηλαδή το contact μετά την αφαίρεση των μεταβατικών φαινομένων στην αρχή και στο τέλος της επαφής.

```
#find pre-contact limit
#row going to be used as a calculator, setting it as 0 at first
row = 0
while ((Fz[row] <= 500) and (row < len(Fz)-1)):
    row = row + 1
if ((Fz500_found == False) and (row > 40)):
```

```

Fz500_row = row
    Fz500_found = True
else:
    TransientStart_row = 'Fz500'

#find transient start
if Fz500_found == True:
    # finding Fz[0, (Fz500 -10)] and naming it Fz_buffer
    Fz_buffer = []
    Fz_buffer = Fz[0:(Fz500_row-10)]
    # calculating minimum in Fz_buffer
    PreContactMin = numpy.min(Fz_buffer)
    # calculating maximum in Fz_buffer
    PreContactMax = numpy.max(Fz_buffer)
    # calculating average in Fz_buffer
    PreContactAvg = numpy.mean(Fz_buffer)
    # calculating standard deviation in Fz_buffer
    PreContactStD = numpy.std(Fz_buffer)

    if ((Fz500_row > 1200) and (PreContactMax > 30)):
        row = 0
        while ((Fz[row] <= 30) and (row <= Fz500_row-10)):
            row = row + 1
        while ((Fz[row] > PreContactAvg) and (row > 1)):
            row = row - 1
        TransientStart_row = row
        TransientStart_time = timepoint[row]
        TransientStart_found = True

#find contact start
row = Fz500_row
while ((Fz[row] > PreContactAvg) and (row > 1)):
    row = row - 1
ContactStart_row = row
ContactStart_time = timepoint[row]

```



```

#setting transient end
    TransientEnd_row = ContactStart_row - 10
    TransientEnd_time = timepoint[(row-10)]

#find contact end
    BufferStart = row + 50
    BufferLength = 150
    BufferEnd = BufferStart + BufferLength
    Fz_buffer = Fz[BufferStart:BufferEnd]
    BufferAvg = numpy.mean(Fz_buffer)

    row = BufferEnd
    while ((row < len(Fz)-1) and (BufferAvg > PreContactAvg+3*PreContactStD)):
        Fz_buffer = Fz[(row-BufferLength):row]
        BufferAvg = numpy.mean(Fz_buffer)
        row = row + 1
    if (BufferAvg <= PreContactAvg+3*PreContactStD):
        ContactEnd_found = True
        ContactEnd_row = row - BufferLength
        ContactEnd_time = timepoint[(row-BufferLength)]
    else:
        ContactEnd_row = '-EOF-'

```

Ο κώδικας ψάχνει να βρει την πρώτη εγγραφή στην Fz που έχει τιμή μεγαλύτερη από 500 Newton. Εάν η εγγραφή αυτή είναι στις πρώτες 40 εγγραφές εγκαταλείπεται η διαδικασία με κατάλληλο μήνυμα. Υπολογίζεται max, average, min και stdev (standard deviation) για τις τιμές των γραμμών από 0 έως Fz500 -10 και αποθηκεύονται τις τιμές στις μεταβλητές PreContactMax, PreContactAvg, PreContactMin, PreContactStDev αντίστοιχα. Εάν ισχύει ότι η γραμμή που βρέθηκε η τιμή Fz500 να είναι μετά τις πρώτες 1200 μετρήσεις δεν εντοπίζεται transient και δηλώνεται ως FindTransientStart = "FALSE". Εάν είναι PreContactMax < 30 δεν εντοπίζεται transient και δηλώνεται ως FindTransientStart = "FALSE". Στην συνέχεια ο κώδικας ψάχνει να βρει την πρώτη εγγραφή στην Fz που έχει τιμή μεγαλύτερη από 30 Newton. Ξεκινώντας από τη γραμμή, στην οποία βρήκε την εγγραφή και πηγαίνοντας προς τα πίσω (προς το 0) ψάχνει να βρει την πρώτη εγγραφή στην Fz που έχει τιμή μικρότερη από PreContactAvg. Αποθηκεύει τη (γραμμή+1) στη μεταβλητή Transientstart_row και δηλώνεται ως FindTransientStart = "TRUE". Ξεκινώντας από τη γραμμή FzOver500N_row και πηγαίνοντας προς τα πίσω (προς το 0) ψάχνει να βρει την πρώτη εγγραφή στην Fz που έχει τιμή μικρότερη από PreContactAvg.

