



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Σύγκριση δύο μεθόδων σχεδιασμού ανατίναξης υπογείων μετώπων
μορφής στοάς

Διπλωματική Εργασία

Μισέλ Μπου Χαμπίμπ



Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Εξαδάκτυλος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Κωνσταντίνος Κομνίτσας, Καθηγητής

Δόκτωρ Παντελής Λιόλιος

Χανιά

Μάρτιος, 2019

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό, ερευνητικό ή εκπαιδευτικό σκοπό με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν σε άλλη χρήση της εργασίας θα πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτήν την εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει και να συγκρίνει τις τεχνικές διαφορές μεταξύ δύο μεθόδων σχεδιασμού ανατίναξης υπόγειων μετώπων σε μορφή στοάς, παράλληλης διάταξης διατρημάτων. Αυτή της κλασσικής Σουηδικής μεθόδου κατά Holmberg με μέθοδο προεκσκαφής των τεσσάρων τετραγώνων και της Νορβηγικής μεθόδου (N.T.N.U). Η Νορβηγική μέθοδος εκπονήθηκε στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πολυτεχνείου της Νορβηγίας, στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής του Shokrollah Zare για την απλοποίηση των υπολογιστικών διαδικασιών σχεδιασμού ανατίναξης υπόγειων μετώπων.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο μεθόδων θα διευκολύνουν τον εκάστοτε μηχανικό στην σωστή επιλογή μεθόδου ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου και τους στόχους που του έχει ανατεθεί (π.χ. για μέτωπα εξόρυξης ή για τεχνικά έργα). Διότι θα αναδείξουν τα θετικά και τα αρνητικά στοιχεία της καθεμίας από αυτές, αλλά και θα του δώσουν τη δυνατότητα να διαμορφώσει στέρεα επιχειρήματα για τον λόγο επιλογής της κάθε μίας.

Ο τρόπος με τον οποίο εξήχθησαν τα αποτελέσματα, ήταν πρώτα με τον καθορισμό συγκεκριμένων σταθερών και παραμέτρων όπως για παράδειγμα οι διαστάσεις του θεωρητικού μετώπου, το μήκος διάτρησης, το διαμέτρημα των διατρητικών στελεχών κ.τ.λ., τον καθορισμό των εξεταζόμενων μεταβλητών και στην συνέχεια την επίλυση θεωρητικών παραδειγμάτων.

Πρόλογος

Για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Εξαδάκτυλο για την συνεργασία του στην επιλογή του κατάλληλου θέματος βάσει του ενδιαφέροντός μου και για την πνευματική καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής της. Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κομνίτσα για τις εύστοχες παρατηρήσεις επί της δομής της διπλωματικής.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον βοηθό Δρ. Παντελή Λιόλιο. Ο οποίος αποτέλεσε την σημαντικότερη πηγή πληροφοριών και βοήθειας κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας, αφιερώνοντας πολύ χρόνο, προσοχή και καθοδήγηση παρά τον φόρτο εργασιών και προσωπικών του υποχρεώσεων.

Τέλος, θα ήθελα να επισημάνω πως ευχαριστώ θερμά τους σημαντικότερους ανθρώπους που μου επέτρεψαν με την συνεισφορά και την ενθάρρυνσή τους να σπουδάσω και έμμεσα ή άμεσα συνέβαλαν στην διευκόλυνση της σταδιοδρομίας μου ως φοιτητή. Δεν είναι κανείς άλλος παρά από τους γονείς μου Ουαλίντ και Σταυρούλα, την αδερφή μου Σοφία και τον θείο μου Σπύρο. Αλλά και όλους τους υπόλοιπους φίλους και γνωστούς που συνεισέφεραν με τον δικό τους τρόπο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	ii
Πρόλογος.....	iii
Κατάλογος Εικόνων και Πινάκων.....	vi
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	vii
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 2. Νορβηγική μέθοδος ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς NTNU.....	4
2.1 Γεωλογία και δείκτης ευκολίας ανατίναξης πετρώματος Δ.Ε.Α.Π (SPR).....	4
2.2 Σχεδιασμός αρχικής κοπής.....	6
2.2.1 Απαραίτητος κενός χώρος διατρημάτων ανακούφισης(κενά διατρήματα).....	7
2.2.2 Απόσταση κενού-γομωμένου διατρήματος(d_g).....	8
2.2.3 Λοιπά διατρήματα αρχικής κοπής.....	9
2.3 Θεωρητική ειδική διάτρηση και όγκος.....	10
2.4 Παράγοντας εργατικό επίπεδο.....	11
2.5 Συντελεστής K_{bl}	11
2.6 Θεωρητικός αριθμός διατρημάτων.....	11
2.7 Διατρήματα δαπέδου.....	13
2.8 Διατρήματα Περιγράμματος (Contour).....	14
2.8.1 Διατρήματα σειράς πλησιέστερης στο περίγραμμα.....	14
2.9 Διατρήματα κύριας παραγωγής/διεύρυνσης.....	15
2.10 Πίνακες εύρεσης τιμών Φορτίου, Απόστασης διατρημάτων και επιφάνειας F_s	15
2.11 Παράμετροι τοποθέτησης προεκσκαφής.....	17
2.12 Βήματα σχεδιασμού ανατίναξης μετώπου.....	17
2.13 Γόμωση διατρημάτων.....	18
2.13.1 Επιγόμωση και επισημάνσεις.....	18
2.13.2 Γόμωση περιγράμματος και περιγράμματος στα τοιχώματα.....	21
2.14 Χρόνοι ανατίναξης.....	22

Κεφάλαιο 3. Σουηδική μέθοδος ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς (Holmberg)..... 24

3.1 Σύγκριση εκρηκτικών υλών.....	28
3.2 Προχώρηση.....	31
3.3 Σχεδιασμός Προεκσκαφής.....	33
3.3.1 Φορτίο στο 1ο Τετράγωνο προεκσκαφής.....	33
3.3.2 Γραμμική πυκνότητα γόμωσης στο πρώτο τετράγωνο.....	34
3.3.3 Σταθερά πετρώματος c	35
3.3.4 Δεύτερο τετράγωνο προεκσκαφής.....	35
3.4 Διατρήματα Δαπέδου.....	39
3.5 Συντελεστής Περιορισμού (f).....	41
3.6 Διατρήματα κύριας παραγωγής/διεύρυνσης.....	41
3.7 Διατρήματα περιγράμματος.....	42

Κεφάλαιο 4. Παραδείγματα μεθόδων ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς..... 44

4.1 Παράδειγμα Νορβηγικής μεθόδου ανατίναξης υπόγειου μετώπου μορφής στοάς με διάμετρο διατρημάτων 48mm και φυσίγγια.....	45
4.1.1 Δεδομένα.....	45
4.1.2 Σχετικός θεωρητικός αριθμός διατρημάτων.....	45
4.1.3 Σχεδιασμός αρχικής κοπής.....	45
4.1.4 Διατρήματα δαπέδου (Invert).....	49
4.1.5 Περίγραμμα (contour).....	50
4.1.6 Διατρήματα κύριας παραγωγής/ διέυρυνσης.....	52
4.1.7 Πίνακας αποτελεσμάτων και ειδική κατανάλωση.....	54
4.2 Παράδειγμα Σουηδικής μεθόδου ανατίναξης υπόγειου μετώπου μορφής στοάς με διάμετρο διατρημάτων 48mm και φυσίγγια.....	55
4.2.1 Δεδομένα.....	55
4.2.2 Υπολογισμός Σουηδικής σχέσης βάρους-ισχύος και πυκνότητας γόμωσης φυσιγγίων.....	55
4.2.3 Σχεδιασμός προεκσκαφής.....	56
4.2.4 Διατρήματα Δαπέδου.....	60
4.2.5 Διατρήματα Περιγράμματος.....	61

4.2.6 Διατρήματα κύριας παραγωγής.....	63
4.2.7 Πίνακας αποτελεσμάτων και ειδική κατανάλωση.....	66
4.3 Πίνακες συγκριτικών αποτελεσμάτων.....	67
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα και προτάσεις.....	71
5.1 Γενικά συμπεράσματα των τεχνικών χαρακτηριστικών των διατρημάτων ανά τμήμα ανατίναξης.....	71
5.1.1 Προεκσκαφή.....	71
5.1.2 Διατρήματα δαπέδου-διεύρυνσης.....	72
5.1.3 Διατρήματα περιγράμματος.....	72
5.2 Συμπεράσματα διαφορών στην συνολική Ε.Υ και την πυκνότητα γόμωσης.....	73
5.3 Γενικά συμπεράσματα.....	73
5.4 Προτάσεις περαιτέρω έρευνας.....	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75

Κατάλογος Εικόνων και Πινάκων

Εικόνα 1.1 (σελίδα 1)	Πλάγια τομή και κάτοψη παραδείγματος διατρημάτων κοπής υπό γωνία
Εικόνα 1.2 (σελίδα 2)	Παράδειγμα διατρημάτων παράλληλης κοπής
Εικόνα 1.3 (σελίδα 3)	Τομή τυπικής διάταξης τομέων ανατίναξης μετώπου στοάς για Σουηδική και Νορβηγική μέθοδο.
Εικόνα 3.1 (σελίδα 28)	Σχέδιο παρουσίασης σωστής σχεδίασης διατρημάτων πλησίον του περιγράμματος για ελαχιστοποίηση της ρωγμάτωσης στο περίγραμμα.
Εικόνα 3.2 (σελίδα 32)	Τυπική διάταξη διατρημάτων με την μέθοδο τεσσάρων τετραγώνων με ένα κενό μεγάλο διάτρημα.
Εικόνα 3.3 (σελίδα 36)	Γεωμετρία φορτίου ανατίναξης προς ελεύθερο επίπεδο μέτωπο
Εικόνα 3.4 (σελίδα 37)	Σχηματική παρουσίαση της απόκλισης της θέσης διατρημάτων στο μέτωπο και στον πυθμένα των διατρημάτων
Εικόνα 3.5 (σελίδα 40)	Γεωμετρία ανατίναξης διατρημάτων δαπέδου. Κάτοψη (αριστερά) και πρόσοψη (δεξιά)
Εικόνα 4.1 (σελίδα 49)	Τελικό σχέδιο διάταξης των διατρημάτων και

	της σειράς των χρόνων ανατίναξης στην προεκσκαφή με την Νορβηγική μέθοδο
Εικόνα 4.2 (σελίδα 53)	Τελικό σχήμα διάταξης της θέσης των διατρημάτων και της σειράς των χρόνων ανατίναξης στο μέτωπο με την Νορβηγική μέθοδο
Εικόνα 4.3 (σελίδα 59)	Τελικό σχέδιο διάταξης της θέσης και της σειράς των χρόνων ανατίναξης των διατρημάτων στην προεκσκαφή με την μέθοδο των τεσσάρων τετραγώνων
Εικόνα 4.4 (σελίδα 65)	Τελικό σχήμα διάταξης της θέσης και της σειράς των χρόνων ανατίναξης των διατρημάτων στο μέτωπο με την Σουηδική μέθοδο
Πίνακας 2.1 (σελίδα 6)	Τιμές SPR για διάφορα γεωλογικά δείγματα δοκιμασμένα στο εργαστήριο του Νορβηγικού Πολυτεχνείου.
Πίνακας 2.2 (σελίδα 8)	Απόσταση κενού - γομωμένου διατρήματος
Πίνακας 2.3 (σελίδα 16)	Τιμές φορτίου, απόσταση μεταξύ διατρημάτων και επιφάνεια διατρημάτων κύριας παραγωγής για γομωμένο διάτρημα 48mm.
Πίνακας 2.4 (σελίδα 16)	Τιμές φορτίου, απόστασης μεταξύ διατρημάτων και επιφάνεια για γομωμένο διάτρημα 64mm.
Πίνακας 3.1 (σελίδα 29)	Διάφορες τιμές βάρους-ισχύος για μερικά εκρηκτικά.
Πίνακας 4.1 (σελίδα 54)	Τελικά αποτελέσματα παραδείγματος Νορβηγικής μεθόδου ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς
Πίνακας 4.2 (σελίδα 66)	Τελικά αποτελέσματα παραδείγματος Σουηδικής μεθόδου ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς
Πίνακας 4.3 (σελίδα 67)	Πίνακας τιμών αριθμού διατρημάτων, φορτίου και απόστασης μεταξύ διατρημάτων για την Νορβηγική μέθοδο
Πίνακας 4.4 (σελίδα 68)	Πίνακας τιμών αριθμού διατρημάτων, φορτίου και απόστασης μεταξύ διατρημάτων για την Σουηδική μέθοδο Holmberg
Πίνακας 4.5 (σελίδα 68)	Τιμές σύγκρισης ειδικής κατανάλωσης, ειδικής διάτρησης, αριθμού διατρημάτων και προχώρησης ανά μέθοδο
Πίνακας 4.6 (σελίδα 69)	Τιμές κοστολόγησης ανατίναξης ανά μέθοδο σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων 4.1 και 4.2

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1 (σελίδα 7)	Απαραίτητος κενός χώρος μεγάλων διατρημάτων.
--------------------------	--

Διάγραμμα 2.2 (σελίδα 9)	Φορτίου-πλάτος πρώτης ελεύθερης επιφάνειας ανατίναξης.
Διαγράμματα 2.3α και 2.3β (σελίδα 10)	Διατρημένα μέτρα (dm) και διατρημένο όγκο (l) ανά κυβικό μέτρο στερεού πετρώματος (sm^3) σε σχέση με την διατομή της επιφάνειας του μετώπου σε τετραγωνικά μέτρα.
Διάγραμμα 2.4 (σελίδα 12)	Αριθμός διατρημάτων για διάτρημα διαμέτρου 48mm.
Διάγραμμα 2.5 (σελίδα 13)	Αριθμός διατρημάτων για διατρήματα διαμέτρου 64mm.
Διάγραμμα 2.6 (σελίδα 19)	Κατανάλωση σε σχέση με τη διατομή μετώπου για φυσίγγια σε διάτρημα 48mm παράλληλης στοίχισης.
Διάγραμμα 2.7 (σελίδα 20)	Κατανάλωση σε σχέση με τη διατομή μετώπου για πετραμμωνίτη σε διάτρημα 48mm παράλληλης στοίχισης.
Διάγραμμα 2.8 (σελίδα 21)	Κατανάλωση σε σχέση με τη διατομή μετώπου για πετραμμωνίτη σε διάτρημα 64mm παράλληλης στοίχισης.
Διάγραμμα 3.1 (σελίδα 24)	Ειδική πυκνότητα γόμωσης σε σχέση με τη επιφάνεια μετώπου υπόγειας στοάς.
Διάγραμμα 3.2 (σελίδα 26)	Μέγιστη ταχύτητα σωματιδίων συναρτήσει της απόστασης και της πυκνότητας γόμωσης για γομωμένο διάτρημα 3m.
Διάγραμμα 3.3 (σελίδα 30)	Παράδειγμα έργου διαστολής συναρτήσει της πίεσης στα αντιδρώντα προϊόντα γαλακτώματος με συστατικά αλουμινίου.
Διάγραμμα 3.4 (σελίδα 31)	Συσχέτιση μήκους διάτρησης με την διάμετρο κενού διατρήματος για 95% προχώρηση.
Διάγραμμα 3.5 (σελίδα 33)	Συσχέτιση μεταξύ πρακτικού φορτίο και διαμέτρου κενού διατρήματος. Για γωνία απόκλισης $<1\%$.
Διάγραμμα 3.6 (σελίδα 43)	Ελάχιστη πυκνότητα γόμωσης για ομαλή ανατίναξη και προτεινόμενη πρακτική διάμετρος διατρήματος για γόμωση NABIT και GURIT
Διάγραμμα 4.1 (σελίδα 69)	Συνολικό διατρημένο μήκος σε σχέση με τον αριθμό κύκλου ανατίναξης
Διάγραμμα 4.2 (σελίδα 70)	Συνολικό βάρος εκρηκτικής ύλης σε σχέση με τον αριθμό κύκλου ανατίναξης

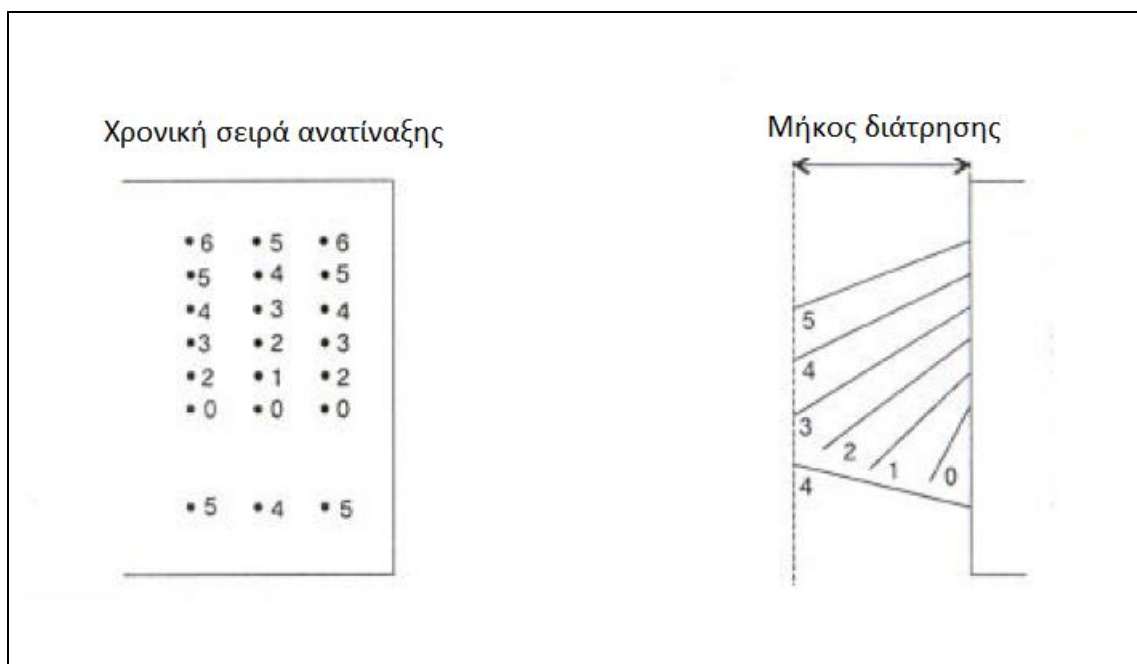
Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

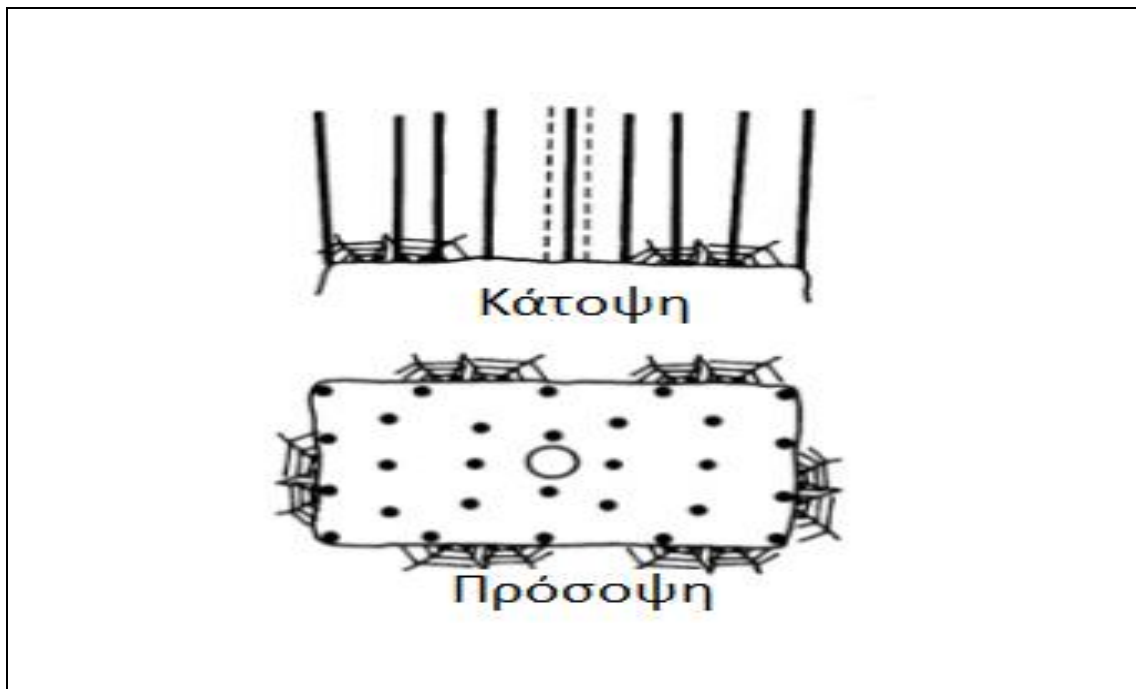
Η τεχνική της διάτρησης – ανατίναξης αποτελεί μια οικονομική και αποτελεσματική λύση για τη διάνοιξη σηράγγων, στοών, φρεάτων, κεκλιμένων κλπ. Η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται από την γεωμετρία της πρώτης ελεύθερης επιφάνειας που θα δημιουργηθεί. Για τον λόγο αυτό η σημαντικότερη διαδικασία είναι ο σωστός σχεδιασμός προεκσκαφής, που είναι και το τμήμα της ανατίναξης γύρω από το οποίο θα αναπτυχθούν τα υπόλοιπα τμήματα της ανατίναξης.

Κύριες κατηγορίες προεκσκαφής:

- Κοπή υπό γωνία (Angle hole cut) (Εικόνα 1.1)
- Παράλληλης κοπής (Parallel hole cut) (Εικόνα 1.2)



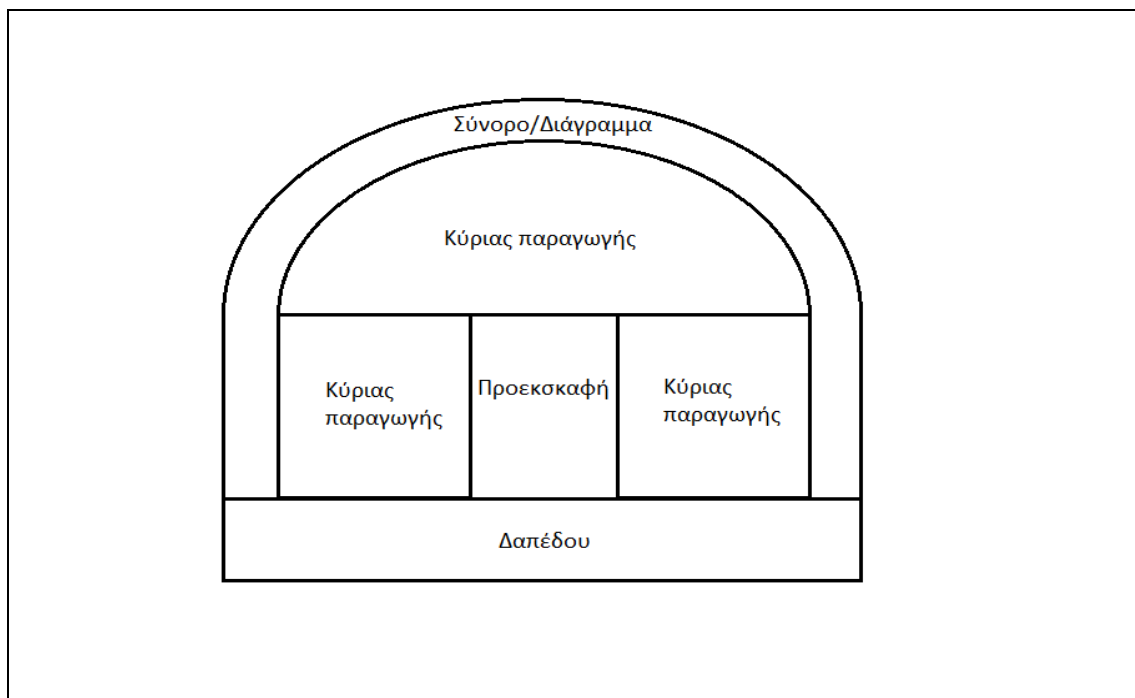
Εικόνα 1.1 Πλάγια τομή και κάτοψη παραδείγματος διατρημάτων κοπής υπό γωνία



Εικόνα 1.2 Παράδειγμα διατρημάτων παράλληλης κοπής

Η προχώρηση διατρημάτων κοπής υπό γωνία εξαρτάται αυστηρά και μόνο από το πλάτος του μετώπου, έχει σχεδόν σταματήσει να χρησιμοποιείται λόγω δυσκολίας σχεδιασμού, διάτρησης και μικρές δυνατότητες προχώρησης (δηλαδή η δυνατότητα προόδου μετά από κάθε κύκλο ανατίναξης). Παράλληλη κοπή είναι η μέθοδος στην οποία τα διατρήματα είναι παράλληλα τοποθετημένα μεταξύ τους αλλά και με τον άξονα της υπόγειας σήραγγας/στοάς (Εικόνα 1.2). Η αρχή αυτής της κατηγορίας είναι η διάνοιξη μικρής διαμέτρου διατρημάτων με ακριβή απόσταση (φορτίο) από την προβλεπόμενη επιφάνεια από ένα ή παραπάνω κενά μεγάλα διατρήματα τα οποία λειτουργούν ως ελεύθερες επιφάνειες κατά την ανατίναξη. Αποτελεί τη συνηθέστερη μέθοδο διάτρησης διατρημάτων λόγω μηχανοποίησης του εξοπλισμού διάτρησης αλλά και των δυνατοτήτων διάτρησης στο επιθυμητό μήκος, όπως και η ευκολία στον σχεδιασμό τους.

Η επιλογή του είδους προεκσκαφής γίνεται βάση του διαθέσιμου διατρητικού εξοπλισμού, το πλάτος μετώπου και την επιθυμητή προχώρηση. Στις μεθόδους σχεδιασμού υπόγειας ανατίναξης μετώπων που θα αναλυθούν παρακάτω θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της παράλληλης διάταξης των διατρημάτων και τα τμήματα της ανατίναξης θα αποτελούνται από την προεκσκαφή, τα διατρήματα κύριας παραγωγής/διεύρυνσης, διατρήματα δαπέδου και περιγράμματος, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3 Τομή τυπικής διάταξης τομέων ανατίναξης μετώπου στοάς για Σουηδική και Νορβηγική μέθοδο

Τα τμήματα της ανατίναξης έχουν τους ακόλουθους ρόλους. Τα διατρήματα κύριας παραγωγής/διεύρυνσης αποτελούν το τμήμα της ανατίναξης όπου ανατινάσσεται ο κύριος όγκος του πετρώματος του μετώπου γύρω από την προεσκαφή. Τα διατρήματα δαπέδου θα σχηματίσουν το τελικό δάπεδο, αφού ανατινάξουν το πέτρωμα στο χαμηλότερο κομμάτι της ανατίναξης, ενώ τα διατρήματα συνόρου θα απομακρύνουν το πέτρωμα κοντά στο περίγραμμα και θα ορίσουν το τελικό ποιοτικό αποτέλεσμα του μετώπου δίνοντας και την τελική μορφή της οροφής και των πλαϊνών τμημάτων της στοάς/σήραγγας.

Κεφάλαιο 2

Νορβηγική μέθοδος ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς N.T.N.U

Η Νορβηγική μέθοδος ανατίναξης υπόγειων μετώπων από τον Shkrollah Zare βασίζεται στα φυσικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του πετρώματος, το μήκος διάτρησης, τα εμπειρικά διαγράμματα-πίνακες και τον δείκτη εμπειρίας του εργατικού προσωπικού για την εκπόνηση σχεδίου ανατίναξης υπόγειου μετώπου μορφής στοάς, για διατρήματα γόμωσης 48 ή 64mm και μεταβλητής διαμέτρου κενού διατρήματος. Ο στόχος της μεθόδου είναι η απλοποίηση και διευκόλυνση του σχεδιασμού του καννάβου διατρημάτων για τον μηχανικό ανατίναξης (Drill and Blast Tunnelling Blast Design report paper 2A-05, Doctoral thesis of Shokrollah Zare, N.T.N.U, 2007).

2.1 Γεωλογία και δείκτης ευκολίας ανατίναξης πετρώματος Δ.Ε.Α.Π (SPR)

Η πρώτη τιμή που προσδιορίζεται για τον χαρακτηρισμό της ευκολίας ανατίναξης του πετρώματος προς ανατίναξη είναι ο δείκτης SPR ή Δ.Ε.Α.Π (Rock Blastability Index, Δείκτης Ευκολίας Ανατίναξης Πετρώματος).

Ο Δ.Ε.Α.Π ορίζεται ως η ευκολία ανατίναξης του πετρώματος με βάση τα φυσικά, μηχανικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά του. Είναι η ποσότητα εκρηκτικής ύλης σε kg/m³ που χρειάζεται για να θρυμματιστεί το πέτρωμα και το 50% του διερχόμενου της κοκκομετρίας θρυμματισμού να είναι κάτω από 250mm (d₅₀).