Αποθηκεύει τη (γραμμή + 1) στη μεταβλητή Contactstart_row. Ως TransientEnd_row ορίζεται η γραμμή, η οποία βρίσκεται 10 γραμμές πίσω από την ContactStart_row. Για να βρεθεί η γραμμή ContactEnd_row χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος. Αρχίζοντας 50 γραμμές μετά τη γραμμή ContactStart_row και για το διάστημα των επόμενων 150 γραμμών υπολογίζεται η μέση τιμή των εγγραφών Fz και αποθηκεύεται στην μεταβλητή BufferAvg. Όταν η τιμή της μεταβλητής αυτής είναι μικρότερη ή ίση από το άθροισμα PreContactAvg + 3 * PreContactStD τότε ορίζεται ως ContactEnd_row η γραμμή στην οποία υπολογίστηκε η μεταβλητή BufferAvg αφαιρώντας 150. Η σχέση PreContactAvg + 3 * PreContactStD χρησιμοποιείται γιατί σύμφωνα με τα μαθηματικά στην κανονική κατανομή το άθροισμα της μέσης τιμής και τρεις φορές η τυπική απόκλιση αντιπροσωπεύει περίπου το 99,7% των τιμών.

Όσον αφορά το τμήμα cut για να βρεθεί πρέπει πρώτα να σχεδιαστούν τα διαγράμματα Fz χρόνου και πάνω σε αυτά θα υπολογιστεί το τμήμα. Ο κώδικας διαβάζοντας όλες τις τιμές Fz και χρόνου δημιουργεί τα διαγράμματα πάνω στα οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το τμήμα cut των μετρήσεων αφαιρώντας τα μεταβατικά φαινόμενα στην αρχή και στο τέλος της επαφής (τμήμα contact).

```
def cutting():
    cut_region= str(section_B.getRegion())
    QMessageBox.information(layout, "Message", "Section A Region is %s" %
cut_region)

    ## get data for section B
    def update():
        label.setText(section_B.getRegion())
    #generate layout
    app = QtGui.QApplication([])

    win = pg.GraphicsWindow()
    win.setWindowTitle('Fz - time plot')
    label = pg.LabelItem(angle=90)
    win.addItem(label)
    # Enable antialiasing for prettier plots
    pg.setConfigOptions(antialias=True)
    p8 = win.addPlot(title="Force (N) vs Time (s)")
    p8.plot(x=timepoint, y=Fz, pen=(255,255,255,200))
    p8.showGrid(x=1, y=1, alpha=0.5)

    section_A = pg.LinearRegionItem(values=[0.210,1.610],brush='#00336650')
    section_A.setZValue(1)
    p8.addItem(section_A, ignoreBounds=True)
```

```

layout = pg.LayoutWidget()
    layout.setWindowTitle("")
    layout.addWidget(win, row=1, col=0)
    but = QtGui.QPushButton('save cut',layout)
    but.setToolTip('Click to save cut region after manual trimming!')
    but.clicked.connect(cutting)
    but.resize(but.sizeHint())
    but.move(100, 80)
    layout.addWidget(but, row=2, col=0)
    #layout.resize(640,480)
    layout.show()

    ## loop for section range
    section_B.sigRegionChanged.connect(update)

    # create an exporter instance, as an argument give it
    # the item you wish to export
    exporter = pg.exporters.ImageExporter(p8)
    # set export parameters if needed
    exporter.parameters()['width'] = 480
    # save to file
    plotname = re.sub(r'\.txt$', "", file)
    plotname = plotname + '.png'
    exporter.export(os.path.join(p, plotname))

    ## Start Qt event loop unless running in interactive mode or using pyside.
    if __name__ == '__main__':
        import sys
        if (sys.flags.interactive != 1) or not hasattr(QtCore, 'PYQT_VERSION'):
            QtGui.QApplication.instance().exec_()

```

Τέλος ο κώδικας δημιουργεί και ένα καινούριο αρχείο txt, το οποίο περιέχει το όνομα της διπλωματικής, το δοκίμιο πάνω στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις και τις τιμές που υπολογίστηκαν ως Transient Start και Contact Start.