Ο δείκτης ευκολίας ανατίναξης του πετρώματος προσδιορίστηκε βάση εμπειρικών δεδομένων επιφανειακών ανατινάξεων με χύμα ή σε φυσίγγια εκρηκτική ύλη σε διατρήματα διαμέτρου 2,54cm και ορίζεται από τη (σχέση 2.1).

$$SPR = \frac{0,736 * I_a * LT^{0,7}}{\left(\frac{c}{1000}\right)^{0,4} * \left(\frac{W}{c}\right)^{0,25} * p^{0,2}} \quad (\text{σχέση 2.1})$$

Όπου,

$$C = \frac{(c_p + c_n)}{2} \text{ ταχύτητα διάδοσης ηχητικού κύματος στο πέτρωμα}$$

C_n = ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων κάθετα στην στρώση του πετρώματος

C_p = ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων παράλληλα στη στρώση του πετρώματος

$I_a = \frac{C_p}{C_n}$ ανισοτροπία πετρώματος

W = ταχύτητα ανατίναξης Ε.Υ (m/s)

ρ = πυκνότητα πετρώματος (g/cm³)

LT = Πυκνότητα γόμωσης Ε.Υ ή δασύτητα (ποσότητα Ε.Υ ανά μονάδα όγκου διατρήματος σε g/cm³)

Παράγοντες που μεταβάλλουν την τιμή του Δ.Ε.Α.Π είναι:

- Ανισοτροπία πετρώματος
- Πυκνότητα πετρώματος
- Ορυκτολογία πετρώματος
- Ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων
- Πυκνότητα γόμωσης εκρηκτικής ύλης
- Ταχύτητα ανατίναξης εκρηκτικής ύλης

Κατηγοριοποίηση πετρώματος βάση των τιμών του Δ.Ε.Α.Π:

- $SPR < 0,38$ καλή
- $0,38 < SPR < 0,56$ μέτρια
- $SPR > 0,56$ κακή

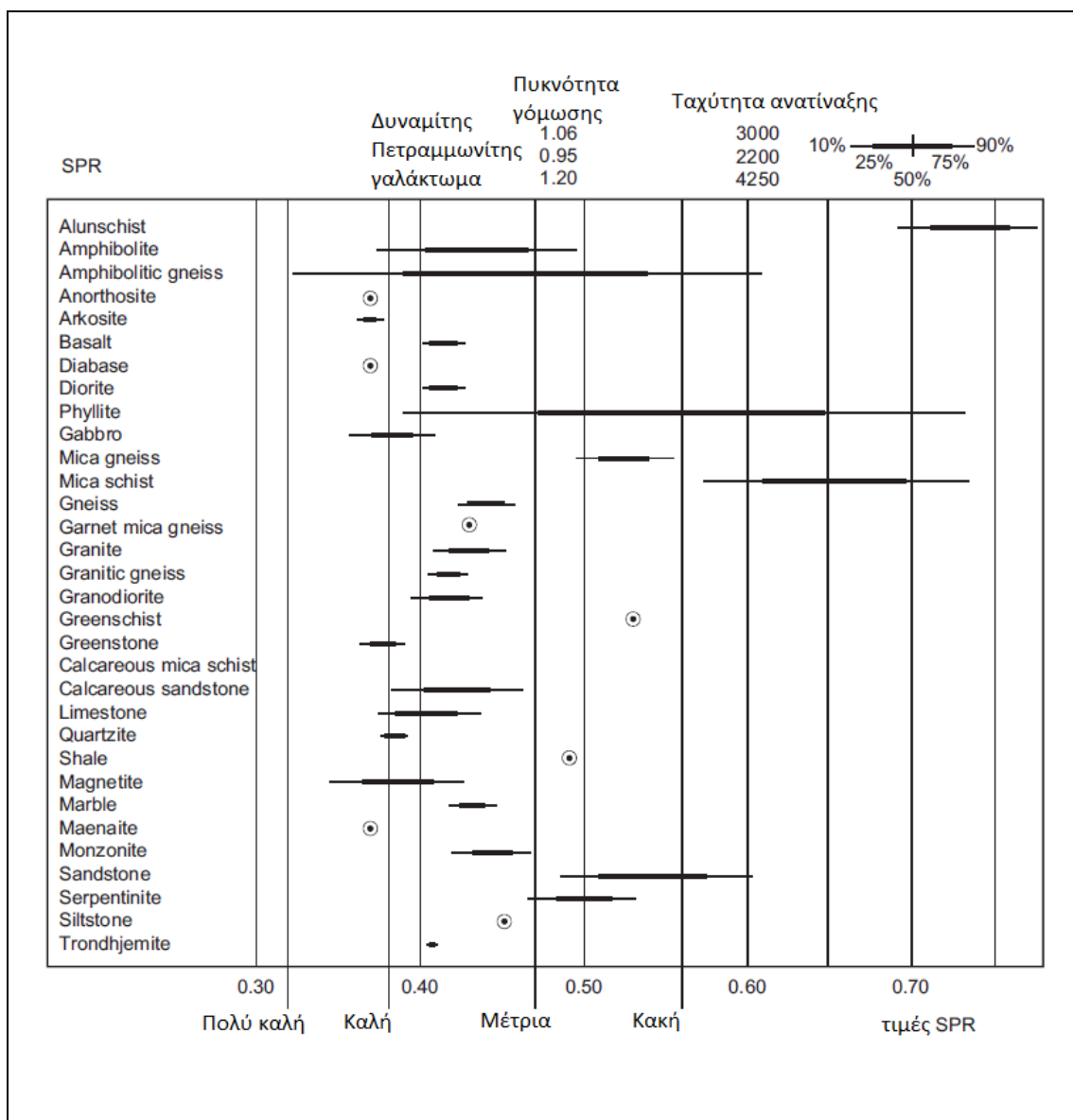
Η κατηγοριοποίηση του δείκτη SPR είναι γενική και απλοποιημένη για καλό ή κακό δείκτη ευκολίας ανατίναξης πετρώματος. Ενδιάμεσες τιμές υπολογίζονται με παρεμβολή από τις ανάλογες καμπύλες των τιμών SPR .

Ο δείκτης SPR μπορεί να απλοποιηθεί για χρήση με εκρηκτικές ύλες τύπου γαλακτώματος (emulsions) με $W=4250$ m/s και $LT=0,9$ g/cm³ σε:

$$SPR = \frac{1,342 * I_a^{0,6}}{c^{0,15} * p^{0,2}} \quad (\text{σχέση 2.2})$$

Προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην ανάλογη μείωση του δείκτη ευκολίας ανατίναξης πετρώματος σε υπόγεια ανατίναξης, διότι έχει καθοριστεί για επιφανειακές ανατινάξεις, όπως επίσης και στην περίπτωση όπου η ρωγμάτωση του πετρώματος είναι υψηλή ή το άνοιγμα τους είναι μεγάλο ή αν η διεύθυνση των ρωγμών είναι παράλληλη με την διεύθυνση του άξονα της στοάς ή σήραγγας.

Πίνακας 2.1 Τιμές SPR για διάφορα γεωλογικά δείγματα δοκιμασμένα στο εργαστήριο του Νορβηγικού Πολυτεχνείου



2.2 Σχεδιασμός αρχικής κοπής

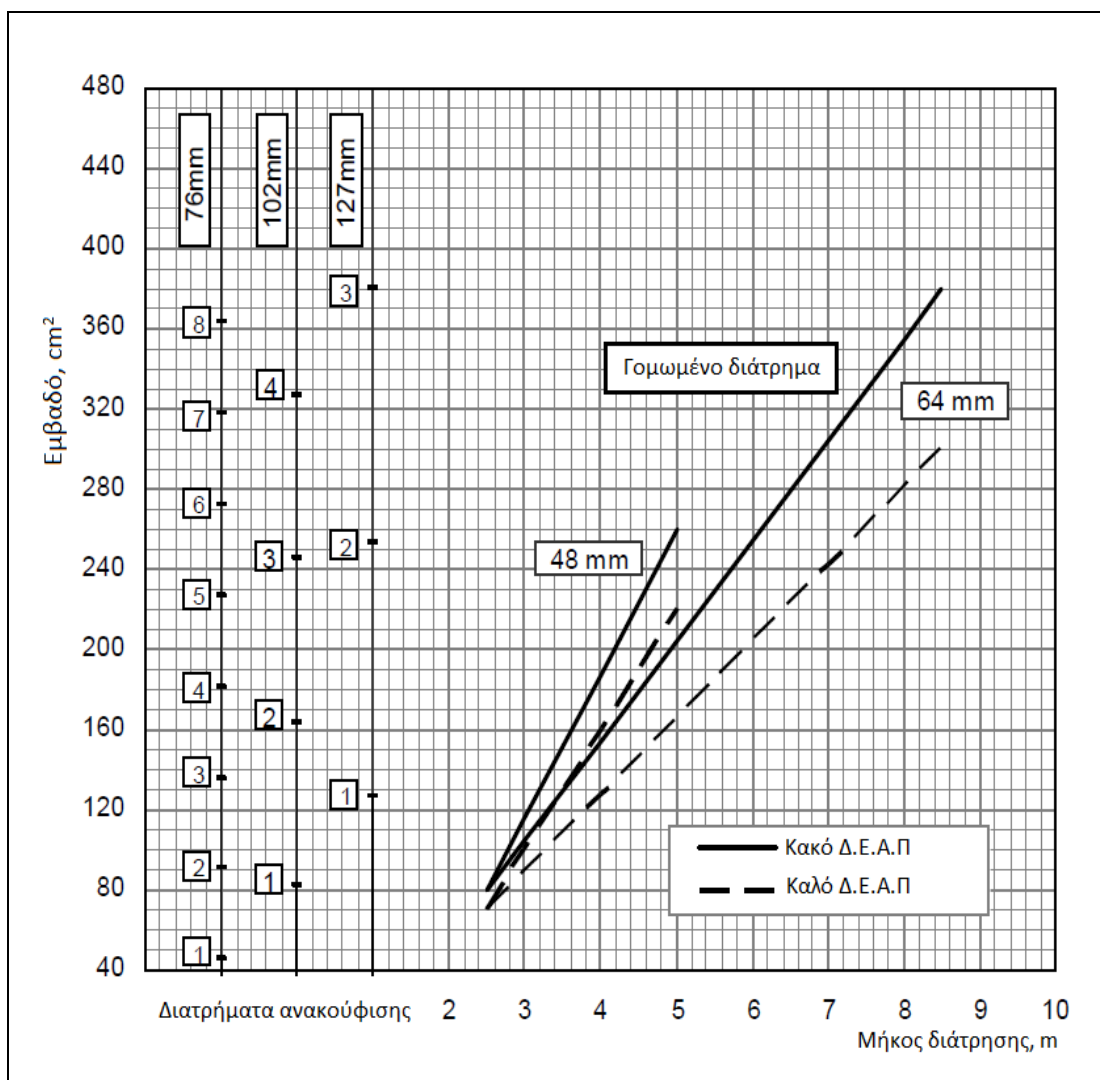
Η χρήση της μεθόδου διατρημάτων παράλληλης κοπής με κενό διάτρημα, ο ακριβής καθορισμός του δείκτη ευκολίας ανατίναξης του πετρώματος (δείκτη SPR), τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μετώπου και ο σωστός συνδυασμός με τις κατάλληλες εκρηκτικές ύλες θα κρίνουν το ποιοτικό αποτέλεσμα της ανατίναξης.

Βασική παράμετρος υπολογισμού είναι:

- Κάθε στάδιο ανατίναξης προϋποθέτει την ύπαρξη αρκετού διαθέσιμου κενού χώρου για διαστολή κατά 80% του σχεδιασμένου προς ανατίναξη συμπαγούς όγκου πετρώματος.

2.2.1 Απαραίτητος κενός χώρος διατρημάτων ανακούφισης (κενά διατρήματα)

Για να μπορέσει να διαρρηχθεί το πέτρωμα, ειδικά στην προεκσκαφή, θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμος κενός χώρος, ο οποίος θα καταληφθεί από τα θραυσμένα ογκοτεμάχια του πετρώματος, αλλά και για την ανάκλαση του εκρηκτικού κύματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση κενών διατρημάτων (χωρίς γόμωση) τα οποία ονομάζονται διατρήματα ανακούφισης. Ο απαραίτητος χώρος των διατρημάτων ανακούφισης δίνεται στο διάγραμμα 2.1.



Διάγραμμα 2.1 Απαραίτητος κενός χώρος μεγάλων διατρημάτων

Στο διάγραμμα 2.1 δίνεται η απαιτούμενη συνολική επιφάνεια των κενών διατρημάτων σε σχέση με το μήκος διάτρησης. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται το πλήθος των κενών διατρημάτων που απαιτούνται για να επιτευχθεί η επιθυμητή επιφάνεια ανάλογα με την διαθέσιμη διάμετρο κενού διατρήματος. Παρουσιάζονται δύο σενάρια. Για γομωμένα

διατρήματα 48mm και για 64mm.. Και στα δύο σενάρια εξετάζεται η περίπτωση καλού και κακού Δ.Ε.Α.Π.

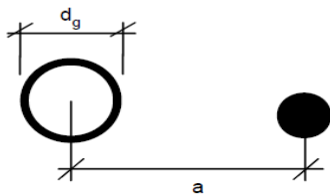
Παρατηρήσεις:

- Μειωμένος κενός χώρος μεγάλων διατρημάτων απαιτεί επιπλέον γομωμένα διατρήματα για την επίτευξη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων
- Το Διάγραμμα 2.1 χρησιμοποιείται ως βάση υπολογισμού, αλλά μετά από δοκιμαστικές ανατινάξεις, θα πρέπει να επανεξετασθεί και να αναπροσαρμοσθεί ο χώρος για τυχόν απόκλιση από το αποτέλεσμα που επιδιώκεται.
- Για ενδιάμεσης ποιότητας πετρώματα το διάγραμμα προσαρμόζεται ανάμεσα στις καμπύλες του Δ.Ε.Α.Π πετρώματος.
- Η στρογγυλοποίηση γίνεται προς τον επόμενο μεγαλύτερο αριθμό διατρημάτων
- Από το διάγραμμα βρίσκεται ο κατάλληλος αριθμός διατρημάτων για τη διευκόλυνση αλλά και εξοικονόμηση χρόνου κατά τη διαδικασία διάτρησης.

2.2.2 Απόσταση κενού-γομωμένου διατρήματος(d_g)

Η απόσταση μεταξύ κενού και πρώτου γομωμένου διατρήματος δίνεται από τον πίνακα 2.2. Οι τιμές απόστασης του παρακάτω πίνακα ορίζονται για ένα πεδίο τιμών φορτίου σχετιζόμενο με τις τιμές γομωμένου διατρήματος και διατρήματος ανακούφισης. Οι τιμές αυτές θα πρέπει να τηρούν την προϋπόθεση απαραίτητου κενού χώρου διαστολής κατά 80% παραπάνω του αρχικού στερεού ανατιναχθέντος όγκου πετρώματος.

Πίνακας 2.2 Απόσταση κενού - γομωμένου διατρήματος

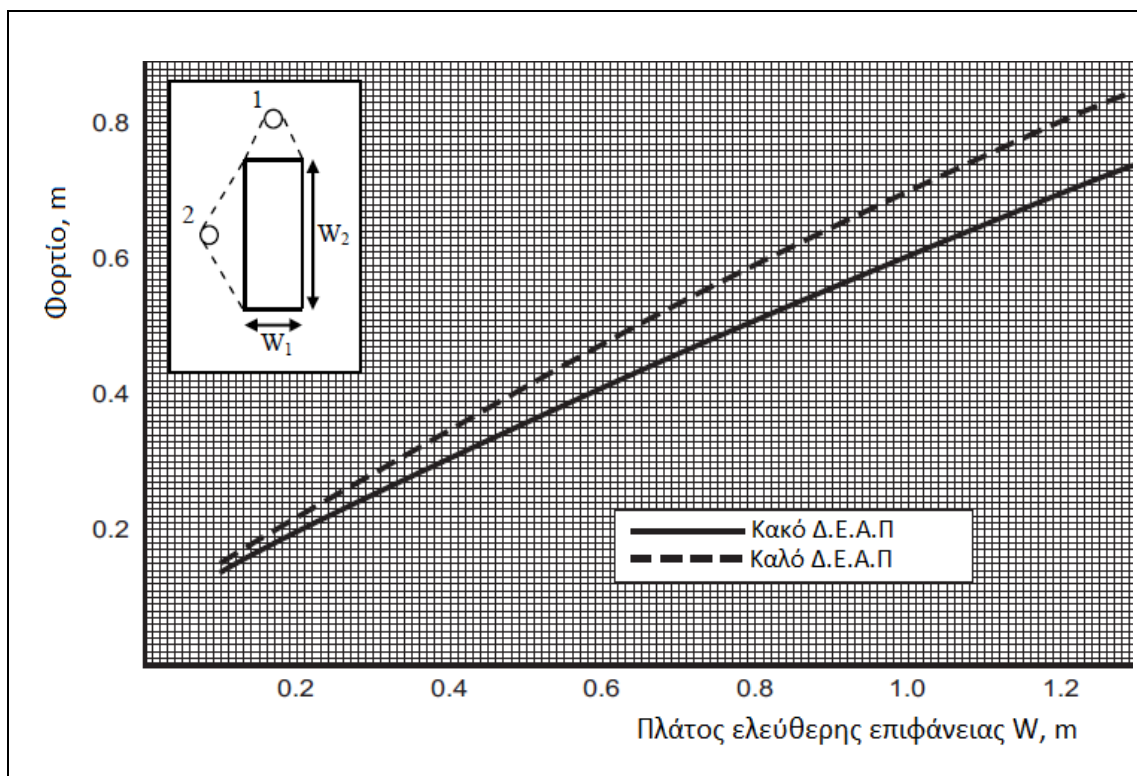
	Γομωμένο διάτρημα, d_h	Κενό διάτρημα, d_g	Απόσταση, a
	48 mm	76 mm 102 mm 127 mm	$1.5 - 2.0 \cdot d_g$
	64 mm	76 mm 102 mm 127 mm	$2.0 - 2.5 \cdot d_g$

Όπου (d_g) η διάμετρος κενού διατρήματος και (a) η απόσταση μεταξύ των κέντρων

Σε περίπτωση που δεν ικανοποιείται η προϋπόθεση, τότε αλλάζουμε την τιμή (a), εντός του πεδίου τιμών απόστασης που δίνονται, ώστε να αποφευχθεί πλαστική παραμόρφωση ή αποτυχής ανατίναξη.

2.2.3 Λοιπά διατρήματα αρχικής κοπής

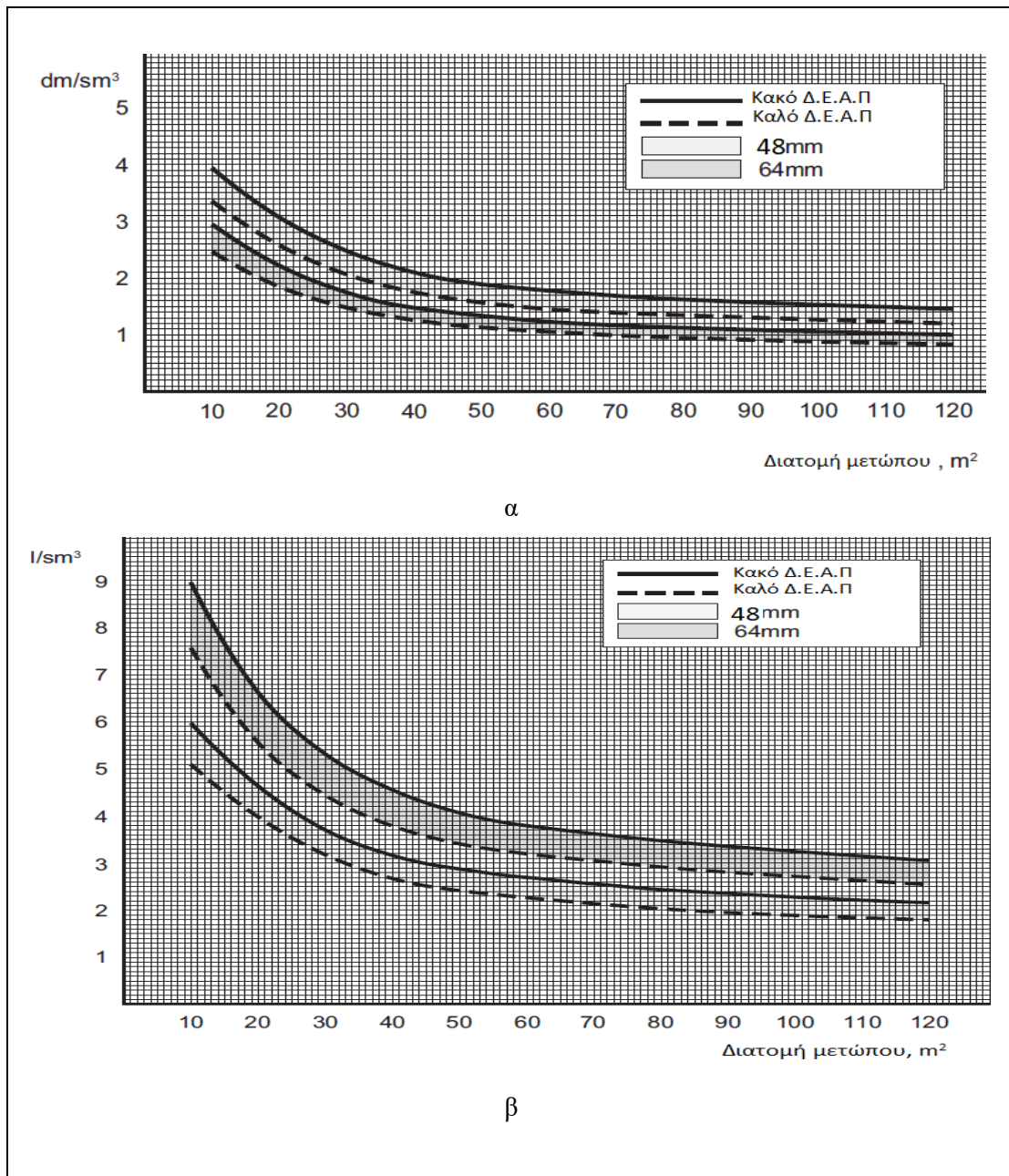
Το φορτίο στα υπόλοιπα διατρήματα υπολογίζεται βάση της πρώτης ελεύθερης επιφάνειας ανατίναξης στην κάθετη απόσταση από το γομωμένο διάτρημα. Οι τιμές φορτίου καθορίζονται από το διάγραμμα 2.2. Στον οριζόντιο άξονα αποτυπώνεται το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας, ενώ στον κατακόρυφο, το φορτίο. Στο εικονίδιο του διαγράμματος 2.2 φαίνονται οι αντίστοιχες ελεύθερες επιφάνειες W_1 και W_2 . Στο διάγραμμα φαίνονται δύο σενάρια, πέτρωμα καλού Δ.Ε.Α.Π και πέτρωμα κακού Δ.Ε.Α.Π, Για ενδιάμεσες τιμές Δ.Ε.Α.Π οι καμπύλες προσαρμόζονται με γραμμική παρεμβολή.



Διάγραμμα 2.2 Φορτίου-πλάτους πρώτης ελεύθερης επιφάνειας ανατίναξης

2.3 Θεωρητική Ειδική διάτρηση και όγκος

Ειδική διάτρηση ορίζεται ο λόγος του συνολικού μήκους διάτρησης των διατρημάτων προς το γινόμενο της επιφάνειας του μετώπου επι της προχώρησής του για κάθε κύκλο ανατίναξης μετώπου. Στα διαγράμματα 2.3α και 2.3β μπορούμε να προσδιορίσουμε τα θεωρητικά διατρημένα μέτρα (dm) και τον διατρημένο όγκο (l) ανά κυβικό μέτρο στερεού πετρώματος (sm^3) σε σχέση με τη διατομή της επιφάνειας του μετώπου.



Διαγράμματα 2.3α και 2.3β Διατρημένα μέτρα (dm) και διατρημένο όγκο (l) ανά κυβικό μέτρο στερεού πετρώματος (sm^3) σε σχέση με τη διατομή της επιφάνειας του μετώπου σε τετραγωνικά μέτρα.

Για ενδιάμεσες τιμές στα διαγράμματα χρησιμοποιούμε γραμμική παρεμβολή. Επιπλέον, η προχώρηση αναμένεται να είναι στο 90% για διατρήματα 48mm και 96% διατρήματα 64mm.

2.4 Παράγοντας εργατικό επίπεδο (ε.ε)

Στην μέθοδο αυτή λαμβάνεται υπόψιν ο παράγοντας επιπέδου, ικανότητας και δυναμικότητας χειριστού διατρητικού φορείου και γομωτού – πυροδότη, το οποίο μπορεί να κρίνει την ποιότητα των εργασιών διάτρησης-γόμωσης. Στη μέθοδο αυτή υπάρχουν δύο τιμές στην κλίμακα επιπέδου εργατικού δυναμικού, υψηλό και χαμηλό. Υψηλό εργατικό επίπεδο επιτυγχάνεται όταν χρησιμοποιούνται:

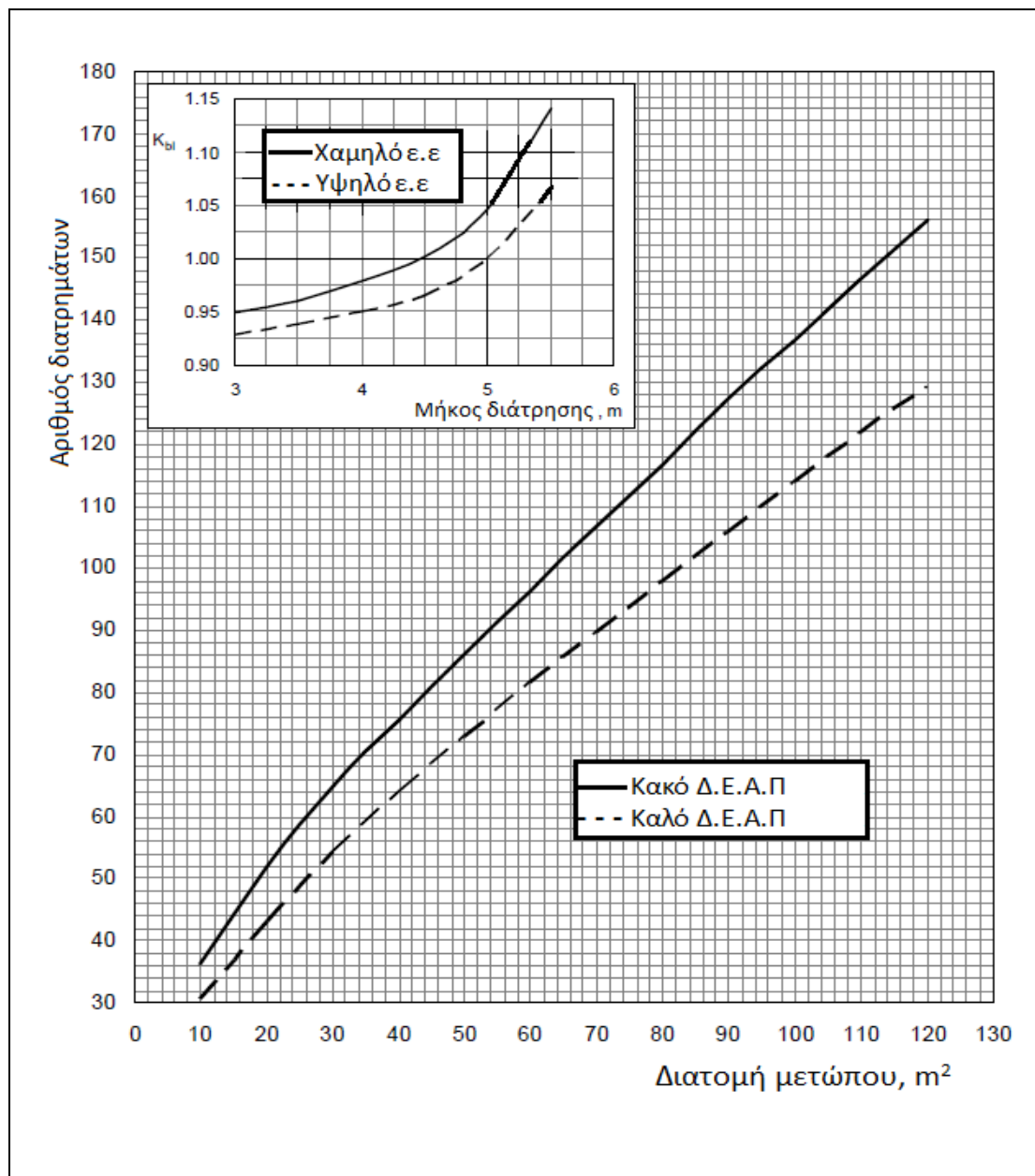
- Αυτοματοποιημένα μηχανικά συστήματα διάτρησης και γόμωσης
- Δυναμικό εργατικό πλήρωμα
- Δυναμική οργάνωση ή εταιρεία

2.5 Συντελεστής K_{bl}

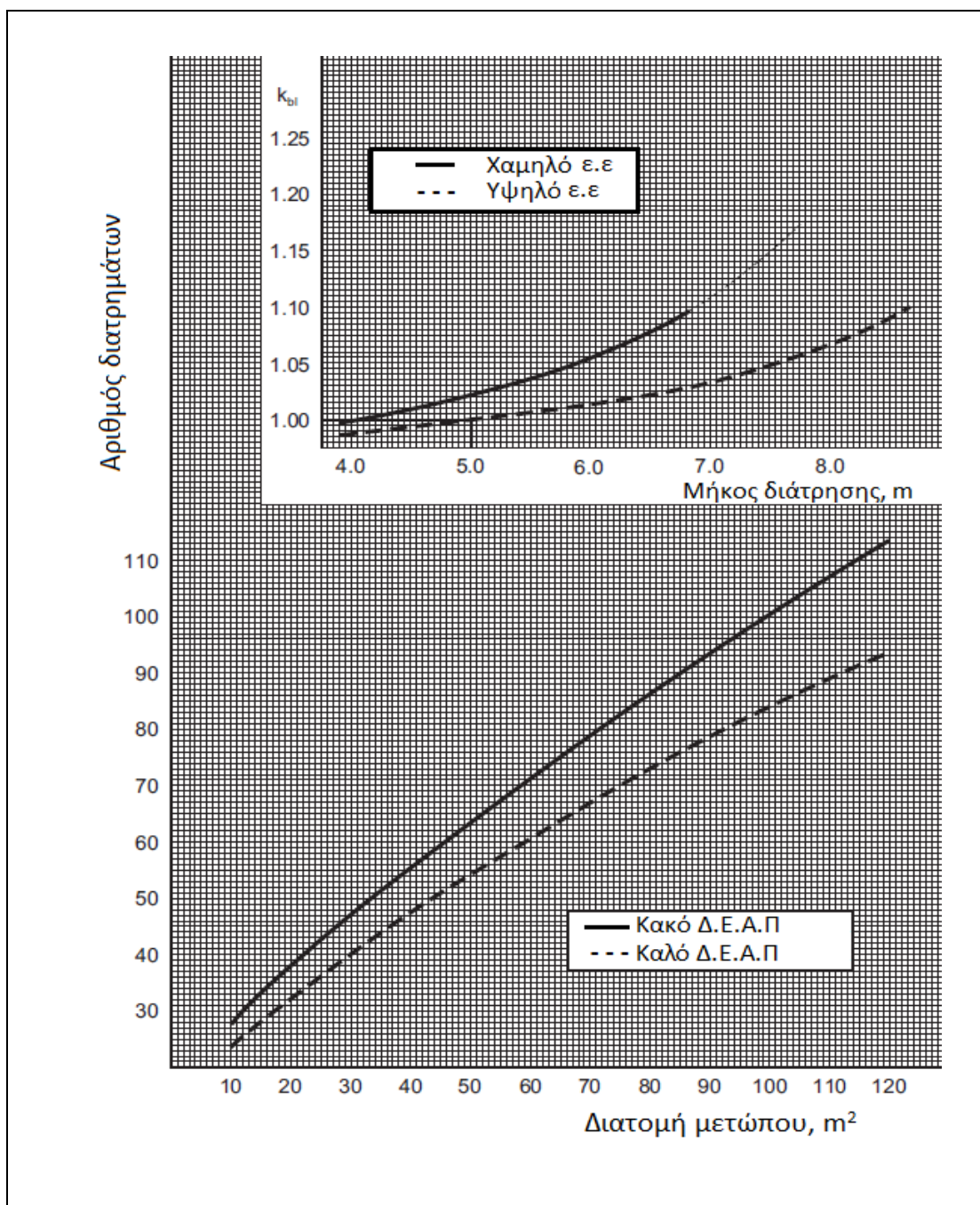
Ο συντελεστής K_{bl} είναι διορθωτικός συντελεστής που δίνεται μαζί με κάθε διάγραμμα και υπολογίζεται συναρτήσει του μήκους διάτρησης και του εργατικού επιπέδου. Χρησιμοποιείται για τη διόρθωση των τιμών του αριθμού διατρημάτων και πυκνότητας γόμωσης για μήκος διάτρησης άλλης των πέντε μέτρων όπου η τιμή του συντελεστή είναι ίση με ένα. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, ο συντελεστής πολλαπλασιάζεται με την εκάστοτε τιμή που δίνεται από το αντίστοιχο διάγραμμα ή με την αντίστοιχη σχέση που τον περιέχει, όπως για παράδειγμα στην σχέση 2.3.