Συνοπτικά ο κώδικας έχει ως είσοδο τα αρχεία των μετρήσεων όπως αυτά πάρθηκαν από το μηχάνημα και παράγει ως έξοδο ένα αρχείο txt με τις πληροφορίες που ζητούνται και τα διαγράμματα Fz – χρόνου από τα οποία ο ερευνητής έχει την δυνατότητα να διαλέγει το τμήμα cut. Όπως αναφέρθηκε, φαίνεται στα αρχεία των μετρήσεων ότι το μηχάνημα συνέχισε να μετράει τις δυνάμεις και μετά την κοπή (περίπου κοντά στα 3 seconds στα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν), όλες αυτές οι μετρήσεις δεν αφορούν την διαδικασία και δεν παίρνονται υπόψη για τα αποτελέσματα, όπως και το αρχικό τμήμα noise. Τα τμήματα που είναι πιο σημαντικά στην ανάλυση που γίνεται είναι το τμήμα transient και το τμήμα cut. Στόχος όλης αυτής της διαδικασίας είναι η ανάλυση των μετρήσεων έτσι ώστε από ένα αρχείο με αριθμούς που ήταν στην αρχή να πάρει μια μορφή που δίνει στον χρήστη τις πληροφορίες που χρειάζεται γρήγορα και αποτελεσματικά χωρίς να σπαταλάει χρόνο σε χρονοβόρες διαδικασίες που μπορούν εύκολα να αυτοματοποιηθούν με την βοήθεια του κώδικα. Ο συγκεκριμένος κώδικας γραμμένος στην γλώσσα προγραμματισμού Python έχει την δυνατότητα να τρέχει σε διάφορα λογισμικά και έχει την δυνατότητα για εύκολη επεξεργασία ή βελτίωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: **Συμπεράσματα**

6. Συμπεράσματα

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάλυση και η επεξεργασία των εργαστηριακών μετρήσεων της δύναμης κοπής πετρωμάτων, με κύριο σκοπό την αποτελεσματική και γρήγορη επεξεργασία του μεγάλου πλήθους των μετρήσεων.

Βασιζόμενοι στις υπάρχουσες θεωρίες για τις κοπές πετρωμάτων και σε εργαστηριακές μετρήσεις που έγιναν παλαιότερα στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων του Ε.Μ.Π. κύριο πρόβλημα ήταν η ανάλυση των μετρήσεων ώστε να μπορούν να γίνουν κατανοητές από τον ερευνητή και να του δίνουν τις πληροφορίες που θέλει, δηλαδή τη δύναμη κοπής που ασκείται στο πέτρωμα από το εκάστοτε κοπτικό κατά τη διάρκεια της κοπής. Η διαδικασία που έπρεπε να γίνει για την επεξεργασία τους, όμως ήταν χρονοβόρα κυρίως λόγω του μεγάλου πλήθους των μετρήσεων από το μηχάνημα. Παρόλο που δεν έγινε εφικτή η αυτοματοποίηση ολόκληρης της διαδικασίας επιτεύχθηκε σε ένα βαθμό ο αρχικός στόχος και η επεξεργασία των μετρήσεων πλέον μπορεί να γίνει πολύ γρήγορα και αποτελεσματικά. Γρήγορα, γιατί με τον κώδικα που αναπτύχθηκε ο υπολογιστής χρειάζεται μόνο μερικά δευτερόλεπτα για να διαβάσει όλες τις μετρήσεις των δυνάμεων στο κάθε δοκίμιο και να υπολογίσει αυτά που ζητήθηκαν και αποτελεσματικά γιατί σε σύγκριση με τα υπάρχοντα αποτελέσματα στο εργαστήριο οι διαφορές ήταν μηδαμινές με αποτέλεσμα να υπάρχει μια βεβαιότητα ότι ο κώδικας λειτουργεί και σωστά.

Στην σημερινή εποχή, όπου υπάρχουν διάφορα σύγχρονα λογισμικά που απλοποιούν τις διαδικασίες και διευκολύνουν τον χρήστη για την συγκεκριμένη διπλωματική έγινε χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python. Οι κύριοι λόγοι που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη γλώσσα ήταν ότι η Python είναι μια ευρέως διαδεδομένη υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού, εύκολη στην εκμάθηση και συντήρηση της, ανοιχτού κώδικα με γρήγορη ανάπτυξη εφαρμογών και υψηλού επιπέδου δομές δεδομένων.

Ο τελικός κώδικας χρειάζεται απλά σαν είσοδο ένα αρχείο με τις μετρήσεις, όπως αυτές πάρθηκαν από το μηχάνημα του εργαστηρίου, χωρίς καμιά επεξεργασία και διαβάζοντας τις τιμές αυτές δημιουργεί τα διαγράμματα δύναμης κοπής F_z – χρόνου που είναι αναγκαία για να βρεθεί το τμήμα cut των μετρήσεων από το οποίο θα υπολογιστεί και η δύναμη κοπής που ασκείται στο κάθε πέτρωμα από το εκάστοτε κοπτικό εργαλείο. Εύκολος στην χρήση ακόμη και από άτομα που δεν έχουν εξοικείωση με τον προγραμματισμό, δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα πολύ γρήγορα και την δυνατότητα στον ερευνητή να μην σπαταλήσει χρόνο σε υπολογιστικές διαδικασίες και να ασχοληθεί με τα υπόλοιπα αντικείμενα της μελέτης του.