2.6 Θεωρητικός αριθμός διατρημάτων

Στα διαγράμματα 2.4 και 2.5 δίνεται ο θεωρητικός αριθμός γομωμένων διατρημάτων για διάμετρο διατρημάτων 48 και 64mm αντίστοιχα για μέτωπα γνωστών διαστάσεων. Αποτελεί μια προσεγγιστική θεωρητική και καθοδηγητική τιμή συνολικού αριθμού διατρημάτων ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την απόκλιση μεταξύ θεωρητικής και πραγματικής τιμής.



Διάγραμμα 2.4 Αριθμός διατρημάτων για διάτρημα διαμέτρου 48mm, όπου ε.ε=εργατικό επίπεδο



Διάγραμμα 2.5 Αριθμός διατρημάτων για διατρήματα διαμέτρου 64mm, όπου ε.ε.=
εργατικό επίπεδο

2.7 Διατρήματα δαπέδου

Η παρέκκλιση στα διατρήματα δαπέδου θα πρέπει να είναι ίδια με του περιγράμματος.

Ο αριθμός διατρημάτων δαπέδου δίνεται από τη σχέση 2.3. Η απόσταση μεταξύ τους ρυθμίζεται βάση του πίνακα 2.3 ή 2.4 ώστε να δίνεται ακέραιος αριθμός.

$$N = \frac{W + 2 * e}{S_l} + 1 \quad (\text{Σχέση 2.3})$$

όπου,

W = Πλάτος σήραγγας

e = παρέκκλιση στο άκρο του διατρήματος

S_l = Απόσταση μεταξύ διατρημάτων

2.8 Διατρήματα περιγράμματος (Contour)

Στο περίγραμμα πρέπει να δοθεί ειδική προσοχή, διότι από αυτό θα καθοριστεί η ποιότητα του τελικού αποτελέσματος του συνόρου, καθώς και η ευκολία με την οποία θα γίνει η διάτρηση του επόμενου κύκλου ανατίναξης. Η ποιότητα θα εξαρτηθεί από την απόκλιση του σχεδιασμένου από το πραγματικό περίγραμμα και τη μείωση στο ελάχιστο της ζημιάς στο σύνορο. Σημαντικό ρόλο έχει η παρέκκλιση στον πυθμένα του διατρήματος στο τελικό αποτέλεσμα.

Για ρηγματωμένο ή σε στρώσεις πέτρωμα, το φορτίο και οι αποστάσεις μεταξύ των διατρημάτων του περιγράμματος πρέπει να μειώνεται, όταν η διεύθυνση του διατρήματος είναι κάθετη σε αυτό και να αυξάνεται όταν είναι παράλληλη.

Από τον πίνακα 2.3 ή 2.4 θα βρεθούν οι τιμές φορτίου και απόστασης μεταξύ διατρημάτων ανάλογα την τιμή του Δ.Ε.Α.Π.

2.8.1 Διατρήματα σειράς πλησιέστερης στο περίγραμμα

Η πλησιέστερη σειρά στο περίγραμμα προστίθεται για την επίτευξη υψηλής ποιότητας στο τελικό αποτέλεσμα του περιγράμματος, όπως για παράδειγμα σήραγγες οδικής κυκλοφορίας. Υψηλό αποτέλεσμα δεν νοείται μόνο το επιφανειακό αποτέλεσμα του τελικού περιγράμματος αλλά και η τελική ακεραιότητα και σταθερότητα του συνόρου από τις ρωγμές λόγω της ανατίναξης.

2.9 Διατρήματα κύριας παραγωγής/διεύρυνσης

Οι αποστάσεις και τα φορτία διατρημάτων δίνονται στους πίνακες 2.3 και 2.4. Η διόρθωση των τιμών γίνεται βάση του μήκους διάτρησης, το οποίο θα δώσει και την ανάλογη τιμή διορθωτικού συντελεστή k_{bl} .

Η επιφάνεια του κυρίως εξορυσσόμενου όγκου διατρημάτων παραγωγής F_s δίνεται ως σχέση φορτίου και απόστασης, όπως παρουσιάζεται στη σχέση 2.4. Η συνήθης τιμή F_s , είναι 1.2 φορές το φορτίο, αλλά ποικίλλει ανάλογα τη γεωμετρία του μετώπου και τα χαρακτηριστικά του προς ανατίναξη πετρώματος.

$$F_s = \frac{S_s * B_s}{k_{bl}} \quad (\text{Σχέση 2.4})$$

S_s = απόσταση μεταξύ διατρημάτων

B_s = Φορτίο

k_{bl} =Διορθωτικός συντελεστής για μήκος διάτρησης

Σε περίπτωση χρήσης εκρηκτικών του πετραμμωνίτη δίνεται ανοδική κλίση στον πυθμένα του διατρήματος για την αποφυγή προβλημάτων συγκέντρωσης νερού.

2.10 Πίνακες εύρεσης τιμών Φορτίου, απόστασης διατρημάτων και επιφάνειας F_s

Οι πίνακες 2.3 και 2.4 δίνουν τις τιμές φορτίου, την απόσταση μεταξύ των διατρημάτων και της επιφάνειας του κυρίως εξορυσσόμενου όγκου για διατρήματα διαμέτρου 48 και 64mm.

Για το περίγραμμα οι τιμές δίνονται σε διαστήματα, με χαμηλότερες τιμές για μέτωπα 20m² και υψηλότερες για μέτωπα 120m². Οι ενδιάμεσες τιμές καθορίζονται με γραμμική παρεμβολή.

Οι τιμές φορτίου και απόστασης μεταξύ των διατρημάτων δίνεται για τον πυθμένα τους. Στο μέτωπο αφαιρείται η παρέκκλιση.

Για τιμές μήκους διάτρησης διαφορετικής των πέντε μέτρων πρέπει να γίνει χρήση του διορθωτικού συντελεστή k_{bl} .

Πίνακας 2.3 Τιμές φορτίου, απόσταση μεταξύ διατρημάτων και επιφάνεια διατρημάτων
κύριας παραγωγής για γομωμένο διάτρημα 48mm

Τύπος διατρημάτων	Φορτίο , B	Απόσταση μεταξύ διατρημάτων , S
Περίγραμμα Καλό Δ.Ε.Α.Π Κακό Δ.Ε.Α.Π	0.8 - 1.0 m 0.7 - 0.9 m	0.7 - 1.0 m 0.6 - 0.9 m
Σειρά πλησιέστερης περιγράμματος Καλό Δ.Ε.Α.Π Κακό Δ.Ε.Α.Π	1.0 m 0.9 m	1.1 m 1.0 m
Πατώματος Καλό Δ.Ε.Α.Π Κακό Δ.Ε.Α.Π	1.0 m 0.8 m	1.0 m 0.8 m
Κύριας παραγωγής Καλό Δ.Ε.Α.Π Κακό Δ.Ε.Α.Π	$F_s = 1.8 \text{ m}^2$ $F_s = 1.3 \text{ m}^2$	

Πίνακας 2.4 Τιμές φορτίου, απόστασης μεταξύ διατρημάτων και επιφάνεια για γομωμένο
διάτρημα 64mm

Τύπος διατρήματος	Φορτίο , B	Απόσταση μεταξύ , S διατρημάτων
Περίγραμμα Καλό Δ.Ε.Α.Π Κακό Δ.Ε.Α.Π	1.0 - 1.2 m 0.9 - 1.1 m	0.9 - 1.2 m 0.8 - 1.0 m
Σειρά πλησιέστερης περιγράμματος Καλό Δ.Ε.Α.Π Κακό Δ.Ε.Α.Π	1.3 m 1.1 m	1.4 m 1.2 m
Πατώματος Καλό Δ.Ε.Α.Π Κακό Δ.Ε.Α.Π	1.3 m 1.1 m	1.3 m 1.1 m
Κύριας παραγωγής Καλό Δ.Ε.Α.Π Κακό Δ.Ε.Α.Π	$F_s = 2.6 \text{ m}^2$ $F_s = 1.8 \text{ m}^2$	

2.11 Παράμετροι τοποθέτησης προεκσκαφής

Η τοποθέτηση της αρχικής κοπής καθορίζει το αποτέλεσμα σε κατανάλωση Ε.Υ, το μέγεθος τεμαχιδίων, τη συγκέντρωση της σωρού και την ποιότητα του συνόρου.

Αν έχει τοποθετηθεί ψηλά, τότε ο θρυμματισμός είναι καλύτερος αλλά η κατανάλωση Ε.Υ υψηλότερη και η συγκέντρωση αραιή μπροστά από το μέτωπο. Χαμηλή τοποθέτηση οδηγεί σε κακό θρυμματισμό, χαμηλότερη κατανάλωση και καλύτερη κατανομή μεγέθους θραυσμάτων. Δυσκολεύει όμως τη συγκέντρωση της σωρού από τον μηχανικό εξοπλισμό, καθώς συμπιέζεται λόγω της καθοδικής και με δύναμη ρίψης των θραυσμάτων κατά την ανατίναξη. Συνήθης πρακτική είναι η τοποθέτηση στο κέντρο, συμμετρικά ως προς το ύψος του μετώπου.

2.12 Βήματα σχεδιασμού ανατίναξης μετώπου

1. Αξιολόγηση πετρώματος ως προς τον δείκτη ευκολίας ανατίναξης πετρώματος
2. Ορισμός μήκους διάτρησης
3. Καθορισμός σχετικού αριθμού διατρημάτων και ειδικής διάτρησης από τα διαγράμματα 2.4 ή 2.5
4. Καθορισμός τύπου, σχεδίου και θέσης αρχικής κοπής
5. Υπολογισμός του φορτίου, την απόσταση μεταξύ των διατρημάτων, τα διαστήματα του δαπέδου, του συνόρου και της κύριας παραγωγής .
6. Ο αριθμός διατρημάτων σε ένα σχέδιο ανατίναξης δεν θα πρέπει να έχει απόκλιση πάνω από 5% του υπολογισμένου θεωρητικού αριθμού διατρημάτων (βήμα 3)
7. Δοκιμαστική ανατίναξη και αν χρειάζεται, κατάλληλη αναπροσαρμογή σχεδίου για επίτευξη επιθυμητού αποτελέσματος.

2.13 Γόμωση διατρημάτων

2.13.1 Επιγόμωση και επισημάνσεις

Επιγόμωση

Η επιγόμωση (UL) ορίζεται σε σχέση με το μήκος διάτρησης (l_h)

- Διατρήματα πατώματος και προεκσκαφής $UL = 0,1 * l_h$
- Διατρήματα περιγράμματος και διεύρυνσης $UL = 0,3 * l_h$

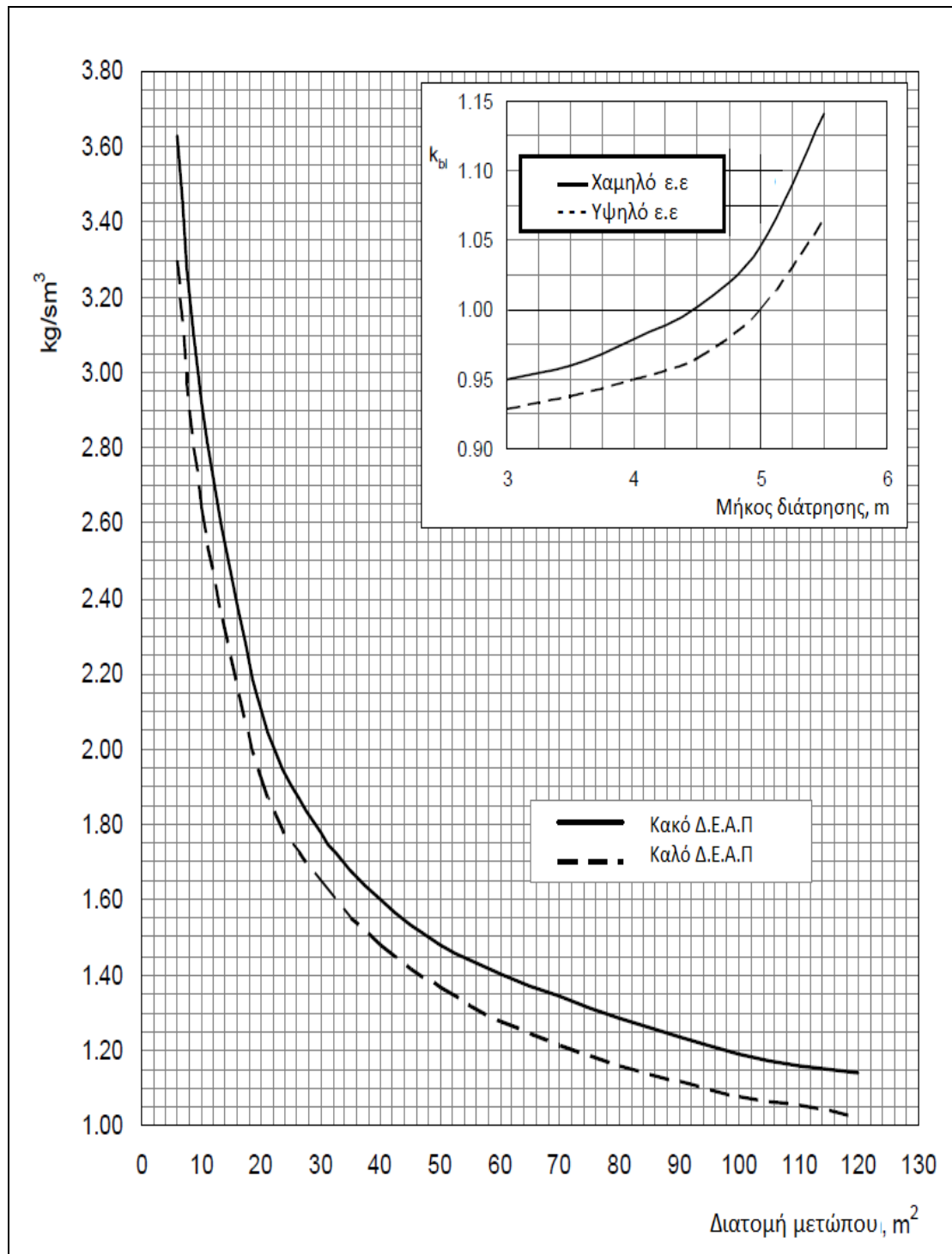
Ιδιαίτερη προσοχή υφίσταται στην τήρηση των ελαχίστων του μήκους επιγόμωσης. Μικρότερο από το ελάχιστο της προτεινόμενης επιγόμωσης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση εκρηκτικών, μεγαλύτερη ποσότητα άκαυτης Ε.Υ και φτωχότερο ποιοτικά εργασιακού περιβάλλοντος λόγω επιβλαβών αερίων και σωματιδίων. Μεγαλύτερο μήκος διάτρησης θα προκαλέσει μικρότερο αποτέλεσμα στο μέγεθος θρυμματισμού και δυσκολία στη μεταφορά του υλικού.

Επισημάνσεις

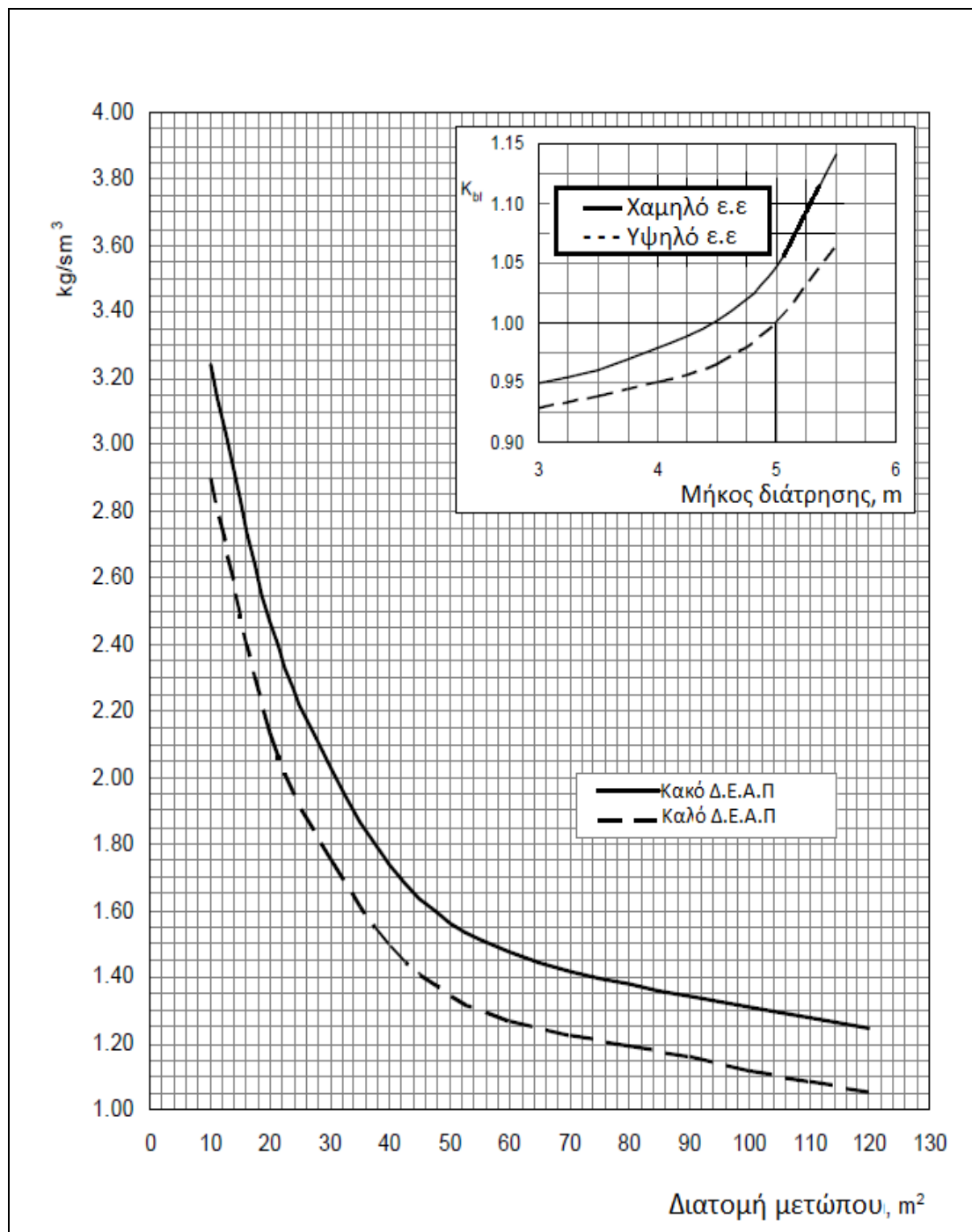
Η κατανάλωση εκρηκτικών παρουσιάζεται στα διαγράμματα 4.1 και 4.3 σε σχέση με το δείκτη ευκολίας ανατίναξης πετρώματος και τη διατομή του μετώπου για γομωμένα διατρήματα 48 και 64mm σε παράλληλη διάταξη.

Στα παρακάτω διαγράμματα πυκνότητας γόμωσης έχει ληφθεί υπόψιν η τοποθέτηση εναυσματικού φυσίγγιου για την περίπτωση χρήσης εκρηκτικού του πετραμμωνίτη καθώς και για εναυσματικά βοηθητικά φυσίγια στο περίγραμμα. Οι τιμές επιπλέον βοηθητικής γόμωσης στον πυθμένα του διατρήματος δεν συμπεριλαμβάνονται.

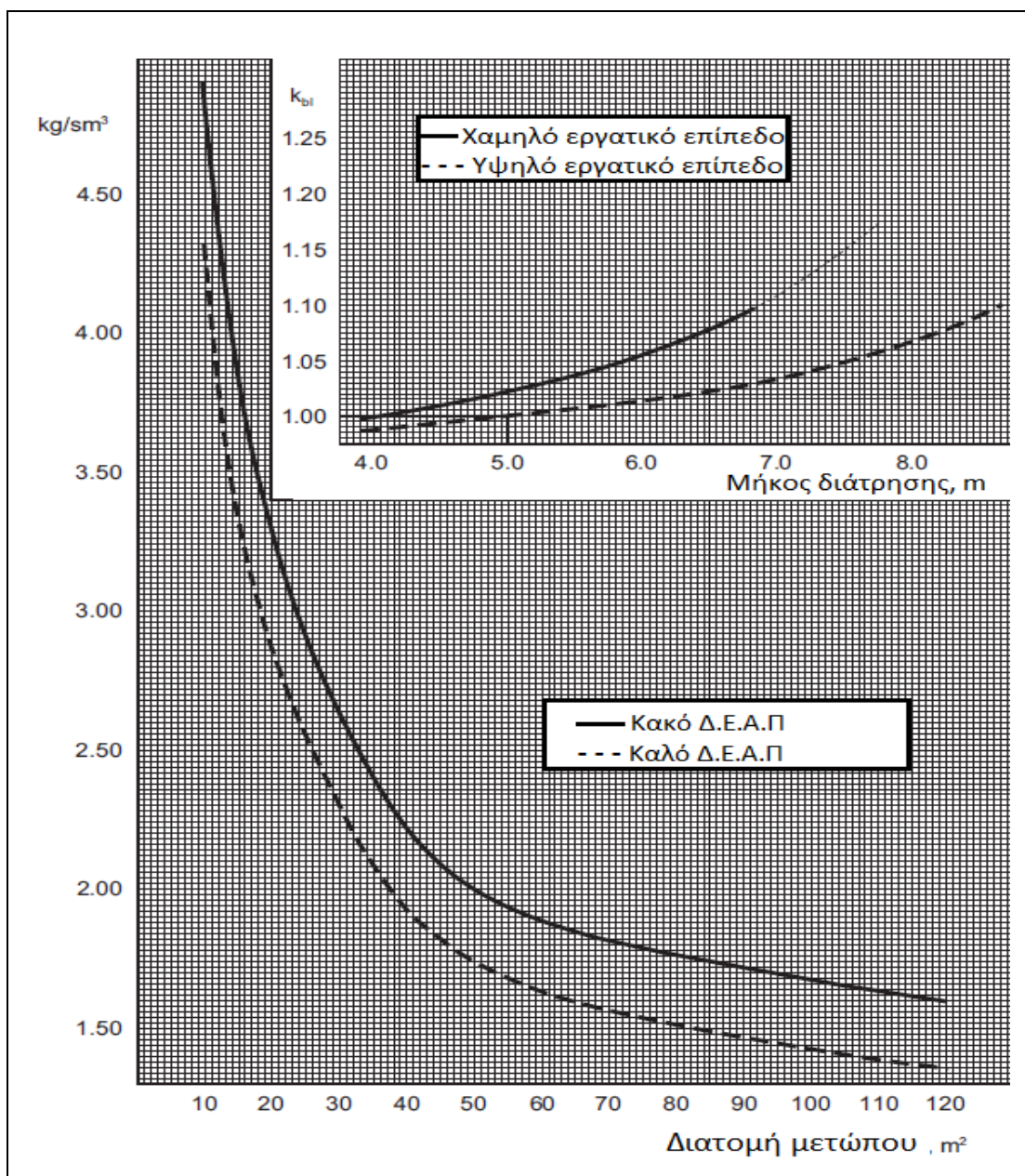
Ως εναυσματικό φυσίγγιο ορίζεται, το μισό φυσίγγιο δυναμίτη διαστάσεων 30x400mm για διάτρημα 48mm και μισό φυσίγγιο 40x400mm για 64mm διάτρημα.



Διάγραμμα 2.6 Κατανάλωση σε σχέση με τη διατομή μετώπου για φυσίγγια σε διάτρημα 48mm παράλληλης στοίχισης, όπου ε.ε=εργατικό επίπεδο



Διάγραμμα 2.7 Κατανάλωση σε σχέση με τη διατομή μετώπου για πετραμμωνίτη σε διάτρημα 48mm παράλληλης στοίχισης, όπου ε.ε=εργατικό επίπεδο



Διάγραμμα 2.8 Κατανάλωση σε σχέση με τη διατομή μετώπου για πετραμμωνίτη σε διάτρημα 64mm παράλληλης στοίχισης.

2.13.2 Γόμωση περιγράμματος και περιγράμματος στα τοιχώματα

Γόμωση περιγράμματος και πλησιέστερης σειράς.

Η χρήση ακαριαίας θρυαλλίδας προτείνεται ως αποτελεσματική μέθοδος για τη γόμωση του περιγράμματος σε χώρες που επιτρέπεται νομικά. Με πυκνότητα γόμωσης για διατρήματα 64mm, 80gr/m ή 40gr/m για μικρότερες από το κανονικό αποστάσεις μεταξύ των διατρημάτων.

Αντίθετα, αν γίνεται χρήση μηχανημάτων γόμωσης εκρηκτικών του πετραμμωνίτη ή γαλακτώματος, τότε μπορούν να αντικαταστήσουν τα φυσίγγια ή την ακαριαία θρυαλλίδα στο περίγραμμα και στη σειρά πλησιέστερη σε αυτή. Η πυκνότητα γόμωσης σε περίπτωση διπλής σειράς περιγράμματος πρέπει να είναι 20-25% λιγότερη στο περίγραμμα και 40-60% λιγότερη στη σειρά πλησιέστερη σε αυτή.

Γόμωση περιγράμματος στα τοιχώματα και δαπέδου

Για να αποφευχθεί διαταραχή στην ποιότητα του συνόρου και για την ασφάλεια και σταθερότητα της σήραγγας ή στοάς, προτείνεται η πλήρης γόμωση στα ακριανά διατρήματα πατώματος και στα χαμηλότερα διατρήματα του περιγράμματος στα τοιχώματα. Τα υπόλοιπα διατρήματα γομώνονται κανονικά.

Προβλήματα νερού

Η ύπαρξη νερού κατά τη χρήση πετραμμωνίτη μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα. Οπότε για την αντιμετώπισή του, γίνεται χρήση πλαστικών σωλήνων οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο διάτρημα και γομώνονται στεγανά με πετραμμωνίτη πριν ή και μετά την εγκατάστασή τους. Οι σωλήνες αυτοί θα πρέπει να είναι μακρύτεροι από το μήκος διάτρησης. Επίσης, σε πετρώματα που η διάτρηση είναι δύσκολη, υπάρχει η περίπτωση να μην μπορούν να εισαχθούν.

2.14 Χρόνοι ανατίναξης

Ο σχεδιασμός των χρόνων ανατίναξης πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε με την πυροδότηση ενός ή πολλαπλών διατρημάτων να επιτυγχάνονται κατάλληλες συνθήκες περιορισμού και εκτόξευσης ογκοτεμάχιων πετρώματος. Αρχικά θέλουμε τη δημιουργία ενός ανοίγματος σχεδόν παρόμοιου με το τελικό σύνορο, το οποίο συνεχίζουμε να διευρύνουμε μέχρι το τελικό σχήμα του συνόρου. Επίσης, σημαντικό είναι να υπάρχει ο κατάλληλος χώρος για τη διαστολή του ανατιναχθέντος πετρώματος. Η σειρά ανατίναξης είναι: αρχική κοπή, διατρήματα παραγωγής, σειρά πλησιέστερης στο περίγραμμα, περίγραμμα και τέλος διατρήματα πατώματος.

Προσοχή πρέπει να δοθεί στους χρόνους απόκλισης μεταξύ των πυροκροτητών, ειδικά σε περιπτώσεις ταυτόχρονης ανατίναξης πολλαπλών διατρημάτων. Τα ακριανά διατρήματα του δαπέδου και του περιγράμματος πρέπει να πυροδοτούνται τελευταία, διότι μπορεί να δημιουργηθούν συνθήκες περιορισμού και να πυροδοτηθούν πρόωρα.

Προεξσκαφή

Συνήθης χρόνοι καθυστέρησης κυμαίνονται από 50ms για μη ηλεκτρικά και 100ms για ηλεκτρικά.

Περίγραμμα

Τα διατρήματα περιγράμματος πυροδοτούνται ταυτόχρονα. Σε περίπτωση χρήσης ακαριαίας θρυαλλίδας ως εκρηκτικό, η απόκλιση στο χρόνο πυροδότησης μπορεί να ελαττωθεί με την ένωση των άκρων στον πυροκροτητή.

Διατρήματα παραγωγής

Οι χρόνοι πυροδότησης θα πρέπει να δώσουν όσο το δυνατόν καλύτερες συνθήκες για τη χαλάρωση του πετρώματος γύρω από κάθε διάτρημα.

Διατρήματα δαπέδου

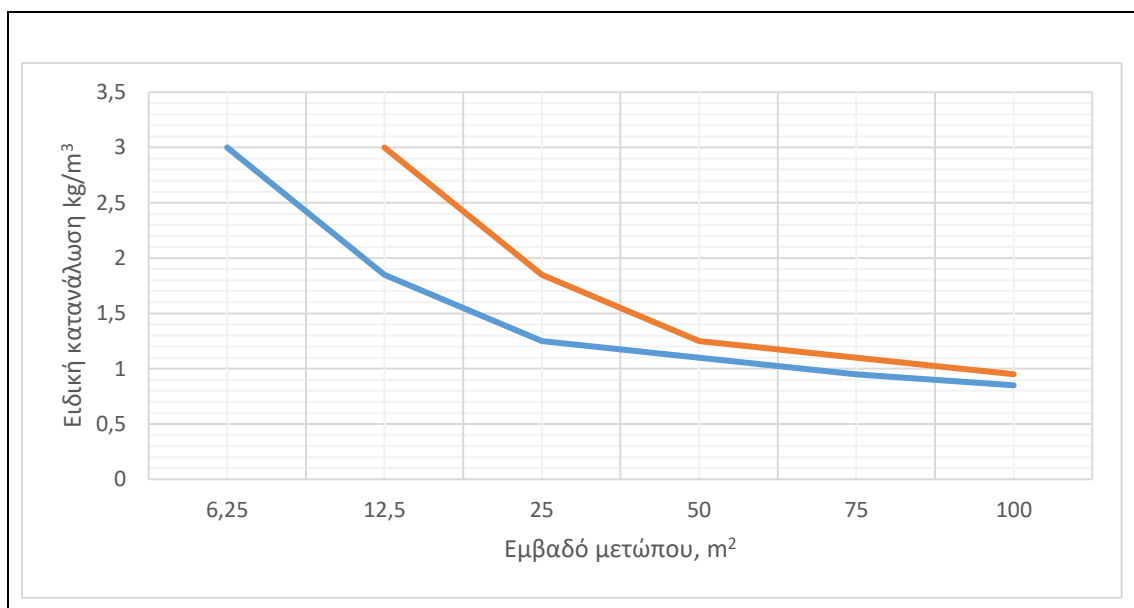
Τα γωνιακά διατρήματα δαπέδου πυροδοτούνται τελευταία σε σχέση με τα υπόλοιπα της σειράς δαπέδου και των χαμηλότερων διατρημάτων στο τοίχος του περιγράμματος. Η πυροδότηση των διατρημάτων δαπέδου γίνεται τελευταία λόγω της ανυψωτικής επίδρασης στην σωρό και για να αποφευχθεί ο περιορισμός των διατρημάτων και η μεγιστοποίηση της απομάκρυνσης πετρώματος.

Κεφάλαιο 3

Σουηδική μέθοδος ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς (Holmberg)

Υπολογισμός φορτίου και σχεδιασμός πλάνου διάτρησης

Τα μέτωπα υπόγειων ανατινάξεων είναι δυσκολότερα στην ανατίναξη από αυτά των επιφανειακών. Ο λόγος, η μόνη διαθέσιμη ελεύθερη επιφάνεια ως προς την οποία θα γίνει ο αρχικός θρυμματισμός είναι το μέτωπο. Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η πυκνότητα γόμωσης σε σχέση με διάφορες διατομές μετώπων. Η επιλογή των εκρηκτικών προς χρήση γίνεται με γνώμονα τη χαμηλότερη συγκέντρωση τοξικών αερίων.



Διάγραμμα 3.1 Ειδική πυκνότητα γόμωσης σε σχέση με την επιφάνεια μετώπου υπόγειας στοάς

Τα μικρά φορτία (αποστάσεις διατρημάτων από τη σχεδιασμένη ελεύθερη επιφάνεια) στην προεκκαφή απαιτούν τη χρήση εκρηκτικών υλών (Ε.Υ) με πολύ χαμηλή ευαισθησία έναυσης, ώστε να αποφευχθεί η εσφαλμένη πυροδότησή τους λόγω γειτονικού διατρήματος και να έχει αρκετά υψηλή ταχύτητα ανατίναξης με σκοπό να αποφευχθεί το φαινόμενο μετατροπής της έκρηξης σε απλή ανάφλεξη που επιτείνεται, όταν η Ε.Υ δε βρίσκεται σε επαφή με τα τοιχώματα του διατρήματος (φαινόμενο καναλιού, channel).

Σήμερα βέβαια, με τη χρήση μηχανοποιημένου εξοπλισμού επιτυγχάνονται διατρήματα διαμέτρου μεγαλύτερης της απαιτούμενης πυκνότητας γόμωσης.

Το φαινόμενο καναλιού προκύπτει, όταν μεσολαβεί κενό αέρα μεταξύ τοιχώματος διατρήματος και γόμωσης για εκρηκτικά με ταχύτητα ανατίναξης μικρότερη από 3000m/s . Τα διαστελόμενα αέρια ανατίναξης ωθούν προς τα μπρος του διατρήματος συμπιεσμένο αέρα δημιουργώντας μια διαχωριστική επιφάνεια υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας.

Η επιφάνεια συμπίεσης αέρα ωθεί και συμπιέζει τη στήλη γόμωσης μπροστά από το σημείο πυροδότησης και εξαλείφει τυχόν σημεία έναυσης ή αυξάνει την πυκνότητα σε σημείο που σταματά η έναυση/αντίδραση ή η απόδοση των Ε.Υ είναι χαμηλή. Τα εκρηκτικά των διατρημάτων δαπέδου πρέπει να είναι ανθεκτικά στο νερό και του διαγράμματος να είναι τέτοιο το είδος τους αλλά και η πυκνότητα γόμωσης, ώστε να ελαχιστοποιηθεί όσο το δυνατόν η ζημιά στο παραμένον πέτρωμα στο σύνολο.

Η γόμωση των διατρημάτων γίνεται με διαφορετικό γνώμονα για κάθε τομέα του μετώπου. Οι τομείς είναι τα διατρήματα δαπέδου, διατρήματα προεκσκαφής και τα διατρήματα κύριας παραγωγής και διατρήματα διαγράμματος που χωρίζεται σε αυτά που ανατινάσσονται οριζόντια ή καθοδικά, με ή αντίθετα της επίδρασης της βαρύτητας.

Φθορά πετρώματος

Η απότομη διαστολή που προκαλείται λόγω έκρηξης μέσα στο διάτρημα δημιουργεί ένα τασικό κύμα που διαδίδεται στη μάζα του πετρώματος. Για ένα ελαστικό μέσο η παραγόμενη τάση είναι ανάλογη της πυκνότητας, τη ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων του πετρώματος και της ταχύτητας διάδοσης του κύματος στο πέτρωμα.

Κοντά στην γόμωση η τάση θα φτάσει τιμές που θα προκαλέσουν μόνιμη παραμόρφωση και ρωγμάτωση στο πέτρωμα. Το αν η ζημιά αυτή θα επηρεάσει την ευστάθεια της σήραγγας χρονικά, εξαρτάται από τον χαρακτήρα της ρωγμής, τον χρόνο έκθεσης στις δονήσεις, την επιρροή υπόγειων υδάτων και τη διεύθυνση των επιπέδων ασυνέχειας ή ρωγμάτωσης σε σχέση με το περίγραμμα και τη στατική φόρτιση (static load).

Το κριτήριο ρωγμάτωσης (damage criteria) για κατασκευές χτισμένες εντός κύκλου επιρροής μιας ανατίναξης έχει βασιστεί στη μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης σωματιδίων. Στο Σουηδικό κέντρο μελέτης ανατινάξεων SveDeFo (Swedish Detonic Research Foundation) το ίδιο κριτήριο βρέθηκε να ισχύει για την εκτίμηση της ζημιάς στο παραμένον πέτρωμα (Persson, Holmberg and Persson 1977, Holmberg and Persson 1978, Holmberg 1978).

Η εμπειρική σχέση είναι:

$$v = \frac{700 * Q^{0,7}}{R^{1,5}} \quad (\text{σχέση 3.0})$$

Όπου,

v = ταχύτητα ταλάντωσης σωματιδίων σε (mm/sec.)

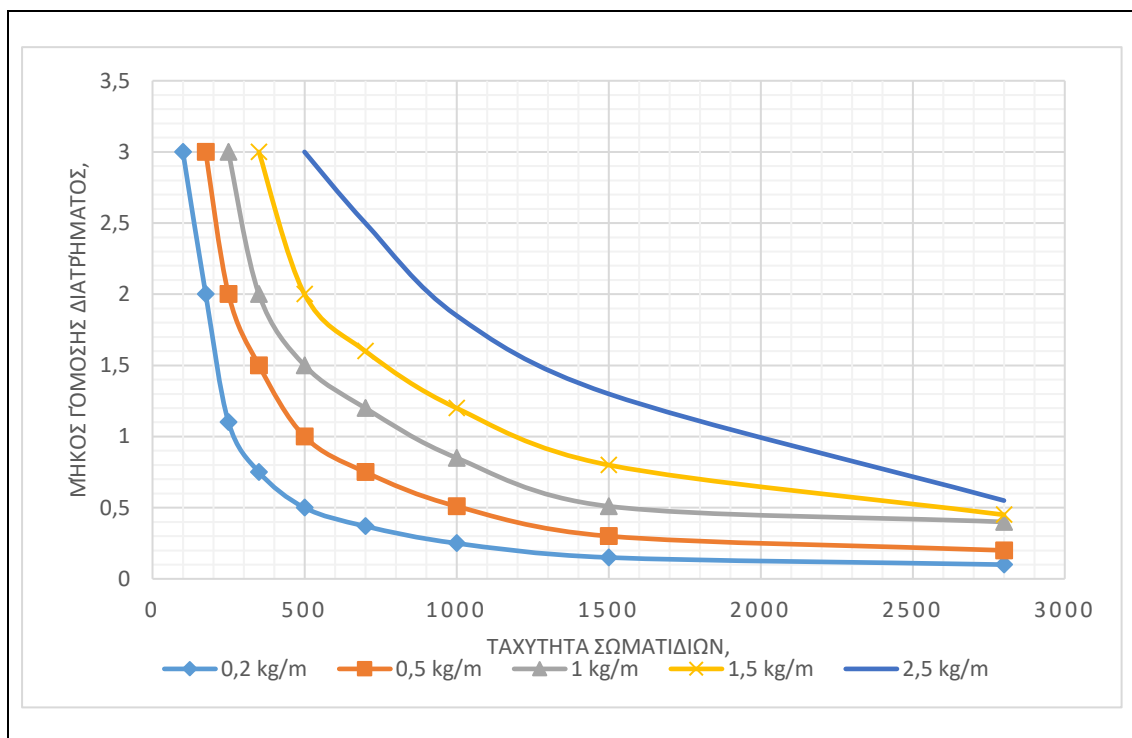
Q = Βάρος γόμωσης σε (kg)

R = Απόσταση (m)

Η σχέση ισχύει για τον υπολογισμό της ταχύτητας ταλάντωσης των σωματιδίων, αλλά για αποστάσεις στις οποίες η γόμωση μπορεί να παρομοιασθεί με σφαιρική γόμωση. Για μικρές αποστάσεις οι διαφορές μεταξύ θεωρητικά και πεδίου υπολογισμένων τιμών είναι μη αποδεκτές.

Ολοκληρώνοντας τη σχέση για το συνολικό μήκος της γόμωσης του διατρήματος, βρέθηκε να είναι δυνατό να υπολογιστεί η ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων ως λειτουργία της απόστασης, μήκους γόμωσης και πυκνότητα γόμωσης ανά μέτρο διατρήματος.

Στο διάγραμμα 3.10 δίνεται η γραφική παράσταση της σχέσης των παραμέτρων μήκους γόμωσης-ταχύτητας ταλάντωσης σωματιδίων για διάτρημα τριών μέτρων.



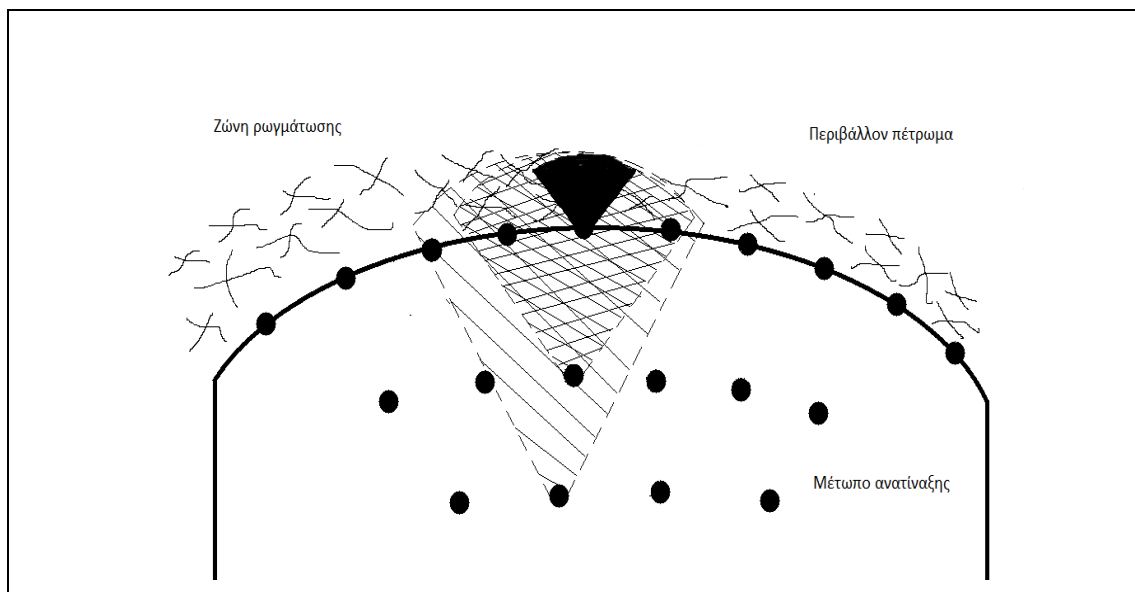
Διάγραμμα 3.2 Μείνιστη ταχύτητα σωματιδίων συναρτήσει της απόστασης και της πυκνότητας γόμωσης για γομωμένο διάτρημα 3m.

Όταν η ταχύτητα σωματιδίων υπερβαίνει το πεδίο τιμών από 700-1000^{mm/sec}. (διάγραμμα 3.2), τότε προκαλούνται ή μεγεθύνονται ρωγμές σε γρανιτικό πέτρωμα. Πυκνότητα γόμωσης 1^{kg/m} σημαίνει ότι η ρωγμάτωση λαμβάνει χώρα σε ζώνη με ακτίνα από 1 έως 1,4m γύρω από τη γόμωση.

Σε πειράματα πεδίου σε γνεύσιο, πηγματίτες και γρανίτη αντοχής σε εφελκυσμό από 5 έως 15MPa, βρέθηκε να συμφωνούν οι θεωρητικές με τις πειραματικές τιμές. Επιπλέον, και οι ζώνες ρωγμάτωσης συμφωνούσαν με τις υπολογισμένες αποστάσεις για παρόμοια γόμωση, εφόσον ισχύει το κριτήριο των 700-1000^{mm/sec}. Ισχύει για πυκνότητες γόμωσης από 0,2 έως 75^{kg/m}.

Στις πειραματικές δοκιμές πεδίου χρησιμοποιήθηκαν επιταχυνσιόμετρα, τα οποία παρείχαν την εκτίμηση της ταχύτητας ταλάντωσης των σωματιδίων. Η απόσταση τοποθέτησης των επιταχυνσιόμετρων από τα γομωμένα διατρήματα των 25 έως 250mm ήταν μεταξύ των αποστάσεων 1.5 έως 13m.

Μετρήσεις πλησίον του περιγράμματος σιράγγων έχουν υποδείξει πως γομωμένα διατρήματα κοντά στα διατρήματα περιγράμματος, συχνά προκαλούν υψηλότερες ταχύτητες σωματιδίων και περισσότερη ρωγμάτωση στο τελικό αποτέλεσμα από τη σειρά ομαλής ανατίναξης. Οπότε, αν επιθυμείτε αποτέλεσμα ομαλής ανατίναξης στο περίγραμμα, τότε πρέπει η γόμωση των διατρημάτων πλησίον των διατρημάτων του περιγράμματος να μειωθεί. Στο διάγραμμα 3.1 δίνεται οδηγός εκτίμησης της ειδικής πυκνότητας γόμωσης. Πυκνότητα γόμωσης της τάξης των 0,2^{kg/m} στο περίγραμμα έχει σαν αποτέλεσμα ζώνη ρωγμάτωσης περιμέτρου 3m. Αν το φορτίο είναι 0,8m, διακρίνεται πως η πυκνότητα γόμωσης για τη σειρά πλησιέστερη στο περίγραμμα πρέπει να περιορίζεται σε 1^{kg/m}, αν δεν πρέπει να ξεπεραστεί η ζώνη ρωγμάτωσης των 0,3m.



Εικόνα 3.1 Σχέδιο παρουσίασης σωστής σχεδίασης διατρημάτων πλησίον του περιγράμματος για ελαχιστοποίηση της ρωγμάτωσης στο περίγραμμα

3.1 Σύγκριση εκρηκτικών υλών

Για τη δυνατότητα χρήσης διαφόρων εκρηκτικών υλών απαιτείται μια βάση δεδομένων σύγκρισης. Πολλαπλές μέθοδοι αναπτύχθηκαν για να αξιολογήσουν την ισχύ ενός εκρηκτικού. Μερικά παραδείγματα δοκιμών για τον καθορισμό χαρακτηριστικών τιμών δίνονται από τον υπολογισμό ενέργειας ανατίναξης, δοκιμή βαλλιστικού όλμου, δοκιμή Τράουζελ (Trauzel) μολυβδαίνιου μπλοκ, δοκιμή ισχύος (Brisance), σχέση βάρους-ισχύος εκρηκτικού ή την υποβρύχια δοκιμή. Ωστόσο τα αποτελέσματα των δοκιμών των εξετασμένων εκρηκτικών δεν μπορούν με ακρίβεια να αναχθούν και στην δυνατότητά τους να ρωγματώσουν τα πετρώματα. Λόγω αυτού, θα πρέπει να προσαρμοστούν για τον υπολογισμό των δυνατοτήτων τους αναλόγως του σκοπού που θα εξυπηρετούν είτε πρόκειται για επιφανειακές ανατινάξεις βαθμίδας είτε για υπόγειες ανατινάξεις.

Οπότε ο καταλληλότερος τρόπος θα ήταν να γίνουν δοκιμαστικές ανατινάξεις με χρήση Ε.Υ σε διαφορετικά πετρώματα με διαφορετικές πυκνότητες γόμωσης. Ωστόσο το κόστος και ο απαιτούμενος χρόνος είναι απαγορευτικός. Επομένως, αυτό που μπορεί να γίνει είναι να υπολογίζουμε τη σχετική ισχύ του εκρηκτικού, δηλαδή τη σύγκριση του μελετούμενου εκρηκτικού σε σχέση με ένα άλλο εκρηκτικό αναφοράς(π.χ. LFB δυναμίτης).

Για τη συσχέτιση των εκρηκτικών γίνεται χρήση της Σουηδικής σχέσης βάρους-ισχύος, η οποία περιγράφεται στην παρακάτω σχέση.

$$S = \frac{S}{6} * \frac{Q}{Q_o} + \frac{1}{6} * \frac{V}{V_o} \quad (\text{σχέση 3.1})$$

Όπου,

Q = Θερμότητα ανατίναξης για 1kg του μελετούμενου εκρηκτικού

Q_o = Θερμότητα ανατίναξης για 1kg του εκρηκτικού αναφοράς

V = Εκλυόμενα αέρια από 1kg του μελετούμενου εκρηκτικού σε κανονικές συνθήκες

V_o = Εκλυόμενα αέρια από 1kg του εκρηκτικού αναφοράς σε κανονικές συνθήκες

Η σχέση βασίζεται στην αρχή ότι το έργο διαστολής των εκρηκτικών εξαρτάται πρώτα από τη θερμότητα έκρηξης και ύστερα από τα παραγόμενα εκλυόμενα αέρια. Οι σταθερές $5/6$ και $1/6$ προσδιορίστηκαν από πειραματικές δοκιμές πεδίου, όπου εκρηκτικά υψηλού και χαμηλού όγκου αερίων χρησιμοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν με το εκρηκτικό αναφοράς LFB δυναμίτη σε συνθήκες ανατίναξης επιφανειακών βαθμίδων.

Σήμερα η σχέση 3.1 δεν εκφράζεται σε σχέση με το εκρηκτικό LFB Δυναμίτη αλλά τον πετραμμωνίτη (A.N.F.O). Όταν η κατά βάρος ισχύς εκφράζεται σε σχέση με τον πετραμμωνίτη, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η κατά βάρος ισχύς σχετικά με τον LFB δυναμίτη και η τιμή αυτή να διαιρεθεί με την τιμή της κατά βάρους ισχύος του πετραμμωνίτη (βλέπε πίνακα 3.1)

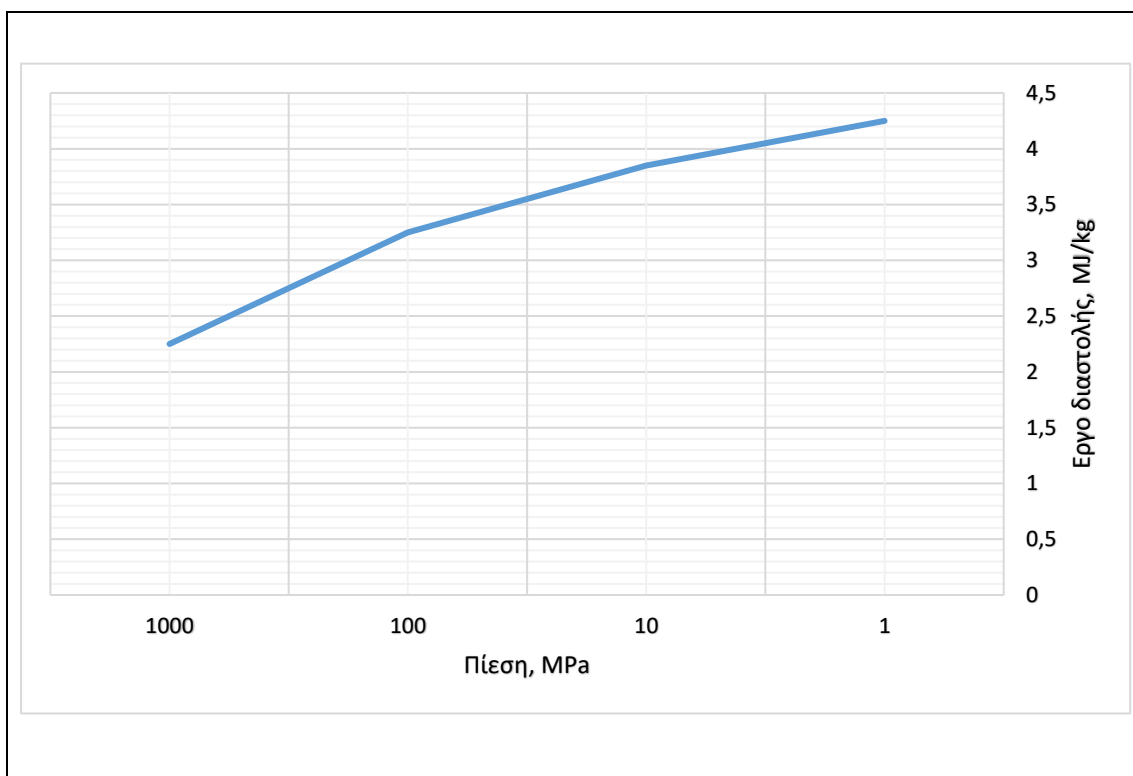
Πίνακας 3.1 Διάφορες τιμές βάρους-ισχύος για μερικά εκρηκτικά

Κατά βάρος ισχύς μερικών εκρηκτικών						
Εκρηκτικό	$Q, \text{ MJ/kg}$	$V, \text{ m}^3/\text{kg}$	S_{LFB}	S_{DKB}	S_{ANFO}	Πυκνότητα kg/m^3
LFB δυναμίτης	5	0,85	1	1,09	1,19	
Dynamex B	4,6	0,765	0,92	1	1,1	1450
ANFO	3,92	0,973	0,84	0,91	1	900
TNT	4,1	0,69	0,82	0,89	0,98	1500
PETN	6,12	0,78	1,17	1,27	1,39	
NABIT	4,1	0,892	0,86	0,93	1,02	1000
GURIT	3,73	0,425	0,71	0,77	0,85	1000

Η σχέση βάρους-ισχύος περιγράφει το μέγεθος του έργου διαστολής που μπορεί να αποδώσει το εκρηκτικό σε μία ανατίναξης καλύτερα από τη μελέτη μόνο της απελευθερωμένης ενέργειας. Ωστόσο, πρέπει να γνωρίζουμε πως δεν γίνεται να αξιοποιηθεί όλη η ενέργεια ανατίναξης για την θραύση του πετρώματος. Η ενέργεια ανατίναξης είναι η απελευθερωμένη χημική ενέργεια της αντίδρασης. Για να αξιοποιηθεί όλο το έργο διαστολής, τα παραγόμενα αέρια πρέπει να μπορούν να διασταλούν σε πολύ χαμηλή πίεση.

Η θραύση πετρώματος και ο πρωτεύον θρυμματισμός έχουν ήδη ολοκληρωθεί, όταν τα προϊόντα πυροδότησης έχουν διασταλεί σε όγκο περίπου δέκα φορές του αρχικού όγκου του διατρήματος. Η πίεση κυμαίνεται από δέκα έως εκατό μεγαπασκάλ (10-100MPa)

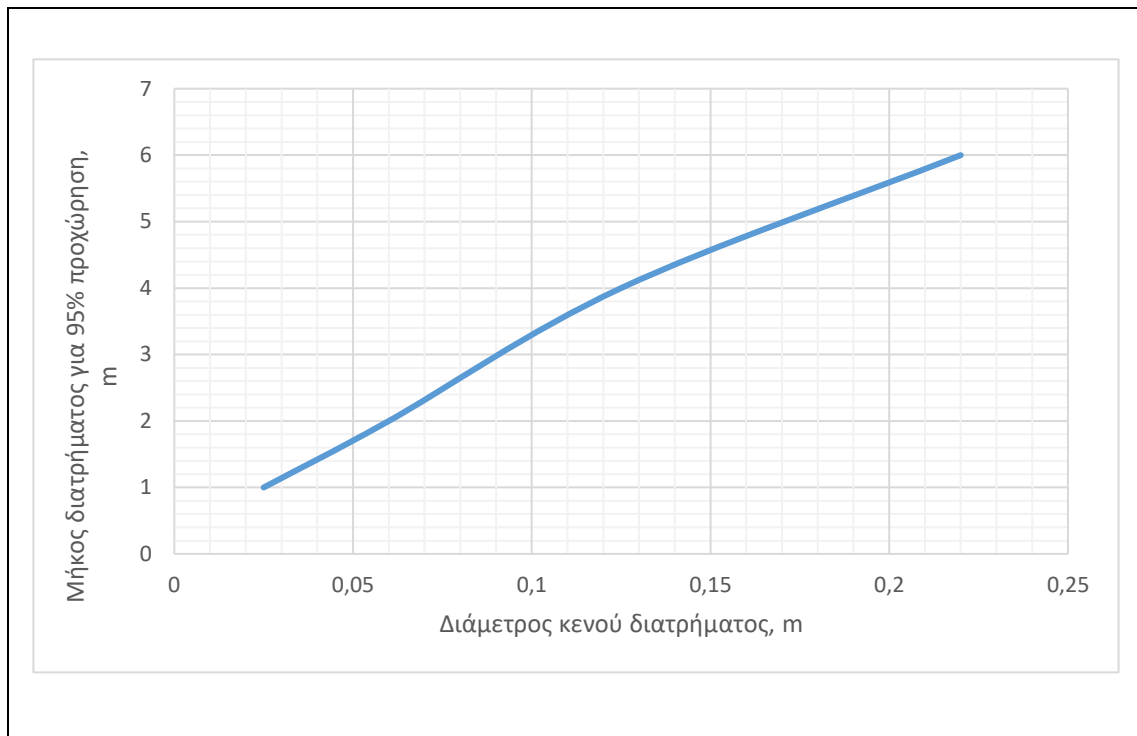
Εξαρτώμενοι των συστατικών των εκρηκτικών, ιδιαίτερα των στερεών εκρηκτικών, η απόδοση διαφέρει σημαντικά. Για παράδειγμα, εκρηκτικά με συστατικά του αλουμινίου, έχουν υψηλή συνολική ενέργεια ανατίναξης. Μεγάλο μέρος του έργου διαστολής των εκρηκτικών αυτών συμβαίνει σε ζώνες χαμηλής πίεσης η οποία μειώνει την απόδοσή τους σημαντικά (βλέπε διάγραμμα 3.3).



Διάγραμμα 3.3 Παράδειγμα έργου διαστολής συναρτήσει της πίεσης στα αντιδρώντα προϊόντα γαλακτώματος με συστατικά αλουμινίου

3.2 Προχώρηση

Η προχώρηση σχετίζεται με το διάτρημα του κενού διατρήματος και την απόκλιση του γομωμένου διατρήματος. Προχώρηση μικρότερη από το 95% του μήκους διάτρησης είναι αντισυμβατική. Στο διάγραμμα 3.4 παρουσιάζεται η συσχέτιση μήκους διάτρησης με τη διάμετρο κενού διατρήματος για την επίτευξη του ελάχιστου ποσοστού προχώρησης με τη μέθοδο των τεσσάρων τετραγώνων παράλληλων διατρημάτων αρχικής κοπής.