Σαφώς και ο κώδικας μπορεί να υποστεί βελτιώσεις που θα κάνουν την διαδικασία πιο απλή και πιο γρήγορη και θα δίνουν την δυνατότητα στον ερευνητή – χρήστη να παίρνει περισσότερες πληροφορίες από τις μετρήσεις, αλλά με την παρούσα διπλωματική εργασία έγινε ένα πρώτο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση.

Βιβλιογραφία

1. Swaroop C H. (2005). *A Byte of Python*. Retrieved from <http://www.swaroopch.com/notes/python>
2. Python Software Foundation. (2010). *Python Language Reference, version 2.7*. Available at <http://www.python.org>.
3. Python Software Foundation. (2014). *Python 2.7.8 documentation*. Retrieved from <https://docs.python.org/2>
4. Λεβεντάς, Δ. (2008). *TasPython*. Ανάκτηση από Οδηγός Python Μέσω Παραδειγμάτων: <http://python.org.gr>
5. Mark Lutz. (2013) *O Reilly Learning Python 5TH edition*
6. Robert John Fowell. University of Leeds, U.K. *The Mechanics of Rock Cutting*
7. Yuichi Nishimatsu. University of Tokyo, Japan *Theories of Rock Cutting*
8. Αναγνώστου Β (2006). *Προσδιορισμός του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής ιζηματογενών πετρωμάτων*. Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
9. Κουτρομάνος Δ (2012). *Εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης ασβεστολίθου περιοχής Καρδίτσας με μηχανικά μέσα*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
10. Κ. Χριστόπουλος (Αθήνα 2014), *Ανάπτυξη κώδικα σε περιβάλλον GIS για τον υπολογισμό του Βαθμού Μεταβολής Αναγλύφου από επιφανειακές εκμεταλλεύσεις*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
11. Γ. Παναγιώτου (Αθήνα 2003), «*Μηχανική Εξόρυξη των Πετρωμάτων*» Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος εξόρυξη πετρωμάτων II.
12. Γ. Παναγιώτου και Θ. Μιχαλακόπουλος (Αθήνα 2007), «*Συστήματα Φόρτωσης – Μεταφοράς και Μηχανικός Εξοπλισμός Μεταλλείων*»
13. Σημειώσεις του μαθήματος Εξόρυξης I (Εξόρυξη με εκρηκτικές ύλες), 7ο εξάμηνο
14. Σημειώσεις του μαθήματος Εξόρυξης II (Εξόρυξη με μηχανικά μέσα), 8ο εξάμηνο
15. Ιστοσελίδα <http://www.python.org>

Οι μετρήσεις των δυνάμεων κοπής που χρησιμοποιήθηκαν στον κώδικα, πάρθηκαν από τις συγκεκριμένες διπλωματικές εργασίες:

1. Αναγνώστου Β (2006). *Προσδιορισμός του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής ιζηματογενών πετρωμάτων*. Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 170.
2. Βασιλόπουλος Ν (2011). *Εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης ασβεστόλιθου περιοχής Τρίπολης με μηχανικά μέσα*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 220.
3. Δεμένεγας Β (2006). *Εργαστηριακός προσδιορισμός της ειδικής ενέργειας εκσκαφής ασβεστόλιθου της Αττικής*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 139.
4. Κουλλαπής Α, Χρυσοστόμου Μ (2007). *Εκτίμηση της δύναμης κοπής ασβεστόλιθου από της μηχανικές ιδιότητές του*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 162.
5. Κουτρομάνος Δ (2012). *Εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης ασβεστόλιθου περιοχής Καρδίτσας με μηχανικά μέσα*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 195.
6. Κραββαρίτης Η (2009). *Εργαστηριακός προσδιορισμός της ειδικής ενέργειας κοπής ασβεστόλιθου στο λατομείο Κεραμίδας της ΧΑΛΥΨ Α.Ε*. Διπλωματική Εργασία,

- Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 178.
7. Λάζαρος Σ (2011). *Εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης ασβεστόλιθου περιοχής Πρεβέζης με μηχανικά μέσα*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 236.
 8. Πατσίδης Γ (2009). *Εργαστηριακός προσδιορισμός της ειδικής ενέργειας κοπής λατερίτη και ασβεστόλιθου από το μεταλλείο του Αγ. Ιωάννη της Λάρκο Α.Ε.* Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 178.
 9. Πατσίδης Γ (2012). *Εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης ορθογνέσιου Ικαρίας με μηχανικά μέσα*. Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 184.