Διάγραμμα 3.4 Συσχέτιση μήκους διάτρησης με την διάμετρο κενού διατρήματος για 95% προχώρηση

Σχέση μήκους διάτρησης (H):

$$H = 0,15 + 34,1 * \varphi - 39,4 * \varphi^2 \quad (\text{σχέση 3.2})$$

Όπου,

φ = Διάμετρος κενού διατρήματος

Προχώρηση (I)

$$I = 0,95 * H \quad (\text{σχέση 3.3})$$

Οι σχέσεις 3.2 και 3.3 ισχύουν για απόκλιση μικρότερη του 2%

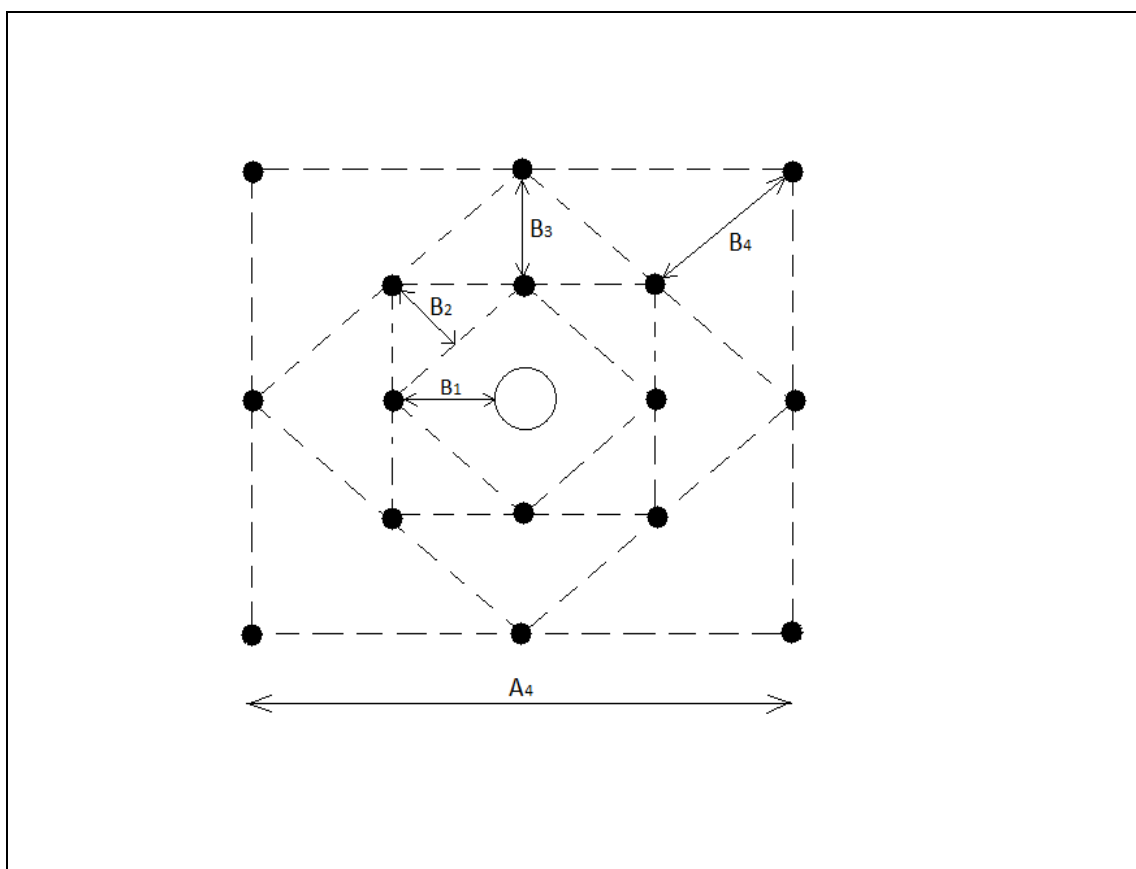
Όταν είναι απαραίτητη η διάνοιξη δύο κενών διατρημάτων λόγω αδυναμίας διάνοιξης ενός μεγάλου κενού διατρήματος από τον μηχανικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, η σχέση 3.2 ισχύει αν το φ υπολογιστεί με την σχέση 3.4

$$\varphi = d_o * \sqrt{2} \quad (\text{σχέση 3.4})$$

Όπου,

d_o = διάμετρος κενού διατρήματος

Η γεωμετρία της προεκσκαφής παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.4



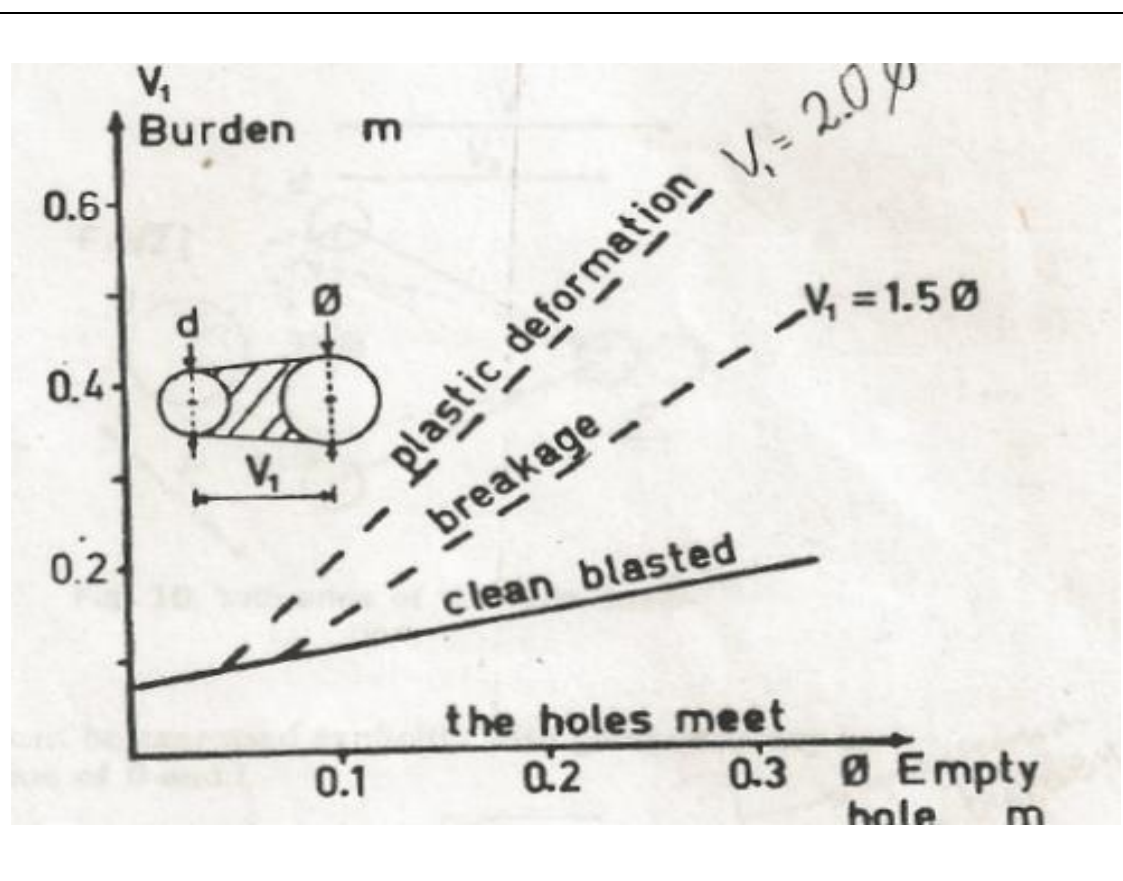
Εικόνα 3.2 Τυπική διάταξη διατρημάτων με την μέθοδο τεσσάρων τετραγώνων με ένα κενό μεγάλο διάτρημα

3.3 Σχεδιασμός Προεκσκαφής

3.3.1 Φορτίο στο 1^ο Τετράγωνο προεκσκαφής

Η απόσταση μεταξύ κενού και γομωμένου διατρήματος δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή 1,7 φορές τη διάμετρο του κενού διατρήματος, ώστε να πετύχουμε ικανοποιητικό θρυμματισμό και εύκολη συλλογή της σωρού. Ο θρυμματισμός αλλάζει σημαντικά ανάλογα το εκρηκτικό που χρησιμοποιείται, τη δομή του πετρώματος και την απόσταση μεταξύ των διατρημάτων.

Όπως παρουσιάζεται στο (διάγραμμα 3.5), δεν υπάρχει όφελος το φορτίο να ξεπερνά την τιμή 2ϕ όσο η γωνία διάτρησης είναι αρκετά μικρή για το ανάλογο φορτίο, διότι το αποτέλεσμα θα ήταν πλαστική παραμόρφωση του πετρώματος. Ακόμα και αν το φορτίο ήταν μικρότερο της τιμής 2ϕ , η μεγάλη πυκνότητα γόμωσης θα προκαλούσε δυσλειτουργία της προεκσκαφής λόγω πυροσυσσωμάτωσης στην ανατίναξη και το βάρος του πετρώματος θα απέτρεπε την κατάλληλη διαστολή του.



Διάγραμμα 3.5 Συσχέτιση μεταξύ πρακτικού φορτίου και διαμέτρου κενού διατρήματος. Για γωνία απόκλισης $<1\%$

Αν η μέγιστη αποδεκτή απόκλιση διατρήματος είναι της κλίμακας από 0,5 έως 1%, τότε το πρακτικό φορτίο (B') για τα διατρήματα όρυξης στην προεκσκαφή θα πρέπει να έχουν φορτίο μικρότερο από το μέγιστο φορτίο $B=1,7*\varphi$, όπου παρουσιάζεται πλαστική παραμόρφωση. Δηλαδή θα έχει τιμή ίση με αυτή που δίνεται από τη σχέση 3.5.

$$B' = 1,5 * \varphi \quad (\text{σχέση 3.5})$$

Όταν η απόκλιση ξεπερνάει το 1%, το πρακτικό φορτίο πρέπει να μειωθεί ακόμα περισσότερο με την ακόλουθη σχέση.

$$B' = 1,7 * \varphi - (a * H + \beta) \quad (\text{σχέση 3.6})$$

Όπου,

$$F = (a * H + \beta) = \text{Μέγιστη απόκλιση διατρητικού}$$

$$a = \text{γωνιακή απόκλιση σε } (m/m)$$

$$H = \text{Μήκος διάτρησης σε (m)}$$

$$\beta = \text{απόκλιση κολάρου σε (m)}$$

Πρακτικά αν η ακρίβεια διάτρησης είναι αρκετά καλή τότε χρησιμοποιείται η σχέση 3.5

3.3.2 Γραμμική πυκνότητα γόμωσης στο πρώτο τετράγωνο

Η σχέση των Langefors και Kihlstrom (1963) αναπτύχθηκε για να συνδέσει τη γραμμική πυκνότητα γόμωσης (l), τη μέγιστη απόσταση μεταξύ διατρημάτων (S) και τη διάμετρο κενού διατρήματος (φ).

$$l = 1,5 * \left(\frac{B}{\varphi}\right)^{1,5} * \left(B - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ σε } (kg/m) \quad (\text{σχέση 3.7})$$

Η σχέση 3.7 χρησιμοποιείται για διατρητικά στελέχη διαμέτρου 0,032m μόνο. Σε περίπτωση μεγαλύτερου διατρήματος πρέπει να αυξηθεί η πυκνότητα γόμωσης. Για να πετύχουμε το ίδιο επίπεδο ρωγμάτωσης, η πυκνότητα γόμωσης θα πρέπει να είναι ανάλογη της διαμέτρου του διατρήματος. Η αύξηση της διαμέτρου σημαίνει πως η αναλογία σύζευξης και η πίεση στο διάτρημα ελαττώνεται. Οπότε, είναι σημαντικό να επιλεγθεί το σωστό εκρηκτικό προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο καναλιού (channel effect) που θα οδηγήσει σε μια ατελή ανατίναξη.

Λαμβάνοντας υπόψιν το είδος του πετρώματος και τον τύπο εκρηκτικών η σχέση 3.7 μπορεί να επαναδιατυπωθεί για χρήση με οποιαδήποτε διάμετρο κενού διατρήματος.

$$l = \frac{55 * d * \left(\frac{B}{\varphi}\right)^{1,5} * \left(B - \frac{\varphi}{2}\right) * \left(\frac{c}{0,4}\right)}{S_{ANFO}} \sigma \varepsilon \left(kg/m \right) \quad (\text{σχέση 3.9})$$

Όπου,

c = σταθερά πετρώματος

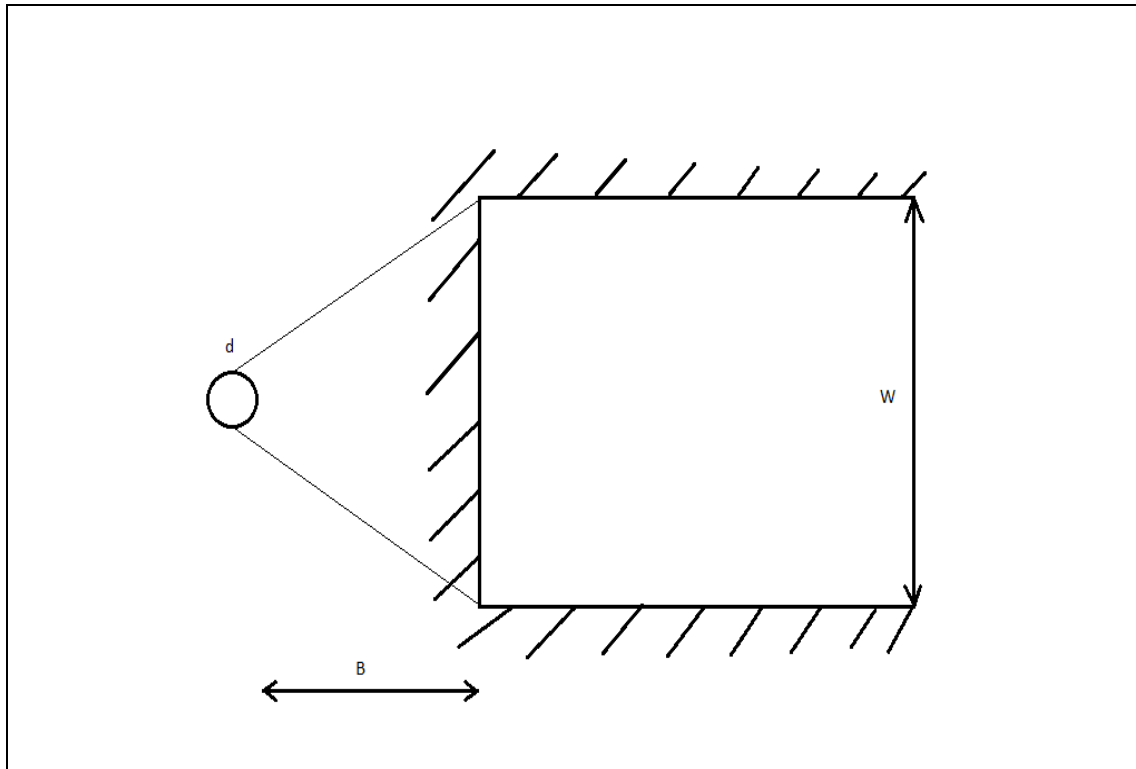
Οι τιμές πυκνότητας γόμωσης περιορίζονται από την ποικιλία εκρηκτικών υλών που είναι διαθέσιμες. Αυτό σημαίνει πως η πυκνότητα γόμωσης δίνεται και το φορτίο βρίσκεται από την σχέση 3.9.

3.3.3 Σταθερά πετρώματος c

Αποτελεί μια εμπειρική κλίμακα του ποσού εκρηκτικής ύλης που χρειάζεται για την θραύση ενός κυβικού μέτρου πετρώματος. Τα πειράματα πεδίου από τα οποία προσδιορίστηκε η σταθερά γίνανε σε επιφανειακές ανατινάξεις βαθμίδων και τα αποτελέσματά τους ανήχθησαν ως έγκυρα δεδομένα για τιμές σταθεράς πετρώματος για συνθήκες μετώπων υπόγειας ανατίναξης. Δοκιμαστικές ανατινάξεις έδειξαν πως υπήρχαν αμελητέες διαφορές στις τιμές της σταθεράς στις δύο διαφορετικές συνθήκες. Οι τιμή σταθεράς c βρέθηκε να είναι 0,2 για εύθραυστο κρυσταλλικό γρανίτη και σε αρκετά άλλα πετρώματα, όπως ψαμμίτη και ομοιογενή γρανίτη, τιμές από 0,3 έως 0,4. Σε συνθήκες υπόγειας ανατίναξης με τη Σουηδική μέθοδο η τιμή c ισούται με 0,4.

3.3.4 Δεύτερο τετράγωνο προεκσκαφής

Μετά τον υπολογισμό του πρώτου τετραγώνου καθορίζεται νέα γεωμετρία για τα φορτία των επόμενων τετραγώνων. Η ανατίναξη προς ένα κυκλικό ελεύθερο μέτωπο έχει μεγαλύτερο περιορισμό στα διατρήματα και λιγότερο αποτελεσματική ανάκλαση κύματος, άρα απαιτείται υψηλότερη πυκνότητα γόμωσης.



Εικόνα 3.3 Γεωμετρία φορτίου ανατίναξης προς ελεύθερο επίπεδο μέτωπο

Αν υπάρχει τετράγωνο άνοιγμα πλάτους (W) και το φορτίο (B) είναι γνωστό (βλέπε διάγραμμα 3.6), η πυκνότητα γόμωσης (l) θεωρώντας ότι γίνεται με ANFO ορίζεται ως εξής:

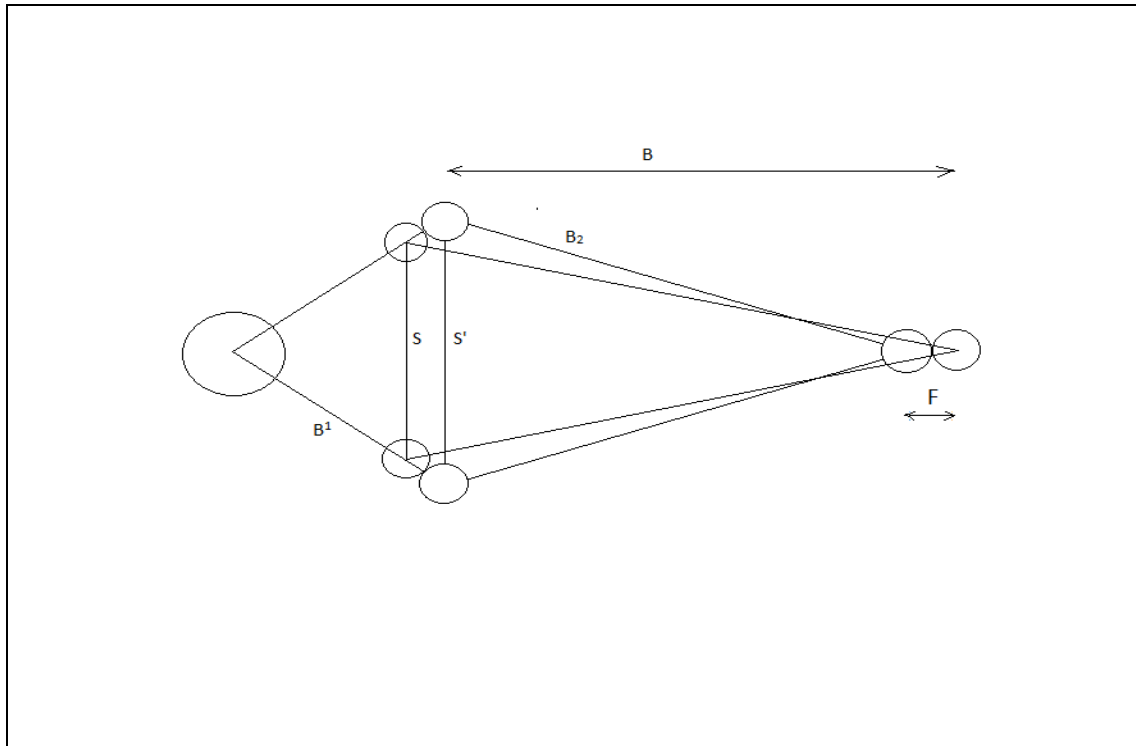
$$l = \frac{32,3 * d * c * B}{S_{ANFO} * \left[\sin \left(\operatorname{atn} \left(\frac{S}{2B} \right) \right) \right]^{1,5}} \sigma \epsilon \left(\text{kg/m} \right) \quad (\text{σχέση 3.10})$$

Αντίθετα αν υποθέσουμε ότι γνωρίζουμε την πυκνότητα (l) γόμωσης και το πλάτος ανοίγματος (W), τότε το φορτίο (B) εκφράζεται ως σχέση του (W) και (l) από τη σχέση 3.11

$$B = 8,8 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{A * l * S_{ANFO}}{d * c}} \sigma \epsilon \left(m \right) \quad (\text{σχέση 3.11})$$

Όπου A= Πλάτος ελεύθερης επιφάνειας

Όταν υπολογίζουμε το φορτίο για το νέο τετράγωνο η επίδραση του (F) σφάλματος διατηρητικού στελέχους (όπως ορίζεται στη σχέση 3.6) πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Αυτό συμβαίνει με το να θεωρήσουμε τη χειρότερη θέση για τα διατηρήματα του πρώτου τετραγώνου (διάγραμμα 3.6).



Εικόνα 3.4 Σχηματική παρουσίαση της απόκλισης της θέσης διατηρημάτων στο μέτωπο και στον πυθμένα των διατηρημάτων

Από το (διάγραμμα 3.6) μπορεί να δει κανείς πως η απόσταση μεταξύ διατηρημάτων (S) διαφέρει του (S')

$$S = \sqrt{2} * (B_1 - F) \text{ σε } (m) \quad (\text{σχέση 3.12})$$

Οπότε το φορτίο για τον νέο τετράγωνο είναι

$$B = 10,5 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{(B_1 - F) * l * S_{ANFO}}{d * c}} \text{ σε } (m) \quad (\text{σχέση 3.13})$$

Το φορτίο αυτό πρέπει να μειωθεί αφού ληφθούν υπόψιν οι αποκλίσεις (F). Οπότε.

$$B_2 = B - F \text{ σε } (m) \quad (\text{σχέση 3.14})$$

Υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί για το B_2 . Πρέπει να ικανοποιεί το ακόλουθο αν είναι να μην παρουσιαστεί πλαστική παραμόρφωση.

$$B_2 \leq 2 * A \quad (\text{σχέση 3.15})$$

Αν δεν παρουσιαστεί πλαστική παραμόρφωση με τη χρήση των σχέσεων 3.10 και 15, τότε η πυκνότητα γόμωσης πρέπει να μειωθεί σε:

$$l = \frac{32,3 * d * c * 2A}{S_{ANFO} * \left[\sin \left(\operatorname{atn} \left(\frac{1}{4} \right) \right) \right]^{1,5}} \sigma \varepsilon \left(kg/m \right) \quad (\text{σχέση 3.16})$$

ή

$$l = \frac{540 * d * c * A}{S_{ANFO}} \sigma \varepsilon \left(kg/m \right) \quad (\text{σχέση 3.17})$$

Αν οι περιορισμοί της πλαστικής παραμόρφωσης δεν μπορούν να ικανοποιηθούν, είναι καλύτερα να χρησιμοποιηθεί εκρηκτική ύλη με χαμηλότερη κατά βάρος ισχύει, ώστε να βελτιστοποιηθεί η ρωγμάτωση .

Η κλίση του διατηρητικού στελέχους πρέπει να είναι μικρότερη από 90°.

Αν όχι, τότε η προεκσκαφή χάνει το χαρακτηριστικό των τεσσάρων τετραγώνων. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να ισχύει.

$$B_2 > 0,5 * A \quad (\text{σχέση 3.18})$$

Ο Gustafsson (1973) προτείνει ότι το φορτίο για κάθε τετράγωνο να είναι $B_2=0,7*V'$

Κανόνας για τον αριθμό των τετραγώνων της προεκσκαφής είναι πως το μήκος της πλευράς του τελευταίου τετραγώνου δεν πρέπει να είναι μικρότερη της ρίζας της προχώρησης.

$$A_I \geq \sqrt{I} \quad (\text{σχέση 3.19})$$

Ο αλγόριθμος υπολογισμού των επόμενων τετραγώνων είναι ίδιος με αυτόν του δεύτερου.

Η επιγόμωση (h) στα διατρήματα της προεκσκαφής είναι

$$h = d * 10 \quad (\text{σχέση 3.20})$$

όπου,

d= διάμετρος γομωμένου διατρήματος

3.4 Διατρήματα Δαπέδου

Ο υπολογισμός του φορτίου είναι κατά κανόνα όμοιος με αυτόν για επιφανειακές βαθμίδες. Το ύψος της βαθμίδας αντικαθίσταται με την προχώρηση και χρησιμοποιείται υψηλότερος συντελεστής περιορισμού (f) λόγω βαρυτικής έλξης και μεγαλύτερων χρόνων καθυστέρησης στους πυροκροτητές.

Ο συντελεστής περιορισμού (f) και ο λόγος S/B για τα διατρήματα δαπέδου είναι 1,45 και 1 αντίστοιχα.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει να ληφθεί υπόψη η γωνία απόκλισης (γ) των πλαϊνών διατρημάτων. Η γωνία θα εξαρτηθεί από τον διαθέσιμο μηχανικό εξοπλισμό και το μήκος διάτρησης. Για προχώρηση 3m και γωνία 3° η οποία αντιστοιχεί σε απόκλιση $-5^{cm}/m$ πρέπει να είναι αρκετή για να παρέχει χώρο για το επόμενο διάτρημα. Το φορτίο ισούται με αυτό που έχει ήδη υπολογιστεί.

Η σχέση φορτίου:

$$B = 0,9 * \frac{l * S_{ANFO}}{\hat{c} * f * \left(\frac{S}{B}\right)} \quad (\text{σχέση 3.21})$$

Όπου,

$\frac{S}{B}$ = λόγος απόστασης διατρημάτων (S) και φορτίου (B)

\hat{c} = διορθωμένη σταθερά πετρώματος

Ισχύει

$$\hat{c} = \begin{cases} c + 0,05, B \geq 1,4m \\ c + \frac{0,07}{B}, B < 1,4m \end{cases} \quad (\text{σχέση 3.22})$$

Αριθμός διατρημάτων δαπέδου

$$N = \text{ακέραιος} \left(\frac{\text{πλάτος σήραγγας} + 2 * H * \sin(\gamma)}{B} + 2 \right) \quad (\text{σχέση 3.23})$$

Η απόσταση μεταξύ διατρημάτων S_L δίνεται από την παρακάτω σχέση (εκτός των ακριανών διατρημάτων)

$$S_L = \frac{\text{πλάτος σήραγγας} + 2 * H * \sin(\gamma)}{N - 1} \quad (\text{σχέση 3.24})$$

Η πρακτική απόσταση μεταξύ διατρημάτων για τα ακριανά βρίσκεται από τη σχέση:

$$S'_L = S_L - H * \sin(\gamma) \quad (\text{σχέση 3.25})$$

Το πρακτικό φορτίο πρέπει να μειωθεί εξαιτίας της γωνίας των ακριανών διατρημάτων και την απόκλιση του διατρητικού στελέχους.

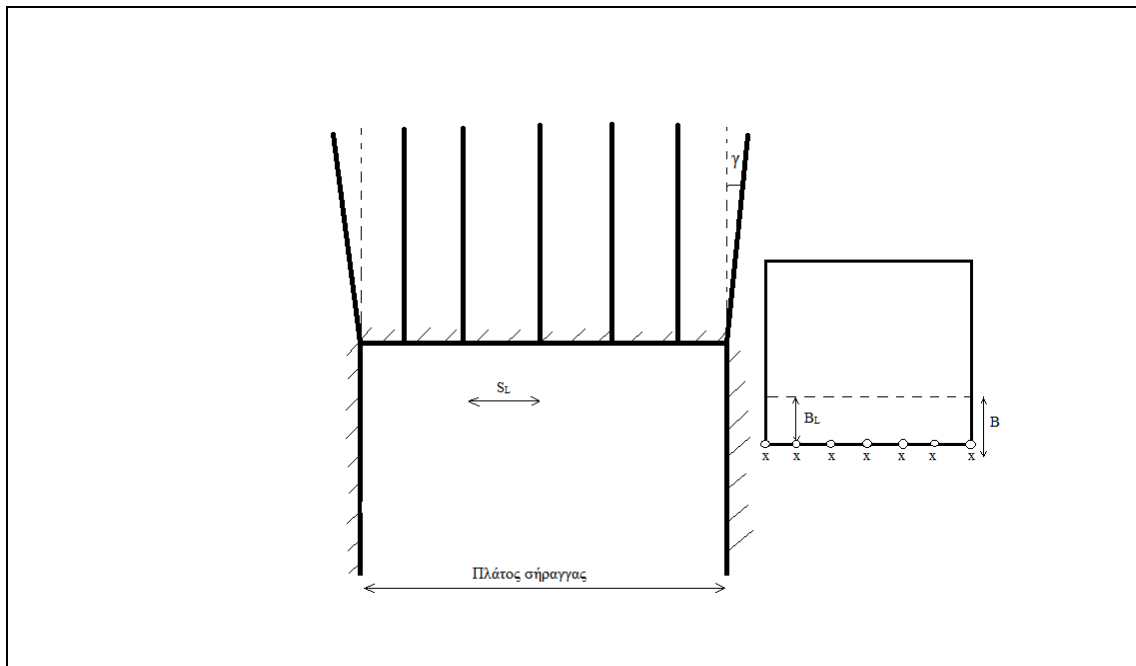
$$B_L = B - H * \sin(\gamma) - F \text{ σε } (m) \quad (\text{σχέση 3.26})$$

Το μήκος της γόμωσης του πυθμένα (h_b) που χρειάζεται για την αποδέσμευση του ποδιού του δαπέδου είναι:

$$h_b = 1,25 * B_L \quad (\text{σχέση 3.27})$$

Το μήκος γόμωσης στήλης του διατρήματος δίνεται στην παρακάτω σχέση.

$$h_c = H - h_b - 10 * d \quad (\text{σχέση 3.28})$$



Εικόνα 3.5 Γεωμετρία ανατίναξης διατρημάτων δαπέδου. Κάτοψη (αριστερά) και πρόσοψη (δεξιά)

Η συγκέντρωση της εκρηκτικής ύλης μπορεί να μειωθεί στη στήλη γόμωσης έως και 70% συγκριτικά με την πυκνότητα γόμωσης στον πυθμένα. Ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει στο πεδίο, διότι είναι χρονοβόρα διαδικασία, οπότε η γόμωση είναι ίδια με τον πυθμένα. Το μήκος επιγόμωσης είναι δέκα φορές της διαμέτρου ($h = 10 \cdot d$).

Αν η εξίσωση της σχέσης 3.21 χρησιμοποιηθεί, τότε οι ακόλουθες συνθήκες θα πρέπει να ισχύουν.

$$B \leq 0,6 \cdot H \quad (\text{σχέση 3.29})$$

Σε άλλη περίπτωση το μέγιστο φορτίο πρέπει σταδιακά να μειώνεται με το να μειώνεται η πυκνότητα γόμωσης. Ύστερα η πρακτική απόσταση S_L και το πρακτικό φορτίο B_L μπορεί να αξιολογηθεί.

3.5 Συντελεστής Περιορισμού (f)

Διαφορετικοί συντελεστές περιορισμού (f) χρησιμοποιούνται στις σχέσεις για τον υπολογισμό του φορτίου σε διάφορες συνθήκες. Για παράδειγμα, σε ανατίναξη βαθμίδας με κατακόρυφα διατρήματα τοποθετημένα σε σειρά, ο συντελεστής είναι ίσος με ένα ($f=1$). Αν τα διατρήματα έχουν κλίση, τότε η απελευθέρωση του ποδιού της βαθμίδας γίνεται ευκολότερη. Οπότε, συμπεριλαμβανομένου της συνθήκης κλίσης, χρησιμοποιείται τιμή (f) μικρότερη του 1 για κεκλιμένα διατρήματα και έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερο φορτίο. Σε υπόγειες ανατινάξεις πολλά διατρήματα πυροδοτούνται με τους ίδιους χρόνους καθυστέρησης και αρκετές φορές ανατινάσσονται με καθοδική ή ανοδική φορά. Άρα διαφορετικές τιμές του (f) καθορίζονται συνυπολογίζοντας την επίδραση της βαρύτητας και τους χρόνους καθυστέρησης των πυροκροτητών.

3.6 Διατρήματα κύριας παραγωγής/ διεύρυνσης

Η μέθοδος υπολογισμού είναι παρόμοια με αυτή των διατρημάτων δαπέδου. Για διατρήματα που ανατινάσσονται αριστερά ή δεξιά της προεκσκαφής η τιμή $f=1,45$ και ο λόγος $S/B=1,25$. Για διατρήματα πάνω από την προεκσκαφή η τιμή μειώνεται σε $f=1,2$ και ο λόγος $S/B=1,25$. Η γόμωση στήλης και για τα δύο είδη διατρημάτων πρέπει να έχουν το 50% της γόμωσης του πυθμένα.

3.7 Διατρήματα περιγράμματος

Αν δεν απαιτείται ομαλή ανατίναξη, το φορτίο και η απόσταση μεταξύ των διατρημάτων υπολογίζεται όμοια με του δαπέδου αλλά με τις ακόλουθες τιμές του συντελεστή περιορισμού:

- a. $f=1,2$
- b. $S/B=1,25$
- c. Πυκνότητα γόμωσης στήλης 50% της γόμωσης του πυθμένα

Η οροφή υπόγειας εκσκαφής μπορεί να επηρεαστεί σε βαθμό αστάθειας λόγω μεγάλης πυκνότητας γόμωσης κοντά στο περίγραμμα, απαιτώντας έργα υποστήριξης. Πιο προσεκτικός σχεδιασμός της ανατίναξης του περιγράμματος μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερο χρόνο σταθερότητας στην οροφή της σήραγγας.

Με ομαλή ανατίναξη αυτή η ζώνη θραύσης περιγράμματος περιορίζεται στο ελάχιστο. Εμπειρικά έχει φανεί πως η απόσταση μεταξύ διατρημάτων, συνδέεται γραμμικά με την διάμετρο διατρήματος.

$$S = k * d \quad (\text{σχέση 3.30})$$

Όπου,

k = σταθερά με τιμή από 15 έως 16

Ο λόγος S/B είναι ίσος με 0,8 για διάμετρο 41mm. Η απόσταση μεταξύ διατρημάτων είναι περίπου 0,6 και φορτίο 0,8m.

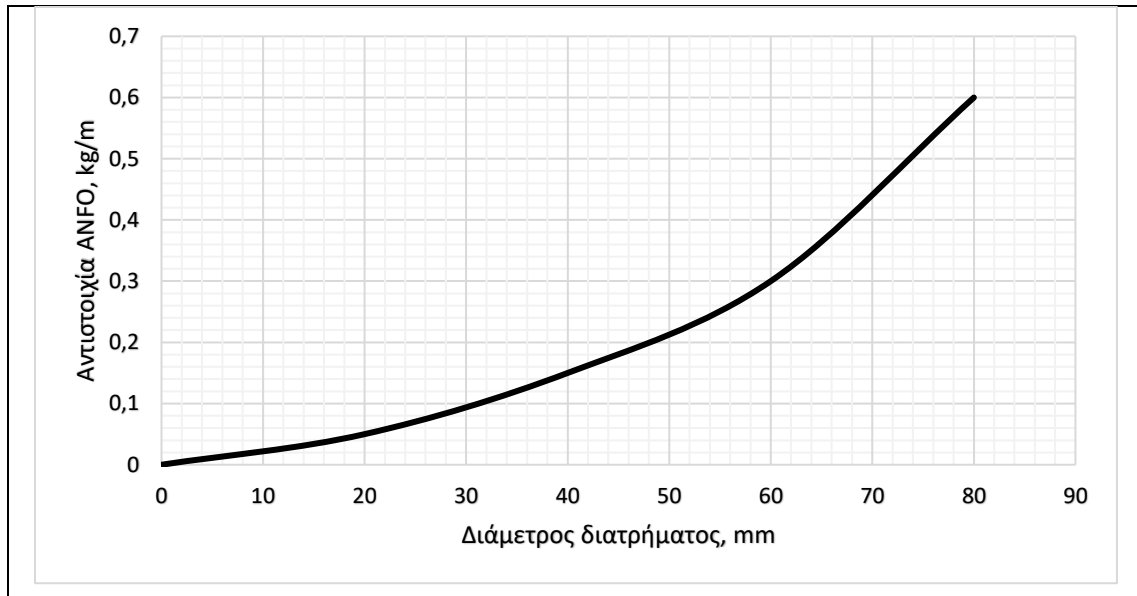
Η ελάχιστη πυκνότητα γόμωσης ανά μέτρο διατρήματος εξαρτάται από τη διάμετρο του διατρήματος. Για διαμέτρους διατρήματος έως 0,15m ισχύει η σχέση:

$$l = 90 * d^2 \text{ σε } (kg/m) \quad (\text{σχέση 3.31})$$

Σε ομαλή ανατίναξη όλη η στήλη του διατρήματος γομώνεται για να αποφευχθεί το φαινόμενο ατελούς θραύσης.

Η ατελής θραύση έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν σημεία με χαλαρό πέτρωμα, όπου παραμένει τουλάχιστον ένα μεγάλο ποσοστό αυτού στη θέση του, δημιουργώντας ανασφαλείς και δύσκολες συνθήκες εργασίας και κακό ποιοτικό αποτέλεσμα στο τελικό σύνολο του περιγράμματος της στοάς.

Στο διάγραμμα 3.6 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση της σχέσης πυκνότητας γόμωσης-διαμέτρου διατρήματος.



Διάγραμμα 3.6 Ελάχιστη πυκνότητα γόμωσης για ομαλή ανατίναξη και προτεινόμενη πρακτική διάμετρος διατρήματος για γόμωση NABIT και GURIT

Κεφάλαιο 4

Παραδείγματα μεθόδων ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς.

Στο κεφάλαιο αυτό θα συγκριθούν η Νορβηγική και η Σουηδική μέθοδος σχεδιασμού ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς. Υπάρχουν τα εξής κοινά δεδομένα μεταξύ των δύο παραδειγμάτων.

Κοινά δεδομένα:

- Διαστάσεις μετώπου:
 $W=5m$
 $Y=5m$
- Εμβαδό: $25m^2$
- Διάμετρος γομωμένου διατρήματος: 48mm
- Μήκος διάτρησης: 5m

Δεδομένα Εκρηκτικών υλών

- Φυσίγγιο EM-EX contour
 $\rho=1,2^{gr}/cm^3$
 $d=28mm$
Μήκος φυσιγγίου= 510mm
 $W_c=396gr$
- Φυσίγγιο EM-EX
 $\rho=1,2^{gr}/cm^3$
 $d=38mm$
Μήκος φυσιγγίου= 385mm
 $W_c=510gr$

4.1 Παράδειγμα Νορβηγικής μεθόδου ανατίναξης υπόγειου μετώπου μορφής στοάς με διάμετρο διατρημάτων 48mm και φυσίγγια

4.1.1 Δεδομένα:

- Δείκτης ευκολίας ανατίναξης πετρώματος Δ.Ε.Α.Π (SPR): Καλή (Γρανίτης)
- Εργατικό επίπεδο (ε.ε): υψηλό

4.1.2 Σχετικός θεωρητικός αριθμός διατρημάτων

Με εμβαδό 25m² και καλό δείκτη ευκολίας ανατίναξης πετρώματος, βρίσκεται ο σχετικός θεωρητικός αριθμός διατρημάτων με γραμμική παρεμβολή από το διάγραμμα 2.4.

$$N_{\theta}=49$$

4.1.3 Σχεδιασμός αρχικής κοπής

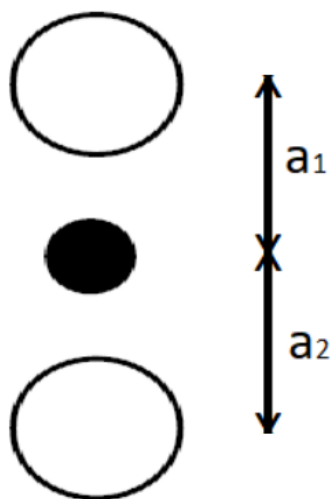
Απαραίτητος κενός χώρος κενών διατρημάτων

Από το Διάγραμμα 2.1 και για 48mm γομωμένο διάτρημα, μήκος διάτρησης πέντε μέτρα και καλό δείκτη ευκολίας ανατίναξης πετρώματος θα χρειαστούμε δύο κενά διατρήματα 127mm. Με κάλυψη επιφάνειας 323cm², πληρώνοντας τις ελάχιστες απαιτήσεις των 220cm² κενού χώρου για το μήκος διάτρησης που επιλέχθηκε.

Ο αριθμός διατρημάτων στρογγυλοποιήθηκε προς τα πάνω και επιλέγει το διαμέτρημα των 127mm για λόγους εξοικονόμησης χρόνου και διευκόλυνση σχεδιασμού πλάνου ανατίναξης.

Απόσταση κενού- γομωμένου διατρήματος (d_g)

Ύστερα από έλεγχο παραμέτρου χώρου διαστολής εκτινασσόμενου πετρώματος βρέθηκε ότι η απόσταση $1,9 \cdot d_g$ πληρεί τις προδιαγραφές.



$$- \alpha_1 = \alpha_2 = 1,9 \cdot d_g = 241 \text{ mm ή } 0,24 \text{ m}$$

Διότι:

-Εμβαδό επιφάνειας προς ανατίναξη ($E_{εα}$) για επιλεγμένη απόσταση (α)

$$E_{εα} = 2 \cdot \left(\frac{127 \text{ mm} + 48 \text{ mm}}{2} \cdot 241 \text{ mm} \right) - \left(\frac{2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot 127^2 \text{ mm}^2}{4} \right) - \left(\frac{2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot 48^2 \text{ mm}^2}{4} \right) = 29,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 \quad (\text{Σχέση 4.1})$$

-Εμβαδό απαραίτητου ελεύθερου χώρου ($E_{αεχ}$)

$$E_{αεχ} = 1,8 \cdot 29,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 = 53,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 \quad (\text{Σχέση 4.2})$$

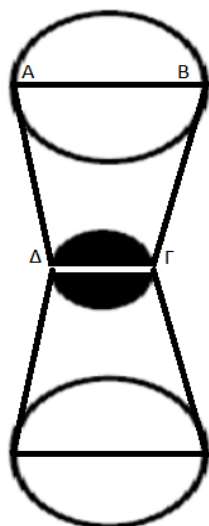
-Εμβαδό διαθέσιμου κενού χώρου ($E_{Δκχ}$)

$$E_{Δκχ} = 2 \cdot \left(\frac{127 \text{ mm} + 48 \text{ mm}}{2} \cdot 241 \text{ mm} \right) + \left(\frac{2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot 127^2 \text{ mm}^2}{4} \right) = 54,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 \quad (\text{Σχέση 4.3})$$

Επομένως $E_{Δκχ} > E_{αεχ}$ Δεκτό

Εξήγηση σχέσεων 4.1,2,3

Η σχέση εμβαδού εκτιναχθείσας επιφάνειας $E_{εα}$ (Σχέση 4.1) είναι η διαφορά της διπλής τραπεζοειδούς επιφάνειας ΑΒΓΔ (και την αντιδιαμετρική) που περικλείονται μεταξύ του πρώτου γομωμένου και των δύο κενών διατηρημάτων μείον την επιφάνεια κύκλου του κενού διατηρήματος και του γομωμένου.

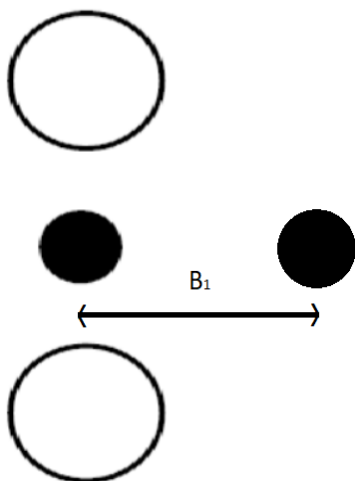


Φορτία υπόλοιπων διατρημάτων αρχικής κοπής

Από το διάγραμμα 2.2 για πλάτος πρώτης ελεύθερης επιφάνειας ανατίναξης ίσο με:

$$W_1 = \alpha_1 + \alpha_2 + 127\text{mm} = 609\text{mm} \text{ ή } 0.6\text{m} \text{ και φορτίο } V_1 = 0.45\text{m}$$

Ύστερα από έλεγχο παραμέτρου χώρου διαστολής εκτινασόμενου πετρώματος βρέθηκε ότι δεν πληρούνται οι προδιαγραφές για 0,6m και μειώσαμε κατά 100mm μέχρις ότου ικανοποιηθούν. Αντίστοιχα για το αντιδιαμετρικό διάτρημα με φορτίο V_2 υπολογίστηκε.



$$- B_1 = B_2 = 0.3\text{m}$$

Διότι

Για πλάτος $W_1 = 0.6\text{m}$ και $B_1 = 0.45\text{m}$ καταλήγουμε πως $E_{\Delta\kappa\chi} < E_{ae\chi}$ το οποίο απορρίπτεται

Ενώ όταν $B_1=0,3$

-Εμβαδό επιφάνειας προς ανατίναξη ($E_{εα}$) για επιλεγμένη απόσταση (a)

$$E_{εα} = \left(\frac{600mm}{2} * 300mm \right) - \frac{1}{2} * 54,8 * 10^3 mm^2 = 62,6 * 10^3 mm^2 \quad (\text{Σχέση 4.4})$$

-Απαραίτητος ελεύθερος χώρος ($E_{αεχ}$)

$$E_{αεχ} = 1,8 * 62,6 * 10^3 mm^2 = 112,7 * 10^3 mm^2 \quad (\text{Σχέση 4.5})$$

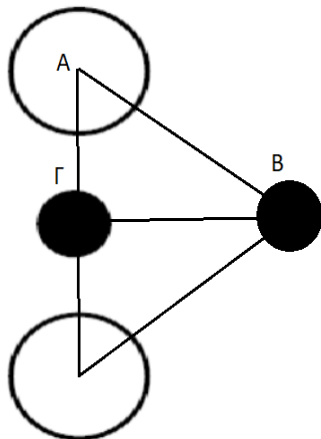
-Διαθέσιμος κενός χώρος ($E_{Δκχ}$)

$$E_{Δκχ} = \left(\frac{600mm}{2} * 300mm \right) + \frac{1}{2} * 54,8 * 10^3 mm^2 = 117,4 * 10^3 mm^2 \quad (\text{Σχέση 4.6})$$

Επομένως $E_{Δκχ} > E_{αεχ}$ Δεκτό

Εξήγηση σχέσεων 4.4,5,6

Η σχέση 4.4 εμβαδού επιφάνειας ανατίναξης είναι η διαφορά της μισής τριγωνικής επιφάνειας που περικλείεται μεταξύ του δεύτερου γομωμένου και των δύο κενών διατρημάτων, μείον το μισό της επιφάνειας του διαθέσιμου κενού χώρου ($E_{Δκχ}$) από τη σχέση 4.3.



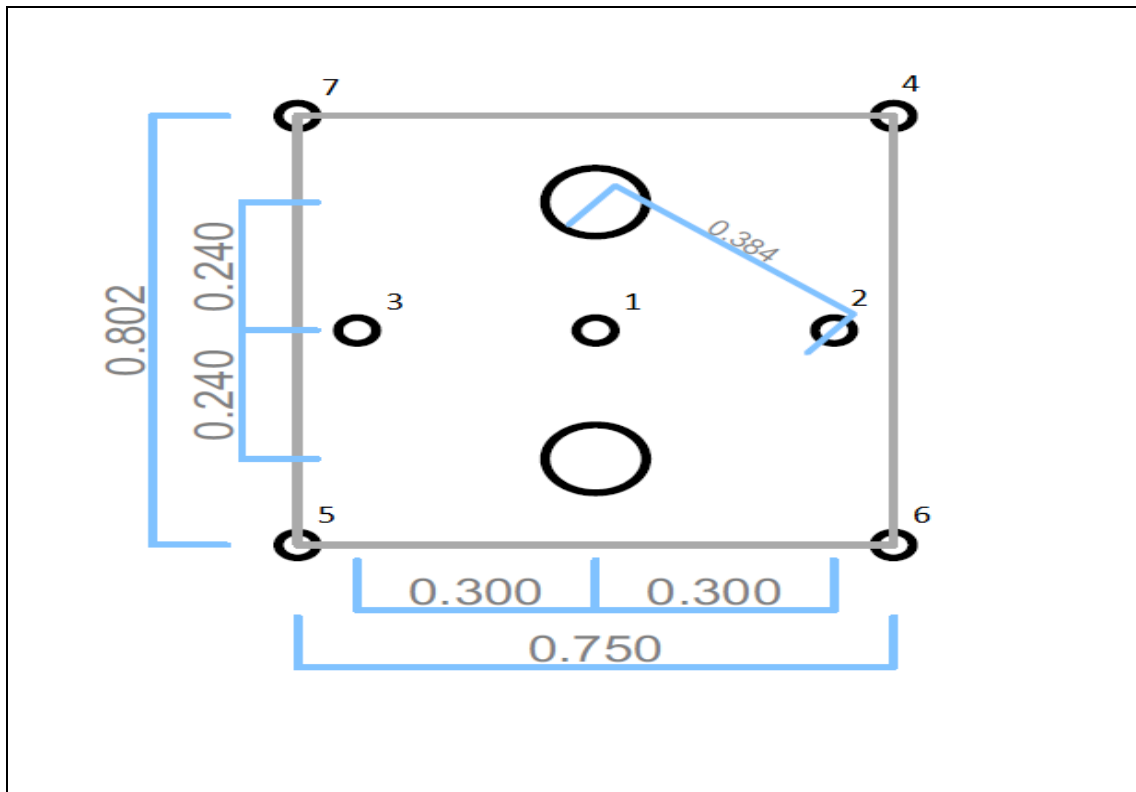
- $B_3 = B_4 = B_5 = B_6 = 360mm$ ή $0,36m$

Έχει γίνει έλεγχος παραμέτρου διαστολής όγκου πετρώματος προς ανατίναξη

Συνολικός αριθμός διατρημάτων αρχικής κοπής

$N=7$

Τελικό σχήμα διάταξης της θέσης των διατρημάτων και της σειράς ανατίναξης στην προεκσκαφή



Εικόνα 4.1 Τελικό σχέδιο διάταξης των διατρημάτων και των χρόνων ανατίναξης στην προεκσκαφή με την Νορβηγική μέθοδο

4.1.4 Διατρήματα δαπέδου (Invert)

Με βάση το Δ.Ε.Α.Π και το γομωμένο διάτρημα, από τον πίνακα 2.3 υπολογίζεται

- Φορτίο $B_I = 1\text{m}$
- Απόσταση μεταξύ διατρημάτων $S_I = 1\text{m}$

Αριθμός διατρημάτων από την σχέση 2.2

$$N_I = \frac{5m + 2 * 0.2 \frac{m}{m}}{1m} + 1 = 5,4 \approx 6$$

Στρογγυλοποιήθηκε προς τα πάνω

4.1.5 Περίγραμμα (contour)

Για τιμή εμβαδού $25m^2$ και καλό Δ.Ε.Α.Π, κάνουμε χρήση γραμμικής παρεμβολής για μέγιστο και ελάχιστο εμβαδό (120 και $20m^2$) κατά αντιστοιχία τιμών για τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές φορτίου (1 και $0,8m$) και απόστασης διατρημάτων (1 και $0,7m$) από τον πίνακα 2.3.

Δηλαδή,

Εύρεση φορτίου (B_c) για μέτωπο $25m^2$

$$\frac{120m^2 - 20m^2}{25m^2 - 20m^2} = \frac{1m - 0,8m}{B_c - 0,8m}$$

Λύνουμε ως προς B_c και για τις αντίστοιχες τιμές της S_c βρίσκουμε,

$$B_c \approx 0,8m$$

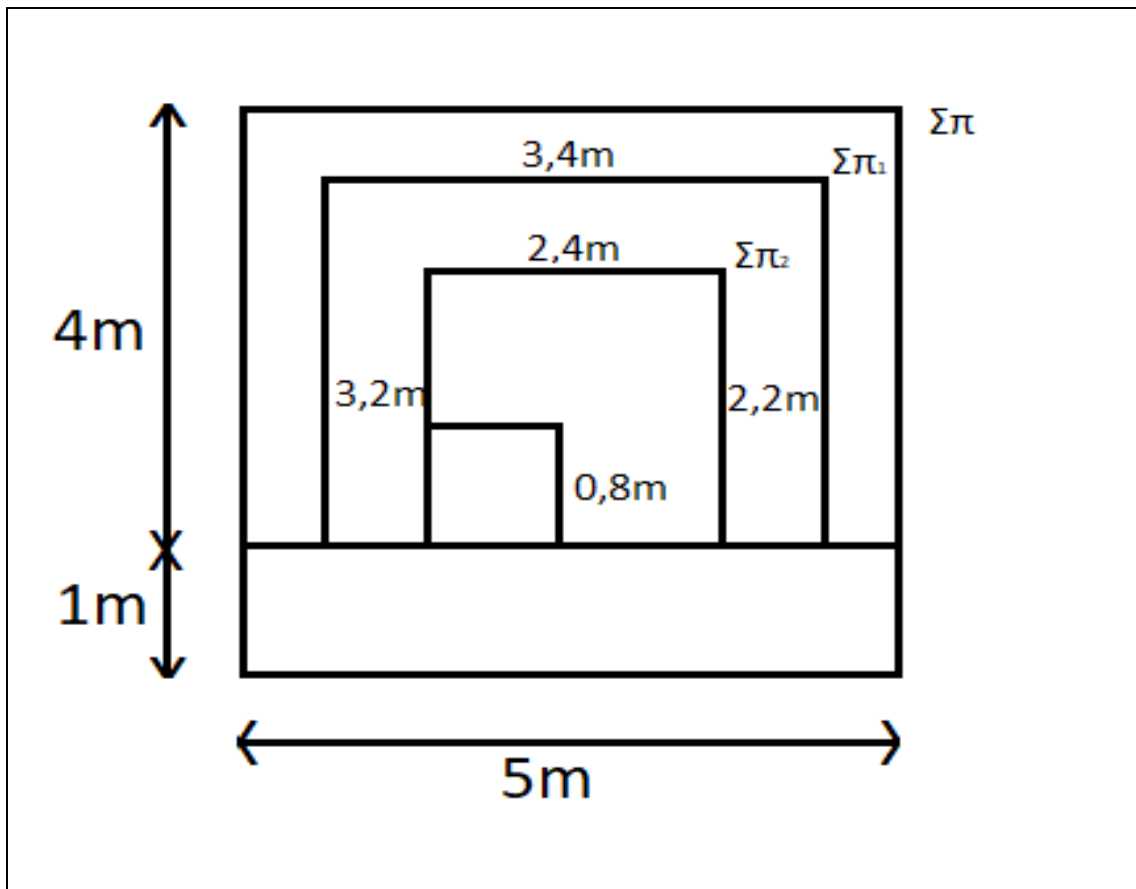
$$S_c \approx 0,7m$$

Συνολικός αριθμός διατρημάτων περιγράμματος

$$\begin{aligned} N_c &= \frac{\Sigma \pi}{S_c} + 1 = \frac{\text{Πλάτος} + 2 * (\text{Πλάτος} - 2 * B_l)}{0,7m} + 1 = \frac{5m + 2 * (5m - 2 * 1m)}{0,7m} + 1 \\ &= \frac{13m}{0,7m} + 1 \approx 20 \text{ διατρήματα} \end{aligned}$$

Στρογγυλοποίηση προς τα πάνω

Ως $\Sigma\pi$, $\Sigma\pi_1$, $\Sigma\pi_2$ ορίζονται οι αποστάσεις περιγράμματος, σειράς πλησιέστερης στο περίγραμμα και περιγράμματος κύριας παραγωγής/διεύρυνσης πάνω από το επίπεδο φορτίου των διατρημάτων δαπέδου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Γεωμετρική αναπαράσταση μήκους περιμέτρων $\Sigma\pi$, $\Sigma\pi_1$, $\Sigma\pi_2$ με αρχή και τέλος πάνω από το επίπεδο φορτίου των διατρημάτων δαπέδου

Σειρά πλησιέστερη στο περίγραμμα

Από τον πίνακα 2.3 και για καλό Δ.Ε.Α.Π προσδιορίζουμε το φορτίο και την απόσταση μεταξύ διατρημάτων.

$$B_{C1} \approx 1\text{m}$$

$$S_{C1} \approx 1,1\text{m}$$

Συνολικός αριθμός διατρημάτων σειράς πλησιέστερης στο περίγραμμα

$$\begin{aligned} N_{C1} &= \frac{\Sigma \pi_1}{S_c} + 1 = \frac{(2 * (\Pi\lambda\tau\omicron\varsigma - B_c - B_l)) + (\Pi\lambda\tau\omicron\varsigma - 2 * B_l)}{0,7m} + 1 \\ &= \frac{(2 * (5m - 0,8m - 1m)) + (5m - 2 * 0,8m)}{0,7m} + 1 = \frac{9,8m}{1,1m} + 1 \\ &\approx 10 \text{ διατρήματα} \end{aligned}$$

Στρογγυλοποίηση προς τα πάνω

4.1.6 Διατρήματα κύριας παραγωγής/διεύρυνσης

Για καλό Δ.Ε.Α.Π, 5m μήκος διάτρησης και συντελεστή $k_{bl}=1$, από τον πίνακα 2.3 δίνεται η τιμή $F_s=1,8m^2$. Άρα με χρήση της σχέσης 2.2 και εφόσον ισχύει $S_s=1,2*B_s$, προκύπτει

$$F_s = \frac{S_s * B_s}{k_{bl}} = \frac{1,2 * B_s^2}{k_{bl}}$$

Οπότε λύνοντας την παραπάνω σχέση ως προς B_s και μετά λύνοντας για S_s βρίσκουμε

$$B_s=1,2m$$

$$S_s=1,4m$$

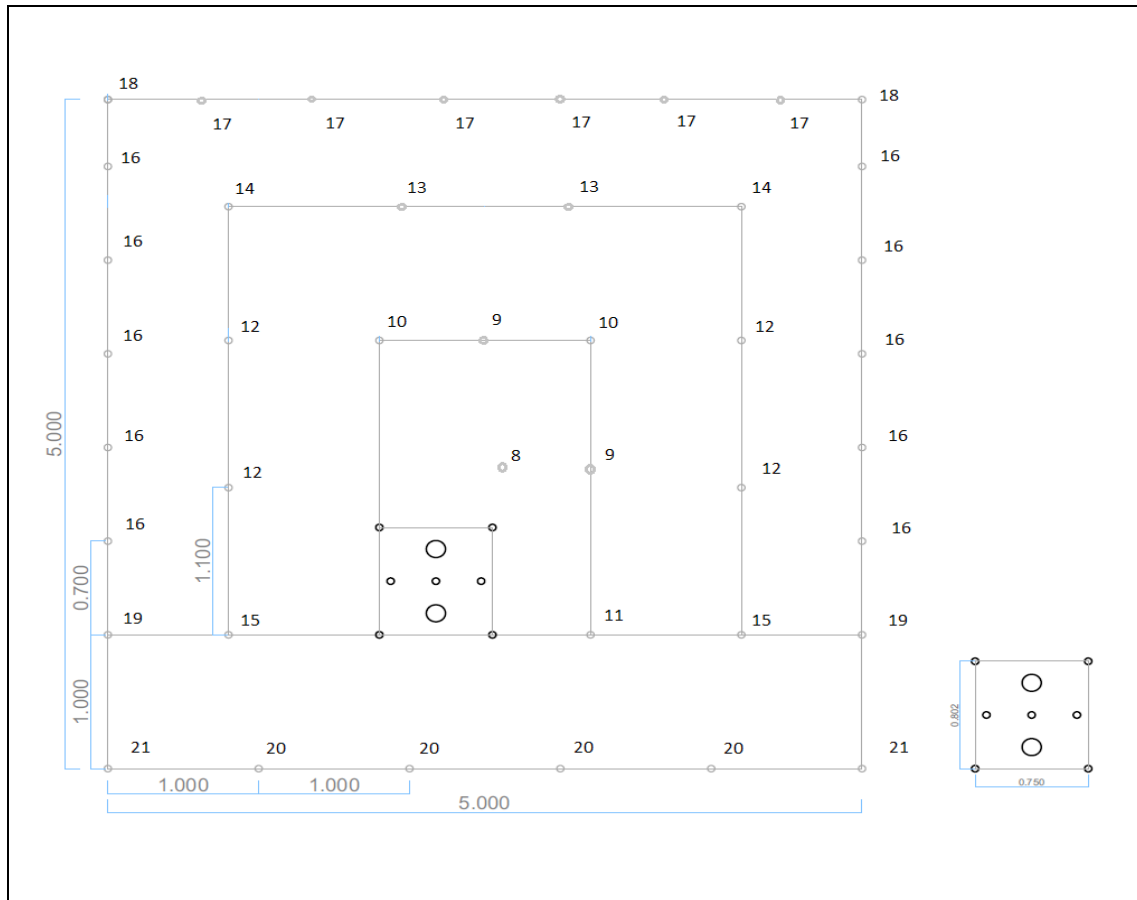
Συνολικός αριθμός διατρημάτων διεύρυνσης

$$\Sigma \pi_2 = 2 * (\Pi\lambda\tau\omicron\varsigma - B_c - B_{C1} - B_l) + (\Pi\lambda\tau\omicron\varsigma - 2 * (B_c + B_{C1})) = 2 * (5m - 0,8m - 1m - 1m) + (5m - 2 * (0,8m + 1m)) = 6,8m$$

$$N_E = \frac{\Sigma \pi_2}{S_s} + 1 = \frac{6,8m}{1,4m} + 1 \approx 6 \text{ διατρήματα}$$

Στρογγυλοποίηση προς τα πάνω

**Τελικό σχήμα διάταξης της θέσης και της σειράς των χρόνων ανατίναξης των
διατρημάτων στο μέτωπο**



Εικόνα 4.2 Τελικό σχήμα διάταξης της θέσης των διατρημάτων και της σειράς των χρόνων ανατίναξης στο μέτωπο με την Νορβηγική μέθοδο

4.1.7 Πίνακας αποτελεσμάτων και ειδική κατανάλωση

Θα παρουσιαστούν οι τελικοί πίνακες αποτελεσμάτων αριθμού διατρημάτων ανά τμήμα, αριθμός φυσιγγίων, μήκος επιγόμεσης και σύνολο κιλών Ε.Υ και διατρημάτων. Καθώς και τα αποτελέσματα ειδικής διάτρησης και κατανάλωσης.

Πίνακας 4.1 Τελικά αποτελέσματα παραδείγματος Νορβηγικής μεθόδου ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς

Τύπος διατρήματος		Αρχική κοπή	Δαπέδου	Περίγραμμα	Σειρά πλησίον στο περίγραμμα	Easers	Σύνολο
Αριθμός διατρημάτων		7	6	20	10	6	49
Μήκος επιγόμεσης ανά διάτρημα, (m)		0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	-
EM-EX contour Φ28	Αριθμός φυσιγγίων	-	-	7	7	-	-
	Kg/διάτρημα	-	-	3	3	-	-
EM-EX Φ38	Αριθμός φυσιγγίων	12	12	-	-	10	-
	Kg/διάτρημα	7	7	-	-	6	-
Σ(kg/διάτρημα)		7	7	3	3	6	-
Σ(kg/ανατίναξη)		49	42	60	30	36	217

Ειδική κατανάλωση και ειδική διάτρηση:

$$\text{Ειδική διάτρηση (Specific drilling)} = \frac{\text{Συνολικά διατρήματα} \cdot H}{\text{Εμβαδό διατομής} \cdot \text{προχώρηση}} = \frac{49 \cdot 5m}{25m^2 \cdot 5m \cdot 0,9} = 2,2 \text{ m}/m^3$$

$$\text{Ειδική κατανάλωση} = \frac{\text{Συνολική Ε.Υ}}{\text{Εμβαδό διατομής} \cdot \text{προχώρηση}} = \frac{217kg}{(25m^2 \cdot 5m \cdot 0,9)} = 1,9 \text{ kg}/\sigma m^3$$

Απο το διάγραμμα 2.6 για 25m² δίνει 1,75 kg/σm³

Η προχώρηση με τη Νορβηγική μέθοδο για διάτρημα 48mm είναι το 90% του συνολικού μήκους διάτρησης όπως δηλώνεται στο Doctoral thesis at NTNU, 2007:129(2) Shokrollah Zare, Drill and blast tunneling blast design, page 30.

4.2 Παράδειγμα Σουηδικής μεθόδου ανατίναξης υπόγειου μετώπου μορφής στοάς με διάμετρο διατρημάτων 48mm και φυσίγγια.

4.2.1 Δεδομένα:

- $\gamma = 3^\circ$
- $\alpha_1 = 0,01 \text{ m/m}$ σφάλμα κλίσης
- $\alpha_2 = 0,02 \text{ m}$ σφάλμα κολάρου
- Για γρανίτη $c = 0,4$
- Προχώρηση 95%

Θερμότητα και ενέργεια ανατίναξης του Πετραμμωνίτη και των εκρηκτικών

- $Q_{em-ex} = 965 \text{ kcal/kg} = 4,04 \text{ MJ/kg}$
 $V_{em-ex} = 920 \text{ lt/kg} = 0,92 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $Q_{LFB} = 5 \text{ MJ/kg}$
 $V_{LFB} = 0,85 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $S_{ANFO} = 0,84$

4.2.2 Υπολογισμός Σουηδικής σχέσης βάρους-ισχύος και πυκνότητας γόμωσης φυσιγγίων

Με τα δεδομένα της Ε.Υ που χρησιμοποιείται και της σχέσης 3.1 βρίσκουμε:

$$S^{EM-EX}/_{LFB} = \frac{5}{6} * \frac{Q_{EM-EX}}{Q_{LFB}} + \frac{1}{6} * \frac{V_{EM-EX}}{V_{LFB}} = \frac{5}{6} * \frac{4,04}{5} + \frac{1}{6} * \frac{0,92}{0,85} = 0,85 \quad (\text{σχέση 3.1})$$

$$S^{EM-EX}/_{ANFO} = \frac{S^{EM-EX}/_{LFB}}{S_{ANFO}} = \frac{0,85}{0,84} = 1,01$$

Πυκνότητα γόμωσης φυσιγγίων:

$$l_{28} = \frac{\pi * \rho * d^2}{4} = \frac{3,14 * 1200 \text{ kg/m}^3 * 0,028^2 \text{ m}^2}{4} = 0,74 \text{ kg/m}$$

$$l_{38} = \frac{\pi * \rho * d^2}{4} = \frac{3,14 * 1200 \text{ kg/m}^3 * 0,038^2 \text{ m}^2}{4} = 1,36 \text{ kg/m}$$

4.2.3 Σχεδιασμός προεκσκαφής

Παράμετροι

Προχώρηση:

$$I = 0,95 * 5m = 4,75m \quad (\text{σχέση 3.3})$$

Μέγιστο θεωρητικό μήκος πλευράς τετραγώνου προεκσκαφής

$$A_n \geq \sqrt{I} \leftrightarrow A_n \geq 2,18m \quad (\text{σχέση 3.19})$$

Εύρεση διαμέτρου κενού διατρήματος με γνωστό μήκος διάτρησης από την ακόλουθη σχέση

$$H = 0,15 + 34,1 * \varphi - 39,4 * \varphi^2 \quad (\text{σχέση 3.2})$$

Από την επίλυση της τριτοβάθμιας εξίσωσης για $H=5m$

$$\Delta = \beta^2 - 4 * \alpha * \gamma = 34,1^2 - 4 * (-39,4) * (-4,85) = 1162,8 - 764,36 = 396,4$$

$$\sqrt{\Delta} \approx 20$$

Βρίσκω τις ρίζες:

$$x_1 = \frac{-\beta + \sqrt{\Delta}}{2 * \alpha} = \frac{-34,1 + 20}{2 * (-39,4)} = \frac{-14,1}{-78,8} = 0,179m$$

$$x_2 = \frac{-\beta - \sqrt{\Delta}}{2 * \alpha} = \frac{-34,1 - 20}{2 * (-39,4)} = \frac{-54,1}{-78,8} = 0,687m$$

Επιλέχθηκε η μικρότερη τιμή, διότι ο σχεδιασμός με την μέθοδο τεσσάρων τετραγώνων για την προεκσκαφή ισχύει λόγω περιορισμού στην διάμετρο κενού διατρήματος από 65mm έως 175mm και λόγω οικονομίας χρόνου και κόστους.

Υπολογισμός 1^{ου} τετραγώνου προεκσκαφής

Η επι τοις εκατό απόκλιση ορίζεται ως το σφάλμα κλίσης ανά μέτρο επι εκατό.

Εφόσον η επί τοις εκατό απόκλιση δεν ξεπερνάει το 1%, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση για το μέγιστο φορτίου

$$-B = 1,7 * \varphi_k = 1,7 * 0,175m = 0,3m$$

$$-F = a_1 + a_2 * H = 0,01 \frac{m}{m} + 0,02 m * 5m = 0,07m$$

$$-\text{Διορθωμένο φορτίο: } B_1 = B - F = 0,3m - 0,07m = 0,23m \quad (\text{σχέση 3.6})$$

-Πυκνότητα Γόμωσης:

$$l = 55 * d * \left(\frac{B}{\varphi}\right)^{\frac{1}{3}} * \left(B - \frac{\varphi}{2}\right) * \left(\frac{c}{0,4}\right) * \left(\frac{1}{S_{ANFO}^{Em-Ex}}\right) = 55 * 0,048m * \left(\frac{0,3m}{0,175mm}\right)^{1,5} * \\ \left(0,3m - \frac{0,175mm}{2}\right) * \left(\frac{0,4}{0,4}\right) * \left(\frac{1}{1,01}\right) = 1,23^{kg/m} \quad (\text{σχέση 3.9})$$

Επιλέγω φυσίγγιο φ_{38} διότι l_{38} παραπλήσιο με την υπολογισμένη τιμή l

-Μήκος επιγόμωσης: $h = 10 * d = 10 * 0,048m = 0,48m$

-Πλευρά 1^{ου} Τετραγώνου: $A_1 = \sqrt{2} * B_1 = \sqrt{2} * 0,23m = 0,32m$

-Αριθμός φυσιγγίων: $N = \frac{H-h}{0,385m} = \frac{5m-0,48m}{0,385m} \approx 12$ φυσίγγια

Υπολογισμός 2^{ου} τετραγώνου προεκσκαφής

$$A'_1 = \sqrt{2} * (B_1 - F) = \sqrt{2} * (0,23m - 0,07m) = 0,23m \quad (\text{σχέση 3.12})$$

$$0,5 * A_2 \leq B_2 \leq 2 * A_2$$

-Για φ_{38} :

$$B = 10,5 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{(B_1 - F) * l_{38} * S_{Em-Ex}/_{ANFO}}{d * c}} = 10,5 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{0,16m * 1,36^{kg/m * 1,01}}{0,048m * 0,4}} = 0,35m \\ (\text{σχέση 3.13})$$

- Πρακτικό φορτίο

$$B_2 = B - F = 0,35m - 0,07m = 0,28m \quad (\text{σχέση 3.14})$$

Περιορισμός πλευράς 2^{ου} τετραγώνου προεκσκαφής. Ισχύει $B_2 \leq 2 * A_1$ οπότε κάνω χρήση φυσιγγίων φ_{38} αξιοποιώντας το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο.

Πλευρά 2^{ου} Τετραγώνου:

$$A_2 = \sqrt{2} * \left(B_2 + \frac{A_1}{2}\right) = \sqrt{2} * \left(0,28m + \frac{0,32m}{2}\right) = 0,62m$$

-Αριθμός φυσιγγίων: $N = \frac{H-h_s}{0,385m} = \frac{5m-0,48m}{0,385m} \approx 12$ φυσίγγια

Υπολογισμός 3^{ου} τετραγώνου προεκσκαφής

$$A'_2 = \sqrt{2} * \left(B_2 + \frac{A_1}{2} - F\right) = \sqrt{2} * \left(0,28m + \frac{0,32m}{2} - 0,07m\right) = 0,52m$$

-Για φ_{38} :

$$B = 10,5 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{(B_2 - F) * l_{38} * S_{Em-Ex}/_{ANFO}}{d * c}}$$

$$= 10,5 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{0,21m * 1,36 \frac{kg}{m} * 1,01}{0,048m * 0,4}} = 0,54m$$

-Διορθωμένο φορτίο:

$$B_3 = B - F = 0,47m$$

Περιορισμός πλευράς 3^{ου} τετραγώνου προεκσκαφής. Ισχύει $B_3 \leq 2 * A_2$ οπότε κάνω χρήση φυσιγγίων φ_{38} αξιοποιώντας το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο.

Πλευρά 3^{ου} Τετραγώνου:

$$A_3 = \sqrt{2} * \left(B_3 + \frac{A_2}{2} \right) = \sqrt{2} * \left(0,47m + \frac{0,62m}{2} \right) = 1,1m$$

$$\text{-Αριθμός φυσιγγίων: } N = \frac{H - h_s}{0,385m} = \frac{5m - 0,48m}{0,385m} \approx 12 \text{ φυσίγγια}$$

Υπολογισμός 4^{ου} τετραγώνου προεκσκαφής

$$A'_3 = \sqrt{2} * \left(B_3 + \frac{A_2}{2} - F \right) = \sqrt{2} * \left(0,47m + \frac{0,62m}{2} - 0,07m \right) = 1m$$

-Για φ_{38} :

$$B = 10,5 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{(B_3 - F) * l_{38} * S_{Em-Ex}/_{ANFO}}{d * c}}$$

$$= 10,5 * 10^{-2} * \sqrt{\frac{0,4m * 1,36 \frac{kg}{m} * 1,01}{0,048m * 0,4}} = 0,74m$$

-Διορθωμένο φορτίο:

$$B_4 = B - F = 0,67m$$

Περιορισμός 4^{ης} πλευράς τετραγώνου προεκσκαφής. Ισχύει $B_4 \leq 2 * A_3$ οπότε κάνω χρήση φυσιγγίων φ_{38} αξιοποιώντας το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο.

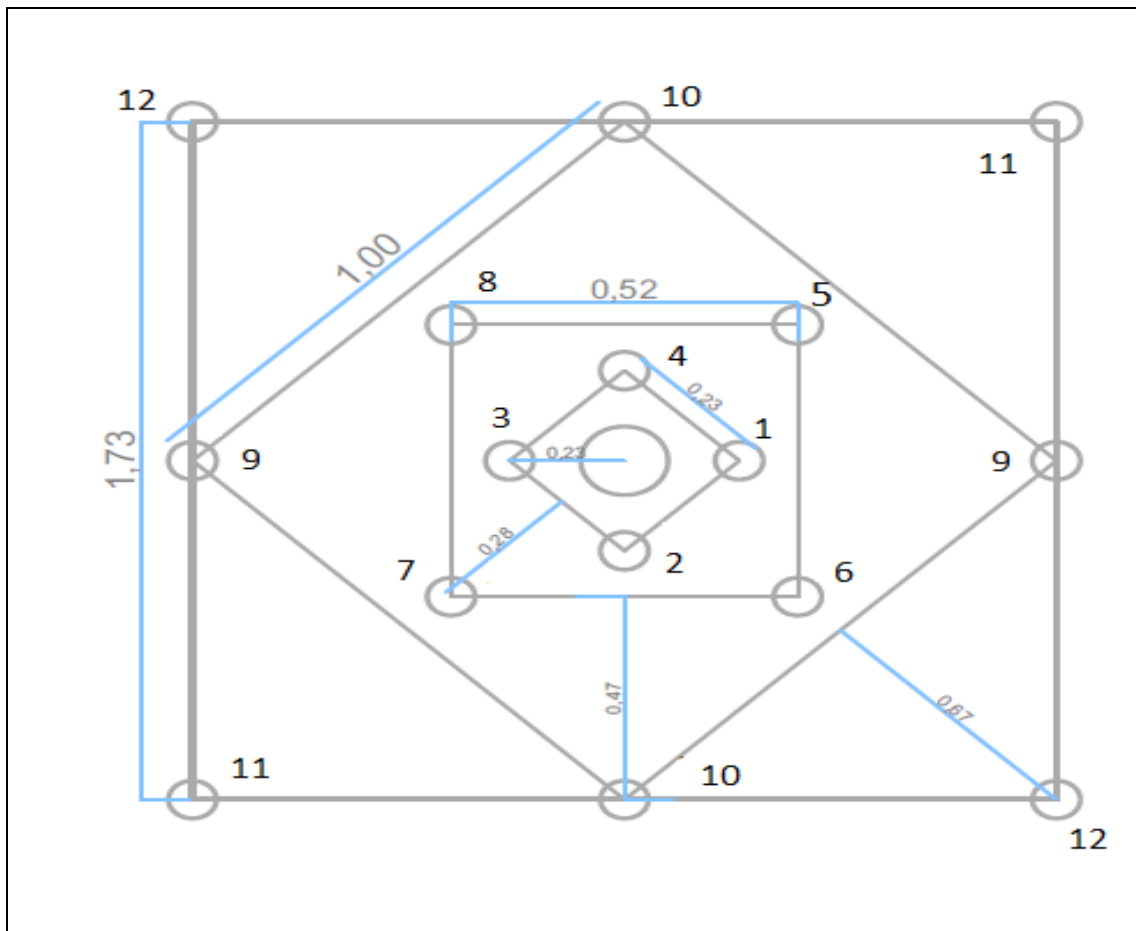
Πλευρά 4^{ου} Τετραγώνου:

$$A_4 = \sqrt{2} * \left(B_4 + \frac{A_3}{2} \right) = \sqrt{2} * \left(0,67m + \frac{1m}{2} \right) = 1,73m$$

-Αριθμός φυσιγγίων: $N = \frac{H-h_s}{0,385m} = \frac{5m-0,48m}{0,385m} \approx 12$ φυσιγγια

Εδώ σταματά η προεκσκαφή αφού A_4 συγκρίσιμο με A_n .

Τελικό σχήμα διάταξης της θέσης και της σειράς των χρόνων ανατίναξης των διατρημάτων στην προεκσκαφή



Εικόνα 4.3 Τελικό σχέδιο διάταξης της θέσης και της σειράς των χρόνων ανατίναξης των διατρημάτων στην προεκσκαφή με την μέθοδο των τεσσάρων τετραγώνων

4.2.4 Διατηρήματα Διαπέδου

$$f = 1,45$$

$$S/B = 1$$

$$\hat{c} = 0,45$$

Περιορισμός φορτίου:

$$B \leq 0,6 \cdot H \leftrightarrow B \leq 3m \quad (\text{σχέση 3.29})$$

Μέγιστο φορτίο:

$$B = 0,9 * \sqrt{\frac{l_{38} * S_{ANFO} / (E_m - E_x)}{\hat{c} * f * (S/B)}} = 0,9 * \sqrt{\frac{1,36 \text{ kg/m}^3 * 1,01}{0,45 * 1,45 * 1}} = 1,31m \quad (\text{σχέση 3.21})$$

-Αριθμός διατηρημάτων :

$$N = \frac{\text{Πλάτος μετώπου} + 2 \cdot H \cdot \sin \gamma}{B} + 1 = \frac{5m + 2 \cdot 5m \cdot \sin 3}{1,31m} + 1 \approx 6 \quad (\text{σχέση 3.23})$$

-Απόσταση μεταξύ διατηρημάτων:

$$S_L = \frac{\text{Πλάτος μετώπου} + 2 \cdot H \cdot \sin \gamma}{N - 1} = \frac{5m + 2 \cdot 5m \cdot \sin 3}{6 - 1} = 1,1m \quad (\text{σχέση 3.24})$$

-Απόσταση ακριανών διατηρημάτων:

$$S_L' = S_L - H \cdot \sin \gamma = 1,1m - 0,25m = 0,85m \quad (\text{σχέση 3.25})$$

-Πρακτικό Φορτίο:

$$B_L = B - H \cdot \sin \gamma - F = 1,31 - 0,25 - 0,07 = 0,99m \quad (\text{σχέση 3.26})$$

-Αριθμός φυσιγγίων στην γόμωση πυθμένα και στήλης διατηρήματος:

- Γόμωση πυθμένα

$$h_b = 1,25 \cdot B_L = 1,25 \cdot 0,98m = 1,23m \quad (\text{σχέση 3.27})$$

Αριθμός φυσιγγίων για γόμωση με φ_{38}

$$N = \frac{h_b}{\text{μήκος φυσιγγίου } \varphi_{38}} = \frac{1,23m}{0,385m} = 3,2$$

- Γόμωση στήλης

$$h_c = H - h_b - 10 \cdot d = 5m - 1,23m - 0,48m = 3,3m \quad (\text{σχέση 3.28})$$

Η γόμωση στήλης θα έχει το 70% της γόμωσης του πυθμένα

$$70\% \cdot 1,36 \text{ kg/m} = 0,95 \text{ kg/m}$$

Επιλέγω φυσίγγια φ_{28} και στρογγυλοποιώ προς πάνω για να πετύχω όσο καλύτερη πυκνότητα γόμωσης γίνεται.

$$N = \frac{h_c}{\text{μήκος φυσιγγίου } \varphi_{28}} = \frac{3,3m}{0,51m} = 6,5 \approx 7$$

4.2.5 Διατρήματα Περιγράμματος

Διατρήματα Περιγράμματος ομαλής ανατίναξης (Οροφής)

-Απόσταση μεταξύ διατρημάτων

$$S = k \cdot d = 15 \cdot 0,048m = 0,72m \quad (\text{σχέση 3.30})$$

-Φορτίο

$$\text{Απο την σχέση } \frac{S}{B} = 0,8 \rightarrow B = \frac{S}{0,8} = \frac{0,72}{0,8} = 0,9m$$

-Πυκνότητα γόμωσης

$$l = 90 \cdot d^2 = 90 \cdot 0,048^2m = 0,2^{kg}/m \quad (\text{σχέση 3.31})$$

-Πρακτικό φορτίο

$$B_{CR} = B - H \cdot \sin(\gamma) = 0,9m - 5m \cdot \sin(3) - 0,07m = 0,58m$$

-Αριθμός διατρημάτων

$$N = \frac{\text{Μήκος πλευράς}}{S} + 1 = \frac{5m}{0,72} + 1 = 7,9 \approx 8$$

-Αριθμός φυσιγγίων

$$h = 10 \cdot d = 0,48m$$

Έχει υπολογιστεί $l = 0,2^{kg}/m$, αλλά το μικρότερο για την υπολογισμένη πυκνότητα γόμωσης φυσίγγιο που διατίθεται είναι το φ_{28} με $l = 0,74^{kg}/m$. Πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα από την συνιστάμενη. Η γόμωση είναι συνεχής και με ενιαία πυκνότητα γόμωσης.

$$N_{\varphi 28} = \frac{H-h}{\text{Μήκος φυσιγγίου}} = \frac{4,51m}{0,51m} = 8,9 \approx 9$$

Διατρήματα Περιγράμματος ομαλής ανατίναξης (Τοίχους)

$$f = 1,2$$

$$S/B = 1,25$$

$$\hat{c} = 0,45$$

$$l_c = 50\% * I_b$$

$$l = d^2 * 90 = 0,21^{kg/m} \text{ οπότε } \varphi_{28} \text{ η καλύτερη επιλογή φυσιγγίου}$$

Εναπομένειν χώρος για τα διατρήματα περιγράμματος ομαλής ανατίναξης τοίχους είναι 3,43m (Εναπομένειν μήκος= H-B_L-B_{CR})

$$B = 0,9 * \sqrt{\frac{l_{38} * S_{ANFO}/_{Em-Ex}}{\hat{c} * f * \left(\frac{S}{B}\right)}} = 0,9 * \sqrt{\frac{1,36^{kg/m} * 1,01^{kg/m}}{0,45 * 1,2 * 1,25}} = 1,28m$$

-Πρακτικό φορτίο:

$$B_{cw} = B - H * \sin(\gamma) - F = 1,28m - 0,25m - 0,07 = 0,96m$$

-Αριθμός διατρημάτων:

$$N = \frac{\text{Εναπομένειν μήκος} + 2 * H * \sin \gamma}{B_{cw}} + 1 = \frac{3,43m + 2 * 5m * \sin(3)}{1,28m} + 1 = 4,07 \approx 5$$

-Απόσταση μεταξύ διατρημάτων:

$$S_{cw} = \frac{\text{Εναπομένειν μήκος} + 2 * H * \sin \gamma}{N - 1} = \frac{3,43m + 2 * 5m * \sin 3}{4} = 0,98$$

-Αριθμός φυσιγγίων στην γόμωση πυθμένα και στήλης διατρήματος:

- Γόμωση πυθμένα

$$h_b = 1,25 * B_L = 1,25 * 0,96m = 1,2m$$

Αριθμός φυσιγγίων για γόμωση με φ_{38}

$$N = \frac{h_b}{\text{μήκος φυσιγγίου } \varphi_{38}} = \frac{1,2m}{0,385m} = 3,1 \approx 4$$

- Γόμωση στήλης

$$h_c = H - h_b - 10 * d = 5m - 1,2m - 0,48m = 3,32m$$

Η γόμωση στήλης θα έχει το 50% της γόμωσης στήλης

$$l = 50\% * 1,36^{kg/m} = 0,68^{kg/m}$$

Επιλέγω φυσίγγια φ_{28} και στρογγυλοποιώ προς τα πάνω για να πετύχω όσο καλύτερη πυκνότητα γόμωσης γίνεται.

$$N = \frac{h_c}{\text{μήκος φυσιγγίου } \varphi_{28}} = \frac{3,32m}{0,51m} = 6,5 \approx 7$$

Ο αριθμός των διατρημάτων διπλασιάζεται διότι είναι και από τις δύο μεριές.

4.2.6 Διατρήματα κύριας παραγωγής

Διατρήματα κύριας παραγωγής (Οριζόντια)

$$f = 1,45$$

$$S/B = 1,25$$

$$\hat{c} = 0,45$$

Η διατομή του χώρου, που διατίθεται για τα διατρήματα δίπλα από την προεκσκαφή, έχει διαστάσεις πλάτους 1,35m και ύψους 1,73m, τα οποία υπολογίστηκαν με την παρακάτω λογική.

$$\text{Πλάτος} = \text{πλάτος μετώπου} - 2 * B_{CW} - A_4 = 5m - 1,92m - 1,73m = 1,35m$$

$$\Upsilon\psi\omicron\varsigma = A_4 = 1,73m$$

$$B = 0,9 * \sqrt{\frac{l_{28} * S_{ANFO/Em-Ex}}{\hat{c} * f * \left(\frac{S}{B}\right)}} = 0,9 * \sqrt{\frac{0,74 \frac{kg}{m} * 1,01 \frac{kg}{m}}{0,45 * 1,45 * 1,25}} = 0,86m$$

-Πρακτικό φορτίο

$$B_H = B - F = 0,8m - 0,07 = 0,79m$$

-Αριθμός διατρημάτων:

$$N = \frac{\text{Πλάτος}}{B} + 1 = \frac{1,35m}{0,86m} + 1 \approx 3$$

-Απόσταση μεταξύ διατρημάτων:

$$S = \frac{\Upsilon\psi\omicron\varsigma}{N-1} = \frac{1,73m}{2} = 0,87m$$

-Αριθμός φυσιγγίων στην γόμωση πυθμένα και στήλης:

Επιλέγω την πλήρη γόμωση στήλης και του πυθμένα με φυσίγγια φ_{28}

$$h_c + h_b = 5m - 10 \cdot d = 4,52m$$

$$N_{\varphi 28} = \frac{h_c + h_b}{l_{\varphi 28}} = \frac{4,52m}{0,51} \approx 9$$

Θα γίνουν δύο σειρές τριών διατρημάτων με γόμωση φυσιγγίων φ_{28} , ώστε να καλυφθεί το συνολικό πλάτος του διατιθεμένου χώρου. Διότι δύο σειρές διατρημάτων με φορτίο 0,79m σημαίνει πως καλύπτεται απόσταση $2 \times 0,79m = 1,58m$ συγκρίσιμη με το εναπομείναν πλάτος που είναι 1,35m και αρκετό, ώστε να γίνει επιτυχής ανατίναξη χωρίς περιπλοκές.

Διατρήματα κύριας παραγωγής (κατακόρυφα)

$$f = 1,2$$

$$S/B = 1,25$$

$$\bar{c} = 0,45$$

Η διατομή του χώρου που διατίθεται για τα διατρήματα δίπλα από την προεκσκαφή, έχει διαστάσεις πλάτους 1,71m και ύψους 1,92m, τα οποία υπολογίστηκαν με την παρακάτω λογική.

$$\text{Πλάτος} = \text{πλάτος μετώπου} - 2 \cdot B_{CW} = 5m - 2 \cdot 0,96m = 3,08m$$

$$\text{Ύψος} = \text{Ύψος μετώπου} - B_{CR} - BL - A4 = 1,71m$$

$$B = 0,9 * \sqrt{\frac{l_{28} * S_{ANFO/Em-Ex}}{\hat{c} * f * \left(\frac{S}{B}\right)}} = 0,9 * \sqrt{\frac{0,74 \frac{kg}{m} * 1,01 \frac{kg}{m}}{0,45 * 1,2 * 1,25}} = 0,95m$$

-Πρακτικό φορτίο

$$B_v = B - F = 0,95m - 0,07 = 0,88m$$

-Αριθμός διατρημάτων:

$$N = \frac{\text{Πλάτος}}{B} + 1 = \frac{3m}{0,95m} + 1 \approx 4$$

-Απόσταση μεταξύ διατρημάτων:

$$S = \frac{\text{Πλάτος}}{N - 1} = \frac{3,08m}{3} = 1,027m$$

-Αριθμός φυσιγγίων στην γόμωση πυθμένα και στήλης:

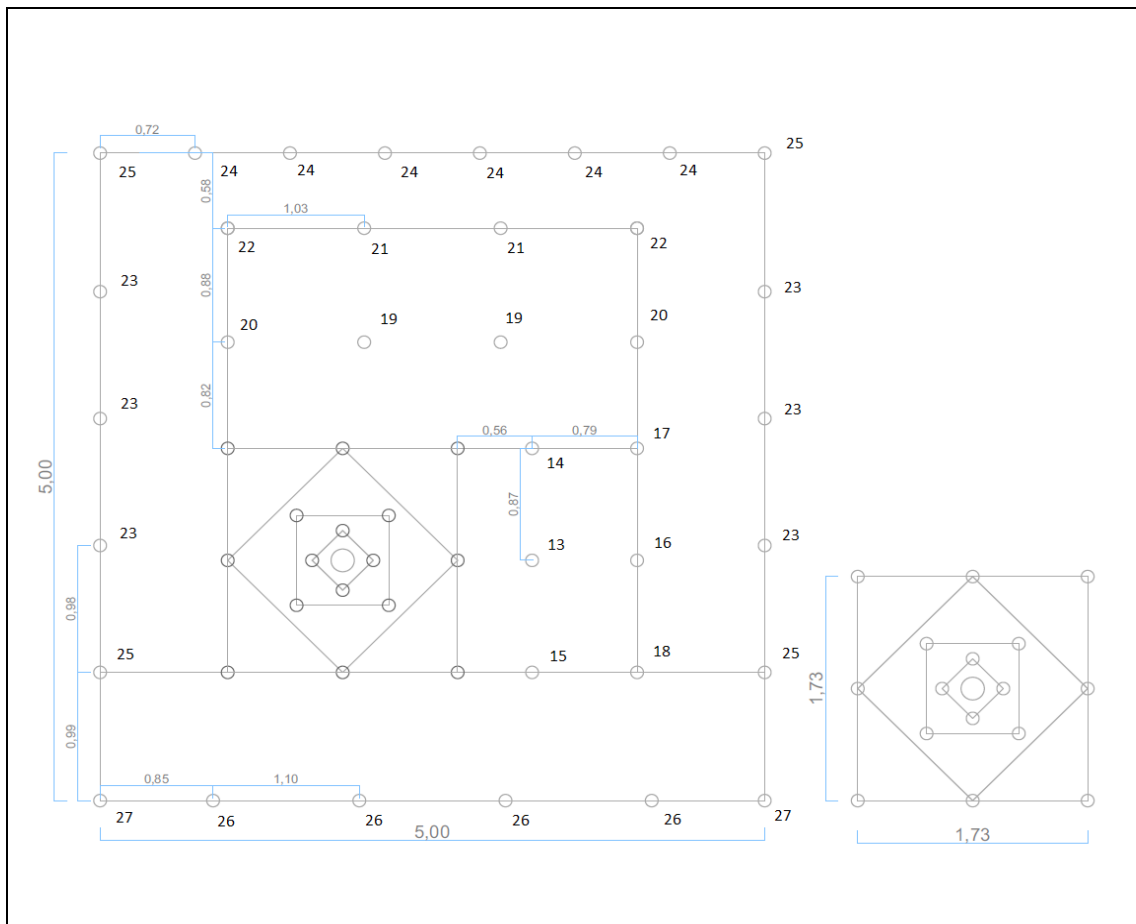
Επιλέγω την πλήρη γόμωση στήλης και του πυθμένα με φυσίγγια φ_{28}

$$h_c + h_b = 5\text{m} - 10 \cdot d = 4,52\text{m}$$

$$N_{\varphi 28} = \frac{h_c + h_b}{l_{\varphi 28}} = \frac{4,52\text{m}}{0,51} \approx 9$$

Θα γίνουν δύο σειρές τεσσάρων διατρημάτων με γόμωση φυσιγγίων φ_{28} , ώστε να καλυφθεί το συνολικό πλάτος του διατιθεμένου χώρου. Διότι δύο σειρές διατρημάτων με φορτίο 0,88m σημαίνει πως καλύπτεται απόσταση $2 \times 0,88\text{m} = 1,76\text{m}$ συγκρίσιμη με το εναπομείναν ύψος που είναι 1,71m και αρκετό, ώστε να γίνει επιτυχής ανατίναξη χωρίς περιπλοκές απόδοσης.

Τελικό σχήμα διάταξης της θέσης και της σειράς των χρόνων ανατίναξης των διατρημάτων στο μέτωπο



Εικόνα 4.4 Τελικό σχήμα διάταξης της θέσης και της σειράς των χρόνων ανατίναξης των διατρημάτων στο μέτωπο με την Σουηδική μέθοδο

4.2.7 Πίνακας αποτελεσμάτων και ειδική κατανάλωση

Θα παρουσιαστούν οι τελικοί πίνακες αποτελεσμάτων αριθμού διατρημάτων ανά τμήμα, αριθμός φυσιγγίων, μήκος επιγόμεσης και σύνολο κιλών Ε.Υ και διατρημάτων. Καθώς και τα αποτελέσματα ειδικής διάτρησης και κατανάλωσης.

Πίνακας 4.2 Τελικά αποτελέσματα παραδείγματος Σουηδικής μεθόδου ανατίναξης υπόγειων μετώπων μορφής στοάς

Τμήμα		Αριθμός Διατρημάτων	Αριθμός φυσιγγίων Φ ₂₈ ανά διάτρημα	Αριθμός φυσιγγίων Φ ₃₈ ανά διάτρημα	Ε.Υ ανά διάτρημα (kg)	Σύνολο Ε.Υ σε (kg)
Προεκσκαφή Cut	1° Τετράγωνο	4	-	12	6,1	24,4
	2° Τετράγωνο	4	-	12	6,1	24,4
	3° Τετράγωνο	4	-	12	6,1	24,4
	4° Τετράγωνο	4	-	12	6,1	24,4
Διατρήματα δαπέδου		6	7	4	4,8	28,8
Διατρήματα περιγράμματος(οροφή)		8	9	-	3,6	28,8
Διατρήματα περιγράμματος(Τοίχους)		2*4=8	7	4	4,8	38,4
Διατρήματα κύριας παραγωγής (Δεξιά προεκσκαφής)		2*3διατρ.=6	9	-	3,6	21,6
Διατρήματα κύριας παραγωγής (Άνωθεν προεκσκαφής)		2*4διατρ.=8	9	-	3,6	28,8
Σύνολο		48	41	56	-	244

$$W_{\varphi 28}=0,396\text{kg}$$

$$W_{\varphi 38}=0,51\text{kg}$$

$$\text{Εμβαδό διατομής} = 25\text{m}^2$$

$$\text{Προχώρηση} = 4,8\text{m}$$

$$\text{Ειδική κατανάλωση (specific charge)} = \frac{\text{Συνολική Ε.Υ}}{\text{Εμβαδό διατομής} \cdot \text{Προχώρηση}} = \frac{244\text{kg}}{25\text{m}^2 \cdot 4,8\text{m}} \approx 2 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ειδική διάτρηση (Specific drilling)} = \frac{\text{Συνολικά διατρήματα} \cdot H}{\text{Εμβαδό διατομής} \cdot \text{Προχώρηση}} = \frac{48 \cdot 5\text{m}}{25\text{m}^2 \cdot 4,8\text{m}} \approx 2 \text{ m/m}^3$$

4.3 Πίνακες συγκριτικών αποτελεσμάτων

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι πίνακες τελικών αποτελεσμάτων αριθμού διατρημάτων, φορτίου, απόστασης μεταξύ διατρημάτων, ειδικής διάτρησης και ειδικής κατανάλωσης. Καθώς και ο πίνακας ενδεικτικής κοστολόγησης για την ποσότητα εκρηκτικής ύλης (Ε.Υ) σε μία ανατίναξη για την κάθε μέθοδο.

Πίνακας 4.3 Πίνακας τιμών αριθμού διατρημάτων, φορτίου και απόστασης μεταξύ διατρημάτων για την Νορβηγική μέθοδο

Νορβηγική μέθοδος NTNU				
Τύπος διατρημάτων		Αριθμός διατρημάτων	Φορτίο (m)	Αποστάσεις μεταξύ Διατρημάτων (m)
Προεκσκαφή	$\alpha_1=\alpha_2$	1	0,24	-
	$B_1=B_2$	2	0,3	-
	$B_3=B_4=B_5=B_6$	4	0,36	-
				-
Δαπέδου		6	1	1
Περιγράμματος		20	0,8	0,7
Σειράς πλησιέστερης περιγράμματος		10	1	1,1
Κύριας Παραγωγής/Διεύρυνσης		6	1,2	1,4

Πίνακας 4.4 Πίνακας τιμών αριθμού διατρημάτων, φορτίου και απόστασης μεταξύ διατρημάτων για την Σουηδική μέθοδο Holmberg

Σουηδική μέθοδος Holmberg				
Τύπος διατρημάτων		Αριθμός διατρημάτων	Φορτίο (m)	Αποστάσεις μεταξύ Διατρημάτων (m)
Προεκσκαφή	1ο Τετράγωνο	4	0,23	-
	2ο Τετράγωνο	4	0,28	-
	3ο Τετράγωνο	4	0,47	-
	4ο Τετράγωνο	4	0,67	-
Δαπέδου		6	0,99	1,1 και 0,85*
Περιγράμματος		16	0,58** και 0,96***	0,72** και 0,98***
Σειράς πλησιέστερης περιγράμματος				
Κύριας Παραγωγής/Διεύρυνσης		14	0,79**** και 0,88*****	0,87**** και 0,57*****

* = Απόσταση ακριανών διατρημάτων

** = Διατρήματα οροφής περιγράμματος

*** = Διατρήματα τοίχους περιγράμματος

****= Διατρήματα διεύρυνσης δεξιά της προεκσκαφής

*****= Διατρήματα διεύρυνσης άνωθεν της προεκσκαφής

Πίνακας 4.5 Τιμές σύγκρισης ειδικής κατανάλωσης, ειδικής διάτρησης, αριθμού διατρημάτων και προχώρησης ανά μέθοδο

Τιμές σύγκρισης	Μέθοδος ανατίναξης υπόγειου μετώπου μορφής στοάς	
	NTNU	Σουηδική Holmberg
Ειδική Διάτρηση	$2,2 \frac{m}{m^3}$	$2 \frac{m}{m^3}$
Ειδική Κατανάλωση	$1,9 \frac{kg}{m^3}$	$2 \frac{kg}{m^3}$
Συνολική Ε.Υ (kg)	217	244
Αριθμός διατρημάτων	49	48
Προχώρηση	90%	95%

Η προσφορά έχει δοθεί βάση συμβατικών τιμών που δίνονται για ένα λατομείο για τα αντίστοιχα προϊόντα από την εταιρία Extraco S.A. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν, ότι για θαλάσσια μεταφορά οι τιμές αυτές μπορεί να διαφέρουν κατά πολύ λόγω της μεταφοράς με ειδικό πλοίο που είναι αρκετά ακριβή διαδικασία.

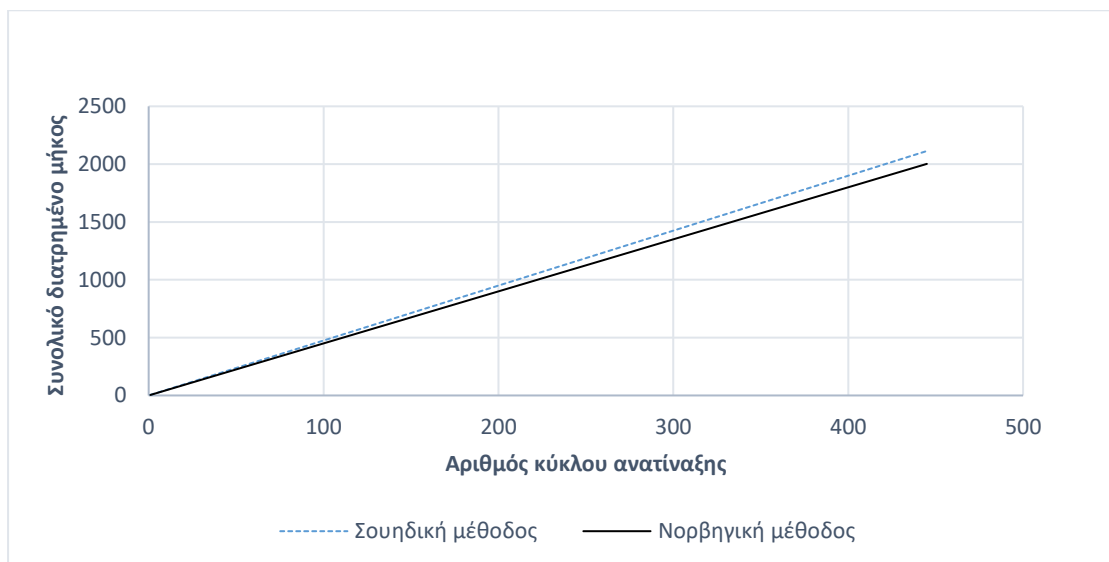
Η συμβατική τιμή γαλακτώματος EM-EX και EM-EX Contour είναι $1,65\text{€}/kg$

Πίνακας 4.6 Τιμές κοστολόγησης ανατίναξης ανά μέθοδο σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων 4.1 και 4.2

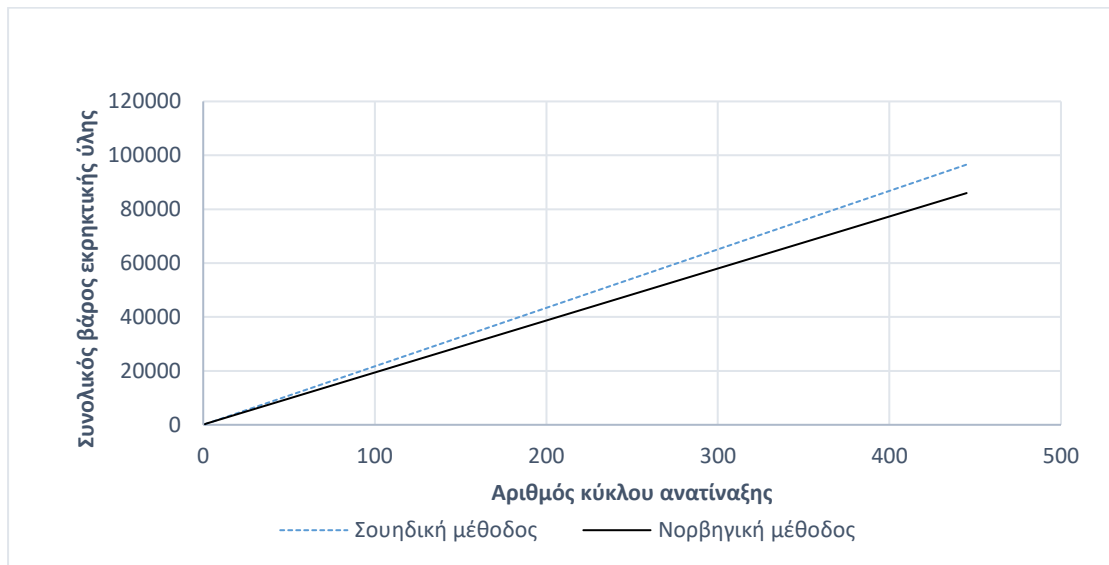
Μέθοδος ανατίναξης υπόγειου μετώπου μορφής στοάς	Κόστος ανά ανατίναξη σε ευρώ €
NTNU	358
Swedish	403

Ενδεικτικά για έναν θεωρητικό αριθμό περίπου 445 ανατινάξεων τα αποτελέσματα συνολικού μήκους διάτρησης και συνολικής εκρηκτικής ύλης που καταναλώθηκε παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4.1 και 4.2.

Διάγραμμα 4.1 Συνολικό διατρημένο μήκος σε σχέση με τον αριθμό κύκλου ανατίναξης



Διάγραμμα 4.2 Συνολικό βάρος εκρηκτικής ύλης σε σχέση με τον αριθμό κύκλου ανατίναξης



Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και προτάσεις

5.1 Γενικά συμπεράσματα των τεχνικών χαρακτηριστικών των διατρημάτων ανά τμήμα ανατίναξης

Αρχικά θα γίνει αναφορά στις γενικές τεχνικές διαφορές που παρατηρήθηκαν ανά τμήμα ανατίναξης για κάθε μέθοδο. Δηλαδή τις βασικές διαφορές στους παράγοντες που καθόρισαν τον σχεδιασμό και τον υπολογισμό των διατρημάτων ως προς το μήκος διάτρησης, το φορτίο και τις αποστάσεις μεταξύ τους.

5.1.1 Προεκσκαφή

Κατά τον σχεδιασμό της προεκσκαφής με τη Νορβηγική μέθοδο, ο απαιτούμενος κενός χώρος των διατρημάτων ανακούφισης, καθορίζεται από το μήκος διάτρησης, τη διάμετρο του γομωμένου διατρήματος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος, έναντι της Σουηδικής, που καθορίζεται μόνο από το μήκος διάτρησης (βλέπε διάγραμμα 2.1, 3.4 και τη σχέση 3.2).

Το φορτίο μεταξύ κενού και πρώτου γομωμένου διατρήματος υπολογίζεται βάση και των δύο διαμέτρων διατρημάτων για τη Νορβηγική μέθοδο, ενώ στη Σουηδική καθορίζεται αποκλειστικά από τη διάμετρο κενού διατρήματος. Οι μέγιστες τιμές φορτίου για διάμετρο γομωμένου διατρήματος 48mm, χωρίς να παρουσιαστεί πλαστική παραμόρφωση για τη Νορβηγική μέθοδο, φτάνουν να είναι δύο φορές τη διάμετρο του κενού διατρήματος ενώ μιάμιση φορά για τη Σουηδική.

Για τον υπολογισμό των φορτίων των υπόλοιπων διατρημάτων προεκσκαφής και για τις δύο μεθόδους, λαμβάνεται υπόψιν η διάσταση της υπάρχουσας ελεύθερης επιφάνειας που δημιουργήθηκε από την ανατίναξη των πρώτων γομωμένων διατρημάτων προς το κενό ή κενά διατρήματα (βλέπε διάγραμμα 2.2, πίνακα 2.2 και σχέση 3.5). Τα μέγιστα φορτία είναι δύο φορές και μιάμιση φορά το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας για τη Νορβηγική και Σουηδική μέθοδο αντίστοιχα.

Σε κάθε ένα από τα βήματα σχεδιασμού της προεκσκαφής με τη Νορβηγική μέθοδο, ο παράγοντας 80% επιπλέον χώρου διαστολής της προς ανατίναξη επιφάνειας δίνει τον

κατάλληλο χώρο διαστολής ή ανακούφισης για την καλύτερη ρωγμάτωση και ρίψη λίθων στην φάση της ανατίναξης του κάθε κύκλου. Διαφοροποιώντας την μια μέθοδο από την άλλη, διότι υπολογιστικά ο παράγοντας διαστολής πετρώματος συνυπολογίζεται για κάθε γομωμένο διάτρημα από την σχεδιαστική φάση.

Η λογική σχεδίασης της προεκσκαφής και οι τιμές φορτίου και των δύο μεθόδων είναι σχεδόν παρόμοια, όπως φαίνεται στους πίνακες 4.3 και 4.4 . Επειδή όμως η προεκσκαφή αποτελεί το σημαντικότερο στάδιο για την επιτυχία των επόμενων σειρών διατρημάτων οι μικρές διαφορές που χαρακτηρίζουν την κάθε μία είναι αρκετές να κριθεί προτιμότερη η Νορβηγική αντί της άλλης, λόγω της ευκινήσιας στον σχεδιασμό και των παραμέτρων που συνυπολογίζονται.

5.1.2 Διατρήματα δαπέδου-διεύρυνσης

Τα διατρήματα δαπέδου και διεύρυνσης στη Σουηδική μέθοδο αντιμετωπίζονται σαν βαθμίδα επιφανειακής ανατίναξης, υπολογίζονται με τις ίδιες παραμέτρους (όπως ο συντελεστής περιορισμού f , λόγος απόστασης μεταξύ διατρημάτων S/B) και η σχέση φορτίου. Καθοριστικός συντελεστής στις σχέσεις υπολογισμού είναι η γραμμική πυκνότητα γόμωσης (βλέπε σχέση 3.21).

Αντιθέτως, στην Νορβηγική μέθοδο καθοριστικός παράγοντας υπολογισμού των φορτίων και της απόστασης μεταξύ διατρημάτων για τα διατρήματα διεύρυνσης αποτελεί ο διορθωτικός συντελεστής k_{bl} ο οποίος εξαρτάται από το μήκος διάτρησης όταν το μήκος είναι διάφορο των πέντε μέτρων (βλέπε σχέση 2.4). Ο διορθωτικός ρόλος του συντελεστή k_{bl} έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνει το φορτίο όταν το μήκος δεν ξεπερνάει τα πέντε μέτρα και να μειώνει το φορτίο όταν ξεπερνάει τα πέντε μέτρα μήκους διάτρησης. Τέλος, τα διατρήματα διεύρυνσης υπολογίζονται ως προς τον όγκο που θα ανατινάξουν (βλέπε δείκτη F_s στην σχέση 2.4 και στους πίνακες 2.3 και 2.4)

5.1.3 Διατρήματα περιγράμματος

Η βασική λογική της Σουηδικής μεθόδου για την τοποθέτηση των διατρημάτων περιγράμματος για ομαλή ανατίναξη, είναι η ανάλογη διαμόρφωση της πυκνότητας γόμωσης, του φορτίου και της απόστασης μεταξύ διατρημάτων σε πιο αραιή ή πυκνή διάταξη μίας σειράς διατρημάτων στο σύνορο. Αντίθετα, η Νορβηγική εκτός από την προσαρμογή των ίδιων δεδομένων με αυτά της Σουηδικής, για την επίτευξη του καλύτερου επιθυμητού

ποιοτικά αποτελέσματα στο τελικό σύνορο, προσθέτει άλλη μια σειρά πλησίον αυτής, τη λεγόμενη «Σειρά πλησιέστερης στο περίγραμμα».

Από τους πίνακες 4.3 και 4.4 παρατηρούμαι ότι το φορτίο προσαρμόζεται καλύτερα με τη Σουηδική, καθώς για τα διατρήματα οροφής μειώνει την απόσταση μεταξύ των διατρημάτων και το φορτίο, κάνοντας το σύνορο πυκνότερο σε διατρήματα αλλά με μικρότερη πυκνότητα γόμωσης. Αντίθετα, η Νορβηγική για τις ίδιες παραμέτρους δίνει τις ίδιες τιμές σε όλο το σύνορο με τα διατρήματα περιγράμματος τοίχους της Σουηδικής μεθόδου και δεν αντιμετωπίζεται με την ίδια προσοχή και ευαισθησία.

5.2 Συμπεράσματα διαφορών στην συνολική Ε.Υ, την πυκνότητα γόμωσης και την προχώρηση.

Στους πίνακες 4.1 και 4.2 παρατηρείται πως για την προεκσκαφή η Νορβηγική μέθοδος έχει μικρότερη κατανάλωση σε βάρος εκρηκτικών ανά διάτρημα (διαφορά $\approx 1\text{kg}$) σε σχέση με την Σουηδική.

Στο περίγραμμα η Σουηδική μέθοδος καταναλώνει παραπάνω εκρηκτική ύλη ανά διάτρημα από τη Νορβηγική. Συνολικά η πρώτη χρησιμοποιεί περισσότερη εκρηκτική ύλη από τη Νορβηγική παρά την διαφορά στα διατρήματα. Λογικό, αφού το μήκος επιγόμωσης είναι κατά πολύ μικρότερο της Νορβηγικής, παρά τη σχεδόν παρόμοια προτεινόμενη πυκνότητα γόμωσης βάση και του όμοιου εμβαδού του μετώπου για τις δύο τεχνικές.

Στα διαγράμματα 4.1 και 4.2 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της μεταβολής του συνολικού διατρημένου μήκους και βάρους εκρηκτικής ύλης που χρησιμοποιήθηκε σε σχέση με έναν θεωρητικό αριθμό 445 ανατινάξεων. Η μεταβολή είναι γραμμική, με τη Σουηδική μέθοδο να προηγείται αριθμητικά, υποδεικνύοντας πως η συνολική προχώρηση είναι μεγαλύτερη αλλά και η κατανάλωση αρκετά μεγαλύτερη από αυτή της Νορβηγικής.

5.3 Γενικά συμπεράσματα

Η Νορβηγική μέθοδος είναι η ευκολότερη στην χρήση για την εκπόνηση σχεδίου ανατίναξης. Ο λόγος, η τυποποιημένη μεθοδολογία, η απλοποίηση περίπλοκων υπολογισμών και η παρουσίαση πολλών δεδομένων σε μορφή διαγραμμάτων και απλών μαθηματικών σχέσεων για οποιοδήποτε συνδυασμό διατομής μετώπου, διάμετρο γομωμένου 48 ή 64mm και κενού διατρήματος και μήκος διάτρησης. Καθώς και διαγράμματα αρχικών θεωρητικών τιμών αριθμού διατρημάτων και πυκνότητας γόμωσης, επαληθεύοντας την τυχόν απόκλιση των

τελικών αποτελεσμάτων από το θεωρητικό. Και στις δύο μεθόδους προτείνεται η χρήση ομαλής ανατίναξης για το σύνορο

Τα διαγράμματα 4.1 και 4.2 υποδεικνύουν πως η Νορβηγική μέθοδος υστερεί έναντι της Σουηδικής από την άποψη της συνολικής προχώρησης για γομωμένο διάτρημα 48mm αλλά κερδίζει κοστολογικά αφού έχει χαμηλότερη τιμή πυκνότητας γόμωσης (λόγω μεγαλύτερης επιγόμωσης), άρα και κόστος της συνολικής εκρηκτικής ύλης (βλέπε πίνακα 4.6). Χρονικά το πλεονέκτημα είναι με την Σουηδική λόγω λιγότερων αριθμητικά διατρημάτων.

Σχεδιαστικά η Νορβηγική παρουσιάζει δυσκολία στην αποτύπωση με ακρίβεια της θέσης και της απόστασης μεταξύ διατρημάτων για τετραγωνικούς κανάβους. Διότι η λογική με την οποία αναπτύχθηκε ήταν για τον κλασσικό τύπο ημικυκλικού κανάβου στοάς ή σήραγγας.

Οπότε, ο εκάστοτε μηχανικός για να ολοκληρώσει την απόφασή του για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου σχεδιασμού μετώπου υπόγειας ανατίναξης θα πρέπει να λάβει υπόψιν τα συμπεράσματα της σύγκρισης των δύο μεθόδων για μήκος διάτρησης πέντε μέτρων, διάμετρο γομωμένου διατρήματος 48mm και για μέτωπο εμβαδού 25m² και να κρίνει αναλόγως τον στόχο που του έχει τεθεί, δηλαδή κόστος έναντι χρόνου ή το αντίθετο. Όπως επίσης και τη δυνατότητα εύκολης αλλαγής σχεδίων για τυχόν τεχνικές περιπλοκές στην ανατίναξη κατά την εκτέλεση του έργου.

5.4 Προτάσεις περαιτέρω έρευνας

Επειδή η μελέτη αφορά τη σύγκριση των τεχνικών λεπτομερειών των δύο μεθόδων και όχι όλου του κύκλου διάτρησης-γόμωσης-διασύνδεση και χρόνοι καψυλλίων-ανατίναξη-αερισμός και απομάκρυνση της σωρού πετρώματος. Προτείνεται να γίνει μια η σύγκριση των συνολικών χρόνων όλου του κύκλου εργασιών μίας ανατίναξης για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των δύο μεθόδων.

Επιπλέον πρόταση, θα ήταν ο υπολογισμός της πραγματικής προχώρησης. Κυρίως της Νορβηγικής μεθόδου στο πεδίο με δεδομένα από πραγματικές ανατινάξεις με τιμές (διάμετρο διατρημάτων, μήκος διάτρησης, ιδιότητες πετρώματος) όπως ορίστηκαν και στα παραδείγματα του τέταρτου κεφαλαίου. Ωστε να προσδιοριστεί η πραγματική προχώρηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- Ζαχαρίας Αγιουτάντης, Στοιχεία Διάτρησης Ανατίναξης, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2009
- Χαραλάμπους Ε. Τσουτρέλη, Εκρηκτικές Ύλες και Τεχνική των Ανατινάξεων, Τόμος 1^{ος} Εκρηκτικές Ύλες, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 1997
- Χαραλάμπους Ε. Τσουτρέλη, Εκρηκτικές Ύλες και Τεχνική των Ανατινάξεων, Τόμος 2^{ος} Εκρηκτικές Ύλες, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2001
- Διάτρηση, Ανατίναξη και Εισαγωγή στα Υπόγεια Έργα Σχεδιασμός ανατινάξεων σπηράγγων, Σημειώσεις διδασκαλίας, Δρ. Παντελής Λιόλιος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2018
- Διπλωματική εργασία «Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων σχεδιασμού υπόγειων ανατινάξεων», Χειμωνίδου Σ.Αικατερίνη, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Σεπτέμβριος 2010

Διεθνής

- Drill and Blast Tunnelling Blast Design report paper 2A-05, Doctoral thesis of Shokrollah Zare, N.T.N.U, 2007
- Charge Calculations for Tunneling, Chapter 1, Holmberg Roger, 1982
- Johansen, J. and C.F. Mathiesen. *Modern Trends in Tunneling and Blast Design*, A.A Balkema, Rotterdam, 2000.
- Persson, P., Holmberg, R. and Lee, J. *Rock Blasting and Explosives Engineering*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1994.
- Rustan, A.P. Micro-sequential Contour Blasting- How does it influence the surrounding rock mass?, *Engineering Geology*, Vol. 49, pp. 303-313, Elsevier Science B.V., Lulea, Sweden, 1998.

- Sharma, P.D. Blast design for Drifting and Tunneling with Wedge and Burn Cut, July 2009, from <http://miningandblasting.wordpress.com>.

Άλλες πηγές

Extraco S.A <http://www.extraco.gr/>

Παγκόσμιο δίκτυο

eclass.tuc.gr <https://www.eclass.tuc.gr/>

Βιβλιοθήκη Πολυτεχνείου Κρήτης